

Grzegorz Gacek✉

Centrum Doradztwa Naukowo-Badawczego  
Kawa.ska Sp. z o.o., Piaseczno

✉Centrum Doradztwa Naukowo-Badawczego  
Kawa.ska Sp. z o.o., ul. Techniczna 5, 05-500  
Piaseczno; tel.: (22) 736 16 38, e-mail: Grzegorz.  
Gacek@kawaska.pl

Artykuł otrzymano 2 marca 2017 r.  
Artykuł zaakceptowano 6 marca 2017 r.

**Słowa kluczowe:** stereoskop, lupa binokularna, Greenough, CMO, Fusion optics

## STRESZCZENIE

**D**ruga połowa XX wieku była okresem intensywnego rozwoju konstrukcji stereoskopów i urządzeń peryferyjnych. Praca przedstawia zarys historii urządzeń optycznych służących stereoskopowej obserwacji obiektów nie wymagających dużych powiększeń, obiektów których wymiary lub konieczność obserwacji w świetle padającym czynią mikroskop złożony narzędziem nieodpowiednim. Przedstawiono współczesne typy układów optycznych stereoskopów, ich możliwości techniczne i potencjalne aplikacje.

## WPROWADZENIE

W XVII wieku równoległe do prac nad rozwojem teleskopów i mikroskopów konstruowano urządzenia optyczne umożliwiające obserwacje lewym i prawym okiem równocześnie. Pierwszy instrument optyczny, który możemy nazwać stereomikroskopem, skonstruował mnich kapucyn Cherubin de Orleans i opisał w swoim dziele *La dioptrique oculaire* (1671). Aparat cechowało widzenie pseudoskopowe. Lewa strona obrazu widoczna była w prawym okularze, prawa w lewym, a relief obserwowanego obiektu był odwrócony. Mnich Cherubin (Francois Lassere) skonstruował również binokularny teleskop używany między innymi, przez Ludwika XIV we Francji, króla Anglii Karola II oraz Jana III Sobieskiego [1]. Na ponad sto lat zapomniano o pracach pionierów mikroskopii takich jak Jensen, Hooke, van Leeuwenhoek czy Cherubin de Orleans. Dalszy postęp rozpoczął się dopiero w epoce rewolucji przemysłowej w XIX wieku.

Fizjologię i zasady widzenia stereoskopowego opisał w 1832 roku wybitny uczonec i wynalazca sir Charles Wheatstone [2]. Konsekwencją zainteresowania Wheatstone'a stereoskopią było skonstruowanie stereoskopu zwierciadlanego i zdefiniowanie zjawiska pseudoskopii [3]. Stereoskop zwierciadlany składa się z dwóch centralnie położonych, ustawionych pod kątem prostym zwierciadeł, w których obserwujemy obraz ustawionych po bokach dwóch rysunków (fotografii) tego samego obiektu. Rozwinięta konstrukcyjnie koncepcja stereoskopu zwierciadlanego ma współcześnie zastosowanie w fotogrametrii. Z punktu widzenia przyrodznawstwa istotniejszym wydaje się być mikroskop binokularny, który w 1853 roku skonstruował John Leonard Riedell [4]. Aparat posiadał jeden obiektyw i zespół pryzmatów kierujących prawą stronę obrazu do prawego oka i lewą część obrazu do lewego oka. Jednak mikroskop nadal cechowało widzenie pseudoskopowe, czyli efekt odwrócenia percepcji głębi obrazu.

Rewolucją w stereoskopii mikroskopowej okazała się koncepcja konstrukcyjna, którą opracował około 1890 roku amerykański entomolog Horatio S. Greenough (syn amerykańskiego rzeźbiarza H.S. Greenough). Istotą pomysłu jest połączenie ze sobą pod kątem  $11^{\circ}$ – $16^{\circ}$  dwóch mikroskopów złożonych. Greenough spotkał w Jenie Ernsta Abbe, współwłaściciela Zakładów Carl Zeiss i przedstawił swój pomysł konstrukcyjny stereoskopu. Zakłady Zeissa w Jenie zajęły się implementacją techniczną wynalazku. Za realizację tego projektu odpowiedzialny był wybitny fizyk i optyk, pochodzący z Wrocławia, Siegfried Czapski. Efektem końcowym tych prac było ukazanie się na rynku stereoskopu, w którym obserwujemy autentyczny, wysokiej jakości obraz stereoskopowy. Ważnym elementem optyki tego stereoskopu są pryzmaty Porro prostujące obraz. Obserwacja obrazu nieodwróconego (w przeciwieństwie do mikroskopów złożonych) umożliwia naturalne i łatwe wykonywanie różnych operacji na obiekcie znajdującym się w polu widzenia. Stąd dawniej używany termin – mikroskop dysekcyjny. Przez długi czas stereoskop Greenough był jedynym, wysokiej jakości, stereoskopem na rynku. Monopol tego urządzenia przerwała konstrukcja powstała w 1957 roku w zakładach American Opti-

cal Company [5]. Był to pierwszy stereoskop klasy CMO (Common Main Objective), który nosił nazwę Cycloptic. Układ optyczny składał się z jednego obiektywu, od którego odchodziły dwie równoległe ścieżki prowadzące światło do okularów urządzenia. Cycloptic wyposażony był w skokową zmianę powiększeń wykorzystującą obrotowy bęben z dwoma lunetami Galileusza, umożliwiającą zmianę powiększenia obiektywu w zakresie 0,7x do 2,5x w pięciu krokach. Stereoskopy typu CMO powstały wprawdzie w końcu lat 40-tych w zakładach Zeissa, ale nie zdobyły w świecie takiej popularności. U podstaw popularności Cycloptic leżała elastyczność systemu i duża liczba oferowanych urządzeń peryferyjnych i prawdopodobnie kraj pochodzenia. Jedną z ostatnich, ważnych innowacji konstrukcyjnych stereoskopów były urządzenia z serii StereoZoom, wprowadzone na rynek w 1959 roku przez firmę Bausch and Lomb. Aparaty StereoZoom zbudowane były według schematu Greenough. Były to pierwsze stereoskopy wyposażone w płynną zmianę powiększeń w zakresie 0,7x-3,0x. W osi optycznej StereoZoom nie było odwracających obraz pryzmatów Porro, które zostały zastąpione przez cztery zwierciadła FS (First Surface) pełniące również funkcje pryzmatów pochylających w tubusie. Pod koniec XX wieku firma Leica opracowała i opatentowała nowatorskie podejście do obserwacji stereoskopowych zastosowane w stereoskopach Fusion Optics. Współczesne stereoskopy osiągnęły techniczne granice możliwości określonych przez prawa fizyki. W technologii Fusion Optics wykorzystuje się zdolności ludzkiego mózgu do budowania obrazu stereoskopowego z wykorzystaniem maksimum informacji dostarczanych przez każde oko. Stosując odpowiedni układ optyczny można ograniczyć konieczność kompromisu pomiędzy rozdzielczą a głębią ostrości i uzyskać zdecydowanie lepszy obraz stereoskopowy.

Większości z nas stereoskop (lupa binokularna) kojarzy się z relatywnie prostym aparatem optycznym używanym w uniwersyteckiej sali ćwiczeń, bądź stosowanym przez botaników lub zoologów zajmujących się systematyką i taksonomią. Obecnie w pełni zautomatyzowane i zmotoryzowane stereoskopy w połączeniu z cyfrowymi kamerami i zaawansowanym oprogramowaniem stanowią potężne narzędzie badawcze w naukach biologicznych. Na przykład: zabudowany w komorze klimatycznej zautomatyzowany stereoskop wyposażony w skanujący stolik, różne rodzaje kontrastów i oświetlenie fluorescencyjne oraz szybką kamerę cyfrową jest używany do długotrwałych eksperymentów z dziedziny biologii rozwojowej.

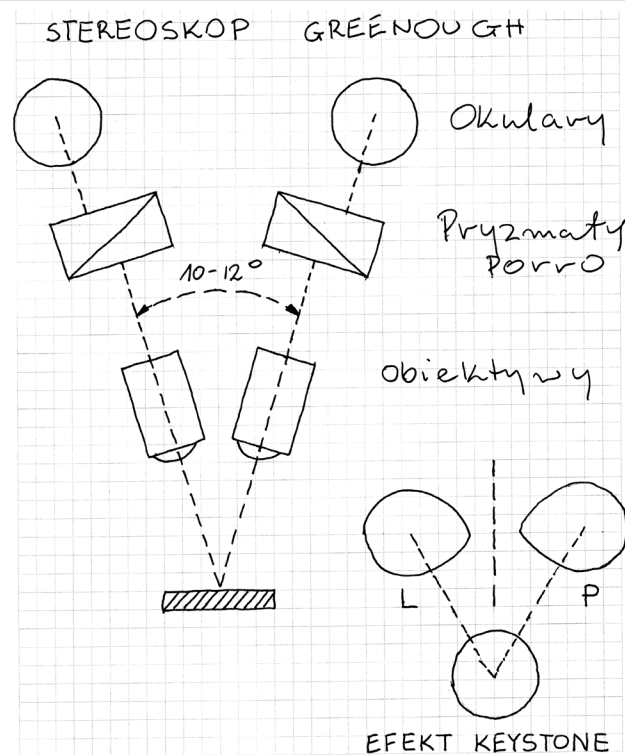
Obecnie dostępne są stereomikroskopy budowane wg schematów Greenough, CMO i Fusion Optics. Wszystkie typy urządzeń zostaną omówione poniżej.

### STEREOSKOP GREENOUGH

Schemat budowy współczesnych stereoskopów Greenough oparty jest na dwóch mikroskopach złożonych (CM) połączonych ze sobą pod kątem 10-12 stopni (Ryc. 1). Światło odbite lub przechodzące przez preparat jest zbierane przez dwa niezależne, konstrukcyjnie takie same obiektywy. Obiektywy wielkością i parametrami zbliżone są do

obiektywów montowanych w mikroskopach złożonych, co skutkuje uzyskaniem relatywnie wysokiej apertury numerycznej. Podstawa systemu czyli pojedynczy mikroskop złożony zbudowany jest tak jak pierwsze mikroskopy Jensa. Jest to układ optyczny składający się z okularu i obiektywu dający obraz urojony, powiększony i odwrócony [6,7]. Mikroskopy budujące stereoskopy Greenough pomiędzy okular i obiektyw mają wbudowane pryzmaty prostujące obraz, najczęściej w układzie Porro lub Amici (pryzmaty dachowe). Pryzmaty Porro, przy danym powiększeniu i takich samych obiektywach dają jaśniejszy obraz, z kolei pryzmaty typu dachowego są bardziej kompaktowe. W stereoskopach wywodzących się z projektu StereoZoom pryzmaty prostujące zastępują zwierciadła FS. Obecność pryzmatów prostujących lub układów optycznych opartych o zespół zwierciadeł ułatwia obserwatorowi orientację w płaszczyźnie X-Y. Przesuwanie preparatu czy ruch narzędzia pod stereoskopem i w okularach odbywa się w tym samym kierunku. Wynika to z pierwotnego przeznaczenia stereoskopów jako elementów systemów mikrodysekcyjnych lub mikrochirurgicznych. Dodatkowo w układy optyczne stereoskopów mogą być wbudowane pryzmaty umożliwiające pochylenie tubusa zwiększające komfort pracy. W stereoskopach StereoZoom zastępują je zwierciadła FS. Elementem służącym zmianie zakresu powiększeń stereoskopów są okulary, z reguły dostępne w powiększeniach od 10x do 40x. Standardowo obiektywy mają powiększenie 1x.

W starszych typach stereoskopów Greenough można było zmieniać powiększenie układu optycznego również poprzez wymianę zespolonych obiektywów. Takie rozwiązanie cechowało popularny kiedyś, produkowany przez warszawskie PZO, stereoskop MSt 127. Kombinacja wymiennych okularów i par obiektywów w MSt 127 pozwa-



Rycina 1. Schemat konstrukcji stereoskopu typu Greenough.

łały na pracę w zakresie powiększeń od 12,5x do 85x przy polu widzenia 16–2,7 mm odpowiednio. Stereoskop mógł pracować zarówno w świetle odbitym jak i przechodzącym [8]. Przykładem współczesnych stereoskopów Greenough są stereoskopy Leica z serii StereoZoom. Najwyższy model S8APO ma w pełni apochromatyczny układ optyczny, osiąga powiększenie w zakresie 3,2x–640x i maksymalną zdolność rozdzielczą 600 lp/mm [9]. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że zdolność rozdzielcza stereoskopów jest mierzona i przedstawiana odmiennie niż mikroskopów złożonych. Zdolność rozdzielcza w stereoskopach jest określana przez liczbę par równoległych linii jakie można rozróżnić w 1 milimetrze. Zdolność rozdzielcza ludzkiego oka wynosi 10-14 lp/mm. Zakres powiększeń w stereoskopach StereoZoom ustalamy poprzez wymianę okularów i montaż soczewek dodatkowych przed obiektywami. Soczewki dodatkowe mają powiększenia 0,32x, 0,63x, 1,6x i 2x. Soczewki 0,32x i 0,63x wprawdzie zmniejszają zakres powiększeń ale zwiększają odległość roboczą stereoskopu.

Odległość roboczą definiujemy jako odległość pomiędzy płaszczyzną fokalną preparatu a pierwszą soczewką obiektywu. W przypadku soczewki dodatkowej o powiększeniu 0,32x odległość robocza wynosi 200 mm. Dla układu optycznego z obiektywami 1x, bez soczewki dodatkowej, odległość robocza wynosi 75 mm. Pary obiektywów układu StereoZoom nie są wymienne jak w starszych konstrukcjach, a urządzenia są wyposażone w płynną zmianę powiększenia. Układy optyczne typu Greenough charakteryzuje dystorsja obrazu wynikająca z zasady konstrukcyjnej stereoskopu. Artefakt ten nosi nazwę efektu Keystone. Zjawisko polega na jednostronnym zmniejszeniu wymiaru obserwowanego obiektu. W lewym okularze obiekt po prawej stronie pola widzenia jest nieco mniejszy niż po stronie lewej. Ten sam efekt jest widoczny w prawym okularze gdzie pomniejszona jest lewa strona pola widzenia (Ryc. 1). Opisana dystorsja wynika z faktu, że płaszczyzny soczewek budujących obiektywy pochylone są pod kątem w stosunku do płaszczyzny fokalnej preparatu. Również obiektywy są pochylone względem siebie, a osie optyczne mikroskopów złożonych budujących stereoskop są całkowicie izolowane. Efekt Keystone skutkuje nieznacznymi różnicami w powiększeniu i ostrości w płaszczyźnie pola widzenia. W większości wypadków dystorsje są niewidoczne na skutek kompensacji tych niedoskonałości przez narząd wzroku obserwatora, mogą jednak skutkować zmęczeniem oczu w trakcie długotrwałych obserwacji. W przypadku pomiarów i akwizycji obrazów należy skorygować efekt Keystone. Wykonując pomiary z użyciem siatki, liniową siatkę okularu należy ustawić pionowo. Fotografując, najlepiej obiekt lekko pochylić (około 5–7°) aby leżał równolegle do płaszczyzny soczewek kanału stereoskopu, przez który wykonujemy fotografię [10,11].

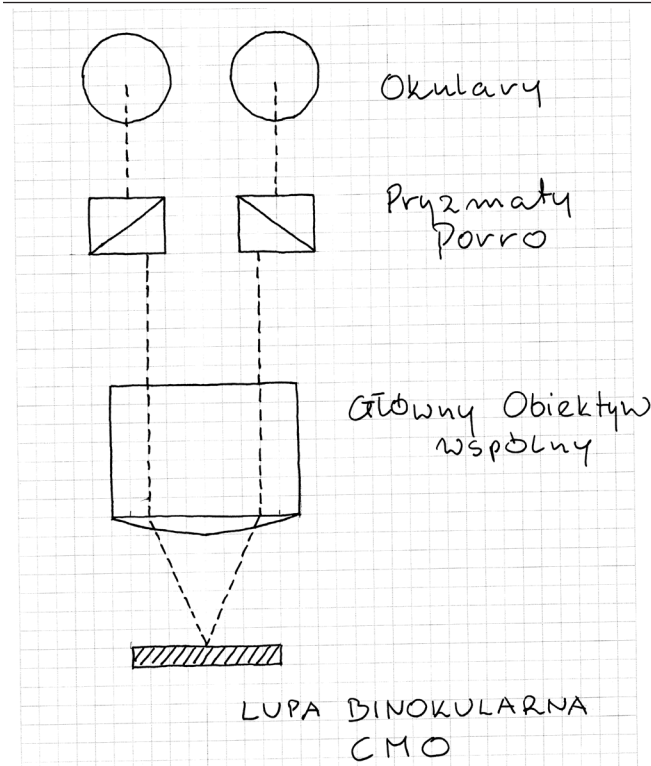
Współcześnie stereoskopy Greenough stosowane są głównie w rutynowych pracach laboratoryjnych. Urządzenia te cechują: relatywnie niska cena, są trwałe, lekkie, proste w użyciu i łatwe w utrzymaniu. W określonym zakresie cenowym, w porównaniu z opisanymi poniżej stereoskopami CMO, stereoskopy Greenough oferują zdecydowanie lepsze parametry techniczne oraz subiektywny odbiór jakości obserwowanego obrazu.

## LUPA BINOKULARNA CZYLI STEREOSKOP CMO

Typ konstrukcyjny oparty o wspólny obiektyw główny (Common Main Objective) jest obecnie najbardziej rozpowszechnionym typem stereoskopu. Aranżacja optyczna nie zmieniła się od czasu stereoskopu Cycloptic. Idea konstrukcyjna jest następująca: od wspólnego obiektywu zbudowanego z soczewek o dużej średnicy odchodzą dwie równoległe i optycznie identyczne osie prowadzące do okularów stereoskopu (Ryc. 2). W tym wypadku w pełni uprawnione jest użycie polskiego terminu: lupa binokularna.

Oś optyczna wspólnego obiektywu głównego jest prostopadła do płaszczyzny fokalnej preparatu i obserwowany obraz, w przeciwieństwie do stereoskopów Greenough, nie jest pochylony. W układzie CMO mamy do czynienia z projekcją obrazu do nieskończoności. Ten typ projekcji jest jedną z największych zalet stereoskopów CMO ponieważ umożliwia umieszczanie pomiędzy obiektywem a tubusem różnego rodzaju elementów optycznie aktywnych. Zamontowane akcesoria nie wprowadzają znaczących aberracji do układu optycznego stereoskopu oraz nie powodują zmian położenia obserwowanego obrazu. W przestrzeni nieskończonej stereoskopu można umieścić wewnętrzne oświetlenie episkopowe (obiekt oświetlany jest poprzez obiektyw), oświetlacz fluorescencyjny, moduł rysunkowy, kamerę cyfrową lub elementy poprawiające ergonomię. Możliwości takie czynią stereoskopy CMO wyjątkowo elastycznymi z punktu widzenia konfiguracji i potencjalnych aplikacji. Tego typu rozwiązania są nieosiągalne w stereoskopach systemu Greenough.

Równoległość osi optycznych pomiędzy ostatnią soczewką obiektywu i okularami powoduje, że obraz obserwowany jest z bardzo małą konwergencją lub bez niej.



Rycina 2. Schemat układu optycznego lupy binokularnej CMO.

**Tabela 1.** Porównanie parametrów technicznych wybranych stereoskopów typu CMO. Urządzenia wyposażone w obiektyw plan apochromatyczny o powiększeniu 1x i okulary o powiększeniu 10x, wszystkie układy optyczne mają pełną korekcję apochromatyczną i wbudowane podwójne przesłony irysowe.

	Leica M 205	Zeiss V 20	Nikon SMZ 25	Olympus SZX 16
ZOOM	20,5:1	20:1	25:1	16:1
ZAKRES POWIĘKSZEŃ	7,8x – 160x	7,5 – 150x	6,3x – 157,5	7,5x – 115x
APERTURA NUMERYCZNA	0,35	0,345	0,312	0,3
ROZDZIELCZOŚĆ	525 lp/mm	432 lp/mm	468 lp/mm	450 lp/mm
ŚREDNICA POŁA WIDZENIA	29,5 mm	30,7 mm	35 mm	31,4 mm
ODLEGŁOŚĆ ROBOCZA	61,5 mm	60 mm	60 mm	60 mm
MAKSYMALNE POWIĘKSZENIE*	1280x	862,5x	945x	690x
MAKSYMALNA ROZDZIELCZOŚĆ*	1050 lp/mm	1035 lp/mm	936 lp/mm	900 lp/mm

\*Wartości dla stereoskopów wyposażonych w obiektyw i okulary o maksymalnym powiększeniu dla danego modelu

Całkowity brak konwergencji uniemożliwia trójwymiarową interpretację obrazu przez nasz mózg. Osie optyczne prowadzące do okularów nie mają swojego początku w środku soczewek obiektywu, dlatego kąt konwergencji na preparacie wynosi około 10–12 stopni. W efekcie prowadzi to do dystorsji perspektywy (efekt globularny) i pojawiania się aberracji pozaosiowych. Efekt globularny objawia się widzeniem centralnej części obrazu płaskiego obiektu jako wybrzuszonej (Ryc. 2). Drugim artefaktem jest pojawianie się pozaosiowych aberracji takich jak astygmatyzm, koma czy poprzeczna aberracja chromatyczna w centrum pola widzenia. Jest to bezpośrednia konsekwencja przechodzenia wiązek światła pozaosiowo z obiektywu do osi optycznych okularów. Zjawisko to niweluje użycie obiektywów z najlepszą korekcją wad soczewek typu plan apochromat. Również przy obserwacji obuocznej efekt ten jest praktycznie niewidoczny, ale w mikrofotografii, które wykonywane są z wykorzystaniem jednej z osi stereoskopu, mogą wykazywać asymetrię w całym polu widzenia.

W stereoskopach CMO, podobnie jak w przypadku aranżacji typu Greenough, o sumarycznym powiększeniu układu decydują głównie okulary. Standardowo lupa binokularna wyposażona jest w obiektyw o powiększeniu 1x, okulary mogą mieć powiększenia od 5x do 40x. Dane techniczne układów optycznych z obiektywami 1x i okularami 10x najwyższych modeli stereoskopów CMO czołowych producentów przedstawia tabela 1. Warto zwrócić uwagę na techniczne osiągi współczesnych stereoskopów – maksymalne powiększenia średnio około 1000 razy i rozdzielczość na poziomie 500–600 nm. Stereoskopy CMO są produkowane w wersjach całkowicie zmotoryzowanych, zautomatyzowanych i kodowanych, można je doposażyć w peryferia ustalające środowisko fizyko-chemiczne odpowiednio dla badanych organizmów, hodowli tkankowych i komórkowych. W połączeniu z komputerowym sterowaniem systemu oraz automatyczną obserwacją i akwizycją obrazów w różnych kontrastach (fluorescencja, ciemne pole, kontrasty reliefowe) pozwala na prowadzenie długotrwałych eksperymentów.

Obiektywy stereoskopów CMO składają się z zespołów dużych soczewek produkowanych z dużych objętości szkła. W takich warunkach technicznych korekcje aberracji chromatycznych są trudne i wymagają zastosowania najlepszych technologii, wysoko wykwalifikowanych pracowników oraz kosztownych procesów produkcyjnych. W konse-

kwencji ceny układów optycznych CMO, pomimo pozornej prostoty, są wysokie. Współczesne stereoskopy, bazujące na układzie optycznym ze wspólnym obiektywem głównym, wytwarzane przez czołowych producentów takich jak Leica, Zeiss, Nikon czy Olympus, osiągnęły granice technicznych parametrów określonych przez prawa fizyki.

### STEREOSKOPY FUSION OPTICS

Mózg człowieka otrzymując informacje z obu gałek ocznych konstruuje trójwymiarowy obraz otaczającej nas rzeczywistości. Stereoskopy Leica bazujące na technologii Fusion Optics wykorzystują niezrównane zdolności adaptacyjne naszego mózgu. Układ optyczny stereoskopu przekazuje odmienne informacje z prawej i lewej osi optycznej. W prawym okularze widzimy obraz o maksymalnej zdolności rozdzielczej, a w lewym obraz cechujący się maksymalną głębią ostrości. Mózg automatycznie zbiera najlepsze informacje z obu kanałów i buduje trójwymiarowy obraz obserwowanego obiektu bogaty w szczegóły z dużą głębią ostrości [13].

Odmienne podejście konstruktorów Leica Microsystems doprowadziło do powstania stereoskopu z głównym obiektywem wspólnym Leica M 205, który jako pierwszy na świecie dysponował wartością zoom 20,5:1. Zdolność rozdzielcza tego aparatu osiągnęła wartość 1050 lp/mm co odpowiada rozdzielczości 475 nm. Największe powiększenie (w zależności od konfiguracji) wynosi 1280x. Przy maksymalnym powiększeniu średnica pola widzenia wynosi 0,19 mm, a odległość robocza obiektywu 20,1 mm [12]. Powyższe parametry techniczne i aplikacyjnie zbliżają M 205 do mikroskopu złożonego. Dla wielu aplikacji, gdzie standardowo używa się mikroskopu prostego lub odwróconego, zasadnym wydaje się rozważenie zastosowania tego typu stereoskopu.

Technologię Fusion Optics można zastosować w lupach binokularnych CMO (Leica M205) oraz stereoskopach Greenough (Leica A60), czyli mamy do czynienia z optyczną nakładką na każdy typ konstrukcyjny stereoskopu. Leica A60 jest stereoskopem typu Greenough przeznaczonym do zastosowań przemysłowych, który z powodzeniem może być użyty w pracowniach biologicznych. Szczególnie przydatny do wszelkiego rodzaju zabiegów, operacji i manipulacji, które muszą być wykonywane pod urządzeniem powiększającym.

Najważniejszymi parametrami określającymi jakość optyki stereoskopu są : głębia ostrości i rozdzielczość. Z punktu widzenia użytkownika obrabiającego mechanicznie obiekt pod stereoskopem istotną cechą urządzenia optycznego jest wielkość pola widzenia – czyli jak duży obiekt można obserwować bez konieczności przesuwania go w polu widzenia, oraz odległość robocza – czyli przestrzeń dostępna jednoczesnej obserwacji i manipulacji pod stereoskopem. Wzbogacenie układu optycznego A60 o technologię Fusion Optics powoduje następujące zmiany [15]:

Zwiększenie wartości głębi ostrości o 100%, z około 6–7 mm w standardowych stereoskopach do ponad 13,5 mm w urządzeniu z optyką Fusion Optics. Przeciętą wysokość materiału obrabianego przez użytkownika pod stereoskopem wynosi 8–12 mm co oznacza obserwację i pracę bez konieczności używania pokrętła regulacji ostrości.

Zwiększenie pola widzenia z 25 mm w standardowym stereoskopie do 46 mm w stereoskopie Leica A60 z układem optycznym Fusion Optics. W praktyce oznacza to możliwość obserwacji w całości i pracy z obiektem o długości 46 mm zamiast obiektu 25 mm. Konsekwencją większego pola widzenia jest więc o 50% mniejsza liczba przesunięć obiektu w polu widzenia stereoskopu.

Zwiększenie odległości roboczej do 112 mm bez konieczności stosowania dodatkowego obiektywu pomniejszającego. W standardowych stereoskopach osiągnięcie odległości roboczej na poziomie 100 mm wymaga zastosowania dodatkowego obiektywu pomniejszającego. Instalacja takiego typu obiektywu np. 0,63x zmniejsza całkowite powiększenie układu z 32x na 20x.

Analiza parametrów technicznych stereoskopów Fusion Optics wskazuje jednoznacznie na korzyści płynące z zastosowania tej technologii. Niestety, dostęp do tych rozwiązań jest silnie ograniczony ze względu na prawo patentowe i politykę właściciela patentu (tylko dwa modele).

## OŚWIETLENIE

Jedną z cech odróżniających stereoskopy od mikroskopów złożonych jest możliwość oświetlenia preparatów światłem przechodzącym i/lub odbitym bez konieczności ingerencji w układ optyczny urządzenia. W przypadku mikroskopów złożonych do obserwacji w oświetleniu episkopowym lub diaskopowym potrzebne są dwa odrębne urządzenia.

W przypadku pracy ze światłem przechodzącym stereoskopy, co do zasady, nie odbiegają od mikroskopów złożonych. Zaopatrzenie stereoskopu w odpowiednią podstawę oświetlającą, umożliwi prowadzenie obserwacji w polu jasnym, w polu ciemnym lub kontraście reliefowym. Parametry techniczne układów optycznych stereoskopów determinują możliwości urządzeń w zakresie powiększeń, zdolności rozdzielczej, wielkości pola widzenia i głębi ostrości. Stosując oświetlenie episkopowe, kluczowym czynnikiem decydującym o jakości i informatywności obrazu jest również sposób oświetlenia preparatu. Obecnie producenci

stereoskopów oraz wytwórcy specjalistycznego oświetlenia oferują szeroką gamę źródeł światła episkopowego. Użytkownik potencjalnie dysponuje dużą liczbą możliwości oświetlenia preparatu. Dobór odpowiedniego oświetlacza zależy od rodzaju preparatu i spodziewanego efektu końcowego. Nie ma ściśle określonych reguł doboru oświetlacza, użytkownik skazany jest na samodzielne poszukiwanie optymalnego rozwiązania.

## WYBÓR ODPOWIEDNIEGO STEREOSKOPU

W ciągu ostatnich 25 lat rynek mikroskopów i stereoskopów bardzo się poszerzył. Dostępne są urządzenia wszystkich liczących się producentów, którzy oferują duży wybór wysokiej jakości układów optycznych i urządzeń peryferyjnych. Niestety na rynku są również aparaty miernej jakości, których jedyną zaletą wydaje się być cena. Ilość modeli, mnogość sposobów konfiguracji, technik oświetlenia oraz oprogramowania może stanowić problem przy wyborze urządzenia i dlatego warto w tym miejscu przedstawić kryteria właściwego wyboru stereoskopu [14]. Pozwoli to na uniknięcie niepotrzebnych wydatków bądź nabycia urządzenia bezużytecznego z punktu widzenia użytkownika. Aby uściślić parametry i konfigurację stereoskopu należy znaleźć odpowiedzi na następujące pytania:

- Jakie aplikacje mają być realizowane za pomocą urządzenia?
- Jakie struktury mają być obserwowane i dokumentowane?
- Ilu użytkowników będzie korzystać z urządzenia?
- Jakim budżetem dysponujemy?
- Odpowiedzi na powyższe pytania powinny determinować określenie poniższych parametrów:
- Zakres powiększeń, zakres zoom, wielkość pola widzenia
- Głębia ostrości i apertura numeryczna
- Jakość optyki i odległość robocza
- Elementy poprawiające ergonomię pracy
- Rodzaj oświetlenia

Z reguły, ustalonym wymaganiom będzie odpowiadał przynajmniej jeden model z oferty czołowych producentów stereoskopów. Dlatego ostatnim etapem wyboru stereoskopu jest przetestowanie urządzeń różnych producentów, które odpowiadają ustalonym parametrom i wybranej konfiguracji, we własnym laboratorium i na znanym nam materiale.

## PIŚMIENNICTWO

1. Gallay A (2013) The Quest for Perfect Vision: Cherubin d'Orleans optical instruments and the development of theories of binocular perception in late seventeenth-century France. MPhil dissertation, University of Cambridge
2. Wheatstone Ch (1838) Contributions to the Physiology of Vision. Part the First. On some remarkable, and hitherto unobserved, Phenomena of Binocular Vision. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 128: 371-394
3. Wheatstone Ch (1852) The Bakerian Lecture – Contributions to the Physiology of Vision. Part the Second. On some remarkable, and hitherto unobserved, Phenomena of Binocular Vision (continued). Philosophical Transactions of the Royal Society of London 142: 1-17

4. Riddell JL (1854). On the binocular microscope. *Quart J Microsc Sci* 2:18-24.
5. American Optical (1962) AO Spencer® Cycloptic World's most modern...versatile...and complete line of STEREO SCOPES! American Optical Instrument Division, Buffalo 15 New York
6. Zimmer K P (1998) Optical designs for stereomicroscopes. *Proc SPIE* 3482: 690-697
7. Turner J N (1981) Introduction to stereo imaging. *Meth Cell Biol* 22: 1-11
8. Polskie Zakłady Optyczne Warszawa Mikroskop PZO MSt 127. Instrukcja obsługi, str. 1-17
9. Leica Microsystems (Switzerland) (2009) Leica StereoZoom Line, Complete solutions for assembly, quality control, OEM, research, training, 1-16
10. Nothnagle PE, Chambers W, Davidson MW (2016) Introduction to stereomikroskopy. <https://www.microscopyu.com>
11. Turner J N (1981) Introduction to stereo imaging. *Meth Cell Biol* 22: 1-11
12. Leica Microsystems (Switzerland) (2008) Leica M 205A, M205C, M165C, & M125 Stereomicroscopes Technical Information, 1-16
13. Leica Microsystems (Switzerland) (2008) Leica M 205A, M205C, M165C, & M125, Experience another dimension in stereomicroscopy with the new, high performance stereomicroscopes from Leica, 1-16
14. Goeggel D (2012) Factors to Consider When Selecting a Stereo Microscope. <http://www.leica-microsystems.com/science-lab/factors-to-consider-when-selecting-a-stereo-microscope/>
15. Leica microsystems (Switzerland) (2010) Leica A60S/Leica A60F. The stereomicroscope system for high productivity in the electronics and medical device manufacturing industries, 1-16

## Stereo microscope, neglected tool

Grzegorz Gacek✉

Scientific Research Advisory Centre Kawa.ska Sp. z o.o., 5 Techniczna St., 05-500 Piaseczno, Poland

✉e-mail: [Grzegorz.Gacek@kawaska.pl](mailto:Grzegorz.Gacek@kawaska.pl)

**Key words:** stereo mikroskopy, Common Main Objective (CMO), Greenough, Fusion optics

### ABSTRACT

Stereoscopes, in author opinion, are neglected tools in modern biology. This article shortly describes technical and application capabilities of the present stereomicroscopes. The two main types of stereomicroscope construction are depicted: Greenough microscope and Common Main Objective microscope. The technological breakthrough, asymmetrical optical design of stereomicroscopes, the Fusion Optics, is presented too. Because of very wide offer of a stereomicroscope platforms, illumination systems, software and imaging systems, the article contains also very useful factors to consider when selecting a stereomicroscope.