

MATEMATICKÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

Pavel Karas

1. 3. 2025

F4175 Astrofotografie



Hvězdárna
a planetárium
Brno



Foto: Jan Veleba

K ČEMU JE DOBRÁ MATEMATIKA?



K ČEMU JE DOBRÁ MATEMATIKA?

- V astrofotografii jdeme na hranici možností naší techniky
- Každý digitální obraz obsahuje kromě užitečného signálu různé artefakty
 - vady optické soustavy
 - prach na senzoru
 - šum
- Tyto artefakty lze do značné míry potlačit, aniž by tím utrpěl užitečný signál



TROCHA TEORIE...

PRINCIP DIGITÁLNÍHO FOTOAPARÁTU

DIGITÁLNÍ
FOTOAPARÁT



Hvězdárna
a planetárium
Brno

Pavel Karas | 1. 3. 2025

F4175 Astrofotografie

PRINCIP DIGITÁLNÍHO FOTOAPARÁTU

- Světlo prochází objektivem (je regulováno clonou)

DIGITÁLNÍ
FOTOAPARÁT



PRINCIP DIGITÁLNÍHO FOTOAPARÁTU

- Světlo prochází objektivem (je regulováno clonou)
- Závěrka propouští světlo k senzoru

DIGITÁLNÍ FOTOAPARÁT



PRINCIP DIGITÁLNÍHO FOTOAPARÁTU

- Světlo prochází objektivem (je regulováno clonou)
- Závěrka propouští světlo k senzoru
- Na senzoru jsou vrstvy filtrů (anti-alias, IR cut, bayerova maska)

DIGITÁLNÍ FOTOAPARÁT



PRINCIP DIGITÁLNÍHO FOTOAPARÁTU

- Světlo prochází objektivem (je regulováno clonou)
- Závěrka propouští světlo k senzoru
- Na senzoru jsou vrstvy filtrů (anti-alias, IR cut, bayerova maska)
- Senzor převádí energii světla na el. náboj

DIGITÁLNÍ FOTOAPARÁT



PRINCIP DIGITÁLNÍHO FOTOAPARÁTU

- Světlo prochází objektivem (je regulováno clonou)
- Závěrka propouští světlo k senzoru
- Na senzoru jsou vrstvy filtrů (anti-alias, IR cut, bayerova maska)
- Senzor převádí energii světla na el. náboj
- Náboj je vyčten, převeden na proud a zesílen v zesilovači (gain, ISO)

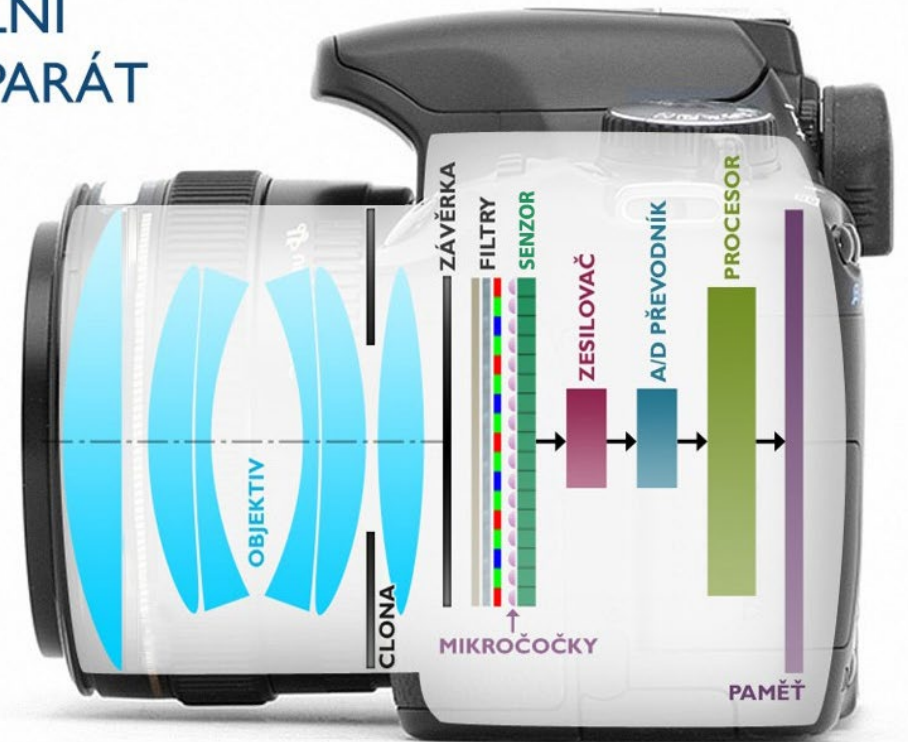
DIGITÁLNÍ FOTOAPARÁT



PRINCIP DIGITÁLNÍHO FOTOAPARÁTU

- V A/D převodníku je proud (analogový signál) převeden na digitální signál

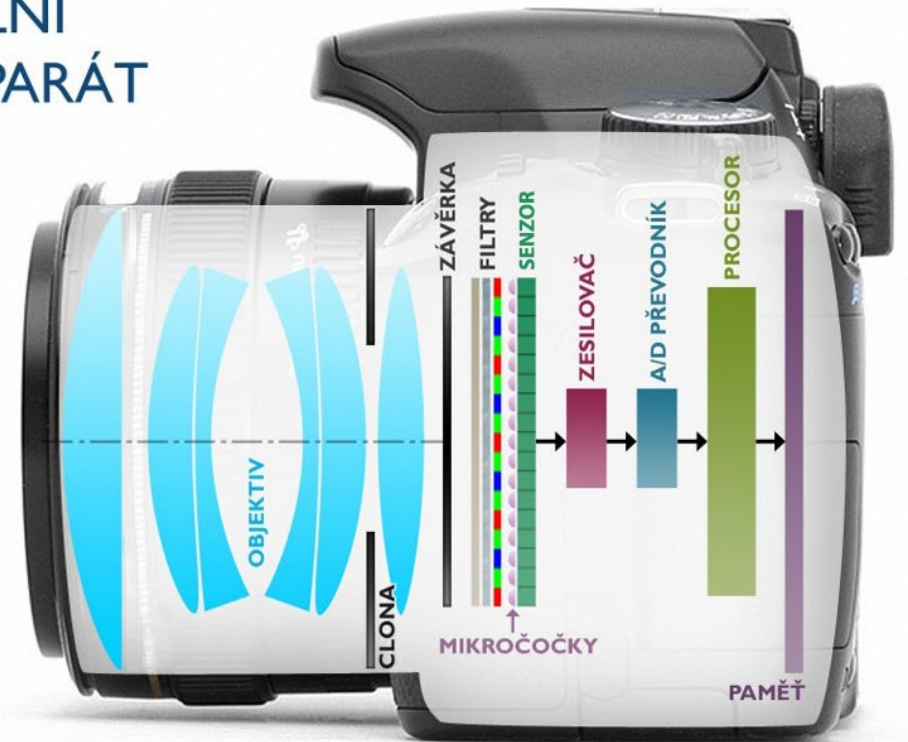
DIGITÁLNÍ FOTOAPARÁT



PRINCIP DIGITÁLNÍHO FOTOAPARÁTU

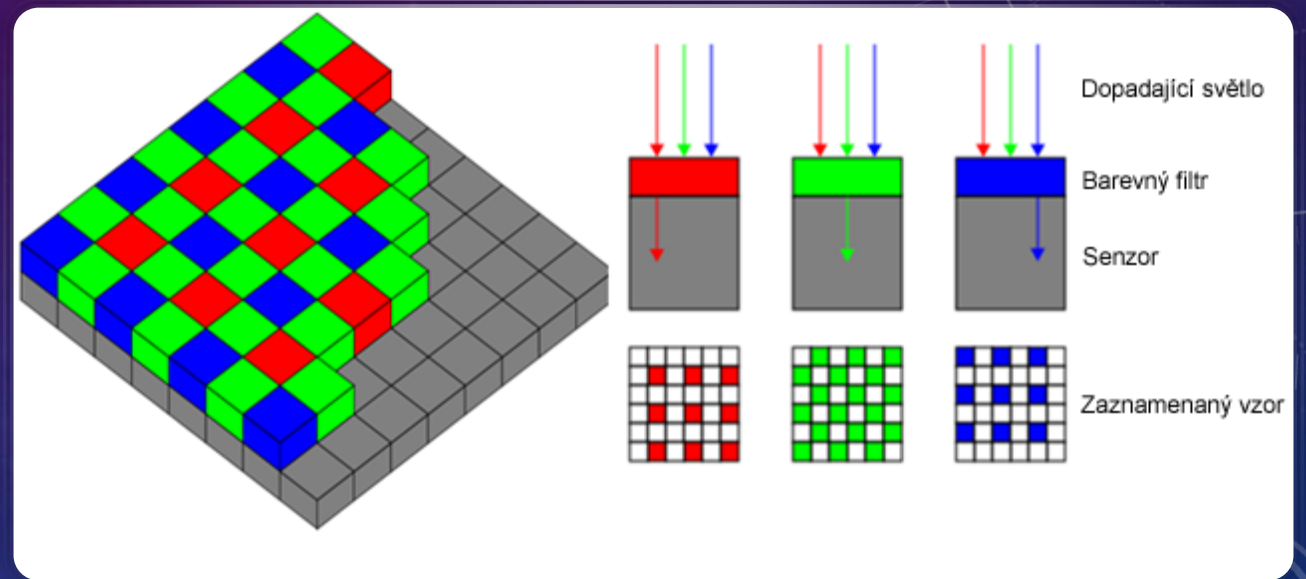
- V A/D převodníku je proud (analogový signál) převeden na digitální signál
- Tento signál je konečně zpracován procesorem a uložen do paměti v podobě **digitálního obrazu**

DIGITÁLNÍ FOTOAPARÁT



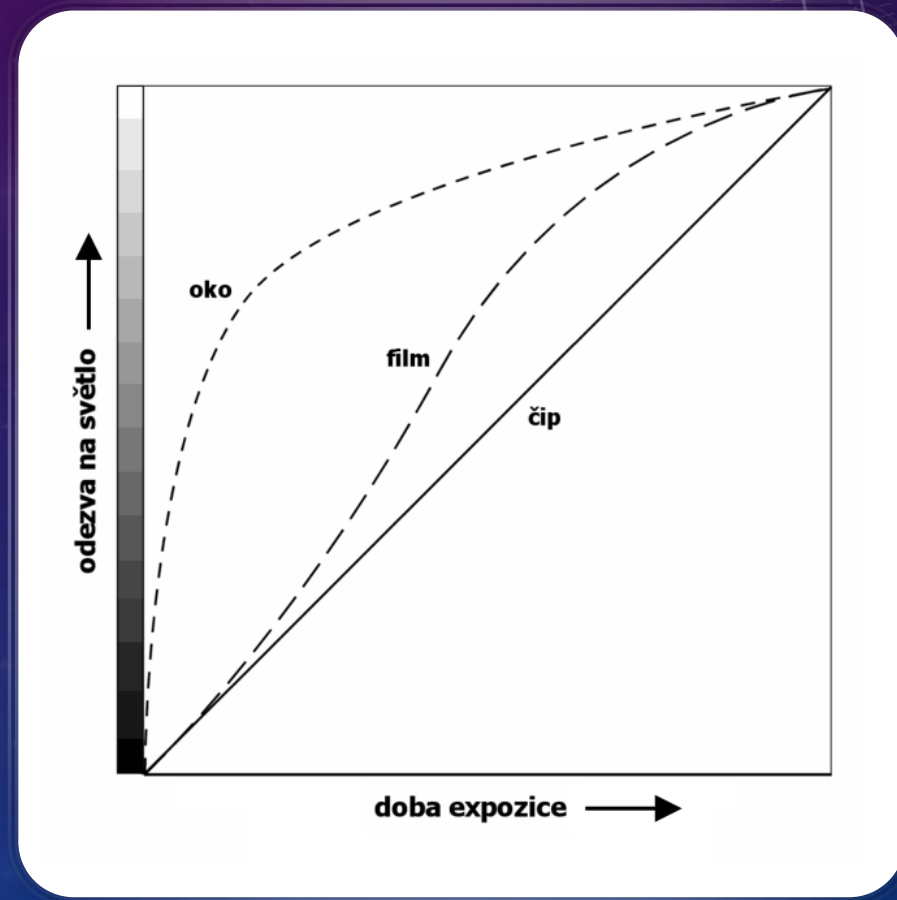
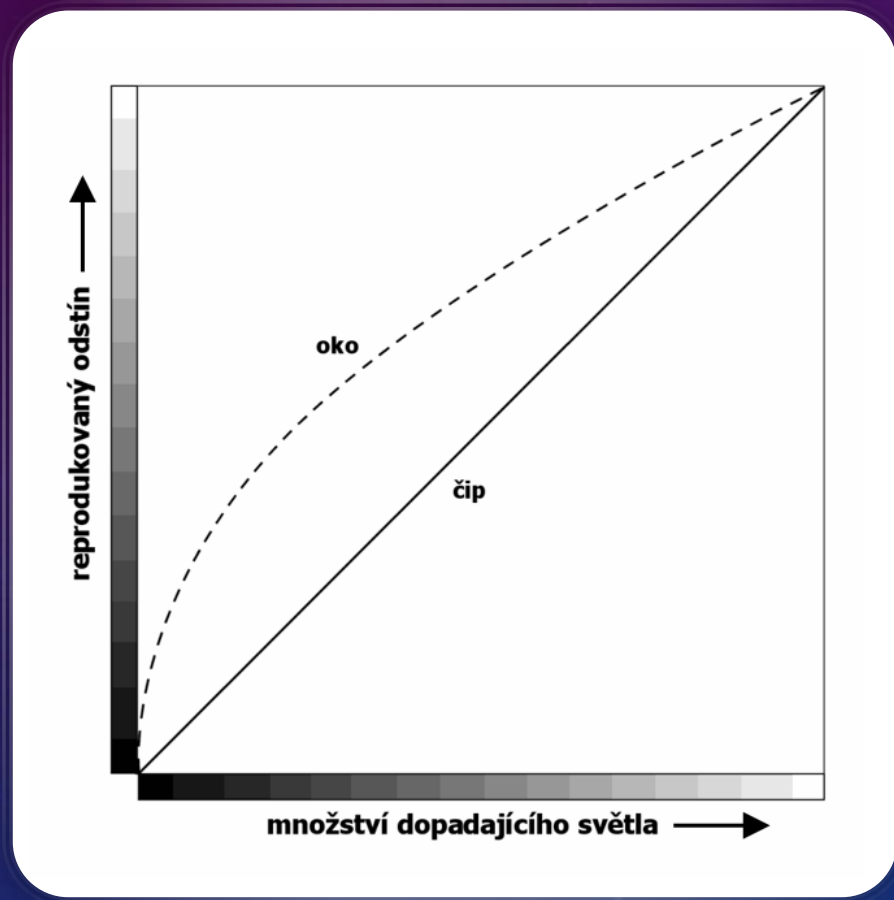
FILTRY

- IR cut – blokuje IR záření
- Anti-alias (lowpass) – pomáhá předcházet tzv. moiré efektům
- Bayerova maska – umožňuje snímat v barvách



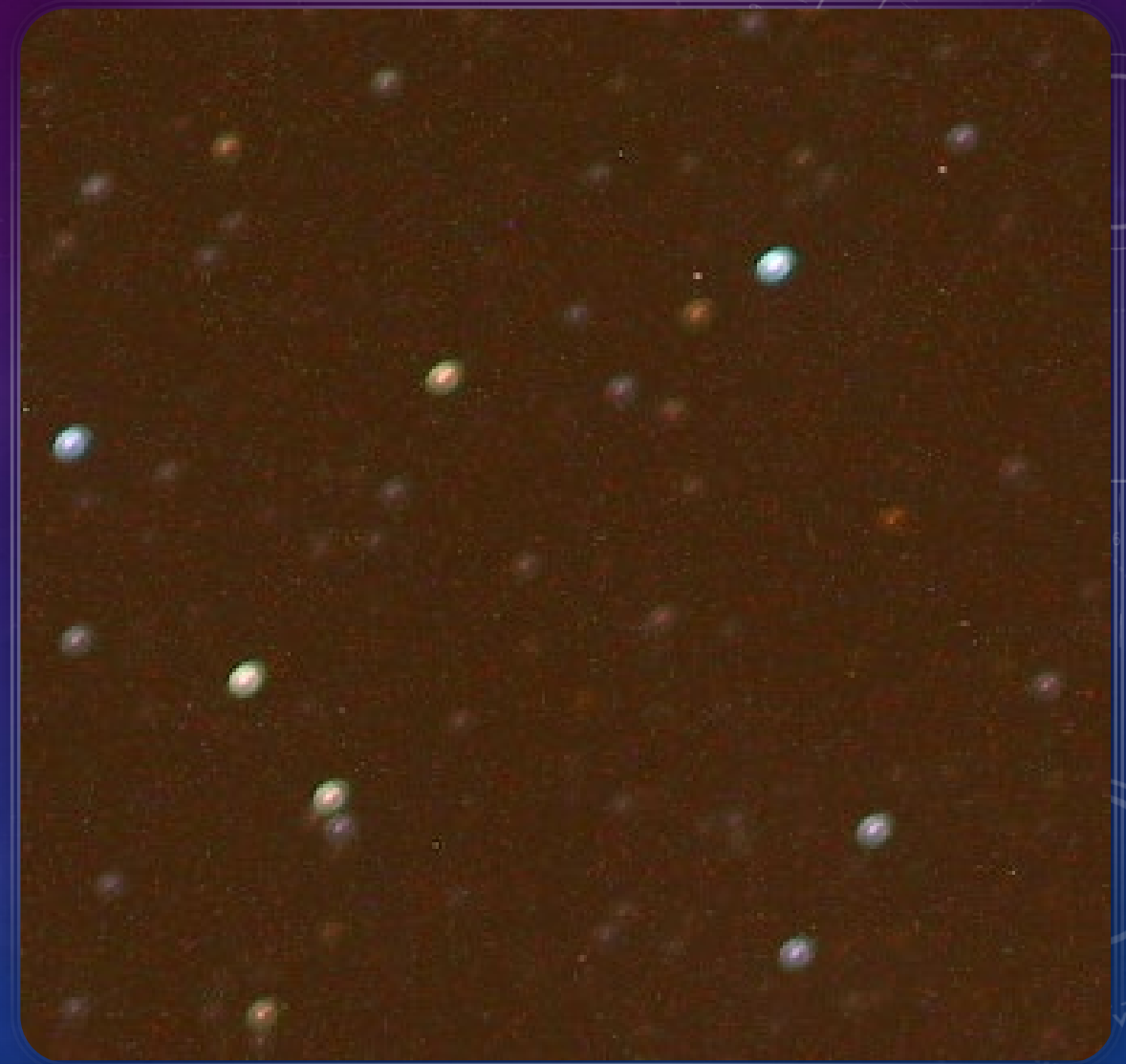
Zdroj: Cburnett, Wikipedia, vsb.cz

LINEARITA DIGITÁLNÍHO SENZORU



ŠUM

- Nasnímaný obraz \neq původní signál
- Odchytky = šum
- Šum vzniká z různých příčin
- Poměr signál/šum (signal-to-noise ratio)
 - statistická veličina

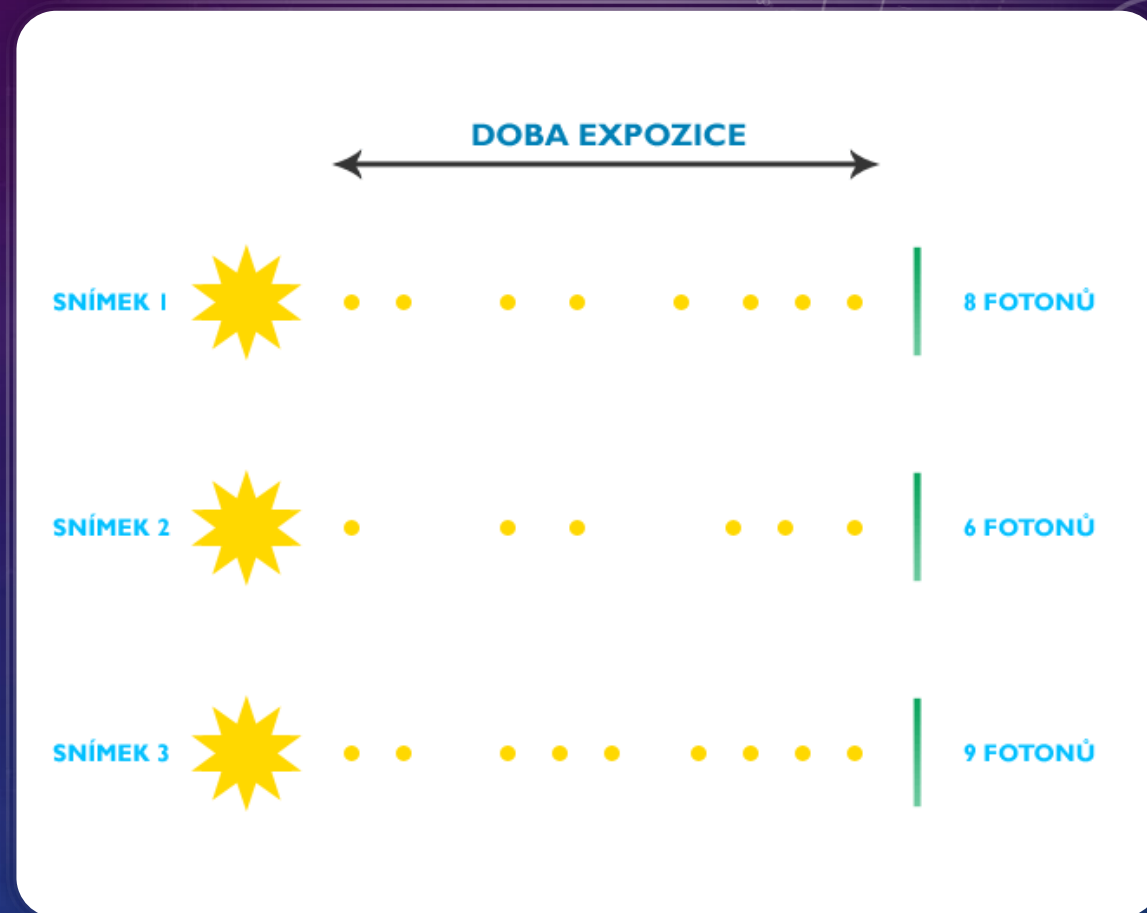


KDE SE BERE ŠUM



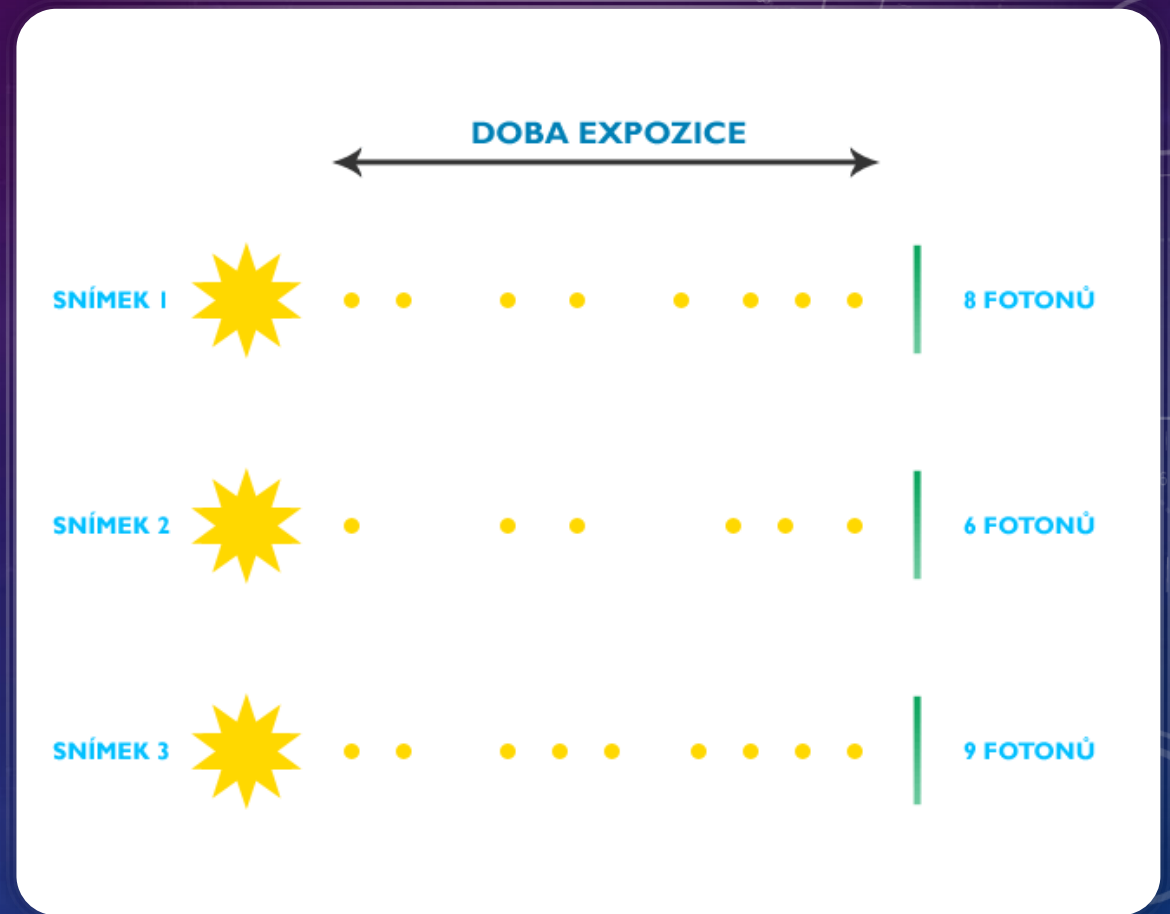
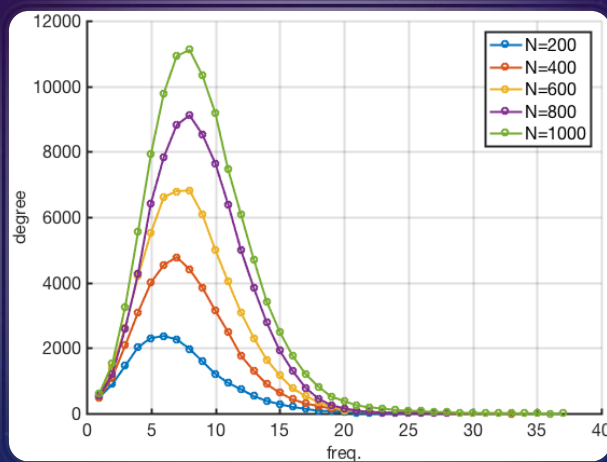
FOTONOVÝ ŠUM

- Světlo vychází ze zdroje náhodně v kvantech
- Počet kvant za jednotku času **není konstantní**



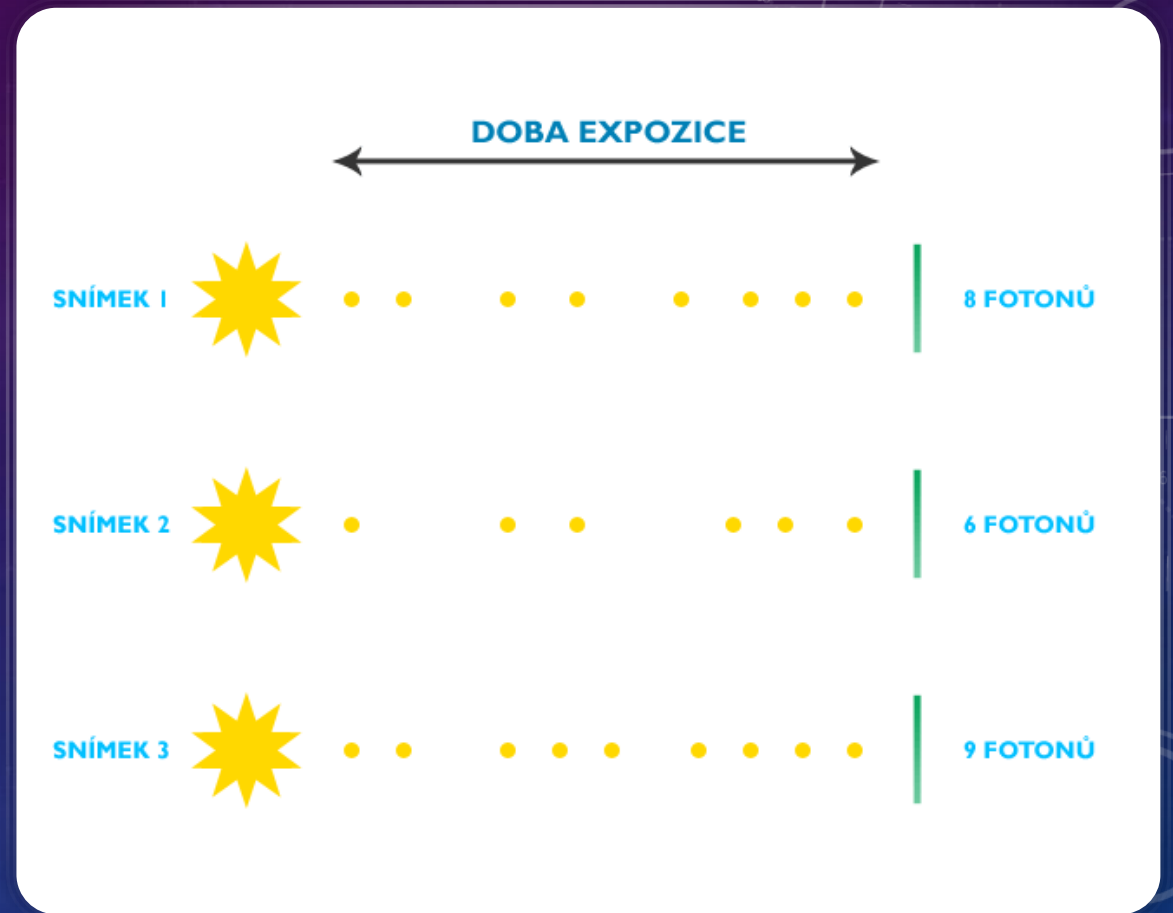
FOTONOVÝ ŠUM

- Světlo vychází ze zdroje náhodně v kvantech
- Počet kvant za jednotku času **není konstantní**
- Jde o náhodnou veličinu s **Poissonovým rozdělením**



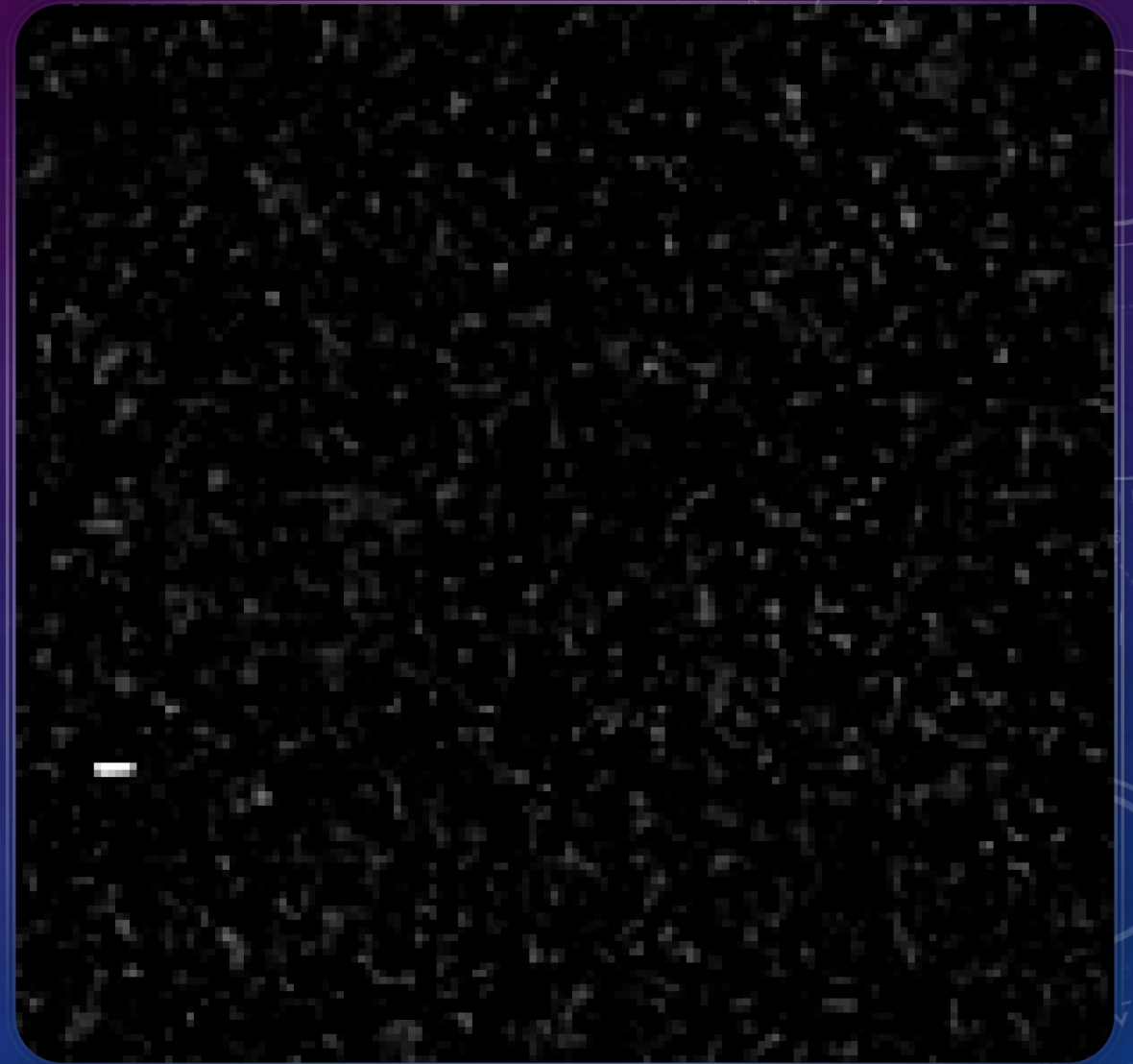
FOTONOVÝ ŠUM

- Světlo vychází ze zdroje náhodně v kvantech
- Počet kvant za jednotku času **není konstantní**
- Jde o náhodnou veličinu s **Poissonovým rozdělením**
- **šum klesá s druhou mocninou expoziční doby**



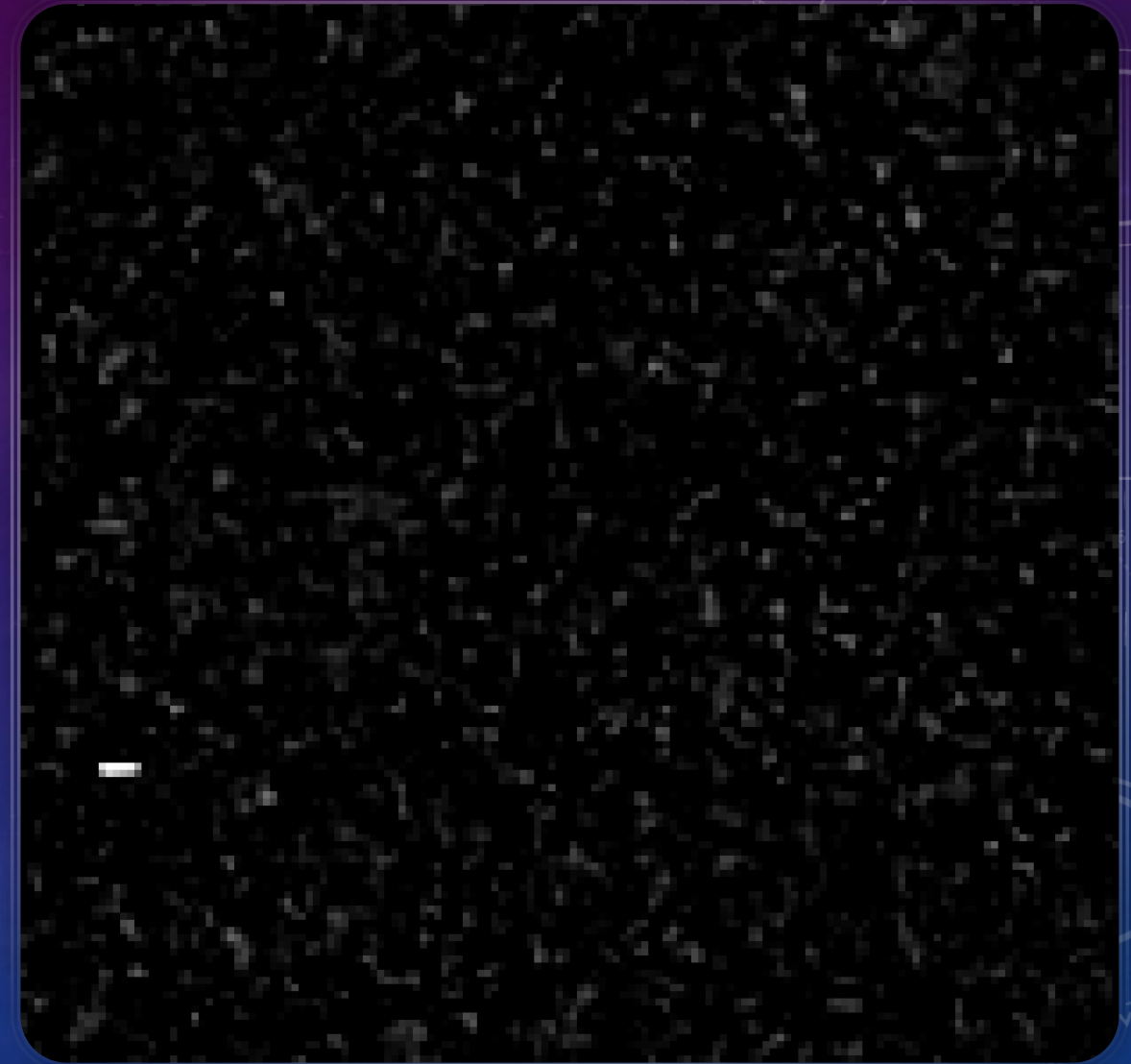
ŠUM SENZORU

- **nulový proud**
 - přičítá se elektronicky kvůli zápornému šumu
- **tepelný šum**
 - vzniká ve snímáči a závisí na teplotě
- aditivní charakter



ŠUM SENZORU

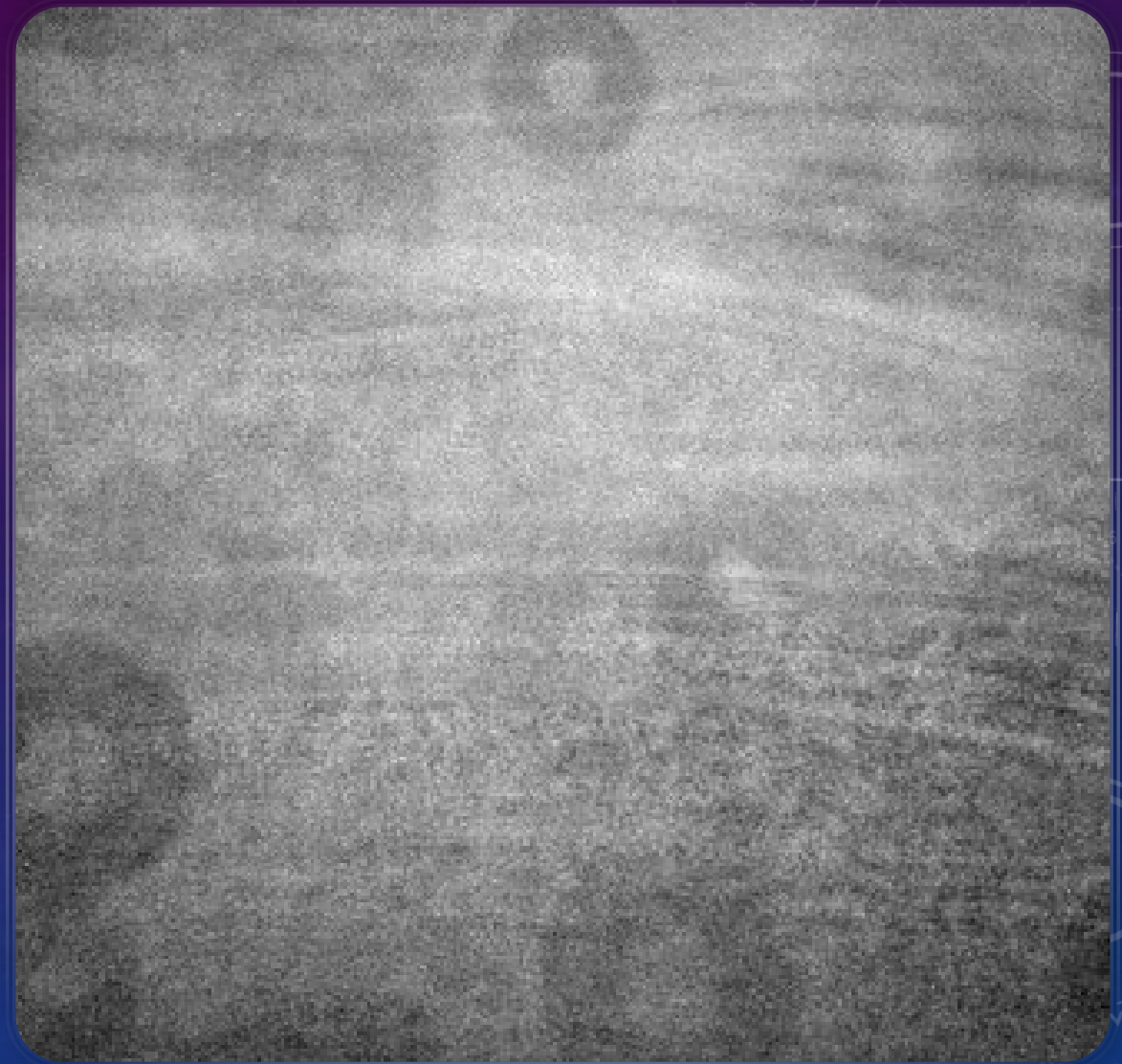
- **nulový proud**
 - přičítá se elektronicky kvůli zápornému šumu
- **tepelný šum**
 - vzniká ve snímači a závisí na teplotě
- aditivní charakter
- **impulzní šum** (tzv. horké pixely)



VINĚTACE, PRACH

- multiplikativní charakter
- zeslabení signálu

Foto: Radek Kocián



CO S TÍM?

KOREKČNÍ SNÍMKY

- Kromě vlastní expozice („light frame“) pořizujeme **sadu korekčních snímků:**
 - bias (offset)
 - dark frame (temný snímek)
 - flat field

BIAS / OFFSET

- Snímek se zakrytým objektivem
- Stejné nastavení citlivosti ISO
- Nejkratší možný expoziční čas
- Není potřeba dělat při každém pozorování, stačí jednou za čas

DARK FRAME

- Snímek se zakrytým objektivem
- Stejné nastavení citlivosti ISO
- Stejný expoziční čas
- Stejná teplota!
- Děláme **často**, ideálně při každém pozorování

FLAT FIELD

- Snímek konstantní plochy (obtížné!)
- Stejné nastavení objektivu (clona, zaostření)
- Co nejnižší (nativní) citlivost
- Expoziční čas volen tak, aby byl snímek vhodně exponován
- Děláme pokaždé, když se změní soustava optika–snímač (např. po výměně objektivu)

KOREKČNÍ SNÍMKY PRO FLAT FIELD!

- Flat field obvykle fotíme s jiným nastavením než „light frame“
- Tudíž musíme pořídit korekční snímky i pro flat field
 - Bias / offset
 - Dark frame

POZOR!

Každý korekční snímek pořizujeme ne jednou, ale **vícekrát**.

Z jednotlivých expozic se konstruuje výsledný tzv. **master snímek** (master offset, master dark, master flat).

Analogicky je vhodné pořizovat **sérii „light“ snímků!**

KONSTRUKCE MASTER SNÍMKŮ

- Master snímek vzniká „zprůměrováním“ jednotlivých snímků
- Signál ovšem často nemá symetrické rozložení (např. Poissonovo)
- Nepoužíváme prostý průměr, ale vhodnější statistické metody:
 - **medián**
 - kappa-sigma ořezávání
 - adaptivní vážený průměr, entropicky vážený průměr...

KONSTRUKCE VÝSLEDNÉHO OBRAZU

The diagram illustrates the construction of the final image equation. It features a central equation with terms labeled above and below. The top row consists of three purple boxes labeled 'light', 'dark', and 'offset'. The bottom row consists of three teal boxes labeled 'flat field', 'dark (ff)', and 'offset (ff)'. Lines connect the top labels to the corresponding terms in the numerator, and the bottom labels to the corresponding terms in the denominator.

$$L' = \frac{L - D_L - O_L}{F - D_F - O_F}$$

- V praxi se o tento proces postará specializovaný software (DeepSkyStacker, Siril, PixInsight apod.)

SHRNUTÍ

- Každý digitální obraz obsahuje kromě užitečného signálu různé artefakty
- Tyto artefakty lze vhodnými matematickými metodami potlačit, aniž by tím utrpěl užitečný signál
- Proto kromě série expozičních pořizujeme také sadu korekčních snímků
- Výsledný obraz je kombinací „light“ snímků a korekčních snímků
- Čím lepší korekce vad, tím víc prostoru pro postprocess