

POMIARY WPŁYWU RODZAJU PRZESZKLENIA NA ILOŚĆ DOSTĘPNEGO ŚWIATŁA DZIENNEGO W POMIESZCZENIU

Łukasz NOWAK*, Henryk NOWAK**

* Politechnika Wroclawska, Zakład Fizyki Budowli i Komputerowych Metod Projektowania,
Instytut Budownictwa, Pl. Grunwaldzki 11, 50-377 Wrocław,
e-mail: lukasz.nowak@pwr.wroc.pl

** Politechnika Wroclawska, Zakład Fizyki Budowli i Komputerowych Metod Projektowania,
Instytut Budownictwa, Pl. Grunwaldzki 11, 50-377 Wrocław,
e-mail: henryk.nowak@pwr.wroc.pl

Streszczenie: W artykule zobrazowano wpływ rodzaju oszklenia na natężenie światła dziennego w funkcji odległości od okna. Podjęto również próbę określenia zależności między wartością współczynnika LT (ang. Light Transmittance), a natężeniem światła dziennego na płaszczyznę pionową. Pomiary prowadzono w modelu pomieszczenia w dwóch różnych warunkach nasłonecznienia oraz dla ośmiu różnych typów szkła budowlanego.

Słowa kluczowe: światło dzienne w pomieszczeniach, radiacyjne właściwości szkła budowlanego, współczynnik LT, równomierność natężenia światła dziennego

1. WPROWADZENIE

Szkoło budowlane jako jeden z głównych elementów składowych fasad przeszklonych, okien zespolonych, świetlików czy atriów, pełni nie tylko funkcję architektoniczną i estetyczną, ale przede wszystkim ma istotny wpływ na kształtowanie bilansu energetycznego budynku i na zapewnienie odpowiedniego komfortu cieplnego wizualnego użytkownikom budynku. Część przeszklona fasady głównie wskutek wymiany ciepła przez promieniowanie dostarcza zarówno energię słoneczną jak i światło dzienne do wnętrza budynku.

Światło dzienne (promieniowanie słoneczne w zakresie widzialnym) może dostawać się do wnętrza pomieszczenia docierając bezpośrednio od słońca, jako promieniowanie rozproszone np. wskutek obecności chmur lub jako promieniowanie odbite od różnych powierzchni. W polskich warunkach nasłonecznienia tylko przez około 33% roku dostępne jest światło dzienne jako światło bezpośrednie kierunkowe, w związku z czym na krótko dociera do pomieszczeń oświetlając ich wnętrza. W pozostałej części roku promieniowanie słoneczne w zakresie widzialnym ulega zazwyczaj

rozproszeniu w stopniu zależnym od stanu atmosfery i zachmurzenia. Przy bezchmurnym niebie promieniowanie rozproszone stanowi 10% całej ilości światła słonecznego, a przy pełnym zachmurzeniu nawet do 100% [6].

Problematyka dostarczenia odpowiedniej ilości światła dziennego zapewniającego komfort wizualny użytkowników pomieszczenia jest rozległa i była już badana pod wieloma aspektami. Metodami badawczymi w przypadku zagadnień dotyczących światła dziennego w pomieszczeniach są zarówno pomiary w środowisku rzeczywistym, ale również symulacje komputerowe czy badania modelowe. Badania modelowe są dość powszechne i ogólnie uznawane za wiarygodne ze względu na pomijalnie małe błędy związane z tzw. efektem skali. Takimi badaniami oraz pomiarami terenowymi dotyczącymi rozkładu natężenia światła dziennego w pomieszczeniach zajmowali się w ostatnich latach m.in. Sharples [7] (2001), Cheng [1] (2007) czy Li [2] (2008).

W artykule zaprezentowano zależność między wartością współczynnika LT (ang. *Light Transmittance*), a dostępnością światła dziennego w pomieszczeniu. Zobrazowano również wpływ rodzaju oszklenia na natężenie światła dziennego w funkcji odległości od okna. Pomiary prowadzono na stanowisku modelowym przy naturalnych warunkach nasłonecznienia dla ośmiu różnych typów szkła.

2. WSPÓLCZYNNIK PRZEPUSZCZALNOŚCI ŚWIATŁA DZIENNEGO - LT

Charakterystyki radiacyjne szyb lub zestawów szyb, które wynikają z ich właściwości radiacyjnych są określane przez różne współczynniki, które pozwalają na usystematyzowanie szyb i ułatwiają dobór przeszklenia w zależności

od potrzeb użytkownika oraz wymaganych warunków komfortu cieplnego i wizualnego. Dzięki nim można odpowiednio dobrać element stanowiący część obudowy budynku, który istotnie wpływa na kształtowanie bilansu cieplnego budynku w skali roku. Cechy zestawu szyb istotne z punktu widzenia ochrony cieplnej budynków oraz odpowiedniego komfortu cieplnego i wizualnego można opisać za pomocą trzech współczynników:

- SHGC [-] (ang. *Solar Heat Gain Coefficient*),
- DST [-] (ang. *Direct Solar Transmittance*),
- LT [-] (ang. *Light Transmittance*),

oraz za pomocą współczynnika przenikania ciepła U [W/m^2K] dla zestawu szyb.

Ze względu na zapewnienie odpowiednich warunków oświetlenia pomieszczeń światłem dziennym istotny jest współczynnik LT, który określa ilość przepuszczonego promieniowania słonecznego w zakresie widzialnym, padającym pod kątem blisko 90° . Współczynnik ten czasami występuje pod innymi oznaczeniami, jak VT (ang. *Visible Transmittance*) czy τ_v (ang. *Light Transmittance*), jednak jego wartości są podawane zawsze w zakresie $0 \div 100\%$ lub $0 \div 1$. Zgodnie ze standardem jego wartość oblicza się ze wzoru (1):

$$\tau_v = \frac{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_\lambda \tau(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (1)$$

gdzie:

S_λ – względny rozkład widmowy źródła promieniowania D_{65} (PN-EN 410:2001; C.2),

$\tau(\lambda)$ – widmowy współczynnik przepuszczalności oszklenia,

D_λ – widmowa skuteczność świetlna dla fotopowego widzenia określonego standardowego obserwatora dla fotometrii (PN-EN 410:2001; C.2),

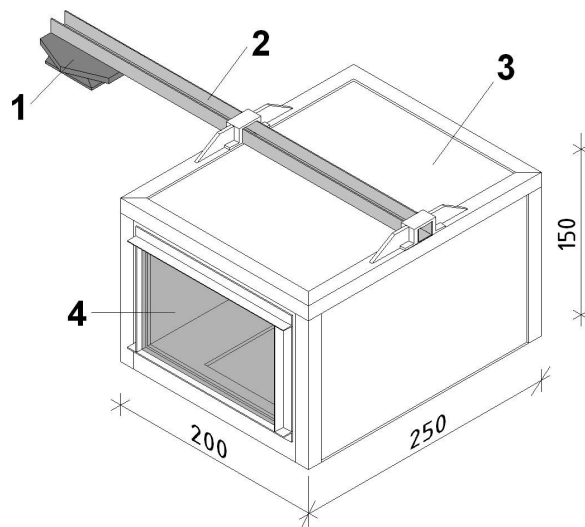
$\Delta\lambda$ – przedział długości fali.

3. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO

3.1. Model pomieszczenia

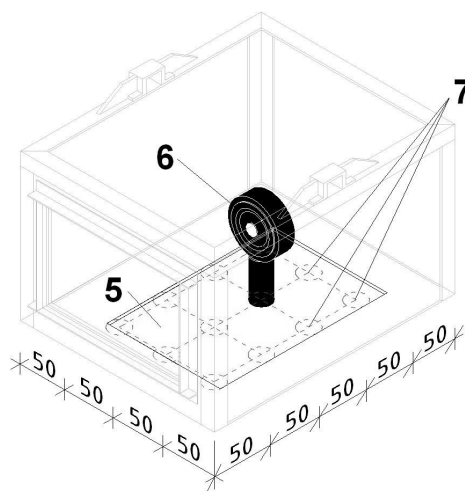
Analizowany model składał się z obudowy o wymiarach $250 \times 200 \times 150$ mm wykonanej z białej, nieprzeiernej płyty ze spienionego PCV (rys.1), w której dno miało system przesuwanych płytek umożliwiających zmianę położenia głowicy fotometrycznej G. L-100 (rys. 2). Analizowane punkty pomiarowe przedstawiono na rys.3. System płytek w dnie był tak skonstruowany, aby pomimo przesuwania elementów, nie było możliwości dostania się przypadkowych strumieni światła do wnętrza obudowy. Od strony frontowej wykonano otwór, który wokół posiadał prowadnice umożliwiające zamontowanie próbki szyby

i wymiarach 100×150 mm, co dawało stopień przeszklenia 50% . Obudowa posiadała uchwyty w górnej części obudowy, w której był wspornik mocujący ją do statywu fotograficznego. Przed każdymi pomiarami, wyznaczano ustawienie obudowy przeszkloną elewacją prostopadle do kierunku południa za pomocą kompasu oraz poziomowano obudowę.



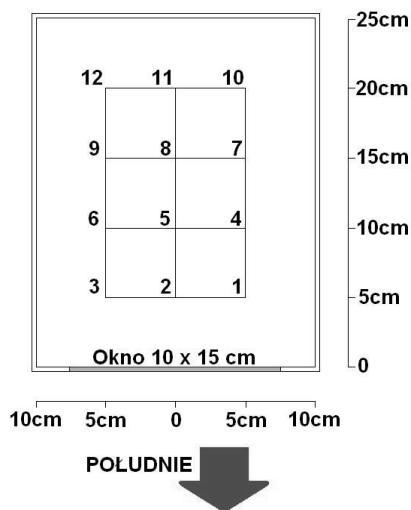
Rys. 1. Schemat modelu pomieszczenia – widok zewnętrzny. Opis elementów: 1) szybkozłączka Velbon do mocowania w statywie fotograficznym, 2) wspornik utrzymujący kasetę, 3) kasetka – model pomieszczenia, 4) próbka szkła 100×150 mm

Fig. 1. Room model scheme – exterior view. Parts description: 1) Velbon photo tripod fastener, 2) box support, 3) room model box, 4) 100×150 mm glazing sample



Rys. 2. Schemat modelu pomieszczenia – widok wewnętrzny. Opis elementów: 5) przesuwalne dno, 6) głowica fotometryczna G. L-100, 7) punkty pomiarowe

Fig. 2. Room model scheme – interior view. Parts description: 5) adjustable bottom, 6) G.L-100 photometric head, 7) measurement points



Rys. 3. Numeracja punktów pomiarowych
Fig. 3. Measurement points numeration

3.2. Próbki szkła budowlanego

W ramach pomiarów przeanalizowano szyby bezbarwne i barwione bez powłok, szyby barwione z powłokami refleksyjnymi oraz szybę bezbarwną ze szkła matowego, których dane zestawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Dane próbek szkła
Table 1. Glazing data

| Lp. | Opis próbki | Współczynnik LT |
|-----|---|------------------------|
| | | [-] |
| 1 | pomiar referencyjny – otwór okienny bez szyby | 1,000 |
| 2 | bezbarwna, zwykła | 0,890 |
| 3 | zielona, zwykła | 0,790 |
| 4 | brązowa, zwykła | 0,620 |
| 5 | szara, zwykła | 0,570 |
| 6 | brązowa, powłoka refleksyjna od zewnątrz | 0,220 |
| 7 | grafit, powłoka refleksyjna od zewnątrz | 0,190 |
| 8 | niebieska, powłoka refleksyjna od zewnątrz | 0,410 |
| 9 | bezbarwna, powierzchnia matowa od zewnątrz | brak danych producenta |

3.3. Warunki nasłonecznienia

Pomiary prowadzono dla dwóch warunków nasłonecznienia: dla nieba bezchmurnego oraz całkowicie zachmurzonego. W ramach badań, dla każdej próbki wykonano pomiary w 12 różnych punktach wewnątrz obudowy, które pozwalały na zbudowanie siatki wyników i umożliwiły analizę w zależności od czasu i miejsca pomiaru. Wszystkie sesje pomiarowe zaczynano od pomiaru referencyjnego dla powietrza (bez szyby).

W ramach pomiarów w dniu słonecznym, bezchmurnym wykonywano pomiary co godzinę (9, 10, 11, 12, 13, 14 i 15) dla 8 różnych próbek szyb oraz pomiar referencyjny dla powietrza w 12 punktach wewnątrz obudowy, pokazanych na Rys.3, co daje razem $7 \times 9 \times 12 = 756$ pomiarów. W ramach pomiarów w dniu całkowicie pochmurnym wykonywano pomiary co 2 godziny (8, 10, 12, 14 i 16) dla 8 różnych próbek szyb oraz pomiar referencyjny dla powietrza w 12 punktach wewnątrz obudowy, co daje razem $5 \times 9 \times 12 = 540$ pomiarów. Podsumowując wykonano łącznie 1296 pomiarów.

4. WYNIKI POMIARÓW

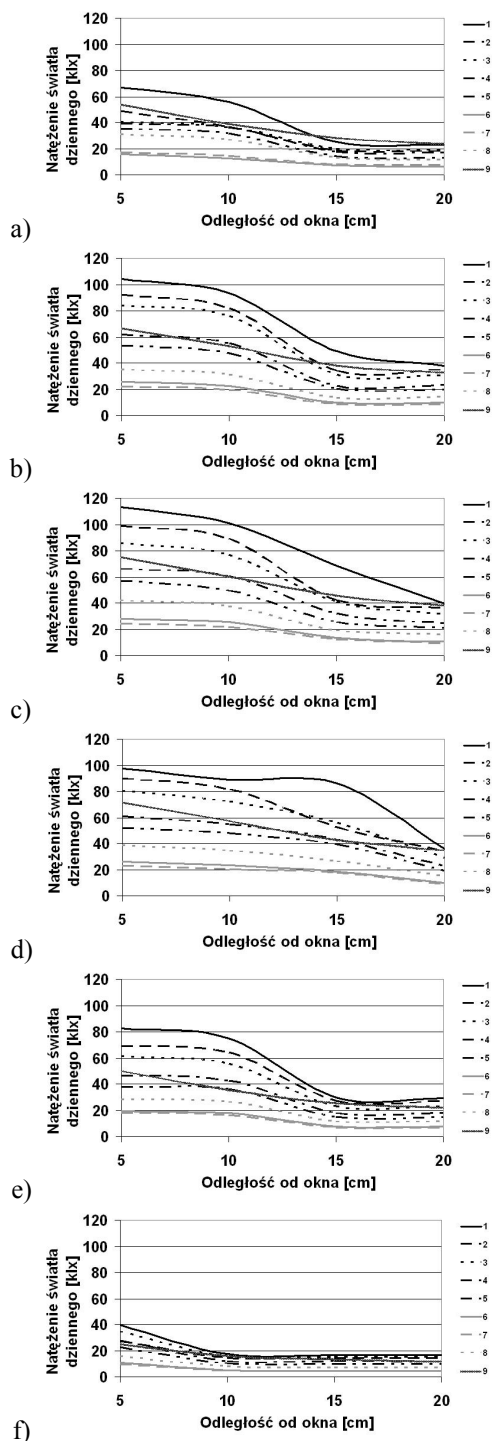
4.1. Odległość obserwatora od okna a ilość dostępnego światła dziennego

Przedstawione na rys. 4a ÷ 4f, wykresy dotyczą natężenia światła widzialnego padającego na płaszczyznę pionową w funkcji odległości od płaszczyzny okna w kolejnych godzinach słonecznego dnia o bezchmurnym niebie. Przedstawione wyniki dotyczą pomiarów w osi podłużnej modelu pomieszczenia (punkty 2, 5, 8 i 11).

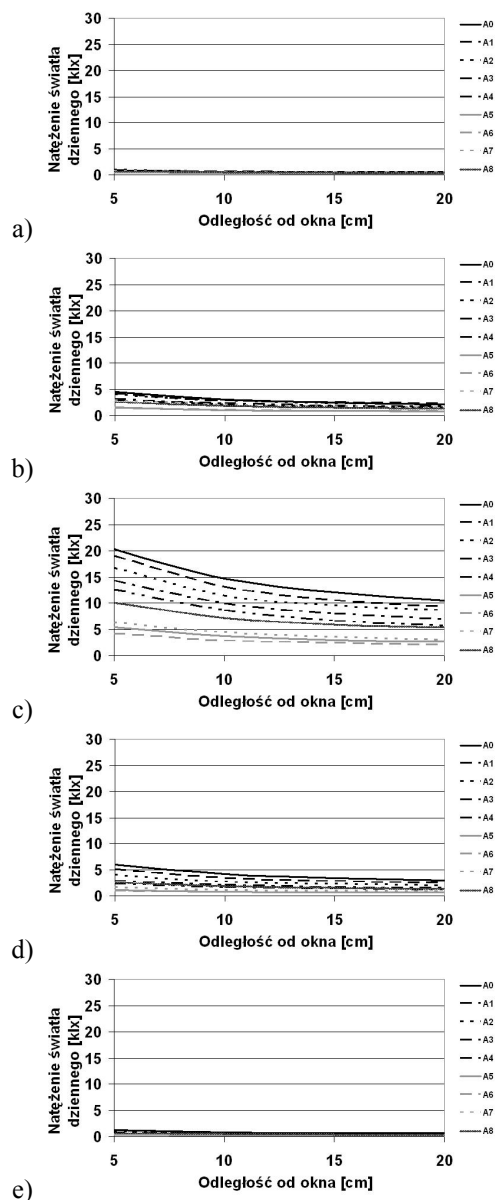
Można zauważyć, że wraz z ruchem słońca po nieboskłonie zmieniają się wartości natężenia światła. Im słońce jest wyżej na nieboskłonie, tym więcej światła dostaje się do wnętrza kasy pomiarowej.

Największe wartości natężenia światła zanotowano dla pomiaru referencyjnego i były to wartości rzędu 115klx, dla punktu środkowego (pkt 2) w odległości 5cm od płaszczyzny okna. Widać wyraźnie, że zasięg dużych natężenia powyżej połowy E_{max} sięga maksymalnie połowy głębokości pomieszczenia.

Można to opisać za pomocą zjawiska tzw. pasa przyokiennego, w którym obserwuje się dużo większe wartości natężenia światła niż w dalej położonych miejscach w pomieszczeniu. Średnio zanotowano 2,5 razy większe wartości natężenia światła w pasie przyokiennym niż w pozostałej połowie pomieszczenia. Takie nierównomierne natężenie może być zarówno wykorzystane do lokowania stanowisk pracy wymagających dobrego doświetlenia w pasie przyokiennym, a pozostałych stanowisk o niższych wymaganiach oświetleniowych w bardziej odległej od okna części pomieszczenia.



Rys. 4. Natężenie światła dziennego na płaszczyznę pionową w osi modelu – nieboskłon czysty: a) godz. 10, b) godz. 11, c) godz. 12, d) godz. 13, e) godz. 14, f) godz. 15
 Fig. 4. Daylight illuminance on vertical plane in model axis at clear sky conditions: a) at 10am, b) at 11am, c) at 12, d) at 1pm, e) at 2pm, f) at 3pm



Rys. 5. Natężenie światła dziennego na płaszczyznę pionową w osi modelu – nieboskłon zachmurzony: a) godz. 8, b) godz. 10, c) godz. 12, d) godz. 14, e) godz. 16
 Fig. 5. Daylight illuminance on vertical plane in model axis at overcast sky conditions: a) at 8am, b) at 10am, c) at 12, d) at 2pm, e) at 4pm

Jednocześnie, zjawisko to może powodować dyskomfort wizualny spowodowany dużą różnicą w poziomie natężenia światła dziennego, jeśli dana osoba będzie pracować na stanowisku obejmującym oba obszary. Rozwiązaniem takiej sytuacji jest zastosowanie np. nadwieszonych zaciemniających, które poprzez ograniczanie nadmiaru promieniowania bezpośredniego niwelują efekt pasa przyokiennego. Zmieniając rodzaj szyby otrzymujemy w efekcie różną ilość

światła dziennego w pomieszczeniu, jednak jego rozkład jest dokładnie zależny od wartości współczynnika LT.

Ciekawą właściwością charakteryzuje się szkło matowe (próbka 9), które wskutek praktycznie całkowitego rozproszenia padającego na okno promieniowania słonecznego powoduje lepsze doświetlenie dalszej części pomieszczenia, a rozkład natężenia światła w funkcji odległości od okna maleje prawie liniowo. Osiągane wartości natężenia dla szkła matowego są mniejsze w pasie przyokiennym i porównywalne ze szkłem białym o $LT = 0,620$, a większe w pozostałej części pomieszczenia od wartości uzyskiwanych przez szkło bezbarwne, które ma wartość $LT = 0,890$. W związku z czym można powiedzieć, że szkło matowe pozwala zauważalnie zredukować zjawisko zbyt dużych wartości natężenia światła dziennego w pasie przyokiennym oraz przy jednoczesnym lepszym doświetleniu dalszej części pomieszczenia dzięki rozproszeniu padającego promieniowania słonecznego.

Natężenie światła dziennego na płaszczyznę pionową w funkcji odległości od płaszczyzny okna w kolejnych godzinach dnia o całkowitym zachmurzeniu nieba przedstawiono na rys. 5a ÷ 5e. Pomimo zdecydowanie różnego poziomu natężenia światła w różnych godzinach dnia, charakterystyka jego rozkładu jest zbliżona do siebie i natężenie maleje wraz ze wzrostem odległości od okna i wraz ze zmniejszeniem się wartości współczynnika LT dla szyby. Największe wartości natężenia światła zanotowano dla pomiaru referencyjnego bez szyby i były to wartości rzędu 20klx, dla punktu środkowego (pkt 2) w odległości 5cm od płaszczyzny okna. Również w tym przypadku osiągane wartości natężenia światła w poszczególnych punktach pomieszczenia są bezpośrednio zależne od wartości współczynnika LT dla danej szyby.

4.2. Natężenie światła dziennego a wartość współczynnika LT

Wartość współczynnika LT określa ilość przepuszczonego światła dziennego w pomiarach spektrometrycznych (promieniowania słonecznego w zakresie 380÷780nm). Pomiar spektrometryczny odbywają się jednak w ściśle określonych warunkach (promieniowanie pada prostopadle do szyby), a takie w rzeczywistości zdarzają się rzadko, chociażby ze względu na ruch słońca po nieboskłonie czy też różne zorientowanie okien względem stron świata.

Pomierzono luksomierzem wartości natężenia światła dziennego na płaszczyznę pionową w 12 punktach wewnątrz kasy pomiarowej dla każdego rodzaju szyby. Wartości te odniesiono osobno dla dnia słonecznego oraz dla dnia zachmurzonego do największej w danej godzinie i danym punkcie zmierzonej wartości (dla pomiaru bez szyby) otrzymując w ten sposób względną (bezwymiarową) wartość natężenia światła dziennego - E_{rel} , zgodnie z poniższym wzorem (2):

$$E_{i,rel} = \frac{E_i}{E_{i,max}} \quad (2)$$

gdzie:

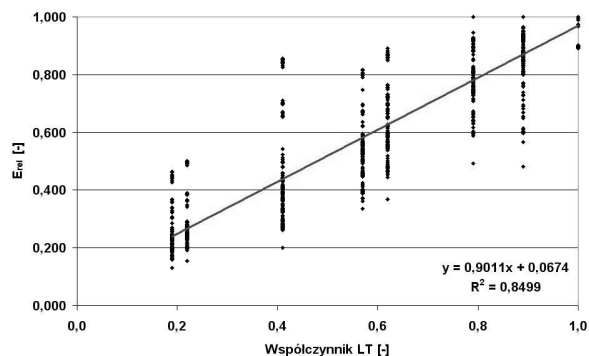
$E_{i,rel}$ – względna wartość natężenia światła dziennego w danej godzinie dnia, w danym punkcie wewnątrz kasy pomiarowej dla danej próbki szkła,

E_i – zmierzona wartość natężenia światła dziennego w danej godzinie dnia, w danym punkcie wewnątrz kasy pomiarowej dla danej próbki szkła,

$E_{i,max}$ – maksymalna wartość natężenia światła dziennego w danej godzinie dnia, w danym punkcie wewnątrz kasy pomiarowej dla powietrza (bez szyby).

Przyjmując dla pomiarów luksometrycznych bez szyby wartość współczynnika $LT = 1,000$ oraz $E_{rel} = 1,000$, otrzymano w ten sposób 8 różnych wartości E_{rel} dla każdego punktu oraz dla każdej godziny pomiarowej, co pozwoliło na otrzymanie łącznie 1296 różnych wartości E_{rel} .

Na rys. 6 przedstawiono wartości względnego natężenia światła dziennego na płaszczyznę pionową pomierzone w dniu o całkowitym zachmurzeniu nieboskłonu. Porównując wartości pomierzonego natężenia światła na płaszczyznę pionową w różnych odległościach od otworu okiennego zauważono, że względne wartości natężenia światła dziennego E_{rel} , układają się w zależność zbliżoną do liniowej (szara prosta).



Rys. 6. Natężenie światła dziennego na płaszczyznę pionową a wartości współczynnika przepuszczalności światła dziennego LT - pomierzone wartości i funkcja liniowa opisująca trend
Fig. 6. Daylight illuminance on vertical plane and Light Transmittance Coefficient – measured values and trend function

Współczynnik korelacji Pearsona jest na poziomie $R^2=0,8499$, co świadczy o dość dobrej zbieżności wyznaczonej prostej z danymi pomiarowymi. Opisanie tej zależności funkcją liniową dało najlepsze efekty w wynikach współczynnika korelacji przy jednoczesnym zachowaniu prostej zależności liniowej. Ilość docierającego światła do wnętrza pomieszczenia jest wprost proporcjonalna do war-

tości współczynnika LT – im większa wartość współczynnika, tym wyższe wartości natężenia światła dziennego będą wewnątrz pomieszczenia.

4.3. Równomierność natężenia światła dziennego w pomieszczeniu

Równomierność danych pomiarowych r wyznaczono jako iloraz najmniejszej zmierzonej wartości natężenia oświetlenia E_{min} do średniego natężenia oświetlenia E_{sr} , co wyraża wzór (3):

$$r = \frac{E_{min}}{E_{sr}} \quad (3)$$

gdzie:

E_{min} – minimalna wartość natężenia światła dziennego w danej godzinie dnia dla danej próbki szkła,

E_{sr} – średnia wartość natężenia światła dziennego w danej godzinie dnia dla danej próbki szkła,

Przedstawione na rys.4a ÷ f wykresy dla warunków czystego nieba pokazują wyraźną dysproporcję między ilością dostępnego światła dziennego w połowie pomieszczenia, która jest bliżej okna a wartościami dla połowy bardziej oddalonej. Zjawisko pasa przyokiennego skutkuje albo zbyt dużym natężeniem światła na płaszczyznę roboczą zlokalizowaną przy oknie powodującą dyskomfort wzrokowy (oślnienie) albo niedoświetleniem stanowisk pracy znajdujących się dalej od okna.

Tabela 2. Równomierność natężenia światła dziennego w modelu – nieboskłon czysty

Table 2. Daylight illuminance steadiness in the room model – clear sky conditions

| Lp. | $r = E_{min}/E_{sr}$ | | | | | | |
|-----|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | 0,59 | 0,53 | 0,52 | 0,48 | 0,47 | 0,47 | 0,63 |
| 2 | 0,61 | 0,57 | 0,53 | 0,53 | 0,52 | 0,52 | 0,68 |
| 3 | 0,60 | 0,61 | 0,53 | 0,52 | 0,49 | 0,51 | 0,64 |
| 4 | 0,57 | 0,57 | 0,52 | 0,53 | 0,50 | 0,51 | 0,63 |
| 5 | 0,60 | 0,56 | 0,52 | 0,53 | 0,49 | 0,51 | 0,63 |
| 6 | 0,63 | 0,58 | 0,53 | 0,54 | 0,51 | 0,54 | 0,65 |
| 7 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,54 | 0,50 | 0,53 | 0,66 |
| 8 | 0,63 | 0,55 | 0,54 | 0,55 | 0,52 | 0,55 | 0,65 |
| 9 | 0,65 | 0,61 | 0,62 | 0,67 | 0,59 | 0,60 | 0,69 |

Stosowanie dowolnego rodzaju szkła przeziernego zmienia jedynie ilość dostępnego światła dziennego natomiast nie zmienia jego rozkładu. Potwierdzają to dane zawarte w Tabeli 2, w której wartości równomierności oświetlenia światłem dziennym dla pomiaru referencyjnego wynosi

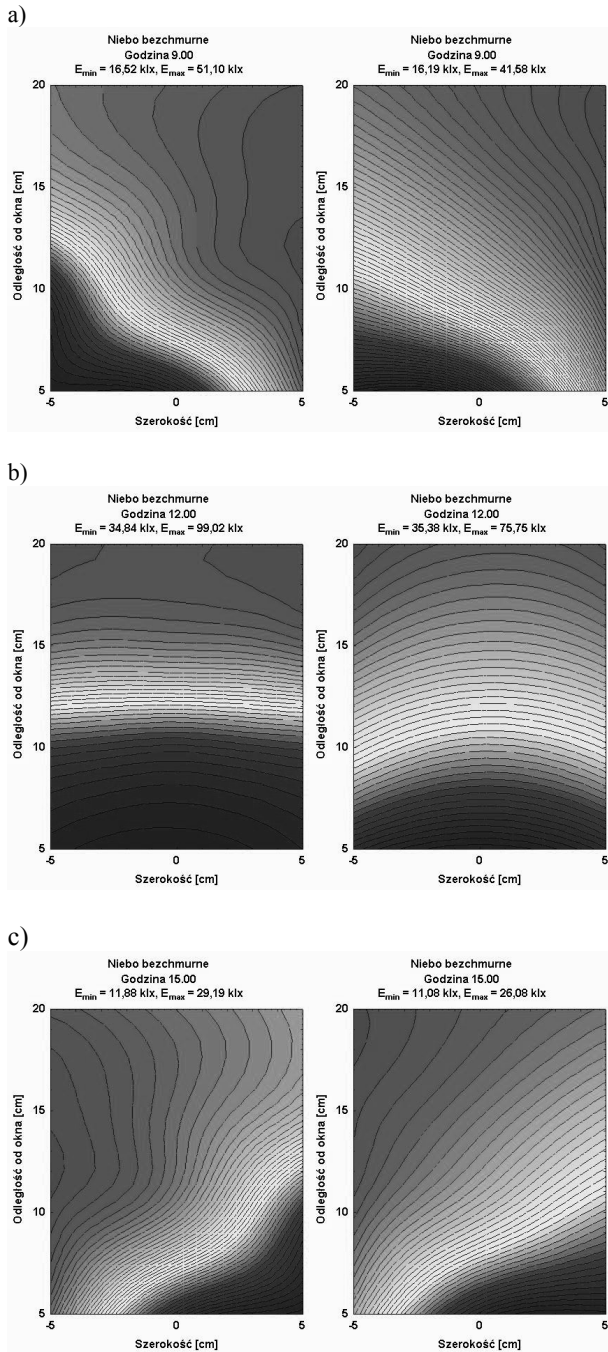
0,53, dla szyb przeziernych wynosi średnio 0,56, a dla szkła matowego 0,63. Promieniowanie słoneczne wskutek przejścia przez próbkę szkła matowego ulega praktycznie całkowitemu rozproszeniu co zapewnia zauważalnie lepszą równomierność oświetlenia pomieszczenia światłem dziennym. Potwierdzają to zarówno dane w Tabeli 2 jak i mapy Rozkładu światła dziennego na rys. 7a ÷ 7c. Przedstawione tam mapy przebiegu rozkładu światła dziennego dla szkła bezbarwnego przeziernego i matowego dla czystego nieboskłonu pokazują wyraźnie gładze przebiegi rozkładu dla próbki matowej, w każdej godzinie dnia, szczególnie na początku i końcu (rys.7a i rys.7c) dnia widać zdecydowanie mniejszą nierównomierność w stosunku do szkła przeziernego.

W przypadku dnia o zachmurzonym nieboskłonie, porównując dane z Tabeli 3, można zauważyć, że zastosowanie szkła matowego nie powoduje praktycznie żadnych zmian jeśli chodzi o równomierność natężenia światła dziennego. Średnie wartości równomierności wynoszą dla szkła przeziernego 0,50 i dla matowego również 0,50. Wiąże się to z tym, że w dniu zachmurzonym, funkcję rozpraszania promieniowania słonecznego przejmują chmury i do powierzchni okna dociera praktycznie tylko promieniowanie rozproszone i w znikomej ilości promieniowanie bezpośrednie, które już tylko w nieznacznym stopniu może ulec dalszemu rozproszeniu. Potwierdzeniem tego są mapy rozkładu światła dziennego dla szkła bezbarwnego przeziernego i matowego przedstawione na rys. 8a ÷ 8c

Tabela 3. Równomierność natężenia światła dziennego w modelu – nieboskłon zachmurzony

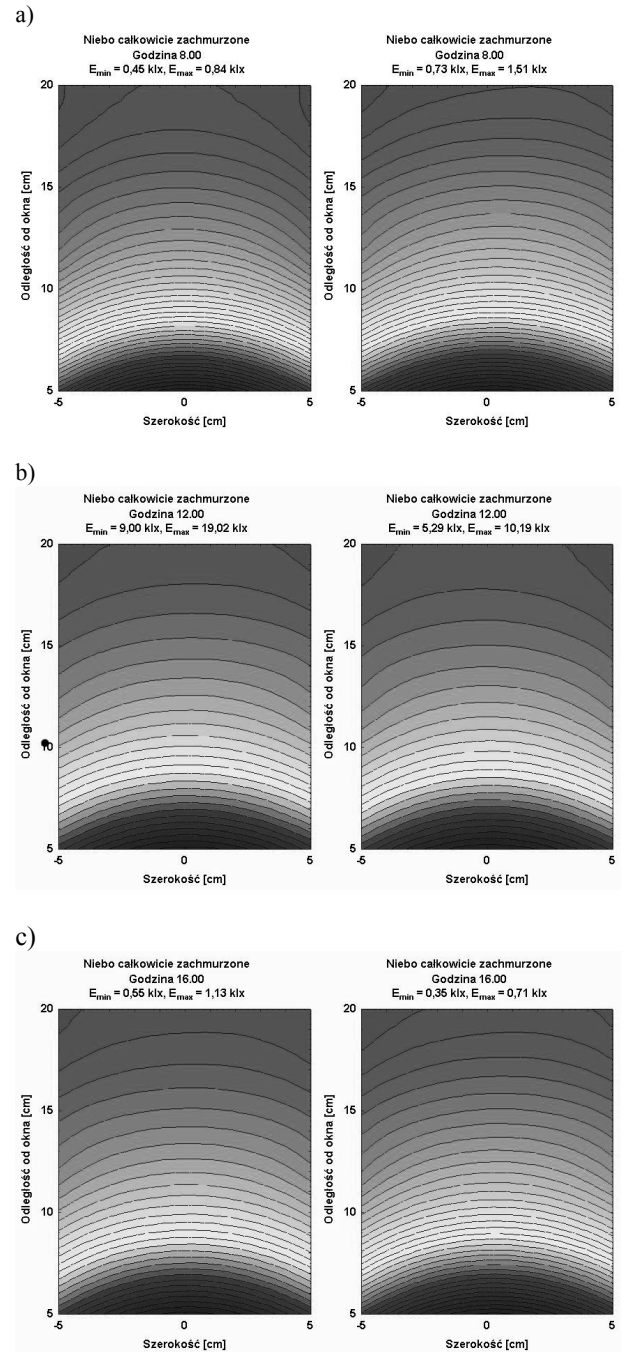
Table 3. Daylight illuminance steadiness in the room model – overcast sky conditions

| Lp. | $r = E_{min}/E_{sr}$ | | | | |
|-----|----------------------|------|------|------|------|
| | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 1 | 0,51 | 0,47 | 0,50 | 0,48 | 0,49 |
| 2 | 0,53 | 0,52 | 0,47 | 0,45 | 0,49 |
| 3 | 0,51 | 0,49 | 0,50 | 0,47 | 0,48 |
| 4 | 0,50 | 0,51 | 0,47 | 0,48 | 0,49 |
| 5 | 0,52 | 0,50 | 0,43 | 0,48 | 0,49 |
| 6 | 0,52 | 0,52 | 0,47 | 0,50 | 0,52 |
| 7 | 0,55 | 0,55 | 0,48 | 0,51 | 0,53 |
| 8 | 0,52 | 0,52 | 0,46 | 0,50 | 0,50 |
| 9 | 0,48 | 0,51 | 0,52 | 0,50 | 0,49 |



Rys. 7. Rozkład natężenia światła dziennego na płaszczyznę pionową dla próbki szkła bezbarwnego, przezroczystego (po lewej) i matowego (po prawej) dla czystego nieboskłonu: a) godz. 9, b) godz. 12, c) godz. 15

Fig. 7. Daylight illuminance distribution on vertical plane for uncoloured, transparent (left) and opaque glazing (right) for clear sky conditions: a) at 9am, b) at 12, c) at 3pm



Rys. 8. Rozkład natężenia światła dziennego na płaszczyznę pionową dla próbki szkła bezbarwnego, przezroczystego (po lewej) i matowego (po prawej) dla zachmurzonego nieboskłonu: a) godz. 8, b) godz. 12, c) godz. 16

Fig. 8. Daylight illuminance distribution on vertical plane for uncoloured, transparent (left) and opaque glazing (right) for overcast sky conditions: a) at 8am, b) at 12, c) at 4 pm

5. PODSUMOWANIE

Przedstawiony materiał w oczywisty sposób nie wyczerpuje tematu, który jest rozległy i wymaga spojrzenia z różnych punktów widzenia a uzyskane rozwiązania zawsze będą swego rodzaju kompromisem. Zaprezentowane wyniki pozwalają na zauważenie pewnych istotnych zależności w zakresie tematyki związanej z komfortem wizualnym, a także szerzej w aspekcie oszczędności energii.

Zmiana rodzaju szkła przeziernego użytego w przeszkleniu, w danych warunkach nasłonecznienia nie powoduje zmiany rozkładu natężenia światła, a jedynie zmianę osiąganych wartości natężenia proporcjonalnie do wartości współczynnika LT.

Znając natężenie światła w danym pomieszczeniu, w danych warunkach nasłonecznienia i przy znanym współczynniku LT dla zastosowanego zestawu szyb, można za pomocą podanych zależności wyznaczyć przybliżone wartości natężenia światła dla dowolnego zestawu szyb przeziernych o innej wartości współczynnika LT jakie będą docierać do obserwatora siedzącego w pomieszczeniu.

Im większa odległość obserwatora od okna, tym mniej światła dziennego do niego dociera. Zarówno zbyt duże natężenie światła jak i zbyt małe powoduje dyskomfort wzrokowy.

Zastosowanie szkła matowego może wynikać z nie tylko z potrzeby uzyskania prywatności w danym pomieszczeniu, ale również jak pokazują wyniki analiz może być bardzo przydatne przy rozpraszaniu promieniowania słonecznego tak, aby uzyskać większą równomierność oświetlenia wnętrza światłem dziennym. Większa równomierność jest związana z niższymi wartościami natężenia w małej odległości od okna oraz większymi w części dalej położonej w porównaniu do szyb przeziernych.

Efekty stosowania szkła matowego, w ramach poprawy równomierności natężenia światła dziennego w pomieszczeniu są zauważalne przede wszystkim w dni o czystym niebie – w dni o dużym lub całkowitym zachmurzeniu różnica między szkłem przeziernym oraz matowym jest pomijalna.

Należy również pamiętać o regularnym czyszczeniu powierzchni okien, gdyż zanieczyszczenia wskutek osiadania drobinek pyłu powodują wyraźny spadek przezierności szyby, a co wiąże się z mniejszą ilością światła dziennego [3]

Wybór zestawu szyb o określonych charakterystykach radiacyjnych powinien być uzasadniony zarówno ekonomicznie, architektonicznie jak i też zapewniać racjonalne zużycie energii oraz odpowiedni komfort wizualny użytkownikom budynku. Odpowiednie analizy dotyczące zużycia energii na cele grzewcze i klimatyzacyjne budynku przy wybranym rodzaju oszklenia [4] powinny iść razem w parze z dostarczeniem odpowiedniej ilości światła dziennego. Zagadnienia światła dziennego muszą jednak być rozpatrywane zarówno pod względem wykorzystania natu-

ralnego doświetlenia wnętrza jak i zabezpieczenia przed niepożądanymi zjawiskami powodującymi dyskomfort wzrokowy. Nawet stosując optymalne rozwiązania dla danego układu i lokalizacji pomieszczenia, nie jesteśmy w stanie zupełnie zrezygnować z oświetlenia sztucznego, a jedynie je wspomóc na tyle, na ile jest to możliwe i uzasadnione ekonomicznie.

MEASUREMENTS OF GLAZING TYPE INFLUENCE ON DAYLIGHT DISTRIBUTION IN THE BUILDING ROOM

Summary: The influence of glazing types on daylight distribution in function of window distance is presented in the paper. shown The correlation between Light Transmittance coefficient and daylight distribution in the room The daylight measurements in the room model for were carried for 8 various types of glazing in different solar irradiation conditions.

Literatura

- [1] Cheng C.L., Chen, C.L., Chou, C.P., Chan, C.Y., A mini-scale modeling approach to natural daylight utilization in building design, *Building and Environment* 42, s.372-384, 2007,
- [2] Li D.H.W., Cheung G.H.W., Lau C.C.S., A simplified procedure for determining indoor daylight illuminance using daylight coefficient concept, *Building and Environment* 41, s.578-589, 2006,
- [3] Nowak Ł., Nowak H., Wpływ zabrudzenia powierzchni przegrody przezroczystej na jej właściwości radiacyjne, X Międzynarodowe Sympozjum Naukowo-Techniczne ENERGODOM 2010, 13-15 Września 2010, Kraków, s.153-162,
- [4] Nowak Ł., Nowak H., Wpływ wybranych charakterystyk przegrody przeszkłonej na bilans cieplny pomieszczenia biurowego, *Energia i Budynek* Wydanie Specjalne Nr 11(31), s. 21-25, Wydawnictwo ZAE 2009,
- [5] PN-EN 410: 2001, Szkło w budownictwie. Określanie świetlnych i słonecznych właściwości oszklenia
- [6] Praca zbiorowa p. red. P. Klemma: *Budownictwo ogólne*, Tom 2: *Fizyka Budowli*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2005,
- [7] Sharples S., Stewart L., Tragenza P.R., Glazing daylight transmittances: a field survey of windows in urban areas, *Building and Environment* 36, s.503-509, 2001