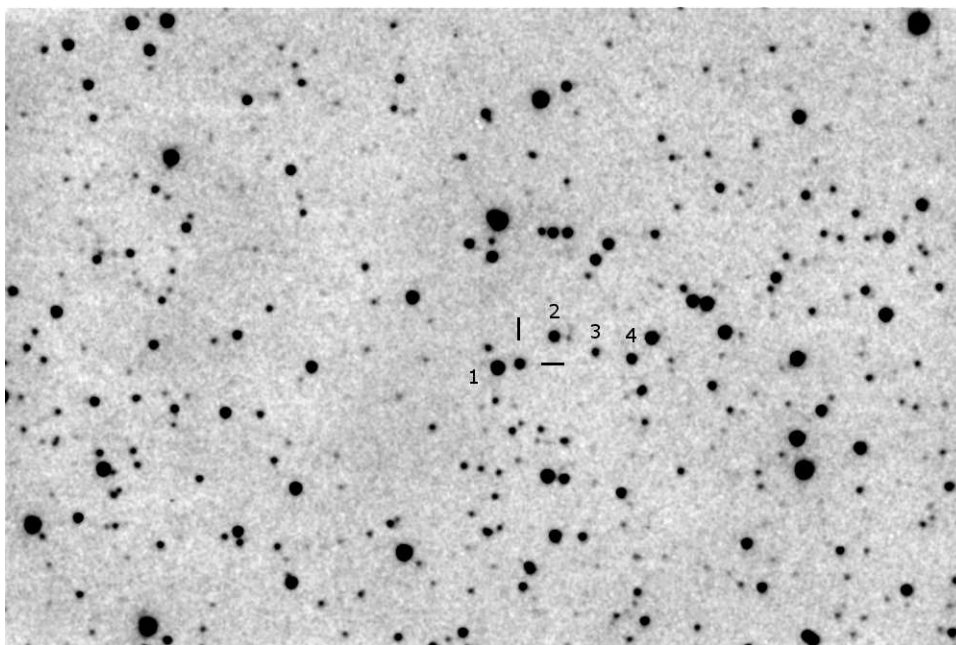


Fotometrie na CCD snímku

Už veliký český vědec vídeňského původu Jára da Cimrman věděl a dokázal i názorně demonstrovat, že „světlo je rychlejší zvuku“. Nepřekvapí tedy, že v mnohých případech využíváme k výzkumu různých objektů světlo (odražené nebo vyzářené) místo zvuku. Potřebnou informaci totiž dostaneme mnohem rychleji.

U kosmických objektů je tu navíc principiální problém, který nám brání zkoumat jejich zvuky (pokud nějaké vyluzují) – jsou to propastné dálavy vesmírné krajiny, kterou se zvuk nešíří. Jsme tedy odkázáni na světlo a první věc, na kterou by se nás asi zeptal každý ekonom je – kolik toho světla prosím vás máte?

Přesně to je problém fotometrie. V našem případě budeme zkoumat množství světla, které zaznamenala citlivá CCD kamera a budeme ho vyjadřovat v jednotkách běžných v astronomii – v magnitudách. Objekt jehož jasnost budeme chtít tentokrát zjistit je trochu exotický – jedná se o blazar a dokonce o prototyp takového vesmírného objektu, BL Lac. Blazar je AGN, na které se díváme přímo ve směru jetu. Pro zajímavost uvádím snímek BL Lac z jedné lednové noci (obr. 1).



OBRÁZEK 1 Snímek BL Lac ve V filtru, celková expozice 18 min, foto Filip Hroch. Objekt je vyznačen spolu se srovnávacími hvězdami.

Jasnost budeme zjišťovat dvěma metodami, které se běžně používají – aperturní a profilovou fotometrií. Protože o postupu jsem psal již dříve, nebudu ho tu znovu opakovat. Pokud jde o aperturní fotometrii, výsledky jsou uve-

deny v tabulce 1. Hodnotu pozadí snímku jsem spočítal jako medián hodnot intenzit na výřezu snímku.

poloměr clonky [px]	2	3	4	5	6
jasnost v mag v:					
čtvercové clonce	16,219	16,052	16,050	16,223	16,397
kruhové clonce	16,662	16,179	16,082	16,073	16,170
hodnota pozadí	541,0 ± 1,9				

TABULKA 1 Instrumentální hvězdná velikost hvězdy pomocí aperturní fotometrie a střední hodnota pozadí výřezu snímku.

Profilovou fotometrii jsem spočítal pro několik velikostí pole kolem nejjasnějšího pixelu. Uvažoval jsem ještě o jedné věci: když počítáme parametry profilu, používáme přitom hodnotu pozadí z aperturní fotometrie. Možná by ale bylo lepší iteračně dosazovat hodnotu pozadí, kterou dostaneme jako jeden z parametrů profilu. Pro srovnání tedy v tabulce 2 uvádím hodnoty instrumentálních magnitud bez iterace hodnoty pozadí a s iterací. Parametry profilů jsou uvedeny jen pro postup s iterací a to v tabulce 3.

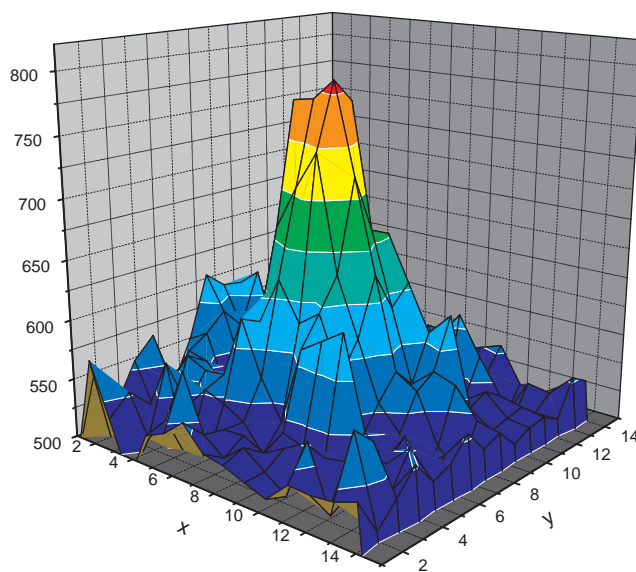
rozměr pole [px]	7	9	11	13
hv. velikost [mag]				
bez iterace	16,122	15,887	15,741	15,542
s iterací	16,230	15,716	15,298	15,040

TABULKA 2 Instrumentální hvězdná velikost hvězdy pomocí profilové fotometrie.

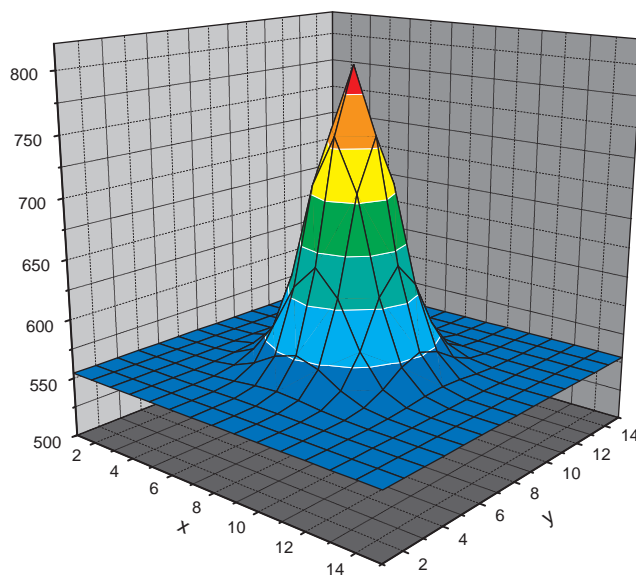
rozměr pole [px]	7	9	11	13
G_0	247,87	240,62	217,34	180,89
B_p	554,38	525,86	507,31	503,13
σ	1,44	1,85	2,36	2,91

TABULKA 3 Parametry jednotlivých profilů pro postup s iterací hodnoty pozadí.

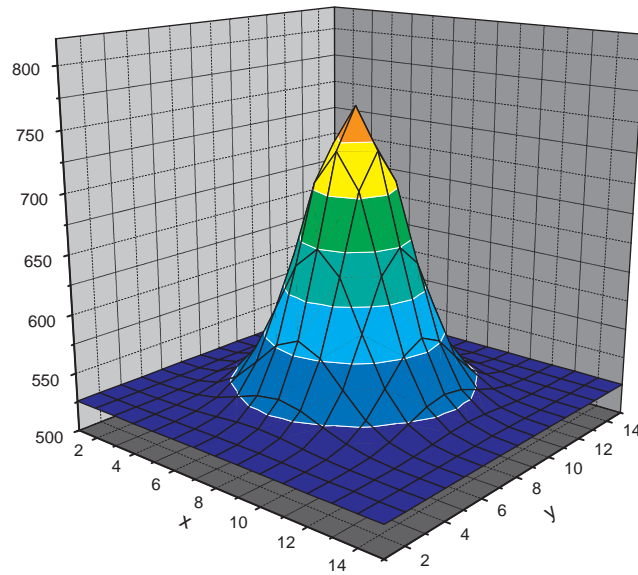
Následující graf (obr. 2) zachycuje oblast snímku centrovanou na BL Lac. Jedná se o závislost zaznamenané intenzity (v ADU) na souřadnicích na snímku. Další grafy zobrazují spočtené profily pro tři různé velikosti polí (obr. 3 – 5).



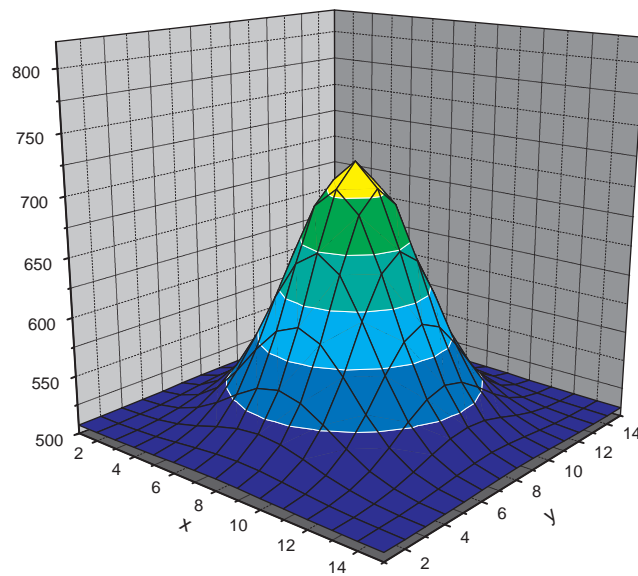
OBRÁZEK 2 Zobrazení dat ze snímku BL Lac. Velikost oblasti je 15×15 pixelů.



OBRÁZEK 3 Profil spočtený pro velikost pole 7×7 pixelů.



OBRÁZEK 4 Profil spočtený pro velikost pole 9×9 pixelů.



OBRÁZEK 5 Profil spočtený pro velikost pole 11×11 pixelů.

Posledním úkolem je kalibrovat hvězdnou velikost našeho objektu. K tomu využijeme objektů, které jsou na snímku spolu s BL Lac a přitom mají dobře určené hvězdné velikosti. Tyto objekty jsou označeny na prvním obrázku (obr. 1) čísly a jejich hvězdné velikosti ve filtru V jsou potom uvedeny v tabulce 4 včetně chyby. Dále jsou zde uvedeny instrumentální hvězdné velikosti (opět s chybou) zjištěné z našeho snímku pomocí jednoho z nejlepších dostupných programů na fotometrii CCD snímků (Munipack) a nakonec ještě rozdíly těchto hodnot.

označení hvězdy	1	2	3	4
kalibrovaná hv. velikost [mag]	12,78	14,19	15,44	14,31
chyba [mag]	0,04	0,03	0,03	0,05
instrumentální hv. velikost [mag]	14,231	15,550	17,240	15,924
chyba [mag]	0,013	0,045	0,205	0,054
rozdíl hv. velikostí [mag]	1,451	1,360	1,800	1,614

TABULKA 4 Kalibrované a instrumentální hvězdné velikosti kalibračních hvězd a jejich rozdíly.

Předpokládejme, že pokud zjistíme instrumentální magnitudy hvězd na snímku, budou oproti kalibrovaným hv. velikostem posunuty o určitou konstantu. Tu můžeme vypočítat jako:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (m_i - M_i),$$

kde N je počet kalibračních hvězd, M_i , resp. m_i jejich kalibrovaná, resp. instrumentální hv. velikost. Potom kalibrovanou hv. velikost BL Lac (M_x) nalezneme tak, že od její instrumentální hv. velikosti m_x odečteme konstantu μ , tedy:

$$M_x = m_x - \mu.$$

V našem konkrétním případě vyšlo $\mu = (1,556 \pm 0,118)$ mag a hvězdná velikost BL Lac potom $M_x = (14,19 \pm 0,13)$ mag.

Závěrem

Pokud srovnáme instrumentální magnitudy, získané aperturní a profilovou fotometrií, dojdeme k závěru, že čím větší clonku nebo pole použijeme, tím více se tyto hodnoty liší. U obou metod se na výsledku projevují fluktuace pozadí. Aperturní fotometrie zahrnuje více šumu a pro větší clonky také blízké okolní hvězdy (což platí zvlášť v tomto případě, jak je patrné z úvodního snímku). U profilové fotometrie je tento trend ještě rychlejší, protože výpočet šířky profilu závisí na vzdálenosti od centrálního bodu a kladná fluktuace tuto hodnotu a tedy také výslednou hodnotu jasnosti zvyšuje. Pro větší pole se zřejmě také projeví přítomnost blízké hvězdy.