

Opracowanie DRI (pseudo- HDR) przy wykorzystaniu GIMP-a.

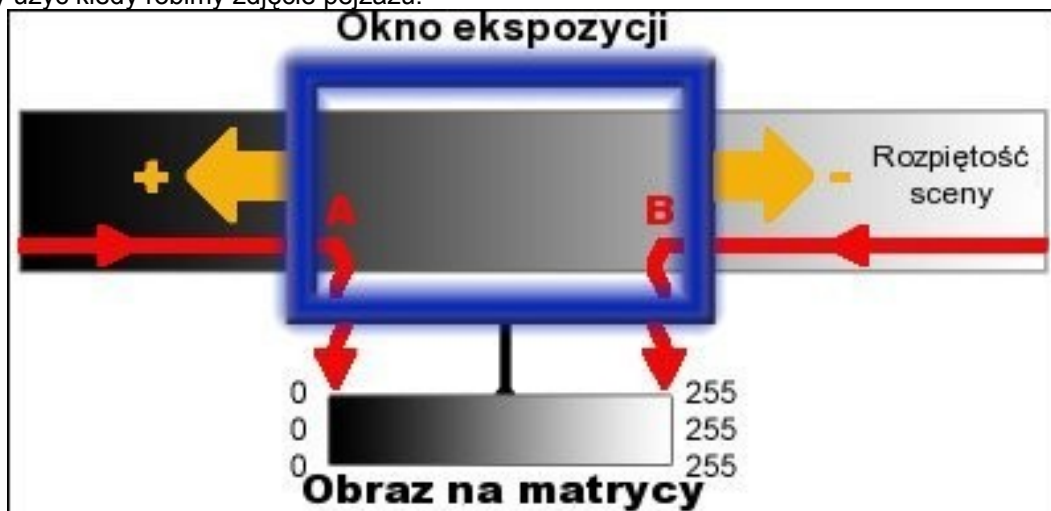
Cz. I

Wprowadzenie

To co widzą nasze oczy, może być niemożliwe do zarejestrowania przez matrycę aparatu fotograficznego.

Rozpiętość rzeczywistej fotografowanej sceny

Podstawowy problem z jakim fotograf musi sobie poradzić podczas robienia zdjęć to ustalenie prawidłowej ekspozycji. Nawet najbardziej zaawansowane matryce nie dają jednoznacznej odpowiedzi jakiego czasu i przysłony użyć kiedy robimy zdjęcie pejzażu.



Problem ten wynika z rozpiętości dynamicznej sceny czyli różnicy pomiędzy tym jakie naświetlenie jest potrzebne, aby zachować szczegóły w najciemniejszym miejscu na zdjęciu, oraz tym jakie jest potrzebne, aby najjaśniejsze miejsca na zdjęciu nie było zupełnie białe, czyli wybieramy zakres jasności, który wykorzystamy. Ciemny zakres sceny (wszystko w lewo od A) zostanie zapisany na matrycy jako czarny $\{0,0,0\}$ a jasny (w prawo od B) zostanie zapisany jako biały $\{255,255,255\}$. Szczegóły zostaną dokładnie odnotowane tylko wewnątrz okna. Ustawiając różne ekspozycje będziemy „jeździć” oknem po całej jasności sceny. Dodając wartości ekspozycji przesuwamy okno w lewo. Ciemniejsze punkty sceny wejdą w zakres okna, ale jaśniejsze wypadną. Zmniejszając ekspozycję przesuwamy okno w prawo, ale ciemniejsze punkty sceny „uciekną z okna” otrzymamy ciemne miejsca bez szczegółów.

Co zatem zrobić jeśli rozpiętość fotografowanej sceny jest większa niż 4-6EV?. Musimy zastosować techniki **DRI lub HDR** pozwalające na tworzenie plików cyfrowych o rozpiętości tonalnej wyższej niż rozpiętość matrycy na której ów plik został pierwotnie zarejestrowany.

Kto może korzystać z techniki DRI (HDR) i jaki sprzęt jest do tego potrzebny?

Żeby móc skorzystać z techniki DRI/HDR nie potrzebujemy specjalnego sprzętu.

W celu uzyskania poprawnych efektów korzystamy z zwykłego aparatu cyfrowego, który oferuje:

- pracę w trybie ustawień ręcznych (manualnych) => **M**
- tryb manualny ustawienia ostrości => **MF**
- punktowy tryb pomiaru światła => **SPOT**
- zapis plików w formacie **RAW** (ewent. **TIFF** lub **JPEG**)
- możliwość wyświetlania histogramu

Kilka słów o technice poprawnego wykonywania zdjęć do techniki DRI lub HDR.

Do zdjęć w technice DRI lub HDR używamy **solidnego statywu**, korzystamy z **samowyzwalacza** w celu uniknięcia poruszenia aparatu podczas serii ujęć, aparat musi być w trybie ustawień manualnych MF, jeśli stosujemy format plików JPG (*ale lepiej jeśli można – TIFF*) => **BB balans bieli nie może być ustawiony jako automatyczny**, musi być ustawiony przez użytkownika, dokładnie taki sam w poszczególnych ujęciach (dla obrazów w formacie RAW, nie ma to zasadniczego znaczenia), używamy najniższego możliwego ISO aby uniknąć nadmiernego szumu (co zwiększy zakres tonalny), wszystko po to, aby poszczególne obrazy nie różniły się od siebie kadrem **nawet** w minimalnym stopniu. **W praktyce** na ogół wykonujemy jedno próbne naświetlenie (w formacie JPEG i oglądamy jego histogram). Jednak gdy nasz aparat posiada możliwość punktowego pomiaru światła, możemy dość precyzyjnie sprawdzić, czy możemy wykonać poprawne zdjęcia i o ile (lub nie) warunki oświetlenia przekraczają możliwości rejestracyjne matrycy naszego aparatu, wykonujemy wtedy pomiar **punktowy** (3 – 9% obrazu w wizjerze) w najjaśniejszych i najciemniejszych partiach fotografowanej sceny, czyli określamy **zakres dynamiczny (sceny)** albo **kontrast sceny** albo także **zakres tonalny**. Pomiar najlepiej wykonać przy priorytecie przysłony i czułość np. ISO 100 (uzasadnienie -> **definicje!**).

Dynamiczny zakres sceny określimy jako różnicę w jednostkach EV, czyli określamy pomiarem EV najjaśniejszych światła (np. obłoki) potem EV najciemniejszego miejsca sceny (np. ciemnego przedmiotu) i odejmując wartości otrzymamy wynik, czy różnice ekspozycji nie są większe od 5EV dla przeciętnego

kompaktu (lustrzanki osiągają wyniki nawet do 8,4EV).

Aparat (ISO 100)	Zakres cieni	Zakres światła	Zakres użyteczny
Nikon 200	- 5,0EV	3,2EV	8,2EV
Nikon D2X	- 5,5EV	2,7EV	8,2EV
Canon EOS 5D	- 4,7EV	3,5EV	8,2EV
Canon EOS 20D	- 5,1EV	3,3EV	8,4EV
Canon EOS-1Ds Mark II	- 4,6EV	3,5EV	8,1EV

EV wartość ekspozycji (ang. exposure value) – liczba informująca o poziomie oświetlenia, który towarzyszył fotografowanej scenie.

Przy pomiarach zakresu dynamicznego sceny nie zapominamy:

- poza pomiar EV najjaśniejszego i najciemniejszego miejsca sceny - aby tym określić jej zakres dynamiczny, określić również „EV “ głównego obiektu naszej sceny.
- że, pomiary w aparatach są nastawione na oddawanie średniej szarości (np. motywy ciemne zostaną przedstawione zbyt jasno, zdjęcia karty białej i czarnej będą oddane jako średnio szare)
- zawężyć zakres pomiaru punktowego korzystając z maksymalnego zoomu, (długa ogniskowa ułatwia dokładniej ustawić na mierzony punkt)
- zanotować wartości czasu ekspozycji, przysłony i czułości ISO dla każdego punktu i określić DR.

Jeśli przykładowo:

1. przy F/8 i ISO 100 otrzymaliśmy dla najjaśniejszego miejsca czas naświetlania 1/1000sek a dla najciemniejszego 1/30s, to może uda nam się uchwycić na jednym zdjęciu detale zarówno w „światach” jak i w „cieniach” (można sprawdzić korzystając z kalkulatora:

<http://www.dpreview.com/learn/?key=exposure> .)

	Aperture	Shutterspeed	Sensitivity	Exposure Value (1)
Effect of scrolling up -> one step	doubles aperture (less DOF)	doubles exposure time	doubles the effect of incoming light (more noise)	-1 EV doubles the amount of light (3) collected by the sensor
Select here ->	f/8	1/30s	ISO 100	11 EV <input type="button" value="Calculate EV"/>
Effect of scrolling down -> one step	halves aperture (more DOF)	halves exposure time	halves the effect of incoming light (less noise)	+1 EV halves the amount of light (3) collected by the sensor

	Aperture	Shutterspeed	Sensitivity	Exposure Value (1)
Effect of scrolling up -> one step	doubles aperture (less DOF)	doubles exposure time	doubles the effect of incoming light (more noise)	-1 EV doubles the amount of light (3) collected by the sensor
Select here ->	f/8	1/1000s	ISO 100	16 EV <input type="button" value="Calculate EV"/>
Effect of scrolling down -> one step	halves aperture (more DOF)	halves exposure time	halves the effect of incoming light (less noise)	+1 EV halves the amount of light (3) collected by the sensor

obliczony **zakres dynamiczny (sceny)** wynosi: $DR = 16 - 11 = 5EV$; dla dłuższych czasów w cieniach wynik przekroczy zakres możliwości **przeciętnej** matrycy.

2. Inny przypadek (teoretyczny dla pokazania metody obliczeń)

Przy pomiarze dla światła otrzymano: czas 1/500s; f/16; ISO 200

Przy pomiarze dla cieni otrzymano: czas 1/8s; f/4; ISO 200;

Teraz skorzystamy z poniższej tabeli (którą możemy posługiwać się w terenie) i odczytamy wartości przyrostów EV:

Czas ekspozycji (sek)	Przyrost EV		Wartość przysł.	Przyrost EV		ISO	Przyrost EV
1	0		1.0	0		50	1
1/2	1		1.4	1		100	0
1/4	2		2.0	2		200	-1
1/8	3		2.8	3		400	-2
1/15	4	+	4.0	4	+	800	-3
1/30	5		5.6	5		1600	-4
1/60	6		8	6		3200	-5
1/125	7		11	7			
1/250	8		16	8			
1/500	9		22	9			
1/1000	10		32.0	10			
1/2000	11		45.0	11			

EV jest jednostką określającą ilość światła jakie zostanie zarejestrowane przez materiał światłoczuły. F - przysłona
 $EV = \log_2(F^2/t) - \log_2(ISO/100) = \log_2 F^2 + \log_2(1/t) - \log_2(ISO/100) = 2 * \log_2 F - \log_2 t - \log_2(ISO/100)$ t - czas w sek

dla światła: **1/1000s = 10EV; f/8 = 6EV; ISO100 = 0EV** otrzymamy wynik => 10+6 = 16EV
dla cieni: **1/4s = 2EV; f/4 = 4EV; ISO100 = 0EV** otrzymamy wynik => 2+4 = 6E
W tym przypadku różnica, czyli **DR = 16 – 6 = 10EV** jest zakresem tonalnym sceny, który przekracza zakres możliwości przeciętnej matrycy.
Ponieważ kontrast sceny 1EV oznacza kontrast 1:2, stąd 10EV oznacza, że przedział jasności od najciemniejszego do najjaśniejszego punktu jest w tym przypadku w stosunku **1 : 2¹⁰ = 1 : 1024**.

Jak widać obliczenia w terenie skomplikowane, dlatego praktycznie mierzymy światło na pierwszoplanowym obiekcie zgodnie z pomiarem **matrycowym**, po czym na podstawie podglądu zdjęcia i wykresu histogramu rozkładu jasności na zdjęciu oceniamy czy na zdjęciu poprawnie są oddane wszystkie partie wykresu (szczególnie lewa i prawa strona krawędzi histogramu). Im bliżej lewej krawędzi znajduje się najwyższe wybrzuszenie wykresu, tym więcej ciemnych detali na zdjęciu i odwrotnie.

Jeśli **histogram** wskazuje wyraźnie na przesunięcie w stronę prześwietlenia/niedoświetlenia zmieniamy parametry (stosujemy korekcję ekspozycji) i wykonujemy kolejne próbne zdjęcie. (**wyjaśnienia poniżej!**)
Jeśli próba będzie w miarę poprawna, uruchamiamy bracketing (TIFF, JPEG), włączamy samowyzwalacz i wykonujemy serię zdjęć umożliwionych przez oprogramowanie aparatu (oczywiście można wykonać zdjęcia ustawiając manualnie w trybie M kolejne wartości czasu ekspozycji przy stałej wartości przysłony).
Jeśli aparat umożliwia, korzystajmy z trybu zapisu zdjęć w formacie RAW lub TIFF. Pamiętajmy, że w przypadku zapisywanie plików w formacie JPG, proces **HDR** spowoduje obniżenie jakości obrazu (wzrost zaszumienia, spadek ostrości, wzmocnienie aberracji chromatycznych itd.) dlatego lepiej mieć pliki wejściowe w najlepszej jakości.

Wykonujemy od 3 do np. 6 zdjęć (w zależności od tego, z jak dużym kontrastem sceny mamy do czynienia) **za każdym razem skracamy czas 2 (1 EV) lub 3-krotnie (1,5EV) – pamiętamy** - lepiej korygować prześwietlenia niż niedoświetlenia, dlatego warto mieć "środkowe" naświetlenie raczej w prawej części histogramu.

W obydwu przypadkach nie zmieniamy wartości przysłony (ze względu na zależność głębi ostrości od otworu przysłony) **zmieniamy tylko czas naświetlania zdjęcia!** - **ale ryzykujemy poruszenie zdjęcia lub rozmycie ruchomych elementów "motywu"** (oraz wzrost szumów przy b.długich czasach naświetlania).
Trzecią metodą jest pozostawienie parametrów ekspozycji takich samych i regulacja ISO. W tym przypadku problemem **może być szum**, w zależności od tego do jakiej maksymalnej czułości dojdziemy (zostanie on wzmocniony w procesie obróbki DRI lub HDR, **zachodzą także zmiany wartości DR matrycy** -> **definicje**).



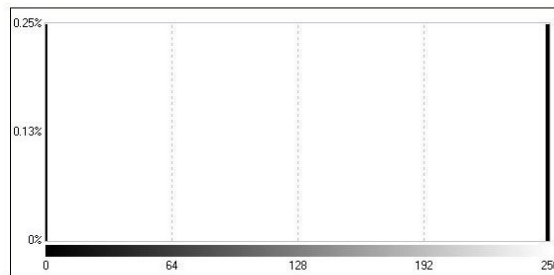
Przykład wyświetlacza LCD z histogramem aparat C740UZ

Wtrącenia i definicje - czyli trochę nie uporządkowane podstawy:

Histogram to zliczanie częstości wystąpienia danego zdarzenia (<http://pl.wikipedia.org/wiki/Histogram>).

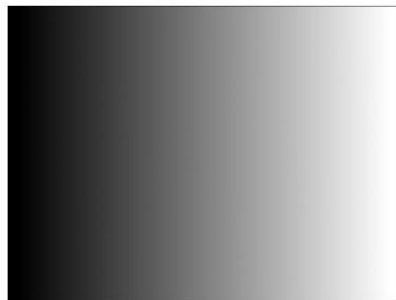


Obraz

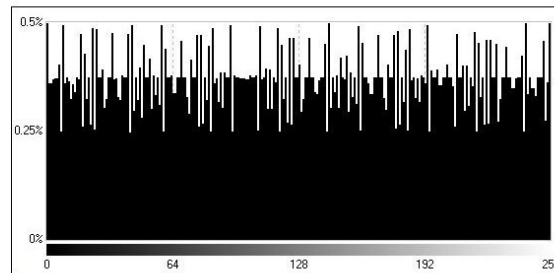


Jego histogram

Z histogramu obrazu widać, że tworzą go dwa prążki jasności czarny R,G,B=0 oraz biały R,G,B=256 oddalone od siebie na dużej płaszczyźnie

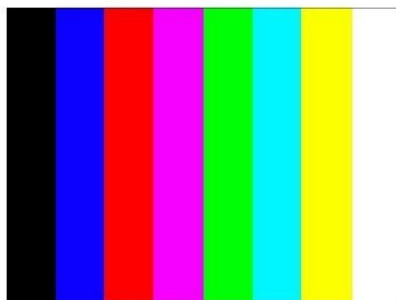


Obraz gradientu

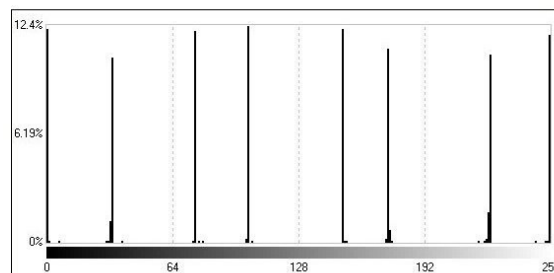


Jego histogram

Z histogramu gradientu widać że otrzymujemy dość równomierny rozkład wszystkich odcieni szarości



Wzór barwny

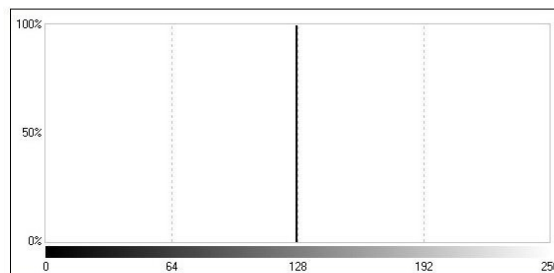


Jego histogram

Jednolite barwy zostają zmapowane do histogramu według swojej jasności. Na histogramie widać 8 prążków odpowiadających rosnącej jasności poszczególnych barw.



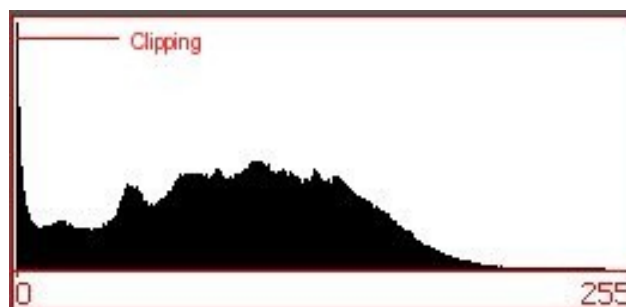
Średnia szarość



Jej histogram

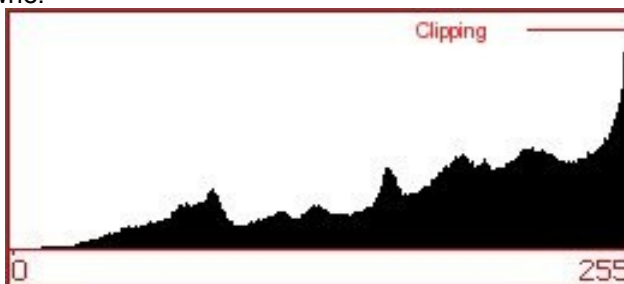
Histogram zawiera tylko jeden prążek dla R=G=B=127

Przykłady histogramów prostych obrazów

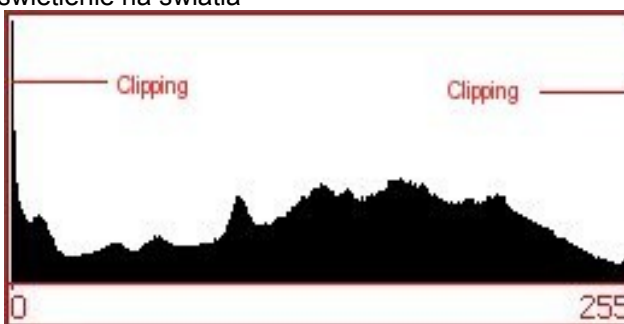


Shadow - Największe wartości na Histogramie jasności skupiają się przy lewej krawędzi wykresu – jest to

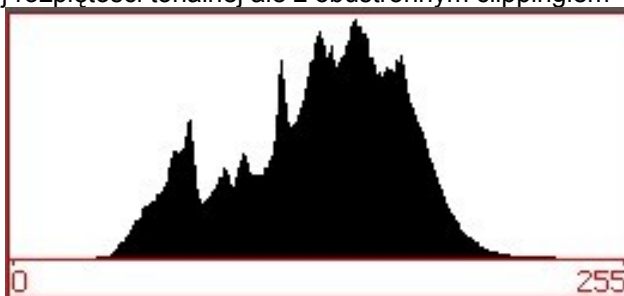
oznaką odcinania cieni, czyli odwzorowywania najciemniejszych obszarów na zdjęciu za pomocą koloru całkowicie czarnego ($RGB=\{0,0,0\}$) – utracono pewną część informacji tonalnej, naświetlenie na cienie. Histogram z „potencjałem”, ma sporo pustego miejsca po prawej stronie pomiędzy zboczem, a **ramką wykresu** brakuje statystyki jasnych półtonów. Jeżeli przy lewej krawędzi wykresu dane będą się bardzo piętrzyć, zdjęcie prawdopodobnie będzie niedoświetlone. Jeżeli lewa strona zbocza nie „włazi” na lewą ramkę – zdjęcie jest poprawne.



High Light - Największe wartości na Histogramie jasności skupiają się przy prawej krawędzi ramki wykresu – pojawił się obszar gdzie doszło do odcięcia światła ($RGB=\{255,255,255\}$) światła zostały prześwietlone i będą wyglądać jak biała plama – rysunek bez szczegółów), histogram za daleko przesunięty w prawo **dla poprawy stosunku S/N** - naświetlenie na światła

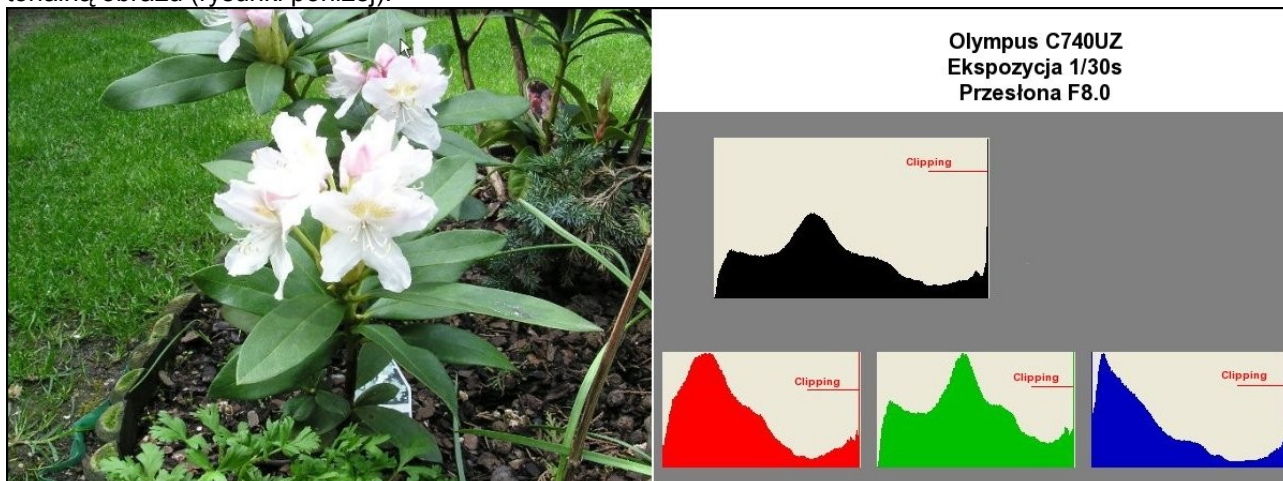


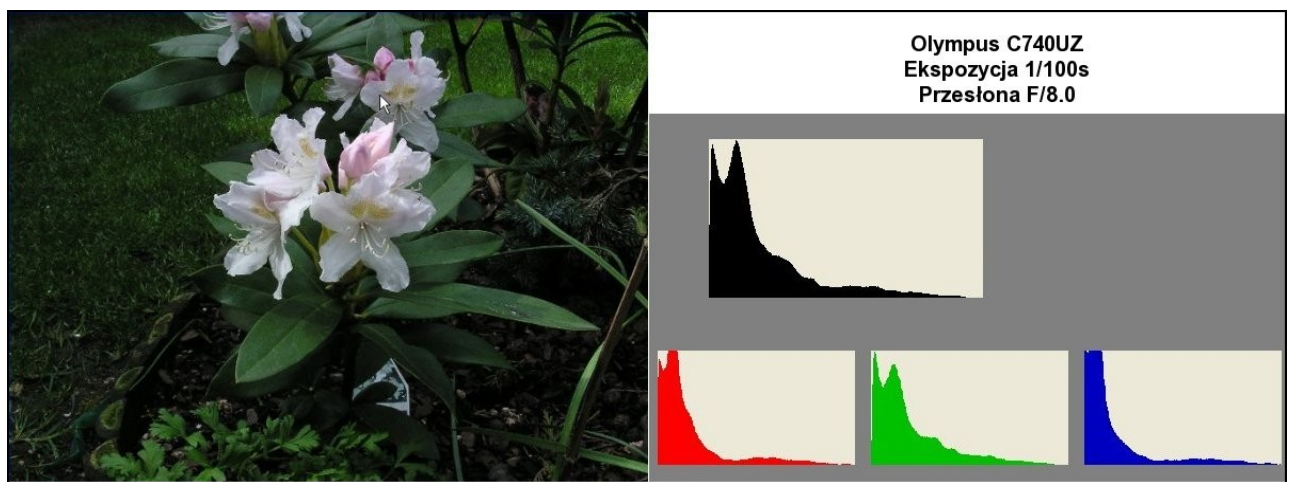
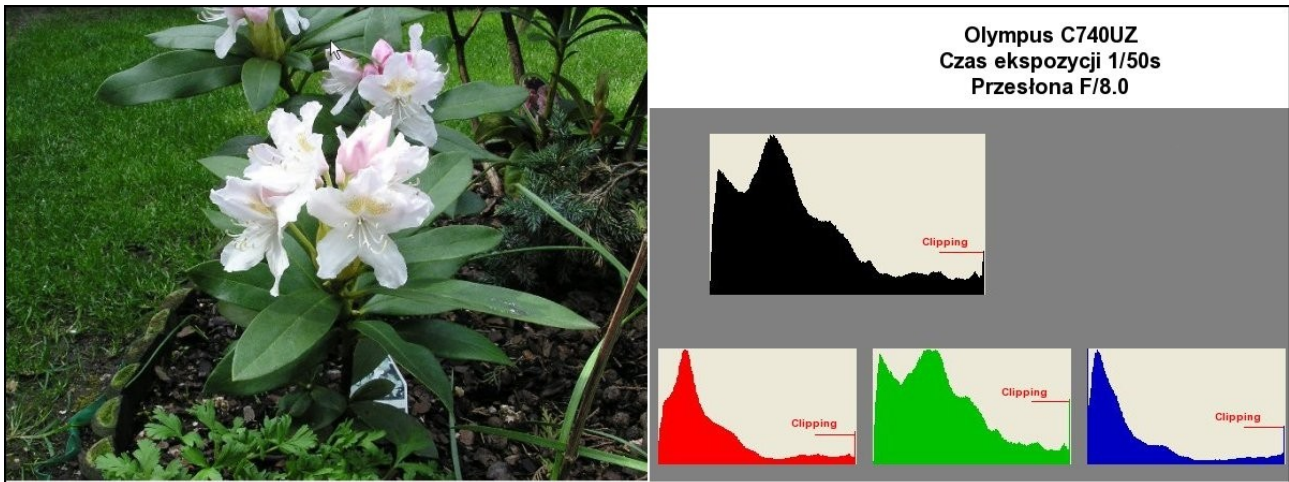
Histogram jasności w pełnej rozpiętości tonalnej ale z obustronnym clippingiem



Histogram jasności o średniej rozpiętości tonalnej i braku kontrastu ma kształt dzwonu – zdjęcie naświetlone poprawnie, choć pozbawione zarówno głębokich cieni jak i światła, rezultat np. zamglonego zdjęcia.

Paleta Histogram **stanowi również w programie edycyjnym** niezwykle istotne narzędzie wspomagające edycję obrazów cyfrowych, ponieważ umożliwia dokładne określenie poprawności wykonanej ekspozycji zdjęcia oraz śledzenie wpływu dokonywanych ewentualnych bieżących zmian i zabiegów na charakterystykę tonalną obrazu (rysunki poniżej).





Przykładowe Histogramy zdjęć

Na powyższych histogramach jasności i trzech warstw kolorów reprezentujących kanały kolorów widać: **Clipping** – obcinanie, odcinanie, albo jeszcze prościej: **prześwetlenie, przepalenie co najmniej jednego z kanałów koloru RGB - czyli przesunięcie histogramu jednego kanału**. Dokuczliwe zjawisko w fotografii cyfrowej.

Rozróżniamy dwa rodzaje clippingu:

- clipping tonalny polegający na prześwietleniu wszystkich trzech kanałów RGB i
- clipping nasycenia (saturation) kiedy prześwietlony jest jeden lub dwa kanały.

Clipping tonalny to zupełny brak szczegółów w prześwietlonych (lub niedoświetlonych) miejscach.

Clipping nasycenia pozostawia część informacji o szczegółach ale nie jest zachowana informacja o kolorach. Jeśli któryś z kanałów jest obcięty, to znaczy, że na zdjęciu występują piksele, w których wartość składowej tego kanału osiągnęła maksimum (255), w tej sytuacji wszelka selektywność tonalna takich pikseli opiera się na różnicach pozostałych dwóch kanałów - a czasem to nie wystarcza do odtworzenia szczegółów w gładkich przejściach tonalnych, czyli przy clippingu tracimy informację.

W większości cyfrowych aparatów fotograficznych jest zaimplementowany histogram z **kanałem luminancji L**, który na skutek sumowania pojedynczych kanałów koloru **R+G+B** może zamaskować prześwetlenie lub niedośwetlenie tylko w jednym kanale koloru, np. **R** jest przeeksponowany i stracił już wszystkie szczegóły, a histogram jasności może wyglądać normalnie. **Dlaczego ?**

Histogram dla kanału **R** zlicza ile jest na obrazie tych pixeli o odcieniach 0, 1, 2.... 255 i przedstawia to na wykresie. Pikseli w kanale **G** jest dwukrotnie więcej więc, żeby zachować relacje do **B** i **R** w kanale jasności przypisuje się im odpowiednie wagi wg. wzoru:

$$L = R * 0.30 + G * 0.59 + B * 0.11.$$

Ponieważ jak widać kanał **R** ma w całej jasności wagę tylko **0,30**, stąd jego skrajna wartość 255 nie musi się jeszcze objawić w skrajnej wartości całkowitej jasności.

Przykład:

wyobraźmy sobie kolorowy piksel obrazu z wartościami RGB (**100, 150, 200**) ma on luminancję (jasność)

$$L = (100 \times 0.3) + (150 \times 0.59) + (200 \times 0.11) = 140,$$

teraz wyobraźmy sobie kolorowy piksel obrazu z wartościami RGB (**255, 200, 150**) ma on jasność

$$L = (255 \times 0.3) + (200 \times 0.59) + (150 \times 0.11) = 211$$

Histogram nie zasygnalizuje prześwetlenia, dlatego, że ta jasna szarość zmieści się w zakresie 0 do 255,

ale wartość **255** sygnalizuje jednak clipping – prześwietlenie, *tylko* w kanale koloru czerwonego i na zdjęciu oglądanym w edytorze będzie rysunek szczegółów w nasyconej czerwieni silnie pogorszony!

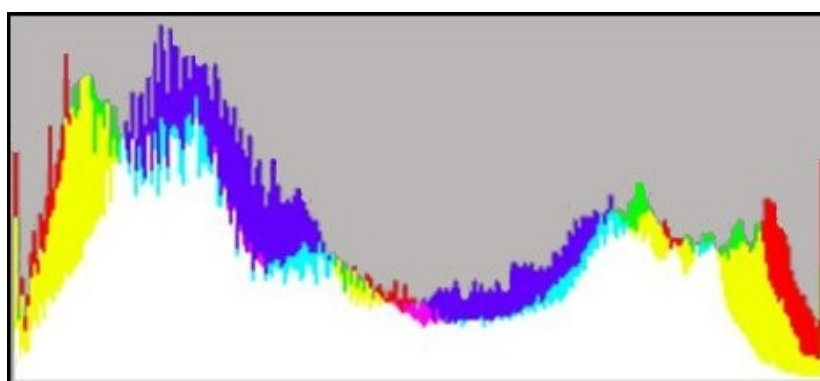
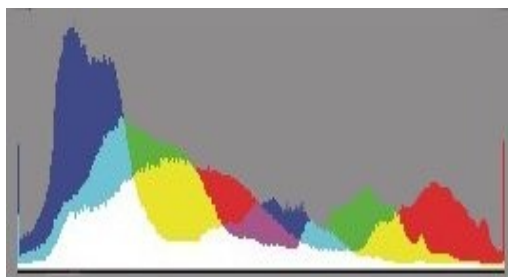
Kolor	R	G	B	Jasność - L			Razem
				Składnik od R	Składnik od G	Składnik od B	
Czarny	0	0	0	0	0	0	0
Czerwony	255	0	0	$255*0.3$	0	0	76
Zielony	0	255	0	0	$255*0.59$	0	150
Niebieski	0	0	255	0	0	$255*0.11$	28
Czerwony + zielony	255	255	0	$255*0.3$	$255*0.59$	0	227
Czerwony + niebieski	255	0	255	$255*0.3$	0	$255*0.11$	104
Zielony + niebieski	0	255	255	0	$255*0.59$	$255*0.11$	178
Szary	127	127	127	$127*0.3$	$127*0.59$	$127*0.11$	127
Biały	255	255	255	$255*0.3$	$255*0.59$	$255*0.11$	255

Porównanie jasności względnej dla ludzkiego oka.

Clipping łatwo osiągniemy fotografując prawie jednolitą płaszczyznę w jednym z podstawowych kolorów. Typowym przykładem będzie np. fotografia płatków czerwonej róży, które przy poprawnie naświetlonym zdjęciu bardzo szybko tracą selektywność czerwieni a przy podniesieniu nasycenia dostajemy w rezultacie "płaskie" plamy, pojawiają się też czasem zafarby. Składowa czerwona zwykle sprawia problemy, nie mieszcząc się w zakresie tonalnym zdjęcia. Im jaskrawsze są ciepłe barwy na zdjęciu, tym więcej w nich składowej barwy czerwonej, na co trzeba zwracać uwagę gdy mamy aparat tylko z histogramem jasności. Trzeba obserwować i kontrolować clipping, ale często lokalny clipping (zwłaszcza nasycenia) jest dopuszczalny, a alternatywą byłoby mocne przyciemnienie zdjęcia lub spłaszczenie kontrastu.

W wielu przypadkach clipping jest nie do uniknięcia np. zdjęcia z koncertu, krajobraz ze słońcem w kadrze na godzinę przed zachodem, to tylko pewne przykłady. Wypalone szczegóły białej sukni ślubnej, czy brak rysunku szczegółów w cieniach **zwykle** nie robią najlepszego wrażenia, ale czasem... są akceptowalne. Zdarza się również, że rejestrowany obraz nie zawiera zupełnie cieni, lub światła (mgła, niebo, morze). Histogram będzie wykazywał brak pewnej części danych, będzie to jednak wynikać z naturalnej sytuacji, a nie błędu.

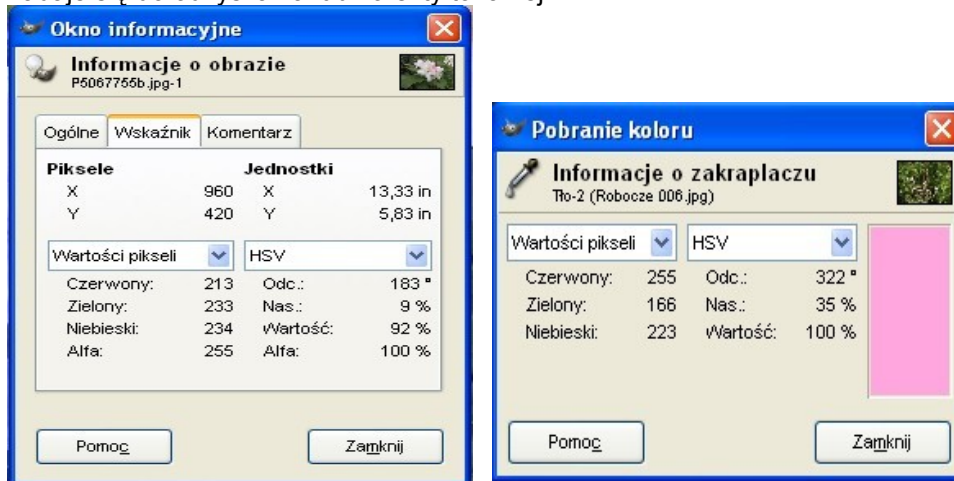
Histogram z powyłamywanymi zębami czy z lasem "pików" nie świadczy również najlepiej o jakości zdjęcia. Na poniższych przykładowych histogramach zdjęć obrabianych w Camera RAW widać również efekt Clippingu kanałów koloru.



Na histogramie kolor biały pojawia się gdy wszystkie trzy kanały pokrywają się, natomiast żółty,

karmazynowy i niebieskozielony gdy dwa kanały RGB pokrywają się (żółty = czerwony + zielony = R+G, karmazynowy = czerwony + niebieski R+B, niebieskozielony = niebieski + zielony B+G). Na dolnym histogramie widać niewielki clipping tonalny w cieniach – clipping w kanale czerwonym i zielonym R+G. Clipping w kanale czerwonym i zielonym występuje również w światłach.

Używając w edytorze graficznym **Okna informacyjnego** lub narzędzia **Pobranie koloru** (kropplomierz) możemy przekonać się, że w przepaleniach nie ma żadnych użytecznych informacji. Biel to będzie oczywiście {255, 255, 255}. Próbnik kolorów pozwala sprawdzić, w jakim stopniu konkretny obszar zdjęcia nadaje się do odzyskania lub korekty tonalnej.



Aby użyć go w GIMP-ie, klikamy na **Pobieranie koloru z obrazu („O”)**, pojawia się okno **Pobieranie koloru** w którym ustawiamy parametry w polach na – **Wartości pikseli i HSV (Hue Saturation Value)**, jeśli teraz przesuniemy wskaźnik Kropplomierza nad interesujący nas punkt zdjęcia i klikniemy to parametr **Wartość [równoważna B (Brightness)]** wyrazi w procentach jasność wskazanego punktu. Jeżeli wynosi on **powyżej 85%**, to miejsce możemy uznać za przepalone, jeżeli zaś **poniżej 10%** – za niedoświetlone. Zwrócimy uwagę na parametry w polu – **Wartości pikseli** jeśli widzimy wynik, że np. jedna z składowych RGB wynosi maksimum (255), to równocześnie na **HSV** zobaczymy, że punkt ten wykaże maksymalną jasność (100 procent), maszyna nie myli się: wartość składowej tego kanału osiągnęła maksimum (255) - punkt ten należy uznać za prześwietlony (obcięty).

Ponieważ histogram pokazuje nam statystyczną informację o „uśrednionej” ilości różnie naświetlonych pikseli, to w prosty sposób zauważymy na histogramie to, czego z powodu adaptacji do warunków zastanych oka nie zobaczymy od razu.

Histogram pokazuje tylko rozkład zdarzeń, nie decyduje o tym, czy zdjęcie będzie dobre, czy posiada wady. W aparatach kompaktowych jest możliwość wyświetlania histogramu "na żywo", czyli podczas kadrowania zdjęcia, w lustrzankach mamy lustro, które zasłania matrycę, i nie da się nic podejrzeć, bo matryca ślepa, dlatego w nich tylko w trybie odtwarzania jest taka możliwość. Ale np. w Canon-ie EOS400D w trybie odtwarzania do dyspozycji bardziej zaawansowanych fotografów jest histogram RGB, przedstawiający wykresy rozkładu tonów we wszystkich trzech kanałach. Osoby, którym wystarczy histogram przedstawiający tony uśrednione mogą wybrać tę opcję w menu i wtedy wyświetlany zostanie tylko wykres pojedynczy luminancji.



Do dyspozycji jest także wskazywanie miejsc prześwietlonych na fotografiach (powyżej kanał czerwony), wyświetla histogram podzielony na pięć obszarów. Przekszonowane białe miejsca migają i tym zwracają na siebie uwagę. Nie chronią jednak przed przekszonowaniem pojedynczych kanałów R.G lub B!. W C740UZ funkcja histogramu jest dwupoziomowa. Białym kolorem, wypełniony jest histogram z

powierzchni całego kadru, natomiast kolorem zielonym, pokazany jest histogram punktowy, mierzony na powierzchni mniej więcej pola AF. Jeśli będą wykonywać zmiany położenia wskaźnik punktowego histogramu, wówczas zielony histogram punktowy, również będzie przesuwany z lewa do prawa i z powrotem. Ułatwieniem są tu również dodatkowe pionowe linie przy lewej i prawej krawędzi. Wyznaczają one przestrzeń, z lewej – wysokich cieni, z prawej – wysokich światła.

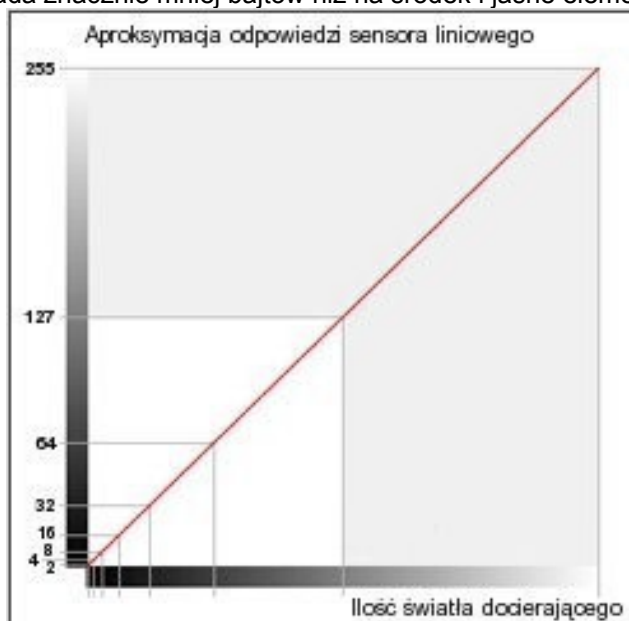
Generalnie w przypadku aparatów cyfrowych zaleca się przesuwany **wykres histogramu** maksymalnie **"do prawej"** krawędzi, *najbliżej prawej jak tylko się da, i najlepiej bez clippingu (określenie powyżej)*. Idealem jest złapanie momentu kiedy przesuwając wyświetlany wykres histogramu max w prawo, jednocześnie nie przyciąć - przepalić (Clipping) żadnego kanału koloru.

Jest to **bardzo trudne**, gdy korzystamy z aparatu wyświetlającego tylko histogram luminancji, ponieważ jak wspomniano zwykle clipping występuje w ujęciach o **dużej przewodze** jednego z kolorów, stąd pewność będziemy mieć tylko wtedy, gdy posiadamy aparat, w którym histogram jest wyświetlany nie tylko dla luminancji, ale również koloru każdego kanału składowego RGB. Ale na wyświetlanym histogramie o wielkości 10 groszy nie za dużo można w terenie zobaczyć, szczegóły ujawnią się dopiero w **programie edycyjnym**.

Należy wziąć jeszcze pod uwagę, że gdy fotografujemy w RAW histogram wyświetlany przez aparat **jest pewnym przybliżeniem** wynikającym z konwersji RAW do JPG. Producenci aparatów konwersję tą opierają z reguły na krzywej tonalnej o dużym nachyleniu (typ S) wykorzystując aktualne ustawienia aparatu (histogram pliku RAW wyglądałby dziwnie mając wszystkie dane ściśnięte na końcu). W efekcie histogram może pokazywać clipping, gdy w rzeczywistości go nie ma. Oczywiście, jak wspomniwno możliwa jest również sytuacja przeciwna, tzn. histogram nie pokazuje clippingu, a ten wystąpił, stąd ostrzeżenia nie oddają tego co będzie na zdjęciu RAW.

Dlaczego zaleca się przesuwany wykres histogramu maksymalnie "do prawej" krawędzi?.

Każda matryca pracuje w trybie linearnym (linear-gamma) stąd przy niedoświetleniu sprawa jest o tyle gorsza, że na cienie przypada znacznie mniej bajtów niż na środek i jasne elementy obrazu.



Charakterystyka matrycy CCD

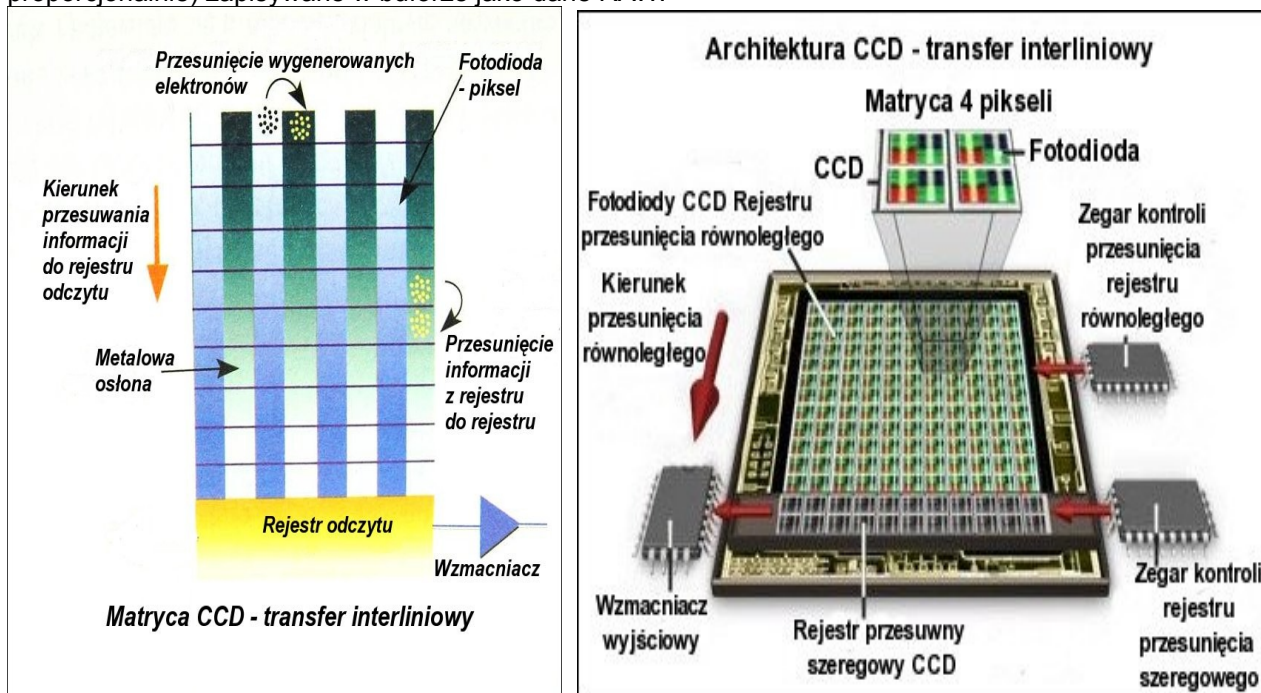
Jak widać z charakterystyki obraz na matrycy CCD jest rejestrowany liniowo, natomiast sposób widzenia człowieka można *przybliżyć* funkcją logarytmiczną (podobnie zachowuje się slajd) - korekcja gamma. Jedną z cech identyfikujących różne odmiany matryc typu CCD jest *wspólny dla wszystkich pikseli* układ przetwarzania ładunków na napięcia i tych napięć na liczby. Proces ten nazywany jest odczytem matrycy. Przykładowo z matrycy CCD typu **interlinie transfer**, naświetlonej przez fotony padające na poszczególne **sensory rejestrujące**, ładunki są przesuwane do sensorów magazynujących, pokrytych metalowymi paskami, które zasłaniają, w zależności od konstrukcji np. ok. połowy wszystkich pikseli. Pod tą „zasłonę” odprowadza się wyindukowane przez światło ładunki. Następnie już pod osłoną tych pasków przesuwana się je do rejestrów odczytu. Odkryta część matrycy może w tym czasie rejestrować kolejny obraz. Fotony, które mogłyby trafić na metalową taśmę, przekierowywane są do czynnego dla światła obszaru za pomocą nałożonego na matrycę CCD zespołu mikrosoczewek (które niwelują też problem nie prostopadłego padania światła na matrycę – z oddaleniem od środka obrazu kąt padania promieni robi się coraz ostrzejszy), czyli mikrosoczewki zwiększają czynną część piksela i **współczynnik wypełnienia** (po angielsku **fill factor**), a więc „zwiększają” czułość. Zawsze liczy się efektywna powierzchnia krzemu. Efektywna powierzchnia krzemu = powierzchnia piksela x współczynnik wypełnienia (**fill factor**). Piksel z dużą powierzchnią krzemu

może zmieścić więcej elektronów niż piksel z małą powierzchnią krzemu, gdy oba piksele zostaną naświetlone fotonami o tej samej energii (tym samym poziomem naświetlania!).

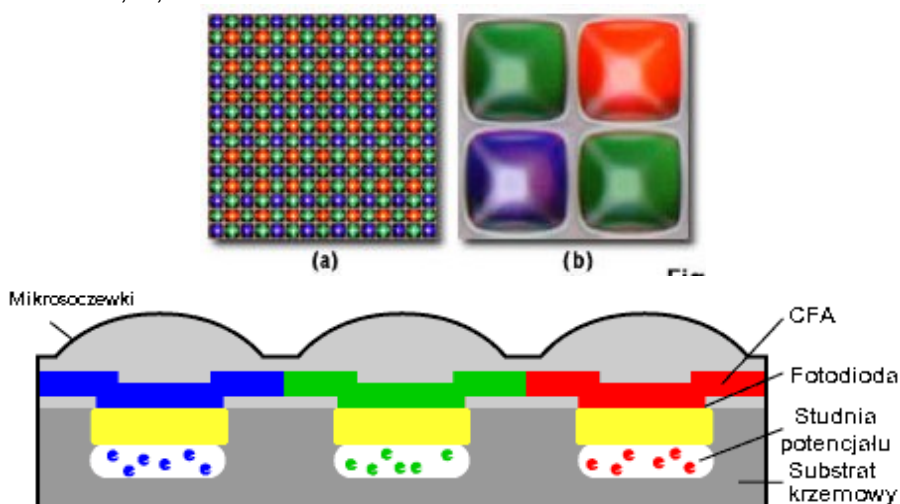
Jeśli przykładowo mamy dwa sensory, w jednym jest rozstaw pikseli 10 μm a w drugim 3,2 μm (mikrometr = 1/1 000 000 część jednostki, w tym przypadku metra. Np. sensor o wymiarach 36 x 24 mm i rozdzielczości 4368 x 2512 pixeli, to 36 / 4368 = 8,2 μm rozstaw pikseli), i założymy, że współczynnik wypełnienia dla obydwu sensorów wynosi 50 %, to efektywna powierzchnia krzemu dla pierwszego piksela wynosi:

$$10 \times 10 \times 50 \% = 50 \mu\text{m}^2, \text{ natomiast dla drugiego piksela } 3,2 \times 3,2 \times 50 \% = 5 \mu\text{m}^2.$$

Obraz czyli ładunki z matrycy odczytywane są piksel po pikselu, linia po linii **następnie wzmacniane** i przetwarzane przez układ **A/D** (konwerter analogowo-cyfrowy) na postać zero-jedynkową i liniowo (wprost proporcjonalnie) zapisywane w buforze jako dane RAW.



Sensory czyli fotoelementy matrycy CCD są wrażliwe tylko na ilość padającego światła na ich powierzchnię, nie rozpoznają kolorów; Dlatego pod zespołem soczewek montowana jest też maska filtrów o trzech podstawowych barwach R, G, B.



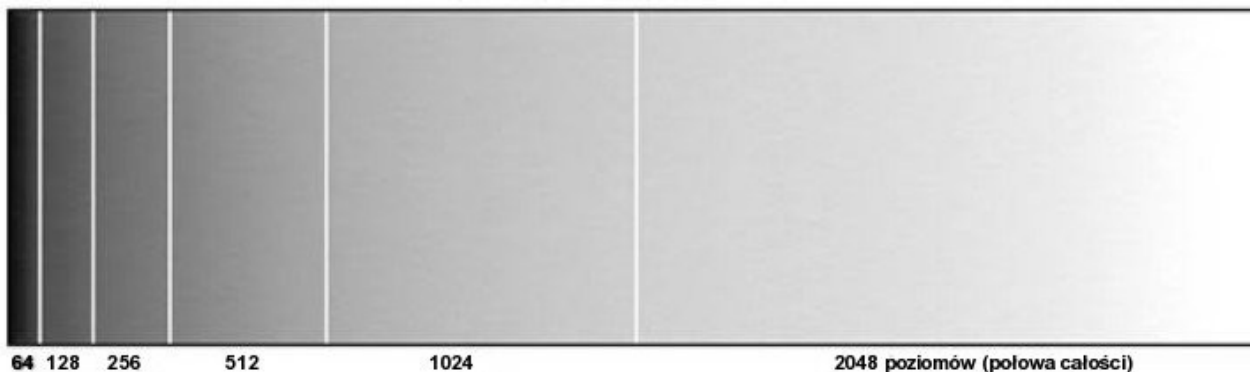
Prostokątnie ułożonych pikseli nie da się równo podzielić pomiędzy składowe RGB, stąd z każdego z czterech pikseli jeden rejestruje składową czerwoną, jeden niebieską, zaś dwa zieloną taki układ zwany jest Bayerowskim (*Bayer Matrix* or *Colour Filter Array* – Matryca z filtrem barwnym Bayera). Dopiero teraz ładunek elektryczny zgromadzony na poszczególnych pikselach jest proporcjonalny do natężenia światła o barwie przykrywającego go filtru i zostaje zamieniony przez ADC na liczby całkowite. Najczęściej proste aparaty kompaktowe korzystają z 8-bitowych przetworników analogowo-cyfrowych, oznacza to, że ładunek elektryczny z każdego sensora zostaje przetworzony na postać 8-bitowej liczby (z zakresu 0 - 255); obecnie większość aparatów cyfrowych korzysta z 10; 12 lub 14-bitowych przetworników analogowo-cyfrowych. Stąd

jeżeli zapis danych w aparacie odbywa się z rozdzielczością 10-12 bitów/piksel, to innymi słowy, każdy piksel może (liniowo) przyjąć jedn z 1024 lub 4096 wartości odcieni koloru.

Jeśli przyjmiemy, że rozpiętość tonalna matrycy w aparacie ma 6 f-stopów i 12-bitowy przetwornik A/D to wtedy szósty f-stop obejmuje zakres $4096/2 = 2048$ odcieni, czyli zajmuje połowę całego zakresu tonalnego. *Przypomnienie: f-stop został tak zdefiniowany, że każdy kolejny to dwukrotnie więcej (lub dwukrotnie mniej) światła, czyli przejście z F2,8 na F4 oznacza konieczność dwukrotnego wydłużenia czasu ekspozycji.* Przechodząc w dół kolejny jeden f-stop zawiera znowu połowę to jest 1024 odcieni. I tak dalej. W ostatnim najniższym na cały jeden f-stop przypada tylko 64 odcienie.

A więc dla matrycy o rozdzielczości 12 bitów do każdego zakresu EV będzie należeć odpowiednio:

Ilość bitów	Możliwa liczba	Zakres tonalny	Ilość odcieni w górnym f-stop
12	$2^{12} = 4096$	6 f-stopów	2048
11	$2^{11} = 2048$	5 f-stopów	1024
10	$2^{10} = 1024$	4 f-stop	512
9	$2^9 = 512$	3 f-stop	256
8	$2^8 = 256$	2 f-stop	128
7	$2^7 = 128$	1 f-stop	64



Do najwyższej umieszczonej strefy, 6EV (światła) należy 2048 czyli aż **50%** wszystkich poziomów odcieni oddawanych z matrycy.

Do strefy 5 EV (delikatnych półtonów) należy 1024 czyli 25% wszystkich poziomów odcieni rejestrowanych przez matrycę.

Do strefy 4EV (średnich półtonów) należy 512 poziomów czyli 12,5%.

Do strefy 3EV (ciemnych półtonów) 256 poziomów czyli 6,7%.

Do strefy 2EV (cieni) tylko 128 poziomów czyli 3,4%.

Strefa 1EV to już tylko 64 poziomy i symboliczne 2%.

Zastosowanie przetwornika analogowo-cyfrowego o większej głębi bitowej nie oznacza poszerzenia zakresu dynamiki matrycy CCD. Kolory najjaśniejsze i najciemniejsze, jakie może ona zarejestrować, pozostają takie same, ale większa głębia bitowa pozwala na uzyskanie subtelniejszych przejść tonalnych w ramach danego zakresu dynamiki. Głębia bitowa obrazu wytworzonego przez aparat zależy od formatu, w jakim jest on zapisywany. Np. podczas zapisywania obrazu w formacie JPEG najpierw zostaje zredukowana głębia bitowa z 12 lub 14 bitów na kanał do 8 bitów na kanał, czyli następuje ograniczenie liczby poziomów jasności z 4096 lub 16 384 do 256. Dopiero dane 8-bitowe zostają poddane właściwej kompresji. Najczęściej używa się 3 bajtów do zapisania trzech kolorów składowych. Po 8 bitów (jeden bajt) na jeden kolor. Z użyciem ośmiu bitów można zapisać 256 różnych liczb całkowitych – tak więc w pliku 8-bit/kolor można zarejestrować 256 odcieni koloru składowego. 256 odcieni x 3 kolory składowe daje **16777216** możliwych kombinacji i tyle właśnie kolorów można odwzorować z użyciem 8 bitowego systemu zapisu RGB.

Jak z powyższego widać aparaty cyfrowe, nie odwzorowują na zdjęciach wszystkich wartości tonalnych jednakowo, niektóre z nich są ważniejsze od pozostałych, a **prawa część histogramu, na której są reprezentowane najjaśniejsze odcienie na zdjęciu, jest najważniejszym fragmentem wykresu**, bo tam gromadzi się większość danych zawartych w obrazie. Uzyskanie najbardziej optymalnej ekspozycji zależy więc będzie od tego, czy wykonamy fotografię tak aby większość wartości tonalnych skupiła się w prawej

stronie histogramu.

Pamiętać należy również, że jeśli nawet teoretyczne parametry matrycy pozwalają na osiągnięcie dużego zakresu dynamicznego jasności (*Dynamic Range**), który matryca jest w stanie uchwycić (na pojedynczej ekspozycji), przy zastosowaniu przetworników 12 czy 14-bitowych, to i tak jesteśmy ograniczeni przez kilka czynników, a mianowicie m.in. szumami matrycy a w tym "prądem ciemnym piksela", oraz związanym z nim zjawiskiem *Dark Current Doubling Rate* czyli podwajaniem się prądu ciemnego przy przyroście temperatury o 6~7° C oraz szumami wnoszonymi w procesie odczytu (wzmocnienia i kwantowania) oraz konsekwencjami zapisu do formatu JPEG.

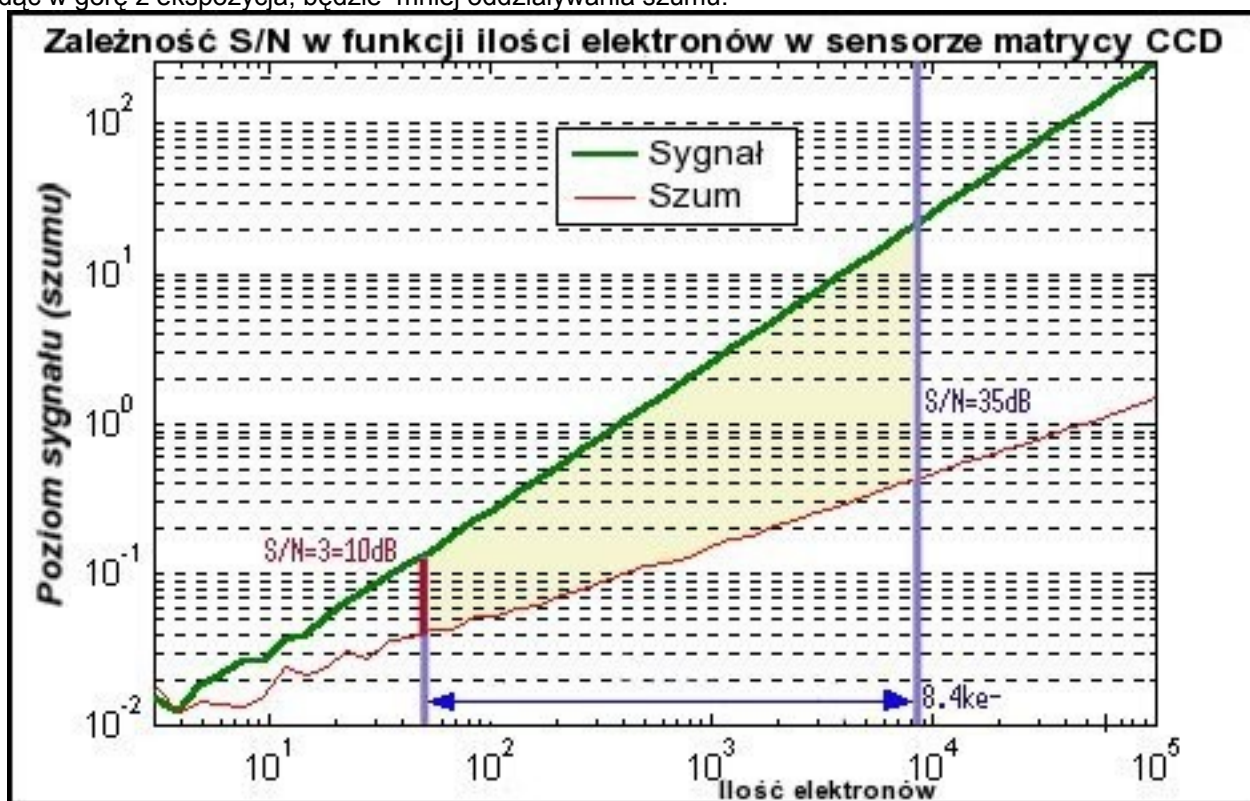
Szumy, są niekontrolowanymi elektronami w pikselach. Poziom szumów jest różny od piksela do piksela.

Jeśli przy najmniejszej wartości otworu przysłony (np.f/8) założymy, że mały piksel otrzyma 31 elektronów od ekspozycji, a duży otrzyma 310, to co będzie, gdy dodamy do tych pikseli szum, przyczym szum zawierać się będzie między 4 a 35 elektronami dla różnych pikseli.

Dla małych pikseli liczba elektronów będzie się różnić przy tej samej ekspozycji między 35 i 70. Natomiast duże piksele będą liczyły między 314 i 345 elektronów. Dla małych pikseli różnica wynosi 100 %, a u dużych pikseli tylko około 10 %. Dla małych pikseli będzie to 100 % dla obszaru pełnego cienia, ale jeśli założymy, że w pełnych światłach mały piksel może przyjąć max 64.000 elektronów wtedy wyniesie to mniej niż 1 % w pełnych światłach (między 64 004 i 64 035).

Duże piksele dają czystsze, gładkie - mniej zaszumione obszary cienia.

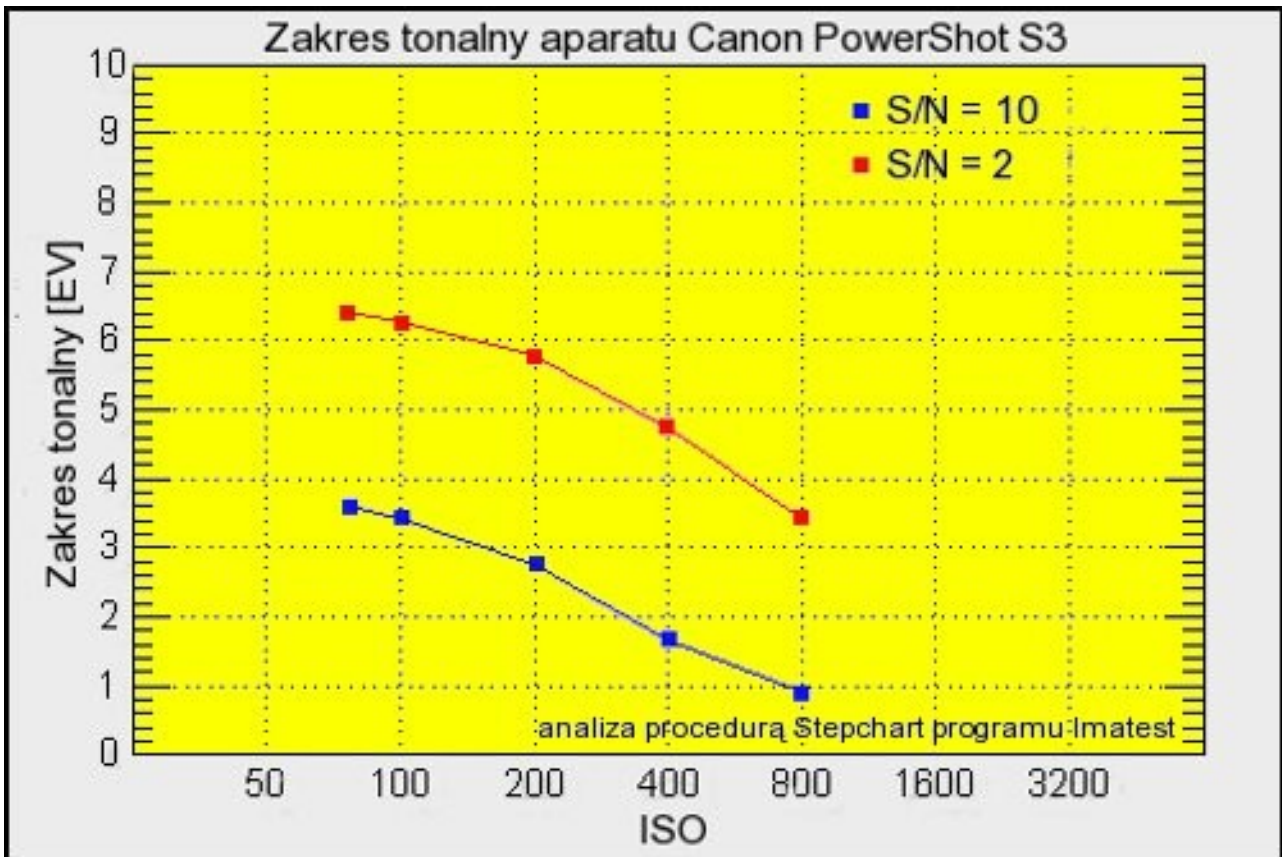
To jest też przyczyna, dlaczego szum jest bardziej widoczny w cieniach i szczególnie przy małych pikselach. Idąc w górę z ekspozycją, będzie mniej oddziaływania szumu.



Firmy dokonują profesjonalnych pomiarów szumów oraz zakresu tonalnego w zależności od czułości ISO aparatu na podstawie analizy fotografowanej tablicy szarości Kodak Q-13 (zdjęcia analizowane są np. procedurą **Stepchart** programu **Imatest**, a wyniki podawane są jako zależność szumu od czułości ISO dla poszczególnych kanałów kolorów oraz luminancji Y). Procedura pozwala badać jak zmienia się rozpiętość tonalna zarówno dla plików JPEG jak i plików RAW w zależności od czułości ISO. W tej procedurze zakres tonalny wyznaczony jest przez **RMS** (odwrotność wielkości **SNR (S/N)** - **Signal to Noise Ratio** - stosunku sygnału do szumu), czyli wartość szumu mierzoną w wartościach przesłony. Wynikiem jest skwantowany wykres zakresu tonalnego dla każdej czułości ISO. Pomiaru tą procedurą udawadniają, że czym **mniejsza wartość RMS (wyższy SNR)** tym **lepsza jakość obrazu ale mniejszy zakres tonalny** oraz że **każdy** wzrost czułości obniża **DR**. Możemy więc osiągnąć lepszy zakres tonalny ale z większymi szumami, albo zmniejszając szum, zmniejszamy zakres tonalny. Jak wiadomo szum pojawia się z reguły w ciemniejszych obszarach.

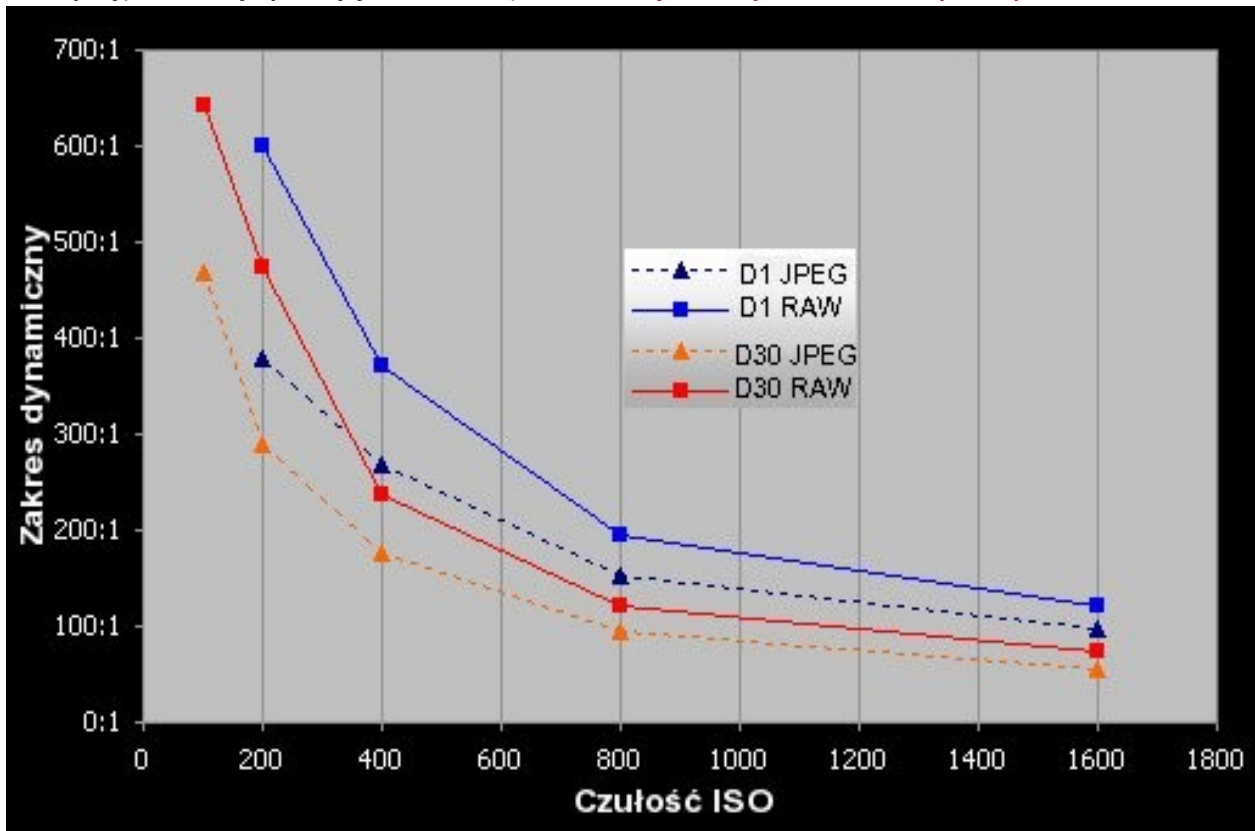
Poniżej pokazano przykładowy wynik badań wartości zakresu tonalnego (DR) aparatu Canon PowerShot S3 w funkcji wartości ISO, dla SNR = 10 i SNR=2.

W pierwszym przypadku sygnał (właściwego obrazu) jest dziesięciokrotnie silniejszy niż szum zakłóceń matrycy. Otrzymamy zdjęcia o wysokiej jakości. W drugim przypadku proporcje te są dużo mniejsze i odpowiadają fotografiom tylko dobrej jakości.



Maksymalna wartość **DR** wyniosła **~6.3 f-stop** dla ISO 80 (dla S/N=2 czyli RMS=0,5), zwiększanie czułości jak widać prowadzi do systematycznego spadku rozpiętości tonalnej, która osiąga minimum **DR~3.5** przy ISO 800. Dla S/N=10 (RMS=0.1), wynik jest znacznie gorszy. Maksymalna rozpiętość tonalna dla ISO 80 wynosi w tym przypadku **DR~3.7**, a dla ISO 800 – **DR ~ 0.9**.

Pomiary tą procedurą wykazują również, że **pliki RAW są bardziej czułe na szumy matrycy!**



* **Dynamic Range (Sat Sig/Dark Noise)** - dynamika piksela, czyli stosunek liczby elektronów przy nasyceniu do liczby elektronów wyzwalanych samorzutnie przez nieoświetloną fotodiodę. Parametr ten informuje nas, jaka będzie maksymalna rozpiętość odcieni jasności, którą rozróżnimy na zdjęciu wykonanym aparatem z daną matrycą. Dynamika piksela podawana jest w decybelach i dla matryc CCD wynosi max do 80 dB.

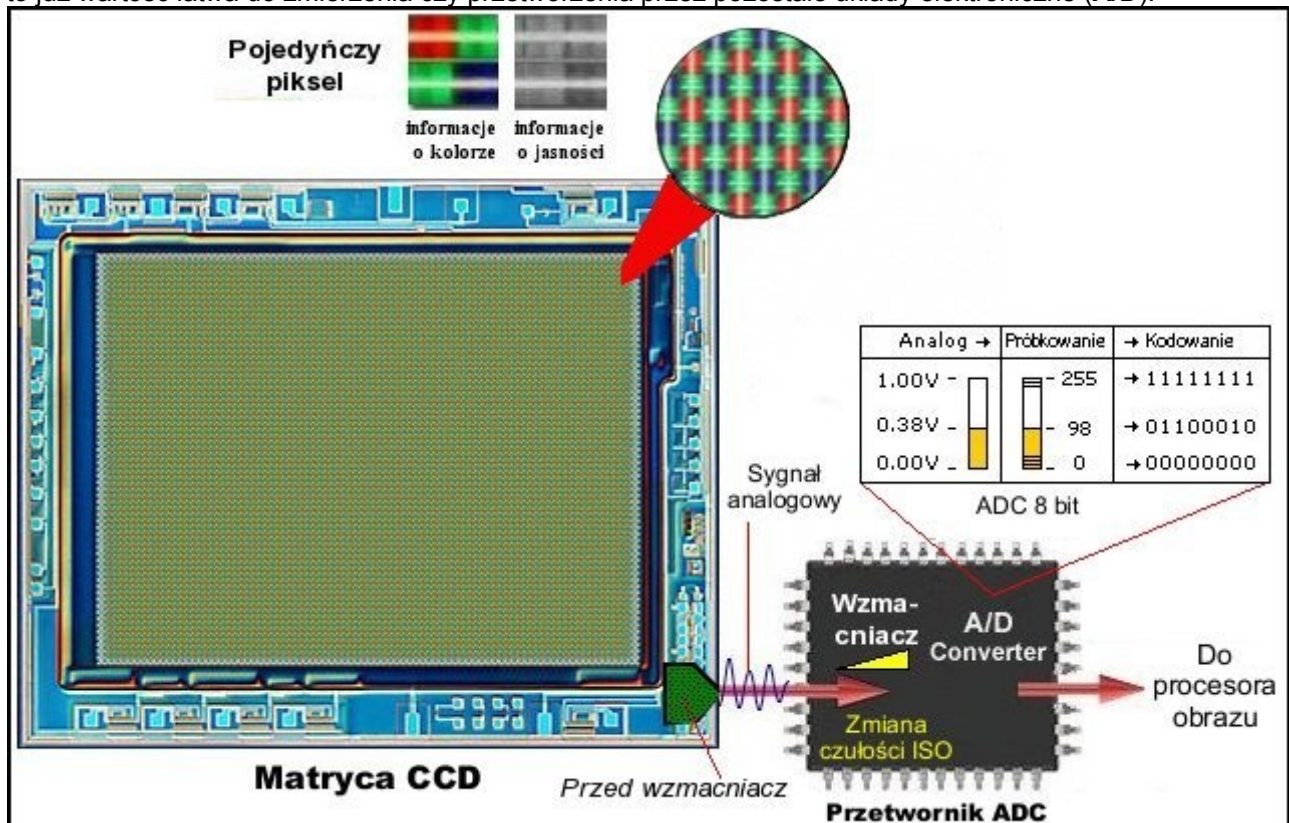
Dla **KAF-8300 20 Log (Nss/Nsz) Saturation Sign 25500e⁻**; Total sensor noise **16e⁻**; **S/N=25500/16=1593,75**
DR = 20 log 1593,75 = 64dB

Dla **KAI-11002 Interline Transfer piksel 9µm x 9µm Saturation signal = 60.000e⁻**; Total sensor noise = **30e⁻**
Output sensitivity = 13µV/e⁻ DR = 66dB

Informacja o zakresie dynamicznym matrycy pozwala określić jaki powinien zostać użyty system ADC 10 czy 12 bitowy. Wykorzystujemy informację o stosunku S/N. Dla powyższego przykładu wynosi on np. **1594**.

Określamy system ADC, 10 bitowy, daje $2^{10} = 1024$ poziomów kwantowania, czyli za mało poziomów, natomiast 11 bitowy ADC daje 2048 poziomów co jest już satysfakcjonujące, zwiększając rozdzielczość ADC zmniejszymy szumy kwantyzacji.

* **Output Sensitivity** - czyli czułość wyjściowa matrycy, to wielkość napięcia jaką uzyskuje się z wygenerowanego w pikselu 1elektronu. Ma ona wartość średnio rzędu **10 µV/elektron** [matryca **Kodaka KAF-8300 Full Frame CCD (Square Pixels 5,4µm)** stosowana w Oly E300 i E500 -> **23µV/e⁻**]. Stąd można wyliczyć, że przy zgromadzeniu w pikselu około 50 tys. elektronów (typowa *maksymalna* liczba elektronów mieszcząca się w pikselu **Nsat**) napięcie uzyskane z tego piksela bez wzmacniania wyniesie około 0,5 V, jest to już wartość łatwa do zmierzenia czy przetworzenia przez pozostałe układy elektroniczne (**A/D**).



Newralgiczny dla sygnału pochodzącego z CCD jest rejestr wyjściowy, który dokonuje konwersji ładunku na sygnał napięciowy (jego digitalizacja - przypisanie poszczególnym zakresom wartości sygnału napięciowego konkretnych wartości dyskretnych następuje w ADC). Konwersja napięciowa odbywa się za pomocą kondensatora, czyli elementu potrafiącego gromadzić ładunki elektryczne. Wartość napięcia jest wtedy wprost proporcjonalna do ładunku i odwrotnie proporcjonalna do pojemności kondensatora ($V=Q/C$, gdzie: V - napięcie, Q - ładunek elektryczny, C - pojemność kondensatora; ładunek mierzony jest w kulombach, a napięcie w woltach). W chwili przełączania kondensatora w stan zerowania, a następnie w stan odczytu napięcia, może wygenerować się w nim pewien przypadkowy ładunek, który może znacząco zmienić wartość uprzednio pobraną z rejestru CCD. W celu eliminacji tego zjawiska stosuje się podwójne skorelowane próbkowanie (**CDS** - Correlated Double Sampling), polegające na odczycie napięcia pochodzącego od ładunku zgromadzonego w "pustym" kondensatorze (bez pobierania ładunku z rejestru CCD) - Qref, bezpośrednio przed odczytem napięcia reprezentującego ładunek pochodzący z rejestru (odpowiadający konkretnemu pikselowi) - Qsig, a następnie odjęciu od siebie tych wartości. Eliminuje to większość szumów (szum kT/C , większą część szumu różowego $1/f$ i szumu białego) powstających w procesie odczytu w rejestrze wyjściowym CCD. Typowa wartość pojemności C w matrycach wynosi od 0,1pF do 0,5pF. Zgodnie z $V = Q/C$, kondensator Cs zostanie naładowany napięciem reprezentującym

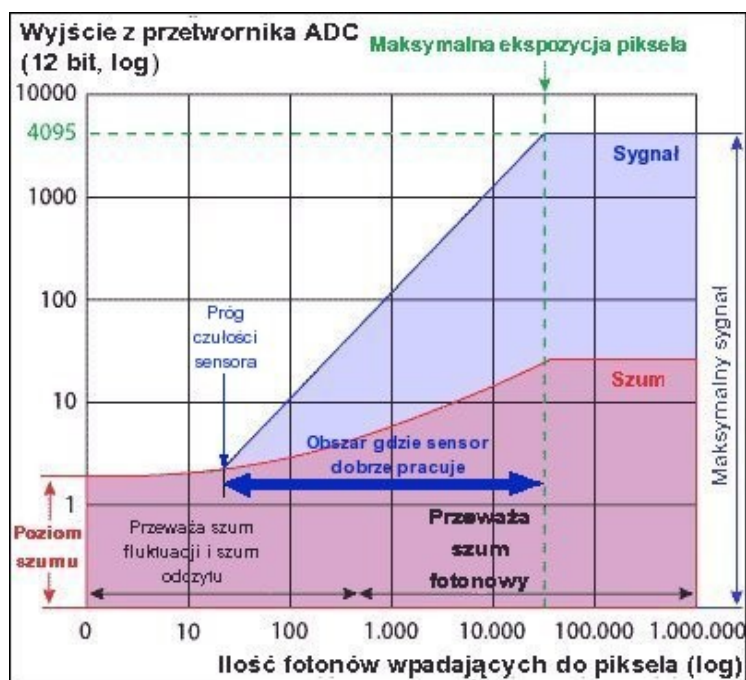
intensywność światła dla określonego piksela. Ważną specyfikacją matrycy CCD jest **Output Sensitivity**. To jest miarą osiągalnej wielkości napięcia jaką uzyskuje się z wygenerowanego w pikselu 1elektronu

$S_V = V_{OUT}/e^-$. Przykładowo dla kondensatora o pojemności 0,1pF otrzymamy napięcie rzędu – **1,6µV /e-**. Jak widać ze schematu analogowy sygnał elektryczny pochodzący z każdego piksela matrycy, o małych wartościach napięcia (np. max do 0,5V), poprzez wzmacniacz wstępny **podawany jest na wzmacniacz zasadniczy** gdzie regulacja czułości ISO aparatu przeprowadzana jest przez **programową zmianę** współczynnika wzmocnienia wzmacniacza, a dalej na **przetwornik analogowo cyfrowy (A/D)**, który wartości napięcia z postaci analogowej zamienia na postać cyfrową.

Przetwarzanie sygnału analogowego w cyfrowy w **Analog to Digital Converter** obejmuje trzy procesy:

- 1) próbkowania, w którym analogowy sygnał wejściowy jest mierzony w bardzo krótkich odstępach czasu;
- 2) kwantyzacji, podczas którego komparator za pomocą licznika dwójkowego ocenia wartość próbkowanego sygnału i przypisuje jej najbliższą z wartości cyfrowych w określonym kodzie;
- 3) kodowania, w którym dane zapisywane są w postaci wyjściowego słowa kodowego - liczby o wartości proporcjonalnej do sygnału wejściowego.

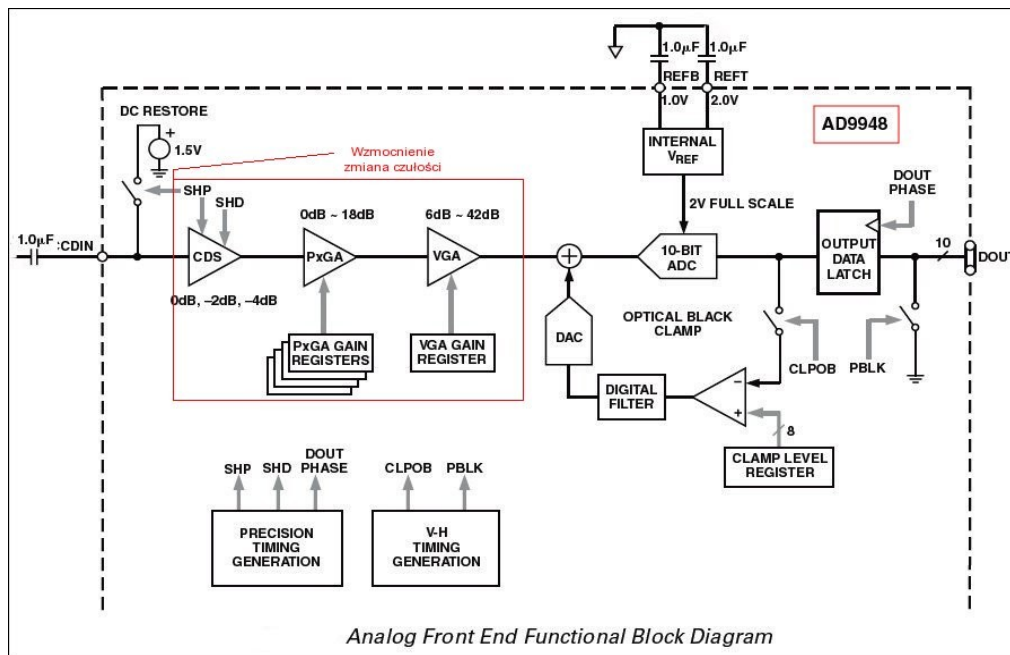
Najważniejszymi parametrami określającymi sprawność przetwornika analogowo-cyfrowego są: zakres sygnału (np. napięcia) wejściowego, czas próbkowania, dokładność kwantyzacji i całkowity czas przetwarzania.



Uogólnione własności charakterystyki 12 bitowego przetwornika ADC.

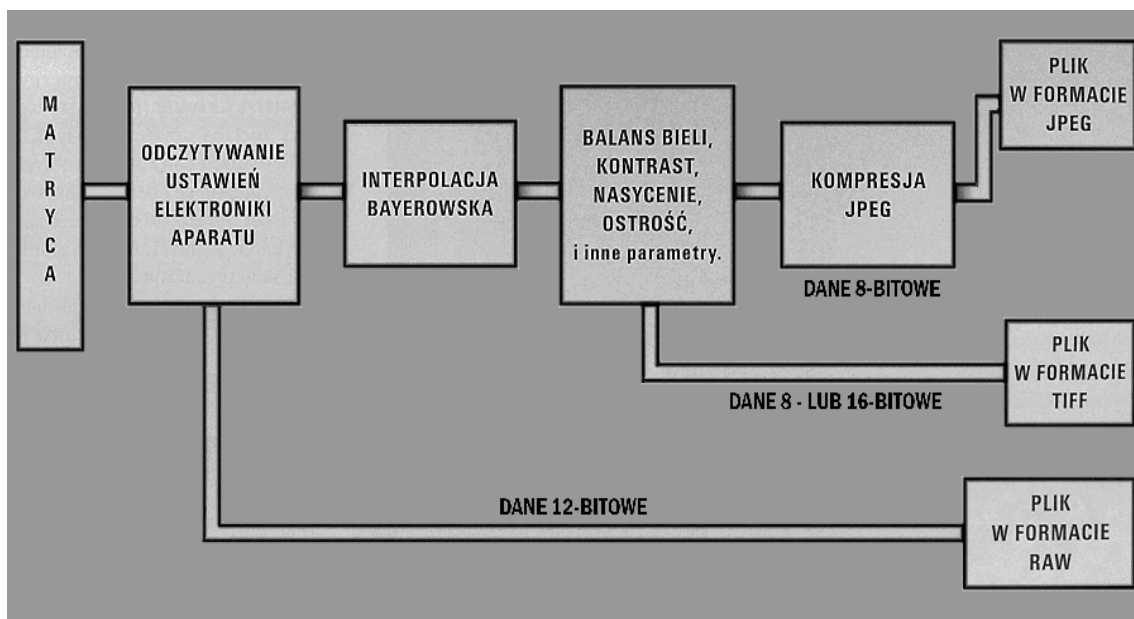
Dla zainteresowanych dalszymi szczegółami:

w Oly C760UZ zastosowano **10-bitowy** przetwornik: [AD9948](#) (w Oly C750UZ **12-bitowy** AD9849A)



Jeżeli sygnał pochodzący z matrycy jest za słaby (efekt zbyt słabego oświetlenia obiektu fotografowanego => niskie napięcie) aby przetwornik analogowo cyfrowy mógł poprawnie zamienić na cyfrę, to procesor aparatu **zwiększy** wzmocnienie wzmacniacza. Na schemacie powyżej pokazano 10 bitowy przetwornik ADC, w którym napięcie wychodzące ze wzmacniacza zamienia się na cyfrę w zakresie 0 do 1024 przedziałów. Liczba uzyskana z przetwornika jest proporcjonalna do napięcia które "wchodzi" do tego przetwornika. Wyższa czułość ISO to ustawienie większego wzmocnienia sygnału w wzmacniaczu. Najniższej czułości ISO aparatu odpowiada brak wzmocnienia sygnału. Ponieważ każdy wzmacniacz sygnałów elektrycznych wnosi szumy, to im większe wzmocnienie, tym większe otrzymamy szumy na zdjęciu. Im mniejszą czułość ustawimy, tym lepsza jakość zdjęcia.

Format RAW.



Aparaty cyfrowe wyższej klasy (lustrzanki cyfrowe i niektóre kompakty), umożliwiają **zapisanie surowych danych** w pamięci głównej, co umożliwi ich przeniesienie do komputera i dokonania niezbędnej **konwersji**, aby w pełni wykorzystać możliwości oferowane przez matryce. Aparaty te pozwalają na fotografowanie w **trybie raw** i zapis tych „surowych” danych (czyli niepoddanych żadnej edycji) zgromadzonych przez element światłoczuły aparatu. Słowo **RAW** zapisuje się wielkimi literami tylko dlatego, że zwykle pojawia się obok nazw **formatów** plików JPEG i TIFF - nie jest żadnym skrótem. Zapis tych danych pozwala na uniknięcie obniżenia jakości zdjęcia poprzez obróbkę w aparacie i zapis do formatu JPEG. W plikach RAW zapisuje się dane **dokładnie w taki sposób**, jak zostały one zarejestrowane przez aparat. **Surowe** dane (RAW) odczytane z matrycy aparatu cyfrowego i **następnie po wzmacnieniu oraz** przetworzeniu przez układ **A/D** na postać zero-jedynkową, są umieszczone w pamięci buforowej, służącej do przechowywania danych przed poddaniem ich dalszej obróbce, lub w głównej pamięci aparatu, w celu późniejszego ich opracowania.

Bardzo istotne: nie ma potrzeby zapisywania barw, ponieważ znamy „mapę” zastosowanego filtra Bayera, stąd informacja o luminancji jest w zupełności wystarczająca do zapisu obrazu.

Każdej z liczb luminancji jest przypisana informacja, w którym miejscu matrycy znajduje się określony piksel, a stąd jakiego koloru światło na niego padało.

Tak jest zapisywany Native RAW - bez informacji o barwie. Zapisana jest tylko luminancja oraz informacja „**jaka to matryca**” więc o profilu zarządzania barwą nie ma mowy. Dopiero software aparatu, albo konwerter RAW typu Capture One, czy Adobe Camera RAW może automatycznie taki profil przydzielić, przeliczyć na odpowiednie barwy i odzyskać *trochę* ostrości.

Bez względu na to czy zamiana z RAW na JPEG (lub TIFF) odbywa się w aparacie, czy poza nim w programie typu konwerter RAW muszą zostać wykonane takie same czynności.

LSB X	LSB Y	Kolor piksela
0	0	Czerwony
1	0	Zielony (w poziomym rzędzie między Czerwonymi pikselami)
0	1	Zielony (w poziomym rzędzie między Niebieskimi pikselami)
1	1	Niebieski

Otrzymanie koloru pojedynczego piksela o współrzędnych poziomych i pionowych

	0	1	0	1	0	1	0	1
0	R	G	R	G	R	G	R	G
1	G	B	G	B	G	B	G	B
0	R	G	R	G	R	G	R	G
1	G	B	G	B	G	B	G	B
0	R	G	R	G	R	G	R	G
1	G	B	G	B	G	B	G	B
0	R	G	R	G	R	G	R	G
1	G	B	G	B	G	B	G	B

Pozycja LSB liczby X i Y na matrycy 8 x 8 pikseli => Liczba X - pozycja LSB i Y - pozycja LSB
 Wszystkie aparaty cyfrowe mają zapisane w pamięci procesora programy do przetworzenia plików RAW w obraz nadający się do wyświetlenia na monitorze aparatu lub komputera. Algorytmy i programy obróbki plików RAW są bardzo rozbudowane i skomplikowane, stąd programy dla takiej obróbki zapisane w procesorze aparatu fotograficznego, ze względu na pojemność jego pamięci i szybkość działania, są uproszczone, "przetwarzają" plik RAW automatycznie, bez możliwości jakiegokolwiek ingerencji z naszej strony. Te przetworzone dane są zapisywane w głównej pamięci aparatu jako pliki typu JPEG lub TIFF. Proste aparaty nie pozwalają na zapisanie w pamięci plików RAW. Niektóre aparaty pozwalają na równoległy zapis danych RAW i danych "przetworzonych" w zdjęcie JPEG. Każdy z producentów aparatów cyfrowych nadaje plikom RAW różne rozszerzenia **Native RAW** np. Olympus - *.orf; Nikon - *.nef; Canon - *.crw i *.cr2; itd. Brak tutaj standaryzacji.

Czynności związane z dopasowaniem ekspozycji, balansu bieli i inne wykonuje się dopiero na etapie konwersji pliku RAW (w programie, który „rozumie” dany **Native RAW** np. w BreezeBrowser) do jednego z standardowych formatów graficznych, a potem można dokonać jego ostatecznej edycji w np. Photoshopie. Plik RAW (podobnie jak pliki zdjęć JPEG i TIFF) oprócz danych z matrycy zawiera również "dołączoną" informację o parametrach, przy których zrobiono zdjęcie. Czyli o ustawieniu: przesłony, migawki, czułości, długości ogniskowej, balansie bieli, czy zdjęcie było z błyskiem lampy czy bez, itd. W plikach typu JPEG informacje te są wpisane w plik EXIF (Metadane). W plikach TIFF i RAW (nef; orf; DNG czy innych) są tworzone osobne pliki z tymi danymi, potrzebne do wygenerowania EXIF. Ale dane te zaszyte w pliku RAW są w formacie danego producenta. Plik EXIF oprócz wielu informacji, zawiera w środku również dwa podglądy kolorowego obrazu zapisane w formacie JPEG (podgląd osadzony), które są wykorzystywane przez przeglądarki (mały tzn. 160x120 pix i np. NEF i DNG zawierają podgląd zdjęcia o jakości Basic 1032x771pix ~0,8Mbit lub pełnowymiarowy).

Jeżeli plik danych RAW zawiera w sobie podgląd kolorowego obrazu zapisany w formacie JPEG, to wynika z tego że wszystkie operacje związane z otrzymaniem tego formatu w aparacie jak interpretacja kolorymetryczna i demozajkowanie są wykonywane bez względu na rodzaj zapisu pliku.

Ponieważ dane z matrycy światłoczułej w trybie **Native raw** zawierają informacje, co *widziała matryca*, głównie o jasności koloru poszczególnych pikseli, stąd **ustawienia ISO mają wpływ na Native raw** i dlatego możemy, później w trakcie konwersji skorygować ekspozycję - niedoświetlenie do ok. +/- 2EV lub nieznaczne prześwietlenie – a także ustawić **WB** i odcienie barw **bez utraty jakości**.

Stąd, RAW pozwala zawsze w warunkach dziennych dla ISO100, fotografować z zoomem 10x i czasem np. 1/1000 (także o zmroku). Wszystkie zdjęcia bez trudności „wyciągniemy” w konwerterze.

Pamiętamy, niedoświetlona fotografia zawiera informacje o obrazie, które wymagają jedynie wzmocnienia. Reasumując - formatu RAW najlepiej używać w trudnych warunkach oświetleniowych, gdy nie możemy zaufać pomiarowi światła w aparacie lub nie jesteśmy pewni prawidłowego naświetlenia zdjęcia albo mamy do czynienia z nietypowym oświetleniem sceny, a zależy nam na zarejestrowaniu dużej ilości szczegółów oraz - zakładamy, że będziemy mogli popracować nad zdjęciem przy komputerze.

Gdy aparat posiada możliwość zapisu zdjęć w RAW pozwala to ocenić jakość samej matrycy, przedwzmacnacza i ADC, bezpośrednio przed tym kiedy w obrazie zaczynają mieszać algorytmy aproksymacji kolorów, BB, odszumiania itd.

Przy zachowaniu zdjęć w RAW poziom szumów zmniejsza się w porównaniu do JPEG przykładowo ok. 3 krotnie (ok. 10dB).

Te zalety plików RAW w zakresie szumów wynikają z:

- braku interpolacji kolorów (interpolacja każdej czwórki pikseli RGBG w jeden kolorowy)
- nie prowadzi się balansu bieli
- braku poprawiania ostrości po przeprowadzonej interpolacji
- 10 (12) bitowa głębia kolorów na kanał w plikach RAW (bezpośrednio po ADC -brak

redukowana głębi kolorów z 12 lub 14 bitów do 8 bitów na kanał - przy zapisywaniu obrazu w formacie JPEG)

- brak artefaktów kompresji JPEG

Dalej:

Czułość sensorów RGB jest różna podobnie jak różne są gęstości spektralne filtru R-G-B -> **CFA**. Przyczyną dla różnych aparatów (z matrycami różnych producentów) stosunki gęstości filtrów są różne.

Przy źródle światła o różnej temperaturze kolorów, zachwianie równowagi kanałów koloru (BB) także będzie różne.

Ta charakterystyka jest ważna z dwóch przyczyn:

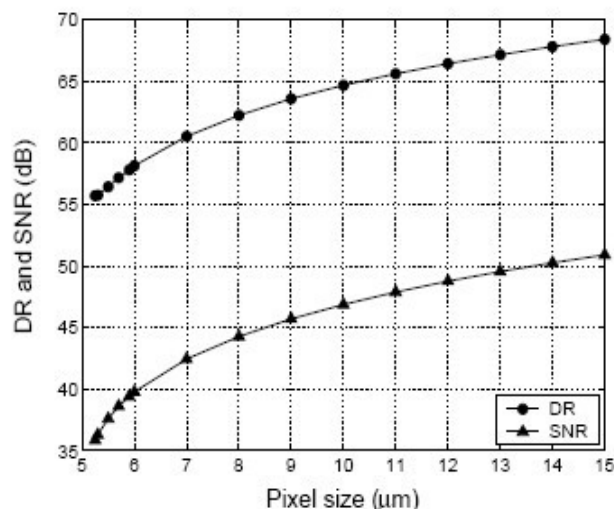
- przy znacznym rozbalansowaniu poziomów kanałów koloru, oprogramowanie w aparacie regulując BB, będzie zmuszone znormalizować poziomy sygnał, przykładowo, dwukrotnie wzmacniając kanał koloru niebieskiego, w rezultacie czego szumy w tym kanale także wzrosną dwukrotnie
- ponieważ w otaczającym nas świecie, nie ma źródeł światła odpowiadających spektralnej czułości matryc z filtrami RGBG, zakres dynamiczny **DR** zdjęcia zawsze będzie niższy od DR poszczególnego kanału koloru

Wynika z tego także ważny wniosek o tym, że zakres dynamiczny DR aparatu zależy od spektrum lub temperatury koloru źródła światła, i czym większe zachwianie równowagi czułości sensorów (przede wszystkim określone gęstością spektralną zastosowanych filtrów w CFA) dla spektrum danego źródła, tym mniejszy jest zakres dynamiczny aparatu i zdjęcia.

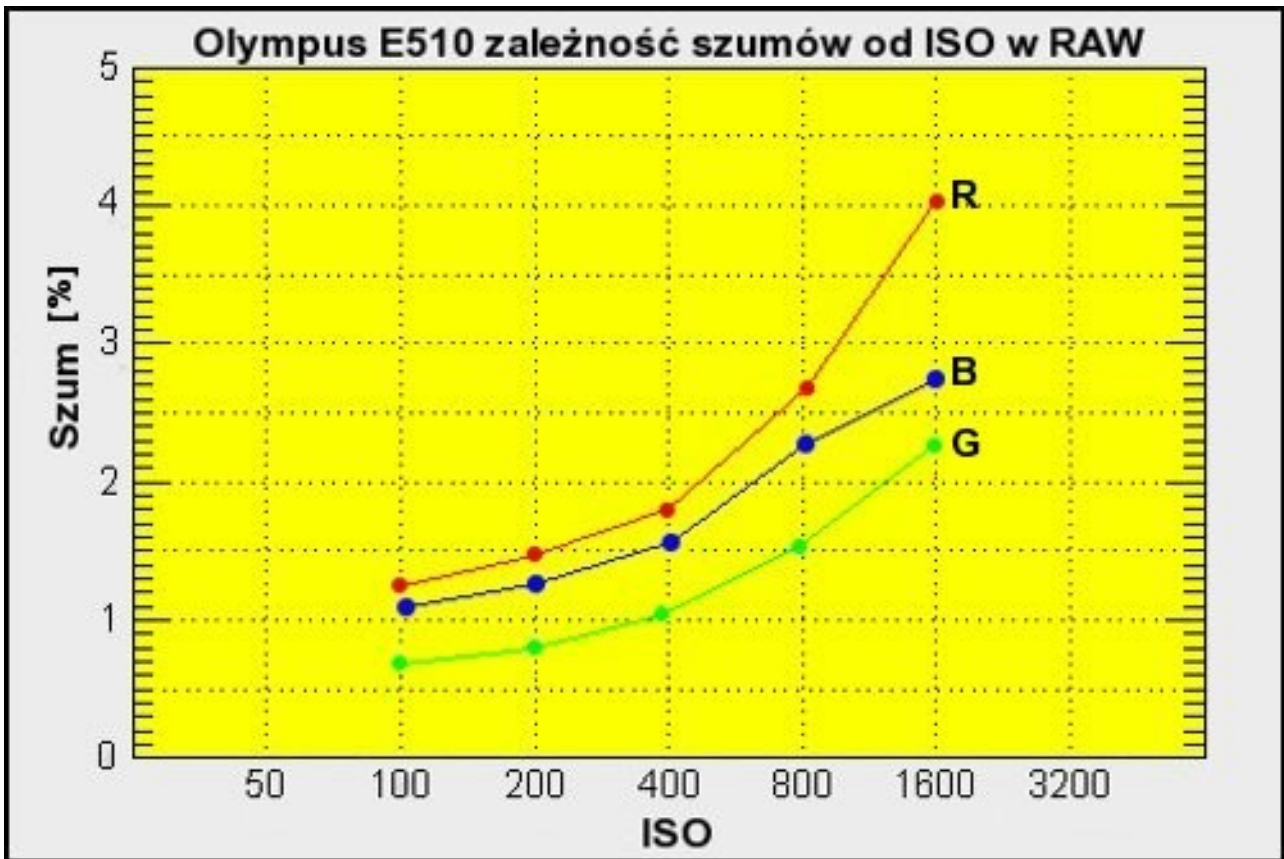
Podkreślić należy że zawsze interesować nas powinna nie bezpośrednia wartość szumu, ale wartość odstępów (stosunku) pomiędzy sygnałem (użytecznym) a szumem czyli SNR po wzmocnieniu.

Przy wzmacnianiu sygnału, wzmacniamy również **szumy**. Stopień wzrostu szumów kanału **zielonego G**, jest mniejszy niż dla kanałów koloru **czerwonego R** i **niebieskiego B**. Przy zwiększaniu czasów **szumy kumulują się proporcjonalnie do czasu naświetlania**, a przy zwiększaniu ISO – **wykładniczo**.

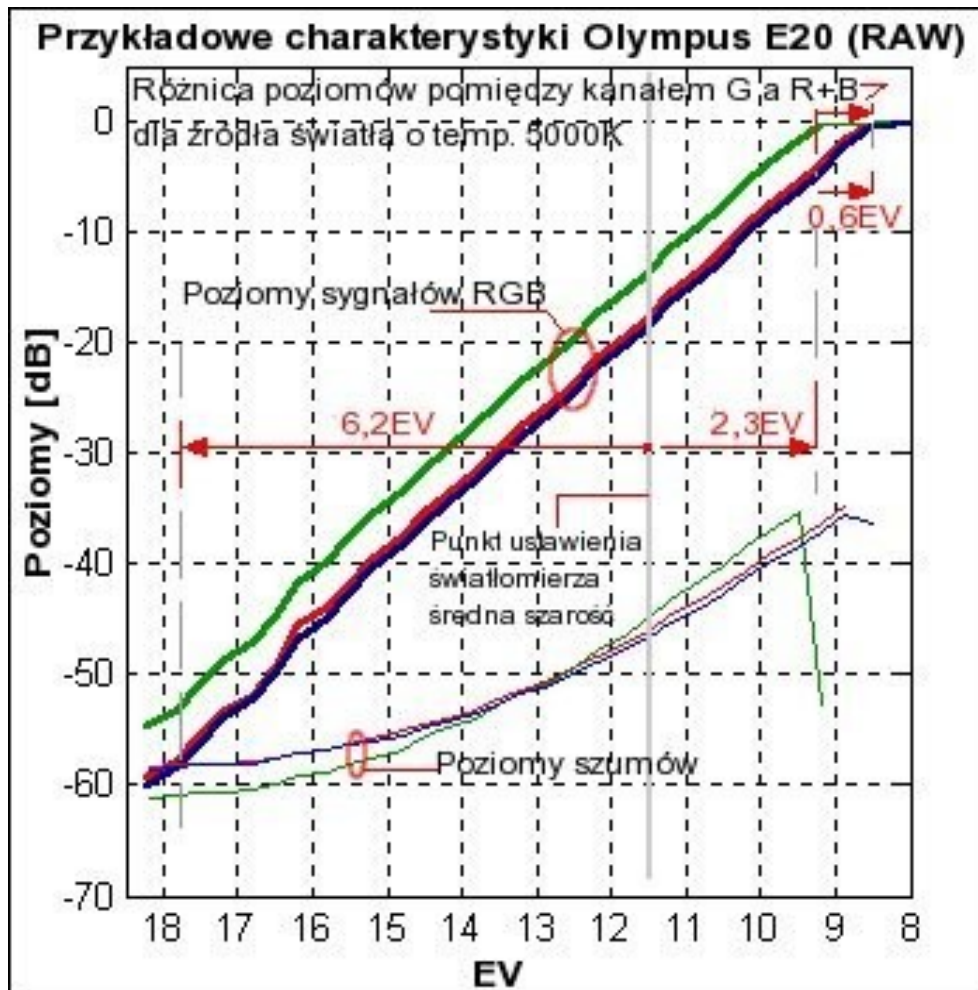
Taka prawidłowość wzrostu szumów potwierdza następującą prawdę: mniejszy poziom szumów przy zdjęciach nocnych można osiągnąć, jeśli będziemy fotografować przy minimalnej czułości, ale za to kwalifikowanymi czasami, niż z maks czułością i o tyle razy bardziej krótkimi czasami naświetlania.



Przykładowe charakterystyki DR i SNR w zależności od wymiarów piksela (matrycy)



Charakterystyki szumu w funkcji ISO



Przykładowe charakterystyki aparatu

DR - Dynamic Range, Zakres dynamiczny (sceny) albo Kontrast sceny albo także Zakres tonalny, (Rozpiętość tonalna)

stosunek jasności partii najjaśniejszych obrazu do najciemniejszych, ograniczany z jednej strony przez możliwości urządzenia rejestrującego obraz (np. matryca aparatu cyfrowego), a z drugiej przez możliwości urządzenia wyświetlającego obraz. Stosunek ten dla **przeciętnej** matrycy lustrzanki wynosi 500:1 (~8 EV) - wartość przybliżona [oko ludzkie dostrzega ok. 10 000:1 (~14 EV)].

LDR - Low Dynamic Range wg - http://pl.wikipedia.org/wiki/Obraz_HDR

Nie wszystkie urządzenia techniczne mają zdolność rejestracji pełnego zakresu dynamiki ludzkiego wzroku. Podobnie tylko część urządzeń jest w stanie generować (inaczej wyświetlać) fale świetlne o pełnym zakresie jasności i barw. Przykładem urządzenia rejestrującego obraz jest **aparat cyfrowy**, a generującego monitor komputerowy. Zarówno aparat, jak i monitor rejestrują/generują obrazy o ograniczonym lub *niskim zakresie dynamiki* nazywane w skrócie obrazami LDR (ang. Low Dynamic Range). Ludzki wzrok rejestruje obrazy o pełnym lub inaczej wysokim zakresie dynamiki, w skrócie obrazy HDR (ang. High Dynamic Range). Bardzo często urządzenia techniczne nie rejestrują/generują pełnego zakresu barw widzianych przez człowieka. Innym słowem ich gama barw (ang. color gamut) jest mniejsza od gamy barw ludzkiego wzroku. Urządzenie HDR, oprócz pełnego zakresu jasności, powinno rejestrować/generować również pełny zakres barw. Nie należy jednak mylić zakresu dynamiki jasności (w skrócie zakresu dynamiki) z zakresem barw. Standardowy obraz komputerowy to dwuwymiarowa macierz punktów zwanych pikselami (ang. pixels). Parametry piksela określają jasność i kolor (inaczej częstotliwość) punktu obrazu. Przykładowym i powszechnie stosowanym sposobem definiowania parametrów piksela jest 24-bitowa reprezentacja RGB (ang. Red Green Blue). Jasność i kolor określane są w niej przez trzy liczby całkowite 8-bitowe, każdą składową koloru można więc przedstawić w 256-ciu poziomach nasycenia. Parametry RGB oprócz definiowania koloru określają również jasność piksela. 24-bitowe obrazy RGB mogą zarejestrować zakres jasności od 1 cd / m^2 do około 80 cd / m^2 . Przekroczenie tych wartości powoduje uwidocznienie się błędu kwantyzacji (widocznej granicy pomiędzy odcieniami koloru).

Rejestracja obrazów HDR wymaga większej liczby bitów na piksel (minimum 32-bitów) i innego sposobu reprezentacji koloru. Dlatego opracowanych zostało szereg nowych formatów graficznych przeznaczonych dla obrazów HDR (np. format Radiance RGBE, OpenEXR, LogLuv, HDR JPEG, itp.).

DRI - Dynamic Range Increase, Zwiększenie Zakresu (Dynamicznego) Tonalnego,

http://pl.wikipedia.org/wiki/Dynamic_Range_Increase

metoda polega na odpowiednim nałożeniu na siebie i zamaskowaniu **kilku warstw** zawierających tą samą scenę naświetloną w różny sposób. W uproszczeniu DRI to w praktyce zastępowanie partii jednego obrazu za pomocą wycinków innego, partie te mogą być stosunkowo duże, czasem może to być cała płaszczyzna np. nieba (w HDR przemiany te mają miejsce w każdym pikselu obrazu).

Czyli, technika DRI pozwala nam na "sklejenie" z kilku fotografii jednej, na której wszystko będzie bardzo dobrze widoczne. Żeby uzyskać w miarę dobry efekt DRI trzeba zrobić minimum trzy zdjęcia tej samej kompozycji:

- **zdjęcie niedoświetlone** – np. zdjęcia człowieka na tle słońca, na którym uzyskamy bardzo ładnie widoczne słońce, i czarną sylwetkę człowieka
- **zdjęcie normalne** - na tym zdjęciu uzyskamy jasne słońce i sylwetkę człowieka
- **zdjęcie prześwietlone** - ze słońca zostanie tylko białe tło, ale za to uzyskamy bardzo wyraźnego człowieka

uzyskanie tego zapewni nam np. bracketing.

Bracketing, umożliwia przyspieszenie wykonania serii ujęć oraz pozwala na wykonanie poszczególnych ujęć bez dotykania aparatu, co minimalizuje możliwość poruszenia sprzętu w trakcie wykonywania serii. Opcja dostępna w większości aparatów cyfrowych umożliwia wykonanie serii ujęć tej samej sceny przy stałej wartości przysłony, MF, manualnym BB, ... i czasach zmieniających się z zadany skokiem. Skok ten oraz ilość ujęć zależy od typu posiadanego aparatu, przykładowo w Canonie EOS 5D to 3 klatki z maksymalnym skokiem 2 EV, w moim Olympusie C740UZ od 3 do 5 klatek z maksymalnym skokiem 1 EV.

Funkcja ta jest bardzo pomocna przy wykonywaniu poszczególnych naświetlań niezbędnych do wykonania obrazu w technice DRI lub HDR.

Pojawia się pytanie ile ekspozycji należy zrobić ?

Wszystko zależy od rozpiętości sceny. Czym większa, tym więcej jest potrzebnych klatek. Zalecany skok pomiędzy kolejnymi klatkami, powtarzam - od 1 do 2 przysłon (EV). W zdjęciach z silnym źródłem światła w kadrze naogół potrzebujemy większej ilości naświetlań.

Uzupełnienia:

Matryca typu CMOS tak samo jak CCD składa się z komórek światłoczułych (fotodiod typu MOS), jednakże na wyjściu każdej komórki umieszczony jest wzmacniacz i konwerter zamieniający od razu ładunek zgromadzony na fotodiodzie na sygnał napięciowy. Tak więc w matrycy CMOS nie ma rejestrów ani poziomych ani pionowych. Są jedynie pionowe i poziome połączenia przesyłające sygnał napięciowy. Nie ma transferu ładunku.

Full Frame Transfer CCD

W chwili obecnej coraz większa ilość lustrzanek w tym również np. Olympus E1; E300; E500, wykorzystuje sensor CCD z pełnoklatkowym transferem danych (Full Frame Transfer CCD), specjalnie opracowany do rejestrowania zdjęć. W porównaniu z odpowiednikami o interliniowym transferze (Interline Transfer), jaki omówiono powyżej, sensor FFT-CCD wyróżnia się większym obszarem zajmowanym przez same piksele, z większymi fotodiodami i kanałami transferu.

<http://www.kodak.com/ezpres/business/ccd/global/plugins/acrobat/en/datasheet/fullframe/KAF-8300LongSpec.pdf>

Oznacza to, że można wychwycić więcej elektronów. W ten sposób osiągnięty został wyższy współczynnik SNR oraz szerszy zakres dynamiczny DR.

Szumy

Ograniczę się jedynie do przedstawienia rodzajów szumów i bardzo, krótkiego omówienia ich przyczyn.

Szumy powstające w matrycy (zarówno CCD jak i CMOS) można podzielić na:

- **szumy fotonowe (Shot noise)** - związane z kwantową naturą światła
- **szumy termiczne (Dark Current – prąd ciemny)** - powstałe w wyniku wybijania elektronów na skutek zmian temperatury, mierzony jest w jednostkach "e⁻" (Johnsona-Nyquista)
- **szumy kTC** - pochodzące od przełączników typu FET układów stopnia wyjściowego matrycy
- **szumy różowe** - o widmie mocy **1/f** wynikające z niedoskonałości struktur półprzewodnikowych
- **szumy odczytu (Read noise)** - powodowane pracą wzmacniacza w układzie wyjściowym matrycy
- **szum kwantyzacji** - powstający na skutek przetwarzania sygnału analogowego na sygnał cyfrowy
- **szumy losowe** (charakterystyczne są tylko dla układów CMOS) - powstające na skutek bardzo dużej ilości różniących się między sobą wzmacniaczy i konwerterów.

Szum fotonowy (Shot noise). Dowolny proces dyskretny jest podporządkowany statystyce Puassona. Strumień fotonów (**S** – ilość fotonów, padających na światłoczułą część odbiornika w jednostce czasu) także podporządkowany jest tej statystyce. Zgodnie z nią, szum fotonowy równy jest (**S**)^{0,5}. W ten sposób, stosunek sygnał/szum (oznaczane S/N - signal/noise ratio) dla sygnału wyjściowego będzie wynosić:

$$S/N = S/S^{0,5} = S^{0,5}$$

Szum odczytu (Read noise) - (odczytywania) CCD - jest minimalnym odchyleniem w zmierzonej ilości elektronów. W głównej części uzyskiwania informacji szum odczytu powstaje na chipie od przedwzmacniacza i jest dodawany do każdego piksela.

Kiedy sygnał, zgromadzony w sensorze CCD, jest przesuwany z rejestru wyjściowego matrycy, zamieniany na napięcie i wzmacniany, w każdym pikselu pojawia się dodatkowo szum, nazywany szumem odczytu. Szum odczytu można przedstawić jako pewny bazowy poziom szumu, który należy do obrazu z zerowym poziomem ekspozycji, kiedy matryca znajduje się w całkowitej ciemności a szum termiczny (ciemny) jest równy zeru. Typowy szum odczytu dla dobrych CCD wynosi 15 – 20 **rms** elektronów.

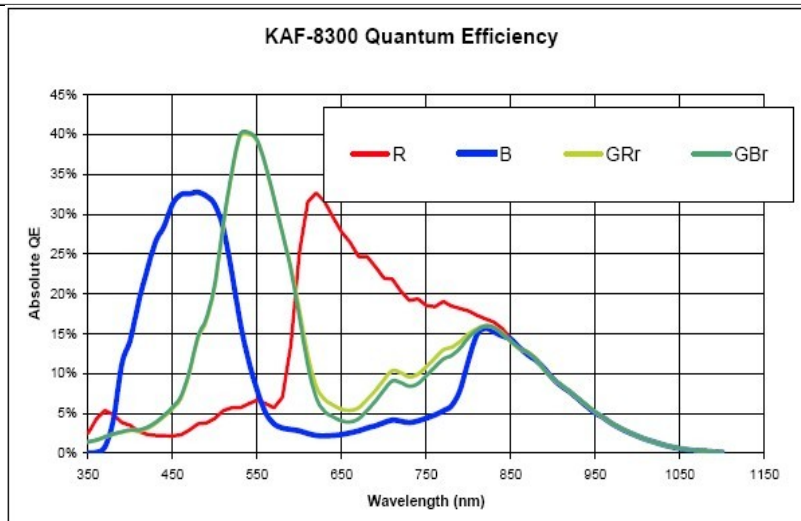
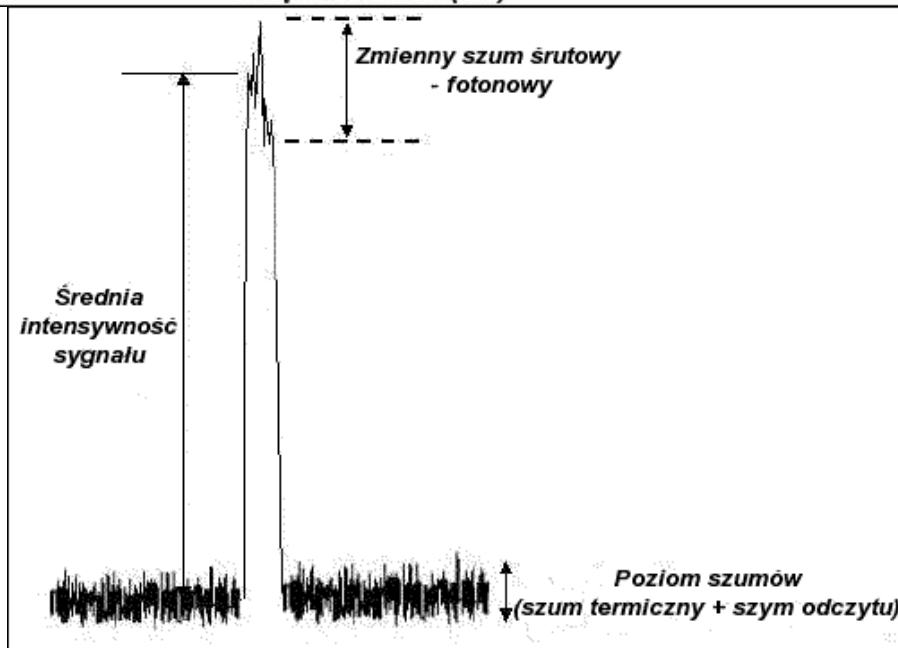
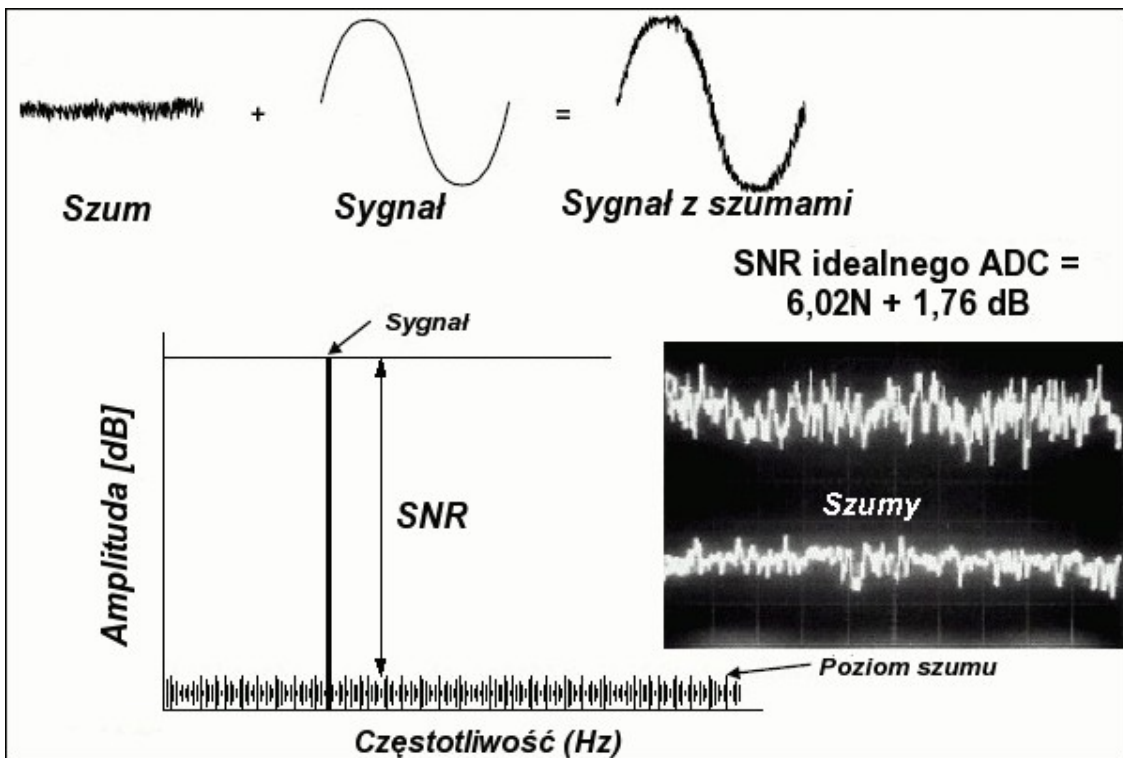
Teoretycznie, szum odczytu powinien pozostać stały dla wszystkich pikseli w aparacie fotograficznym, moglibyśmy wtedy otrzymać szum odczytu używając dane tylko pojedynczego piksela przez całą serię czasu. Jednakże, z powodu odchylenia w funkcji temperatury i w procesie produkcyjnym, występują małe różnice w wartościach szum odczytu dla różnych pikseli. W dodatku występują znaczące różnice w wartościach szumu odczytu dla pikseli sensorów o różnych kolorach.

Szumy termiczne (Dark Current – prąd ciemny). Jeśli na matrycę nie pada sygnał świetlny (np. zakryty obiektyw), to na wyjściu systemu otrzymujemy tzw. „ciemne klatki”. Podstawowym składnikiem sygnału prądu ciemnego jest emisja termoelektronowa. Czym niższa temperatura, tym niższy jest prąd ciemny. Emisja termoelektronowa także podlega statystyce Puassona i szum termiczny jest równy: **Nt**^{0,5}, gdzie **Nt** – ilość elektronów wygenerowanych temperaturowo w ogólnym sygnale. Wartość prądu ciemnego nie zależy od powierzchni złącza, a jedynie od temperatury złącza półprzewodnikowego.

Szum kTC (zerowania - dla typowej pojemności C węzła wyjściowego matrycy równej 0.1pF przy temp. pokojowej szum ten wynosi ok.130 elektronów) i większą część szumu różowego o widmie mocy **1/f** oraz szumu białego eliminuje **CDS** - Correlated Double Sampling.

Szum kwantyzacji - powstający w przetworniku ADC w trakcie przetwarzania sygnału analogowego na sygnał cyfrowy. **Przykład:** wartość (średnio kwadratowa – **rms**) szumu kwantowania **U_{szk} = LSB/√12** (gdzie: LSB – Least Significant Bit - najmniej znaczący bit) dla 10 bitowego przetwornika ADC i Output Sensitivity* (średnio rzędu **10 μV/elektron**) **0,5V** otrzymamy **LSB = 0,5/1024 = 0,488mV**; **U_{szk} = 0,488/√12=0,488/3,464~140μV**, zwiększając rozdzielczość ADC zmniejszymy szumy kwantyzacji. **Signal-to-**

Noise Ratio SNR = 20 log 2^N ~ 6,02 N [dB] dla 10 bitowego ADC ~ 60dB (SNR = 6N + 1,76 dB)



Efektywność kwantowa - czułość przetwornika CCD jest zależna od powierzchni pojedynczego piksela oraz efektywności kwantowej, czyli stosunku ilości generowanych ładunków do liczby padających na złącze fotonów (stosunek ilości padających fotonów do elektronów, które zostają zliczone). Ilość elektronów generowanych przez poszczególne piksele pod wpływem identycznego oświetlenia jest różny w zależności od egzemplarza, a tym samym proces próbkowania posiada charakter losowy. Liczba wolnych elektronów n_e generowana przez pojedynczą komórkę pobudzoną określoną ilością kwantów promieniowania nf stanowi parametr określany mianem efektywności kwantowej Q , którą definiuje formalnie zależność:

$$Q = n_e/nf$$

Parametr Q stanowi zmienną losową, zaś w katalogach podawana jest jego wartość średnia Q wyznaczona dla dużej liczby aktów generacji. Znajomość średniej efektywności kwantowej Q pozwala oszacować ilość wygenerowanych elektronów. Jeżeli mamy zatem wartość $Q = xx\%$, to uzyskana na wyjściu ilość elementarnych ładunków będzie wynosić xx z określoną niepewnością $\pm xx$ elektronów.

Powyższy rysunek przedstawia efektywność kwantową w funkcji długości fali dla matrycy **KAF-8300**.

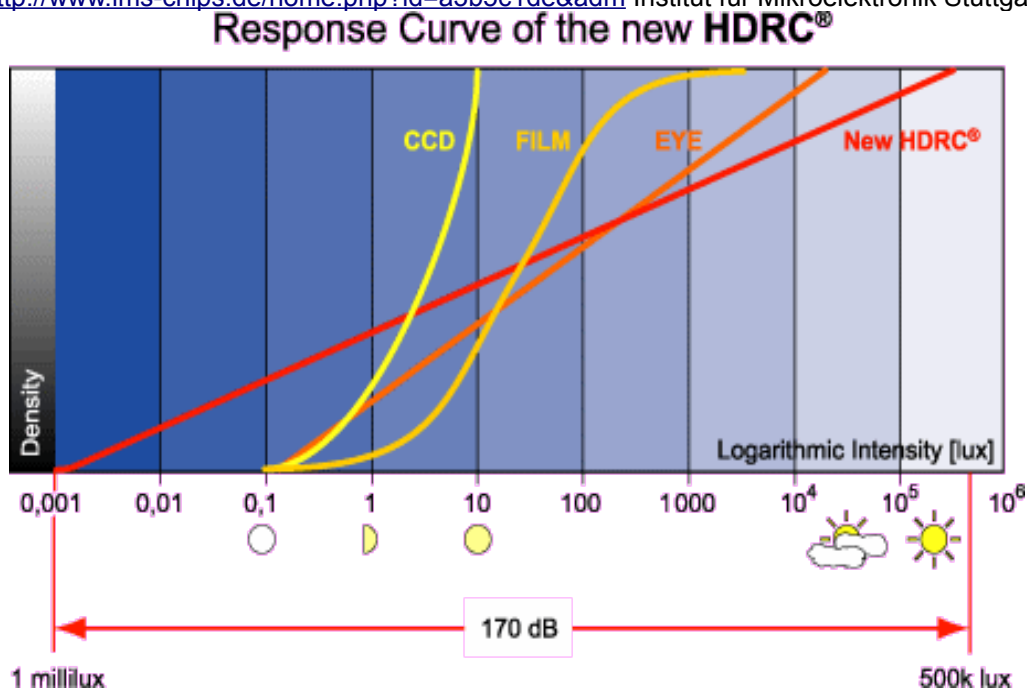
Porównanie matryc - CCD vs. CMOS

Porównanie matryc CCD i CMOS między sobą nie jest łatwe. Ponieważ nie można jednoznacznie powiedzieć, który rodzaj matrycy jest lepszy, a który gorszy. Można jednak powiedzieć o pewnych zaletach oraz wadach obu tych układów.

Do niewątpliwych zalet układów CCD w stosunku do CMOS należy ich wysoka czułość, a co za tym idzie duży stosunek sygnału do szumów (SNR). Chociaż od czasu kiedy Canon wypuścił układy CMOS serii Digo II o bardzo wysokiej czułości, można by z tym punktem polemizować. CCD ma jednak także poważne minusy. Pierwszym z nich jest pobór mocy związany z transferem ładunku w rejestrach pionowych i poziomych. Kolejnym minusem jest szybkość odczytu. Rejestry pionowe i poziome działające sekwencyjnie są dużo wolniejsze w stosunku do połączeń sygnałowych układów CMOS.

Do niewątpliwych zalet matryc typu CMOS należy ich niski pobór mocy czyli możliwość uzyskania niższej temperatury pracy. Następną zaletą jest szybki odczyt. CMOS ma też słabe strony. Przykładowo jeżeli matryca ma 5 mln. pixeli to zawiera 5mln. wzmacniaczy oraz konwerterów (po jednym do każdego pixela). Wykonanie tylu identycznych układów jest po prostu niemożliwe. Każdy z nich będzie działał nieco inaczej. Przede wszystkim będą się one różniły wartością wzmocnienia, co powoduje powstawanie szumu losowego. Jest to najpoważniejszy problem producentów układów typu CMOS. Canon niski poziom szumów w matrycach CMOS osiągnął jedynie bardzo zaawansowanym sposobem usuwania szumu.

OMRON propaguje technologię HDRC: <http://www.hdrc.com/hdrcotech.htm> oraz <http://www.ims-chips.de/home.php?id=a3b5c1de&adm> Institut für Mikroelektronik Stuttgart



Bogaci mogą już kupić aparat, który od razu fotografuje w szerokim zakresie tonalnym (np. **Panoscan** <http://www.panoscan.com/> ale jego cena >36.000\$ powala).

Dalej przedstawię możliwości, jakie daje fotografowi technika DRI przy wykorzystaniu GIMP-a. Powrócimy do stosowanej bardzo często, przed spopularyzowaniem HDR, metody określanej jako DRI, czyli zwiększenie zakresu tonalnego.

Do opracowania zdjęć w GIMP-ie można stosować kolejne operacje krok po kroku bez automatyzacji, proponuję jednak zastosować opracowane **Script-Fu**, które upraszczają pracę i dają dobre rezultaty.

Literatura uzupełniająca:

1. „Real World Camera Raw i Photoshop CS2. Efektywna obróbka cyfrowych zdjęć” BRUCE FRASER.
2. „Świat w obiektywie Fotografia Cyfrowa” wyd 2 KATERIN EISMANN; SEAN DUGGAN; TIM GREY.

cdn

Opracowanie:

Zbyma72age

Motto:

Znalazłem w ramach opinii na forach, taką:

Jedni znają się na rzeczy i pojmują teorię, a drudzy mają pieniądze, kupują drogie aparaty, nie czytają absolutnie niczego, łącznie z instrukcją i narzekają potem, że aparat mimo XX megowej matrycy robi kiepskie zdjęcia.