

Astrofotografia głębokiego nieba. Część I – teoretyczna

* Autor fascynuje się astronomią od 15 lat. W astrofotografii stawia na proste, dostępne dla amatorów rozwiązania, eksperymentując przy tym i starając się pokazać wybrane obszary nieba w nowy sposób, co zostało dostrzeżone m.in. przez jury międzynarodowego konkursu AstroCamera, w którym w 2023 roku uzyskał główną nagrodę w kategorii „Obiekty głębokiego nieba”.

NASA – Narodowa Agencja Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej
ESA – Europejskie Obserwatorium Południowe

No dobrze, ale skoro galaktyki są ogromnymi obiektami wypełnionymi miliardami gwiazd, to dlaczego ich nie widzimy na nocnym niebie? Główną przyczyną, dla której niebo nad nami wydaje się wypełnione jedynie gwiazdami i poza tym samą czernią, jest bardzo mała ilość światła, jaka do nas dociera od innych obiektów astronomicznych. Cała astrofotografia obiektów tzw. głębokiego kosmosu to fotografia o długim czasie naświetlania – niezbędnym do tego, aby uchwycić słaby sygnał. Mówimy tutaj o czasach liczonych w minutach na jedną klatkę, przy dość jasnych obiektach i czułych kamerach.

Aberracja chromatyczna jest częstym problemem soczewek. Mówiąc najprościej: niebieskie światło, ze względu na większą energię, załamuje się w szkłe mocniej niż światło czerwone, przez co kolory nie łączą się tak, jak powinny. Obiektów użytych w astrofotografii powinien być tak skonstruowany, aby ten efekt był jak najmniejszy.

Na okładce zdjęcie wykonane przez autora artykułu. Niezwykle bogaty obszar nieba na pograniczu gwiazdozbiorów Skorpiona i Wężownika, położony w bezpośrednim sąsiedztwie centrum Drogi Mlecznej. W kadrze znajdują się wodorowe mgławice emisyjne, z potężną mgławicą Zeta Ophiuchi w górnej części zdjęcia, oraz mnóstwo mgławic ciemnych i refleksyjnych, z najbardziej kolorowym i urozmaiconym obszarem w dole zdjęcia, zwanym Rho Ophiuchi.

*Ireneusz NOWAK**

Zapewne wielu z Was nie raz spotkało się w Internecie z pełnymi żywych kolorów zdjęciami nocnego nieba. Pierwsze skojarzenia, jakie przychodzą do głowy, gdy się na nie patrzy, to wyobrażenie aparatury potrzebnej do ich realizacji – dużych, ciężkich obserwatoriów, z potwornie drogimi i wielkimi jak autobusy teleskopami oraz przedziwnym sprzętem spełniającym kryteria „kosmicznych technologii”, do których zwykły śmiertelnik nie ma dostępu.

A jak jest naprawdę? Otóż to zależy! Zdjęcia pokazywane często w mediach, szczególnie te pochodzące z NASA czy ESA, są rzeczywiście wykonane przez astronomicznie drogie i wyspecjalizowane urządzenia. Z drugiej strony trzeba mieć świadomość, że przyrządy optyczne, za pomocą których Charles Messier w XVIII wieku stworzył pierwszy katalog obiektów mgławicowych, składały się z ręcznie szlifowanych soczewek i lusterek zrobionych z wypolerowanych ręcznie płyt srebra, które dzisiejsze lornetki dostępne za kilkaset złotych biją na głowę. Oczywiście przez taką lornetkę nie ujrzymy detali odległych galaktyk, ale na niebie jest bardzo dużo innych obiektów, które z powodzeniem można fotografować sprzętem przeznaczonym dla amatorów. Dobrze, to o jakim sprzęcie i o jakich obiektach astronomicznych będziemy tutaj mówić?

Największa galaktyka na północnym niebie (pomijając naszą Drogę Mleczną, która przez większość roku przecina niebo w poprzek), to M31, czyli Wielka Mgławica Andromedy. Ma ona wymiary około 3 stopni kątowych na 1 stopień kątowy, a to w przybliżeniu tyle co, odpowiednio, 6 i 2 średnice księżyca. Jej galaktyka satelitarna, zwana M33, ma rozmiar około 70 minut kątowych na 40 minut kątowych – czyli trochę ponad, odpowiednio, 2 i 1,3 średnice księżyca. Dużo, prawda? To teraz prawdziwy gigant, czyli obłok gazów i pyłów w gwiazdozbiorze Łabędzia, zwany Cygnus OB7. Jego rozmiar to 7 stopni kątowych na 4 stopnie kątowe – w sam raz na kadr z obiektywem ponad 100 mm.

Poniżej opiszę, jak zrobić kolorowe zdjęcie głębokiego nieba za pomocą obiektywu 50–200 mm i aparatu fotograficznego. W niniejszej, pierwszej części, którą śmiało można nazwać teoretyczną – skupię się na wymaganiach sprzętowych i ekspozycyjnych. W części drugiej, praktyczno-technicznej, która zostanie opublikowana w kolejnym numerze *Delty*, krok po kroku omówię, jakie dodatkowe ekspozycje nieba należy wykonać i jakiej obróbce należy poddać zdjęcie nieba, aby otrzymać zdjęcie zamieszczone na okładce *Delty*.

Sprzęt

Obiektów to najważniejszy element zestawu, gdyż to on „narysuje” nam obraz na sensorze. Wymagań, które musi spełniać obiektów do astrofotografii, jest wiele i nie każdy obiektów da oczekiwany efekt. Podstawą są znikoma aberracja chromatyczna oraz dobrze skorygowane brzegi obrazu – tak aby gwiazdy na brzegach pola widzenia nadal były punktowe i zachowały swój kolor – jest to bardzo wymagające kryterium, ale są na rynku stałogniskowe konstrukcje, które poprawnie realizują te cele i można je nabyć w kwocie około 2 000 PLN.

Aparat fotograficzny to drugi najważniejszy element zestawu astrofotografii głębokiego nieba. Aparat powinien pozwalać na uzyskanie niskich szumów przy długich czasach naświetlania, umożliwiać wyłączenie funkcji automatycznego odszumiania obrazu (niektóre aparaty posiadają algorytmy odszumiające, które „pochlaniają gwiazdy”), powinien charakteryzować się wysoką czułością i możliwością rejestrowania długich czasów naświetlania (przy pomocy zewnętrznego programowalnego wężyka lub przez zewnętrzne urządzenie, takie jak laptop czy telefon). Większość topowych marek aparatów, szczególnie z tzw. pełną klatką, nadaje się do tego celu bardzo dobrze. Często w astrofotografii stosuje się tzw. aparaty modyfikowane. Otóż niemal wszystkie cyfrowe aparaty lustrzane posiadają przedni filtr przed matrycą, który wycina część

spektrum światła czerwonego. Pozwala to na tańsze projektowanie obiektywów niewykazujących aberracji chromatycznej i nie wpływa na fotografię dzienną. Niestety filtr ten przeważnie wycina także około 80% sygnału generowanego przez zjonizowany wodór (tzw. H-alfa) – co stanowi większość światła wysyłanego przez mgławice emisyjne. Usunięcie tego filtra, przy pozostawieniu filtra UV/IR, znacząco zwiększa skuteczność takiego aparatu w astrofotografii.

Astrofotografia to przede wszystkim wykonywanie zdjęć z długimi czasami naświetlania. Do kompensacji pozornego ruchu nieba służy **montaż paralaktyczny**. Jest to urządzenie z własnym napędem, obracające się precyzyjnie wzdłuż swojej osi z prędkością jednego obrotu na dobę. Oś tego urządzenia jest ustawiana dokładnie na jeden z biegunów – dla zdjęć wykonywanych z obszaru Polski na biegun północny. Ustawienia dokonuje się za pomocą specjalnie przeznaczonych do tego lunetki wskazującej, w którym miejscu w danym dniu i o danej godzinie powinna znaleźć się gwiazda polarna.

W astrofotografii bardzo przydaje się zupełnie niepraktyczny w innych okolicznościach **ciężki i stabilny statyw**. Jednym z problemów, z którymi będziemy się mierzyć w nocy, mogą być podmuchy silniejszego wiatru. Warto także, by był na tyle stabilny, aby nie zmienił swojego położenia w nocy podczas przestawiania kadru, przypadkowego otarcia czy nie wpadał zbyt łatwo w drgania.

Mało oczywistą częścią zestawu są **grzałki na obiektyw**! Redukują one parowanie szkła i ilość wilgoci skondensowanej na obiektywie. Niestety w naszym klimacie przez większość nocy króluje wilgoć, a czołowa soczewka obiektywu wydaje się ulubionym miejscem do jej osadzania się.

Mamy więc aparat z odpowiednim obiektywem, przymocowany do montażu paralaktycznego, ustawionego na biegun północny, a całość na stabilnym statywie i zabezpieczona przed wilgocią. Ustawiliśmy interesujący nas kawałek nieba w kadrze, mamy ustawioną ostrość, podłączony wąż i upewniliśmy się, że karta pamięci nie została w domu (co też się zdarza).

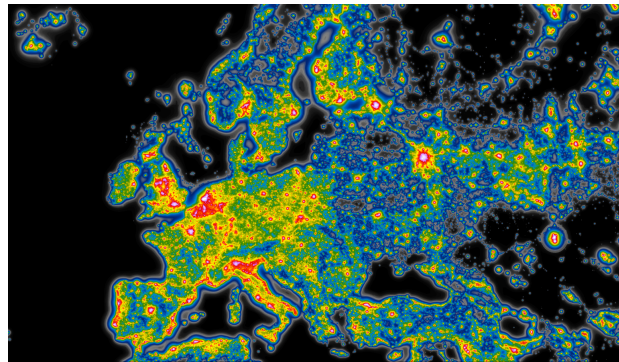
Co dalej?

Miejsce i Czas

Wydawać by się mogło, że jest to temat trywialny – bo przecież każdy wie, że zdjęcia nieba wykonujemy w nocy przy bezchmurnym niebie. Cóż, nie do końca. Bez wątplenia największą przeszkodą w rejestracji obiektów ciemnego nieba są chmury. Te niskie i średnie należą do przeszkód oczywistych, bo po prostu przysłaniają nam gwiazdy (albo przynoszą deszcz). Jednak dużo większym problemem są ledwo dostrzegalne, szczególnie nocą, **chmury wysokie**. Odpowiadają one za efekt halo powstający na zdjęciach gwiazd, który skutecznie zniweczy jakiegokolwiek próby zebrania dobrego materiału. Warto tutaj dokładnie prześledzić prognozy pogody oraz zweryfikować pierwsze zebrane klatki, czy nie zawierają jasnych obwódok dookoła gwiazd.

Jednak największą zgorą astrofotografii jest **sztuczne zaświetenie**. Człowiek, odkąd wynalazł elektryczność, nieustannie oświetla swoje otoczenie. W Europie Zachodniej i Środkowej coraz mniej jest miejsc, gdzie panuje prawdziwa noc. Według portalu www.lightpollutionmap.info, który pokazuje poziom zanieczyszczenia nieba sztucznym światłem, obecnie nie ma w Polsce żadnego miejsca z naturalną, pierwotną ciemnością nocnego nieba. Aktualnie najlepszym miejscem do uprawiania astrofotografii są u nas Bieszczady. Kluczowa zasada to znaleźć jak najciemniejsze miejsce blisko naszego miejsca zamieszkania.

Większość dzieci (dorosłych też) w Polsce nigdy na własne oczy nie widziała Drogi Mlecznej. Jeszcze 200 lat temu na obrzeżach Paryża, a co dopiero Warszawy, nocne niebo niczym nie różniło się w swojej jasności (a raczej ciemności) od tego na Saharze. Sztuczne zaświetenie to problem nie tylko astronomów i astrofotografów, gdyż coraz więcej badań wskazuje, że brak prawdziwej ciemności



Mapa zaświetenia nieba Europy za portalem www.lightpollutionmap.info

w nocy wpływa negatywnie na ludzki organizm, przyczyniając się także do poważnych chorób. W przypadku astrofotografii – jest tym czynnikiem, który zmusza nas do wyjazdu jak najdalej od miasta, bo światło, nawet daleko od ośrodków miejskich, będzie odpowiadać za największą część zebranego sygnału w naszym materiale.

Nasza **atmosfera** jest dodatkowym, ważnym elementem optycznym, który musimy uwzględnić w fotografii nieba. Duża zawartość wilgoci i pyłów wpływa na przejrzystość i jakość zdjęć. To nie przypadek, że największe obserwatoria są budowane wysoko w górach, gdyż im wyżej ulokujemy aparat, tym „element optyczny” atmosfery jest cieńszy i jego wpływ na zdjęcie jest mniejszy. Stąd każde podniesienie terenu (najlepiej w górach) pomoże nam w osiągnięciu lepszego zdjęcia. Podobnie kadr blisko zenitu da nam lepszej jakości obraz niż ten nisko nad horyzontem.

Stabilność atmosfery (tzw. *seeing*) możemy pominąć do ogniskowej około 300 mm, ale przy większych przybliżeniach zaczyna grać kluczową rolę. Ciepłe i zimne oraz wilgotne i suche powietrze oddziałują ze sobą na różnych wysokościach, mieszają się, co daje widoczny efekt „falowania” i rozmywa obraz gwiazd

i drobnych detali galaktyk. Objawem niesprzyjającego seeingu są mocno mrugające gwiazdy – i jest to czynnik, który może zdecydować o rezygnacji z sesji zdjęciowej.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na nasze zdjęcie może być delikatna poświata generowana w wyniku spontanicznych reakcji cząsteczek gazów w górnych partiach atmosfery Ziemi, nazwana zjawiskiem

air glow. Są to pasma delikatnej poświaty w kolorze zielonym lub, rzadziej, czerwonym. Swoją drogą, jeżeli naszym problemem przy zdjęciach staje się air glow, oznacza to, że znaleźliśmy naprawdę ciemne miejsce.

Pozostają też **cząsteczki o wysokiej energii** (ang. *cosmic-ray*) – tak! Zdarzają się! Zostawiają krótką, prześwietloną kreskę na zdjęciu.

Jak przeliczyć czas ekspozycji?

Mamy zatem już nasz aparat, wybraliśmy odpowiednie miejsce, pogoda jest piękna, wybraliśmy interesujący nas obiekt astronomiczny. Teraz musimy zdecydować o długości czasu ekspozycji.

Matryca składa się z elementów światłoczułych, pikseli, które, mocno upraszczając, w wyniku detekcji fotonu (efekt fotoelektryczny) zwiększają swój ładunek o wartość 1 eV. Każdy sensor posiada różną maksymalną pojemność pojedynczego piksela, którą nazywamy **studnią potencjału** (ang. *full well capacity*). Przepelnienie piksela, czyli zbyt długie jego naświetlanie, może spowodować „przelanie się” nadmiaru ładunku na sąsiednie piksele, co jest wysoce niepożądane. Po zakończonej ekspozycji zgromadzony w każdym z pikseli ładunek jest wzmacniany i zamieniany w przetworniku analogowo-cyfrowym (A/D) na liczbę.

W większości stosowanych obecnie aparatów przetworniki konwertują odczytywane wartości na liczby 12- lub 14-bitowe, co daje wartości odczytu od 0 do, odpowiednio, 4095 lub 16185. Ponieważ ze względu na duże upakowanie informacji w małym zakresie oferowanym przez pojemność piksela interesuje nas jak największa rozdzielczość pomiaru jego wartości, więc przetwornik 14-bitowy jest tutaj oczywistym wyborem.

W związku z tym interesuje nas jak najdłuższa ekspozycja, przy której nie „przypalimy gwiazd” – owszem, jeśli trafią nam się w kadrze dwie, trzy super jasne gwiazdy „Behemoty” – nic na to nie poradzimy, ale to powinny być wyjątki, gdyż oznaczają utratę części informacji i wpływają na estetykę zdjęcia. Poza samymi gwiazdami istotny wpływ na wybór **czasu naświetlania** wywiera także sztuczne zaświecenie nieba, które przyspiesza saturację gwiazd i kadru. Najbezpieczniejszą formą ustalenia odpowiedniego czasu naświetlania jest wykonanie kilku testowych zdjęć i ustalenie czasu metodą prób i błędów. W większości przypadków jednak czas naświetlania to kilka minut. Warto zaznaczyć, że w ciemnych warunkach bieszczadzkich udaje się uzyskać nawet dwa razy dłuższe ekspozycje niż kilkanaście kilometrów od miasta. No i najważniejsze – formatem zapisu powinien być bezstratny **RAW** – czyli odczyt z matrycy aparatu, bez ingerencji dodatkowych modułów oprogramowania aparatu, mających na celu upiększenie czy odszumienie zdjęcia.

Wzmocnienie sygnału, czyli czym jest to magiczne ISO?

ISO – zwana także dawniej ASA – jest skalą opracowaną przez American Standards Association, która swoją popularnością wyparła inną, wcześniej stosowaną skalę DIN, opracowaną przez Niemiecki Instytut Normalizacji.

Uogólniając, **ISO** jest ustandaryzowaną miarą czułości aparatu na światło, która gwarantuje, że niezależnie od typu aparatu użytego do wykonania zdjęcia przy obiektywie o tej samej jasności, tym samym czasie naświetlania, w tych samych warunkach i tych samych ustawieniach ISO uzyskamy obraz wynikowy o tej samej jasności. Jako że aparaty wykorzystują różne sensory, każdy z nich w inny sposób przetwarza pochodzący z nich sygnał, aby uzyskać określone ISO. Oznacza to, że wartość ISO, która w konkretnym modelu będzie optymalna dla astrofotografii, w innym urządzeniu będzie ustawieniem mało skutecznym.

Najprościej rzecz ujmując, im niższa wartość ISO, tym aparat jest mniej wrażliwy na światło i odwrotnie. Zdjęcia robione w tych samych warunkach i o tych samych czasach naświetlania, przy np. ISO 100 będą ciemniejsze niż przy ISO 200. Niskie wartości, takie jak ISO 100, świetnie sprawdzają się w słoneczne dni. W przypadku fotografowania w mroku lub pomieszczeniach słabo oświetlonych konieczne może być stosowanie wyższych czułości ISO (jak ISO 1600 lub wyższych).

Teoretycznie więc, jeżeli obiekty, które fotografujemy, są ekstremalnie ciemne, wybór wartości ISO, dla której konieczne jest zbieranie kilku fotonów, aby uzyskać wzrost wartości piksela o 1 przy odczycie, jest gorszy niż ISO o wielkości, dla której już jeden wykryty foton daje w efekcie wzrost wartości piksela o 1 (ang. *unity gain* ISO). Ale żeby nie było zbyt różowo, wybór takiego ISO nie musi być tym najlepszym, z przyczyn ukrytych w konstrukcji matrycy, aparatu i jego oprogramowania – przyczyną może być np. ilość dodawanego szumu do zdjęcia. Poprawne ustawienie ISO jest więc wiedzą często uzyskiwaną, znów, metodą prób i błędów, wspartą różnymi amatorskimi lub specjalistycznymi analizami sprzętu fotograficznego publikowanymi w Internecie (np. przez DxO, www.dxo.com/), na forach lub po prostu ustalane „metodą ekspercką” (np. ISO800/ISO1600).

To tyle teorii, w następnym odcinku będzie już tylko praktyka!