

Marcin Brzezicki

Spostrzeganie przezroczystości w architekturze współczesnej

Aspekty wizualne i kognitywne

Marcin Brzezicki

Spostrzeganie przezroczystości w architekturze współczesnej

Aspekty wizualne i kognitywne

Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej
Wrocław 2014

Recenzenci: Edward Nęcka
Janusz Rębielak

Opracowanie redakcyjne i korekta: Małgorzata Jastrzębska
Projekt graficzny: Marcin Brzezicki
Projekt okładki: Marcin Brzezicki
Na okładce: budynek Administracji Federalnej w San Francisco (arch. Thom Mayne, Morphosis, 2007), fot. Marcin Brzezicki
Skład: Janusz Jastrzębski

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej książki, zarówno w całości, jak i we fragmentach, nie może być reprodukowana w sposób elektroniczny, fotograficzny i inny bez zgody wydawcy i właściciela praw autorskich.

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2014
OFICYNA WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
wyb. Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
http://www.oficyna.pwr.wroc.pl; e-mail: oficwyd@pwr.wroc.pl

ISBN 978-83-7493-829-7
DOI 10.5277/Y03.2014.01

Spis treści

Od autora ... 8
Oznaczenia wielkości fizycznych ... 10

1 **1. Wstęp** ... 13
1.1. Rozwój technologiczny przegród przepuszczających światło. Zarys ... 15
1.2. Cel pracy ... 23
1.3. Metoda badawcza ... 24
1.4. Stan badań ... 29
1.4.1. Badania i opracowania z dziedziny teorii architektury ... 30
1.4.2. Badania i opracowania z dziedziny psychologii poznawczej ... 35
1.4.3. Badania i opracowania z literatury pięknej i humanistyki ... 37
1.4.4. Badania i opracowania syntetyzujące ... 38
1.4.5. Źródła – uwagi ogólne ... 39

2 **2. Odbiór zjawisk optycznych** ... 41
2.1. Odbiór bodźców a spostrzeganie ... 41
2.2. Przepuszczanie światła przez ciała fizyczne ... 43
2.3. Definicja promienia. Zjawiska optyczne na granicy dwóch ośrodków ... 45
2.4. Elementy optyczne ... 47
2.4.1. Tafla jako płytka płasko-równoległa ... 47
2.4.2. Tafle – kryteria podziału ... 48
2.4.3. Tafle i ich rodzaje ... 50
2.4.4. Tafle – nomenklatura ... 52
2.5. Obrazy rzeczywiste i pozorne ... 53
2.6. Promień a strumień, punkt świetlny a pole widzenia ... 54
2.7. Pole i strumienie świetlne ... 57
2.7.1. Schematy strumieni świetlnych ... 58
2.8. Obserwator w polu świetlnym ... 59
2.8.1. Obserwacja dynamiczna ... 60
2.8.2. Obserwacja dynamiczna a rejestracja obrazu ... 62

2.8.3. Urządzenia do rejestrowania obrazów 63
2.9. Zjawiska optyczne a efekty wizualne 64
2.9.1. Schematy efektów wizualnych 64

3

3. Tafle pojedyncze 67
3.1. Tafle przezroczyste 67
3.1.1. Efekty wizualne w odbiorze tafli przezroczystych 68
3.1.1.1. Efekty skrajne 68
3.1.1.2. Efekty pośrednie 73
3.1.2. Czynniki determinujące proporcje obrazów 77
3.1.2.1. Wartości pierwotnych strumieni świetlnych φ_1 oraz φ_2 80
3.1.2.2. Właściwości optyczne tafli: współczynnik odbicia światła R oraz współczynnik przepuszczania światła T 85
3.1.2.3. Współczynnik odbicia światła R powyżej wartości standardowych 86
3.1.2.4. Współczynnik odbicia światła R poniżej wartości standardowych 90
3.1.2.5. Kąt obserwacji 90
Podsumowanie 96
3.2. Tafle barwne 98
3.2.1. Efekty wizualne w odbiorze tafli barwnych 99
3.2.2. Czynniki determinujące zabarwienie obrazu 100
Podsumowanie 103
3.3. Tafle ornamentowe 103
3.3.1. Efekty wizualne w odbiorze tafli ornamentowych 104
3.3.2. Czynniki determinujące zniekształcenie obrazu 105
Podsumowanie 107
3.4. Tafle przeświecalne 108
3.4.1. Efekty wizualne w odbiorze tafli przeświecalnych 109
3.4.2. Czynniki determinujące efekty wizualne 111
3.4.2.1. Rozproszenie powierzchniowe 112
3.4.2.2. Rozproszenie w masie 116
Podsumowanie 119

3.5. **Tafle o regulowanych właściwościach optycznych** ... 120
Podsumowanie ... 122

4

4. **Tafle – układy wieloelementowe** ... 130
4.1. **Układy optyczne i ich typy** ... 131
4.1.1. Inne ujęcia morfologiczne ... 134
4.2. **Układ warstwowy** ... 137
4.2.1. Efekty wizualne w odbiorze układów warstwowych ... 138
4.2.1.1. Efekty pochłaniania w wielu warstwach ... 140
4.2.1.2. Efekty odbicia w wielu warstwach ... 146
4.2.1.3. Efekty odbicia w wielu warstwach w skali mikro ... 151
Podsumowanie ... 154
4.3. **Układ sąsiadujący** ... 154
4.3.1. Efekty wizualne w odbiorze układów sąsiadujących ... 155
4.3.1.1. Efekt mozaiki obszarów sąsiadujących ... 155
4.3.1.2. Efekt addytywnego mieszania barw ... 159
Podsumowanie ... 160
4.4. **Układy mieszane** ... 160
4.4.1. Efekty wizualne w odbiorze układów mieszanych ... 161
Podsumowanie ... 163
4.5. **Układ sąsiadujący binarny** ... 164
4.5.1. Efekty wizualne w odbiorze układów binarnych ... 164
4.5.1.1. Uśrednienie wartości strumieni świetlnych ... 165
Podsumowanie ... 168

5

5. **Autorski model tafli przezroczystej** ... 173
5.1. **Ograniczenia w przetwarzaniu obrazu przez siatkówkę** ... 174
5.1.1. Budowa siatkówki ... 174
5.1.2. Rozdzielczość czasowa i przestrzenna ... 175
5.2. **Model perforacyjny Richardsa i Stevensa** ... 176

5.3. Autorski model perforacyjny ... 178
5.3.1. Warianty autorskiego modelu perforacyjnego ... 180
5.3.2. Obrazy pozorne w modelu perforacyjnym ... 180
5.3.3. Zmienne współczynniki odbicia i przepuszczania w modelu perforacyjnym ... 182
5.3.4. Bilans strumieni świetlnych ... 184
5.4. Weryfikacja modelu autorskiego ... 186
5.4.1. Ograniczenia modelu perforacyjnego ... 186
5.5. Wykorzystanie modelu autorskiego ... 187
Podsumowanie ... 188

6

6. Spostrzeganie przezroczystości ... 190
6.1. Fazy spostrzegania ... 191
6.2. Spostrzeganie jako proces wstępujący lub zstępujący ... 194
6.3. Stałość spostrzegania ... 196
6.4. Orientacja w przestrzeni ... 197
6.5. Spostrzeganie głębi ... 198
6.5.1. Dekompozycja postrzeżeniowa ... 199
6.5.2. Położenie w przestrzeni czy cecha obiektu? ... 201
6.5.3. Paradoks spostrzegania przezroczystości ... 201
Podsumowanie ... 202
6.6. Spostrzeganie przezroczystości w procesach II fazy ... 203
6.6.1. Złudzenia optyczne w badaniach przezroczystości ... 204
6.6.2. Wskazówki w procesach II fazy ... 207
6.6.2.1. Zmniejszenie luminancji i kontrastu ... 207
6.6.2.2. Istnienie obszaru odniesienia ... 209
6.6.2.3. Węzły typu X ... 210
Podsumowanie ... 212
6.7. Spostrzeganie przezroczystości w procesach III fazy ... 212
6.7.1. Identyfikacja materiałów gładkich ... 213
6.7.2. Przenikanie obrazów: pozornego i rzeczywistego ... 216
6.7.3. Upośledzenie mechanizmu określania położenia tafli ... 219

6.7.3.1. Eliminacja obrazu pozornego ... 221
6.7.3.2. Ślepota pozauwagowa ... 226
6.7.4. Modyfikacja obrazu jako wskazówka przezroczystości ... 227
6.7.4.1. Zabarwienie obrazu ... 228
6.7.4.2. Zniekształcenie geometryczne ... 231
6.7.4.3. Zamglenie jako wskazówka głębi ... 235
Podsumowanie ... 236
6.8. Teoria ekologiczna Gibsona ... 237
6.8.1. Unifikacja dwóch teorii spostrzegania ... 239

7

7. Wnioski ... 242
7.1. Efekty = wskazówki ... 242
7.2. Reguły ogólne ... 246
7.2.1. Aspekty wizualne ... 246
7.2.2. Aspekty użytkowe ... 248
7.2.3. Aspekty bezpieczeństwa ... 248

Załącznik A. Przezroczystość rzeczywista i fenomenalna ... 251
Załącznik B. Obliczenia do modelu perforacyjnego ... 254
Bibliografia ... 257
Strony WWW ... 265
Indeks budynków ... 266
Słownik ważniejszych terminów ... 268
Źródła ilustracji ... 271
Summary ... 272

Od autora

Monografia, którą oddaję w ręce czytelnika, powstała z mojej fascynacji zjawiskiem przezroczystości w architekturze oraz z dążenia do tego, aby zbliżyć się do zrozumienia, jak umysł spostrzega otaczający nas świat. Chciałem odpowiedzieć sobie na pytanie, jak to się dzieje, że przezroczysta – niemal niewidzialna – tafla staje się dla obserwatora architektury dostrzegalna. Jakie procesy decydują o jej wyglądzie, które obrazy na niej się pojawiają, co powoduje, że w różnych warunkach oświetlenia może być odbierana w odmienny sposób?

Monografia ta powstawała przez kilka lat. Idee w niej zawarte znalazły miejsce w moich opracowaniach, wykładach i publikacjach naukowych, a także w działalności dydaktycznej – od 2010 roku prowadzę dla studentów Wydziału Architektury Politechniki Wrocławskiej autorski wykład wybieralny pt. „Przezroczystość w architekturze współczesnej". W latach 2011–2013 wyniki moich prac badawczych zostały pozytywnie ocenione przez recenzentów międzynarodowych czasopism naukowych o różnych profilach. To skłoniło mnie do ostatecznej redakcji monografii. Konstruktywna współpraca utwierdziła mnie w przekonaniu, że proponowane ujęcie zagadnień jest nie tylko uzasadnione, ale może również przynieść odpowiedzi na pytania, które dotychczas pozostawały bez wyjaśnienia. W opracowaniu nawiązałem do wątków sygnalizowanych w wielu wcześniejszych tekstach. Zostały one wzmocnione i uwypuklone, tak by mogły stanowić szkielet dla oddzielnej, oryginalnej pracy naukowej.

Powstanie tej monografii było możliwe dzięki materialnemu i organizacyjnemu wsparciu władz Wydziału Architektury Politechniki Wrocławskiej. Pasję osobistego dokumentowania obiektów przedstawionych w tej pracy realizowałem z wykorzystaniem grantów na badania statutowe i własne pochodzących w pierwszym okresie z Komitetu Badań Naukowych, a następnie z Ministerstwa Nauki i Informatyzacji. W 2008 roku zostałem laureatem „Uczelnianego konkursu na dofinansowanie prac młodych naukowców", przedstawiając projekt pt. „Przezroczystość w architekturze. Próba syntezy optyki, inżynierii materiałowej i psychologicznej teorii postrzegania na potrzeby praktyki architektonicznej". Otrzymane fundusze pozwoliły na skompletowanie sprzętu, który umożliwił fotograficzną dokumentację budynków.

Ze względu na wielowątkowy charakter opracowania w czasie jego powstawania konsultowałem się ze specjalistami z różnych dyscyplin, którzy okazywali mi merytoryczne i koleżeńskie wsparcie. Przede wszystkim chciałbym podziękować prof. dr. hab. Tomaszowi Downarowiczowi z Instytutu Matematyki i Informatyki Wydziału Podstawowych Problemów Techniki PWr, który służył mi pomocą

przy formułowaniu matematycznych dowodów, oraz dr inż. Bogusławie Dubik, byłemu pracownikowi Instytutu Fizyki PWr, cierpliwie konsultującej zagadnienia dotyczące optyki. Współpraca wykroczyła poza ramy mojej Alma Mater. Doktor inż. Krzysztof Wandachowicz z Zakładu Techniki Świetlnej i Elektrotermii Politechniki Poznańskiej objaśniał mi złożone zagadnienia wielkości fotometrycznych, a dr hab. inż. Jacek Tarasiuk z Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie odniósł się do zagadnień dotyczących barwy i koloru.

Dziękuję również prof. dr. hab. Edwardowi Nęcce z Zakładu Psychologii Eksperymentalnej Instytutu Psychologii Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz prof. dr. hab. inż. arch. Januszowi Rębielakowi z Zakładu Technik Budowlanych Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, którzy podjęli się recenzowania książki na etapie wydawniczym. Ich wskazówki oraz uwagi krytyczne znacząco wpłynęły na jej finalny wygląd.

Do grupy osób, które wywarły wpływ na ostateczny kształt tej monografii – choć nie były w jej powstanie bezpośrednio zaangażowane – należą: prof. Patrick W. Fowler z Departament of Chemistry, The University of Sheffield, prof. Hojjat Adeli z Department of Civil and Environmental Engineering, The Ohio State University oraz prof. Timothy Meese ze School of Life and Health Science, Aston University.

Podziękowanie kieruję również do zespołu redakcyjnego oraz współpracowników Oficyny Wydawniczej Politechniki Wrocławskiej: Małgorzaty i Janusza Jastrzębskich, którzy podjęli się ostatecznej redakcji i składu publikacji.

Ta monografia nie powstałaby bez oddania i cierpliwości mojej żony Basi, pierwszej czytelniczki i konstruktywnej recenzentki większości rozdziałów. Będąc redaktorem z wykształcenia, ale nie fachowcem w dyscyplinie, wskazywała moje niekonsekwencje i podsuwała bardziej zrozumiałe sformułowania. Trwała przy moim boku w chwilach rezygnacji i zwątpienia. Jej i całej mojej rodzinie składam wyrazy podziękowania.

Na zakończenie specjalne wyrazy wdzięczności kieruję do mojej mentorki, promotora pracy doktorskiej, dr hab. inż. arch. Jadwigi Sławińskiej, prof. em. PWr. Od chwili rozpoczęcia naszej współpracy w 1997 roku zawsze mogłem liczyć na wsparcie i pomoc Pani Profesor. Zwyczajem stały się nasze wielogodzinne spotkania, w czasie których poruszaliśmy zagadnienia związane z pracą naukową i badawczą. Wiedza i doświadczenie, przekazane mi podczas tych spotkań, w znacznym stopniu ukształtowały mój warsztat badacza architektury.

Oznaczenia wielkości fizycznych

Umowne oznaczenia wielkości fizycznych, np. we wzorach matematycznych, zastosowano zgodnie z układem SI. Indeks dolny x występuje w przypadku konieczności rozróżnienia wielkości, np. T_1, T_2.

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – kąty
X, Y, Z – punkty
a, b, c – odległości
g_x – tafla przezroczysta
g_b – tafla barwna
g_orn – tafla ornamentowa
$g_\mathrm{p}, g_\mathrm{m}, g_\mathrm{o},$ – tafla przeświecalna, matówkowa, opalowa
g_mod – tafla o regulowanych właściwościach
P_x – pole powierzchni

Fotometria:

A_x – współczynnik pochłaniania światła
R_x – współczynnik odbicia światła
T_x – współczynnik przepuszczania światła
n_x – współczynnik załamania światła
φ_R – strumień świetlny odbity
φ_T – strumień świetlny przepuszczony
L – luminancja
a, b, p, q – obszary luminancji
E – natężenie oświetlenia
λ – długość fali światła

Optyka geometryczna:

S_x – źródło światła
O_x – punkt obserwacji, obserwator
N – liczba obrazów pozornych
ρ, ρ', ρ'' – promień światła, promień światła odbity, promień światła załamany

Model przezroczystości:

C_{bic} – prześwit

r – promień okręgu, koła

d – grubość płyty

P_{sec} – pole powierzchni wycinka koła

Oznaczenia na schematach:


φ – strumień świetlny działający od zewnątrz


φ – strumień świetlny działający od zewnątrz, odbity


φ – strumień świetlny działający od wewnątrz


φ – strumień świetlny działający od wewnątrz, odbity


φ – strumień świetlny zabarwiony


ρ – promień światła


ρ' – promień światła odbity


ρ'' – promień światła załamany


φ – strumień świetlny


φ – strumień świetlny odbity

} strumienie świetlne neutralne na schematach barwnych

1 Wstęp

1.1. Rozwój technologiczny przegród przepuszczających światło. Zarys 15
1.2. Cel pracy 23
1.3. Metoda badawcza 24
1.4. Stan badań 29
1.4.1. Badania i opracowania z dziedziny teorii architektury 30
1.4.2. Badania i opracowania z dziedziny psychologii poznawczej 35
1.4.3. Badania i opracowania z literatury pięknej i humanistyki 37
1.4.4. Badania i opracowania syntetyzujące 38
1.4.5. Źródła – uwagi ogólne 39

„Mózg […] nie jest narządem do rozumienia świata,
lecz narządem służącym przetrwaniu”.

Hoimar von Ditfurth, *Duch nie spadł z nieba* [85, s. 60]

1. Wstęp

Na początku był mit szklanego domu: ludzie mieli porzucić swoje ponure i ciemne kamienice i zamieszkać w nowych, przezroczystych[1], opromienionych blaskiem słonecznym budynkach. Mit szklanego domu wyznaczał drogi i bezdroża pionierskich poszukiwań. Wczesne obiekty szklanej architektury – potężne oranżerie i palmiarnie – ukazywały ażurowe kratownicowe konstrukcje, budziły nową nadzieję i stymulowały twórczą wyobraźnię. Zapowiadały możliwość zastosowania w budownictwie nowych materiałów, technik i konstrukcji. Obudziły wiarę, że „zalane światłem pomieszczenia, szklane pasaże i ogrody zimowe” sprawią, iż „człowiek, dzięki technicznemu postępowi, zbliży się ku naturze” [255, s. 4]. Współczesne elewacje wykonane z formowanego na zimno i na gorąco szkła budowlanego świadczą, że spełniły się dawne pragnienia.

Przepuszczanie światła jako zasadnicza cecha fizyczna wielu materiałów osłonowych okazała się równie pożądana, co kłopotliwa. Pożądana – bo usuwa widoczne przegrody między budynkiem a jego otoczeniem, pozwala wykorzystywać dzienne światło i ograniczać sztuczne oświetlenie. Kłopotliwa – bo promienie słońca przenoszą nie tylko światło, ale również ciepło i przegrzewają pomieszczenia użytkowe. Zastosowane w elewacjach wielkie przezroczyste tafle przyczyniają się do intensywnej wymiany ciepła zarówno zimą, jak i latem, wymagają zainstalowania ograniczających tę wymianę kosztownych i skomplikowanych urządzeń. Przezroczysta architektura, od momentu jej powstania, boryka się z problemami, które sama stworzyła [22, s. 56].

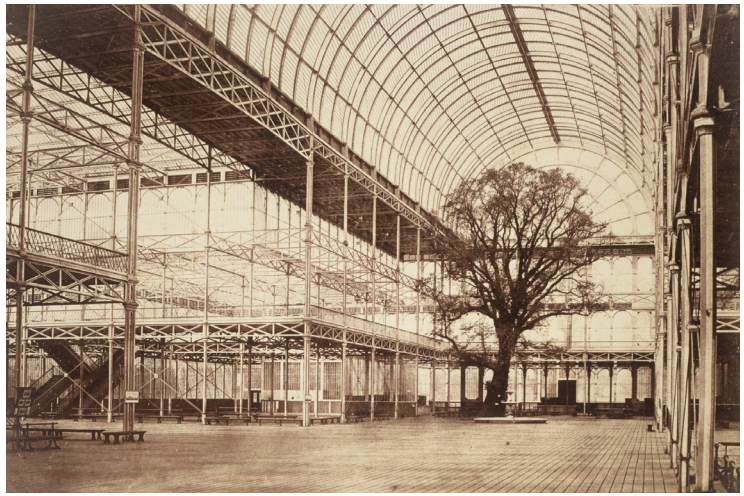
Obecnie doskonalenie przezroczystych materiałów budowlanych zmierza w dwóch przeciwnych kierunkach. Z jednej strony dąży się do uzyskiwania **wrażenia nieomal niewidocznej przegrody**, tak „przezroczystej”, jakby jej w ogóle nie było, a z drugiej **ogranicza się przepuszczanie światła**, a tym samym ciepła, rozwijając zaawansowane techniki nakładania powłok. Wbrew

[1] Termin „przezroczystość” jest w tej pracy używany zgodnie z encyklopedyczną definicją „ciała przezroczystego”, które „przepuszcza strumień świetlny w zasadzie bez rozpraszania i o odpowiednio małym, niezależnym od długości fali współczynniku pochłaniania” [70]. W celu opisu innych zjawisk optycznych związanych z przepuszczaniem światła autor wydzielił różne rodzaje tafli (zob. rozdz. 2.4.3, s. 50). Określenie „przezroczystość” nie jest używane w znaczeniach metaforycznych, jako „jawność” lub „transparentność” instytucji lub procesów politycznych.

pierwotnej naturze materiału powszechną praktyką stało się poszukiwanie kompromisu między „odkrywaniem" a „zasłanianiem".

Na bezdrożach tych przeciwstawnych poszukiwań ukształtował się jednak charakterystyczny, **interesujący nurt architektury**. Fasady budynków są zestawiane z płyt elewacyjnych o różnych właściwościach. „Architektura przezroczystości składa się z kompleksowej całości, w skład której wchodzą elastyczna i lekka konstrukcja nośna, przezroczyste, częściowo przejrzyste i nieprzezroczyste membrany oraz płyty wypełniające i oddzielające, błyszczące lub matowe, kolorowe powierzchnie szklane, metalowe czy też syntetyczne, jak też refleksy świetlne, jakie naturalne i sztuczne światło w nich powoduje" [163, s. 16]. Poszukiwanie kompromisu między oświetlaniem a zacienianiem sprzyjało powstawaniu oryginalnych, artystycznych pomysłów. Przezroczysta architektura ekscytowała różnorodnością, kolorystyką i finezją kompozycji. Osiągnięcia wybitnych projektantów budziły coraz większe zainteresowanie inwestorów. Zarysowywał się kompromis między oświetlaniem a zacienianiem, powstawały oryginalne artystyczne pomysły, technolodzy i inżynierowie eksperymentowali w dziedzinie metod obróbki i montażu. Współczesne rozwiązania elewacji z wykorzystaniem giętych, formowanych na zimno i na gorąco przepuszczających światło materiałów budowlanych są odzwierciedleniem zwiększających się możliwości technologicznych. Technologie te są w stanie sprostać większości wymogów stawianych przez architektów.

Osiągana obecnie w architekturze „idealna" przezroczystość jest rezultatem długotrwałego procesu rozwoju zarówno technologii kształtowania materiału, jak i sposobów jego montażu. Stała się ona nowym działem teorii i praktyki architektonicznej, stworzyła też nowy rodzaj wrażliwości estetycznej, otwierając bogaty zasób możliwych do osiągnięcia efektów wizualnych. Umiejętne poruszanie się w nowym nurcie – „płynięcie z prądem rzeki" – przychodzi jednak z trudem. Podstawą do precyzowania problemów badawczych są zarówno dylematy projektowe, jak i poznawcze. Odpowiedzi na pytania należy poszukiwać w pracach naukowo-badawczych; w przypadku spostrzegania przezroczystości w architekturze: w tych z dziedziny optyki, psychologii poznawczej i środowiskowej. Niniejsza praca przedstawia to zagadnienie w architekturze współczesnej, odwołując się do opracowań interdyscyplinarnych, ale także prac wysoce specjalistycznych. Zagadnienia z odległych dziedzin wiedzy rozpatrywane są w powiązaniu, a wyprowadzone z nich wnioski potraktowano kompleksowo. Ten sposób łączenia wiedzy zbliża prezentowane ujęcie do postulowanego „całościowego, kontekstualnego i interdyscyplinarnego podejścia w projektowaniu" [19, s. 19].



Ryc. 1. Pałac Kryształowy – Crystal Palace (inż. Joseph Paxton, 1851). Widok na wnętrze od strony skrzyżowania nawy głównej i transeptu.

Źródło: fot. Benjamin Turner; ze zbiorów Victoria & Albert Museum (na licencji niekomercyjnej)

1.1. Rozwój technologiczny przegród przepuszczających światło. Zarys

W tradycyjnych systemach konstrukcyjnych ściany zewnętrzne pełniły funkcję nośną. Powierzchnia przegród przepuszczających światło była ograniczona gabarytem elementów niezbędnych do przeniesienia obciążeń oraz wielkością tafli. Nielicznym średniowiecznym muratorom udało się utworzyć w filigranowych konstrukcjach okna o imponujących rozmiarach (np. w Sainte-Chapelle w Paryżu). Ich wypełnienie wykonano z niewielkich kawałków szkła lub przepuszczającego światło kamienia: alabastru (np. w Mauzoleum Galli Placydii [284, s. 59]), łączonych ołowianą ramką. Ograniczenia technologiczne powodowały, że do końca XVIII wieku materiały **przepuszczające światło były dostępne w niewielkich formatach**[2]. Technologia produkcji i sposób łączenia ulegały modyfikacji, ale idea składania obszerniejszej płaszczyzny z poszczególnych elementów pozostawała niezmienna. Stopniowemu zwiększaniu przepuszczających światło przegród towarzyszył rozwój wsporczych systemów konstrukcyjnych służących do montażu danej przezroczystej płaszczyzny. Szczególnym osiągnięciem w tej dziedzinie był Pałac Kryształowy – Crystal Palace wybudowany w Hyde Parku w Londynie na Wielką Wystawę Światową w 1851 roku (ryc. 1). Zaprojektowany przez Josepha Paxtona modularny system wsporczy wykonany z elementów żeliwnych oraz modularne szklenie były „zapowiedzią przemysłowej prefabrykacji" [55, s. 8; 56, s. 45].

Pod koniec XIX wieku pojawiły się nie tylko nowatorskie metody kształtowania już dostępnych surowców, ale także technologie produkcji zupełnie nowych, niespotykanych dotąd materiałów. Od 1903 roku w USA produkowano szkło płaskie metodą pionowego wyciągania pustego w środku walca, tzw. cholewy, który był następnie rozcinany i rozpłaszczany. Siedem lat później technologię tę zastosowano w Wielkiej Brytanii. Od 1920 roku w Europie rozpoczęła się przemysłowa produkcja tworzyw sztucznych, a w 1927 roku dokonano syntezy szkła organicznego – pleksiglasu [137, s. 7]. Dzięki wynalazkowi żelbetu i szkieletowej konstrukcji nośnej nastąpiła zasadnicza zmiana funkcji ścian zewnętrznych. Główne obciążenia pionowe i poziome były przenoszone przez słupy i powiązane płyty stropowe. Funkcja ścian zewnętrznych ograniczyła się niemal **wyłącznie do osłony** termicznej, akustycznej i ochrony przed działaniem czynników atmosferycznych. Zmniejszające się gabaryty konstrukcji, przeznaczonej do przenoszenia obciążeń, pozwoliły na powiększanie rozmiarów tej części elewacji, która służyła przepuszczaniu światła dziennego: „cienki słup ze stali [został – przyp. autora] połączony z dużą taflą szkła" [256, s. 108]. Proces ten następował stopniowo.

[2] Proces produkcji tafli szklanych metodą tradycyjną szczegółowo opisano w rozdz. 4.3, s. 154.

Rozpoczął się od wprowadzenia pasmowych okien w pierwszych budynkach Le Corbusiera (Willa Savoye w Poissy), przez szklane elewacje fabryki Fagus w Alfeld (arch. Walter Gropius, 1914) i skrzydła warsztatów Bauhausu w Dessau (arch. Walter Gropius, 1926) [111, s. 512–513]. Popularyzacja szkieletowych systemów konstrukcyjnych doprowadziła do przekształcenia stopniowo zwiększających się okien w **ściany osłonowe** przepuszczające światło na całej powierzchni elewacji – od posadzki do stropu [122]. Zapoczątkowany w 1938 roku przez Ludwiga Miesa van der Rohego proces „redukcji wszystkiego do najprostszych, racjonalnych elementów”* [216, s. 191] doprowadził do powstania prostokątnych geometrycznych siatek ścian osłonowych. Mies van der Rohe określał własne budynki jako zbudowane ze „skóry i kości” [74, s. 78], gdzie „skórą” była przepuszczająca światło przegroda, a „kości” stały się synonimem szkieletu.

Nowe możliwości inspirowały architektów. Budynki mogły być definiowane nie tylko przez bryłę i światłocień, jak w konstrukcjach murowych, ale także przez przepuszczanie i odbicie światła. Już pierwsze próby przewidywania konsekwencji wizualnych i estetycznych zastosowania nowych rozwiązań przyniosły nieoczekiwane rezultaty.

Zwiększające się rozmiary przezroczystych przegród umożliwiały postulowaną penetrację przez światło słoneczne. Z jednej strony **narażały powstające budynki na przegrzanie**, z drugiej duże powierzchnie cienkiego szkła **przyczyniały się do znaczących strat ciepła**. Okazało się, że wraz z możliwościami kształtowania budynków pojawiły się nowe, niespotykane dotąd problemy. Regulacja mikroklimatu i utrzymanie czystości szkła zyskały na ważności, natomiast zagadnienia estetyki i zjawisk optycznych zostały przesunięte na dalszy plan [285, s. 17]. Receptą na pojawiające się problemy okazał się nowy materiał. W 1957 roku w Wielkiej Brytanii na podstawie patentu Alastaira Pilkingtona uruchomiono pierwszą linię produkcyjną szkła pławionego (*float glass*). Nowy materiał wyróżniał się doskonałą jakością. Tafla miała jednakową grubość na całej powierzchni i niespotykaną wcześniej gładkość. Ta jakość stworzyła nowe możliwości eliminowania problemów użytkowych. Niedługo po wprowadzeniu produktu na rynek rozpoczęła się **modyfikacja właściwości optycznych szkła pławionego**. W procesie nakładania metalizowanej powłoki powstało szkło refleksowe[3] [197]. W ten sposób rozwiązano wiele problemów praktycznych bez sięgania po środki architektoniczne.

* Wszystkie tłumaczenia cytatów i wyróżnienia w tekście pochodzą od autora.

[3] Określenie „szkło refleksowe” zostało po raz pierwszy użyte w polskim przekładzie książki Charlesa Jencksa pt. *Architektura późnego modernizmu i inne eseje* (tł. Barbara Gadomska) [136, s. 40]. Autor pracy zdecydował o użyciu tego terminu zamiast określenia „szkło refleksyjne” ze względu na znaczenie słowa „refleksyjne”, które odnosi się w potocznym rozumieniu do „głębszego zastanowienia się nad czymś” [214].

Metalizowane lustrzane powłoki spopularyzowano w latach 60.–70. XX wieku jako środek ograniczający przegrzewanie. Wtedy zmieniło to zasadniczo sposób odbioru architektury. Obecnie **zastosowanie szkła refleksowego spotyka się z powszechną krytyką**. Główni kontestatorzy tego rozwiązania wskazują na zerwanie optycznego powiązania między zewnętrzem a wnętrzem budynku. Siła symbolicznych skojarzeń buduje wizerunek obiektu. Potężne biurowce o lustrzanych ścianach wydają się niedostępne i tajemnicze. Szkło refleksowe – zwłaszcza stosowane na dużych płaszczyznach – „funkcjonuje raczej jako symbol ciemnych interesów, a nie moralnych cnót" [242, s. 51] przede wszystkim wtedy, gdy budynki są siedzibami wielkich międzynarodowych korporacji [183, s. 281–282].

W latach 60. XX wieku doszło do interesującej technologicznej **rozbieżności między możliwościami wytwórczymi a rozmiarami faktycznie montowanych wypełnień**. Wstęga szkła produkowana metodą pławienia miała około 3 m szerokości i długość ograniczoną wyłącznie możliwościami składowania i transportu[4]. Dostępne rozwiązania technologiczne ścian osłonowych nie pozwalały jednak na bezpieczny montaż tak dużych tafli. Konieczność przenoszenia obciążeń użytkowych (np. parcie wiatru na dużych wysokościach) oraz relatywnie niska wytrzymałość materiałów zmuszały do konstruowania rozbudowanych ram, a montowane formatki były cięte z większych tafli lub wstęg. Niewystarczająca wytrzymałość materiałów stanęła na drodze do uzyskania pełnej, niczym niezakłóconej przezroczystości przegrody architektonicznej.

Wraz z rozwojem technologii wytwórczych stopniowo zwiększała się wytrzymałość stosowanych materiałów. Tworzywa sztuczne kształtowano w nowy sposób. Produkowano profile komorowe – puste w środku profile zamknięte. Płyty poliwęglanowe dostępne są w rozmiarach przekraczających 12 m długości. Szkło zostało poddane procesowi chemicznego i termicznego hartowania, które zwiększa nośność, wytrzymałość oraz eliminuje ostre krawędzie przy stłuczeniu tafli. Bezpośrednio z przemysłu samochodowego do architektury trafiły technologie **klejenia warstwowego i montażu przy wykorzystaniu neoprenowych uszczelek**. Wytrzymalsze materiały przezroczyste oraz nowe spoiwa – silikony i masy uszczelniające – dały możliwość wprowadzenia rozwiązań bezramowych. Zrealizowana w latach 1971–1975 szklana elewacja budynku firmy Willis Faber & Dumas w Ipswich (arch. Foster Associates[5], 1975) jako pierwsza została pozbawiona słupków

[4] Obecnie szerokość wstęgi to 3210 mm (standard europejski). Tafle cięte są w dwóch długościach: jumbo – 6000 mm oraz Lehr End – 2800 milimetrów. Lehr to pochodząca z języka niemieckiego (od *Lehre* – wzorzec, szablon) nazwa tunelowego pieca do wyżarzania/odprężania/relaksacji szkła płaskiego [181].

[5] Firma Foster Associates została założona w 1967 roku. W latach 90. XX wieku nazwa została zmieniona na Foster and Partners.

i rygli – widocznych linearnych części mocujących tafle. Elementem nośnym stały się szklane żebra podwieszone do stropu. Ten przykład wyraziście ilustruje problemy, które występują w odbiorze powszechnie stosowanych przezroczystych materiałów. Względy użytkowe – ograniczenie nasłonecznienia – wymusiły wykorzystanie szkła barwionego w masie na ciemnobrązowo. W rezultacie przezroczysty obiekt wydaje się masywny i niemożliwy do spenetrowania wzrokiem. „Nie komunikuje, ile ma kondygnacji, czemu służy i ukrywa wszystko to, co dzieje się za osłonami jego ścian" [245, s. 47]. Z racji kształtu i lustrzanej aparycji szybko został nazwany „czarnym fortepianem" [213, s. 85]. Efekt wizualny, do którego usilnie dążyli architekci, został radykalnie ograniczony. „Przezroczystość" dostępna jest wyłącznie dla osób znajdujących się wewnątrz budynku lub w nocy, gdy staje się on „lampionem".

W 1982 roku powstał prototyp systemu Planar 902 firmy Pilkington: przeszklenie ściany salonu samochodowego firmy Renault w Swindon w Wielkiej Brytanii (arch. Foster Associates, 1982). Zastosowane w budynku tafle nie tylko imponują rozmiarem – ponieważ są niemal dwukrotnie



Ryc. 2. Największa polska realizacja w systemie Pilkington-Planar w 2001 roku – Focus – Centrum Finansowe „Filtrowa" w Warszawie (arch. Kuryłowicz & Associates, 2001) [103; web 24].

Źródło: fot. i opracowanie autor



Ryc. 3. Miasto Nauki w Paryżu (arch. Adrien Fainsilber, inż. RFR – Rice Francis Ritchie, 1986).

Źródło: fot. i opracowanie autor

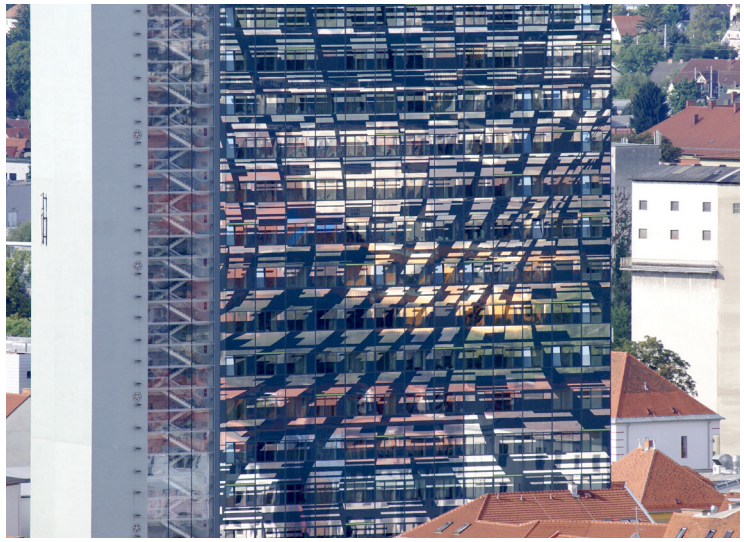
większe od tafli stosowanych dotychczas (1,8 × 4,0 m wobec 2,0 × 2,5 m) – ale także filigranową, stalową konstrukcją i punktowym mocowaniem. Ograniczenie do minimum wpływu siatki konstrukcyjnej otworzyło zupełnie nowe, niespotykane do tej pory, możliwości odbioru budynku (ryc. 2). Planar 902 to przykład **systemów bezramowych**, w których mniejsze tafle łączy się w fasady o bardzo dużych gabarytach za pomocą punktowych zawiesi, montowanych w otworach w narożnikach tafli, a uszczelnienia wykonuje ze specjalnie wytworzonych spoiw.

Ostatnim etapem rozwoju wydają się **cięgnowo-prętowe systemy nośne fasad**, w których sztywną konstrukcję zastępuje się wiotkimi stalowymi linami naprężonymi z odpowiednią siłą. Sztywność zapewniają właściwie zlokalizowane rozpórki – pręty ściskane, które tworzą elastyczną siatkę nośną, pozwalając „taflom i konstrukcji na niezależne odkształcanie się" [219, s. 65]. Prekursorem tych rozwiązań był Peter Rice [219], a po raz pierwszy na dużą skalę zostały zastosowane w Mieście Nauki – Cité des Sciences et de l'Industrie w Paryżu (arch. Adrien Fainsilber, inż. RFR – Rice Francis Ritchie, 1986) (ryc. 3). Przezroczyste tafle montowane w jednej płaszczyźnie – np. klejone szklenie strukturalne, przeszklenia mocowane punktowo – znajdują szerokie zastosowanie w architekturze i stały się jej standardową częścią. Mniejsze elementy tworzą większe, przepuszczające światło, płaszczyzny.

Postęp badań nad metalizowanymi powłokami materiałów przepuszczających światło prowadzi do opracowania nowych rozwiązań. Poszerza się gama możliwości modyfikowania właściwości optycznych tafli. Nadal rozwijane są powłoki „lustrzane", ale dostępne są również takie, które odbijają i przepuszczają światło o innej barwie [web 23] (zob. rozdz. 4.2.1.3, s. 151). Różne związki chemiczne wykazują odmienne właściwości optyczne, np. dwutlenki tytanu i krzemu tworzą **powłoki antyrefleksyjne**. W pierwszej kolejności były one stosowane wyłącznie w optyce, w soczewkach okularowych i pryzmatach, obecnie są powszechnie wykorzystywane również w budownictwie [217]. Stosuje się je wszędzie tam, gdzie kontakt wzrokowy jest niezbędny do prawidłowego przekazania informacji, m.in. w reklamie i wystawiennictwie. Są używane w przeszkleniach witryn sklepów, banków i restauracji. Nieoczekiwanie – wbrew intencjom twórców – przyczyniają się do stworzenia nowego zagrożenia. Idealnie przezroczysty materiał – gładki, pozbawiony skaz i odbić – staje się „niewidzialny" dla wielu użytkowników. Dematerializacja bariery osiąga „perfekcję", dochodzi do **wielu niebezpiecznych wypadków**, tzw. wejścia w taflę. „Niewidzialne" tafle nie są rozpoznawane jako bariera, informacja docierająca do ośrodków spostrzegania w umyśle jest niejednoznaczna, a jej interpretacja wadliwa (zob. rozdz. 6.7.3, s. 219). Aby rozwiązać problem, podejmuje się kroki natury prawnej [57, pkt. 2.24],

administracyjnie regulując wymogi, jakie przezroczysta przegroda powinna spełniać, aby była zauważalna dla użytkownika (zob. rozdz. 6.7.3.2, s. 226).

W wyniku wielu technologicznych odkryć, których rezultaty systematycznie wprowadzano do użytku, oryginalna jakość optyczna przepuszczającej światło elewacji, tak szczegółowo analizowana przez prekursorów nowego nurtu, została zastąpiona skrajnościami. W wybranych obiektach elewacje przezroczyste zmieniły się w przeskalowaną wersję weneckiego lustra, w innych powłoka sprawia wrażenie, że „zniknęła", stając się pułapką dla ludzi i zwierząt. Przezroczystość w jej pierwotnej Miesowskiej lub Gropiusowskiej odmianie została „świętym Graalem" współczesnej architektury, właściwością, do której uzyskania dążyło wielu, ale tylko nielicznym udało się ją osiągnąć. Problem odbioru i spostrzegania przezroczystości w architekturze **stał się tematem oficjalnego dyskursu**. W krytyce architektonicznej, w sposób całkowicie uzasadniony, zaczynają pojawiać się pojęcia „nieprzezroczystej przezroczystości" (*opaque transparency*) [115], a budzące wątpliwości rozwiązania są powszechnie kwestionowane.

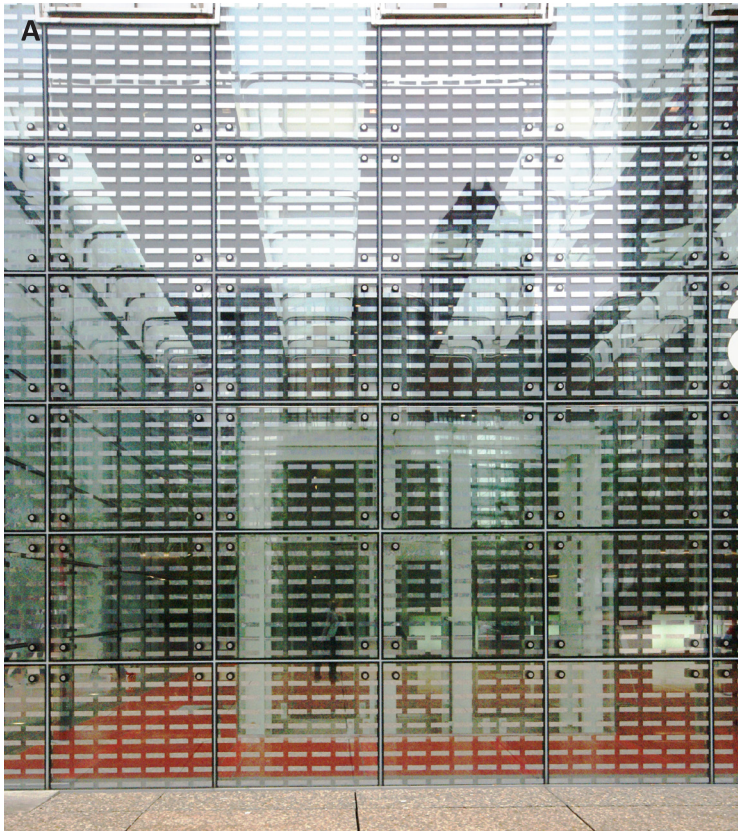


Ryc. 4. Zaburzenie odbioru monolitycznej bryły w zabudowie zabytkowej przez wprowadzenie na elewacji dynamicznego ornamentu wykonanego z czarnej i lustrzanej folii. Przebudowa biurowca z lat 60. XX wieku na lokalne centrum operatora telefonii komórkowej Telekom Austria w Grazu (arch. PPA Architects ZT GmbH, 2008).

Źródło: fot. i opracowanie autor

„Przezroczysty" trend rozwijający się w architekturze od ponad 120 lat znajduje się obecnie w fazie dynamicznego rozkwitu, choć warto odnotować wyraźną zmianę priorytetów. Obecnie architekci skupiają się nie tylko na konstruowaniu przestrzeni i tworzeniu brył, ale z równym zapałem oddają się „projektowaniu płaszczyzn, ich właściwości fizycznych, koloru i faktury" [140, s. 7]. Ta zmiana nastąpiła w ciągu ostatnich kilkunastu lat. Teoretycy modernizmu traktowali elewację jako rezultat kompleksowego rozwiązania projektowego. „Elewacjonizm" [245, s. 43] – tzn. uniezależnienie kompozycji elewacji od budynku – był ostro potępiany. Obecnie kompozycja malarska przeważa nad rzeźbiarską (ryc. 4) – na elewacje zwraca się szczególną uwagę, „stają się one dziełami sztuki, wchodzącymi w dialog z otoczeniem, którego podstawą jest poziom ich abstrakcji" [140, s. 7]. Stefan Kuryłowicz dostrzegał możliwość kształtowania przezroczystych elewacji pojedynczych przez „zastosowanie kompozycji tafli o różnej charakterystyce" [157, s. 96], a warstwowych „przez dobór szkła o określonych parametrach" i „dodatkowych elementów technicznych" [157, s. 96] służących do regulacji nasłonecznienia. Wydaje się możliwe wyodrębnienie trzech nowych nurtów poszukiwań formalnych, w dużej mierze uwarunkowanych przez rozwijającą się dynamicznie technologię.

1. Pierwszy nurt obejmuje stosowanie materiałów przezroczystych na dużych powierzchniach bez widocznej konstrukcji wsporczej (zarówno w pionie – ściana, fasada, okno, jak i w poziomie – dach, przekrycie, zadaszenie).



Ryc. 5. Efekt firany. **A.** Osiągnięty za pomocą nadruku: szklany wiatrołap w biurowcu Ariane, La Défense w Paryżu (arch. Robert Zammit, Jean de Mailly, 1975). **B.** Osiągnięty za pomocą ażuru. Ministerstwo Kultury w Paryżu (arch. Francis Soler, Frédéric Druot, 2004) (ryc. na następnej stronie).

Źródło: fot. i opracowanie autor

2. Drugim nurtem jest stosowanie materiałów przepuszczających światło w miejscach, w których dotychczas nie były wykorzystywane, lub tam, gdzie obecność materiałów przepuszczających wcale nie służy doświetleniu budynku. Przezroczystość pojawia się więc jako właściwość nadmiarowa (*redundant transparency*[6]), a materiały przepuszczające światło stanowią jedynie okładzinę [47].
3. Trzecim bardzo wyraźnie widocznym i dynamicznie rozwijającym się nurtem jest zastosowanie „nieprzezroczystych materiałów przezroczystych". Za pomocą nadruków, rastrów, przesłon, żaluzji lub innych systemów z pełną świadomością ogranicza się przepuszczanie światła w celu osiągnięcia innych, niewystępujących dotychczas efektów wizualnych. Płaszczyzna przezroczysta w tych rozwiązaniach służy jedynie jako „rusztowanie" do stworzenia swoistej zasłony. Bardziej istotne jest – jak pisze Kenneth Frampton – aby „patrzeć »na« woal, a nie »przez« woal" [za: 222, s. 14]. Powstały techniki lakierowania, nadrukowywania, nanoszenia powłok, piaskowania, matowienia (ryc. 5). Różnokolorowe, barwione w masie, matowe, mleczne i przeświecalne materiały znajdują zastosowanie równie często, jak te doskonale przezroczyste. Wtedy takie przepuszczające światło tafle „stają się welonem; wywołują subiektywną relację przez zdystansowanie zewnętrznego obserwatora budynku od przestrzeni wewnątrz, a tego, który znajduje się wewnątrz – od świata zewnętrznego" [222, s. 10].

Przezroczystość nie służy już wyłącznie do osiągnięcia konkretnych celów funkcjonalnych – np. doświetlenia wnętrz – ale staje się środkiem formalnym samym w sobie. Pojawienie się i stosowanie nowych tworzyw – materiałów przepuszczających światło – pociąga za sobą kłopotliwe zmiany. **Obserwatorzy – odbiorcy architektury – mają trudności z jej bezpiecznym użytkowaniem, natomiast architekci z przewidywaniem i reżyserowaniem tego procesu w różnych okolicznościach, otoczeniu, oświetleniu, porach dnia i przy zmiennej pogodzie**. Projektanci w swoich przewidywaniach opierają się na wyczuciu, niejasnej intuicji[7], a ta jest, jak wiadomo, zawodna i często prowadzi do błędnych decyzji. Powoduje to, że odbiór przezroczystości w architekturze staje się tematem aktualnym, ale – jak dotąd – nierozważanym z proponowanego w tej monografii ujęcia.

[6] Zagadnienie nadmiarowej przezroczystości jest przedmiotem obecnie prowadzonych przez autora badań oraz publikacji pt. *Redundant Transparency: The Building's Light-Permeable Disguise*, która w styczniu 2014 roku została przyjęta do druku w „Journal of Architectural and Planning Research" [47].

[7] Intuicja jest tu rozumiana jako „narzucające się przekonanie, którego nie można w pełni uzasadnić" [131]. W projektowaniu intuicję traktuje się jako „niepoprzedzone rozumowaniem wyczucie praw, związków i zależności" [204] – definicję intuicji podaje również J. Krzysztof Lenartowicz [161, s. 46].


B

1.2. Cel pracy

Przezroczystość w architekturze bywa rozpatrywana na bardzo wielu polach i w licznych kontekstach. Ze względów funkcjonalnych rozważa się doświetlenie przestrzeni przeznaczonych na stały pobyt ludzi i ograniczenie wpływu czynników atmosferycznych na użytkowników obiektu. Pod uwagę bierze się też techniczne i technologiczne możliwości wykonania przepuszczającej światło przegrody – gabaryty tafli i możliwość ich transportu na miejsce montażu. Zagrożenie wychłodzeniem lub przegrzaniem budynku analizuje się, badając jego uwarunkowania klimatyczne, orientację i ekspozycję. Koszt i sposób finansowania inwestycji uwzględnia się w kosztorysie. Budując makiety i tworząc symulacje komputerowe, testuje się budynek pod względem estetycznym i kompozycyjnym. Te elementy jakościowe w istotnym stopniu wpływają na całościowy wizerunek obiektu architektonicznego.

Celem opracowania jest przedstawienie **relacji odbiorca (obserwator)–obiekt architektoniczny** z uwzględnieniem kluczowych zagadnień dotyczących spostrzegania przezroczystości. Przedstawia **podstawowe prawa i reguły**, jakie rządzą odbiorem przezroczystych, a także innych przepuszczających światło materiałów w architekturze. Temu celowi służy studium odbioru określonych zjawisk optycznych. Argumentacja prezentowana w pracy koncentruje się na kwestiach dotyczących estetyki, optyki i spostrzegania, które jest domeną kognitywistyki[8].

Oprócz celów poznawczych, takich jak rozwój teorii architektury i jej powiązanie z teorią spostrzegania, autorowi przyświecały też cele pragmatyczne, m.in. udoskonalenie warsztatu projektanta i klarowność formalnego przekazu. Projektanci, nie znając ściśle cech i praw rządzących odbiorem przepuszczających światło materiałów, nie są w stanie dokładnie przewidzieć skutków ich zastosowania. Zdarza się więc, że podejmowane decyzje prowadzą do zakwestionowania założonych na wstępie walorów formalnych obiektu i tym samym wpływają na **niezgodny z intencjami i aspiracjami twórcy odbiór architektury**. Występuje tu tzw. niezgodność semantyczna – nieprawidłowa interpretacja przez odbiorców architektury znaczeń zakodowanych przez projektantów [161, s. 98 i 127]. Sformułowanie reguł spostrzegania przezroczystości ma pomóc uświadomić projektantom, jak złożony proces myślowy zachodzi w przypadku spostrzegania oraz od jak wielu czynników zależy jego powodzenie. Przetworzenie i interpretacja tych reguł – w założeniu autora – pozwoliłyby na zapoczątkowanie **nowej praktyki w projektowaniu architektury**, nastawionej na

[8] Kognitywistyka to nauka interdyscyplinarna, nadrzędna dla wielu dyscyplin: psychologii poznawczej, neurobiologii, filozofii umysłu, sztucznej inteligencji, lingwistyki [web 18]. Obecnie spostrzeganie jest przedmiotem badań kognitywistyki, wcześniej psychologii poznawczej, a jeszcze przedtem filozofii. Uważa się, że nadchodzi era modelowania procesów poznawczych – sztucznej inteligencji. „Wszystkie te nauki tworzą nieformalną konfederację »nauk kognitywnych«" [190].

pogłębioną analizę odbioru zjawisk optycznych związanych ze spostrzeganiem przezroczystości. Oczekiwanym rezultatem będzie **wysoka jakość powstających budynków** i spójność uzyskanych efektów estetycznych z intencjami projektantów. Dzięki temu projektowanie przezroczystych przegród będzie można prowadzić z większą świadomością procesów poznawczych odbiorcy i uwzględniać ich mechanizmy już na etapie planowania lub formułowania wstępnych założeń.

Doskonaleniu rezultatów decyzji projektowych służą: **podział na rodzaje tafli**, **typologia układów materiałów przepuszczających światło** oraz **model perforacyjny**, w którym nieprzepuszczająca światła lustrzana płyta perforowana o określonej grubości stanowi analogię przezroczystej tafli.

Podział tafli na rodzaje ma na celu jednoznaczne określenie ich specyficznych cech optycznych, a także tego, jakie efekty wizualne mogą wystąpić w wyniku przepuszczania strumieni świetlnych. Nie wszystkie materiały przepuszczające światło to materiały przezroczyste. Sporą grupę stanowią tafle barwne, ornamentowe i przeświecalne – rozpraszające światło.

Typologia układów służy: usystematyzowaniu i sprecyzowaniu pojęć oraz określeń; opisowi porządkującemu i systematyzacji rozpatrywanego zbioru rozwiązań architektonicznych; badaniu wpływu elementów układu na spostrzegany przez obserwatora efekt wizualny; odkryciu zależności i ocenie wpływu różnych czynników na odbiór materiałów przepuszczających światło w architekturze.

Model perforacyjny – bazujący na wcześniejszej publikacji autora [54] (zob. przyp. 165, s. 242) – umożliwia wyjaśnienie niedostępnych intuicji zjawisk optycznych (np. zmiennych wartości współczynników odbicia i przepuszczania) za pomocą terminów i pojęć zrozumiałych dla architektów. Model uwzględnia relacje między strumieniami świetlnymi działającymi na taflę z dwóch stron, a nie skupia się na przezroczystym materiale jako takim. Pozwala jednak na zdefiniowanie wszystkich jego parametrów. Model, choć ma pewne ograniczenia, może być stosowany do różnych celów, tj. wyjaśniania praw fizycznych rządzących zjawiskami optycznymi zachodzącymi w relacji światła z materią przy wykorzystaniu pojęć z zakresu optyki geometrycznej; poszukiwania określonych efektów wizualnych i estetycznych w praktyce architektonicznej; poprawy bezpieczeństwa użytkowników; ograniczenia zużycia energii dzięki przewidywaniu planowanych efektów wizualnych.

1.3. Metoda badawcza

Powszechnie obowiązująca w nauce doktryna segregacji w ramach poszczególnych dyscyplin każe formułować odrębny dorobek, grupować osiągnięcia i wyniki badań, **starannie określać granice**.

Wiele praktycznych przesłanek przemawia za takim podejściem do pracy naukowej. Zwiększająca się w postępie geometrycznym baza wiedzy sprawia, że jedynie wyodrębnione jej fragmenty są możliwe do objęcia przez jednostki, a realny postęp dokonywany jest głównie tam, gdzie praca naukowa skupia się na określonym szczegółowo celu.

W rzeczywistości – w przeciwieństwie do świata nauki – nie ma jednak podziałów. Wbrew modelom tworzonym przez poszczególne dyscypliny obserwator w chwili interakcji ze światem zewnętrznym podlega wpływowi skumulowanych bodźców, bez możliwości ich „dyscyplinarnego" rozróżnienia. Ma ono miejsce później, na etapie szczegółowej analizy przeprowadzanej przez specjalistów każdej z dziedzin. Interesujące problemy jednej dyscypliny nie zawsze dają się rozpatrzyć wyłącznie w jej ramach. Wtedy należy **dokonać przeglądu różnych nauk** i wybrać te, które zajmują się **podobnymi zagadnieniami, ale w odmiennym ujęciu**. Wyszukiwanie obszarów wiedzy o szczególnym zagęszczeniu informacji odnoszących się do własnych zainteresowań ułatwia rozważanie problemów oraz pozwala sformułować konkretne, zwięzłe wnioski. W rezultacie dochodzi do połączenia wiedzy z odrębnych dziedzin.

Zjawiskiem przezroczystości – przepuszczania światła przez materiały – zajmują się różne dyscypliny wiedzy. Pierwsza z nich to **inżynieria materiałowa** – nauka o tworzywie, również budowlanym, w tym o materiałach przepuszczających światło. Druga to **optyka geometryczna**, której narzędzie służy do opisu zjawisk odbicia, rozproszenia, przepuszczania, załamania światła. Trzecią jest **psychologia poznawcza** – część **kognitywistyki** analizująca procesy towarzyszące odbiorowi bodźców świetlnych i ich umysłową interpretację. Osiągnięcie zamierzonego celu badawczego wymaga poszukiwania powiązań różnych dziedzin, które nieustannie się rozwijają. Do takich interdyscyplinarnych specjalności łączących pozornie odległe zagadnienia (np. spostrzegania i sztuki budowlanej) należy **psychologia architektury**[9] – „metasystem obejmujący systemy architektury i psychologii" [161, s. 94] – od lat 60. XX wieku rozwijający się jako wyodrębniona gałąź psychologii. Psychologia architektury bada „reakcje człowieka na złożone bodźce pochodzące od stworzonego przezeń otoczenia i działające nań w chwili, gdy porusza się on pomiędzy fizycznymi przedmiotami" [161, s. 97]. Rozległe tematycznie zadanie badawcze postawione przez autora wymaga zacieśnienia i ograniczenia w aspekcie rozważanego szczegółowo zagadnienia, a także ustalenia jednolitej terminologii[10].

[9] Psychologia architektury kojarzona jest z psychologią środowiskową, ale „wyróżnia się z psychologii środowiska jako jej część odnoszącą się do środowiska zbudowanego przez człowieka dla jego potrzeb, tj. środowiska architektonicznego" [161, s. 96].

[10] Określone terminy mają w różnych dyscyplinach odmienne znaczenia bądź są inaczej rozumiane. Dotyczy to określeń ogólnych, np. „model", i terminów szczegółowych, np. „wskazówka". Do kwestii terminologicznych autor odnosi się na bieżąco.

W niniejszej monografii wzięto pod uwagę zagadnienia wykraczające poza ściśle architektoniczną tematykę, dotychczas niekojarzone z przezroczystością w architekturze. Poszczególne wątki problemowe łączone są ze względu na aktualnie rozważany temat. W celu prezentacji całościowego mechanizmu spostrzegania przezroczystości należy **rozpatrywać zagadnienia z pozornie odległych dziedzin nauki** oraz poszukiwać potencjalnych zależności, a także praw i reguł, które tymi związkami rządzą.

Przedstawiony w opracowaniu problem ogólny dotyczy określenia czynników determinujących spostrzeganie przez obserwatora materiałów przepuszczających światło w architekturze. Wizualny kontakt obserwatora ze światem zewnętrznym odbywa się za pośrednictwem obrazu siatkówkowego. **Podstawą** zaproponowanej **metody badawczej jest analiza tego obrazu** (utrwalonego cyfrowo; zob. rozdz. 2.8.3, s. 63) zgodnie z kolejnością występowania procesów zdobywania i przetwarzania informacji o środowisku. W pracy przewidziano wykorzystanie innych narzędzi badawczych na każdym z omawianych etapów spostrzegania.

• W pierwszej części monografii (rozdz. 2–4) rozważane są czynniki zewnętrzne znajdujące się poza umysłem: strumienie świetlne wchodzące w interakcję z materiałami przepuszczającymi światło. Wpływają one na utworzenie obrazu siatkówkowego – optycznego odwzorowania tafli przepuszczającej światło. Uogólnienia wyprowadzane są „z pewnych przypadków indywidualnych" [178, s. 476], w których występują określone poszukiwane zjawiska. Analizę czynników zewnętrznych wpływających na powstawanie obrazu przeprowadzono przy wyróżnieniu powtarzalnych **efektów wizualnych** występujących podczas obserwacji tafli. Utworzono systematykę efektów w oparciu o zachodzące **zjawiska optyczne**. Zostały one przypisane określonym **rodzajom tafli** przepuszczających światło. Zaproponowano także **schematy**, które ułatwią oznaczanie efektów uwidocznionych na zarejestrowanych obrazach. Na podstawie dokonanych obserwacji stworzono również **typologię układów materiałów przezroczystych** w architekturze. Kryterium zastosowanym do wyodrębnienia typów układów są optyczne własności przegrody i występujące efekty wizualne.

• W drugiej części (rozdz. 5) przedstawiono ograniczenia narządu wzroku, które stały się inspiracją do stworzenia perforacyjnego modelu przezroczystej gładkiej tafli. Do weryfikacji jego przydatności w badaniach nad przezroczystością w architekturze posłużono się **metodą matematyczną**.

• W trzeciej części (rozdz. 6) przedmiotem rozważań jest odbiór obrazu siatkówkowego przez umysł na drodze złożonych wielofazowych procesów poznawczych. Obraz siatkówkowy przeanalizowano

ze względu na wystąpienie określonych konfiguracji plam i obszarów o odmiennej jasności stanowiących **wskazówki**, dzięki którym umysł spostrzega przezroczystość. Prześledzono ich sposób przetwarzania i interpretacji w kolejnych fazach spostrzegania przy powołaniu się na rozbudowaną teorię opartą na doświadczeniach innych badaczy.

W opracowaniu **poszukuje się powiązań** między procesami zachodzącymi na kolejnych etapach przetwarzania informacji o środowisku: a) odbiorem bodźców odległych – kształtowanych poza organizmem obserwatora zgodnie z regułami optyki geometrycznej; b) odbiorem bodźców bliskich rejestrowanych przez siatkówkę i c) procesami poznawczymi, uwarunkowanymi przez mechanizmy przetwarzania informacji u człowieka analizowanymi przez kognitywistykę. W wyniku tych prac we wnioskach określono związki, które łączą **efekty wizualne** – z etapu tworzenia bodźców – z odpowiadającymi im **wskazówkami poznawczymi** – z etapu ich przetwarzania.

Metody analizy zarejestrowanego obrazu oraz występujących efektów wizualnych i wskazówek poznawczych zostały oparte na założeniu, że odczucia estetyczne obserwatorów i użytkowników architektury są z reguły intersubiektywne, więc dostępne dla „więcej niż jednego podmiotu poznającego" [130]. Na tożsamej teorii bazuje mało znana w Polsce, zaawansowana **metoda VIA** (*Visual Impact Assessment*). Andrzej Niezabitowski pisze o tym w ten sposób: „Wiele badań wykazało ponadto, że o ile istnieje wprawdzie pewnie dość wąski zakres zagadnień estetycznych, co do których opinie badanych osób są podzielone, to jednak zarazem pozostaje bardzo szerokie pole, w którym opinie dotyczące jakości estetycznej wykazują znaczącą zbieżność" [195, s. 11][11]. Pozwala ona na wyciąganie uogólnionych wniosków, z założeniem, że są one podzielane przez zdecydowaną większość obserwatorów. Określone pojęcia i **narzędzia metody VIA** (ocena charakteru wizualnego układu oraz wydzielenie stref wizualnych) również zostały wykorzystane w prezentowanym opracowaniu [247].

Niezbędnymi składnikami zaproponowanej metody naukowej są **obserwacja terenowa i eksperyment** [205, s. 76]. **Obserwacja** odgrywa istotną rolę w zbieraniu danych i formułowaniu spostrzeżeń naukowych. Wyniki terenowych badań obserwacyjnych zarejestrowano metodą fotograficzną. Zdecydowana większość realizacji ujętych w pracy (95%) została udokumentowana przez autora monografii[12], co pozwala na odtworzenie proporcji strumieni świetlnych oddziałujących

[11] Badania jakości środowiska zbudowanego opierające się na metodach VIA, Post-occupancy Evaluation oraz Quality Assessment and Facility Management są w Polsce prowadzone od początku lat 90. XX wieku [193, s. 5–10].

[12] Materiał fotograficzny wykorzystany w niniejszym opracowaniu w większości pochodzi z podróży autora po Europie Zachodniej i USA odbytych w latach 2000–2012. Obecnie, w ramach badań statutowych pt. „Przezroczystość w nadmiarze. Nietypowe zastosowania przezroczystych materiałów osłonowych", autor inwentaryzuje i kataloguje przykłady krajowe.

na tafle na podstawie dynamicznej obserwacji terenowej i osobistych wrażeń. Odtworzenie tych proporcji nie jest możliwe wyłącznie w oparciu o sam zarejestrowany obraz (np. z wykorzystaniem fotografii agencyjnych). Ten sposób gromadzenia materiału ma wady i zalety. Wadą jest ograniczony zakres terytorialny wynikający z fizycznych możliwości przemieszczania się i limitów budżetowych. Zaletą są wnioski, które wypływają z osobistego, bezpośredniego kontaktu badacza z analizowanym obiektem. Pozostałe ujęte w opracowaniu realizacje architektoniczne (5%[13]) pochodzą z kwerendy literaturowej lub obszernej bazy danych zgromadzonych w toku prac przygotowawczych.

Równolegle z obserwacjami przeprowadzone zostały także **eksperymenty**. Przy zachowaniu niezmiennych parametrów obserwacji – oświetlenia i właściwości optycznych tafli – autor świadomie izolował i manipulował jedną tzw. zmienną niezależną: punktem obserwacji albo bilansem strumieni świetlnych. W rezultacie obserwowana była zmiana proporcji obrazów tworzonych przez strumienie świetlne. Manipulacja zmienną niezależną polega na swobodnym przemieszczaniu się obserwatora i zmianie kąta obserwacji lub – przy wykorzystaniu odpowiednich filtrów – na eliminacji odbitego strumienia świetlnego przyczyniającego się do powstania obrazu pozornego (więcej na ten temat w rozdz. 6.7.3.1, s. 221). W wyniku obserwacji i eksperymentów **odkrywane są związki** między zmianą parametrów obserwacji a jej rezultatami. Na tej podstawie podejmowane są próby budowania uogólnień. Sformułowane w ten sposób wnioski służą wyjaśnieniu i analizie obserwacji terenowych. Najważniejsze z nich zostały w skondensowany sposób przedstawione w postaci podsumowań.

Podjęte badania wchodzą w zakres psychologii środowiskowej, w obszar, w którym rozważa się „wpływ fizyczno-przestrzennych modalności środowiska […] na psychikę i zachowanie” [161, s. 100][14]. Zgodnie ze sformułowanym przez J. Krzysztofa Lenartowicza diagramem (zapis zgodny z oryginałem) dzieło architektury przedstawiane jest w postaci czterech sześcianów odpowiadających czterem aspektom przedmiotu: genezie <**G**>, strukturze <**S**>, właściwościom obiektywnym <**WO**> (subiektywne opisywał Zygmunt Kleyff w pracy z 1964 roku [160, s. 65]) oraz użyteczności <**U**>. Aspekty te „powiązane są w łańcuch” wzajemnych relacji [161, s. 101]. Procesy projektowania i eksploatacji przebiegają przez wszystkie wymienione etapy, tylko w odwrotnej kolejności:

[13] Warsztaty KAIT Kobo – Kanagawa Institute of Technology, budynek Towarzystwa Ubezpieczeniowego Lloyda, Pawilon Chrystusa w Volkenrodzie.

[14] Psychologia środowiskowa „bada związki między sposobami kształtowania ludzkiego środowiska a ludzkim zachowaniem”. Wywodząca się z niej estetyka środowiskowa analizuje „wpływ aspektów fizykalnych środowiska oddziałujących przez zmysły” na zachowanie człowieka. Zgodnie z założeniami estetyki środowiskowej wysoka jakość estetyczna wpływa korzystnie na samopoczucie i stan zdrowia oraz jest stawiana przez badanych wysoko w hierarchii „kryteriów oceny ogólnej jakości środowiska” [195, s. 11].

U→WO→S→G lub **G→S→WO→U**. Zgodnie z przyjętymi określeniami niniejsza monografia koncentruje się na dwóch aspektach: właściwościach obiektywnych <**WO**> oraz użyteczności/odbiorze <**U**>.

W każdej pracy naukowej konieczne jest **ograniczenie zakresu badanych zagadnień**. W analizach odbioru przezroczystości w architekturze takie działanie uzasadnione jest bogactwem dostępnych danych, zarówno faktograficznych, jak i dokumentacyjnych. Badania prowadzone przez autora zostały zawężone do wybranych przykładów architektury najnowszej. Przez to określenie rozumie się obiekty zrealizowane nie wcześniej niż 20 lat przed rozpoczęciem badań (pierwsze autor zainicjował w 2008 roku). Przyjęte ograniczenie pozwala na skoncentrowanie uwagi na przykładach, które – zdaniem autora – są reprezentatywne dla przedstawianych zagadnień i zostały zrealizowane z zastosowaniem najnowszych rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych.

1.4. Stan badań

Przezroczystość rozumiana jako cecha, właściwość ciała fizycznego, jest zagadnieniem interdyscyplinarnym. W nowożytnej nauce była przedmiotem licznych prac teoretycznych i kazuistycznych z różnych odległych dziedzin wiedzy. Obecnie liczba specjalistycznych publikacji prezentujących wyniki szczegółowych, także laboratoryjnych, badań zwiększa się istotnie. Zawarte tam informacje nie są łatwo dostępne, a ich powiązanie wymaga rozległej wiedzy, często trudnej do opanowania przez jednego badacza.

Rozważanie spostrzegania przezroczystości w architekturze wymaga uwzględnienia takich szczegółowych dziedzin, jak: wiedza o architekturze, psychologia poznawcza – część kognitywistyki, psychologia architektury, optyka geometryczna oraz inżynieria materiałowa. Określenie pełnego **kanonu literatury naukowej omawianego zagadnienia jest zadaniem złożonym, niemal niemożliwym**, i wymaga selekcji – ustalenia zasadniczych, dla rozwijanej tematyki, publikacji lub cyklów prac badawczych. Nie wszystkie z nich doczekały się naukowego opracowania, co nie zmniejsza ich wartości merytorycznej, bardzo często odkrywczej dla omawianych problemów. Istotną częścią dorobku odnoszącego się ściśle do spostrzegania są także artystyczne eksperymenty i poszukiwania. Trudno uznać je za źródła naukowych danych, ale są doskonałym potwierdzeniem reguły, że praktyka niemal zawsze wyprzedza opracowanie teoretyczne. Dostępnych jest również wiele pozycji, w których materiały przepuszczające światło rozpatrywane są z innych punktów widzenia. I tutaj ze względu na obfitość danych ustalenie kanonu jest trudne. Autor jest przekonany,

że szczególnie cenne są publikacje wychodzące poza ramy standardowego opracowania, głównie ze względu na potencjał w przekraczaniu granic dyscyplin.

W dziedzinie materiałów przepuszczających światło – szkła i tworzyw sztucznych – w ciągu ostatnich 30 lat nastąpił dynamiczny rozwój. Ważny przedmiot zainteresowania specjalistów stanowią materiały przezroczyste, w których dochodzi do wyjątkowo interesujących zjawisk fizycznych związanych ze światłem. Inżynieria materiałowa bada możliwości przepuszczania światła przez materiały istniejące oraz tworzy nowe, np. takie, które dotąd nie wykazywały podobnej właściwości (np. przezroczysty beton) [web 20]. Nieprzerwanie opracowywane są nowe rodzaje szkła i przezroczystych tworzyw sztucznych, takie jak szkło konstrukcyjne lub ciepłochronne, charakteryzujące się niespotykanymi dotąd właściwościami wytrzymałościowymi lub izolacyjnymi. Tworzone są także nowe powłoki, które modyfikują optyczne cechy materiałów już istniejących. Dokładne studium przepuszczania i odbicia światła jest dostępne w wielu pracach szczegółowych [165; 278], ale zastosowany warsztat matematyczny czyni je trudno dostępnymi dla praktyków w dziedzinie architektury. Książka pt. *QED – osobliwa teoria światła i materii* autorstwa Richarda Phillipsa Feynmana [100] jest cennym źródłem wiedzy i informacji dla osób bez znajomości skomplikowanego warsztatu matematycznego. Zawiera ona fachowy i jednocześnie przystępny opis zjawiska odbicia promienia światła od gładkiej tafli. Feynman odnosi się tam, nieco żartobliwie, do wielu istotnych problemów współczesnej fizyki kwantowej, wprowadza i wyjaśnia sporo znaczących, ale zarazem metaforycznych terminów, m.in. „zwalnianie światła".

1.4.1. Badania i opracowania z dziedziny teorii architektury

Dynamiczny okres rozwoju technologicznego materiałów przepuszczających światło (także tworzyw sztucznych) przypadł na przełom XIX i XX wieku. W tym czasie najwięcej innowacji do teorii architektury wnieśli praktykujący architekci; wtedy powstały też pierwsze, bardzo ważne prace teoretyczne. W książce pt. *Glasarchitektur* z 1914 roku, niemieckiego ekspresjonisty Paula Scheerbarta [233], pojawiły się entuzjastyczne stwierdzenia: „nowe szklane tysiąclecie odmieni ludzkość", a Ziemia będzie wyglądała tak, jakby „przywdziała strój z brylantów i emalii"[15] [30, s. 117]. Do tej pozycji nawiązuje późniejszy esej Ludwiga Hilberseimera pod tym samym tytułem z 1929 roku [126, s. 522], odnoszący się nieco bardziej krytycznie i racjonalistycznie do profetycznych wizji Scheerbarta. Obie prace weszły do kanonu współczesnych pism źródłowych poświęconych tzw. szklanej rewolucji.

[15] Dla ekspresjonistów kryształ stał się „formą absolutną, idealną, ostateczną i najwyższą" [161, s. 26].



Ryc. 6. Odbicie gaju eukaliptusów w przezroczystych taflach pracowni Ray i Charlesa Eamesów znajdującej się w Pacific Palisades – nadbrzeżnej dzielnicy Los Angeles (arch. Charles i Ray Eamesowie, 1949).

Źródło: fot. i opracowanie autor

Istotnym etapem rozwoju technologii, architektury i teorii było wynalezienie ściany osłonowej. Pojawiła się ona w wizjonerskich projektach Le Corbusiera i Ludwiga Miesa van der Rohego. Pierwsze realizacje – budynek Sekretariatu ONZ oraz biurowiec dla firmy Seagram w Nowym Jorku – odbiły się głośnym echem w świecie. Wcześniej, w latach 20. XX wieku, Mies van der Rohe podjął pierwsze próby przewidywania efektów wizualnych powstałych w wyniku zastosowania materiałów przepuszczających światło. Architekt tworzył ołówkowe szkice, np. biurowca na Friedrichstrasse w Berlinie (1919), ale – z powodu ograniczonych możliwości odtworzenia rzeczywistych efektów optycznych – w następnych koncepcjach wykorzystywał zredukowane makiety. Zachował się materiał fotograficzny z tych eksperymentów. Mies van der Rohe w 1922 roku we własnym ogrodzie fotografował makietę „szklanego wieżowca" [74, s. 80]. Była to wówczas jedyna skuteczna metoda oceny konsekwencji zastosowania gładkich i jednorodnych materiałów przepuszczających światło ze względu na znaczny stopień złożoności zjawisk optycznych wpływających na wygląd budynku: „szklane ściany osłonowe są na przemian przejrzyste, odzwierciedlające i załamujące światło w zależności od słońca i punktu widzenia" [122; 235, s. 102]. Podobne eksperymenty przeprowadzał także Le Corbusier. Zachował się film pt. „Batir" (reż. Pierre Chenal, 1930) [web 2] dokumentujący, jak architekt, trzymając w dłoni model tzw. kartezjańskiego wieżowca (*Cartesian Skyscraper*), prezentuje zmienność bryły w świetle dziennym [69].

W latach 40. XX wieku Charles Eames opracował jeszcze lepszą metodę przewidywania rezultatów decyzji projektowych. Fotografował makietę swojego domu, który ostatecznie stanął w Pacific Palisades na przedmieściach Los Angeles, aby uwzględnić odbicia wszystkich elementów krajobrazu znajdujących się w otoczeniu budynku, a szczególnie gaju eukaliptusów na zboczu, z którym sąsiadował projektowany dom. Złożone linie konarów kojarzyły się architektowi z „żyłkami marmuru" [264, s. 146], a odbicia drzew były „powielone i przesunięte bez końca" [264, s. 146]. W wyniku analizy wykonanych fotografii projektant doszedł do wniosku, że określone sekcje elewacji można zastąpić ujęciami otoczenia, a rezultat na pierwszy rzut oka będzie nie do odróżnienia (ryc. 6) [264, s. 146].

Prace dotyczące badania zastosowania materiałów przezroczystych prowadzone przez Ludwiga Miesa van der Rohego oraz Charlesa Eamesa stworzyły podwaliny dla współczesnej wiedzy o przezroczystości w architekturze. Kontynuowane były przez praktykujących projektantów i dotyczyły – co jest charakterystyczne – pojedynczych obiektów i ich późniejszej realizacji. Z punktu widzenia formułowania ogólnego wkładu do nauki ograniczenie do budynków w ściśle zdefiniowanych lokalizacjach jest słabością prowadzonych badań. Celem tych prac nie było jednak poszukiwanie uogólnień, ale

znalezienie odpowiedzi na bardzo konkretnie zadane pytania. Wkład tych działań w rozwój dyscypliny jest zatem niekwestionowany. Warto nadmienić, że do dziś nie stworzono równie wiernej metody przewidywania rezultatów zastosowania materiałów przezroczystych w architekturze. Wizualizacje komputerowe, choć ich jakość nieustannie ulega poprawie, dostarczają jedynie coraz doskonalszych przybliżeń. W innych dyscyplinach projektowych, np. w obliczeniach zaawansowanych konstrukcji budowlanych, stosowane są systemy pozwalające na „generowanie numerycznych modeli powierzchniowych, nawet złożonej geometrii" [218, s. 64]. Ze zrozumiałych powodów odzwierciedlają one zachodzące procesy fizyczne: wytrzymałość materiałów i pracę struktur przestrzennych pod różnymi wariantami obciążeń. W kwestii wizualizacji architektonicznych trudno jednak mówić o zobiektywizowanym narzędziu. Wiele bowiem zależy od ilości poświęconego czasu i umiejętności operatora, a powstające wizualizacje częściej przedstawiają wyobrażenia projektantów niż oparte na racjonalnych przesłankach – matematycznych wyliczeniach – przewidywania.

Istotnym i powszechnie uznawanym wkładem do architektonicznej teorii zagadnień przezroczystości stał się esej Colina Rowe'a i Roberta Slutzky'ego pt. *Transparency: literal and phenomenal* [226]. Artykuł, choć napisany w 1956 roku, ukazał się dopiero 7 lat później w czasopiśmie „Perspecta" wydawanym na Uniwersytecie Yale. Autorzy dostrzegają różnicę między przezroczystością „rzeczywistą" i „fenomenalną" (*phenomenal*[16]), a jednej i drugiej poszukują także w obrazach kubistów. Formułowane definicje przedstawiają jednak w sposób na tyle nieostry, że – niejako świadomie – pozostawiają pole do wielu interpretacji. Artykuł stał się kanwą nowych prac teoretycznych i badawczych w architekturze. Nieporozumienia, które wokół niego narosły, autorzy wyjaśnili w drugiej, 8 lat późniejszej, części eseju pt. *Transparency: literal and phenomenal. Part II* z 1971 roku [227]. Jednak dopiero Rosemarie Haag Bletter w 1978 roku [115] krytycznie przeanalizowała obydwa artykuły, wykazując czasem dość oczywiste logiczne błędy autorów (ze względu na rozbudowaną polemikę omówienie tego tekstu zostało przedstawione w Załączniku A. Przezroczystość rzeczywista i fenomenalna, s. 251). O rozpowszechnieniu pierwszej i ograniczonej znajomości drugiej części opiniotwórczego tekstu świadczą także liczne odwołania w źródłach krajowych. Jacek Dominiczak pisze o „przezroczystości fenomenalnej" i „płytkiej przestrzeni" w cyklu esejów pt. *Miasto dialogiczne* [86], a metaforycznie odnosi się do niej także teoretyk literatury Marek Bieńczyk w wydanej w 2007 roku monografii pt. *Przezroczystość* [30]. Bieńczyk trafnie ubiera zagadnienie przezroczystości w słowa, jakich architekt-inżynier może tylko pozazdrościć. Idea

[16] Rudolf Arnheim określa tę odmianę przezroczystości jako „przezroczystość postrzeżeniową", w oryginale *perceptual transparency* [13, s. 258].

płytkiej przestrzeni stała się również bazą dla artystycznej instalacji „Delay(er)ing Facade", przygotowanej przez Dominika Lejmana i Jacka Dominiczaka w ramach La Biennale di Venezia. 9th International Architecture Exhibition 2004 [web 3].

W 1956 roku, w tym samym czasie co esej Rowe'a i Slutzky'ego, powstała praca doktorska Jeana Starobinskiego pt. *Jean-Jacques Rousseau. La transparence et l'obstacle*, czyli „Jean-Jacques Rousseau. Przejrzystość i przeszkoda". Autor, szwajcarski lekarz psychiatra i literaturoznawca, położył w niej fundamenty własnej teorii spostrzegania rozumianej w kategoriach relacji i percepcji [146]. W 1961 roku Starobinski napisał krótki esej pt. *Le voile de Poppée* [251], który stał się przełomowym nie tylko w zagadnieniach literackich, ale wywarł także wpływ na architekturę. Metaforyczny woal, skrywający twarz Poppei Sabiny, kochanki cesarza Nerona, szybko znalazł swoją architektoniczną analogię w postaci półprzejrzystego, skrywającego wnętrze budynku „pokrowca" [245, s. 44].

Teksty Rowe'a i Slutzky'ego oraz Starobinskiego wydają się w sposób zasadniczy definiować współczesne zagadnienia związane z przezroczystością w architekturze. Tworzą szkielet do teoretycznych analiz wielu obiektów. Konkurs na projekt Francuskiej Biblioteki Narodowej zorganizowany w 1989 roku stał się areną, na której starły się nowe idee. Rem Koolhaas przetworzył „woal Poppei" na półprzejrzystą przegrodę otaczającą nieregularnie rozmieszczone bryły, gdzie znajdowały się poszczególne działy biblioteki [268]. Dominique Perrault zaproponował budynek składający się z czterech przezroczystych „szklanych skrzyń" [96, s. 47–60] (zob. np. ryc. 114, s. 222). Projekt francuskiego architekta zwyciężył, ale idea przejrzystego woalu jest kontynuowana przez wielu twórców do dziś. Istotnym tekstem źródłowym są także listy, do których wymiany dochodzi między Jakiem Derridą a Peterem Eisenmanem. Derrida pisze, że „szkło jest wrogiem wszelkiej tajemnicy", wspomina także, iż wszystkie „wynalazki Eisenmana w dziedzinie przezroczystości" pochodzą od Rowe'a i Slutzky'ego.

Pozycją, która syntetyzuje nagromadzoną wiedzę i podaje ją w przystępnej formie, jest książka pt. *The Light Construction Reader* z serii „Source Books in Architecture" pod redakcją Terence'a Rileya. Pierwsze wydanie ukazało się w 1995 roku w edycji Museum of Modern Art w Nowym Jorku jako katalog wystawy pt. *Ligth Construction* [222]. Po naukowym przygotowaniu pierwotnego materiału praca została wznowiona w 2009 roku. Wzbogacono ją o wiele niepublikowanych wcześniej tekstów, korespondencję oraz przykłady realizacji. Zawarte w niej materiały ukazują problematykę przekrojowo i stały się istotnym źródłem inspiracji dla autora niniejszej monografii. Także książka

Translucent materials. Glass, Plastics, Metal napisana przez Franka Kaltenbacha [140] nie jest typowa dla poruszanej tematyki. Jako jedna z niewielu, poza zagadnieniami dotyczącymi szkła, zajmuje się problematyką tworzyw sztucznych, membran budowlanych i perforowanych metali, które sprawiają wrażenie przezroczystych. Istotną współczesną pozycją źródłową zawierającą aktualny materiał jest także *Engineering Transparency: The Technical, Visual, and Spatial Effects of Glass*. To opracowane naukowo materiały trzydniowego sympozjum odbytego w 2007 roku na Columbia University w Nowym Jorku. Wydawnictwo zawiera zarówno teksty teoretyczne badaczy współczesnej architektury: Beatriz Colominy oraz Kennetha Framptona, jak i materiały o charakterze stricte przeglądowym [24].

Cenny materiał faktograficzny znajduje się także w innych pracach przeglądowych opisujących konkretne realizacje lub katalogujących możliwe do zastosowania technologie. Ze względu na faktyczne zagrożenie wychłodzeniem w okresie zimowym i przegrzaniem w okresie letnim projektowanych obiektów większość dostępnych źródeł koncentruje się na aspektach klimatycznych. Odpowiednie zastosowanie przegród przezroczystych i właściwy dobór materiału pozwala na dokonanie „oszczędności rzędu 10–50% niemal w każdym klimacie" [168, s. 21]. Wobec tych względów – również finansowych – dominacja zagadnień energetycznych jest uzasadniona i powoduje, że niewiele publikacji porusza optyczne i estetyczne aspekty przepuszczania i odbicia światła.

W krajowej literaturze naukowej wyjątkiem od tej reguły i tym samym wiodącą pracą poruszającą zagadnienia przepuszczania światła przez przegrody jest monografia pt. *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej* autorstwa Wacława Celadyna [67]. Jest to kompendium wiedzy na temat uwarunkowań energetycznych, zawierające także kryteria wyboru rozwiązań techniczno-materiałowych. Z punktu widzenia rozważanej problematyki najbardziej cenna wiedza przedstawiona została w rozdziale 7.3 pt. *Szkło a estetyka i percepcja budynków* [67, s. 167–176], który porusza aspekty optyczne odbioru przegród i tym samym stanowi podstawę nomenklatury i odniesienie dla wszystkich następnych przedsięwzięć naukowych. Praca ta stała się bezpośrednią inspiracją dla badań podjętych przez autora, które stanowią rozwinięcie zagadnień poruszonych w monografii Celadyna. Ważną pozycją prezentującą od strony technicznej zagadnienia zastosowania materiałów przepuszczających światło jest książka pt. *Przeszklone ściany osłonowe. Projektowanie architektoniczne przeszklonych ścian osłonowych o konstrukcji słupowo-ryglowej* autorstwa Andrzeja Bojęsia i Przemysława Markiewicza [36]. Istotny materiał dokumentacyjny i analityczny zawierają dokonania badaczy młodszego pokolenia zgrupowanych wokół jedynego krajowego branżowego miesięcznika poruszającego tematykę przegród przezroczystych pt. „Świat Szkła" wydawanego przez Euro-Media

Sp. z o.o. Należą do nich m.in.: Katarzyna Zielonko-Jung [294], Janusz Marchwiński [168–171], Magdalena Muszyńska-Łanowy [186].

Pod koniec 2012 roku ukazała się książka Ewy Wali pt. *Szkło we współczesnej architekturze* [275]. Opracowanie to porusza zbliżoną problematykę, ale w odmiennym ujęciu. Jego tematem są „walory estetyczne szkła w obiektach zrealizowanych na przełomie XX i XXI wieku" [275, s. 5]. Autorka odnosi się zarówno do zastosowania szkła jako materiału osłonowego elewacji (w rozdz. 2), jak i do szkła jako tworzywa budowy wnętrz budynków (rozdz. 3); rozważa także szklany obiekt w otoczeniu (rozdz. 4). Opracowanie zawiera rozbudowaną analizę historyczną rozwoju technologii produkcji i zastosowania szkła przeprowadzoną na tle zagadnień z zakresu teorii architektury. To pierwsze tak wszechstronne krajowe opracowanie, które może służyć za odniesienie dla wszystkich następnych publikacji.

1.4.2. Badania i opracowania z dziedziny psychologii poznawczej

Opis skomplikowanego procesu spostrzegania jest domeną **psychologii poznawczej** wchodzącej w skład **kognitywistyki** (*cognitive science*), interdyscyplinarnej nauki, która zajmuje się analizą sposobu umysłowej interpretacji postrzeganych bodźców. Jedną z najistotniejszych dziedzin psychologii poznawczej są badania widzenia i sposobu, w jaki umysł interpretuje odbierany obraz. Ich rezultaty znajdują zastosowanie w naukach technicznych[17]. Wiedza ta jest szczególnie istotna dla projektanta, a co oczywiste także dla projektanta architektury[18]. Właściwe przeprowadzenie procesu rozpoznawania i identyfikacji wielkoskalowych idealnie płaskich, gładkich i jednorodnych materiałów przezroczystych jest niezbędne nie tylko dla prawidłowej orientacji przestrzennej, ale wpływa również na bezpieczeństwo użytkowników.

Od połowy XIX wieku sposób odbioru i spostrzegania świata przez człowieka jest przedmiotem intensywnych analiz. Składają się na nie prace psychologów spostrzegania oraz specjalistów nowej dziedziny nazywanej **neuronauką poznawczą** [134, s. 17]. Próby wyjaśnienia tego procesu podjęli przedstawiciele psychologii postaci (*Gestalt*). Stworzyli oni ogólną teorię spostrzegania,

[17] Psychologia poznawcza, a w szczególności algorytmy przetwarzania obrazu przez umysł stały się istotnym bodźcem w rozwoju cybernetyki i systemów sterowania. Wiele udoskonalonych później systemów rozpoznawania tekstu (*Optical Character Recognition*) oraz identyfikacji twarzy (*Facial Recognition*) bazowało na zdobyczach kognitywistyki (zob. także przyp. 119, s. 190).

[18] Dziedziną, która specjalizuje się w tych zagadnieniach, jest psychologia architektury będąca odgałęzieniem psychologii środowiskowej badającej w szerszej skali wszelkie relacje między środowiskiem a ludzkim zachowaniem (*Environmental Behaviour Studies*) [195].

zgodnie z którą w świecie zewnętrznym kształtują się „mocne postacie", a w procesach odbioru „całość [jawi się – przyp. autora] jako twór nadrzędny w stosunku do elementów składowych" [243, s. 55]. Utrzymywali, że „zjawiska psychiczne mogą być zrozumiane jedynie wówczas, gdy będą widziane jako zorganizowane, posiadające strukturę całości" [161, s. 88]. Układy odznaczające się zamkniętą, regularną, jednolitą i prostą budową występują także w innych dziedzinach[19]. W latach 20. i 30. XX wieku powstały fundamentalne dla współczesnych badań prace [151]. Wilhelm Fuchs jako pierwszy podjął się zanalizowania spostrzegania przezroczystości [106]. Stwierdził, że podczas obserwacji przedmiotów przepuszczających światło oko nie odbiera dwóch barw: koloru tła i koloru przezroczystego, ale jedną barwę będącą rezultatem nałożenia się dwóch barw składowych. Beatrix Tudor-Hart ustaliła, że spostrzeżenie przezroczystości w środowisku całkowicie homogenicznym nie jest możliwe, np. spostrzeżenie idealnie przezroczystej tafli szkła na białym tle [269]. W 1935 roku Kurt Koffka (jeden z twórców psychologii postaci) wprowadził termin przezroczystości zmysłowej (*phenomenal transparency*[20]), która oznaczała spostrzeganie „jednej powierzchni przez drugą" [241, s. 492].

Zainspirowany przez psychologię postaci węgierski badacz, malarz i teoretyk sztuki György Kepes wydał w 1944 roku książkę pt. *Language of Vision* [145]. Kepes wyraźnie dostrzega problematykę **odbić lustrzanych**, pisze bowiem także o przezroczystości w odniesieniu do architektury. Swoje przemyślenia formułuje w sposób bardzo nowoczesny: „refleksy i odbicia lustrzane, przezroczyste i przeświecające materiały budowlane są uważnie zaaranżowane i zaplanowane, aby w jednym syntetycznym widoku uchwycić rozbieżne strumienie [świetlne – przyp. autora]" [145, s. 79]. W 1954 roku opublikowana została książka pt. *Sztuka i percepcja wzrokowa* Rudolfa Arnheima [13]. On jak pierwszy wyraźnie odróżnia przezroczystość fizyczną (*phisical transparency*) – zdolność materiału do przepuszczania światła – od przezroczystości postrzeżeniowej (*perceptual transparency*). Powstaje ona przez odpowiednie zaaranżowanie jasności lub barwy sąsiadujących ze sobą plam. Arnheim rozważa także kwestie mieszania kolorów. Pisze, że „zależnie od jasności obszaru, na którym zachodzi zjawisko przezroczystości, uzyskujemy efekt mieszanki addytywnej bądź substraktywnej"[21] [13, s. 259]. Zauważa także, że jaskrawość tego obszaru „jest również jednym

[19] Książka Juliusza Żórawskiego pt. *O budowie formy architektonicznej* [298] jest wyraźnie inspirowana osiągnięciami psychologii postaci, przeniesionymi na grunt kształtowania formy w architekturze. Pozycja ta ukazała się po raz pierwszy w 1952 roku [za: 161, s. 98].

[20] Termin *phenomenal transparency* pojawia się także później, w publikacji *Transparency* Rowe'a i Slutzky'ego, ale otrzymuje tam nieco inne, bardziej metaforyczne, znaczenie. Por. także przyp. 16, s. 32.

[21] Mieszanie addytywne zachodzi przy mieszaniu pigmentów (CMYK), substraktywne – przy mieszaniu barw światła (RGB).

z czynników decydujących o tym, który z nakładających się kształtów będzie widziany jako ten, który znajduje się na wierzchu" [13, s. 259].

Badania z dziedziny psychologii poznawczej zmieniają wiedzę na temat odbioru przezroczystości. Ta – jako cecha materiału – interesuje specjalistów od lat 70. XX wieku. W miarę rozwoju prac naukowcy przystąpili do **tworzenia pierwszych modeli** odwzorowujących proces spostrzegania przezroczystości. Do lat 90. XX wieku powszechnie uznawano osiągnięcia Fabia Metellego [176], włoskiego neuropsychologa. Przedstawił on pierwszy model – algorytm matematyczny – według którego umysł odczytywał i **spostrzegał płaszczyznę przezroczystą**. W toku dalszych badań także Metelli dostrzegł, że model przez niego zaproponowany jest nie dość adekwatny do zjawiska, które opisuje. Próby korekty podjęli dopiero pod koniec minionego stulecia Manish Singh i Barton L. Anderson, wykorzystując dostępne techniki symulacji komputerowych[22]. Obecnie prace i badania trwają, kolejne publikacje zbliżają naukowców do ustalenia przebiegu zachodzących procesów. Inne wyjaśnienie fenomenu spostrzegania przezroczystości przedstawiają redaktorzy *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Science* z 2001 roku [262]. Badacze nie wywodzą go z postrzegania ciał faktycznie przepuszczających światło, ale wskazują na ewolucyjne przystosowanie człowieka. Ścisły związek zachodzący „między spostrzeganiem cienia […] i przesłanianiem jednych obiektów przez drugie" [262, s. 756] wskazuje na to, że przezroczystość jest spostrzegana niejako przy okazji, za pomocą mechanizmu, który wyewoluował w innym celu.

Obecnie intensywne prace w tej dziedzinie psychologii poznawczej mają na celu odkrycie algorytmów decydujących o tym, że umysł spostrzega przezroczystość. Badania nad tą problematyką zyskują status niezależnego nurtu w ramach szerszej dyscypliny nazywanej *vision science* [11]. Wyniki tych analiz mogą wpłynąć w sposób znaczący na projektantów architektury.

1.4.3. Badania i opracowania z literatury pięknej i humanistyki

Literatura piękna również podejmowała temat przezroczystości. W Polsce ten nurt rozpoczyna *Przedwiośnie* Stefana Żeromskiego z przedstawioną tam futurystyczną koncepcją szklanych domów „ze ścianami ściśle dopasowanymi z belek, które się składa na wieniec, a spaja w ciągu godziny

[22] Singh i Anderson przeprowadzili eksperyment polegający na ocenie przezroczystości obiektu w innych warunkach. Okazało się, że wyniki nie pokrywają się z rezultatami obliczeń wykonanych na podstawie modelu Metellego, a czynnikiem decydującym o tym, czy umysł odbiera wrażenie przezroczystości, okazał się tzw. kontrast Michelsona. To ustalenie zostało z kolei zakwestionowane w badaniach prowadzonych na początku XXI wieku przez Masina [173].

– z podłogą, sufitem i dachem z tafel – oddaje nabywcy gotowe" [297, s. 69]. Prace z dziedziny humanistyki odnoszą się do „lustra, zwierciadła, szklanego odbicia" [web 15], a w szczególności nawiązują do metafory zwierciadła, głównie do opisu współczesnej kultury. W tym nurcie należy wymienić monografię Mieczysława Wallisa pt. *Dzieje zwierciadła i jego rola w różnych dziedzinach kultury* [277]. Prace Jeana Starobinskiego oraz ich istotny wpływ na projektantów zostały omówione wcześniej [251] (zob. s. 33). Wszechstronną analizę zagadnienia przezroczystości przedstawia również wydana w 2007 roku monografia pt. *Przezroczystość* autorstwa Marka Bieńczyka. Jest to nie tylko interesujące i porządkujące studium zakresu znaczeniowego polskich terminów odnoszących się do przepuszczania światła przez materiały [30, s. 18–21], ale także prezentujące wiedzę z różnych dziedzin: literatury, sztuk plastycznych, muzyki, socjologii, filozofii oraz – bardzo fachowo – architektury. Erudycja Bieńczyka pomaga przekazać pasję czytelnikowi.

1.4.4. Badania i opracowania syntetyzujące

Całościowe opracowanie będące kompleksowym ujęciem informacji na temat spostrzegania przezroczystości w architekturze, gromadzonych przez wymienione wąskie dyscypliny, nie jest autorowi znane. Dziedziną, która od lat 60. XX wieku łączy dorobek psychologii i architektury, jest psychologia architektury. Pozycje na ten temat ukazały się w latach 70. XX wieku, np. *Psychology for architects* Davida Victora Cantera [62] oraz *Psychology of Architectural Design* Ömera Akina [4]. Wspomniani autorzy zajmują się problematyką spostrzegania, ale nie spostrzegania przezroczystości szczegółowo. W pracach krajowych temat psychologii architektury poruszają przedstawiciele obu środowisk, zarówno architekci, jak i psycholodzy.

Pierwszą grupę reprezentuje syntetyzująca praca z 1992 roku poświęcona psychologii architektury w ogóle (a więc nie tylko procesom spostrzegania) pt. *O psychologii architektury: próba inwentaryzacji badań, zakres przedmiotowy i wpływ na architekturę* opracowana przez J. Krzysztofa Lenartowicza [160]. Pozycję tę uzupełnił *Słownik psychologii architektury* ostatnio wznowiony w 2010 roku [161], który podaje hasła w porządku alfabetycznym, ilustrowane schematami i przykładami z praktyki. Zawartość tego słownika stała się podstawą do sformułowania części definicji podanych przez autora na końcu niniejszego opracowania.

Drugą grupę reprezentują prace Augustyna Bańki: *Architektura psychologicznej przestrzeni życia. Behawioralne podstawy projektowania* z 1999 roku [16] oraz *Społeczna psychologia środowiskowa* z 2002 roku [18]. Pozycje te szczegółowo ujmują problematykę, a do kwestii spostrzegania

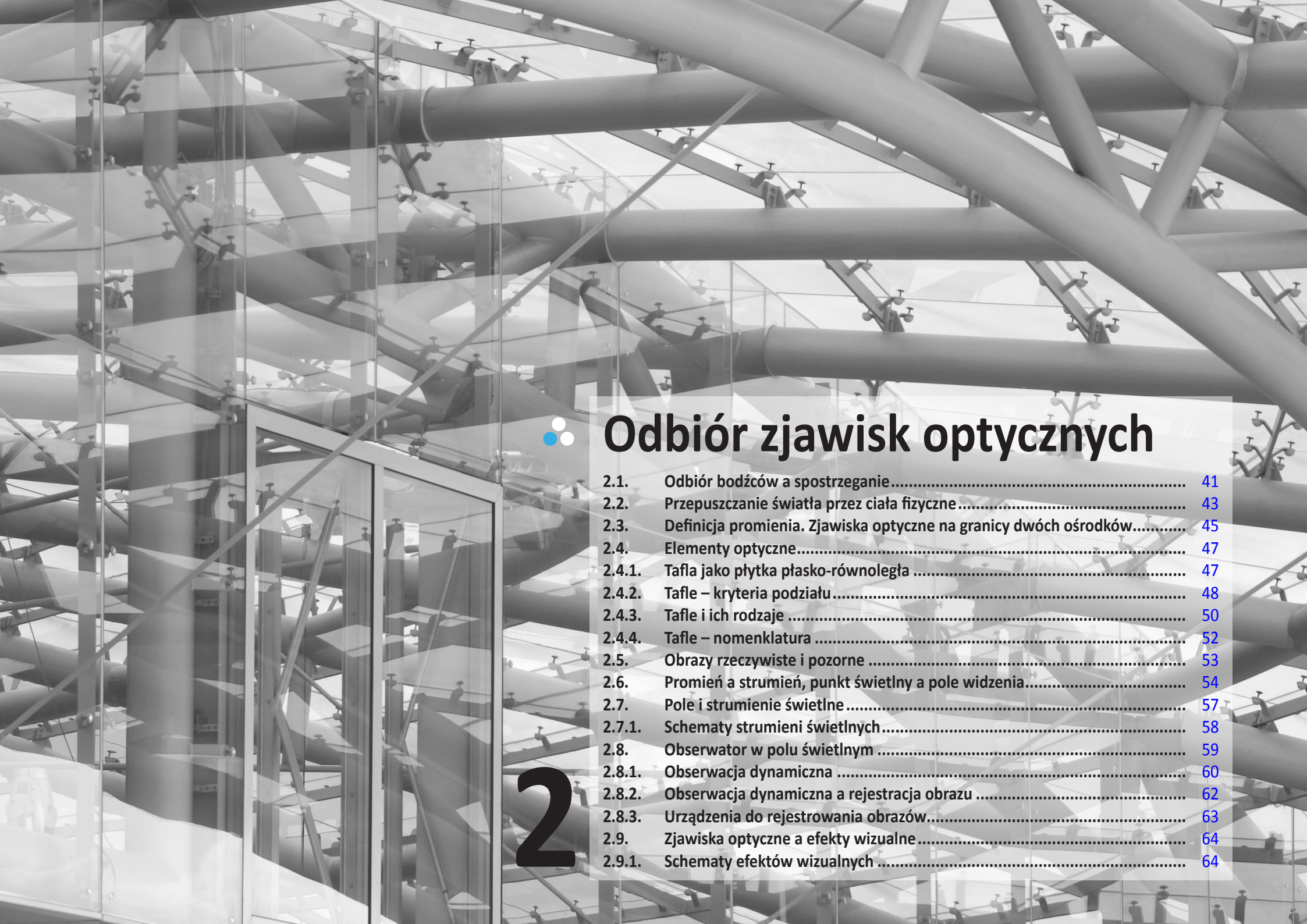
odnoszą się wyczerpująco np. w rozdz. pt. *Spostrzeganie przestrzeni architektonicznej i urbanistycznej* [16, s. 135]. W 1997 roku Bańka założył Stowarzyszenie Psychologia i Architektura, którego zadaniem jest m.in. „integracja badaczy i praktyków […] zainteresowanych środowiskiem przestrzennym" oraz „burzenie barier dzielących projektantów praktyków i badaczy teoretyków" [web 8]. Stowarzyszenie prowadzi działalność wydawniczą, publikując m.in. periodyk „Czasopismo Psychologiczne" (poświęcone ogólnej problematyce psychologii) oraz ukierunkowane tematycznie zeszyty „Zachowanie, Środowisko, Architektura", np. we współpracy m.in. z Katedrą Architektury Obiektów Biurowych i Strategii Projektowania Instytutu Architektury Politechniki Śląskiej [193].

Problematyka percepcji i spostrzegania znajduje się w programach większości publicznych uczelni architektonicznych w Polsce bądź to w programie obowiązkowym, bądź w formie zajęć wybieralnych lub prowadzonych w systemie zdalnym[23] (np. pt. „Psychologia architektury i estetyka krajobrazu" w ramach platformy E-learning na Politechnice Wrocławskiej).

1.4.5. Źródła – uwagi ogólne

Podjęcie jakiejkolwiek problematyki badawczej zawsze będzie nosiło cechy indywidualne. Zdarza się, że w pracach krytycznych przywoływane są relacje prasowe, również emocjonalne komentarze samych twórców, inwestorów i użytkowników. Informacje te, choć niewątpliwie cenne dla badaczy, nie zawsze mogą być podstawą do wyciągania obiektywnych wniosków i formułowania uogólnień. Autor – architekt i praktyk – korzysta z czasopism kierowanych do przedstawicieli środowiska projektantów: „Architektura i Biznes", „Architektura-murator", „Detail", „El Croquis", „Domus" itd. oraz z bogatej bazy obiektów zamieszczanej przez najpopularniejsze portale internetowe. Podejmując próbę formułowania konkluzji o charakterze ogólnym, autor z ostrożnością odnosi się do przesadnie atrakcyjnej dokumentacji, która wydaje się nie oddawać rzeczywistości wystarczająco wiernie. Wykorzystanie odpowiednich technik fotograficznych lub obróbki obrazu jest powszechne. Obecnie w takim samym stopniu dotyczy architektury, co np. mody i urody.

[23] Zajęcia, których tematem jest ogólnie rozumiana psychologia percepcji, znajdują się w programie obowiązkowym na publicznych uczelniach architektonicznych w Białymstoku, Gliwicach, Lublinie, Poznaniu oraz Szczecinie na I lub II stopniu kształcenia i są wpisane do publikowanego przez te uczelnie katalogu kursów lub programu zajęć. W innych jednostkach zajęcia prowadzone są jako kursy wybieralne. Powyższe dane pochodzą z kwerendy dokonanej w maju 2014 roku przez autora, który dołożył starań, aby lista ta była kompletna i aktualna na dzień sporządzenia.



2 Odbiór zjawisk optycznych

2.1. Odbiór bodźców a spostrzeganie 41
2.2. Przepuszczanie światła przez ciała fizyczne 43
2.3. Definicja promienia. Zjawiska optyczne na granicy dwóch ośrodków 45
2.4. Elementy optyczne 47
2.4.1. Tafla jako płytka płasko-równoległa 47
2.4.2. Tafle – kryteria podziału 48
2.4.3. Tafle i ich rodzaje 50
2.4.4. Tafle – nomenklatura 52
2.5. Obrazy rzeczywiste i pozorne 53
2.6. Promień a strumień, punkt świetlny a pole widzenia 54
2.7. Pole i strumienie świetlne 57
2.7.1. Schematy strumieni świetlnych 58
2.8. Obserwator w polu świetlnym 59
2.8.1. Obserwacja dynamiczna 60
2.8.2. Obserwacja dynamiczna a rejestracja obrazu 62
2.8.3. Urządzenia do rejestrowania obrazów 63
2.9. Zjawiska optyczne a efekty wizualne 64
2.9.1. Schematy efektów wizualnych 64

2. Odbiór zjawisk optycznych

2.1. Odbiór bodźców a spostrzeganie

W procesie ewolucji organizmy wykształciły wiele mechanizmów, które pomagają im w przetrwaniu w środowisku. Powstanie życia było możliwe dzięki fizycznemu wykształceniu się jego pierwotnych form (np. pierwotnej prakomórki) z otoczenia, ponieważ tylko procesy zachodzące wewnątrz wydzielonej przestrzeni mogły być skutecznie regulowane homeostazą [85, s. 48–50]. Funkcjonowanie organizmów nie byłoby jednak możliwe bez interakcji z otoczeniem, z którego czerpią one niezbędną do życia energię i składniki budulcowe. Sukces ewolucyjny zapewniło wykształcenie coraz doskonalszych mechanizmów-organów pozwalających zdobywać informacje niezbędne do funkcjonowania. Organy te przystosowane są do odbioru wybranych form energii zewnętrznej, strategicznych dla środowiska, w którym żyje organizm. Z czasem w wyniku złożonych procesów ewolucyjnych organy te przekształciły się w zmysły zdolne do odbioru skomplikowanych bodźców świetlnych (wzrok), akustycznych (słuch), cieplnych (dotyk) i chemicznych (węch i smak).

Zmysły i służące im wyspecjalizowane komórki – receptory – dzielą się w zależności od odległości bodźca. Telereceptory zmysłu wzroku i słuchu zdolne są odbierać sygnały odległe. Oczy odbierają np. zmianę częstotliwości i natężenia fali elektromagnetycznej (np. jaskrawość powierzchni, barwę), uszy – akustycznej (np. wysokość dźwięku). Zmysły węchu, smaku i dotyku odbierają wyłącznie bliskie sygnały, dlatego nazywane są zmysłami kontaktowymi. Bodziec to sygnał – fizyczna forma energii[24] „zdolna do zapoczątkowania" [191, s. 279] procesu spostrzegania. Impuls ten w procesie rejestracji zmienia swój charakter. „Początkowo jest to bodziec dystalny – daleki, znajdujący się poza umysłem i **odległy** względem jego receptorów. Wskutek bezpośredniego kontaktu z narządem zmysłu bodziec dystalny staje się bodźcem proksymalnym, wewnętrznym i **bliskim**" [191, s. 279]. Obiekty otaczające obserwatora wchodzą w interakcję ze strumieniami składającymi się na pole świetlne. To bodźce odległe, zlokalizowane poza umysłem. W wyniku zjawiska załamania promieni na soczewce oka stają się one bodźcami bliskimi – odwróconym i pomniejszonym obrazem na siatkówce. Bodźce akustyczne także podlegają

[24] Rejestrowany jest nie tyle dopływ energii lub informacji, ile zmiany w dopływie strumieni. Potwierdzają to późniejsze prace nad habituacją i stabilizacją obrazu siatkówkowego [161, s. 15].

podobnemu podziałowi: bodziec odległy – śpiew ptaka, drgania strun głosowych zwierzęcia – staje się bodźcem bliskim – drgania błony bębenkowej słuchacza.

Wszystkie spostrzegane bodźce poddają się regułom tego podziału. W procesie spostrzegania materiałów przepuszczających światło bodźce odległe to te, które wynikają z interakcji tafli z odległymi strumieniami świetlnymi. Tafle modyfikują ich tor, kierunek, intensywność, barwę itd. **Świetlny bodziec odległy** powstaje poza umysłem obserwatora i jest determinowany przez właściwości fizyczne materiału oraz prawa fizyki – głównie optyki. Zależy na przykład od pogody, stanu atmosfery, właściwości fizycznych przepuszczającego światło materiału, położenia obiektów sąsiadujących. W szczególnym przypadku, jakim jest tworzenie bodźców odległych przez materiały przepuszczające światło, mają one nieco odmienny charakter – powstają w wyniku „wymieszania" wielu strumieni świetlnych, tych, które materiał przepuszcza, i tych, które przez materiał zostaną odbite.

Na etapie bliskim na siatkówce powstają przenikające się obrazy rzeczywiste i pozorne. Ten wynikowy obraz jest **bodźcem bliskim**, bezpośrednio oddziałującym na zmysły – receptory światłoczułe siatkówki. Gromadzenie informacji przez zmysły określane jest jako **recepcja sensoryczna** (albo sensepcja [149, s. 3]). Recepcja sensoryczna jest procesem pasywnym, choć istnieją sposoby selekcji informacji, która w ostateczności trafia do mózgu (zob. rozdz. 6.7, s. 212).

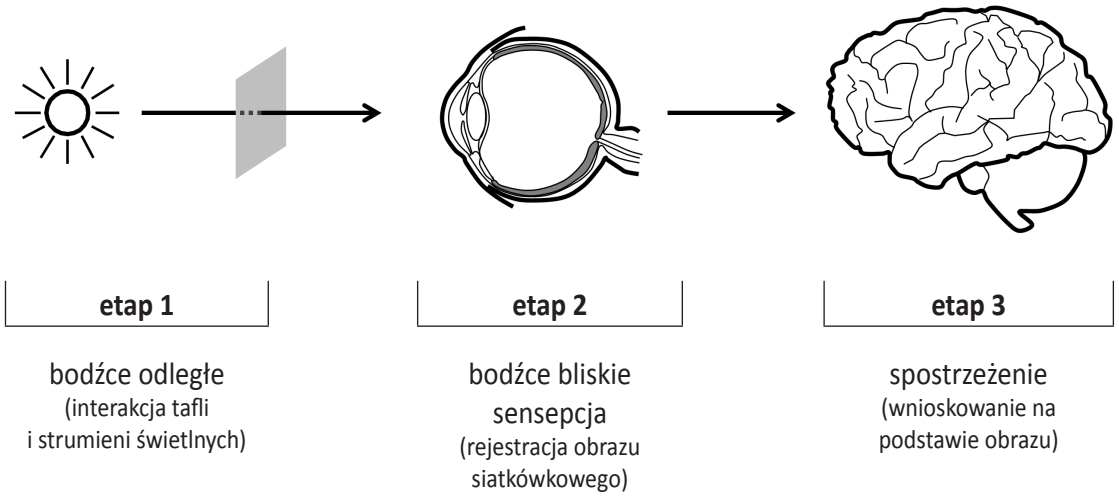
Spostrzeganie (ew. rozróżnienie określeń „postrzeganie" i „spostrzeganie" zob. s. 270) wszelkich obiektów, także tych przepuszczających światło, odbywa się w wyniku złożonego procesu, którego zadaniem jest przetworzenie bodźców rejestrowanych przez receptory siatkówki – czopki i pręciki – oraz wnioskowanie na ich podstawie o świecie otaczającym obserwatora. Przetworzenie informacji odebranej przez zmysły to **spostrzeżenie** (*perception*, *apperception*), które jest aktywnym procesem interpretacji napływających bodźców prowadzącym do ich ostatecznej identyfikacji, czyli rozpoznania obserwowanego obiektu jako przezroczystego bądź przepuszczającego światło. Analizą całościową procesu identyfikacji obiektów w procesie spostrzegania zajmuje się **kognitywistyka**.

W procesie spostrzegania przezroczystości w architekturze można wyróżnić trzy główne etapy, które następują kolejno (zob. ryc. 7):

Etap 1: powstawanie bodźców odległych – przekształcenia toru, kierunku i intensywności strumieni świetlnych w materiale przepuszczającym światło, czyli **interakcja światła i architektury**.

Etap 2: zamiana bodźców odległych na bliskie, odbiór bodźców bliskich przez zmysły (recepcja sensoryczna – sensepcja), czyli **widzenie**.

Etap 3: spostrzeżenie, wnioskowanie na podstawie obrazu, rozpoznanie obiektu jako przepuszczającego światło (klasyfikacja percepcyjna), czyli **rozumienie widzianego obrazu**.



Ryc. 7. Etapy składające się na proces spostrzegania. Etap 1: bodźce odległe – interakcja strumieni świetlnych i tafli. Etap 2: odbiór bodźców bliskich – rejestracja obrazu siatkówkowego. Etap 3: spostrzeżenie, czyli interpretacja zgromadzonych danych wizualnych.

Źródło: opracowanie autor

2.2. Przepuszczanie światła przez ciała fizyczne

Przezroczystość jest właściwością ciał stałych, cieczy i gazów. W kategoriach ścisłych formułuje się ją jako **zdolność do przepuszczania światła bez zniekształcenia tworzonego obrazu**[25]. Zjawisko przepuszczania światła można wyjaśnić, wykorzystując wiedzę z zakresu fizyki atomowej. Światło „padając na dowolne ciało fizyczne, może odbić się od jego powierzchni, przejść przez to ciało lub zostać pochłonięte" [200, s. 11]. Każde ciało przepuszczające światło można scharakteryzować za pomocą trzech podstawowych współczynników: **przepuszczania, odbicia i pochłaniania światła**. Wielkości te określają podstawowe cechy optyczne ciała przezroczystego:

[25] Przez światło rozumie się promieniowanie widzialne (λ = 380–780 nm), zasadnicze dla rozważanych zjawisk optycznych obserwowanych okiem nieuzbrojonym. Promieniowanie podczerwone i ultrafioletowe także podlega zjawiskom optycznym odbicia i załamania, wpływa na bilans energetyczny budynku, ale nie jest widoczne dla człowieka. Zwierzęta, w zależności od gatunku, mają nieco przesunięte zakresy widzenia, więc odmiennie odbierają bodźce napływające ze środowiska (zob. przyp. 36, s. 50).

T – współczynnik przepuszczania światła (*transmitance*) nazywany także transmitancją lub przepuszczalnością światła – określa, jaka część padającego strumienia światła zostaje przez ciało przepuszczona;

R – współczynnik odbicia światła (*reflectance*) – określa, jaka część padającego strumienia światła zostaje odbita, czyli wypromieniowana wtórnie jako promieniowanie widzialne;

A – współczynnik pochłaniania światła (*absorbance*) – określa, jaka część padającego strumienia światła zostaje pochłonięta przez ciało podczas przepuszczania. Część energii po zaabsorbowaniu powoduje zwiększenie energii wewnętrznej ciała, podnosi jego temperaturę. Światło może zostać w ciele również rozproszone, ale wtedy opuszcza je w postaci wielokierunkowego strumienia i nie wpływa na bilans energii wewnętrznej.

Zjawiska przepuszczania i pochłaniania energii przez ciało są ze sobą ściśle powiązane, pochłanianie zawsze towarzyszy przepuszczaniu energii. Parametry T i A nie istnieją w oderwaniu od siebie, istnieje natomiast **funkcja przepuszczalności w zależności od długości fali**, która opisuje, jaka widmowa część promieniowania – barwa światła – jest pochłaniana przy przepuszczaniu przez dane ciało, a jaka przepuszczana. Ścisły związek zjawisk przepuszczania i pochłaniania znajduje odzwierciedlenie w zdefiniowanym przez autora podziale tafli na rodzaje. Definicje tafli są uściślone w rozdz. 2.4.3, s. 50.

Współczynniki wyrażane są w procentach lub częściach jedności (np. 18% lub 0,18), a ich suma zawsze jest równa 100% lub jedności ($T + R + A = 1$).

Współczynniki T, R i A określają relacje energetyczne – w jakim stopniu światło, które pada na ciało fizyczne, zostanie przepuszczone, odbite i pochłonięte. Na przykład: podstawową, typową przezroczystą taflę szkła pławionego stosowanego w budownictwie charakteryzuje współczynnik odbicia R równy 4–8%, a przepuszczania sięgający 80–90%. Pozostała część padającego światła zostanie pochłonięta przez taflę. W opracowaniu rozważane jest przepuszczanie światła przez materiały budowlane stosowane w architekturze[26]. Przepuszczanie światła przez ciecze i gazy znajduje się poza zakresem niniejszej monografii.

[26] Producenci materiałów budowlanych przepuszczających światło, np. szkła, wprowadzają własne oznaczenia: inne do opisu przepuszczania i odbijania samego światła – promieniowania widzialnego – np. R_l, T_l, (indeks l – *light*), inne do opisu przepuszczania i odbijania całej energii pochodzącej z promieniowania słonecznego, łącznie z promieniowaniem podczerwonym i ultrafioletowym – np. R_e, T_e (indeks e – *energy*). W opracowaniach branżowych spotykany jest także tzw. współczynnik słoneczny (g – *solar factor*) określający procent energii przepuszczanej do wnętrza w stosunku do energii padającej na taflę [web 28]. W praktyce realizacyjnej są to zagadnienia istotne, wpływające na bilans energetyczny budynku. W monografii nie wprowadzono tego zróżnicowania, ponieważ niniejszy tekst traktuje wyłącznie o aspektach wizualnych zjawiska przepuszczania i odbijania światła.

2.3. Definicja promienia. Zjawiska optyczne na granicy dwóch ośrodków

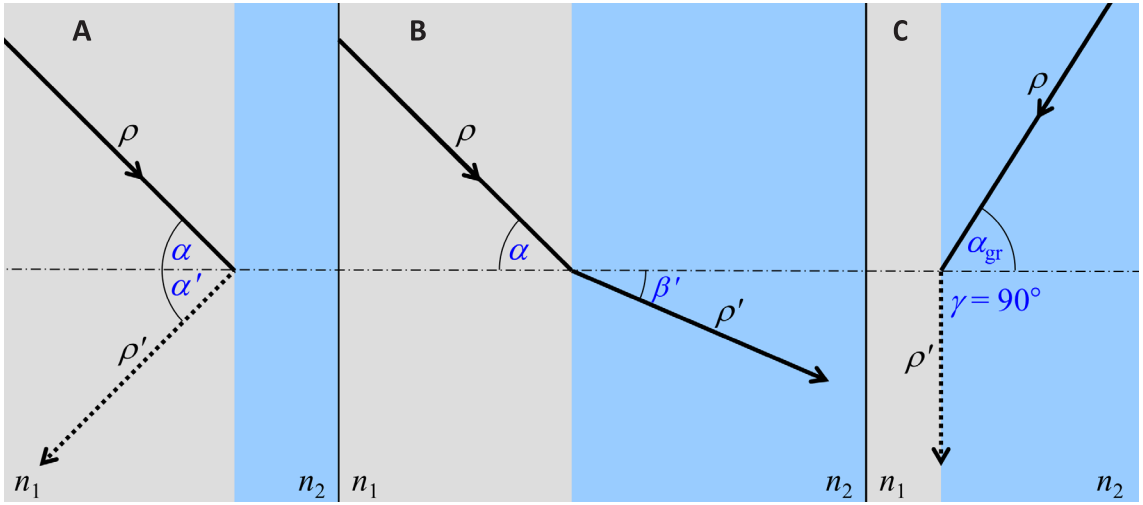
Problematykę przepuszczania światła i interakcji ciała z falą światła można badać, rozwiązując równania falowe Maxwella. Jednak dla dalszych rozważań dotyczących zagadnień przezroczystości w architekturze wystarczające są stwierdzenia ogólne formułowane na podstawie **optyki geometrycznej**. Przyjmuje ona założenie, posługując się pojęciem promienia światła, że w ośrodku jednorodnym rozchodzi się ono po liniach prostych. Założenie to „opiera się na przybliżeniu, które zakłada, że długość fali światła w porównaniu z innymi wchodzącymi w grę wymiarami jest bliska zeru" [200, s. 11]. W oparciu o pojęcie **promienia światła** – czyli linii wyznaczającej kierunek rozchodzenia się fali – zostaną wyjaśnione trzy najważniejsze zjawiska optyczne zachodzące przy przepuszczaniu światła przez materiał.

Światło przemieszcza się w różnych ośrodkach z różną prędkością. Przy przejściu z ośrodka rzadkiego, np. powietrza, do ośrodka gęstego, np. wody, szkła, tworzywa sztucznego, następuje zmiana prędkości rozchodzenia się światła. Na wszystkich powierzchniach granicznych materiałów przepuszczających światło dochodzi **równocześnie do dwóch zjawisk optycznych**. Każdy padający promień zostaje **w części załamany**[27]**, a w części odbity**. W masie materiału dochodzi jeszcze do pochłaniania. Promień załamany przemieszcza się wewnątrz materiału, a promień odbity zostaje skierowany na zewnątrz. Kierunki tych promieni są określone przez prawa optyki geometrycznej: **prawo odbicia** – określające kąt odbicia, i **prawo załamania**, nazywane także prawem Snelliusa od nazwiska odkrywcy z 1621 roku.

Prawo odbicia jest podstawowym prawem optyki i mówi, że kąt odbicia jest równy kątowi padania. Warunkiem zaistnienia odbicia lustrzanego, czyli zjawiska, w którym jeden promień padający (pierwotny) zostaje odzwierciedlony jako jeden promień odbity (wtórny), jest odpowiednia gładkość powierzchni granicznej. Jej mikronierówności muszą być mniejsze niż długość fali światła. Jeśli warunek ten nie jest spełniony i mamy do czynienia z powierzchnią chropowatą, dochodzi do odbicia rozproszonego, charakteryzującego powierzchnie matowe. Promienie – padający (pierwotny) i odbity (wtórny) – oraz normalna (prosta prostopadła do powierzchni granicznej) leżą w jednej płaszczyźnie (ryc. 8A).

Prawo załamania mówi, że kąt, o jaki zmieni się kierunek promienia światła, zależy od współczynników załamania ośrodków n_1 oraz n_2, przez których granicę przechodzi promień. Zmiana kierunku

[27] Do zjawiska załamania promienia światła dochodzi wyłącznie wtedy, gdy promień pada pod kątem. Jeśli pada prostopadle, światło nie załamuje się.



Ryc. 8. A. Ilustracja prawa odbicia. Promień światła porusza się w ośrodku o współczynniku załamania n_1. Na granicę ośrodków o współczynnikach załamania n_1 oraz n_2 pada pod kątem α i ulega odbiciu o kąt α' równy kątowi α. **B.** Ilustracja prawa załamania. Promień światła porusza się z ośrodka o współczynniku załamania n_1 do ośrodka o współczynniku n_2. Na granicy ośrodków ulega załamaniu o kąt β' proporcjonalny do n_2/n_1. **C.** Ilustracja reguły całkowitego wewnętrznego odbicia. Promień światła porusza się wewnątrz ośrodka o współczynniku załamania n_2. Jeśli na granicę ośrodków pada pod określonym kątem granicznym α_{gr}, to kąt załamania γ wyniesie 90°. Wszystkie promienie, które padną pod kątem większym niż graniczny, ulegną całkowitemu wewnętrznemu odbiciu i nie wydostaną się na zewnątrz ciała fizycznego.

Źródło: opracowanie autor

promienia światła następuje, ponieważ światło zawsze przebywa tzw. **minimalną drogę optyczną**, czyli taką, na której pokonanie potrzeba jak najmniej czasu. Wyjaśnienie podaje tzw. zasada Fermata [99]. Ponieważ prędkość światła w sąsiadujących ośrodkach jest inna – np. w powietrzu i próżni jest większa niż w szkle i wodzie – promień światła przebywa drogę podobną jak ratownik wodny. Aby dotrzeć do tonącego w jak najkrótszym czasie, biegnie on jak najdłużej po plaży, a jak najkrócej płynie (ryc. 8B).

Z prawa Snelliusa wynika także reguła **całkowitego wewnętrznego odbicia**. Mówi ona, że jeżeli światło porusza się wewnątrz gęstszego ośrodka, np. wody, szkła, tworzywa sztucznego, to po „przekroczeniu określonego granicznego kąta padania będzie zachodzić wyłącznie jego odbicie” [203], a zjawisko załamania zaniknie (ryc. 8C). Zgodnie z regułą całkowitego wewnętrznego odbicia działają światłowody – długie włókna optyczne wykonane z materiałów przepuszczających światło. Wewnątrz światłowodu promień światła ulega całkowitemu wielokrotnemu odbiciu i dzięki temu może pokonywać bardzo duże odległości niemal bez utraty intensywności[28]. Reguła całkowitego wewnętrznego odbicia obowiązuje również w odniesieniu do tafli. Promień światła „biegnący” wewnątrz niej ulega wielokrotnemu odbiciu od płaskich powierzchni granicznych tafli, podobnie jak promień „biegnący” wewnątrz światłowodu. W określonych ustawieniach i aranżacjach

[28] Zmniejszenie natężenia strumienia spowodowane jest jedynie pochłanianiem w przezroczystym materiale. Całkowite wewnętrzne odbicie nie wywołuje strat energetycznych.

przestrzennych tafle działają jak światłowody. Ich zastosowanie w architekturze zostało omówione przez autora w pracy pt. *Architectural aspects of stacked glass (multiply laminated) application in untypical arrangements* [39] oraz pokazane w opracowaniu na przykładzie kaplicy klasztoru Trynitarzy na Bagrach w Krakowie (arch. MOFO Architekci, 2007) – zob. rozdz. 4.3.1.2, s. 159.

2.4. Elementy optyczne

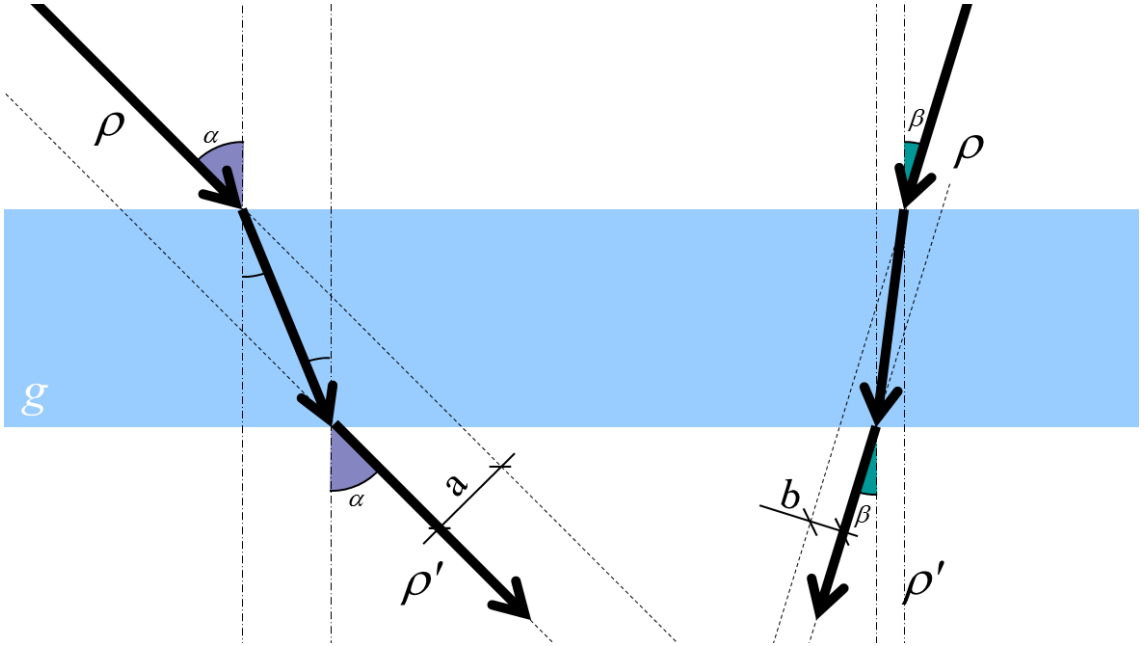
Większości stosowanych w architekturze materiałów przepuszczających światło nadaje się formę przestrzenną cienkiej płyty, której dwa wymiary: długość i szerokość zdecydowanie przeważają nad trzecim: grubością. **Tafla** jest więc elementem optycznym ograniczonym równoległymi płaszczyznami – **powierzchniami granicznymi**. Ten sposób uformowania materiału ma zasadniczy wpływ na skalę zachodzących zjawisk optycznych i na obraz postrzegany przez obserwatora. Stosowana jest również forma przestrzenna masywnych **bloków**[29] – luksferów, cegieł lub kęsów wykonanych z materiałów przepuszczających światło, w których trzy wymiary przestrzenne: długość, szerokość i grubość mają zbliżone wartości. Wpływ zjawisk optycznych zachodzących przy przejściu promienia przez elementy masywne na obraz postrzegany przez obserwatora zostanie omówiony w rozdz. 6.7.4.2, s. 231. Wśród elementów optycznych występują również takie, w których jeden wymiar przestrzenny zdecydowanie przeważa nad pozostałymi. Należą do nich pręty szklane i światłowody. Są stosowane w architekturze jako ośrodek przepuszczający światło dzienne np. w przezroczystym betonie (LiTraCon) [web 20].

2.4.1. Tafla jako płytka płasko-równoległa

W optyce geometrycznej gładką taflę określa się mianem przezroczystej **płytki płasko-równoległej** [200, s. 23]. Jest ona przykładem jednego z najprostszych elementów optycznych. W wyniku przejścia promienia przez płytkę płasko-równoległą ulega on przesunięciu równoległemu, ponieważ jego tor zostaje dwukrotnie zmieniony (przez dwukrotnie występujące załamanie) – raz przy przekroczeniu granicy powietrze–element optyczny, drugi raz przy przekroczeniu granicy element optyczny–powietrze (zob. ryc. 9). W skali architektonicznej grubości stosowanych materiałów przepuszczających światło są o trzy lub cztery rzędy wielkości mniejsze od rozmiarów rozważanych obiektów (grubość tafli mierzy się w milimetrach, a rozmiary budynków w dziesiątkach metrów). Na przykład zgodnie z założeniami metody VIA (*Visual Impact Assessment*) nawet

[29] Blok jest definiowany jako masywne ciało stałe zwykle o jednej lub więcej płaskich lub prawie płaskich powierzchniach [35].

w tzw. bliskiej **strefie wizualnej** [195, s. 12] rozważana jest obserwacja z kilkunastu lub więcej metrów. W takiej odległości przesunięcie **równoległe promienia** o wielkości dziesiątych części milimetra jest niedostrzegalne. W przypadku gładkich cienkich tafli przesunięcie równoległe promienia może być więc zaniedbane ze względu na jego znikomy wpływ na tor promienia w skali, w której jest rozważane.



Ryc. 9. Bieg promieni światła przez płytkę płasko-równoległą. Linią kreskowaną zaznaczono pierwotny kierunek promienia padającego. Odległości a i b oznaczają przesunięcie równoległe promienia ze względu na dwukrotne załamanie jego toru.

Źródło: opracowanie autor na podstawie [200, s. 23, ryc. 1.13]

2.4.2. Tafle – kryteria podziału

Podział tafli na rodzaje wynika z występujących zjawisk optycznych: pochłaniania światła w tafli – kryterium jakości i ilości, oraz zjawisk zachodzących na powierzchni granicznej – kryterium oddziaływania.

W opracowaniu tafle są rozważane jako **filtry optyczne**, pochłaniające część przepuszczanego światła. Zjawisko pochłaniania nie istnieje w oderwaniu od zjawiska przepuszczania światła. Przepuszczalność światła w zależności od długości jego fali opisuje funkcja – unikatowa dla każdego typu filtra. Filtry pod względem jakościowym można podzielić na: **neutralne – bezbarwne**, które

pochłaniają światło w całym widmie w tym samym stopniu, oraz filtry **barwne**, pochłaniające część widma i przepuszczające światło tylko o określonym kolorze/barwie[30]. Filtry pod względem ilościowym dzielą się na **jasne**, które wpływają na natężenie przepuszczanego przez nie światła w niewielkim, niezauważalnym dla obserwatora stopniu, oraz **ciemne** (inaczej: o dużej gęstości optycznej), które działają odwrotnie.

Na granicy ośrodków zachodzi odbicie i załamanie światła. Nierówności występujące na powierzchni tafli warunkują, w jaki sposób zjawiska te wpłyną na obraz postrzegany przez obserwatora. Przy **gładkich** powierzchniach granicznych nierówności są mniejsze od długości fali światła. Każdy promień, który pada na gładką powierzchnię graniczną, zostaje równocześnie załamany i następuje jego **odbicie lustrzane**. Jeden promień padający, określany jako pierwotny, zostaje „rozdzielony" na dwa promienie wtórne: jeden odbity i jeden załamany. Relacje energetyczne promieni wtórnych określają współczynniki T, R, a część pochłoniętą opisuje A. W wyniku odbicia lustrzanego powstają obrazy pozorne. Obserwator, patrząc przez gładką taflę, rozróżnia położenie i kształty obiektów znajdujących się po drugiej stronie.

W taflach o chropowatych powierzchniach granicznych zjawiska optyczne zależą od wielkości nierówności. Stan ten opisuje tzw. parametr wielkości określający stosunek wielkości nierówności do długości fali światła – chropowatość powierzchni[31]. Nierówności większe [250] od długości fali światła powodują tzw. **rozproszenie geometryczne**. Taka tafla rozpraszająca może być rozpatrywana jako zespół losowo rozmieszczonych bardzo małych płaszczyzn (faset pryzmatów), które znajdują się pod różnymi kątami w stosunku do uśrednionej płaszczyzny tafli. Promień światła w różnych punktach tafli wchodzi w interakcję z lokalną płaszczyzną, następuje jego odbicie i załamanie opisane prawami optyki. Ze względu na niewielkie rozmiary płaszczyzn (faset pryzmatów) obraz widoczny dla obserwatora podlega uśrednieniu[32], jest zamglony i nieostry.

Nieregularne[33] nierówności, które są wyraźnie większe od długości fali światła, przyczyniają się do **zmiany kierunku całej grupy promieni światła (strumienia świetlnego)** i tym samym zniekształcenia całych fragmentów obserwowanego obrazu. Obraz widoczny dla obserwatora jest wtedy w całości lub części zniekształcony geometrycznie.

---

[30] Barwa jest określeniem o szerszym zakresie. Barwy różnią się od siebie kolorem, nasyceniem i jasnością [259, s. 2–4].

[31] Chropowatość powierzchni tafli przeświecalnych można uzyskiwać różnymi metodami: mechaniczną (przez zmatowienie), chemiczną (przez wytrawienie) lub natryskową (przez nałożenie odpowiedniej farby).

[32] Zgodnie z dystrybucją, czyli rozkładem prawdopodobieństwa określającym, pod jakim kątem załamie się dany promień.

[33] Regularnie rozłożone nierówności mogłyby np. wzmacniać falę, osłabiać ją, rozszczepiać jak np. w siatkach dyfrakcyjnych.



Ryc. 10. Ilustracja prawa Bouguera–Lamberta w architekturze. Tafla szkła o większej grubości, która została zastosowana w poziomie – jako pokrycie dachu – pochłania więcej światła niż tafla ustawiona w pionie – jako element elewacji. Cień, który te tafle rzucają na ścianę wewnętrzną, także się różni – zob. strzałka. Muzeum Fundacji Langen w Hombroich (arch. Tadao Andō, 2004).

Źródło: fot. i opracowanie autor

2.4.3. Tafle i ich rodzaje

W zależności od tego, jaką część przepuszczanego widma światła tafla pochłania[34], wyróżnione zostały **tafle przezroczyste i barwne**, a ze względu na to, jak duże są nierówności powierzchni, wyszczególniono **tafle ornamentowe i przeświecalne**. Taki podział uwzględnia określone uproszczenia związane z praktyką stosowania w architekturze najczęściej spotykanych materiałów przepuszczających światło.

Tafle przezroczyste to tafle gładkie, które działają jak filtry neutralne, bezbarwne lub jak filtry barwne jasne. Typowe budowlane szkło sodowo-wapniowe to zielononiebieski jasny filtr[35]. Światło przepuszczane przez taką taflę zmienia barwę, ale w tak nieznacznym stopniu, że nie wpływa to w istotny sposób na obraz widoczny dla obserwatora i jest zazwyczaj niezauważalne. W opracowaniu przyjęto założenie, że to minimalne zabarwienie będzie traktowane jako zjawisko pomijalne w opisie tafli przezroczystych (zob. przyp. 1, s. 13). Tafle przezroczyste na schematach oznaczane są g.

Pochłanianie jest proporcjonalne do grubości warstwy materiału, przez który światło jest przepuszczane. Zgodnie z prawem Bouguera–Lamberta cienka tafla nie spowoduje znacznego zabarwienia przepuszczanego światła, natomiast przy zastosowaniu tafli o większej grubości różnica może być już widoczna (ryc. 10). Zjawisko występuje także poza zakresem światła widzialnego[36].

W taflach standardowych szkła sodowo-wapniowego jony żelaza zabarwiają przepuszczane światło na zielononiebiesko. Współczesne technologie masowej produkcji szkła budowlanego pozwalają na wyprodukowanie bezbarwnej masy szklarskiej o parametrach neutralnego filtra. Proces ten polega na wymianie jonów żelaza na jony ołowiu Pb^{2+}. W wyniku tego procesu powstaje tzw. **szkło ołowiowe**, nazywane także ze względu na parametry optyczne **szkłem kryształowym**.

---

[34] Fachowy termin z dziedziny optyki to „deformacja spektralna widma", ale ze względu na komunikatywność wywodu został on zastąpiony opisem.

[35] Zielononiebieskie zabarwienie wynika z występowania w masie szklarskiej domieszek tlenku żelaza (II) – FeO – w proporcji około 0,1%. Tlenki żelaza są czerwone – rdzawe, pochłaniają więc światło o barwie czerwonej i pomarańczowej, a światło o barwie zielonej i niebieskiej zostaje przepuszczone przez taflę.

[36] Pochłanianie i odbicie poza zakresem światła widzialnego, następujące w paśmie podczerwieni i ultrafioletu, choć to zjawiska niewidoczne, mają bardzo istotne znaczenie w budownictwie i architekturze. Odpowiednie powłoki nałożone na materiały przezroczyste pozwalają na odbicie „znacznej ilości promieniowania podczerwonego przy jednoczesnym przenikaniu promieniowania widzialnego" [119, kol. 2]. Pozwala to zdecydowanie „ograniczyć koszty ogrzewania" przy zastosowaniu dużych przeszkleń. Tematyka ta jest przedmiotem licznych opracowań specjalistycznych [217].

Dotychczas było ono stosowane głównie w urządzeniach specjalistycznych: w sprzęcie optycznym, fotograficznym, astronomicznym. Obecnie dostępne są wielkowymiarowe tafle ze szkła bezbarwnego (*clear glass*) o jakości niemal perfekcyjnego neutralnego filtra. Stosuje się je tam, gdzie szczególnie dba się o odpowiednie odwzorowanie kolorów, np. w wystawiennictwie. Tafle *clear glass* znajdują się w ofercie większości producentów szkła budowlanego i nie ma przeszkód – poza budżetem – do ich stosowania w skali masowej.

Tafle barwne działają jak filtry barwne ciemne o dużej gęstości optycznej. Światło, które jest przez nie przepuszczane, ulega widocznemu zabarwieniu. W pracy rozpatrywane są tafle barwne gładkie. Tafle barwne na schematach oznaczane są g_{b}.

Tafle ornamentowe charakteryzują nierówności znacznie większe od długości fali światła. Należy je rozpatrywać jako zespół przylegających do siebie elementów optycznych: płytek, pryzmatów, wklęsłych i wypukłych soczewek. Sposób ich ustawienia, wielkości krzywizny w sposób widoczny wpływają na charakter obserwowanych zniekształceń obrazu. W taflach ornamentowych zniekształcenie zawsze dotyczy promieni przepuszczanych przez taflę, a promieni odbitych tylko wtedy, gdy odbicie następuje od powierzchni, która ma postać reliefu. Obraz przy obserwacji większości tafli ornamentowych może być ostry, ponieważ powierzchnia soczewek składowych jest gładka, ale zawsze jest zniekształcony. Powierzchnię tafli ornamentowej można w uproszczeniu porównać z pofalowaną powierzchnią wody, która nie jest płaska, ale jest gładka. Tafle ornamentowe na schematach oznaczane są g_{or}.

Tafle przeświecalne charakteryzują nierówności powierzchni lub zmiany struktury wewnętrznej znacznie większe od długości fali światła [75], które są nieregularnie, przypadkowo rozmieszczone. W wyniku interakcji ze światłem dochodzi do jego rozproszenia, czyli nieuporządkowanego rozchodzenia się „we wszystkich kierunkach” [75]. Rozproszenie światła ma miejsce na płaszczyźnie/płaszczyznach granicznych tafli lub w masie materiału, w której występują rozpraszające światło cząsteczki. Tafle rozpraszające światło przepuszczają jego promienie, ale uniemożliwiają powstawanie ostrego obrazu rzeczywistego, ponieważ tory promieni światła zostają w sposób przypadkowy zaburzone. W taflach przeświecalnych rozproszenie zawsze dotyczy promieni przepuszczanych przez taflę, a promieni odbitych tylko wtedy, gdy odbicie następuje od powierzchni, która jest chropowata. Tafle przeświecalne na schematach oznaczane są g_{o} lub g_{m}. Rozróżnienie w rozdz. 3.4.2, s. 111.

Przedstawiona typologia tafli nie jest rozłączna, ponieważ występują tafle rozpraszające barwne lub ornamentowe, a także ciemne neutralne filtry gładkie. W dalszej części opracowania analizowane są cztery rodzaje tafli określone powyżej: **przezroczyste, barwne, ornamentowe i przeświecalne**.

2.4.4. Tafle – nomenklatura

Polszczyzna oferuje bogactwo słów, którymi można opisać zjawisko przepuszczania światła przez materiał. Mnogość środków wyrazu nie ustępuje pod tym względem językom obcym. Niejednoznaczne określenia używane zarówno w mowie potocznej, jak i w języku literackim wymagają uściślenia w pracy naukowej.

W polskiej tradycji językowej terminy związane z przepuszczaniem światła przez różne materiały zostały zaczerpnięte z natury. Określenie „**przezroczysty**" oznacza przepuszczenie światła przez substancję bez rozproszenia i wyraźnej zmiany jego barwy. Źródłosłów „-czysty" pochodzi prawdopodobnie od „czystej wody" [30, s. 18–21], a słowo „**przejrzysty**" od „przejrzeć", „patrzeć na wylot", „na wskroś". „Przejrzeć" oznacza więc dostrzeganie ogólnych zarysów i kształtów bez możliwości rozróżnienia szczegółów. Słownikowe definicje terminu potwierdzają powszechną intuicję: „stać się częściowo widocznym", „przeniknąć przez coś wzrokiem" [211]. Często używane są także określenia: „zamglony", „zadymiony", „rozmyty", „nieostry". Pierwsze dwa pochodzą od zjawisk naturalnych: mgły i dymu. Następne ma związek z nakładaniem pigmentów i rozmywaniem krawędzi figur. „Nieostry" wywodzi się z nazewnictwa, które weszło do zasobów języka po upowszechnieniu przyrządów optycznych – np. okularów i obiektywów fotograficznych. W następstwie rozwoju metrologii we współczesnej terminologii fachowej określenia „zamglenie" oraz „przejrzystość" uzyskały status terminów naukowych – parametrów optycznych charakteryzujących stopień rozproszenia światła. W szczegółach zostaną one omówione w rozdz. 3.4, s. 108. W celu sprecyzowania nazewnictwa i aby uniknąć nieporozumień, terminy „przejrzystość" i „zamglenie" będą używane wyłącznie zgodnie z ich technicznym znaczeniem.

Kolejne określenia różnego stopnia przepuszczania światła przez materiał to „**przezierać**" i „**przeświecać**". „Przezierać" oznacza możliwość dostrzegania ogólnych zarysów, „przezierny" jest więc synonimem słowa „przejrzysty", a „przeświecać" kojarzy się z widocznością poszczególnych plam światła. „Przeświecalność" została wprowadzona do terminologii naukowej przez pracę pt. *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej* autorstwa Wacława Celadyna jako termin

antagonistyczny do „przezroczystości” [67, s. 169], analogicznie do anglojęzycznego przeciwstawienia pojęć *transparent* i *translucent*[37].

Współczesny język polski przejął większość określeń wywodzących się głównie z języków romańskich, np. *transparent* i *translucent*, akceptując także metaforyczne znaczenia tych słów [267]. „Transparentny” to nie tylko „przezroczysty” w sensie wizualnym, ale także „jawny” i „pozbawiony korupcji” – szczególnie w kontekście polityki i działalności publicznej. Mówimy więc zarówno o „transparentnym rządzie”, jak i „transparentnych politykach”. Niejednoznaczność terminów pochodzących z języków obcych powoduje, że użycie tych kalek językowych nie spotyka się z aprobatą specjalistów [180], choć jest powszechne nawet w tłumaczeniach. W niniejszej pracy określenie „przezroczysty” stosuje się zgodnie z encyklopedycznym znaczeniem (zob. przyp. 1, s. 13), a „przeświecalny” według ugruntowanej już terminologii wprowadzonej wcześniej przez Celadyna. Ze względu na możliwe wieloznaczności autor nie używa określenia „transparentny”, a w tej monografii jest ono spotykane wyłącznie w cytatach z rodzimej literatury przedmiotu.

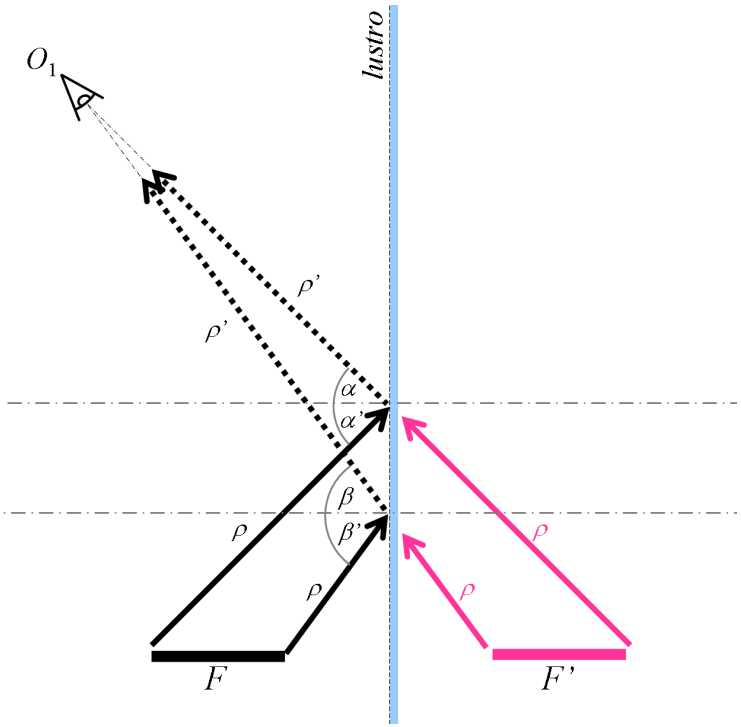
2.5. Obrazy rzeczywiste i pozorne

W optyce geometrycznej **obrazem** nazywamy reprezentację rzeczywistego przedmiotu w układzie optycznym (więcej o złożonych układach optycznych w rozdz. 4.1, s. 131). Ze względu na tory promieni światła rozróżniamy obrazy rzeczywiste i pozorne.

W wyniku przejścia promieni zbieżnych przez układ optyczny powstaje **obraz rzeczywisty**. Tworzony jest w płaszczyźnie, w której **promienie się przecinają**. Jeśli w tej płaszczyźnie zostanie umieszczony ekran, obraz będzie na nim widoczny. Obraz rzeczywisty tworzy się na siatkówce, która pełni funkcję ekranu w układzie optycznym oka. Promienie światła po przejściu przez gładką taflę – płytkę płasko-równoległą – a następnie przez soczewkę oka – tworzą na siatkówce obraz rzeczywisty przedmiotów znajdujących się po jej drugiej stronie. Cienka tafla nie zakłóci ich toru w stopniu zauważalnym dla obserwatora.

Obraz pozorny powstaje w wyniku zarejestrowania przez obserwatora wiązki promieni rozbieżnych, które opuszczają układ optyczny. Tworzy się na przecięciu przedłużeń tych promieni (ryc. 11). Z perspektywy rozważanych zagadnień największe znaczenie ma **odbicie lustrzane od gładkiej**

[37] Z łaciny: *trans* oznacza „przez”, *parent* (od *parere*) „wyglądać”, „widzieć”; *lucere* oznacza „świecić” i wywodzi się od słowa „światło” – z praindoeuropejskiego *leuk*.



Ryc. 11. Sposób tworzenia obrazu pozornego. Pokazano promienie rzeczywiste (kolor czarny) padające ρ i odbite ρ' oraz pozorne ρ (kolor różowy), a także obiekty rzeczywiste F (kolor czarny) i pozorne F' (kolor różowy).

Źródło: opracowanie autor

powierzchni tafli, choć należy pamiętać, że obrazy pozorne tworzą się w wielu innych układach optycznych, np. w wyniku odbicia promieni od zwierciadeł wypukłych lub przejścia promieni przez soczewkę ujemną – wklęsłą.

W przypadku odbicia lustrzanego promienie padające (pierwotne) i odbite (wtórne) tworzą linię zygzakowatą lub w kształcie litery „V". Mają rozbieżne kierunki, więc nie istnieje punkt ich przecięcia w układzie optycznym, nie tworzą również obrazu rzeczywistego. **Obraz pozorny powstaje na przecięciu przedłużeń tych promieni** (ryc. 11). Lokowany jest „za" powierzchnią odbijającą promienie lub „wewnątrz" odbijającego światło przedmiotu. Obiekt – element obrazu pozornego – jest w innym miejscu niż to, w którym rzeczywiście się znajduje. Obraz pozorny jest odbierany przez umysł na równi z obrazem rzeczywistym.

Geometria obrazu pozornego jest określona przez szczególny rodzaj izometrii: symetrii płaszczyznowej. Punkty przestrzeni rzeczywistej zostają odwzorowane w punkty przestrzeni pozornej. Leżą na prostej prostopadłej do płaszczyzny symetrii, w równej odległości, ale w przeciwnych kierunkach (informacje o obrazie pozornym zob. również w rozdz. 6.7.1, s. 213). Mechanizm tworzenia obrazu pozornego powoduje przeniesienie w przestrzeń „pozorną" wszystkich elementów przestrzeni „rzeczywistej", razem z ich wzajemnymi zależnościami przestrzennymi, wyłączając jedynie relację lewo–prawo.

Ze względu na istotną rolę tego rozróżnienia w dalszych rozważaniach warto podkreślić odmienność opisywanych procesów. Zarówno **odbicie lustrzane**, jak i **tworzenie obrazu pozornego** to **zjawiska optyczne**, ale odbiór obrazu pozornego wynika wprost ze sposobu funkcjonowania umysłu obserwatora, który przywykł do tego, że **promienie światła rozchodzą się po liniach prostych**. W rezultacie na obszarze zwierciadła obserwatorzy dostrzegają głębię, która faktycznie nie istnieje.

2.6. Promień a strumień, punkt świetlny a pole widzenia

W optyce geometrycznej przyjmuje się, że promieniowanie rozchodzi się wzdłuż liniowych ścieżek zwanych promieniami. **Promień światła** oznacza nieskończenie wąską wiązkę światła. Ze względu na klarowność opisu wiele zjawisk optycznych jest wyjaśnianych przy uproszczeniu światła do pojedynczego promienia. Przybliżenie to wystarcza do omówienia zjawisk optycznych zachodzących w skali, w której długość fali światła można pominąć.

Pojedynczy promień światła jest bodźcem postrzeganym przez obserwatora w postaci umownego **jednego punktu świetlnego**, rejestrowanego przez jedną światłoczułą komórkę siatkówki. Każdy promień „niesie" ze sobą informację o jaskrawości punktu – wartości elementarnego strumienia świetlnego, z którego został on wysłany[38]. Rozważania dotyczące materiałów przepuszczających światło w architekturze uwzględniają całe pole widzenia obserwatora lub tę część pola, w której znajdują się elementy optyczne przepuszczające światło. Rejestracja **obrazu w całym polu widzenia obserwatora** wymaga więc odbioru wielu promieni – odtwarzających w obserwowanej scenie rozkład luminancji na obserwowanych obiektach. Bodźcem oddziałującym na siatkówkę staje się więc pewna liczba elementarnych strumieni świetlnych.

W dalszych rozważaniach autor będzie posługiwał się pojęciem **strumienia świetlnego**, wykorzystując również pojęcie promienia światła do wyjaśnienia innych zjawisk optycznych, wtedy gdy będzie to niezbędne. W fotometrii **strumień świetlny** (*luminous flux*) oznacza całkowitą moc światła emitowanego z danego źródła światła, np. ze Słońca, mogącego wywołać określone wrażenie wzrokowe u obserwatora. Jednostką jest lumen (lm) – definiowany jako strumień wysyłany w jednostkowy kąt bryłowy (sr) przez źródło o światłości jednej kandeli (cd). Strumień świetlny oznaczany jest wielką grecką literą Φ, ale w pracy przyjęto inne oznaczenie – małą literę φ[39]. Strumień świetlny uwzględnia charakterystyczną czułość ludzkiego oka różną dla odmiennych długości fali światła λ[40].

Obserwator nie może bezpośrednio odbierać strumienia świetlnego. Staje się on „widoczny" dla patrzącego przez interakcję, w jaką wchodzi z obiektami, które znajdują się w strefie oddziaływania strumienia, np. przepuszczającymi i odbijającymi światło taflami. Tak jak obserwator nie może zobaczyć wiatru – widzi wyłącznie efekt jego działania: poruszające się liście, falujące zboże, furkoczące flagi – tak również nie może zobaczyć strumienia świetlnego, spostrzegając wyłącznie efekt jego działania – obiekty, które przepuszczają i odbijają światło. Strumień powoduje więc powstanie obrazów rzeczywistych i pozornych, ale nie jest bezpośrednio odbierany przez obserwatora. Patrzący rejestruje **luminancję** na skutek działania strumienia świetlnego, który zostanie odbity lub przepuszczony przez obiekt w kierunku obserwatora i pobudzi siatkówkę

[38] Pojedynczy promień wyznacza oś stożka (wyobrażonego kąta bryłowego) zawierającego pewną wartość elementarnego strumienia świetlnego.

[39] Odróżnienie jest konieczne, ponieważ w kognitywistyce również wielką literą Φ oznacza się zjawisko „fi", czyli złudzenie ruchu w wyniku sukcesywnego włączania źródeł światła (jak np. w wężach świetlnych).

[40] Strumień świetlny to wielkość wyprowadzana ze strumienia energetycznego przez ocenę działania promieniowania na normalnego obserwatora fotometrycznego CIE [208].

jego oka [por. także 208]. W niniejszej pracy zastosowano konwencję językową, która upraszcza konstrukcję zdań i przekazywany czytelnikowi komunikat: strumień świetlny „tworzy" lub „przyczynia się do powstania" obrazów odbieranych przez obserwatora.

Określenie **strumień świetlny** jest także stosowane w literaturze skierowanej do architektów w opisie zjawisk optycznych wpływających na tworzenie obrazu odbieranego przez obserwatora [168; por. 283, s. 71]. W opracowaniu **strumienie pierwotne** φ_1 oraz φ_2 to strumienie oddziałujące na taflę z dwóch jej stron. **Strumienie wtórne** – $\varphi_{1.R}$ i $\varphi_{2.T}$ są rezultatem interakcji strumieni pierwotnych z przepuszczającą światło taflą i to one przyczyniają się do powstania obrazów odbieranych przez obserwatora znajdującego się po jednej stronie tafli. Rozważanie wielu zagadnień dotyczących przezroczystości w architekturze z uwzględnieniem proporcji strumieni świetlnych i tworzonych przez nie obrazów pozwala na lepsze zrozumienie obserwowanych zjawisk.

Miarę jaskrawości odbieranego obrazu stanowi **luminancja** (*luminance*), która jest proporcjonalna do strumienia świetlnego wysyłanego – emitowanego, przepuszczanego lub odbijanego – w danym kierunku w ramach określonego kąta bryłowego [web 25]. Jednostką luminancji jest kandela na m^2 (cd/m^2). Luminancja to spośród wielkości fotometrycznych pojęcie najbliższe wizualnemu odczuciu **jaskrawości** (*brightness*), czyli wrażeniu wzrokowemu, że „dana powierzchnia wydaje się wysyłać więcej lub mniej światła" [208]. Bardzo istotne jest jednak rozróżnienie: „Jeśli luminancja zwiększa się dziesięciokrotnie, obserwator nie odczuwa tego jako dziesięciokrotne zwiększenie jaskrawości. Ta relacja jest logarytmiczna, czułość oka zmniejsza się w dużym tempie, w miarę zwiększania się luminancji źródła" [117, s. 24]. Zależność tę opisuje prawo **Webera–Fechnera**, które wyraża związek między fizyczną miarą bodźca, np. świetlnego, akustycznego, a odczuwanym wrażeniem – reakcją zmysłów, np. wzroku, słuchu[41]. Luminancję można więc mierzyć za pomocą przyrządów optycznych, a jaskrawość – jako miara wrażenia – „nie jest wielkością mierzalną, więc nie ma jednostki" [117, s. 24]. W monografii autor używa jednak określenia **jasność**, jako bliższego grupie odbiorców, do której kierowane jest to opracowanie. Jasność (*lightness*) to jaskrawość powierzchni oceniana w stosunku do jaskrawości innych podobnie oświetlonych

[41] Istotne jest rozróżnienie między fizyczną intensywnością bodźca a doznaniem psychicznym, które powstaje w wyniku odbioru tego bodźca przez zmysły. Bodźce można dokładnie mierzyć (np. luminancję, głośność, stężenie), dla określenia wrażeń „dysponujemy jedynie naszymi jednostkowymi doznaniami" [164, s. 627]. W ocenie intensywności wrażeń naukowcy opierają się więc na relacjach badanych, a nie na zobiektywizowanych, mierzalnych jednostkach. W kognitywistyce do skalowania zmiennych psychologicznych stosuje się dwie metody – skalowanie oparte na pomyłkach i bezpośrednie. W wyniku tych badań określono prawidłowości wiążące bodźce z wrażeniami. Wrażenie jaskrawości zwiększa się „proporcjonalnie do potęgi 1/3 (pierwiastka sześciennego) fizycznej intensywności światła" [164, s. 635].

powierzchni, z których jedna wydaje się biała lub dobrze przepuszczająca światło [208]. Należy jednak zauważyć, że spostrzeganie danej powierzchni jako jaśniejszej bądź ciemniejszej może być również związane z adaptacją narządu wzroku do jasności – stopniem otwarcia źrenicy oka. Stałość wrażeń odbieranych przez umysł gwarantuje mechanizm tzw. stałości spostrzegania omówiony szczegółowo w rozdz. 6.3, s. 196.

2.7. Pole i strumienie świetlne

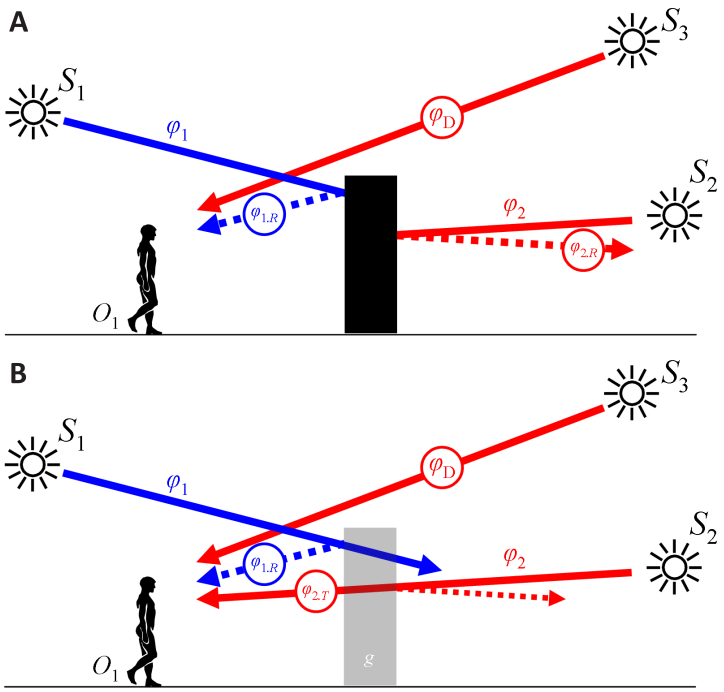
Pole świetlne (*light field*) definiowane jest jako przestrzenny rozkład strumienia świetlnego [108][42]. Określa wartość i kierunek strumieni w każdym punkcie przestrzeni[43]. Przestrzeń wokół obserwatora, środowisko, w którym się on znajduje, wypełnia gęsta sieć strumieni świetlnych o różnych kierunkach i odmiennych wartościach [2, s. 4], w zdecydowanej większości strumieni odbitych od ciał fizycznych otaczających obserwatora bądź przez nie emitowanych – jak w przypadku Słońca lub sztucznego oświetlenia.

Przy świetle dziennym za pierwotne-początkowe źródło wszelkich rozważanych strumieni świetlnych uważa się Słońce. Ze względu na odległość promienie składające się na emitowany strumień traktuje się jako równoległe. **Strumienie bezpośrednie** oddziałują bezpośrednio na obserwatora. Przyjęto, że **strumienie pierwotne** (φ_1, φ_2) to te, które oddziałują na przezroczystą taflę z obu jej stron. **Strumienie wtórne** to takie, które weszły w interakcję z obiektami znajdującymi się w otoczeniu obserwatora i które tworzą obraz rzeczywisty lub pozorny po odbiciu lub przepuszczeniu przez taflę.

W przypadku obiektów nieprzepuszczających światła obserwator widzi te, które odbijają część padającego na nie strumienia świetlnego. Ten **odbity strumień świetlny** oznaczony jest $\varphi_{1.R}$ (ryc. 12A). W przypadku obiektów przepuszczających światło obserwator znajdzie się również pod wpływem strumienia świetlnego **przepuszczanego** przez obiekt – oznaczonego jako $\varphi_{2.T}$. Utworzy on obraz rzeczywisty. Jeśli obiekt będzie przezroczysty – przepuszczający światło i jednocześnie gładki – to na jego powierzchni dojdzie do odbicia lustrzanego. Taka sytuacja jest

[42] W psychologii poznawczej zamiennie z pojęciem „pole świetlne" używane jest określenie „szyk optyczny" (*optic array*). Po raz pierwszy użył go James Gibson, definiując je jako „światło o zróżnicowanej intensywności, padające z różnych kierunków" [za: 172, s. 78]. Zakresy znaczeniowe nie pokrywają się jednak całkowicie. Gibson, mówiąc o szyku, miał na myśli światło padające na siatkówkę.

[43] Idea, aby światło traktować jako pole (przez analogię do pola magnetycznego), pochodzi od Michaela Faradaya, a definicję podał jako pierwszy radziecki fizyk Arun Gershun w 1936 roku (publikacja w języku angielskim w 1939 roku) [108].



Ryc. 12. A. Schemat ilustruje bieg strumieni w przypadku ciał nieprzepuszczających światła – strumień bezpośredni oznaczono jako φ_D (dla źródła światła znajdującego się w polu widzenia obserwatora), strumień pośredni odbity jako $\varphi_{1.R}$. **B.** Bieg strumieni w przypadku ciał przepuszczających światło – strumień przepuszczany przez obiekt oznaczono $\varphi_{2.T}$.

Źródło: opracowanie autor

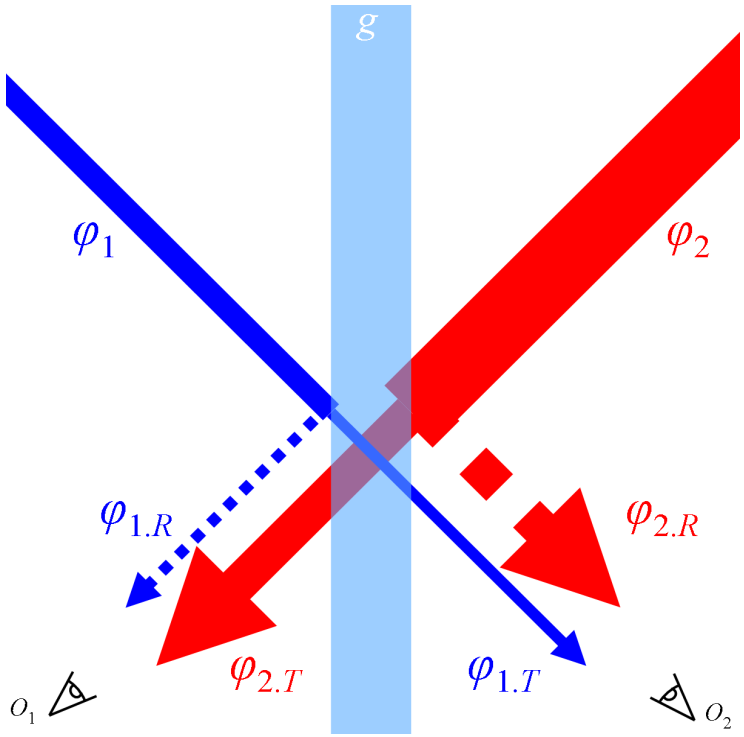
powszechna w architekturze w odniesieniu do stosowanych tafli. Wtedy dwa wtórne strumienie świetlne – przepuszczany przez taflę $\varphi_{2.T}$ oraz od niej odbity $\varphi_{1.R}$ – stają się bodźcami działającymi na siatkówkę oka obserwatora i powodującymi utworzenie dwóch przenikających się obrazów: **rzeczywistego i pozornego**. Z proporcji tych strumieni wynika proporcja obu obrazów. To, w jaki sposób obserwator będzie widział obiekt, zależy od tego, który obraz będzie dominował w polu widzenia obserwatora w obszarze tafli. Jeśli obiekt nie wypełni całego pola widzenia, to obserwator zobaczy także obiekty, które staną się źródłem innych, pośrednich strumieni świetlnych oraz inne możliwe strumienie bezpośrednie pochodzące wprost od źródeł światła, np. φ_D zgodnie ze schematem na ryc. 12A i B.

Strumienie, które oddziałują na taflę od zewnątrz – ujęte ogólnie jako φ_1 – jednocześnie rozświetlają otoczenie budynku, teren, zieleń, place i obiekty sąsiadujące. Część tych strumieni dostaje się do wnętrza przez otwory, świetliki i przeszklenia, ulega osłabieniu na skutek wielokrotnego odbicia od wewnętrznych powierzchni ścian, stropów, posadzek i oddziałuje na przezroczystą taflę od środka. Ujęto je ogólnie jako φ_2. W warunkach dziennych strumienie świetlne wewnątrz budynku mają zazwyczaj mniejszą wartość niż te, które oddziałują na bryłę na zewnątrz. Również ich kierunki różnią się.

Gładka przezroczysta tafla modyfikuje strumienie pierwotne: φ_1, φ_2. Zmianie ulega nie tylko ich kierunek, ale także wartość. Strumień przepuszczany $\varphi_{2.T}$ ulega osłabieniu na skutek pochłaniania w tafli, strumień odbity $\varphi_{1.R}$ z powodu odbicia od jej powierzchni. Ponieważ nie istnieją tafle, które odbijają 100% padającego światła, strumień wtórny odbity zawsze będzie słabszy niż strumień pierwotny padający. Stopień tego osłabienia jest proporcjonalny do współczynników charakteryzujących taflę T i A (przepuszczania i pochłaniania światła) oraz R (odbicia światła). Intensywniejszy strumień pierwotny może ulec takiemu osłabieniu w wyniku odbicia od tafli, że utworzy mniej intensywny obraz pozorny niż obraz rzeczywisty powstały na skutek działania mniej intensywnego strumienia pierwotnego padającego z przeciwnej strony.

2.7.1. Schematy strumieni świetlnych

W konwencji przyjętej w pracy pierwotne strumienie świetlne φ_1 oraz φ_2 oddziałują na taflę z przeciwnych stron. Tafla podlega obserwacji prowadzonej przez dwóch obserwatorów: odpowiednio O_1 – zewnętrznego oraz O_2 – wewnętrznego. W naturze wartości tych strumieni można pozyskać wyłącznie na drodze pomiarów fotometrycznych dokonanych w badaniach terenowych, w konkretnej lokalizacji. Te dane zmieniają się w zależności od pory dnia, roku



Ryc. 13. Sposób tworzenia schematu strumieni świetlnych. Na ciemnoniebiesko oznaczono strumienie φ_1 padające od strony zewnętrznej, na czerwono strumienie φ_2 padające od strony wewnętrznej tafli. Schemat w skondensowanej formie przekazuje informację o relacji strumieni występującej w określonym miejscu tafli.

Źródło: opracowanie autor

i pogody. Wartości strumieni pierwotnych nie są „widoczne" na utrwalonych fotografiach. Matryca światłoczuła, podobnie jak siatkówka oka, rejestruje wyłącznie obrazy, do których powstania przyczyniają się strumienie wtórne $\varphi_{2.T}$ oraz $\varphi_{1.R}$, już po odbiciu/przepuszczeniu strumieni pierwotnych przez taflę (dla obserwatora O_1). Analiza parametrów materiałów przepuszczających światło, bryły budynku, lokalizacji i położenia obiektów sąsiadujących pozwala na odtworzenie przybliżonych wartości pierwotnych strumieni świetlnych oddziałujących na taflę w każdym z jej miejsc[44] i analizę interakcji tafli i strumieni pierwotnych. W celu zilustrowania tego procesu zostały zaproponowane **uproszczone schematy strumieni świetlnych**. Umożliwiają one prześledzenie zjawisk optycznych, w których wyniku strumienie pierwotne przekształcane są w strumienie wtórne. Schematy obejmujące zarówno tafle pojedyncze, jak i ich wieloelementowe układy, zostały zamieszczone w tabelach zbiorczych na końcu rozdziałów dotyczących danego tematu. Podpisy pod rycinami kierują czytelnika do określonej pozycji w tabeli zbiorczej. Tam znajduje się analiza wartości strumieni, wskazano także obszar występowania efektu wizualnego.

Schemat strumieni świetlnych składa się z linii reprezentujących strumienie pierwotne, linii określających strumienie wtórne oraz schematu tafli pokazanej w przekroju pionowym. Grubość linii odzwierciedla przybliżoną wartość strumieni. Różnią się one barwą – ciemnoniebieską lub czerwoną – w zależności od tego, na którą stronę tafli działają. Strumienie odbite zaznaczono linią przerywaną. Przykład sposobu tworzenia schematu strumienia świetlnego pokazano na ryc. 13.

2.8. Obserwator w polu świetlnym

Umysł jest przystosowany do aktywnej postawy obserwatora przy pozyskiwaniu informacji płynącej ze środowiska. Proces zbierania danych z otoczenia, w którym znajduje się patrzący, jest stymulowany „kreatywną postawą człowieka w dochodzeniu do odpowiednich rezultatów spostrzegania" [18, s. 70]. Każde przemieszczenie się obserwatora – lokomocja, każdy ruch głowy i gałki ocznej powodują zmianę pola widzenia. Zmiana ta „pociąga za sobą zwiększenie się zawartości informacyjnej sytuacji, w porównaniu z taką samą sytuacją statyczną" [17, s. 114]. Pozwala to na pozyskanie większej liczby danych wzrokowych, które służą budowie **trójwymiarowej reprezentacji otoczenia**[45] w umyśle obserwatora.

[44] Odtworzenie proporcji pierwotnych strumieni świetlnych było możliwe dzięki obserwacji terenowej i zebraniu wrażeń przez autora.
[45] Zob. przyp. 122, s. 193.

2.8.1. Obserwacja dynamiczna

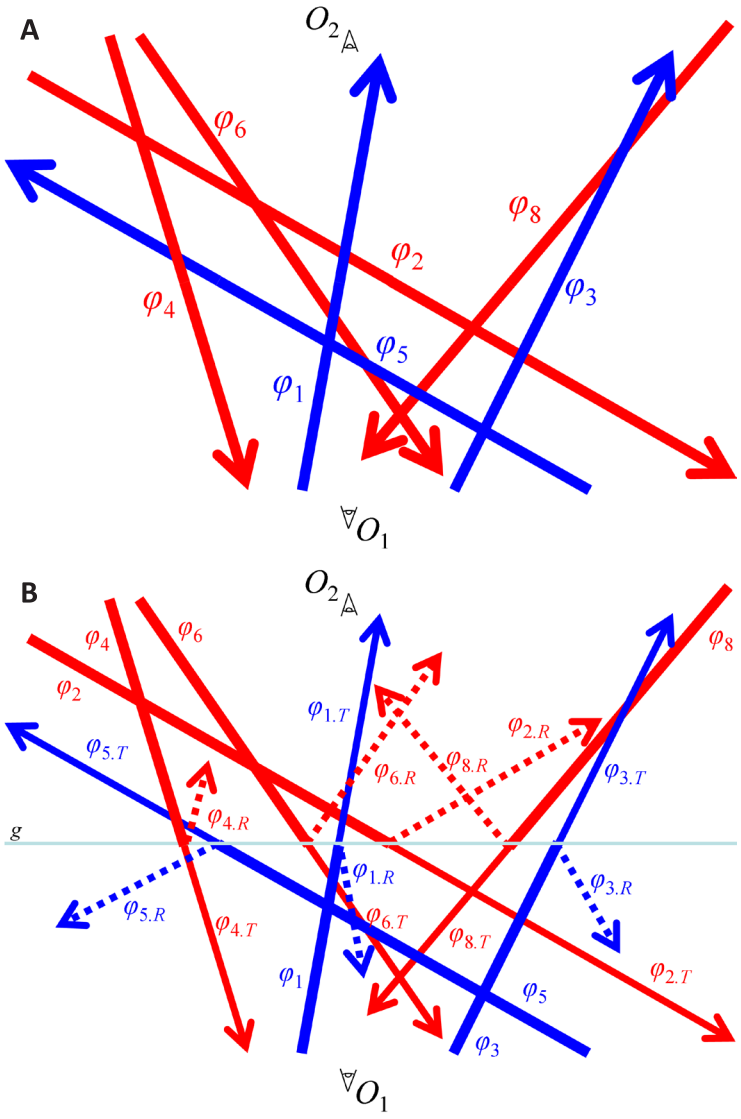
Przemieszczenie obserwatora (lokomocja) powoduje zmianę punktu obserwacji i – zgodnie z prawem perspektywy – odpowiednie przemieszczenie obserwowanych obiektów w polu widzenia [224]. Zmiana pozycji jest oczywiście pozorna, ponieważ to obserwator zmienia miejsce, a nie obiekty, które on obserwuje. Pozorne przesunięcie statycznych obiektów względem siebie w polu widzenia spowodowane zmianą punktu obserwacji określa się mianem **paralaksy ruchowej**[46]. Z ogólnych praw perspektywy wynika, że lokomocja obserwatora pozwala na bardziej precyzyjne odwzorowanie otoczenia.

Przy zachowaniu niezmiennego punktu widzenia (brak lokomocji) obserwator także może prowadzić obserwację dynamiczną. Ruch głowy powoduje zmianę pola widzenia, choć **punkt obserwacji** pozostaje niezmienny. Jak wykazał to Władysław Strzemiński, perspektywa zmienia się również pod wpływem „zmiany kierunku spojrzenia”[47] [253, s. 216]. Dzieje się tak, ponieważ wraz ze zmianą kierunku patrzenia przesunięciu ulegają punkty zbiegu i zakres pola widzenia.

Nawet jeśli nieruchomy obserwator nie porusza głową, to nieświadomie wykonuje ruchy gałkami ocznymi. Ruch poszukujący, określany także ruchem skanującym, „składa się z serii drobnych, szybkich skoków” [113, s. 51–52] zwanych także **sakkadami** (*saccades*). Dla fizjologicznego procesu widzenia skoki te mają znaczenie zasadnicze. Ich zadaniem jest wymuszenie zmiany pola widzenia i dostarczanie stale nowych pobudzeń dla receptorów siatkówki. W przeciwnym wypadku – ślepniemy[48]. Jest to związane z tzw. **habituacją**[49] – zanikaniem reakcji na bodziec działający w sposób ciągły przez pewien czas [84, s. 139; 161, s. 38].

Badania naukowe prowadzone przez psychologów poznawczych i fizjologów wykazały, że dynamiczna obserwacja, skutkująca ciągłą zmianą pola widzenia, jest dla człowieka naturalnym sposobem patrzenia. Zmiana punktu obserwacji powoduje, że w polu widzenia znajdą się obiekty, które dotychczas umiejscowione były poza nim. Obserwator wybierając dany **kierunek patrzenia**, powoduje, że określone promienie światła będą oddziaływały na siatkówkę i utworzą na niej

[46] Paralaksa jest bardzo istotną wskazówką, ponieważ na jej podstawie umysł może dokonywać przyporządkowania, który obiekt „znajduje się bliżej, a który dalej” [191, s. 290]. Rozwinięcie tego zagadnienia – zob. rozdz. 6.5, s. 198.
[47] Kierunek patrzenia jest definiowany jako prosta łącząca oko obserwatora z obserwowanym obiektem. Strzemiński posługuje się także określeniem „kierunek spojrzenia” [253, s. 216].
[48] Stabilizację obrazu siatkówkowego opisuje Richard L. Gregory. Widzenie „zanika wtedy po niewielu sekundach” [113, s. 51–54].
[49] Habituacja w odniesieniu do zagadnień architektonicznych oznacza przytępienie reakcji na codziennie oglądane otoczenie (np. na brzydotę, brak harmonii, kicz). Pewne środki zaradcze – kadrowanie widoków – proponuje Christopher Alexander [7, s. 82].



Ryc. 14. Tor oraz kierunek strumieni świetlnych φ_1–φ_8 zmienia się zasadniczo po wprowadzeniu cienkiej gładkiej tafli g. Te zmiany wpływają również na obraz, który jest odbierany przez obserwatorów.

Źródło: opracowanie autor na podstawie publikacji własnej [51]

obraz, podczas gdy inne pozostają poza możliwością odbioru. Wpływ pola świetlnego otaczającego człowieka na powstające obrazy rzeczywiste i pozorne będzie więc zależał od kierunku strumieni w relacji do kierunku patrzenia oraz od umiejscowienia obserwowanych obiektów. Będą one wchodziły w interakcję z tymi strumieniami i albo je odbijały, albo przepuszczały. Jasna ściana oświetlona przez bezpośrednie światło słoneczne będzie źródłem strumienia świetlnego odbitego. Obserwator odwrócony od ściany nie będzie mógł jej zobaczyć. Jej luminancja nie zostanie odebrana przez niego jako jej jaskrawość.

Gładka tafla materiału przepuszczającego światło modyfikuje otoczenie świetlne obserwatora w sposób zasadniczy. **Kierunek zmieniają strumienie**, które ulegają odbiciu lustrzanemu od tafli i – jako bodziec oddziałujący na siatkówkę – tworzą obraz pozorny. W przestrzeni trójwymiarowej przezroczysta tafla działa więc jak „przekrój [ekran – przyp. autora] w układzie optycznym" [28, s. 91], jakby zwierciadło umożliwiające obserwatorowi odbiór tych obiektów, których nie mógłby dostrzec przedtem, a teraz odbiera **ich obraz pozorny**. Podobnie jak doskonale znany architektom przekrój „przecina" przegrody, ściany i stropy, aby ukazać ich wewnętrzną strukturę, tak tafla „przecina" bieg strumieni świetlnych. Jedne są przepuszczane bez zmiany kierunku[50], inne zostają „zawrócone" zgodnie z prawami lustrzanego odbicia. W efekcie tafla „ujawnia" strumienie świetlne, których istnienia obserwatorzy nie byli wcześniej świadomi [zob. 51].

W sytuacji przedstawionej na ryc. 14A można prześledzić, jak zmieni się wpływ strumieni świetlnych φ_1–φ_8 na obraz odbierany przez obserwatorów O_1 i O_2 zlokalizowanych po przeciwnych stronach tafli. W przypadku obserwatora O_2 obraz dla niego widoczny wynika z oddziaływania strumienia φ_1, a na granicy pola widzenia jeszcze φ_3 i φ_5. W obrazie odbieranym przez obserwatora O_1 dominuje oddziaływanie strumieni φ_6 i φ_8.

Wprowadzenie przezroczystej gładkiej tafli (ryc. 14B) modyfikuje przebieg strumieni, zmienia się ich wpływ na odbierany przez obserwatorów obraz. Strumienie są przez nią przepuszczane, ale jednocześnie ulegają odbiciu lustrzanemu. Na przykład, obserwator O_2 nadal odbiera obraz rzeczywisty tworzony przez strumień $\varphi_{1.T}$ oraz dodatkowo obraz pozorny powstający przy udziale strumieni odbitych – $\varphi_{6.R}$ i $\varphi_{8.R}$. Analogiczne zmiany zachodzą dla obserwatora O_1, który dodatkowo odbiera obraz tworzony przez $\varphi_{1.T}$ [51]. Dla uproszczenia schematu założono, że wartości strumieni świetlnych są takie same.

[50] Ulegają one przesunięciu równoległemu, jak promień przy przejściu przez płytkę płasko-równoległą, ale ich kierunek pozostaje niezmieniony.

2.8.2. Obserwacja dynamiczna a rejestracja obrazu

Obserwacja dynamiczna jest naturalnym sposobem obserwacji i dostarcza zdecydowanie większej liczby danych wzrokowych, które mogą być ze sobą konfrontowane. Dane te pomocne są w rozstrzyganiu dylematów poznawczych, np. złudzeń mogących występować przy niezmiennym punkcie obserwacji. Z tego powodu obserwację dynamiczną przyjęto w badaniach obserwacyjnych jako metodę standardową stosowaną w terenie przez autora.

Jednak żadna metoda rejestrowania obrazów nie jest w stanie odtworzyć dynamicznego procesu pozyskiwania informacji wizualnej przez umysł. Rejestracja obserwacji dynamicznej, zakładającej lokomocję obserwatora, stwarza określone problemy praktyczne. Dotyczą one jakości, sposobu zapisu i prezentacji wyników w opracowaniu naukowym. Szczególne wyzwanie techniczne stanowi stabilizacja toru i ruchu ewentualnego obserwatora. Z tych względów w przeprowadzonych badaniach terenowych przyjęto metodę statycznego utrwalenia **stanów chwilowych pola widzenia**. Dokonano tego przy użyciu światłoczułej matrycy cyfrowego aparatu fotograficznego[51]. Ten sposób rejestrowania obrazu stabilizuje perspektywę, zachowuje kąty między obserwowanymi płaszczyznami a kierunkiem patrzenia, które mogą się zmieniać podczas ruchów głowy. Zapis cyfrowy ułatwia późniejszą analizę obrazu i przetworzenie większej liczby danych wyższej jakości. Jeśli do wyjaśnienia zagadnienia niezbędna jest zmiana punktu obserwacji, przemieszczenie się obserwatora dokumentowane jest w postaci sekwencji ujęć, zarejestrowanych oddzielnie „klatek". W większości prezentowanych przypadków ukazują one dwa stany skrajne.

W opracowaniu przyjęto założenie, że utrwalenie obrazu przy użyciu aparatu fotograficznego wystarczająco odzwierciedla to, w jaki sposób oko obserwatora odbiera obraz. Analogia ta dotyczy odbioru obrazu przez oko, a nie bodźców świetlnych przez umysł[52]. W budowie i sposobie działania oka i aparatu fotograficznego istnieje wiele strukturalnych i funkcjonalnych podobieństw. Podobnie jak w oku, na matrycy tworzony jest odwrócony, pomniejszony obraz rzeczywisty fotografowanego obiektu oraz obraz pozorny powstający przy udziale strumieni odbitych od obiektu. Soczewce oka odpowiada obiektyw, siatkówce element światłoczuły aparatu fotograficznego. Regulacja ilości światła odbywa się za pomocą przysłony, której odpowiednikiem jest źrenica. Geometria soczewki

[51] Pierwsze badania rozpoczęto w 2000 roku od rejestracji stanów chwilowych na światłoczułej błonie w procesie fotochemicznym. Metody rejestracji cyfrowej nie były wtedy powszechnie dostępne.

[52] Metafora aparatu fotograficznego jest elementem rozpowszechnionej tzw. naiwnej koncepcji spostrzegania, w której oko pełni funkcję „przekaźnika informacji na drodze do kory mózgowej" [191, s. 280]. Założenie to jest oczywiście błędne, ponieważ przekaz obrazu nie następuje bezpośrednio, a na drodze wielofazowej analizy, która została opisana w rozdz. 6, s. 190.

oka zmienia się pod wpływem napięcia **mięśni rzęskowych**, w aparacie ostrość regulowana jest przez odsunięcie soczewki od matrycy. Oba sposoby obserwacji nie mogą być jednak traktowane jako całkowicie równorzędne, ponieważ występują między nimi pewne różnice:

1. Element światłoczuły aparatu jest płaski, a powierzchnia siatkówki wklęsła, sferyczna [191, s. 281]. Rezultatem tej różnicy są wyraźne zniekształcenia perspektywy powstające w wyniku stosowania szerokokątnych obiektywów. Te zniekształcenia geometryczne zwane **dystorsjami** – beczkową lub poduszkową – nie występują na siatkówce. Na fotografiach prezentowanych w opracowaniu dystorsje zostały skorygowane.
2. Pręciki, które odpowiadają za detekcję koloru, umieszczone są obok siebie, podczas gdy w przypadku chemicznych błon fotograficznych cząstki światłoczułych związków chemicznych zlokalizowane były w warstwach. Ze względu na to matryca CCD aparatu cyfrowego, w której elementy światłoczułe umieszczone są obok siebie, wydaje się lepiej oddawać funkcjonowanie siatkówki [134, s. 83].
3. W aparacie fotograficznym znajduje się migawka, która powoduje, że światło pada na błonę lub matrycę światłoczułą przez bardzo krótki czas – zazwyczaj przez setną część sekundy. Oko funkcjonuje podobnie, tylko jest dalece mniej precyzyjne. Siatkówka nie jest w stanie przetwarzać obrazu w sposób ciągły. Po każdorazowym odbiorze bodźca komórki światłoczułe regenerują się[53]. Trwa to około 1/25 sekundy. Można założyć „obecność w naszym oku migawki o czasie otwarcia około 1/20–1/30 sekundy" [265]. Obraz odbierany przez obserwatora przypomina więc zdjęcia robione właśnie z takim czasem ekspozycji.

2.8.3. Urządzenia do rejestrowania obrazów

Pierwotnie do utrwalenia wyników badań autor wykorzystał instrumentarium fotografii klasycznej – aparat fotograficzny Pentax ME Super z obiektywem zmiennoogniskowym SMC Pentax-M Zoom 35–70 mm/2,8–3,5, błona negatywowa Fuji Film 200 ISO. Następnie prace kontynuowano, nieprzerwanie do momentu rozpoczęcia redakcji opracowania, wykorzystując technologię cyfrową (matryce światłoczułe CCD). Zastosowano aparaty fotograficzne Minolta 7Hi o rozdzielczości 5 Mpix, z wbudowanym obiektywem 7,2–50 mm, oraz Sony Alpha 100 o rozdzielczości 10 Mpix,

[53] W tym czasie następuje odwracalna reakcja chemiczna izomeryzacji rodopsyny. W 1967 roku Ragnar Granit, Haldan Keffer Hartline oraz George Wald otrzymali Nagrodę Nobla za „odkrycia dotyczące podstawowych fizjologicznych i chemicznych procesów widzenia w oku" [263].

z obiektywem Sigma EX 10–20 mm/4–5,6 DC HSM. W rejestracji obrazów wykorzystano również teleobiektyw zmiennoogniskowy Sony 70–300 mmf/4,5–5,6 G SSM.

Zasadniczy schemat obróbki danych obrazowych polegał na usunięciu zniekształceń powodowanych geometrią obiektywu (wyprostowanie pionów, usunięcie trzeciego zbiegu i dystorsji beczkowej) przy wykorzystaniu programu Hugin wersja 0.7.0 – SVN 3465; na wyróżnieniu obszarów występowania efektów wizualnych lub wskazówek poznawczych, przy wykorzystaniu symboli zdefiniowanych w schematach efektów wizualnych; na zamianie obrazów na obrazy zaprezentowane w skali szarości w tych przypadkach, w których należało usunąć komponentę barwną. Utrwalone obrazy były analizowane przez autora przy wykorzystaniu oprogramowania komputerowego jako narzędzia pomocniczego w określaniu miejsc występowania efektów wizualnych. Warto zaznaczyć, że automatyzacja tego procesu przynosi zadowalające rezultaty tylko w mniej więcej 50% przypadków [52, s. 191].

2.9. Zjawiska optyczne a efekty wizualne

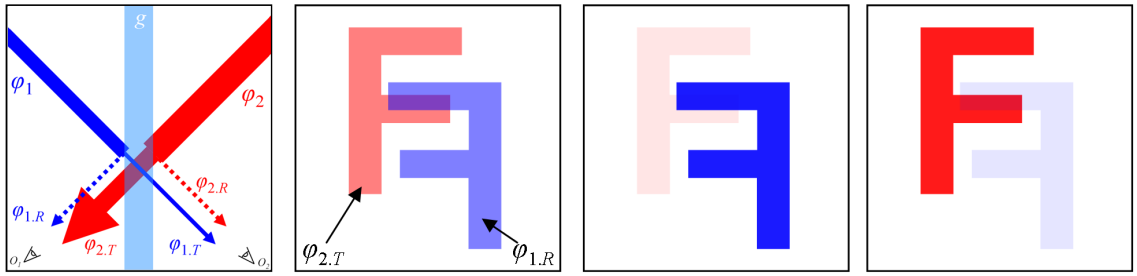
Zjawiska optyczne zachodzą zawsze, gdy występuje światło[54]. **Efekty wizualne** definiowane są w opracowaniu jako charakterystyczne konfiguracje obrazów odbieranych przez obserwatora, powstających w wyniku interakcji tafli i strumieni świetlnych. Łączą one przezroczyste tafle lub ich układy – będące podmiotem zachodzących zjawisk optycznych – z subiektywnym odbiorem dokonywanym przez obserwatorów. W odbiorze materiałów przepuszczających światło efekty wizualne zależą od wielu czynników. Widoczne są tylko w określonych warunkach i z odpowiednich punktów obserwacji. W opracowaniu przeanalizowano najważniejsze czynniki, które wpływają na powstanie konkretnych efektów wizualnych.

2.9.1. Schematy efektów wizualnych

Efekty wizualne będą powstawały przy nałożeniu i przenikaniu dwóch obrazów: rzeczywistego i pozornego. Dotyczy to większości rozważanych obiektów architektonicznych i rodzajów tafli. W celu łatwiejszego ich rozróżnienia wprowadzono **uproszczone schematy efektów wizualnych**. Umożliwią one symboliczny opis przeważającej części wyróżnionych efektów wizualnych

[54] Zjawiska optyczne (załamania, odbicia światła) dotyczą także promieniowania podczerwonego i ultrafioletowego, które nie są rodzajem promieniowania widzialnego.

bezpośrednio na fotografiach, ich uporządkowanie oraz późniejszą analizę w tabelach zbiorczych. Schemat efektu wizualnego składa się z dwóch symboli. Litera „F" reprezentuje obraz rzeczywisty (symbol czerwony), a jej odbicie lustrzane – obraz pozorny (symbol ciemnoniebieski). Symbole różnią się barwą odpowiednio do barwy strumienia – odbitego $\varphi_{1.R}$ lub przepuszczonego $\varphi_{2.T}$ – przyjętej w schematach strumieni świetlnych. Nasycenie barwy symbolu odzwierciedla intensywność powstającego obrazu. Przykład sposobu tworzenia schematu efektu wizualnego pokazano na ryc. 15.



Ryc. 15. Sposób tworzenia schematu efektu wizualnego. Czerwona litera „F" reprezentuje obraz rzeczywisty, powstający przy udziale strumienia świetlnego przepuszczanego przez taflę. Ciemnoniebieskie lustrzane odbicie litery „F" przedstawia obraz pozorny, tworzony przez strumień odbity. Przez nałożenie symboli powstaje schemat, który w skondensowanej formie przekazuje informację o relacji obrazów występującej w przypadku określonego efektu wizualnego. Kolory symboli korespondują z kolorem strumieni na schematach.

Źródło: opracowanie autor

Schematy będą wykorzystywane w dalszej części opracowania do symbolicznego opisu efektów wizualnych. To graficzne przedstawienie określa przybliżoną proporcję obrazów, które będą postrzegane przez obserwatora, ale nie odnosi się do treści tych obrazów.



3 Tafle pojedyncze

3.1. Tafle przezroczyste ... 67
3.1.1. Efekty wizualne w odbiorze tafli przezroczystych ... 68
3.1.1.1. Efekty skrajne ... 68
3.1.1.2. Efekty pośrednie ... 73
3.1.2. Czynniki determinujące proporcje obrazów ... 77
3.1.2.1. Wartości pierwotnych strumieni świetlnych φ_1 oraz φ_2 ... 80
3.1.2.2. Właściwości optyczne tafli: współczynnik odbicia światła R oraz współczynnik przepuszczania światła T ... 85
3.1.2.3. Współczynnik odbicia światła R powyżej wartości standardowych ... 86
3.1.2.4. Współczynnik odbicia światła R poniżej wartości standardowych ... 90
3.1.2.5. Kąt obserwacji ... 90
Podsumowanie ... 96
3.2. Tafle barwne ... 98
3.2.1. Efekty wizualne w odbiorze tafli barwnych ... 99
3.2.2. Czynniki determinujące zabarwienie obrazu ... 100
Podsumowanie ... 103
3.3. Tafle ornamentowe ... 103
3.3.1. Efekty wizualne w odbiorze tafli ornamentowych ... 104
3.3.2. Czynniki determinujące zniekształcenie obrazu ... 105
Podsumowanie ... 107
3.4. Tafle przeświecalne ... 108
3.4.1. Efekty wizualne w odbiorze tafli przeświecalnych ... 109
3.4.2. Czynniki determinujące efekty wizualne ... 111
3.4.2.1. Rozproszenie powierzchniowe ... 112
3.4.2.2. Rozproszenie w masie ... 116
Podsumowanie ... 119
3.5. Tafle o regulowanych właściwościach optycznych ... 120
Podsumowanie ... 122

3. Tafle pojedyncze

W przypadku obserwacji pojedynczej tafli dojdzie do jednoczesnego odbioru dwóch obrazów tworzonych przez strumienie świetlne: odbity $\varphi_{1.R}$ i przepuszczony przez taflę $\varphi_{2.T}$. W zależności od struktury wewnętrznej tafli – parametrów filtra oraz sposobu wykończenia powierzchni – strumienie te będą powodowały wystąpienie odmiennych efektów wizualnych. Zostaną one omówione oddzielnie dla tafli przezroczystych, barwnych, ornamentowych i przeświecalnych (zob. definicje w rozdz. 2.4.3, s. 50).

Współczesne termoizolacyjne zestawy tzw. szkła zespolonego składają się z dwóch lub więcej warstw szkła oraz ewentualnie dodatkowych ciepłochronnych folii i powłok. Odległość między taflami wynosi od kilku do kilkudziesięciu milimetrów. W prezentowanej typologii tafli takie zestawy szkła zespolonego traktowane są jako tafle pojedyncze, ponieważ występujące zwielokrotnienie zjawisk optycznych – np. przesunięcie obrazów pozornych o kilka milimetrów – jest niedostrzegalne w skali obserwacji całego budynku, a zaczyna mieć znaczenie przy odbiorze z niewielkiej odległości. W sposób wyczerpujący morfologię i sposób nakładania powłok w zestawach szkła zespolonego opisuje Wacław Celadyn [67, s. 123–136]. Tafle, które zostały odsunięte na większą odległość, omówione są w rozdz. 4.2, s. 137.

3.1. Tafle przezroczyste

W przypadku obserwacji tafli przezroczystej dwa strumienie świetlne – odbity $\varphi_{1.R}$ i przepuszczony przez taflę $\varphi_{2.T}$ – staną się bodźcami oddziałującymi na te same światłoczułe elementy siatkówki obserwatora O_1. W rezultacie obraz wynikowy postrzegany przez patrzącego będzie składał się z **dwóch przenikających się**[55] **obrazów składowych**: **rzeczywistego** powstającego przy udziale strumienia świetlnego $\varphi_{2.T}$ pochodzącego od źródeł światła znajdujących się po drugiej stronie tafli oraz **pozornego** tworzonego przez strumień świetlny $\varphi_{1.R}$ odbity od tafli. Obraz rzeczywisty – przepuszczany przez taflę – przenika się w określonej proporcji z obrazem pozornym. Bardziej intensywny strumień świetlny przyczynia się do powstania intensywniejszego obrazu składowego, który zdominuje obraz utworzony przez strumień słabszy. **Przewaga jednego z obrazów składowych w zasadniczy sposób zmienia odbiór tafli**. Wartości strumieni wtórnych zależą w równym stopniu

[55] W opracowaniu przyjęto konwencję językową, zgodnie z którą obrazy rzeczywisty i pozorny wzajemnie „przenikają się", co oznacza nałożenie z zachowaniem widoczności jednego i drugiego obrazu w różnych proporcjach. Efekty wizualne zachodzące w układach tafli wielokrotnych są analizowane w rozdz. 4, s. 130.

od dwóch grup podstawowych czynników: wartości strumieni pierwotnych φ_1 oraz φ_2 przed wejściem w interakcję z taflą oraz parametrów optycznych samej tafli (niektóre z nich są stałe, inne ulegają zmianie).

Christoph Elsener w tekście pt. *Glass, the opaque building material* omawia to zagadnienie, odnosząc się do relacji przestrzennych, a nie do strumieni świetlnych. Pisze, że „obrazy: rzeczywisty – przestrzeni widocznej za taflą – i pozorny – przestrzeni znajdującej się przed taflą […] zostają nałożone, aby utworzyć obraz wynikowy, w którym jeden z obrazów składowych dominuje, w zależności od relacji światła po dwóch stronach tafli" [93, s. 152][56]. Peter Rice ujmuje to inaczej, również odnosząc się do światła pojmowanego ogólnie. Stwierdza, że wizualny efekt końcowy „zależy od względnej ilości światła po dwóch stronach tafli. Jeśli jest go więcej po stronie obserwatora niż po stronie przeciwnej, tafla będzie lustrzana. Jeśli będzie odwrotnie i więcej światła znajdzie się po stronie przeciwnej, tafla będzie odbierana jako przezroczysta" [219, s. 15].

3.1.1. Efekty wizualne w odbiorze tafli przezroczystych

Obraz wynikowy odbierany przez obserwatora powstaje w rezultacie nałożenia dwóch obrazów składowych: pozornego i rzeczywistego. Ich proporcja decyduje o efektach wizualnych rejestrowanych przez patrzącego. Będzie on postrzegał albo wyłącznie obraz rzeczywisty tworzony przez strumień przepuszczany przez taflę, albo wyłącznie obraz pozorny powstający przy udziale strumienia odbitego, albo ich kombinację. W przypadku tafli pojedynczych można wyróżnić **efekty skrajne** oznaczające pełną blokadę – wykluczenie obrazu rzeczywistego lub obrazu pozornego oraz **efekty pośrednie**, które zawierają pozostałe, dowolne relacje tych obrazów. Poza dwoma skrajnościami to właśnie specyficzna relacja obrazów pozornego i rzeczywistego wpływa na odbiór architektury.

3.1.1.1. Efekty skrajne

Efekty skrajne mogą w zasadniczy sposób odmienić wygląd budynku. Gdy przezroczyste ściany funkcjonują jak zwierciadła, przestaje on oddziaływać własną formą, a zapożycza ją od otoczenia lub przypadkowych obiektów sąsiadujących. Wyrazistym przykładem **efektu powielenia otoczenia** jest zespół budynków tworzących kompleks hotelowy L.A. Live Hotel & Condominiums w Los Angeles (arch. Gensler & Associates, 2010). Zarejestrowane fotografie ukazują

[56] W tłumaczeniu cytatu wprowadzono terminologię przyjętą w opracowaniu.

przeszkloną ścianę hotelu JW. Marriott, która znajduje się w cieniu. Obraz pozorny sąsiadującego hotelu Ritz-Carlton całkowicie blokuje strumień świetlny przepuszczany przez taflę (ryc. 16). Szklana elewacja pełni funkcję lustra i jedynie zniekształcenie obrazu spowodowane nierównością powierzchni szkła powoduje, że obserwator może dokonać rozróżnienia między obrazem pozornym a rzeczywistymi profilami ściany kurtynowej, które stanowią obramowanie dla poszczególnych tafli. Zagadnienie zniekształceń jest również analizowane w rozdz. 6.7.4.2, s. 231.

Biegunowo odmienne efekty wizualne są rezultatem eliminacji obrazu pozornego. Na całej powierzchni tafli dochodzi wtedy do przepuszczania strumienia świetlnego, który tworzy obraz rzeczywisty. Strumień odbity i tworzony obraz pozorny zostają radykalnie ograniczone. Dochodzi



Ryc. 16. Ilustracja skrajnej dominacji obrazu pozornego na przezroczystej tafli. W tym przypadku w szklanej ścianie osłonowej widoczne jest odbicie lustrzanego obiektu sąsiadującego. Zespół hotelowy L.A. Live Hotel & Condominiums w Los Angeles (arch. Gensler & Associates, 2010). Zob. również tab. 2, poz. 1, s. 123.

Źródło: fot. i opracowanie autor



Ryc. 17. Ilustracja skrajnej dominacji obrazu rzeczywistego. Silny strumień świetlny odbity od ścian wewnętrznych dominuje nad strumieniem odbitym od tafli. Rezultatem jest wizualna eliminacja przegrody. Muzeum Fundacji Langen w Hombroich (arch. Tadao Andō, 2004). Zob. również tab. 2, poz. 3, s. 123.

Źródło: fot. i opracowanie autor

do **wizualnego efektu eliminacji przegrody**, który widoczny jest na fotografii przestawiającej budynek Muzeum Fundacji Langen w Hombroich (arch. Tadao Andō, 2004) lub w ujęciach prezentujących siedzibę banku NRW w Düsseldorfie (arch. RKW Architektur & Städtebau, 2000). W budynku Fundacji Langen strumień pierwotny φ_1 – pochodzący bezpośrednio od słońca – przepuszczany jest do wnętrza przez przeszklenie budynku. Wewnątrz ulega odbiciu od ścian oraz posadzki i tworzy drugi strumień pierwotny φ_2 działający na taflę od wnętrza. Strumień ten po przejściu przez taflę przyczynia się do powstania na tyle intensywnego obrazu rzeczywistego, że tłumi on wszelkie obrazy pozorne – obserwator spostrzega głównie ścianę o dużej jaskrawości znajdującą się po drugiej stronie tafli (zob. ryc. 17). Bezpośrednie światło słoneczne przyczynia się do powstania dużych, wyraźnych kontrastów oraz ostrych cieni podkreślających tektonikę bryły. Bezpośrednie światło słoneczne tworzy zazwyczaj bardzo silny i dominujący strumień. W zależności od przestrzennej konfiguracji fasady rozświetla on wnętrze budynku i – po odbiciu od obiektów znajdujących się wewnątrz – tworzy bardzo wyraźny obraz rzeczywisty. Efekt wizualny „znikania" przezroczystej obudowy znajduje potwierdzenie w licznych wypowiedziach krytyków i odwiedzających budynek: „rozmycie i rozpłynięcie się granic staje się świadectwem nieważkości szklanej obudowy" [web 19]. Jeszcze dobitniej efekt ten scharakteryzował Michael Bell, amerykański architekt, praktyk i teoretyk, profesor Columbia University's Graduate School of Architecture: „w teorii, bez uwzględnienia odbicia i skomplikowania powierzchni, szkło zawsze dąży do tego, żeby znikać" [24, s. 13]. W przypadku banku NRW w Düsseldorfie mechanizm powstawania efektu eliminacji przegrody jest podobny, ale przestrzeń między szklanym płaszczem a właściwą elewacją jest mniejsza, co prowadzi do tego, że obraz pozorny w ogóle nie występuje w całym polu widzenia (ryc. 18).

Przy bezpośrednim oświetleniu słonecznym strumień świetlny padający na taflę jest na tyle intensywny, że – po przejściu przez nią – rozświetla wnętrza i iluminuje obiekty, które są położone głębiej. Część światła przedostaje się do środka budynku, pozostałe odbija się od elementów elewacji znajdujących się na drugim planie. Intensywny strumień odbity skutecznie „podświetla" taflę, eliminując tym samym **wszelkie obrazy pozorne** obserwowane na jej powierzchni. Przy odpowiedniej pozycji obserwatora tafla staje się niemal zupełnie niewidoczna – tak dzieje się np. z zewnętrznym płaszczem w podwójnych fasadach. Warunki takie występują rzadko, ale efekt wizualny jest wart odnotowania i został zarejestrowany na fotografii podwójnej fasady budynku biurowego Focus – Centrum Finansowe „Filtrowa" w Warszawie (arch. Kuryłowicz & Associates, 2001) (zob. ryc. 2, s. 18). Wrażenie „znikania szklanych ścian" potęguje odpowiednia bezramowa



Ryc. 18. Ilustracja skrajnej dominacji obrazu rzeczywistego. Silny strumień świetlny odbija się od jasnej ściany zewnętrznej budynku. Siedziba Banku NRW w Düsseldorfie (arch. RKW Architektur & Städtebau, 2000). Zob. również tab. 2, poz. 2, s. 123.

Źródło: fot. i opracowanie autor

konstrukcja przeszklenia. Jedynie poziome pasy, które naniesiono na zewnętrzne tafle w celu zabezpieczenia przed nadmiernym nasłonecznieniem budynku, świadczą o tym, że zewnętrzny płaszcz w ogóle istnieje. Gdy zewnętrzna powłoka elewacji staje się niezauważalna, białe pasy **zdają się wisieć w powietrzu**.

Efekty skrajne, prowadzące do całkowitego wykluczenia jednego z obrazów odbieranych przez obserwatora, są w literaturze przedmiotu określane mianem „**optycznego kamuflażu przestrzennego**" [91, s. 48]. Polega on na „znikaniu" budynku z pola widzenia „przez upodobnienie się do tła – kolorytu, form i faktur występujących w otoczeniu" [91, s. 48]. Kamuflaż taki można uzyskać, stosując „ściany zewnętrzne ze szkła o dużym stopniu przezroczystości lub ze szkła refleksyjnego, odbijające otoczenie" [92, s. 227]. Obie techniki, choć są określane wspólną nazwą, różnią się od siebie zasadniczo w osiąganych rezultatach formalnych. Przezroczyste tafle prowadzą do powstania **efektu wizualnej eliminacji przegrody** – „zniknięcia" tafli z pola widzenia. Efekt ten pociąga za sobą istotne następstwa. Przezroczysta „skóra traci swe podstawowe znaczenie w kształtowaniu formy i staje się niewidocznym opakowaniem" [275, s. 63]. Biegunowo odmienny **efekt wizualny powielenia otoczenia** jest następstwem zastosowania powłok refleksowych na przezroczystych taflach. Pozwala on na „zacieranie granic między bryłą budynku a poszczególnymi elementami otoczenia. Ściany przeszklone […] odbijają niebo i tym samym »dematerializują się«" [67, s. 170]. W świetle dziennym obserwator znajdujący się na zewnątrz odbiera je jak powierzchnie lustrzane. Obrazy pozorne tworzą się zgodnie z prawami perspektywy, ale efekt „rozmywania granicy realności" [91, s. 48] i tzw. stopienia z otoczeniem (*blend with environment*) będzie następował wyłącznie wtedy, gdy obraz pozorny utworzony na tafli wejdzie w relację z obrazem rzeczywistym występującym w pozostałej części pola widzenia. W przeciwnym wypadku zastosowanie lustrzanych tafli może doprowadzić do zaskakującej **wizualnej kakofonii**, przemieszania obrazów – rzeczywistych i pozornych – obiektów w różnych stylach i ujęciach perspektywicznych. Ten efekt oraz zerwanie wizualnego powiązania z otoczeniem powodują, że zastosowanie szkła refleksowego spotyka się obecnie z powszechną krytyką (zob. rozdz. 1.1, s. 15).

W następstwie użycia wizualnego kamuflażu pojawiają się problemy z właściwym odczytywaniem funkcji budynku dotyczących w szczególności architektury współczesnej, głównie obiektów, których „wizerunek zewnętrzny jest dwuznaczny lub mylący dla odbiorców" [271, s. 20]. Eliminacja obrazu pozornego, zniesienie „bariery wizualnej" [91, s. 48] lub „wizualna dematerializacja" [275, s. 63] mają istotne konsekwencje poznawcze. Prowadzi to do upośledzenia mechanizmu określania położenia tafli, jej niezauważenia i pomijania w odbiorze przez obserwatora (zob. rozdz. 6.7.3, s. 219).



Ryc. 19. Ilustracja efektu dominacji obrazu pozornego. Fotografia ukazuje intensywny obraz pozorny czerwonego obiektu sąsiadującego nałożony na dużo „słabszy" obraz rzeczywisty szklanej elewacji. Budynek „dawca": biurowiec Capricornhaus w Düsseldorfie (arch. Gatermann Schossig, 2007); budynek „biorca": biurowiec Media Tower Killepitsch Likörfabrik, Wein und Spirituosen (arch. Findeisen & Wächter, 2005). Zob. również tab. 2, poz. 11, s. 124.

Źródło: fot. i opracowanie autor

3.1.1.2. Efekty pośrednie

Efekty pośrednie są następstwem wszystkich pozostałych relacji obrazów składowych. Obejmują: stan przewagi jednego z obrazów składowych (bez wykluczenia drugiego obrazu), którego następstwem jest **wizualny efekt dominacji**; stan równowagi, który prowadzi do **efektu równowagi obrazowej** (*pictorial equilibrium*[57]) oraz pozostałe stany pośrednie.

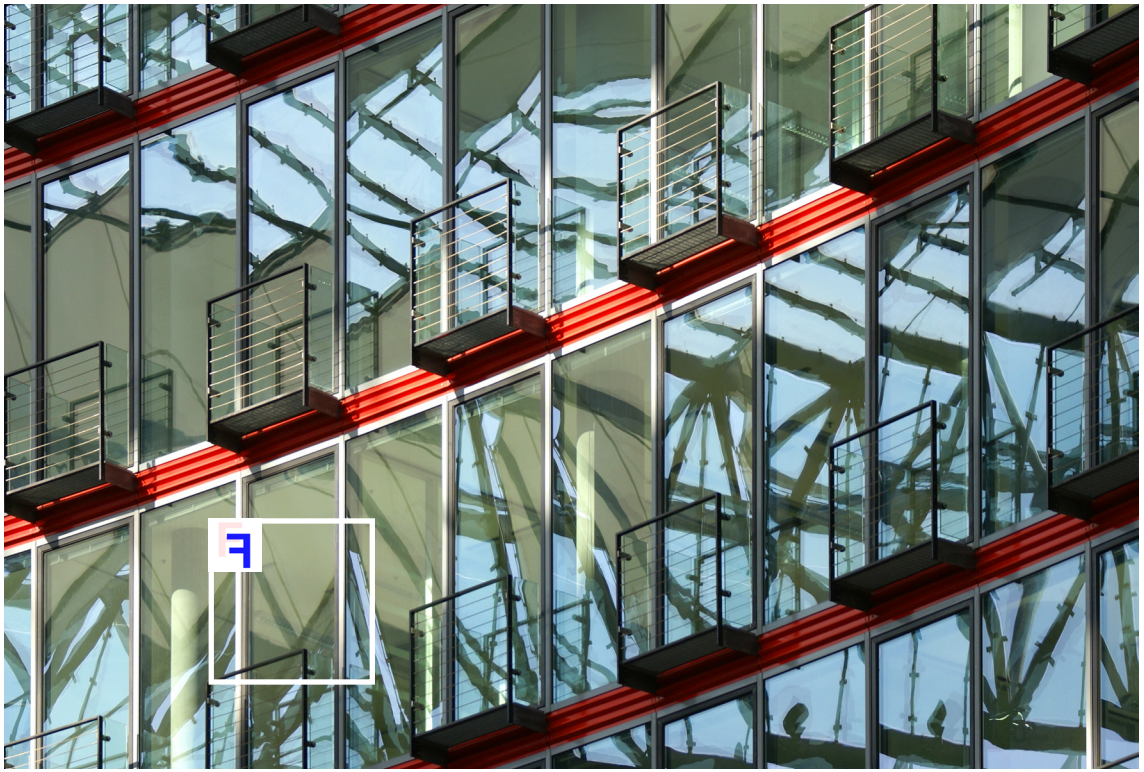
W praktyce bardzo rzadko zdarza się, aby na całym obszarze tafli odbieranej przez obserwatora występował tylko jeden typ obrazu. Jest to charakterystyczne dla efektów skrajnych opisanych wcześniej. W przypadku pośrednich efektów wizualnych w ramach jednej tafli obserwuje się obszary przewagi jednego lub drugiego typu obrazu w zależności od proporcji strumieni, które przyczyniają się do ich powstania. Relacja obrazów przez nie tworzonych wpływa na to, w jaki sposób umysł obserwatora będzie odbierał taflę i jakie przypisze jej właściwości optyczne. Stan równowagi występuje zwykle tylko w ograniczonym powierzchniowo obszarze tafli, w którym wtórne strumienie świetlne $\varphi_{2.T}$ oraz $\varphi_{1.R}$ o równych wartościach przyczyniają się do powstania obrazów: rzeczywistego i pozornego o takiej samej jaskrawości.

Efekt dominacji obrazu rzeczywistego występuje, gdy obraz rzeczywisty powstający przy udziale strumienia przepuszczanego $\varphi_{2.T}$ przeważa nad obrazem pozornym tworzonym przez strumień odbity $\varphi_{1.R}$. W takiej sytuacji gładkie tafle są spostrzegane jako przezroczyste, nawet jeśli obraz pozorny tworzony przez strumień odbity występuje w polu widzenia obserwatora. Jeśli relacja strumieni jest odwrotna, prowadzi to do **efektu dominacji obrazu pozornego**, a gładkie przezroczyste tafle odbierane są jako lustrzane. Nawet jeśli obraz rzeczywisty występuje w określonej części pola widzenia, to jest on zdominowany przez obraz pozorny. Relacja przewagi obrazów definiuje, w jaki sposób odbieramy obiekt. Przykładem jest zwierciadlane odbicie elementów krajobrazu miejskiego w elewacjach budynku Media Tower w Düsseldorfie (arch. Findeisen & Wächter, 2005). Przy określonych warunkach nasłonecznienia w zacienionej elewacji budynku odbija się jaskrawo oświetlony obiekt sąsiadujący – Capricornhaus (arch. Gatermann Schossig, 2007). Odbicie charakterystycznego czerwonego obiektu sąsiadującego wyraźnie zdominowało elewację „gospodarza" [web 11]. Staje się ona niemal nierozpoznawalna (ryc. 19).

Dominacja obrazu pozornego umożliwia również tworzenie dezorientujących przestrzeni pozornych. Są one w architekturze znane, bowiem tradycje ich tworzenia sięgają manieryzmu

[57] Warunki powstania równowagi obrazów były przedmiotem publikacji autora pt. *The pictorial analysis of the transparent panes. The balance between the reflected and transmitted image* oraz referatu wygłoszonego w czasie konferencji CroArtScia w maju 2011 roku w Zagrzebiu [51].

[245, s. 47] i baroku [277, s. 50]. W miarę doskonalenia tych złudzeń rosło ich znaczenie. Doszło nawet do tego, że w XVII wieku „iluzja przestrzeni w architekturze była ważniejsza od samej przestrzeni" [179, s. 217]. Pierwotnie stosowana przestrzeń pozorna stanowiła uzupełnienie przestrzeni wnętrza[58], a wraz z rozwojem techniki produkcji i modyfikacji materiałów przezroczystych stała się także integralnym elementem odbioru budynku od zewnątrz. Na przykład w budynku Sony Center (arch. Murphy/Jahn Architects, 2000) geometria sąsiadujących zwierciadeł przyczynia się do wywołania u obserwatora wrażenia powielenia przestrzeni [274]. W każdej tafli szkła obraz zostaje nieznacznie przesunięty. Sąsiadujące ze sobą płaszczyzny przypominają rozwiniętą taśmę filmową z poklatkowo ujętym obrazem (ryc. 20). Architektura przypomina „film



Ryc. 20. Przesunięte obrazy pozorne w taflach wewnętrznego przeszklenia budynku Sony Center w Berlinie (arch. Murphy/Jahn Architects, 2000) sprawiają wrażenie poszczególnych klatek filmu.

Źródło: fot. i opracowanie autor

[58] Początkowo do jej powstania wykorzystywano malarstwo imitacyjne [296], a później stopniowo udoskonalane zwierciadła, które „wytwarzały pewną swoistą tajemniczość [...], pewną nieprzejrzystość optyczną i intelektualną" [277, s. 51].



Ryc. 21. Efekt pozornego zwielokrotnienia płaszczyzn zbiegających się w narożniku: obserwator widzi dwie ściany rzeczywiste i dwie ściany pozorne. Siedziba Izby Lekarskiej regionu Nadrenia Północna-Westfalia – Schwarzes Haus w Düsseldorfie (arch. Daniel Kas, RKW, 2002). Zob. również tab. 2, poz. 12, s. 125.

Źródło: fot. i opracowanie autor

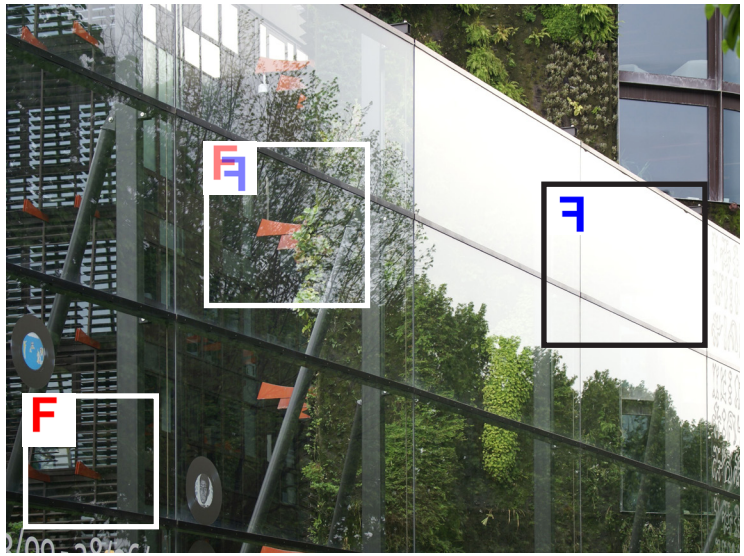
zapisany na taśmie światłoczułej […], to ona rekonstruuje ruch […], staje się w chwili, gdy jej odbiorca stawia pierwszy krok" [276, s. 12].

Przy równoległym ustawieniu zwierciadeł powstające przestrzenie pozorne pozwalają niemal w nieskończoność wydłużać pomieszczenia. W wewnętrznych narożnikach budynków obserwowane efekty wizualne przypominają te, które występują w dziecięcych zabawkach: **kalejdoskopach**. Na gruncie optyki geometrycznej należy je rozpatrywać jako odbicie od dwóch zwierciadeł ustawionych pod określonym kątem δ [59]. W przypadku kąta prostego dochodzi dodatkowo do specyficznego, sprzecznego z intuicją, odwrócenia kierunków w obrazie pozornym. Nie podlega on prawom typowego odbicia zwierciadlanego (lewa–lewa, prawa–prawa), ale jest odwrócony: lewa–prawa, prawa–lewa. Przypomina orientację obrazu, który widzimy na ekranie monitora, jeśli znajdziemy się w polu widzenia kamery. Obserwowany narożnik jest narożnikiem wewnętrznym, a ten, którego odbicie jest widoczne, to narożnik zewnętrzny. Widziany na taflach obraz zdaje się zyskiwać dodatkową głębię. W krawędzi wewnętrznego narożnika schodzą się nie dwie, ale cztery płaszczyzny ścian. Siedziba Izby Lekarskiej regionu Nadrenia Północna-Westfalia w Düsseldorfie (arch. Daniel Kas, RKW, 2002) jest doskonałym przykładem osiągnięcia podobnego złudzenia w praktyce (ryc. 21). W narożniku tworzą się obrazy pozorne przeciwległych ścian – narożnik wydaje się zarówno wklęsły, jak i wypukły [120].

Efekt równowagi obrazowej występuje w tych obszarach tafli, w których strumienie wtórne $\varphi_{2.T}$ oraz $\varphi_{1.R}$ mają taką samą wartość i tworzą przenikające się obrazy o równej jaskrawości, a pozorne „przenikanie przestrzeni zewnętrznej i wewnętrznej ze sobą akcentuje także związki ze środowiskiem zewnętrznym" [169, s. 15]. Równa proporcja obrazu rzeczywistego i pozornego nie oznacza równych wartości strumieni pierwotnych φ_1 i φ_2, gdyż istotny jest wpływ właściwości tafli i punktu obserwacji. Stan równowagi obrazowej może prowadzić do zaburzeń w spostrzeganiu, ponieważ elementy obrazu rzeczywistego nakładają się na elementy obrazu pozornego w sposób uniemożliwiający ich przyporządkowanie do jednego z tych obrazów lub układów odniesienia. Ze względu na występujące zaburzenia procesu spostrzegania efekt ten i jego następstwa zostały omówione w rozdz. 6.7.2, s. 216.

Problematyka równoczesnej obserwacji dwóch obrazów – pozornego i rzeczywistego – wydaje się dalece wykraczać poza prostą relację strumieni świetlnych, gdzie „silniejszy" dominuje nad „słabszym". Przenikanie dwóch obrazów w polu widzenia w miejscu, gdzie występują przezroczyste

[59] W zależności od wartości kąta δ można określić liczbę N obrazów pozornych $N = (360/\delta) - 1$.



Ryc. 22. Fotografia przedstawia trzy obszary tafli z odmiennymi efektami wizualnymi. Od prawej: efekt dominacji obrazu pozornego, stan równowagi obrazowej, efekt dominacji obrazu rzeczywistego. Zastosowano schematy efektów wizualnych. Muzeum Branly w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 2006). Zob. również tab. 2, poz. 16, s. 125.

Źródło: fot. i opracowanie autor na podstawie publikacji własnej [53]

tafle, stało się przedmiotem analiz dokonywanych nie tylko przez optyków, ale także przez architektów. Charles Jencks w eseju pt. *Gładka skóra/Efekty OP* dostrzega występowanie „czterech warunków optycznych" [136, s. 66]. Pozycje skrajne: „**odbicie otoczenia** lub **przezroczystość**" – jak podaje Jencks – wynikają z pozycji obserwatora, „**przejrzystość** i **nieprzejrzystość**" widoczne są w zależności od padającego światła. Dodatkowo występuje tzw. **efekt wizualny sfumato** (wł. *sfumato* = zadymione, mgliste, cieniowane), czyli łagodna przemiana z jednego stanu/warunku w drugi. Biorąc pod uwagę wcześniejsze rozważania, nie wszystkie wymienione stany/warunki są precyzyjnie zdefiniowane i pokrywają się znaczeniowo, ale trafnie – choć być może nieco metaforycznie – opisują możliwe relacje obrazów, które odbiera obserwator. Dopatrywano się tu nawet pokrewieństwa z op-artem i sztuką włoską. Krytycy architektury dostrzegają nowe wartości estetyczne, głównie „manierystyczne wieloznaczności, które podtrzymują wieloznaczności semantyczne" [136, s. 66].

Budynek Muzeum Branly (Musée du Quai Branly) (arch. Jean Nouvel, 2006) zrealizowano w centrum Paryża, przy bulwarach nad Sekwaną. Równoległe do siebie tafle szkła izolują go akustycznie od ruchliwej, wielopasmowej ulicy. Tafle – widoczne dla obserwatorów z wielu miejsc – jednocześnie odzwierciedlają otoczenie i ukazują budynek znajdujący się po ich drugiej stronie. Jedną z tych tafli, bardzo charakterystyczną, pokazano na ryc. 22. W polu widzenia obserwatora można odnotować **trzy efekty wizualne** występujące na tej samej tafli. W zaznaczonych obszarach pokazano dominację obrazu rzeczywistego, stan równowagi obrazowej, a następnie dominację obrazu pozornego. Zmiana proporcji obrazów wynika z tego, że na taflę oddziałują strumienie świetlne o odmiennej intensywności. Ta „wrażliwość tafli na zmianę oświetlenia jest ewidentna" [53, s. 560]. Na pozostałych obszarach tafli występują inne pośrednie efekty wizualne będące następstwem przenikania się powstających obrazów.

W pokazanym przykładzie efekt wizualny równowagi obrazowej zajmuje relatywnie niewielki obszar tafli. Trudno ten efekt planować i przewidywać ze względu na „różnorodność czynników, od których zależy jego występowanie" [51]. Stale zmieniające się warunki oświetlenia oraz zmienna pozycja obserwatora są jednymi z wielu możliwych przyczyn. Powoduje to, że efekt wizualny równowagi obrazowej występuje powszechnie, ale rzadko „podlega obserwacji z pełną świadomością" [51]. Efekt równowagi obrazowej zachodzący na większym obszarze tafli pokazano na ryc. 113, s. 220.

3.1.2. Czynniki determinujące proporcje obrazów

O ostatecznym efekcie estetycznym widocznym dla obserwatora decydują „relacje przestrzenne elementów budynku oraz sposób i intensywność oświetlenia światłem naturalnym lub sztucznym" [67, s. 168]. Wystąpienie określonych efektów wizualnych warunkowane jest odpowiednią **proporcją wtórnych strumieni świetlnych** $\varphi_{1.R}$ i $\varphi_{2.T}$ oraz przyjętym przez obserwatora **punktem/kątem obserwacji** powierzchni, z którą te strumienie wchodzą w interakcję. Relacja, w jakiej znajdują się wtórne strumienie, zależy od dwóch grup czynników.

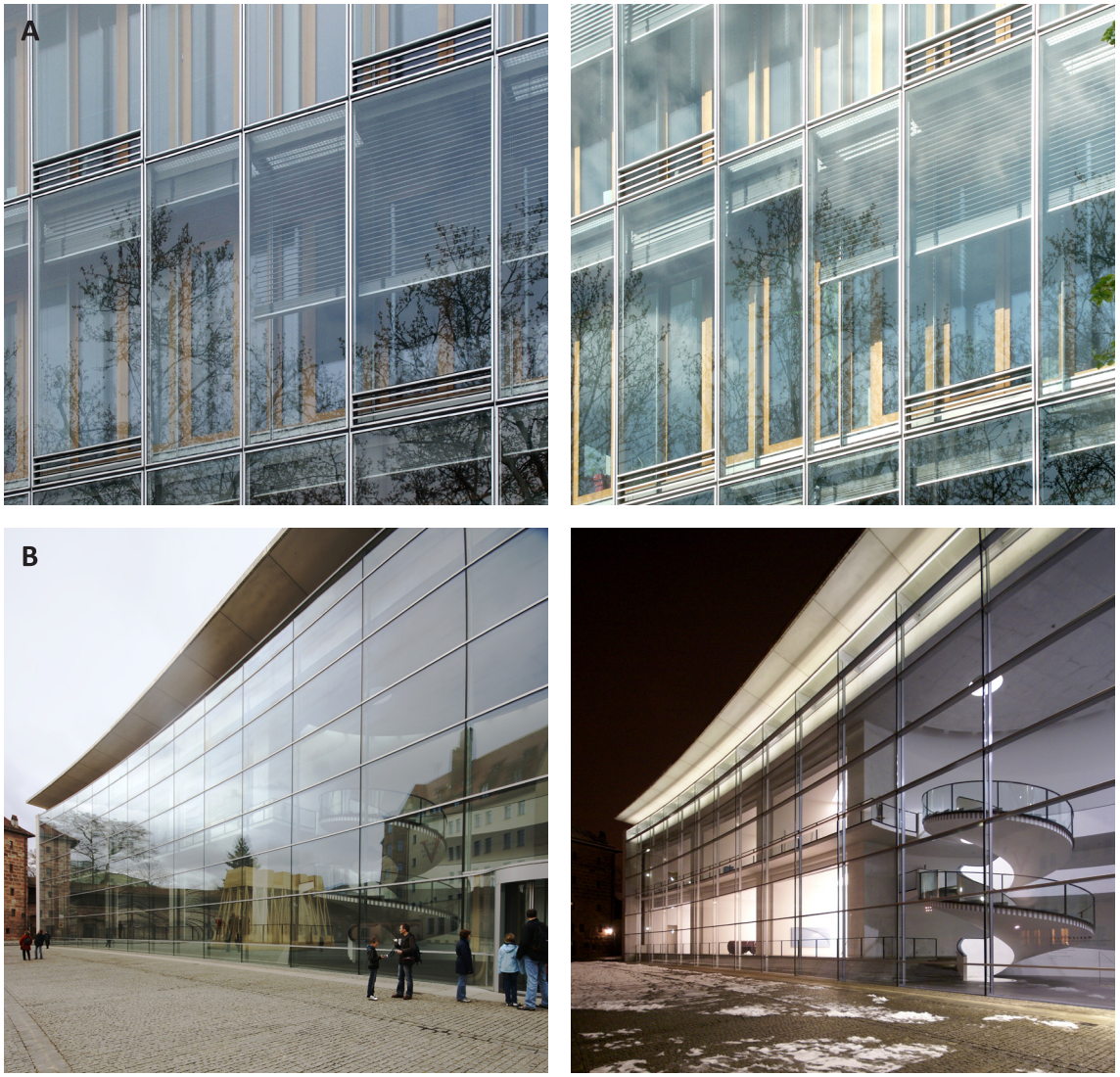
Pierwsza grupa skupia czynniki naturalne i pogodowe związane z oświetleniem budynku, jego orientacją i kierunkiem padania światła słonecznego. To one wpływają na **wartość pierwotnych strumieni świetlnych** φ_1 oraz φ_2. Te czynniki są niezależne od człowieka, choć niektóre parametry strumieni można określić z wyprzedzeniem: np. kierunek padania da się przewidzieć na podstawie orientacji budynku, pory dnia i roku [270]. Wartość strumieni, choć dostępne są średnie dane statystyczne, ulega dynamicznym zmianom w wyniku następowania chwilowych zjawisk pogodowych, np. wiatru – który przesuwając chmury, powoduje powstanie rozbłysków światła słonecznego – a także opadów, mgieł (ryc. 23). Efekt zmienności budynku w czasie analizował Janusz Marchwiński, który w artykule pt. *Funkcja estetyczna struktur szklarniowych w architekturze* pisze: „percepcja obrazu budynku ulega zmianom zależnym nie tylko od położenia obserwatora, ale także chwili, w której percepcja ta następuje". W warunkach nocnych stan pola świetlnego i wartości strumieni świetlnych zależą całkowicie od źródeł światła sztucznego i mogą być kształtowane przez projektanta. Tafle pod wpływem podświetlenia światłem sztucznym zwykle „nabierają pełnej przezroczystości" [170, s. 10].

Druga grupa skupia czynniki, na które architekt może wpływać w sposób bezpośredni lub pośredni. Składają się na nią **stałe i zmienne parametry optyczne tafli** oraz **pozycja obserwatora**.

Taflę materiału przezroczystego charakteryzują współczynniki T, R, A określające, jaką część pierwotnych strumieni świetlnych φ_1 oraz φ_2 tafla przepuści, odbije oraz pochłonie. Wartości tych współczynników wyznaczane są eksperymentalnie w warunkach laboratoryjnych dla strumieni świetlnych padających na taflę pod kątem prostym. Następnie są publikowane przez producentów jako podstawowe parametry, które te tafle charakteryzują. Współczynniki zawsze sumują się do jedności lub 100%[60]. Ze względu na ścisłe powiązanie będą rozpatrywane parami: T i R w przypadku odbicia oraz T i A w przypadku pochłaniania, w szczególności w filtrach barwnych.

[60] W zależności, jaki sposób określania współczynników T, R i A zostanie przyjęty.

Optycznym parametrem stałym jest wartość współczynnika pochłaniania A. Pochłanianie zwiększa się, jeśli światło przechodzi przez grubszą warstwę materiału przezroczystego. Zmiana ta następuje liniowo, proporcjonalnie do tego, jak wydłuża się droga pokonana przez promień wewnątrz tafli.



Ryc. 23. Fotografie ukazują tę samą przezroczystą fasadę w różnych warunkach oświetlenia. **A.** Widok w pełnym słońcu (po prawej) i przy zachmurzeniu – siedziba VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. we Frankfurcie (arch. APD-Architekten-Ingenieure, 2002). **B.** Widok dzienny i nocny – Miejskie Muzeum Sztuki i Designu w Norymberdze (arch. Volker Staab, 2000).

Źródło: fot. i opracowanie autor

Zjawisko pochłaniania części strumienia świetlnego w tafli można rozpatrywać równoważnie do sytuacji przejścia światła przez filtr. Zagadnienie to było obszernie rozważane przy formułowaniu definicji rodzajów tafli w rozdz. 2.4.3, s. 50. Ze względu na specyficzne efekty wizualne, które są rezultatem pochłaniania[61], problematyka dotycząca tafli barwnych, ornamentowych i przeświecalnych została omówiona oddzielnie w odpowiednich rozdziałach: 3.2, s. 98; 3.3, s. 103; 3.4, s. 108[62].

Optyczne parametry zmienne to współczynniki odbicia R oraz przepuszczania T. W przeciwieństwie do współczynnika pochłaniania A wartości współczynników R oraz T zmieniają się. Wynika to z prawa Fresnela, które mówi, że „wraz ze zwiększaniem się kąta padania światła na powierzchnię ciała zmniejsza się wartość współczynnika T, a zwiększa się wartość współczynnika R" [288] w stosunku do **wartości pierwotnych**, nadanych tafli w procesie produkcji. W opracowaniu kąt jest liczony od prostej prostopadłej do tafli – tzw. normalnej. Publikowane parametry tafli mierzy się dla promienia padającego prostopadle, są więc prawidłowe tylko dla tego kąta oddziaływania. Gdy kąt się zmienia, współczynniki także ulegają zmianie. Ta prawidłowość to bardzo istotna właściwość optyczna tafli, w oczywisty sposób wpływająca na odbiór architektury [web 7].

Odbierane przez obserwatora efekty wizualne zależą głównie od proporcji obrazów: rzeczywistego i pozornego. Proporcja tych obrazów jest zmienną zależną, na którą oddziałują trzy grupy czynników – zmiennych niezależnych: **wartości pierwotnych strumieni świetlnych** φ_1 lub φ_2; **parametry optyczne tafli** – w tym miejscu rozpatrywane są pierwotne wartości współczynników R i T; **kąt obserwacji** wpływający na zmianę pierwotnych wartości współczynników R i T zgodnie z prawem Fresnela. W warunkach naturalnych na proporcje nakładających się obrazów **mają wpływ wszystkie wyżej wymienione czynniki – zmienne niezależne**, wchodząc we wzajemne relacje, osłabiając się lub wzmacniając. Wykazywanie ich skumulowanego oddziaływania jest utrudnione, ponieważ analiza musiałaby obejmować manipulację zbyt wieloma zmiennymi niezależnymi. Rozwiązaniem jest przeprowadzenie badań obserwacyjnych w sposób, w którym na zmienną zależną wpływa zmiana **tylko jednej zmiennej niezależnej**, a pozostałe zmienne niezależne są stałe

[61] Zarówno przyciemnienie obrazu, jak i jego jednoczesne zabarwienie stanowią istotne wskazówki do rozpoznania przezroczystości, dlatego zostały one omówione w części poświęconej spostrzeganiu przezroczystości w rozdz. 6.6.2.1, s. 207 oraz rozdz. 6.7.4.1, s. 228.

[62] W przypadku rozproszenia światła relacje obrazów odbieranych przez obserwatora zależą od typu rozproszenia (matówkowego – na powierzchni lub opalowego – w masie) oraz od sposobu wykończenia powierzchni tafli. Zagadnienia te, ze względu na odmienne efekty wizualne, przeanalizowano oddzielnie w rozdz. 3.4, s. 108.

w przebiegu obserwacji. Autor nie manipuluje aktywnie zmiennymi niezależnymi, tylko obserwuje ich zmienność w warunkach naturalnych, np. w świetle dziennym. Wyjątkiem jest kąt obserwacji, który wynika z przyjętego punktu obserwacji.

Tabela 1 określa, które czynniki ulegają zmianie, a które pozostają stałe w czasie obserwacji. Zmiany, jakie zajdą w proporcjach obrazów widocznych dla obserwatora i w efektach wizualnych, pozwolą na określenie ich wzajemnego oddziaływania.

Tabela 1. Założenia do badania wpływu czynników na proporcje obrazów odbieranych przez obserwatora.

Źródło: opracowanie autor

Badanie proporcji obrazów przy zmianie:	**Wartości strumieni φ_1 lub φ_2**	**Współczynniki R i T**	**Kąt obserwacji α**
wartości strumieni φ_1 lub φ_2	zmienne	stałe	stałe
wartości współczynników R i T tafli	stałe	zmienne	stałe
kąta obserwacji α	stałe	stałe	zmienne

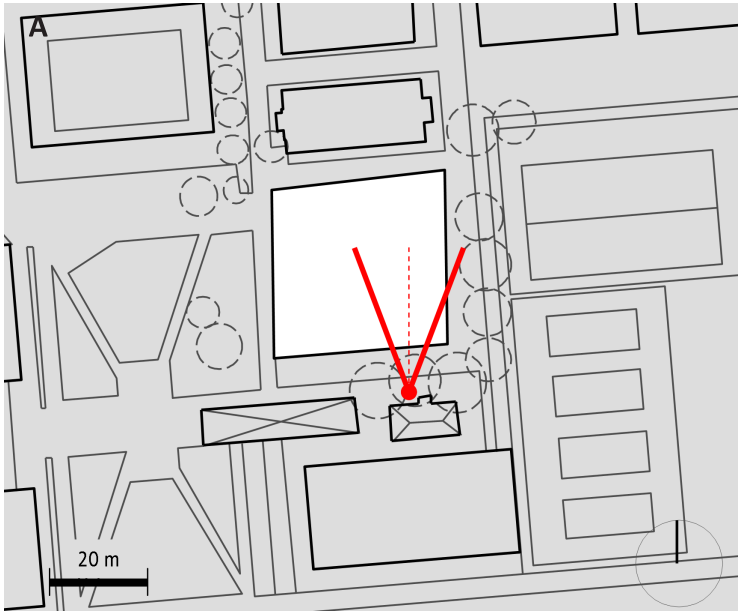
Poniżej przedstawiono wyniki terenowych badań obserwacyjnych, w których poszukiwana jest zależność przyczynowo-skutkowa między zmienną zależną i zmiennymi niezależnymi. Łącznie z fotografiami budynków przedstawiono także plany sytuacyjne z zaznaczonym punktem obserwacji, z którego zarejestrowano obraz-fotografię.

3.1.2.1. Wartości pierwotnych strumieni świetlnych φ_1 oraz φ_2

W świetlne dziennym wartości strumieni pierwotnych φ_1 oraz φ_2 zależą od pozycji Słońca, pory roku i dnia oraz pogody, a także od ukształtowania bryły budynku i jego otoczenia. Strumienie pierwotne wchodzą w interakcję z taflą – są przez nią przepuszczane lub odbijają się. Powstają w ten sposób wtórne strumienie świetlne $\varphi_{1.R}$ oraz $\varphi_{2.T}$, które przyczyniają się do powstania przenikających się obrazów na siatkówce oka obserwatora. W zależności od intensywności obrazy: rzeczywisty i pozorny występują w różnych relacjach – alternatywnej dominacji lub równowagi.

Wartości strumieni pierwotnych działających na taflę w sposób oczywisty wpływają na wartości strumieni wtórnych $\varphi_{2.T}$ oraz $\varphi_{1.R}$ stanowiących o intensywności przenikających się obrazów. Zmiana obrazu wynikowego powstającego przy udziale tych strumieni zostanie prześledzona na

przykładzie obiektu uniwersyteckich warsztatów KAIT Kobo – Kanagawa Institute of Technology na przedmieściach Tokio (arch. Junya Ishigami & Associated, 2007). Niemal prostopadłościenny, regularny obiekt o jednoprzestrzennej kubaturze zapewnia swobodę przepływu strumieni świetlnych w jego wnętrzu. Zewnętrzna przezroczysta powłoka na całym obwodzie budynku została wykonana z tych samych tafli przezroczystego, gładkiego, niepowłokowanego szkła. Na ryc. 24B pokazano obiekt w ujęciu frontalnym, w perspektywie kawalerskiej, gdzie kierunek patrzenia jest prostopadły do elewacji budynku. Pozwala to na dokonanie analizy, jak wartości pierwotnych strumieni świetlnych oddziałują na obraz wynikowy odbierany przez obserwatora, przy jednoczesnym wykluczeniu wpływu pozostałych czynników, również kąta obserwacji, na parametry tafli. Na fotografii (ryc. 24B) ta sama tafla w różnych obszarach zarejestrowanego pola widzenia znajduje się pod wpływem pierwotnych strumieni świetlnych o różnej wartości.





Ryc. 24. Wyraźna różnica w efektach wizualnych widocznych dla obserwatora w lewej i prawej części pola widzenia w zależności od bilansu pierwotnych strumieni świetlnych. Warsztaty uniwersyteckie KAIT Kobo – Kanagawa Institute of Technology na przedmieściach Tokio (arch. Junya Ishigami & Associated, 2007). Zob. również tab. 2, poz. 4 i 10, s. 123 i 124. **A.** Plan sytuacyjny obiektu. **B.** Widok.

Źródło: fot. Iwan Baan (na licencji)

W lewej części pola widzenia **dominuje obraz rzeczywisty** tworzony przez strumień wtórny, który przepuszczany jest przez taflę. Wynika to z relacji strumieni pierwotnych. Tafla w tej części zacieniona jest przez elewację budynku stojącego naprzeciwko. Strumień świetlny odbity, tworzący obraz pozorny, jest więc znikomy w porównaniu ze strumieniem świetlnym przepuszczanym przez

taflę. W rezultacie obserwator widzi wnętrze obiektu – rozróżnia poszczególne słupy, elementy oświetlenia, dostrzega świetliki.

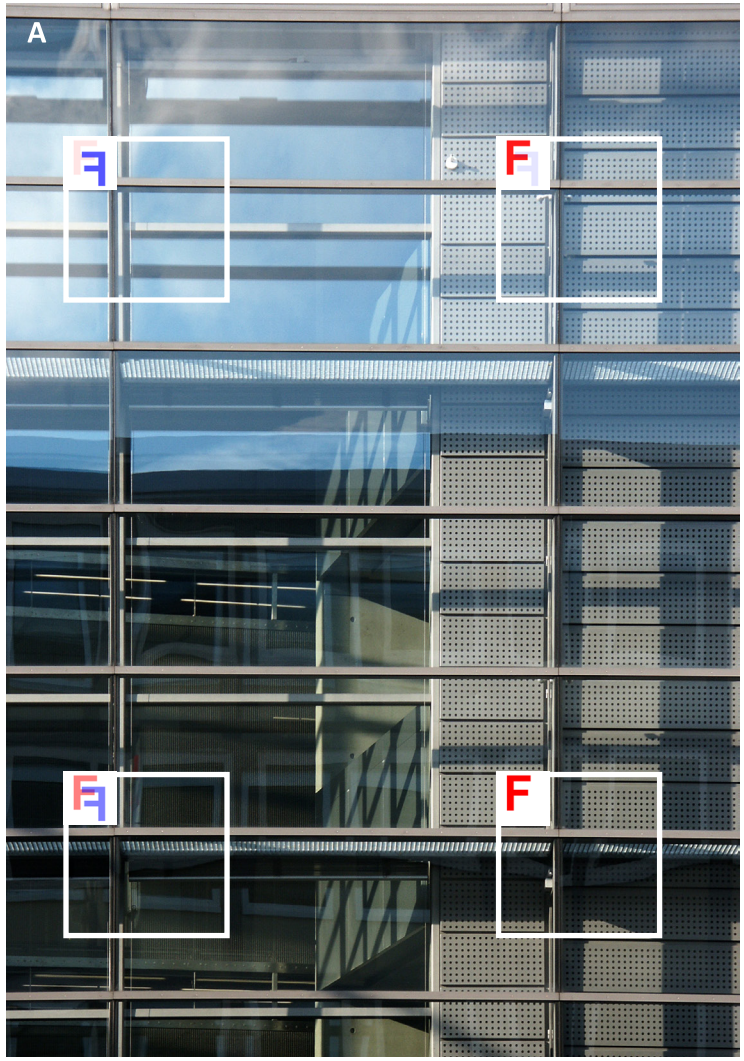
W prawej części pola widzenia w elewacji odbija się otoczenie – widoczne jest jasne niebo i zadrzewienie. Przeważa obraz pozorny, który tłumi obraz rzeczywisty, tworzony przez strumień przepuszczany przez szkło. W tej partii elewacji **strumień tworzący obraz pozorny ma większą wartość** niż strumień świetlny przepuszczany przez taflę, mimo że w partii sąsiedniej to właśnie strumień przepuszczany przez taflę dominował. Dodatkowy malarski efekt stwarzają drzewa, których „odzwierciedlone" kontury zakreślają plamy o mniejszej jasności. „Wewnątrz" konturów drzew widać szczegóły budynku – w tych miejscach, gdzie strumień tworzący obraz pozorny jest słabszy, obraz rzeczywisty dominuje.

Na ryc. 24B pokazano, jak kształtowany jest obraz wynikowy przez strumienie pierwotne o odmiennej wartości. Możliwa jest albo dominacja obrazu pozornego, gdy tafla odbija większość światła padającego od zewnątrz, albo rzeczywistego, gdy tafla przepuszcza większość światła padającego od środka. O zmianie wyglądu zewnętrznej przezroczystej elewacji i efektach wizualnych decyduje wyłącznie **relacja pierwotnych strumieni świetlnych** φ_1 oraz φ_2 działających na taflę. Na zaprezentowanej rycinie dwa obszary tej samej fasady, obserwowane z tego samego punktu obserwacji, znalazły się pod wpływem pierwotnych strumieni świetlnych o odmiennej wartości. Różnica w natężeniu strumieni pierwotnych spowodowała dominację jednego ze strumieni wtórnych, a w następstwie – jednego z tworzonych obrazów. Zmiana proporcji obrazów wpływa na efekt wizualny i, co za tym następuje, znaczną zmianę wyglądu.

W budynku pozbawionym ścian i masywnych elementów konstrukcyjnych[63] nieustannie dochodzi do „ścierania się" lub „współzawodniczenia" strumieni przepuszczanych przez tafle i tych od tafli odbitych. Wynika to z konsekwentnie realizowanego zamysłu twórców. Architekt Junya Ishigami, projektant KAIT Kobo, w jednym z wywiadów stwierdza: „podjąłem się zadania stworzenia przestrzeni z bardzo dwuznaczną granicą, gdzie dochodzi do ciągłej oscylacji między przestrzenią lokalną (wewnętrzną) a ogólną (zewnętrzną)" [286]. Słowa architekta oddają faktyczne wrażenia, które towarzyszą obserwatorom budynku[64]. Charakterystyczną zmienność gładkich przezroczystych powłok budowli z doskonałą zwięzłością opisał również francuski architekt Jean Nouvel,

[63] Wygląd budynku wywołał dyskusję na temat bezpieczeństwa zastosowanych rozwiązań projektowych w strefie sejsmicznej. Wątpliwości budziła filigranowa konstrukcja i wykorzystanie wielkowymiarowych tafli szkła [175].

[64] Fotografie nie oddają dynamiki elewacji, ale dostępna dokumentacja filmowa pozwala przynajmniej częściowo uczestniczyć w precyzyjnie zaplanowanym „spektaklu" [238].

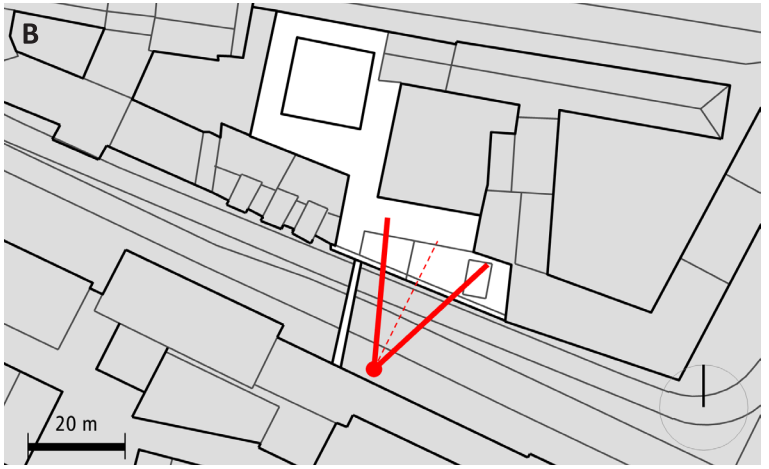


Ryc. 25. Cztery strefy pola widzenia charakteryzujące się odmiennymi efektami wizualnymi i spowodowane przez różne proporcje strumieni świetlnych w określonych obszarach tafli. Ujęcie frontalne fasady budynku widzianej z przeciwnej strony ulicy. Biurowiec N-ergie Zentrum w Norymberdze (Hausmann & Müller Architekten, 2000). Zob. również tab. 2, poz. 8 i 9, s. 124. **A.** Widok. **B.** Plan sytuacyjny obiektu.

Źródło: fot. i opracowanie autor

projektant m.in. siedziby Fundacji Cartiera w Paryżu. Występujący efekt wizualny określa „programowaniem" szkła przez światło: „jeśli oświetlimy je światłem z przodu, to tworzy się odbicie, a jeśli źródło światła umieścimy z tyłu, to szkło zniknie" [web 4]. Nouvel, będąc świadomy tych różnic, wskazuje tę zmienność jako zaletę, źródło nowatorskiego sposobu odbioru budynku.

Wpływ strumieni świetlnych φ_1 oraz φ_2 utrwalono również na fotografiach fasady biurowca N-ergie Zentrum w Norymberdze (Hausmann & Müller Architekten, 2000). Elewacja została skonstruowana jako szklany dźwiękoszczelny klosz, zamykający wewnątrz właściwy obiekt i pełniący funkcję osłonową i mikroklimatyczną. Bezpośrednio do elewacji przylega również rozległy wewnętrzny wielokondygnacyjny hall. Odległość między przegrodą a właściwą bryłą obiektu zmienia się na przestrzeni całej elewacji. Strumienie świetlne penetrują w głąb budynku lub odbijają się od elementów zlokalizowanych bezpośrednio za fasadą. Z tego powodu relacje wtórnych strumieni zmieniają się, tworząc różne konfiguracje obrazów postrzeganych przez obserwatora. Na zarejestrowanym obrazie można wyróżnić **cztery strefy o odmiennych proporcjach obrazów składowych** (ryc. 25).



Podobnie jak w przypadku budynku KAIT Kobo gładka przezroczysta tafla w polu widzenia podzielona jest na część, w której dominuje obraz pozorny utworzony przez wtórny strumień odbity, i część, gdzie przeważa obraz rzeczywisty. W lewym górnym kwadrancie widoczny jest wyraźny obraz pozorny nieboskłonu. Odbity strumień świetlny **zdecydowanie dominuje nad**

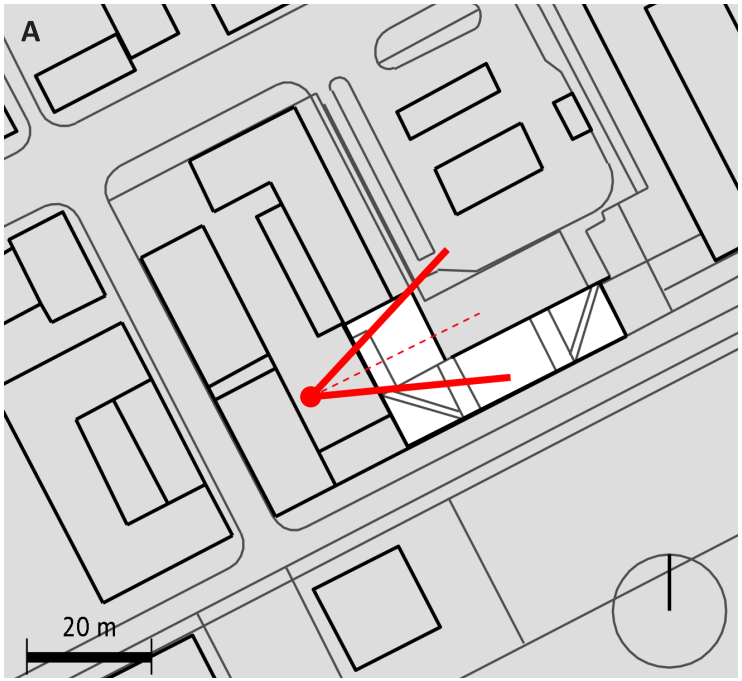
strumieniem przepuszczanym i tworzy obraz pozorny o wysokiej jasności. Poza elementami konstrukcyjnymi fasady obserwator nie dostrzega szczegółów przestrzeni za taflą. W lewej dolnej części pola widzenia odbija się stojący naprzeciwko budynek. Jego elewacja znajduje się w cieniu, jedynie jaśniejsze opaski okienne podkreślają okna. Strumień **świetlny odbity jest więc zdecydowanie słabszy**, co powoduje, że widoczne są elementy wnętrza: w centralnej części wewnętrzne galerie i cienie rzucone od konstrukcji elewacji. W głębi dostrzec można także jarzeniówki, które doświetlają wnętrze.

Relacje obrazów **zmieniają się zasadniczo** w prawej części pola widzenia, gdzie w odległości około 30 cm za płaszczyzną przezroczystej elewacji ustawiono regulowane, perforowane blaszane żaluzje szerokości około 25 centymetrów. Są one oświetlone silnym strumieniem światła słonecznego, a rzucony cień jest ostry i wyraźny. Strumień pierwotny przepuszczany przez szkło odbija się od żaluzji i tworzy najmocniejszy zarejestrowany na fotografii strumień świetlny φ_2, który przyczynia się do powstania obrazu rzeczywistego w prawej części pola widzenia. Dominuje on zarówno nad obrazem pozornym budynku znajdującego się po drugiej stronie ulicy – słabo dostrzegalne są jedynie opaski okien – jak i obrazem jasnego nieboskłonu w prawym górnym kwadrancie. Obraz pozorny nieboskłonu osłabia jednak w niewielkim stopniu obraz rzeczywisty blaszanych żaluzji, w tej części fotografii jest on nieco przygaszony.

W kolejnym obiekcie, siedzibie niemieckiego oddziału międzynarodowej agencji reklamowej J. Walter Thompson we Frankfurcie nad Menem (arch. Schummacher & Schneider, 1995) strumienie świetlne penetrują budynek **na przestrzał**, podobnie jak w przypadku budowli tokijskiej. Ze względu na relatywnie niewielkie gabaryty w rzucie (około 20 × 20 m) dwukondygnacyjna hala obsługi klientów została zaprojektowana jako jednotraktowa. Proporcje obrazów, które postrzega obserwator, kształtowane są przez konfigurację bryły budynku i obiektów otaczających. Analizowane ujęcie wykonano przy wykorzystaniu teleobiektywu, a ryc. 26 pokazuje przeszklenie, widok od strony zachodniej.

Źródłem intensywnego przepuszczanego strumienia świetlnego jest jasna elewacja budynku znajdującego się w głębi. W tym obszarze pola widzenia, w którym strumień działa na przestrzał, **dominuje obraz rzeczywisty**. **Obraz pozorny przeważa** w tych partiach ujęcia, gdzie strumień przepuszczany zostaje zablokowany przez strop. W tej części fotografii można wyróżnić szczegóły elewacji zabytkowego budynku znajdującego się naprzeciwko fasady, za obserwatorem: podziały okien i rodzaj okładziny. Na pozostałym obszarze przezroczystej przegrody obrazy tworzone przez

strumienie o zbliżonej wartości przenikają się: obraz pozorny budynku zabytkowego z nikłym obrazem rzeczywistym wnętrza. Ze względu na dominację strumienia przepuszczanego obraz ten ogranicza się do konturu przedmiotów i osób znajdujących się wewnątrz.





Ryc. 26. Obraz rzeczywisty dominujący w obszarze przeważającego strumienia przepuszczanego. Obraz pozorny dostrzegalny jest tylko tam, gdzie zostanie on zablokowany przez nieprzepuszczające światła elementy budynku, stropy, meble, inne wyposażenie. Siedziba agencji reklamowej J. Walter Thompson we Frankfurcie nad Menem (arch. Schummacher & Schneider, 1995). Zob. również tab. 2, poz. 5, s. 123. **A.** Plan sytuacyjny obiektu. **B.** Widok.

Źródło: fot. i opracowanie autor

3.1.2.2. Właściwości optyczne tafli: współczynnik odbicia światła R oraz współczynnik przepuszczania światła T

Właściwości optyczne każdego materiału przezroczystego charakteryzują współczynniki: przepuszczania, odbicia i pochłaniania światła – T, R, A (zob. także rozdz. 2.2, s. 43). Są one nadawane tafli na etapie produkcji. Szczegółowe mechanizmy określające wpływ tych współczynników na proporcję obrazów postrzeganych przez obserwatora zostaną przeanalizowane dla współczynnika R. Wszystkie współczynniki charakteryzujące taflę znajdują się w oczywistym związku: $R + T + A = 1$, co oznacza, że przy pominięciu wpływu współczynnika pochłaniania A, gdy R się zwiększa, T się zmniejsza i vice versa. Rozproszenie światła, dokonujące się na powierzchni lub

w masie materiału, zostanie przeanalizowane oddzielnie, ponieważ jest cechą charakterystyczną dla tafli przeświecalnych (zob. rozdz. 3.4, s. 108).

Współczynnik odbicia R określa, jaka część strumienia świetlnego zostanie odbita od przezroczystej tafli. Pozostała część tego strumienia zostanie pochłonięta – proporcjonalnie do A – lub przepuszczona na jej drugą stronę – proporcjonalnie do T. W wyniku odbicia pierwotnego strumienia świetlnego φ_1 od tafli zmieni się nie tylko jego kierunek – zgodnie z prawem odbicia – ale również wartość. Strumień wtórny $\varphi_{1.R}$, który powstanie, będzie zawsze mniejszy od φ_1, ponieważ nie istnieją materiały odbijające 100% padających promieni światła. Im większa wartość współczynnika odbicia R, tym większa część strumienia ulegnie odbiciu i tym większy jest udział obrazu pozornego w obrazie postrzeganym przez obserwatora. Proporcja obrazu pozornego do rzeczywistego w takiej sytuacji zależy więc zarówno od **intensywności strumienia pierwotnego** φ_1 padającego na taflę, jak i od **wartości współczynnika odbicia** R, który wpływa na intensywność wtórnego strumienia odbitego $\varphi_{1.R}$. „Ilość światła wpadająca do oka po odbiciu od obiektu zależy od ilości światła, które pada na powierzchnię obiektu, oraz od tego, ile światła zostanie odbite” [1, s. 339].

Współczynnik R równy jedności charakteryzuje zwierciadło idealne. W rzeczywistości taki materiał nie występuje. Typowe wartości współczynnika R dla niemodyfikowanych tafli materiałów przezroczystych, takich jak: szkło, akryl i woda są podobne i mieszczą się w granicach 4–8% – wartości te oblicza się dla promienia światła padającego pod kątem prostym. Modyfikacje dostępne dla projektanta obejmują możliwość wyboru dodatkowych powłok o **większym** lub **mniejszym współczynniku odbicia** R w stosunku do wartości standardowej, niepowłokowanej tafli szkła sodowo-wapniowego. Dobór parametrów tafli w istotny sposób przekłada się nie tylko na odbierane efekty wizualne, ale także na relacje energetyczne, zyski i straty ciepła. „Strategie intensyfikacji światła dziennego i redukcji zysków ciepła są z założenia ze sobą sprzeczne” [67, s. 137], ponieważ nie jest możliwe opracowanie jednej powłoki, która pełniłaby obie funkcje. Można jedynie „złagodzić” ten konflikt przez zastosowanie powłok selektywnych, odbijających lub przepuszczających wybrany fragment widma promieniowania słonecznego.

3.1.2.3. Współczynnik odbicia światła R powyżej wartości standardowych

Większe wartości współczynnika odbicia R prowadzą do **zwiększenia udziału obrazu pozornego** w obrazie wynikowym postrzeganym przez obserwatora. Mechanizm tej zależności jest dynamiczny i warto go przedstawić na prostym przykładzie. Strumień świetlny padający na standardową



Ryc. 27. Różnica w intensywności obrazu pozornego spowodowana odmiennym współczynnikiem odbicia R tafli. Wszystkie pozostałe czynniki są niezmienne: oświetlenie i kąt obserwacji jest taki sam dla obu porównywanych tafli. Siedziba Towarzystwa Ubezpieczeniowego AachenMünchener w Akwizgranie (arch. Kada Wittfeld, 2010). Zob. również tab. 2, poz. 7 i 14, s. 124 i 125. **A.** Plan sytuacyjny obiektu. **B.** Widok (fot. na następnej stronie).

Źródło: fot. i opracowanie autor

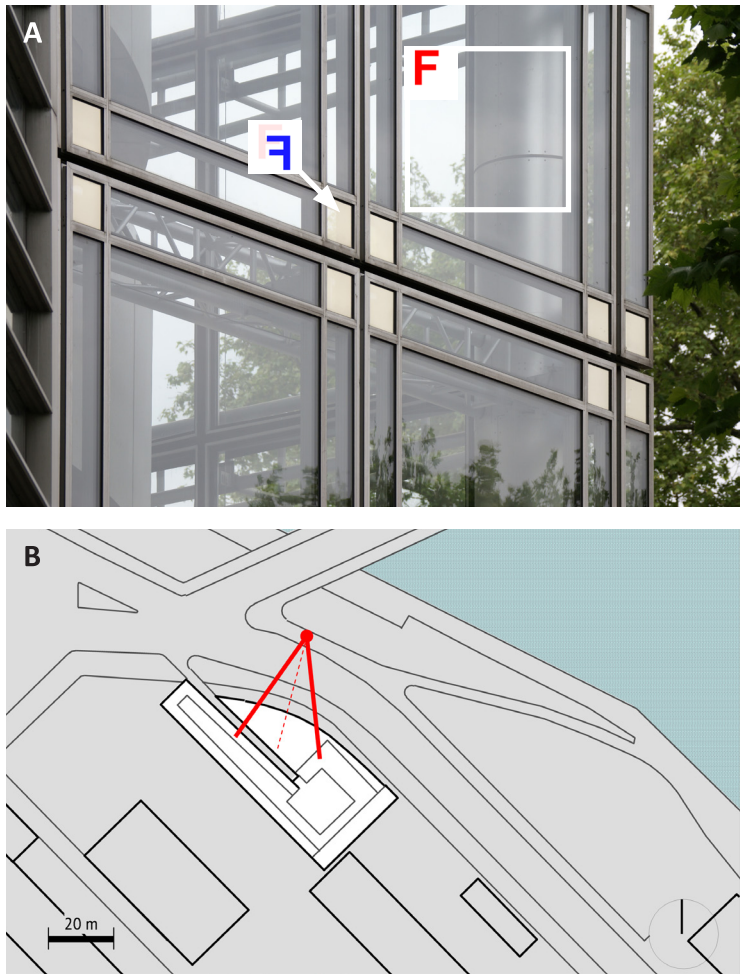
taflę szkła sodowo-wapniowego stosowanego w budownictwie ($T = 0{,}80$; $R = 0{,}08$; $A = 0{,}12$) zostanie odbity w mniej więcej 8%. Stosując materiał przezroczysty o innych parametrach, np. szkło z powłoką refleksową[65] ($R = 0{,}40$), przy tej samej wartości pierwotnych strumieni świetlnych oddziałujących na taflę, otrzymamy większą wartość strumienia $\varphi_{1.R}$, a w następstwie odmienną relację obrazów powstających przy udziale strumieni $\varphi_{1.R}$ oraz $\varphi_{2.T}$. Różnica w wartościach współczynnika R spowoduje, że pięć razy więcej światła padającego ulegnie odbiciu i obraz pozorny generowany przez wtórny strumień $\varphi_{1.R}$ zostanie pięciokrotnie wzmocniony. Jeśli przy współczynniku $R = 0{,}40$ padający strumień świetlny φ_1 byłby pięciokrotnie mniej intensywny, obrazy – pozorny i rzeczywisty – zachowałyby pierwotną proporcję[66].

Współczynnik odbicia tafli wpływa na proporcje obrazów widzianych przez obserwatora. W prezentowanym przykładzie ograniczony został wpływ innych czynników: wartości strumieni φ_1 oraz φ_2 i kąta obserwacji. W siedzibie Towarzystwa Ubezpieczeniowego AachenMünchener (arch. Kada Wittfeld, 2010) w Akwizgranie zastosowano dwa typy tafli o odmiennym współczynniku odbicia. Pomieszczenia biurowe znajdują się w oddzielnych, wolno stojących budynkach. Poszczególne obiekty łączy kładka prowadzona na wysokości pierwszej kondygnacji. W ramach brył staje się ona częścią komunikacji – korytarzem. Fasady budowli zostały skonstruowane jako ustroje słupowo-ryglowe wypełnione przezroczystymi płaskimi taflami. Przeszklenie kładki różni się. Zastosowane tafle są gięte po łuku, a dla uwydatnienia miękkiej „linii" kładkę obudowano szkłem refleksowym o większym współczynniku odbicia R niż to, które zastosowano w budynkach biurowych. Metaliczna powłoka powoduje niebieskawe zabarwienie. **Różnica w tworzonych obrazach pozornych jest subtelna, ale wyraźnie widoczna.** W miejscach, gdzie tafle fasady i przeszklenie kładki są do siebie równoległe i „odzwierciedlają" to samo otoczenie (np. nieboskłon), obraz pozorny widoczny w taflach kładki jest jaśniejszy, a odzwierciedlane kolory żywsze (ryc. 27B). Dotyczy to głównie odbicia nieboskłonu, które jest bardziej intensywne. W innych ujęciach różnica spowodowana odmiennym współczynnikiem odbicia jest niwelowana,

[65] Najczęściej wykorzystywaną technologią zwiększania współczynnika odbicia R jest nakładanie cienkich powłok tlenków metalu (srebra, złota i glinu) metodą rozpylania katodowego. Metale tworzą połyskliwą, gładką powierzchnię w stanie stałym i lepiej odbijają światło. Stosowane są w zależności od zamierzonego efektu. Zwiększenie grubości powłoki zwiększa współczynnik odbicia, aż do całkowitego zatrzymania przenikania światła i otrzymania pełnego lustra. Określenie „refleksowe" – zob. przyp. 3, s. 16.

[66] Uwaga – podano wartości przykładowe! Zwiększenie wrażenia wzrokowego nie odbywa się liniowo, czyli dwukrotnie większa wartość strumienia świetlnego nie jest odczuwalna jako dwukrotne zwiększenie jaskrawości obserwowanej powierzchni. Odbierana przez obserwatora jasność obrazu zwiększa się w skali logarytmicznej w stosunku do intensywności padającego strumienia świetlnego; zob. przyp. 41, s. 56.


B



Ryc. 28. Różnica w intensywności obrazu pozornego spowodowana odmiennym współczynnikiem odbicia R tafli, ograniczona do określonej sekcji ściany osłonowej. Jej aluminiowy szkielet jest wypełniony szkłem różnego typu. Fotografia przedstawia zbliżenie na detal elewacji północnej. Budynek Instytutu Arabskiego w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 1989). Zob. również tab. 2, poz. 13, s. 125. **A.** Widok. **B.** Plan sytuacyjny obiektu.

Źródło: fot. i opracowanie autor

aż do całkowitego zaniknięcia. Fotografia w niedoskonały sposób ukazuje efekt wizualny, którego wyraźnie doświadcza się przy obserwacji w ruchu.

Podobną różnicę można dostrzec na elewacji budynku Instytutu Arabskiego w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 1989). Od strony bulwarów nad Sekwaną obiekt obudowany jest standardową, słupowo-ryglową ścianą osłonową. W celach dekoracyjnych niektóre pola fasady wypełniono szkłem o zdecydowanie większym współczynniku odbicia niż pola sąsiednie. W niewielkich lustrzanych formatkach widoczny jest znacznie **bardziej intensywny obraz pozorny** niż w taflach przezroczystych (ryc. 28A). Punkt obserwacji i warunki oświetlenia pozostają niezmienne.

W architekturze współczesnej powszechnie wykorzystuje się materiały o dużym współczynniku odbicia R – szkło i folie refleksowe. Większy współczynnik odbicia ma za zadanie zmniejszyć ilość energii przedostającej się do wnętrza budynku i ograniczyć występowanie efektu cieplarnianego. Refleksowe tafle stosuje się więc dla oszczędności. Szczególnie przy ograniczonych budżetach inwestycji służą redukcji ilości promieniowania słonecznego we wnętrzach. Materiał o dużej przezroczystości powszechnie zastępuje się więc materiałem z powłoką refleksową, aby ograniczyć kosztowną budowę energochłonnego systemu klimatyzacyjnego. Zakup droższego refleksowego szkła to zwykle znaczny, ale jednorazowy wydatek. Konsekwencje dla formy architektonicznej są jednak nieodwracalne. Działanie powłok przeciwsłonecznych prowadzi do jednoczesnej dominacji obrazów pozornych na tafli, a tym samym do ograniczenia udziału lub całkowitej eliminacji obrazu rzeczywistego.

Szkło refleksowe o dużym współczynniku odbicia, poza tym, że wywołuje istotne konsekwencje wizualne, jest przyczyną zjawiska, które określa się jako **zanieczyszczenie światłem** (*light pollution*). Promieniowanie słoneczne odbijające się od metalizowanych tafli wywiera znaczący wpływ na otoczenie. Odblask może oślepiać kierowców i przechodniów. Zwiększa się także obciążenie cieplne budynków sąsiadujących, które znajdą się w strefie oddziaływania słonecznego „zajączka". Najbardziej znanym, szeroko komentowanym, przykładem wystąpienia tego zjawiska jest Fairmont Copley Plaza Hotel (arch. Henry Janeway Hardenbergh, 1912) – zabytkowy budynek położony w centrum Bostonu, który znalazł się w strefie oddziaływania odblasku od fasady biurowca John Hancock Tower (arch. I.M. Pei & Partners, 1976). Zagadnienia odblasku były studiowane przez autora. Efektem tych prac jest publikacja pt. *The influence of reflected solar glare caused by the glass cladding of a building: application of caustic curve analysis*. Wynika z niej, że największe potencjalne niebezpieczeństwo stwarzają elewacje wklęsłe, o cylindrycznej geometrii [50, s. 356].

Wydarzenia z ostatnich lat potwierdziły realność zagrożeń przewidywanych w pracy teoretycznej. Dnia 2 września 2013 roku BBC doniosła, że w Londynie „wklęsła elewacja biurowca przy Fenchurch Street 20 (arch. Rafael Viñoly, w budowie) skupia światło jak zwierciadło wklęsłe i powoduje poważne szkody w mieniu i w nieruchomościach znajdujących się po przeciwnej stronie Fenchurch Street" [43, s. 21]. Doszło do zwęglenia fragmentu dywanu w zakładzie fryzjerskim (bez otwartego ognia), zniszczenia farby proszkowej pokrywającej elementy witryny, zniszczenia elementów ekspozycji wykonanych z tworzywa sztucznego. Szczególny rozgłos zdobył fakt nadtopienia i zdeformowania plastikowych elementów karoserii – lusterka i owiewek – w samochodzie marki Jaguar, który stał zaparkowany przez parę godzin w ognisku zwierciadła [273]. Budynek stanowi ewidentne zagrożenie dla otoczenia w określonych warunkach atmosferycznych.

3.1.2.4. Współczynnik odbicia światła R poniżej wartości standardowych

Mniejsze niż standardowe wartości współczynnika R wpływają na przepuszczanie większej części strumienia świetlnego. Strumień odbity i tym samym obraz pozorny widoczny dla obserwatora zostaną radykalnie ograniczone, dominuje obraz rzeczywisty. Materiały o małym współczynniku odbicia (nawet $R = 0{,}01$) stosowane są w witrynach sklepów i restauracji. Wpływają nie tylko na poprawę własności wizualnych przegrody, przez którą widać wtedy głównie wnętrze lokalu, ale także na ograniczenie wydatków na energię. Oszczędność wynika z mniejszego natężenia światła wewnątrz, które jest stosowane, aby wyeliminować odbicie na zewnętrznej powierzchni tafli. Powłoki antyrefleksyjne powstają w procesie potrójnego zanurzania (*triple dip coating*). Redukują standardowy dla szkła 4–8% współczynnik odbicia R do wartości, która nie przekracza 0,01%. Jednym z dostępnych materiałów jest AMIRAN [web 26], produkowany przez firmę SCHOTT AG, przepuszczający ponad 98% światła. Zastosowanie powłok antyrefleksyjnych zmienia wygląd powierzchni przepuszczających światło w takim stopniu, że zaburza mechanizm spostrzegania przezroczystości i wpływa negatywnie na bezpieczeństwo użytkowników. Z tego powodu dokładne omówienie zagadnienia zostało przedstawione w części dotyczącej spostrzegania, w rozdz. 6.7.3.1, s. 221.

3.1.2.5. Kąt obserwacji

Zjawisko **zmiany wartości współczynników odbicia** R i **przepuszczania** T gładkich materiałów przezroczystych w znaczącym stopniu wpływa na wartości strumieni wtórnych $\varphi_{1.R}$ i $\varphi_{2.T}$. Wbrew intuicji współczynniki te nie są stałe, ale zależą od kąta padania promienia światła, który – przy założeniu, że kąt padania równa się kątowi odbicia – jest dla obserwatora kątem obserwacji.

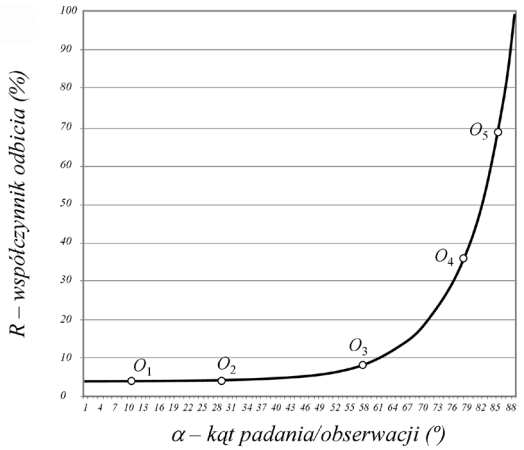
Zwiększenie tych wartości **nie odbywa się** liniowo, ale zgodnie z charakterystyczną krzywą, (ryc. 29A). Zjawisko to jest opisane przez równania Fresnela [200, s. 211], a dynamika zmiany współczynników zależy od rodzaju materiału. Jeśli obserwacja dokonywana jest w ramach kąta około 40° od normalnej, wartości współczynników R i T są w przybliżeniu takie, jakie zostały określone na etapie produkcji tafli. Gdy kąt obserwacji przekroczy 40°, współczynnik R zaczyna się zwiększać, a „przy kątach powyżej 70° zwiększenie jego wartości będzie wyraźnie odczuwalne i osiągnie niemal 100% dla promieni światła biegnących prawie równolegle do płaszczyzny tafli" [283, s. 71]. W miarę zwiększania się współczynnika R współczynnik T będzie odpowiednio zmniejszał się.

Mechanizm tego zjawiska zostanie wyjaśniony na podstawie przykładu. Tafla szkła budowlanego odbija od 4 do 8% prostopadle padającego światła, a przepuszcza blisko 88%. Pozostała część przepuszczanego światła jest pochłaniana. Jeśli założymy, że na taką taflę oddziałują identyczne strumienie świetlne φ_1 oraz φ_2, to w zakresie kąta 40° zostaną zachowane pierwotne właściwości materiału i powstający obraz pozorny będzie stanowił 4÷8% obrazu odbieranego przez obserwatora. W miarę zwiększania się kąta obserwacji powyżej 40° współczynnik odbicia będzie się zwiększać. Udział obrazu pozornego będzie się systematycznie zwiększał, a rzeczywistego malał. Przy kącie wynoszącym 72–78° współczynnik odbicia zbliża się do 50% i wystąpi stan równowagi obrazowej (*pictorial equilibrium*) [zob. 51]. Jeśli kąt nadal się zwiększa, współczynnik odbicia **będzie bardzo dynamicznie dążył do 100%** i każda – nawet bezbarwna idealnie przezroczysta tafla – **zamieni się w zwierciadło** (ryc. 29B).

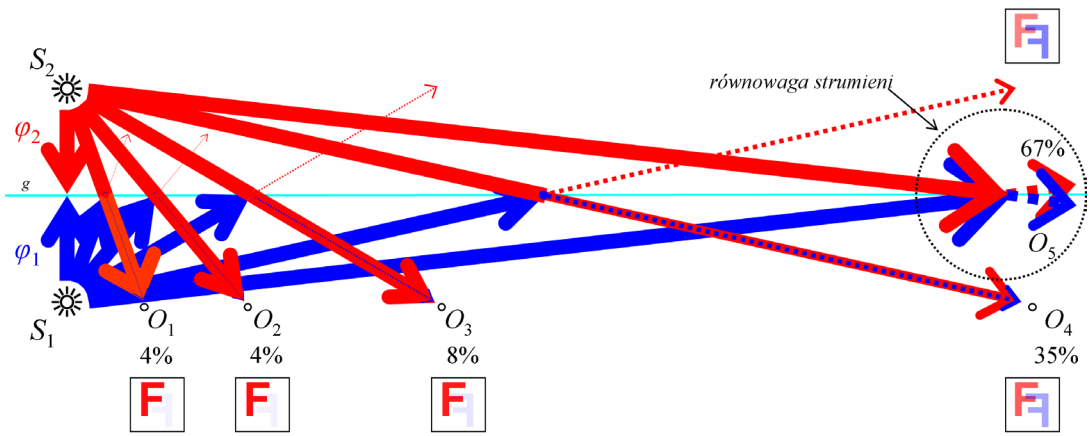
Ryc. 29. A. Wykres zmiany współczynnika R wynikający z równań Fresnela. **B.** Schemat ideowy ilustrujący zmianę współczynnika odbicia od gładkiej tafli w zależności od kąta padania światła. Dla obserwatorów O_2 oraz O_3 udział obrazu pozornego wyniesie około 4%, ale dla O_6, który znajduje się poza kadrem, już aż 67%. Schemat został opracowany w skali; zmiana szerokości linii odpowiada zmianie współczynnika. Źródła światła S_1 i S_2 są identyczne.

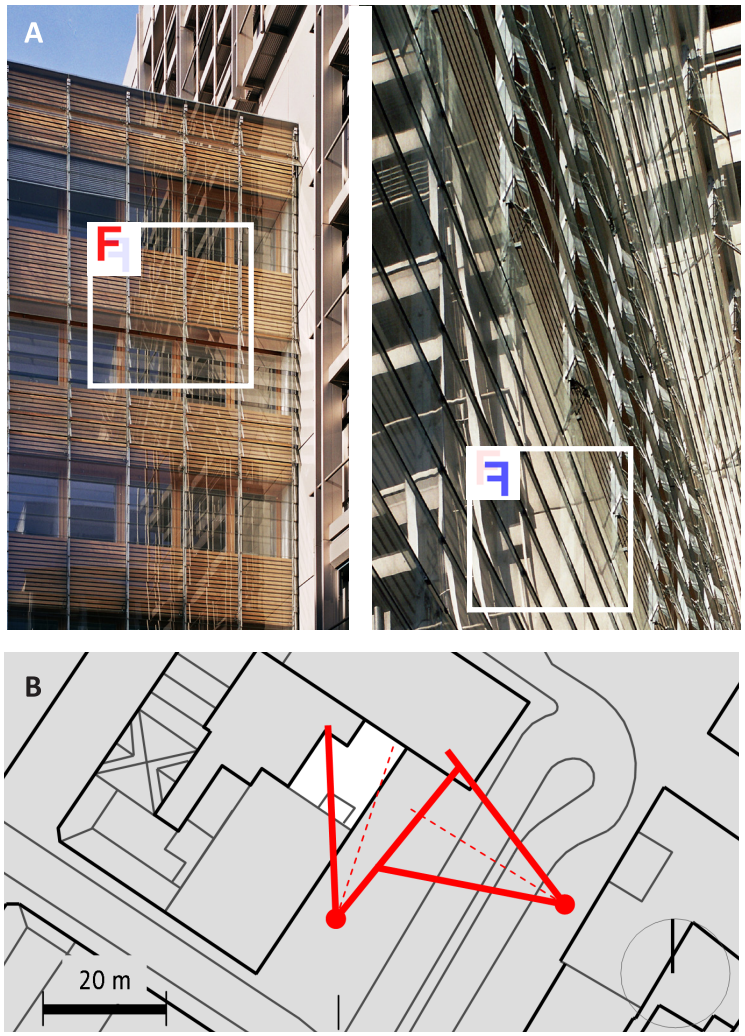
Źródło: opracowanie autor na podstawie publikacji własnej [51]

A



B





Ryc. 30. Zmiana relacji obrazów: rzeczywistego i pozornego w zależności od kąta obserwacji, pokazana na dwóch fotografiach wykonanych z odmiennych punktów obserwacji. Ta sama tafla zmienia wygląd z przezroczystej (po lewej) na lustrzaną (po prawej). Biurowiec Bayerische Vereinsbank w Stuttgarcie (arch. Behnisch & Sabatke, 1969 i 1997). Zob. również tab. 2, poz. 6 i 15, s. 124 i 125. **A.** Widok. **B**. Plan sytuacyjny obiektu.

Źródło: fot. i opracowanie autor

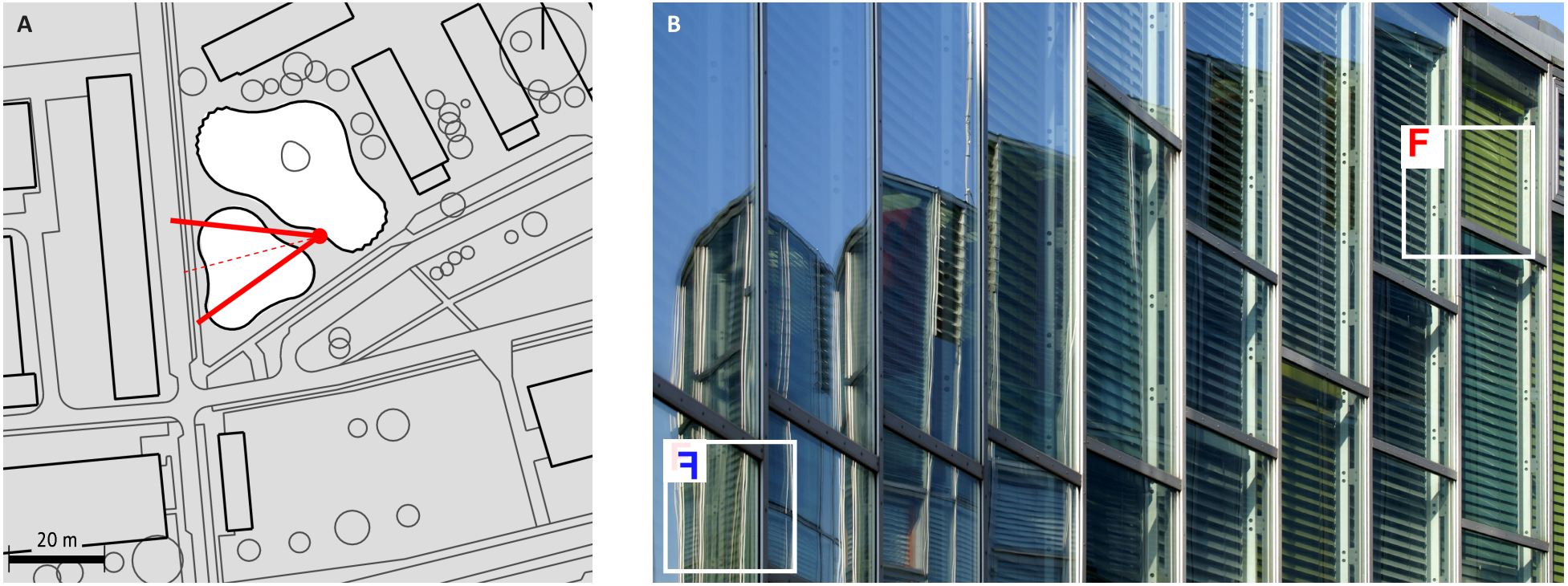
W większości przypadków wartość strumienia świetlnego φ_1, który oddziałuje na taflę od zewnątrz, jest znacznie większa od wartości strumienia φ_2 działającego od strony wewnętrznej. Powoduje to, że niekorzystne – z punktu widzenia odbioru architektury – zjawiska wystąpią przy dużo mniejszych kątach obserwacji niż podane w powyższym przykładzie.

Zjawisko zmiany wartości współczynników odbicia R i przepuszczania T ma w odbiorze przezroczystych przegród w architekturze rolę wiodącą. Uzależnia odbiór tafli przezroczystych od punktu obserwacji i przyjętej perspektywy. Jego konsekwencje są dla „szklanej" architektury znaczące: przeprowadzone badania i przywołane przykłady pokazują, że przezroczystość każdej – nawet niemodyfikowanej tafli szkła – może zostać utracona w niekorzystnych warunkach obserwacji. W praktyce może to oznaczać, że przezroczyste przegrody – niezależnie od warunków oświetlenia – będą **odbierane jako zwierciadlane**, a obraz pozorny będzie dominował. Christoph Elsener twierdzi wręcz, że „szkło jest **przede wszystkim materiałem odbijającym światło**, a przezroczystość jest jego cechą drugorzędną" [93, s. 152].

Zmiana wartości współczynników w zależności od kąta obserwacji stale towarzyszy zastosowaniom gładkich przezroczystych tafli. Zjawisko występuje powszechnie w licznych realizacjach. Każdy obserwator doświadcza tej zmiany, nie zawsze jednak sobie to uświadamia. Na ryc. 30 pokazano przeszklenie biurowca Bayerische Vereinsbank w Stuttgarcie (arch. Behnisch & Sabatke, 1969 i 1997). Dodatkowa warstwa szkła pełni zarówno funkcję izolacji akustycznej, jak i bufora termicznego obiektu – dobudowano ją na początku lat 90. XX wieku. Zewnętrzna szklana powłoka składa się z poziomych szklanych żaluzji na filigranowej konstrukcji, które mogą być regulowane w ramach każdej kondygnacji. Dwa ujęcia ukazują przezroczyste tafle **w stanach skrajnych: przezroczystym i zwierciadlanym**. Poza zmianą punktu obserwacji wszystkie pozostałe jej warunki są stałe. Gdy tafle obserwuje się pod niewielkim kątem, widoczne są wnętrze i szczegóły drewnianego wykończenia pasa podparapetowego. Gdy kąt ten zwiększa się do 85°, pasy szklanych żaluzji stają się zupełnie nieprzezroczyste i odbijają elewację sąsiadującego obiektu biurowego. Rytm fasady budynku sąsiedniego jest wyraźnie widoczny w odbiciu zwierciadlanym [234, s. 220–221].

To samo zjawisko można zaobserwować w budynku Centrum Fotoniki w Parku Technologicznym Adlershof w Berlinie (arch. Sauerbruch Hutton Architects, 1998). Obiekt wyróżnia się „charakterystyczną formą i niezwykłą kolorystyką. W pełni przeszklone fasady zamykają wnętrza miękką sinusoidalną linią, tworząc nieregularne kształty rzutów" [15, s. 168]. Krzywoliniowa geometria została jednak uproszczona do prostych łamanych. Pod względem wykonawczym znacznie ułatwiło

to realizację budynku. W rezultacie, **przy stałym punkcie obserwacji, każda z tafli obserwowana jest pod nieco innym kątem**. Właściwości optyczne przezroczystych tafli ulegają zmianie. Fotografia pokazuje, że w miarę jak zmienia się kąt ustawienia tafli w stosunku do kierunku obserwacji, strumień przepuszczany $\varphi_{2.T}$ ulega stopniowemu wygaszeniu na skutek zwiększającego się współczynnika odbicia R i zwiększającego się udziału strumienia odbitego $\varphi_{1.R}$ (ryc. 31). Analogicznie zmienia się również proporcja tworzonych przez te strumienie obrazów. Kolorowe żaluzje stają się coraz mniej widoczne, obraz pozorny dominuje. Parametry optyczne sąsiadujących tafli są takie same, a warunki oświetlenia stałe. Jedynym czynnikiem, który ulega zmianie, jest kąt ustawienia tafli.

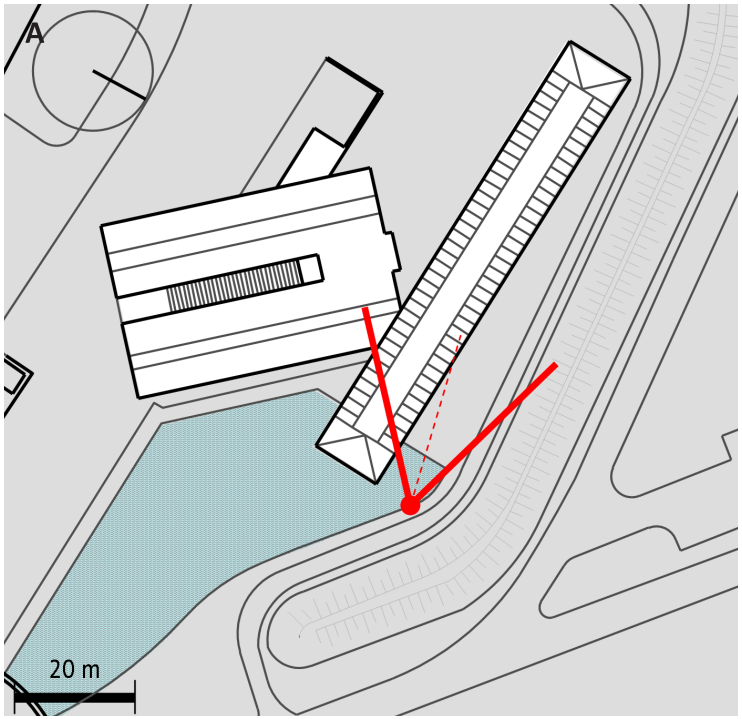


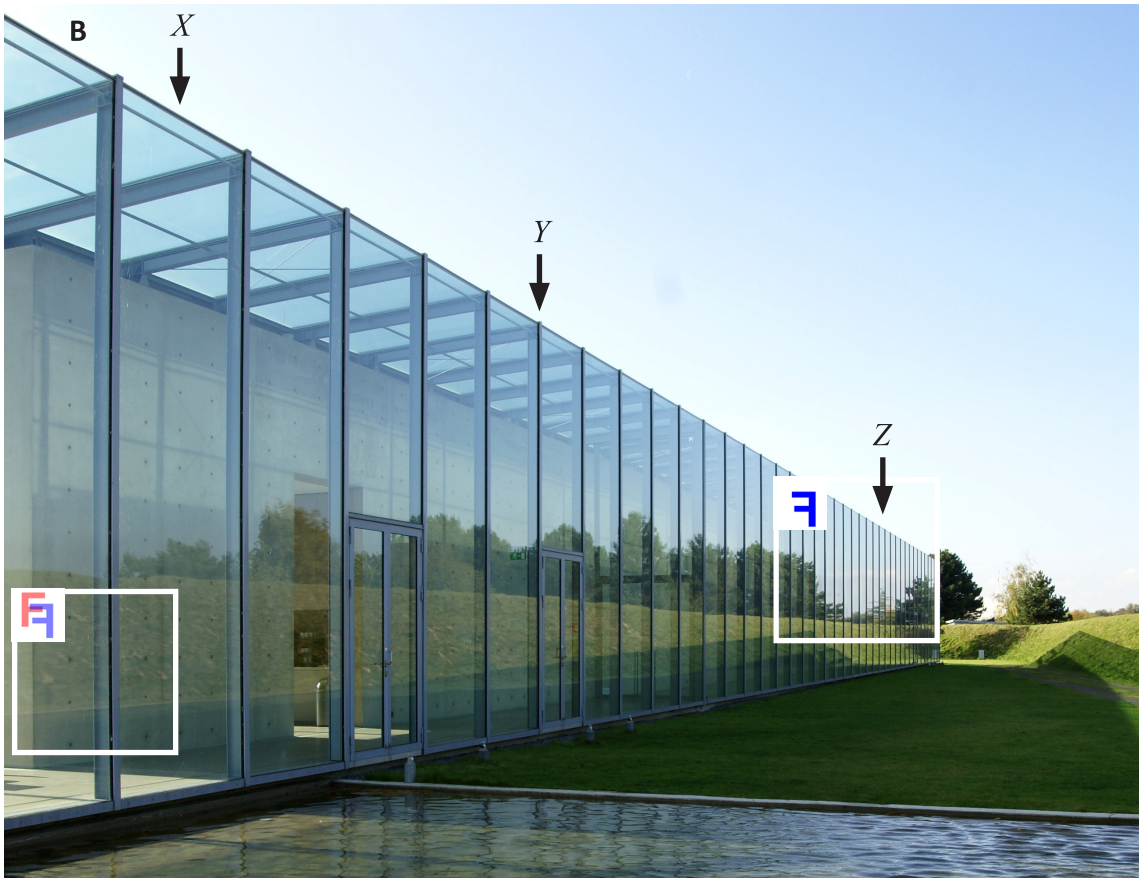
Ryc. 31. Zmiana relacji obrazów rzeczywistego i pozornego w zależności od kąta ustawienia tafli w stosunku do kierunku obserwacji. Sekcje ściany osłonowej obudowują budynek o obłym rzucie, każda z nich montowana jest pod nieco innym kątem. Budynek Centrum Fotoniki w Berlinie (arch. Sauerbruch Hutton Architects, 1998). **A.** Plan sytuacyjny obiektu. **B.** Widok.

Źródło: fot. i opracowanie autor

Zmiana w proporcjach obrazu rzeczywistego i pozornego doskonale ukazuje optyczne stany skrajne przegrody, jak w Bayerische Vereinsbank, oraz stopniowane stany pośrednie, jak w Centrum Fotoniki. W przypadku szklanej elewacji Muzeum Fundacji Langen (arch. Tadao Andō, 2004) szczególnie dobrze widoczna jest **płynna zmiana współczynników**, która manifestuje się w różnych proporcjach

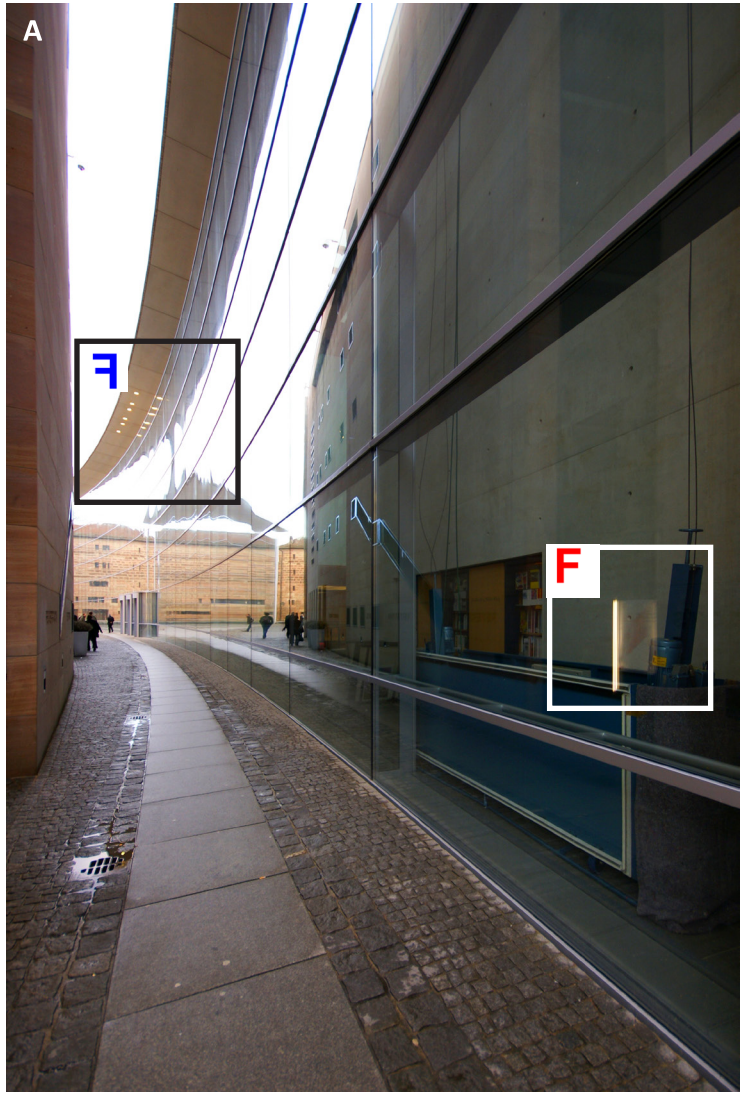
obrazu rzeczywistego i pozornego. Obiekt składa się z trzech prostopadłościennych brył. Jedna z nich – część recepcyjna i gastronomiczna – została otoczona szklanym płaszczem – korytarzem komunikacyjnym. Podobnie jak w przypadku Bayerische Vereinsbank w Stuttgarcie płaszcz ten wykonano z przezroczystych, niepowlekanych tafli. Ze względu na obszerne przedpole patrzący znajdujący się na zewnątrz ma możliwość swobodnej obserwacji obiektu. Fotografia przedstawia elewację północą, od zacienionej strony obiektu (ryc. 32). Ta sama przegroda, o tych samych parametrach optycznych materiału zmienia się z całkowicie przezroczystej – widocznej po stronie lewej w punkcie X – na całkowicie lustrzaną – widoczną po stronie prawej w punkcie Z. **Zmiana wyglądu jest następstwem zmiany współczynników odbicia i przepuszczania**. Tę część elewacji, która znajduje się bliżej,

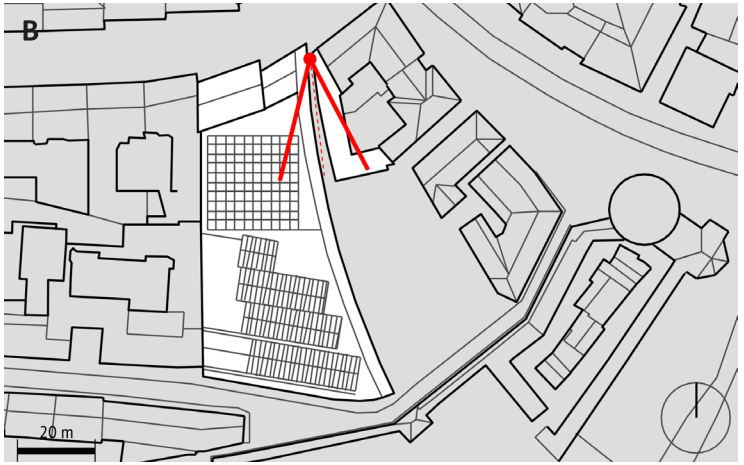




Ryc. 32. Zmiana relacji obrazów: rzeczywistego i pozornego w zależności od kąta obserwacji tafli. Bliższą jej część obserwator postrzega pod mniejszym kątem (punkt X), bardziej odległą – pod większym (w punktach Y, Z). Muzeum Fundacji Langen w Hombroich (arch. Tadao Andō, 2004). **A.** Plan sytuacyjny obiektu. **B.** Widok.

Źródło: fot. i opracowanie autor





Ryc. 33. Zmiana relacji obrazów: rzeczywistego i pozornego w zależności od kąta obserwacji tafli. Zmiana następuje podobnie, jak w poprzednim przykładzie (zob. ryc. 32) tylko na dłuższym odcinku. Miejskie Muzeum Sztuki i Designu – Neues Museum w Norymberdze (arch. Volker Staab, 2000). **A.** Widok. **B.** Plan sytuacyjny obiektu.

Źródło: fot. i opracowanie autor

obserwator widzi pod mniejszym kątem – tafle zachowują więc swoje pierwotne parametry. W głębi ujęcia wzrok obserwatora „ślizga" się po płaszczyźnie elewacji, a kąt obserwacji wynosi około 80°. Współczynnik zmienia się w zależności od kąta obserwacji i następuje przemiana przezroczystej przegrody w lustrzaną barierę. Dokładnie można to zauważyć, śledząc styk szklanej ściany ze szklanym dachem budynku. Przezroczystość sukcesywnie zanika, ponieważ strumień przepuszczany $\varphi_{2.T}$ jest stopniowo tłumiony przez zwiększający się strumień odbity $\varphi_{1.R}$.

Ze względu na dynamiczną zmianę współczynnika odbicia szczególnie interesujące są elewacje o nieprostoliniowej geometrii, które przyczyniają się do tego, że zmiana proporcji obrazów będzie miała miejsce na dłuższym odcinku elewacji, np. fasada budynku Miejskiego Muzeum Sztuki i Designu – Neues Museum w Norymberdze (arch. Volker Staab, 2000). Budynek zlokalizowany został na Starym Mieście (Die Lorenzer Altstadt), a obszerna działka pozwoliła na wytworzenie przedpola i placu przed Muzeum. Wklęsła przeszklona elewacja o długości ponad 100 m doskonale wpisała się w historyczną zabudowę, a obiekt spotkał się z powszechnym uznaniem (ryc. 33). Architekt budynku – Volker Staab – „odzwierciedlił[67] historię we współczesności" [249]. Ze względu na łuk fasady kąt obserwacji nie zwiększa się tak gwałtownie, jak w przypadku Muzeum Fundacji Langen, ale w tej sytuacji znaczenie dla obserwacji ma również to, że elewacja działa jak wklęsłe zwierciadło. W górnej części widoczne jest wyraźne zniekształcenie obrazu pozornego. W zależności od kąta obserwacji intensyfikuje to lub osłabia obraz pozorny.

[67] Gra słów występuje również w oryginale, niem. *zu spiegeln*, od *Spiegel* – „lustro".

Z przeprowadzonych badań i przywołanych przykładów jednoznacznie można wysnuć wniosek, że parametry tafli przezroczystych nadane im w chwili produkcji zmieniają się zależnie od kąta obserwacji. Zależność ta nie jest liniowa, zmiana następuje zgodnie z krzywą wyprowadzoną z równań Fresnela (zob. ryc. 29B, s. 91). Nawet dla tafli wykonanej z materiału przezroczystego, np. szkła o standardowych parametrach, niepokrytego żadną powłoką, wraz ze zwiększeniem się kąta obserwacji ilość światła odbitego będzie się zwiększała, a ilość światła przepuszczonego przez taflę będzie się zmniejszać [283, s. 71].

Podsumowanie

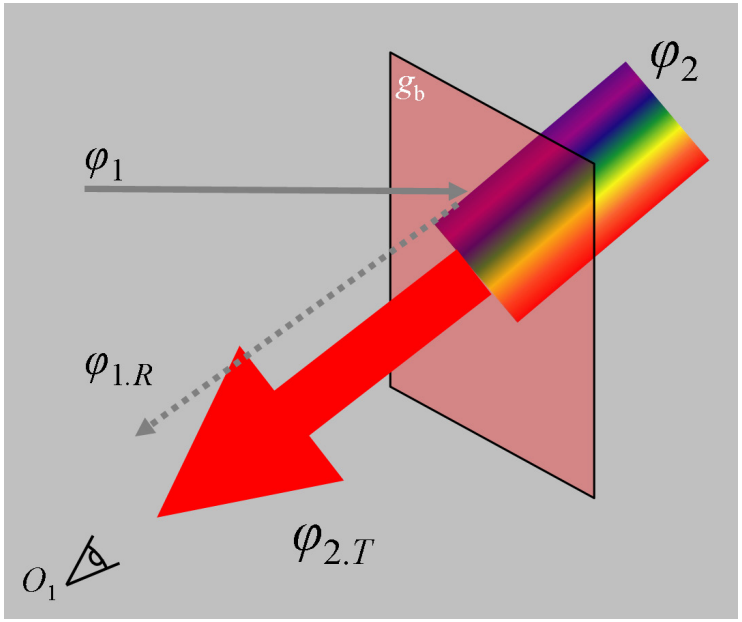
Proporcje obrazów – rzeczywistego i pozornego – widocznych dla obserwatora zmieniają się w zależności od trzech czynników, które oddziałują rozłącznie (niezależnie).

Intensywność pierwotnych strumieni świetlnych φ_1 oraz φ_2 wpływa na intensywność strumieni wtórnych $\varphi_{2.T}$ i $\varphi_{1.R}$. Zmienia się ona w ciągu dnia, w zależności od pogody i pory roku, zależy także od lokalizacji obiektów otaczających. Przykłady pokazują, że istotna jest również odległość elementów znajdujących się wewnątrz: te będące bliżej przezroczystej przegrody są lepiej oświetlone i przyczynią się do powstania intensywniejszego obrazu rzeczywistego. W słoneczne dni budynki o przeszklonych elewacjach wydają się bardziej przezroczyste, ponieważ w odbiorze tafli dominuje obraz rzeczywisty i występuje efekt wizualny eliminacji przegrody. Efekt skrajny zanika, gdy zmienia się proporcja strumieni pierwotnych φ_1 oraz φ_2. Wewnętrzne podziały kubatury także w istotny sposób zmieniają bilans wtórnych strumieni świetlnych. Inaczej rozkłada się on w budynkach jednoprzestrzennych, gdzie – działając na przestrzał – strumień wtórny $\varphi_{2.T}$ przepuszczany przez taflę tłumi strumień odbity $\varphi_{1.R}$, a inaczej w tych, w których przestrzeń za taflą jest podzielona przegrodami blokującymi widok na przestrzał.

Odpowiedni dobór parametrów tafli (głównie współczynników T oraz R) definiowanych na etapie produkcji pozwala architektowi wpływać na to, jaka część strumienia pierwotnego zostanie odbita, pochłonięta lub przepuszczona przez taflę. Tym samym możliwa jest regulacja intensywności strumieni wtórnych. Dobór współczynników, odbicia – R lub przepuszczania – T, nie zapewni jednak osiągnięcia

określonego efektu wizualnego na stałe, ponieważ wtórny strumień odbity $\varphi_{1.R}$, który tworzy obraz, zależy od natężenia strumienia pierwotnego φ_1. Jeśli strumień pierwotny φ_1 będzie miał niską intensywność, taki sam stanie się strumień wtórny odbity $\varphi_{1.R}$ i powstający obraz pozorny. Analogiczne reguły kształtują intensywność strumienia przepuszczanego $\varphi_{2.T}$. W odbiorze tafli o większym współczynniku odbicia będzie dominował obraz pozorny, lecz gdy intensywność strumienia przepuszczanego znacznie przekroczy intensywność tego, który się odbija (np. w nocy), obraz rzeczywisty zdominuje pozorny pomimo dużych wartości współczynnika R.

Kąt obserwacji tafli jest równie istotnym czynnikiem wpływającym na proporcje odbieranych obrazów, jak dwa poprzednie. Zmienia się w zależności od punktu obserwacji. Wartości współczynników T, A oraz R pozostają stałe, czyli w przybliżeniu takie, jakie zostały nadane tafli na etapie produkcji, w ramach 40° kąta obserwacji. Jeśli kąt ten zwiększa się, współczynniki tafli zaczynają się zmieniać: zwiększa się R i zmniejsza się T. Zmiany te nie przebiegają w sposób liniowy, następują zgodnie z krzywą wyprowadzoną z równań Fresnela (zob. ryc. 93, s. 186). Przy kącie obserwacji przekraczającym 60° krzywa jest już bardzo stroma – niewielka zmiana kąta powoduje znaczną zmianę wartości współczynników. W odbiorze przezroczystych tafli, nawet takich o małym współczynniku odbicia R, zaczyna dominować obraz pozorny. Zmienia to wygląd budynku w sposób zasadniczy, ale tylko z określonych punktów obserwacji, np. dla tych obserwatorów, których wzrok „ślizga się” po taflach. Efekty wizualne ulegają zasadniczej zmianie, a patrzący, który pierwotnie odbierał obraz rzeczywisty – po zmianie kąta obserwacji na mniej korzystny – może odbierać wyłącznie obraz pozorny. Obserwowany budynek nabiera tym samym innego charakteru. Ta zmiana uzależniona jest także od intensywności strumieni świetlnych. Tafla, obserwowana pod dużym kątem, nadal może być odbierana jako przezroczysta, jeśli zostanie podświetlona. Mimo niekorzystnego współczynnika R obraz rzeczywisty zdominuje wtedy obraz pozorny.



Ryc. 34. Zasada działania filtra optycznego. Z pełnego widma światła o barwie złożonej (np. białego światła dziennego) filtr wydziela tylko określone pasmo częstotliwości, blokując przepuszczanie światła innej częstotliwości.

Źródło: opracowanie autor

3.2. Tafle barwne

Każda tafla przepuszczająca światło działa jak filtr optyczny. Filtry są urządzeniami, które służą do osłabiania natężenia światła (filtry neutralne), lub do wyodrębniania ze światła o barwie złożonej – np. białego światła dziennego – określonego wycinka widma światła widzialnego. Te drugie określane są jako filtry selektywne, ponieważ „dokonują selekcji" tych części widma, które przez filtr są przepuszczane [142]. **Tafle barwne działają jak filtry selektywne**, w rezultacie wybiórczego pochłaniania następuje nie tylko zmniejszenie wartości strumienia przepuszczanego i przyciemnienie obserwowanego obrazu, ale także zmiana jego barwy. Zmiana ta nastąpi, ponieważ część barw składowych światła białego zostaje przez filtr pochłonięta w większym stopniu niż inne – zmienia się struktura widma. Zjawisko „barwienia" światła nie polega więc na „dodawaniu koloru do światła", ale wręcz przeciwnie – na „odejmowaniu" poszczególnych barw – fragmentów widma od światła o barwie złożonej, np. białego światła dziennego. Tafla czerwona nie jest więc czerwona, jedynie pochłania wszystkie inne długości fali światła poza barwą czerwoną (ryc. 34).

W przypadku obserwacji tafli barwnej przez obserwatora O_1 dojdzie do odbioru dwóch obrazów powstających przy udziale wtórnych strumieni świetlnych: odbitego $\varphi_{1.R}$ i przepuszczonego przez taflę $\varphi_{2.T}$, tak samo jak w przypadku tafli przezroczystej, z tą różnicą, że obraz rzeczywisty zostanie zabarwiony przy przejściu strumienia przez filtr. W przypadku zastosowania tafli o określonych właściwościach zabarwieniu może ulec także obraz pozorny, do którego powstania przyczynia się strumień świetlny odbity $\varphi_{1.R}$. Wtedy odbierana przez obserwatora barwa obrazu będzie wypadkową barw obrazów tworzonych przez strumienie $\varphi_{2.T}$ i $\varphi_{1.R}$. Obecnie na drodze badań eksperymentalnych są ustalane reguły tworzenia tej barwy, ma to ważne znaczenie dla spostrzegania przezroczystości w środowisku barwnym, określanym także jako chromatyczne. Szczegółowe informacje na ten temat zostały podane w rozdz. 6.7.4.1, s. 228. Zabarwiony obraz wynikowy będzie zależał od intensywności strumieni wtórnych $\varphi_{1.R}$ oraz $\varphi_{2.T}$, podobnie jak w przypadku tafli przezroczystych.

Obecnie możliwości technologiczne pozwalają na otrzymywanie ograniczonej gamy szklanych tafli barwionych w masie w przemysłowym procesie pławienia, tym samym, w którym otrzymuje się tafle pławione bezbarwne. Dostępne są niebieskie, zielone, brązowe i neutralne (szare) tafle barwione w masie. Niewielkie gabarytowo tafle wykonane ze szkła o dowolnych barwach wyrabiane są w procesie krótkoseryjnej produkcji ręcznej, niezmieniającej się właściwie od czasów średniowiecza. Wynika to z konieczności dodawania chemicznych związków barwiących

– tlenków i soli metali – w innej proporcji do każdego wsadu piecowego. Otrzymywanie tafli barwnych z tworzyw sztucznych nie podlega tym ograniczeniom, więc współcześnie techniką alternatywną do barwienia materiału w masie jest nakładanie na tafle bezbarwne folii barwnych wykonanych z tworzyw sztucznych.

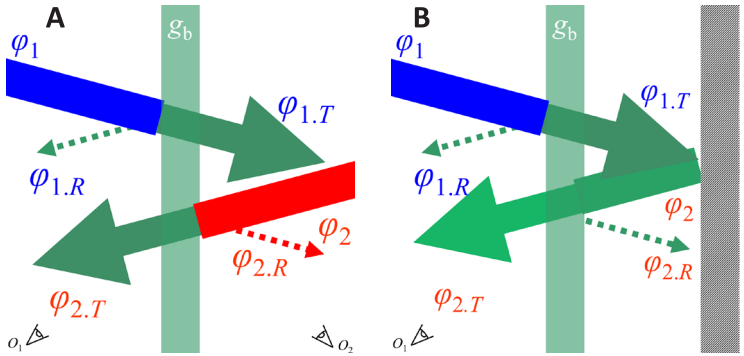
Niezależnie od selektywności – czyli barwy – filtry, które pochłaniają niewiele światła, określane są mianem tzw. filtrów jasnych, a te, które pochłaniają znaczną jego ilość: filtrów ciemnych, o tzw. dużej gęstości optycznej. Tafle standardowego szkła budowlanego pod względem optycznym są tzw. zielononiebieskimi filtrami jasnymi, ale nie są jednak filtrami neutralnymi. Zostały omówione łącznie z taflami przezroczystymi w rozdz. 3.1, s. 67.

3.2.1. Efekty wizualne w odbiorze tafli barwnych

W przypadku tafli barwnych reguła tworzenia obrazu wynikowego odbieranego przez obserwatora jest taka sama, jak dla tafli przezroczystych. Obraz wynikowy powstaje w rezultacie nałożenia dwóch obrazów składowych – pozornego i rzeczywistego. Wzajemna relacja strumieni, które przyczyniają się do powstania tych obrazów, determinuje efekty wizualne odbierane przez obserwatora. W przypadku tafli barwnych przeważającym efektem wizualnym będzie **zabarwienie obrazu**[68] na całej powierzchni tafli. Pod względem ilościowym – zmniejszenie wartości strumienia świetlnego – działanie filtra będzie zależne jego „gęstości”[69], czyli od tego, jak duża część strumienia zostanie pochłonięta. Reguła sformułowana w odniesieniu do tafli przezroczystych pozostaje tu niezmienna. Pod względem jakościowym – zabarwienie strumienia świetlnego – działanie filtra będzie determinowane przez jego monochromatyczność/selektywność, czyli potencjał wydzielenia jak najwęższego fragmentu widma o zbliżonej długości fali[70].

Podobnie jak w przypadku tafli przezroczystych, także w taflach barwnych może dojść do wystąpienia **efektów skrajnych**, gdy wtórne strumienie – przepuszczany $\varphi_{2.T}$ albo odbity $\varphi_{1.R}$ – będą zamiennie dominowały. Zabarwienie obrazu widoczne jest najlepiej, gdy tafle barwne są podświetlone intensywnym strumieniem świetlnym. W takich warunkach obserwowane są zwykle np. witraże. Powstawanie obrazów pozornych opisywane jest przez te same reguły, które miały

[68] W literaturze używane jest także określenie koloryzacja, ale angielskie znaczenie tego terminu (*colorization*) nie oznacza zabarwienia obrazu na całej powierzchni tafli, ale proces „kolorowania”, np. czarno-białego filmu. W pracy zastosowano więc określenie „barwienie” zamiennie z określeniem „koloryzacja”.
[69] Gęstość optyczna jest wyrażona jako logarytm dziesiętny strumienia padającego do strumienia przepuszczanego.
[70] Idealnie monochromatyczne filtry nie istnieją, a światło monochromatyczne uzyskiwane jest przy użyciu laserów.



Ryc. 35. Drogi strumieni świetlnych. **A.** Przy barwieniu bezpośrednim. **B.** Przy barwieniu pośrednim.

Źródło: opracowanie autor



Ryc. 36. Zabarwienie obrazu przy jedno- i dwukrotnym przepuszczaniu strumienia świetlnego przez barwną taflę. Hotel Andel's Berlin w Berlinie (arch. Seeger Müller Architekten, 2009; oryg. Aldo Rossi). Zob. również tab. 2, poz. 17, s. 125.

Źródło: fot. i opracowanie autor

zastosowanie dla tafli przezroczystych. Udział obrazu rzeczywistego może zostać zmniejszony np. przy zwiększającym się kącie obserwacji lub gdy na taflę działa intensywny strumień pierwotny φ_1, którego następstwem jest intensywny wtórny strumień odbity $\varphi_{1.R}$. Udział zabarwionego obrazu rzeczywistego będzie się w takim przypadku zmniejszał na rzecz zwiększającego się udziału obrazu pozornego, zwykle również zabarwionego w wyniku odbicia promieni od powierzchni tafli barwnej.

3.2.2. Czynniki determinujące zabarwienie obrazu

Zjawisko optyczne zabarwienia strumienia świetlnego manifestuje się w postaci efektu wizualnego zabarwienia obrazu rzeczywistego. Intensywność zabarwienia różni się w zależności od drogi promienia światła (ryc. 35). Następuje w **sposób bezpośredni**, gdy strumień pierwotny przepuszczany φ_2 zostaje zabarwiony w wyniku interakcji z taflą i – jako strumień wtórny $\varphi_{2.T}$ – przyczynia się do powstania obrazu rzeczywistego. W drugim przypadku do zabarwienia obrazu rzeczywistego dochodzi w **sposób pośredni**. Pierwotny strumień świetlny φ_1 w wyniku interakcji z taflą zostaje zabarwiony, oświetla elementy i obiekty znajdujące się po jej drugiej stronie. Strumień, który odbija się od tych obiektów – strumień wtórny φ_2 – zostaje ponownie przefiltrowany przez barwną taflę i powstaje podwójnie filtrowany strumień $\varphi_{2.T}$. W rezultacie obraz rzeczywisty jest ciemniejszy – obserwowane powierzchnie mają mniejszą jaskrawość – ponieważ powstaje przy udziale strumienia świetlnego dwukrotnie pochłanianego przy przepuszczaniu przez barwny filtr.

Różnicę w stopniu zabarwienia obrazu rzeczywistego można zaobserwować na przykładzie niebieskich i zielonych tafli zastosowanych na elewacji Hotelu Andel's Berlin w Berlinie (arch. Seeger Müller Architekten, 2009; oryg. Aldo Rossi). Typowa i niewyróżniająca się elewacja hotelu wykonana z kamiennych płyt została urozmaicona taflami barwnego szkła mocowanymi od zewnątrz. Pełnią one funkcję dekoracyjną. Barwna tafla przesłania jedynie część otworu okiennego, dzięki temu nie wpływa w sposób dominujący na barwę światła w pomieszczeniu. Na ryc. 36 można wyraźnie wyróżnić te obszary pola widzenia, w których doszło do bezpośredniego i pośredniego barwienia strumienia świetlnego. W miejscu gdzie strumień jest dwukrotnie filtrowany przez barwną taflę, obraz staje się ciemniejszy, a zabarwienie znaczniej intensywniejsze – kolory są bardziej nasycone. Na fotografii oznaczono to odpowiednim symbolem efektu wizualnego.

Inną technologię barwienia światła przepuszczanego przez tafle zastosowano w przypadku przeszklonego wiatrołapu w domu handlowym Renoma we Wrocławiu (arch. Maćków Pracownia

Projektowa, 2009). Jest on łącznikiem między nową bryłą parkingu a zabytkowym obiektem domu handlowego Wertheim z lat 30. XX wieku (arch. Hermann Dernburg) [147; 148]. W przeszkleniu wykorzystano „szkło przeciwsłoneczne Pilkington Suncool™ 70/40 OW, które skutecznie chroni przed słońcem i jest niemal bezbarwne" [201]. Pierwotne właściwości tafli zostały zmodyfikowane przez nałożenie folii zamieniających tafle przezroczyste w tafle barwne (ryc. 37). Ta modyfikacja to dzieło nazwane „Akwarium" autorstwa Maurycego Gomulickiego – grafika, fotografa i twórcy instalacji artystycznych. Wykorzystane barwy „żółć, czerwień i błękit symbolizują materię. Pojawiające się w dziele barwy neutralne – czerń, biel i szarość – wyrażają przestrzeń" [5]. Obraz wynikowy, który odbiera obserwator, zależy od bilansu wtórnych strumieni świetlnych tworzących obrazy składowe. Od strony wnętrza, gdy dominuje strumień przepuszczany $\varphi_{1.T}$, w obrazie rzeczywistym widoczne jest wyraźne zabarwienie, które jest proporcjonalne do selektywności i gęstości filtrów. Te same tafle obserwowane od zewnątrz wyglądają inaczej. Dużo większa wartość wtórnego strumienia odbitego $\varphi_{1.R}$ i udział obrazu pozornego w obrazie postrzeganym przez obserwatora powodują, że

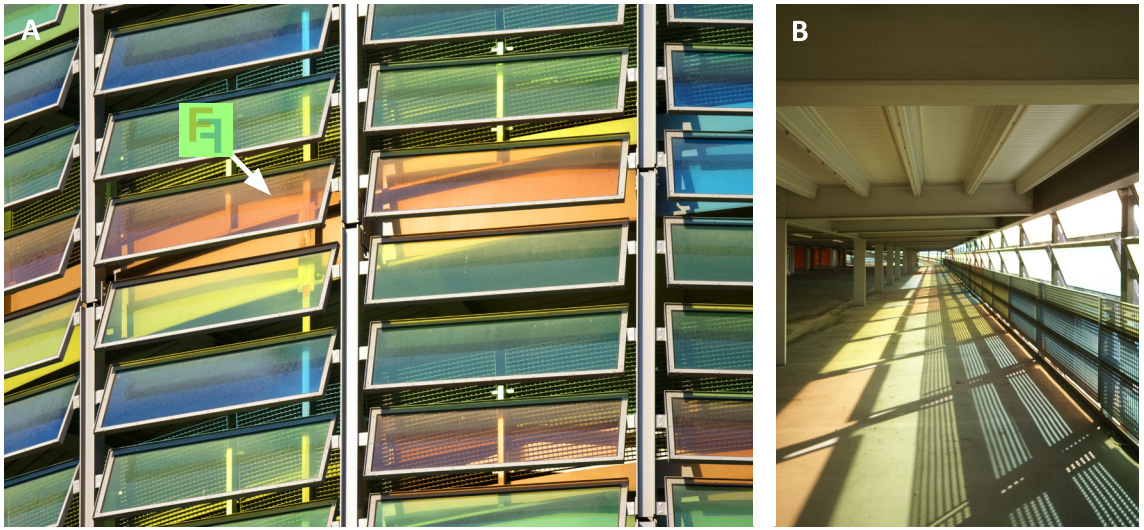


Ryc. 37. A. Tafle barwne podświetlone silnym strumieniem świetlnym. **B.** Tafle barwne oświetlone strumieniem świetlnym. Instalacja artystyczna pod nazwą „Akwarium" autorstwa Maurycego Gomulickiego. Dom handlowy Renoma we Wrocławiu (arch. Maćków Pracownia Projektowa, 2009). Zob. również tab. 2, poz. 18 i 19, s. 126.

Źródło: fot. i opracowanie autor

zabarwienie jest mniej wyraźne, a w ujęciach, w których kąt obserwacji bliski jest 70–80°, w ogóle przestaje być widoczne. Tafla, pomimo zabarwienia, zmienia się w taflę niemal lustrzaną.

Parking publiczny przy Rathausstrasse w Berlinie (arch. Kny & Weber, 2002–2003) jest budynkiem utylitarnym, którego forma wynika z funkcji i usytuowania. Na fasadzie znajdują się duże otwory umożliwiające cyrkulację powietrza i odprowadzenie spalin. Elewacje parkingu zostały urozmaicone przez wprowadzenie barwnych tafli zamontowanych na niezależnym zewnętrznym stelażu [210]. Użyto tafli w kilku barwach zaaranżowanych w swobodnym układzie kompozycyjnym (ryc. 38). Tafle przygotowano w systemie Vanceva® Color Interlayers, w którym dla osiągnięcia określonej barwy używa się podstawowych barwnych filtrów składowych (m.in. purpurowego, cytrynowego i błękitnego) wykonanych z folii PVB o grubości 0,38 milimetra. Ich kombinacje pozwalają na osiągnięcie ponad 3000 barw tafli przezroczystych. Filtry wkleja się między tafle przezroczystego szkła, ale tafla odbierana jest przez obserwatora jako pojedyncza.



Ryc. 38. A. Odbiór przez obserwatora tafli oświetlonych. **B.** Odbiór tafli podświetlonych. Parking publiczny przy Rathausstrasse w Berlinie (arch. Kny & Weber, 2002–2003). Zob. również tab. 2, poz. 20, s. 126.

Źródło: fot. i opracowanie autor

Zabarwienie widoczne jest od zewnątrz przy intensywnym strumieniu φ_1, gdy obserwator postrzega zmodyfikowany, zabarwiony obraz rzeczywisty. Rozkład i intensywność zabarwienia w polu widzenia przypomina to, które widoczne jest na taflach w Andel's Hotel. Można to dostrzec na fotografiach ukazujących detale. W widokach od wewnątrz dominuje obraz rzeczywisty, tafle są podświetlone, a smugi barwnego światła rozświetlają wnętrze parkingu. Gdy dominuje obraz pozorny, zabarwienie

obrazu rzeczywistego jest mniej widoczne, a barwy tafli w mniejszym stopniu odbierane przez obserwatorów.

Podsumowanie

Tafle barwne działają jak filtry selektywne. Wpływają na zabarwienie zarówno obrazu rzeczywistego, który jest tworzony przez strumień przepuszczany przez taflę, jak i obrazu pozornego powstającego pod wpływem strumienia odbitego. Do zabarwienia światła dochodzi bezpośrednio – gdy bezbarwny strumień świetlny jest przepuszczany przez taflę, i pośrednio – gdy już raz zabarwiony strumień $\varphi_{1.T}$ odbija się od obiektów po drugiej stronie tafli i jest ponownie filtrowany. W tym drugim przypadku strumień jest słabszy i powoduje powstanie mniej intensywnego obrazu rzeczywistego, ale barwy są bardziej nasycone.

3.3. Tafle ornamentowe

Każda tafla przepuszczająca światło działa jak element optyczny. Tafle ornamentowe (*obscure glass, figured glass*) funkcjonują jak zespół przylegających do siebie elementów optycznych: płytek, pryzmatów, soczewek wklęsłych lub wypukłych tworzących uśrednioną płaszczyznę. Tafle ornamentowe w zaproponowanej przez autora typologii stanową ogniwo łączące gładkie tafle przezroczyste – również barwne – z taflami przeświecalnymi, które rozpraszają przepuszczane światło. Powierzchnię tafli ornamentowej można w uproszczeniu porównać z powierzchnią wody, która nie jest płaska, ale jest gładka[71].

Tafle ornamentowe wykonywane są różnymi metodami, z różnych materiałów. Tafle szklane produkuje się metodą walcowania na gorąco. W tym procesie metalowa negatywowa matryca umieszczona na powierzchni bocznej walca odciska na półplastycznej masie szklanej ozdobny relief. Najczęściej stosuje się jeden walec-matrycę i drugi walec gładki[72]. Po zastygnięciu i odprężeniu

[71] Drobny ornament spowoduje jednak zniekształcenie bardzo podobne do rozproszenia światła, zwłaszcza jeśli tafla będzie obserwowana z większej odległości.

[72] Tafle tzw. szkła katedralnego otrzymywano, używając tylko jednego gładkiego walca tzw. metodą *rolled glass*. Płynna masa szklarska była wylewana na metalowy lub grafitowy stół i bardzo szybko – w ciągu kilku sekund – przeciskana pod dużym metalowym walcem. W zależności od technologii albo stół, albo walec były ruchome. Specyficzny relief powstawał w wyniku przylegania gorącej masy szklarskiej do gładkiego walca. Nie stosowano wklęsłych lub wypukłych matryc [231].

tafli możliwa jest jej obróbka standardowymi narzędziami od gładkiej strony. Tafle tego typu wytwarzane są od połowy XIX wieku [66]. Inne niepowtarzalne tafle ornamentowe wykonywane są ze szkła metodą fusingu (ang. *fuse* – topić). Polega ona na powolnym nagrzewaniu płaskiej tafli aż do osiągnięcia punktu plastyczności materiału. Tafla pod wpływem grawitacji przyjmuje kształt wykonanej z piasku formierskiego indywidualnej matrycy[73]. Tafle ornamentowe produkowane z tworzyw sztucznych otrzymuje się metodą odlewania w formach.

3.3.1. Efekty wizualne w odbiorze tafli ornamentowych

W przypadku tafli ornamentowej, podobnie jak tafli przezroczystej, obraz wynikowy postrzegany przez obserwatora składa się z dwóch przenikających się obrazów składowych, tworzonych przez odpowiadające im strumienie świetlne. Dochodzi do uformowania obrazu wynikowego przez promienie odbite oraz przepuszczone przez taflę. Obraz rzeczywisty jest zniekształcony, ponieważ tor promieni składających się na strumień przepuszczany zostaje zmieniony przy przejściu przez taflę. Występujące zniekształcenia obrazu są zależne od sposobu ukształtowania powierzchni tafli ornamentowej.

Taflę ornamentową należy rozpatrywać jak zespół przylegających do siebie elementów optycznych. Wpływają one na tor promieni światła przepuszczanych przez taflę, a w konsekwencji na powstający obraz rzeczywisty. Efektem dominującym w odbiorze wszystkich tafli ornamentowych jest **zniekształcenie obrazu**. Powstaje ono, ponieważ promienie światła przepuszczane przez taflę zostają w innym stopniu odchylone od pierwotnego toru. Zniekształcenia te różnią się lokalnie. **Efekt wizualny powiększenia** lub **pomniejszenia obrazu** występuje miejscowo w tych obszarach tafli, które tworzą soczewki. **Efekt przesunięcia** powstaje analogicznie – tam gdzie lokalnie znajdują się pryzmaty. **Efekt powielenia** obrazu rzeczywistego pojawia się w sytuacji, gdy elementy optyczne tafli ornamentowej ułożone są w regularne serie.

Obraz rzeczywisty obiektów znajdujących się po drugiej stronie tafli ornamentowej często ulega tak dużemu zniekształceniu, że obiekty te przestają być rozpoznawalne. Zagadnienie to opisane jest dokładniej w rozdz. 6.7.4.2, s. 231. Przy przepuszczaniu odchylenie toru poszczególnych promieni jest tak duże, że na siatkówce oka nie może powstać ostry obraz. Obserwator, który nie może zogniskować wzroku na obiektach znajdujących się po drugiej stronie tafli, ogniskuje go na samej tafli. W rezultacie odbiera głównie ozdobny, roślinny lub geometryczny, relief: kompozycyjny

[73] Tafle przygotowywane w ten sposób – stapiane metodą fusingu – są wykonywane m.in. w pracowni Archiglass przez Tomasza Urbanowicza, architekta i artystę specjalizującego się w tworzeniu elementów szklanych na potrzeby architektury [182].



Ryc. 39. Ornamentowe tafle zniekształcające obraz elementów oświetlenia. Fragment ściany osłonowej budynku administracyjnego przy Muzeum Branly w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 2006). Zob. również tab. 2, poz. 21, s. 126.

Źródło: fot. i opracowanie autor

efekt rzeźbiarski samego ornamentu i malarski efekt zniekształconego obrazu. Z tego powodu tafle ornamentowe stosowane są przede wszystkim wewnątrz, w miejscach gdzie pożądane jest przepuszczanie światła, ale obraz jest na tyle zniekształcony, że aż nierozpoznawalny – np. w obudowie kabiny natryskowej. Tafli ornamentowych używa się do szklenia: ścianek działowych, drzwi, mebli, blatów, schodów.

3.3.2. Czynniki determinujące zniekształcenie obrazu

Charakter obserwowanych deformacji zależy od sposobu ukształtowania powierzchni tafli oraz wielkości, krzywizny i właściwości optycznych elementów składowych. Jeśli powierzchnia tafli jest relatywnie gładka, ale pofalowana, załamanie promieni światła skutkuje zniekształceniem geometrycznym obrazu – dystorsją. Jeśli faktura tafli jest bardziej chropowata, odchylone promienie mogą zostać „»znacząco przemieszane«, […] dając w rezultacie obraz rozmyty" [237, s. 367], tak jak w taflach przeświecalnych, które rozpraszają światło. Efekty wizualne zależne są również od odległości, z której tafle są obserwowane. Z bliska obserwator może rozróżniać poszczególne elementy optyczne i odbierać obraz w każdym z obszarów jako odrębny. Ze względu na ograniczoną rozdzielczość wzroku rozróżnienie poszczególnych elementów z większej odległości może nie być możliwe. Wtedy obserwator odbiera obraz uśredniony.

Przykładem wykorzystania tafli ornamentowych jest budynek administracyjny Muzeum Branly w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 2006). Typowa słupowo-ryglowa ściana kurtynowa wyróżnia się tym, że jej poszczególne pola zostały przeszklone taflami o odmiennych właściwościach optycznych: pas nadprożowy szkłem ornamentowym z charakterystycznym załamującym światło wzorem poziomego tłoczenia (ryc. 39). Przez szkło widoczne są elementy wnętrza i oświetlenie. Obraz elementów oświetlenia zostaje specyficznie rozszczepiony, liniowe źródło światła jest **wizualnie powielone** w postaci wielu równoległych odcinków. Zniekształcenia wynikają z tego, że relief na szkle jest kształtowany jako zespół równoległych soczewek.

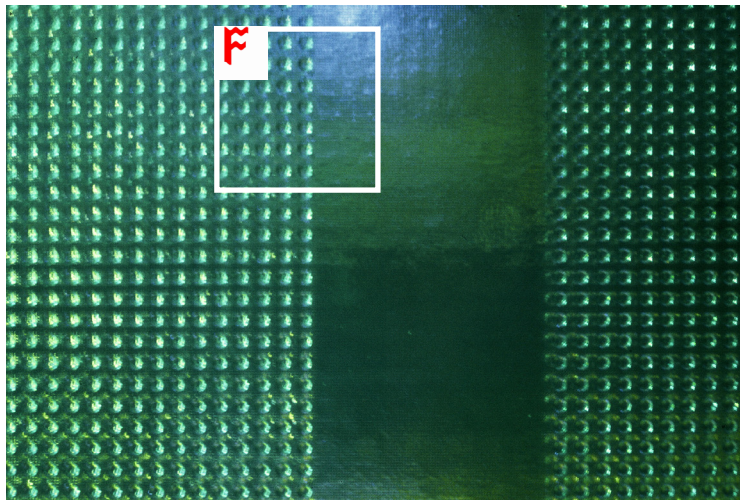
Podobne zniekształcenia obrazu występują na elewacji hotelu Dorint Novotel Messe w Riem Arcaden w Monachium (arch. Allmann Sattler Wappner Architekten, 2004) [104, s. 106]. Obiekt powstał w symetrycznym układzie z bliźniaczym budynkiem biurowca, tworząc otwarcie prowadzące do zespołu handlowego. Architekci porównują obydwa obiekty do uchylającej się „scenicznej kurtyny" [web 9] i w tej metaforze poszukują inspiracji formalnych, także wizualnych. Elewacja hotelu została osłonięta elementami wykonanymi z ceowych profili szklanych o wyraźnym





Ryc. 40. Profile szklane filtrują światło, zniekształcając obraz rzeczywisty. Fragment ściany osłonowej hotelu Dorint Novotel Messe w Riem Arcaden w Monachium (arch. Allmann Sattler Wappner Architekten, 2004). **A.** Widok ogólny. **B.** Detal. Zob. również tab. 2, poz. 22, s. 126.

Źródło: fot. i opracowanie autor



Ryc. 41. Szkło ornamentowe z reliefem o różnej skali po dwóch stronach tafli. Fasada budynku Towarzystwa Ubezpieczeniowego Lloyda w Londynie (arch. Richard Rogers Partnership, 1979–1986).

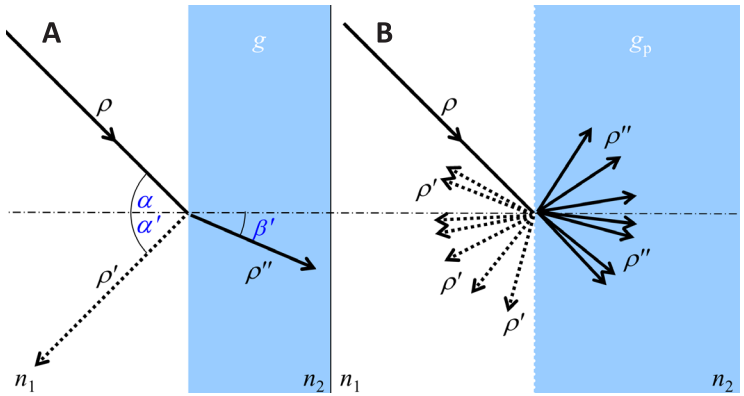
Źródło: fot. Maciej Jankowiak – wykorzystano za zgodą

pasowym reliefie [158]. Tworzą one nieregularną, zewnętrzną dekoracyjną obudowę (ryc. 40). Obraz drugiego planu jest zniekształcony przez ornamentowe profile. Linie proste są zdeformowane, podzielone na przesunięte „schodkowe" segmenty. Elementy optyczne są na tyle duże, że poruszający się obserwator dostrzega charakterystyczne migotanie, gdy plany elewacji pozornie przesuwają się względem siebie. Przypomina to falującą tkaninę. W oddaleniu od obiektu efekt ten zanika, ponieważ obserwator odbiera uśredniony obraz, nie rozróżniając już szczegółów.

Zmniejszenie wielkości elementów optycznych, które tworzą taflę ornamentową, prowadzi do rozproszenia światła. W budynku Towarzystwa Ubezpieczeniowego Lloyda w Londynie (arch. Richard Rogers Partnership, 1979–1986) wykorzystano do tego celu szkło ornamentowe o regularnym, bardzo drobnym reliefie. Fasadę budynku skonstruowano z „prefabrykowanych segmentów o wymiarach 1,8 × 3,35 m" [61, s. 91]. Zewnętrzna tafla wykonana jest z prototypowego unikatowego szkła „perełkowego", zaprojektowanego we współpracy z firmą Pilkington (ryc. 41). Dwie powierzchnie tafli mają odmienną geometrię. Po jednej stronie znajdują się drobne perełki o promieniu krzywizny około 0,5 mm, po drugiej – wyraźnie większe soczewki paraboliczne o wielkości 6÷8 milimetrów. Do produkcji szkła wykorzystano specjalne stalowe wałki, które odciskały relief w masie szklanej. Projekt był przedsięwzięciem prototypowym, wymagał rozbudowanego procesu studiów na modelach i testowania własności optycznych szkła [220, s. 147]. **Sumaryczny efekt wizualny** załamania promieni światła bardzo przypomina rozproszenie, równomierną ich dystrybucję. Można go obserwować zarówno w dzień, podczas operowania przez słońce, jak i w nocy, gdy budynek zostaje podświetlony od środka.

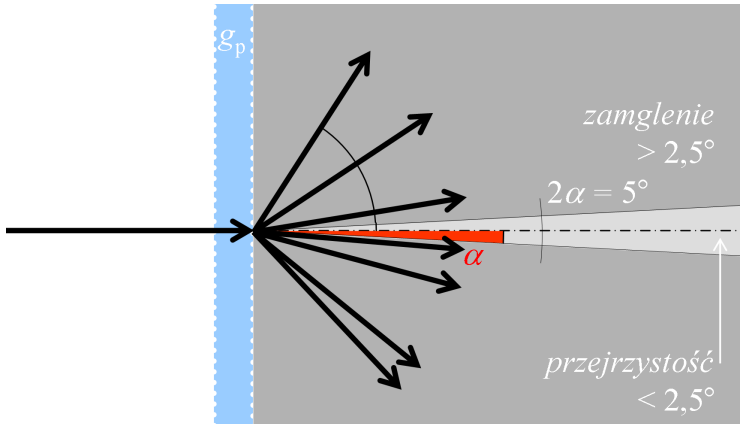
Podsumowanie

Tafle ornamentowe mogą być rozważane jak zespoły elementów optycznych umieszczonych obok siebie: soczewek, pryzmatów, płytek. Elementy te w wyniku zjawiska załamania zmieniają tor przepuszczanych promieni światła. Charakter obserwowanych zniekształceń zależy od sposobu ukształtowania powierzchni tafli ornamentowej, od ustawienia elementów optycznych oraz ich wielkości. Przy drobniejszych reliefach już z odległości kilkudziesięciu centymetrów nie dostrzega się pojedynczych soczewek, obraz jest uśredniony, wydaje się nieostry. Obserwator, który nie może zogniskować wzroku na obiektach po drugiej stronie tafli, skupia spojrzenie na samej tafli. W rezultacie odbiera głównie ozdobny, roślinny lub geometryczny, relief.



Ryc. 42. Porównanie odbicia lustrzanego i odbicia rozproszonego w materiałach przepuszczających światło. **A.** W przypadku odbicia lustrzanego od tafli przezroczystej g jeden padający promień światła ρ zostanie jednocześnie odbity – jako jeden promień ρ' – i jednocześnie załamany – jako jeden promień ρ''. **B.** W przypadku odbicia rozproszonego od tafli przeświecalnej g_p jeden padający promień światła ρ zostanie odbity jako wiele promieni ρ' i jednocześnie załamany jako wiele promieni ρ'' skierowanych w przypadkowych kierunkach.

Źródło: opracowanie autor



Ryc. 43. Graficzna ilustracja parametrów rozproszenia: zamglenia i przejrzystości tafli przeświecalnych. Zamglenie określa liczbę promieni, które odchyliły się od pierwotnego toru o więcej niż 2,5°, a przejrzystość – o mniej niż 2,5°.

Źródło: opracowanie autor na podstawie [60]

3.4. Tafle przeświecalne[74]

Rozproszenie światła jest powszechnym zjawiskiem optycznym. Polega na rozbiciu – rozproszeniu – pojedynczego padającego promienia światła na wiele mniejszych **wtórnych promieni rozchodzących się po przypadkowych, prostoliniowych torach, w różnych kierunkach.** W materiałach nieprzepuszczających światła przyjmuje postać rozproszonego odbicia i jest spowodowane niejednorodnościami powierzchni, od której strumień świetlny się odbija (chropowatością – nierównościami większymi od długości fali światła). W tym przypadku jeden promień padający jest odzwierciedlany jako wiele promieni wtórnych skierowanych w wielu przypadkowych kierunkach[75].

Rozproszenie promienia przepuszczanego spowodowane jest **niejednorodnościami materiału, w którym światło się rozchodzi**. Ośrodek rozpraszający bądź występuje na powierzchni materiału, bądź jest równomiernie rozmieszczony w jego masie (np. w szkle mlecznym, białym szkle organicznym, cieczy). Rozproszenie promienia odbitego zależy od jakości powierzchni, od której się odbija. W przypadku powierzchni gładkiej zostanie odbity kierunkowo, tworząc obraz pozorny, w przypadku chropowatej – nastąpi odbicie rozproszone, jak w materiałach, które nie przepuszczają światła. Porównanie obu zjawisk optycznych przestawiono na ryc. 42.

W przypadku tafli **przeświecalnej** – rozpraszającej światło – proces odbioru obrazów przez obserwatora jest taki, jak przy tafli przezroczystej. Postrzegany obraz wynikowy składa się z dwóch nałożonych obrazów składowych: pierwszego tworzonego przez strumień odbity $\varphi_{1.R}$ i drugiego – przez strumień $\varphi_{2.T}$ przepuszczany przez taflę przeświecalną. Obrazy różnią się jednak znacznie od tych, które tworzone są w przypadku tafli przezroczystych.

W badaniach nad materiałami wykonuje się pomiary dwóch parametrów rozproszenia przy przepuszczaniu strumienia świetlnego przez taflę przeświecalną: wąsko- i szerokokątnego (ryc. 43). Parametr nazywany **zamgleniem**[76] (*haze*) określa liczbę promieni światła, które odchyliły się o więcej niż 2,5° od pierwotnego toru – jest to tzw. rozproszenie szerokokątne. Opisuje głównie

[74] Określenia „przeświecalny, przeświecalność" zostały zaczerpnięte z książki prof. Wacława Celadyna pt. *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej* [67, s. 169]. Stanowią one dosłowne tłumaczenie łacińskiego słowa *translucent.* Ze względu na powszechne użycie terminów „przezroczysty" i „przejrzysty" jako synonimów autor zdecydował o włączeniu określenia „przeświecalny" do opracowania.

[75] Rozproszone światło wydostaje się na zewnątrz w wielu kierunkach. Dochodzi wtedy do zjawiska **luminescencji** [web 22], czyli świecenia ośrodka całą powierzchnią.

[76] W fizyce używane jest również określenie rozmycie (*blur*). Termin ten z języka ang. można tłumaczyć jako „nieostry", „rozmyty".

stopień „rozmycia" obrazu i zmniejszenie kontrastu. Parametr nazywany **przejrzystością** lub **klarownością** (*clarity*) określa liczbę promieni odchylających się o mniej niż 2,5° od pierwotnego toru i opisuje, jak dokładnie będą odwzorowywane szczegóły obiektów, które obserwator dostrzega przez taflę – jest to tzw. rozproszenie wąskokątne. Ten drugi parametr stosuje się do opisu strumieni świetlnych o dużym natężeniu, których promienie w wyniku rozproszenia są odchylane o niewielki kąt [60, s. 61–62]. Przedstawioną terminologię przyjęto w opisie występujących efektów wizualnych w taflach przeświecalnych.

3.4.1. Efekty wizualne w odbiorze tafli przeświecalnych

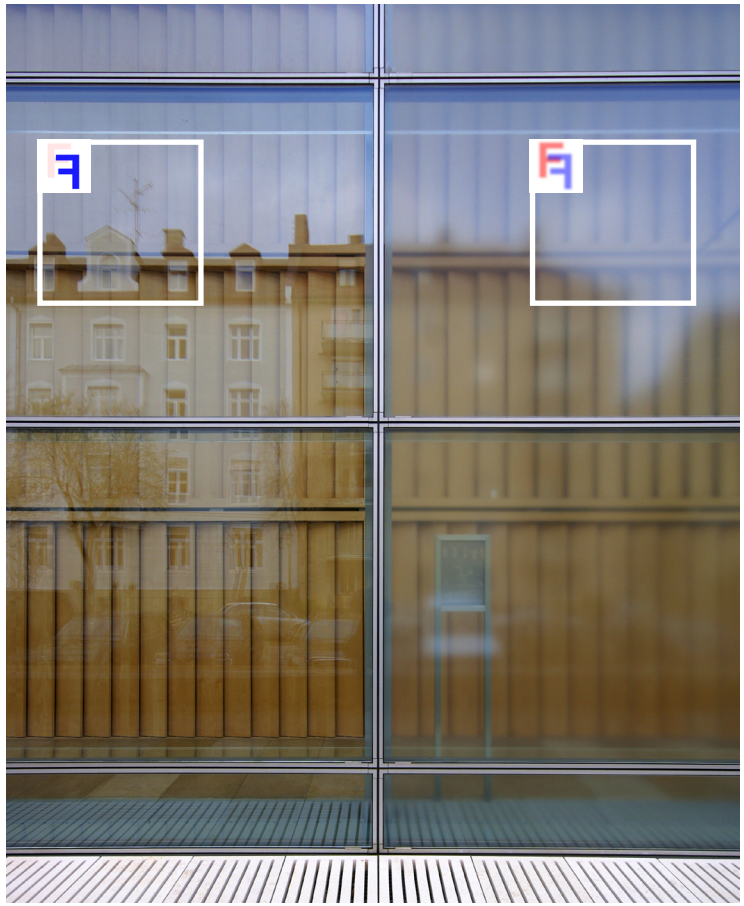
Ze względu na rozdzielenie promienia przepuszczanego na wiele mniejszych, wtórnych promieni rozchodzących się w przypadkowych kierunkach, tafla przeświecalna może przepuszczać strumienie świetlne, ale ich promienie **nie mogą tworzyć ostrych obrazów rzeczywistych**[77]. Wyjaśnienie tego zjawiska jest następujące. Tafla przezroczysta to element układu optycznego, który modyfikuje tor przepuszczanych promieni światła – przy załamaniu następuje odchylenie od pierwotnego toru[78]. Jednemu promieniowi pierwotnemu można przypisać tylko jeden wtórny promień przepuszczany. W tafli przeświecalnej jeden promień pierwotny zostaje „rozproszony" na wiele przepuszczanych promieni wtórnych rozchodzących się po prostoliniowych torach w wielu przypadkowych kierunkach. Tafla przeświecalna staje się więc „źródłem nowych promieni światła" [53, s. 561]. Działa jak ekran w układzie optycznym. Na taflach materiałów przeświecalnych dochodzi do utworzenia obrazu, który jest „emitowany" przez taflę w wyniku „przecięcia" strumienia świetlnego. Obrazy: rzeczywisty i pozorny w taflach przezroczystych powstają na siatkówce oka obserwatora[79]. Rozproszenie światła przy przepuszczaniu przez taflę przeświecalną ma zasadnicze znaczenie dla odbieranych efektów wizualnych. Wacław Celadyn pisze: „O ile efekt lekkości można uzyskać przy zastosowaniu szkła przezroczystego […], o tyle użycie szkła przeświecającego wrażenie takie w znacznym stopniu lub całkowicie uniemożliwia. Budynek zamknięty tego rodzaju przegrodami staje się masywny i upodobniony do obiektów ze ścianami nieprzepuszczającymi światła" [67, s. 169].

---

[77] W opisie matematycznym rozproszenie nie jest funkcją, jak przepuszczanie światła (transmisja), ale dystrybucją, czyli rozkładem prawdopodobieństwa określającym, pod jakim kątem załamie się dany promień.

[78] Przy odbiciu lustrzanym następuje zmiana zarówno toru, jak i kierunku strumieni.

[79] Obraz pozorny występuje w przestrzeni pozornej, poza układem optycznym, ale żeby go zarejestrować, tworzone jest jego odwzorowanie na siatkówce oka obserwatora.



Ryc. 44. Porównanie efektów wizualnych towarzyszących przepuszczaniu światła przez taflę przezroczystą i taflę przeświecalną. Zarówno strumień przepuszczany, jak i strumień odbity ulegają rozproszeniu. Poza parametrami optycznymi tafli wszystkie pozostałe warunki obserwacji są niezmienne. Kościół pw. Najświętszego Serca Jezusowego w Monachium (arch. Allmann Sattler Wappner Architekten, 2000).

Źródło: fot. i opracowanie autor

W odbiorze tafli przeświecalnych dominował będzie **efekt wizualny zamglenia obrazu** (*haze*)[80], a także **efekt wizualny zatarcia konturów** obiektów znajdujących się po przeciwnej stronie tafli. Te efekty wizualne są powszechnie wykorzystywane przez architektów do tworzenia symbolicznego wrażenia dematerializacji i zatarcia granicy budynku, gdy tafla i jej konstrukcja są jedynymi elementami widzianymi w sposób ostry. Dodatkowym, równocześnie występującym, efektem wizualnym będzie **zmniejszenie kontrastu** obrazu rzeczywistego tworzonego przez strumień przepuszczany przez taflę.

Obrazy tworzone na tafli przeświecalnej podlegają szczególnym regułom powstania. Obraz obiektów zlokalizowanych po przeciwnej stronie tafli będzie **tym bardziej zamglony, im większa jest odległość obiektów od tafli**. Zmniejszy się także wartość strumienia świetlnego, a obraz obiektów będzie tym słabszy, im dalej są zlokalizowane. Na podstawie „różnego stopnia zamglenia obrazu" [53, s. 562] jest możliwe odtworzenie uporządkowania obiektów oraz ocena ich odległości od tafli. Stopień zamglenia może się stać wskazówką dla określenia głębi i szczegółowo rozważany jest w kontekście spostrzegania przezroczystości. Ten aspekt odbioru tafli przeświecalnych został omówiony w rozdz. 6.7.4.3, s. 235.

W przypadku tafli przeświecalnych obraz rzeczywisty zawsze będzie zamglony. Jej chropowata powierzchnia spowoduje to, że zamglony będzie również obraz tworzony przez strumień odbity $\varphi_{1.R}$. Nie dojdzie wtedy do powstania ostrego obrazu pozornego, ponieważ nie nastąpi odbicie lustrzane – kierunkowe. Każdy padający promień światła zostanie rozproszony w postaci wtórnych promieni rozchodzących się w przypadkowych kierunkach – podobnie jak w sytuacji, gdy promień światła pada na chropowatą powierzchnię obiektu, który nie przepuszcza światła. Zmiana ta jest szczególnie dobrze widoczna w budynkach, w których tafle o odmiennych parametrach zostały ustawione obok siebie, tak aby możliwe było porównanie efektów wizualnych w podobnych warunkach oświetlenia. Przykład takiego ustawienia tafli przedstawiono na ryc. 44.

Tafle przeświecalne, poza tym, że służą osiągnięciu efektu wizualnego zamglenia obrazu, wykorzystywane są także w celu modyfikowania oświetlenia pomieszczeń. Zastosowanie przegród przeświecalnych przyczynia się do równomiernego rozkładu światła we wnętrzach. Uważa się je za „**bardziej jednolite**", ponieważ wielokierunkowe rozproszone światło powoduje „wyraźnie

[80] W pracy przyjęto nazwę „zamglony" z uwagi na określenia parametrów optycznych, które obowiązują w technice optycznej i metrologii.



Ryc. 45. Cień rzucony na przeświecalne przeszklenie. Wyraźne odwzorowanie obiektów zacieniających spowodowane jest silnym strumieniem świetlnym pochodzącym od słońca. Hala wystawowa nr 7A na terenie targów w Norymberdze (arch. Seipel & Partner, 2000).

Źródło: fot. i opracowanie autor

mniejszy kontrast" [32; 83] oświetlonych powierzchni. Większy nacisk położony jest na odbiór przestrzeni jako całości, a nie na konkretne obszary, które przyciągają uwagę obserwatora. Rozproszone światło „zatraca przestrzenność przedmiotu, zwłaszcza kształtów posiadających ostre krawędzie, natomiast przy bocznym kierunku padania promieni poprawnie kształtuje bryły o powierzchniach zaokrąglonych" [82, s. 11]. Neutralne światło rozproszone „jednoczy wszystkie elementy obrazu, zamiast podkreślać ich niezależność i samowystarczalność" [80].

Istotna różnica w występujących efektach wizualnych dotyczy cienia. Rzucony na taflę przezroczystą nie jest widoczny dla obserwatora znajdującego się po drugiej stronie[81], a cień rzucony na taflę przeświecalną – przeciwnie. Strefa między obszarem oświetlonym a obszarem w pełnym cieniu określana jest mianem **półcienia** [82, s. 36]. Rozmiar strefy półcienia zależy więc od źródła światła. Jeśli jest to źródło światła rozproszonego, wielkość strefy półcienia podlega regule odległości – im obiekt zacieniający jest bliższy, tym mniejsza jest strefa półcienia. Jeśli źródłem strumienia świetlnego jest np. Słońce – przyjmuje się, że promienie tworzące strumień światła dziennego są równoległe – odległość obiektów nie ma znaczenia, strefa półcienia będzie bardzo wąska, a sam cień zawsze tak samo „ostry". Przykładem jest przeświecalne przeszklenie hali nr 7A na terenie targów w Norymberdze (arch. Seipel & Partner, 2000) (ryc. 45). Efekt wizualny półcienia na przegrodach wykonanych z materiałów przeświecających bywał wielokrotnie wykorzystywany. Elementem japońskiej tradycji są przesuwane ścianki *shōji* [20, s. 41] wykonane z bambusowego szkieletu wypełnionego papierem ryżowym. Umożliwiały one zmiany charakteru wnętrza: „kiedy przejrzyste ekrany są otwarte, dają wgląd na naturę, kiedy zostaną zamknięte, stają się nieprzezroczystą płaszczyzną, która promieniuje światłem" [140, s. 6]. Cień rzucony powodował, że *shōji* zamieniały się w ekrany jak w tradycyjnym japońskim teatrze cieni.

3.4.2. Czynniki determinujące efekty wizualne

Dla obrazów, które widoczne są na taflach przeświecalnych, istotne znaczenie mają ich szczegółowe parametry optyczne i **położenie ośrodka rozpraszającego światło** w układzie optycznym. Odmienna struktura wewnętrzna tafli przeświecalnych sprawia, że można wyróżnić dwa rodzaje rozpraszania: zachodzące na **powierzchni** lub w całej **masie materiału** przepuszczającego światło. W skali architektonicznej różnice te powodują wystąpienie odmiennych **efektów wizualnych**. W określonych przypadkach efekty te pojawiają się pojedynczo, w innych dochodzi do ich nałożenia w różnych

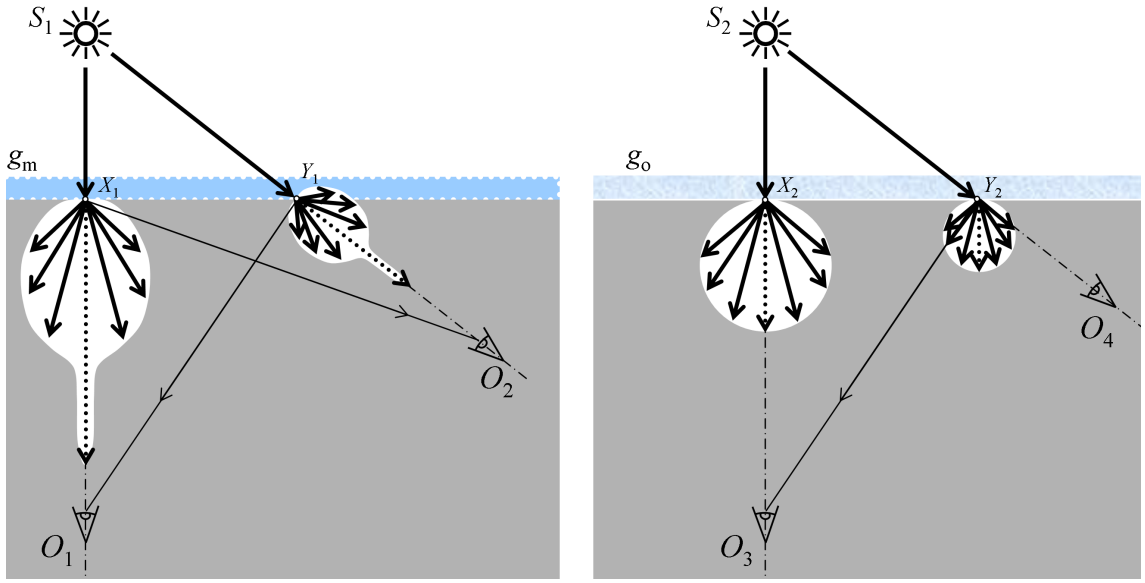
[81] Strumień świetlny przepuszczany nie zmienia kierunku, więc nie staje się widoczny dla obserwatora.

proporcjach. Efekty wizualne zostaną przeanalizowane w zależności od tego, jak kształtowana jest struktura przeświecalnej tafli.

3.4.2.1. Rozproszenie powierzchniowe

Rozproszenie powierzchniowe, określane także jako **matówkowe**, zachodzi na powierzchni chropowatej tafli. Tworzące ją soczewki i pryzmaty, o rozmiarach porównywalnych z długością fali światła, rozpraszają je, powodując powstanie wielu promieni wtórnych. Przy rozproszeniu powierzchniowym kierunek części promieni wtórnych jest zgodny z kierunkiem promienia pierwotnego (ryc. 46). Charakterystyczne dla tafli przeświecalnych rozpraszających matówkowo jest relatywnie niewielkie **zamglenie obrazu** obiektów znajdujących się po drugiej stronie tafli i stosunkowo duża **przejrzystość** umożliwiająca dostrzeżenie ogólnych konturów obiektów po drugiej stronie tafli. Stopień tego **zamglenia** będzie zależny od odległości obiektów od tafli, zgodnie z zasadą – im bliżej, tym mniejsze zamglenie.

W produkcji tafli przeświecalnych dokonuje się modyfikacji powierzchni materiału pierwotnie przezroczystego – przemysłowych tafli pławionych o dwóch powierzchniach gładkich. Rozproszenie na powierzchni materiału ma miejsce w płytkiej warstwie powierzchniowej ośrodka rozpraszającego.

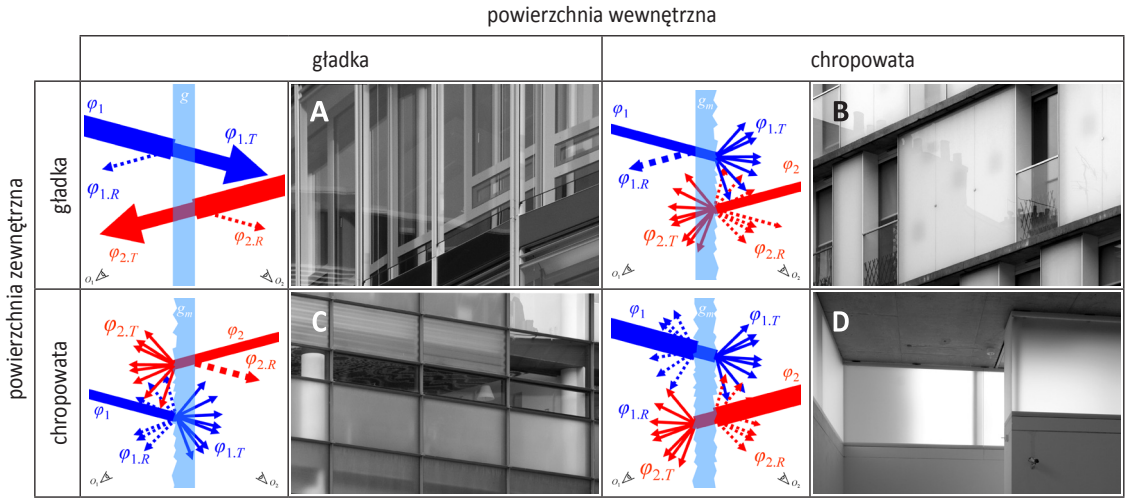


Ryc. 46. Porównanie rozproszenia powierzchniowego – matówkowego oraz rozproszenia w masie – opalowego. Promienie światła wysyłane są przez dwa identyczne źródła światła S_1 oraz S_2. Padają na taflę przeświecalną g_m (matówkową) lub g_o (opalową) pod kątem prostym w punktach X_1 i X_2. Przy rozproszeniu matówkowym najsilniejszy promień wtórny (linia kropkowana) stanowi przedłużenie promienia padającego, przy rozproszeniu opalowym najsilniejszy promień wtórny będzie prostopadły do tafli. Dla obserwatora O_1 punkt X_1 matówki będzie dużo jaśniejszy niż punkt Y_1, dla obserwatora O_3 – różnica w jasności punktów X_2 i Y_2 będzie dużo mniejsza.

Źródło: opracowanie autor na podstawie [82 s. 37 i 39, rys. 9 i 11]

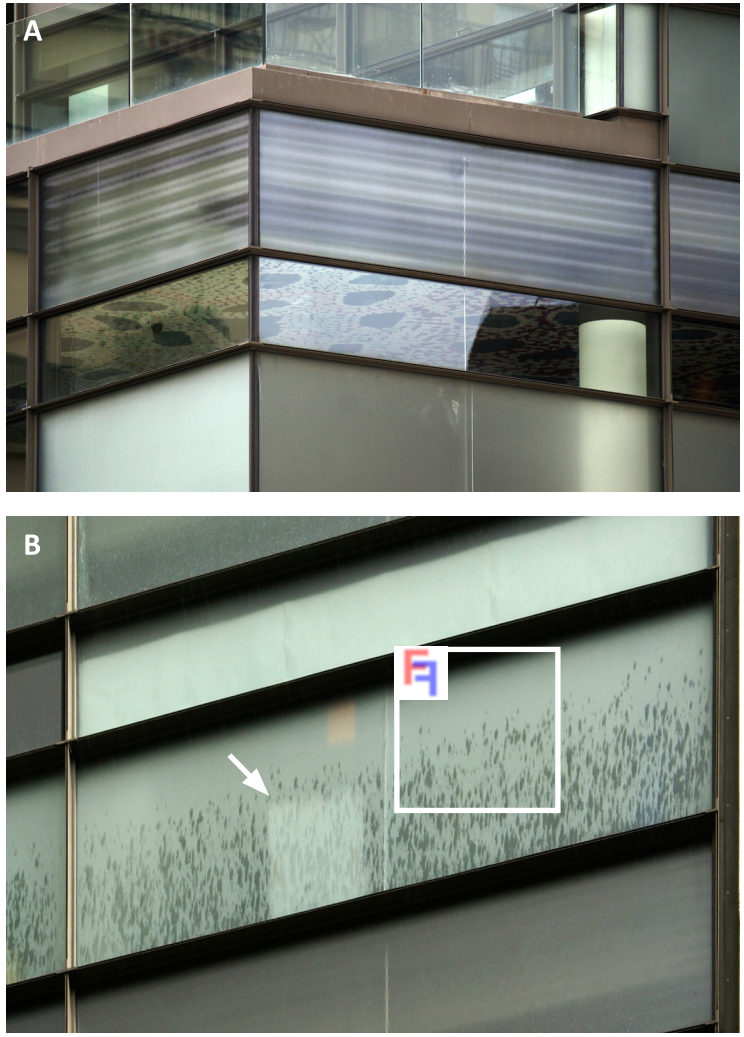
Charakteryzuje je **specyficzna ziarnistość** wynikająca ze sposobu uzyskania chropowatego ośrodka rozpraszającego przez zmatowienie powierzchni szkła lub tworzywa sztucznego w sposób mechaniczny, np. przez piaskowanie, lub chemiczny, np. w procesie trawienia kwasem. Tak powstają powłoki satynujące. Specjalne lakiery, które nakładane są na tafle, dają efekt bardziej równomierny, choć pewna ziarnistość jest nadal dostrzegalna. Rozproszenie światła na powierzchni może zostać osiągnięte także przez pokrycie tafli odpowiednimi gatunkami folii wykonanymi z cienkich warstw tworzyw sztucznych. Niezależnie od sposobu uzyskania powierzchniowej warstwy rozpraszającej materiał, z którego wykonano taflę, ma wpływ na widoczny obraz. W przypadku standardowego szkła sodowo-wapniowego będzie zabarwiony na zielononiebiesko. Gdy zostanie użyte szkło kryształowe lub bezbarwne tworzywa sztuczne, zabarwienie nie będzie występowało.

Sposób wykończenia powierzchni tafli wpływa zarówno na strumienie świetlne przepuszczane przez taflę, jak i na te, które ulegają odbiciu. Oba przypadki ze schematami pokazującymi w uproszczeniu przebieg promieni światła przedstawia ryc. 47 inspirowana wcześniejszą publikacją autora [53, s. 555–559]. Niezależnie od strony, na którą zostanie naniesiony ośrodek rozpraszający, obraz obiektów po drugiej stronie zawsze będzie **zamglony**, ponieważ strumień przepuszczany zawsze ulegnie rozproszeniu. Strumienie odbite będą **tworzyły ostry obraz pozorny** lub **nieostre odbicie** w zależności od tego, która strona tafli – gładka lub chropowata – ustawiona jest do obserwatora. W pierwszym przypadku powierzchnia materiału przejrzystego będzie rozpraszała



Ryc. 47. Wystąpienie możliwych efektów wizualnych przy zastosowaniu różnych wariatów wykończenia powierzchni tafli gładkich i chropowatych. Przedstawione są schematy efektów wizualnych oraz przebieg strumieni świetlnych. **A.** Biurowiec Business Tower Nürnberg w Norymberdze (arch. Dürschinger und Biefang, 2000). **B.** Budynek socjalny przy Rue Louis Blanc w Paryżu (arch. Emmanuel Combarel & Dominique Marrec, 2006). **C.** Muzeum Branly w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 2006). **D.** Muzeum Sztuki Współczesnej w Chociebużu (Anderhalten Architekten, 2007).

Źródło: fot. i opracowanie autor na podstawie publikacji własnej [53, s. 555, Fig. 1]



Ryc. 48. W wyniku zmiany parametrów optycznych tafli następuje zmiana widocznych efektów wizualnych. Tafla z przeświecalnej stopniowo staje się niemal przezroczysta – zmienia się jej przejrzystość. Po ustąpieniu opadów woda wysycha i tafla odzyskuje pierwotne właściwości optyczne. Fotografie ukazują taflę w różnych fazach przejrzystości. **A.** Tafle suche. **B.** Tafle w deszczu, strzałka pokazuje zacieki. Elewacja budynku administracyjnego Muzeum Branly w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 2006).

Źródło: fot. i opracowanie autor

padające światło, w drugim – na gładkiej stronie tafli dojdzie do lustrzanego odbicia. Utworzy się obraz pozorny otoczenia, który zostanie nałożony na zamglony obraz rzeczywisty.

W zestawach szkła zespolonego ośrodek rozpraszający zwykle umieszczany jest od wewnątrz. Eliminuje to możliwość zabrudzenia lub uszkodzenia chropowatej powierzchni tafli, a jednocześnie ułatwia konserwację i utrzymanie czystości od strony gładkiej. Takie rozwiązanie zostało zastosowane w socjalnym budynku mieszkalnym przy Rue Louis Blanc w Paryżu (arch. Emmanuel Combarel & Dominique Marrec, 2006). Między stropami zamontowano prefabrykowane powtarzalne żelbetowe sekcje ścian, które zostały z zewnątrz osłonięte rozpraszającym światło szkłem (ryc. 49). Zapewnia to jednocześnie doświetlenie pomieszczeń mieszkalnych i prywatność ich użytkownikom. Gładka strona tafli została umieszczona od zewnątrz. Przyczynia się to do powstania interesującego **efektu wizualnego zamglenia**, w którym zamglony obraz rzeczywisty przenika się z **ostrym i wyraźnym obrazem pozornym**. W obszarze zaznaczonym na fotografii widoczny jest kontur dachu obiektu znajdującego się po przeciwnej stronie ulicy, obrysy kominów i nawet odbicie anteny telewizyjnej [42].

W budynku administracyjnym Muzeum Branly zastosowano odwrotne rozwiązanie, które daje w rezultacie odmienny efekt wizualny. W pasie podparapetowym ściany kurtynowej tafle rozpraszające światło są umieszczone stroną chropowatą na zewnątrz (ryc. 48). Dla niewprawnego obserwatora różnica jest niedostrzegalna. Obraz obiektów znajdujących się po drugiej stronie tafli jest zamglony, tak samo jak w poprzednim przykładzie. Pewną wskazówką może być brak obrazu pozornego na taflach, ale celowość rozwiązania staje się jasna, dopiero gdy zaczyna padać deszcz. Krople wody wypełniają nierówności na szorstkiej powierzchni tafli i **zmieniają jej właściwości optyczne**. Tafla punktowo, lokalnie zmienia stopień przejrzystości, widoczne stają się szczegóły wnętrza. Efekt wizualny jest odmienny w różnych obszarach tafli. Fotografie ukazują suche tafle elewacji i w czasie deszczu. Zmiana parametrów optycznych tafli dokonuje się w zależności od warunków atmosferycznych[82] i jest widoczna również dla obserwatora znajdującego się wewnątrz obiektu.

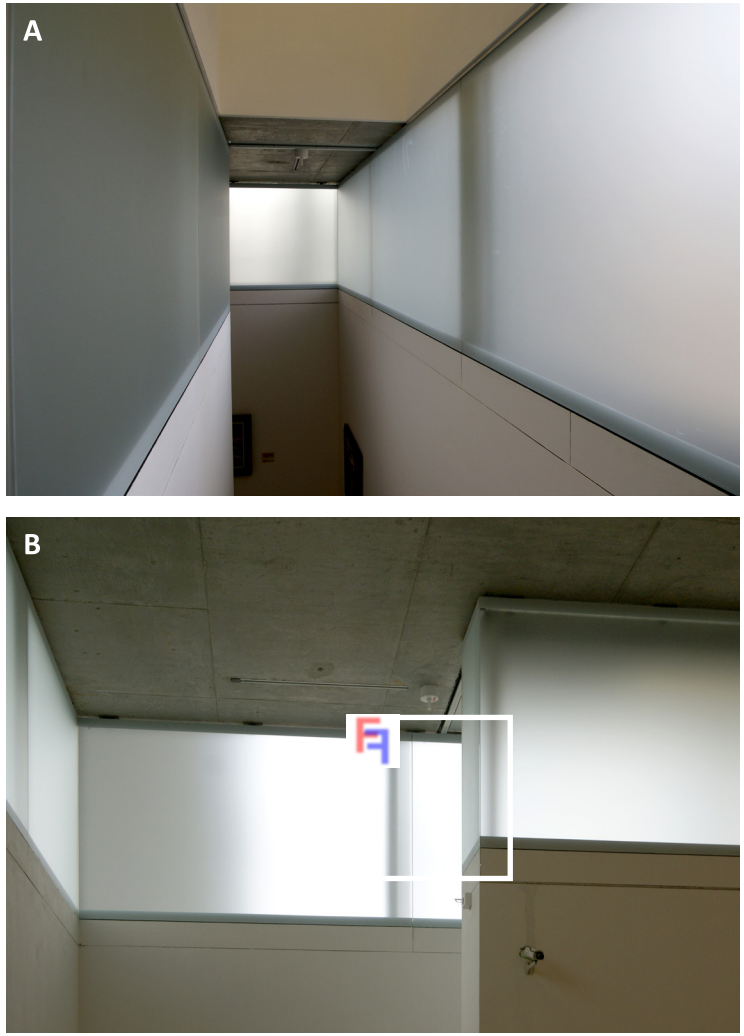
Ze względu na swoje zalety światło rozproszone wykorzystywane jest w muzeach i galeriach do oświetlania ekspozycji. Nie zawsze jednak tafli przeświecalnych można użyć na elewacji budynku.

[82] Produkty o zbliżonych parametrach znajdują się w sprzedaży od 2008 roku. Firma Matelux oferuje tafle Stopsol ze specjalną satynowaną powłoką, która ma „zmienny wygląd, błyszczący i refleksywny w deszczowe dni, a metaliczny i matowy w słoneczne" [65, s. 7].



Ryc. 49. Efekt wizualny ostrego obrazu pozornego nałożonego na zamglony obraz rzeczywisty widoczny przez taflę o bardzo małej przejrzystości. Strzałki na fotografii wskazują elementy obrazu pozornego, linie kalenicy, kontur komina i antenę telewizyjną. Budynek socjalny przy Rue Louis Blanc w Paryżu (arch. Emmanuel Combarel & Dominique Marrec, 2006). Zob. również tab. 2, poz. 23, s. 126.

Źródło: fot. i opracowanie autor



Ryc. 50. Strumień świetlny podwójnie rozproszony. **A.** Światło po raz pierwszy rozpraszane jest przez tafle znajdujące się po prawej stronie, a następnie – zanim przedostanie się do sal ekspozycyjnych – przez tafle umieszczone po lewej. **B.** Obraz na taflach znajdujących się po dwóch stronach bufora jest w charakterystyczny sposób zamglony. Muzeum Sztuki Współczesnej w Chociebużu (Anderhalten Architekten, 2007). Zob. również tab. 2, poz. 24, s. 127.

Źródło: fot. i opracowanie autor

W Muzeum Sztuki Współczesnej w Chociebużu – Kunstmuseum Dieselkraftwerk (Anderhalten Architekten, 2007), które zajmuje budynek dawnej elektrowni, nie było to możliwe ze względów konserwatorskich. Tafle przeświecalne wyglądają inaczej niż przezroczyste. Pozwalają na przepuszczanie światła, ale blokują tworzenie ostrego obrazu rzeczywistego, a na chropowatej stronie tafli nie tworzą się refleksy światła. Takie tafle są za dnia zdecydowanie jaśniejsze dla obserwatora znajdującego się na zewnątrz niż tafle przezroczyste. Właściwą jakość światła i równocześnie spełnienie wymogów konserwatorskich uzyskano dzięki realizacji koncepcji „budynek w budynku" [web 27]. Polegała ona na stworzeniu dodatkowej kubatury zawierającej sale wystawiennicze wewnątrz zabytkowego budynku przemysłowego. Istniejące i nowo projektowane przestrzenie dzieli trzymetrowy korytarz pełniący funkcję buforową dla światła dziennego. Wpada ono do wnętrza przez zachowane przezroczyste, jednowarstwowe przeszklenie w ścianach zewnętrznych. Następnie jest filtrowane przez przeświecalne tafle zamontowane w górnej strefie sal ekspozycyjnych. Podobnie jak w budynku socjalnym przy Rue Louis Blanc w Paryżu ośrodek rozpraszający znajduje się na wewnętrznej stronie tafli. Jej gładka strona skierowana jest na zewnątrz. W strefie buforowej w przestrzeni klatek schodowych światło filtrowane jest podwójnie również przez taflę chropowatą dwustronnie. Uzyskuje się w ten sposób wyjątkowe efekty zarówno w przestrzeni wystawienniczej, jak i w strefie buforowej, czego mogą doświadczać zwiedzający (ryc. 50).

3.4.2.2. Rozproszenie w masie

Rozproszenie światła w masie materiału – **opalowe** – dokonuje się na podobnej zasadzie, jak w ośrodkach jednorodnych, w których mniej lub bardziej równomiernie zawieszone są cząstki innej substancji – np. w pyłach i aerozolach. „Jeżeli wiązka światła przechodzi przez ośrodek mętny, wówczas ulega rozproszeniu przez cząsteczki zawiesiny znajdujące się w tym ośrodku" [web 21; web 6]. Rozproszenie opalowe różni się od rozproszenia matówkowego. Różnicę pokazuje ryc. 46, s. 112. Promień, który jest przedłużeniem promienia prostopadle padającego na taflę, „nie jest tak rażąco jasny" [82, s. 40], jak w przypadku rozproszenia matówkowego. Różnica jest szczególnie dobrze widoczna dla promieni skośnych, padających na taflę pod kątem innym niż 0°. Najjaśniejszy będzie promień prostopadły do płaszczyzny tafli, a nie ten, który jest przedłużeniem promienia padającego. Różnica ta ma wpływ na wygląd tafli przeświecalnych – kontrast obrazu odbieranego przez obserwatora będzie mniejszy.

Tafle, które rozpraszają światło w masie, mogą mieć gładkie powierzchnie, co było nieosiągalne przy występowaniu rozproszenia na powierzchni chropowatej. Gładka powierzchnia tafli powoduje, że



Ryc. 51. Tafla przeświecalna, rozpraszająca światło opalowo, z wyraźną wewnętrzną strukturą wynikającą z budowy minerału (poniżej). Katedra Matki Bożej Anielskiej w Los Angeles (arch. José Rafael Moneo, 2002).

Źródło: fot. i opracowanie autor

strumień odbity będzie tworzył ostry obraz pozorny, a rozpraszająca struktura wewnętrzna wywoła zamglenie strumienia przepuszczanego. Dostępne są także tafle rozpraszające opalowo przepuszczane światło z obustronnie gładką powierzchnią (zob. ryc. 47, s. 113).

Obraz widoczny na podświetlonej tafli będzie zależny również od jej **wewnętrznej struktury** wynikającej z rodzaju zastosowanego materiału. W przypadku regularnego rozmieszczenia cząstek rozpraszających w masie obraz będzie jednolicie zamglony. Przykładem takiego materiału jest szkło mleczne, które dawniej wyrabiano, dodając do płynnej masy szklarskiej mączkę kostną lub popiół[83], potem stosowano dodatki chemiczne: tlenek cyny[84]. Obecnie, wykorzystując tę samą metodę, przez dodanie do masy odpowiednich środków zmętniających, produkuje się opalowe tafle lub płyty z tworzyw sztucznych.

Nieregularna struktura wewnętrzna materiału będzie widoczna na podświetlonej tafli. Adekwatną ilustracją są przeświecalne minerały, stosowane w architekturze w funkcji tafli przepuszczających światło. W budownictwie używany jest alabaster, czyli zbity gatunek gipsu. Nazwa ta pochodzi od egipskiego miasta Alabastros. W przeszłości stosowano cienkie płyty alabastru do wypełniania okien[85], obecnie, ze względu na wyjątkowe właściwości optyczne, wykorzystywane są w większej skali w obiektach współczesnych. W katedrze Matki Bożej Anielskiej w Los Angeles (arch. José Rafael Moneo, 2002) alabaster został oprawiony w standardowe metalowe ramy. Kamień filtruje tropikalne promienie słoneczne i zapewnia idealne warunki we wnętrzu: przytłumione rozproszone światło o delikatnym żółtawym zabarwieniu, padające w wielu kierunkach. Wpływa ono w sposób zasadniczy na odbiór obiektu i jego charakter. Od zewnątrz alabastrowe płyty nie są widoczne. Osłonięto je szkłem dla ochrony przed agresywnymi kwaśnymi deszczami, ale obserwowane od wewnątrz, po podświetleniu, ujawniają swoją wyjątkową **żyłkowaną naturalną strukturę** (ryc. 51).

Podobne rozwiązanie, tylko z wykorzystaniem innego minerału, zastosowano w Kaplicy Ekumenicznej na terenie Expo 2000 w Hanowerze, zwanej także Pawilonem Chrystusa (arch. GMP, 2000)[86].

[83] Nierównomierne rozprowadzenie pigmentów w masie doprowadziło w średniowieczu do powstania tzw. szkła opalowego o indywidualnym, niepowtarzalnym charakterze. Obecnie szkło opalowe w taflach produkowane jest na niewielką skalę, głównie na potrzeby rzemiosła (np. w Hucie Szkła w Jaśle).

[84] Stosując tlenek cyny, w XV–XVI wieku w Wenecji produkowano nieprzezroczyste szkło mleczne (*lattimo*, *latticinio*). Służyło ono do wyrobu szkieł niciowych i sieciowych, dziś uważanych na największe osiągnięcie kunsztu sztuki szklarskiej.

[85] Alabaster spotyka się w zabytkowych witrażach we Włoszech (np. Bazylika św. Pawła za Murami w Rzymie) i Hiszpanii (Salamanka, Sewilla, Toledo).

[86] Budynek po zakończeniu imprezy targowej Expo 2000 został zdemontowany, przewieziony w częściach i ponownie złożony na terenie opactwa Jesus-Bruderschaft Kloster w Volkenrodzie [127; web 17].

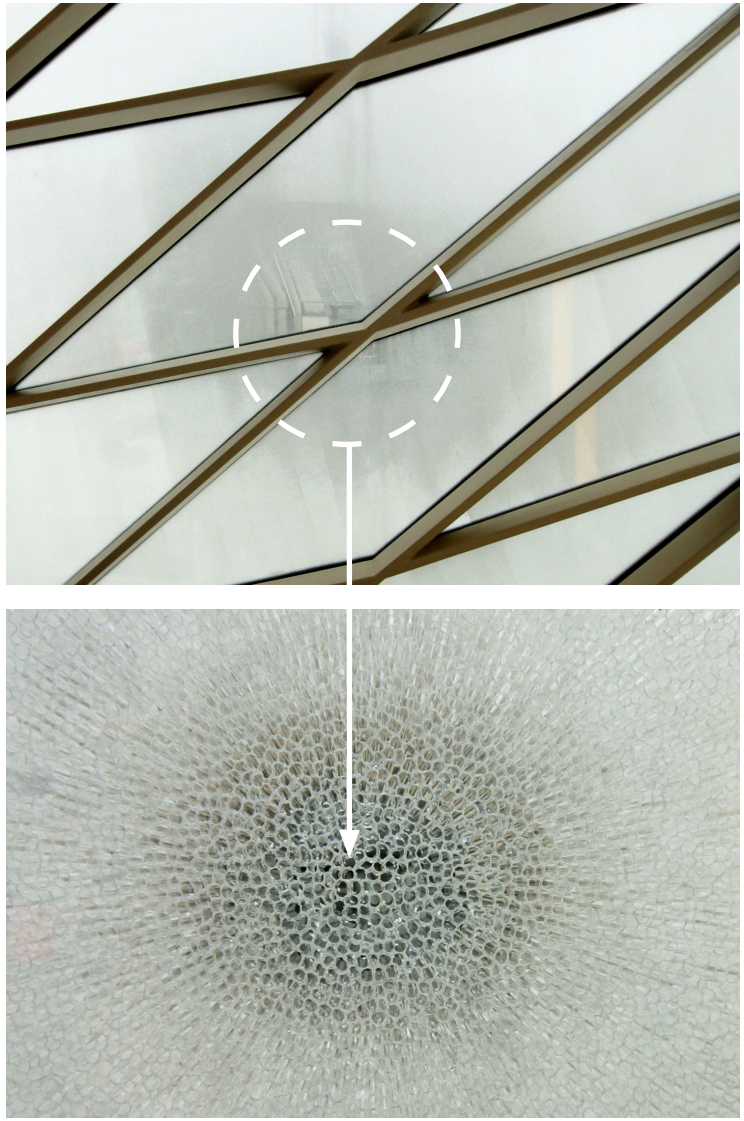
Ściany zewnętrzne wypełniono cienkimi 10-milimetrowymi płytami kamienia, dla bezpieczeństwa warstwowo zespolonymi z 12-milimetrowymi taflami szkła [58, s. 101]. Wykorzystano punktową metodę mocowania płyt, tworząc w ten sposób przejrzystą powłokę, która filtruje do wnętrza światło rozproszone, jednocześnie stając się jego źródłem. Niejednorodna **ziarnista struktura materiału jest wyraźnie widoczna** (ryc. 52). Rozpraszający światło alabaster działa jak ekran, a cień rzucony na ścianę przez elementy konstrukcji znajdujące się na zewnątrz jest wyraźnie widoczny od środka.



Ryc. 52. Tafla przeświecalna, rozpraszająca opalowo. Pawilon Chrystusa, Expo 2000 w Hanowerze, przeniesiony do Volkenrody (arch. GMP, 2000). Zob. również tab. 2, poz. 25, s. 127.

Źródło: fot. Bartosz Narożny – wykorzystano za zgodą

Rozproszenie światła jest również możliwe przy zastosowaniu elementów drobnowymiarowych, także nieprzejrzystych, stosowanych w większej masie. Tworzą one warstwę o dużej miąższości, w której rozproszenie dokonuje się na skutek wielokrotnego odbicia lub wielokrotnego filtrowania padającego ostrego światła – zasada ta jest podobna do reguł, które opisują rozproszenie opalowe. Najczęściej w tym celu wykorzystuje się włókniny naturalne, tworzywa sztuczne i materiały kompozytowe, ale znane są także przypadki zastosowania materiałów nietypowych, np. ścinków makulatury wypełniających kubiczne szklane kontenery (Pawilon Grüne Punkt na terenie Expo



Ryc. 53. Tafla przeświecalna o strukturze złożonej, zbudowana z rurek ustawionych pod kątem prostym do płaszczyzny tafli. Salon Citroëna na Polach Elizejskich w Paryżu (arch. Manuelle Gautrand, 2004).

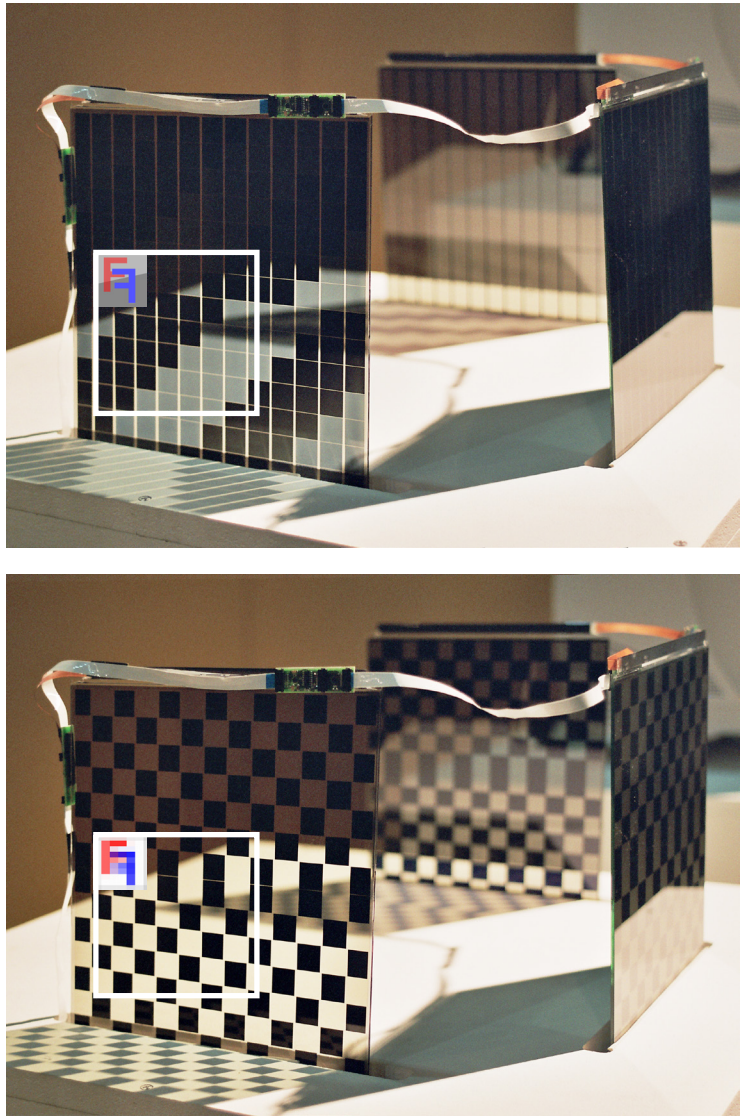
Źródło: fot. i opracowanie autor

2000 w Hanowerze, arch. Atelier Brückner, 1999). Użycie grubszej warstwy drobnowymiarowych elementów zmienia wygląd tak skonstruowanej przegrody. Zasady tworzenia obrazów pozostają niezmienne. Jak w poprzednich przypadkach obraz rzeczywisty zostaje w różnym stopniu zamglony, a występowanie odbić lustrzanych zależy od sposobu wykończenia zewnętrznej powierzchni. Miąższość warstwy przyczynia się jednak do wystąpienia dodatkowego efektu wizualnego. Obserwator ma możliwość **penetracji materiału wzrokiem na pewną głębokość** oraz „wglądu do jego wnętrza". Odbicie światła następuje nie tylko na płaszczyźnie ograniczającej materiał, ale także w jego wnętrzu od elementów znajdujących się w głębszych warstwach – efekt wizualny przypomina nieco obserwację bloku zestalonej żelatyny. Przezroczystość zanika i stopniowo jest zastępowana przez przejrzystość. Im głębiej, tym więcej drobnowymiarowych elementów i tym większy stopień rozproszenia światła. Zjawisko to, widoczne przy obserwacji z relatywnie niewielkiej odległości, zanika zupełnie, gdy przegroda obserwowana jest w skali całego budynku.

Drobnowymiarowe materiały rozpraszające stały się także integralną częścią skomercjalizowanych systemów budowlanych. W fasadach wykonywanych z ceowych profili szklanych stosuje się wypełnienie piankowe, np. aerożel w systemie Profilit firmy Pilkington, pełniące zarówno funkcję rozpraszającą światło, jak i podnoszącą izolacyjność powłoki, lub włókniste, np. fizelina w elewacji fabryki Wilkhahn w miejscowości Bad Münder w Niemczech (arch. Thomas Herzog, 1993). W salonie Citroëna na Polach Elizejskich w Paryżu (arch. Manuelle Gautrand, 2004) w taflach rozpraszających światło zastosowano elementy **drobnowymiarowe o strukturze cylindrycznej**. W przestrzeni między taflami przezroczystego szkła znajduje się wypełnienie z krótkich, przeświecalnych rurek wykonanych z tworzywa sztucznego, ułożonych prostopadle do płaszczyzny tafli. Konstrukcja ta przypomina nieco przezroczyste materiały izolacyjne (*transparent insulation materials*). Panel jest przezroczysty tylko w małym fragmencie – w tej strefie, w której rurki są ustawione równolegle do kierunku obserwacji. Na pozostałym obszarze tafli obraz jest zamglony. Widoczny **efekt wizualny niejednorodnego rozmycia** przedstawiają wykonane fotografie (ryc. 53).

Podsumowanie

Tafla przeświecalna rozprasza światło. Pojedynczy promień zostaje rozbity na wiele mniejszych skierowanych w przypadkowych kierunkach. Rozproszenie światła powoduje zmiany w obrazie odbieranym przez obserwatora: występuje zamglenie, a możliwość rozróżniania obiektów, które znajdują się po drugiej stronie tafli, jest



Ryc. 54. Moduły prototypowego elementu systemu T.I.M. – Transparent Imaging Matrix (AEG Moderne Informationssysteme) prezentowany na targach Glasstec w Düsseldorfie w 2000 roku. Zob. również tab. 2, poz. 26, s. 127.

Źródło: fot. i opracowanie autor

ograniczona. Wyszczególnia się dwa typy rozpraszania: matówkowe i opalowe. Dla obserwatora różnią się głównie odbieranymi efektami wizualnymi: przy rozproszeniu powierzchniowym występują większe różnice w jasności obrazu, a tafle są bardziej przejrzyste. W przypadku rozproszenia w masie jest odwrotnie: kontrast zmniejsza się, a razem z nim możliwość rozpoznania szczegółów obiektów znajdujących się po drugiej stronie tafli.

Struktura tafli przeświecalnej powoduje, że w odmienny sposób oddziałuje ona na strumień przepuszczany i odbity. Strumień świetlny przepuszczany zawsze zostaje rozproszony. Strumień odbity może zostać rozproszony – gdy tafla jest chropowata, lub odbity kierunkowo – gdy tafla jest gładka. Specyfika ta powoduje, że w taflach przeświecalnych może dochodzić do nałożenia efektów wizualnych w różnych kombinacjach, np. zamglonego obrazu rzeczywistego z ostrym obrazem pozornym.

3.5. Tafle o regulowanych właściwościach optycznych

Najnowsze technologie pozwalają na regulację właściwości optycznych tafli – w większości przypadków współczynnika przepuszczania światła T. Regulacja ta możliwa jest zarówno w czasie rzeczywistym, jak i z określoną zwłoką, zwykle nieprzekraczającą 5–15 minut. Możliwa jest **przemiana tafli przezroczystej w nieprzezroczystą** (blokada przepuszczania światła), **przemiana tafli przezroczystej w taflę przeświecalną** oraz **tafli przezroczystej w taflę barwną**.

W pierwszych dwóch przypadkach wykorzystuje się ciekłe kryształy[87], a głównie zbudowane z nich wyświetlacze LCD funkcjonujące w tzw. trybie transmisyjnym – podobne jak np. w popularnych zegarkach elektronicznych. Ten typ wyświetlacza przepuszcza strumień świetlny, a obraz odbiera obserwator znajdujący się po drugiej stronie tafli. Pola aktywne – pod napięciem – są w takich wyświetlaczach zawsze ciemne-nieprzezroczyste, a nieaktywne jasne-przezroczyste (ryc. 54). W skali eksperymentalnej system T.I.M. – przezroczystej matrycy obrazującej (*transparent imaging matrix*)

[87] Ciekłe kryształy zostały odkryte w 1888 roku przez przypadek, w trakcie badań biologicznych, przez Friedricha Reinitzera. W 1962 roku Richard Williams z firmy Radio Corporation of America zauważył, że ciekłe kryształy mają bardzo interesujące właściwości optyczne. Na ich cienkiej warstwie po przyłożeniu napięcia elektrycznego pojawiają się paskowe wzory [123]. Badania te kontynuował George H. Heilmeier, który w 1964 roku skonstruował pierwszy wyświetlacz ciekłokrystaliczny. Lepkość ciekłych kryształów – zależnie od uporządkowania molekuł w tzw. basenie ciekłokrystalicznym – została sklasyfikowana przez prof. Mariana Mięsowicza z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Do dziś używa się tej klasyfikacji, mierząc parametry ciekłych kryształów tzw. współczynnikiem Mięsowicza [133].

został zaprezentowany na targach Glasstec w Düsseldorfie w 2000 roku przez firmę AEG Moderne Informationssysteme. Trzy połączone ze sobą kwadratowe matryce LCD o wymiarach około 20 × 20 cm składały się z 169 pikseli każda i umożliwiały otrzymanie wielu możliwych konfiguracji przezroczystych bądź nieprzezroczystych pikseli. W stadium „jasnym" element nie jest idealnie przezroczysty, przepuszcza 38% światła, w stadium „ciemnym" absorbuje 95%. To wartości zupełnie wystarczające do wywołania wrażenia skokowo regulowanej przezroczystości. Obecnie dostępne są moduły o wymiarze 200 × 90 cm, które wyświetlają także animacje.

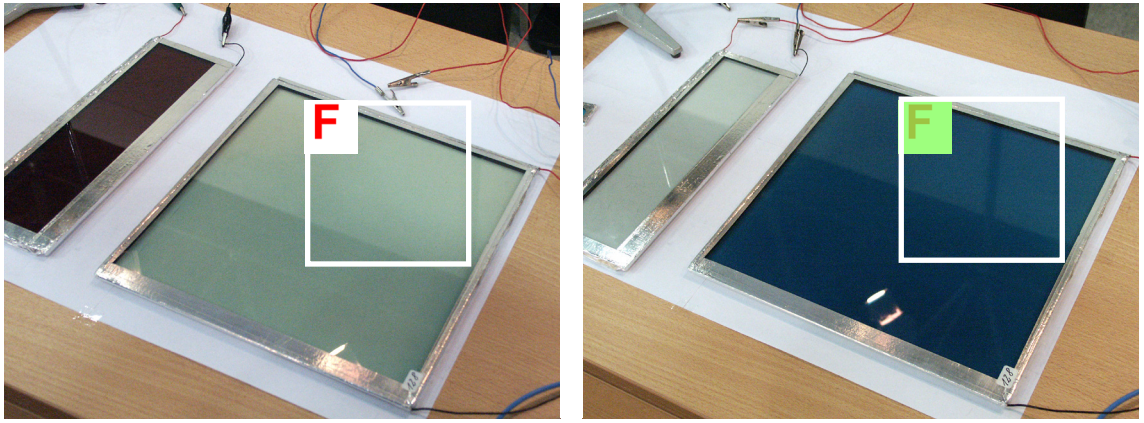


Ryc. 55. System PRIVA-LITE firmy Saint-Gobain Glass. Ciekły kryształ został zamknięty między dwoma warstwami kryształowego szkła sklejonego folią EVA. Folię pokryto cienką warstwą miedzi. Pod wpływem przyłożonego napięcia około 50 V (50 Hz) uporządkowanie cząsteczek ulega zmianie. Tafla z przezroczystej zmienia się w mleczną. Prototypowy system z powodzeniem skomercjalizowano. Dostępne są elementy o rozmiarach dochodzących do 100 × 280 cm [web 29]. Zob. również tab. 2, poz. 27, s. 127.

Źródło: fot. i opracowanie autor

Przemianę tafli z przezroczystej na przeświecalną osiągnięto również, stosując ciekłe kryształy. W systemie PRIVA-LITE (prod. Saint-Gobain Glass) modyfikacja parametrów dokonuje się na całej powierzchni tafli, która jest albo przezroczysta, albo przeświecalna – mleczna (ryc. 55). Przepuszczane światło jest równomiernie rozpraszane, ponieważ „w polimerze, który wypełnia przestrzeń między dwoma warstwami szkła, zawieszone są cząsteczki ciekłego kryształu. Na wewnętrznych stronach obu tafli umieszczone są przezroczyste elektrody. W zależności od przepływu prądu cząsteczki kryształu znajdują się albo w stanie uporządkowanym – przezroczyste, lub chaotycznym – mleczne" [49, s. 26]. Skok między stadiami dokonuje się w ułamku sekundy. Zamglenie zwiększa się z 7,5 do ponad 90%. Niewątpliwą zaletą systemu jest to, że przy rozproszeniu nie zmniejsza się ilość przepuszczanego przez taflę światła, współczynnik T zmniejsza się jedynie o 1% – z 77 do 76%. System wykorzystywany jest głównie we wnętrzach, ale istnieją także możliwości zastosowania go na elewacjach.

Możliwości regulacji przezroczystości powłok są obecnie intensywnie badane [252, s. 104]. Powłoki elektrochromowe zmieniają zabarwienie pod napięciem – tafla z przezroczystej barwi się na niebiesko. Zjawisko następuje dzięki migracji jonów litu (Li^+) między dwoma przewodzącymi warstwami/elektrodami. Do uzyskania tego efektu wykorzystuje się również powłoki zawierające związki tytanu i wolframu. Rozwiązania te ze stadium prototypu (ryc. 56) wchodzą obecnie do powszechnego użycia, np. w motoryzacji (system SPD-SmartGlass w samochodach marki Mercedes) oraz w budownictwie (Sage Glass). Bada się również możliwości tzw. szklenia gazochromowego, które pozwala na przemianę tafli z przezroczystej na lustrzaną, refleksową. Pierwsze prototypowe tafle zaprezentowała w 2007 roku grupa pod kierownictwem Kazuki Yoshimury i Shanhu Bao z Narodowego Instytutu Zaawansowanych Nauk i Technologii z Nagoi [37].



Ryc. 56. Powłoki elektrochromowe zmieniające stadium z przezroczystego na barwne niebieskie lub brązowe. Fotografie przedstawiają prototypową taflę, w której parametry optyczne zmieniają się pod wpływem przepływu prądu elektrycznego. Przemiana zajmuje od kilku do kilkunastu minut. Prototyp na targach Glasstec 2004 w Düsseldorfie. Zob. również tab. 2, poz. 28, s. 128.

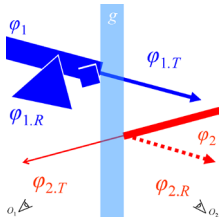
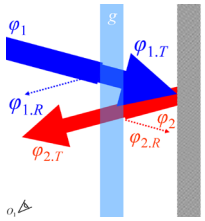
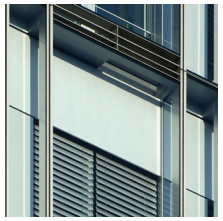
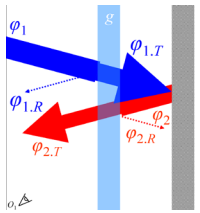
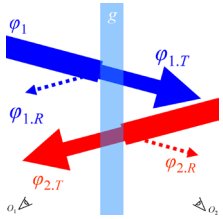
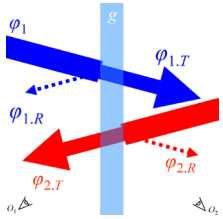
Źródło: fot. i opracowanie autor

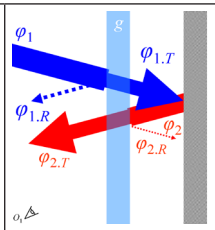
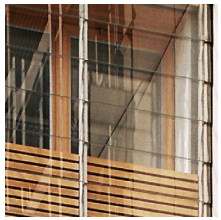
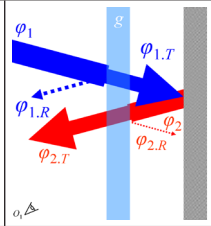
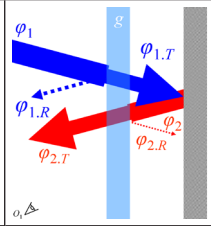
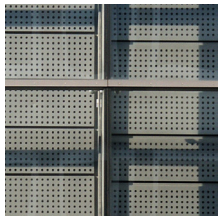
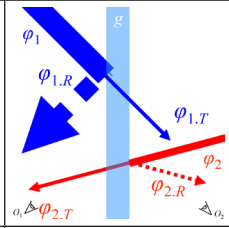
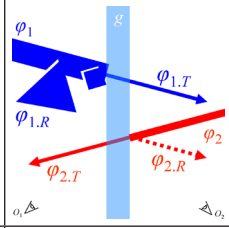
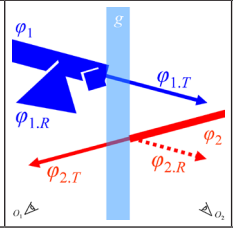
Podsumowanie

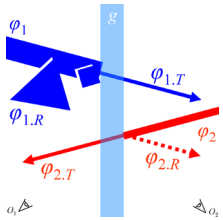
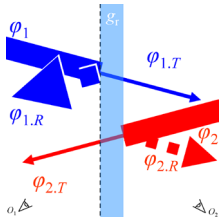
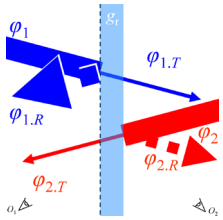
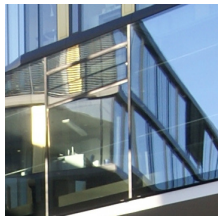
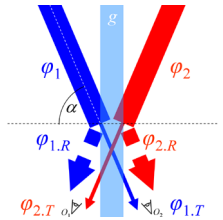
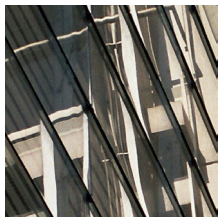
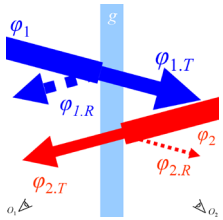
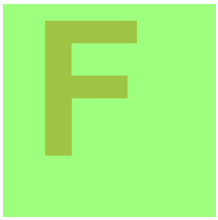
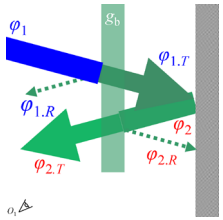
Tafle o regulowanych właściwościach optycznych charakteryzują się zmiennością efektów wizualnych. Zmiana między poszczególnymi stadiami tafli zachodzi w różnym czasie: natychmiastowo – gdy regulacja właściwości odbywa się przy wykorzystaniu ciekłych kryształów, lub ze zwłoką – gdy wykorzystuje się zjawisko migracji jonów litu. Możliwa jest pełna blokada przepuszczania światła, przemiana tafli przezroczystej w taflę przeświecalną oraz tafli przezroczystej w taflę barwną.

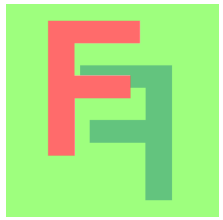
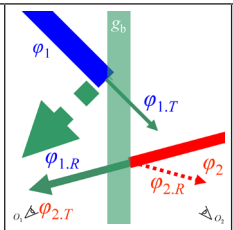
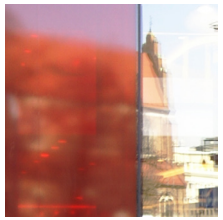
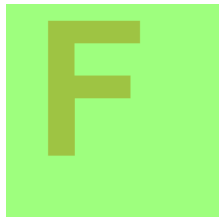
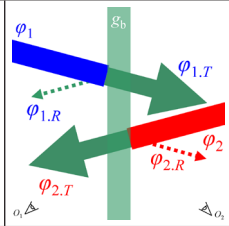
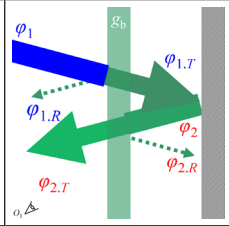
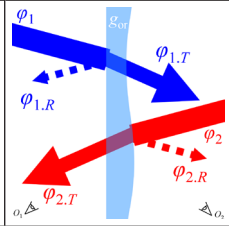
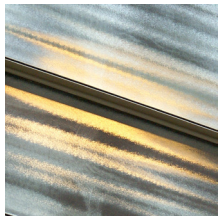
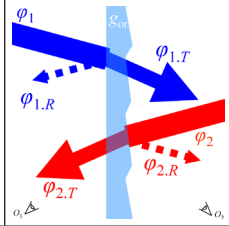
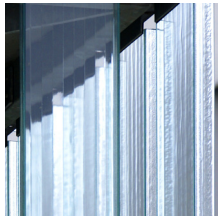
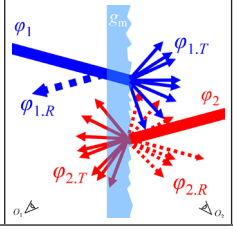
Tabela 2. Zbiorcze zestawienie efektów wizualnych w taflach przezroczystych na przykładzie realizacji opisanych w rozdz. 3.

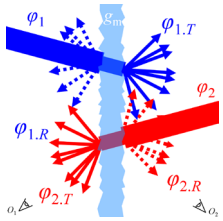
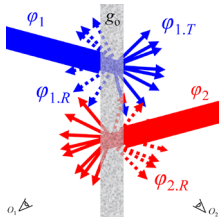
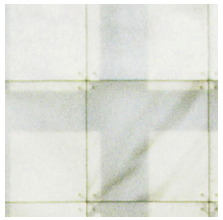
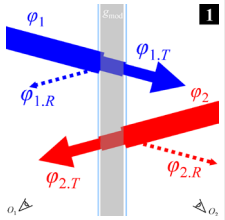
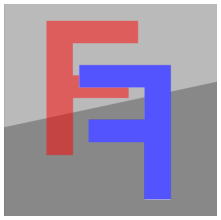
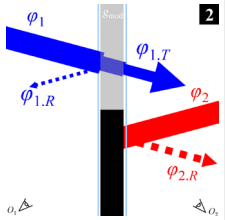
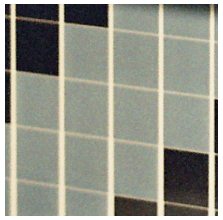
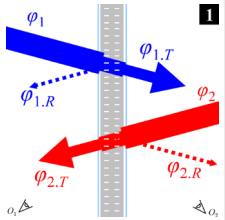
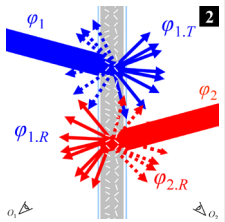
Źródło: fot. i opracowanie autor; poz. 4 i 10 – fot. Iwan Baan

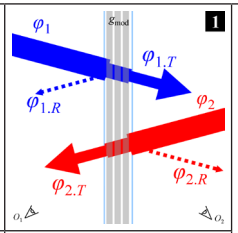
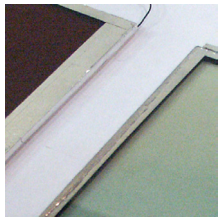
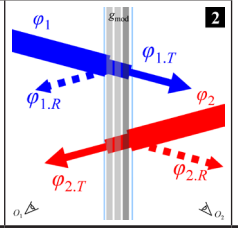
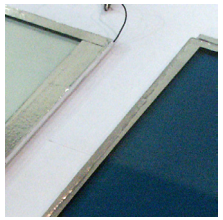
Grupa efektów	Poz.	Schemat efektu wizualnego	Schemat strumieni świetlnych	Widoczność dla:	Opis efektu wizualnego przyczyna efektu	Ilustracja	Budynek/Zastosowany materiał
Efekty skrajne	1			O_1	**skrajna dominacja obrazu pozornego** **blokada obrazu rzeczywistego** wnętrze niewidoczne $\varphi_{1.R} \approx 1$ przewaga strumienia pierwotnego φ_1, a w następstwie przewaga strumienia wtórnego $\varphi_{1.R}$		Zespół hotelowy L.A. Live Hotel & Condominiums w Los Angeles (arch. Gensler & Associates, 2010)
	2			O_1	**blokada obrazu pozornego** **skrajna dominacja obrazu rzeczywistego** wnętrze widoczne $\varphi_{2.T} \approx 1$ przewaga strumienia φ_2 utworzonego w wyniku odbicia strumienia wtórnego $\varphi_{1.T}$ od elementów właściwej fasady		Siedziba Banku NRW w Düsseldorfie (arch. RKW Architektur & Städtebau, 2000)
	3			O_1	**skrajna dominacja obrazu rzeczywistego** silne rozświetlenie wnętrza $\varphi_{1.R} < \varphi_{2.T}$ przewaga strumienia φ_2 utworzonego w wyniku odbicia bryły strumienia wtórnego $\varphi_{1.T}$ od ściany wewnętrznej		Muzeum Fundacji Langen w Hombroich (arch. Tadao Andō, 2004)
Efekty pośrednie efekty dominacji obrazu rzeczywistego	4			O_1	**dominacja obrazu rzeczywistego** $\varphi_{1.R} < \varphi_{2.T}$ przewaga strumienia pierwotnego φ_2 działającego na przestrzał		Warsztaty uniwersyteckie KAIT Kobo – Kanagawa Institute of Technology w Tokio (arch. Junya Ishigami & Associated, 2007)
	5			O_1	**dominacja obrazu rzeczywistego** $\varphi_{1.R} < \varphi_{2.T}$ przewaga strumienia pierwotnego φ_2 działającego na przestrzał		Siedziba agencji reklamowej J. Walter Thompson we Frankfurcie nad Menem (arch. Schummacher & Schneider, 1995)

Efekty pośrednie efekty dominacji obrazu rzeczywistego	6			O_1	**dominacja obrazu rzeczywistego** silne rozświetlenie wnętrza $\varphi_{1.R} < \varphi_{2.T}$ przewaga strumienia φ_2 utworzonego w wyniku odbicia strumienia wtórnego $\varphi_{1.T}$ od elementów pasa międzykondygnacyjnego parametry optyczne: $\alpha < 40°$		Biurowiec Bayerische Vereinsbank w Stuttgarcie (arch. Behnisch & Sabatke, 1969 i 1997)
	7			O_1	**dominacja obrazu rzeczywistego** $\varphi_{1.R} < \varphi_{2.T}$ przewaga strumienia φ_2 utworzonego w wyniku odbicia strumienia wtórnego $\varphi_{1.T}$ od elementów wnętrza częściowa penetracja strumienia na przestrzał		Siedziba Towarzystwa Ubezpieczeniowego AachenMünchener w Akwizgranie (arch. Kada Wittfeld, 2010)
	8			O_1	**dominacja obrazu rzeczywistego** $\varphi_{1.R} < \varphi_{2.T}$ przewaga strumienia φ_2 utworzonego w wyniku odbicia strumienia wtórnego $\varphi_{1.T}$ od żaluzji przeciwsłonecznych		Biurowiec N-ergie Zentrum w Norymberdze (Hausmann & Müller Architekten, 2000)
Efekty pośrednie efekty dominacji obrazu pozornego	9			O_1	**dominacja obrazu pozornego** $\varphi_{1.R} > \varphi_{2.T}$ przewaga strumienia pierwotnego φ_1, a w następstwie przewaga strumienia wtórnego $\varphi_{1.R}$ strumień φ_2 powstaje z osłabionego wielokrotnym odbiciem strumienia $\varphi_{1.T}$		Biurowiec N-ergie Zentrum w Norymberdze (Hausmann & Müller Architekten, 2000)
	10			O_1	**dominacja obrazu pozornego** $\varphi_{1.R} > \varphi_{2.T}$ przewaga strumienia pierwotnego φ_1, a w następstwie przewaga strumienia wtórnego $\varphi_{1.R}$		Warsztaty uniwersyteckie KAIT Kobo – Kanagawa Institute of Technology w Tokio (arch. Junya Ishigami & Associated, 2007)
	11			O_1	**dominacja obrazu pozornego** obraz pozorny elewacji obiektu sąsiadującego dominuje nad obrazem rzeczywistym elewacji obiektu obserwowanego $\varphi_{1.R} > \varphi_{2.T}$ przewaga strumienia pierwotnego φ_1, a w następstwie przewaga strumienia wtórnego $\varphi_{1.R}$		Biurowiec Media Tower Killepitsch Likörfabrik, Wein und Spirituosen w Düsseldorfie (arch. Findeisen & Wächter, 2005)

Efekty pośrednie efekty dominacji obrazu pozornego	12			O_1	**dominacja obrazu pozornego** zwielokrotnione odbicie, efekt kalejdoskopu, odwrócenie odbicia lewo–prawo $\varphi_{1.R} > \varphi_{2.T}$ przewaga strumienia pierwotnego φ_1, a w następstwie przewaga strumienia wtórnego $\varphi_{1.R}$		Siedziba Izby Lekarskiej regionu Nadrenia Północna-Westfalia – Schwarzes Haus w Düsseldorfie (arch. Daniel Kas, RKW, 2002)
	13			O_1	**lokalna dominacja obrazu pozornego** $\varphi_{1.R} > \varphi_{2.T}$ osiągnięta przez zastosowanie powłok refleksowych na części tafli		Budynek Instytutu Arabskiego w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 1989)
	14			O_1	**lokalna dominacja obrazu pozornego** $\varphi_{1.R} > \varphi_{2.T}$ osiągnięta przez zastosowanie powłok refleksowych		Siedziba Towarzystwa Ubezpieczeniowego AachenMünchener w Akwizgranie (arch. Kada Wittfeld, 2010)
	15			O_1	**dominacja obrazu pozornego** w tej części pola widzenia, w której znajduje się tafla $\varphi_{1.R} > \varphi_{2.T}$ osiągnięta przez zmianę kąta obserwacji $\alpha > 40°$		Biurowiec Bayerische Vereinsbank w Stuttgarcie (arch. Behnisch & Sabatke, 1969 i 1997)
Efekty pośrednie efekty równowagi	16			O_1	**stan równowagi obrazowej** $\varphi_{1.R} = \varphi_{2.T}$ strumienie $\varphi_{1.R}$ oraz $\varphi_{2.T}$ mają te same wartości przenikanie obrazów rzeczywistego i pozornego w równych proporcjach		Muzeum Branly w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 2006)
Efekty barwienia	17			O_1	**zabarwienie obrazu rzeczywistego** przy przepuszczaniu strumienia $\varphi_{2.T}$ przez taflę barwną, w polu widzenia dwa typy efektów wizualnych obraz zabarwiony przez strumień jednokrotnie przepuszczony przez taflę (bezpośrednio) oraz obraz zabarwiony przy dwukrotnym przepuszczeniu strumienia przez taflę (pośrednio)		Hotel Andel's Berlin w Berlinie (arch. Seeger Müller Architekten 2009; oryg. Aldo Rossi)

Efekty barwienia	18			O_2	**zabarwienie obrazu pozornego** na skutek odbicia strumienia φ_1 od barwnej tafli tworzy się zabarwiony strumień $\varphi_{1.R}$, który przyczynia się do powstania zabarwionego obrazu pozornego		Dom handlowy Renoma we Wrocławiu (arch. Maćków Pracownia Projektowa, 2009)
	19			O_1	**zabarwienie obrazu rzeczywistego** przy przepuszczaniu strumienia φ_2 przez taflę barwną tworzy się zabarwiony strumień $\varphi_{1.T}$, który przyczynia się do powstania zabarwionego obrazu rzeczywistego		Dom Handlowy Renoma we Wrocławiu (arch. Maćków Pracownia Projektowa, 2009)
	20			O_1	**pośrednie zabarwienie obrazu rzeczywistego** przy dwukrotnym przepuszczeniu strumienia φ_1 przez barwną taflę		Parking publiczny przy Rathausstrasse w Berlinie (arch. Kny & Weber, 2002–2003)
Efekty zniekształcenia i zamglenia	21			O_1	**zniekształcenie i powielenie obrazu rzeczywistego** + zamglenie zniekształcenie strumienia przepuszczanego $\varphi_{2.T}$ obraz pozorny nie występuje		Muzeum Branly w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 2006)
	22			O_1	**zniekształcenie obrazu rzeczywistego** segmentacja obrazu rzeczywistego zniekształcenie strumienia przepuszczanego $\varphi_{2.T}$ obraz pozorny nie występuje		Hotel Dorint Novotel Messe w Riem Arcaden w Monachium (arch. Allmann Sattler Wappner Architekten, 2004)
	23			O_1	**zamglenie obrazu rzeczywistego** rozproszenie strumienia przepuszczanego $\varphi_{2.T}$ lustrzane odbicie strumienia $\varphi_{1.R}$ tworzy się czytelny ostry obraz pozorny		Budynek socjalny przy Rue Louis Blanc w Paryżu (arch. Emmanuel Combarel & Dominique Marrec, 2006)

Efekty zniekształcenia i zamglenia	24			O_2	**zamglenie obrazu rzeczywistego i pozornego** przez rozproszenie strumienia przepuszczanego $\varphi_{2.T}$ odbicie rozproszone strumienia $\varphi_{1.R}$		Muzeum Sztuki Współczesnej – Kunstmuseum Dieselkraftwerk w Chociebużu (Anderhalten Architekten, 2007)
	25			O_2	**zamglenie obrazu rzeczywistego** przez rozproszenie strumienia przepuszczanego $\varphi_{2.T}$ odbicie rozproszone strumienia $\varphi_{1.R}$ charakterystyczna ziarnistość ujawniająca strukturę wewnętrzną materiału		Pawilon Chrystusa, Expo 2000 w Hanowerze, przeniesiony do Volkenrody (arch. GMP, 2000)
Efekty zmienne	26			O_1, O_2	**1) blokada obrazu rzeczywistego** brak przepuszczania światła stadium nieprzezroczyste/blokada $\varphi_{2.T} = 0$		Transparent Imaging Matrix (AEG Moderne Informationssysteme)
					**2) widoczny obraz rzeczywisty** przepuszczanie światła stadium przezroczyste obrazy pozorne zależne od wykończenia powierzchni modułu $\varphi_{2.T} \approx \varphi_1$		
	27			O_1, O_2	**1) widoczny obraz rzeczywisty** przepuszczanie światła stadium przezroczyste $\varphi_{1.R} < \varphi_{2.T}$		System PRIVA-LITE firmy Saint-Gobain Glass
					**2) obraz rzeczywisty zamglony** rozmycie obrazu rzeczywistego rozproszenie strumienia przepuszczanego $\varphi_{2.T}$ lustrzane odbicie strumienia $\varphi_{1.R}$ tworzy się czytelny ostry obraz pozorny		

Efekty zmienne	28			O_2	**1) widoczny obraz rzeczywisty** przepuszczanie światła stadium przezroczyste $\varphi_{1.R} < \varphi_{2.T}$		SPD-SmartGlass
					**2) zabarwienie obrazu rzeczywistego** przy przepuszczaniu strumienia φ_2 przez taflę barwną tworzy się zabarwiony strumień $\varphi_{2.T}$		



4 Tafle – układy wieloelementowe

4.1. Układy optyczne i ich typy ... 131
4.1.1. Inne ujęcia morfologiczne ... 134
4.2. Układ warstwowy ... 137
4.2.1. Efekty wizualne w odbiorze układów warstwowych ... 138
4.2.1.1. Efekty pochłaniania w wielu warstwach ... 140
4.2.1.2. Efekty odbicia w wielu warstwach ... 146
4.2.1.3. Efekty odbicia w wielu warstwach w skali mikro ... 151
Podsumowanie ... 154
4.3. Układ sąsiadujący ... 154
4.3.1. Efekty wizualne w odbiorze układów sąsiadujących ... 155
4.3.1.1. Efekt mozaiki obszarów sąsiadujących ... 155
4.3.1.2. Efekt addytywnego mieszania barw ... 159
Podsumowanie ... 160
4.4. Układy mieszane ... 160
4.4.1. Efekty wizualne w odbiorze układów mieszanych ... 161
Podsumowanie ... 163
4.5. Układ sąsiadujący binarny ... 164
4.5.1. Efekty wizualne w odbiorze układów binarnych ... 164
4.5.1.1. Uśrednienie wartości strumieni świetlnych ... 165
Podsumowanie ... 168

4. Tafle – układy wieloelementowe

W okresie poprzedzającym powszechne użycie przezroczystych tafli protoplaści nurtu architektury przezroczystej prowadzili wiele analiz, w których rozważali konsekwencje formalne zastosowania tych materiałów. Rozpatrywali proporcje obrazów pozornych i rzeczywistych, szkicowali i wykonywali makiety, dokumentowali również badania metodami fotograficznymi. Analizy te opisano dokładniej w rozdz. 1.4, s. 29. Po uprzemysłowieniu technologii wykonywania fasad z wielkowymiarowych tafli prace te nie były powszechnie kontynuowane. Korzystano z łatwo dostępnych rozwiązań systemowych. Producenci skupili się na badaniach nad nowymi właściwościami optycznymi materiałów przepuszczających światło, a nie na architektonicznych konsekwencjach ich zastosowania.

Od wczesnych lat 50. XX wieku równolegle z innowacjami technologicznymi rozwijał się trend, w którym zarówno użytkownicy budynków, jak i projektanci kładli większy nacisk na wygląd elewacji. Przenoszono „znaczenie obiektu z jego formy-bryły na jego powierzchnię" [222, s. 18]. Rola nowego nurtu zwiększała się szczególnie wobec upowszechnienia zestandaryzowanych rozwiązań i zunifikowania wyglądu budynków. W środowisku akademickim analizowano, jak **układ przestrzenny tafli** może wpływać na **efekty wizualne** odbierane przez użytkowników. Kwestie odbioru fasady i zjawisk optycznych, które ją kształtowały, odzyskiwały należne im miejsce w dyskursie i znaczenie w kształtowaniu formy. Szczególnie inspirujący okazał się tekst Rowe'a i Slutzky'ego (zob. Załącznik A, s. 251), gdzie dokonywano teoretycznego rozdzielenia „**planów elewacji i rozwarstwienia jej przestrzeni**" [225, s. 75]. Zwiastunem zmian był projekt przygotowany przez OMA na konkurs Très Grande Bibliothèque w Paryżu, a następnie propozycja pracowni Herzog & de Meuron zgłoszona na konkurs na projekt kościoła greckokatolickiego w Zurychu w 1989 roku (zob. rozdz. 1.4.1, s. 30). W przypadku obu obiektów kładziono nacisk na kształtowanie fasady jako **wielowarstwowej** przegrody o **zróżnicowanej przezroczystości**.

Ze względu na postęp technologiczny i rozwój form architektonicznych zastosowanie tafli przepuszczających światło, zarówno przezroczystych, jak i przeświecalnych, ewoluowało od układów najprostszych, w których dążono do szczelnego **wypełnienia otworu elementami drobnowymiarowymi** – jak w oknach witrażowych – do wyrafinowanych wieloelementowych aranżacji przestrzennych, gdzie wykorzystuje się tafle **ustawione w wielu warstwach** – jak w trójwarstwowych szybach zespolonych lub podwójnych fasadach. Odmienne układy tafli w przezroczystych elewacjach analizuje także Stefan Kuryłowicz. W ważnym opiniotwórczym eseju pt. *Pudło ze szkła*

wyróżnia „przeszklenia pojedyncze”, „izolacyjne zestawy szklane” oraz „fasady podwójne […] z warstwą paneli szklanych mocowanych punktowo” [157, s. 96 i 99].

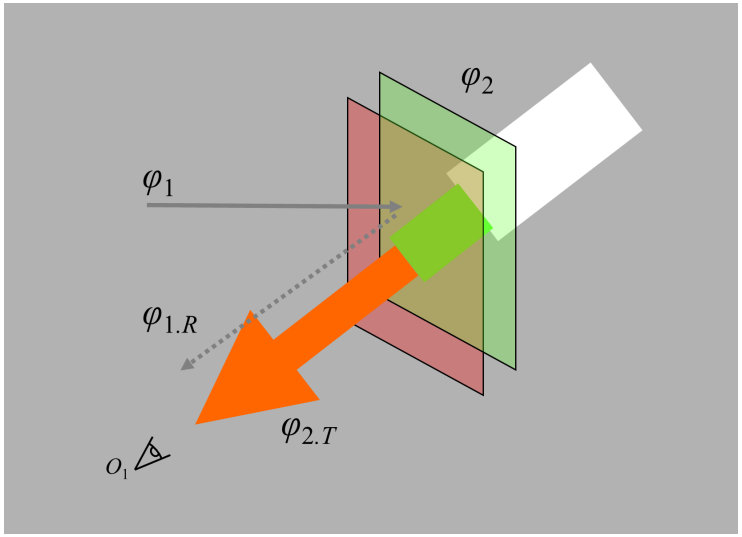
4.1. Układy optyczne i ich typy

W przypadku pojedynczej tafli obrazy widoczne dla obserwatora powstają w wyniku występowania podstawowych **zjawisk optycznych:** odbicia i przepuszczania światła. Proces ich tworzenia nie jest skomplikowany, choć niektóre czynniki wpływające na ostateczny **efekt wizualny**, mimo że podlegają jasno sformułowanym regułom, są sprzeczne z powszechną intuicją. Należy do nich współczynnik odbicia, który zwiększa się wraz ze zwiększaniem się kąta obserwacji w sposób nieliniowy (zob. rozdz. 3.1.2.5, s. 90). Obrazy widoczne przy obserwacji złożonych układów optycznych tafli są tworzone w wyniku występowania tych samych podstawowych zjawisk optycznych, ale zwielokrotnionych i dzięki temu wzajemnie znoszących się lub wzmacniających. W rezultacie występuje wiele **efektów wizualnych**, nieobserwowanych w przypadku tafli pojedynczych. Efekty te wynikają z układów przestrzennych tafli i są następstwem interakcji, jakie między nimi zachodzą.

Układem optycznym określamy zespół elementów optycznych: soczewek, zwierciadeł, pryzmatów, tafli – płytek płasko-równoległych, które biorą udział w tworzeniu obrazu odbieranego przez obserwatora. Strumień świetlny wchodzi z poszczególnymi elementami układu w interakcje: jest przez nie przepuszczany, odbija się, rozprasza lub zachodzą wszystkie te zjawiska optyczne jednocześnie. Tafle stosowane w architekturze tworzą układy optyczne, choć nie występują w nich wielkowymiarowe soczewki – typowe dla układów optycznych w urządzeniach: mikroskopach, obiektywach, lunetach. Układy optyczne tafli są rozpatrywane jako układy barwnych lub neutralnych filtrów.

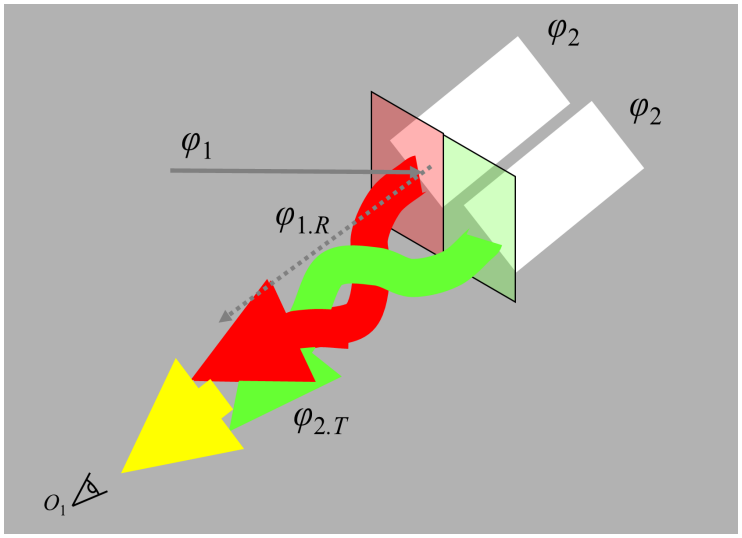
Na podstawie analizy zjawisk optycznych oraz zaobserwowanych efektów wizualnych wydzielono dwa podstawowe przestrzenne układy optyczne elementów przepuszczających światło: **warstwowy i sąsiadujący**. Za czynnik determinujący wyróżnienie układów przyjęto bieg strumienia świetlnego oraz położenie tafli przepuszczających światło względem kierunku patrzenia, który definiowany jest jako wyobrażona linia prosta łącząca oko obserwatora z dostrzeganym układem elementów.

W **układzie warstwowym** elementy o różnych właściwościach optycznych **nakładają się na siebie** w polu widzenia obserwatora. Tworząc ten układ, nie muszą być ustawione ściśle równolegle do



Ryc. 57. Schemat układu warstwowego.

Źródło: opracowanie autor



Ryc. 58. Schemat układu sąsiadującego.

Źródło: opracowanie autor

siebie ani ściśle prostopadle do kierunku patrzenia (ryc. 57). Istotne jest, aby strumień świetlny przechodził przez nie kolejno, zanim przyczyni się do powstania obrazu rzeczywistego odbieranego przez obserwatora. Światło przefiltrowane przez element leżący najdalej jest następnie filtrowane przez ten, który znajduje się bliżej obserwatora itd. W wyniku takiego przestrzennego ustawienia właściwości optyczne poszczególnych elementów oddziałują na strumień świetlny w kolejności, jaką wyznacza kierunek strumienia[88]. Każdy element optyczny, filtrując światło, wpłynie na obraz odbierany przez obserwatora. Element o wysokim współczynniku odbicia lub w ogóle nieprzepuszczający światła może ten obraz całkowicie zablokować. Układ warstwowy charakteryzuje się tym, że końcowy efekt wizualny w całym obszarze, gdzie dojdzie do nałożenia, jest zdominowany przez to zjawisko optyczne, które **w największym stopniu wpływa na odbierany obraz**. Decydujące znaczenie ma ten element pochłaniający najwięcej przepuszczanego światła – np. filtr, który jest najciemniejszy, o największej gęstości optycznej.

Układ sąsiadujący to zespół elementów o różnych właściwościach optycznych **ustawionych obok siebie** w taki sposób, że strumień świetlny przechodzi tylko przez jeden z nich, zanim utworzy obraz rzeczywisty odbierany przez obserwatora (ryc. 58). Elementy te mogą stykać się ze sobą bezpośrednio lub być od siebie oddalone.

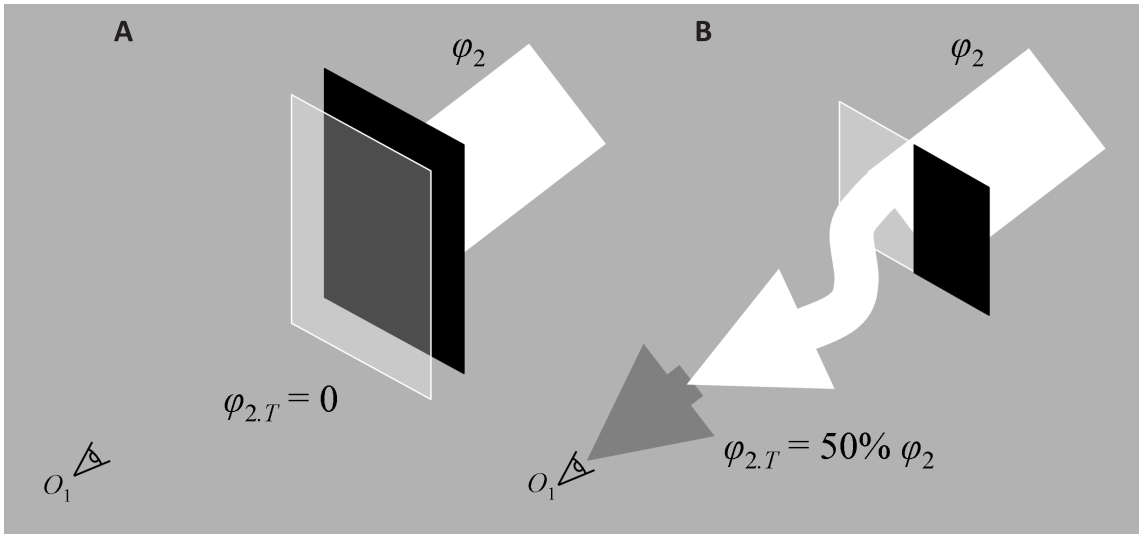
Efekty wizualne odbierane przez obserwatorów będą zależne od parametrów optycznych elementów tworzących układ oraz od ich rozmiaru w obrazie siatkówkowym. Obserwator **rozróżnia jako odrębne** sąsiadujące elementy układu, jeśli wielkość kątowa ich obrazu rzeczywistego, tworzonego na siatkówce, wynosi około 1–3 minut[89]. Jeżeli jest mniejsza, elementy stają się **nierozróżnialne**. W takiej sytuacji lokalny efekt wizualny będzie wypadkową, wynikiem zsumowania proporcjonalnie do ich procentowego udziału, strumieni świetlnych o różnych parametrach przefiltrowanych przez sąsiadujące elementy układu. Jeśli elementy układu są rozmieszczone równomiernie, obserwator będzie je spostrzegał jako **obiekt jednorodny**, o właściwościach wypadkowych.

[88] W przypadku tafli barwnych (tzw. filtrów selektywnych) ta sekwencja będzie miała wpływ na obraz tworzący się na siatkówce oka. Rezultat jest niezależny od kolejności, w jakiej są ustawione tafle, jeśli pod uwagę brany jest wyłącznie strumień przepuszczany $\varphi_{2.T}$. Jeżeli zostanie również uwzględniony strumień odbity $\varphi_{1.R}$, to kolejność ma znaczenie. Wyniki badań na temat spostrzegania przezroczystości w środowisku barwnym pokazują, że strumień świetlny odbity od tafli, która znajduje się najbliżej obserwatora, wpływa na ostateczny rezultat w sposób znaczący (zob. rozdz. 6.7.4.1, s. 228).

[89] W zależności od osobniczych predyspozycji w wycinku pola widzenia o wielkości kątowej 1° możliwe jest rozróżnienie 20–60 linii.

Różnica w efektach wizualnych, które odbiera obserwator w układach warstwowych i sąsiadujących, jest zasadnicza. Jeśli w układzie sąsiadującym znajdą się równomiernie rozmieszczone filtry czerwone i zielone w równej proporcji, to w rezultacie otrzymamy światło żółte, które powstaje w wyniku addytywnego zmieszania światła barwy czerwonej ze światłem barwy zielonej. W przypadku ustawienia tych samych elementów w układzie warstwowym otrzymamy barwę brudnopomarańczową. Więcej na temat mieszania barw światła w układach warstwowych i sąsiadujących zob. w rozdz. 4.3.1.2, s. 159.

W układach: warstwowym i sąsiadującym autor przewiduje wystąpienie obiektów, które w ogóle **nie przepuszczają światła**. Nie są one elementami optycznymi[90], ale wpływają na odbierane efekty wizualne układu tafli. Układ warstwowy składający się z jednej tafli przezroczystej i obiektu nieprzepuszczającego światła będzie dla obserwatora w 100% nieprzezroczysty, ponieważ ciągłość strumienia świetlnego zostanie przerwana (ryc. 59). Układ sąsiadujący zawierający elementy nieprzepuszczające światła spowoduje zmniejszenie intensywności obrazu rzeczywistego proporcjonalne do udziału elementów nieprzezroczystych – 10% udziału będzie oznaczało 10% zmniejszenie intensywności, 50% – 50% itd.



Ryc. 59. Zmiana efektów wizualnych w schematach zawierających elementy nieprzepuszczające światła. **A**. Element nieprzepuszczający światła w układzie warstwowym spowoduje zablokowanie strumienia. **B.** Element nieprzepuszczający światła w układzie sąsiadującym wywoła redukcję intensywności obrazu rzeczywistego – np. o połowę, jeśli jego udział wynosi 50%.

Źródło: opracowanie autor

[90] W optyce elementem optycznym jest także przysłona. Położona we właściwym miejscu układu optycznego służy do regulacji strumienia świetlnego.

Szczególnym przypadkiem układu sąsiadującego są perforowane płyty, sita, siatki oraz ażury. Jeśli przyjąć, że powietrze jest ośrodkiem przepuszczającym światło w 100%[91], to z punktu widzenia typologii obiekty te należy klasyfikować jako układy sąsiadujące, ponieważ tworzą je obszary przepuszczające światło w 100% – otwory, szczeliny, oka siatki – oraz sąsiadujące z nimi obszary w ogóle nieprzepuszczające światła – lita płyta, wątek i osnowa, pręty siatki. Autor określa je jako **układy sąsiadujące binarne**, ponieważ parametry optyczne przyjmują dwie wartości: od $T = 0$, dla elementów nieprzepuszczających światła; skokowo do $T = 1$ dla przestrzeni między nimi, w których znajduje się powietrze. Układy sąsiadujące binarne w ogóle nie zawierają obiektów przepuszczających światło, nie są więc – biorąc pod uwagę wcześniejsze określenia – układami elementów optycznych. Układy sąsiadujące binarne zostały włączone do niniejszej pracy, ponieważ ograniczenia narządu wzroku powodują, iż **efekt wizualny przezroczystości** występuje przy obserwacji układu binarnego poniżej zdolności rozdzielczej oka (1–3 minut kątowych). Dzieje się tak dlatego, że odbierane przez obserwatora obrazy są rezultatem **uśrednienia wartości** strumieni świetlnych: odbitego od elementów nieprzepuszczających światła $\varphi_{1.R}$ – litej płyty, wątku i osnowy, prętów siatki – oraz przepuszczanego między nimi $\varphi_{2.T}$. **Efekt wizualny przezroczystości**, jako efekt uboczny zastosowania siatek i perforowanych płyt, powszechnie wykorzystuje się w architekturze, ponieważ możliwy jest do osiągnięcia bez zastosowania elementów przepuszczających światło. Siatki i perforowane płyty, którymi pokrywane są budynki, z większej odległości robią wrażenie przezroczystych.

4.1.1. Inne ujęcia morfologiczne

Dotychczasowo przeprowadzane badania naukowe i analizy budowy fasad wywodzą się z ogólnych rozważań nad morfologią form architektonicznych. Kategorie, w jakich problemy są rozważane, wiążą się z obszarem zainteresowań badacza. Szczególnie interesujące prace dotyczące spostrzegania form architektonicznych w kontekście ich manifestacji w polu widzenia prowadzone były przez Andrzeja Niezabitowskiego [194]. Obserwowane składniki struktur przestrzennych są zależne od odległości obserwatora od obiektu: te o największych rozmiarach to **makromorfemy** – inaczej formanty; te najmniejsze, niepodzielne to **woksele** – czyli kubaturowe odpowiedniki piksela [194, s. 99]. Dotychczasowe badania fasad zawierających elementy przepuszczające

[91] Zgodnie z nomenklaturą metody Visual Impact Assessment w strefie wizualnej bliskiej perspektywa powietrzna nie odgrywa znaczącej roli, można więc założyć, że powietrze jest w 100% przezroczyste [195, s. 12]. To, czy poszczególne otwory będą możliwe do rozróżnienia, zależy od zdolności rozdzielczej wzroku i od odległości od obserwowanego obiektu (budynku, układu) (zob. rozdz. 5.1.2, s. 175).

światło koncentrowały się na kwestiach klimatycznych związanych z wypromieniowaniem ciepła i ograniczaniem jego strat lub z problematyką sztucznej iluminacji. W ramach badań krajowych na potrzeby dokonanych analiz klimatycznych powstała odrębna **typologia funkcjonalno-powłokowa** opracowana przez Katarzynę Zielonko-Jung [295] w 2003 roku. Podział został dokonany z punktu widzenia zagadnień klimatycznych: inżynierii środowiska i wymiany powietrza. Podstawą do opracowania przedstawionej typologii była liczba powłok wykonanych z materiałów przepuszczających światło oraz go nieprzepuszczających, np. żaluzji lub rolet. Zielonko-Jung koncentrowała się także na spełnianych przez przegrodę funkcjach klimatycznych. W typologii uwzględniono, że liczba przepuszczających światło warstw elewacji w każdym obiekcie jest inna i może zostać powiększona o dodatkowe warstwy funkcjonalne, których zadaniem jest np. osłona akustyczna, mechaniczna lub przeciwsłoneczna[92]. Wyczerpującą **klasyfikację fasad pojedynczych i podwójnych** oraz **dachów przeszklonych** i **systemów zacieniających** przedstawił Wacław Celadyn w rozdz. 4 książki pt. *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*. Klasyfikacja ta wykorzystuje „strukturę przegrody, funkcję techniczną oraz walory użytkowe", uwzględniając „liczbę przepon" i „lokalizację osłon przeciwsłonecznych" [67, s. 89–90]. Kwestie klimatyczne w układach warstwowych materiałów przezroczystych stanowią obecnie dynamicznie rozwijającą się, ważną dziedzinę wiedzy i badań naukowych, głównie w fizyce budowli, ale także w architekturze [np. 79, s. 135–194].

Inny interesujący podział elewacji, uwzględniający emisję sztucznego światła z wnętrza obiektu, zaproponowała Grażyna Czora, która ustala cechy „materiałów i układów kompozycyjnych płaszczyzn ważnych dla relacji światło–obiekt" [76], a następnie wyróżnia tzw. świetlne typy elewacji, m.in. **otworowy transparentny** (ETO), **perforowany nieprzezierny** (ENPR), **perforowany transparentny** (ETPR) [76]. Ze względu na to, że iluminacji podlegają także płaszczyzny pełne, nieprzepuszczające światła, zaproponowana typologia wyróżnia wiele kategorii podziału istotnych również dla relacji kubaturowych (nieprzezierne–transparentne, pełne–otworowe, pionowe–poziome).

Wyróżnione w niniejszym opracowaniu układy optyczne materiałów przepuszczających światło bazują na wprowadzonym wcześniej podziale na układy sąsiadujące, warstwowe oraz binarne. Tabela 3 przedstawia opisane w monografii układy optyczne materiałów przepuszczających światło w powiązaniu z wybranymi efektami wizualnymi towarzyszącymi ich odbiorowi. Przyporządkowane zostały także elementy budowlane, w których występują wyróżnione układy.

[92] W 2009 roku autor niniejszego opracowania rozszerzył tę typologię o kategorie układów przestrzennych podwójnych elewacji [38]. Badania te oraz analizy nie były przez niego kontynuowane.

Tabela 3. Wyróżnione przez autora układy optyczne materiałów przepuszczających światło.

Źródło: opracowanie autor

	Warstwowe	Sąsiadujące	Mieszane		Binarne
			SW**	WS**	
Zjawiska optyczne	zwielokrotnione pochłanianie zwielokrotnione przepuszczanie zwielokrotnione odbicie lustrzane iryzacja przy cienkich warstwach substraktywne mieszanie barw (jak pigmentów)	uśrednianie wartości strumieni świetlnych odmienne zjawiska optyczne dla różnych części pola widzenia addytywne mieszanie barw (jak wiązek światła)	odmienne zjawiska optyczne dla różnych części pola widzenia: pochłanianie, przepuszczanie i odbicie strumieni świetlnych		uśrednianie wartości strumieni świetlnych addytywne mieszanie barw (jak wiązek światła)
Wybrane efekty wizualne	przyciemnienie obrazu rzeczywistego nałożenie obrazów pozornych utrata ostrości w części pola widzenia pozorne powielenie elementów fasady zmiana barwy obrazu rzeczywistego	mozaika sąsiadujących obszarów zmiana barwy obrazu rzeczywistego	mozaika sąsiadujących obszarów przenikanie planów efekt głębi	mozaika sąsiadujących obszarów celowe ograniczenie przezroczystości	efekt wizualny przezroczystości osiągnięty bez zastosowania obiektów przepuszczających światło efekty wizualne układu zależne od odległości i rozmiaru obszarów
Elementy budowlane	okna krosnowe okna szwedzkie szyby zespolone podwójne fasady obudowy typu „klosz” (*cloche*)	witraże tafle układane w stosy ściany osłonowe (kurtynowe) fasady strukturalne (tafle klejone do ramiaka) systemy bezramowe (tafle mocowane punktowo)	podwójne fasady o przesuniętych powłokach osłony przeciwsłoneczne: rolety, żaluzje itp.	moduły fasadowe prefabrykowane okna skrzynkowe prefabrykowane	perforacje siatki tkaniny z przędzy stalowej ażury

** Określenia typów podukładów zob. s. 160.

4.2. Układ warstwowy

Układy warstwowe materiałów przepuszczających światło stosowano od połowy XIX wieku[93], jednak zostały one spopularyzowane dopiero w latach 20. XX wieku[94]. Powodem była wysoka cena tafli produkowanych niedoskonałymi, często ręcznymi, technologiami. Stosowanie tafli w wielu warstwach umożliwiło **zmniejszenie strat ciepła i ograniczenie energochłonności budynków**. Dzięki wytworzeniu bufora termicznego między taflami zmniejszono konwekcję, a tym samym straty energii. Rozwiązanie to w sposób zasadniczy zmieniło metody projektowania przeszkleń, wpłynęło na zwiększenie ich gabarytów oraz znaczenie w architekturze. Kwestie energetyczne w rozważaniu układów warstwowych są aktualnie ujęciem wiodącym. Potwierdza to przeprowadzona przez autora metaanaliza badań naukowych. Zagadnienia strat lub zysków ciepła zdominowały dyskurs, głównie ze względu na nacisk wywierany przez użytkowników budynków. Większość dostępnych źródeł koncentruje się na aspektach klimatycznych układów warstwowych, np. podwójnych fasad [79, rozdz. 7], ze względu na faktyczne zagrożenie „przegrzaniem w okresie letnim, które wynika ze zbieżności różnych niekorzystnych czynników: wysokiej temperatury powietrza, zysków ciepła od słońca oraz zysków wewnętrznych” [167, s. 1115].

---

[93] Duży współczynnik przenikania ciepła przez pojedynczą taflę szkła sprawiał, że ograniczano powierzchnię okien, aby zminimalizować straty ciepła i ograniczyć wydatki na kosztowny opał. Źródła informują, że pierwsze podwójne szklenie zaczęto stosować w wietrznej Szkocji w czasach wiktoriańskich i głównym powodem „zdwajania” okien było dążenie do eliminacji przeciągów i nieszczelności [128]. Zewnętrzne, montowane tylko na zimę, tafle szklane oprawione w drewniane ramy, czyli okna skrzynkowe zwane *kastenfenster*, stosowano w XIX wieku w austriackich wioskach alpejskich [72]. Powszechne użycie zdwojonych tafli było przez wiele lat ograniczone przez ich wysoką cenę. Powietrze ujęte między dwie warstwy szkła tworzy bufor cieplny: przestrzeń o temperaturze pośredniej. Ruch powietrza w zamkniętej przestrzeni zostaje znacznie ograniczony. Zmniejsza to wypromieniowywanie ciepła na skutek konwekcji. Podobną funkcję pełni warstwa powietrza między szybami tradycyjnych podwójnych okien krosnowych oraz w stosowanych w Polsce powszechnie od lat 60. XX wieku tzw. oknach szwedzkich. Na temat ich termorenowacji w warunkach polskich pisze Sabina Kuc [156].
Pierwsze hermetycznie zamknięte szyby zespolone zostały opracowane w latach 30. XX wieku w USA jako wynalazek Charlesa D. Havena, o oryginalnej nazwie „Thermopane”, i sprzedawane przez Libbey Owens Ford Glass Company. Rozwiązanie to stało się popularne dopiero w latach 50. XX wieku i rozpowszechniło się na cały świat. Współczesne termoizolacyjne zestawy zespolone są „udoskonaloną wersją tego wcześniejszego rozwiązania. Dwie tafle szkła łączone są hermetycznie elastycznym spoiwem, pustkę wypełnia się suchym powietrzem, tak aby nie występowało zjawisko wykraplania pary wodnej. Stosowane są także gazy szlachetne: ksenon, argon lub krypton. Ogranicza to w znacznym stopniu przenikanie ciepła” [55, s. 82]. W wielu rozwiązaniach między tafle szkła wprowadza się także dodatkowe ciepłochronne folie napylane cienkimi warstwami tlenków metali, tworząc, zgodnie z przedstawioną systematyką, układy warstwowe składające się z naprzemiennie występujących warstw powietrza i różnych materiałów.

[94] Tafle o wystarczająco dużych gabarytach, aby wypełniać nimi całe otwory okienne, zaczęto wytwarzać w połowie XIX wieku, a te wykonane z tworzyw sztucznych (szkła organicznego, PMMA, syntetycznych tekstyliów) dopiero w XX wieku.

Współcześnie układy warstwowe stosowane są w architekturze powszechnie. Mogą być tworzone z dowolnie ukształtowanych elementów, ale najczęściej spotyka się płaskie tafle. Układy warstwowe występują we wciąż popularnych oknach ościeżnicowych i tzw. szwedzkich oraz w oknach krosnowych, w których wykorzystano dodatkowe przeszklenie. Na większą skalę znalazły zastosowanie w **podwójnych fasadach** lub w **rozwiązaniach typu *cloche***, które montuje się głównie ze względów klimatycznych [202]. To ostatnie rozwiązanie polega na otoczeniu budynku **dodatkową** przepuszczającą światło przegrodą na wzór szklanego dzwonu – *cloche* – używanego do osłony żywności lub uprawy roślin [zob. 47]. Układy warstwowe tworzą się wtedy w obszarach, w których zewnętrzna powłoka znajduje się naprzeciwko okien w elewacji budynku „nakrytego" takim dzwonem. Układy warstwowe powstają także jako wynik **układów tafli wolno stojących lub szklanych kurtyn** nakładających się w polu widzenia obserwatora. Jeśli przyjmie się odpowiedni punkt obserwacji, układ warstwowy możne zostać utworzony z dowolnych elementów przepuszczających światło.

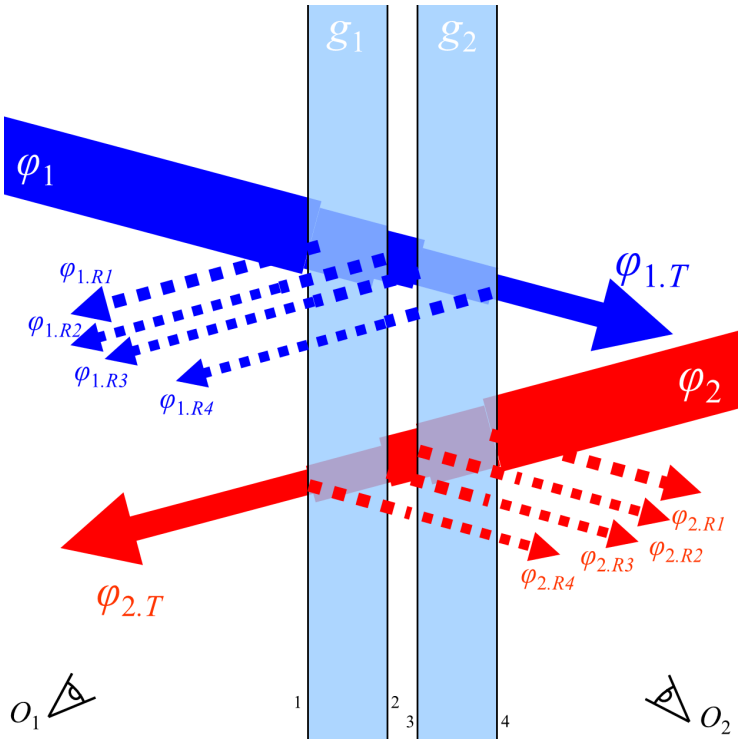
Analizę efektów wizualnych przy stosowaniu układów warstwowych tafli autor zapoczątkował w artykule *Multiplication of optical phenomena in double leaf façades* [44]. W niniejszej pracy została ona poszerzona o dodatkowe zagadnienia i przykłady.

Zestawy tzw. szkła zespolonego, składające się z dwóch lub więcej tafli, według założeń sformułowanej definicji tworzą układ warstwowy. Zgodnie z zastrzeżeniem przyjętym we wstępie do rozdz. 3 (s. 67) są rozważane jako tafle pojedyncze i opisane w rozdz. 3.

4.2.1. Efekty wizualne w odbiorze układów warstwowych

W układach warstwowych zjawiska optyczne ulegną zwielokrotnieniu, a w wyniku przekształcenia „dwuwymiarowej płaszczyzny w element przestrzenny" elewacja zyskuje „cechy tektoniczne" [169, s. 15]. Reguła tworzenia obrazu wynikowego przy obserwacji tafli w układach warstwowych jest taka sama, jak w taflach pojedynczych: powstaje on w rezultacie nałożenia obrazów składowych. Odrębnej analizy wymaga więc to, w jaki sposób w układzie warstwowym przekształcony zostanie strumień przepuszczany $\varphi_{2.T}$, a w jaki strumień odbity $\varphi_{1.R}$.

Strumień pierwotny φ_2 przepuszczany jest przez kolejno ustawione tafle-filtry kształtujące odbierany obraz adekwatnie do swoich właściwości optycznych. Zwiększenie liczby tafli w układzie powoduje stopniowe **zmniejszenie wartości** strumienia przepuszczanego – jeśli



Ryc. 60. Schemat strumieni świetlnych przy przejściu przez układ warstwowy przezroczystych tafli. Strumień przepuszczany φ_2 osłabiany jest przez kolejne tafle-filtry (g_1 oraz g_2), strumień padający φ_1 jest wielokrotnie odbijany na każdej granicy między materiałami o odmiennym współczynniku załamania – 1, 2, 3, 4, tworząc strumienie wtórne odbite $\varphi_{1.R1}$, $\varphi_{1.R2}$, $\varphi_{1.R3}$, $\varphi_{1.R4}$.

Źródło: opracowanie autor

tafle są filtrami neutralnymi, lub równoczesne osłabienie strumienia przepuszczanego i również **zmianę jego barwy** – jeśli tafle są filtrami barwnymi. Następstwem jest efekt wizualny osłabienia lub osłabienia i zabarwienia obrazu rzeczywistego – zmniejszenia jaskrawości obserwowanych powierzchni. Zaistniałe zjawiska optyczne wpłyną na odbiór wyglądu budynku zarówno z zewnątrz, jak i od środka.

Zjawisko odbicia od tafli w układzie warstwowym występuje podobnie jak przy taflach pojedynczych, ale jest zwielokrotnione. Odbicie strumienia świetlnego φ_1 nastąpi na każdej granicy materiałów o odmiennych współczynnikach załamania światła (granice na ryc. 60 oznaczono 1, 2, 3, 4) – przy dwóch taflach na każdej tafli dwukrotnie. W rezultacie powstaną cztery równoległe do siebie wtórne strumienie świetlne odbite $\varphi_{1.R1}$, $\varphi_{1.R2}$, $\varphi_{1.R3}$, $\varphi_{1.R4}$. Następstwem tego jest **efekt wizualny powielenia i nałożenia wielu obrazów pozornych**, które powstają w wyniku odbicia od dwóch powierzchni granicznych każdej tafli (ryc. 60)[95]. Analogiczna sytuacja dotyczy strumienia φ_2 obserwowanego z przeciwnej strony tafli przez obserwatora O_2. Amerykański fizyk, noblista Richard Phillips Feynman opisuje ten problem optyczny z charakterystycznym dla siebie poczuciem humoru: „Częściowe odbicie od pojedynczej powierzchni stanowi trudny problem, ale częściowe odbicie od dwóch lub więcej powierzchni – to już absolutna łamigłówka” [100, s. 24]. Obliczenie intensywności strumieni świetlnych, które znajdą się po dwóch stronach przezroczystej przegrody, fizyk sprowadza „do obliczania prawdopodobieństwa danego zdarzenia” [100].

W konsekwencji – przy rozważaniu dwóch tafli – obraz wynikowy będzie powstawał przy udziale strumienia wtórnego przepuszczanego $\varphi_{2.T}$ oraz czterech wtórnych strumieni odbitych: $\varphi_{1.R1}$, $\varphi_{1.R2}$, $\varphi_{1.R3}$, $\varphi_{1.R4}$. Ze względu na niewielką grubość strumienie odbite od powierzchni granicznych tej samej tafli będą zlokalizowane bardzo blisko siebie, a więc staną się nierozróżnialne w skali obserwacji budynku. Uproszczone rozważania nad proporcjami strumieni świetlnych przy przejściu przez układ warstwowy dają podstawę do stwierdzenia, że przy standardowych taflach szkła sodowo-wapniowego każda kolejna tafla powoduje osłabienie przepuszczanego strumienia świetlnego o 8–10%, a wzmocnienie strumienia odbitego o 6–8% [100, s. 25]. Rozważania te prowadzone były dla środowiska monochromatycznego i nie uwzględniają zabarwienia strumienia świetlnego.

[95] Ze względu na niewielką grubość tafli – od kilku do kilkunastu milimetrów – obrazy pozorne formowane przez strumienie odbite od granic tej samej tafli znajdą się na tyle blisko siebie, że będą nierozróżnialne w skali, w jakiej obserwowany jest budynek.

Regulowane urządzenia wspomagające: **żaluzje i rolety** – jako elementy nieprzepuszczające światła – również wpływają na odbierane przez obserwatorów efekty wizualne: „determinują wygląd zewnętrzny budynku, szczególnie w gorących okresach roku” [3, s. 96]. Ograniczenia klimatyczne wymagają uważnego planowania elementów regulacyjnych fasady. Wpływ ich działania na formę architektoniczną powinien zostać uwzględniony już w pierwotnej koncepcji projektowej. W przeciwny razie dodatkowe warstwy rolet i żaluzji stosowane ze względu na ograniczenie przegrzewania mogą sprawić, że „pożądana **przezroczystość i kontakt wzrokowy** użytkownika z otoczeniem zostają utracone nawet na kilka miesięcy w roku” [3, s. 96].

4.2.1.1. Efekty pochłaniania w wielu warstwach

Efekty wizualne wielokrotnego pochłaniania można zaobserwować w licznych obiektach architektonicznych. Zjawiska te będą zależne od tego, czy przepuszczające światło tafle są filtrami neutralnymi – wtedy nastąpi **przyciemnienie obrazu rzeczywistego**, czy filtrami barwnymi – które wywołają dodatkowo **zabarwienie obrazu**.

Filtry neutralne powodują zmniejszenie wartości strumienia świetlnego, co objawia się przyciemnieniem obrazu odbieranego przez obserwatora, tzn. zmniejszeniem jaskrawości obserwowanych powierzchni. Cienkie tafle, czyli tzw. jasne filtry, nie wpływają na obraz w sposób znaczący, filtry ciemne – przeciwnie. Zmniejszenie jaskrawości obrazu jest proporcjonalne do sumarycznej grubości warstwy, przez którą będzie przepuszczany strumień świetlny. W polu widzenia obserwatora dostrzegalny jest wyłącznie rezultat łączny: efekt wizualny przyciemnienia obrazu rzeczywistego. Jeśli tafle nakładają się tylko fragmentarycznie, **zmniejszenie jaskrawości jest skokowe**, więc w polu widzenia znajduje się „mozaika” obrazów rzeczywistych o różnym stopniu „przefiltrowania”. Zbliża to układy warstwowe w osiąganych efektach wizualnych do układów sąsiadujących.

Wizualny efekt przyciemnienia obrazu rzeczywistego i zmniejszenia jego kontrastu występuje w Muzeum Branly w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 2006), gdzie pionowe, równoległe do siebie tafle wydzielają muzealny ogród i jednocześnie izolują budynek od ruchliwej wielopasmowej ulicy. Przezroczystą „kurtynę” spostrzega się głównie na tle nieboskłonu o wysokiej luminancji. Strumień przepuszczany $\varphi_{2.T}$ jest filtrowany przez nakładające się tafle (ryc. 61). Ich liczba w polu widzenia obserwatora zależy od przyjętego punktu obserwacji. Każda dodatkowa tafla, przez którą



Ryc. 61. Zmniejszenie intensywności i kontrastu obrazu rzeczywistego – układ warstwowy tafli. Muzeum Branly w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 2006). Zob. również tab. 4, poz. 4, s. 169.

Źródło: fot. i opracowanie autor



Ryc. 62. Zmniejszenie jasności i kontrastu obrazu rzeczywistego na skutek nakładania się wielu tafli w polu widzenia obserwatora. Siedziba Fundacji Cartiera w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 1994). Zob. również tab. 4, poz. 1, s. 169.

Źródło: fot. i opracowanie autor

przepuszczane jest światło, powoduje **zmniejszenie jasności i kontrastu obrazu rzeczywistego** widzianego przez obserwatora O_1.

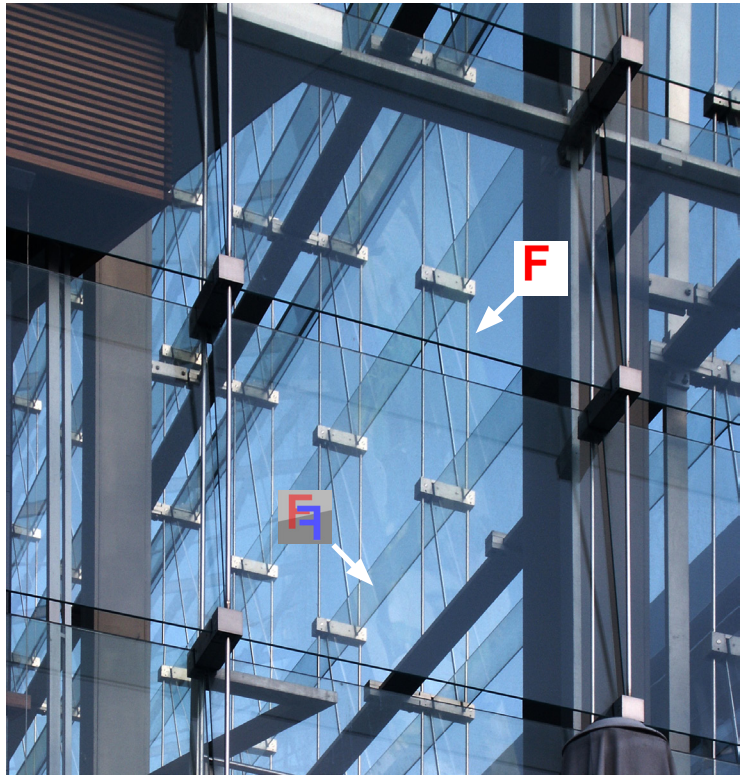
Wielowarstwowe szklane ekrany stosowane są również w siedzibie Fundacji Cartiera w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 1994) i przyczyniają się do wystąpienia podobnych efektów. Fotografia pokazuje fragmentarycznie nakładające się tafle obserwowane ze starannie wybranego punktu [web 12]. Wysokiej jakości szkło o parametrach neutralnego filtra powoduje, że pojedyncza tafla wywołuje bardzo niewielkie zmniejszenie jasności obrazu (ryc. 62, s. 141). Dopiero kolejne nakładające się tafle potęgują efekt wizualny przyciemnienia obrazu rzeczywistego i zmniejszenia jego kontrastu.

W obiektach, w których tafle zainstalowano pod kątem prostym względem siebie, nakładają się one w polu widzenia obserwatora wtedy, gdy zostanie przyjęty odpowiedni punkt obserwacji (ryc. 63). W przypadku oranżerii w parku im. Andrégo Citroëna w Paryżu (arch. Patrick Berger, Jean-François Jodry, Jean-Paul Viguier, 1992) nałożenie występuje w narożnikach budynku



Ryc. 63. Nakładające się tafle w narożniku budynku powodują przyciemnienie obrazu. Oranżeria w parku im. Andrégo Citroëna w Paryżu (arch. Patrick Berger, Jean-François Jodry, Jean-Paul Viguier, 1992). Zob. również tab. 4, poz. 2, s. 169.

Źródło: fot. i opracowanie autor



Ryc. 64. Tafle przezroczyste o parametrach jasnego, neutralnego filtra (*clear glass*) powodują zmniejszenie kontrastu obrazu. Biurowiec przy Hammerstrasse 19 w Düsseldorfie (arch. Petzinka Pink Architekten, 2000). Zob. również tab. 4, poz. 3, s. 169.

Źródło: fot. i opracowanie autor

– w miejscach, w których znajdują się słupy konstrukcyjne – lub tam, gdzie dylatacje dzielą długie fasady [31]. Strumień $\varphi_{2.T}$ jest przepuszczany przez dwie lub cztery tafle. W przypadku biurowca przy Hammerstrasse 19 w Düsseldorfie (arch. Petzinka Pink Architekten, 2000) tafle zamontowano w układzie rybiej łuski, pozostawiając szpary dla wentylacji (ryc. 64). W narożniku budynku tafle obserwowane z perspektywy przechodnia nakładają się, powodując wyraźne zmniejszenie kontrastu widocznego obrazu.

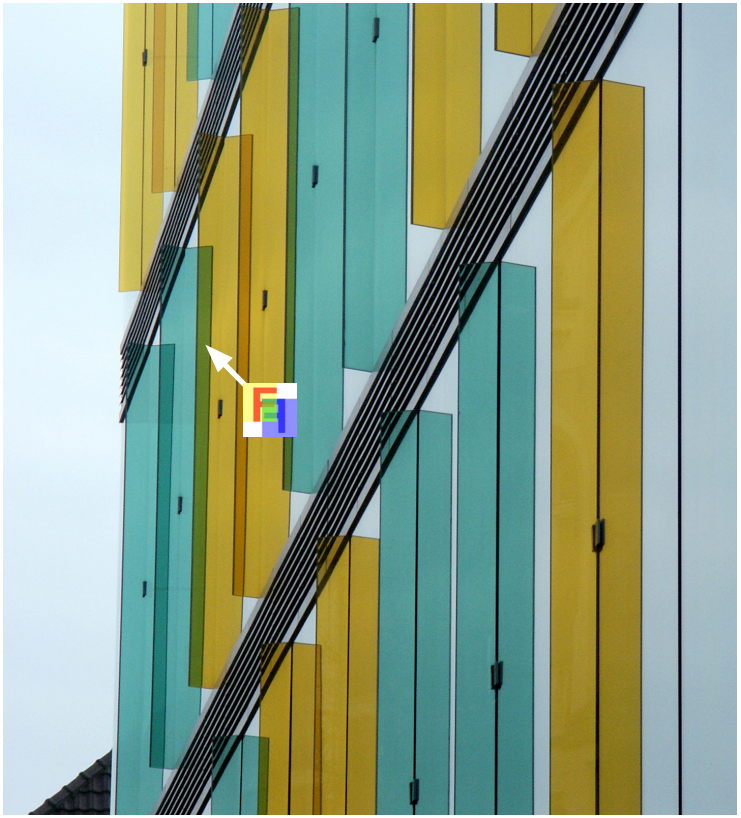
Filtry barwne oddziałują na bezbarwny strumień świetlny przez zawężenie widma przepuszczanego światła. Efekt wizualny **zabarwienia obrazu rzeczywistego** będzie zależny od stopnia monochromatyczności filtrów, czyli od tego, na ile wąski fragment widma jest wydzielany. Nakładające się barwne tafle są *ex definitione* filtrami, które kolejno przepuszczają światło. Barwa światła wynikowego, przepuszczanego przez układ warstwowy takich tafli, powstaje zgodnie z tzw. zasadą syntezy substraktywnej – poszczególne filtry „odejmują–blokują" określone fragmenty widma od przepuszczanego światła o barwie złożonej, czyli światła białego[96]. Efekt wizualny przepuszczania strumienia przez układ wielobarwnych filtrów jest **tożsamy z efektem mieszania przezroczystych pigmentów** w trzech barwach podstawowych: niebieskiej, żółtej i czerwonej – np. w druku offsetowym lub atramentowym. W wyniku filtracji przez dwie tafle: żółtą i niebieską otrzymamy światło zielone. Odmienne reguły – tzw. synteza addytywna – określają mieszanie barw światła emitowanego (zob. rozdz. 4.3.1.2, s. 159)[97].

Efekty wizualne otrzymane w wyniku nałożenia wielobarwnych filtrów będą **zależne od liczby filtrów i ich parametrów**. W układach dwubarwnych mieszanie kolorów jest intuicyjne przez podobieństwo do mieszania pigmentów, farb itp.[98] Takie dwubarwne tafle – żółte i niebieskie – zostały ustawione pod kątem prostym do płaszczyzny elewacji biurowca Kennedy Haus w Düsseldorfie (arch. Ulrich Coersmeier, Kister/Scheithauer/Gross, 2004). Te elementy sprawiają wrażenie dekoracyjnych, ponieważ rytm AA-BB-AA-BB jest powtarzalny, a na poszczególnych kondygnacjach

[96] Metoda syntezy substraktywnej jest również wykorzystywana w muzyce elektronicznej. Z szumu, nomen omen nazywanego białym, czyli takim, w którym występują wszystkie możliwe częstotliwości, każda o tej samej mocy – izoluje się przy wykorzystaniu elektronicznych filtrów różne częstotliwości i dzięki temu uzyskuje odmienne barwy dźwięku.

[97] Synteza addytywna jest stosowana w wielu urządzeniach codziennego użytku emitujących różnobarwne wiązki światła: monitorach, kolorowych wyświetlaczach telefonów komórkowych, projektorach multimedialnych itp.

[98] System Vanceva® Color Interlayers stosowany jest przy produkcji barwnego szkła budowlanego. Dla osiągnięcia konkretnego odcienia używa się barwnych filtrów składowych wykonanych z folii PVB o grubości 0,38 milimetra. Różne zestawienia pozwalają na osiągnięcie ponad 3000 barw tafli przezroczystych.



Ryc. 65. Zabarwienie obrazu rzeczywistego powstającego w wyniku przepuszczania strumienia przez dwa filtry barwne. Biurowiec Kennedy Haus w Düsseldorfie (arch. Ulrich Coersmeier, Kister/Scheithauer/Gross, 2004).

Źródło: fot. i opracowanie autor

użytkowych ulega niewielkiemu przesunięciu (ryc. 65). Projektanci twierdzą jednak, że dodatkowo pełnią one funkcję „żeber akustycznych" [73], które chronią wnętrze budynku przed hałasem ruchu ulicznego. W miejscach, gdzie żółte i niebieskie tafle nakładają się w polu widzenia obserwatora, występuje barwa zielona.

Jeśli filtrów jest więcej, **sumaryczny efekt wizualny** staje się bardziej złożony, a podstawowa wiedza z zakresu mieszania pigmentów nie wystarcza – intuicja zawodzi. Na elewacji budynku biurowego Forum 3 w kampusie firmy Novartis w Bazylei (arch. Diener & Diener, projekt elewacji Helmut Federle, 2005) tafle zostały zamocowane każda osobno, w trzech warstwach na systemowych cięgnach za pomocą specjalnie ukształtowanych stalowych łączników [58; 64; 135]. Barwne formatki nakładają się w wielu miejscach, a przepuszczane przez nie światło jest wielokrotnie filtrowane przez tafle o odmiennych właściwościach. Federlego inspirował „koncept przepuszczanego światła" [289]. Barwy wynikowe, widoczne dla obserwatorów, są rezultatem nie tylko nałożenia wielu filtrów, ale także interakcji z innymi strumieniami świetlnymi znajdującymi się w polu świetlnym – np. odbicie liści zmienia widoczną barwę tafli (zob. dolny fragment ryc. 66, s. 145). Przejście światła przez wielobarwne filtry ma wpływ na zabarwienie postrzeganego obrazu. Szczególnie dobrze jest to widoczne, gdy obserwator patrzy na wiele barwnych tafli (zob. rozdz. 6.7.4.1, s. 228).

Innym adekwatnym przykładem, na którym można zaobserwować więcej kombinacji mieszanych barw, jest instalacja artystyczna pt. „Akwarium" autorstwa Maurycego Gomulickiego w przeszklonym wiatrołapie[99] domu handlowego Renoma we Wrocławiu (arch. Maćków Pracownia Projektowa, 2009) – zob. także opis na s. 100. Barwne tafle znajdują się tu zarówno w pionie – tworząc przeszkloną fasadę, jak i w poziomie – tworząc przeszklone zadaszenie. „Mamy do czynienia z interpretacją Mondriana w 3D, tutaj projekt wizualizuje się w przestrzeni. Ważnym elementem jest kolor, bo to on daje radość, energię, działa na zmysły" [248]. Przy obserwacji prowadzonej od zewnątrz tafle poziome i pionowe nakładają się w polu widzenia i na jednym **kierunku patrzenia** znajdują się różnobarwne filtry. Zgodnie z zasadą mieszania pigmentów powstają nowe barwy światła: pomarańczowa – przy nałożeniu filtrów czerwonego i żółtego;

[99] Przestrzeń wiatrołapu w budynku domu handlowego Renoma wyczerpuje również definicję „przeszklonego atrium" podaną przez Janusza Marchwińskiego: „Przestrzeń wewnętrzna budynku o wysokości większej od jego typowej kondygnacji i skomponowana jako wnętrze wielkoprzestrzenne, otoczona przynajmniej z dwóch stron pełnymi ścianami, a resztę stanowią przegrody szklane. Zwykle szklany jest również dach" [171, s. 49]. Autor poprzestał jednak na definicji klasycznej, zgodnie z którą atrium to „wewnętrzny otwarty dziedziniec" [105, s. 21].



Ryc. 66. Tafle barwne wykorzystane do dekoracyjnej osłony elewacji budynku i efekty wizualne wymieszania barwnych strumieni świetlnych. Szczególnie malownicze obrazy osiągane są przy intensywnym promieniowaniu słonecznym, gdy tafle rzucają wielobarwne cienie. Rozwiązanie zostało zastosowane w biurowcu Forum 3, w kampusie firmy Novartis w Bazylei (arch. Diener & Diener, projekt elewacji Helmut Federle, 2005) [web 1].

Źródło: fot. Łukasz Woleński – wykorzystano za zgodą

fioletowa – przy nałożeniu niebieskiego i czerwonego; oraz zielona – przy nałożeniu filtrów: niebieskiego i żółtego (ryc. 67). Zabarwienie jest bardzo dobrze widoczne, a szczególnie interesujący efekt wizualny powstaje przy obserwacji dynamicznej, gdy przy zmianie punktu obserwacji tafle pozornie przesuwają się względem siebie, a barwa przepuszczanego światła ulega zmianie. Ponieważ filtry są: żółte, czerwone, niebieskie, to ich barwy pochodne są łatwe do przewidzenia.



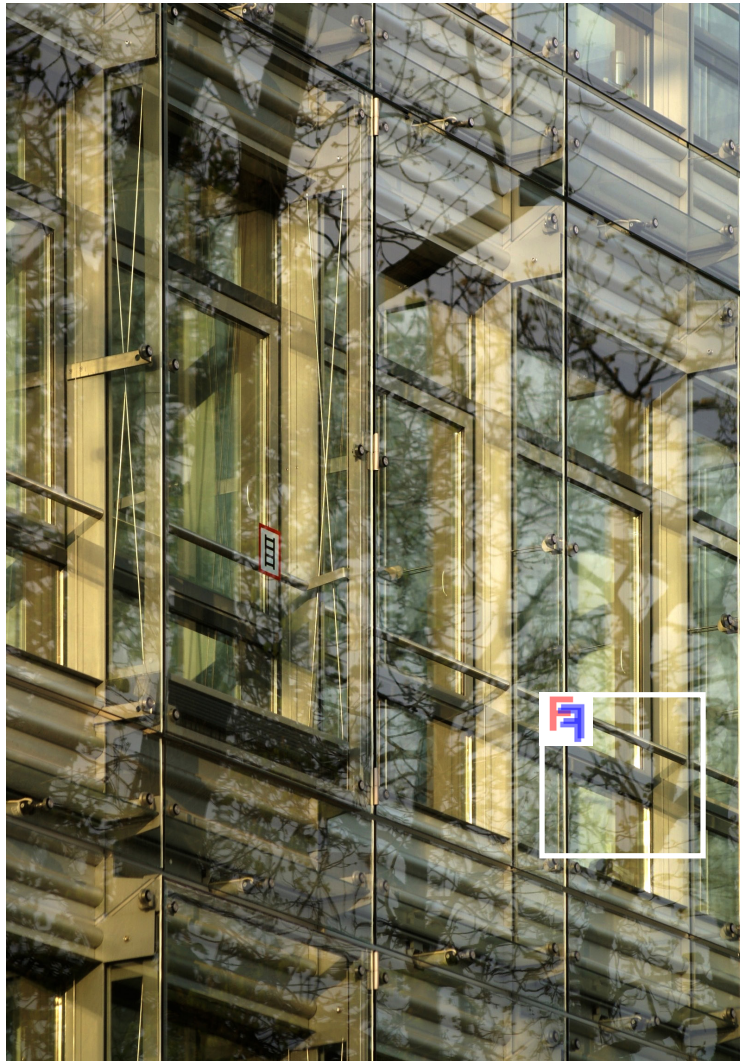
Ryc. 67. Efekty nałożenia filtrów barwnych o kolorach podstawowych – rezultaty nałożenia: barwa fioletowa i zielona. Dom handlowy Renoma we Wrocławiu (arch. Maćków Pracownia Projektowa, 2009). Zob. również tab. 4, poz. 9, s. 170.

Źródło: fot. i opracowanie autor

4.2.1.2. Efekty odbicia w wielu warstwach

W przestrzeni między dwoma gładkimi taflami promień światła „rykoszetuje" [222, s. 15], zakreślając tor zygzakowy, podobny jak w peryskopie[100]. Efekty wizualne będące rezultatem wielokrotnego odbicia wynikają z **nałożenia** licznych wtórnych strumieni świetlnych i **przesunięcia**

[100] Występuje pewna analogia między wielokrotnie odbitym promieniem światła i wielokrotnie odbitą kulą bilardową. Kula odbita wewnątrz figur regularnych (okręgu) ma tor powtarzalny i łatwy do przewidzenia. Tor kuli odbitej wewnątrz figur nieregularnych (np. tzw. stadionu Bunimovicha) jest „zagmatwany, skomplikowany i zawiły" [152, il. 1a, 1b].



Ryc. 68. Nakładające się obrazy pozorne otoczenia w taflach ustawionych w dwóch warstwach. Obrazy pozorne gałęzi i konarów nakładają się, uniemożliwiając penetrację wzrokiem wnętrza budynku. Biurowiec przy Bockenheimer Landstrasse we Frankfurcie nad Menem (arch. KSP Architekten, 1998). Zob. również tab. 4, poz. 5, s. 169.

Źródło: fot. i opracowanie autor na podstawie publikacji własnej [44]

powstających obrazów pozornych. Istotę tego zagadnienia dla przezroczystości w architekturze współczesnej dostrzegają jej badacze. Beatriz Colomina z Princeton University School of Architecture pisze, że przezroczyste elewacje „nie są już barierami, ale optycznymi »powielaczami«" [74, s. 82]. Konsekwencje wynikające z przenikania się i wielokrotnego nałożenia obrazów pozornych dostrzega także Jacek Dominiczak. Zaznacza on, że „kolejne odbicia światła między jej [fasady – przyp. autora] wewnętrznymi warstwami wikłają wzrok w próbę zrozumienia obserwowanego zjawiska, penetracja widzenia przez powłokę będzie spowolniona, a zobaczenie tego co znajduje się za nią, nastąpi z opóźnieniem [87, s. 60]". Richard Phillips Feynman określa to zjawisko jako „zwalnianie" światła[101] [100, s. 32]. Nazwa ta jest oczywiście metaforyczna. Co prawda światło porusza się w szkle z mniejszą prędkością niż w powietrzu, ale opóźnienie jest niedostrzegalne dla obserwatora architektury. Wydaje się, że metafora noblisty dotyczy właśnie wielokrotnych odbić. Zjawisko to może prowadzić do tak zdecydowanej dominacji obrazu pozornego, że elewacje „nawet jeśli są skonstruowane z przezroczystego szkła, dają tak dużo odbić i refleksów, że działają jak nieprzezroczysty ekran" [222, s. 10]. W świetle dziennym efekt wizualny nałożenia wielu obrazów pozornych jest zdecydowanie bardziej widoczny dla obserwatora znajdującego się poza budynkiem, co wynika z większej wartości strumieni świetlnych działających na taflę od zewnątrz.

Nałożenie odbić widoczne jest na elewacjach biurowca przy Bockenheimer Landstrasse we Frankfurcie nad Menem (arch. KSP Architekten, 1998). Płaszcz zewnętrzny podwójnej fasady został wykonany z pojedynczych tafli podwieszanych do specjalnie ukształtowanych wsporników w systemie mocowania punktowego. Elementy konstrukcyjne mają małe rozmiary i zajmują niewielką część pola widzenia. Nie przyciągają uwagi, więc płaszczyznę przezroczystej elewacji obserwator odbiera całościowo. Wewnętrzny, termoizolacyjny przeszklony płaszcz podwójnej fasady jest mocowany w ramach, ale ze względu na ich niewielkie gabaryty i sposób wykończenia odbiór jest podobny jak płaszcza zewnętrznego. Obrazy pozorne powstają na każdej gładkiej powierzchni tafli. **Nakładające się odbicia** gałęzi drzew zostają zwielokrotnione w równoległych taflach. Wzrok obserwatora gubi się, granica biurowca ulega zatarciu (ryc. 68). „Pomimo użycia przezroczystego materiału elewacja staje się wielowarstwowym ekranem odbijającym otoczenie budynku" [44, s. 60]. W określonych warunkach oświetlenia obraz pozorny pobliskich obiektów może być tak intensywny, że spostrzeżenie właściwej zdwojonej powłoki budynku może być trudne lub nawet niemożliwe.

[101] Prędkość światła w szkle jest około 30% mniejsza niż w powietrzu. Tafle są jednak tak cienkie, że opóźnienie to nie ma znaczenia dla obserwacji dokonywanych w skali architektonicznej, przy zastosowaniu tafli grubości kilkunastu milimetrów.



Ryc. 69. Dwa obrazy pozorne nakładają się, dając efekt rozmycia lub poruszenia. Odbicie w taflach zlokalizowanych w niewielkiej odległości od siebie. Dom handlowy Galeries Lafayette w Berlinie (arch. Jean Nouvel, 1995). Zob. również tab. 4, poz. 6, s. 170.

Źródło: fot. i opracowanie autor na podstawie publikacji własnej [44]



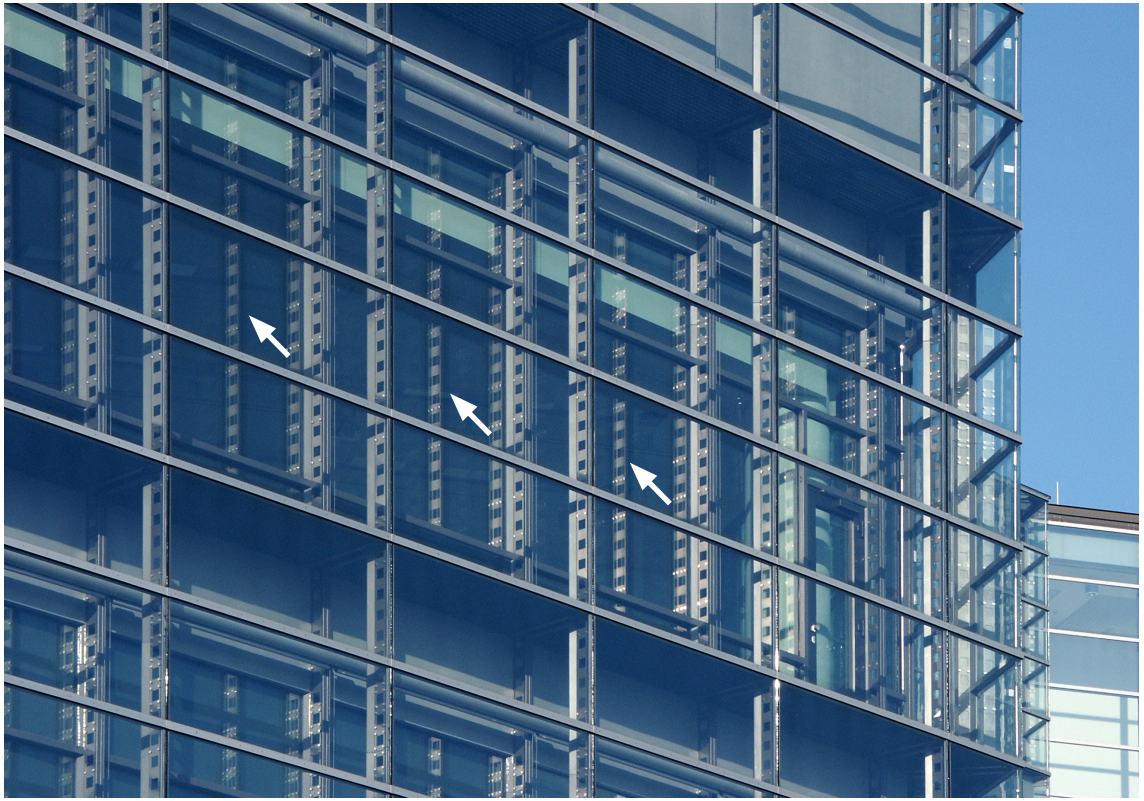
Ryc. 70. Fragmentaryczne odbicia obiektu stojącego po przeciwnej stronie ulicy nałożone na obraz rzeczywisty elewacji znajdującej się za przeszkleniem. Znaczna fragmentacja i rozedrganie obrazu widoczne dzięki przerwaniu ciągłości i zniekształceniu odzwierciedlonych elementów. Biurowiec Jakob-Kaiser-Haus w Berlinie (arch. de Architekten Cie, Pi de Bruijn, 2001). Zob. również tab. 4, poz. 7, s. 170.

Źródło: fot. i opracowanie autor na podstawie publikacji własnej [44]

Nałożenie obrazów pozornych sprzyja również powstawaniu innego, charakterystycznego wyłącznie dla układów warstwowych, efektu wizualnego. Jest nim rzekoma **utrata ostrości obrazu pozornego**. „Obrazy pozorne tworzą się w dwóch równoległych taflach zlokalizowanych w relatywnie niewielkiej odległości. Obrazy pozorne otoczenia nie są wystarczająco odległe, aby obserwator odróżnił je jako osobne, ale na tyle przesunięte, by w rezultacie dawać efekt rozmycia i poruszenia. Efekt jest nieco-dzienny, ponieważ dotyczy zwykle jedynie wycinka pola widzenia, pozostały obszar jest odbierany prawidłowo" [44, s. 60]. Wyrazistą ilustracją tego efektu wizualnego jest ryc. 69, na której pokazano fragment podwójnej fasady w domu handlowym Galeries Lafayette w Berlinie (arch. Jean Nouvel, 1995). Obserwowany stan wynika z relatywne niewielkiej odległości warstw przeszklenia – w prezentowanym przykładzie to około 20 centymetrów.

Swobodne przestrzenne konfiguracje tafli prowadzą do powstawania bardziej interesujących efektów wizualnych niż w przypadku, gdy tafle są do siebie równoległe. Ustawione pod różnym kątem do kierunku obserwacji odbijają różne fragmenty otoczenia, a efekt jest podobny do kadrowania znanego z fotografii. Obrazy pozorne nakładają się i budują kompozycję malarską, w wielu wypadkach o wysokiej wartości formalnej. Wyjątkowe efekty wizualne przynoszą konfiguracje o jeszcze większym stopniu swobody, takie, w których płaszczyzny tafli ustawione pod różnymi kątami tworzą krawędzie i wierzchołki. Ich przestrzenna budowa przypomina fasety w szlifach jubilerskich. Obrazy pozorne będą się nie tylko różniły, ale ulegną także wizualnemu „rozcięciu" na linii załamania zwierciadła. Efektem wizualnym będzie **charakterystyczna fragmentacja obrazu pozornego** i przerwanie jego ciągłości. Pod względem kompozycyjnym nałożone obrazy przywołują stylistykę kubistyczną, która „przez rozczłonkowanie płaszczyzny" zaburza „czytelność obrazu i zniekształca proporcje przedmiotów" [155, s. 220]. Zdefragmentowane, nakładające się obrazy pozorne są uzależnione zarówno od warunków oświetlenia, jak i przyjętego punktu obserwacji. Projektant nie jest w stanie do końca przewidzieć finalnego efektu, ponieważ zależy on od zbyt wielu zmieniających się czynników (por. rozdz. 3.1.2, s. 77). Wydaje się więc, że w wielu przypadkach jest on dziełem zbiegu okoliczności i pogody, co nie umniejsza jego wysokiej wartości formalnej. Zarejestrowane przez autora nakładające się fragmentaryczne odbicia otoczenia pokazano na ryc. 70. Przedstawia ona elewację Jakob-Kaiser-Haus w Berlinie (arch. de Architekten Cie, Pi de Bruijn, 2001) – kompleksu administracyjnego niemieckiego parlamentu [101]. Budynek został obudowany dodatkową przezroczystą powłoką, a tworzące ją tafle nie są ustawione w jednej płaszczyźnie. W każdej z nich odbija się więc „nieco inny fragment znajdującego się naprzeciwko budynku o rytmicznej elewacji. Najmniejsze przesunięcia są łatwo zauważalne, ponieważ dochodzi do nałożenia fragmentarycznego obrazu pozornego na obraz rzeczywisty elewacji znajdującej się po drugiej stronie przeszklenia" [44, s. 61].

Inne efekty wizualne są rezultatem wielokrotnych odbić promieni światła między równoległymi taflami. Tworzone w ten sposób powielone obrazy pozorne są widoczne dla obserwatora jedynie w sprzyjających warunkach. **Efekt wizualny powielenia** ukazuje fotografia podwójnej fasady centrum kongresowego CCN Ost na terenie targów w Norymberdze (arch. S+P Heinz Seipel Gesellschaft von Architekten mbH, 2005). „Na wewnętrznym płaszczu podwójnej elewacji widoczny jest obraz pozorny elementów konstrukcyjnych zewnętrznego płaszcza fasady" [44, s. 61]. Elementy pozornie powielone zaznaczono strzałkami. Oświetlony element staje się źródłem silnego strumienia świetlnego, a w rezultacie następuje pozorne powielenie konstrukcji nośnej zewnętrznego płaszcza fasady. W określonych warunkach oświetlenia „obserwator spostrzega dwukrotnie więcej słupków elewacji niż w rzeczywistości" [44, s. 62]. Taki mylący efekt występuje wyłącznie w rozwiązaniach, w których zewnętrzny płaszcz elewacji ma konstrukcję ramową lub inną wyraźną konstrukcję nośną (ryc. 71).

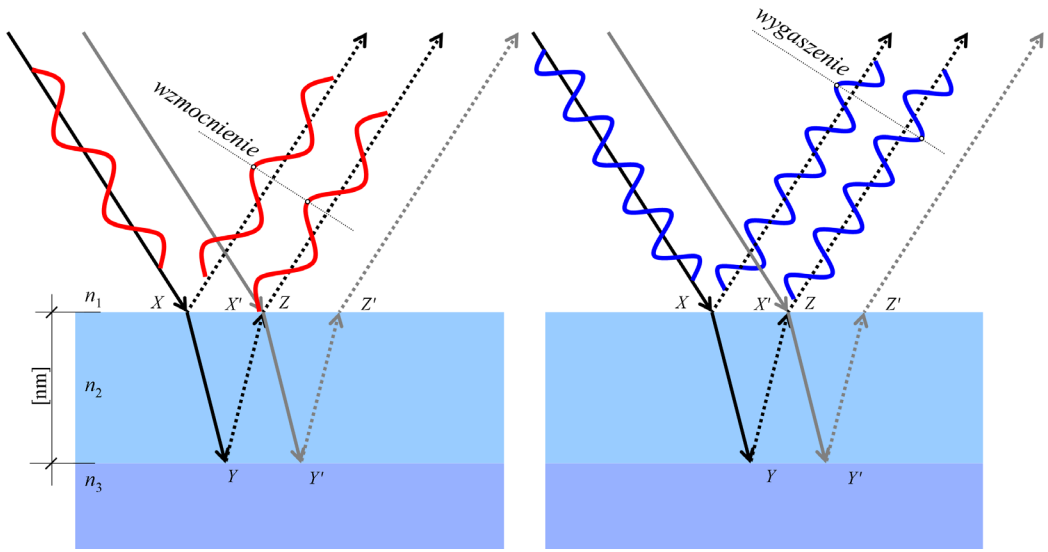


Ryc. 71. Pozornie powielona konstrukcja zewnętrznego płaszcza podwójnej fasady. Odbicie elementów w taflach wewnętrznego płaszcza widoczne jest w określonych warunkach oświetlenia. Centrum kongresowe CCN Ost w Norymberdze (arch. S+P Heinz Seipel Gesellschaft von Architekten mbH, 2005).

Źródło: fot. i opracowanie autor na podstawie publikacji własnej [44]

4.2.1.3. Efekty odbicia w wielu warstwach w skali mikro

Optyka geometryczna upraszcza światło do pojedynczego promienia, który ma kierunek i zwrot. Przybliżenie to wystarcza do opisu zjawisk optycznych zachodzących w skali makro. Do wielokrotnego odbicia światła dochodzi także przy bardzo cienkich przezroczystych warstwach (skala mikro). Jeśli warstwy te mają grubość porównywalną z długością fali światła, zauważalne staje się zjawisko tzw. **przesunięcia fazowego**[102]. Jego mechanizm jest następujący. Światło odbija się od dwóch powierzchni bardzo cienkiej warstwy – promień, który odbija się od dalszej powierzchni, pokonuje większy dystans niż ten, który odbija się od bliższej powierzchni. W przypadku bardzo cienkich struktur różnica ta jest niewielka, mierzona w nanometrach, ale bardzo znacząca w skali fali światła. Promień pokonujący dłuższy dystans „spóźnia" się w stosunku do promienia, który ma krótszą drogę. W rezultacie następuje przesunięcie faz fali światła. Po odbiciu drgają one w tej samej fazie lub w fazach przeciwnych. Dochodzi do wystąpienia zjawiska wzmocnienia lub częściowego albo pełnego wygaszenia interferencyjnego (zob. ryc. 72). Te procesy mają wpływ zarówno na światło odbite, jak i na to, które jest przepuszczane przez cienką warstwę.



Ryc. 72. Zasada interferencji fal światła po odbiciu od cienkich warstw – na schemacie warstwa o współczynniku załamania światła n_2. Z uwagi na grubość warstwy fale światła o określonej długości ulegają wzmocnieniu (na schemacie czerwone) lub wygaszeniu (na schemacie niebieskie) w zależności od przesunięcia faz. Grubość warstwy wynosi około kilkaset nanometrów.

Źródło: opracowanie autor

[102] Zjawisko przesunięcia fazowego zachodzi zawsze, niezależnie od rozmiarów warstw, ale dopiero przy cienkich strukturach staje się zauważalne i w sposób widoczny wpływa na odbierane efekty wizualne.



Ryc. 73. Efekt wizualny odmiennego zabarwienia obrazów: rzeczywistego i pozornego. Zabarwienie powstaje przy wielokrotnym przepuszczaniu i odbiciu strumienia świetlnego od tafli pokrytych powłoką dichroiczną. Filtry dichroiczne firmy Prinz Optics GmbH. Ekspozycja na targach Glasstec w Düsseldorfie w 2000 roku.

Źródło: fot. i opracowanie autor

Powstające efekty wizualne są następstwem zjawiska optycznego zwanego iryzacją [132], które powoduje powstanie tęczowych barw. Układ barw przypomina tęczę, ale nie jest z nią identyczny. Wynika to z odmiennego mechanizmu tworzenia barw. W tęczy różne kierunki załamania światła o odmiennej barwie zależą od długości fali, a przy iryzacji od współczynnika załamania n oraz grubości warstwy. Cienkowarstwowe powłoki z tlenków metali są wykorzystywane zarówno w celu uzyskiwania tęczowych odblasków, jak i modyfikowania barwy odbijanego i przepuszczanego światła. Takie powłoki określane są jako dichroiczne (od gr. *dikhroos* – dwubarwny). Pokryte nimi filtry przepuszczają, a zwierciadła odbijają jedynie określony fragment widma, czyli konkretną barwę światła (zob. ryc. 73). W skali architektonicznej powłoki cienkowarstwowe nanoszone są na tafle materiałów przezroczystych, głównie szkła, w procesach przemysłowych[103].

Efekty wizualne, które towarzyszą wyżej wymienionym zjawiskom optycznym, obejmują odmienne **zabarwienie przepuszczanych i odbitych strumieni świetlnych**. Wpływa to na nienaturalną koloryzację obrazów rzeczywistych i pozornych. Umiejętny dobór powłok dichroicznych pozwala na osiągnięcie spektakularnych efektów wizualnych. Szklane tafle z powłoką NARIMA® firmy Schott zastosowano w budynku prób monachijskiej Opery Bawarskiej (arch. Gewers Kühn & Kühn, 2007), a jedna ze ścian obiektu od strony Marstallplatz została przekształcona przez duńskiego artystę Olafura Eliassona w artystyczną instalację pod nazwą „Sceniczne obrazy" (niem. *Bühnenfenster*). Efekty wizualne, które widoczne są na fotografii (ryc. 74), wynikają z wielowarstwowej struktury elewacji zarówno w mikro-, jak i w makroskali. Powłoka dichroiczna znajduje się zaraz za zewnętrznym przeszkleniem, za nią umieszczono dwudzielne lustro. Dolna jego część nachylona jest w kierunku placu, górna skierowana tak, by odzwierciedlać niebo. Obraz pozorny składa się z dwóch części: dolnej, w której kolory są przesunięte w kierunku barwy żółtej, oraz górnej, z przesunięciem w kierunku zieleni i czerwieni. Przesunięcia barwne zmieniają się w zależności od punktu obserwacji. Efekty wizualne przekształcają elewację „w dostępną dla publiczności scenę teatralną, która składa się ze szkła i luster" [215].

[103] W celu uzyskania efektu wizualnego sztucznej iryzacji materiały przepuszczające światło pokrywa się cienkimi warstwami innych substancji. Ich współczynnik załamania światła różni się od współczynnika załamania bazy. Warstwa ta musi dobrze przylegać, być wytrzymała na ścieranie oraz odporna na działanie wody. W praktyce stosuje się trzy metody iryzacji szkła: hutniczą, próżniową oraz malarską. Polegają one na stosowaniu soli metali (głównie cyny i tytanu), które w procesie technologicznym tworzą aktywne tlenki reagujące ze szkłem.



Ryc. 74. Efekt wizualny selektywnego odbicia światła o określonej długości fali, które interferuje ze światłem przepuszczonym o innej długości fali – wzmacnia się lub osłabia w zależności od fazy. Strumienie mają odmienne zabarwienie. Budynek prób Opery Bawarskiej w Monachium (arch. Gewers Kühn & Kühn, 2007). Zob. również tab. 4, poz. 10, s. 170.

Źródło: fot. i opracowanie autor

Podsumowanie

Efekty wizualne wyróżniane w układach warstwowych wynikają ze zwielokrotnienia zjawisk optycznych zachodzących na każdej powierzchni tafli. Procesowi temu ulegają zarówno zjawiska optyczne związane z przepuszczaniem strumienia świetlnego, dając efekty wizualne przyciemnienia lub zmiany barwy obrazu rzeczywistego, jak i z jego odbiciem, powodując zwielokrotnienie i nałożenie obrazów pozornych. W rezultacie obraz rzeczywisty zostaje osłabiony, a pozorny wzmocniony.

Zastosowanie warstw o niejednorodnej przezroczystości w układzie warstwowym prowadzi do ukształtowania strefy o różnych parametrach przepuszczania światła. Nie jest ona „płaska", ale zyskuje czytelną miąższość zawartą między warstwami szkła. Tworzy się wtedy specyficzny optyczny bufor, analogiczny do buforów: termicznego i akustycznego.

W szczególnych przypadkach przy odbiciu w bardzo cienkich warstwach dochodzi do interferencji i w jej następstwie do wzmocnienia lub wygaszenia określonych barw w obrazie rzeczywistym lub pozornym. Zjawisko iryzacji jest źródłem szczególnie malarskich efektów wizualnych – powstania odblasków przypominających barwy tęczy.

4.3. Układ sąsiadujący

Układy sąsiadujące mają dłuższą tradycję niż układy warstwowe. Konieczność łączenia elementów drobnowymiarowych w większe tafle wynikała z ograniczeń technologii. W średniowieczu płaskie szkło wytwarzano niedoskonałą metodą wydmuchiwania. Za pomocą **piszczela**[104] szklarz wydmuchiwał kulistą bańkę. Do miękkiej bańki przyczepiany był żelazny pręt zwany **przylepiakiem**. Następnie usuwano piszczel wraz z otaczającą go masą, a powstały szklany kielich-korona był wprowadzany w szybki ruch wirowy. Masa pod wpływem działania siły odśrodkowej przyjmowała formę rozpłaszczonego dysku. Proces ogrzewania i wirowania wielokrotnie powtarzano. W rezultacie otrzymywano szklane elementy w kształcie koła zwane **gomółkami** (*crown glass* – *crown* od słowa „korona"[105]) [118] z elementem środkowym, który był nazywany **pępkiem**. Okrągłe tafle cięto na

[104] Piszczel szklarski – wąska długa metalowa rurka zakończona ustnikiem, służąca do wydmuchiwania szkła na gorąco.
[105] Obecnie określenie „kron" (od *crown*) jest używane w odniesieniu do szkła borokrzemowego – o dużej zawartości tlenku potasu – stosowanego do wyrobu soczewek.

formatki w kształcie rombów, a te, ze względu na niewielkie rozmiary, łączono w większe prostokątne tafle. Spajano je, stosując ołowiane teowe ramki, tzw. metodą witrażową. Niedoskonałość technologii wytwórczych powodowała, że łączone elementy szklane miały różną barwę.

Wraz z rozwojem technologii i możliwości wytwórczych, np. walcowania i odlewania tafli, zwiększał się gabaryt pojedynczej formatki i jakość materiału. Ewoluowały także techniki montażu powiększających się tafli. Stopniowo w ramach okiennych pojawiły się drewniane szprosy. Od przełomu XIX i XX wieku produkowane tafle były na tyle duże, że można było szklić pojedyncze otwory bez konieczności łączenia szklanych elementów. Szkło pławione i ściany osłonowe wprowadzone w latach 50. XX wieku zainspirowały rozwój nowoczesnych systemów do montażu dużych tafli, tworzących okładziny całych ścian i budynków. Tafle mocowane przy wykorzystaniu tych metod są w niniejszym opracowaniu rozpatrywane jak układy jednowarstwowe tafli pojedynczych (zob. rozdz. 3, s. 67).

4.3.1. Efekty wizualne w odbiorze układów sąsiadujących

W układach sąsiadujących obraz odbierany przez obserwatora powstaje w rezultacie nałożenia obrazów składowych: odbitego i rzeczywistego, tak jak w taflach pojedynczych. Efekt wizualny obejmuje jednak tylko określony fragment pola widzenia, odpowiednio do miejsca zajmowanego przez dany element optyczny układu. Każdy z sąsiadujących obszarów charakteryzuje więc odmienny lokalny efekt wizualny, właściwy dla tafli zajmującej ten obszar. Strumienie świetlne, które wejdą w interakcję z taflą przezroczystą, będą tworzyły obrazy pozorne i rzeczywiste w różnych proporcjach, tafle barwne spowodują ich zabarwienie, a tafle przeświecalne rozproszą światło i staną się źródłem nowych strumieni świetlnych. Następstwem oddziaływania odmiennych zjawisk optycznych na fragmenty pola widzenia jest efekt wizualny **mozaiki sąsiadujących obszarów**, który zależy od **właściwości optycznych elementów składowych**, ich **udziału w układzie** oraz **wielkości obrazu** tworzonego przez te elementy na siatkówce oka obserwatora. Odbiór układu warunkowany jest przez to, czy w odbieranym obrazie obserwator będzie rozróżniał elementy jako **odrębne**, czy zleją się one w jeden **uśredniony obraz** powstający przy udziale strumieni składowych.

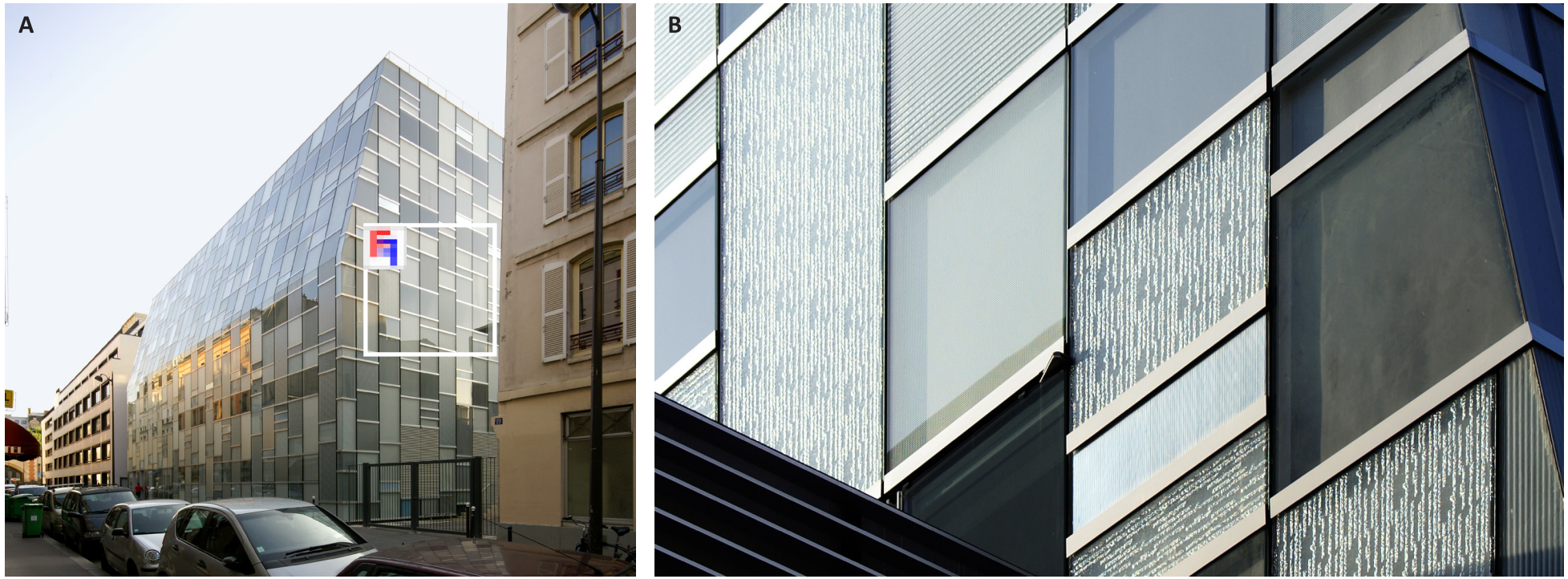
4.3.1.1. Efekt mozaiki obszarów sąsiadujących

W architekturze współczesnej wzorce historyczne układów sąsiadujących ulegają twórczej reinterpretacji. Przykładem takiego działania jest siedziba Instytutu Okulistyki – Institute de la Vision

zrealizowana w Paryżu (arch. Brunet Saunier Architecture, 2008). Interesująca elewacja powstała w wyniku „przetworzenia idei witrażu" [114, s. 34], podczas gdy – jak twierdzi twórca obiektu – projektanci eksperymentowali z „efektami przezroczystości i załamania światła" [114, s. 34]. Ściana osłonowa obiektu jest swobodną kompozycją prostokątnych i trapezowych tafli szkła – o odmiennych właściwościach optycznych – sąsiadujących w płaszczyźnie elewacji. Zasadnicze znaczenie dla otrzymanych efektów wizualnych miał dobór odpowiedniego szkła: przezroczystego, przeświecalnego oraz ornamentowego. Wybrano kilka wzorów dla tafli tworzących elewację obiektu. Najbardziej spektakularne efekty wizualne tworzy ornament pryzmatyczny, który w przekroju składa się z szeregu ustawionych obok siebie trójkątów. Formatka zmienia wygląd w zależności od miejsca obserwacji. Szkło „raz jest zwierciadlanosrebrzyste, raz ciemnoniebieskie" [114, s. 130]. Również ornament na pozostałych taflach modyfikuje przepuszczane i odbite strumienie świetlne na co najmniej kilka sposobów. Na zachodniej elewacji wzory na szkle ornamentowym wyraźnie odbiją promienie słońca padające na budynek. Odnosi się wrażenie promieniowania, samoświecenia strużek światła (ryc. 75).

Ryc. 75. Efekt wizualny mozaiki wynikający z sąsiadującego układu tafli ornamentowych o odmiennych właściwościach optycznych. Siedziba Instytutu Okulistyki w Paryżu (arch. Brunet Saunier Architecture, 2008). **A.** Widok ogólny. **B.** Detal. Zob. również tab. 4, poz. 8, s. 170.

Źródło: fot. i opracowanie autor



Wielkowymiarowe elementy o odmiennych właściwościach optycznych zastosowano w salonie Citroëna na Polach Elizejskich w Paryżu (arch. Manuelle Gautrand, 2004). Nie tworzą płaszczyzny, ale podzieloną na trójkąty powierzchnię, która „załamuje się niczym ogromne szklane origami" [166] i tworzy logo marki. W zespole mieszkalno-biurowym Botanical Residence we Wrocławiu (arch. Dziewoński Łukaszewicz Architekci s.c., 2013) tafle, które wypełniają pola elewacji, mają odmienne właściwości optyczne: są przezroczyste, lakierowane, nadrukowane z charakterystycznym pozytywowym i negatywowym wzorem liścia (ryc. 76A). Elementy układu sąsiadującego rozpoznaje się jako oddzielne, o wyraźnie różniących się właściwości optycznych. **Efekt wizualny mozaiki** widoczny jest zarówno dla obserwatorów znajdujących się na zewnątrz, jak i wewnątrz obiektu.



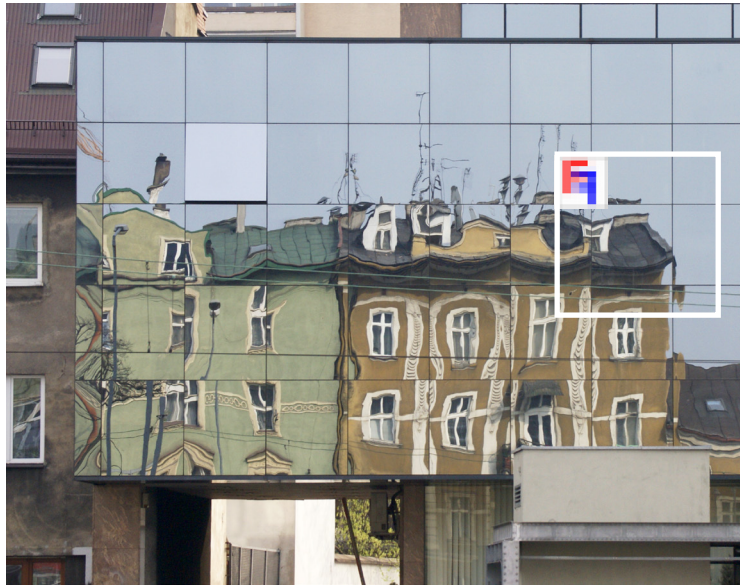
Ryc. 76. Efekt wizualny mozaiki wynikający z sąsiadującego układu tafli barwnych, przeświecalnych, lakierowanych i nadrukowanych. **A.** Zespół mieszkalno-biurowy Botanical Residence we Wrocławiu (arch. Dziewoński Łukaszewicz Architekci s.c., 2013). **B.** Salon Citroëna na Polach Elizejskich w Paryżu (arch. Manuelle Gautrand, 2004).

Źródło: fot. i opracowanie autor



Ryc. 77. Fragmentaryczne odbicia fasady w klawiszujących zewnętrznych taflach refleksowych w wewnętrznym narożniku budynku Süddeutscher Verlag w Monachium (arch. Gewers Kühn & Kühn, 2008).

Źródło: fot. i opracowanie autor



Ryc. 78. Efekt wizualny mozaiki utworzony przez zniekształcony obraz pozorny kamienic znajdujących się przy placu Bohaterów Getta w Krakowie. Odbicie w elewacji Banku BPH (pierwotnie budynku Krakowskiego Przedsiębiorstwa Robót Budowlanych) (arch. Janusz Gawor, lata 60. XX wieku, modernizacja 1994).

Źródło: fot. i opracowanie autor

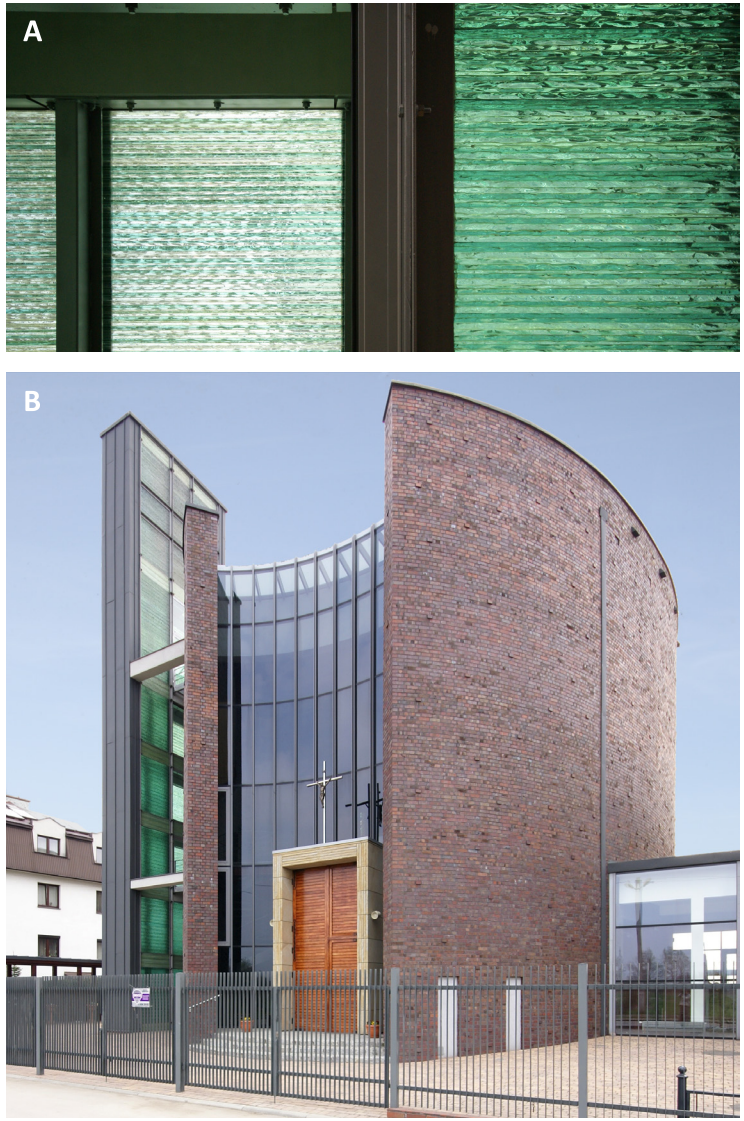
Z uwagi na dominujący strumień świetlny przepuszczany $\varphi_{1.T}$ właściwości optyczne poszczególnych tafli są lepiej odbierane we wnętrzu. Przy obserwacji z zewnątrz strumień świetlny $\varphi_{2.T}$ przepuszczany przez tafle zostaje osłabiony przez nakładający się strumień odbity $\varphi_{1.R}$, co wpływa na odbierany obraz.

Efekt wizualny mozaiki występuje również w wyniku zestawienia tafli refleksowych w układ sąsiadujący. Dominującym zjawiskiem optycznym jest wtedy odbicie zwierciadlane i tworzący się obraz pozorny, a nie modyfikacja strumienia przepuszczanego. Każde odkształcenie tafli, zaburzenie jej „płaskości" wpływa w zasadniczym stopniu na efekty wizualne, a w szczególności na obraz pozorny otoczenia widoczny w elewacji. Takie działania podejmuje się celowo: wtedy sąsiadujące tafle tworzą formy zbliżone do ostrosłupów – np. w budynku Trutec w Seulu (arch. Barkow Leibinger Architekten, 2006) [184, s. 169–171] – lub „klawiszują" na elewacji, jak np. w budynku Süddeutscher Verlag w Monachium (arch. Gewers Kühn & Kühn, 2008) (zob. ryc. 77). Tafle szkła zespolonego mogą jednak ulegać niezamierzonym przez projektanta odkształceniom wynikającym ze zmian ciśnienia atmosferycznego. W takiej sytuacji występuje zjawisko „pompowania" lub „zasysania" zewnętrznej refleksowej tafli – „tworzy się wtedy efekt podobny do uzyskiwanego w gabinecie krzywych luster" [206, s. 68]. Aby go wyeliminować, zewnętrzna tafla w zespoleniach powinna mieć większą grubość – wyrównanie ciśnienia odbywa się wtedy „przede wszystkim kosztem wygięcia tafli wewnętrznej" [206, s. 69]. Niezależnie od technicznych przyczyn występowania tego zjawiska tworzony efekt estetyczny może być malarski i dynamicznie zmieniać się w zależności od punktu obserwacji, jak na fasadzie zmodernizowanego budynku Banku BPH w Krakowie (arch. Janusz Gawor, 1994) (zob. ryc. 78).

4.3.1.2. Efekt addytywnego mieszania barw

Rezultatem przepuszczania światła przez elementy sąsiadujące o odmiennych barwach jest zjawisko optyczne addytywnego mieszania barw światła. W takiej sytuacji oko rejestruje obraz, który jest tworzony przez strumień świetlny będący sumą strumieni składowych o różnych widmach, a „wypadkowa barwa charakteryzuje się większą jasnością i mniejszym nasyceniem" [287].

W skład zabudowań klasztoru Trynitarzy na Bagrach w Krakowie (arch. MOFO Architekci, 2007) wchodzi niewielka kaplica pw. Przenajświętszej Trójcy. Szczególną uwagę zwraca 15-metrowa wieża – sygnatura, która ma formę dwustronnie przeszklonego wąskiego prostopadłościanu. Przeszklenie zostało skonstruowane z tafli trzech grubości 4, 8 i 12 mm złożonych w stos (*stacked*



Ryc. 79. A. Addytywne mieszanie barw wynikające z uśrednienia barw strumieni przepuszczonych przez tafle szkła ułożone w stos (*stacked glazing*). **B.** Kaplica klasztoru Trynitarzy na Bagrach w Krakowie (arch. MOFO Architekci, 2007).

Źródło: fot. i opracowanie autor

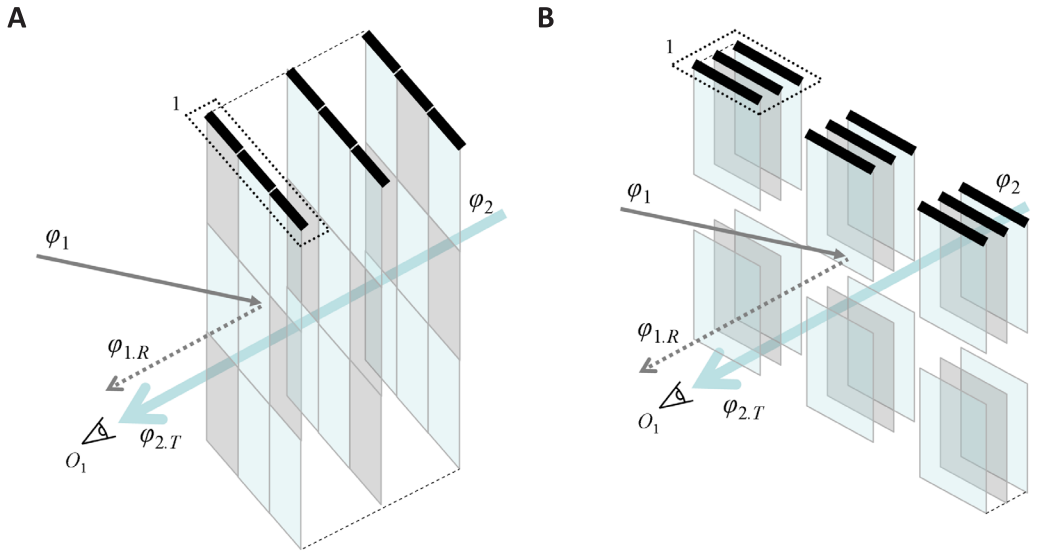
glazing) tak, aby światło przepuszczane było nie prostopadle do płaszczyzny tafli, ale równolegle do niej. Pasy szkła złożone są w taki sposób, że tworzą większy blok elementów przezroczystych o układzie sąsiadującym – filtrów o odmiennych parametrach optycznych. Blok szkła złożony jest naprzemiennie z tafli o różnej zawartości tlenków żelaza: od ciemno- do jasnozielononiebieskich w zabarwieniu. Krawędzie tafli są albo gładko wyszlifowane, albo tylko obłupane i tworzą szereg niewielkich soczewek, które skupiają światło. Źródłem efektów wizualnych jest twórcze potraktowanie tworzywa. Obserwator odnosi wrażenie, że stoi przy ustawionej pionowo drgającej tafli, ponieważ nawet małe przesunięcie punktu obserwacji powoduje wystąpienie znacznych zmian w odbieranym obrazie (ryc. 79). Gdy układ obserwowany jest z bliska, pojedyncze jego elementy dają się od siebie odróżnić, ale gdy obserwator oddala się, szczegóły zacierają się i patrzący widzi jedynie jednolite zielononiebieskie zabarwienie stosu tafli. Jest ono rezultatem addytywnego zmieszania się wielu strumieni świetlnych o barwie zielononiebieskiej o różnej intensywności. Inspiracją dla twórców polskiej realizacji była kaplica cmentarna Panteón en Espinardo na cmentarzu Espinardo w hiszpańskim mieście Murcja (arch. Manuel Clavel Rojo, 2001) [174; web 10].

Podsumowanie

Efekty wizualne, które występują w wyniku odbioru przez obserwatora tafli sąsiadujących, związane są z oddziaływaniem odmiennych zjawisk optycznych na odrębne fragmenty pola widzenia. W rezultacie dominuje efekt mozaiki sąsiadujących obszarów. Zależy on od właściwości optycznych elementów składowych oraz wielkości tworzonego obrazu siatkówkowego. Obserwator będzie rozróżniał elementy układu jako odrębne lub w odbiorze połączą się one w jednolitą plamę o uśrednionej barwie.

4.4. Układy mieszane

Osobny typ stanowią układy mieszane obiektów przepuszczających światło. Zaproponowana typologia dzieli je na **podtyp SW** obejmujący układy sąsiadujące tafli o odmiennych właściwościach optycznych ułożone w wielu warstwach oraz **podtyp WS**, w którego skład wchodzą układy warstwowe ograniczone do określonych obszarów pola widzenia (ryc. 80). Choć oba różnią się genezą, osiągane efekty wizualne są podobne. Z tego powodu rozróżnienie podtypów wymaga analizy sposobu powstawania układu i określenia, który z podukładów składowych powstał w pierwszej kolejności. Często wymaga to sięgnięcia po dodatkowe informacje, np. fotograficzną dokumentację budowy.



Ryc. 80. Podtypy układów mieszanych obiektów przepuszczających światło. **A.** SW – sąsiadująco-warstwowe. **B.** WS – warstwowo-sąsiadujące. Na schematach linią kropkowaną zaznaczono, który z podukładów może być przez obserwatora dostrzegany w pierwszej kolejności (zaznaczono 1), choć nie jest to regułą. Podtypy układów różnią się genezą, ale ich identyfikacja wyłącznie na podstawie efektów wizualnych jest bardzo często niemożliwa.

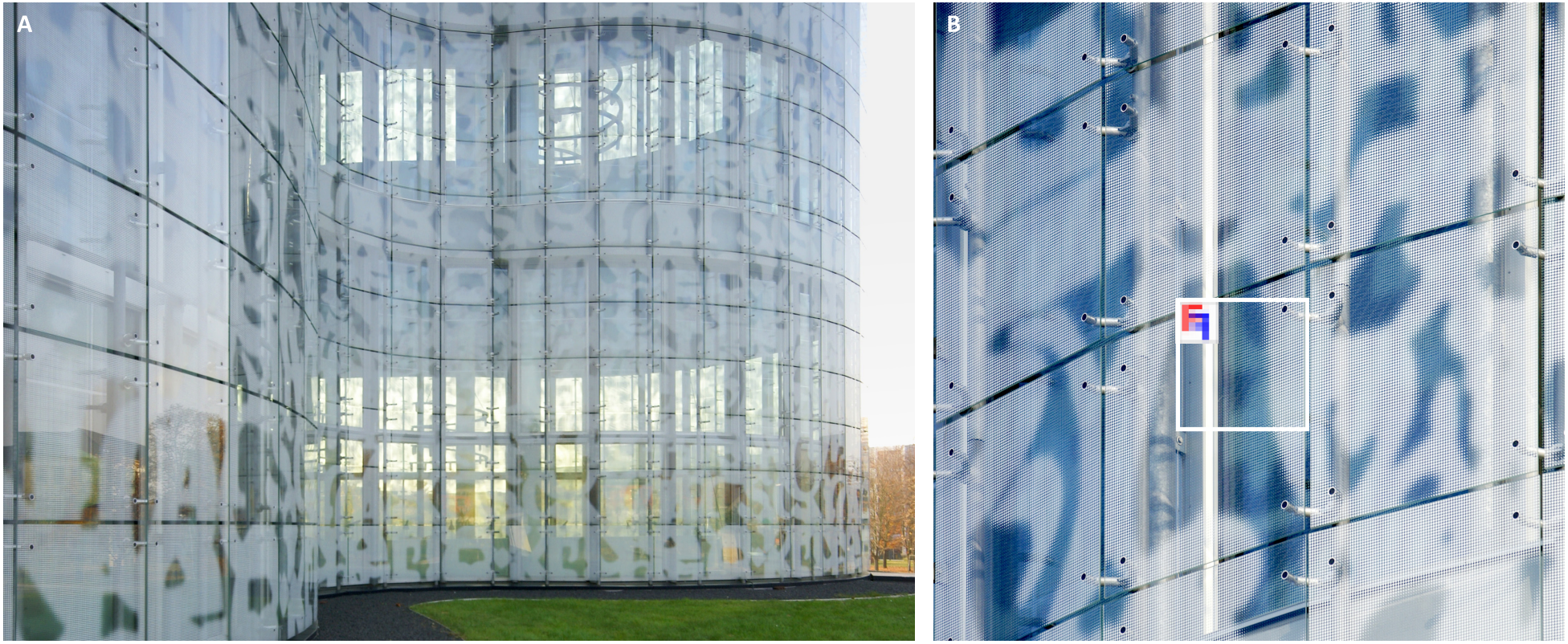
Źródło: opracowanie autor

4.4.1. Efekty wizualne w odbiorze układów mieszanych

W odbiorze układów optycznych podtypu SW efekty wizualne będą zbliżone do odbioru elementów układu sąsiadującego (zob. rozdz. 4.3.1, s. 155). Istotna różnica polega na tym, że składowe tego podukładu sąsiadującego, który znajduje się bliżej obserwatora, wpłyną na odbiór elementów bardziej oddalonego podukładu. W miejscach, gdzie elementy przepuszczające światło należące do obu podukładów sąsiadujących nałożą się w polu widzenia obserwatora, wystąpią efekty wizualne charakteryzujące układy warstwowe. W układzie podtypu WS będą obserwowane jedynie w określonych obszarach pola widzenia.

Podstawowym efektem wizualnym jest odbiór **dwóch lub więcej przenikających się planów** – „zdwojenie ścian elewacyjnych i odsunięcie ich względem siebie powoduje, że podwójna elewacja szklana zyskuje cechy trójwymiarowe” [169, s. 15], fasady „przestają być odbierane jako prosta obudowa dwuwymiarowa typu powierzchniowego, a przekształcają się w ustrój trójwymiarowy” [294, s. 23]. Jest to następstwem sposobu powstawania układu mieszanego SW oraz sposobu, w jaki jest on odbierany. W obserwowanym układzie w polu widzenia obserwatora ciągłość elementów znajdujących się dalej od niego będzie przerwana przez elementy, które znajdują się

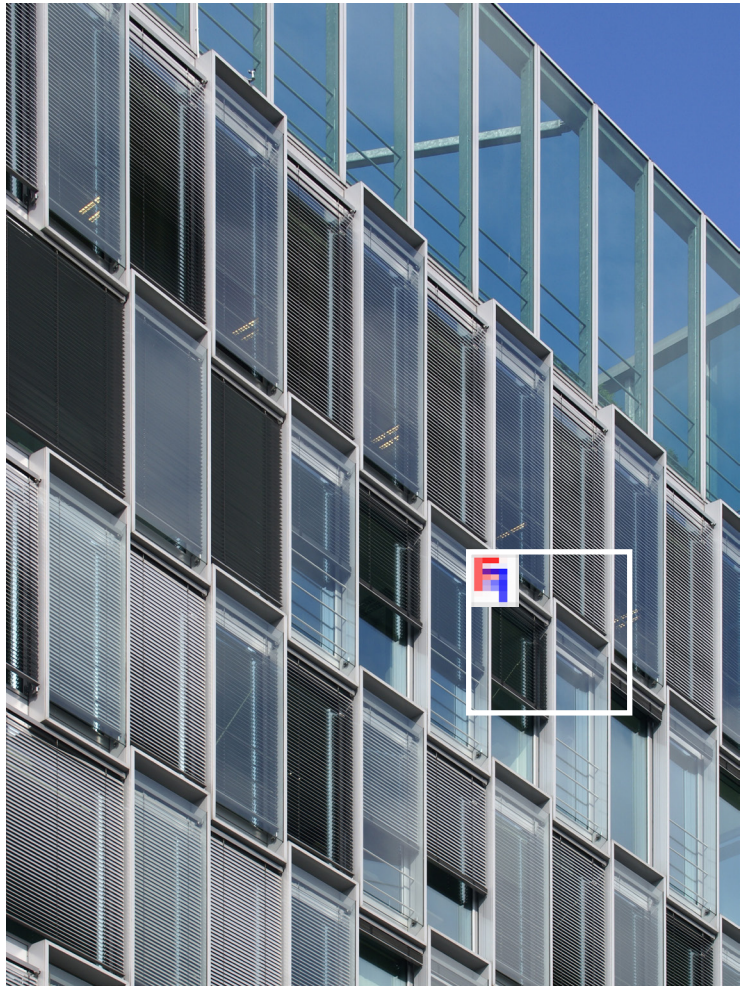
bliżej – bliższe będą przesłaniały dalsze. Elementy te zostaną odebrane jako należące do oddzielnych przenikających się planów[106]. Przykładem wystąpienia tego efektu wizualnego jest budynek Biblioteki Technicznej IKMZ (Informations-, Kommunikations- und Medienzentrum) w Chociebużu należącej do Brandenburskiego Uniwersytetu Technicznego (arch. Herzog & de Meuron, 2004). Elewacja obiektu została w całości osłonięta podwójną szklaną powłoką. Na jej taflach wykonano nadruk zestawiony ze znaków pisma – wielkich i małych liter. „Litery zbliżono do siebie tak bardzo, że zlewają się w jeden ornament uniemożliwiający ich odróżnienie" [44, s. 63] (ryc. 81). Płaski nadruk naniesiono na tafle metodą spiekanego sitodruku. Tworzą go kropki rastra, charakterystyczne dla tej techniki [129]. Wyróżnienie dwóch planów jest możliwe zarówno w obserwacji z zewnątrz, jak i od środka obiektu.



Ryc. 81. A. Efekt wizualny dwóch planów powstały w odbiorze układu mieszanego, podtyp SW. **B.** Fragment elewacji. Biblioteka Techniczna IKMZ w Chociebużu (arch. Herzog & de Meuron, 2004). Zob. również tab. 4, poz. 11, s. 171.

Źródło: fot. i opracowanie autor

[106] Wyjaśnia to tzw. zasada dobrej kontynuacji, która została szczegółowo opisana na s. 192, zob. ryc. 95C.



Ryc. 82. Efekty wizualne powstałe w odbiorze układu mieszanego – podtyp WS (warstwowo-sąsiadujący). W pierwszej kolejności powstały segmenty warstwowej fasady, które były następnie montowane w układzie sąsiadującym. Biurowiec KAP am Südkai w Kolonii (arch. KSP Engel und Zimmermann, 2004). Zob. również tab. 4, poz. 12, s. 171.

Źródło: fot. i opracowanie autor

Na elewacji Biblioteki Technicznej IKMZ w Chociebużu rastry naniesione na tafle tworzą podukład sąsiadujący. Jego powielenie w dwóch warstwach prowadzi do ukształtowania strefy o różnych właściwościach przepuszczania światła i odmiennych efektach wizualnych. Przepuszczające światło warstwy tworzą specyficzny **rodzaj optycznego bufora** – feynmanowskiego „spowalniacza światła" (zob. s. 30). Elewacja nie jest „płaska", jej głębia zostaje zdefiniowania przez naniesiony na tafle wzór. Zdaniem Herberta Muschampa, amerykańskiego krytyka architektury, „szklana skóra budynku nie jest używana w celu odkrycia, ale w celu zasłonięcia" [185, s. 43]. Układy tego typu pełnią inną funkcję niż klasyczna, stworzona w epoce modernizmu, ściana osłonowa. Wielowarstwowe przejrzyste przegrody wywołują magiczny efekt wizualny „firany": „drażnią, łudzą jedynie, pozwalają rzucić okiem na to, co się dzieje wewnątrz" [185, s. 43].

Podukłady WS cechują charakterystyczne dla układów sąsiadujących **mozaikowe efekty wizualne**, przy których – w różnych obszarach pola widzenia – wystąpią efekty typowe dla układów warstwowych (zob. rozdz. 4.2.1, s. 138). Należą do nich efekty wizualne pochłaniania i odbicia w wielu warstwach oraz charakterystyczne efekty **celowego ograniczenia przepuszczania światła**. To efekt uboczny zastosowania elementów regulacyjnych, słabo lub w ogóle nieprzepuszczających światła – żaluzji i rolet. Układy typy WS w praktyce występują przy zastosowaniu modułowych elementów fasadowych produkowanych oddzielnie i montowanych na placu budowy. Są one zazwyczaj stypizowane i powtarzalne. W przypadku wielofunkcyjnego biurowca KAP am Südkai w Kolonii (arch. KSP Engel und Zimmermann, 2004) modułowa fasada składa się z elementów dwóch typów: z oknem stałym i żaluzją, oraz z oknem typu *porte-fenêtre*, żaluzją i dodatkową zewnętrzną taflą, która ma za zadanie chronić wnętrze przed gwałtownymi podmuchami wiatru (ryc. 82). W rezultacie w poszczególnych modułach otrzymano układ warstwowy przepuszczających światło elementów. W segmentach z zewnętrzną taflą widać wyraźnie wpływ wtórnego strumienia odbitego $\varphi_{1.R}$, który powoduje, że na obraz rzeczywisty zostaje nałożony obraz pozorny nieboskłonu. Tafla jest jaśniejsza o obraz rzeczywisty za taflą – wyraźnie mniej skontrastowany.

Podsumowanie

W wielu realizacjach architekci wykorzystują układy mieszane – warstwowe z sąsiadującymi. Efekty wizualne powstałe w odbiorze układów składowych występują jednocześnie. W układach podtypu SW – sąsiadująco-warstwowych – dominuje efekt jednoczesnego odbioru dwóch lub więcej planów fasady. Możliwe jest wtedy radykalne ograniczenie przezroczystości przegrody na skutek wykorzystania powłok

o celowo zaburzonej przezroczystości – nadrukowanych, ornamentowych, przeświecalnych. W układach podtypu WS – warstwowo-sąsiadujących dominuje efekt mozaiki, który powodowany jest przez odmienne właściwości optyczne tafli w podukładach warstwowych. Układy te spotyka się najczęściej w prefabrykowanych fasadach, które montowane są na elewacji budynku. Rozróżnienie układów wyłącznie na podstawie prowadzonej obserwacji może być niemożliwe. Wtedy konieczne staje się sięgnięcie po dokumentację z okresu powstania budynku.

4.5. Układ sąsiadujący binarny

Jako **układy sąsiadujące binarne** autor określa te, które tworzą oddalone od siebie obiekty w ogóle nieprzepuszczające światła (zob. rozdz. 4.1, s. 131). W układzie tego typu zmiany parametrów optycznych oscylują między dwoma wartościami: od $T = 0$, dla elementów nieprzepuszczających światła, skokowo do $T = 1$ dla przestrzeni między nimi. Układy sąsiadujące binarne nie zawierają żadnych obiektów przepuszczających światło, nie są więc – biorąc pod uwagę wcześniejsze określenia – układami elementów optycznych (zob. przyp. 90, s. 133).

4.5.1. Efekty wizualne w odbiorze układów binarnych

Ograniczenia ludzkiego oka powodują, że w określonych warunkach[107] układy sąsiadujące binarne są odbierane przez obserwatorów jako przezroczyste, bez rozróżnienia elementów składowych układu (zob. rozdz. 5.1, s. 174). W następstwie powstaje **efekt wizualny przezroczystości** przy obserwacji układu, który w ogóle nie zawiera elementów optycznych przepuszczających światło. Dzieje się tak dlatego, że obraz na siatkówce oka powstaje w wyniku **uśrednienia wartości** wtórnych strumieni świetlnych: odbitego od elementów nieprzezroczystych $\varphi_{1.R}$ oraz przepuszczanego między nimi $\varphi_{2.T}$, bez rozróżnienia tych strumieni.

Układ sąsiadujący binarny można otrzymać na dwa sposoby: przez odejmowanie materiału nieprzepuszczającego światła, np. wykonując w nim otwory, lub przez odpowiednie jego kształtowanie, np. splatając pręty lub/i linki. Do układów sąsiadujących binarnych autor zalicza więc perforacje, siatki i ażury, które typologicznie odpowiadają podanej definicji. Ażury, ze względu na znaczne rozmiary przestrzeni między elementami nieprzepuszczającymi światła, zwykle nie będą

[107] Zagadnienie to było analizowane w rozdz. 4.1, s. 132.



Ryc. 83. Wizualny efekt przezroczystości osiągnięty przy zastosowaniu perforowanych arkuszy blachy. Wąski blok mieszkalny w kształcie liter „L" znajduje się na tyłach głównego budynku. Aby wizualnie zredukować dużą bryłę, zdecydowano się na obudowę wykonaną z perforowanej jasnoszarej aluminiowej blachy. W górnych partiach budynek o płytkim trakcie może być „prześwietlany na wskroś". Ambasada Królestwa Niderlandów w Berlinie (arch. OMA, 2005).

Źródło: fot. i opracowanie autor

spostrzegane jako jednolicie przezroczyste (zob. ryc. 5B, s. 22). Pozostają więc poza obszarem tego opracowania. W praktyce układy sąsiadujące binarne tworzą perforowane płyty, siatki, sita.

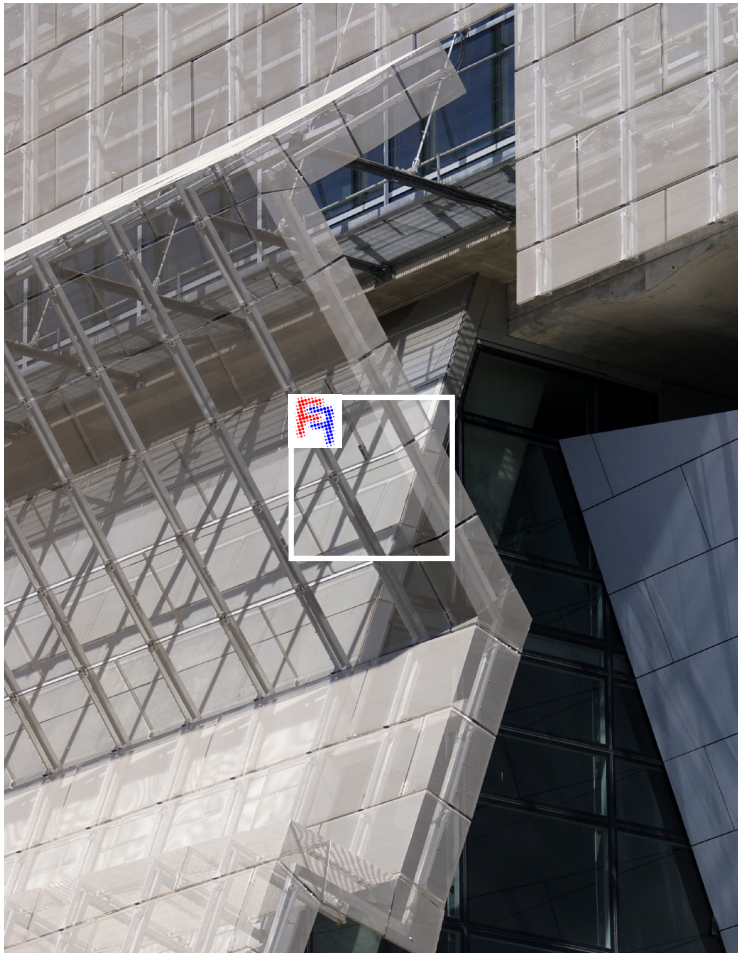
Perforacje powstają przez wykonanie wielu otworów w sztywnych płytach nieprzepuszczających światła. Rozwój współczesnych technik cyfrowej obróbki materiałów pozwolił na uzyskiwanie niestandardowych rytmów i wzorów rozmieszczenia otworów. Zmieniać można także ich wielkość i kształt, zbliżając elementy perforowane do półtonalnych rastrów, jak w budynku Muzeum Sztuk Pięknych – de Young Museum w San Francisco (arch. Herzog & de Meuron, 2005) (zob. ryc. 89, s. 180). Popularnym materiałem budowlanym są prefabrykowane perforowane arkusze. Charakteryzują się one rozmieszczeniem większej liczby regularnych otworów na całej powierzchni. Otwory mają zazwyczaj stypizowany kształt – są okrągłe, eliptyczne, owalne, kwadratowe, prostokątne, ale mogą być również dowolnie kształtowane. Rozmieszcza się je także w równych odstępach w regularnych rytmach. Do wytwarzania materiałów perforowanych stosuje się przede wszystkim blachy wykonane z różnych metali oraz – rzadziej – tworzywa sztuczne.

W siatkach kształt otworów i ilość przepuszczanego światła zależą od typu splotu. Splot płócienny, w którym nitka wątku przebiega kolejno pod jedną i nad jedną nitką osnowy, jest najbardziej popularny, ale możliwe są inne warianty z wykorzystaniem większej liczby żył. W ofercie producentów spotyka się siatki, które zostały splecione przy wykorzystaniu stalowych taśm, elementów łańcuchowych lub linek [web 13]. Siatki oferują bogactwo możliwych do osiągnięcia efektów wizualnych, a na szczególną uwagę architektów zasługują „odblaski światła słonecznego od metalowych, połyskujących powierzchni włókien" [68, s. 12].

Perforacje i siatki cieszą się uznaniem projektantów zwłaszcza ze względu na możliwy do osiągnięcia prostymi środkami **efekt wizualny przezroczystości** bez zastosowania elementów optycznych. W zależności od wielkości otworów i pozycji obserwatora efekt ten może występować z odmienną intensywnością. Im większa powierzchnia otworów w stosunku do powierzchni litej płyty lub żył wątku, tym bardziej będzie się ona wydawała przezroczysta. Barwa części litej także wpłynie na odbiór układu przez obserwatora.

4.5.1.1. Uśrednienie wartości strumieni świetlnych

Uśrednienie wartości strumieni występuje w odbiorze układów binarnych w wielu obiektach. Blok mieszkalny zlokalizowany na tyłach Ambasady Królestwa Niderlandów w Berlinie (arch. OMA, 2005) stanowi jednolite, neutralne tło dla sześcianu właściwego budynku ambasady (ryc. 83). Blok



Ryc. 84. Perforowana osłona, której pierwotną funkcją było ograniczenie nadmiernego nasłonecznienia, jest źródłem wielu zaskakujących efektów wizualnych. Drobna perforacja stała się niezauważalna, a płaszczyzna odbierana jest odmiennie w zależności od kąta padania promieni słonecznych. Budynek Administracji Federalnej w San Francisco (arch. Thom Mayne, Morphosis, 2007). Zob. również tab. 4, poz. 13, s. 171.

Źródło: fot. i opracowanie autor

mieszkalny osłonięty jest obudową wykonaną z perforowanej jasnoszarej aluminiowej blachy [261] sprawiającej wrażenie delikatnego woalu „narzuconego" na bryłę. Efekt wizualny przypomina zastosowanie materiału przezroczystego przepuszczającego światło w niewielkim stopniu. Ze względu na barwę blachy światło odbite znacznie wpływa na efekt wizualny – przy silnym świetle słonecznym złudzenie przezroczystości jest mniejsze niż przy zachmurzeniu, ponieważ więcej światła odbija się od jasnej powierzchni perforowanej osłony. Wygląd bloku mieszkalnego zmienia się także w zależności od punktu obserwacji. Są miejsca, z których widać niebo przezierające przez górne partie budynku.

Podobne efekty wizualne można zaobserwować na elewacji budynku Administracji Federalnej w San Francisco (arch. Thom Mayne, Morphosis, 2007), gdzie perforowana blacha została wykorzystana jako osłona przed nadmiernym nasłonecznieniem. W tym przypadku wykorzystano arkusze ze stali nierdzewnej o okrągłych otworach w układzie mijankowym. Relatywnie duża proporcja otworów – około 80% – sprawia, że blacha wydaje się znacznie bardziej przezroczysta niż w bloku mieszkalnym Ambasady Królestwa Niderlandów w Berlinie. Fotografia potwierdza silną zależność złudzenia przezroczystości nie tylko od tego, ile światła zostaje przepuszczone, ale także od tego, ile światła odbija się od litej płyty. Na ujęciu widoczna jest perforowana osłona, która wielokrotnie „marszczy" się i załamuje u podnóża budynku[108]. Wszystkie widoczne segmenty pokryte są tym samym typem perforowanej blachy. Te, które są w cieniu, wydają się zdecydowanie bardziej przezroczyste niż te, które znajdują się w pełnym słońcu. W innych miejscach perforowana blacha zachowuje się także łudząco podobnie do tafli przepuszczającej światło. Osłona rzuca „przezroczyste" cienie na plac przed budynkiem. **Wizualny efekt woalki**, którą został osłonięty gmach, jest niezaprzeczalny (ryc. 84).

Jednym z najbardziej wyrazistych przykładów złudzenia niejednolitej przejrzystości jest okładzina sztucznej wyspy na rzece Mura w Grazu w Austrii (arch. Vito Acconci, 2003). Obudowa obiektu została wykonana ze stalowych paneli, które wyprodukowano w technologii ocynkowanej kraty pomostowej. Równoległe do siebie płaskowniki zostały zespawane z prostopadle przebiegającymi prętami, tworząc ażurowe przewiewne elementy okładzinowe. Na fotografii widoczne jest osiągnięte **złudzenie przezroczystości**, a obiekt wygląda jak obudowany panelami z przepuszczającego światło poliwęglanu komorowego [54, s. 77] (ryc. 85).

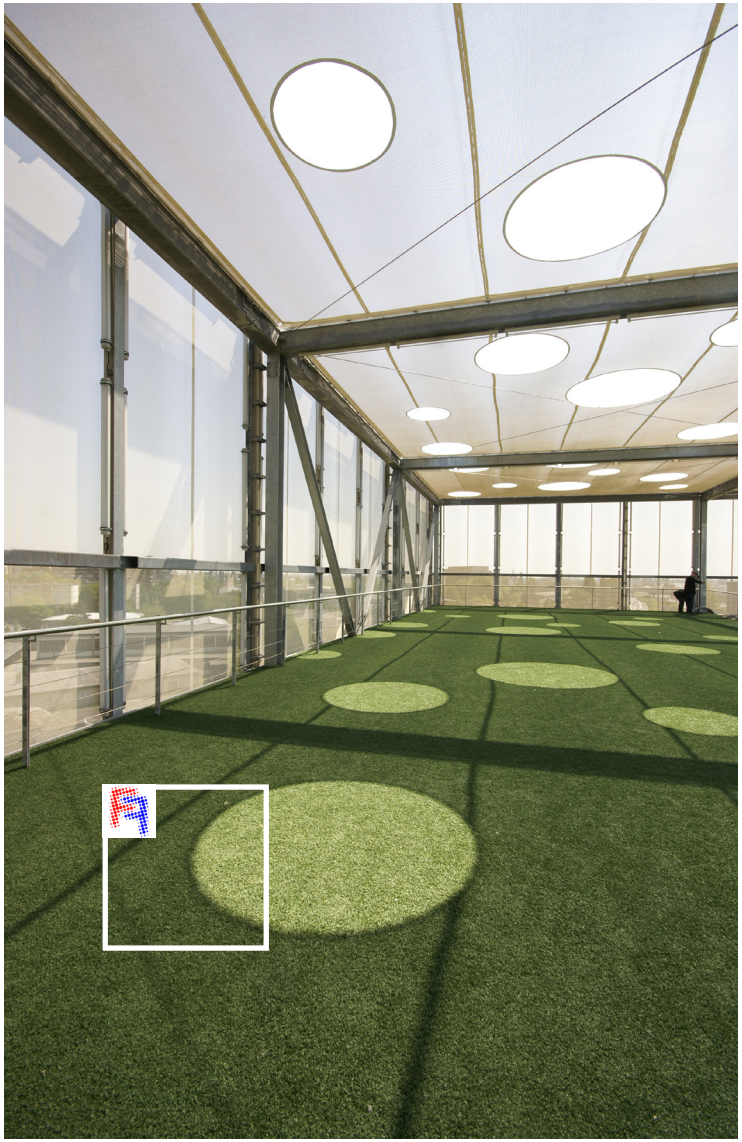
Podobne efekty wizualne, ale innymi środkami technicznymi, zostały uzyskane w terminalu Pogotowia Ratunkowego w Zagrzebiu (arch. Produkcja 004, 2009). Ośmiopiętrowy budynek

[108] Za ten element projektu Thom Mayne był wielokrotnie krytykowany w prasie lokalnej, m.in. w „Los Angeles Times" [121].



Ryc. 85. Panele wykonane w technologii kraty pomostowej do złudzenia przypominają przejrzysty poliwęglan komorowy. Sztuczna wyspa na rzece Mura w Grazu (arch. Vito Acconci, 2003).

Źródło: fot. i opracowanie autor



Ryc. 86. Przezroczyste cienie rzucane przez tkaninę na dach. Terminal Pogotowia Ratunkowego w Zagrzebiu (arch. Produkcija 004, 2009).

Źródło: fot. i opracowanie autor

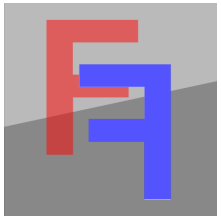
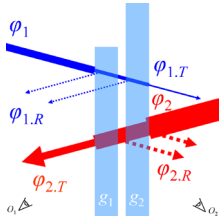
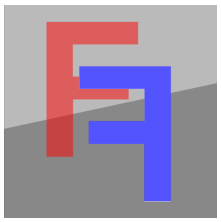
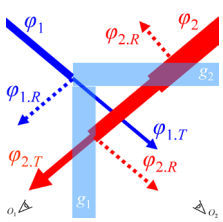
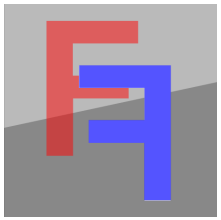
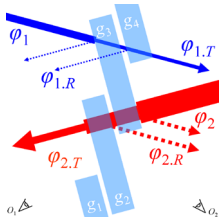
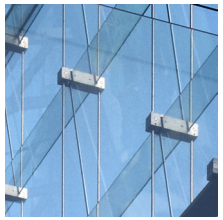
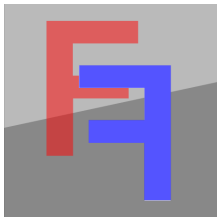
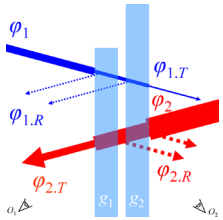
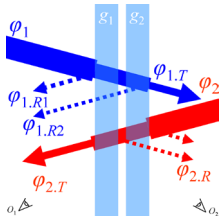
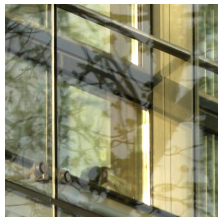
„opakowano" wytrzymałą poliestrową tkaną siatką. Splot jest płócienny: osnowa i wątek przechodzą w prostopadłych kierunkach, tworząc kwadratowe otwory. „Przezroczysty materiał – tu zastosowano Précontraint 392 S2 – przyczynia się do zmieniającego się odbioru budynku w ciągu dnia i w nocy" [94]. Najbardziej łudzący efekt wizualny występuje na najwyższym piętrze budynku, gdzie znajduje się przestrzeń rekreacyjna dla pracowników (ryc. 86). Tkanina o płóciennym splocie została rozciągnięta na stalowej, szkieletowej konstrukcji ponad dachem. Dla zapewnienia lepszej wentylacji tej przestrzeni w tkaninie wykonano okrągłe otwory. W słońcu obserwowana od wewnątrz wydaje się nie tylko „przezroczysta", ale także rzuca „przezroczyste cienie na dach" [54, s. 77], co szczególnie dobrze widać przy krawędziach otworów.

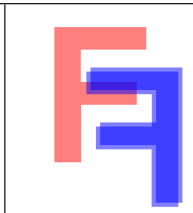
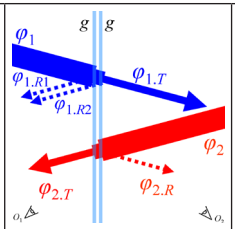
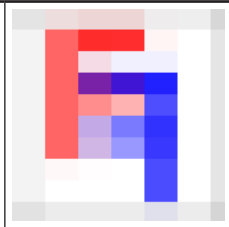
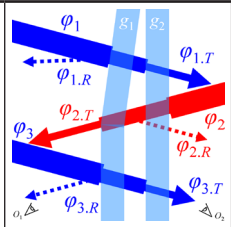
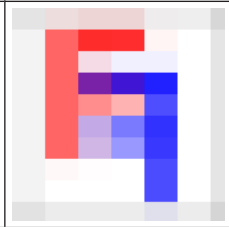
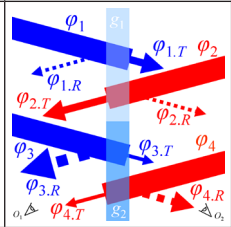
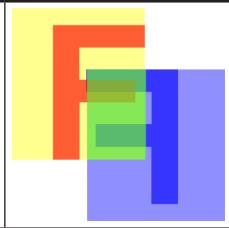
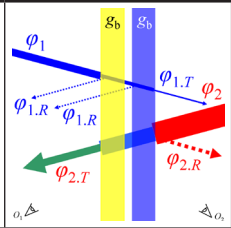
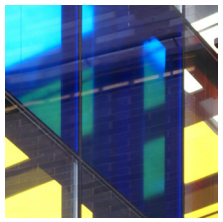
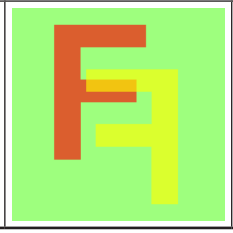
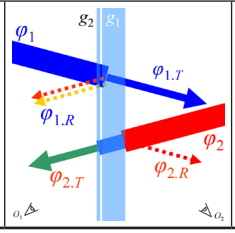
Podsumowanie

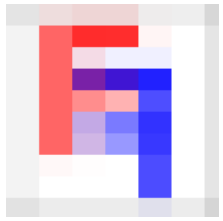
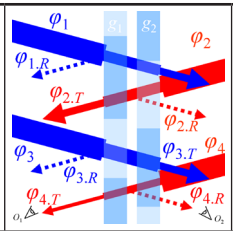
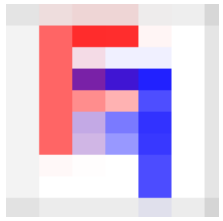
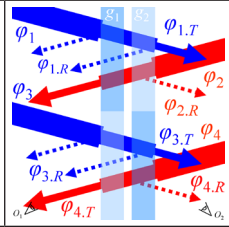
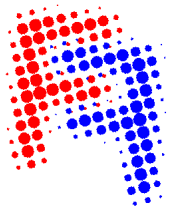
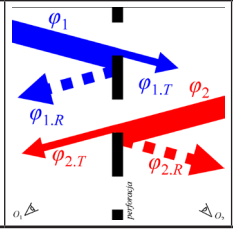
Układ sąsiadujący binarny jest szczególnym przypadkiem układu sąsiadującego dwóch obszarów o odmiennych właściwościach przepuszczania światła: litej płyty lub wątku w ogóle nieprzepuszczającego światła i powietrza przepuszczającego je w 100%. W rezultacie wyjątkowej przestrzennej konfiguracji elementów układu obraz odbierany przez obserwatora jest uśrednionym obrazem tworzonym przez strumień przepuszczany i strumień odbity. Przezroczystość powstaje jako złudzenie wynikające z tego, że obserwator nie jest w stanie rozróżnić drobnowymiarowych elementów tworzących układ. Układy binarne bardzo dobrze nadają się do prowadzenia prac badawczych, ponieważ – w przeciwieństwie do materiałów przepuszczających światło – dają się opisać za pomocą relatywnie prostego narzędzia matematycznego. Perforacje i ażury mają także bogatą tradycję zastosowania w architekturze.

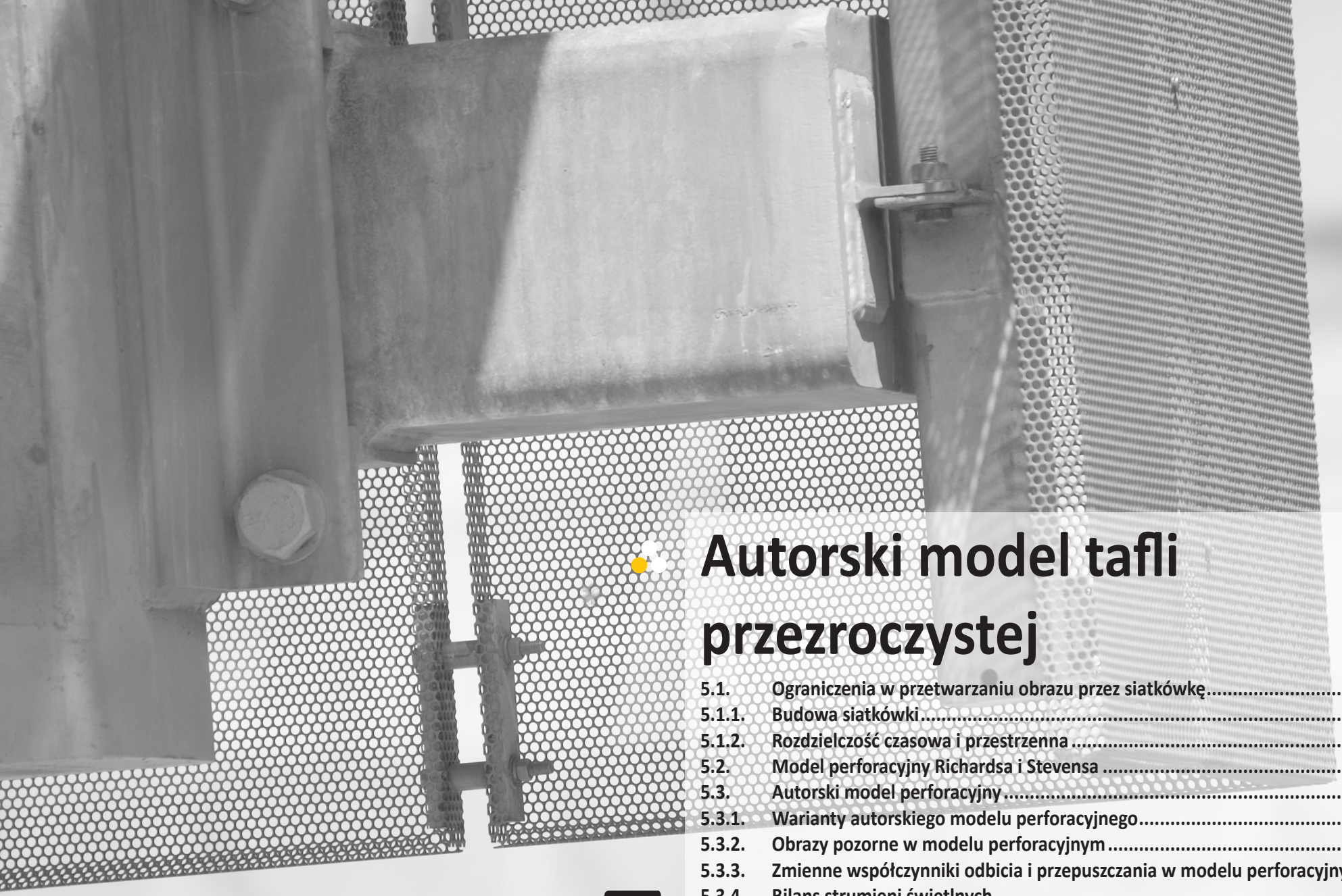
Tabela 4. Zbiorcze zestawienie efektów wizualnych w układach tafli wieloelementowych na przykładzie realizacji opisanych w rozdz. 4.

Źródło: fot. i opracowanie autor

Grupa efektów	Poz.	Schemat efektu wizualnego	Schemat strumieni świetlnych	Widoczność dla:	Opis efektu wizualnego przyczyna efektu	Ilustracja	Budynek
Efekty zmniejszenia jaskrawości	1			O_1	**zmniejszenie intensywności obrazu rzeczywistego** na skutek pochłaniania strumienia $\varphi_{2.T}$ przez kolejne tafle zmniejszenie kontrastu obrazu rzeczywistego niedostrzegalny powielony obraz pozorny tworzony przez strumień $\varphi_{1.R}$		Siedziba Fundacji Cartiera w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 1994)
	2			O_1	**zmniejszenie intensywności obrazu rzeczywistego** na skutek pochłaniania strumienia $\varphi_{2.T}$ przez prostopadłe tafle zmniejszenie kontrastu obrazu rzeczywistego niedostrzegalny powielony obraz pozorny tworzony przez strumień $\varphi_{1.R}$		Oranżeria w parku im. Andrégo Citroëna w Paryżu (arch. Patrick Berger, Jean-François Jodry, Jean-Paul Viguier, 1992)
	3			O_1	**zmniejszenie intensywności obrazu rzeczywistego** na skutek pochłaniania strumienia $\varphi_{2.T}$ przez nakładające się tafle zmniejszenie kontrastu obrazu rzeczywistego niedostrzegalny powielony obraz pozorny tworzony przez strumień $\varphi_{1.R}$		Biurowiec przy Hammerstrasse 19 w Düsseldorfie (arch. Petzinka Pink Architekten, 2000)
	4			O_1	**zmniejszenie intensywności obrazu rzeczywistego** na skutek pochłaniania strumienia $\varphi_{2.T}$ przez kolejne tafle zmniejszenie kontrastu obrazu rzeczywistego niedostrzegalny powielony obraz pozorny tworzony przez strumień $\varphi_{1.R}$		Muzeum Branly w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 2006)
Efekty nałożenia odbić	5			O_1	**nakładające się obrazy pozorne,** do których powstania przyczyniają się powielone strumienie $\varphi_{1.R1}$ i $\varphi_{1.R2}$		Biurowiec przy Bockenheimer Landstrasse we Frankfurcie nad Menem (proj. KSP Architekten, 1998)

Efekty nałożenia odbić	6			O_1	**utrata ostrości obrazu pozornego** na skutek niewielkiego przesunięcia nakładających się obrazów pozornych tworzonych przez dwa strumienie $\varphi_{1.R1}$ i $\varphi_{1.R2}$		Dom handlowy Galeries Lafayette w Berlinie (arch. Jean Nouvel, 1995)
Efekty mozaiki	7			O_1	**charakterystyczna fragmentacja obrazu pozornego** na skutek przesunięcia i zmiany geometrii tafli-zwierciadeł powstają obrazy pozorne tworzone przez strumienie $\varphi_{1.R}$ odbite od tafli-zwierciadeł		Biurowiec Jakob-Kaiser-Haus w Berlinie (arch. de Architekten Cie, P. de Bruijn, 2001)
	8			O_1	**efekt wizualny mozaiki** na skutek sąsiadującego układu tafli o różnych właściwościach tafle wchodzą w interakcje zarówno ze strumieniem $\varphi_{2.T}$, jak i $\varphi_{1.R}$		Siedziba Instytutu Okulistyki w Paryżu (arch. Brunet Saunier Architecture, 2008)
Efekty zmiany barwy	9			O_1	**barwienie substraktywne obrazu rzeczywistego** barwienie strumienia $\varphi_{2.T}$ na skutek przejścia przez kolejne barwne tafle		Dom handlowy Renoma we Wrocławiu (arch. Maćków Pracownia Projektowa, 2009)
	10			O_1	**iryzacja** odmienne zabarwienie strumienia $\varphi_{1.R}$ oraz strumienia $\varphi_{2.T}$ odmienne zabarwienie przenikających się obrazów rzeczywistego i pozornego		Budynek prób Opery Bawarskiej w Monachium (arch. Gewers Kühn & Kühn, 2007)

Efekty rzekomej głębi	11			O_1	**efekt wizualny mozaiki** **efekt wizualny głębi dwóch planów** przemieszanie obrazów, do których powstania przyczyniają się strumienie $\varphi_{2.T}$ oraz $\varphi_{1.R}$ głębia w całym obszarze występowania efektu wizualnego		Biblioteka Techniczna IKMZ – Informations-, Kommunikations- und Medienzentrum w Chociebużu (arch. Herzog & de Meuron, 2004)
	12			O_1	**efekt wizualny mozaiki** **efekt wizualny głębi dwóch planów** przemieszanie obrazów, do których powstania przyczyniają się strumienie $\varphi_{2.T}$ oraz $\varphi_{1.R}$ różne efekty głębi występujące w obszarach sąsiadujących		Biurowiec KAP am Südkai w Kolonii (arch. KSP Engel und Zimmermann, 2004)
Efekty rzekomej przezroczystości	13			O_1	**efekt wizualny przezroczystości** uśrednienie wartości strumieni świetlnych $\varphi_{2.T}$ oraz $\varphi_{1.R}$, które stwarzają efekt wizualny przezroczystości		Budynek Administracji Federalnej w San Francisco (arch. Thom Mayne, Morphosis, 2007)



5 Autorski model tafli przezroczystej

5.1. Ograniczenia w przetwarzaniu obrazu przez siatkówkę 174
5.1.1. Budowa siatkówki 174
5.1.2. Rozdzielczość czasowa i przestrzenna 175
5.2. Model perforacyjny Richardsa i Stevensa 176
5.3. Autorski model perforacyjny 178
5.3.1. Warianty autorskiego modelu perforacyjnego 180
5.3.2. Obrazy pozorne w modelu perforacyjnym 180
5.3.3. Zmienne współczynniki odbicia i przepuszczania w modelu perforacyjnym .. 182
5.3.4. Bilans strumieni świetlnych 184
5.4. Weryfikacja modelu autorskiego 186
5.4.1. Ograniczenia modelu perforacyjnego 186
5.5. Wykorzystanie modelu autorskiego 187
Podsumowanie 188

5. Autorski model tafli przezroczystej

Architekt przewiduje, jak będzie wyglądał zaprojektowany przez niego budynek, a w szczególności zastosowane materiały przezroczyste. Służą temu różne, choć nie dość doskonałe metody. Symulacje komputerowe z reguły bardzo ściśle odzwierciedlają właściwości materiału. Wirtualne obrazy budowli generowane są w wyniku działania matematycznych algorytmów śledzenia-symulowania wielokrotnie odbitego promienia światła (*ray tracing*). Działają, opierając się na wirtualnych źródłach światła i nie odzwierciedlają realnego rozkładu strumienia w polu świetlnym. Zbliżenie się do rzeczywistości jest możliwe, ale wymaga znacznej mocy obliczeniowej i czasu. Fizyczne makiety lepiej ukazują rozkład i natężenie światła, ponieważ trójwymiarowe miniatury budynków wchodzą w interakcję z rzeczywistymi strumieniami świetlnymi. Wadą makiet jest jednak to, że stosuje się w nich materiały przepuszczające światło o właściwościach tylko zbliżonych do tych, które są wykorzystywane w rzeczywistości i faktycznie montowane w budynkach. Szkło przezroczyste zastępuje się pleksiglasem, szkło refleksowe – lustrem. Dostępne w architekturze sposoby opisu rzeczywistości przy zastosowaniu komputerowych modeli matematycznych bądź makiet – fizycznych modeli zredukowanych – nie są więc dostatecznie dokładne i nie uwzględniają wszystkich właściwości zastosowanych tafli. Istnieje więc potrzeba, aby – równolegle z rozwojem zaawansowanych technik modelowania – położyć nacisk na lepsze wyjaśnienie występujących zjawisk optycznych.

W przeciwieństwie do nauk badawczo-opisowych nauki techniczne nie zajmują się analizowaniem, ale przekształcaniem fragmentu rzeczywistości. Różnicę tę w sposób syntetyczny wyraził Tadeusz Kotarbiński, mówiąc, że: „w nauce rzeczywistość wyprzedza jej charakterystykę, gdy w inżynierii koncepcja wyprzedza realizację” [153, s. 6]. Symulacje komputerowe wykorzystują model matematyczny, makiety opierają się na fizycznym modelu zredukowanym. W obydwu metodach punkt wyjścia stanowi model-projekt M_{p} – wirtualny lub fizyczny – natomiast celem i rezultatem działań architekta jest osiągnięcie określonych efektów wizualnych w zrealizowanych budynkach – R_{bud}. Model służy sprawdzeniu, jak zamysł projektowy sprawdzi się w realizacji. Dla badacza architektury punktem wyjścia jest wycinek badanej rzeczywistości R_{b}, a zadaniem – którego się podejmuje – ujęcie jej za pomocą modelu M_{o}[109] [244, s. 179].

$$M_{\mathrm{p}} \rightarrow R_{\mathrm{bud}}$$

$$R_{\mathrm{b}} \rightarrow M_{\mathrm{o}}$$

[109] Zastosowano oznaczenia jak w tekście źródłowym: R – rzeczywistość, M – model.

W naukach technicznych cechą prawidłowo sformułowanego modelu jest określenie przewidywanych rezultatów działań, które model ten opisuje. Dzięki uproszczeniu rzeczywistości działania te pomagają w zrozumieniu mechanizmów określonych zjawisk zachodzących w naturze. W ten sposób modele pełnią również funkcję dydaktyczną. Taki jest właśnie cel prezentowanego autorskiego modelu przezroczystości ogłoszonego we wcześniejszej publikacji autora pt. *Understanding transparency perception in architecture: Presentation of the simplified perforated model* w czasopiśmie „Perception" [54]. W poniższym tekście wykorzystano jej przetłumaczone fragmenty z użyciem terminologii przyjętej w tej monografii.

5.1. Ograniczenia w przetwarzaniu obrazu przez siatkówkę

Prezentowany model przezroczystej gładkiej tafli zakłada wykorzystanie cech charakterystycznych ludzkiego oka – ograniczeń w przetwarzaniu obrazu wynikających z budowy siatkówki. Modelowanie odbioru zjawisk optycznych możliwe jest dzięki przyjęciu wielu uproszczeń, które bez znaczącego wpływu na końcowy rezultat ułatwią zrozumienie, wyjaśnienie i analizę przebiegu badanych zjawisk.

5.1.1. Budowa siatkówki

Promienie światła wpadają do oka przez rogówkę, soczewkę oraz ciało szkliste – galaretowatą substancję, która wypełnia gałkę oczną. Ciało szkliste pełni bardzo istotną funkcję morfologiczną – utrzymuje odpowiedni sferyczny kształt siatkówki, „przypierając" ją do wewnętrznej strony gałki. Na powierzchni siatkówki tworzy się dwuwymiarowy, pomniejszony, rzeczywisty, odwrócony obraz otoczenia. Siatkówka stanowi zasadniczą recepcyjną część oka. Jest „cienką siecią komórek nerwowych zawierającą m.in. wyspecjalizowane komórki receptorowe reagujące na światło" [134, s. 82]. W budowie siatkówki można wyróżnić kilka wyraźnie wyodrębnionych warstw. Tą położoną najdalej od soczewki (na samym spodzie oka) jest warstwa receptorów – czopków i pręcików. Ich wrażliwość na światło jest odmienna. Pręciki zostały przystosowane do odbioru bardzo słabych bodźców, ale w związku z tym są w stanie rejestrować wyłącznie monochromatyczne zmiany luminancji, które powodują powstanie wrażenia jasne–ciemne. Czopki są przystosowane do odbioru dużego natężenia światła i różnią się między sobą wrażliwością na jego barwę – czerwoną, zieloną, niebieską. Funkcjonują przy silnym świetle, w dzień i umożliwiają postrzeganie barw [134, s. 83].

Wzrokowe impulsy nerwowe generowane są na drodze skomplikowanych przemian elektrochemicznych, tzw. transdukcji[110] [254]. Impulsy z receptorów przekazywane są przez kilka typów komórek siatkówki: receptory właściwe, komórki dwubiegunowe, poziome i amakrynowe, aż do komórek zwojowych, których aksony tworzą nerw wzrokowy. Na 120 mln receptorów światłoczułych siatkówki – pręcików i czopków – przypada około 1 mln komórek zwojowych. Oznacza to, że „informacje z receptorów nie są w prosty sposób transmitowane do mózgu" [134, s. 84], a komórki siatkówki odgrywają bardzo istotną rolę we wstępnym przetwarzaniu bodźców wizualnych.

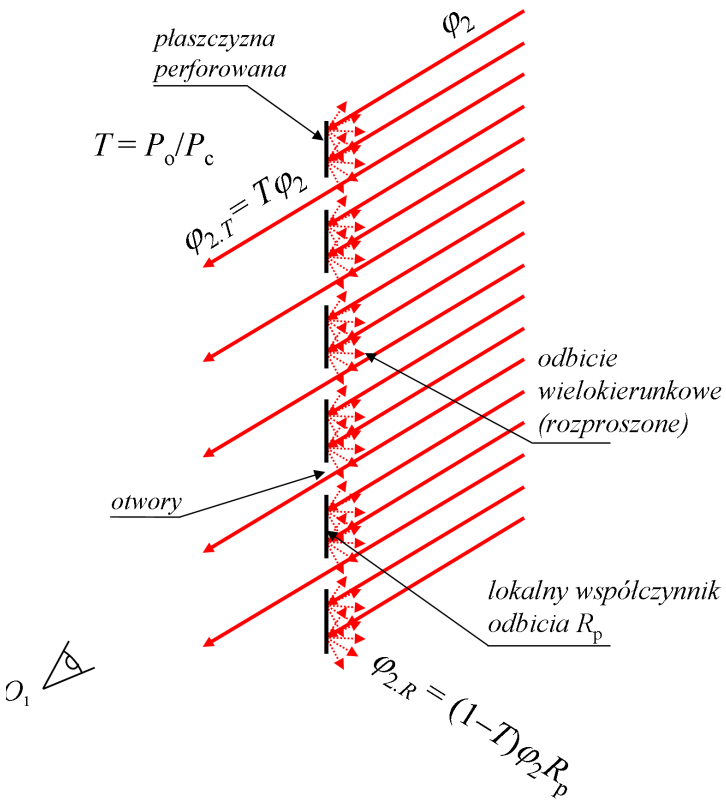
Receptory są nierównomiernie rozmieszczone na powierzchni siatkówki. Największe ich zagęszczenie przypada na tzw. dołek środkowy, inaczej dołek oczny (*fovea*) – niewielkie zagłębienie w centrum siatkówki na osi optycznej oka, na które rzutowany jest obraz obserwowanego obiektu. Najlepiej widzimy na obszarze około 2° pola widzenia. Odpowiada to dwuzłotowej monecie obserwowanej z odległości około 50 centymetrów [134, s. 84]. Dane napływające z centralnego obszaru siatkówki (*foveal vision*) uzupełniane są informacjami docierającymi z obszaru peryferyjnego (*peripheral vision*). Przypuszcza się, że dane rejestrowane z tych obszarów przetwarzane są oddzielnie (zob. rozdz. 6.8, s. 237).

5.1.2. Rozdzielczość czasowa i przestrzenna

Siatkówka ma ograniczone możliwości odbierania sygnałów świetlnych (*visual acuity*). Ograniczona **rozdzielczość czasowa** (*temporal acuity*) wynika z tego, że po każdorazowym odbiorze bodźca receptory światłoczułe wymagają regeneracji. Proces ten zajmuje około 1/25–1/30 sekundy. Siatkówka rejestruje więc obraz w określonych odstępach czasu – nie jest w stanie odbierać go w sposób ciągły[111]. Ograniczenie objawia się tym, że oko nie jest w stanie zarejestrować bodźców następujących w zbyt krótkich odstępach czasu. Ograniczona **rozdzielczość przestrzenna** (*spatial acuity*) wynika z rozmiaru receptorów i sposobu ich rozmieszczenia na siatkówce. Objawia się niemożliwością rozróżnienia obiektów, których obrazy znajdują się zbyt blisko siebie. Aby dwa obiekty zostały rozpoznane jako odrębne, „promienie światła muszą pobudzić dwa różne czopki na siatkówce oka, oddzielone jednym czopkiem niepobudzonym" [196, s. 13]. Zdolność rozdzielcza

[110] Przekształcenia rodopsyny w wyniku procesu izomeryzacji w opsynę.

[111] Ta częstotliwość jest zależna również od natężenia światła [262, s. 723]. Gdy jest jaśniej, funkcjonują czopki i te są w stanie rejestrować obraz barwny co 10–20 milisekund. Gdy natężenie światła zmniejszy się – na bodziec reagują wyłącznie pręciki. Pręciki i czopki mają odmienny tzw. próg efektu stroboskopowego (*flicker fusion threshold* – FFT). Pręciki regenerują się szybciej niż czopki (mniej czasu potrzeba na izomeryzację rodopsyny).



Ryc. 87. Model Richardsa i Stevensa – ujęcie przy wykorzystaniu wielkości zdefiniowanych przez autora. Strumień świetlny przedstawiono w uproszczeniu, jako wiele składowych równoległych promieni światła. Model przewiduje zmianę współczynnika odbicia tej części tafli, która nie jest przezroczysta. Pozwala na określenie, w jakich proporcjach „podzielony" zostaje strumień świetlny φ_2 oddziałujący na taflę z jednej strony i odbierany przez obserwatora O_1. W kolejnych schematach przyjęto pewne uproszczenie, ponieważ strumień świetlny został przedstawiony w postaci wielu równoległych promieni światła. Strumień świetlny φ_2 oddziałuje na nieskończenie cienką płaszczyznę perforowaną pokazaną w przekroju pionowym.

Źródło: opracowanie autor na podstawie publikacji własnej [54]

siatkówki jest cechą osobniczą i przeciętnie wynosi jedną minutę kątową – 1′. Właśnie ta cecha sprawia, że płaszczyznę perforowaną obserwator odbiera jako przezroczystą.

5.2. Model perforacyjny Richardsa i Stevensa

Autorski model przezroczystości zainspirowany został przez model perforacyjny stworzony w 1979 roku przez Whitmana Richardsa i Kenta A. Stevensa z Massachusetts Institute of Technology [221] na potrzeby pierwszych symulacji komputerowych. Celem badaczy było otrzymanie satysfakcjonujących efektów wirtualnych symulacji przy jednoczesnym znacznym uproszczeniu obliczeń i ograniczeniu wykorzystania pamięci wczesnych, niedoskonałych komputerów. Obecnie względy technologiczne nie ograniczają systemów symulacyjnych, ale podstawy teoretyczne przygotowane w latach 70. XX wieku pozwalają na ich twórczą reinterpretację i współczesne wykorzystanie. Model perforacyjny Richardsa i Stevensa został przetworzony za pomocą wielkości wcześniej w opracowaniu zdefiniowanych. Przyjęte założenia pozwalają więc każdą taflę przezroczystą przedstawić jako perforowaną nieprzezroczystą-litą płytę. Model umożliwia nieskomplikowane matematyczne ujęcie opisywanych zależności: między przepuszczaniem, odbiciem i pochłanianiem światła w tafli oraz opisującymi te zjawiska współczynnikami T, R, A.

W modelu Richardsa i Stevensa tafli jednorodnie przezroczystej odpowiada **nieskończenie cienka płaszczyzna z okrągłymi, równomiernie rozmieszczonymi otworami – perforacją**. Na płaszczyznę działa strumień świetlny φ_2. Jego część, która przedostanie się przez otwory w płaszczyźnie, tworzy wtórny strumień przepuszczany $\varphi_{2.T}$. Pozostała część strumienia φ_2 ulega odbiciu od płyty i tworzy strumień wtórny rozproszony $\varphi_{2.R}$ (ryc. 87). Strumień świetlny $\varphi_{2.T}$ przepuszczany przez otwory jest proporcjonalny do współczynnika przepuszczania T, czyli stosunku pola powierzchni otworów P_o do pola powierzchni całkowitej P_c. Zmniejszenie intensywności strumienia przepuszczanego następuje w wyniku tego, że przez otwory przedostaje się tylko część promieni tworzących strumień pierwotny φ_2. Wartość odbitego strumienia świetlnego $\varphi_{2.R}$ zależy od dwóch zmiennych: wielkości powierzchni litej, czyli pozbawionej otworów, nieprzepuszczającej światła: $P_p = P_c - P_o$, oraz współczynnika odbicia światła R_p części litej. Jeśli płaszczyzna jest jasna – zwiększa się modelowany współczynnik odbicia R, a maleje współczynnik pochłaniania A, jeśli ciemna – zachodzi zjawisko odwrotne. W rzeczywistości część energii jest pochłaniana przez przezroczystą taflę. W modelu przezroczystości – podobnie jak w sytuacji realnej – pochłanianie

energii przez płaszczyznę perforowaną nie ma wpływu na efekt wizualny[112]. Model Richardsa i Stevensa uwzględnia także np. barwę części litej płaszczyzny. To, czy jest ona biała, czarna, czy czerwona, wpływa na wartość i barwę strumienia odbitego $\varphi_{2.R}$, a tym samym na intensywność i barwę obrazu odbieranego przez obserwatora.

W dalszej części obliczeń przyjęto, że stosunek powierzchni otworów do powierzchni całej płaszczyzny jest równy współczynnikowi przepuszczania światła T:

$$\frac{P_{\mathrm{o}}}{P_{\mathrm{c}}} = T \tag{1}$$

Jeśli na płaszczyznę pada strumień świetlny φ_2, to można dostrzec występowanie następujących zależności:

$$\varphi_{2.T} = T\varphi_2\,, \tag{2}$$

ponieważ strumień przepuszczany jest tylko przez otwory oraz:

$$\varphi_{2.R} = (1-T)\varphi_2 R_{\mathrm{p}}\,, \tag{3}$$

ponieważ jedynie część lita $(1-T)$ odbija światło i to współczynnik odbicia części litej R_{p} decyduje o tym, jaka część strumienia zostanie odbita, a jaka pochłonięta, a następnie:

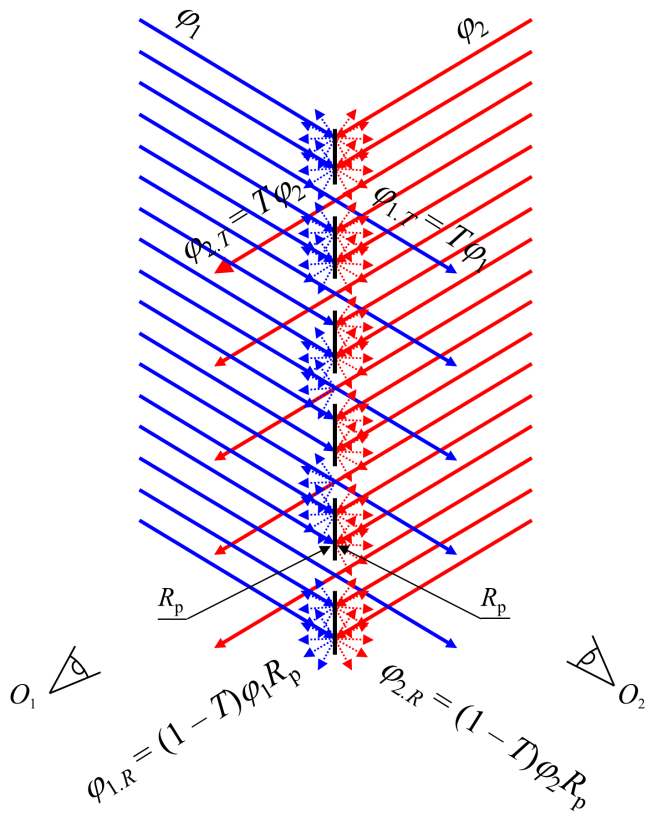
$$\varphi_{2.A} = \varphi_2 - T\varphi_2 - (1-T)\varphi_2 R_{\mathrm{p}}\,, \tag{4}$$

ponieważ część strumienia, która zostaje przez płaszczyznę pochłonięta, można obliczyć przez odjęcie od strumienia pierwotnego φ_2 strumieni: przepuszczonego $\varphi_{2.T}$ i odbitego $\varphi_{2.R}$.

Strumienie te sumują się, tworząc strumień φ_2:

$$\varphi_2 = T\varphi_2 + (1-T)\varphi_2 R_{\mathrm{p}} + \left(\varphi_2 - T\varphi_2 - (1-T)\varphi_2 R_{\mathrm{p}}\right). \tag{5}$$

[112] Perforowana płaszczyzna/płyta pod wpływem energii nagrzeje się i rozszerzy – zmieni się więc średnica otworów. Ze względu na niewielką skalę zjawiska rozszerzalność termiczna płyty została pominięta. W warunkach rzeczywistych energia pochłonięta przez taflę jest istotna dla bilansu energetycznego budynku [67, s. 20–36].



Ryc. 88. Zmodyfikowany autorski model przezroczystości po wprowadzeniu drugiego strumienia φ_1. Płaszczyzna perforowana pokazana w przekroju pionowym. W dalszej części obliczeń, zamiast przyjęcia stałego stosunku powierzchni otworów do powierzchni litej, założono, że jest on równy współczynnikowi przepuszczania T.

Źródło: opracowanie autor na podstawie publikacji własnej [54]

Przedstawione równania opisują, jaka część pierwotnego strumienia świetlnego φ_2 została odbita, a jaka przepuszczona przez otwory w płaszczyźnie. Model ten obrazuje, w jakich proporcjach „podzielony" zostanie strumień świetlny φ_2 działający z jednej strony na perforowaną płaszczyznę i wyraża te proporcje za pomocą współczynników T oraz R_p. Strumienie wtórne $\varphi_{2.R}$ oraz $\varphi_{2.T}$ znajdują się jednak po przeciwnych stronach symulowanej tafli, nie mogą więc być odebrane przez tego samego obserwatora.

5.3. Autorski model perforacyjny

W rzeczywistości obserwacja materiałów przepuszczających światło oznacza odbiór obrazu wynikowego powstającego przy udziale dwóch wtórnych strumieni świetlnych: przepuszczanego i odbitego. Obraz ten dociera do **tego samego obserwatora** (w modelu O_1 lub O_2). Autorska modyfikacja modelu Richardsa i Stevensa polega na wprowadzeniu drugiego pierwotnego strumienia świetlnego φ_1 padającego na perforowaną płaszczyznę z przeciwnej strony niż φ_2 (ryc. 88). Strumienie pierwotne φ_1 oraz φ_2 oddziałują na dwie strony płaszczyzny, analizie podlegają natomiast pochodzące od nich strumienie wtórne $\varphi_{1.R}$ i $\varphi_{2.T}$ tworzące obrazy, które docierają do obserwatora O_1 (lub odpowiednio $\varphi_{1.T}$ i $\varphi_{2.R}$ tworzące obraz odbierany przez obserwatora O_2). Obserwatorzy O_1 lub O_2 znajdują się po przeciwnych stronach, więc dla każdego z nich można przeprowadzić bliźniaczą analizę. Analogicznie jak przy odbiorze materiałów przezroczystych modelowany jest proces tworzenia obrazu przez dwa wtórne strumienie świetlne, odbity i przepuszczany. Przy spełnieniu określonych powyżej warunków[113] **modelowa perforowana płaszczyzna** odbierana jest przez obserwatora jako **tafla jednorodnie przezroczysta**.

Przy założeniu, że na perforowaną płaszczyznę padają z dwóch stron dwa strumienie świetlne φ_1 oraz φ_2, a także, że R_p jest jednakowe dla dwóch stron płaszczyzny, dla obydwu strumieni pozostają prawdziwe relacje wyprowadzone w rozważaniu poprzednim. Dla φ_1:

$$\varphi_{1.T} = T\varphi_1 \text{ oraz } \varphi_{1.R} = (1-T)\varphi_1 R_p \text{, oraz } \varphi_{1.A} = (1-T)\varphi_1 A \text{, które sumują się do } \varphi_1, \qquad (6, 7, 8)$$

oraz analogicznie dla φ_2:

$$\varphi_{2.T} = T\varphi_2 \text{ oraz } \varphi_{2.R} = (1-T)\varphi_2 R_p \text{, oraz } \varphi_{2.A} = (1-T)\varphi_2 A \text{, które sumują się do } \varphi_2. \quad (9, 10, 11)$$

[113] Odbiór układu sąsiadującego binarnego obserwowanego poza zdolnością rozdzielczą siatkówki oka (zob. s. 132).

Pozwala to na porównanie strumieni świetlnych znajdujących się po tej samej stronie oraz ocenę, w jaki sposób barwa płaszczyzny wpływa na obraz odbierany przez obserwatora. Strumień świetlny odbity od ciemnej perforowanej płaszczyzny ma małą wartość, nie zmieni więc w sposób znaczący obrazu wynikowego odbieranego przez obserwatora O_1. Jeżeli płaszczyzna będzie biała, efekt może być całkiem odmienny. Obraz rzeczywisty, tworzony przez strumień przepuszczany $\varphi_{2.T}$, bywa przekształcany na dwa sposoby. W pierwszym przypadku będzie jaśniejszy, ponieważ strumień przepuszczany zostanie wzmocniony przez strumień odbity od białej płaszczyzny. W drugim przypadku w ogóle stanie się niedostrzegalny. Strumień świetlny odbity będzie miał tak dużą wartość, że zdominuje strumień przepuszczany.

Dla obserwatora O_1, przy wyprowadzonej powyżej relacji:

$$\varphi_{2.T} > \varphi_{1.R}\text{, czyli } T\varphi_2 > (1-T)\varphi_1 R_\mathrm{p}, \tag{12}$$

dominował będzie strumień przepuszczany, czyli obraz rzeczywisty; jeśli

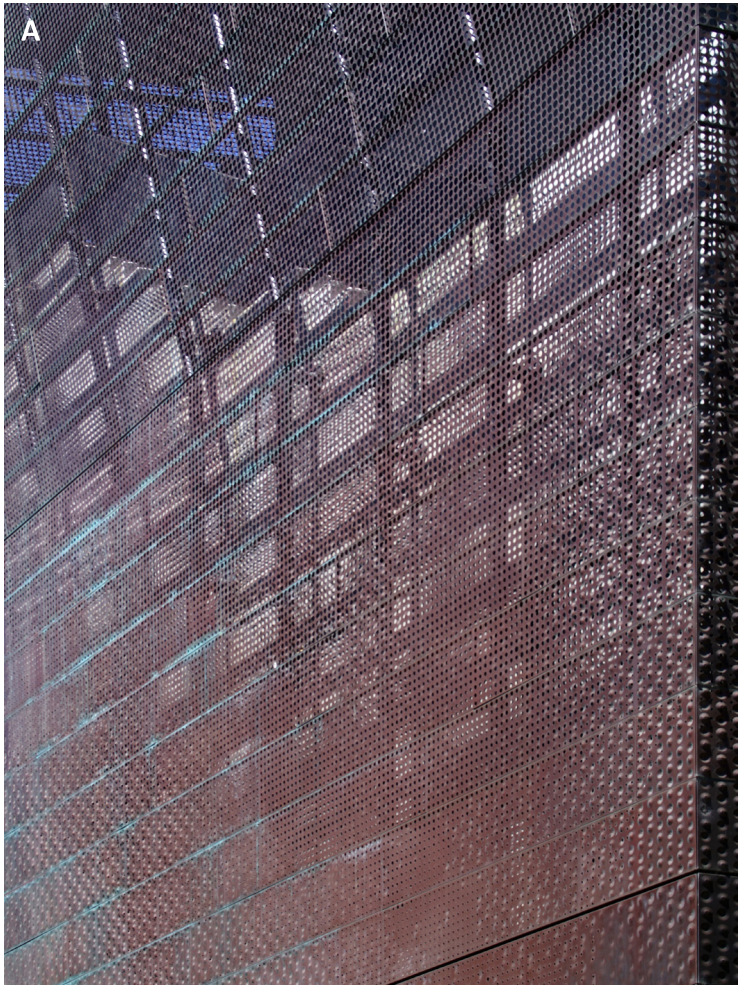
$$\varphi_{2.T} < \varphi_{1.R}\text{, czyli } T\varphi_2 < (1-T)\varphi_1 R_\mathrm{p}, \tag{13}$$

dominował będzie strumień odbity.

Zjawiska te odpowiadają relacjom, które zachodzą między strumieniami świetlnymi w odbiorze tafli przezroczystych (zob. rozdz. 3.1.1, s. 68). Ogólna relacja tych strumieni wyraża się w prostym stwierdzeniu: im mniejsza część strumienia jest przepuszczana, tym większa ulega odbiciu. Im większe otwory, tym większy udział strumienia przepuszczanego tworzącego obraz rzeczywisty; im średnica otworów mniejsza, tym większy udział strumienia odbitego. Zmodyfikowany model Richardsa i Stevensa jest przedstawiony na ryc. 88, s. 178.

Powyższe równania są ważne dla matowej perforowanej płaszczyzny, która ma cechy tzw. powierzchni lambertiańskiej: wartości współczynników są stałe – T na całej powierzchni płyty, a R_p dla każdego kąta obserwacji[114]. Wtedy model opisuje typowy przypadek przepuszczania światła przez taflę jednorodnie przezroczystą. Podobne założenia były przyjmowane przez psychologów percepcji w badaniach nad spostrzeganiem przezroczystości (zob. rozdz. 6.6.1, s. 204).

[114] Miarą, która może być wykorzystana do opisu właściwości optycznych powierzchni bez stosowania uproszczeń, jest BRDF – dwukierunkowa funkcja rozkładu odbicia (*bidirectional reflectance distribution function*) umożliwiająca oddanie cech powierzchni zależnych zarówno od kąta padania promieni, jak i od kąta obserwacji [279].



Ryc. 89. Złudzenie niejednorodnej przezroczystości powstaje w wyniku wariantowania średnicy otworów w blaszanej obudowie budynku. **A.** Widok ogólny. **B.** Zbliżenie obudowy (ryc. na następnej stronie). Muzeum Sztuk Pięknych – de Young Museum w San Francisco (arch. Herzog & de Meuron, 2005).

Źródło: fot. i opracowanie autor

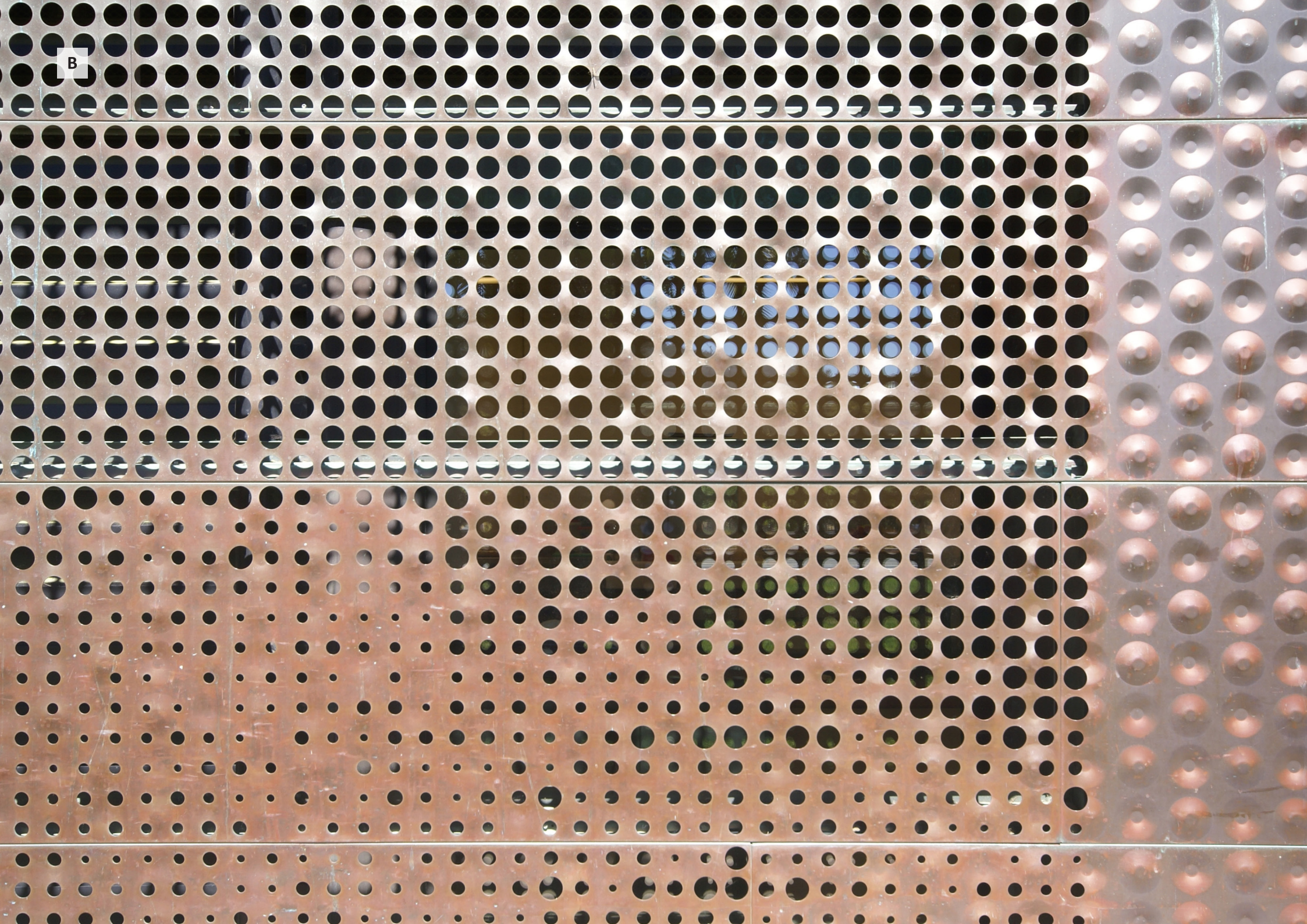
5.3.1. Warianty autorskiego modelu perforacyjnego

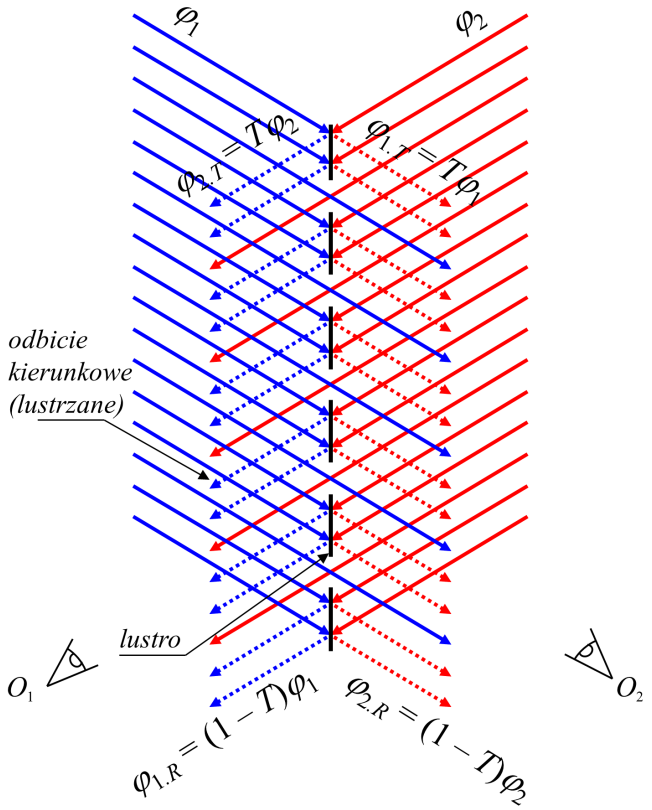
Autorski model perforacyjny może zostać wykorzystany również do opisu innych szczególnych przypadków przezroczystości. Płaszczyzna o nieregularnie rozmieszczonych otworach lub z otworami o różniej średnicy pozwala na symulowanie materiałów o niejednorodnym współczynniku przepuszczania światła T. Niejednorodny współczynnik odbicia R w różnych obszarach tafli może być symulowany przez pokrycie płaszczyzny wzorem, napisem lub nadrukiem. W obu przypadkach ocena wyników wymaga przeprowadzenia dokładnych wyliczeń niemal dla każdego promienia światła składającego się na działające strumienie. Obliczanie średnich wartości dla T i R jest uproszczeniem i może to doprowadzić do fałszywych rezultatów.

Obiekt Muzeum Sztuk Pięknych – de Young Museum w San Francisco (arch. Herzog & de Meuron, 2005) obserwowany w warunkach rzeczywistych może służyć ilustracji prezentowanego wariantu modelu. Przysadzista, ortogonalna bryła budynku zwieńczona jest dominantą-wieżą w kształcie odwróconego graniastosłupa. Na szczycie znajduje się platforma widokowa. Otwory w perforowanej miedzianej obudowie mają różne średnice: od najmniejszych na poziomie terenu, do coraz większych przy platformie widokowej. Ciężka, masywna i nieprzenikniona obudowa bryły pozornie przekształca się w kunsztowną, ażurową przesłaniającą firanę. Złudzenie niejednorodnej przezroczystości jest szczególnie wyraziste. Udział obrazu rzeczywistego przepuszczanego przez otwory stopniowo się zwiększa, aż do dominacji na poziomie platformy widokowej (ryc. 89).

5.3.2. Obrazy pozorne w modelu perforacyjnym

Zagadnienia odbioru przezroczystych tafli w architekturze wymagają uwzględnienia lustrzanego odbicia i obrazów pozornych. Bez tego prezentowany model nie może prawidłowo odzwierciedlać zachodzących rzeczywistych zjawisk optycznych. W kolejnym udoskonaleniu modelu przyjmowane jest teoretyczne założenie, że lita pozbawiona otworów część płaszczyzny ma gładką, doskonale lustrzaną powierzchnię ($R_p = 1$). Wartość strumienia odbitego $\varphi_{1.R}$, w części, w której strumień odbija się, jest równa wartości strumienia padającego φ_1. Odbicie nie jest rozproszone, tylko **kierunkowe – lustrzane**. To modyfikacja istotna, ale nadal mieszcząca się w zakresie proponowanego modelu perforacyjnego. Założenie nie zmienia reguł określających bilans strumieni świetlnych, które wpływają na proporcje obrazów odbieranych przez obserwatora. Tak jak poprzednio strumień o większej wartości dominuje nad tym o mniejszej wartości, ale równocześnie pojawia się głębia obrazu pozornego. W wyniku uśrednienia wartości strumieni obraz pozorny tworzony przez strumień $\varphi_{1.R}$ odbity od części pełnej płaszczyzny zostaje „nałożony” na obraz rzeczywisty tworzony przez


B



Ryc. 90. Zmodyfikowany autorski model przezroczystości uwzględniający lustrzane odbicie od płaszczyzny modelowej. Płaszczyzna perforowana pokazana w przekroju pionowym. Strumienie odbijają się kierunkowo, powstaje ostry obraz pozorny.

Źródło: opracowanie autor na podstawie publikacji własnej [54]

strumień $\varphi_{2.T}$ przepuszczany przez otwory. Obrazy zostają „wymieszane" w proporcji zależnej od stosunku powierzchni otworów do powierzchni litej oraz natężenia strumieni pierwotnych (ryc. 90). Lokalny bilans strumieni świetlnych determinuje, czy określone partie perforowanej lustrzanej płaszczyzny są odbierane jako jaśniejsze niż inne. Na przykład intensywny strumień świetlny, który tworzy obraz pozorny, zdominuje obraz rzeczywisty, powstający przy udziale przepuszczanego strumienia świetlnego o mniejszej wartości. Modyfikacje zbliżają proponowany model do sytuacji realnej także z innego względu. Obserwator ma możliwość identyfikacji źródeł obu strumieni świetlnych: nie tylko strumienia przepuszczanego przez otwory, ale także tego, który ulega odbiciu.

5.3.3. Zmienne współczynniki odbicia i przepuszczania w modelu perforacyjnym

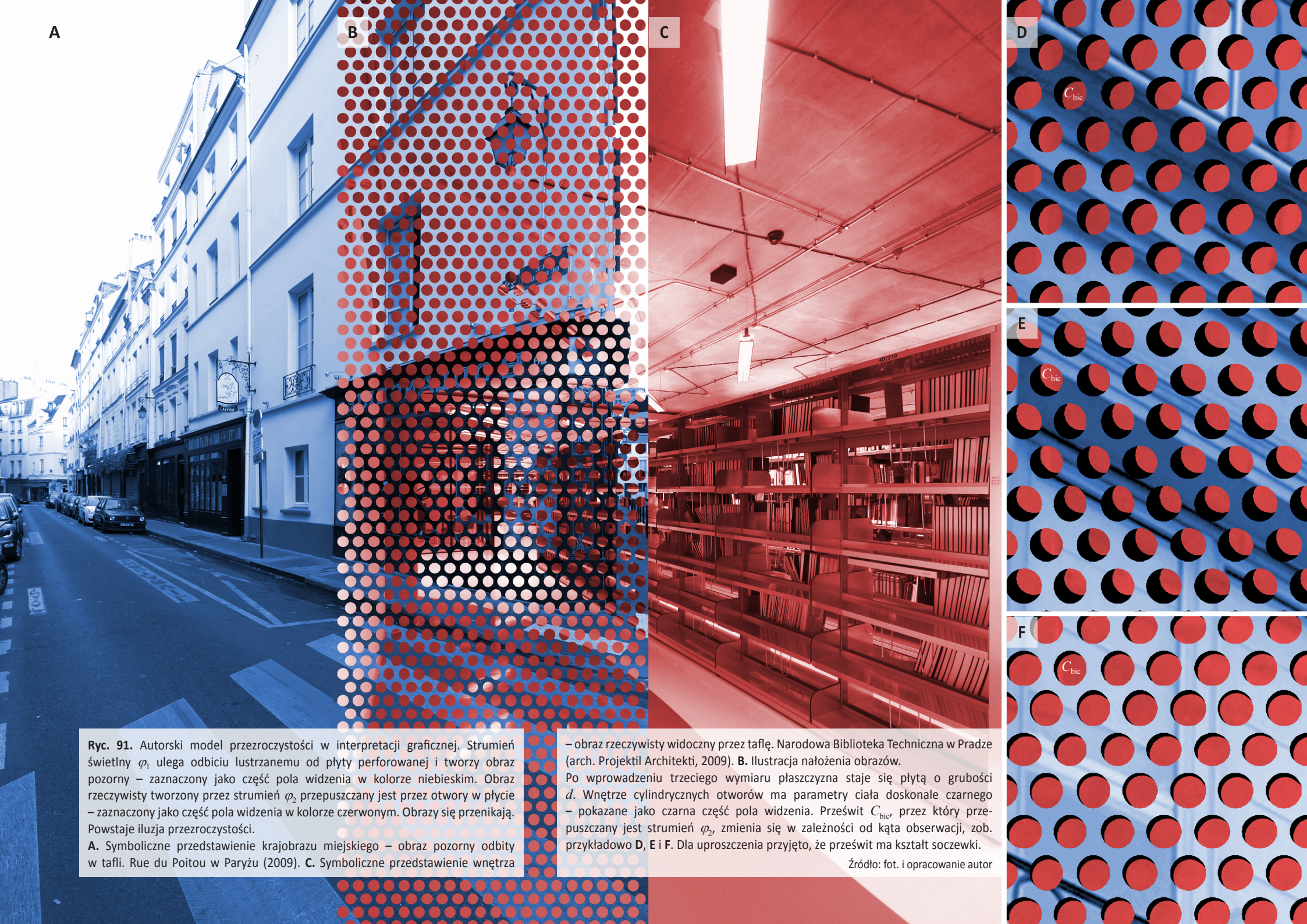
W rzeczywistości współczynniki odbicia i przepuszczania światła zmieniają się w zależności od kąta obserwacji. Adekwatny model musi uwzględniać to zjawisko. Z równań Fresnela wynika, że wartości współczynników T oraz R tafli są stałe – czyli takie, jakie nadano w procesie produkcji – jedynie w zakresie 40-stopniowego kąta obserwacji. W miarę zwiększania tego kąta zwiększa się współczynnik odbicia R i maleje współczynnik przepuszczania T (więcej na ten temat w rozdz. 3.1.2.5, s. 90). Zaproponowana modyfikacja modelu perforacyjnego przewiduje możliwość uwzględnienia tej zależności, jednak tylko z ograniczoną dokładnością.

Zmiana polega na wprowadzeniu trzeciego wymiaru. Perforowana płaszczyzna, która dotychczas była rozważana jako nieskończenie cienki dwuwymiarowy obiekt, będzie rozpatrywana jako obiekt trójwymiarowy (lustrzana płyta o określonej grubości – d). Okrągłe otwory w niej stają się otworami cylindrycznymi, które przepuszczają strumień świetlny. Wnętrze cylindrycznych otworów, przepuszczających strumień świetlny, ma parametry ciała doskonale czarnego pochłaniającego każdy padający promień światła niezależnie od barwy i kąta padania – zob. ryc. 91D, E, F[115]. W zależności od kąta obserwacji i grubości płyty zmianie ulegnie prześwit C_{bic}[116], przestrzeń – w uproszczeniu o kształcie soczewki – przez którą będzie przepuszczany strumień φ_2.

Na podstawie modelu trójwymiarowej perforowanej płyty trygonometrycznie wyprowadzono relacje geometryczne, które pozwalają na określenie powierzchni prześwitu C_{bic} jako funkcji

[115] Przyjęto założenie, że część strumienia, który pada na wewnętrzną powierzchnię cylindrycznego otworu, można pominąć w modelu uproszczonym.

[116] Oznaczenie przyjęto od angielskiego słowa *clearance* – prześwit; soczewkowy kształt prześwitu został określony jako *biconvex*, czyli dwustronnie wypukły, stąd C_{bic}.

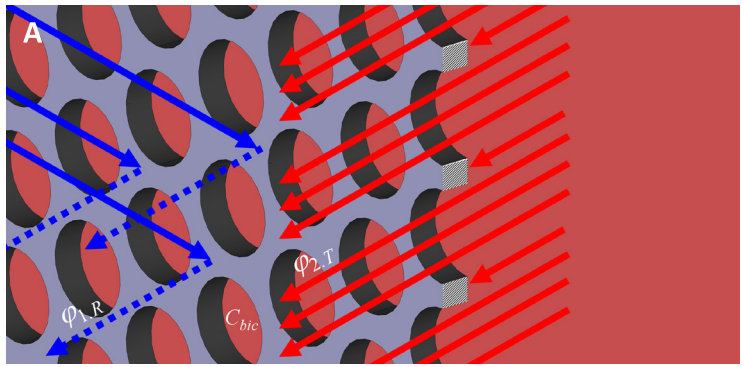


Ryc. 91. Autorski model przezroczystości w interpretacji graficznej. Strumień świetlny φ_1 ulega odbiciu lustrzanemu od płyty perforowanej i tworzy obraz pozorny – zaznaczony jako część pola widzenia w kolorze niebieskim. Obraz rzeczywisty tworzony przez strumień φ_2 przepuszczany jest przez otwory w płycie – zaznaczony jako część pola widzenia w kolorze czerwonym. Obrazy się przenikają. Powstaje iluzja przezroczystości.

A. Symboliczne przedstawienie krajobrazu miejskiego – obraz pozorny odbity w tafli. Rue du Poitou w Paryżu (2009). **C.** Symboliczne przedstawienie wnętrza – obraz rzeczywisty widoczny przez taflę. Narodowa Biblioteka Techniczna w Pradze (arch. Projektil Architekti, 2009). **B.** Ilustracja nałożenia obrazów.

Po wprowadzeniu trzeciego wymiaru płaszczyzna staje się płytą o grubości d. Wnętrze cylindrycznych otworów ma parametry ciała doskonale czarnego – pokazane jako czarna część pola widzenia. Prześwit C_{bic}, przez który przepuszczany jest strumień φ_2, zmienia się w zależności od kąta obserwacji, zob. przykładowo **D**, **E** i **F**. Dla uproszczenia przyjęto, że prześwit ma kształt soczewki.

Źródło: fot. i opracowanie autor



Ryc. 92. Ilustracja zasady zmniejszania wartości przepuszczanego strumienia świetlnego w zależności od kąta obserwacji płyty. **A.** W modelu nieskończenie cienka dwuwymiarowa płaszczyzna zostaje zamieniona na trójwymiarową płytę o określonej grubości d. **B.** Wycinek płyty perforowanej pokazany w przekroju pionowym przy trzech różnych kątach obserwacji.

Źródło: opracowanie autor na podstawie publikacji własnej [54]

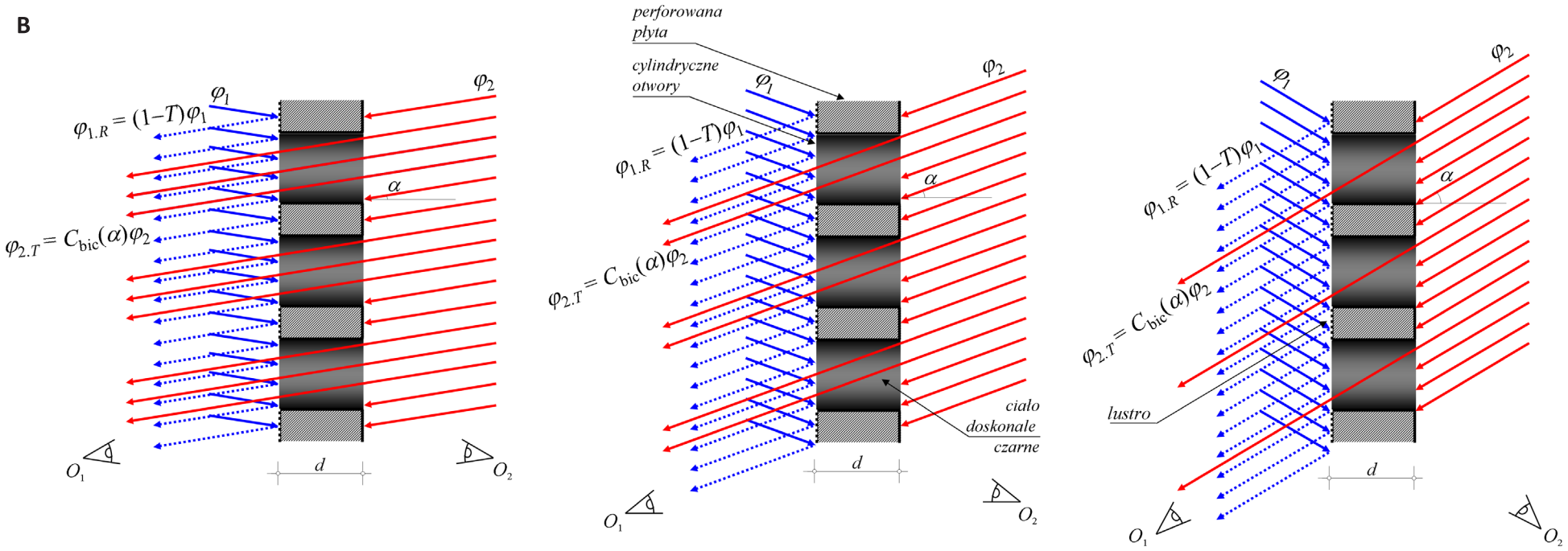
kąta obserwacji α. Sposób wyprowadzenia wzoru (14) podano ze szczegółowym komentarzem w załączniku (zob. Załącznik B. Obliczenia do modelu perforacyjnego, s. 254).

$$C_{\text{bic}}(\alpha) = 2\left(\arccos\left(\frac{d\cdot\operatorname{tg}\alpha}{2}\right) - \frac{d\cdot\operatorname{tg}\alpha}{2}\sqrt{1-\frac{d^2\operatorname{tg}\alpha^2}{4}}\right) \tag{14}$$

5.3.4. Bilans strumieni świetlnych

W zaproponowanym modelu wraz ze zwiększeniem kąta obserwacji zmniejsza się prześwit (ryc. 92). W konsekwencji zmniejszeniu ulega liczba przepuszczanych promieni i – co za tym idzie – wartość strumienia przepuszczanego $\varphi_{2.T}$ tworzącego obraz rzeczywisty. Wartość strumienia odbitego od płyty $\varphi_{1.R}$ będzie stała – niezależnie od kąta obserwacji ulegnie on odbiciu lustrzanemu – modelowo 100%, $R_{\text{p}} = 1$.

B



W rezultacie zmienia się udział strumienia przepuszczonego w sumarycznym strumieniu tworzącym obraz odbierany przez obserwatora. Na ryc. 92B przedstawiono zasadę zmniejszenia udziału przepuszczanego strumienia świetlnego w strumieniu sumarycznym w zależności od kąta obserwacji dla obserwatora O_1.

$$\varphi_{1.R} = (1-T)\varphi_1 \text{ oraz } \varphi_{2.T} = T\frac{C_{\text{bic}}(\alpha)}{\pi}\varphi_2 \qquad (15, 16)$$

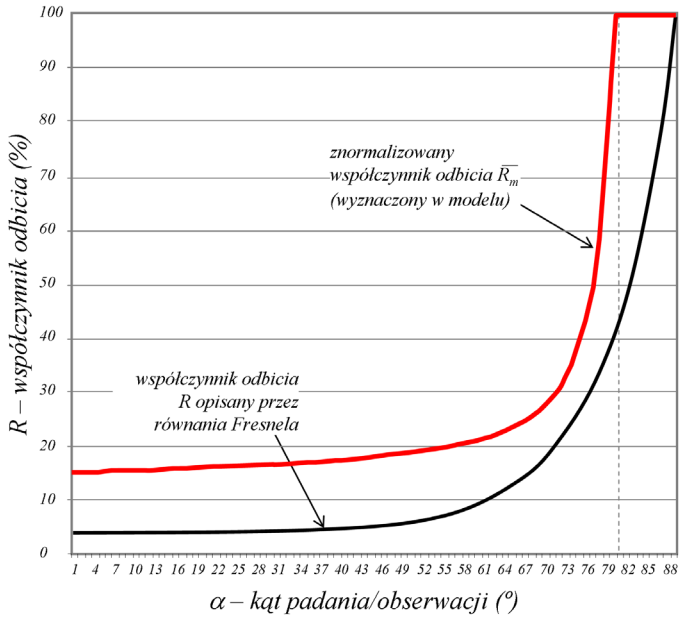
Dla obserwatora O_2 zachodzą analogiczne zależności dla strumieni $\varphi_{2.R}$ i $\varphi_{1.T}$.

Faktycznie przy obserwacji rzeczywistej przezroczystej tafli zachodzą odmienne zjawiska. W wyniku zwiększenia kąta obserwacji α zmianie ulegają wartości obydwu współczynników: zwiększa się R, a zmniejsza T. W następstwie zmianie ulegnie zarówno wartość strumienia odbitego, jak i strumienia przepuszczanego (por. rozdz. 3.1.2.5, s. 90). Zwiększa się udział obrazu pozornego, a zmniejsza rzeczywistego. W zaproponowanym modelu wartość strumienia odbitego jest stała, a zmienia się wartość strumienia przepuszczanego. Czy zatem model jest użyteczny i wystarczająco adekwatny do rzeczywistości?

W odbiorze obrazów przez obserwatora nie są istotne bezwzględne wartości strumieni, ale ich proporcje. Wiążące jest określenie udziału poszczególnych strumieni. Założono, że strumień pochłonięty można zaniedbać, a dalsze porównywanie strumieni odbywa się w procesie zwanym normalizacją. Normalizacja strumieni polega na określeniu proporcji strumieni $\varphi_{1.T}$ i $\varphi_{1.R}$ w relacji do ich sumy $\varphi_{1.T} + \varphi_{1.R}$ oraz analogicznie $\varphi_{2.T}$ i $\varphi_{2.R}$ w relacji do ich sumy $\varphi_{2.T} + \varphi_{2.R}$. Wartości strumieni znormalizowanych $\overline{\varphi_{1.R}}$ oraz $\overline{\varphi_{2.T}}$ zależą od prześwitu C_{bic}, a ten od α, czyli od kąta obserwacji:

$$\overline{\varphi_{1.R}} = \frac{(1-T)}{(1-T)+T\frac{C_{\text{bic}}(\alpha)}{\pi}}\varphi_1 \text{ oraz } \overline{\varphi_{2.T}} = \frac{T\frac{C_{\text{bic}}(\alpha)}{\pi}}{(1-T)+T\frac{C_{\text{bic}}(\alpha)}{\pi}}\varphi_2 \qquad (17, 18)$$

Powyższe wzory (17, 18) pozwalają na określenie zmienności znormalizowanych strumieni, odbitego $\overline{\varphi_{1.R}}$ oraz przepuszczonego $\overline{\varphi_{2.T}}$, w zależności od kąta obserwacji. Na ryc. 93 przedstawiono wykres ukazujący zmienność znormalizowanego strumienia odbitego $\overline{\varphi_{1.R}}$ w funkcji kąta



Ryc. 93. Wykres zmiany znormalizowanego strumienia odbitego $\overline{\varphi_{1.R}}$ w zależności od kąta obserwacji α – czerwona linia; oraz dla porównania wykres współczynnika odbicia R otrzymany z równań Fresnela dla dwóch ośrodków o współczynnikach załamania 1,0 oraz 1,5 (powietrze–szkło) – linia czarna. Linie nie nakładają się, ale ich kształty są zbliżone. Dowodzi to, że zaprezentowany model z wystarczającą dokładnością odzwierciedla rzeczywiste zjawiska optyczne. Faktycznie występuje również zmienność współczynnika R w zależności od kierunku polaryzacji fali światła; w rozważaniach widzenia przez ludzkie oko przyjmuje się jednak wartości uśrednione – linia czarna.

Źródło: opracowanie autor na podstawie publikacji własnej [54]

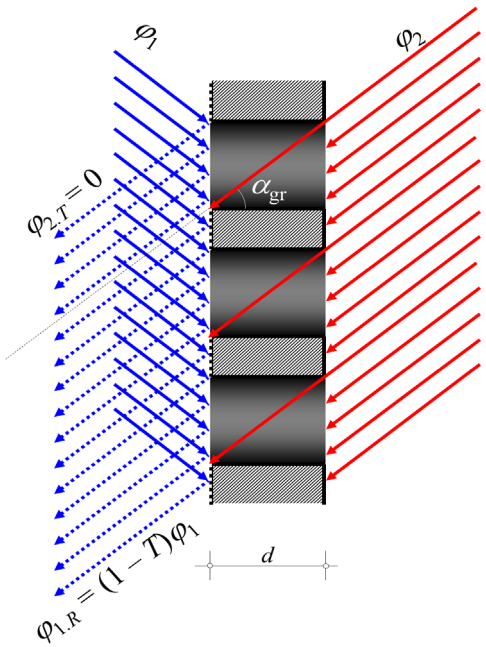
obserwacji. Przyjęto parametry: T – współczynnik przepuszczania oraz d – grubość płyty, które upodabniają płytę zastosowaną w modelu do rzeczywistej przezroczystej tafli. Określono współczynnik przepuszczania na $T = 0{,}85$, wielkość zbliżoną do rzeczywistych wartości T w taflach przezroczystych, oraz grubość na $d = 0{,}3\ r$. Odzwierciedla to autentyczną taflę przezroczystą, w której przy kącie obserwacji około 75° strumień odbity zdominuje strumień przepuszczany. Przy założeniu wartości strumienia $\varphi_1 = 1$ wykres pokazuje zmianę znormalizowanego współczynnika odbicia $\overline{R_m}$ dla symulowanej tafli.

5.4. Weryfikacja modelu autorskiego

Weryfikacja modelu została przeprowadzona przez porównanie jego charakterystyki z wartościami współczynnika odbicia R obliczonymi z równań Fresnela dla rzeczywistej gładkiej przezroczystej tafli. Na ryc. 93 pokazano wykres współczynnika odbicia R dla tafli przezroczystej za pomocą czarnej linii ciągłej oraz wykres znormalizowanego współczynnika odbicia $\overline{R_m}$, stosując czerwoną linię ciągłą. Wykresy nie pokrywają się, ale ich kształt jest zbliżony. Wynika z tego, że zaproponowany model perforacyjny nie oddaje rzeczywistej zmienności współczynnika R w 100%, ale **wystarczająco precyzyjnie odwzorowuje tendencję**. Proporcja strumienia odbitego do strumienia przepuszczanego, które tworzą odpowiednie obrazy odbierane przy obserwacji rzeczywistej przezroczystej gładkiej tafli i modelowej perforowanej płyty, pozostaje zbliżona.

5.4.1. Ograniczenia modelu perforacyjnego

Ograniczenia modelu perforacyjnego wynikają z jego geometrii. Największa, możliwa do zamodelowania, wartość współczynnika przepuszczania T nie może przekroczyć 0,914 (lub 91,4%). Wynika to z maksymalnej powierzchni, jaka może zostać pokryta przez sąsiadujące okręgi ułożone na siatce sześciokątnej. Jeśli kąt obserwacji przekroczy określoną wartość graniczną ($\alpha_{gr} > \operatorname{arctg} 2/d$), to strumień przepuszczany zostaje całkowicie wyeliminowany i przez obserwatora będzie odbierany wyłącznie obraz pozorny tworzony przez strumień odbity – ryc. 94. Ze względu na uproszczenie wewnętrzna część cylindrycznego otworu ma parametry ciała doskonale czarnego, które pochłania promienie padające pod dowolnym kątem. Idealnie czarna powierzchnia wewnętrzna cylindra wpływa na bilans strumieni świetlnych, podobnie jak np. ciemna powierzchnia płyty. W obserwacji udział tej powierzchni w polu widzenia zwiększa się, w miarę jak zmniejsza się prześwit – aż do zablokowania strumienia przepuszczanego. Ogólny bilans strumieni nie zostanie więc w istotny sposób zaburzony.



Ryc. 94. Przekrój pionowy przez płytę perforowaną. Rysunek przedstawia przypadek eliminacji strumienia przepuszczanego przy przekroczeniu granicznego kąta obserwacji α_{gr}. Wycinek płyty perforowanej pokazany w przekroju pionowym.

Źródło: opracowanie autor na podstawie publikacji własnej [54]

Model perforacyjny nie może być wykorzystywany do symulowania układów warstwowych tafli przezroczystych. Jest to związane ze zjawiskiem mory, które ma miejsce przy nałożeniu regularnych rastrów, perforacji i siatek. W wyniku interferencji rastrów na obserwowanych powierzchniach perforowanych pojawiają się charakterystyczne wzory lub linie. W modelu perforacyjnym mora jest niekorzystna, zakłóca bowiem odbiór tworzonych obrazów. Natomiast w praktyce projektowej jest stosowana przez architektów do osiągania wyjątkowych zmiennych i dynamicznych **efektów wizualnych**. Możliwości ich celowego użycia były przedmiotem publikacji autora pt. *Designer-controlled and randomly generated moiré patterns in architecture* [40].

Przyjęto, że powyższe ograniczenia mogą zostać zaakceptowane w modelu, który służy ilustracji zagadnienia przezroczystości w architekturze.

5.5. Wykorzystanie modelu autorskiego

Geometryczny model perforacyjny został stworzony w celu uproszczonej ilustracji zagadnień dotyczących przepuszczania światła przez materiały przezroczyste. Jego głównym zadaniem jest zwiększenie **świadomości architektów** i **przekazanie wiedzy** o prawach rządzących dynamiczną zmianą współczynników odbicia w sposób dostępny dla odbiorcy. Model **odwołuje się do wyobraźni przestrzennej projektantów**. Operuje wymiernymi i łatwymi do zdefiniowania wielkościami. Im większa średnica otworów w modelowej płycie – tym większy jest współczynnik przepuszczania światła T, który jest symulowany. Im grubsza płyta, tym większy udział strumienia odbitego – a tym samym obrazu pozornego – szczególnie w obserwacji pod dużym kątem. Konkretne wartości strumieni świetlnych w prezentowanym modelu mogą zostać pominięte. Model ma za zadanie pokazanie, jak zmieniają się **proporcje** odbieranych obrazów i strumieni, które przyczyniają się do ich powstania, a nie ich konkretne, trudne do jednoznacznego określenia, wartości.

Zgodnie z założeniami modelu **lustrzana perforowana płyta** o określonej grubości może stanowić model przezroczystej gładkiej tafli. Analogia ta jest z powodzeniem wykorzystywana przez autora w **pracy dydaktycznej** oraz w wyjaśnianiu zjawisk optycznych dotyczących przezroczystości w architekturze współczesnej. Słuchaczom przedstawiane są oczywiście jedynie ogólne założenia modelu – rezultat końcowy zaprezentowanych powyżej przemyśleń, a nie cały proces dowodowy. Bogaty materiał ilustracyjny zrealizowanych obiektów architektonicznych, w których złudzenie przezroczystości wynika z obserwacji płyt perforowanych lub innych sąsiadujących układów

binarnych, uwiarygodnia model. Cztery przykłady takich budowli zostały przywołane w rozdz. 4.5, s. 164.

Podsumowanie

Ograniczona rozdzielczość przestrzenna siatkówki oka powoduje, że dwa oddzielne strumienie świetlne odbierane są jako jeden o uśrednionej wartości. Umożliwia to tworzenie złudzenia przezroczystości w następstwie obserwacji perforowanych powierzchni. Na podstawie wcześniejszych opracowań autor zaproponował geometryczny model przezroczystości, w którym analogią dla gładkiej przezroczystej tafli jest nieprzepuszczająca światła lustrzana perforowana płyta o określonej grubości.

Prezentowany model nie tylko umożliwia przedstawienie najprostszego przypadku tafli jednorodnie przezroczystej, ale uwzględnia także obrazy pozorne oraz zmienne wartości współczynników odbicia i przepuszczania światła (R oraz T). Weryfikacja zaprezentowanego modelu następuje przez porównanie symulowanej zmiany proporcji modelowanych strumieni wtórnych – przepuszczonego $\varphi_{2.T}$ i odbitego $\varphi_{1.R}$ – z tym, jak zmieniają się analogiczne wielkości w sytuacji rzeczywistej. W tym celu autor odwołał się do równań Fresnela, które opisują zmianę parametrów w rzeczywistej przezroczystej gładkiej tafli. Odzwierciedlenie realiów w modelu następuje jednak z pewnym przybliżeniem.

Autorski model perforacyjny został stworzony w celu zilustrowania podstawowych zjawisk optycznych związanych z odbiorem materiałów przezroczystych w architekturze i ma na celu wypracowanie właściwego wyczucia u projektantów. Ze względu na swoją geometrię model ma określone ograniczenia i nie może być stosowany we wszystkich sytuacjach, w których przewidywane jest użycie przezroczystych tafli.



6 Spostrzeganie przezroczystości

6.1. Fazy spostrzegania ... 191
6.2. Spostrzeganie jako proces wstępujący lub zstępujący ... 194
6.3. Stałość spostrzegania ... 196
6.4. Orientacja w przestrzeni ... 197
6.5. Spostrzeganie głębi ... 198
6.5.1. Dekompozycja postrzeżeniowa ... 199
6.5.2. Położenie w przestrzeni czy cecha obiektu? ... 201
6.5.3. Paradoks spostrzegania przezroczystości ... 201
Podsumowanie ... 202
6.6. Spostrzeganie przezroczystości w procesach II fazy ... 203
6.6.1. Złudzenia optyczne w badaniach przezroczystości ... 204
6.6.2. Wskazówki w procesach II fazy ... 207
6.6.2.1. Zmniejszenie luminancji i kontrastu ... 207
6.6.2.2. Istnienie obszaru odniesienia ... 209
6.6.2.3. Węzły typu X ... 210
Podsumowanie ... 212
6.7. Spostrzeganie przezroczystości w procesach III fazy ... 212
6.7.1. Identyfikacja materiałów gładkich ... 213
6.7.2. Przenikanie obrazów: pozornego i rzeczywistego ... 216
6.7.3. Upośledzenie mechanizmu określania położenia tafli ... 219
6.7.3.1. Eliminacja obrazu pozornego ... 221
6.7.3.2. Ślepota pozauwagowa ... 226
6.7.4. Modyfikacja obrazu jako wskazówka przezroczystości ... 227
6.7.4.1. Zabarwienie obrazu ... 228
6.7.4.2. Zniekształcenie geometryczne ... 231
6.7.4.3. Zamglenie jako wskazówka głębi ... 235
Podsumowanie ... 236
6.8. Teoria ekologiczna Gibsona ... 237
6.8.1. Unifikacja dwóch teorii spostrzegania ... 239

6. Spostrzeganie przezroczystości

Spostrzeżenie jest ostatnim etapem przetwarzania informacji wizualnej. W przypadku przezroczystości bodźce odległe powstałe w wyniku interakcji strumieni świetlnych z przepuszczającymi światło taflami zamieniane są za pośrednictwem układu optycznego oka na bodźce bliskie oddziałujące na siatkówkę[117]. Na niej powstaje dwuwymiarowy odwrócony pomniejszony obraz rzeczywisty bodźca odległego – **obraz siatkówkowy**. Fotony składające się na strumienie świetlne pobudzają receptory siatkówki, które na drodze skomplikowanych przemian elektrochemicznych generują sygnały elektryczne (zob. rozdz. 5.1.1, s. 174). Dalsze ich przetwarzanie odbywa się w odpowiednich strukturach mózgu w następujących po sobie fazach.

Dla obserwatora architektury bodźcem bliskim jest odwrócony pomniejszony obraz budynku, który to obraz powstaje na siatkówce. Zawiera on płaską, dwuwymiarową reprezentację wszystkich składających się na obiekt elementów trójwymiarowych: powierzchni, krawędzi, faktur. Umysł dokonuje odczytu – „dekodowania" [161, s. 18] informacji o położeniu i właściwościach obserwowanych budowli na postawie otrzymywanych sygnałów wizualnych – obrazu siatkówkowego. W przetwarzaniu informacji wizualnej spostrzeżenie przezroczystości zajmuje miejsce szczególne, ponieważ uwarunkowane jest rozpoznaniem wielu charakterystycznych swoistych cech tego obrazu – **wskazówek**[118]. Umysł człowieka zetknął się z tym zadaniem niespełna 120 lat temu, kiedy to materiały przezroczyste o dużych gabarytach i wysokiej jakości stały się powszechne w jego bezpośrednim otoczeniu. W dalszej części opracowania zostaną szczegółowo omówione wskazówki oraz mechanizmy, które mają zasadnicze znaczenie dla prezentowanej problematyki w wielofazowym procesie spostrzegania przezroczystości.

Badania nad procesami spostrzegania i przetwarzania informacji w mózgu prowadzone są od XIX wieku. W latach 40. XX wieku w sposób fundamentalny przyczyniły się do rozwoju **cybernetyki**[119]. Obecnie proces spostrzegania jest przedmiotem licznych analiz naukowych. Stan

---

[117] Podział bodźców na dalekie (odległe) i bliskie został przedstawiony w rozdz. 2, s. 41.

[118] Określenie „wskazówka" pochodzi od angielskiego słowa *cue* i jest przez autorów tłumaczone w różny sposób, np. Augustyn Bańka stosuje nazwę „wskaźnik", Edward Nęcka, Jarosław Orzechowski, Błażej Szymura używają terminu „wskazówka".

[119] Prekursor tej dziedziny, noblista Norbert Wiener dostrzegł, „że mózg i maszyna licząca mają ze sobą wiele wspólnego" [282, s. 187]. W celu opracowania urządzenia do kierowania ogniem artylerii przeciwlotniczej zajmował się on „badaniami systemów elektromechanicznych, które uzurpowały sobie pełnienie czynności specyficznie ludzkich" [282, s. 29]. We współpracy z grupą naukowców skupioną wokół Massachusetts Institute of Technology w 1943 roku doszedł do wniosku, że „ultraszybka maszyna licząca [...] musi stanowić niemal idealny model zjawisk występujących w układzie nerwowym" [282, s. 38].

wiedzy na ten temat zmienia się nieustannie, a liczba publikacji zwiększa się w dużym tempie. Ze względu na spójność tego opracowania niezbędne jest ograniczenie zakresu poruszanych problemów. W zagadnieniach z konieczności pominiętych czytelnik zostanie odesłany do bogatej literatury przedmiotu. Przy wyjaśnianiu procesów poznawczych uwzględniono także uproszczenia wprowadzone przez innych autorów[120].

6.1. Fazy spostrzegania

W procesie spostrzegania wyróżnia się **trzy podstawowe fazy**[121] [262, s. lxii]: I fazę recepcji sensorycznej – rejestracji bodźców; II fazę prostego przetwarzania; III fazę przetwarzania z udziałem pamięci. „Analiza przekazów sensorycznych odbywa się małymi etapami, na każdym z nich dokonuje się przetwarzanie informacji przejmowanej z etapu poprzedniego" [164, s. 136]. Wyodrębnienie faz wynika zarówno ze specyficznych zadań, które są wykonywane w ich obrębie, jak również z odmiennego anatomicznego rozmieszczenia obszarów zaangażowanych w przetwarzanie bodźców. Przyporządkowanie to było możliwe dzięki zastosowaniu zaawansowanych technologii obrazowania aktywności mózgu: pozytronowej tomografii emisyjnej (PET) oraz funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (fMRI).

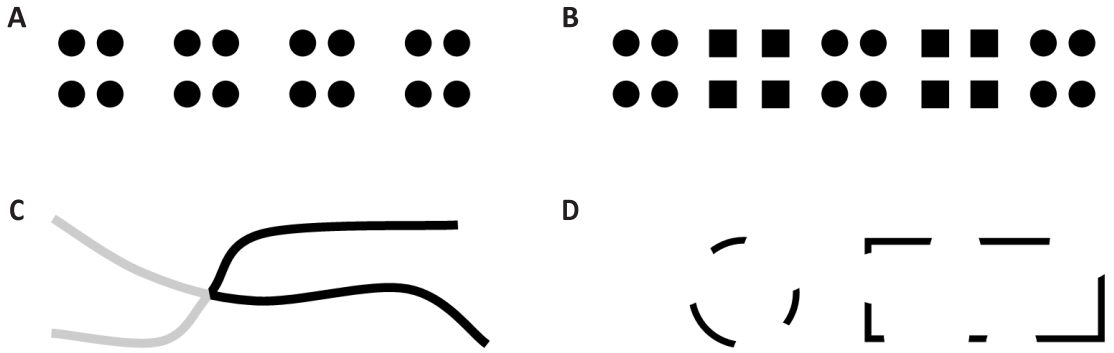
Recepcja sensoryczna (*low-level*) nazywana także **sensepcją** [149], czyli odbiorem danych zmysłowych, jest I fazą spostrzegania. W przypadku bodźców wzrokowych to zamiana światła w ciąg impulsów elektrycznych [134, s. 82]. Dokonuje się ona za pośrednictwem układu optycznego oka i została szczegółowo opisana w rozdz. 5.1.1, s. 174. Rozwarcie źrenicy, ruch powiek, sakkadowe ruchy gałek ocznych to ewolucyjnie uwarunkowane mechanizmy regulacyjne. Są w większości procesami homeostatycznymi, zależnymi od sprzężeń zwrotnych. Obserwator jest w stanie do pewnego stopnia kierować ruchem gałek ocznych, tak aby oś optyczna oka przecinała się z punktem, w którym zlokalizowany jest obserwowany obiekt i aby doszło do akomodacji oka – fiksacji. Fiksacja to dostosowanie kształtu soczewki do odległości, w której znajduje się obiekt.

---

[120] Procesy i mechanizmy poznawcze będą omawiane, „jak gdyby były one izolowane od innych procesów", w rzeczywistości jednak „współdziałają ze sobą i często trudno je od siebie odróżnić" [172, s. 11]. Wydzielenie poszczególnych procesów, które ma za zadanie wyjaśnienie ich na etapie analizy teoretycznej, nie występuje w rzeczywistości.

[121] Fazy spostrzegania są nazywane w literaturze międzynarodowej poziomami (*levels*) lub etapami (*stages*). Terminu „faza spostrzegania" używa Tomasz Maruszewski w *Psychologii poznania* [172]. Określenie „faza" spostrzegania zostało przyjęte w niniejszej monografii i – ze względu na spójność tekstu – jest konsekwentnie stosowane także w tłumaczeniach cytatów, np. na określenie angielskiego terminu *level*.

W I fazie przetwarzania bodźców powstają **wrażenia, czyli najprostsze procesy psychiczne**, w których wyniku następuje odzwierciedlenie w umyśle „pojedynczych właściwości rejestrowanych obiektów" [191, s. 279], takich jak jaskrawość, kształt, kolor. Odpowiednio wyspecjalizowane grupy komórek mózgu (kora V1 i V2) nazywane **detektorami cech** [172, s. 55] reagują na określone cechy postrzeganego obrazu, np. nachylenie lub gwałtowną zmianę luminancji. Mózg odbiera je jako wrażenie zmiany jaskrawości powierzchni oraz jasności sąsiadujących elementów tła i w ten sposób spostrzega np. krawędzie. „Te lokalne cechy są łączone, aby rozpoznać konkretne obiekty. Pierwszym etapem jest ich organizowanie" [134, s. 99]. Zasady organizacji spostrzeganych obiektów były intensywnie badane w latach 20. XX wieku przez przedstawicieli psychologii postaci. Podjęli oni próbę stworzenia ogólnej teorii percepcji, zgodnie z którą w świecie zewnętrznym kształtują się „mocne postacie", a we wczesnych fazach przetwarzania bodźców następuje **łączenie obiektów w grupy zgodnie z określonymi zasadami, tzw. prawami postaci** [161, s. 88]. Wyróżnili m.in.: **zasadę bliskości**, w myśl której obiekty będące bliżej siebie tworzą grupę; **zasadę podobieństwa** – obiekty podobne tworzą grupę; **zasadę kontynuacji** – obiekty mają gładkie, nieprzerwane krawędzie; **zasadę domykania** – obiekty zamknięte obrysem tworzą grupę. Prawa te, od nazwiska odkrywcy, nazywane są zasadami Wertheimera [172, s. 57]. Pokazano je na schematach (ryc. 95). Twórczego przetworzenia tych zasad na wytyczne kształtowania formy architektonicznej dokonał Juliusz Żórawski w książce pt. *O budowie formy architektonicznej*. Wyróżnia on **formy spoiste** oraz określa główne tendencje w ich poszukiwaniu, m.in. tendencję do liczby ograniczonej, do formy silnej, do geometryzacji [298, s. 26, 29, 32]. Z rozważań tych Żórawski wywodzi reguły dotyczące rytmów, kierunkowości, kulminacji oraz relacji formy i tła.



Ryc. 95. Zasady grupowania obiektów wyróżnione przez badaczy nurtu psychologii postaci. **A.** Zasada bliskości. **B.** Zasada podobieństwa. **C.** Zasada kontynuacji. **D.** Zasada domykania.

Źródło: opracowanie autor na podstawie [172, ryc. 2.8]

W II fazie przetwarzania (*mid-level*) dokonywany jest pomiar różnych parametrów fotometrycznych obrazu – luminancji, kontrastu, barwy, zamglenia – i następuje jego przekształcenie w „spójną reprezentację płaszczyzn i materiałów" [10, s. 978]. Umysł wykorzystuje lokalne **wskazówki** (*cues*) do ustalenia uporządkowania płaszczyzn otaczających obserwatora. Szczególne znaczenie ma nakładanie obiektów w polu widzenia prowadzące do ich wzajemnego przesłaniania. Parametry te są istotne ze względu na budowę **trójwymiarowej reprezentacji otoczenia**[122] w umyśle obserwatora, która umożliwia poruszanie się i wchodzenie z otoczeniem w odpowiednią interakcję.

W III fazie procesu przetwarzania bodźców (*top-level*) następuje spostrzeżenie, czyli identyfikowanie rzeczywistych obiektów w otoczeniu obserwatora, określane także ich **kategoryzacją** lub zaliczeniem do „nadrzędnej kategorii umysłowej" [191, s. 282]. Spostrzeganie określane jest również jako „proces aktywnej interpretacji danych zmysłowych" [191, s. 278] zgromadzonych przez receptory, w powiązaniu z informacjami wcześniej zgromadzonymi przez umysł, nastawieniem odbiorcy i kontekstem, w którym spostrzeganie zachodzi. W III fazie mają miejsce najbardziej skomplikowane procesy poznawcze: rozpoznanie obiektów – głównie przez identyfikację ich cech charakterystycznych, np. rysów twarzy – świadome kierowanie uwagą [229]. W dużym uproszczeniu można także zdefiniować spostrzeganie jako „zdolność czerpania znaczeń z doświadczeń sensorycznych" [262, s. lx]. Ten proces to ostatnia faza przetwarzania bodźców[123].

Dla spostrzegania wszelkich obiektów, także przezroczystych tafli w obiektach architektonicznych, istotne są wszystkie trzy fazy przetwarzania bodźców. W większości standardowych nieskomplikowanych sytuacji spostrzeżenie przezroczystości w architekturze następuje w II fazie, gdy tworzona jest **trójwymiarowa reprezentacja otoczenia** obserwatora, a materiałom „przypisywane są" ich właściwości i cechy charakterystyczne [262]. W okolicznościach, w których rodzą

[122] W psychologii poznawczej i środowiskowej „trójwymiarowa reprezentacja otoczenia" określana jest także jako „mapa poznawcza" (*cognitive map*, *mental map*). Nazwa „mapa" nie odzwierciedla precyzyjnie zależności przestrzennych, które reprezentowane są w umyśle – mapa jest przecież płaska. Autor korzysta z krytycznej analizy znaczenia „mapa poznawcza", której dokonał Augustyn Bańka [18, s. 119]. W innych pracach spotyka się określenie „mapa poznawczo-symboliczna" [16, s. 132]. Pierwotnie termin „mapa" został wprowadzony przez Edwarda Ch. Tolmana dla opisania „zachowania zwierząt uczących się labiryntu" [za: 161, s. 68]. Reprezentacja ta określana jest również jako „model" otoczenia. Słowo „model" wykorzystywano jednak we wcześniejszej części pracy w innym kontekście i nieco innym znaczeniu. Nie zostało więc powtórzone.

[123] W psychologii poznawczej wyróżnia się także kolejne elementy procesu spostrzegania: klasyfikację semantyczną – przywołanie funkcji obiektu – leksykalną i werbalną; umysł przypisuje rozpoznawanemu obiektowi krótkotrwałą tzw. etykietę werbalną służącą rozwiązaniu problemu, czyli identyfikacji.

się wątpliwości, konieczne staje się przejście do III fazy przetwarzania bodźców wzrokowych i porównanie danych napływających z II fazy z danymi zgromadzonymi w pamięci odbiorcy lub takie pokierowanie jego uwagą, aby umysł mógł zebrać więcej danych zmysłowych.

6.2. Spostrzeganie jako proces wstępujący lub zstępujący

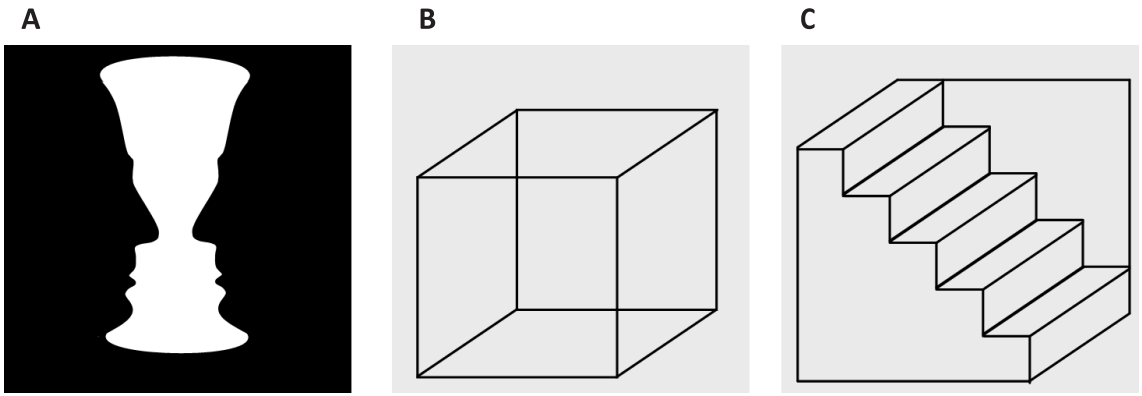
Spostrzeganie rozpatrywane jest jako proces wstępujący lub zstępujący. W procesie **wstępującym** (*bottom-up*) przebiega jak w opisanych powyżej trzech fazach: od rejestracji wrażeń do identyfikacji obiektów i oparte jest wyłącznie na bodźcach zarejestrowanych przez receptory.

W procesie **zstępującym** (*top-down*) rozpoznanie obiektów w polu widzenia dokonuje się przez konfrontację obrazu siatkówkowego – reprezentacji zmysłowej obiektów – z danymi umysłowymi [191, s. 295]. Można przyjąć, że wszelkie inne czynniki poza obrazem siatkówkowym, które oddziałują na spostrzeganie, są określane jako zstępujące (*top-down influences*) [262, s. 844]. Procesy zstępujące zachodzą głównie w oparciu o sugestie (*suggesting cues*) wynikające z indywidualnych doświadczeń obserwatorów [262, s. 845] zawsze prezentujących określone nastawienie i oczekiwania wobec obserwowanej sceny.

Procesy te badał Irving Biederman. Stwierdził on, że spodziewamy się oglądać „nosy nad ustami, samochody na ulicach, a sofy w salonach" [29, s. 225]. Dokonywane spostrzeżenia są silnie uzależnione od tego, czego spodziewa się obserwator. „Interpretacja danych sensorycznych opiera się w poważnej mierze na wiedzy o tym, **jaki sygnał ma być**, rzadziej zaś na informacji, **jaką ten sygnał zawiera**" [164, s. 154]. Liczne eksperymenty potwierdzają, że obiektywnie neutralny kształt prezentowany obserwatorowi w ciągu obrazów przedstawiających zwierzęta będzie spostrzegany jak zwierzę – np. jako kobra, a w ciągu obrazów narzędzi ogrodniczych – np. jako sekator. Nastawienie i kontekst wpływają na spostrzeganie rysunków wieloznacznych, określanych także jako obrazy bistabilne[124]. Przykładem jest tu m.in. znana iluzja wazy (ryc. 96A). Procesy zstępujące pozwalają na zdecydowanie szybsze identyfikowanie obiektów, pod warunkiem że rzeczywistość spełnia oczekiwania. Jeśli jest inaczej i zamiast nosów nad ustami znajdują się oczy, **liczba błędów w spostrzeganiu wyraźnie się zwiększa**. Nastawienie, które pojawia się u obserwatora w wyniku eksperymentalnej manipulacji, jest krótkotrwałe, ale w innych przypadkach może znacząco wpłynąć na spostrzeżenia – przykładem są chociażby uprzedzenia rasowe. Prawdziwe jest więc, wywodzące

[124] Nazywane także obrazami wieloznacznymi lub obrazami dwuznacznymi [187].

się z kultury popularnej, stwierdzenie, że „widzi się tylko to, co się chce zobaczyć i kiedy się chce zobaczyć” [71]. Ujmując to inaczej: „to, co spostrzegamy, zależy po części od tego, na co jesteśmy przygotowani” [16, s. 135]. Rola okoliczności i nastawienia psychicznego obserwatora znalazły potwierdzenie eksperymentalne[125].



Ryc. 96. Przykłady obrazów wieloznacznych (bistabilnych). **A.** Iluzja wazy. **B.** Sześcian Neckera. **C.** Schodki Schrödera.

Źródło: opracowanie autor na podstawie [172, ryc. 2.8]

Z najnowszych badań wynika, że umysł nie ogranicza się w spostrzeganiu do wyboru jednego kierunku procesu – wstępującego lub zstępującego – ale dochodzi w nim do stałej „interakcji między ośrodkami wzrokowymi niższej i wyższej fazy” [159, s. 577], w której wyniku stawiane są hipotezy i ostatecznie ma miejsce ich weryfikacja – „uzgodnienie stanowisk” [134, s. 102]. W jednej z najnowszych prac Barton L. Anderson stwierdza, że przetwarzanie informacji w umyśle wydaje się przebiegać w „zespole powtarzających się pętli, a nie w prostym liniowym łańcuchu przyczynowym” [10, s. 978]. Przetwarzanie informacji ma więc charakter „równoległy i rozproszony” [172, s. 23], a operacje umysłowe **nie są wykonywane** wyłącznie w sposób sekwencyjny – jedna po drugiej.

W umyśle człowieka procesy wstępujące (*bottom-up*) i będące ich częścią procesy II fazy (*mid-level*) służą do budowy **trójwymiarowej reprezentacji otoczenia**. Reprezentacja ta tworzona jest dzięki zdolności do spostrzegania głębi i określania wzajemnych relacji płaszczyzn – ich uporządkowania względem siebie.

[125] Juliusz Żórawski obszernie referuje zagadnienia „nastawienia”, „upodobania” oraz „wrażliwości” w odniesieniu do odbioru twórczości architektonicznej [298, s. 140, 145, 156].

6.3. Stałość spostrzegania

Stałość spostrzegania (*constancy*) to cecha umysłu, której zadaniem jest zapewnienie stabilności wrażeń wobec zmiany intensywności lub rodzaju bodźców napływających ze środowiska[126]. Nie dotyczy wyłącznie bodźców wzrokowych, ponieważ występuje również w przypadku słuchu, smaku, dotyku, odczucia bólu. Dzięki niej „spostrzeżenie jakiegoś obiektu nie zmienia się" [191, s. 295], mimo różnych warunków obserwacji, np. odległości, punktu obserwacji, perspektywy, oświetlenia. Zmianie ulegają: bodziec odległy, bodziec bliski oraz wrażenie, a spostrzeżenie pozostaje stałe. Wyróżnia się kilka podstawowych właściwości spostrzegania: stałość wielkości, stałość kształtu, stałość jasności i barwy.

Stałość wielkości i stałość kształtu są zapewne szczególnie istotne dla obserwacji i spostrzegania elementów przestrzennych, także obiektów architektonicznych. Podczas obserwacji budynków informacja na temat ich gabarytów może być czerpana przez odniesienie do sylwetki człowieka, która ma stałą wielkość „zakodowaną" w umyśle obserwatora. Stałość kształtu dotyczy również umysłowej „korekty" wrażeń związanych ze zniekształceniem perspektywicznym. Jeśli podczas obserwacji w perspektywie „okna zamiast prostokątnych wydają się trapezowate, a ściany budynku zdają się być najwyższe" [191, s. 296] w miejscu obserwatorowi najbliższym, to właśnie stałość kształtu pozwala na dokonanie odpowiedniej korekty po zmianie punktu obserwacji.

Przeprowadzone badania wykazują, że dla spostrzegania przezroczystości szczególnie istotne są **stałość jasności** (*lightness constancy*) oraz **stałość barwy** (*color constancy*) w zależności od tego, czy przezroczystość rozpatrywana jest w warunkach achromatycznych – w środowisku pozbawionym barw, czy chromatycznym – barwnym. Mechanizmy te polegają na ocenie kontekstu, w którym znajdują się obserwowane obiekty. Działają one ogólnie, przetwarzając wszystkie elementy obrazu siatkówkowego, i nie służą wyłącznie do rozpoznawania przezroczystości. Ich waga wynika z tego, że umysł wykorzystuje je w tych procesach szczególnie intensywnie poprzez ocenę jaskrawości i barwy obszarów położonych obok siebie. Mechanizm stałości jasności gwarantuje, że czarny tekst na białej kartce odbierany jest zawsze tak samo niezależnie od warunków oświetlenia; podobnie jest z czerwoną kropką na niebieskim tle. Umysł odbiera względny „kontrast między

[126] Relacja między miarą intensywności bodźca – np. wartością strumienia świetlnego – a reakcją zmysłów – np. odebranym wrażeniem jaskrawości powierzchni – nie jest liniowa. Określa ją prawo Webera–Fechnera. Oznacza to, że np. dwukrotnie intensywniejszy strumień świetlny nie spowoduje powstania wrażenia dwukrotnie większej jaskrawości powierzchni. Skala ta jest skalą logarytmiczną. Więcej na ten temat – zob. przyp. 41, s. 56.

figurą i białym tłem", a nie „bezwzględną ilość światła odbitą od tych obszarów" [134, s. 96]. Stałość spostrzegania gwarantuje stałość wrażeń, ale jest także przyczyną „powstawania różnorodnych błędów i złudzeń" w tym procesie [191, s. 295]. Do dwóch najbardziej znanych należą: para strzał Müllera–Lyera [90] oraz złudzenie Heringa określane również złudzeniem wachlarza [113, s. 161].

6.4. Orientacja w przestrzeni

Budowa **trójwymiarowej reprezentacji otoczenia** w umyśle obserwatora następuje na podstawie dwuwymiarowego obrazu siatkówkowego. Przebieg tego procesu stanowi podstawowy przedmiot badań nad orientacją w przestrzeni, spostrzeganiem głębi i odbiorem powierzchni o różnych właściwościach, także powierzchni przepuszczających światło. Zadanie tworzenia i modyfikowania wiedzy o otoczeniu jest domeną umysłu.

Obraz otoczenia obserwatora zostaje utworzony na siatkówce. Na podstawie cech tego obrazu – np. jaskrawości powierzchni, ich jasności w odniesieniu do obszarów sąsiadujących – umysł określa wielkość, kształt, fakturę, barwę, również stopień przepuszczania światła (*opacity*). Podstawowy problem, z którym konfrontowany jest umysł, wywołuje fakt, że istnieje **wiele czynników, które powodują powstanie identycznego obrazu siatkówkowego** [262, s. lx]. Ilość światła odbitego od płaszczyzny w kierunku obserwatora zależy od współczynnika odbicia R, wartości padającego strumienia świetlnego, kąta obserwacji, wzoru naniesionego na obiekt (*camouflage*) itp. Obserwacja niewielkiego szarego prostokąta z odległości 50 cm spowoduje powstanie takiego samego obrazu siatkówkowego – prostokąta o określonej jaskrawości – jak obserwacja oddalonej o dziesiątki metrów monumentalnej szarej ściany pozbawionej okien. Identyczny obraz siatkówkowy może powstać również wtedy, gdy ciemnoszary prostokąt będzie obserwowany w silnym świetle lub jasnoszary w ciemności. W jaki sposób umysł określa wielkość i odległość od obserwowanego obiektu? W jaki sposób oddziela właściwości obiektu, jego barwę i fakturę, od uwarunkowań środowiska – parametrów pola świetlnego, kierunku padania strumieni świetlnych itd.? Jednym z zasadniczych zagadnień w badaniach nad spostrzeganiem jest określenie, jak ten mechanizm funkcjonuje i z jakich korzysta **wskazówek** w celu stworzenia **trójwymiarowej reprezentacji otoczenia** i określenia właściwości obserwowanych płaszczyzn [223, s. 85–87].

6.5. Spostrzeganie głębi

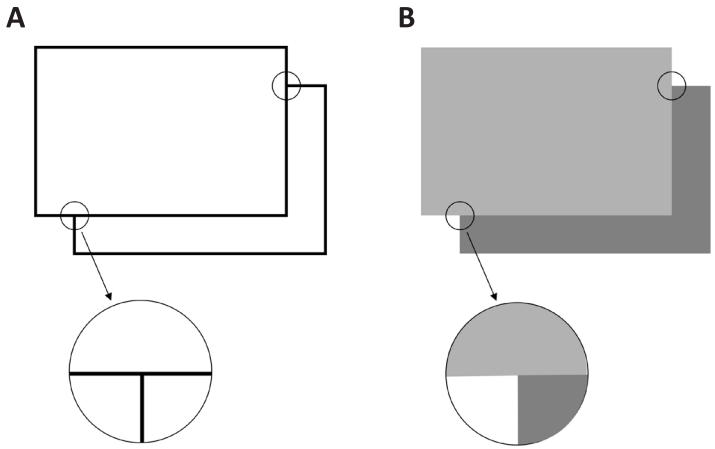
Spostrzeganie głębi jest podstawowym mechanizmem poznawczym wykorzystywanym w tworzeniu **trójwymiarowej reprezentacji otoczenia**. Pozwala na określenie odległości obiektów od obserwatora i od siebie nawzajem (*absolute and relative distances*). W odbiorze architektury spostrzeganie głębi ma zasadnicze znaczenie. Budynki i ich części – także przezroczyste tafle – pod względem poznawczym traktowane są na równi z pozostałymi obiektami, które odbierane są jako bliższe lub dalsze, a zebrane dane są poddawane dalszej „obróbce" w kolejnych fazach przetwarzania bodźców. Dzięki spostrzeganiu głębi możliwe jest również „wyodrębnianie przedmiotu z tła" [191, s. 288].

Umysł posługuje się wieloma **wskazówkami**, aby szacować odległość przedmiotów obecnych w polu widzenia[127]. Pierwsza grupa to wskazówki obuoczne. Umysł wnioskuje o przestrzennym położeniu obserwowanych obiektów na podstawie **akomodacji oka** i **zbieżności gałek ocznych – konwergencji**. W czasie prowadzenia obserwacji osie optyczne gałek przecinają się w miejscu, w którym znajduje się obserwowany obiekt. Z napięcia mięśni zarówno gałek ocznych, jak i mięśni rzęskowych, które regulują wielkość soczewki oka, wnioskowana jest odległość do obiektu. Umysł korzysta także z tzw. **paralaksy obuocznej**, czyli odmiennego pola widzenia każdego oka. „Różniące się obrazy siatkówkowe skutkują odczuciem głębi, powstaje tzw. wizja stereoskopowa" [262, s. 227], jednak przy porównaniu obrazów bardzo odległych obiektów widzianych przez lewe i prawe oko różnice w obrazach są tak niewielkie, że wskazówka ta jest nieskuteczna. Przyjmuje się, że działa tylko w zasięgu kilku metrów od obserwatora (maksymalnie 6 m).

W drugiej grupie znajdują się wskazówki, przy których do oceny odległości wystarczy jedno oko. Ich działanie wiąże się z **prawami perspektywy**, np. regułami kątów zawartych między obserwowanymi obiektami a horyzontem. Wskazówki jednooczne pozwalają na ocenę odległości obiektów zarówno w relacji wzajemnej – między obiektami – jak i względem obserwatora [236]. Skuteczną wskazówką, zwłaszcza dla obiektów znajdujących się w większej odległości, jest **zmniejszenie kontrastu** spowodowane ograniczoną **przejrzystością powietrza**[128]. Zjawisko to wywołuje także przesunięcie kolorów w kierunku barw zimnych. Zaobserwowali je już mistrzowie renesansowego malarstwa, stosując tzw. **perspektywę powietrzną** (*areal perspective*) – jedną z pierwszych znanych technik służących uzyskiwaniu iluzji głębi na płaskim obrazie. Za prekursora tej techniki uważa się

[127] Wszystkie wskazówki wyczerpująco opisuje i przedstawia *Psychologia poznawcza* Edwarda Nęcki, Jarosława Orzechowskiego i Błażeja Szymury [191] oraz książka Nigela Dawa pt. *How Vision Works: The Physiological Mechanisms Behind What We See* [81, s. 95], która zawiera rozbudowaną typologię z podziałem na wskazówki okulomotoryczne, kinetyczne i obrazowe. W niniejszej monografii omówiono skrótowo dwie główne grupy wskazówek łączących się z poruszaną problematyką.

[128] Termin „przejrzystość powietrza" używany jest w astronomii, lotnictwie oraz np. w ustawie *Prawo o ruchu drogowym*.



Ryc. 97. Węzeł typu T tworzący się przy przesłanianiu obserwowanych obiektów. **A.** W ujęciu konturowym. **B.** W ujęciu płaszczyznowym.

Źródło: opracowanie autor na podstawie [8, s. 423]

Leonarda da Vinci [162][129]. **Faktury** oraz **wielkość cienia** – jako wszechobecne elementy środowiska – są również bardzo dobrą wskazówką odległości. Obserwator może na podstawie ich widoczności szacować głębię i relacje między obserwowanymi obiektami[130].

Wskazówką jednooczną jest również **przesłanianie-nakładanie** (*occlusion*) prowadzące do „porównania względnej pozycji" [191, s. 289] widzianych obiektów. Obiekty zlokalizowane bliżej zasłaniają te, które są dalej. Umysł może wykorzystywać przesłanianie do określenia ich uporządkowania niezależnie od tego, w jakiej odległości od obserwatora się znajdują. Badania na temat tego, w jaki sposób umysł interpretuje głębię na podstawie przesłaniania, były prowadzone już w XIX wieku[131]. Z uwagi na poruszane zagadnienia przełomowe okazały się prace, które prowadził Gaetano Kanizsa w 1979 roku [143; 144]. Dokonał on pełnej klasyfikacji węzłów powstających w obrazie siatkówkowym przez pozornie stykające się kontury przesłaniających się obiektów[132]. Wyróżnił wiele ich rodzajów, w tym węzły typu T (*T-junctions*) dostarczające umysłowi najsilniejszych wskazówek w spostrzeganiu uporządkowania obiektów (ryc. 97). Węzły te tworzą się, gdy nieprzerwany, ciągły kontur obiektu znajdującego się bliżej „przerywa" kontur obiektu bardziej odległego. W obrazie siatkówkowym dochodzi do powstania charakterystycznego styku konturów węzła przypominającego literę „T".

6.5.1. Dekompozycja postrzeżeniowa

Obraz siatkówkowy obiektów nieprzezroczystych powstaje w wyniku działania strumieni świetlnych od nich odbitych. Obiekty przezroczyste również odbijają część padającego strumienia świetlnego, ale także przepuszczają część strumienia działającego z przeciwnego kierunku. Na **strumień świetlny odbity** zostaje nałożony **strumień świetlny przepuszczany** przez obiekt. Oba te strumienie

[129] Warsztatowo zniebieszczenie barwy było uzyskiwane przez domieszanie pigmentów i barwników niebieskich (azuryt, błękit pruski, później ultramaryna i błękit kobaltowy).

[130] Pod koniec lat 70. XX wieku uznanie zdobyła teoria bezpośredniej percepcji Jamesa J. Gibsona (więcej na ten temat w rozdz. 6.8, s. 237). Zwrócił on uwagę na to, że „horyzont jest właśnie tam, gdzie znikają faktury" [109, s. 228].

[131] Cykl badań nad spostrzeganiem uporządkowania obiektów został zapoczątkowany przez pioniera psychologii poznawczej Hermanna Helmholtza [125]. W latach 20. XX wieku badacze psychologii postaci zaobserwowali, że zasłonięte części obiektów są prawidłowo rozpoznawane dzięki tzw. mechanizmom uzupełniania, m.in. przerwanego konturu [134, s. 100] oraz tzw. zasadzie prostoty (figura mniej skomplikowana spostrzegana jest jako ta, która znajduje się bliżej). Pierwszy regułę matematyczną dotyczącą interpretacji przesłaniania obiektów podał Philburn Ratoosh [13, s. 253].

[132] Badania nad hierarchią linii i konturem prowadził dużo wcześniej Juliusz Żórawski. Odnoszą się one głównie do tzw. tendencji do linii prostej; zadaniem tendencji jest uporządkowanie rzutów i elewacji budynków [298, s. 90]. Żórawski nie skupia się jednak w swojej pracy na punktach przecięcia linii – węzłach.

równocześnie oddziałują na siatkówkę. Wynikowy obraz siatkówkowy powstaje z **przenikających** się obrazów: rzeczywistego i pozornego, tworzonych przez strumienie: odbity i przepuszczany (zob. rozdz. 3.1.1, s. 68).

Badania nad interpretacją obrazu siatkówkowego obiektów przezroczystych prowadzone były od lat 30. XX wieku. Termin **przezroczystość zmysłowa** (*phenomenal transparency*) został wprowadzony przez Kurta Koffkę, który był jednym z twórców psychologii postaci (*Gestalt*). Pojęcie to oznaczało spostrzeganie „jednej powierzchni przez drugą" [151, s. 565]. W tym samym czasie Wilhelm Fuchs, analizując spostrzeganie przezroczystości, stwierdził, że podczas obserwacji przedmiotów przepuszczających światło oko nie odbiera dwóch barw – barwy tła i barwy transparentnej – ale jedną, będącą rezultatem nałożenia się dwóch barw składowych [106].

Obraz siatkówkowy obiektów przezroczystych tworzy się z dwóch „wymieszanych" strumieni świetlnych (*con-fused*[133]), a umysł dokonuje ich przestrzennego „oddzielenia" (*scission* – dosłownie: rozcięcia) na podstawie określonych **wskazówek** – unikatowych cech dwuwymiarowego obrazu siatkówkowego. W wyniku procesu przestrzennego „oddzielania" umysł rozpoznaje głębię: dwie płaszczyzny – przezroczystą i tę, która znajduje się za nią. W badaniach poświęconych przezroczystości mechanizm ten otrzymał nazwę **dekompozycji postrzeżeniowej** (*perceptual decomposition*, *surface decomposition*). Przypuszcza się, że spostrzeganie przezroczystości jest więc procesem rozwiązywania określonego zadania poznawczego [280]. Polega ono na umysłowym „oddzieleniu" obiektów będących elementami przenikających się obrazów. Wyróżnione elementy obrazu – obiekty w procesie rozpoznania – są stale konsultowane z zawartością pamięci długotrwałej, która przechowuje ich **umysłowe reprezentacje**.

Porównania architektury z muzyką zwykle dotyczą zagadnień formalnych: kompozycji, rytmu, harmonii [14]. Badania spostrzegania dowodzą, że mechanizm dekompozycji postrzeżeniowej jest wykorzystywany nie tylko w przypadku sygnałów wizualnych, ale także np. akustycznych [164, s. 279]. Można go przybliżyć, powołując się na następującą analogię: odbite i przepuszczane przez taflę strumienie świetlne przyczyniają się do powstania obrazu na tym samym obszarze siatkówki, podobnie jak szept – fale dźwiękowe o niskim natężeniu, oraz głośna taneczna muzyka – fale dźwiękowe o wysokim

[133] Określenie *con-fused* jest anglojęzycznym neologizmem, w sposób trafny oddającym specyfikę procesu wymieszania strumieni świetlnych. Słowo *fuse* oznacza „stopić, zlać", prefiks *con-* „z, razem, łącznie". Określenie musi być jednak użyte z dywizem, ponieważ słowo *confused* ma inne znaczenie – „zdezorientowany". Sformułowanie *con-fused* zostało zaproponowane przez anonimowego recenzenta jednej z prac autora w procesie jej publikacji [54].

natężeniu docierają do tego samego obszaru bębenka[134]. Do uszu dochodzi zarówno szept, jak i muzyka, ale ze względu na znaczną różnicę w natężeniu bodźców słyszymy tylko głośne dźwięki. Wyodrębnienie szeptu bywa możliwe, jeśli skupimy uwagę na słabszym bodźcu. W odbiorze bodźców wizualnych funkcjonują podobne mechanizmy, a wyodrębnienie konkretnego obrazu z całego potoku danych wzrokowych, które docierają do obserwatora, wiąże się ze skupieniem uwagi. Słabsze bodźce świetlne docierają do siatkówki, ale są tłumione przez bodźce o większym natężeniu[135].

6.5.2. Położenie w przestrzeni czy cecha obiektu?

Dzięki mechanizmowi dekompozycji postrzeżeniowej dokonywana jest analiza dwuwymiarowego obrazu siatkówkowego. W rozpoznaniu głębi kluczowe jest uporządkowanie obiektów i określenie ich położenia **w przestrzeni otaczającej obserwatora**; w rozpoznaniu rodzajów materiałów – przypisanie im określonych właściwości, czyli **cech obiektu**. W spostrzeganiu przezroczystości w architekturze oba te elementy poznania będą istotne dla interakcji obiektu architektonicznego z otoczeniem i obserwatora z obiektem.

Przezroczystość jako właściwość materiału określa znaczenie funkcjonalne poszczególnych przegród w budynku i w konsekwencji wpływa na odbiór formy oraz symboliki obiektu architektonicznego. Proces ten analizowano łącznie z powstawaniem bodźców odległych (zob. rozdz. 2, s. 41). W procesie spostrzegania zasadnicze ze względu na bezpieczeństwo użytkowania jest określenie właściwego **przestrzennego położenia** przezroczystej tafli. Na pełne spostrzeżenie składają się więc dwa procesy: określenie właściwości obiektu, jego cechy, np. przezroczystości, oraz ustalenie położenia przepuszczającej światło tafli-bariery w przestrzeni. Badania tych procesów przedstawiono w rozdz. 6.8.1, s. 239.

6.5.3. Paradoks spostrzegania przezroczystości

Określenie „spostrzeżenie przezroczystości" jest oksymoronem – złożeniem słów, które się nawzajem wykluczają. Skoro obiekt przepuszcza światło, to jak możliwa jest jego obserwacja? Jeśli nie możemy dostrzec obiektu, to w jaki sposób przypisujemy mu podstawową rozpoznawalną cechę, czyli zdolność do przepuszczania strumieni świetlnych? Paradoks spostrzegania przezroczystości

[134] Inna zaskakująca analogia dotyczy muzyki elektronicznej – zob. przyp. 97, s. 143.

[135] Ich rozróżnienie okiem nieuzbrojonym nie jest możliwe ze względu na specyficzne cechy charakterystyczne elementów światłoczułych siatkówki (większa czułość na niższe poziomy luminancji). Analiza obrazowa przeprowadzona z wykorzystaniem matrycy CCD aparatu cyfrowego pozwala na ich ujawnienie [53].

jest jednak tylko logiczną grą. W praktyce nie istnieją obiekty idealnie przezroczyste – przepuszczające cały strumień świetlny. Każdy element optyczny, np. tafla, pochłania część jego energii. Każdy obiekt, który jest wystarczająco gładki, żeby przepuszczać promienie światła bez rozproszenia, jest jednocześnie wystarczająco gładki, by strumień odbity kierunkowo – lustrzanie (*specularly*) – tworzył obraz pozorny. Zawsze więc będą istniały zjawiska optyczne, których występowanie staje się **wskazówką dla umysłu**. Na tych wskazówkach oparte są mechanizmy spostrzegania, które sprawiają, że przezroczysty obiekt może być spostrzegany przez obserwatora.

Z badań prowadzonych w dziedzinie psychologii poznawczej od XIX wieku wynika, że spostrzeżenie przezroczystości zachodzi na podstawie **wskazówek** – charakterystycznych cech obrazu siatkówkowego. W zależności od fazy, w której przetwarzane są bodźce, można je podzielić na dwie grupy. Wskazówki z pierwszej grupy przetwarzane są w umyśle w procesach II fazy, gdy następuje budowa **trójwymiarowej reprezentacji otoczenia**. Są one skuteczne w większości sytuacji, także przy nieskomplikowanej konfiguracji obiektów przezroczystych w architekturze. Umysł sięga do wskazówek z drugiej grupy, gdy te z pierwszej okazują się niewystarczające. Wtedy następuje porównanie napływających danych zmysłowych z zasobami pamięci, dokonuje się także międzyfazowa wymiana informacji. Wskazówki z drugiej grupy – wykorzystywane w III fazie – służą spostrzeganiu przezroczystości w architekturze, gdy występują bardziej złożone zjawiska optyczne: tworzenia obrazu pozornego, załamania światła, zniekształcenia obrazu, rozproszenia itp.

Na fotografiach realizacji projektów prezentowanych w dalszej części pracy wskazówki poznawcze zaznaczono albo strzałką – aby zwrócić uwagę czytelnika na charakterystyczne krawędzie, albo okręgiem – by określić właściwe obszary, które powstaną w obrazie siatkówkowym przetwarzanym przez umysł obserwatora.

Podsumowanie

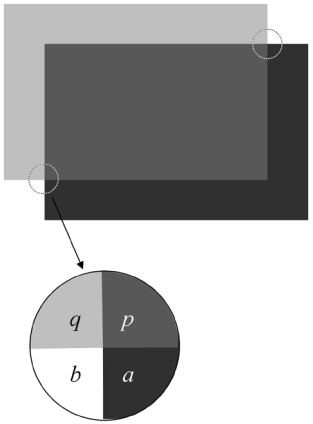
Spostrzeganie i rozpoznanie obiektów odbywa się w trzech fazach. W I fazie dane sensoryczne pozyskiwane są ze zmysłów i ma miejsce rejestracja wrażeń. Faza II służy budowie trójwymiarowej reprezentacji otoczenia obserwatora. Faza III to spostrzeganie i kategoryzacja obiektów. Przekazywanie informacji między fazami następuje w obu kierunkach: w procesach wstępujących zgodnie z kolejnością przetwarzania danych (od I do III fazy), a w procesach zstępujących przez konfrontację z zawartością pamięci, gdy te dane są przekazywane z późniejszych do wcześniejszych faz.

Umysł interpretuje informacje zawarte w obrazie siatkówkowym, a jego unikalne cechy charakterystyczne – wskazówki – poddawane są analizie. Trójwymiarowa reprezentacja otoczenia w umyśle umożliwia orientację w przestrzeni. Służą temu dane o napięciu mięśni przekazywane z gałek ocznych (mięśnie te regulują zbieżność i akomodację), prawa perspektywy oraz mechanizmy spostrzegania głębi, których podstawą jest wzajemne przesłanianie obiektów. Obraz siatkówkowy obiektów przezroczystych powstaje w wyniku nałożenia obrazów: rzeczywistego i pozornego. Umysł dokonuje ich przestrzennego oddzielenia i rozpoznaje głębię: dwie płaszczyzny – przezroczystą i tę, która znajduje się za nią. Mechanizmy rozpoznające przezroczystość różnią się w zależności od stopnia złożoności obrazu siatkówkowego. Inne działają w II, a inne w III fazie przetwarzania informacji wzrokowej.

6.6. Spostrzeganie przezroczystości w procesach II fazy

W II fazie spostrzegania (*mid-level*) umysł rozpatruje przezroczystość jako **„szczególny przypadek przesłaniania”** [13, s. 257] – nakładania jednego obiektu na drugi w polu widzenia. W wyniku przepuszczenia przez przezroczystą taflę strumienia świetlnego zmienia się jego wartość, a tym samym kontrast powstającego obrazu – jaskrawość sąsiadujących powierzchni. Przezroczysty obiekt na pierwszym planie powoduje przyciemnienie obrazu obiektów, które znajdują się na planie dalszym. Już w latach 40. XX wieku György Kepes, analizując proces spostrzegania przezroczystości w książce pt. *Language of Vision*, zauważył: „Jeśli ktoś obserwuje dwa kształty, częściowo na siebie zachodzące, i ich część wspólna zdaje się być częścią każdego z nich, to staje w obliczu niejasności co do ich wymiaru przestrzennego. Aby tę niejasność rozstrzygnąć, obserwator musi wziąć pod uwagę obecność nowej właściwości optycznej. Te kształty są przezroczyste, a to oznacza, że są w stanie zachodzić na siebie bez wzajemnej optycznej destrukcji” [145, s. 77]. Podobne spostrzeżenia notuje Bernhard Hoesli, krytyk architektury, autor komentarza do słynnej pozycji pt. *Transparency* Rowe’a i Slutzky’ego. Pisze on, że „pewne obiekty w przestrzeni mogą być zaklasyfikowane do dwóch lub więcej układów odniesienia. Gdy ich przyporządkowanie nie jest zdefiniowane albo gdy można wybierać, do którego układu obiekt zostanie przypisany” [225, s. 60], uprawdopodobnia się „odczytanie” danego obiektu jako przezroczystego.

Hoesli pisze o możliwości wyboru, Kepes zauważa brak „optycznej destrukcji”. W przypadku obiektów przezroczystych kontur obiektu przesłoniętego nie zostanie „radykalnie” przerwany



Ryc. 98. Węzeł typu X tworzący się przy nakładaniu obiektów przepuszczających światło.

Źródło: opracowanie autor na podstawie [8, s. 423]

przez obiekt znajdujący się przed nim – tak jak ma to miejsce w przypadku przesłaniania obiektów nieprzepuszczających światła – a jedynie przez niego osłabiony. Problem sformułowany przez Kepesa w latach 40. XX wieku stał się przedmiotem intensywnych badań prowadzonych w latach 70. XX wieku przez wspominanego wcześniej Kanizsę [143, s. 155]. W obrazie siatkówkowym tworzy się węzeł typu X (*X-junction*) – miejsce styku czterech obszarów: a, b, p oraz q[136] o różnej jaskrawości (ryc. 98). Jednorodny przezroczysty obiekt (tafla-filtr) pochłania stałą ilość światła, przesłonięta nim części obrazu zostaje więc przyciemniona o tę samą wartość. Na tej podstawie możliwe stało się stworzenie modelu i matematyczne określenie relacji luminancji – odbieranej jako jaskrawość[137] – sąsiadujących ze sobą obszarów a, b, p oraz q w węźle typu X, aby spostrzeżenie przezroczystości stało się prawdopodobne[138]. Badania te zostały w większości oparte na zjawiskach złudzeń optycznych.

6.6.1. Złudzenia optyczne w badaniach przezroczystości

W badaniach nad przezroczystością wykorzystano charakterystyczne cechy ludzkiego oka, głównie niedoskonałości w przetwarzaniu obrazu przez siatkówkę (*visual acuity*). Dysponuje ona ograniczoną **rozdzielczością czasową** (*temporal acuity*) i nie jest w stanie zarejestrować bodźców następujących w zbyt krótkich odstępach czasu (zob. rozdz. 5.1.2, s. 175). Ograniczona **rozdzielczość przestrzenna** (*spatial acuity*) wynika z niemożliwości rozróżnienia obiektów, których obrazy znajdują się zbyt blisko siebie. Dzięki temu możliwe jest stworzenie **optycznego złudzenia przezroczystości**. Badania, w których wykorzystywano ograniczoną rozdzielczość czasową, prowadzone były w latach 70. XX wieku i są kontynuowane do dziś przy zastosowaniu innych technik (zob. rozdz. 5.2, s. 176).

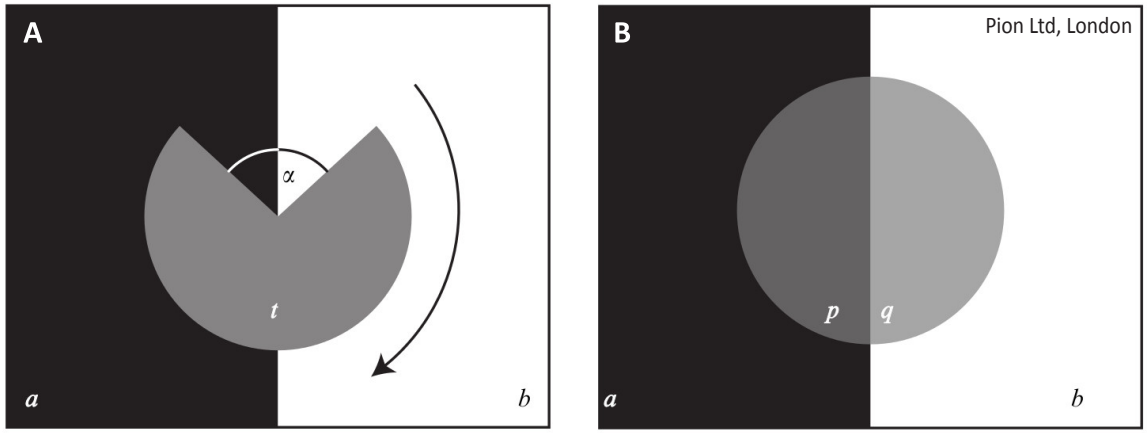
Włoski fizjolog **Fabio Metelli** pierwszy ustalił relacje, jakie powinny zachodzić między stykającymi się obszarami w węźle typu X, aby umysł spostrzegał przezroczystość [176] (ryc. 99). Relacje określone przez badacza były – jego zdaniem – modelem, algorytmem matematycznym, według którego umysł rozpoznawał przezroczystość.

---

[136] Wykorzystano oryginalne oznaczenia wielkości fizycznych przyjęte przez Fabia Metellego [176].

[137] Zob. wyjaśnienie określeń „jasność" i „jaskrawość" w rozdz. 2.6, s. 56.

[138] Węzeł typu X występuje w obrazie siatkówkowym nie tylko w spostrzeganiu obiektów przezroczystych, również w przypadku obserwacji cieni rzuconych bądź innych dowolnych konfiguracji obszarów położonych obok siebie, stykających się w jednym punkcie. Istnieją podstawy, aby przypuszczać, że przezroczystość jest rozpoznawana dzięki mechanizmowi, który pierwotnie wyewoluował w celu spostrzegania cienia i wzajemnego przesłaniania obserwowanych obiektów. W obrazie siatkówkowym zjawisko zmniejszenia jasności (redukcji luminancji) obszarów zacienionych jest bardzo podobne do zjawiska zmniejszenia jasności (redukcji luminancji) obszarów przesłoniętych przez obiekty przezroczyste [262, s. 846].

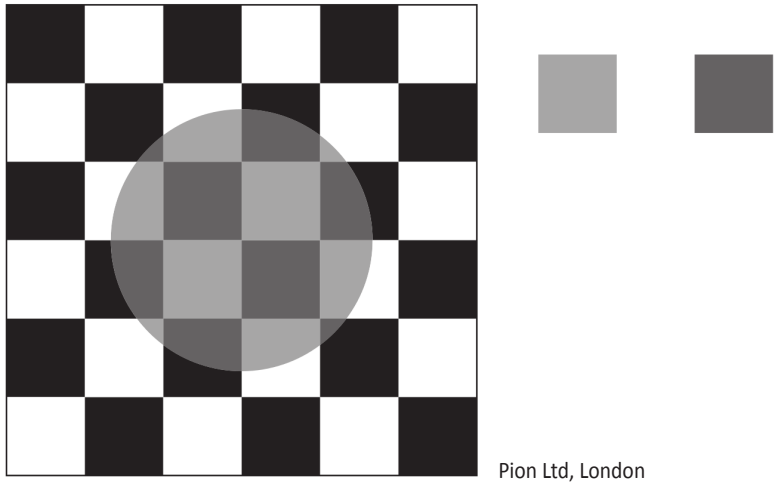


Ryc. 99. Złudzenie przezroczystości stworzone przez Fabia Metellego przy wykorzystaniu wirującego dysku z regulowaną szczeliną (*episcotister*). **A.** Jeśli obraca się on z dużą prędkością, to spostrzegany jest jako przezroczysty okrągły obiekt przesłaniający kontrastowe czarno-białe tło. **B.** Znając współczynniki odbicia t dysku i elementów tła oraz regulując szczelinę α w celu uzyskania różnych stopni przezroczystości, Metelli określił eksperymentalnie matematyczną relację luminancji obszarów a, b, p oraz q. Do opisania zjawiska wykorzystał prawo Talbota, zgodnie z którym światło migające odbierane jest jako ciągłe o mniejszej intensywności. Zależność ta wyraża się następującymi wzorami:

$$p = \alpha a + (1-\alpha)t\,, \qquad q = \alpha b + (1-\alpha)t\,, \qquad \alpha = \frac{p-q}{a-b}\,.$$

Źródło: opublikowano za zgodą Pion Ltd, London, www.pion.co.uk [240, s. 534, także 241, s. 493]

Metelli za pomocą wirującego dysku wywołał wrażenie przezroczystości – oparł się więc w swoich badaniach na zjawisku złudzenia optycznego. Czerpiąc z relacji określonych przez tego badacza, można osiągnąć ten sam rezultat, zestawiając w odpowiednim układzie płaszczyzny o właściwie dobranej jasności. Interesującą interpretację graficzną przedstawiają Barton L. Anderson i Manish Singh z Rutgers University [240, s. 532]. Rysunek po lewej stronie na ryc. 100 umysł interpretuje jako szachownicę o czarnych i białych polach przesłoniętą przez okrągły przezroczysty obiekt. Mimo że obraz składa się wyłącznie z jaśniejszych i ciemniejszych kwadratów, spostrzegane są dwie, a nie



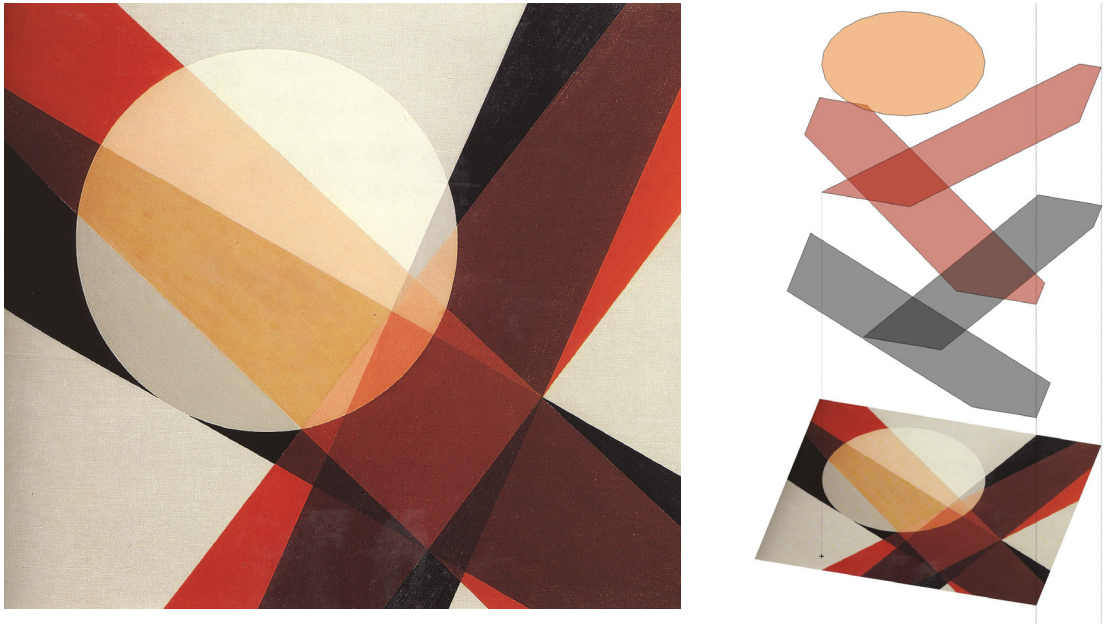
Pion Ltd, London

Ryc. 100. Szachownica przesłonięta przez okrągły przezroczysty dysk czy przypadkowy układ figur? Mimo że przesłonięty fragment obrazu składa się wyłącznie z jaśniejszych i ciemniejszych kwadratów, umysł odczytuje (dekoduje obraz) nie jako jedną, ale dwie powierzchnie: jednorodnie przezroczystą leżącą na pierwszym planie i biało-czarną szachownicę leżącą na drugim planie.

Źródło: opublikowano za zgodą Pion Ltd, London, www.pion.co.uk [240, s. 532]

jedna powierzchnia – okrągła jednorodnie przezroczysta leżąca na pierwszym planie i szachownica w tle. Gdy jasno- i ciemnoszare kwadraty zostaną pozbawione kontekstu – zob. ryc. 100, prawy rysunek – umysł interpretuje je jako osobne nieprzezroczyste obiekty. Podobne studia z dwoma pozornie przezroczystymi prostokątami prowadził również Vilayanur Subramanian Ramachandran [212, s. 20; także 207].

Złudzenie, które pojawia się w następstwie interpretacji przez umysł odpowiedniego układu plam, zostało określone jako **przezroczystość postrzeżeniowa** (*perceptual transparency*) [13, s. 256] i jest do dziś wykorzystywane w badaniach kognitywistycznych. Metelli w latach 70. XX wieku określił proporcje luminancji plam w modelu matematycznym. Już wcześniej, bo w latach 30. XX wieku, niektórzy awangardowi artyści, wykorzystując twórczą intuicję, studiowali mechanizmy spostrzegania przezroczystości [6]. László Moholy-Nagy analizował wzajemne relacje barw i skutecznie budował przezroczystość postrzeżeniową. Wybitnym przykładem jest kompozycja A-19, gdzie obserwator – podobnie jak na poprzedniej rycinie – spostrzega na pierwszym planie przepuszczający światło okrągły dysk, a w tle ukośnie ustawione wstęgi. One też wydają się przezroczyste – te czerwone przechodzą wyraźnie nad czarnymi. Obraz jest na tyle dokładny, że umożliwia odtworzenie w przestrzeni układu elementów składających się na płaską kompozycję, którą pokazano na ryc. 101.



Ryc. 101. Płaska kompozycja A-19 László Moholya-Nagya z 1927 roku i interpretacja przestrzenna na podstawie jasności sąsiadujących plam wykonana przez autora opracowania. Moholy-Nagy zauważył, że obraz przepuszczany przez przezroczyste płaszczyzny ma mniejszy kontrast i słabsze nasycenie barw. Artysta warsztatowo modyfikował poszczególne barwy przez dodanie takiej samej ilości np. bieli lub czerni – bieli dla obiektów znajdujących się „nad", czerni dla obiektów znajdujących się „pod".

Źródło: opracowanie autor; reprodukcja publikowana za zgodą spadkobierców László Moholya-Nagya

Do lat 90. XX wieku obowiązywał model Metellego [176]. W toku dalszych badań wykazano jednak, że zaproponowany schemat nie jest wystarczająco adekwatny do zjawiska, które opisuje. Kolor wirującego dysku miał wpływ na wyniki doświadczeń. Dalsze poszukiwania podejmowane przez Bartona L. Andersona [241, s. 515] i Sergia C. Masina [173] także nie przyniosły wiążących rezultatów. Obecnie czołowi specjaliści spierają się o to, jakie czynniki dominują w umysłowym spostrzeganiu przezroczystości. Skupiają swoją uwagę na „szczegółowym badaniu […], jaką informację umysł wykorzystuje do określenia, czy przezroczysta powierzchnia lub ośrodek są obecne w obserwowanej scenie" [10, s. 978].

Eksperymentatorzy posługują się optycznym złudzeniem przezroczystości, a nie autentycznie przezroczystymi materiałami. Uzyskane wyniki tylko w ograniczonym stopniu mogą być uwzględniane przez projektantów operujących materiałami rzeczywiście przepuszczającymi światło. Są one dalece bardziej złożone pod względem powstających **efektów wizualnych** niż złudzenia obiektów jednorodnych rozpatrywane w badaniach eksperymentalnych. Mimo to działanie odkrytych mechanizmów można zaobserwować w sytuacjach rzeczywistych w odniesieniu do tafli pojedynczych. Ich obserwacja prowadzi do powstania odpowiednich różnic w jaskrawości obrazu siatkówkowego.

6.6.2. Wskazówki w procesach II fazy

W opracowaniu obiekty przepuszczające światło są rozpatrywane jako filtry. Część światła, które jest przepuszczane przez filtr, zostaje pochłonięta – zaabsorbowana przez taflę. Zmniejsza się więc wartość strumienia świetlnego. Tło obserwowane przez przezroczystą taflę ulegnie przyciemnieniu, w obrazie siatkówkowym zmniejszy się jego **kontrast** oraz jaskrawość – **jasność** składających się na nie elementów.

6.6.2.1. Zmniejszenie luminancji i kontrastu

Wszystkie filtry charakteryzuje współczynnik A, który jest proporcjonalny do ilości pochłoniętego przez nie światła. Ten współczynnik określa relację światła padającego do przepuszczanego. Im większe pochłanianie, tym filtr wydaje się „ciemniejszy". Spostrzeganie filtrów „ciemnych" nie sprawia trudności, ponieważ pochłaniają one dużą część strumienia świetlnego i w rezultacie w obrazie siatkówkowym występują obszary o **wyraźnie zmniejszonej jaskrawości i kontraście**.



Ryc. 102. Szkło GEWE – Pure Vision. Zmiana obrazu jest niedostrzegalna. Strzałka wskazuje krawędź tafli, która znajduje się po prawej stronie. Targi Glasstec w Düsseldorfie w 2012 roku.

Źródło: fot i opracowanie autor

Wyzwaniem dla umysłu jest spostrzeżenie filtrów jasnych pochłaniających niewielką ilość przepuszczanego światła, oraz neutralnych, czyli takich, które nie barwią przepuszczanego strumienia świetlnego ani tworzonego obrazu[139]. Następstwem tego jest nieznaczne zmniejszenie wartości przepuszczanego strumienia. Zmiana, która następuje w obrazie siatkówkowym, jest **niemal niezauważalna**. Doskonale przezroczyste tafle-filtry trudno dostrzec zwłaszcza na zróżnicowanym tle. Obecnie dostępne są produkty, które zapewniają w skali architektonicznej jakość niemal perfekcyjnego neutralnego jasnego filtra. Przykładem umiejętnego połączenia właściwości: małego współczynnika pochłaniania ($A < 1\%$) i neutralności filtra jest szkło GEWE – Pure Vision. Ilustruje to fotografia wykonana na targach Glasstec w Düsseldorfie w 2012 roku. W ujęciu na ryc. 102 tafla przesłania połowę pola widzenia. Nawet przy dłuższej obserwacji trudno określić, po której stronie znajduje się szkło. W prostym teście wśród przygotowanych odbiorców – grupy 90 studentów Wydziału Architektury PWr, uczestników wykładu wybieralnego „Przezroczystość w architekturze współczesnej" – błędnej odpowiedzi udzieliło aż 24% osób. Wskazuje to na bardzo dobre parametry produktu osiągnięte dzięki wyrafinowanej technologii.

Grubość przezroczystej tafli wpływa na jaskrawość obrazu siatkówkowego. Im tafla jest grubsza, tym więcej światła pochłania[140]. Taka sytuacja występuje w Muzeum Fundacji Langen w Hombroich (arch. Tadao Andō, 2004). Szklany płaszcz budynku wykonano z przezroczystych, niepowlekanych tafli. Te użyte do pokrycia dachu ze względów konstrukcyjnych mają większą grubość, pochłaniają więc więcej światła niż cieńsze tafle zastosowane na elewacji. Różnica widoczna jest dla obserwatora przebywającego wewnątrz budynku (ryc. 103). Jasność nieboskłonu jest mniejsza tam, gdzie zastosowano grubsze tafle. W intensywnym świetle słonecznym różnica może być obserwowana także od zewnątrz. Cień, który rzucają tafle o większej grubości, jest znacznie ciemniejszy, ponieważ tafle pochłaniają więcej światła (ryc. 10, s. 50).

Samo przyciemnienie – zmniejszenie jaskrawości obrazu i luminancji tła – nie jest **wiążącą wskazówką** przezroczystości, ponieważ może być spowodowane innymi czynnikami. W sytuacjach wątpliwych uruchamiany jest mechanizm porównywania jasności obszarów, które do siebie przylegają.

[139] Filtry neutralne pochłaniają energię fal elektromagnetycznych w całym zakresie widma światła widzialnego. Światło przepuszczane przez taflę nadal jest bezbarwne, tylko o mniejszym natężeniu. Analogią filtra neutralnego jest stosowany w fotografii tzw. filtr szary lub ND (*neutral density*).

[140] Dzieje się tak zgodnie z prawem Bouguera–Lamberta.

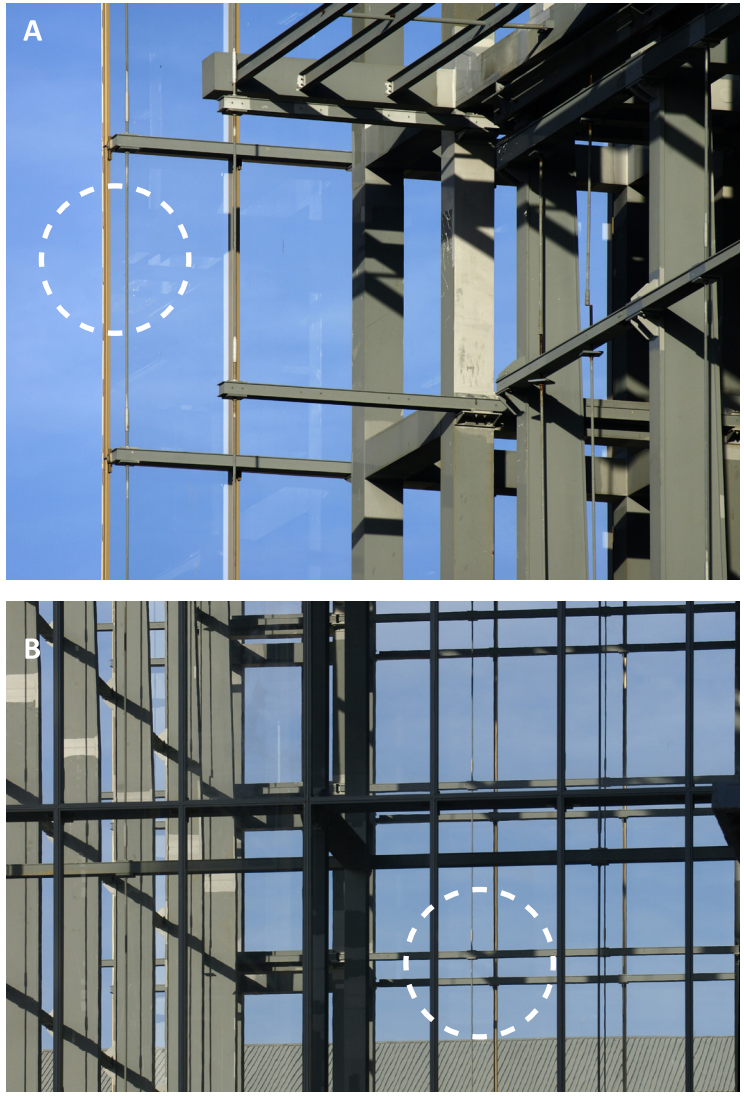


Ryc. 103. Wpływ grubości tafli na osłabienie strumienia świetlnego. Pozioma tafla jest grubsza i pochłania więcej światła, obraz jest przyciemniony. Muzeum Fundacji Langen w Hombroich (arch. Tadao Andō, 2004).

Źródło: fot. i opracowanie autor

6.6.2.2. Istnienie obszaru odniesienia

Nieprzesłonięta przez taflę część pola widzenia traktowana jest przez umysł jak **obszar odniesienia** (*reference area*) niezbędny dla prawidłowego działania procesów porównawczych. Mechanizm poznawczy porównuje obraz w tych dwóch obszarach i na podstawie różnic identyfikuje taflę jako przezroczystą. Jeśli całe pole widzenia zostanie przesłonięte przez taflę-filtr, interpretacja obserwowanego obrazu jest wieloznaczna, a spostrzeżenie przezroczystości staje się niemożliwe. Badała to, już w latach 30. XX wieku, niemiecka psycholog Beatrix Tudor-Hart [269]. Ustalenia te są zgodne z zasadą sformułowaną przez badaczy psychologii postaci, że aby „rozpoznać jakąkolwiek figurę, trzeba najpierw postrzegać tło, z którego owa figura się wyłania" [88, s. 57]. Juliusz Żórawski zauważa również, że „operowanie formą architektoniczną polega m.in. na ustawieniu form [figur – przyp. autora] na właściwych tłach" [298, s. 73]. Podobnie jak brak tła uniemożliwia rozpoznanie figury, tak brak obszaru odniesienia uniemożliwia rozpoznanie przezroczystości. W środowisku homogenicznym zaburzony zostaje proces spostrzegania, tzn. przestrzenna trójwymiarowa interpretacja odbieranego obrazu. Rudolf Arnheim pisze wprost, że „jeśli kształt powierzchni fizycznie przezroczystej pokrywa się z kształtem tła, żadnej przezroczystości nie widać" [13, s. 257].



Ryc. 104. Przezroczyste tafle zaraz po zamontowaniu w szkielecie ściany osłonowej. **A.** Ujęcie z widocznym obszarem odniesienia. **B.** Ujęcie, w którym obszar odniesienia nie jest widoczny. Centrum konferencyjne La Nuvola w Rzymie – grudzień 2011 roku (arch. Massimiliano Fuksas Architetto, w budowie).

Źródło: fot i opracowanie autor

Bywa, że przy obserwacji tafli przepuszczających światło obszar odniesienia nie jest widoczny. Przezroczysta przegroda zazwyczaj całkowicie wypełnia otwór, np. okno, sekcję ściany osłonowej, szklane drzwi. Wtedy dla obserwatora powierzchnia przezroczysta jest tożsama z powierzchnią tła, a obszar odniesienia – jeśli w ogóle jest dostępny – znajduje się poza polem widzenia obserwatora. Ilustrują to fotografie zarejestrowane w trakcie prac nad centrum konferencyjnym La Nuvola w Rzymie (arch. Massimiliano Fuksas Architetto, w budowie). Ukazują one wczesny etap montażu przeszklenia ściany osłonowej, widocznej w zbliżeniach od wewnątrz budynku. Przezroczyste szkło o wysokim współczynniku przepuszczania T trudno zauważyć, jeśli w polu widzenia nie znajduje się fragment nieprzesłoniętego nieboskłonu. Jeśli obszar odniesienia jest widoczny, to – pomimo iż niezabrudzone tafle działają jak bardzo jasny filtr – spostrzeżenie przezroczystej tafli jest możliwe (ryc. 104A). W ujęciu, na którym uwidoczniona jest centralna część budynku, brakuje obszaru odniesienia i żadne wskazówki nie świadczą o istnieniu przezroczystej bariery. Pokazany na ryc. 104B fragment fasady wygląda tak, jakby jeszcze nie zamontowano tam przeszklenia. Podobnie jest w przypadku zewnętrznego płaszcza podwójnej fasady w biurowcu Focus – Centrum Finansowe „Filtrowa" w Warszawie (ryc. 2, s. 18).

Kluczowe dla spostrzeżenia przezroczystości w procesach II fazy jest porównanie **obszaru odniesienia** (*reference area*), czyli tej części pola widzenia, która pozostaje wolna, z tą, która jest przesłonięta przez filtr. Na styku tych dwóch obszarów w obrazie siatkówkowym powstają **węzły typu X**.

6.6.2.3. Węzły typu X

Węzły typu X są „najważniejszą wskazówką dla spostrzeżenia przezroczystości" [262, s. 846]. Powstają w obrazie siatkówkowym, w punkcie przecięcia dwóch krawędzi nakładających się tafli. W węźle przylegają do siebie cztery obszary o różnej jaskrawości. Umysł, odpowiednio interpretując obraz siatkówkowy, spostrzega przezroczystą taflę w odpowiedniej konfiguracji przestrzennej. Matematyczne relacje luminancji tych obszarów ustalił Metelli. Mimo że opisany mechanizm badany był dla teoretycznej przezroczystości postrzeżeniowej, działa bardzo efektywnie w rzeczywistości. Liczne węzły typu X tworzą się w obrazie siatkówkowym przy obserwacji autentycznych tafli.

Jednym z najbardziej wyrazistych przykładów współczesnej konstrukcji bezramowej jest przeszklenie hallu Narodowego Muzeum Sztuki MAXXI w Rzymie (arch. Zaha Hadid Architects, 2010). Przezroczyste tafle tworzą zarówno dach, jak i ścianę budynku. Spoczywają na konstrukcji ze szklanych dźwigarów. Stalowe elementy konstrukcyjne stosowane są tylko w złączach wymagających największej wytrzymałości. Obserwowane tafle wielokrotnie się przesłaniają. Wąskie żebra na tle fasady i dachu wyróżniają się obrysem i regularnym rytmem. W dokumentacji fotograficznej



Ryc. 105. Liczne węzły typu X, które tworzą się w obrazie siatkówkowym przy obserwacji szklanej konstrukcji bezramowej w Narodowym Muzeum Sztuki MAXXI w Rzymie (arch. Zaha Hadid Architects, 2010).

Źródło: fot i opracowanie autor

Ryc. 106. Węzły typu X powstające przy obserwacji konstrukcji wsporczej. Kościół pw. Najświętszego Serca Jezusowego w Monachium (arch. Allmann Sattler Wappner Architekten, 2000).

Źródło: fot i opracowanie autor

wykonanej z wielu punktów obserwacji – zarówno od wewnątrz, jak i od zewnątrz budynku – widoczne są liczne węzły typu X, w których cztery pola o odmiennej jaskrawości stykają się w jednym punkcie. Choć pola rozdzielone są węższym lub szerszym ciemnym pasem krawędzi tafli (ryc. 105), obserwatorzy nie mają problemu ze spostrzeżeniem przezroczystości. Wydaje się więc, że nawet „przecięty" węzeł X nadal jest czytelną wskazówką dla umysłu.

W kościele pw. Najświętszego Serca Jezusowego w Monachium (arch. Allmann Sattler Wappner Architekten, 2000) przezroczyste i przeświecalne zewnętrzne tafle usztywnione są przez szklane żebra. Tam gdzie elementy nośne krzyżują się, obserwuje się liczne węzły typu X (ryc. 106). Obszary,





Ryc. 107. Węzły typu X tworzące się przy równoległych krawędziach tafli. Takie węzły są mniej wyraziste, ale nadal efektywnie służą jako wskazówka w spostrzeganiu. Parking P3 na lotnisku w Norymberdze (arch. Baum-Kappler Architekten GmbH, 2007).

Źródło: fot i opracowanie autor

w których tworzą się węzły, mają odmienną jasność. Wynika to ze zmieniających się warunków oświetlenia i lokalnego bilansu strumieni świetlnych.

Węzły można zaobserwować również w przezroczystych taflach, których krawędzie są równoległe w obrazie siatkówkowym. W obudowie ramp wjazdowych dla samochodów na parkingu P3 na lotnisku w Norymberdze (arch. Baum-Kappler Architekten GmbH, 2007) zamontowano tafle przy zastosowaniu dwustronnych listew, a nie obwodowego ramiaka. Węzły typu X nie są tak wyraziste, ale nadal pozwalają na właściwie interpretowanie obrazu siatkówkowego przez umysł, pod warunkiem że widoczny jest odpowiednio duży fragment tafli (ryc. 107).

Podsumowanie

Spostrzeganie przezroczystości w II fazie oparte jest na procesach poznawczych, które pozwalają we właściwy sposób zinterpretować wskazówki zawarte w obrazie siatkówkowym. Najważniejsze z nich – zmniejszenie jasności i kontrastu obrazu – powodowane są osłabieniem strumienia świetlnego przepuszczanego przez przezroczystą taflę. Podstawowe wskazówki wystarczają tylko w określonych sytuacjach, gdy istnieje możliwość porównania zmienionego obszaru pola widzenia z częścią nieprzesłoniętą przez taflę – tzw. obszarem odniesienia.

Najważniejszą wskazówką dla rozpoznania przezroczystości w procesach II fazy są tzw. węzły typu X – charakterystyczne miejsca obrazu siatkówkowego, gdzie w jednym punkcie przylegają do siebie obszary o różniej jaskrawości. Jeśli umysł nie może odwoływać się do wskazówek w II fazie spostrzegania, przystępuje do przetwarzania obrazu w fazie wyższej – III.

6.7. Spostrzeganie przezroczystości w procesach III fazy

Informacje pozyskane w II fazie są w kolejnej – III – uściślane. Między tymi fazami odbywa się stały przepływ informacji. Różnica między procesami poznawczymi polega na tym, że w III fazie umysł czerpie wskazówki głównie z występowania zjawisk optycznych zachodzących na powierzchni tafli, na granicy dwóch ośrodków (*surface phenomena*). Do zjawisk tych należą: **odbicie lustrzane**, do którego dochodzi na gładkiej powierzchni materiałów przezroczystych, tworzący się w konsekwencji **obraz pozorny** oraz **załamanie promienia światła**. W rezultacie

załamania pojawia się **zniekształcenie** lub **zamglenie** obrazu rzeczywistego. Istotną wskazówką dla umysłu jest również **zabarwienie obrazu**. Występuje ono w wyniku pochłaniania części widma światła białego przez taflę-filtr.

W konkretnych ujęciach/scenach wskazówką dla spostrzeżenia przezroczystości może być także przyjęcie przez umysł określonych założeń dotyczących **właściwości materiału**, z którego wykonany jest obserwowany obiekt.

6.7.1. Identyfikacja materiałów gładkich

Umysł obserwatora identyfikuje właściwości materiałów znajdujących się w jego otoczeniu. Rozpoznania tego dokonuje wyłącznie na podstawie odebranych bodźców wizualnych. Jest to możliwe, ponieważ powierzchnie materiałów wchodzą w specyficzną interakcję ze strumieniami świetlnymi: w inny sposób odbierane są obiekty pokryte futrem, korą lub wykonane z kamienia [por. 10, s. 978]. Dzięki temu materiały uzyskują rozpoznawalne cechy swoiste. Specyficzna informacja zawarta w obrazie siatkówkowym: połysk, chropowatość, ziarnistość, nieregularna faktura wystarczają do identyfikacji materiału wyłącznie na podstawie tych cech.

Obiekty o chropowatej powierzchni (tzw. *lambertian bodies*) są opisywane w optyce wyłącznie za pomocą współczynnika odbicia R. Odbijają one światło wielokierunkowo. Odbite, rozproszone światło przyczynia się do powstania w obrazie siatkówkowym obszarów o stałej luminancji. Umysł interpretuje je jako jednolitą jaskrawość (jasność) lub jednolitą barwę obserwowanego obiektu.

Aby tafle były przezroczyste, muszą być gładkie. Jeśli powierzchnia tafli jest chropowata, strumień świetlny ulega rozproszeniu, a obraz zostaje zamglony. Gładkość powierzchni ma dla spostrzegania przezroczystości znaczenie istotne, a w określonych warunkach pozostaje jedyną dostępną wskazówką. W wyniku interakcji strumienia świetlnego i gładkiej tafli ulega on równocześnie załamaniu przy przepuszczaniu i lustrzanemu odbiciu. W rezultacie powstaje obraz pozorny. Gładkie materiały identyfikowane są przez umysł na podstawie obrazów pozornych, które – w zależności od formy przestrzennej obserwowanego obiektu – przybierają różne kształty w obrazie siatkówkowym.

W przypadku obiektów obłych lub zwierciadeł krzywoliniowych odbicia lustrzane są zniekształconymi przez ich geometrię „obrazami pozornymi otoczenia". Na gładkiej powierzchni obiektu widoczne są jaśniejsze obszary. Obrazy pozorne, ich barwa, intensywność i położenie będą się zmieniały w zależności od otoczenia, w jakim znajduje się obserwowany obiekt. Tym samym staną



Ryc. 108. Wyraziście zniekształcony obraz pozorny budynku w zwierciadle wypukłym. Lustrzana obudowa ciągów komunikacyjnych. Wydział Chemiczny im. Antoine'a Lavoisiera Uniwersytetu im. Denisa Diderota w Paryżu (arch. X-TU Architecture, 2008).

Źródło: fot. i opracowanie autor



Ryc. 109. Polerowana blaszana powłoka tworząca liczne wklęsłe i wypukłe zwierciadła zniekształcające odbicie otoczenia. Bar Peebles w Düsseldorfie (arch. FG stijl, 2011).

Źródło: fot. i opracowanie autor

się nośnikiem informacji na temat „struktury, intensywności i zawartości widmowej lokalnego pola świetlnego" [10, s. 980]. W obrazie siatkówkowym mogą przyjmować postać rozbłysków (*highlights*) – plam o wyższej luminancji, wyraźnie różniących się od obserwowanego obiektu. Obrazy pozorne otoczenia, które tworzą się na obłych gładkich obiektach, są wykorzystywane przez umysł jako wskazówka do rozpoznania rodzaju materiału. Umysł kieruje się także położeniem-rozmieszczeniem rozbłysków, aby „odczytać" formę przestrzenną gładkiego obiektu[141]. Rozbłyski „wpływają na spostrzeganie krzywizny powierzchni" [34, s. 245], ułatwiają budowę **trójwymiarowej reprezentacji otoczenia** [232]. Przypuszcza się, że spostrzeżenie to jest następstwem odbioru rozbłysków i następującego po nich doświadczania „gładkości". Potwierdzają to badania naukowe intensywnie prowadzone w tej dziedzinie od lat 90. XX wieku [33, s. 165].

Zniekształcone obrazy pozorne występują w budynku Wydziału Chemicznego im. Antoine'a Lavoisiera Uniwersytetu im. Denisa Diderota w Paryżu (arch. X-TU Architecture, 2008). Bryła budowli przyjmuje formę litery „U". Elewacje wewnętrzne podwórza otwartego na północ zostały dodatkowo pokryte rastrem białych prostokątów. Korytarze łączące skrzydła budynku mają formę lustrzanych tub. Metalizowana powłoka sprawia, że regularny raster elewacji zostaje wyraziście zniekształcony w refleksowej powłoce obudowanych ciągów komunikacyjnych (ryc. 108).

Spektakularnym przykładem opisywanego zjawiska w architekturze jest Bar Peebles w Düsseldorfie (arch. FG stijl, 2011). Niewielki obiekt gastronomiczny o obłej formie został obudowany gładką polerowaną blachą tytanowo-cynkową. W rezultacie na powierzchni metalowych łusek tworzą się liczne wklęsłe i wypukłe zwierciadła. Obraz pozorny otoczenia jest tak bardzo zniekształcony, że aż nierozpoznawalny. Pojawiające się na blasze rozbłyski pozwalają powierzchnię określić jako gładką (ryc. 109).

Obraz pozorny na **obiekcie obłym** jest zniekształcony, nawet jeśli zaburzenie jego „płaskości" nie jest znaczące (zob. ryc. 77, s. 158 i ryc. 78, s. 159). Obraz pozorny, który powstaje na **płaskiej gładkiej tafli** to odbicie lustrzane – szczególny przypadek symetrii płaszczyznowej (ryc. 110). Każda para odpowiadających sobie punktów – rzeczywisty i pozorny – leży na prostej prostopadłej do płaszczyzny symetrii, w równych od niej odległościach. Taki obraz pozorny jest więc zgodny z prawami perspektywy i zazwyczaj spostrzegany jakby umiejscowiony „za" lustrem lub wewnątrz obiektu o gładkiej powierzchni. Ponieważ w przestrzeni każda symetria płaszczyznowa zmienia

[141] W pracy pt. *Does the brain know the physics of specular reflection* badacze Andrew Blake i Heinrich H. Bülthoff użyli metaforycznego określenia „umysł zna" [33, s. 165]. Obraz pozorny źródła światła jest położony „przed" powierzchnią obiektu – dla zwierciadeł wypukłych, lub „za" powierzchnią obiektu – dla zwierciadeł wklęsłych.



Ryc. 110. Płaska tafla z widocznym odbiciem lustrzanym. Obiekty znajdujące się po przeciwnej stronie ulicy – kamieniczki i nowe budynki mieszkalne – zostały przeniesione w przestrzeń pozorną odbicia lustrzanego. Biurowiec Deutschherrnkarree w Norymberdze, widok od Hochstrasse (arch. LEEVEN & LEEVEN, 2007–2011).

Źródło: fot. i opracowanie autor

orientację, jest tzw. przekształceniem nieparzystym, kierunki prawo–lewo zostają w odbiciu lustrzanym zamienione[142]. Obraz pozorny utworzony przez płaskie zwierciadło przetwarzany jest na równi z obrazem rzeczywistym, z tą różnicą, że w obrazie pozornym zmienia się orientacja obiektów. W architekturze i krajobrazie miejskim szczególnie często pojawiają się cyfry i litery. Zmiana ich orientacji jest łatwo zauważalna i może służyć umysłowi za wskazówkę do określenia położenia płaskiego zwierciadła.

6.7.2. Przenikanie obrazów: pozornego i rzeczywistego

Gładka przezroczysta tafla przepuszcza strumienie świetlne padające z przeciwnych stron, jednocześnie je odbijając. Zjawiska występują równocześnie, więc w konsekwencji – na etapie powstawania bodźców odległych – dochodzi do utworzenia **dwóch strumieni świetlnych**. Na etapie bliskim strumienie te generują obrazy, które oddziałują na ten sam obszar siatkówki. Obserwator odbiera je jako **dwa przenikające się obrazy: rzeczywisty i pozorny** „mieszające się" proporcjonalnie do wartości strumieni, które przyczyniają się do ich powstania. W przypadku przezroczystości określone obszary obrazu siatkówkowego zostaną zdominowane przez obraz rzeczywisty bądź pozorny, natomiast inne obszary będą stanowiły „nierozerwalne połączenie obu" [89, s. 1334]. W celu dokonania właściwych spostrzeżeń niezbędna będzie umysłowa „separacja" tych obrazów.

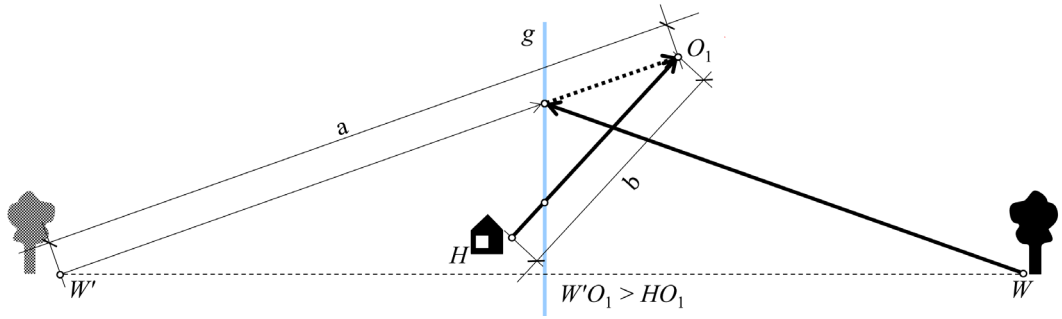
Mózg nie jest w stanie przyjmować wszystkich informacji odbieranych przez zmysły. Musi dokonywać selekcji bodźców, które będą przetwarzane. Przenikanie dwóch obrazów – rzeczywistego i pozornego – stanowi prawdziwe wyzwanie. Liczba informacji, jaka dociera do siatkówki, jest taka sama (około 100 mld bitów/s)[143], ale możliwości interpretacji – wraz ze zwiększeniem komplikacji obrazu siatkówkowego – lawinowo się zwiększają. Selekcję informacji reguluje **uwaga**, ale – tu pojawia się określona trudność[144] – „ustalenie jednak, czy jakaś informacja jest ważna, wymaga pełnego przetworzenia" tej informacji [134, s. 115]. Stwierdzenie, czy jakaś informacja jest ważniejsza od innych, staje się więc możliwe dopiero po poznaniu tego, co niepoznane.

Prowadzone doświadczenia wskazują, że umysł ma zdolność przełączania się z odbioru jednej informacji na drugą – np. z obrazu rzeczywistego na pozorny i vice versa. Przełączanie to aktywizuje

[142] Szczegółowa analiza pozwala nieco inaczej spojrzeć na to zjawisko: odwrócenie orientacji obiektów w przestrzeni pozornej następuje w kierunku przód–tył, o dopiero odwrócenie obserwatora o 180° zmienia kierunki prawo–lewo.
[143] Prędkość transferu siatkówka–mózg jest dziesięciokrotnie mniejsza i sięga około 10 mld bit/s [150]; część informacji podlega więc selekcji na bardzo wczesnym etapie przetwarzania bodźców przez komórki zwojowe siatkówki.
[144] W literaturze to tzw. paradoks inteligentnej selekcji – zob. [134, s. 115].

odpowiadające bodźcom rejony mózgu[145]. Wyniki badań wskazują na działanie selektywnej uwagi w warunkach nadmiaru/natłoku bodźców. Naukowcy prezentują jednak odmienne opinie dotyczące wyróżników tej selekcji. Z wielu wysuniętych hipotez warto przybliżyć tę, która odnosi się do umysłowego „rozdzielenia" obrazów i „wyłuskania" obserwowanych obiektów. Istotna jest tu rola procesów zstępujących (*top-down*). Obiekt znajdujący się w ognisku uwagi zostaje roboczo rozpoznany w III fazie przetwarzania bodźców. Następnie informacja o cechach rozpoznanego obiektu powraca do fazy I, gdzie ma miejsce ponowna fiksacja wzroku na tych elementach obrazu, które pasują do już rozpoznanego obiektu. Dochodzi do „wyboru i grupowania jednoznacznych cech" [89, s. 1334]. Wymiana informacji w takiej pętli odbywa się wielokrotnie, aż do momentu dokonania ostatecznej identyfikacji obiektu przez umysł – spostrzeżenia.

Działanie tego poznawczego mechanizmu ilustruje prosty przykład. Wyodrębnienie obiektu – elementu obrazu rzeczywistego lub pozornego – który aktualnie stanowi ognisko zainteresowania, następuje przez fiksację wzroku – **akomodację**. Jeśli chcemy zwrócić uwagę na konkretny obiekt, „przesuwamy na niego wzrok, aby [obiekt – przyp. autora] znalazł się w centrum pola widzenia". Dzieje się tak, ponieważ przesunięcie uwagi na obiekt oznacza „lepsze przetwarzanie jego cech" [134, s. 106–108]. W celu odpowiedniej akomodacji soczewki oka umysł oszacowuje odległość obiektu od obserwatora. W przedstawionym przykładzie obiekt W' jest obrazem pozornym obiektu W (drzewo) (ryc. 111). Rzeczywista i pozorna odległość obiektów H (dom) i W' różni się od siebie. Jeśli uwaga zostanie skupiona na obrazie rzeczywistym (obiekt H), obraz pozorny obiektu W' pozostanie nieostry. Wynika to z tego, że obiekt W' znajduje się w innej pozornej odległości od obserwatora niż rzeczywista odległość obiektu H od obserwatora. Przy



Ryc. 111. Obiekty rzeczywiste (dom – H) widziane przez taflę mogą się znajdować w innej odległości od obserwatora niż pozorna odległość obiektów odbitych w tafli (obraz pozorny drzewa – W'). Obserwacja wymaga zmiany akomodacji, a obiekty są pozornie zbyt odległe od siebie, aby mogły być z uwagą obserwowane równocześnie. Niemożliwa jest jednoczesna fiksacja wzroku na obiekcie rzeczywistym H i pozornym W'.

Źródło: opracowanie autor

[145] W 1999 roku przeprowadzono interesujące doświadczenie, w którym dokonywano projekcji dwóch obrazów równocześnie, tak aby się przenikały na ekranie – podobnie jak ma to miejsce w wyniku równoczesnej obserwacji obrazu rzeczywistego i pozornego



Ryc. 112. Przenoszenie ogniska uwagi z obrazu rzeczywistego na obraz pozorny. Fotografia niestety utrwala tylko określone parametry pola świetlnego, spłaszczając obraz. W rzeczywistej obserwacji następowałaby akomodacja oka na wybranym elemencie obrazu – na zdjęciu ostrość obiektywu ustawiona jest na elementy szklanej fasady. Biurowiec przy 7–11 Avenue des Flandres w Paryżu (arch. Françoise Raynaud, 2004).

Źródło: fot. i opracowanie autor

skupieniu wzroku na obiekcie H obraz pozorny W' pozostanie nieostry. I odwrotnie – jeśli obserwator skupi wzrok na obrazie pozornym W', obraz rzeczywisty obiektu H będzie nieostry.

Krótka świadoma obserwacja własnych reakcji wystarcza do weryfikacji tego mechanizmu spostrzegania. Przeniesienie uwagi z obiektu widzianego przez gładką taflę na obiekt w niej odbity – jego obraz pozorny – wymaga ponownej akomodacji oka. Obserwator „przełącza" się wówczas między odbiorem obrazu rzeczywistego a obrazu pozornego. Te przełączenia są dla percepcji przezroczystości w architekturze **czynnikiem zasadniczym**, ponieważ tylko tak obserwator jest w stanie wyodrębniać postrzegane bodźce. Pomimo większej intensywności obrazu rzeczywistego patrzący może skupić uwagę na elementach obrazu pozornego. Często szczegół, detal „słabszego odbicia" wydaje się bardziej interesujący niż „silniejszy", ale monotonny, obraz rzeczywisty.

W powszechnym odbiorze architektury występują liczne przykłady opisywanej konfiguracji obrazów pozornych i rzeczywistych. Elementy wnętrza widoczne przez przezroczyste tafle zazwyczaj są odległe od obserwatora o kilka metrów, natomiast szczegóły „odzwierciedlonego" krajobrazu miejskiego czy naturalnego znajdują się już setki metrów dalej. Obiekty te spostrzegane są jednocześnie, pomimo że – zgodnie z nomenklaturą metody VIA (*Visual Impact Assessment*) – umiejscowione są w innych **strefach wizualnych: bliskiej i pośredniej lub dalekiej** [195, s. 12]. Przezroczysta elewacja biurowca przy 7–11 Avenue des Flandres w Paryżu (arch. Françoise Raynaud, 2004) jest przykładem działania tego mechanizmu. Przeniesienie wzroku z elementów obrazu rzeczywistego: szklanych żeber, białych wsporników w górnej części kondygnacji, przeciwsłonecznych zasłon na elementy obrazu pozornego: dachy, mansardy, lukarny i kominy wymaga zmiany ogniska uwagi (ryc. 112).

W określonej sytuacji obrazy: rzeczywisty i pozorny tworzone przez dwa strumienie świetlne – przepuszczany i odbity – będą się nakładały w obrazie siatkówkowym w równych proporcjach, stanowiąc po 50% obrazu wynikowego. Prowadzi to do powstania szczególnego **efektu wizualnego równowagi obrazowej**: płynnego przenikania się obrazów wnętrza budynku z obrazem pozornym otoczenia (ryc. 113). W odbiorze dokonywanym przez obserwatorów architektury taka relacja odczytywana jest jako „stopienie się architektury z otoczeniem – krajobrazem" [141, s. 74] lub „zatracenie realnej

na gładkiej przezroczystej tafli. Jeden obraz znajdował się w ruchu, drugi pozostawał statyczny. Osiągnięto w ten sposób sytuację zbliżoną do rzeczywistej. Obserwator miał za zadanie skupić uwagę na poruszającym się bodźcu lub na bodźcu statycznym. W rezultacie uzyskano aktywację odpowiednich ośrodków kory skroniowej. W przypadku obserwacji twarzy był to zakręt wrzecionowaty „specyficznie odpowiedzialny za rozpoznawanie twarzy" (*FFA – Fusiform Face Area*) [89], a w przypadku budynków tzw. przyhipokampalne pole miejsca (*PPA – Parahippocampal Place Area*).

granicy między wnętrzem a przestrzenią zewnętrzną" [170, s. 12] i zazwyczaj jest poszukiwana przez projektantów. Formalne efekty „iluzyjne" [170, s. 12] są niewątpliwie ekscytujące, ale – należy tu wyraźnie zaznaczyć – ograniczają się do niewielkich obszarów tafli. Ze względu na zmienne warunki oświetlenia dziennego i pogodę występują zazwyczaj przez krótki czas.

Efekt ten wyraziście przedstawia fotografia wewnętrznego narożnika budynku biurowego Ministerium für Schule und Weiterbildung w Düsseldorfie (arch. Gatermann und Schossig, 2006) (ryc. 113). Kąt obserwacji nie przekracza granicznych 40°, więc tafla zachowuje parametry optyczne dla ujęć frontalnych – w przypadku szkła budowlanego około 4–8% odbicia. Obrazy przenikają się w równym stopniu. Prawdopodobnie jest to następstwem wyjątkowej konfiguracji wartości pierwotnych strumieni świetlnych i parametrów tafli, które prowadzą do powstania strumieni wtórnych $\varphi_{1.R}$ oraz $\varphi_{2.T}$ o zbliżonej wartości. Te następnie przyczyniają się do utworzenia obrazów o podobnej intensywności. Na przedstawionej fotografii ujęcie bardziej przypomina kompozycję zachodzących na siebie plam niż przezroczystą taflę. Trudno przypisać poszczególne obszary obrazu działaniu określonego strumienia świetlnego. W polu widzenia obserwatora nie znajdują się żadne łatwo rozpoznawalne obiekty charakterystyczne, jak rośliny, zwierzęta lub znaki pisma. Umysł nie może dokonać prostego rozpoznania treści. W przypadku tego ujęcia spełniony zostaje warunek „nakładania się kształtów" [13, s. 258], jeden z podstawowych wykładników spostrzegania przezroczystości określony przez Arnheima. Jest to warunek „konieczny, ale jednak niewystarczający" [13, s. 258].

6.7.3. Upośledzenie mechanizmu określania położenia tafli

Odbicie lustrzane jest ściśle związane z procesami spostrzegania przezroczystości. W obserwacji gładkich tafli obraz pozorny zazwyczaj przeważa nad przepuszczanym przez taflę obrazem rzeczywistym i zakłóca jego odbiór. W krytyce architektonicznej obrazy pozorne – jako nieautentyczne – wciąż budzą wiele emocji, szczególnie w rozważaniach o tzw. szczerości i otwartości architektury, głównie w przypadku zastosowania szkła refleksowego [183].

Wygląd obiektu kształtuje się jednak poza umysłem obserwatora w wyniku interakcji strumieni świetlnych i różnych rodzajów tafli. Zależy on przede wszystkim od kąta obserwacji, parametrów optycznych tafli i wartości pierwotnych strumieni świetlnych. Spostrzeganie przezroczystości podlega innym regułom. Studia literaturowe i eksperymenty przeprowadzone przez autora pozwalają na wysunięcie przypuszczenia, że obraz pozorny pełni w spostrzeganiu przezroczystości



Ryc. 113. Efekt wizualny równowagi obrazowej – taka sama intensywność obrazów: rzeczywistego i pozornego odbieranych przez obserwatora. Siedziba Ministerium für Schule und Weiterbildung w Düsseldorfie (arch. Gatermann und Schossig, 2006).

Źródło: fot i opracowanie autor

istotną pozytywną rolę. Co prawda zakłóca odbiór obrazu rzeczywistego, ale zarazem ułatwia określenie prawidłowej pozycji tafli w przestrzeni i tym samym wpływa na budowę właściwej **trójwymiarowej reprezentacji otoczenia**.

6.7.3.1. Eliminacja obrazu pozornego

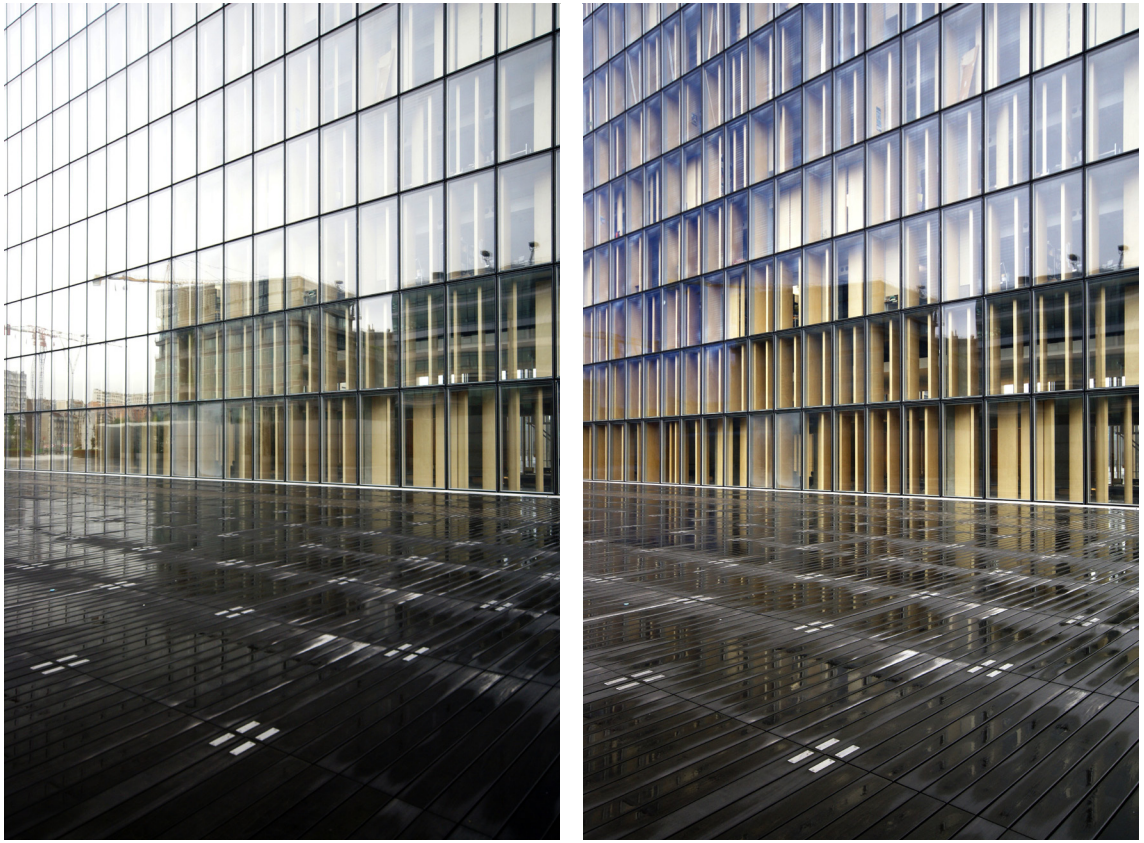
W celu potwierdzenia hipotezy o istotnej roli obrazów pozornych autor przeprowadził liczne eksperymenty. Zastosował w nich tzw. kontrolę negatywną [112, s. 3] polegającą na ustaleniu, jak zmienią się dostępne dla umysłu wskazówki spostrzegania przezroczystości, gdy **zabraknie obrazu pozornego**. W tym celu wykonane zostały fotografie z tego samego punktu obserwacji, jedna z użyciem filtra polaryzacyjnego[146], a druga bez niego.

Do badań terenowych autor wybrał obiekty współczesne, o bogatej dokumentacji fotograficznej, dostępnej zarówno w formie konwencjonalnej [96], jak i w zasobach wirtualnych. Eksperyment przeprowadzono przy oświetleniu dziennym przy różnej pogodzie. Otrzymane wyniki można więc uznać za reprezentatywne i możliwe do uogólnienia. Szczegółowo zaprezentowane zostaną rezultaty badań dwóch obiektów: Francuskiej Biblioteki Narodowej w Paryżu[147] (arch. Dominique Perrault, 1995) oraz Miejskiego Muzeum Sztuki i Designu – Neues Museum w Norymberdze (arch. Volker Staab, 2000).

---

[146] W wyniku odbicia od tafli następuje polaryzacja światła. Takie spolaryzowane światło można zablokować przy wykorzystaniu odpowiednich filtrów [209; web 16]. Zastosowany filtr polaryzacyjny Opticam Pol 77 mm powoduje wystąpienie nietypowych barw – w miejscu zablokowanego strumienia spolaryzowanego pojawia się ciemnoniebieskie zabarwienie. Porównywane ujęcia Miejskiego Muzeum Sztuki i Designu pozbawiono barw, aby wyeliminować wpływ fałszywej nienaturalnej koloryzacji.

[147] Bibliothèque nationale de France to biblioteka centralna mająca za zadanie gromadzenie i archiwizowanie wszystkich frankofońskich wydawnictw i mediów. Obiekt zajmuje dużą działkę nad Sekwaną w południowo-wschodniej części Paryża. Od pierwszych szkiców aspekt przezroczystości był dla architekta zasadniczy. Magazyny, w których gromadzone są zbiory, zaprojektowane na planie litery „L", miały powstać jako: „wieże zbudowane z przezroczystego szkła od poziomu placu do szczytu, od lewej do prawej". Budynek miał przypominać „butelkę wody mineralnej", a wieże „będą jak szklane skrzynie, w których z zewnątrz będzie widoczny wzrost i rozwój budynku". Architekt wyraźnie podkreśla, że „za przezroczystą osłoną biblioteka jest tak żywa, jak zawsze to sobie wyobrażałem" [102].
Od rozpoczęcia realizacji obiekt wzbudzał i budzi nadal liczne kontrowersje w wielu dziedzinach, od skali poczynając, na przekroczeniach budżetu kończąc. Szczególnie dużo uwag zgłoszono w odniesieniu do szklanej powłoki magazynów. „Zbyt późno zdano sobie sprawę, że biblioteka zbudowana ze szkła nie zapewni książkom wystarczającej ochrony przed promieniowaniem UV oraz że nadmierne nasłonecznienie będzie przegrzewać wieże [...]. Dodatkowo, projekt fasady nie przewidywał odpowiedniej wentylacji. Doprowadziło to do kondensacji pary wodnej na wewnętrznej stronie szkła – i tym samym – wystąpienia kolejnego zagrożenia dla delikatnych zbiorów" [116]. Kontrowersyjny projekt próbowano zmieniać już po rozpoczęciu budowy. Wewnątrz szklanych wież magazynowych dodano drewniane przesłony, których zadaniem jest ograniczenie ilości światła. Zainstalowano także kosztowny i energochłonny system klimatyzacji w celu sztucznego utrzymania odpowiednich warunków dla przechowywanych zbiorów.



Ryc. 114. Dwa ujęcia dokumentujące przebieg eksperymentu. Prawe zostało wykonane z użyciem filtra, lewe bez niego. Francuska Biblioteka Narodowa w Paryżu (arch. Dominique Perrault, 1995).

Źródło: fot. i opracowanie autor

Badania terenowe Francuskiej Biblioteki Narodowej przeprowadzono w 2009 roku w maju, wczesnym przedpołudniem, przy znacznym zachmurzeniu, zaraz po wystąpieniu opadów deszczu. Wilgotne podłoże wpłynęło na powstanie dodatkowych refleksów. Na ryc. 114 ujęcie prawe wykonano przy zastosowaniu filtra. W zestawieniu z ujęciem lewym odbicie zostało niemal całkowicie stłumione, a w odbiorze dominuje obraz rzeczywisty, tworzony przez strumień świetlny przepuszczany przez taflę[148]. Filtr polaryzacyjny redukuje jednak nie tylko refleksy na taflach, ale także światło odbite od wilgotnej nawierzchni placu. Obie fotografie ukazują, zgodnie z przypuszczeniem, „znaczne zwiększenie przezroczystości przegrody pozbawionej obrazu pozornego” [48].

[148] Relecję z badań tego samego obiektu z innego punktu obserwacji opublikowano w [48].

Podobne efekty wizualne powstają także na elewacjach o nieprostoliniowej geometrii. Szczególnie interesujący jest budynek Miejskiego Muzeum Sztuki i Designu w Norymberdze. Kąt nachylenia tafli do kierunku patrzenia jest inny w każdym miejscu elewacji. W zależności od punktu obserwacji intensyfikuje to lub osłabia odbicie. Załączona dokumentacja z badań terenowych z marca 2010 roku pokazuje ujęcie, w którym efekt wygaszenia był najlepiej widoczny (ryc. 115).

W odbiorze przezroczystej powierzchni dominuje obraz rzeczywisty. Obraz pozorny ulega znacznemu osłabieniu lub zostaje wyeliminowany całkowicie. Na ujęciach wyraźnie widoczne są szczegóły wnętrza, wyposażenie pomieszczeń lub elementy umieszczone po drugiej stronie przezroczystej przegrody. W warstwie formalnej niezakłócona transmisja obrazu prowadzi do złudnej „dematerializacji" [157, s. 97] przezroczystej płaszczyzny.



Ryc. 115. Dwa ujęcia dokumentujące przebieg eksperymentu. Prawa fotografia została wykonana z użyciem filtra, lewa bez niego. Miejskie Muzeum Sztuki i Designu w Norymberdze (arch. Volker Staab, 2000).

Źródło: fot. i opracowanie autor

Usunięcie obrazu pozornego ma bardzo istotne konsekwencje poznawcze w architekturze. W obrazie siatkówkowym dominuje obraz rzeczywisty, wnętrze obiektu jest doskonale widoczne przez pozbawione odbić przezroczyste tafle. Widoczny obraz rzeczywisty niczym nie różni się od obrazu, który powstawałby, gdyby tafli w ogóle nie było. W obrazie siatkówkowym następuje

eliminacja tych **wskazówek**, które są bardzo istotne dla umysłu. Określone cechy obiektów zostaną spostrzeżone „tylko wtedy, kiedy będą w stanie przyciągnąć uwagę" [97, s. 78]. Brak lokalnych rozbłysków, np. dla obiektów obłych lub większych obszarów obrazu pozornego[149] dla płaskich tafli nie pozwala na prawidłowe określenie ich pozycji w otoczeniu i **fałszuje powstającą w umyśle trójwymiarową reprezentację otoczenia**.

Przeprowadzone eksperymenty odtwarzają zjawiska optyczne zachodzące w warunkach naturalnych. Określony bilans strumieni świetlnych przepuszczanych i odbitych może spowodować całkowitą dominację obrazu rzeczywistego nad pozornym. Wtedy tafla znajduje się poza możliwościami spostrzeżenia przez obserwatora. Wyeliminowanie odbitego strumienia świetlnego i, co za tym idzie, obrazu pozornego zwiększa wrażenie przezroczystości materiału, ale jednocześnie upośledza zdolność spostrzegania „niewidzialnych" przegród. „Usuwa" powierzchnię, na której powstaje obraz pozorny, nie tylko z pola widzenia, ale także z umysłowej trójwymiarowej reprezentacji otoczenia. Trudniej ją zauważyć, a tym samym łatwiej w nią uderzyć, poruszając się w budynku lub w jego pobliżu. Przekonywających dowodów na wagę problemu dostarczają obserwacje prowadzone w praktyce, które opierają się na analizie zapisów kamer monitoringu [45]. Kolizje z taflą zdarzają się także w sytuacjach, które wydawałyby się nie budzić wątpliwości pod względem kognitywnym. Z uwagi na zastosowanie odpowiednich rodzajów, typów szkła konsekwencje zdrowotne takiego zdarzenia rzadko stanowią zagrożenie życia, ale urazy bywają dotkliwe – np. złamania nosa czy stłuczenia kości twarzy.

W przypadku spostrzegania tafli następuje tu złożone zjawisko, które można rozpatrywać z perspektywy różnych procesów poznawczych. W momencie kolizji obserwator znajduje się w ruchu. Wiadomo, że obserwacja dynamiczna pozwala wykryć wiele „właściwości pola wzrokowego [widzenia – przyp. autora]" [191, s. 312], które nie były dostępne przy odbiorze statycznym. Należy więc logicznie założyć, że zdolność spostrzegania przez obserwatora powinna się zwiększyć. Z drugiej strony jednak, w czasie ruchu jego umysł musi nieustannie weryfikować nowe dane, które napływają z każdą zmianą pola widzenia, perspektywy i oświetlenia. Zmieniają się one tym szybciej, im szybciej porusza się obserwator. W takiej sytuacji działaniem umysłu rządzi zasada tzw. **przetargu między szybkością a poprawnością**. Umysł próbuje identyfikować obiekty i oceniać ich położenie przez „dopasowanie właśnie zarejestrowanych danych zmysłowych do trwałych obrazów umysłowych"

[149] W ramach procesów III fazy obiekty, które wydają się „pasować do sceny", są „identyfikowane szybciej i z większą dokładnością" [262, s. 375] niż te, które wydają się pozbawione kontekstu. Z tego punktu widzenia obszary obrazu pozornego, jako zawierające treści niepowiązane kontekstowo z obrazem rzeczywistym, będą trudniejsze do zidentyfikowania.

[191, s. 306]. Jeśli dane te napływają z dużą prędkością, to ich porównanie ma charakter całościowy i na skutek pomijania niewielkich różnic często „prowadzi do błędów w identyfikacji” [191, s. 306][150].

W spostrzeganiu przezroczystości w architekturze istotną rolę może odgrywać także mechanizm budowy trwałych obrazów umysłowych oraz zdobywania przez obserwatora określonych doświadczeń. Odbiorcy powszechnie przypisują powierzchniom gładkim cechę przezroczystości, nawet jeśli nie ma po temu żadnych przesłanek, a na tafli widoczny jest wyłącznie obraz pozorny (zob. ryc. 116). Budowane skojarzenie prawdopodobnie opiera się na poprawnej obserwacji, zgodnie z którą wszystkie obiekty przezroczyste są gładkie. Choć stwierdzenie odwrotne: „wszystkie gładkie powierzchnie przepuszczają światło”, nie jest prawdziwe, to dzięki skojarzeniom jest rozpowszechnione.



Ryc. 116. Fragment elewacji centrum recepcyjnego Międzynarodowej Wystawy Budownictwa (IBA-Terrassen) w Grossräschen (arch. Ferdinand Heine Architekt BDA, 2003). W zaznaczonym linią przerywaną prostokącie na górnym ujęciu znajdują się rzeczywiste tafle przepuszczające światło oraz ich odzwierciedlenie w lustrzanej okładzinie będącej integralną częścią budynku (fragment ograniczony linią przerywaną widoczny w powiększeniu na dolnej fotografii). Autor przeprowadził badanie wśród 90 studentów Wydziału Architektury PWr, uczestników wykładu wybieralnego „Przezroczystość w architekturze współczesnej”. Większość (91,6%) badanych wskazywała obydwa obszary jako przezroczyste.

Źródło: fot. i opracowanie autor

[150] Prowadzone badania pokazują, że rozróżnienie obrazów, które są do siebie podobne (np. liter „P” i „R”), zajmuje średnio 20% więcej czasu niż tych, które wyraźnie się od siebie różnią (np. „W” i „G”) [266, s. 162].



Ryc. 117. Zmiana współczynnika odbicia w zależności od kąta obserwacji. Tafla w ujęciu frontalnym jest przezroczysta, widziana pod kątem – lustrzana. **A.** Miasto Nauki w Paryżu (arch. Adrien Fainsilber, inż. RFR – Rice Francis Ritchie, 1986). **B.** Biurowiec Tetragon we Frankfurcie nad Menem (arch. Bundschuh/Baumhauer GmbH, 2003).

Źródło: fot. i opracowanie autor

Inną silną przesłanką/wskazówką, pomocną w budowaniu powyższego przekonania, jest specyficzna właściwość optyczna wszystkich materiałów przezroczystych, w których współczynnik odbicia zmienia się w zależności od kąta obserwacji (zob. rozdz. 3.1.2.5, s. 90). Ta zmienność może być bardzo istotną wskazówką dla umysłu. Przykładem jest stopniowe przejście ze stanu przepuszczania światła do stanu jego odbicia widoczne przy odbiorze dynamicznym. Jeśli obserwacja tafli rozpoczyna się pod dużym kątem, tafla wydaje się lustrzana. W początkowej pozycji obserwator nie jest w stanie odróżnić lustra od płaszczyzny przezroczystej, ponieważ obie wyglądają tak samo. W miarę poruszania się zmniejsza się kąt obserwacji i „obraz pozorny zostaje stopniowo zastąpiony obrazem rzeczywistym”[151] [45, s. 75]. W obserwacji dynamicznej z określonych punktów patrzenia większość przegród przezroczystych w architekturze ma właściwości lustra. Dopiero po zmianie punktu obserwacji przegroda będzie odbierana jako przezroczysta. Nawet te materiały, które mają nadzwyczajnie duży współczynnik przepuszczania – około 98–99% – oglądane pod dużym kątem będą odbijały niemal całe padające światło. W takiej sytuacji spostrzeganie przezroczystości – cechy materiału, zależy od tego, czy obserwator ma możliwość przemieszczenia się i zmiany punktu obserwacji. W przypadku obserwacji statycznej staje się to niemożliwe. Przykładem jest fasada biurowca Tetragon we Frankfurcie nad Menem (arch. Bundschuh/Baumhauer GmbH, 2003) oraz oranżerie w Mieście Nauki w Paryżu (arch. Adrien Fainsilber, 1986). Tafla może być odbierana zarówno jako lustrzana, jak i przezroczysta w zależności od kąta obserwacji (ryc. 117).

6.7.3.2. Ślepota pozauwagowa

Innych istotnych hipotez dotyczących roli nałożenia obrazów w spostrzeganiu przezroczystości dostarczają eksperymenty, które prowadzone są nad tzw. **wspomaganiem wizji** (*enhanced vision, augmented reality*)[152]. W badaniach z 1975 roku [188] wykazano istnienie zjawiska ślepoty

[151] Zmianę można zauważyć także w przypadku szkła refleksowego, tylko że w obserwacji frontalnej nie stanie się ono przezroczyste.

[152] Systemy wspomaganej wizji polegają na uzupełnieniu pola widzenia obserwatora przez projekcje dodatkowych informacji w taki sposób, aby nie zakłócać odbioru głównego strumienia danych. Projekcja dokonywana jest przy wykorzystaniu cyfrowego wyświetlacza na wewnętrznej stronie tafli lub pryzmatu, pochylonej o kąt 45° w stosunku do osi patrzenia. W rezultacie obraz pozorny – lustrzane odbicie wyświetlacza – zostaje nałożony na obraz rzeczywisty, do którego powstania przyczynia się strumień przepuszczany przez element optyczny. Ten sposób prezentacji danych (*head-up display*, *head-mounted display*) stosuje się w sprzęcie wojskowym oraz niektórych modelach samochodów. Technologie te są obecnie intensywnie badane w związku z potencjalnym wprowadzeniem do użytku przez osoby z upośledzeniem określonych mechanizmów fizjologicznych, np. jaskrą, zwyrodnieniem barwnikowym siatkówki, zaburzeniami pola widzenia. System wspomagania wizji jest głównym elementem przenośnego komputera Google Glass – na początku 2014 roku trwały jeszcze próby urządzenia. Zastosowano w nim system projekcji pryzmatycznej bezpośrednio do obszaru dołka ocznego (*virtual retinal display*) [web 14; web 5].

pozauwagowej (*inattentional blindness*). Polega ono na pomijaniu istotnych, ale niespodziewanych zmian zachodzących w ramach jednego potoku danych (*UEs – significant but unexpected events*) w czasie, „gdy uwaga obserwatora skupiona jest na danych zawartych w drugim potoku, nawet jeśli obydwa znajdują się w polu widzenia obserwatora" [12, s. 205]. Rezultaty tych badań są bardzo interesujące i rzucają nowe światło także na kwestię spostrzegania przezroczystości[153]. Po pierwsze, zjawisko ślepoty pozauwagowej częściej występuje w przypadku „przezroczystego nałożenia obrazów" [239, s. 1070]. Po drugie, obserwatorzy mają trudności w dostrzeganiu nawet bardzo wyrazistych zmian (*salient visual change*), jeśli pozostają skupieni na innym elemencie obrazu. W spostrzeganiu przezroczystości może to przekładać się na **pomijanie obrazów pozornych, nawet jeśli te są wyraziste**. Potwierdza to zaskakująca w świetle wcześniejszych relacji obserwacja (zob. przyp. 150, s. 225), iż badani łatwiej dostrzegają bodźce, które są do siebie podobne, niż te, które różnią się od siebie. Po trzecie, wyniki wskazują, że nie ma świadomego spostrzeżenia bez skupienia uwagi na postrzeganym bodźcu [239, s. 1059]. Wiadomo, że wypadki „wejścia w taflę" występują głównie wtedy, gdy obserwator zaabsorbowany jest inną czynnością – np. czyta gazetę, niesie kubek z kawą – lub dokonuje fiksacji na celu rzeczywistym, czyli tym, który znajduje się po drugiej stronie tafli. Potwierdzają to także inne ogólne badania prowadzone nad kolizjami. Z opracowań tych wynika, że „nadmierna liczba przetwarzanych bodźców (*high perceptual load*) ogranicza wpływ czynników rozpraszających uwagę", tzw. dystraktorów [138, s. 1445].

W obowiązujących normach i przepisach budowlanych dostrzega się ten problem. Sposoby przeciwdziałania zderzeniom z przepuszczającymi światło gładkimi taflami mają formę prawnych uregulowań. W wielu krajach UE w standardach i regulacjach budowlanych przezroczyste elementy montowane na wysokości oczu człowieka [57, § 2.24] muszą być oznaczone za pomocą specjalnych markerów (pasków lub kropek)[154]. Podobne regulacje dotyczą w Polsce skrzydeł drzwiowych [228, § 295].

6.7.4. Modyfikacja obrazu jako wskazówka przezroczystości

W III fazie przetwarzania bodźców umysł korzysta z wielu mechanizmów porównawczych w celu zidentyfikowania przezroczystości. Najbardziej istotną grupę stanowią te, które dokonują treściowej

[153] Sposoby badania tego zjawiska mogą wydawać się co najmniej kontrowersyjne, ale naukowcy celowo podkreślają ekstremalny charakter obserwowanych wydarzeń. W eksperymentach prowadzonych przez Daniela J. Simonsa w 1999 roku uczestniczyła osoba w kostiumie goryla, która pojawiała się w czasie rozgrywki meczu koszykówki i oddział konfederatów w historycznych strojach maszerujący we współczesnym otoczeniu [239].

[154] Oznaczenia są wymagane na dwóch wysokościach: 850–1000 mm i 1400 mm powyżej poziomu wykończonej podłogi. Logo firmy lub inne oznaczenie musi mieć 150 mm lub składać się z ciągłych pasm o szerokości co najmniej 50 milimetrów.

analizy obrazu siatkówkowego. Strategiczny, z punktu widzenia orientacji przestrzennej, wydaje się mechanizm, który wykrywa obrazy pozorne – dokonuje oceny zgodności określonych obszarów pola widzenia z kontekstem.

Inną istotną wskazówką dla spostrzegania przezroczystości są modyfikacje i przekształcenia obrazu rzeczywistego wskazujące na odkształcenie toru promieni przepuszczanych przez taflę. Zmiany, które zapewne są kluczowe, powodowane są przez dwie grupy zjawisk optycznych: **wybiórcze pochłanianie** przy przepuszczaniu i **załamanie – zmianę toru promienia światła** na płaszczyźnie tafli – czyli na granicy między dwoma ośrodkami o różnych współczynnikach załamania. Wykrywanie modyfikacji obrazu w obu przypadkach odbywa się na podobnej zasadzie: przez porównanie informacji sensorycznej – obrazu siatkówkowego – ze wzorcem umysłowym. W obu przypadkach proces ten najprawdopodobniej przebiega w końcowej III fazie przetwarzania napływających informacji.

6.7.4.1. Zabarwienie obrazu

Od czasów Fabia Metellego, który badał przezroczystość w środowisku pozbawionym barwy, wielokrotnie rozważano spostrzeganie przezroczystości przy uwzględnieniu bodźców barwnych. Kluczowe znaczenie ma tu zapewne większa liczba informacji odbieranych przez umysł. Nie jest to tylko jaskrawość powierzchni (*brightness*) – wynikająca ze zmniejszenia się ilości światła docierającego do siatkówki – ale także barwa (*hue*) – udział czerwonego, zielonego i niebieskiego koloru, oraz nasycenie (*saturation*) – ilość równocześnie postrzeganego światła białego. Podobnie jak w pracach Metellego, także w tych opracowaniach oparto się na optycznym złudzeniu przezroczystości wywoływanym u obserwatora przez prezentację różnobarwnych plam [77, s. 472–473]. W spostrzeganiu przezroczystości w architekturze proces powstawania ostatecznej barwy ma mniejsze znaczenie [107, s. 3][155]. Sam **fakt zabarwienia obrazu** wydaje się działać jako wystarczająca wskazówka przezroczystości dla umysłu. Badania wskazują, że spostrzeganie przezroczystych filtrów odbywa się – w zależności od ich monochromatyczności – w odmienny sposób i zachodzi w różnych fazach przetwarzania bodźców wzrokowych.

[155] Badacze spierają się, który z tych dwóch sposobów mieszania barw jest najważniejszą wskazówką w budowaniu złudzenia przezroczystości w środowisku barwnym. Czy może wyłącznie addytywny, co wynikałoby z prawa Talbota o mieszaniu strumieni światła [281, s. 21]? Czy może jednocześnie addytywny i substraktywny, co może być rezultatem tego, że obserwator widzi nie tylko światło, które zostaje przez taflę przefiltrowane, ale także to, które się od niej odbije [107, s. 3]? Dyskusja specjalistów trwa, a autor nie rozstrzyga tego sporu.

Spostrzeganie filtrów jasnych o niewielkiej selektywności – np. tafli standardowego szkła budowlanego, wody, cienkiej warstwy lodu – przebiega podobnie jak w przypadku spostrzegania przezroczystości w środowisku achromatycznym, czyli skuteczne są wszystkie wymienione w poprzednich rozdziałach wskazówki. Niewielkie przebarwienie odbieranego obrazu umysł kompensuje **mechanizmem stałości kolorów** (*color constancy*). Wywodzi się on z potrzeby dostosowania rejestrowanych bodźców do zmiennych warunków środowiska. Dzięki kompensacji barwy bodźce są postrzegane prawidłowo niezależnie od zmieniającej się barwy światła dziennego, innego rano, w południe i o zachodzie słońca. Gdy światło złożone – dzienne – ma szeroki zakres częstotliwości i nie jest monochromatyczne, poszczególne czopki siatkówki oka rejestrują różne zakresy długości fal światła odbitego przez obiekty znajdujące się w polu widzenia. Na podstawie tych informacji umysł określa przybliżony widmowy skład światła, które oświetla scenę, lub selektywność filtra przepuszczającego strumień świetlny. Ta wartość jest następnie „odejmowana" (*discounting a known illuminant*) [78, s. 1664] od odbieranych wartości w celu spostrzeżenia właściwej barwy widzianych obiektów. Obserwator odczuwa wtedy wyłącznie zmniejszenie jasności obrazu wynikające z pochłaniania części strumienia przez filtr. Barwy ze względu na działający mechanizm stałości wydają się obserwatorowi niezmienne, ponieważ zachowane zostają ich wzajemne relacje: dach nadal jest ceglasty, ściana biała, bluszcz na ścianie zielony. Ze względu na podobieństwo działających mechanizmów do procesów zachodzących w środowisku monochromatycznym można przypuszczać, że spostrzeganie filtrów jasnych zachodzi w II fazie przetwarzania bodźców.

Przy zastosowaniu ciemnych filtrów o wysokiej selektywności opisany powyżej mechanizm nie funkcjonuje poprawnie, ponieważ – w wyniku przepuszczenia przez filtr – światło staje się niemal monochromatyczne: zarówno dach, ściana, jak i bluszcz widziane są jako czerwone. Obecność barwnej tafli-filtra zostanie od razu zauważona ze względu na **nienaturalne zabarwienie obrazu**, którego nie można skompensować. Wyniki badań wskazują na to, że rozpoznanie nienaturalnego zabarwienia zachodzi w **III fazie** [258, s. 215]. Istotną rolę w tym procesie odgrywają mechanizmy uczenia się i zapamiętywania.

W badaniach nad odwzorowaniem kolorów stosuje się pojęcie „naturalności barw". Do tych analiz wykorzystuje się trzy przykładowe „obiekty", np. niebo, trawę, karnację twarzy [290, s. 141; także 291]. Ocena „naturalności" dokonywana przez obserwatora polega na „porównaniu informacji otrzymywanej w wyniku analizy zewnętrznych danych sensorycznych i wewnętrznych reprezentacji umysłowych" [98, s. 96]. Badania wskazują, że wrażenie „naturalności" spostrzeganej sceny „odzwierciedla stopień zgodności z zapamiętaną rzeczywistością" [98, s. 97]. Obserwatorzy



Ryc. 118. Zabarwienie światła i – w konsekwencji – zabarwienie obrazu. Ambasada Królestwa Niderlandów w Berlinie (arch. OMA, 2005).

Źródło: fot. i opracowanie autor

polegają na swoich poprzednich doświadczeniach dotyczących obiektów, których barwę zapamiętali, gdy obserwowali je w warunkach neutralnych, oświetlone światłem dziennym[156]. Mechanizm ten jest również skuteczny, gdy brakuje obszaru odniesienia. Monochromatyczne zabarwienie, które obejmie całe pole widzenia, prowadzi do skutecznego spostrzeżenia przezroczystości. W środowisku achromatycznym zmniejszenie jasności nie było rozstrzygające, jeśli dotyczyło całego pola widzenia. Podana zasada dotyczy także jasnych filtrów neutralnych w środowisku barwnym.

Tafle barwne stosowane są powszechnie, więc nienaturalna koloryzacja może być obserwowana w wielu codziennych sytuacjach. Doświadcza tego każdy użytkownik okularów przeciwsłonecznych. Jeśli ich filtr nie jest zbyt ciemny – gęsty, mechanizm stałości skompensuje zniekształcenie barw i wkrótce okulary przestają być dostrzegane przez użytkownika. W sytuacjach związanych ze spostrzeganiem przezroczystości w architekturze nienaturalne zabarwienie jest wyraźną wskazówką istnienia tafli, ponieważ albo obraz rzeczywisty zostaje pozbawiony naturalnych kolorów, albo przepuszczany strumień świetlny zostaje wybiórczo przefiltrowany i oświetlane przez niego elementy zmieniają barwę[157]. Oba przypadki można zaobserwować w budynku Ambasady Królestwa Niderlandów w Berlinie (arch. OMA, 2005). Szklane żebra wykonane z klejonych warstwowo tafli są wyraźnie zarysowane na tle odzwierciedlanego nieba. Ponieważ obszar odniesienia jest widoczny, spostrzeżenie nie nastręcza trudności (ryc. 118). W innym miejscu 200-metrowy korytarz, który łączy w budynku pochylniami wszystkie kondygnacje, „nadwiesza się nad dziedzińcem" [189]. Wykonana z zielonego szkła podłoga filtruje światło. Stalowoszara elewacja zmienia barwę, a obserwator wyraźnie dostrzega taflę, z której pada niemal monochromatyczne światło.

Przezroczyste ściany działowe – zielone filtry – zostały zastosowane w budynku przedszkola Medo Brundo w Zagrzebiu (arch. Hrvoje Njitrić, Davor Bušnja, njiric & arhitekti doo, 2008). Przeszklenie obejmuje całą wysokości pomieszczenia, obraz rzeczywisty zabarwiony jest więc w całości, a w polu widzenia nie ma obszaru odniesienia [46, s. 30]. Odmienna nienaturalna koloryzacja wyraźnie

[156] Interesujące rezultaty przynoszą badania prowadzone nad parami identycznych obrazów o naturalnym i nienaturalnym zabarwieniu [293, s. 1671]. Oba przyczyniały się do pobudzenia obszarów V1 oraz V4 kory wzrokowej w mózgu (I i II faza), ale wyłącznie te, które odbiegały od normy, powodowały aktywację obszaru określanego jako grzbietowo-boczna kora przedczołowa (*dorsolateral area of the frontal cortex*). To zróżnicowanie wyraźnie wskazuje na aktywację procesów wyższej fazy.

[157] Maria Rzepińska określa taką barwę jako objętościową, przestrzenną, która „związana jest z przedmiotami przezroczystymi, na przykład z barwną cieczą, blokiem kolorowego szkła, płomieniem itp. Zasadniczą cechą takiej barwy jest to, że poprzez nią widoczne są inne przedmioty" [230, s. 20].



Ryc. 119. Nienaturalne zabarwienie obrazu rzeczywistego. Barwne tafle zastosowane w przedszkolu Medo Brundo w Zagrzebiu (arch. Hrvoje Njitrić, Davor Bušnja, njiric & arhitekti doo, 2008).

Źródło: fot. i opracowanie autor

podkreśla istnienie przezroczystej przegrody. Obraz rzeczywisty został całkowicie pozbawiony akcentów, czerwonych lub niebieskich, ponieważ tafle działają jak monochromatyczny filtr (ryc. 119). Barwne tafle są elementem interesującej koncepcji edukacyjnej zrealizowanej przez architektów. Za kolorowymi przeszkleniami znajdują się pomieszczenia administracyjne i techniczne, a tafle oddzielają świat dziecka od świata dorosłych. Można przez nie zobaczyć „kobietę piszącą na komputerze, księgową przeliczającą pieniądze, szycie bielizny i gotowanie posiłku" [21]. Przeszklone ściany korytarza pozwalają dzieciom na nabywanie nowych doświadczeń o świecie dorosłych przez kontakt wzrokowy.

6.7.4.2. Zniekształcenie geometryczne

Zniekształcenia geometryczne pojawiają się zarówno w obrazie pozornym (zob. rozdz. 6.7.1, s. 213 oraz ryc. 78, s. 159), jak i w rzeczywistym, tworzonym przez strumień przepuszczany przez taflę. W obu przypadkach mogą stanowić istotną wskazówkę przezroczystości dla umysłu, świadcząc o istnieniu ośrodka – przezroczystej przegrody, która odchyla tor promieni światła. Mechanizmy spostrzegania przezroczystości są podobne, ale różnią się w szczegółach w zależności od pochodzenia zniekształcenia i sposobu obserwacji.

Ze względu na zniekształcenie obrazu identyfikacja obserwowanych obiektów następuje dopiero w końcowych fazach, gdy dokonywana jest **klasyfikacja percepcyjna**. W tej fazie dochodzi do „konfrontacji danych zmysłowych [sensorycznych – przyp. autora] z danymi umysłowymi" [191, s. 279], czyli z zapamiętaną przez obserwatora **reprezentacją obiektu**. Próby klasyfikacji percepcyjnej podejmowane przez umysł nie zawsze muszą prowadzić do rozpoznania obiektu. Ten, którego obraz charakteryzuje się zbyt dużym zniekształceniem, może pozostać nierozpoznany. Dotyczy to również obiektów, z którymi obserwator nigdy wcześniej się nie zetknął. Szczegóły tych procesów podlegają intensywnym badaniom i tworzone są różne hipotezy dotyczące ich przebiegu.

Zgodnie z **teorią modeli** identyfikowany obiekt porównywany jest z jego **umysłowym wzorcem/szablonem** (*template*) – ogólnym niepodlegającym rozbiciu zapisem wyglądu obiektu (*image-based*). Na szablon składa się wiele ujęć – obrazów obiektu widzianego z różnych punktów obserwacji [191, s. 292]. Można go porównać z kolekcją dwuwymiarowych fotografii „przechowywanych" w tzw. **magazynie ikonicznym**. Rozpoznanie następuje wyłącznie wtedy, gdy obserwowany obiekt i szablon w pełni do siebie pasują (*best match*). Gdy dane nie pokrywają się, obiekt nie zostanie prawidłowo rozpoznany. Ten sposób identyfikacji nie może być wykorzystywany

do rozpoznawania obiektów zniekształconych, ponieważ porównaniu podlegałby zniekształcony obraz zmysłowy z jego wcześniej zakodowanym niezniekształconym szablonem. Szczegóły tych procesów spostrzegania podaje opracowanie pt. *Psychophysical support for a two-dimensional view interpolation theory of object recognition* [59].

Teoria cech – określana jako teoria analizy przez syntezę – przedstawia inne wyjaśnienie, zgodnie z którym na wczesnych fazach spostrzegania pewne zespoły komórek siatkówki, zwane detektorami cech, dokonują wykrycia danych właściwości obiektów – ich **cech charakterystycznych** [164, s. 140]. Następnie, w późniejszych fazach, zachodzi porównanie cech tych obiektów z cechami zapamiętanych reprezentacji umysłowych [191, s. 281–282]. Zgodnie z tą koncepcją umysł „bezustannie konstruuje, sprawdza i rewiduje hipotezy o tym, co odbieramy za pomocą zmysłów" [164, s. 169]. Tak przebiegający proces przypomina mechanizm rozpoznawania wzorców (*pattern recognition*), który zachodzi np. przy czytaniu ręcznego pisma lub kontakcie obserwatora z nowym krojem czcionki[158].

Teoria cech wystarczająco wyjaśnia, jak możliwe jest rozpoznanie obiektów, których obraz został zniekształcony. Deformacja dostrzegana jest wtedy, gdy obraz obiektu nie jest spójny z wzorcem/szablonem umysłowym, ale obiekt wypełnia kryterium wyróżniających **cech charakterystycznych**. Spostrzeganie przezroczystości wydaje się konsekwencją interpretacji zniekształconych obrazów obiektów obserwowanych przez przepuszczające światło tafle. Wraz z przetwarzaniem zniekształconego obrazu następuje **postawienie hipotezy o istnieniu przezroczystego ośrodka**, który wywołał zniekształcenie[159]. Gdy występują zniekształcenia, umysł nie tylko rozpoznaje przezroczystość jako cechę materiału, ale także – w ograniczonym zakresie – determinuje właściwości optyczne tafli wywołującej zniekształcenie. Dokonuje tego na podstawie obserwacji deformacji, której uległy znane obiekty ortogonalne, np. linie proste, kraty, regularne siatki punktów. Wielu

[158] Znaki pisma zostaną poprawnie rozpoznane niezależnie od ich indywidualnej formy (np. litera „a" niezależnie, czy została napisana przez dziecko, osobę prawo- lub leworęczną, krojem szeryfowym czy tzw. blokowym). Umysł gromadzi w pamięci dane na temat cech charakterystycznych znaków, a nie ich wyglądu. Przykładowo zapis: „dwie pionowe równoległe linie połączone linią poziomą w połowie wysokości" może stanowić reprezentację wielkiej litery „H". Dzięki temu właściwie zostanie rozpoznany również znak napisany krojem, z którym obserwator nie zetknął się nigdy wcześniej. Według innych badaczy reprezentacje umysłowe mają budowę strukturalną i są przechowywane jako model trójwymiarowy [260, s. 3], wtedy rozpoznanie polega na podzieleniu obiektu na składowe elementy trójwymiarowe, tzw. geony (*geons*). „Klasyfikacja percepcyjna jest rozstrzygana na rzecz takiej reprezentacji, do której komponenty strukturalne są najlepiej dopasowane" [191, s. 293].

[159] Podejrzewa się, że z perspektywy ewolucji gatunku pierwszą formą kontaktu z tego typu zniekształceniem obrazu było doświadczenie polowania na ryby, a następnie obserwacja przez cienkie warstwy lodu.



Ryc. 120. Zniekształcenie obrazu rzeczywistego spowodowane odchyleniem toru promieni światła składających się na strumień świetlny przepuszczany przez masywną szklaną obudowę. **A.** Zniekształcenie obrazu zwiększa się z oddaleniem obiektu, który jest obserwowany. Krawędzie ścian na pierwszym planie są zniekształcone w niewielkim stopniu, linie proste widoczne w tle – w dużo większym. **B.** Przy znacznym oddaleniu obiektów ich obraz tworzy kompozycję oddzielnych, nierozpoznawalnych plam, widoczne zniekształcenie spowodowane dwukrotnym przepuszczeniem strumienia przez luksfery w narożniku budynku (fot. na następnej stronie). Sala gimnastyczna Maurice Berlemont w Paryżu (arch. Emmanuel Saadi, 2006).

Źródło: fot i opracowanie autor

pomocnych wskazówek dostarcza świat antropogeniczny, bogaty w linie i kąty proste. W architekturze ten mechanizm spostrzegania działa w przypadku zastosowania masywnych elementów przezroczystych: luksferów, ceowników szklanych.

Zgodnie z innym poglądem pojedynczy – nieruchomy – zniekształcony obraz nie jest wystarczający do spostrzeżenia przezroczystości. Ponieważ tafla „nie ma żadnych cech własnych", przekształca jedynie „cechy otoczenia w odbierany przez obserwatora obraz" [25, s. 1026]. Obserwowane zniekształcenie może być więc cechą tła, a nie rezultatem odchylenia toru promienia przez taflę o nierównej grubości. Zdaniem badaczy hipoteza o istnieniu ośrodka, który wywołał zniekształcenie, jest stawiana nie na podstawie jednego, ale całej **serii zniekształconych obrazów**. Ta seria „klatek" jest wynikiem ruchu obserwatora i zmiany punktu obserwacji. Co ważniejsze, badania pokazują, że umysł jest w stanie równocześnie rekonstruować przestrzenną formę zniekształcającej obraz tafli, np. „wie", czy relief na ornamentowej tafli jest wklęsły, czy wypukły itd. Mechanizm tego procesu odkryto w badaniach dotyczących tzw. widzenia maszynowego[160] (*machine vision*). Przypuszcza się, że opiera się na prostej obserwacji, że wszystkie „promienie światła są do siebie równoległe, zanim zostaną załamane" [25, s. 1027] przez elementy optyczne składające się np. ornamentową taflę. Pozwala to na oszacowanie stopnia „równoległości" promieni, które docierają do oka obserwatora. Upraszczając, można powiedzieć, że zniekształcenie obrazu tła staje się wskazówką do odtworzenia reliefu tafli w umyśle obserwatora[161].

Przezroczyste przegrody wykonane z luksferów na tyle skutecznie zniekształcają obraz rzeczywisty, że powszechnie wykorzystuje się je tam, gdzie pożądany jest dostęp światła dziennego, ale jednocześnie istnieje potrzeba zachowania prywatności. Luksfery zastosowano w sali gimnastycznej Maurice Berlemont w Paryżu (arch. Emmanuel Saadi, 2006) jako wielkoskalową obudowę ścian zewnętrznych prostopadłościennej bryły.

Zgodnie z prawami optyki luksfery-soczewki zniekształcają obraz wnętrza, również wszystkich charakterystycznych ortogonalnych elementów. Widać to wyraźnie na ryc. 120A. Powierzchnia luksfera jest gładka, obraz jest więc ostry, ale krawędzie otworów, linie słupów, ramy ślusarki **zostają przekształcone w linie faliste**. Przebieg promieni światła powoduje, że w niektórych miejscach

[160] Widzenie maszynowe to „przetwarzanie obrazu na poziomie sprzętowym" [257, s. 67] w systemach komputerowych. Ta nowa dziedzina technologii wykorzystuje osiągnięcia optyki, elektroniki, mechaniki, informatyki oraz sztuczną inteligencję. Zwrot „widzenie maszynowe" jest kalką anglojęzycznego określenia *machine vision*, które używane jest w polskiej literaturze przedmiotu.

[161] Akapit jest tłumaczeniem na język polski fragmentu anglojęzycznego artykułu autora pt. *Dynamic perception of transparency in architecture: mechanisms of the proper recognition of light permeable surfaces* [41].


B



Ryc. 121. Zniekształcenia obrazu w dwóch prostopadłych taflach. Muzeum Branly w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 2006).

Źródło: fot. i opracowanie autor

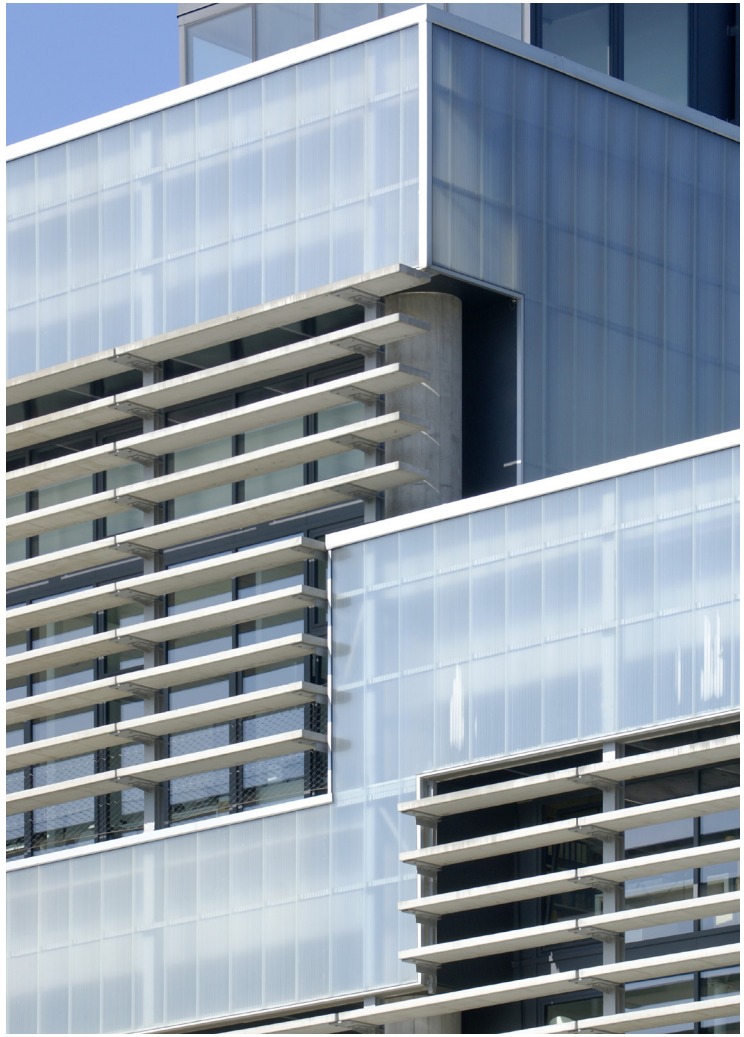
zostają one zdublowane lub rozszczepione, w innych linie proste wyglądają jak **krzywe**. Zniekształcenie jest niewielkie w środkowej części luksfera, ale bardzo wyraźne przy jego krawędzi. W narożniku budynku sali gimnastycznej dochodzi do charakterystycznego nałożenia zniekształceń w dwóch warstwach luksferów. Obraz obiektów znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie wydaje się **kompozycją oddzielnych plam** (zob. ryc. 120B). Zniekształcenie jest jeszcze większe, trudno odnaleźć kontynuację poszczególnych linii składających się na obraz. Gdy obserwator porusza się, efekty się intensyfikują, a spostrzeżenie przepuszczającej światło tafli jest łatwiejsze.

Podobne zniekształcenia obrazu występują na elewacji budynku administracyjnego Muzeum Branly w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 2006). Poszczególne pola typowej słupowo-ryglowej ściany kurtynowej zostały zabudowane szkłem o odmiennych właściwościach optycznych. Pas nadprożowy wypełniono szkłem ornamentowym z charakterystycznym załamującym światło wzorem poziomego tłoczenia (zob. ryc. 39, s. 105). Ornament na szkle jest kształtowany jako zespół równoległych soczewek. Z tego wynikają zniekształcenia obrazu elementów wnętrza konstrukcji nośnej ściany kurtynowej. W narożniku efekt powiela się i obraz jest dodatkowo zniekształcony – zaburzony w wyniku przepuszczania strumienia przez dwie tafle (ryc. 121).

Zniekształcenie obrazu zwiększa się wraz z odległością obiektu od tafli. Ten efekt optyczny może dostarczać umysłowi **dodatkowych wskazówek związanych z głębią**. Dotyczy to wszystkich materiałów przepuszczających światło, które odchylają tor promieni. Gdy zniekształcenie przyjmuje formę zbliżoną do rozproszenia, mechanizmy spostrzegania zostają wyczulone na stopień zamglenia obrazu.

6.7.4.3. Zamglenie jako wskazówka głębi

Badania nad spostrzeganiem przezroczystości uwzględniają także odbiór materiałów przeświecalnych rozpraszających światło (zob. rozdz. 3.4.1, s. 109). Występujące zjawiska optyczne powodują pojawienie się w obrazie siatkówkowym efektów wizualnych: **zamglenia** obrazu, rozmycia krawędzi obiektów znajdujących się po drugiej stronie tafli oraz **zmniejszenia kontrastu** w znacznie większym stopniu niż to, które następuje przy spostrzeganiu tafli przezroczystych. Termin **„rozmycie”** (*blur*) jest używany w pracach z dziedziny psychologii poznawczej i stanowi odpowiednik technicznego określenia **„zamglenie”** (*haze*) zdefiniowanego już w niniejszym opracowaniu (s. 108). Zwiększanie stopnia rozproszenia światła skutkuje zwiększeniem zamglenia i dalszym zmniejszeniem kontrastu, aż spostrzegany obraz przestaje być rozpoznawalny.



Ryc. 122. Różny stopień zamglenia obrazu obiektów widocznych przez przeświecalną płytę poliwęglanu w zależności od ich odległości od płyty. Stopień zamglenia odzwierciedla hierarchię elementów: najwyraźniejsze są poziome rygle, które stanowią bezpośredni element nośny dla poliwęglanowej płyty; stalowe słupy i konstrukcja żelbetowa są mniej wyraźne. Muzeum Sztuki Współczesnej w Zagrzebiu (arch. Igor Franic, 1999–2010).

Źródło: fot. i opracowanie autor

W badaniach prowadzonych przez Manisha Singha i Bartona L. Andersona analizowano różne wielkości fotometryczne. Wyniki wskazują, że umysł traktuje występowanie zamglenia jako **dodatkową wskazówkę w spostrzeganiu materiałów przepuszczających światło** w odniesieniu do „powierzchni przejrzystych [przeświecalnych – przyp. autora]" [240, s. 548]. Zamglenie, które zwiększa się wraz z odległością, jest wskazówką wspomagającą. Dzięki niej możliwa jest ocena, w jakiej odległości od tafli zlokalizowany jest obserwowany obiekt[162].

Na fasadzie Muzeum Sztuki Współczesnej w Zagrzebiu (arch. Igor Franic, 1999–2010) można zaobserwować różny stopień zamglenia obiektów widocznych przez przeświecalną przegrodę. Elewacja obiektu jest bardzo urozmaicona. Partie przezierne, przeszklone, znajdują się na parterze i są zacienione przez wyższe elementy bryły budynku. Pozostałe fragmenty ścian zewnętrznych oraz podniebienia stropów zostały obudowane powłoką z poliwęglanu. Przeświecalna fasada tworzy wiele interesujących efektów wizualnych. Obraz elementów umiejscowionych za powłoką jest zamglony. Te, które znajdują się bliżej elewacji, są wyraźniejsze niż te, które zlokalizowane są dalej. Na granicy przeświecalnej obudowy stopień zamglenia służy za wskazówkę dla umysłu. Obraz stalowych słupów nośnych fasady zostaje zamglony, gdy te przesłonięte są powłoką z poliwęglanu (ryc. 122).

Poliwęglan oświetlony silnym światłem słonecznym wydaje się nie przepuszczać światła. Szczegóły obiektów, które znajdują się po drugiej stronie, nie są widoczne. Gdy warunki oświetlenia ulegną zmianie, przez przeświecalne płyty poliwęglanowe widać elementy ściany po drugiej stronie, choć pozostają one zamglone. Bardzo interesujące są efekty wizualne zastosowania sztucznego oświetlenia. Poliwęglan i komory płyty działają jak światłowody.

Podsumowanie

W III fazie przetwarzania bodźców wzrokowych wskazówki do rozpoznania przezroczystości wynikają z występowania zjawisk optycznych zachodzących na powierzchni tafli – na granicy dwóch ośrodków o różnych współczynnikach załamania światła.

[162] Zwiększenie dystansu wpływa na zwiększenie zamglenia, a to z kolei sprawia, że – jak piszą Singh i Anderson – „tafla wydaje się mniej przejrzysta" [240, s. 548], pomimo że jej właściwości nie ulegają zmianie. Twierdzą oni, że umysł nie jest w stanie oddzielić od siebie wpływu tych dwóch zmiennych – parametrów tafli i odległości obiektów, dlatego zamglenie będące rezultatem rozproszenia światła jest „mniej wiarygodną" wskazówką przezroczystości niż inne [240, s. 548]. Na podstawie badań prowadzonych obecnie przez Andersona [9, s. 4] wszystko wskazuje na to, że umysł traktuje obszar o najwyższym kontraście jako ten, który jest widziany bezpośrednio – działa tu zasada tzw. kotwienia (*transmittance anchoring principle*), a wszystkie pozostałe obszary, o słabszym kontraście, są do niego porównywane.

Należą do nich: odbicie kierunkowe (lustrzane) występujące na powierzchni gładkich materiałów przezroczystych, tworzący się w konsekwencji obraz pozorny oraz załamanie promienia światła. W rezultacie załamania pojawia się zniekształcenie lub zamglenie obrazu rzeczywistego.

Istotną wskazówką dla umysłu jest również zabarwienie obrazu. Występuje ono w wyniku pochłaniania części widma światła białego przez taflę-filtr.

6.8. Teoria ekologiczna Gibsona

Teoria psychologii poznawczej, w której analizie poddaje się wskazówki zawarte w obrazie siatkówkowym, ma swoje początki jeszcze w XIX wieku, w czasach barona Hermanna von Helmholtza – pioniera współczesnej fizjologii. We współczesnej nauce określa się ją mianem **teorii klasycznej** lub konstruktywistycznej. W opozycji do teorii klasycznej w 1979 roku zaprezentowana została teoria percepcji bezpośredniej, nazywana również **teorią ekologiczną**. Jej twórcą jest James J. Gibson, psycholog, który w czasie II wojny światowej pracował na rzecz brytyjskiego rządu, szkoląc załogi samolotów bombowych[163]. Jego zdaniem umysł nie dokonuje wielofazowej analizy obrazu siatkówkowego i nie posługuje się „danymi pamięciowymi dotyczącymi spostrzeganych obiektów" [191, s. 309], ale odbiera światło w całości, jak potok informacji, angażując do jej przetwarzania minimalne zasoby. Gibson twierdzi, że informacje o świecie pozyskujemy z różnych konfiguracji światła padającego z wielu kierunków (*ambient array of light*) i do opisu używa terminu **szyk optyczny**, który może zostać uznany za odpowiednik wprowadzonego wcześniej w pracy pojęcia pole świetlne. Szyk jest „konstruowany" (oryg. *structured*) przez „powierzchnie – zarówno te, które emitują światło, jak i te, które je odbijają" [110, s. 86]. Proces tego „konstruowania" jest złożony, światło wchodzi w interakcje z powierzchniami materiałów, oddziałuje z ich barwą i fakturą. Innymi słowy, „bodziec, który dociera do obserwatora […], zawiera już informację o źródłach jej pochodzenia" [18, s. 61]. Nie jest konieczne jej odczytywanie/dekodowanie na drodze skomplikowanych procesów, ponieważ umysł – niejako automatycznie – reaguje na informacje w takiej formie, w jakiej występują w naturze, stąd nazwa „teoria ekologiczna". Podstawowa zmiana w dotychczas prezentowanym podejściu polega na tym, że – zdaniem Gibsona – odbieramy nie bodźce, które stymulują receptory, „ale znaczenia, jakie niosą, działając na zmysły" [18, s. 61].

[163] James J. Gibson pracował nad swoją teorią od 1950 roku. Najważniejsza publikacja [110] podsumowująca osiągnięcia niemal 30 lat jego działalności naukowej ukazała się w 1979 roku.

Według Gibsona spostrzeganie ma charakter dynamiczny: motoryczny i lokomocyjny. Tylko poruszanie się w polu świetlnym pozwala na uchwycenie wielu cech i właściwości płaszczyzn, które w tym polu się znajdują. Należą do nich np. odległość od obserwatora i ich wzajemne relacje przestrzenne (*absolute and relative distance*) odczytane na podstawie np. paralaksy. Dzięki dynamice spostrzegania można określić różne właściwości pola widzenia: **niezmienniki** (*invariants*), „które nie zmieniają się wraz ze zmianą punktu obserwacji", oraz **zmienniki** (*transpositions*), tym zmianom podlegające [191, s. 310]. Koncepcję zmienników i niezmienników Gibson opracował, badając to, w jaki sposób piloci szacują odległość i wysokość obiektów, np. białych palików umieszczonych w różniej odległości na zaoranym zagonie. Badani zadziwiająco dobrze dawali sobie radę z tym zadaniem niezależnie od tego, jak daleko były one umieszczone. Rolę niezmienników pełniły dwie właściwości pola widzenia: proporcja wysokości palików nad i pod horyzontem oraz to, że palik określonej wysokości zawsze, niezależnie od odległości, „przesłaniał tę samą liczbę elementów fakturowych zaoranego zagonu" [110, s. 160]. Te relacje – zdaniem Gibsona – są „**bezpośrednią informacją pozwalającą na ocenę rozmiaru**", a nie **wskazówkami** [110, s. 160]. Informacja zawarta w szyku optycznym odbieranym przez obserwatora nie składa się z plam o różnej luminancji – tak są analizowane wskazówki zgodnie z teorią klasyczną, ale z niezmienników – cech stałych niezależnych od oświetlenia, punktu obserwacji, przesłaniania i lokalnych zakłóceń struktury [110, s. 310]. Proces spostrzegania polega więc na „odkrywaniu istniejących w środowisku potencjałów oraz wykorzystywaniu tkwiących w nim zasobów" [18, s. 65]. Te potencjały zostały określone jako afordancje (*affordances*) – czyli „akty i zachowania, których wykonanie umożliwiają nam pewne obiekty, miejsca i zdarzenia" [177, s. 42; cyt. za: 191, s. 311]. Krzesła są więc „siadalne", drabiny „wspinalne", drzwi i tunele „przechadzalne", a przepuszczające światło tafle „wyglądalne" lub też „przeglądalne", jeśli można je wykorzystać jako lustra, lub – nomen omen – „przeświecalne". Teoria Gibsona sugeruje wręcz istnienie bardzo istotnej zasady dotyczącej projektowania: „dobry projekt powinien mieć bardzo czytelne afordancje" [63, s. 24].

Teoria percepcji bezpośredniej Gibsona wywarła znaczny wpływ na psychologię środowiskową, tworząc podstawy do jej dynamicznego rozwoju. Okazała się szczególnie interesującym punktem wyjścia do badania sposobu spostrzegania środowiska i obiektów środowiskowych, także antropomorficznych – czyli architektonicznych w tzw. środowisku zbudowanym (*build environment*). Teoria Gibsona wywołała wiele dyskusji wśród kognitywistów – powstały różne szkoły, stanowiska naukowców uległy polaryzacji. Dla prezentowanego ujęcia procesów spostrzegania

przezroczystości w architekturze najważniejsze okazały się podjęte przez badaczy próby unifikacji teorii ekologicznej i klasycznej.

6.8.1. Unifikacja dwóch teorii spostrzegania

Teorie klasyczna i percepcji bezpośredniej Gibsona prezentują konkurencyjne stanowiska. Weryfikacja każdego założenia teoretycznego wymaga, aby jego przewidywania potwierdzone zostały w badaniach eksperymentalnych. Tu wątpliwości dotyczące teorii ekologicznej pojawiły się niedługo po jej ogłoszeniu. W 1980 roku Joel Norman opublikował wyniki badań nad oceną rozmiaru obiektów w zależności od ich odległości od obserwatora. Do analiz wykorzystał – co bardzo istotne dla zagadnienia przezroczystości – płytę czerwonego przezroczystego pleksiglasu, prezentowaną badanym albo na jednolitym, albo wzorzystym tle [199, s. 77]. Wyniki tych badań dostarczają istotnych przesłanek, że w procesach rzeczywistych, niesymulowanych „zachodzi zarówno bezpośrednie, jak i pośrednie spostrzeganie, a procesy te nie stanowią dychotomii, ale *continuum*" [198, s. 314]. Przypuszczenie takie poparte jest ustaleniami **neuronauki poznawczej**, wskazującymi na istnienie **dwóch podsystemów** przetwarzania informacji wzrokowej [26; 27]. Wpływa to na efektywniejszą interpretację napływających bodźców.

Idea dwóch podsystemów – równolegle działających mechanizmów przetwarzania – narodziła się pod koniec lat 60. XX wieku[164]. Eksperymenty wykazały, że u chomików funkcjonują dwa niezależne podsystemy przetwarzania informacji wzrokowej – orientacyjny, odpowiadający na pytanie „gdzie?", i kategoryzacyjny, odpowiadający na pytanie „co?" [95, s. 169]. Z badań prowadzonych w latach 60. XX wieku [266] wynika, że informacje o **cechach obiektów** i o ich **położeniu przestrzennym** przetwarzane są w oddzielnych podsystemach: cechy w płatach skroniowych, informacja przestrzenna w tzw. *PPA* – przyhipokampalnym polu miejsca. Przypuszcza się, że sposób działania umysłu opiera się na „integracji informacji przestrzennych i informacji o obiekcie" [134, s. 128]. Procesy wydają się **przebiegać równolegle** – w tym samym czasie, ale prowadzone badania dają różne wyniki – to potwierdzają hipotezę, to jej przeczą.

Zgodnie z **teorią integracji cech** w pierwszej kolejności rozpoznajemy cechy obiektów – „co widać?", a dopiero potem ich położenie – „gdzie?" [134, s. 129]. Konsekwencje tego stwierdzenia są dla architektury zasadnicze, oznaczają bowiem, że przezroczystość jest rozpoznawana w pierwszej

[164] W eksperymentach uszkadzano metodą ablacyjną struktury mózgowe, by zbadać, jak zmienią się możliwości poznawcze zwierząt.

kolejności, zanim zostanie określone położenie tafli w przestrzeni. Ta kolejność spostrzegania ma znaczenie, jeśli chodzi o bezpieczeństwo obserwatorów i powinna – gdy zostanie potwierdzona – wpłynąć na zmianę sposobu projektowania przezroczystych tafli w miejscach, w których poruszają się użytkownicy obiektów.

Niezależnie od tego, który z prezentowanych poglądów znajdzie w przyszłości potwierdzenie w badaniach, błędy w spostrzeganiu przezroczystości wydają się wynikać z braku odpowiedniego powiązania informacji z oddzielnych podsystemów (zob. rozdz. 6.7.3, s. 219). Joel Norman twierdzi, że badania prowadzone na małpach wykazują, iż **informacja jest przetwarzana równolegle**: ta pochodząca z „tła" (*ambient*) w innych strukturach mózgu niż ta, która pochodzi z obserwacji skupionej, wyostrzonej na określonych obiektach (*focal*). Informacja dotycząca tła dociera z peryferyjnej części siatkówki, a ta, która dotyczy szczegółów – z rejonu tzw. dołka ocznego (*fovea*) o szczególnie dużym zagęszczeniu receptorów. W 1982 roku ustalono [272, s. 579], że informacja pochodząca z podsystemów przetwarzana jest w innych rejonach kory wzrokowej i przekazywanie impulsów następuje tzw. **szlakiem grzbietowym i brzusznym** – pojęcia te określają oddzielne pasma włókien nerwowych mózgu [154]. Szlakiem brzusznym przetwarzane są informacje świadome, bogate w szczegóły. Proces ten jest relatywnie czasochłonny, w jego trakcie umysł odwołuje się do pamięci, a zwieńczeniem jest rozpoznanie – kategoryzacja obiektu. W ten sposób, zgodnie z założeniami teorii klasycznej, umysł odpowiada na pytanie „co?". Szlakiem grzbietowym przetwarzane są bodźce pochodzące z tła, z części peryferyjnej siatkówki, ale podlegające dynamicznym zmianom, np. w wyniku ruchu obserwatora. One również „podlegają przetwarzaniu, choć nie osiągają poziomu świadomości" [134, s. 114]. W ten sposób, zgodnie z założeniami teorii percepcji bezpośredniej, umysł odpowiada na pytanie „gdzie?" [262, s. lx]. Zwolennicy unifikacji dwóch teorii spostrzegania wskazują, że pomimo innego charakteru przetwarzanej informacji procesy zachodzą równolegle w oddzielnych potokach danych. Dwie teorie spostrzegania – klasyczna i percepcji bezpośredniej – nie muszą się wykluczać, a wręcz przeciwnie – procesy przez nie opisane wydają się uzupełniać w tworzeniu możliwie precyzyjnego odzwierciedlenia rzeczywistości w umyśle.



7 Wnioski

7.1. Efekty = wskazówki 242
7.2. Reguły ogólne 246
7.2.1. Aspekty wizualne 246
7.2.2. Aspekty użytkowe 248
7.2.3. Aspekty bezpieczeństwa 248

7. Wnioski

Prezentowane opracowanie porusza tematykę przezroczystości w architekturze. Ma, z jednej strony, charakter badawczy, z drugiej, wnosi także wkład w dziedzinę teorii projektowania – praktyki architektonicznej. Tworzy przesłanki do rozważania poruszonej problematyki w zakresie szerszym niż dotychczas przyjmowany. Wnioski wynikają z rozległej analizy obszernego zbioru istniejących dokonań – obiektów architektonicznych. Praca służy wyjaśnieniu, **jak powstają efekty wizualne** oraz **w jaki sposób obserwatorzy interpretują wrażenia wzrokowe** wywoływane przez bodźce wizualne. Umysłowa analiza odbieranych przez człowieka wrażeń wzrokowych ma tu znaczenie zasadnicze.

Opracowanie nie jest jednak zbiorem gotowych przepisów i recept obowiązujących w praktyce projektowej. Poprzestano na określeniu, **jakie środki służą realizowaniu twórczych zamierzeń** architektów i – co za tym idzie – pojawianiu się użytkowych i estetycznych wartości w realizowanych przez nich obiektach. Przedstawiono również możliwość przewidywania rezultatów podejmowanych decyzji. Służą temu odpowiednie proponowane narzędzia – m.in. **perforacyjny model przezroczystej gładkiej tafli**[165], **rozbudowana analiza procesu spostrzegania powstała na podstawie złożonej teorii**, mająca na celu przybliżenie tego procesu projektantom. W opracowaniu zdefiniowano również **rodzaje tafli** oraz dokonano podziału występujących **układów optycznych** tafli przepuszczających światło**.** Celem jest osiągnięcie zgodności **semantycznej,** czyli zgodności zamierzeń twórców z efektami estetycznymi uzyskanymi w projektowanych budynkach.

Zaproponowany sposób rozważania poszczególnych zagadnień zakłada każdorazowe formułowanie cząstkowych podsumowań i wniosków, jako zwieńczenia rozpatrywanych problemów, w miejscu, w którym temat był podejmowany (zob. podrozdziały pt. *Podsumowanie*). Stanowi on test skuteczności opracowanego narzędzia, a wnioski są poszukiwaniem cech wspólnych.

7.1. Efekty = wskazówki

Analiza procesów tworzenia i interpretowania bodźców uwzględniająca odkrycia i osiągnięcia różnych dziedzin wiedzy umożliwia powiązanie **efektów wizualnych** powstających w wyniku interakcji tafli i strumieni ze **wskazówkami poznawczymi**, które umysł wykorzystuje do rozpoznania

[165] Przedstawiony model został wyczerpująco omówiony w publikacji pt. *Understanding transparency perception in architecture: Presentation of the simplified perforated model* zamieszczonej w czasopiśmie „Perception" w styczniu 2013 roku [54].

spostrzeganych obiektów. Wymiana informacji wizualnej z otoczeniem następuje za pośrednictwem obrazu siatkówkowego – to jedyne wizualne **odwzorowanie rzeczywistości**, z którym konfrontowani są obserwatorzy. Zarówno efekty wizualne, jak i wskazówki poznawcze są charakterystycznymi cechami obrazu siatkówkowego. Efekty wizualne powstają w procesie tworzenia obrazu przez strumienie świetlne, które wchodzą w interakcję z przepuszczającymi światło taflami. Wyróżniki efektów stanowią jednocześnie **wskazówki** dające początek przetwarzaniu odebranych bodźców w umyśle, co w następstwie prowadzi do rozpoznawania cech obiektów i określenia ich przestrzennej konfiguracji. Obraz siatkówkowy jest więc **ogniwem łączącym** te dwa istotne dla spostrzegania przezroczystości w architekturze procesy: powstawania bodźców odległych i przetwarzania bodźców bliskich. Omawiane powiązania przedstawiono w tab. 5.

Tabela 5. Powiązanie efektów wizualnych i odpowiadających im wskazówek poznawczych wyróżnionych w II i III fazie przetwarzania bodźców wizualnych.

Źródło: opracowanie autor

<table>
<tr><th rowspan="2">Efekt wizualny</th><th colspan="3">Wskazówki poznawcze</th></tr>
<tr><th>faza II</th><th colspan="2">faza III</th></tr>
<tr><td>segmentacja obrazu</td><td rowspan="3">granica obszaru – krawędź
(skokowa zmiana luminancji)</td><td colspan="2" rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>fragmentacja obrazu</td></tr>
<tr><td>mozaika</td></tr>
<tr><td>zmniejszenie jasności obrazu rzeczywistego wynikające ze zmniejszenia natężenia strumienia przepuszczanego</td><td>zmniejszenie jaskrawości</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>dominacja obrazu pozornego</td><td rowspan="3"></td><td colspan="2" rowspan="3">przenikanie obrazów: pozornego i rzeczywistego</td></tr>
<tr><td>dominacja obrazu rzeczywistego</td></tr>
<tr><td>równowaga obrazowa</td></tr>
<tr><td>zabarwienie obrazu</td><td rowspan="6"></td><td rowspan="6">modyfikacja obrazu</td><td>zabarwienie nienaturalne</td></tr>
<tr><td>mieszanie addytywne barw</td><td></td></tr>
<tr><td>mieszanie substraktywne barw</td><td></td></tr>
<tr><td>zniekształcenie obrazu rzeczywistego, dystorsja</td><td>zniekształcenie geometryczne</td></tr>
<tr><td>zamglenie (haze)</td><td>zamglenie (blur)</td></tr>
<tr><td>zatarcie konturów</td><td>zmniejszenie kontrastu</td></tr>
<tr><td>pozorna utrata ostrości obrazu pozornego</td><td></td><td>modyfikacja obrazu</td><td>zamglenie (blur)</td></tr>
<tr><td>lokalna koncentracja obrazu pozornego</td><td></td><td colspan="2">rozbłyski (highlights), które występują także w obiektach nieprzepuszczających światła</td></tr>
<tr><td>eliminacja przegrody</td><td colspan="3">brak wskazówek</td></tr>
<tr><td>powielenie otoczenia</td><td colspan="3">przy idealnym niezniekształconym obrazie pozornym – brak wskazówek poza odbiciem lustrzanym znaków pisma (symetria lewo–prawo)
przy zniekształconym obrazie pozornym – rozpoznanie przez analizę wskazówek, jak przy zniekształceniu obrazu rzeczywistego</td></tr>
</table>

Efekty wizualne segmentacji i fragmentacji oraz efekt mozaiki występujący w odbiorze tafli w układach warstwowych – np. przy nakładających się taflach – prowadzą do wyraźnego utworzenia w obrazie siatkówkowym granicy między obszarami o różnej luminancji. W II fazie odbioru i przetwarzania informacji wskazówka ta – w powiązaniu z określoną proporcją jaskrawości przylegających obszarów – stanowi dla umysłu podstawę do rozpoznania przezroczystości. Zmniejszenie jaskrawości obrazu towarzyszy przepuszczaniu strumienia świetlnego przez jedną taflę o większej grubości lub przez wiele tafli ustawionych w układzie warstwowym. To z kolei wskazuje na obecność filtra, czyli tafli materiału przepuszczającego światło.

Wszystkie efekty wizualne, w których dochodzi do przenikania obrazów – pozornego i rzeczywistego – w różnych proporcjach, są traktowane przez umysł jako wskazówka do rozpoznania przezroczystości i przetwarzane w III fazie. W procesie odbioru niezbędna jest koncentracja uwagi obserwatora służąca wyodrębnieniu poszczególnych obrazów składowych z obrazu wynikowego. Dodatkową wskazówką jest akomodacja oka i fiksacja soczewki – zazwyczaj inna dla obrazu pozornego i inna dla rzeczywistego. Przy umysłowej interpretacji efektów wizualnych zabarwienia, zniekształcenia i zamglenia – czyli przy modyfikacji obrazu – spostrzeganie przezroczystości przebiega na drodze porównania zniekształconych bodźców wizualnych z obrazem umysłowym obiektów, utrwalonym i przechowywanym w pamięci odbiorcy. Zapis ten może mieć postać tzw. wzorca/szablonu lub wyróżników – cech charakterystycznych obiektu.

Efekty skrajne – eliminacji przegrody i powielenia otoczenia – stanowią wyjątek. W pierwszym przypadku w ogóle nie występują wskazówki do spostrzeżenia przezroczystości – brakuje wytycznych. Dochodzi wtedy do błędów spostrzegania i możliwych kolizji z taflą. W drugim analizowane wskazówki zależą od jakości „lustra" i zawartości odzwierciedlanego obrazu. W przypadku obiektów antropomorficznych – ulic, pierzei, budynków, fasad – przy idealnie płaskiej powierzchni odbijającej wskazówką mogą być lustrzane znaki pisma. Są identyfikowane jako „odwrócone" na skutek konfrontacji z zawartością pamięci. Dzięki temu obserwator rozpoznaje lustro, czego następstwem jest bardzo często automatyczne spostrzeżenie przezroczystości, choć nie zawsze odzwierciedla ono rzeczywistość. Przy nierównej lustrzanej tafli występują zniekształcenia geometryczne obrazu pozornego i te są identyfikowane przez mechanizmy rozpoznawania zmodyfikowanego obrazu. Lustra o skomplikowanej geometrii – tafle gięte po łuku lub dowolnie formowane – powodują powstanie lokalnych rozbłysków – wtedy umysł w pierwszej kolejności identyfikuje obiekt jako gładki, a dopiero potem jako przezroczysty.

Prezentowane zestawienie efektów wizualnych i wskazówek poznawczych pozwala na powiązanie określonych rozwiązań przestrzennych tafli przepuszczających światło stosowanych w architekturze z procesami i mechanizmami poznawczymi, które będą uruchamiane w umyśle w celu interpretacji napływających danych wizualnych. Rozwiązania wykorzystywane w projektowaniu powinny uwzględniać proces przetwarzania bodźców w określonych sytuacjach. Gdy bezpieczeństwo użytkownika zagrożone jest fałszywą interpretacją napływających bodźców – muszą **ułatwiać spostrzeganie przezroczystości**, w innych – prowadzić do osiągnięcia wyjątkowych efektów formalnych: **dematerializacji, stopienia budynku z otoczeniem lub utraty granicy między obiektem a środowiskiem**. Wiedza taka może zostać wykorzystana w sposób twórczy dla lepszego komunikowania idei projektowych obserwatorom i użytkownikom architektury.

***

Architektura przezroczysta igra z odbiorcami. Na przemian ukazuje im to rzeczywiste, to pozorne obrazy. Trudno te „igraszki" opisać z naukową ścisłością, zgrabniej będzie posłużyć się – znaną z prozy i poezji – literacką personifikacją. Architektura przezroczysta przedstawia się odbiorcom jako **autentyczna, szczera i zrozumiała**, ale – zarazem przecząc samej sobie – **uprawia grę pozorów**, przez co zaskakuje i zadziwia. Jest szczególnie wyczulona na zmiany oświetlenia. Intensywne nasłonecznienie, noc oraz niepogoda zmieniają ją nie do poznania. Pod tym względem architektura przezroczysta jest bardziej **związana z naturą, porami dnia i roku** niż jakakolwiek inna. W ten sposób realizuje wizje swoich modernistycznych prekursorów.

Architektura przezroczysta w „seansach gry pozorów" konkuruje – i często wygrywa – ze znanym z historii manieryzmem [245, s. 47]. Zapożyczał on motywy ze scenografii, natomiast architektura przezroczysta wykorzystuje wyłącznie **prawa optyki i mechanizmy procesów poznawczych**. Strumienie świetlne przepuszczane i odbite tworzą **niepowtarzalną kompozycję obrazów rzeczywistych i pozornych**, intrygującą swoim kolorytem i rozedrganiem. Dzięki właściwościom przezroczystych tafli można w dostępny, choć banalny, sposób powiązać obiekt z jego otoczeniem. Jeśli jest on zlokalizowany wśród zabytkowej zabudowy, to może afirmować zarówno kult tradycji, jak i technologii. Jeśli usytuowany jest w nowoczesnym otoczeniu – bez skrępowania może tworzyć niespotykane dotąd wartości estetyczne.

Architektura przezroczysta bywa jednak przewrotna. Nie tylko nie ułatwia obserwatorowi identyfikowania swoich kształtów, ale również sprzyja zniekształceniu ich spostrzegania. Nawet wtedy gdy operuje rzeczywistymi obrazami, może być **nieszczera i niezrozumiała**. Zdarza się niestety, że robi

użytkownikom **złośliwe psikusy**. Jeżeli ci dadzą się zwieść i uwierzą, iż przezroczysta przegroda nie istnieje, mogą to dotkliwie odczuć.

Projektant wybiera więc między bezpieczeństwem a ekscytacją, jaką budzą tajemnicze, trudne do rozwiązania **przezroczyste zagadki**. Przy dynamicznie zmieniających się warunkach obserwacji budynków zjawiska związane ze spostrzeganiem przezroczystości w architekturze **trudno planować i przewidywać**. Uwzględnienie dorobku psychologii poznawczej, a w szczególności teorii spostrzegania umożliwia zgłębienie skomplikowanej natury architektury przezroczystej.

7.2. Reguły ogólne

Na podstawie przeprowadzonej analizy możliwe jest sformułowanie ogólnych reguł, które mogą być pomocne dla projektantów przezroczystych fasad. W zamyśle autora zasady te stanowią potencjalną podstawę do wypracowania indywidualnych, odmiennych dla każdego twórcy, elementów warsztatu oraz samodoskonalenia projektantów w celu uzyskiwania zamierzonych efektów wizualnych – odpowiedniego odbioru formy architektonicznej.

7.2.1. Aspekty wizualne

Przezroczysta gładka tafla odbija strumień świetlny kierunkowo i tworzy obrazy pozorne.
Wszystkie tafle przezroczyste są wystarczająco gładkie, aby jednocześnie tworzyć ostre obrazy pozorne. Przezroczystość oznacza więc również jej zaprzeczenie. Każda przezroczysta tafla – w zależności od warunków oświetlenia i obserwacji – może zamienić się w taflę lustrzaną.

Przezroczystość zmniejsza się ze zwiększeniem kąta obserwacji.
Im większy kąt obserwacji, tym tafla jest mniej przezroczysta, a bardziej zwierciadlana.

Obrazy rzeczywiste i pozorne nakładają się w proporcjach zależnych od wartości strumieni, które przyczyniają się do ich powstania, właściwości tafli i pozycji obserwatora.
Strumienie świetlne przepuszczane i odbite od tafli przyczyniają się do powstania obrazów odbieranych przez obserwatora. Ich proporcja zależy od wielu czynników: warunków oświetlenia, właściwości tafli oraz pozycji obserwatora. Ich zmienność i nieprzewidywalność jest jedną z najistotniejszych cech przezroczystej architektury.

Efekty występują na tafli miejscowo, w zależności od lokalnej wartości strumieni.
Efekty przenikania się obrazów w różnych proporcjach obejmują tylko określone fragmenty tafli, w zależności od miejscowego bilansu strumieni. Rozkład efektów na tafli zmienia się także na skutek zmiany punktu obserwacji. Konkretny, założony przez projektanta, efekt może być widoczny dla obserwatora tylko z jednego punktu obserwacji. Dla innych może być niedostępny.

Obrazy pozorne dominują po tej stronie tafli, po której jest jaśniej.
Duże wartości strumieni świetlnych zazwyczaj decydują o wyglądzie tafli, szczególnie tych o standardowych właściwościach optycznych. Reguła ta pozwala „zaprogramować" obraz odbierany przez obserwatora przy wykorzystaniu strumieni świetlnych, które przyczyniają się do powstania tego obrazu.

Płytkie trakty i brak przegród pośrednich sprzyjają przezroczystości.
Obiekty oświetlone na przestrzał ujawniają swoje wnętrza obserwatorom, ponieważ strumienie, które penetrują wnętrze, nie napotykają przeszkód. Strumień świetlny odbijający się od przegrody ustawionej bezpośrednio za przezroczystą taflą ma większą wartość niż strumień działający na taflę od zewnątrz – obraz rzeczywisty dominuje nad pozornym.

Użycie tafli w wielu warstwach wzmacnia obraz pozorny, a osłabia rzeczywisty.
Wielokrotne odbicia nakładają się i wzajemnie wzmacniają, a kolejne tafle, które filtrują strumień przepuszczany, osłabiają go aż do całkowitego zaniku. Warstwowe układy tafli nie sprzyjają wrażeniu przezroczystości, jeśli nie są penetrowane przez wystarczająco silne strumienie świetlne.

Każde ograniczenie strumieni świetlnych wpływa na przezroczystość architektury.
Każda – celowa lub nieplanowana – próba ograniczenia strumienia przepuszczanego: refleksowa powłoka, żaluzja, roleta, nadruk wpłynie na obraz rzeczywisty, a tym samym na odbiór przezroczystości. Ograniczanie strumienia odbitego zadziała w sposób przeciwny, osłabiając obraz pozorny i zwiększając wrażenie przezroczystości przegrody.

Łatwiej przewidywać rezultaty przy wykorzystaniu światła sztucznego niż w warunkach naturalnych.
Przewidywanie wyglądu budynku przy świetle dziennym jest dużo trudniejsze, ale przynosi wiele zaskakujących, niespodziewanych i zróżnicowanych efektów wizualnych, wzbogacając tym samym wizerunek obiektu architektonicznego. Rezultaty, które są osiągane przy wykorzystaniu światła sztucznego, można zaprojektować i przewidzieć.

Przezroczysta, niedostrzegalna bariera czy kuszący woal?
Tafla przezroczysta odsłania wnętrza i zaprasza obserwatora do wizualnego „odkrywania" budynku. Zapewnia niezaburzony obraz rzeczywisty, ale jednocześnie odbija strumienie, które przyczyniają się do powstania obrazów pozornych. Tafle przeświecalne i ornamentowe przepuszczają światło, ale nie pozwalają na powstanie ostrego obrazu rzeczywistego, „kuszą" obserwatora jedynie zamglonym zarysem wnętrza. Działają jak mgła, woal lub gęsta firana. Niedostrzegalna bariera lub kuszący woal to skrajne strategie projektowe, które prowadzą do odmiennych efektów wizualnych. Wymagają przemyślenia zamierzeń formalnych na wczesnym etapie projektowania.

7.2.2. Aspekty użytkowe

Tafla przepuszcza i odbija strumienie świetlne w dwóch kierunkach.
Jeśli wzrok obserwatora penetruje wnętrze i doświadcza on przezroczystości budowli, to do środka dostaje się również światło słoneczne. Architektura przezroczysta jest więc jednocześnie architekturą narażoną na przegrzanie i zagadnienia te są ściśle powiązane. Dla zapewnienia wystarczającego poziomu światła dziennego we wnętrzach powierzchnia otworów powinna wynosić co najmniej 1/8 powierzchni podłogi w pomieszczeniu[166].

Przesadna przezroczystość prowadzi do jej szybkiego zaprzeczenia.
Nadmierne otwarcie budynków na światło słoneczne skutkuje podjęciem szybkich koniecznych działań zapobiegających przegrzaniu. Na przezroczystych taflach pojawiają się żaluzje, rolety, refleksowe powłoki. Odcięcie szkodliwego w nadmiarze światła słonecznego oznacza jednak zerwanie wizualnego powiązania budynku z otoczeniem i utratę wszystkich istotnych symbolicznych skojarzeń z jego przezroczystością.

7.2.3. Aspekty bezpieczeństwa

Umysł rozpoznaje taflę po efektach jej działania.
Umysł rozpoznaje przezroczystość na podstawie określonych wskazówek poznawczych zawartych w obrazie siatkówkowym. Jego analiza jest podstawą do spostrzegania przezroczystości. Tafle wpływają na zmniejszenie jaskrawości odbieranego obrazu oraz zmniejszenie jego kontrastu. Wskazówką jest także nakładanie i przenikanie obrazów rzeczywistych i pozornych oraz ich

[166] Wielkości minimalne wynikające z obowiązujących przepisów [228, § 57 pkt 2].

zniekształcenie. Jeśli efekty działania tafli nie są widoczne w obrazie siatkówkowym, umysł jej nie spostrzeże.

Tafle wymagają wyraźnych oznaczeń na ciągach komunikacyjnych.
Przezroczyste tafle w określonych warunkach oświetlenia mogą być dla obserwatorów niedostrzegalne. Oznacza się je więc wyraźnie w miejscach, w których istnieje ryzyko kolizji: w drzwiach, na ciągach komunikacyjnych, w dźwigach osobowych i przy barierach akustycznych. Oznaczenia umieszcza się na poziomie wzroku obserwatora, tak by były wyraźnie odróżnialne od tła [228, § 295].

***

Przy dynamicznie zmieniających się warunkach obserwacji budynków przewidywanie efektów związanych ze spostrzeganiem przezroczystości w architekturze **stanowi szczególne projektowe wyzwanie**. Wpływy różnych czynników: strumieni świetlnych, właściwości tafli i kąta obserwacji nakładają się. Jedne są nieprzewidywalne i niezależne od projektanta, np. intensywność tworzonych obrazów i osobniczy sposób interpretacji bodźców; inne architekt może aktywnie kształtować, np. dobierać właściwości materiału, cechy tafli, sztuczne oświetlenie lub określać sposób poruszania się obserwatora. Świadome projektowanie przezroczystej architektury wymaga właściwego rozróżnienia tych czynników: **aktywnego oddziaływania w obszarach, w których jest to produktywne, i przewidywania zjawisk, na które wpłynąć nie można**.



Załącznik A. Przezroczystość rzeczywista i fenomenalna 251
Załącznik B. Obliczenia do modelu perforacyjnego 254
Bibliografia 257
Strony WWW 265
Indeks budynków 266
Słownik ważniejszych terminów 268
Źródła ilustracji 271
Summary 272

Załącznik A. Przezroczystość rzeczywista i fenomenalna

Colin Rowe i Robert Slutzky w artykule *Transparency: literal and phenomenal* na podstawie przeprowadzonych przez siebie analiz i obserwacji rozróżnili dwa typy przezroczystości: rzeczywistą – dosłowną (*literal*) i fenomenalną (*phenomenal*), określaną również jako wirtualna, niedosłowna. Użyte sformułowania mogą być odmiennie tłumaczone w zależności analizowanej wersji językowej artykułu. Rozróżnienia dokonali w tekście napisanym w 1956 roku, ale zamieszczonym dopiero w 1963 roku w czasopiśmie „Perspecta" wydawanym na Uniwersytecie Yale [226]. Historię publikacji tego tekstu, a także potencjalny wpływ Nikolausa Pevsnera na jej opóźnienie opisuje Jacek Dominiczak [87].

Rowe i Slutzky dostrzegają zasadniczą różnicę między typami przezroczystości, które definiują. Rzeczywista, dosłowna – ich zdaniem – „może być doświadczana w obecności przeszklonego otworu lub drucianej siatki" [227, s. 288]; fenomenalna „postrzegana może być tam, gdzie jedna płaszczyzna widoczna jest w niewielkiej odległości za drugą, leżąc na tym samym co ona kierunku patrzenia" [227, s. 288], co może oznaczać „jednoczesne zachodzenie zjawisk, które się przenikają bez wzajemnej destrukcji" [139, s. 157].

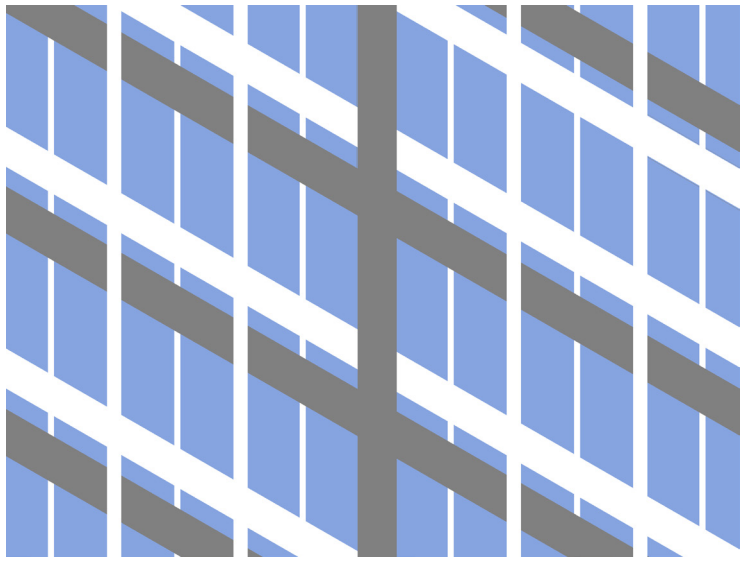
Autorzy odnoszą swoje spostrzeżenia do istniejących budynków. Piszą, że w willi Stein w Garches we Francji (arch. Le Corbusier, 1927) „możemy radować się wrażeniem, że ramy okienne przechodzą za powierzchnią ściany" [226, s. 49]. W bardziej zrozumiały sposób zagadnienie referuje Marek Bieńczyk: „Zatem to nie okna, lecz przenikanie się warstw wytwarzające efekt głębi dają tę niedosłowną, trudniejszą do osiągnięcia, bardziej niekiedy intelektualną, a nie zmysłową, przezroczystość, która nie wyziera już z biernej płaszczyzny szyby czy innych materii, lecz ze szczególnego ustrukturowania przestrzeni" [30, s. 178]. Przezroczystość fenomenalna, zdaniem Bieńczyka, „wynika ze struktury, przebija z nałożonych na siebie planów" [30, s. 178]. Ten sposób odpowiada pojawieniu się na początku XX wieku nowych narzędzi projektowych, które miały sprostać nowym, postawionym przed architektami zadaniom, np. przy wykorzystaniu pojęć „warstwy i strefy" [192, s. 65].

Przy tak sformułowanych definicjach rodzi się wątpliwość, czy termin „przezroczystość" użyty przez Rowe'a i Slutzky'ego ma w ogóle coś wspólnego z fizyczną (optyczną) cechą materiału, czy może silniej wiąże się z przezroczystością pojmowaną w sensie metaforycznym? Może odnosi się do jej semantycznego rozumienia? Czy postulowana przez autorów słynnego eseju przezroczystość fenomenalna daje się przełożyć, jako wytyczna, na język architektonicznej praktyki? Czy możliwe jest, zgodnie z kryteriami przyjętymi przez autorów, wytworzenie wrażenia „przezroczystości nakładających się

planów" [226, s. 45]. Rowe i Slutzky, poza opisem własnych wrażeń z odbioru dzieł malarstwa i architektury współczesnej, nie formułują żadnych wskazówek projektowych. W pierwszej kolejności odnajdują oba rodzaje przezroczystości nie w architekturze, lecz w dziełach malarstwa. Określają te dwa pojęcia, posługując się dwuwymiarową przestrzenią płótna. Sami, co można jednoznacznie stwierdzić, zauważają trudność w przetransponowaniu idei przezroczystości rzeczywistej-dosłownej i fenomenalnej z dwóch do trzech wymiarów i w sposób otwarty dzielą się z czytelnikiem tą wątpliwością. „Biorąc pod uwagę przezroczystość dzieł architektury, a nie dzieł malarstwa, nieuchronnie rodzą się wieloznaczności; kiedy w przypadku obrazu możemy jedynie reprezentować trzeci wymiar, w architekturze nie można go pominąć. Mając do dyspozycji trzy wymiary, a nie tylko ich płaską reprezentację, w architekturze przezroczystość rzeczywista, dosłowna przyjmuje formę przestrzenną. Przezroczystość fenomenalna, właśnie z tego powodu, może być trudna do osiągnięcia. Problem w dyskusji nad tymi zagadnieniami wynika z tego, że krytycy łączą, wiążą przezroczystość tylko z fizyczną (optyczną) przezroczystością materiałów" [226, s. 48–49].

Rowe i Slutzky wprowadzają pojęcie **przestrzeni płytkiej i głębokiej**, a przestrzeń płytką określają jako „przyczynę" lub „produkt uboczny" przezroczystości fenomenalnej. Choć w całym artykule słowo „płytka" pojawia się jedynie pięć razy, głównie w odniesieniu do malarstwa, to wielu późniejszych autorów wiąże to pojęcie z przestrzennym rozmieszczeniem płaszczyzn w elewacji budynku „w niewielkiej odległości" od siebie [227, s. 288] – to sposób przełożenia wskazówek Rowe'a i Slutzky'ego na architektoniczną praktykę. Taką interpretację może sugerować „pięć warstw przestrzeni, które dzielą kubaturę" [226, s. 51] willi Stein w Garches. Wydaje się jednak, że osoby, które w ten sposób odczytują tekst, pomijają sedno. Nie dlatego, że nie zrozumieli meritum eseju, ale przez to, iż sami autorzy w nieostry sposób zdefiniowali wprowadzane pojęcia. Rowe i Slutzky, świadomi wad i niekonsekwencji swojego rozumowania, w drugiej części tekstu podejmują próbę wyjaśnienia. Piszą: „nie zdefiniowaliśmy żadnych warunków wstępnych wystąpienia przezroczystości fenomenalnej" [227, s. 288] oraz: „niektóre ze sformułowanych przypuszczeń są tak tendencyjne i o tak dyskusyjnej naturze, że w obecnym artykule proponujemy, aby na krótko o nich zapomnieć, a całą uwagę skupić nie na trójwymiarowych, przestrzennych aspektach przezroczystości fenomenalnej, ale na tyle, na ile to tylko możliwe, na jej dwuwymiarowych konsekwencjach – na przezroczystości fenomenalnej postrzeganej jako płaski wzór" [227, s. 288].

Autorzy w drugiej części eseju podjęli próbę wyjaśnienia zjawiska przezroczystości fenomenalnej na gruncie psychologii postaci. Posługując się wieloma przykładami z architektonicznej praktyki, wykazali oni, że określona formacja przenikających się wzorów, liniatur, krat i siatek, będąca



Ryc. 123. Układ niebieskich, białych i szarych figur daje wrażenie przeplatania się dwóch wątków – jak w tkaninie. Motyw wzorniczy elewacji budynku Mile High Center w Denver (arch. Ieoh Ming Pei, 1959).

Źródło: opracowanie autor na podstawie fot. Thomasa Lundina

wzorem na płaskiej elewacji budynku, może wywoływać **wrażenie trzeciego wymiaru i przenikania się planów**. Zachodzi tu zjawisko **transfiguracji**, opisane przez psychologów postaci, polegające na zamiennym, mentalnym, „wyodrębnianiu" figur z tła i ich przyporządkowywaniu do określonych „konfiguracji" lub planów.

Budynek Mile High Center w Denver (arch. Ieoh Ming Pei, 1959) jest, zdaniem autorów, „wyjątkowym, zwięzłym stwierdzeniem przezroczystości fenomenalnej" [227, s. 291]. Ze względu na efekt budowania przestrzeni pozornej, który został osiągnięty na elewacji, widoczne są szczególnie związki z manieryzmem, znacznie wcześniejsze niż powinowactwa wykazywane przez architekturę postmodernistyczną. Pisze o tym Jadwiga Sławińska w książce pt. *Problematyka formalizmu i symboliki w architekturze współczesnej*. W przypadku Mile High Center architekt nie „przeciwstawia się rygorom [...] internacjonalnego stylu", ale niewątpliwie sięga „po środki służące budowaniu przestrzeni pozornej" [245, s. 49], trafnie odczytanej przez Rowe'a i Slutzky'ego. Z przestrzennej interpretacji płaskiej kompozycji elewacji wynika, że już przed postmodernistami określone „łudzące" techniki graficzne były stosowane w sztandarowych obiektach modernizmu (ryc. 123). Opis metod wykorzystywanych przez postmodernistów odnosi się także do działań podejmowanych na wiele lat przed proklamacją tego nurtu: „supergrafiki przedstawiają kształty niemożliwe, ewokują niejednoznaczne obrazy umysłowe – stwarzają złudzenia, a zarazem podają je w wątpliwość" [245, s. 49; zob. także 246, s. 55].

Pierwsza, bardzo wpływowa, ale nieprecyzyjna wypowiedź Rowe'a i Slutzky'ego doczekała się konkretyzacji i przedstawienia ostrych kryteriów służących wyróżnieniu postulowanej przez autorów przezroczystości fenomenalnej. W tekście pojawiają się przykłady zarówno współczesnych, jak i historycznych obiektów. Staje się jasne, że **przezroczystość fenomenalna jest rodzajem złudzenia**, jakie wywołuje się przez odpowiednio zaprojektowany układ figur geometrycznych na płaszczyźnie. Nie ma nic wspólnego z optyczną właściwością materiału. „Płytka przestrzeń" nie wiąże się z przestrzenią w sensie trójwymiarowym. Samokrytyka Rowe'a i Slutzky'ego oraz dogłębne analizy konkretnych przykładów nie docierają jednak do tak szerokiego grona odbiorców, tak jak miało to miejsce w przypadku pierwszej części eseju. Pewne ugruntowane przez czytelników rozumienie przestrzeni płytkiej i głębokiej funkcjonuje do dziś zarówno w krytyce [86], jak i praktyce architektonicznej. Choć w teorii architektury wciąż prowadzi to do wielu nieporozumień[167], to

[167] Rowe i Slutzky w żadnym miejscu pierwszej części eseju nie stwierdzają, że płaszczyzny „leżące w niewielkiej odległości jedna za drugą" są optycznie przezroczyste i przepuszczają światło.



Ryc. 124. Ornamentowa tafla na pierwszym planie i wypełnienie elewacji wełną mineralną na drugim tworzą „płytką przestrzeń". Biurowiec Peter Merian House w Bazylei (arch. Hans Zimpfer Partners, 1999).

Źródło: fot. Urszula Wiśniewska – wykorzystano za zgodą

w praktyce ideę dwuwymiarowej „płytkiej" przestrzeni udaje się przetransponować w rzeczywisty trzeci wymiar. Zastosowanie dwóch płaszczyzn, przezroczystej i nieprzezroczystej w niewielkiej odległości od siebie, pozwala na osiągnięcie wyjątkowych efektów wizualnych zbliżonych do postulowanej **płytkiej przestrzeni** – stworzenia głębi niebędącej złudzeniem, ale rezultatem rzeczywistego przestrzennego konfigurowania elementów architektonicznych. Dochodzi wtedy do jednoczesnego odbioru dwóch płaszczyzn: pierwszej – przezroczystej, i drugiej – leżącej w niewielkiej odległości za nią (ryc. 124). Najlepszym podsumowaniem obszernego krytycznego dyskursu na temat przezroczystości dosłownej i fenomenalnej jest stwierdzenie, którym Rosemarie Haag Bletter kończy swój tekst pt. *Opaque transparency*: „ogólna analiza przeprowadzona przez Rowe'a i Slutzky'ego jest zbyt niekonsekwentna, aby dzięki niej określić przydatne kategorie w analizie dzieł architektury [...], przezroczystość rzeczywista-dosłowna i fenomenalna w żadnym stopniu nie dostarczają nam nowych definicji" [115, s. 120].

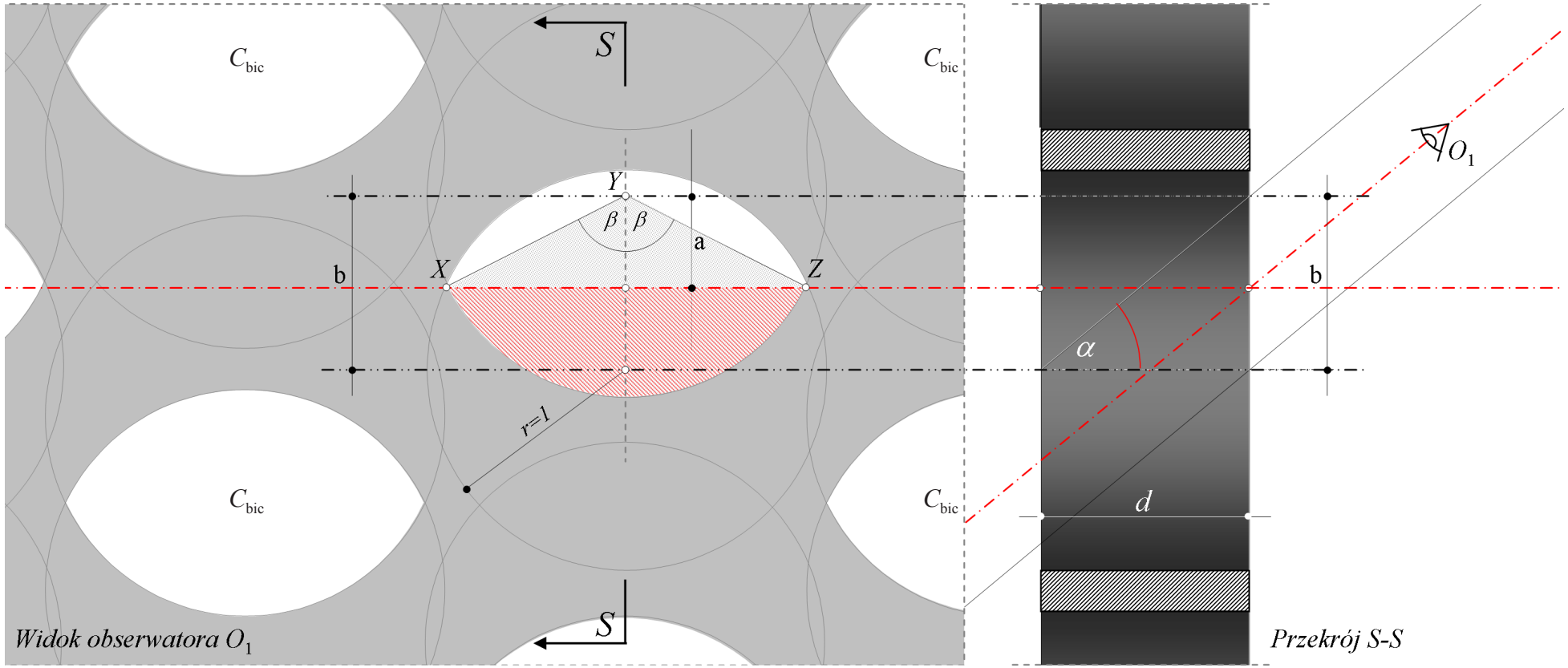
Załącznik B. Obliczenia do modelu perforacyjnego

Załącznik przedstawia wyprowadzenie wzoru matematycznego, w którym powierzchnia prześwitu C_{bic} zależy od kąta obserwacji α.

W modelu perforacyjnym tafla przezroczysta jest przedstawiona jako lita trójwymiarowa nieprzepuszczająca światła płyta z otworami. Zakłada się, że otwory te są okrągłe i rozmieszczone w sześciokątnej siatce. Promień otworu $r = 1$, a grubość płyty przyjmuje wartość d. Prześwit C_{bic}, przez który może być przepuszczany strumień świetlny, zmienia się w zależności od kąta obserwacji α i ma w uproszczeniu kształt soczewki – można go traktować jak część wspólną dwóch okręgów. Rycina 125 przedstawia widok płyty oraz przekrój przez jeden z cylindrycznych otworów. Na tej podstawie zostały wykonane poniższe obliczenia.

W pierwszej kolejności wyznaczane jest pole powierzchni wycinka koła P_{sec}, gdzie indeks sec pochodzi od angielskiego *section*, czyli wycinka koła opisanego przez kąt 2β:

$$P_{\text{sec}} = \pi r^2 \frac{2\beta}{2\pi} = \beta r^2$$, na tym etapie przyjmuje się, że $r = 1$, więc P_{sec} równa się β. (19)



Ryc. 125. Widok (po lewej) i przekrój pionowy (po prawej) przez jeden z cylindrycznych otworów w modelowej płycie perforowanej.

Źródło: opracowanie autor

Następnie obliczana jest powierzchnia P_{XYZ} trójkąta oznaczonego XYZ:

$$P_{XYZ} = \sin\beta\cos\beta\,. \tag{20}$$

Powierzchnia $C_{bic/2}$ połowy soczewki (zakreskowana na czerwono na ryc. 125) to powierzchnia P_{sec} wycinka pomniejszona o powierzchnię P_{XYZ} trójkąta oznaczonego XYZ:

$$C_{bic/2} = \beta - \sin\beta\cos\beta\,. \tag{21}$$

Oznaczamy jako b odległość między środkami okręgów oraz jako a połowę tej odległości; a jest wysokością trójkąta XYZ. Następnie obliczana jest powierzchnia $C_{bic/2}$ połowy soczewki w zależności od odległości b środków okręgów:

$$a = \cos\beta,\ \beta = \arccos a \tag{22}$$

$$C_{bic/2} = \arccos a - a\sqrt{1-a^2}\ . \tag{23}$$

Z poprzednio przyjętych założeń wynika, że:

$$b = 2a\ ,\ \text{więc}\ a = \frac{b}{2}, \tag{24}$$

dlatego po podstawieniu a do wzoru (23) otrzymuje się:

$$C_{bic} = 2\left(\arccos\frac{b}{2} - \frac{b}{2}\sqrt{1-\frac{b^2}{4}}\right). \tag{25}$$

Powierzchnia prześwitu powinna być opisana w funkcji kąta obserwacji α, gdzie d jest grubością płyty:

$$b = d \cdot \operatorname{tg}\alpha \tag{26}$$

i po podstawieniu b otrzymuje się ostateczny wzór na pole prześwitu C_{bic} w funkcji kąta α:

$$C_{bic} = 2\left(\arccos\left(\frac{d\cdot\operatorname{tg}\alpha}{2}\right) - \frac{d\cdot\operatorname{tg}\alpha}{2}\sqrt{1-\frac{d^2\operatorname{tg}\alpha^2}{4}}\right). \tag{27}$$

Bibliografia

[1] ADELSON E.H., *Lightness Perception and Lightness Illusions*, [w:] *The New Cognitive Neurosciences*, pod red. M. Gazzanigi, MIT Press, Cambridge 2000, 339–351.

[2] ADELSON E.H., BERGEN J.R., *The plenoptic function and the elements of early vision*, [w:] *Computation Models of Visual Processing*, pod red. M. Landy'ego, J.A. Movshona, MIT Press, Cambridge 1991, 3–20.

[3] *Advances in Passive Cooling*, pod red. M. Santamourisa, Earthscan, London 2007.

[4] AKIN Ö., *Psychology of Architectural Design*, Pion Limited, London 1986.

[5] *Akwarium – dzieło Maurycego Gomulickiego ozdobiło RENOMĘ*, [źródło:] http://www.renoma-wroclaw.pl/akwarium-dzielo-maurycego-gomulickiego [dostęp: 01.02.2014].

[6] *Albers and Moholy-Nagy: from the Bauhaus to the new world*, pod red. A. Borchardta-Hume'a, Yale University Press, New Haven 2006.

[7] ALEXANDER Ch., *Język wzorców*, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Gdańsk 2009.

[8] ANDERSON B.L., *A Theory of Illusory Lightness and Transparency in Monocular and Binocular Images: The Role of Contour Junctions*, Perception, 1997, Vol. 26, No. 4, 419–453.

[9] ANDERSON B.L., *Transparency and Occlusion*, [źródło:] http://www.psych.usyd.edu.au/staff/barta/transparencyOcclusion.pdf [dostęp: 29.11.2012].

[10] ANDERSON B.L., *Visual perception of materials and surfaces*, Current Biology, 2011, Vol. 21, No. 24, 978–983.

[11] ANDERSON J.R., *The Architecture of Cognition*, Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey 1996.

[12] APFELBAUM H.L., APFELBAUM D.H., WOODS R.L., PELI E., *Inattentional blindness and augmented-vision displays: Effects of cartoon-like filtering and attended scene*, Ophthalmic and Physiological Optics, 2008, Vol. 28, No. 3, 204–217.

[13] ARNHEIM R., *Sztuka i percepcja wzrokowa*, tłum. J. Mach, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1978.

[14] BABORSKA-NAROŻNY M., *Wybrane aspekty harmonii w architekturze*, rozprawa doktorska, Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2003.

[15] BABORSKA-NAROŻNY M., BRZEZICKI M., *Estetyka i technika w architekturze przemysłowej. Wybrane problemy na przykładach z lat 1985–2005*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.

[16] BAŃKA A., *Architektura psychologicznej przestrzeni życia. Behawioralne podstawy projektowania*, Gemini-Print, Poznań 1999.

[17] BAŃKA A., *Psychologiczna struktura projektowa środowiska. Studium przestrzeni architektonicznej*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1985.

[18] BAŃKA A., *Społeczna psychologia środowiskowa*, Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa 2002.

[19] BARANOWSKI A., *Projektowanie środowiskowe. Poszukiwania*, Wydział Architektury Politechniki Poznańskiej, Poznań 2009.

[20] BARUCKI T., *Architektura Japonii*, Arkady, Warszawa 1988.

[21] BASULTO D., *Medo Brundo Kindergarten/njiric & arhitekti*, ArchDaily, 26.11.2009, [źródło:] http://www.archdaily.com/42040 [dostęp: 15.07.2011].

[22] BAUER M., MÖSLE P., SCHWARZ M., *Green Building: Guidebook for Sustainable Architecture*, Springer, Berlin–Heidelberg 2010.

[23] *Belgian Building Research Institute 2002. Source book for better understanding of conceptual and operational aspects of active facades. Department of Building Physics, Indoor Climate and Building Services*, BBRI, version 1.

[24] BELL M., *Introduction*, [w:] *Engineering Transparency: The Technical, Visual, and Spatial Effects of Glass*, pod red. M. Bella, J. Kim, Princeton Architectural Press, New York 2008, 10–15.

[25] BEN-EZRA M., NAYAR S.K., *What does motion reveal about transparency?*, Computer Vision, 2003, October, Proceedings. Ninth IEEE International Conference on IEEE, Vol. 2, 1025–1032.

[26] BENNETT B.M., HOFFMAN D.D., PRAKASH C., *Observer mechanics: A formal theory of perception*, Academic Press, San Diego 1989.

[27] BENNETT B.M., HOFFMAN D.D., PRAKASH C., *Unity of perception*, Cognition, 1991, Vol. 38, No. 3, 295–334.

[28] BERTAMINI M., PARKS T.E., *On what people know about images on mirror*, Cognition, 2005, Vol. 98, No. 1, 85–104.

[29] BIEDERMAN I., *On the semantics of a glance at a scene*, [w:] *Perceptual Organization*, pod red. M. Kubovy'ego, J. Pomerantza, Lawrence Erlbaum, Hillsdale 1981, 213–254.

[30] BIEŃCZYK M., *Przezroczystość*, Wydawnictwo „Znak", Kraków 2007.

[31] BIESKE-MATEJAK A., *Przekształcanie terenów poprzemysłowych w tereny zieleni na przykładzie aglomeracji Paryża*, [źródło:] http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/TArch1/Bieske.pdf [dostęp: 03.06.2013].

[32] BIRON K., DEMERS C., *Perceptual Interactions between Light and Architecture: A graphical vocabulary using models and photographs*, [w:] *PLEA 2009 – 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada, 22–24 June 2009*.

[33] BLAKE A., BÜLTHOFF H., *Does the brain know the physics of specular reflection*, Nature, 1990, Vol. 343, No. 6254, 165–168.

[34] BLAKE A., BÜLTHOFF H., *Shape from specularities: Computation and psychophysics*, Philosophical Transactions of the Royal Society, B: Biological Sciences, 1991, Vol. 331, No. 1260, 237–252.

[35] *Block*, hasło, [źródło:] http://dictionary.reference.com/browse/block?s=t [dostęp: 03.06.2013].

[36] BOJĘŚ A., MARKIEWICZ P., *Przeszklone ściany osłonowe. Projektowanie architektoniczne przeszklonych ścian osłonowych o konstrukcji słupowo-ryglowej*, Archi-Plus, Kraków 2008.
[37] BŁOŃSKI M., *Z szyby lustro*, [źródło:] http://kopalniawiedzy.pl/szyba-lustro-magnez-tytan-szyby-elektrochromatyczne-itr-lantan-Narodowy-Instytut-Zaawansowanych-Nauk-i-Technologii-AIST-Kazuki-Yoshimura-Shanhu-Bao-1753.html [dostęp: 03.06.2013].
[38] BRZEZICKI M., *Analiza teoretyczna elewacji obiektów biurowych z punktu widzenia komfortu mikroklimatycznego miejsca pracy*, Raporty Instytutu Architektury, Ser. SPR, nr I-1/S-875/09, Politechnika Wrocławska 2009.
[39] BRZEZICKI M., *Architectural aspects of stacked glass (multiply laminated) application in untypical arrangements*, [w:] *InStructA. Międzynarodowa Konferencja i Warsztaty nt. Interakcji Architektonicznego i Konstrukcyjnego Kształtowania Formy, InStructA 2009–2012*, pod red. R. Tarczewskiego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej [w druku].
[40] BRZEZICKI M., *Designer-controlled and randomly generated moiré patterns in architecture*, [w:] *XIV Generative Art Conference, Rome, 5–7 December 2011*, 288–301.
[41] BRZEZICKI M., *Dynamic perception of transparency in architecture: mechanisms of the proper recognition of light permeable surfaces*, Comprehensive Psychology, 2014, Vol. 3, Article 7.
[42] BRZEZICKI M., *Efekty optyczne związane ze stosowaniem materiałów przezroczystych na przykładzie wybranych obiektów zlokalizowanych w Paryżu*, cz. 2, Raporty Instytutu Architektury, Ser. SPR, nr 462, Politechnika Wrocławska 2009.
[43] BRZEZICKI M., *Geometria kaustyki w odblasku typu RSG od fasad nieortogonalnych: studia teoretyczne, przykłady obiektów*, Raporty Instytutu Architektury, Ser. SPR, nr 26, Politechnika Wrocławska 2013.
[44] BRZEZICKI M., *Multiplication of optical phenomena in double leaf façades*, Architectus, 2010, nr 1(27), 59–63.
[45] BRZEZICKI M., *Perceptual mechanisms of transparency recognition as measures of increased human spatial orientation*, [w:] *Advances in social and organizational factors*, pod red. P. Vinka i in., CRC Press, Boca Raton 2012, 73–82.
[46] BRZEZICKI M., *Przewodzenie światła przez materiały budowlane. Optyczne i psychologiczne aspekty zjawiska*, Raporty Instytutu Architektury, Ser. SPR, nr 2, Politechnika Wrocławska 2011.
[47] BRZEZICKI M., *Redundant Transparency: The Building's Light-Permeable Disguise*, Journal of Architectural and Planning Research [w druku].
[48] BRZEZICKI M., *Symmetry of worlds: the analysis of mirror images in glazed facades*, The Journal of International Society for the Interdisciplinary Study of Symmetry, 2009, nr 1–4, 64–67.
[49] BRZEZICKI M., *Szkło jako filtr dla światła*, Świat Szkła, 2003, nr 1, 26–27.
[50] BRZEZICKI M., *The influence of reflected solar glare caused by the glass cladding of a building: application of caustic curve analysis*, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2012, Vol. 27, No. 5, 347–357.
[51] BRZEZICKI M., *The pictorial analysis of the transparent panes. The balance between the reflected and transmitted image*, [w:] *International Scientific Symposium CroArtScia 2011 – Symmetry: Art and Science, Zagreb 4–7 May 2011* [w druku].
[52] BRZEZICKI M., *The Role of Specular Reflection in the Perception of Transparent Surfaces – The Influence on User Safety*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2013, Vol. 8019, 189–196.
[53] BRZEZICKI M., *Transparent, opaque or reflective? A brief analysis of the appearance of light-transmitting envelopes and the main influencing factors*, [w:] *International Conference at Glasstec, Düsseldorf, 25–26 October 2012*, 555–563.
[54] BRZEZICKI M., *Understanding transparency perception in architecture: Presentation of the simplified perforated model*, Perception, 2013, Vol. 42, No. 1, 60–81.
[55] BRZEZICKI M., *Zastosowanie zaawansowanych technologii w rozwiązaniach proekologicznych w architekturze*, rozprawa doktorska, Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska, Wrocław 26.09.2001.
[56] BUCHANAN P., *Trendy we współczesnej architekturze brytyjskiej*, Architektura-murator, 1996, nr 12, 45–48.
[57] *Building Regulations: Approved Document M: Access to and Use of Buildings (2010 Edition)*, RIBA Enterprises, 2010.
[58] *Building Skins: Concepts, Layers, Materials*, pod red. Ch. Schitticha, Birkhäuser, Basel 2001.
[59] BÜLTHOFF H.H., EDELMAN S., *Psychophysical support for a two-dimensional view interpolation theory of object recognition*, Psychology, 1992, Vol. 89, No. 1, 60–64.
[60] *BYK Gardner Catalog 2010–2011*, 61–62.
[61] CAMPAGNO A., *Intelligent Glass Facades*, Birkhäuser, Basel 1995.
[62] CANTER D.V., *Psychology for architects*, John Wiley & Sons, New York 1975.
[63] CARROLL J.M., *HCI Models, Theories, and Frameworks: Toward a Multidisciplinary Science,* Morgan Kaufmann, San Francisco 2003.
[64] *Case study: Novartis Campus – Forum 3 in Basel, Switzerland*, [źródło:] http://news.ruckstuhl.com/2009/06/case-study-novartis-campus-forum-3-in-basel-switzerland/ [dostęp: 15.11.2011].
[65] *Catalog Matelux, 2008 AGC Flat Glass North America, MATELUX 05/08*, [źródło:] http://www.jnsglass.com/pdf/Matelux.pdf [dostęp: 02.06.2013].
[66] *Cathedral and Figured Rolled Glass*, Pilkington Brothers, St. Helens, Lancashire 1939.
[67] CELADYN W., *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004.

[68] CELADYN W., *Zastosowania siatek stalowych na elewacjach*, Czasopismo Techniczne. Architektura, 2007, R. 104, z. 4-A, 9–18.
[69] CIACCI L., *Three films by Chenal to show Modern architecture and promote a new Architectural magazine*, [źródło:] http://www.planum.net/three-film-by-chenal-to-show-modern-architecture-and-propagandise-a-new-architectural-magazin [dostęp: 03.06.2013].
[70] *Ciało przezroczyste*, hasło, [źródło:] http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/3886358/cialo-przezroczyste.html [dostęp: 03.06.2013].
[71] CICCONE L.V., *Frozen*, album: *Ray of Light*, Maverick Records, Warner Bros. Records, 1997.
[72] CODY B., *Patentiertes Gefieder*, Intelligente Architektur, 2000, No. 8(23), 25.
[73] COERSMEIER U., *Fünf Häuser – Vier Höfe*, [źródło:] http://www.coersmeier.com/index.php?id=3&kategorie_id=5&projekt_id=4 [dostęp: 03.06.2013].
[74] COLOMINA B., *Unclear Vision: Architectures of Surveillance*, [w:] *Engineering Transparency: The Technical, Visual, and Spatial Effects of Glass*, pod red. M. Bella, J. Kim, Princeton Architectural Press, New York 2008, 78–87.
[75] *Colour*, hasło, [źródło:] http://www.britannica.com/EBchecked/topic/126658/colour/21861/Scattering [dostęp: 12.04.2013].
[76] CZORA G., *Obiekt architektoniczny – baza wyjściowa dla projektu iluminacji oświetlenia zewnętrznego*. Część 1: *Morfologia i syntaktyka formy*, [źródło:] http://www.swiatlo.tak.pl/oswietlenie/oswietlenie-zewnetrzne-obiekt-architektura-cz1.php?id=5 [dostęp: 03.06.2013].
[77] D'ZMURA M., COLANTONI P., KNOBLAUCH K., LAGET B., *Color transparency*, Perception, 1997, Vol. 26, No. 4, 471–492.
[78] D'ZMURA M., LENNIE P., *Mechanisms of color constancy*, Journal of the Optical Society of America A, 1986, Vol. 3, No. 10, 1662–1672.
[79] DANIELS K., *The Technology of Ecological Building*, Birkhäuser, Basel 1997.
[80] DAVELY V., *Light and Shadow*, [źródło:] http://citygraphy.com/texts/view/27 [dostęp: 20.02.2013].
[81] DAW N., *How Vision Works: The Physiological Mechanisms Behind What We See*, Oxford University Press, New York 2012.
[82] DEDERKO W., *Oświetlenie w fotografii*, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1969.
[83] DEMERS C.M.H., *The Sanctuary of Art: images in the assessment and design of light in architecture*, Ph.D. thesis, University of Cambridge, Cambridge 1997.
[84] DITCHBURN R.W., *Eye-Movements and Visual Perception*, Clarendon Press, Oxford 1973.
[85] DITFURTH H. von, *Duch nie spadł z nieba*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1979.
[86] DOMINICZAK J., *Miasto dialogiczne*, cz. 1–12, Architektura-murator, seria artykułów, 2002–2003.
[87] DOMINICZAK J., *Miasto dialogiczne*, cz. 3, Architektura-murator, 2002, nr 12, 58–60.
[88] DOMINICZAK J., *Miasto dialogiczne*, cz. 4, Architektura-murator, 2003, nr 1, 56–58.
[89] DOWNING P., LIU J., KANWISHER N., *Testing cognitive models of visual attention with fMRI and MEG*, Neuropsychologia, 2001, Vol. 39, No. 12, 1329–1342.
[90] DUNICZ M., TARNOWSKI A., *Badanie wpływu nastawienia na siłę złudzenia Müllera–Lyera*, Polski Przegląd Medycyny Lotniczej, 2006, Vol. 12, No. 1, 27–40.
[91] DWORZAK-ŻAK E., *Ściany zewnętrzne nowej generacji – aktywne, interaktywne, medialne*, Czasopismo Techniczne. Architektura, 2007, R. 104, z. 4-A, 43–50.
[92] DWORZAK-ŻAK E., *Zmienna szata zewnętrzna – nowa estetyka*, Czasopismo Techniczne. Architektura, 2007, R. 104, z. 6-A, 224–229.
[93] ELSENER Ch., *Glass, the opaque building material*, [w:] *Constructing Architecture: Materials, Processes, Structures, a Handbook*, pod red. A. Deplazesa, wyd. 2, Birkhäuser, Basel 2008, 151–158.
[94] *Emergency Terminal Zagreb*, World Buildings Directory Online Database, [źródło:] http://www.worldbuildingsdirectory.com/project.cfm?id=1687 [dostęp: 14.06.2013].
[95] FARAH M.J., *Is an object an object an object? Cognitive and neuropsychological investigations of domain-specificity in visual object recognition*, Current Directions in Psychological Science, 1992, Vol. 1, No. 5, 164–169.
[96] FAVIER J., BELAVAL P., EDELMANN F., BATTISTA N. di, BUCHANAN P., *La Bibliothèque nationale de France*, Birkhäuser, Basel 1995.
[97] FDEZ-VIDAL X.R., GARCIA J.A., FDEZ-VALDIVIA J., *Using models of feature perception in distortion measure guidance*, Pattern Recognition Letters, 1998, Vol. 19, No. 1, 77–88.
[98] FEDOROVSKAYA E.A., RIDDER H. de, BLOMMAERT F.J.J., *Chroma Variations and Perceived Quality of Color Images of Natural Scenes*, Color Research and Application, 1997, Vol. 22, No. 2, 96–110.
[99] *Fermat's principle*, hasło, [źródło:] http://www.britannica.com/EBchecked/topic/204700/Fermats-principle [dostęp: 23.02.2012].
[100] FEYNMAN R.P., *QED – osobliwa teoria światła i materii*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1992.
[101] FIEDLER-RAUER H., KRAUSE K., *Insights. A tour of Berlin's parliamentary quarter*, German Bundestag, Public Relations Division, Berlin 2006.
[102] FILLION O., *Wywiad z Dominique Perraultem*, [w:] J. Favier, P. Belaval, F. Edelmann, N. di Battista, P. Buchanan, *La Bibliothèque nationale de France*, Birkhäuser, Basel 1995, 47–60.
[103] *Filtrowa Enterprise*, AIT (Architektur, Innenarchitektur, Technischer Ausbau, 2002, nr 10, 172–177.
[104] FISCHER J., *Munich: Architecture and Design*, teNeues Publishing Company, New York 2005.
[105] FLEMING J., HONOUR H., PEVSNER N., *Dictionary of Architecture*, The Penguin Books, London 1980.

[106] FUCHS W., *Experimentelle Untersuchungen über das simultane Hintereinandersehen auf derselben Sehrichtung,* Zeitschrift für Psychologie, 1923, Vol. 91, 145–235, [przedruk w:] W.D.A. Ellis, *Source Book of Gestalt Psychology*, Humanities Press, New York 1950.
[107] GERBINO W., STULTIENS C.I., TROOST J.M., WEERT Ch.M. de, *Transparent layer constancy*, Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1990, Vol. 16, No. 1, 3–20.
[108] GERSHUN A., *The Light Field*, Journal of Mathematics and Physics, 1939, Vol. 18, No. 2, 51–151.
[109] GIBSON J.J., *The Ecological Approach to the visual perception of pictures*, Leonardo, 1978, Vol. 11, No. 3, 227–235.
[110] GIBSON J.J., *The Ecological Approach to Visual Perception*, Routledge, Boston 1986.
[111] GIEDION S., *Przestrzeń, czas i architektura: narodziny nowej tradycji*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1968.
[112] GRAJKOWSKI W., KARNKOWSKA A. i in., *Jak prawidłowo przeprowadzić eksperyment naukowy?*, Szkoła Festiwalu Nauki, Fundacja BioEdukacji, Warszawa 2005.
[113] GREGORY R.L., *Oko i mózg. Psychologia widzenia*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1971.
[114] GREMILETT M., *Institut de la Vision. Science and Architecture*, Ante Prima, AAM Éditions, Bruxelles–Paris 2009.
[115] HAAG BLETTER R., *The opaque transparency*, Oppositions, 1978, No. 13, [przedruk w:] J. Kipnis, T. Gannon, *The Light Construction Reader*, Monacelli Press, New York 2002, 115–120.
[116] *Hall of Shame, French National Library*, [źródło:] http://www.pps.org/great_public_spaces/one?public_place_id=350 [dostęp: 19.03.2013].
[117] HALSTED Ch.P., *Brightness, Luminance, and Confusion*, Information Display, March 1993, Vol. 9, No. 3, 21–24.
[118] *Hand-Blown Glass: Manufacturing Process*, [źródło:] http://www.londoncrownglass.co.uk/London_Crown_Glass/Manufacturing.html [dostęp: 01.04.2014].
[119] HART F.H., *Low emissivity coatings on transparent substrates*, US patent nr 44 628 83, 1984.
[120] *Haus der Ärzteschaft 2 BA*, *Düsseldorf*, [źródło:] http://www.rkw-as.de/rkw/english/projekte/buerobauten/hdae2ba/index.htm [dostęp: 28.06.2012].
[121] HAWTHORNE Ch., *Green clashes with design in S.F. tower*, Los Angeles Times, 21.03.2007, 21.
[122] HAYS K.M., *Critical Architecture: Between Culture and Form*, Perspecta 21, MIT Press, Cambridge 1984, [źródło:] http://www.eikongraphia.com/?p=111 [dostęp: 01.02.2014].
[123] HEILMEIER G.H., ZANONI L.A., *Guest-host interactions in nematic liquid crystals. A new electro-optic effect*, Applied Physics Letters, 1968, Vol. 13, No. 3, 91–92.
[124] HEIM D., JANICKI M., *Wpływ podwójnych fasad przeszklonych na energooszczędność obiektów*, Materiały Budowlane, 2012, Vol. 1, 66–69.
[125] HELMHOLTZ H. von, *Concerning the perceptions in general*, [w:] tenże, *Treatise on Physiological Optics*, Vol. 3, tłum. i red. J.P.C. Southall, New York 1925, 1–36.
[126] HILBERSEIMER L., *Glasarchitektur*, Die Form, 1929, Vol. 4, No. 19, 551–552.
[127] HIRSCHLER H., *Abt zu Loccum, EXPO-Kirche*, [źródło:] http://www.kloster-volkenroda.de/expo-kirche-volkenroda.html [dostęp: 03.06.2013].
[128] *History and Development of Double Glazing*, [źródło:] http://www.aboutdoubleglazing.co.uk/history-development-of-double-glazing/ [dostęp: 03.06.2013].
[129] HOEPNER-FILLIES S., *Jacques Herzog und Pierre de Meuron bauen in Cottbus eine Bibliothek*, [źródło:] http://www.art-in-berlin.de/incbmeld.php?id=382 [dostęp: 18.04.2014].
[130] *Intersubiektywny*, hasło, [źródło:] http://sjp.pwn.pl/slownik/2466691/intersubiektywny [dostęp: 04.06.2013].
[131] *Intuicja*, hasło, [źródło:] http://sjp.pwn.pl/szukaj/intuicja [dostęp: 03.06.2013].
[132] *Iridescence*, hasło, [źródło:] http://www.britannica.com/EBchecked/topic/293975/iridescence [dostęp: 03.06.2013].
[133] JANIK J., *Ciekłe kryształy*, Foton, 2006, No. 94, 4–16, [źródło] http://www.foton.if.uj.edu.pl/archiwum/2006/94 [dostęp: 04.02.2014].
[134] JAŚKOWSKI P., *Neuronauka poznawcza. Jak mózg tworzy umysł*, Wizja Press & IT, Warszawa 2009.
[135] JEHLE-SCHULTE STRATHAUS U., *Novartis Campus – Forum 3. Diener, Federle, Wiederin*, Architekturmuseum Basel, Christoph Merian, Basel 2005.
[136] JENCKS Ch., *Architektura późnego modernizmu i inne eseje*, Arkady, Warszawa 1989.
[137] JESKA S., *Transparent Plastics: Design and Technology*, Springer, Basel 2008.
[138] JOVANCEVIC J., SULLIVAN B., HAYHOE M., *Control of attention and gaze in complex environments*, Journal of Vision, 2006, Vol. 6, No. 12, 1431–1450.
[139] KAJI-O'GRADY S., *Formalism and forms of practice*, [w:] *The SAGE handbook of architectural theory*, pod red. C. Cryslera, S. Cairnsa i H. Heynena, SAGE Publications, London 2012, 152–165.
[140] KALTENBACH F., *Translucent materials. Glass, Plastics, Metal*, Birkhäuser, Basel 2004.
[141] *Kanagawa Institute of Technology*, Office Designer, 2009, nr 5, 74–77.
[142] KANISZEWSKI D., GAJOS S., *Badanie przepuszczalności filtrów optycznych*, [źródło:] http://www.s-gajos.cba.pl/dane/archiwum/pracownia_fiz/badanie_przepuszczalnosci_filtrow_optycznych.pdf [dostęp: 03.06.2013].
[143] KANIZSA G., *Organization in Vision*, Praeger Publishers, New York 1979.
[144] KANIZSA G., *Subjective contours*, Scientific American, 1976, Vol. 234, No. 4, 48–52.
[145] KEPES G., *Language of Vision*, Dover Publication, New York 1995.
[146] KIK M., *La critique littéraire de Jean Starobinski*, Zakład Graficzny Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2007.
[147] KIRSCHKE K., *Dernburg Hermann*, hasło, [w:] *Leksykon architektury Wrocławia*, pod red. nauk. R. Eysymontta i in., Wydawnictwo Via Nova, Wrocław 2011, 964.

[148] KIRSCHKE K., *Dom Handlowy Renoma, ul. Świdnicka 40, Wrocław: nadzór konserwatorski*, ARCH, 2011, nr 5, 16–21.
[149] KLAWITER A., *Wstęp do kognitywistyki*, 2011/2012, wykłady, [źródło:] http://www.staff.amu.edu.pl/~klawiter/wstep-wyklad7-2011.pdf [dostęp: 04.06.2013].
[150] KOCH K., McLEAN J., BERRY M., STERLING P. i in., *Efficiency of Information Transmission by Retinal Ganglion Cells*, Current Biology, 2004, Vol. 14, No. 17, 1523–1530.
[151] KOFFKA K., *Perception: An Introduction to the Gestalt Theorie*, Psychological Bulletin, 1922, Vol. 19, No. 10, 531–585.
[152] KOŚCIUK J., SŁAWIŃSKA J., *Ład, chaos i architektura*, Architectus, 2000, nr 2(8), 55–60.
[153] KOTARBIŃSKI T., *Zagadnienia metodologii nauk praktycznych*, Zagadnienia Naukoznawstwa, 1969, T. 5, nr 3(19), 3–17.
[154] KOZAK M., SZUMOWSKA I., *Widzieć nie znaczy tylko patrzeć. System brzuszny i grzbietowy w procesie widzenia, Poznańskie Forum Kognitywistyczne. Teksty pokonferencyjne*, t. 3, Poznań 2009, 185–194.
[155] *Kubizm*, hasło, [w:] *Słownik terminologiczny sztuk pięknych*, pod red. K. Kubalskiej-Sulkiewicz, M. Bielskiej-Łach, A. Manteuffel-Szaroty, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
[156] KUC S., *Wybrane sposoby termorenowacji przegród szklanych w budynkach mieszkalnych*, [w]: *II Konferencja naukowo-techniczna: problemy projektowania, realizacji i eksploatacji budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię. Kraków–Mogilany 19–22 października 1994*, Politechnika Krakowska, Kraków 1994.
[157] KURYŁOWICZ S., *Pudło ze szkła*, Architektura-murator, 2003, nr 3(102), 95–99.
[158] *Lamberts Linit. Technical Instruction U-Glass*, [źródło:] http://www.lamberts.info/EN/downloads/ uglas_en.pdf [dostęp: 03.06.2013].
[159] LAMME V., ROELFSEMA P., *The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing*, Trends in Neurosciences, 2000, Vol. 23, No. 11, 571–579.
[160] LENARTOWICZ J.K., *O psychologii architektury: próba inwentaryzacji badań, zakres przedmiotowy i wpływ na architekturę*, Politechnika Krakowska, Kraków 1992.
[161] LENARTOWICZ J.K., *Słownik psychologii architektury*, Politechnika Krakowska, Kraków 2010.
[162] *Leonardo on the eye: an English translation and critical commentary of MS. D in the Bibliothèque nationale, Paris, with studies on Leonardo's methodology and theories on optics*, tłum. D.S. Strong, Garland Publishing, New York 1979, 41–92.
[163] LEŚNIKOWSKI W., *Fenomen przezroczystości w architekturze*, Architektura i Biznes, 1995, nr 12, 16–17.
[164] LINDSAY P.H., NORMAN D.A., *Procesy przetwarzania informacji u człowieka. Wprowadzenie do psychologii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991.
[165] LITWIN R., *Teoria pola elektromagnetycznego*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1968.
[166] *Manuelle Gautrand, architektka z Paryża*, [źródło:] http://bryla.gazetadom.pl/bryla/56,85298,11665498,Citroen_na_Champs_Elysees,,2.html [dostęp: 14.03.2012].
[167] MANZ H., FRANK Th., *Thermal simulation of buildings with double-skin façades*, Energy and Buildings, 2005, Vol. 37, No. 11, 1114–1121.
[168] MARCHWIŃSKI J., *Energetyczna rola szklenia w zewnętrznych przegrodach budowlanych*, Świat Szkła, 2005, nr 12, 20–27.
[169] MARCHWIŃSKI J., *Funkcja estetyczna struktur szklarniowych w architekturze*, cz. 1, Świat Szkła, 2005, nr 4, 14–21.
[170] MARCHWIŃSKI J., *Funkcja estetyczna struktur szklarniowych w architekturze*, cz. 2, Świat Szkła, 2005, nr 6, 8–13.
[171] MARCHWIŃSKI J., *Przestrzeń wewnętrzna atriów przeszklonych*, Świat Szkła, 2005, nr 7–8, 49–55.
[172] MARUSZEWSKI T., *Psychologia poznania*, Gdańskie Wydawnictwo Oświatowe, Gdańsk 2011.
[173] MASIN S.C., TOMMASI M., DA POS O., *Test of the Singh-Anderson model of transparency*, Perceptual and Motor Skills, 2007, Vol. 104, No. 3c, 1367–1374.
[174] *Mausoleum in Murcia*, Detail, 2004, Vol. 44, No. 4, 362–364.
[175] MEINHOLD B., *Amazing Light-Filled Glass Studio In Japan*, [źródło:] http://inhabitat.com/amazing-light-filled-glass-studio-in-japan/ [dostęp: 03.06.2013].
[176] METELLI F., *The Perception of Transparency*, Scientific American, 1974, Vol. 230, No. 4, 90–98.
[177] MICHAELS C., CARELLO C., *Direct Perception*, Engelwood Cliffs, New Jersey 1981.
[178] MILL J.S., *System logiki dedukcyjnej i indukcyjnej*, PWN, Warszawa 1962.
[179] MIŁOBĘDZKI A., *Zarys dziejów architektury w Polsce*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1981.
[180] MIODEK J., *Jestem za ekstraodlotem – wywiad z prof. Janem Miodkiem*, Słowo Polskie. Gazeta Wrocławska, 24.02.2007.
[181] MITSON R.J., *Flat glass products & float manufacture 2007*, Pilkington Technical Advisory Service, [źródło:] http://www.slideshare.net/rjmitson/flat-glass-products-float-manufacture2007 [dostęp: 01.01.2014].
[182] MOOR A., *Colours of Architecture: Coloured Glass in Contemporary Buildings*, Mitchell Beazley, London 2006.
[183] MOORE Ch., cytat za: H. Klotz, J.W. Cook, *Architektur im Widerspruch. Bauen in den USA von Mies van der Rohe bis Andy Warhol*, Artemis, Zürich 1974.
[184] MURRAY S.C., *Contemporary Curtain Wall Architect*, Princeton Architectural Press, New York 2009.
[185] MUSCHAMP H., *Buildings that hide and reveal*, [w:] *The Light Construction Reader*, pod red. J. Kipnisa, T. Gannona, Monacelli Press, New York 2002, 43–45.
[186] MUSZYŃSKA-ŁANOWY M., *Fasety na fasadzie – trzeci wymiar szklanej skóry*, Świat Szkła, 2012, nr 12, 20–23.

[187] NAJMIEC A., KWARECKI K., *Tajemnice spostrzegania – ciekawe i niebezpieczne*, Bezpieczeństwo Pracy, 2000, nr 11(352), 17–20.
[188] NEISSER U., BECKLEN R., *Selective looking: Attending to visually specified events*, Cognitive Psychology, 1975, Vol. 7, No. 4, 480–494.
[189] *Netherlands Embassy, Germany, Berlin, 2003, Royal Netherlands Embassy to the Federal Republic of Germany*, [źródło:] http://oma.eu/projects/2003/netherlands-embassy [dostęp: 03.06.2013].
[190] NĘCKA E., temat: Kognitywistyka, [e-mail], do: M. Brzezicki, 16.04.2014; 12:44.
[191] NĘCKA E., ORZECHOWSKI J., SZYMURA B., *Psychologia poznawcza*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
[192] NIEZABITOWSKA E., *Ewolucja konceptu przestrzeni w teorii architektury*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008.
[193] NIEZABITOWSKA E., NIEZABITOWSKI A., *Badania jakościowe środowiska zbudowanego w dydaktyce i pracach badawczych Wydziału Architektury Politechniki Śląskiej*, [w:] *Badania jakościowe środowiska zbudowanego*, pod red. E. Niezabitowskiej, Stowarzyszenie Psychologia i Architektura, Poznań 2006, 5–10.
[194] NIEZABITOWSKI A., *Architectonics – A System of Exploring Architectural Forms in Spatial Categories*, International Journal of Architectural Research, 2009, Vol. 3, No. 2, 92–129.
[195] NIEZABITOWSKI A., *Podstawowe elementy oceny wizualnego oddziaływania obiektów architektonicznych na środowisko*, [w:] *Badania jakościowe środowiska zbudowanego*, pod red. E. Niezabitowskiej, Stowarzyszenie Psychologia i Architektura, Poznań 2006, 11–15.
[196] NIŻANKOWSKA M.H., *Okulistyka: podstawy kliniczne*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2007.
[197] NOCUŃ M., *Powłoki na szkle – zastosowania, metody wytwarzania*, [źródło:] http://www.oknoserwis.pl/art,82,,,.html [dostęp: 18.04.2014].
[198] NORMAN J., *Direct and indirect perception of size*, Perception and Psychophysics, 1980, Vol. 28, No. 4, 306–314.
[199] NORMAN J., *Two visual systems and two theories of perception: An attempt to reconcile the constructivist and ecological approaches*, Behavioral and Brain Science, 2002, Vol. 25, No. 1, 73–144.
[200] NOWAK J., ZAJĄC M., *Optyka – kurs elementarny*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1998.
[201] *Nowatorskie rozwiązania w Renomie docenione przez SARP*, [źródło:]. http://www.pilkington.com/pl-pl/pl/nowosci/latest/nowatorskie-rozwiazania-w-renomie-docenione-przez-sarp [dostęp: 03.06.2013].
[202] OESTERLE E., *Double-Skin Facades: Integrated Planning. Building Physics, Construction, Aerophysics, Air-Conditioning, Economic Viability*, Prestel Books on Architecture, Munich 2001.
[203] PANAK M., *Ciekawa fizyka w interaktywnych animacjach*, Centrum Nauczania Matematyki i Fizyki Politechniki Łódzkiej, [źródło:] http://www.efiz.pl [dostęp: 03.06.2013].
[204] PIETER J., *Słownik psychologiczny*, Ossolineum, Wrocław 1963.
[205] PIETER J., *Zarys metodologii pracy naukowej*, PWN, Warszawa–Poznań 1975.
[206] PLAZE G., *Estetyka obrazu*, Builder. Budownictwo, Ludzie, Opinie, 2011, No. 1, 68–69.
[207] PLUMMER D.J., RAMACHANDRAN V.S., *Perception of transparency in stationary and moving images*, Spatial Vision, 1993, Vol. 7, No. 2, 113–123.
[208] *PN-90/E-01005: 1999. Technika świetlna. Terminologia.*
[209] *Polaryzacja fali*, [źródło:] http://www.if.pwr.wroc.pl/~wsalejda/Polaryzacja 20fali.pdf [dostęp: 03.06.2013].
[210] *Project Profile: Parking garage Berlin*, [źródło:] http://www.saflex.com/pdf/Vanceva%C2%AE%20Color%20by%20Saflex%E2%84%A2%20-%20Parkhaus%20Berlin.pdf [dostęp: 03.06.2013].
[211] *Przejrzeć*, hasło, [źródło:] http://sjp.pwn.pl/slownik/2510297/przejrze%C4%87_I [dostęp: 03.06.2013].
[212] RAMACHANDRAN V.S., ROGERS-RAMACHANDRAN D., *Transparently Obvious*, Scientific American Mind, 2008, Vol. 19, No. 2, 20–22.
[213] RATTENBURY K., BEVAN R., LONG K., *Architects Today*, Laurence King Publishing, London 2004.
[214] *Refleksja*, hasło, [źródło:] http://sjp.pwn.pl/szukaj/refleksja [dostęp: 03.06.2013].
[215] *Rehearsal Building for the Bavarian State Opera in Munich*, Project Article Edition, 2007, 4, [źródło:] http://www.schott.com/architecture/english/references/opera-munich.html [dostęp: 18.03.2009, obecnie strona niedostępna].
[216] RELPH E., *The modern urban landscape*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore 1987.
[217] RESPONDEK Z., *Parametry techniczne nowoczesnych przegród szklanych*, cz. 1, Świat Szkła, 2007, nr 10, 50–55.
[218] RĘBIELAK J., *Metody numeryczne w modelowaniu struktur przestrzennych. Kształtowanie systemów konstrukcyjnych budynków wysokich*, Archivolta, 2013, No. 1, 64–71.
[219] RICE P., DUTTON H., *Structural Glass*, E & FN Spon, London 1995.
[220] *Richard Rogers & Architects (Architectural Monographs)*, pod red. F. Russella, Academy Editions, London 1985.
[221] RICHARDS W., STEVENS K., *Efficient computations and representations of visible surfaces (Final Report, Contract No. AFOSR-79-0200). Unpublished report, Massachusetts Institute of Technology, 1979*, [w:] M. Singh, B.L. Anderson, *Toward a Perceptual Theory of Transparency*, Psychological Review, 2002, Vol. 109, No. 3, 492–519.
[222] RILEY T., *Light Construction*, The Museum of Modern Art, New York 1995.
[223] ROCK I., *Perception*, Scientific American Books, New York 1995.
[224] ROMASZKIEWICZ T., SŁAWIŃSKA J., *Perspektywa i percepcja przestrzeni w architekturze*, Studia Estetyczne, 1981, Vol. 17–18, 189–207.

[225] ROWE C., SLUTZKY R., *Transparency*, sł. wstępne B. Hoesli, Birkhäuser, Basel–Boston 1997.
[226] ROWE C., SLUTZKY R., *Transparency: literal and phenomenal*, Perspecta, 1963, Vol. 8, 45–54.
[227] ROWE C., SLUTZKY R., *Transparency: literal and phenomenal. Part II*, Perspecta, 1971, Vol. 13/14, 287–301.
[228] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* – Dz.U. z 2002 r., nr 75, poz. 690, z późniejszymi zmianami.
[229] *Rozpoznawanie twarzy. Projekt kognitywistyka UMCS*, [źródło:] http://projektkogni.wordpress.com/psychological-description/ [dostęp: 03.06.2013].
[230] RZEPIŃSKA M., *Historia koloru w dziejach malarstwa europejskiego*, t. 1, Arkady, Warszawa 1989.
[231] SALMOND Ch., *A Brief History Of Glass*, [źródło:] http://www.ihbc.org.uk/context_archive/ 48/periodwindow.htm [dostęp: 18.04.2014].
[232] SANKARANARAYANAN A.C, VEERARAGHAVAN A., TUZEL O., AGRAWAL A., *Image Invariants for Smooth Reflective Surfaces*, *ECCV 10, Computer Vision – ECCV 2010*, Lecture Notes in Computer Science, 2010, Vol. 6312, 237–250.
[233] SCHEERBART P., *Glasarchitektur*, [źródło:] http://gutenberg.spiegel.de/buch/1752/1 [dostęp: 03.06.2013].
[234] SCHITTICH Ch., STAIB G. i in., *Glass Construction Manual*, Birkhäuser, Basel–Berlin 1999.
[235] SCHULZE F., *Mies van der Rohe: a critical biography*, University of Chicago Press, Chicago 1995.
[236] SEDGWICK H.A., *Space perception*, [w:] *Handbook of Perception and Human Performance*, t. 1, pod red. K. Boffa, L. Kaufmana, J. Thomasa, John Wiley and Sons, New York 1986.
[237] SHAN Q., CURLESS B., KOHNO T., *Seeing through Obscure Glass, Computer Vision – ECCV 2010*, Lecture Notes in Computer Science, 2010, Vol. 6316, 364–378.
[238] SHINKENCHIKU S., *Forest like architecture*, [źródło:] http://www.youtube.com/watch?v=lgGktSg8_Rw [dostęp: 03.06.2013].
[239] SIMONS D.J., CHABRIS Ch.F., *Gorillas in our midst: sustained inattentional blindness for dynamic events*, Perception, 1999, Vol. 28, No. 9, 1059–1074.
[240] SINGH M., ANDERSON B.L., *Perceptual assignment of opacity to translucent surfaces: The role of image blur*, Perception, 2002, Vol. 31, No. 5, 531–552.
[241] SINGH M., ANDERSON B.L., *Toward a Perceptual Theory of Transparency*, Psychological Review, 2002, Vol. 109, No. 3, 492–519.
[242] SŁAWIŃSKA J., *Ekspresja sił w nowoczesnej architekturze*, wyd. 2 zm., Arkady, Warszawa 1997.
[243] SŁAWIŃSKA J., *Estetyka dla projektantów*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1979.
[244] SŁAWIŃSKA J., *Nauki praktyczne naukami kreującymi*, Prakseologia, 1975, No. 3–4(55–56), 175–188.
[245] SŁAWIŃSKA J., *Problematyka formalizmu i symboliki w architekturze współczesnej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1993.
[246] SŁAWIŃSKA J., *Ruchy protestu w architekturze współczesnej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1995.
[247] SMARDON R.C., PALMER J.F., *Foundations for visual project analysis*, John Wiley and Sons, New York 1986.
[248] SPYCHALSKA J., *„Akwarium" Gomulickiego w Renomie*, [źródło:] http://www.tuwroclaw.com/wiadomosci,and-8222;akwariumand-8221;-gomulickiego-w-renomie,wia5-3267-2281.html [dostęp: 01.01.2014].
[249] STAAB V., *Architekt des Neuen Museums Nürnberg, über den „Mehrwert Architektur"*, [źródło:] http://www.bayerndesign.de/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=518&Itemid=663 [dostęp: 09.03.2012].
[250] STARK G., *Interactions of light with matter*, [źródło:] http://www.britannica.com/EBchecked/topic/340440/light/258423/Radiation-pressure [dostęp: 03.06.2013].
[251] STAROBINSKI J., *Le voile de Poppée*, [w:] tenże, *L'oeil vivant: Essai*, Gallimard, Paris 1961, 9–27.
[252] STEFFY G.R., *Architectural lighting design*, John Wiley and Sons, New York 2002.
[253] STRZEMIŃSKI W., *Teoria widzenia*, Wydawnictwo Literackie, Kraków 1974.
[254] SZAFLARSKI D.M., *How We See: The First Steps of Human Vision*, [źródło:] http://www.accessexcellence.org/AE/AEC/CC/vision_background.php [dostęp: 04.06.2013].
[255] *Szkło budowlane. Produkty. Zastosowanie. Montaż. Przewodnik dla projektantów, handlu i rzemiosła*, katalog producenta VEGLA, Aachen 1994.
[256] SZMURYŁO K., *Szklane domy*, Budownictwo i Architektura, 2010, Vol. 6, No. 1, 105–118.
[257] SZYMONIK J., *Widzenie maszynowe jako narzędzie zapewniające wysoką jakość wyrobów*, Problemy Techniki Uzbrojenia, 2010, t. 115, 67–76.
[258] TANAKA J., WEISKOPF D., WILLIAMS P., *The role of color in high-level vision*, Trends in Cognitive Sciences, 2001, Vol. 5, No. 5, 211–215.
[259] TARASIUK J., *Wprowadzenie do grafiki komputerowej. Problem barwy i koloru*, 2012, [źródło:] home.agh.edu.pl/~tarasiuk/dydaktyka/doc/GFK/S/03.pdf [dostęp: 10.04.2013].
[260] TARR M.J., KERSTEN J., BÜLTHOFF H.H., *Image-based object recognition in man, monkey and machine*, Cognition, 1998, Vol. 67, No. 1–2, 1–20.
[261] *The Dutch Embassy in Berlin by OMA/Rem Koolhaas*, NAI Publishers, Rotterdam 2004.
[262] *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*, pod red. F. Keila, R.A. Wilsona, MIT Press, Cambrige 2001.
[263] *The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1967, Nobel Foundation*, [źródło:] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1967/index.html [dostęp: 01.07.2013].

[264] *The work of Charles and Ray Eames: a legacy of invention*, pod red. D. Albrechta, HNA, New York 2005.
[265] TKACZYŃSKI W., *Długi czas otwarcia migawki*, [źródło:] http://www.szerokikadr.pl/poradnik/dlugi-czas-otwarcia-migawki [dostęp: 03.06.2013].
[266] TOWNSEND J.T., *A note on the identifiability of parallel and serial processes*, Perception & Psychophysics, 1971, Vol. 10, No. 3, 161–163.
[267] *Transparent*, hasło, [źródło:] http://dictionary.reference.com/browse/transparent [dostęp: 03.06.2013].
[268] *Très Grande Bibliothèque, France, Paris, 1989, A library that considers past and future forms of information*, [źródło:] http://oma.eu/projects/1989/très-grande-bibliothèque [dostęp: 03.06.2013].
[269] TUDOR-HART B., *Studies in Transparency, Form and Color*, Psychologische Forschung, 1928, Vol. 10, No. 1, 255–298.
[270] TWAROWSKI M., *Słońce w architekturze*, Arkady, Warszawa 1996.
[271] TYMKIEWICZ J., *Facades and problems in correct recognition of the functions that buildings perform*, Architecture Civil Engineering Environment, 2012, Vol. 5, No. 1, 15–21.
[272] UNGERLEIDER L.G., MISHKIN M., *Two cortical visual systems*, [w:] *Analysis of visual behavior*, pod red. D.J. Ingle'a, M.A. Goodale'a, R.J.W. Mansfielda, MIT Press, Cambridge 1982, 549–586.
[273] VERITY A., *'Walkie-Talkie' skyscraper melts Jaguar car parts*, [źródło:] http://www.bbc.co.uk/news/uk-england-london-23930675 [dostęp: 01.01.2014].
[274] WALA E., *Sony Center – nowa przestrzeń, nowa estetyka*, Czasopismo Techniczne. Architektura, 2008, R. 105, z. 6-A, 567–571.
[275] WALA E., *Szkło we współczesnej architekturze*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.
[276] WALETKO K., *Czas, kino, architektura*, Kultura miasta. Miasto w kulturze, 2008, Vol. 1, No. 1, 43–50.
[277] WALLIS M., *Dzieje zwierciadła i jego rola w różnych dziedzinach kultury*, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1973.
[278] WALLS D.F., *Evidence for the quantum nature of light*, Nature, 1979, Vol. 280, No. 9, 451–454.
[279] WANDACHOWICZ K., DOMKE K., *Using BRDF for radiance and luminance calculation*, Simulation Modelling Practice and Theory, 2006, Vol. 14, No. 5, 641–648.
[280] WATANABE T., CAVANAGH P., *Surface decomposition accompanying the perception of transparency*, Spatial Vision, 1993, Vol. 7, No. 2, 95–111.
[281] WEERT C.M.M. de, *Superimposition of color information*, Color Research and Application, 1986, Vol. 11, 21–26.
[282] WIENER N., *Cybernetyka, czyli sterowanie i komunikacja w zwierzęciu i maszynie*, PWN, Warszawa 1971.
[283] WIGGINTON M., *Glass In Architecture*, Phaidon Press, London 2002.
[284] WINKLER E.M., *Stone in Architecture: Properties, Durability*, Springer, Berlin–Heidelberg 1994.
[285] WOOD A., SALIB R., *Natural Ventilation High-Rise Office Buildings*, Routledge, New York–London 2012.
[286] WORRALL J., *Junya Ishigami's Facility*, [źródło:] http://www.iconeye.com/news/junya-ishigami-facility [dostęp: 28.06.2012].
[287] WOŹNIAK W.A., *Kolorymetria*, wykłady, [źródło:] http://www.if.pwr.wroc.pl/~wozniak/kolorymetria_pliki/Kolorymetria_4a_mieszanie_barw.pdf [dostęp: 03.06.2013].
[288] WYKOWSKA M., *Ergonomia*, [źródło:] http://www.ergonomia.agh.edu.pl/Skrypt_Ergonomia-M.Wykowska/ergonomia/index.htm [dostęp: 19.03.2013].
[289] YAU J., MARTIN Ch., *Helmut Federle in Conversation with John Yau and Chris Martin*, [źródło:] http://www.brooklynrail.org/2009/11/art/helmut-federle-in-conversation-with-john-yau-and-chris-martin [dostęp: 28.06.2012].
[290] YENDRIKHOVSKIJ S.N., BLOMMAERT F.J.J., RIDDER H. de, *Optimizing color reproduction of natural images*, [w:] *The Sixth Color Imaging Conference: Color Science, Systems, and Applications, Scottsdale 1998*, 140–145.
[291] YENDRIKHOVSKIJ S.N., RIDDER H. de, FEDOROVSKAJA E.A., BLOMMAERT F.J.J., *Colourfulness judgments of natural scenes*, Acta Psychologica, 1997, Vol. 97, No. 1, 79–94.
[292] ZANKER J., *PS3060: Perception and Action*, [źródło:] http://www.pc.rhul.ac.uk/staff/J.Zanker/old_web_stuff/teach_previous/PS3060/L2/Ps3060_2.htm [dostęp: 01.02.2014].
[293] ZEKI S., MARINI L., *Three cortical stages of colour processing in the human brain*, Brain, 1998, Vol. 121, No. 9, 1669–1685.
[294] ZIELONKO-JUNG K., *Kierunki rozwoju w projektowaniu elewacji przeszklonych*, Świat Szkła, 2006, nr 12, 24–29.
[295] ZIELONKO-JUNG K., *Podwójne elewacje szklane we współczesnej architekturze*, praca doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Architektury, Warszawa 2003.
[296] ŻABA A., *Wnętrze kwadraturowe, czyli przyczynek do teorii architektury barokowej*, [w:] *Teoria a praktyka w architekturze współczesnej. Teoria i praktyka w procesie kształcenia architekta. Materiały IV sympozjum, Rybna 1999*, Politechnika Śląska, [b.m., b.r.], 242–245.
[297] ŻEROMSKI S., *Przedwiośnie*, „Czytelnik", Warszawa 1985.
[298] ŻÓRAWSKI J., *O budowie formy architektonicznej*, Arkady, Warszawa 1973.

Strony WWW

(dostęp 01.01.2014)

web 1. http://architecturerevived.blogspot.com/2009/07/novartis-forum-3-basel-switzerland.html
web 2. http://archiveofaffinities.tumblr.com/
web 3. http://archiwum.diaade.org/la_Biennale_di_Venezia.html
web 4. http://fondation.cartier.com/?_lang=en&small=0
web 5. http://googleglass.quora.com/How-Google-Glass-Works-Infographic?ref=fb
web 6. http://omlc.ogi.edu/classroom/scat_demo/
web 7. http://physics-animations.com/Physics/English/rays_txt.htm
web 8. http://spiapoznan.pl/index.php?f=historia-i-misja
web 9. http://www.allmannsattlerwappner.de/en/#/en/projects/detail/90/pics/?page=5
web 10. http://www.clavel-arquitectos.com/user/index.php
web 11. http://www.duesseldorf.de/eng/medienhafen/gebaeude/gb_1.php?id=51&Seitennummer=2&start=haus
web 12. http://www.galinsky.com/buildings/cartier/index.htm
web 13. http://www.gkdmetalfabrics.com/
web 14. http://www.google.com/glass/start/
web 15. http://www.granice.pl/recenzja,Ten_Inny,940
web 16. http://www.if.pwr.wroc.pl/~wsalejda/Polaryzacja%20fali.pdf
web 17. http://www.kloster-volkenroda.de/expo-kirche-volkenroda.html
web 18. http://www.kognitywistyka.net/kognitywistyka.html
web 19. http://www.langenfoundation.de/index.php?id=34&L=1
web 20. http://www.litracon.hu/
web 21. http://www.mif.pg.gda.pl/pl/download/optyka/6_lumin_rozpr_swiat.doc
web 22. http://www.naukowy.pl/encyklopedia/Licznik_scyntylacyjny
web 23. http://www.pilkington.com/Europe/Poland/Polish/Building+Products/Householders/FAQs.htm#faq2
web 24. http://www.pilkington.com/resources/focus.pdf
web 25. http://www.pomiary-oswietlenia.slask.pl/luminacja.html
web 26. http://www.schott.com/architecture/english/products/non_reflective_glass/amiran/index.html
web 27. http://www.studiol.eu/index.php?lang=pl&menu=3
web 28. http://pl.saint-gobain-glass.com/b2c/default.asp?nav1=st&nav2=glossaire
web 29. http://pl.saint-gobain-glass.com/upload/files/pl_szklo_a_promieniowanie_sloneczne.pdf

Indeks budynków

A

Ambasada Królestwa Niderlandów w Berlinie (arch. OMA, 2005) 165, 166, 230

B

Bar Peebles w Düsseldorfie (arch. FG stijl, 2011) 214
Biblioteka Techniczna IKMZ – Informations-, Kommunikations- und Medienzentrum w Chociebużu (arch. Herzog & de Meuron, 2004) 162, 163, 171
Biurowiec Ariane, La Défense w Paryżu (arch. Robert Zammit, Jean de Mailly, 1975) 21
Biurowiec Bayerische Vereinsbank w Stuttgarcie (arch. Behnisch & Sabatke, 1969 i 1997) 92, 93, 94, 124, 125
Biurowiec Business Tower Nürnberg w Norymberdze (arch. Dürschinger und Biefang, 2000) 113
Biurowiec Capricornhaus w Düsseldorfie (arch. Gatermann & Schossig, 2007) 73
Biurowiec Deutschherrnkarree w Norymberdze (arch. LEEVEN & LEEVEN, 2007–2011) 215
Biurowiec Forum 3 w kampusie firmy Novartis w Bazylei (arch. Diener & Diener, projekt elewacji Helmut Federle, 2005) 144, 145
Biurowiec Jakob-Kaiser-Haus w Berlinie (arch. de Architekten Cie, Pi de Bruijn, 2001) 149, 170
Biurowiec John Hancock Tower w Bostonie (arch. I.M. Pei & Partners, 1976) 89
Biurowiec KAP am Südkai w Kolonii (arch. KSP Engel und Zimmermann, 2004) 163, 171
Biurowiec Kennedy Haus w Düsseldorfie (arch. Ulrich Coersmeier, Kister/Scheithauer/Gross, 2004) 143, 144
Biurowiec Media Tower Killepitsch Likörfabrik, Wein und Spirituosen w Düsseldorfie (arch. Findeisen & Wächter, 2005) 73, 124
Biurowiec N-ergie Zentrum w Norymberdze (Hausmann & Müller Architekten, 2000) 83, 124
Biurowiec Peter Merian House w Bazylei (arch. Hans Zimpfer Partners, 1999) 254
Biurowiec przy 7–11 Avenue des Flandres (arch. Françoise Raynaud, 2004) 218
Biurowiec przy Bockenheimer Landstrasse we Frankfurcie nad Menem (proj. KSP Architekten, 1998) 147, 169
Biurowiec przy Fenchurch Street 20 w Londynie (arch. Rafael Viñoly, w budowie) 90
Biurowiec przy Hammerstrasse 19 w Düsseldorfie (arch. Petzinka Pink Architekten, 2000) 143, 169
Biurowiec Seagram w Nowym Jorku (arch. Ludwig Mies van der Rohe, 1954–1958) 31
Biurowiec Tetragon we Frankfurcie nad Menem (arch. Bundschuh/Baumhauer GmbH, 2003) 226
Budynek Administracji Federalnej w San Francisco (arch. Thom Mayne, Morphosis, 2007) 166, 171
Budynek Banku BPH (pierwotnie Krakowskiego Przedsiębiorstwa Robót Budowlanych) (arch. Janusz Gawor, lata 60. XX wieku, modernizacja 1994) 159
Budynek Centrum Fotoniki w Parku Technologicznym Adlershof w Berlinie (arch. Sauerbruch Hutton Architects, 1998) 92, 93
Budynek firmy Willis Faber & Dumas w Ipswich (arch. Foster Associates, 1975) 17
Budynek Instytutu Arabskiego w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 1989) 89, 125
Budynek Mile High Center w Denver (arch. Ieoh Ming Pei, 1959) 253
Budynek prób Opery Bawarskiej w Monachium (arch. Gewers Kühn & Kühn, 2007) 152, 153, 170
Budynek socjalny przy Rue Louis Blanc w Paryżu (arch. Emmanuel Combarel & Dominique Marrec, 2006) 113, 114, 115, 116, 126
Budynek Süddeutscher Verlag (arch. Gewers Kühn & Kühn, 2008) 158, 159
Budynek Towarzystwa Ubezpieczeniowego Lloyda w Londynie (arch. Richard Rogers Partnership, 1979–1986) 28, 107
Budynek Trutec w Seulu (arch. Barkow Leibinger Architekten, 2006) 159

C

Centrum konferencyjne La Nuvola w Rzymie (arch. Massimiliano Fuksas Architetto, w budowie) 210
Centrum kongresowe CCN Ost w Norymberdze (arch. S+P Heinz Seipel Gesellschaft von Architekten mbH, 2005) 150
Centrum operatora telefonii komórkowej Telekom Austria w Grazu (arch. PPA Architects ZT GmbH, 2008) 20
Centrum recepcyjne Międzynarodowej Wystawy Budownictwa – IBA-Terrassen w Grossräschen (arch. Ferdinand Heine Architekt BDA, 2003) 225

D

Dom handlowy Galeries Lafayette w Berlinie (arch. Jean Nouvel, 1995) 148, 149, 170
Dom handlowy Renoma we Wrocławiu (arch. Maćków Pracownia Projektowa, 2009) 100, 101, 126, 144, 146, 170
Dom Ray i Charlesa Eamesów w Los Angeles (arch. Charles i Ray Eames, 1949) 31

F

Fabryka Fagus w Alfeld (arch. Walter Gropius, 1914) 16
Fabryka Wilkhahn w Bad Münder w Niemczech (arch. Thomas Herzog, 1993) 119
Fairmont Copley Plaza Hotel w Bostonie (arch. Henry Janeway Hardenbergh, 1912) 89
Focus – Centrum Finansowe „Filtrowa" w Warszawie (arch. Kuryłowicz & Associates, 2001) 18, 70, 210
Francuska Biblioteka Narodowa w Paryżu (arch. Dominique Perrault, 1995) 33, 221, 222

H

Hala wystawowa nr 7A na terenie targów w Norymberdze (arch. Seipel & Partner, 2000) 111
Hotel Andel's Berlin w Berlinie (arch. Seeger Müller Architekten, 2009; oryg. Aldo Rossi) 100, 102, 125

Hotel Dorint Novotel Messe w Riem Arcaden w Monachium (arch. Allmann Sattler Wappner Architekten, 2004) 105, 106, 126

K

Kaplica cmentarna Panteón en Espinardo w Murcji (arch. Manuel Clavel Rojo, 2001) 160
Kaplica klasztoru Trynitarzy na Bagrach w Krakowie (arch. MOFO Architekci, 2007) 47, 159, 160
Katedra Matki Bożej Anielskiej w Los Angeles (arch. José Rafael Moneo, 2002) 117
Kościół pw. Najświętszego Serca Jezusowego w Monachium (arch. Allmann Sattler Wappner Architekten, 2000) 110, 211

M

Mauzoleum Galli Placydii w Rawennie (arch. nieznany, V w. n.e.) 15
Miasto Nauki w Paryżu – Cité des Sciences et de l'Industrie (arch. Adrien Fainsilber, inż. RFR – Rice Francis Ritchie, 1986) 19, 226
Miejskie Muzeum Sztuki i Designu – Neues Museum w Norymberdze (arch. Volker Staab, 2000) 78, 95, 221, 223
Ministerstwo Kultury w Paryżu (arch. Francis Soler, Frédéric Druot, 2004) 21
Muzeum Branly – Musée du Quai Branly w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 2006) 76, 105, 113, 114, 125, 126, 140, 169, 235
Muzeum Fundacji Langen w Hombroich (arch. Tadao Andō, 2004) 50, 70, 93, 94, 95, 123, 208, 209
Muzeum Sztuki Współczesnej – Kunstmuseum Dieselkraftwerk w Chociebużu (Anderhalten Architekten, 2007) 113, 116, 127
Muzeum Sztuki Współczesnej w Zagrzebiu (arch. Igor Franic, 1999–2010) 236
Muzeum Sztuk Pięknych – de Young Museum w San Francisco (arch. Herzog & de Meuron, 2005) 165, 180

N

Narodowa Biblioteka Techniczna w Pradze (arch. Projektil Architekti, 2009) 183
Narodowe Muzeum Sztuki MAXXI w Rzymie (arch. Zaha Hadid Architects, 2010) 210, 211

O

Oranżeria w parku im. Andrégo Citroëna w Paryżu (arch. Patrick Berger, Jean-François Jodry, Jean-Paul Viguier, 1992) 142, 169

P

Pałac Kryształowy – Crystal Palace (inż. Joseph Paxton, 1851) 15
Parking P3 na lotnisku w Norymberdze (arch. Baum-Kappler Architekten GmbH, 2007) 212
Parking publiczny przy Rathausstrasse w Berlinie (arch. Kny & Weber, 2002–2003) 102, 126
Pawilon Chrystusa, Expo 2000 w Hanowerze, przeniesiony do Volkenrody (arch. GMP, 2000) 28, 117, 118, 127
Pawilon Grüne Punkt, Expo 2000 w Hanowerze (arch. Atelier Brückner, 1999) 118
Przedszkole Medo Brundo w Zagrzebiu (arch. Hrvoje Njitrić, Davor Bušnja, njiric & arhitekti doo, 2008) 230, 231

S

Sainte-Chapelle w Paryżu (arch. nieznany, 1239–1248) 15
Sala gimnastyczna Maurice Berlemont w Paryżu (arch. Emmanuel Saadi, 2006) 233
Salon Citroëna na Polach Elizejskich w Paryżu (arch. Manuelle Gautrand, 2004) 119, 157
Salon samochodowy firmy Renault w Swindon w Wielkiej Brytanii (arch. Foster Associates, 1982) 18
Siedziba agencji reklamowej J. Walter Thompson we Frankfurcie nad Menem (arch. Schumacher & Schneider, 1995) 84, 85, 123
Siedziba Banku NRW w Düsseldorfie (arch. RKW Architektur & Städtebau, 2000) 70, 71, 123
Siedziba Fundacji Cartiera w Paryżu (arch. Jean Nouvel, 1994) 83, 141, 142, 169
Siedziba Instytutu Okulistyki w Paryżu (arch. Brunet Saunier Architecture, 2008) 155, 156, 170
Siedziba Izby Lekarskiej regionu Nadrenia Północna-Westfalia w Düsseldorfie – Schwarzes Haus (arch. Daniel Kas, RKW, 2002) 75, 125
Siedziba Ministerium für Schule und Weiterbildung w Düsseldorfie (arch. Gatermann und Schossig, 2006) 219, 220
Siedziba ONZ w Nowym Jorku (arch. Oscar Niemeyer, Le Corbusier, Harrison & Abramovitz, 1948–1952) 31
Siedziba Towarzystwa Ubezpieczeniowego AachenMünchener w Akwizgranie (arch. Kada Wittfeld, 2010) 87, 125
Siedziba VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. we Frankfurcie (arch. APD-Architekten-Ingenieure, 2002) 78
Sony Center w Berlinie (arch. Murphy/Jahn Architects, 2000) 74
Sztuczna wyspa na rzece Mura w Grazu (arch. Vito Acconci, 2003) 166, 167

T

Terminal Pogotowia Ratunkowego w Zagrzebiu (arch. Produkcija 004, 2009) 166, 168

W

Warsztaty Bauhausu (arch. Walter Gropius, 1926) 16
Warsztaty uniwersyteckie KAIT Kobo – Kanagawa Institute of Technology w Tokio (arch. Junya Ishigami & Associated, 2007) 28, 81, 82, 83, 123, 124
Willa Savoye w Poissy (arch. Le Corbusier, 1928–1931) 16
Willa Stein w Garches (arch. Le Corbusier, 1927) 251, 252
Wydział Chemiczny im. Antoine'a Lavoisiera Uniwersytetu im. Denisa Diderota w Paryżu (arch. X-TU Architecture, 2008) 214

Z

Zespół hotelowy L.A. Live Hotel & Condominiums w Los Angeles (arch. Gensler & Associates, 2010) 68, 69, 123
Zespół mieszkalno-biurowy Botanical Residence we Wrocławiu (arch. Dziewoński Łukaszewicz Architekci s.c., 2013) 157

Słownik ważniejszych terminów

(podano definicje ogólne; szczegółowe zawarte są w treści opracowania)

Afordancja (*affordance*) – dosłownie „to, co jest dane”, możliwość, jaką stwarza środowisko. Na przykład schody umożliwiają zmianę poziomu w budynku, a okna umożliwiają kontakt wzrokowy. Oznacza zgodność → bodźca i reakcji [161, s. 8].

Bodziec (*stimulus*) – sygnał; energia w formie fizycznej lub biochemicznej zdolna do zapoczątkowania procesu spostrzegania.

Dekompozycja postrzeżeniowa (*perceptual decomposition*) – umysłowy proces rozpoznawania głębi, tj. uporządkowania obiektów w przestrzeni, w którego wyniku spostrzegane są dwie płaszczyzny – przezroczysta i znajdująca się w tle; zob. także **przezroczystość postrzeżeniowa**.

Efekt wizualny (*visual effect*) – charakterystyczna konfiguracja obrazów odbieranych przez obserwatora, powstających w wyniku interakcji tafli i strumieni świetlnych[168].

Faza spostrzegania (*level of perception*) – określana także jako poziom lub piętro przetwarzania; pojęcie związane z koncepcją, że ta sama informacja może być poddawana obróbce z różną intensywnością, w różnych stadiach jej przetwarzania przez umysł [191, s. 647].

Intuicja (*intuition*) – zdolność do formułowania sądów bez udziału świadomości lub bez udziału rozumowania i wnioskowania (zob. także przyp. 7, s. 21) [191, s. 636].

Jaskrawość (*brightness*) – właściwość wrażenia wzrokowego powodująca, że powierzchnia wydaje się wysyłać mniej lub więcej światła [208].

Jasność (*lightness*) – jaskrawość powierzchni oceniana w stosunku do jaskrawości podobnie oświetlanej powierzchni, która wydaje się biała lub dobrze przepuszczająca światło [208].

Kąt obserwacji (*viewing angle, observation angle*) – kąt zawarty między kierunkiem patrzenia a prostą prostopadłą do obserwowanej powierzchni, tzw. normalną.

Kierunek patrzenia, oś wzroku, oś patrzenia (*line of sight*) – prosta łącząca oko obserwatora z obserwowanym obiektem.

Kognitywistyka (*cognitive science*) – psychologia poznawcza; interdyscyplinarna dziedzina wiedzy zajmująca się badaniem procesów poznawczych [191, s. 636].

---

[168] Określenie „efekt wizualny” zostało zdefiniowane przez autora na potrzeby niniejszej monografii. W innych opracowaniach definicja „efektu wizualnego” może być odmienna.

Luminancja (*luminance*) – wielkość fizyczna z dziedziny fotometrii wizualnej, miara jaskrawości powierzchni. Opisuje ilość światła, które przechodzi lub jest emitowane przez określoną powierzchnię i mieści się w zadanym kącie bryłowym. Oznaczenie L, jednostka: kandela na metr kwadratowy (cd/m^2).

Natężenie oświetlenia (*illuminance*) – wielkość fizyczna z dziedziny fotometrii wizualnej; jest miarą strumienia świetlnego padającego na określoną powierzchnię. Oznaczenie E, jednostka: luks (lx).

Obraz (*image*) – reprezentacja rzeczywistego przedmiotu w układzie optycznym, także sposób, w jaki przedmiot jest dany w spostrzeżeniu [161, s. 79].

Obszar odniesienia (*reference area*) – część pola widzenia, która nie została przesłonięta przez taflę, traktowana przez umysł jako obszar niezbędny do prawidłowego przebiegu procesów porównawczych.

Paralaksa ruchowa (*motion paralax*) – pozorne przesunięcie statycznych obiektów względem siebie w polu widzenia spowodowane zmianą punktu obserwacji.

Podwójna fasada (*double-skin facade*) – pionowa przegroda zewnętrzna budynku zbudowana z dwóch przezroczystych kurtyn szklanych, oddzielonych od siebie pustką powietrzną, pełniącą jednocześnie funkcję wentylowanego kanału powietrznego [23; 124].

Pole świetlne (*light field*) – przestrzenny rozkład strumienia świetlnego.

Postrzeganie – zob. **spostrzeganie**

Powłoka refleksowa (*high reflective coating*) – powłoka mająca silne właściwości odbijania promieni widzialnych i/lub podczerwonych wykonana z tlenków metali. Napylana jest na tafle wykonane z różnych materiałów przepuszczających światło [web 28].

Promień światła (*ray of light*) – nieskończenie wąska wiązka światła; w reprezentacji graficznej linia wyznaczająca kierunek rozchodzenia się fali światła, prostopadła do czoła rozchodzącej się fali [200, s. 12].

Przejrzystość, klarowność (*clarity*) – parametr określający liczbę promieni światła, które odchyliły się o mniej niż 2,5° od pierwotnego toru przy przepuszczaniu przez taflę. Parametr ten opisuje, jak dokładnie będą odwzorowywane szczegóły obiektów, które są obserwowane przez taflę przeświecalną; zob. także **zamglenie**.

Przezroczystość postrzeżeniowa (*perceptual transparency*) – złudzenie optyczne, które pojawia się w wyniku interpretacji przez umysł odpowiedniego układu plam o różnym stopniu szarości lub barwie.

Recepcja sensoryczna (*sensory perception*) – gromadzenie informacji przez zmysły.

Reprezentacja umysłowa (*mental representation*) – także **reprezentacja poznawcza** – umysłowy odpowiednik obiektów realnych, fikcyjnych lub hipotetycznych. Obiektem może być przedmiot, osoba, kategoria, relacja. Reprezentacja poznawcza zastępuje swój obiekt w procesach przetwarzania informacji.

Spostrzeganie (*perception*) – całość procesów poznawczych prowadzących do spostrzeżenia; odbiór i umysłowa interpretacja wrażeń zmysłowych [191, s. 655]. Spostrzeganie jest używane zamiennie z postrzeganiem, choć spotykane jest również rozróżnienie np. postrzeganie stymulacji i spostrzeganie tego, czym ona jest.

Spostrzeganie głębi (*depth perception*) – możliwość spostrzegania odległości, jaka dzieli obserwatora od obiektu i obserwowane obiekty względem siebie [262, s. 227].

Stałość spostrzegania (*perceptual constancy*) – cecha umysłu, której zadaniem jest zapewnienie stabilności wrażeń przy zmianie intensywności bodźców napływających ze środowiska.

Strumień świetlny (*luminous flux*) – wielkość fizyczna z dziedziny fotometrii wizualnej określająca całkowitą moc światła emitowanego z danego źródła światła mogącego wywołać określone wrażenie wzrokowe. Oznaczenie Φ (w niniejszej monografii φ), jednostką jest lumen (lm) [208].

Szyk optyczny (*optic array*) – rozkład światła (luminancji, barwy itp.) widzianego z konkretnego punktu obserwacji, zawierający wszystkie niezbędne informacje do określenia pozycji obserwatora w otoczeniu [292], także: projekcja otoczenia na siatkówkę obserwatora [262, s. 227].

Ślepota pozauwagowa (*inattentional blindness*) – pomijanie istotnych, ale niespodziewanych zmian zachodzących w ramach jednego potoku danych.

Tafla (*pane, glass sheet*) – element optyczny ograniczony równoległymi płaszczyznami; w optyce określany jako płytka płasko-równoległa.

Trójwymiarowa reprezentacja otoczenia (*cognitive map, mental map*) – także mapa poznawcza, ostateczny rezultat procesu percepcji; odzwierciedlenie w umyśle obserwatora uwzględniające trójwymiarowy układ-aranżację obiektów: płaszczyzn odbijających i przepuszczających światło w otoczeniu obserwatora. Trójwymiarowa reprezentacja otoczenia jest niezależna od punktu i kąta obserwacji [262, s. 227] (zob. także przyp. 122, s. 193).

Układ optyczny (*optical system*) – zespół elementów optycznych: soczewek, zwierciadeł, pryzmatów, tafli – płytek płasko-równoległych, przysłon, które biorą udział w powstawaniu obrazu odbieranego przez obserwatora.

Wrażenie (*impression*) – najprostszy proces psychiczny związany z odbiorem pojedynczych właściwości obiektów, takich jak kolor, kształt, jasność.

Wskazówka poznawcza (*cue*) – charakterystyczne swoiste cechy obrazu siatkówkowego, prowadzące do rozpoznania konkretnych cech obiektów lub ich uporządkowania w przestrzeni.

Wzorzec umysłowy (*image-based template*) – określany także jako **szablon** – sposób przechowywania reprezentacji obiektu w umyśle, na którą składa się wiele zapamiętanych obrazów siatkówkowych obiektu widzianego z różnych punktów obserwacji.

Zamglenie (*haze*) – odpowiednik **rozmycia** (*blur*) – parametr określający liczbę promieni światła, które odchyliły się o więcej niż 2,5° od pierwotnego toru przy przepuszczaniu przez taflę; zob. także **przejrzystość**.

Źródła ilustracji

Wszystkie pozostałe niewymienione tu fotografie i schematy wykonał autor.

Ryc. 1, s. 15 – fot. Benjamin Turner; ze zbiorów Victoria & Albert Museum (na licencji niekomercyjnej).

Ryc. 9, s. 48 – opracowanie Marcin Brzezicki na podstawie: NOWAK J., ZAJĄC M., *Optyka – kurs elementarny*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1998, 23, ryc. 1.13.

Ryc. 24, s. 81 – fot. Iwan Baan (na licencji).

Ryc. 41, s. 107 – fot. Maciej Jankowiak – wykorzystano za zgodą.

Ryc. 43, s. 108 – opracowanie Marcin Brzezicki na podstawie: *BYK Gardner Catalog 2010–2011*, 61–62.

Ryc. 46, s. 112 – opracowanie Marcin Brzezicki na podstawie: DEDERKO W., *Oświetlenie w fotografii*, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1969, 37, 39, rys. 9 i 11.

Ryc. 47, s. 113 – opracowanie Marcin Brzezicki na podstawie publikacji własnej: BRZEZICKI M., *Transparent, opaque or reflective*? *A brief analysis of the appearance of light-transmitting envelopes and the main influencing factors, International Conference at Glasstec, Düsseldorf, 25–26 October 2012*, 555, Fig. 1.

Ryc. 52, s. 118 – fot. Bartosz Narożny – wykorzystano za zgodą.

Ryc. 66, s. 145 – fot. Łukasz Woleński – wykorzystano za zgodą.

Ryc. 87, 88, 90, 92–94, s. 176–187 – opracowanie Marcin Brzezicki na podstawie publikacji własnej: BRZEZICKI M., *Understanding transparency perception in architecture: Presentation of the simplified perforated model*, Perception, 2013, Vol. 42, No. 1, 60–81.

Ryc. 95, s. 192 – opracowanie Marcin Brzezicki na podstawie: MARUSZEWSKI T., *Psychologia poznania*, Gdańskie Wydawnictwo Oświatowe, Gdańsk 2011, ryc. 2.8.

Ryc. 97, s. 199; ryc. 98, s. 204 – opracowanie Marcin Brzezicki na podstawie: ANDERSON B.L., *A Theory of Illusory Lightness and Transparency in Monocular and Binocular Images: The Role of Contour Junctions*, Perception, 1997, Vol. 26, No. 4, 419–453.

Ryc. 99, 100, s. 205 – opublikowano za zgodą Pion Ltd, London, www.pion.co.uk: SINGH M., ANDERSON B.L., *Perceptual assignment of opacity to translucent surfaces: The role of image blur, Perception*, 2002, Vol. 31, No. 5, 531–552, fig. 1, fig. 3.

Ryc. 101, s. 206 – reprodukcja publikowana za zgodą spadkobierców László Moholya-Nagya.

Ryc. 123, s. 253 – opracowanie Marcin Brzezicki na podstawie fot. Thomasa Lundina.

Ryc. 124, s. 254 – fot. Urszula Wiśniewska – wykorzystano za zgodą.

Fotografie wykonane przez autora, zamieszczone na stronach tytułowych rozdziałów, przedstawiają budynki:

s. 12 – Górna stacja kolejki Nordketten w Innsbrucku (arch. Zaha Hadid Architects, 2007),

s. 40 – Hangar 7, lotnisko w Salzburgu (arch. Volkmar Burgstaller, 1999),

s. 66 – Centrum Awiacji Lufthansy we Frankfurcie nad Menem (arch. Pezinka Pink Architekten, 2006),

s. 129 – Budynek FH 1 na terenie kampusu Frankfurckiego Uniwersytetu Nauk Stosowanych we Frankfurcie nad Menem (arch. Heribert Gies Architekten, MainzVoigt & Herzig Architekten & Ingenieure, 2007),

s. 172 – Budynek Administracji Federalnej w San Francisco (arch. Thom Mayne, Morphosis, 2007),

s. 189 – Biurowiec West End Duo we Frankfurcie nad Menem (arch. KSP Jürgen Engel Architekten, 2006),

s. 241 – Budynek Steiermärkische Sparkasse w Grazu (arch. Szyszkowitz–Kowalski, 2006),

s. 250 – Biurowiec przy Avenue de France 92 w Paryżu (arch. Rolinet & Associés, 2003).

Summary

Perception of transparency in contemporary architecture. Visual and cognitive aspects

The book presents a study of the perceptual processes that determine the perception (recognition) of smooth transparent surfaces, which are frequently used in contemporary architecture. In order to model and explain the mechanisms involved in such perception, this interdisciplinary study combines the knowledge of architecture, cognitive science and geometrical optics.

The processes are analyzed according to the cognitive distinction between distal and proximal stimuli. The analysis of distant stimuli explains the conditions affecting the image formed on the building's transparent pane, such as: lighting (luminous flux balance), weather, time of day, material properties, the observer's position, and – most importantly – the observation angle. Furthermore, the analysis of proximal stimuli explains the processes that take place within the eye-brain paradigm: the formation of the image on the retina and how it is processed by the visual system.

The proposed typology is based on the real interaction between transparent materials, which seems to be a key factor in contemporary architecture. Rather than being used independently, transparent panes are most often components of various systems and arrangements. Due to the fact that the appearance of transparent panes is mainly affected by optical parameters, they have been divided into groups based on visual effect that is observed.

Based on their configuration, the proposed typology identifies two groups of transparent materials: single and compound panes, of which the latter can be divided into two types: adjacent and superposed. In the adjacent configuration, the components are placed side by side and influence the visual outcome proportionally to their share, e.g., a 70% dotted print screen on glass would dim the image respectively. Small-scale stained glass windows, fabrics, meshes, and openwork (*ajours*) are excellent representatives of this group. In the superposed configuration, the components are located in front of one another, so that every component equally influences the entirety of the image at the same rate, not only a portion of it. A pane of red glass in the superposed configuration would tint the entire image. The best examples in this group include double facades, multiple freestanding glass screens, blinds, and shutters.

The book also presents a new model of a transparent pane created on the basis of the so-called spatial acuity (the limited spatial resolution of the human eye): a mirrored perforated plate, which

is analogous to a transparent surface. The purpose of the model is to explain non-intuitive optical phenomena in terms understandable to architects and designers. Its 3-dimensional geometry is used to simulate the dynamic change of the reflected-to-transmitted light ratio observed in real transparent materials. A detailed description of the model is followed by examples of its possible applications. The book also discusses the limitations of the model.

The presentation of the model is followed by a list of the most important analyzed perception cues, which are illustrated in schemes and original photographs of the studied buildings. These cues include: differences in regional luminance, the presence of the reference area, image superposition, color and image distortion, specularity and distortion cues etc.

Throughout the entire book the author attempts to establish a parallel between the visual nature of distant stimuli and the cognitive nature of proximal stimuli. The former are generally shaped by optics, whereas the latter are conditioned by the mechanisms of human-specific information processing. To achieve this goal, the so-called „two-streams hypothesis" was explored, which connects the Gibson's ecological and classical approach. The concluding remarks include a list of „General rules" which are divided into three groups based on the visual, utilitarian and safety aspects of the problem.



Marcin Brzezicki, dr inż. arch. (ur. 1972, dyplom 1997 WA PWr, doktorat 2001), pracownik Wydziału Architektury Politechniki Wrocławskiej, członek zespołu dydaktycznego Katedry K-6. Autor ponad 50 zagranicznych i krajowych publikacji naukowych, raportów z badań i opracowań popularnonaukowych, promotor ponad 60 prac dyplomowych. Pracę naukowo-dydaktyczną łączy z czynnym wykonywaniem zawodu architekta. Od 1997 roku zajmuje się problematyką przezroczystości w architekturze, początkowo analizując zastosowania rozwiązań energooszczędnych i proekologicznych, obecnie ze szczególnym uwzględnieniem aspektów wizualnych: odbioru i spostrzegania. Od 2010 roku prowadzi autorski wykład wybieralny pt. „Przezroczystość w architekturze współczesnej" dla studentów II roku studiów magisterskich.

W 2008 roku był współautorem książki pt. *Estetyka i technika we współczesnej architekturze przemysłowej*. Współpracuje z miesięcznikiem „Świat Szkła".

Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej są do nabycia w księgarni
bud. D-1 PWr, plac Grunwaldzki 13, 50-377 Wrocław, tel. 71 320 29 35
Prowadzimy sprzedaż wysyłkową: zamawianie.ksiazek@pwr.edu.pl

ISBN 978-83-7493-829-7

DOI 10.5277/Y03.2014.01