

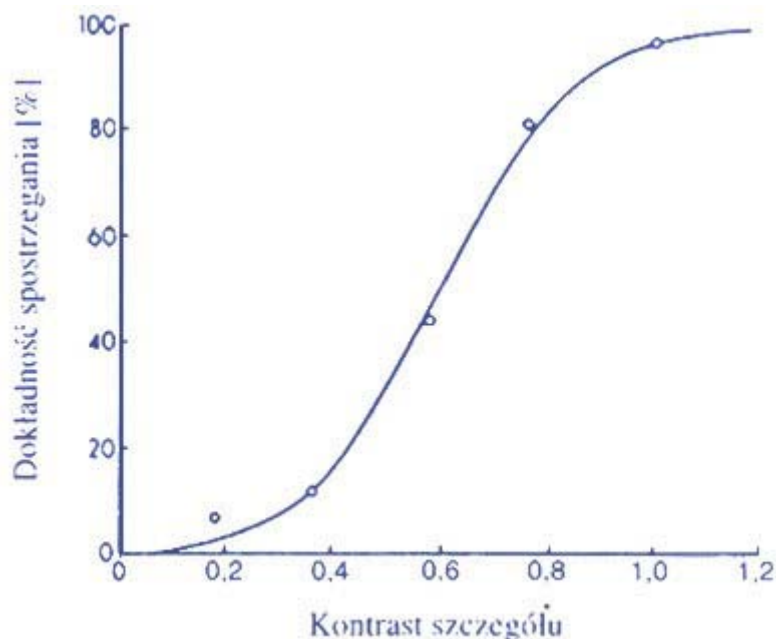
dr inż. AGNIESZKA WOLSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy

ZDOLNOŚĆ WIDZENIA A OŚWIETLENIE

Praca wykonana w ramach Strategicznego Programu Rządowego pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 1995-1998

Rozpoznawanie kontrastu

Wiele przeprowadzonych badań wykazało, że wraz ze wzrostem kontrastu szczegółu zadania wzrokowego do jego tła wzrasta dokładność spostrzegania (w %), określana jako stosunek liczby szczegółów spostrzeżonych do liczby prezentowanych szczegółów wzrokowych (rys.1). Kontrast, przy którym dokładność spostrzegania wynosi 50% nazywa się kontrastem granicznym. Jego wartość zależy od czasu przeznaczanego na obserwację danego szczegółu, wielkości i kształtu szczegółu, luminancji otoczenia oraz właściwości osobniczych danego człowieka.



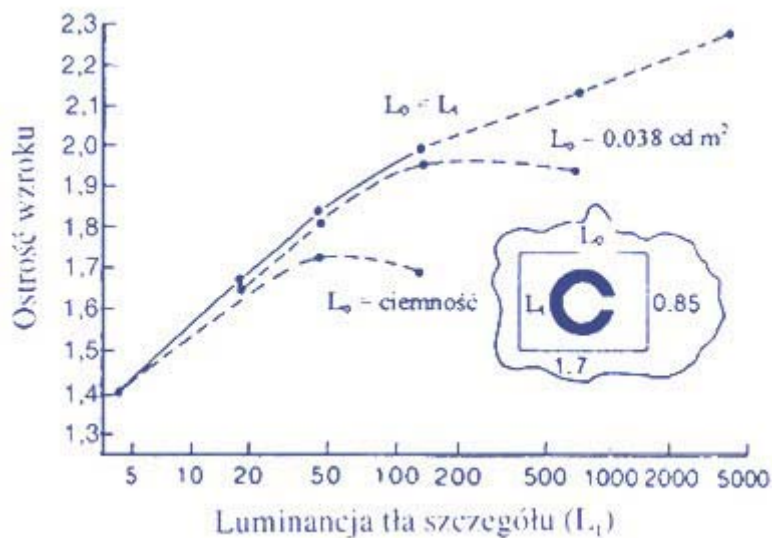
Rys. 1. Dokładność spostrzegania w zależności od kontrastu szczegółu [1]

Ostrość wzroku

Ostrość wzroku może mieć trzy zasadnicze znaczenia. Są to:

- Zdolność rozdzielcza - najmniejsza kątowa odległość pomiędzy dwoma szczegółami w polu widzenia, które widziane są jeszcze jako oddzielne. Aby dwa punkty mogły być postrzegane jako odrębne, emitowane przez nie światło (własne lub odbite) musi podrażniać dwa czopki przedzielone jednym nie pobudzonym. Jest to zdolność rozdzielcza siatkówki odpowiadająca średnicy jednego czopka (ok. 0,004 mm), co odpowiada wielkości kątowej 1' [3].
- Zdolność rozpoznawania - zdolność prawidłowego rozpoznawania szczegółów wzrokowych, jak np. różnicy pomiędzy „G” i „C”. Najczęściej jest to wielkość kątowa najmniejszego szczegółu wzrokowego, który może być rozpoznany.
- Zdolność spostrzegania - percepcja światła; do siatkówki musi dotrzeć dostateczna progowa ilość światła.

Ostrość wzroku zmienia się w zależności od czasu przeznaczanego na obserwację oraz wartości luminancji obserwowanego obiektu (natężenia oświetlenia na siatkówce). Wraz ze wzrostem czasu przeznaczanego na obserwację oraz wzrostem luminancji tła, ostrość wzroku ulega poprawie (rys.2). Dzieje się tak aż do momentu, w którym luminancja tła szczegółu zrównuje się z luminancją otoczenia, po przekroczeniu którego ostrość wzroku pogarsza się.



Rys. 2. Wpływ luminancji tła szczegółu (L_1) na ostrość wzroku (z uwzględnieniem luminancji otoczenia L_0) [1]

Wydolność wzrokowa a wybór natężenia oświetlenia

Od kilkudziesięciu już lat Międzynarodowy Komitet Oświetleniowy (CIE), jak również normy oświetleniowe określają minimalne poziomy natężenia oświetlenia do oświetlenia wnętrz. Ogólnie przyjmuje się, że system widzenia funkcjonuje sprawniej przy wyższych poziomach natężenia oświetlenia. Dlatego w celu zmniejszenia liczby popełnianych błędów i skrócenia czasu potrzebnego na wykonanie danej czynności wskazane jest przyjmowanie wyższych od podawanych w normie poziomów natężenia oświetlenia.

Wydolność wzrokowa. W niniejszym artykule przyjęto tłumaczenie angielskiego zwrotu *visual performance* jako wydolność wzrokową. W literaturze można spotkać różne tłumaczenia tego zwrotu - np. działanie wzrokowe, wykonanie wzrokowe, skuteczność widzenia. Widzenie zapewnia nam więcej informacji niż wszystkie pozostałe zmysły razem wzięte. W rezultacie warunki środowiskowe niezbędne do optymalizacji wydolności wzrokowej (działania wzrokowego) są najważniejsze. Podczas gdy zmysł wzroku na wiele sposobów jest znakomity, to z drugiej strony jest bardzo zwodniczy. Chociaż możemy rozpoznać bardzo cienkie drukowane linie o grubości 5" kątowych (grubość ołówka z odległości 300 m), to kiedy w sztucznie oświetlonym pomieszczeniu oraz przy świetle dziennym obserwujemy barwę ubrania stwierdzamy, że widziane barwy różnią się od siebie znacząco. W pierwszym przypadku wydolność wzrokowa zależy od ilości światła, podczas gdy w drugiej sytuacji - od jakości światła (charakterystyki widmowej źródeł światła), która ogranicza wydolność wzrokową. Zdolność do wykonywania większości zadań zależy od wielu - zarówno wzrokowych jak i pozawzrokowych zmiennych, a czynniki, które wpływają na wydolność wzrokową to [4]:

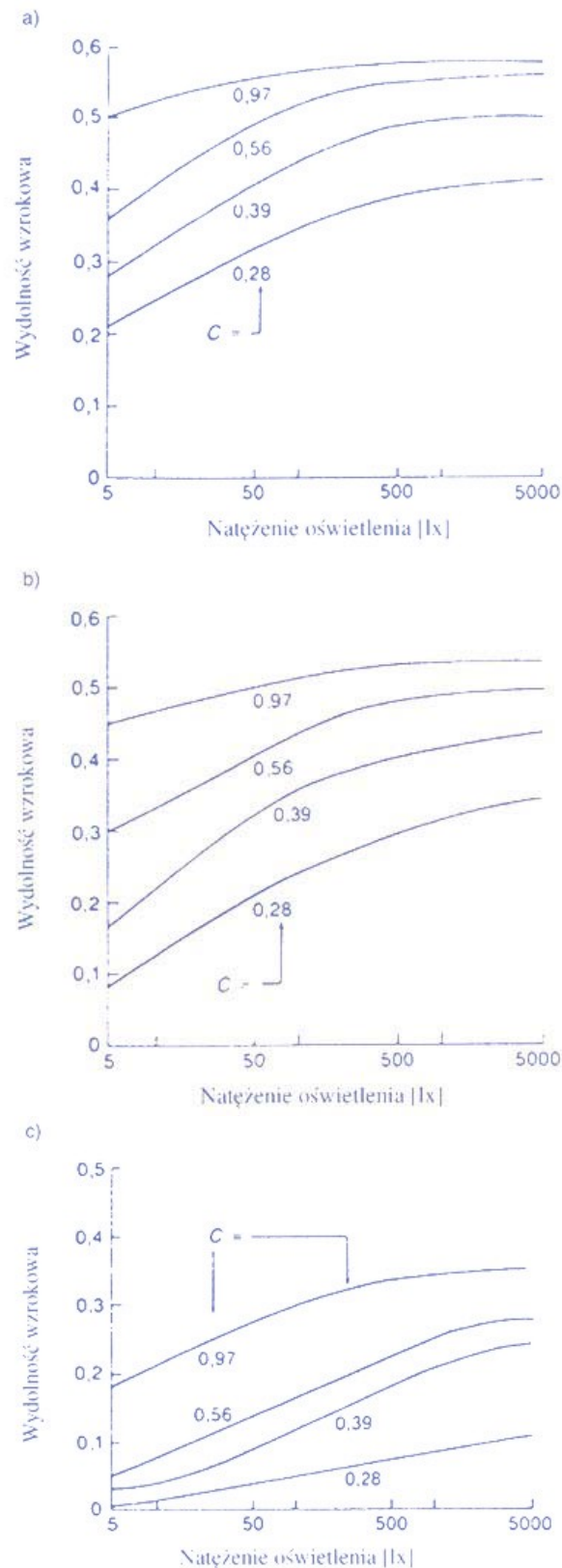
- indywidualne możliwości wzrokowe (ang. *visual capabilities*),
- widoczność zadania (ang. *visibility of the task*),
- czynniki psychologiczne i ogólnofizjologiczne (motywacja, inteligencja, ogólny stan zdrowia).

Parametry wpływające na wydolność wzrokową przedstawiono na [rysunku 3](#).



Rys. 3. Parametry wpływające na wydolność wzrokową [1]

Parametry reakcji wzrokowej. Aby w ogóle widzieć zadanie wzrokowe, to musi ono być oświetlone do pewnego minimalnego poziomu, jak również musi mieć odpowiednio duży minimalny wymiar oraz pewien minimalny kontrast z tłem. Przyjęto, że reakcja wzrokowa zależy od dwóch parametrów: wielkości szczegółu i kontrastu szczegółu z tłem [1]. Stopień zaadaptowania systemu wzrokowego do światła, który jest przede wszystkim sterowany poprzez poziom luminancji widzianego obrazu, ustala wysokość i przebieg (kształt przebiegu funkcji) parametrów reakcji wzrokowej. W celu określenia zarówno najmniejszego wymiaru (ostrość wzroku), jak i najmniejszego kontrastu (kontrast graniczny) przy różnych poziomach adaptacji, przeprowadzono oddzielne badania obydwu tych parametrów reakcji wzrokowej. Dopiero niedawno stwierdzono, że oba te parametry powinno się badać łącznie w celu określenia reakcji wzrokowej. Na [rysunku 4](#) przedstawiono wydolność wzrokową jako funkcję natężenia oświetlenia, wielkości szczegółu obserwacji oraz jego kontrastu (jaką uzyskano w badaniach wykorzystujących jako szczegół pracy wzrokowej pierścienie Landolta). Wraz ze wzrostem natężenia oświetlenia wzrasta wydolność wzrokowa, ale tylko do pewnej wartości natężenia oświetlenia, po przekroczeniu której pozostaje na tym samym poziomie. Im mniejszy wymiar kątowy szczegółu i jego kontrast z tłem, tym większy poziom natężenia oświetlenia, przy którym wydolność wzrokowa przestaje wzrastać. Przez prosty wzrost natężenia oświetlenia nie można uzyskać takiego samego poziomu skuteczności widzenia dla trudnych zadań wzrokowych, jaki uzyskuje się dla zadań łatwych.

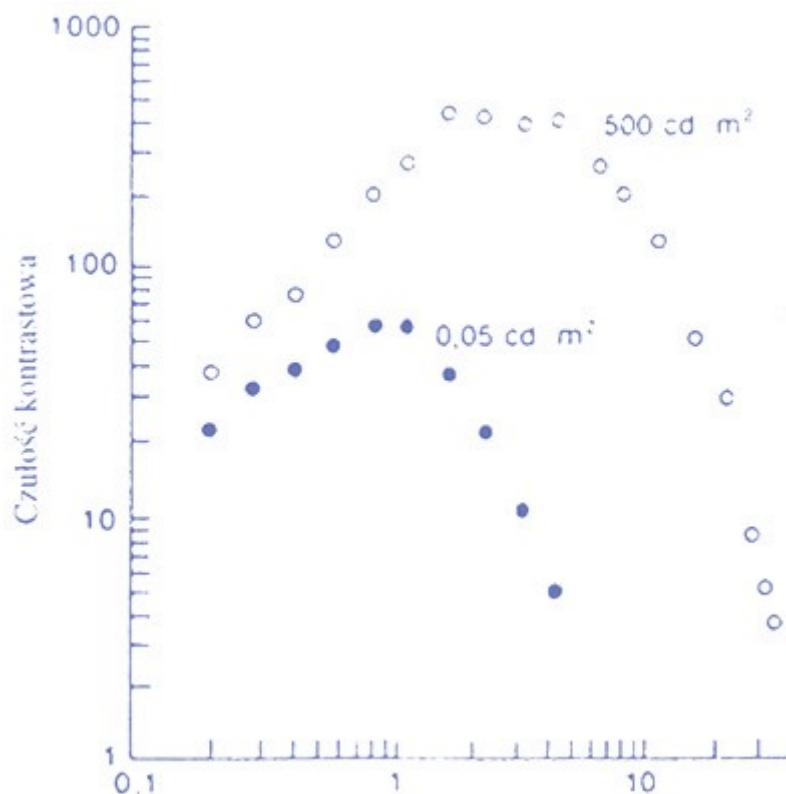


Rys. 4. Wydolność wzrokowa w zależności od natężenia oświetlenia, wielkości szczegółu i jego kontrastu: a - wielkość pozorna szczegółu 4,5 min, b - wielkość pozorna szczegółu 3 min, c - wielkość pozorna szczegółu 1,5 min [1]

Funkcja czułości kontrastowej

Typowy przebieg funkcji czułości kontrastowej (ang. *contrast sensitivity function*), odpowiadający minimalnemu kontrastowi, który jest już wystarczający do postrzegania odległości pomiędzy liniami równoległymi, których odległość od siebie (linie są bliżej lub dalej od siebie) zmienia się z pewną ustaloną częstotliwością przedstawiono na [rys. 5](#). Na osi odciętych znajduje się częstotliwość przestrzenna, która - idąc od strony lewej - wzrasta od małej (odpowiadającej dużym obiektom) do dużej (odpowiadającej małym obiektom). Oś

rzędnych odpowiada odwrotności kontrastu granicznego, przy którym obrazy są rozpoznawane. Krzywa górna reprezentuje funkcję czułości kontrastowej dla poziomu adaptacji 500 cd/m^2 , a dolna dla $0,05 \text{ cd/m}^2$ [1]. Na podstawie przebiegu tych krzywych można powiedzieć, że wraz ze wzrostem poziomu luminancji adaptacji wzrasta czułość kontrastowa dla wszystkich częstotliwości przestrzennych oraz że maksimum czułości kontrastowej przesuwa się w kierunku wyższych częstotliwości.



Rys. 5. Funkcja czułości kontrastowej dla luminancji adaptacji 500 cd/m^2 oraz $0,05 \text{ cd/m}^2$ [1]

Wybór poziomu natężenia oświetlenia

W literaturze najczęściej podaje się, że wybór natężenia oświetlenia zależy od wielkości pozornej szczegółu zadania wzrokowego oraz od stopnia trudności pracy wzrokowej. O stopniu trudności pracy wzrokowej decydują dwa parametry: współczynnik odbicia szczegółu pracy wzrokowej i kontrast szczegółu z jego tłem. Przyjmuje się, że im mniejszy współczynnik odbicia (szczeół ciemniejszy) oraz im mniejszy kontrast szczeółu z jego tłem, tym większy jest stopień trudności pracy wzrokowej (tabela 1).

Tabela 1
STOPNIE TRUDNOŚCI PRACY WZROKOWEJ [2]

Współczynnik odbicia powierzchni przedmiotu pracy wzrokowej	Kontrast		
	duży	średni	mały
	Stopień trudności pracy wzrokowej		
Duży (powyżej 0,45)	1 (mały)	1 (mały)	2 (przeciętny)
Średni (0,2-0,45)	2 (przeciętny)	2 (przeciętny)	2 (przeciętny)
Mały (mniejszy od 0,2)	2 (przeciętny)	3 (duży)	3 (duży)

Wielkość pozorną szczegółu określa wzór [5]:

$$w = \frac{L}{d} 10^3$$

gdzie:

L - odległość szczegółu od oczu (m)

w - wielkość pozorną szczegółu

d - najmniejszy wymiar szczegółu (mm)

Im większa wielkość pozorną szczegółu pracy wzrokowej tym wymagany poziom natężenia oświetlenia jest większy (tabela 2).

Tabela 2

NAJMNIEJSZE DOPUSZCZALNE WARTOŚCI ŚREDNIEGO NATĘŻENIA OŚWIETLENIA A WIELKOŚĆ SZCZEGÓŁU PRACY WZROKOWEJ [5]

Wielkość pozorną szczegółu pracy wzrokowej	Średnie natężenia oświetlenia [lx]
850-1150 duża	150
1150-1500 średnia	200
1500-1900 dość mała	300
1900-2450 mała	500
2450-3200 bardzo mała	1000
3200-4100 krańcowo mała	2000

Przy stopniu trudności pracy wzrokowej większym od przeciętnego, przy utrudnieniach w wykonywaniu pracy, jak również przy wymaganiu zapewnienia dużego komfortu widzenia, wymagany poziom natężenia oświetlenia należy przyjmować na poziomie wyższym niż poziom minimalny dopuszczalny (podawany tabelarycznie w normach). Tak więc pierwszym głównym zaleceniem jest zapewnienie większego poziomu natężenia oświetlenia dla zadań wzrokowych o małej wielkości szczegółu wzrokowego oraz dużym stopniu trudności pracy wzrokowej. Jednak z upływem czasu zaczęły pojawiać się nowe modele wyboru poziomu natężenia oświetlenia.

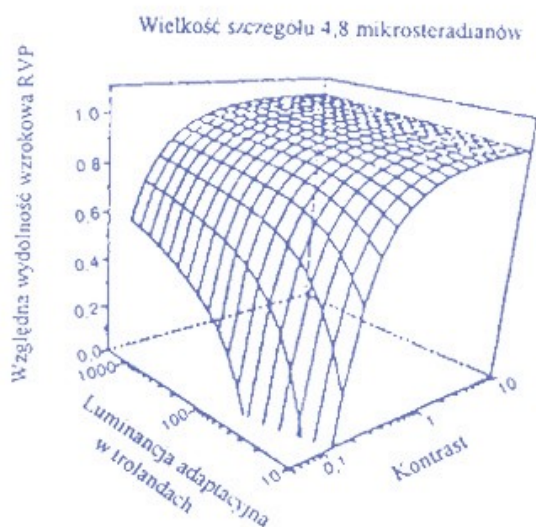
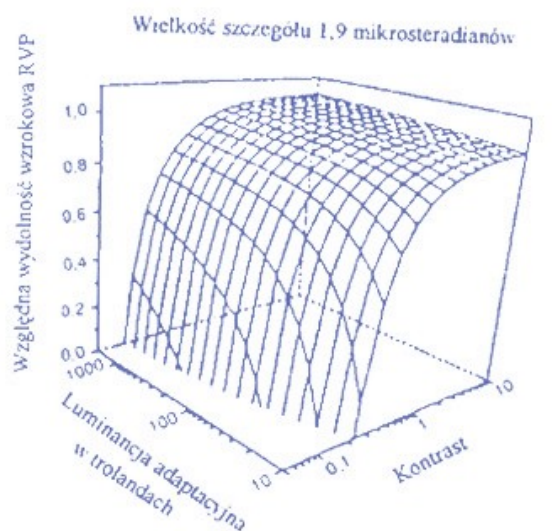
Jednym z takich modeli wyboru poziomu natężenia oświetlenia opierającym się na pojęciu skuteczności widzenia jest model o nazwie: równoważnik natężenia oświetlenia sferycznego - ESI (ang. *equivalent sphere illuminance*), który charakteryzuje system oświetlenia w zależności od jego możliwości oświetlenia zadania wzrokowego i wytwarzania efektu wzrokowego równoważnego do tego, jaki byłby wytworzony w warunkach odniesieniowego oświetlenia rozproszonego, wytwarzanego przez sferę (lub półsferę) [1].

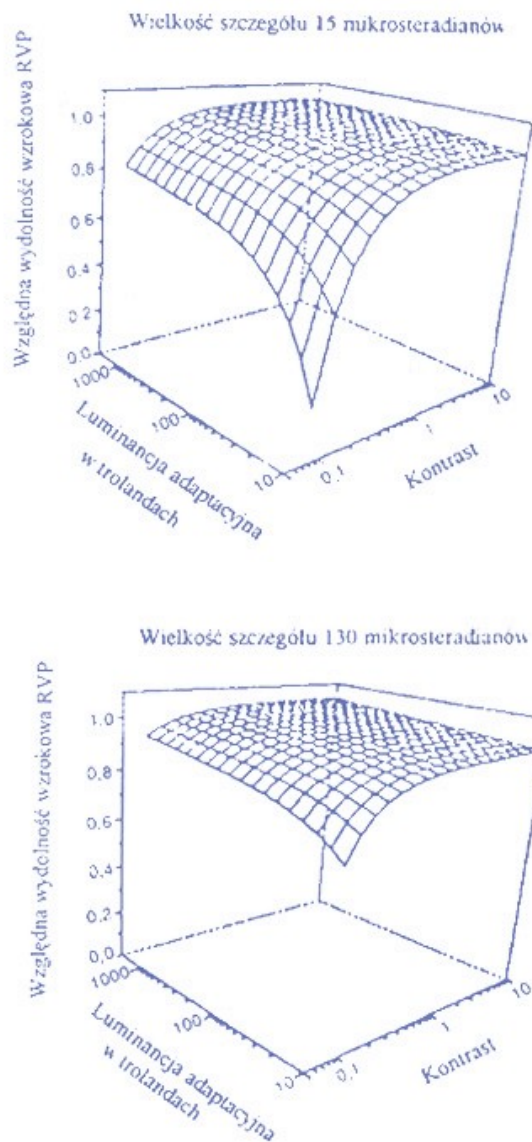
System oświetlenia wpływa zarówno na luminancję tła zadania wzrokowego jak i na jego kontrast. Model ESI opiera się na założeniu, że dwa systemy oświetlenia mogą wytworzyć taką samą wydolność wzrokową za pomocą różnych środków. System oświetlenia wytwarzający wysoki poziom luminancji tła lecz niską wartość kontrastu zadania wzrokowego może stworzyć taką samą wydolność wzrokową jak inny system, który wytwarza niski poziom luminancji tła lecz wysoki kontrast zadania. Tak więc przy wyborze poziomu natężenia oświetlenia przyjmowanie (symulowanie) założeń leżących u podstaw modelu ESI

może być atrakcyjne, gdyż w celu zapewnienia zalecanego równowaznika natężenia oświetlenia sferycznego można zastosować różne rodzaje systemów oświetlenia, które wytwarzają ten sam efekt wzrokowy.

Aby posługiwać się modelem ESI należy wiedzieć, jak bardzo kontrast zadania wzrokowego wzrasta lub obniża się na skutek geometrii systemu oświetleniowego w stosunku do kontrastu tego zadania, jaki jest uzyskiwany przy odniesieniowym systemie oświetlenia - półsfery. Zależność tę reprezentuje współczynnik oddawania kontrastu - CRF (ang. *contrast rendering factor*). Drugim istotnym czynnikiem, jaki przy stosowaniu modelu ESI powinien być znany, są własności odbiciowe powierzchni otaczających zadanie wzrokowe jego tła), które określa się jako współczynnik luminancji - LF (ang. *luminance factor*). W rezultacie stosowanie modelu ESI w celu doboru poziomu natężenia oświetlenia jest jednak ograniczone.

Innym, bardziej złożonym modelem służącym do wyboru poziomu natężenia oświetlenia jest model o nazwie: względna wydolność wzrokowa - RVP (ang. *relative visual performance*) [1]. Opiera się on na założeniu, że wielkość szczegółu, kontrast oraz luminancja tła są zasadniczo ważne dla wydolności wzrokowej (rys. 6). Aby stosować ten model, niezbędna jest znajomość kontrastu zadania wzrokowego, wielkości szczegółu zadania wzrokowego oraz luminancji tła. Mając te wartości zmierzone można określić wartość RVP, która jest obliczana w dość złożony sposób z wykorzystaniem odpowiedniego programu komputerowego.





Rys. 6. Względna wydolność wzrokowa RVP w zależności od kontrastu szczegółu, natężenia oświetlenia na siatkówce (luminancji adaptacyjnej) oraz wielkości szczegółu [1]

Należy pamiętać, że modele wyboru poziomu natężenia oświetlenia, opierające się na wydolności wzrokowej bez względu na to, jak dokładne, są tylko częścią systemu oświetleniowego. Koszt sprzętu oświetleniowego i zużycie energii elektrycznej jest i będzie zawsze ważną częścią, od której zależy w dużej mierze decyzja o tym wyborze. Są również jeszcze inne czynniki decydujące o wyborze poziomu natężenia oświetlenia, które projektant oświetlenia musi wziąć pod uwagę. Przy wyborze poziomu natężenia oświetlenia np. w restauracjach czy obiektach handlowych, wydolność wzrokowa jest odpowiednio mniej ważna, wobec czego w tych sytuacjach model oparty na wydolności wzrokowej powinien mieć mały wpływ na wybór poziomu natężenia oświetlenia.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Rea M.: *Yision and Perception w Lighting Handbook, Reference & Application*. Wydanie 8 IES of North America, New York 1993
- [2] Bąk J.: *Technika oświetlania*. PWN, Warszawa 1981
- [3] Niżankowska M.H.: *Podstawy okulistyki*. YOLUMED, Wrocław 1992
- [4] North R.V.: *Work and the Eye*. Oxford University Press, New York 1993
- [5] Stanioch W.: *Oświetlenie pomieszczeń pracy. Fizjologia i higiena pracy*. Instytut Wydawniczy Związków Zawodowych 1982