

## Optimalizace vlastností dalekohledu AFDT

Tomáš Klvaňa, student systémového inženýrství, PEF ČZU, Praha

*Abstrakt: Uvádíme základní veřejné informace o novém slunečním dalekohledu EST (European Solar Telescope), na jehož realizaci se v rámci EU podílí také Česká republika. Součástí projektu je celodiskový dalekohled, který bude sloužit jako referenční zdroj pro souřadnicový systém dalekohledu a pozorovatele bude informovat o historii vývoje sluneční činnosti a o aktuální sluneční aktivitě na slunečním disku a v jeho blízkém okolí. Tento dalekohled, jehož koncepci v současné době vyvíjíme, bude pracovat v plně robotickém režimu. V práci popisujeme aktuální pohled na vlastnosti celodiskového dalekohledu.*

### 1. Proč se projektují stále větší dalekohledy

V oblasti přírodních věd dokonalejší přístroje přinášejí nové informace, které nám nebyly dříve dostupné a to je důvod, proč se projevuje snaha o stavbu stále větších astronomických dalekohledů. Zdokonalování optických technologií dovoluje zvětšovat rozměry nových dalekohledů a tím zlepšovat jejich technické parametry, jako je jejich světelnost a rozlišovací schopnost .

### 2. Rozdíl mezi slunečním a stelárním dalekohledem

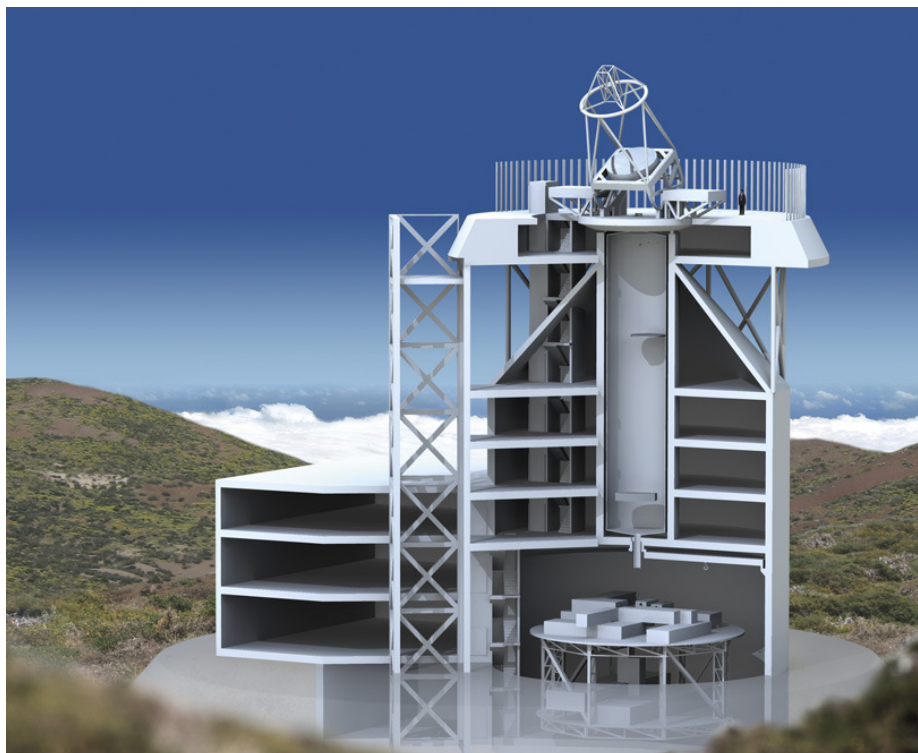
Oba typy dalekohledů mají zpravidla poněkud odlišnou funkci. Stelární dalekohled pozoruje zpravidla slabé objekty a proto je potřeba, aby dokázal zachytit maximum záření pozorovaného objektu. Z toho vyplývá požadavek na co největší průměr objektivu dalekohledu. Tím se současně řeší i požadavek vysokého rozlišení, který je zde také nezanedbatelný. Pro sluneční dalekohled není množství záření tak důležité, protože samo Slunce poskytuje mnohem více záření než stelární objekty. Zájem o velký průměr objektivu tady však zůstává z důvodu co nejvyššího rozlišení obrazu. Z konstrukčního hlediska se při současných technických možnostech dostáváme u slunečních dalekohledů do problémů. Vzhledem ke konečnému, technicky limitovanému rozlišení snímacího čipu povede zvyšování rozlišovací schopnosti ke zmenšování zobrazované oblasti na Slunci. Také velké množství zachycené sluneční energie vyžaduje specifické řešení. Konstrukční řešení slunečního dalekohledu se pak podstatně odlišuje od stelárního. Výsledný efekt se v praxi projevuje tím, že průměry největších slunečních dalekohledů jsou značně menší (cca 1,5 m), než největších dalekohledů stelárních (cca 10 m).

### 3. Projekty největších slunečních dalekohledů

Před několika léty byly zahájeny práce na dalekohledu EST (European Solar Telescope), [1],[2], což bude jeden ze dvou největších slunečních dalekohledů na světě (spolu s americkým dalekohledem ATST). Jedná se o zrcadlový dalekohled o průměru objektivu 4 metry [4]. Součástí dalekohledu EST bude celodiskový dalekohled AFDT (Auxiliary Full Disc Telescope), jehož projekt rozpracoval tým odborníků z České republiky.

### 4. Vlastnosti hlavního dalekohledu EST

Čtyřmetrové parabolické zrcadlo hlavního dalekohledu bude umístěno v otevřené trubkovité konstrukci na alt-azimutální montáži, umístěné na třicetimetrové věži (obr.1). Ve věži a její přístavbě bude velín pro ovládání dalekohledu, několik slunečních laboratoří, spektrografy, speciální filtry, polarizační optika a další příslušenství. Hlavní dalekohled bude vybaven adaptivní optikou, zlepšující kvalitu obrazu a tip-tilt systémem pro stabilizaci polohy obrazu v obrazové rovině. Abychom dosáhli maximálního úhlového rozlišení 0,04 obl.sec, (30 km na povrchu Slunce) musíme zorné pole hlavního dalekohledu omezit na 120x120 obl.sec (je to tím, že rozlišení snímacího čipu pro digitalizaci obrazu je technologicky limitováno). Sluneční disk má úhlový průměr přibližně 1900 obl.sec. V zorném poli hlavního dalekohledu nebude proto pozorovatel vidět celý sluneční disk, ale pouze jeho segment.

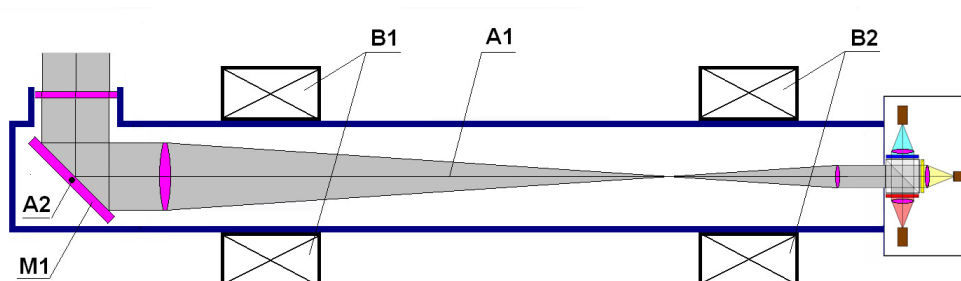


**Obr. 1: Předpokládaná podoba slunečního dalekohledu EST na Kanárských ostrovech (© EST Project).**

Jak plyne z právě uvedeného rozboru, malé zorné pole u velkých slunečních dalekohledů, zaměřených na velké prostorové rozlišení, je v současné době nutností a nezbývá, než se s ní smířit. Tato vlastnost velkých slunečních dalekohledů přináší sebou problém v informovanosti pozorovatele o probíhající sluneční aktivitě v místech mimo oblast, právě sledovanou hlavním dalekohledem. Proto byl hlavní dalekohled v projektu EST doplněn o celodiskový dalekohled AFDT (Auxiliary Full Disc Telescope), který řeší problémy, související s malým zorným polem hlavního dalekohledu [3]. Z mechanické koncepce dalekohledu AFDT, znázorněné na obr.2 je vidět, že dalekohled se svou konstrukcí liší od klasického dalekohledu. Navrhované řešení bude ve srovnání s klasickým dalekohledem, jehož tubus míří na Slunce, mechanicky stabilnější. Tubus AFDT včetně všech přídatných dílů dalekohledu bude rotovat kolem polární osy a deklinace Slunce bude nastavována rovinným zrcadlem M1 (obr.2).

### 5. Vlastnosti dalekohledu AFDT

Optické vlastnosti AFDT jsou limitovány požadavkem zobrazení celého slunečního disku a jeho blízkého okolí. V současné době je reálné použít snímací čip pro digitalizaci obrazu o velikosti 9000x6000 px, to znamená, že při úhlovém průměru slunečního disku 1900 obl.sec a zachování požadavku na potřebnou hustotu vzorkování (dva vzorky na bod obrazu) můžeme počítat s maximálním úhlovým rozlišením AFDT jedna oblouková vteřina. Pro toto rozlišení postačuje dalekohled s objektivem o průměru 150 mm. Konstrukční délka dalekohledu AFDT bude přibližně 3 m a závisí na geometrické velikosti použitého čipu [4].



**Obr. 2: Mechanická koncepce AFDT. A1 – polární osa, A2 – deklinační osa, B1, B2 – ložiska, M1 – rovinné zrcadlo.**

Dalekohled AFDT bude vybaven rozsáhlým souborem základních funkcí, které budou racionalizovat práci pozorovatele [3]. Tyto funkce budou vyžadovat minimální nároky na obsluhu. Pozorovatel nebude rozptylován potřebou ovládání AFDT a může se plně věnovat pozorování hlavním dalekohledem (práce AFDT bude probíhat převážně v robotickém režimu).

Zkušený pozorovatel bude mít přístup k nastavování parametrů základních funkcí (redukované manuální ovládání). Ovládání parametrů veškerých funkcí AFDT předpokládá hlubší znalosti a proto bude povoleno pouze technickému personálu (manuální ovládání).

Přístup k jednotlivým funkcím celodiskového dalekohledu bude rozdělen do tří úrovní: pasivní pozorovatel, aktivní pozorovatel a technik. Pasivní pozorovatel bude mít možnost pouze získávat informace, poskytované dalekohledem AFDT. Aktivní pozorovatel může chod některých činností AFDT ovlivňovat. Technik může přistupovat k práci s AFDT bez omezení.

#### 5.1. Pracovní režimy AFDT:

5.1.1. Manuální ovládání AFDT (výstraha při nevhodných atmosférických podmínkách)

5.1.2. Robotický režim (povoleno jen za vhodných atmosférických podmínek)

#### 5.2. Režimy řízení pohybů AFDT:

5.2.1. Manuální posuv obrazu slunečního disku vůči optické ose AFDT

5.2.2. Rovnoměrný pohyb AFDT v rektascenzi pomocí hodinového stroje

5.2.3. Poziční řízení pohybu AFDT (podle aktuálních efemerid středu slunečního disku a známých korekcí)

5.2.4. Pasivní pointace (zjišťuje aktuální odchylku středu obrazu slunečního disku od optické osy AFDT a tuto odchylku používá jako korekci souřadnicového systému)

5.2.5. Aktivní pointace (kompenzuje pohybem montáže AFDT aktuální odchylku středu obrazu slunečního disku od optické osy AFDT)

### 6. Současný seznam základních funkcí dalekohledu AFDT podle [3]

6.1. Monitorování aktuálního stavu na slunečním disku a v jeho okolí

(prostřednictvím filtrogramů ve spektrálních oblastech  $H_{\alpha}$ , CaII-K a v kontinuu spektra, každý z filtrogramů bude zobrazován na samostatné obrazovce)

6.2. Zobrazení celého disku a jeho blízkého okolí s co nejvyšším prostorovým rozlišením (možnost použití elektronického zoomu)

6.3. Stejná orientace všech filtrogramů na monitorech AFDT a na monitoru hlavního dalekohledu (software pro rotaci obrazů na monitorech nebo rotace CCD kamer)

6.4. Simultánní identifikace téhož vybraného objektu ve filtrogramech  $H_{\alpha}$ , CaII-K a v kontinuu spektra (záměrným křížem na obrazovkách monitorů)

6.5. Poziční měření vybraných objektů na slunečním disku a v jeho okolí (ve zvoleném souřadnicovém systému)

6.6. Lokalizace aktuálního zorného pole hlavního dalekohledu na monitorech  $H_{\alpha}$ , CaII-K a kontinua spektra dalekohledu AFDT (důležité pro kontrolu polohy hlavního dalekohledu)

6.7. Navedení hlavního dalekohledu na požadovaný objekt v  $H_{\alpha}$ , CaII-K nebo v kontinuu (vizuální, podle monitorů dalekohledu AFDT nebo podle zadaných souřadnic)

6.8. Vysoká stabilita optické a mechanické konstrukce (celodiskový dalekohled bude mít funkci kalibračního dalekohledu)

6.9. Testování přesnosti řídicího systému hlavního dalekohledu (podle odchylek mezi souřadnicovými systémy hlavního a celodiskového dalekohledu)

6.10. Aktualizace parametrů řídicího systému hlavního dalekohledu (kompenzace zjištěných odchylek polohy hlavního dalekohledu)

6.11. Zobrazování celého slunečního disku nezávisle na programu hlavního dalekohledu (standardní režim - pokud hlavní dalekohled sleduje objekty na slunečním disku a v jeho blízkém okolí)

6.12. Možnost pozorování vzdáleného okolí slunečního disku (speciální režim - část slunečního disku se může dostat mimo obrazovku monitoru).

6.13. Automatický záznam dlouhodobé historie sluneční aktivity (skvrny, klidné protuberance a filamenty)

6.14. Automatické rozpoznání aktivních procesů a jejich archivace metodou optimalizovaného záznamu [5] (erupce, aktivní protuberance a filamenty)

6.15. Zvýraznění oblastí, v níž probíhá aktivní proces na odpovídajícím monitoru AFDT

### 7. Optimalizace vlastností AFDT

7.1. Zrušit možnost pozorování vzdáleného okolí slunečního disku (funkce 6.12).

Při bližším rozboru se ukazuje, že při nevhodné manipulaci s dalekohledem AFDT může dojít k narušení funkcí archivace dat (funkce 6.13 a funkce 6.14). Pro tyto archivace je důležité, aby byl digitalizován vždy celý sluneční disk včetně jeho blízkého okolí. Pokud bude dalekohled AFDT nastaven na vzdálené okolí slunečního disku (funkce 6.12), nemusí být podmínka digitalizace celého slunečního disku dodržena.

Záznam aktivních procesů (funkce 6.14) a zachování kontinuity záznamu dlouhodobého vývoje sluneční aktivity (funkce 6.13) patří k prioritním výstupům AFDT a proto není vhodné jejich kvalitu narušit nevhodnou manipulací dalekohledem AFDT. Z tohoto důvodu navrhuji zrušit možnost pozorování vzdáleného okolí slunečního disku (funkce 6.12).

Do jaké míry je pozorování vzdáleného okolí slunečního disku důležité pro práci pozorovatele u hlavního dalekohledu vyplývá z následujícího rozboru vlastností celého systému: Hlavní dalekohled EST není konstruován pro pozorování objektů, nacházejících se v libovolné poloze mimo sluneční disk. Nevhodným nastavením polohy hlavního dalekohledu vůči Slunci může dojít k poškození jeho konstrukce. Proto můžeme hlavní dalekohled EST používat maximálně pro objekty v blízkém okolí slunečního disku. Tím pro pozorovatele ztrácí smysl nastavování AFDT do vzdáleného okolí slunečního disku. Tuto funkci má, v případě potřeby, k dispozici pouze technik.

#### 7.2. Lepší využití zorného pole dalekohledu AFDT

Blízké okolí slunečního disku je poměrně malé a proto je zvláště při výskytu protuberancí důležité mít možnost jeho maximálního využití. Lepšího využití zorného pole dalekohledu AFDT můžeme dosáhnout tak, že osu rotace Slunce budeme během roku nastavovat vždy kolmo k delšímu rozměru čipu (využijeme možnosti natáčení CCD kamer). Získáme tak větší prostor v oblasti kolem slunečního rovníku, kde se, narozdíl od oblastí pólů, protuberance vyskytují. Zároveň budou snímky, digitalizované pro oba archívy orientovány standardním způsobem a nebude třeba je dodatečně otáčet.

#### 7.3. Digitální ZOOM na filtrogramech monitorů AFDT

Pokud budou filtrogramy na monitorech AFDT používány jen pro vizualizaci stavu v zorném poli AFDT, bude zde možno používat digitální ZOOM, pomocí něhož oblast, vybranou kurzorem v zorném poli AFDT, zvětšíme 25x, což bude odpovídat zvětšení, použitému v zorném poli hlavního dalekohledu. Kvalita obrazu bude horší ve srovnání s kvalitou na obrazovce zorného pole hlavního dalekohledu, ale můžeme dosáhnout přesnějšího nastavení pozice kurzoru, což bude důležité při nastavování polohy hlavního dalekohledu.

### 8. Přínos optimalizace vlastností AFDT

8.1. Zrušení možnosti sledování vzdáleného okolí slunečního disku přinese zjednodušení práce s dalekohledem AFDT v uživatelském módu při zachování původních možností hlavního dalekohledu EST.

8.2. Stabilní poloha osy rotace Slunce dovolí lepší využití blízkého okolí slunečního disku při pozorování protuberancí.

8.3. Použití digitálního ZOOM v zorném poli AFDT dovolí přesnější odečet souřadnice pro nastavení polohy hlavního dalekohledu EST.

### LITERATURA:

- [1] Collados, M., 2008, „European Solar Telescope (EST): project status“, *Ground-based and Airborne Telescopes II*, ed. L.M. Sepp a R. Gilmozzi, Proc. SPIE 7012, str. 70120J-70120J-7.
- [2] Collados, M., Bettonvil, F., Cavaller-Marquez, L., Ermolli, I., a kol., 2010, „European Solar Telescope. Project status“, *Ground-based and Airborne Telescopes III*, ed. L.M. Sepp, R. Gilmozzi a H.J. Hall, Proc. SPIE 7733, článek 7733-13.
- [3] Sobotka, M., Klvaňa, M., Melich, Z., Rail, Z., a kol., 2010, „Auxiliary full-disc telescope for the European Solar Telescope“, *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy III*, ed. I.S. McLean, S.K. Ramsay a H. Takami, Proc. SPIE 7735, článek 7735-69.
- [4] Sobotka M., Klvaňa M., Melich Z., Rail Z., 2010, "Vývoj celodiskového dalekohledu pro EST", CD se zborníkem referátov z 20. celoštátneho slnečného seminára SÚAA v Papradne, květen 2010, Slovensko, I. Dorotovič(ed), Slov. ústred. hvezdáreň Hurbanovo, 33-35
- [5] Klvaňa M., Sobotka M., Švanda M., 2012, "Optimisation of solar synoptic observations", in Observatory Operation: Strategies, Processes and Systems IV, edited by A. B. Peck, R. L. Seaman, F. Comeron, Proc. of SPIE Vol. 8448, 84480A1-7, 2012

prezentace: [Optimalizace AFDT](#)