

Astrofotografie

Cíl výuky: Žák se seznámí s fotografickými pojmy jako expoziční čas, ISO, clonové číslo nebo ohnisko.
Žák dokáže pomocí mobilního telefonu (případně fotoaparátu) pořídit astrofotografické snímky noční oblohy.

Úroveň žáků: 2. stupeň ZŠ a odpovídající ročníky víceletých gymnázií.
Vhodné i pro SŠ.

Určení: Pro učitele bez znalosti dalekohledů.

Počet hodin výuky: 2 a více (záleží na provedení)

Předpokl. znalosti: Ohnisková vzdálenost čočky

Zařazení do RVP: F-9-7-01: Žák objasní (kvalitativně) pomocí poznatků o gravitačních silách pohyb planet kolem Slunce a měsíců planet kolem planet.

Učivo: sluneční soustava – její hlavní složky; měsíční fáze

Motivace: Internet je plný nádherných fotografií noční oblohy. Pro inspiraci můžeme žákům promítnout Astronomický snímek dne ze stránek [1]. Pořízení takových snímků však obvykle vyžaduje nejen hluboké znalosti a dovednosti v oboru, ale také kvalitní a často drahou techniku. My se zde proto zaměříme na úplné základy astrofotografie a k pořízení snímků použijeme chytrý mobilní telefon.

Je však nutné počítat s tím, že ne každý žák takový telefon vlastní. Proto je vhodné, aby měla škola k dispozici několik fotoaparátů na zapůjčení. Samozřejmě si žáci mohou z domova přinést vlastní přístroj (*metodika se nicméně soustředí především na použití chytrých telefonů*). Samostatný fotoaparát má v mnoha ohledech výhody. Umožňuje například lepší kontrolu nad nastavením parametrů snímání. Nicméně chytrý telefon má dnes většina žáků vždy po ruce a obvykle ho dokáže i lépe ovládat.

Základní pojmy: Fotoaparát je zařízení, které soustředí světlo čočkou na jistý povrch – dnes skoro výhradně digitální senzor – který sbírá světlo a ukládá jej. Čím déle je závěrka ponechána otevřená, a čím větší je vstupní otvor fotoaparátu, tím více světla na senzor dopadne. Astrofotografie vyžaduje typicky delší expoziční časy, obvykle v řádu několika sekund, aby snímač stihl zachytit dostatek světla z noční oblohy. Naopak při fotografování za denního světla stačí na expozici pouhé zlomky sekundy.

Výslednou podobu fotografie ovlivňují tři základní parametry: **expoziční čas**, hodnota **ISO** a **clona**. Digitální fotoaparát umožňuje měnit všechny tři v manuálním režimu. U mobilních telefonů je však clona obvykle pevně daná výrobcem. Pouze některé modely, zejména vyšší třídy, umožňují její změnu, případně lze vybírat mezi různými objektivy s odlišnou clonou.

Expoziční čas (rychlost závěrky): Jde o dobu, po kterou je otevřena závěrka fotoaparátu a dochází k osvětlení snímače. Čím delší je expozice, tím více světla se zachytí a tím světlejší bude výsledný obraz.

Za denního světla jsou časy expozice velmi krátké a automatika fotoaparátu je obvykle nastavuje sama. Delší expozice by vedla k přесvícenému obrazu (přeexponovaný snímek). Naopak při fotografování rychlého pohybu je potřeba velmi krátký expoziční čas v řádu tisícín sekundy, aby byl objekt zachycen ostře a bez rozmazání.

Při fotografování hvězdné oblohy je zapotřebí delší expozice, aby snímač zachytil co nejvíce světla. Příliš velké hodnoty však nevedou k lepším výsledkům. Obvykle se v astrofotografii doporučuje expoziční čas do 30 sekund, ideálně však méně než 20 sekund. Při delších expozicích už může být patrné chvění vzduchu v atmosféře a vliv rotace Země. Hvězdy na snímku pak totiž nejsou bodové, ale tvoří krátké čárky, viz Obrázek 1. Nevýhodou delší expozice je také to, že se senzor fotoaparátu více zahřívá a na snímku se objeví šum. Ten se typicky projevuje ve formě zrnění a barevných skvrn na fotografii.



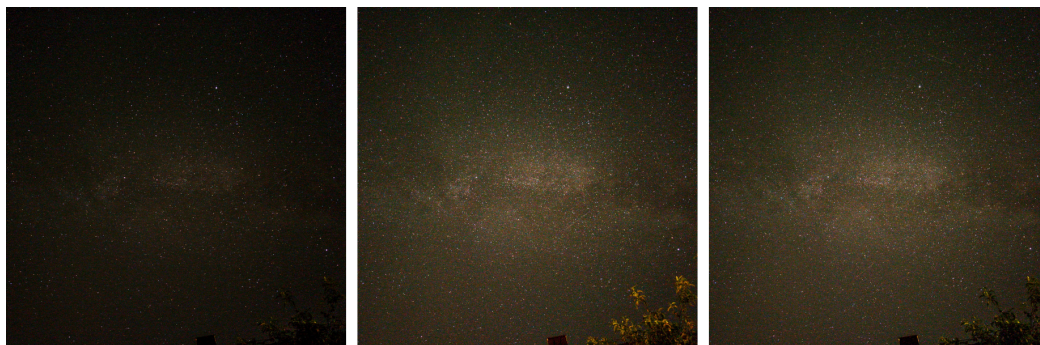
Obrázek 1: Porovnání fotografií hvězdné oblohy s expozičními časy 8, 16 a 32 sekund. Při delší expozici se stihnou hvězdy pohnout ze své původní polohy (vlivem otáčení Země). Při bližším zkoumání tak mohou být na snímku patrné krátké světelné čáry namísto bodů. Pro větší názornost byly obrázky upraveny stejnými parametry v programu Snapseed. Protažená čára v rohu prostředního obrázku zaznamenává prolétávající letadlo.

Z uvedeného vyplývá, že při velmi dlouhém expozičním čase bychom zachytili pohyb hvězd po obloze, tzv. star trails. Hvězda by tak na fotce svítila po celé zachycené trajektorii. Tento efekt se však častěji dosahuje složením mnoha po sobě jdoucích snímků s kratšími expozičními časy, než jedním snímkem s dlouhou dobou expozice. (*Jak vytvořit star trails je popsáno v závěru metodiky.*)

ISO: Jde o hodnotu citlivosti snímače na světlo. U analogových fotoaparátů byla tato hodnota určena druhem použitého filmu. U digitálních snímačů lze tuto citlivost měnit jednoduše v nastavení. Vyšší hodnota ISO zvyšuje jas snímku (zesiluje signál ze senzoru), což je užitečné zejména při slabém osvětlení.

Krátké expoziční časy lze kompenzovat vyšším ISO, což se hodí například při fotografování rychle se pohybujících objektů. V případě focení noční oblohy lze vyšší ISO využít ke zkrácení expozičního času. Zesílený signál dodává fotografii více informací, a moderní přístroje toho dokážou využít k redukci šumu. Nicméně při delší době expozice, kdy vznikne šumu na fotce více, může vyšší hodnota ISO způsobit zesílení nejen dopadajícího světla, ale také nežádoucího šumu. Na Obrázku 2 jsou pro srovnání zachyceny fotografie noční oblohy při různých hodnotách ISO.

Clonové číslo: Udává, jak velká část objektivu je otevřená pro průchod světla. U samostatných fotoaparátů lze clonu manuálně nastavit, zatímco v případě



Obrázek 2: Porovnání fotografií hvězdné oblohy s hodnotami ISO 800, 1 600 a 3 200. Při kratších expozicích lze využít vyšší hodnoty ISO k získání světlejšího snímku. Při delších expozicích už dochází nejen k zesílení signálu, ale také nežádoucího šumu. Pro větší názornost byly obrázky upraveny stejnými parametry v programu Snapseed. Světlejší obraz stromu v prostředním obrázku byl způsoben jeho nechtěným osvětlením.

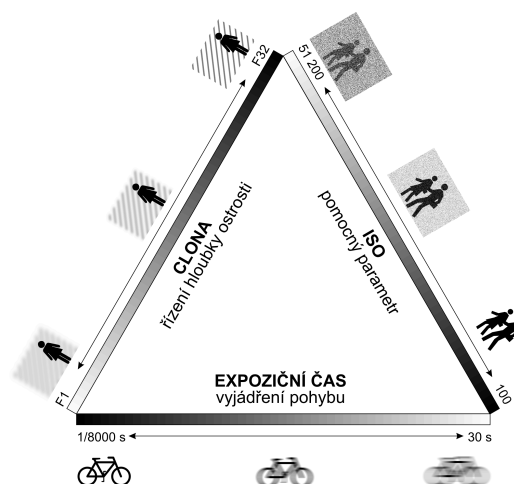
mobilního telefonu nikoliv (jak bylo vysvětleno výše). Clonové číslo je určeno vztahem $k = \frac{f}{D}$, kde f je ohnisková vzdálenost objektivu fotoaparátu a D průměr otvoru clony. Na objektivěch a fotoaparátech se světelnost typicky zapisuje ve tvaru f/k (například $f/2.8$ nebo $f/4$). Zřejmě platí, že čím menší je otvor clony, tím vyšší je clonové číslo, a tedy menší světelnost (objektivem projde méně světla). Nejmenší clonové číslo (tedy maximální světelnost), které lze na objektivu nastavit, je určeno jeho konstrukcí, a proto na něm bývá uvedeno.

Clonová čísla (respektive světelnosti) lze zapsat do řady $f/1.4$, $f/2$, $f/2.8$, $f/4$, $f/5.6$, $f/8$, $f/11$, $f/16$, a tak dále. Hodnoty za lomítkem představují (zao-krouhlené) mocniny čísla $\sqrt{2}$. Když se totiž průměr otvoru clony zmenší $\sqrt{2}$ krát, zmenší se plocha objektivu dvakrát, jelikož plocha je úměrná druhé mocnině průměru. Každé další clonové číslo v řadě tedy znamená polovinu světla, které projde objektivem.

Tyto vztahy umožňují fotografům snadnou změnu expozičních parametrů. Například pokud se hodnota ISO zdvojnásobí ze 400 na 800 a zároveň se zkrátí expoziční doba na polovinu (např. z 2 s na 1 s), výsledný snímek bude exponovaný stejně. S clonovými čísly v uvedené řadě je to totéž. Uvedenému zdvojnásobení hodnoty ISO by proto odpovídala změna clonového čísla např. z $f/2.8$ na $f/4$ (dvakrát méně světla). To proto, že při dvojnásobné citlivosti snímače nám postačí jen poloviční množství světla. Ovládnutí tohoto pravidla, známého jako expo-ziční trojúhelník, viz Obrázek 3, výrazně usnadňuje správné a rychlé nastavení fotoaparátu.

Potřebné vybavení: K fotografování noční oblohy potřebují žáci chytrý mobilní telefon s fotoaparátem. Velmi užitečnou pomůckou je stativ, do kterého lze telefon uchytit. Nemusí být ani příliš velký. Postačí, aby pevně držel telefon a umožnil mu mířit vzhůru na oblohu. Cena takových stativů se pohybuje v řádu nižších stovek korun. Pokud takový stativ není k dispozici, lze improvizovat. Telefon je možné položit na stabilní podložku nebo jej opřít o batoh či jiný pevný předmět. Lze si také sestavit stativ ze stavebnic typu Lego či Merkur.

Nativní aplikace fotoaparátu v telefonu: Než se žáci prvně pustí do noč-ního focení, je důležité, aby se seznámili se svým zařízením a jeho funkcemi. Všechny chytré telefony mají v sobě vestavěnou aplikaci Fotoaparát, jejíž rozhraní,



Obrázek 3: Expoziční trojúhelník dává do souvislosti tři expoziční parametry ISO, clona a expoziční čas. Na obrázku je vidět, jak změna těchto parametrů ovlivňuje focení běžných objektů. [2]

ovládání a dostupné funkce se však mohou lišit v závislosti na výrobci a modelu. Právě proto je klíčová příprava, při které žáci prozkoumají možnosti svého přístroje sice samostatně, ale podle pokynů učitele.

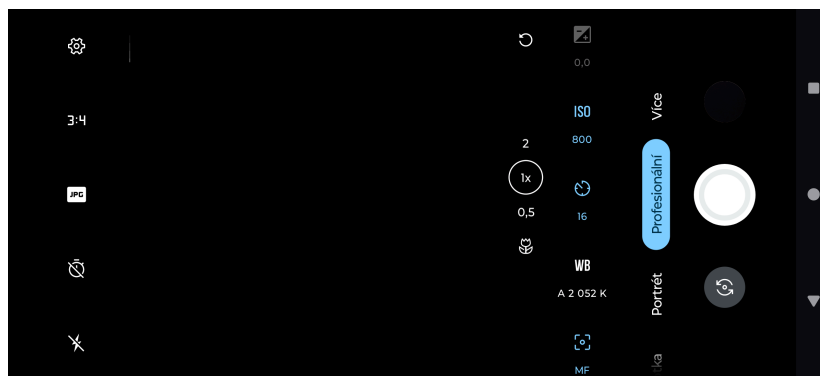
Rozdíl je také mezi operačními systémy Apple iOS a Google Android. Telefony od Applu (iOS) nedovolují příliš měnit parametry manuálně, většina se řídí automaticky. I tak ale dokáží dosáhnout velmi kvalitních výsledků. K tomu je ale potřeba umístit je do stativu. Po zapnutí fotoaparátu zapneme noční mód a díky tomu se objeví nastavení času expozice. To je nejprve nízké, ale když se právě telefon nechá chvíli v klidu na stativu, zvětší se maximální možná doba expozice až na 30 sekund.

Telefony s Androidem obvykle nabízejí více možností manuálního nastavení v režimu PRO, Profesionální nebo obdobně pojmenovaný. Rozhraní tohoto módu pro telefon Motorola Edge 30 Ultra je na Obrázku 4, pro jiné telefony může být odlišné. V tomto režimu lze měnit již zmíněnou rychlost závěrky a hodnotu ISO. Je potřeba prozkoumat mezní hodnoty, které lze nastavit. Zejména maximální hodnoty mohou být u slabších telefonů nízké.

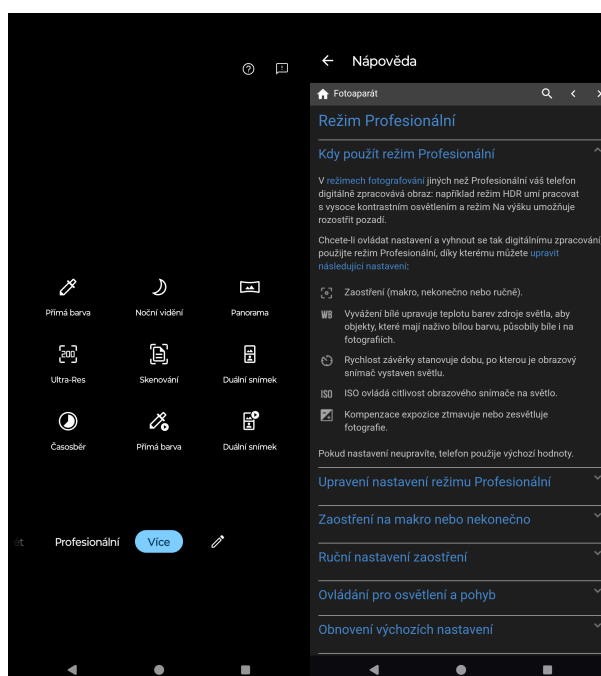
Dále může být nutné nastavit ostření, jelikož některé telefony nedovedou správně automaticky zaostřovat ve tmě. Nejlepší je proto ostřit za světla, a nastavit hodnotu tak, aby byly všechny předměty (blízké i vzdálené) na displeji ostré. Některé telefony mají v nabídce ostření přímo symbol nekonečna ∞ , který můžeme použít téměř s jistotou pro fotografování noční oblohy. Může se ale stát, že hodnota ostření na nekonečno bude trochu posunutá.

Velice důležitá bude pro fotografování samospoušť. Stisknutím spouště fotoaparátu totiž dojde k nechtěnému roztřesení telefonu, což vede k rozmazání snímku. Nastavení časovače na 3 až 5 sekund poskytne dostatek času, aby se přístroj opět ustálil.

Pokud telefon nabízí další nastavení, měli by si je žáci vyzkoušet sami a sledovat, jak se mění výsledné snímky. Pro více informací bývá v aplikaci Fotoaparátu k dispozici nápověda nejen pro Profesionální režim, ale i pro ostatní funkce fotoaparátu 5. Další informace lze podle potřeby dohledat na internetu.



Obrázek 4: Profesionální režim fotoaparátu umožňuje manuálně nastavit expoziční parametry. Na pravé liště jsou odspodu ikony pro ostření (MF - manual focus), vyvážení bílé (WB - white balance), délka expozice, ISO a kompenzace expozice (ta však není dostupná pro manuálně zvolené rychlosti závěrky a hodnoty ISO).



Obrázek 5: V některých modelech telefonů je k dispozici nápověda k funkcím fotoaparátu (zde pod symbolem otazníku vpravo nahoře). Takto vypadá nápověda k profesionálnímu režimu v telefonu Motorola Edge 30 Ultra.

První focení v temné místnosti: Po úvodním seznámení s funkcemi a nastavením fotoaparátu v telefonu je potřeba si vyzkoušet, jak se změna expozičních parametrů promítne na výsledných snímcích. V místnosti proto zatemníme a necháme žáky fotit nehybné objekty (stačí něco dostatečně velkého na katedře). Přitom musí sami experimentovat s nastavením v mezích schopností svého telefonu.

Další aplikace: Kromě vestavěné aplikace Fotoaparát mohou žáci samozřejmě využít i další aplikace třetích stran, které mohou umožnit pokročilejší manuální nastavení fotoaparátu. V praxi se však často ukazuje, že zabudovaná aplikace Fotoaparát bývá nejspolehlivější. Alternativní aplikace nemusí fungovat zcela správně nebo mohou mít omezené funkce. Zkušenost je taková, že co funguje jeden den, nemusí fungovat druhý, a naopak.

Pro systém Android se hodí zejména aplikace DeepSky Camera. Ta je vytvořená přímo pro astronomické focení, nabízí rozšířené možnosti nastavení expozičních parametrů (větší ISO nebo delší expozice), včetně sekvenčního snímání (automatické pořízení více snímků za sebou). Tato funkce je užitečná například pro tvorbu star trails nebo složení několika snímků k potlačení šumu. Sekvenční snímání umožňuje také aplikace Intervalometer, která je ovšem placená.

Kromě aplikací na fotografování je užitečné mít i nástroj, který pomůže s orientací na obloze. Asi nejrozšířenější aplikací tohoto typu je Stellarium. Jde o kapesní planetárium, které umožňuje identifikovat hvězdy, planety a další nebeské objekty. Díky zabudovanému kompasu stačí namířit telefon na oblohu a aplikace zobrazí, co se v daném směru nachází. Objekty lze i vyhledávat a zobrazit jejich polohu dokonce i v různých časech, a lze tak určit čas, kdy bude dané těleso viditelné.

Specifika některých telefonů: Některé moderní telefony obsahují speciální nástroje určené přímo pro astrofotografii. Příkladem může být již zmíněný noční režim u iPhonů.

Telefony Google Pixel mohou obsahovat přímo astrofotografický mód, který celý proces fotografování řídí automaticky. Nepořizuje jediný snímek, ale zachytí sérii fotografií, které následně skládá dohromady. Tím se potlačuje šum a zvyšuje kvalita výsledného snímku. Zajímavé je, že přístroj dokáže kompenzovat pohyb hvězd během dlouhé expozice tak, aby na finální fotografii zůstaly jako bodové objekty. Obvykle se podobné skládání snímků provádí až na počítači ve specializovaném softwaru.

Některé modely Samsung a Huawei zase nabízejí režimy určené přímo pro focení star trails. S tímto nastavením telefon automaticky pořídí sérii snímků a sám je spojí do výsledné fotografie, aniž by uživatel musel provádět sám další úpravy.

Focení venku: Astrofotografie je pochopitelně velmi závislá na počasí, což může plánování této aktivity s žáky značně komplikovat, jelikož vícedenní výlety a exkurze bývají naplánovány dlouho dopředu, ale vhodné podmínky pro focení nelze předem zaručit. Alternativou proto může být zadání této aktivity jako dobrovolného domácího úkolu, kdy mohou žáci snímky pořídit sami ve svém volném čase.

Při focení je důležité se teple obléct a vzít si také nějakou baterku, jelikož telefon bude používán k fotografování. Zvolit si lze libovolnou část noční oblohy podle vlastních preferencí a podle ročního období, kdy budou viditelná různá souhvězdí a objekty.

Ohledně doporučených nastavení musíme začít s časovačem spuštění fotoaparátu v rozmezí 3 až 5 sekund. Dobu expozice nastavíme maximálně půl minuty, raději však do 20 sekund. Podle toho zvolíme hodnotu ISO, která se doporučuje obvykle 800 nebo 1 600. Rozhodně se ale vyplatí zkoušet různé parametry a nastavení vhodná pro konkrétní zařízení a pro konkrétní světelné podmínky. Při focení ve městě, kde je silné světelné znečištění, bude zapotřebí zvolit jiné nastavení než ve volné přírodě.

Může být poměrně překvapivé, že na snímku je vidět mnohem více detailů než pouhým okem. Dlouhá expozice totiž umožňuje snímači sbírat světlo delší dobu a ještě jej následně digitálně zesílit. Objevíme tak nebeská tělesa, která by jinak zůstala ukrytá.

Kompozice: Fotografie noční oblohy je působivá sama o sobě, ale ještě lepší dojem vyvolá, pokud ji na snímku zachytíme i s pozemským objektem. Tento prvek dodává snímku hloubku a pomáhá divákovi se lépe orientovat v prostoru. Ve fotografii se tomu říká kompozice. Je potřeba si vybrat zajímavý objekt v popředí hvězdné oblohy, jako strom, skálu, věž nebo jiný výrazný prvek. Jednoduchým řešením kompozice může být jen telefon položený v trávě.

Někdy se může stát, že je krajina na fotografii příliš tmavá nebo přespětlená. Tmavé objekty v popředí lze krátce osvětlit baterkou, aby na snímku více vynikly. Příliš světlé objekty můžeme zkusit potlačit snížením hodnoty ISO nebo zkrácením expozičního času. Mnoho detailů lze doladit později v grafických editorech, které umožní vyrovnat jas a kontrast různých částí snímku.

Star trails: Dalším vizuálně působivým typem fotografie jsou již zmíněné star trails (světelné dráhy hvězd). Ty vznikají složením mnoha fotografií na sebe, čímž se zvýrazní pomalý pohyb objektů po obloze. Obzvláště impozantní a poučné je, namíříme-li fotoaparát na Polárku, která se nachází v těsné blízkosti severního nebeského pólu. To je takové místo na obloze, kterým prochází zemská osa, kolem které rotuje Zeměkoule. Z toho důvodu kolem Polárky ostatní hvězdy zdánlivě kreslí kružnice, které budou na star trails vidět, viz Obrázek 6.



Obrázek 6: Star Trails vytvořená ze 300 snímků, pořízených mobilním telefonem namířeným na Polárku. Fotoaparát mobilního telefonu Motorola Edge 30 Ultra: Clona 1.9, Expoziční čas 16 sekund, ISO 800.

Pro vytvoření star trails je potřeba vyfotografovat velké množství snímků ze stejného místa a v pravidelných intervalech. Ruční pořizování jednotlivých fotografií by bylo nepraktické, proto je nutné využít sekvenční snímání. Ne všechny zabudované aplikace Fotoaparátu tuto funkci podporují, takže může být nutné použít další aplikace, jako již zmíněnou DeepSky Camera nebo Intervalometer. Ten je sice placený, ale jeho výhodou je, že využívá již vyzkoušenou a uživatelsky

známou aplikaci Fotoaparátu, a v pravidelných intervalech pouze mačká tlačítko spouště.

Po pořízení fotografií je potřeba snímky složit do jednoho obrazu. To lze provést v různých programech na počítači, ale také přímo v telefonu pomocí aplikace Star Trails. Aplikace je zdarma, ale po shlédnutí reklamy lze dočasně odemknout i placenou verzi. V aplikaci stačí označit všechny pořízené fotografie (je možné je vybrat najednou tažením prstem), případně vyloučit ty, které se nepovedly. Star Trails aplikace pak v reálném čase ukáže, jak na sebe jednotlivé snímky skládá, takže se výsledná fotografie efektně tvoří přímo před našima očima.

Jak již bylo zmíněno, u některých moderních telefonů je v nativní aplikaci Fotoaparátu přímo režim star trails, který provede výše popsané kroky najednou.

Možná rozšíření: V případě zájmu lze žákům doporučit také úpravy pořízených snímků, tzv. postprocessing. Jednoduše v telefonu lze takové úpravy provést pomocí aplikace Snapseed, která je k dispozici zdarma a obsahuje širokou škálu nástrojů. Náročnější úpravy lze provádět i na počítači, což by se dalo výhodně propojit s výukou informatiky.

Pro pokročilé úpravy se často využívají snímky ve formátu RAW, který uchovává maximální množství obrazových dat. Na rozdíl od komprimovaného formátu JPG, který telefon automaticky upravuje a zmenšuje, umožňuje RAW detailnější editaci. Nevýhodou je větší velikost souborů a nutnost následných úprav. Nezpracované RAW snímky obvykle vypadají nevýrazně a je nutné je zpracovat například ve zmíněném programu Snapseed.

Právě obrázky 1 a 2 byly pořízeny ve formátu RAW a následně upraveny přímo na telefonu v programu Snapseed. Před úpravou je většina hodnot nastavena na nulu. Snímky byly zvýrazněny nastavením expozice na 1,20 EV, světla na -40, kontrastu a stínů na hodnotu 20, struktura byla nastavena na 15 a sytost na 10. Aby u zmenšených obrázků byly mezi fotografiemi v sérii viditelné rozdíly, použili jsme také nástroj křivky, kterým se pixelům s určitou světelností přiřadí nová světelnost. Některé parametry ovlivní výsledný obraz více, jiné méně. S nastavením si lze pohrát, aby se dosáhlo kýženého výsledku.

Ze stejné série snímků, ze které jsme vytvářeli star trails, lze vytvořit i časosběrné video, tzv. timelapse. Lidský mozek vnímá plynule promítané obrázky (například 30 snímků za sekundu) jako video, což umožňuje zrychlené sledování dějů, které by jinak byly příliš pomalé, jako právě zdánlivý pohyb hvězd na obloze. K vytvoření takových videí lze použít aplikaci Timelapse Video Maker, která je sice zadarmo, ale prémiové funkce jsou již placené. Celá řada programů existuje i pro použití v počítači.

V neposlední řadě pak lze chytrý telefon přichytit k okuláru dalekohledu a vyfotografovat obraz v něm. Dalekohled je schopen zachytit více světla, takže lze fotit detaily vesmírných objektů, které by jinak byly i při delší expozici fotoaparátu neviditelné. V takovém případě je ale potřeba zvolit zcela jiné nastavení fotoaparátu, v závislosti na tom, co přesně pozorujeme.

Shrnutí: Astrofotografie chytrým telefonem je dostupný způsob, jak zachytit noční oblohu i bez profesionální techniky. Klíčové je správné nastavení fotoaparátu, použití stativu a případně využití specializovaných aplikací. Kromě běžných snímků lze experimentovat s kompozicí, star trails nebo časosběrným videem.

Další možnosti nabízí úprava snímků v aplikacích jako Snapseed nebo práce

s RAW formátem. Astrofotografie tak propojuje vědu, technologii a kreativitu a může být nejen zábavným, ale i vzdělávacím prvkem ve výuce.

Literatura

1. *Astro.cz - Astronomický snímek dne* [online]. [cit. 2025-02-27]. Dostupné z: <https://www.astro.cz/apod/>.
2. *Milujeme fotografii - Pronikněte do tajů expozice: Expoziční trojúhelník* [online]. [cit. 2025-02-28]. Dostupné z: <https://www.milujemefotografii.cz/proniknete-do-taju-expozice-expozicni-trojuhelnik>.