

Wojciech Filip MACIEJEWSKI¹

ZASTOSOWANIE TECHNOLOGII WIRTUALNEJ RZECZYWISTOŚCI W BADANIACH WPŁYWU DYSTRYBUCJI OŚWIETLENIA ELEKTRYCZNEGO NA POSTRZEGANE BEZPIECZEŃSTWO

Obraz przestrzeni publicznych po zapadnięciu zmroku jest w dużej mierze uzależniony od rodzaju zastosowanego oświetlenia elektrycznego. Przygotowanie dobrego projektu takiego oświetlenia to złożony proces, który wymaga rozpatrzenia wielu czynników. Instalację oświetlenia można scharakteryzować nie tylko poprzez parametry światła, zużycie energii elektrycznej i ekonomię zastosowanych rozwiązań, ale także w kryteriach ekologicznych i społecznych [1]. Oświetlenie elektryczne ma bezpośredni wpływ na środowisko naturalne i zachowanie człowieka. Stąd opracowany projekt powinien być kompleksowy i zakładać efektywność energetyczną, ograniczenie kosztów utrzymania i obsługi, zwiększenie poczucia bezpieczeństwa użytkowników przestrzeni, ograniczenie występowania efektu olśnienia, zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska naturalnego światłem, polepszenie estetyki miejsca, wsparcie rozwoju ekonomicznego obszaru... [2]. Z tego powodu, stworzenie odpowiedniego projektu oświetlenia stanowi niemałe wyzwanie.

Niestety, w wielu przypadkach projektanci oświetlenia nie wykazują tak holistycznego podejścia i ograniczają się do rozpatrzenia tylko kilku wybranych aspektów [3]. Skupiają się przede wszystkim na zmniejszeniu zużycia energii elektrycznej, ponieważ koszt oświetlenia dróg i przestrzeni publicznych stanowi istotną część budżetu miasta. W Europie, takie oświetlenie publiczne odpowiada aż za 60% wydatków przeznaczanych przez władze na energię elektryczną [4]. Inne badania pokazują, że ten typ oświetlenia wykorzystuje aż 2.3% energii w skali globu [5]. Co więcej, duża część istniejących instalacji oświetlenia jest przestarzała i nieekonomiczna. W samej Europie 75% instalacji jest starszych niż 25 lat [4]. Chociaż ograniczenie kosztów utrzymania i zużycia energii jest istotnym elementem projektu, to wspomniane aspekty są przynajmniej równie ważne. Niestety, w porównaniu do określenia kosztów instalacji i jej utrzymania, są dużo trudniejsze w świetle ujęcia ilościowego. Celem prowadzonych przeze mnie badań jest określenie ilościowe związku parametrów oświetlenia elektrycznego przestrzeni publicznych z poczuciem bezpieczeństwa człowieka.

¹ Instytut Projektowania Budowlanego, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki; ul. Podchorążych 1, 30-084 Kraków; research@wojciechmaciejewski.pl

1.1. Oświetlenie i bezpieczeństwo

W dotychczas przeprowadzonych badaniach wykazano, że poprawa parametrów oświetlenia ulicznego znacznie redukuje liczbę wypadków drogowych [6]. Obniża także liczbę popełnianych przestępstw [7]. Ponieważ we wcześniejszej części tekstu rozpatrywano aspekt ekonomiczny, warto zwrócić uwagę na fakt, że oszczędności płynące ze zmniejszonej liczby przestępstw mogą nawet przekraczać koszt modernizacji instalacji oświetlenia elektrycznego [8]. Tym nie mniej, oświetlenie elektryczne ma wpływ na zwiększenie poczucia bezpieczeństwa [9] i zwiększa liczbę pieszych na drogach po zapadnięciu zmroku [10]. Wpływ światła na zachowanie człowieka można też rozpatrywać z innego punktu widzenia. Jak wykazali Zhong, Bohns i Gino ciemność zwiększa występowanie u człowieka zachowań fałszywych i samolubnych [11]. Ostatecznie związek pomiędzy oświetleniem i odczuwanym bezpieczeństwem jest intuicyjny, ale sposób jego działania jest właściwie nieznan i trudny do ujęcia liczbowego.

W moich badaniach skupiam się na postrzeganym poczuciu bezpieczeństwa, które definiowane jest jako bezpośrednie poczucie bezpieczeństwa i brak lęku przed staniem się ofiarą przestępstwa [12]. Badania przedstawione w niniejszym tekście są bezpośrednio inspirowane artykułem pt. *Dystrybucja oświetlenia w dynamicznym oświetleniu drogowym: Dwa eksperymentalne badania na temat wpływu dystrybucji oświetlenia na postrzegane bezpieczeństwo, perspektywę, ukrycie i ucieczkę* (tłum. własne, oryginalny tytuł angielski: *Light distribution in dynamic street lighting: Two experimental studies on its effects on perceived safety, prospect, concealment, and escape*), opracowanym przez Antala Haansa i Yvonne A. W. de Kort z Uniwersytetu Technologicznego w Eindhoven [12]. W dwóch przeprowadzonych eksperymentach naukowcy eksplorują temat wpływu dystrybucji światła elektrycznego na postrzegane bezpieczeństwo osobiste. Obok uzyskania intrygujących wyników i wysunięcia istotnych wniosków, badacze w szczegółowy sposób przedstawili wykorzystane stanowisko badawcze i zastosowaną aparaturę. Przeprowadzili dwa eksperymenty na stanowisku służącym do testów oświetlenia drogowego, znajdującym się na terenie Uniwersytetu Technologicznego w Eindhoven. Na to imponujące skalą stanowisko składa się blisko 300 metrowy odcinek ulicy De Zalle, która jest jedną z głównych arterii komunikacyjnych kampusu.

Stanowisko testowe o takiej skali sprawia, że powtórzenie przeprowadzonych eksperymentów w innym miejscu stanowi duże wyzwanie logistyczne. Warto też wziąć pod uwagę ograniczenia oraz czynniki zewnętrzne, które wiążą się z wykorzystaniem takiego stanowiska. Po pierwsze, eksperymenty muszą być przeprowadzane dopiero po zapadnięciu zmroku. Z tego powodu w ciągu jednego wieczora w eksperymencie może wziąć udział ograniczona liczba uczestników. Dodatkowo, percepcja człowieka w czasie nocy podlega istotnym zmianom. Z tego powodu badania muszą odbywać się na przestrzeni kilku dni, co owocuje wystąpieniem kolejnych zmiennych takich jak warunki atmosferyczne i natężenie ruchu drogowego. Co więcej, liczba parametrów oświetleniowych, która znajduje się pod kontrolą jest ograniczona do możliwości zainstalowanych opraw oraz ich rozmieszczenia.

Zmiana parametrów objętych badaniami wymaga wymiany źródła światła lub przeniesienia oprawy. Pojawia się zatem pytanie: w jaki sposób przezwyciężyć te ograniczenia?

W celu rozwiązania tej kwestii, w moich badaniach wykorzystuję technologię wirtualnej rzeczywistości. Wirtualna rzeczywistość jest realistyczną symulacją w trójwymiarowym środowisku stworzonym przy użyciu interaktywnego oprogramowania i specjalistycznego sprzętu. Pozwala na tworzenie środowisk zbliżonych to świata realnego, a co za i tym idzie może stanowić rozwiązanie dla wspomnianych ograniczeń. Rzeczywistości wirtualne odwołują się doświadczeń zmysłowych i mogą stymulować wzrok, dotyk, słuch, a w niektórych przypadkach nawet zapach. Są przedstawiane na ekranie komputera lub projektora, albo poprzez użycie hełmu wirtualnej rzeczywistości. W chwili obecnej wykorzystanie hełmu i manipulatorów trzymanyh w dłoniach, pozwalających na kontrolowanie środowiska wirtualnego poprzez ruch ciała użytkownika, należy do najbardziej realistycznych odwzorowań.

1.2. Cele badawcze

Głównym celem badawczym jest sprawdzenie czy technologia wirtualnej rzeczywistości może być wykorzystana do badań nad związkiem pomiędzy parametrami oświetlenia elektrycznego i postrzeganym bezpieczeństwem osobistym. Z tego powodu ujęcie liczbowe relacji pomiędzy dystrybucją oświetlenia elektrycznego i postrzeganym bezpieczeństwem osobistym traktuję drugoplanowo na obecnym etapie prac. Jeżeli technologia wirtualnej rzeczywistości okaże się efektywna w tym przypadku, opracowana metoda będzie przydatna nie tylko do określenia liczbowego wspomnianego związku. Będzie mogła być wykorzystana do określenia wpływu innych parametrów oświetlenia na postrzegane bezpieczeństwo osobiste, co z kolei pozwoli na lepsze zrozumienie tej relacji i stworzy podstawy dla opracowania wytycznych projektowych. Co więcej, opracowana metoda może okazać się przydatna do zrozumienia wpływu oświetlenia elektrycznego na percepcję człowieka i związanych z nią umiejętności orientacji w przestrzeni i unikania przeszkód, a także w innych badaniach w zakresie architektury i planowania przestrzennego.

2. Metoda zastosowania technologii wirtualnej rzeczywistości do badań

Przeprowadzone badanie jest próbą odtworzenia w wirtualnej rzeczywistości jednego z przytoczonych wcześniej eksperymentów Haansa i de Kort. Z tego powodu niektóre części zastosowanej metody mogą w bezpośredni sposób odnosić się do opracowanych przez nich eksperymentów.

2.1. Uczestnicy

W eksperymencie wzięło udział dwadzieścia osób, z czego jednaście (55%) stanowiły kobiety. Uczestnicy byli w wieku od dwudziestu czterech do trzydziestu trzech lat. Średnia wieku uczestników wyniosła 28.2 z odchyleniem standardowym wynoszącym $\sigma = 2.745$. Żaden z uczestników nigdy nie brał udziału w tego typu badaniach i nie korzystał wcześniej z technologii wirtualnej rzeczywistości.

2.2. Urządzenia

W czasie trwania eksperymentu wirtualna scena testowa była prezentowana uczestnikom przy pomocy zestawu wirtualnej rzeczywistości *HTC Vive*. Zestaw został wyprodukowany przez firmę HTC i wykorzystuje technologię opracowaną przez Valve Corporation. Zestaw (rys. 1) składa się z hełmu, dwóch kontrolerów trzymany w dłoniach, dwóch laserowych stacji bazowych oraz urządzenia łączącego hełm z komputerem (tzw. *link box*).



Rys. 1. Zdjęcie przedstawiające główne elementy zestawu wirtualnej rzeczywistości *HTC Vive*.

Od lewej: stacja bazowa, hełm, kontroler, link box

Fig. 1. Picture showing the main components of the virtual reality set *HTC Vive*. From left to right: base station, helmet, handheld controller, link box

Źródło: Opracowanie własne

Urządzenie pozwala na zastosowanie techniki *room scale virtual reality*, która umożliwia wykorzystanie istniejącej przestrzeni dla ruchu użytkownika w wirtualnej rzeczywistości. Przestrzeń ta została nazwana przez producenta jako *powierzchnia gry* (ang. *play area*, tłum. własne), a jej minimalne wymiary wynoszą 2 na 1.5 metra. Takie rozwiązanie pozwala na naturalną nawigację w środowisku wirtualnym, co w porównaniu do stacjonarnych sposobów użycia hełmów (tj. w pozycji stojącej lub siedzącej), lepiej odwzorowuje ruch w przestrzeni wirtualnej i ma pozytywny wpływ na odczucie realizmu sceny przez użytkownika. W celu uzyskania takiego efektu urządzenie zostało wyposażone w ponad 70 czujników, w których skład wchodzi fotokomórki, akcelerometry, żyroskopy MEMS i laserowy system pozycjonowania oparty o dwie stacje bazowe. Stacje bazowe są emiterami niewidzialnego dla człowieka promieniowania podczerwonego, które oddziałując na fotokomórki znajdujące się na hełmie i kontrolerach, pozwala na określenie lokalizacji tych ostatnich w przestrzeni. Każda ze stacji posiada kąt widzenia wynoszący 120 stopni. W czasie użytkowania hełm i kontrolery powinny znajdować się w odległości od pół do pięciu metrów od danej stacji bazowej.

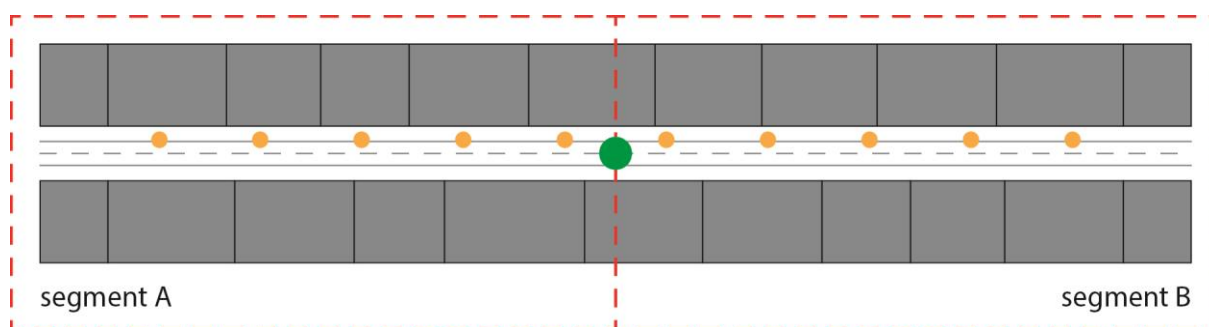
Hełm wirtualnej rzeczywistości stanowi okno na generowane środowisko wirtualne. Jest wyposażony w dwa miniaturowe wyświetlacze, po jednym dla każdego oka, o częstotliwości odświeżania równej 90 Hz. Każdy z wyświetlaczy posiada rozdzielczość wynoszącą 1080x1200 pikseli, dając w sumie rozdzielczość 2160x1200 pikseli i proporcje obrazu w stosunku 9:5.

2.3. Stanowisko badawcze

Eksperyment został przeprowadzony w pustym pomieszczeniu o kwadratowym rzucie i wymiarach 4.5 na 4.5 metra. Stacje bazowe urządzenia wirtualnej rzeczywistości zostały rozmieszczone zgodnie z instrukcją producenta tj. w przeciwnych narożnikach pomieszczenia powyżej wysokości głowy. W celu ograniczenia drgań, które mogą wpłynąć na poprawne działanie stacji bazowych, stacje zostały zamontowane na statywach wykorzystując standardowy montaż 1/4 – 20 UNC. Odległość pomiędzy stacjami bazowymi wynosiła 5 metrów, co jest maksymalną obsługiwaną odległością. Stacje bazowe zostały ustawione 40 stopni względem płaszczyzny poziomej i skierowane frontem do centrum pomieszczenia. Wszystkie urządzenia wykorzystujące podczerwień (m. in. piloty telewizyjne) zostały usunięte z pomieszczenia, ponieważ mogły mieć wpływ na poprawne działanie aparatury. W kolejnym kroku hełm podłączono do komputera stacjonarnego przy pomocy urządzenia *link box*, a stacje bazowe zostały zsynchronizowane bezprzewodowo. Wymiary wspomnianej wcześniej powierzchni gry wynosiły 3.5 na 3.5 metra dając powierzchnię 12.25 metra kwadratowego.

2.4. Wirtualna scena testowa

Wirtualna scena prezentowana uczestnikom eksperymentu przedstawiała średniej szerokości ulicę śródmiejską ograniczoną budynkami po obu jej stronach. Nie stanowiła odwzorowania żadnej realnej lokalizacji. Jednakże, w celu podniesienia realizmu wirtualnej sceny testowej za podstawę do wykonania modelu posłużyła dokumentacja fotograficzna i inwentaryzacja elewacji istniejących obiektów zlokalizowanych przy ulicy Garbary w Poznaniu. Budynki znajdujące się przy tej ulicy to głównie trzy i czterokondygnacyjne kamienice w nurcie historyzmu lub stylu secesyjnym z okresu końca XIX i początku XX wieku. Charakteryzują się bogatym detalem architektonicznym. Wirtualna ulica miała 300 metrów długości i 16 metrów szerokości. Zawierała dwa pasy ruchu, a po obu stronach drogi znajdowały się chodniki wyposażone w małą architekturę w postaci ławek, donic, kwietników i śmietników. Źródła światła zostały umieszczone na słupach oświetleniowych o wysokości 10 metrów. Słupy znajdowały się po jednej stronie jezdni w odległości 30 metrów od siebie (rys. 2).



Rys. 2. Schematyczny rzut wirtualnej sceny testowej. Scena została podzielona na dwa segmenty, przedstawione za pomocą czerwonej przerywanej linii. Zielony okrąg przedstawia lokalizację uczestnika eksperymentu. Żółte okręgi przedstawiają źródła światła. Szare prostokąty przedstawiają budynki

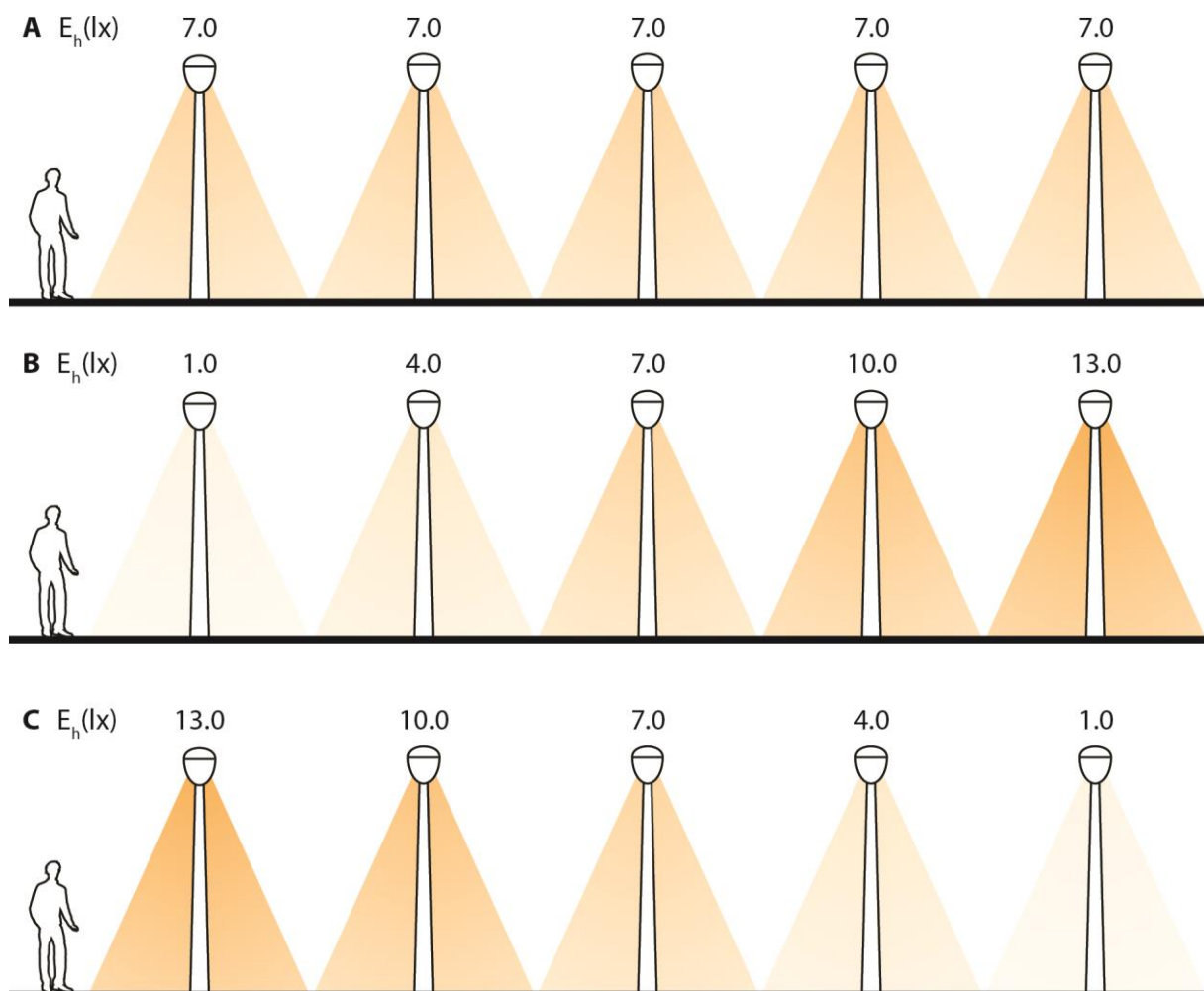
Fig. 2. Schematic view of the virtual test site. The scene was bisected into two segments, represented by the red dashed line. Green circle shows the location of the participant. The yellow circles represent light sources. The gray rectangles represent the buildings

Źródło: Opracowanie własne

Na potrzeby eksperymentu scena została przedzielona w połowie na segmenty A i B. Każdy z segmentów miał 150 metrów długości i zawierał 5 słupów oświetleniowych. Geometria obu segmentów była zbliżona do siebie, aby uniknąć jej wpływu na wyniki prowadzonych badań. Poza wspomnianymi źródłami światła w modelu wprowadzono źródło imitujące światło nieboskłonu o jasności 0.1 lx.

Podobnie jak w przypadku badań Haansa i de Kort na potrzeby eksperymentu opracowano trzy scenariusze oświetlenia: konwencjonalne, wznoszące i opadające. Oświetlenie konwencjonalne to typowe rozwiązanie spotykane w oświetleniu drogowym, w którym każde źródło emituje taką samą ilość światła (rys. 3A). Poziom natężenia oświetlenia mierzony bezpośrednio na powierzchni ulicy pod danym źródłem światła przyjęto na poziomie

$E_h = 7.0$ lx. W pozostałych dwóch scenariuszach wykorzystana została ta sama ilość oświetlenia, ale zmieniono jego dystrybucję. W przypadku oświetlenia wznoszącego ilość oświetlenia w pobliżu uczestnika została ograniczona do minimum na rzecz coraz bardziej intensywnego oświetlenia drogi w dalszej perspektywie (rys. 3B). Najbliższa uczestnika oprawa oświetlała drogę na poziomie 1.0 lx, następnymi kolejno 4.0 lx, 7.0 lx, 10.0 lx, aż do 13.0 lx dla źródła światła przy słupie oświetleniowym najbardziej oddalonym od uczestnika. Scenariusz oświetlenia opadającego został zaplanowany w odwrotnym układzie, tzn. oświetlenie było intensywniejsze w pobliżu uczestnika i stopniowo redukowane z każdym następnym słupem oświetleniowym (rys. 3C). Wartości natężenia oświetlenia pozostały bez zmian i wynosiły 13.0 lx dla najbliższego źródła światła i kolejno 10.0 lx, 7.0 lx, 4.0 lx i 1.0 lx dla następnych.



Rys. 3. Scenariusze dystrybucji oświetlenia: konwencjonalnego (A), wznoszącego (B), opadającego (C). E_h (lx) to poziome natężenie oświetlenia ustalony na powierzchni ulicy pod danym źródłem światła

Fig. 3. The conventional (A), ascending (B) and descending (C) light distribution scenarios.

E_h (lx) is the horizontal illuminance level underneath the lamppost

Źródło: Opracowanie własne w oparciu o badania A. Haansa i Y. A. W. de Kort [12]

Wirtualna scena testowa została przygotowana w oprogramowaniu Blender w wersji 2.77. Jest to profesjonalne oprogramowanie komputerowe, udostępniane za darmo na licencji open-source. Jest wykorzystywane do tworzenia modeli trójwymiarowych, animacji komputerowych, gier wideo i innych tym podobnych zadań. Model został przystosowany do wyświetlania w środowisku wirtualnej rzeczywistości i przedstawiony uczestnikom przy pomocy rozszerzenia *Virtual Reality Viewport*. To rozszerzenie programu Blender jest niekomercyjnym projektem rozwijanym przez Williama Culvera. Pozwala na prezentowanie trójwymiarowych modeli w urządzeniu Vive. Z wyjątkiem kilku przypadków, w których rozszerzenie przestawało reagować na działania operatora, oprogramowanie pracowało stabilnie. Wspomniane zatrzymania nie miały wpływu na wyniki przeprowadzonego eksperymentu.

2.5. Procedura eksperymentu

W każdej sesji eksperymentu brała udział jedna osoba. Jak wspomniano wcześniej, żaden z uczestników nigdy nie korzystał z hełmu wirtualnej rzeczywistości. Z tego powodu przed rozpoczęciem sesji każdy uczestnik został wprowadzony w zasady działania hełmu i kontrolerów. Następnie pomagano mu ubrać hełm i ustawić się w środku obszaru roboczego. W celu lepszego zrozumienia funkcji i sposobu orientacji w wirtualnej przestrzeni, przed uruchomieniem sceny testowej uczestnikom przez ok. 5 minut prezentowano oprogramowanie *theBlu: Whale Encounter*, które zaliczane jest do jednych z najbardziej immersyjnych aplikacji wirtualnej rzeczywistości. Po tym krótkim wprowadzeniu, uczestnik był przenoszony do wirtualnej sceny eksperymentu.

Podczas eksperymentu uczestnik znajdował się w centrum sceny testowej w linii rozgraniczającej segmenty (rys. 1). Eksperyment składał się z jednego etapu, który odwołuje się do pierwszej fazy pierwszego eksperymentu opisywanego przez A. Haansa i Y. A. W. de Kort. Eksperyment polegał na porównaniu par scenariuszy oświetlenia różniących się od siebie dystrybucją oświetlenia. W przypadku niniejszego badania uczestnikowi prezentowano jeden z trzech scenariuszy oświetlenia w segmencie A i jeden z pozostałych dwóch scenariuszy w segmencie B, dając w sumie sześć możliwych par. Zadaniem uczestnika był wybór segmentu, który w świetle jego poczucia bezpieczeństwa preferował bardziej. Każdemu z uczestników przedstawiono sześć różnych par, prezentowanych w różnej kolejności.

2.6. Pomiar

Postrzegane bezpieczeństwo osobiste zostało określone jako preferencja wyboru jednego z prezentowanych scenariuszy, czyli segmentu A lub B wirtualnej sceny testowej. W czasie prezentowania każdej pary scenariuszy, uczestnik był proszony o określenie, w którym kierunku by się skierował. Wybrany przez uczestnika scenariusz otrzymywał jeden punkt. Po zakończeniu eksperymentu, uczestnik oceniał także realizm wirtualnej sceny w skali od 1 (zupełny brak odwzorowania rzeczywistości) do 10 (doświadczenie jest porównywalne do świata realnego).

3. Wyniki eksperymentu i wnioski

Wyniki przeprowadzonego eksperymentu zostały przedstawione w tabelach 1 i 2. Zauważono, że zróżnicowanie geometrii poszczególnych segmentów nie miało wpływu na odpowiedzi uczestników. Z tego powodu wyniki dla tych samych par scenariuszy zostały zsumowane. Dzięki temu rozpatrzeniu poddano trzy następujące przypadki: zestawienie scenariusza oświetlenia konwencjonalnego z wznoszącym, zestawienie oświetlenia konwencjonalnego z opadającym oraz zestawienie oświetlenia wznoszącego z opadającym.

Tabela 1

Wyniki punktowe i udział procentowy preferencji wyboru dystrybucji oświetlenia w parach porównywanych scenariuszy.

lp. pary	scenariusz oświetlenia	wynik (pkt)	wynik (%)
1	ośw. konwencjonalne	27	67.5
	ośw. wznoszące	13	32.5
2	ośw. konwencjonalne	18	45.0
	ośw. opadające	22	55.0
3	ośw. wznoszące	7	17.5
	ośw. opadające	33	82.5

Źródło: Opracowanie własne.

Wyniki pokazują, że sposób dystrybucji oświetlenia miał wpływ na wybór kierunku, w którym potencjalnie skierowałyby się uczestnik badań, a tym samym na postrzegane bezpieczeństwo osobiste. Szczególnie preferowanym scenariuszem (z wynikiem 55 punktów na 120 możliwych, por. tabela 2) było oświetlenie opadające, które zakładało zwiększenie natężenia oświetlenia w pobliżu uczestnika kosztem obniżenia tej wartości na dalszej perspektywie drogi. Wybór ten jest szczególnie widoczny w przypadku zestawienia tego typu dystrybucji z oświetleniem wznoszącym (33 do 7 punktów, por. tabela 1). Drugim w kolejności preferencji scenariuszem było oświetlenie konwencjonalne. Najmniejszą liczbę punktów otrzymał scenariusz zakładający wznoszący sposób dystrybucji oświetlenia. Na podstawie otrzymanych wyników można założyć, że oświetlenie przestrzeni znajdującej się w bezpośrednim sąsiedztwie przechodnia jest dla niego bardziej istotne w świetle postrzeganego bezpieczeństwa osobistego, niż równomierne oświetlenie całego odcinka drogi lub tylko jej dalszego odcinka.

Tabela 2

Sumaryczna ilość punktów uzyskanych przez poszczególne scenariusze oświetlenia w skali całego eksperymentu

lp.	scenariusz oświetlenia	wynik (pkt)	wynik (%)
1	ośw. konwencjonalne	45	37.5
2	ośw. wznoszące	20	16.7
3	ośw. opadające	55	45.8

Źródło: Opracowanie własne.

Realizm wirtualnej sceny testowej został oceniony na poziomie 4.75 punktu, z odchyleniem standardowym wynoszącym $\sigma = 1.118$. Pomimo tego przeciętnego rezultatu, otrzymane przez mnie wyniki są zgodne z wynikami eksperymentu przeprowadzonego przez Antala Haansa i Yvonne A. W. de Kort z Uniwersytetu Technologicznego w Eindhoven. Zgodność ta potwierdza możliwość efektywnego wykorzystania technologii wirtualnej rzeczywistości do badań nad związkiem pomiędzy parametrami oświetlenia elektrycznego i postrzeganym bezpieczeństwem osobistym. Technologia ta pozwoliła na stworzenie ekonomicznego stanowiska badawczego, w którym można kontrolować poszczególne parametry oświetlenia i odseparować uczestnika od czynników zewnętrznych.

Chociaż potrzebne są dalsze prace w celu poprawy realizmu przedstawianych scen testowych, już na obecnym etapie rozwoju opracowana metoda okazała się przydatnym narzędziem badawczym. Wyniki niniejszego i przyszłych eksperymentów mogą zaowocować lepszym zrozumieniem związku pomiędzy oświetleniem, a poczuciem bezpieczeństwa człowieka. Mogą także stać się podstawą do opracowania wytycznych dla projektów oświetlenia. Co więcej, metoda może okazać się przydatna w pracach badawczych nad wpływem oświetlenia elektrycznego na percepcję człowieka, jak również w innych badaniach z dziedziny architektury i urbanistyki.

4. Podziękowania

Badania opisane w niniejszym tekście zostały sporządzone w Instytucie Projektowania Budowlanego na Wydziale Architektury Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki. Stanowią one część projektu badawczego skupionego na określeniu liczbowym wpływu oświetlenia elektrycznego przestrzeni publicznych na postrzegane bezpieczeństwo osobiste. Pragnę podziękować prof. dr hab. Wacławowi Celadynowi za opiekę naukową i wsparcie merytoryczne. Dziękuję Ministerstwu Nauki i Szkolnictwa Wyższego za udzielone wsparcie finansowe.

BIBLIOGRAFIA

1. Maciejewski W. F.: Aspekty ekonomiczne, ekologiczne i społeczne w projektowaniu oświetlenia elektrycznego dla przestrzeni publicznych. [w:] Zagadnienia aktualnie poruszane przez młodych naukowców 5, red. M. Kuczera, K. Piech. Creativetime, Kraków 2016, s. 585 – 587.
2. NYSERDA: How-to guide to effective energy-efficient street lighting for planners and engineers. New York State Energy Research and Development Authority, Nowy Jork 2002.
3. Kostic M., Djokic L.: Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting. *Energy*, vol. 34, 2009, s. 1565 – 1572.
4. European Commission: Lighting the cities: Accelerating the deployment of innovative lighting in european cities. Publications Office, Luksemburg 2013, s. 8.
5. Lobão J. A., Devezas T. Catalão J.P.S.: Decision support in the investment analysis on efficient and sustainable street lighting. [w:] DoCEIS 2014: 5th Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems IFIP AICT, red. L. M. Camarinha-Matos, N. S. Barrento, R. Mednoca. Springer, Heidelberg 2014, s. 345 – 352.
6. Wanvik P.O.: Effects of road lighting: An analysis based on dutch accident statistics 1987-2006. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 41, 2009, s. 123 – 128.
7. Welsh B. P., Farrington D. C.: Effects of improved street lighting on crime. *Campbell Systematic Reviews* 2008:13.
8. Painter K., Farrington D. P.: The financial benefits of improved street lighting, based on crime reduction. *Lighting Research and Technology*, vol. 33, 2001, s. 3 – 12.
9. Leslie R. P.: A simple cost estimation technique for improving the appearance and security of outdoor lighting installations. *Building and Environment*, vol. 33, 1998, s. 79 – 95.
10. Painter K.: The influence of street lighting improvements on crime, fear and pedestrian street use after dark. *Landscape and Urban Planning*, vol. 35, 1996, s. 193 – 201.
11. Zhong C., Bohns V. K., Gino F.: Good lamps are the best police: Darkness increases dishonesty and self-interested behavior. *Psychological Science*, vol. 21, 2010, s. 311 – 314.
12. Haans A., de Kort Y. A. W.: Light distribution in dynamic street lighting: Two experimental studies and its effects on perceived safety, prospect, concealment, and escape. *Journal of Environmental Psychology*, vol. 32, 2012, s. 342 – 352.

ZASTOSOWANIE TECHNOLOGII WIRTUALNEJ RZECZYWISTOŚCI W BADANIACH WPŁYWU DYSTRYBUCJI OŚWIETLENIA ELEKTRYCZNEGO NA POSTRZEGANE BEZPIECZEŃSTWO

Streszczenie

Wpływ światła na poczucie bezpieczeństwa człowieka jest intuicyjny, jednak określenie ilościowe parametrów oświetlenia elektrycznego stanowi wyzwanie natury badawczej. Głównym problemem jest opracowanie stanowiska badawczego, które umożliwi kontrolę wszystkich parametrów oświetlenia przy uniezależnieniu od czynników zewnętrznych. W celu jego rozwiązania proponuję zastosowanie w badaniach technologii wirtualnej rzeczywistości. Wirtualna rzeczywistość umożliwia tworzenie interaktywnych środowisk odzwierciedlających świat realny oraz symulowanie fizycznej obecności użytkownika. W artykule prezentuję stanowisko badawcze wykorzystujące technologię wirtualnej rzeczywistości na potrzeby analizy wpływu dystrybucji oświetlenia elektrycznego na poczucie bezpieczeństwa użytkowników przestrzeni publicznych. Przedstawiam elementy metody, na którą składają się: opracowanie modelu wirtualnej sceny testowej, wykorzystanie aparatury oraz sposób pracy z uczestnikiem eksperymentu. Metoda pomaga określić ilościowo wpływ parametrów oświetlenia elektrycznego na poczucie bezpieczeństwa człowieka. Pozwoli to na lepsze zrozumienie tej relacji oraz umożliwi opracowanie wytycznych dla projektów oświetlenia. Co więcej, metoda może okazać się przydatna także w badaniach nad wpływem oświetlenia elektrycznego na percepcję człowieka, a także innych badaniach z zakresu architektury i urbanistyki.

APPLICATION OF VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY IN STUDIES ON THE INFLUENCE OF ARTIFICIAL LIGHT DISTRIBUTION ON PERCEIVED PERSONAL SAFETY

Summary

The impact of light on the sense of security is intuitive. However, quantifying this relation is a challenging research problem. The main problem is to create an environment that allows control of the artificial lighting parameters and grants independence from the external factors. In order to solve this problem, I suggest utilizing virtual reality technology in research and experiments. The virtual reality enables creating interactive environments that can reflect the real-world physics and simulate the physical presence of a participant. In this paper I present the test stand that utilizes virtual reality technology in order to analyse the impact of artificial light distribution on perceived personal safety. I describe the specific elements of the developed method, including: development of the virtual test scene, apparatus and experiment procedure. The method assists in quantifying the relation between lighting parameters and perceived personal safety. It may contribute in better understanding of this relationship and lead to development of guidelines for artificial lighting designs. What is more, the method might be useful in research on the influence of artificial lighting on human perception as well as other studies in the field of architecture and urban planning.