

Největší dalekohledy světa

David Ondřích, Michael Prouza

Astronomové jsou posedlí touhou po světle. Čím více světla, tím slabší, vzdálenější a zajímavější objekty mohou zachytit a přesněji pozorovat. Mnoho z těch nejpозорuhodnějších objevů bylo učiněno některým z gigantů, který byl v té době k dispozici. Od roku 1917 byl největším z pozemských teleskopů 2,5metrový Hookerův dalekohled na Mt. Wilsonu v Kalifornii. S jeho pomocí například Edwin Hubble objevil rozpínání vesmíru. Od roku 1948 pak kraloval mezi dalekohledy 5metrový Haleův teleskop na Mt. Palomaru, opět v Kalifornii. Palomarský dalekohled například objevil vzdálené kvasary. Se značnými obtížemi jej pak v roce 1976 překonal ruský 6metrový dalekohled BTA-6 (Большой телескоп азимутальный, Velký alt-azimutální dalekohled) na Kavkaze. Teprve v posledních dvou desetiletích se na Zemi vyrojilo hned celé hejno dalekohledů 8metrových a větších. V tomto článku přinášíme přehled těch největších současných dalekohledů, které pracují v oboru viditelného světla (tedy zhruba na vlnových délkách mezi 400–800 nanometry). V jeho závěru pak ještě krátce nahlédneme do budoucnosti a představíme vám čtyři dalekohledy, z nichž pravděpodobně tři vzniknou během příštího desetiletí.

Pozorování na největších optických dalekohledech světa

Astronomie zaujímá mezi přírodními vědami jedinečné postavení. Nejen proto, že veřejnost je jí díky nádhře a tajemnosti vesmíru nadmíru nakloněna (a proto se i v seznamu obřích a extrémně nákladných přístrojů často setkáme se soukromými zdroji financování), ale i proto, že při svém zkoumání vyhledává odlehlá a temná místa, daleko od lesku a světél měst.

Již dávno ale na vysokých horách nesedí osamělí pozorovatelé, sledující tu svou kometu či svou proměnnou hvězdu, kteří v mrazivé noci, zabalení do mnoha vrstev oblečení nemohou odtrhnout přimrzlé oko od okuláru velkého teleskopu. Výjimečné lidské oko bylo již dávno nahrazeno citlivějšími a specializovanějšími přístroji, jako jsou CCD čipy či spektrometry. Pozorování je kompletně řízeno počítači. Na vrcholu hory u dalekohledu sice obvykle jsou odborníci, ale jde o specialisty – pozorovatele. Běžný astronom se k dalekohledu častěji ani nedostane. Svůj návrh na pozorování vypracuje v písemné podobě a zašle k posouzení komisi, která mu buď přidělí či nepřidělí pozorovací čas. V tom lepším případě pak pozorovatel po několika měsících pořídí potřebné snímky či jiná měření a našemu žadateli dorazí do domovského pracoviště DVD se získanými daty. Tomuto typu pozorování se říká v odborné hantýrce „servisní mód“. Stále ještě existuje i „návštěvní mód“, který je určen zejména pro delší a náročnější pozorování. V takovém případě je náš astronom pozván třeba do Chile k dalekohledu, kde pak měření provádí osobně,

opět ovšem za pomoci pozorovatele, tedy experta na ovládání toho kterého dalekohledu a jeho přístrojů. Například v případě Evropské jižní observatoře, známé pod zkratkou ESO, která provozuje například čtveřici 8metrových dalekohledů **VLT** (*Very Large Telescope*), je pak další výhodou „návštěvníckého módu“ pozorování, že v případě, že váš návrh uspěje, pak všechny další náklady včetně cesty do Chile uhradí ESO.

Primát největšího optického dalekohledu na Zemi převzal od ruského 6metru v roce 1993 Keckův dalekohled s průměrem primárního zrcadla 10 metrů. Keckův dalekohled byl překonán teprve nedávno, když byl loni uveden do plného vědeckého provozu 10,4metrový dalekohled **GTC** na Kanárských ostrovech. Pozoruhodnější je možná fakt, že od roku 1993 dodnes se na Zemi vyrojilo celkem 13 dalekohledů s průměrem primárního zrcadla o velikosti 8 metrů a větším. Všechny tyto obří dalekohledy zde nebudeme podrobně probírat, omezíme se jen na jejich přehlednou tabulku (na str. 22). Detailněji popíšeme jen tři z nich – jeden z dalekohledů **Gemini**, čtyři dalekohledy **VLT** a konečně současného rekordmana – **GTC**.

Do našeho přehledu těch největších dalekohledů jsme zařadili i čtyři dalekohledy, které jsou zatím jen naplánovány či začínají postupně vznikat. Jde o přehlídkový dalekohled **LSST** s průměrem primárního zrcadla 8 metrů, americké projekty **TMT** (*Thirty Meter Telescope*; *Třicetimetrový dalekohled*) s průměrem primárního zrcadla 30 metrů a **GMT** (*Giant Magellan Telescope*; *Obří Magellanův dalekohled*), který

Umělecká představa 30metrového teleskopu TMT na vrcholu sopky Mauna Kea na Havaji.

bude sestávat ze sedmi 8 metrových zrcadel a bude tak mít efektivní průměr 24,5 metru a konečně **E-ELT** (*European Extremely Large Telescope*), největší z chystaných dalekohledů, který bude mít průměr primárního zrcadla neuvěřitelných 42 metrů.

Gemini North (Gillet)

Ze všech míst na Zemi je v průběhu roku vidět vždy jen část oblohy. Teoreticky by stačilo umístit všechny dalekohledy na rovník, ale místní podmínky vždycky omezují ideální výhled, nemluvě o problémech s atmosférou nízko nad obzorem. Myšlenka postavit na jižní i severní polokouli stejné dalekohledy, které společně pokryjí celou oblohu, není nijak nová, zabýval se jí už William Herschel (a pravděpodobně i ještě někdo před ním). Gemini North, neboli oficiálně *Frederick C. Gillet Gemini Telescope* (pojmenovaný po jednom z ideových tvůrců dalekohledů Gemini, průkopníkovi infračervené astronomie), je severní z dvojice dalekohledů o průměru 8,1 m. Stavba obou dalekohledů stála asi 184 milionů dolarů a realizovalo ji konsorcium zemí (USA, Velká Británie, Kanada, Chile, Brazílie, Argentina a Austrálie) pod hlavičkou AURA (*Association of Universities for Research in Astronomy*).

Historie obou dalekohledů sahá do poloviny 80. let 20. století, ale až v roce 1990 byla podepsána dohoda o stavbě přístrojů. Samotná stavba byla zahájena v říjnu 1994 na obou stanovištích naráz.

Jako místo pro severní dalekohled byl vybrán vrchol nečinné havajské sopky Mauna Kea, o kterém se už od roku 1966 vědělo, že jde o místo s nejlepšími pozorovacími podmínkami na severní polokouli. (Jižní dalekohled stojí na jednom ze dvou vrcholů Cerro Pachón, nedaleko observatoře na Cerro Tololo v Chile.) Mauna Kea se tyčí do úctyhodné výšky 4 205 m nad moře (spolu se svou sousedkou Mauna Loa jde ostatně o největší hory na Zemi, tedy pokud bychom jejich výšku měřili od mořského dna) a na jejím vrcholu panují velmi suché a stabilní atmosférické podmínky, což místo předurčuje k využití pro infračervenou astronomii.

Dalekohled samotný je typu Cassegrain s primárním zrcadlem z jediného kusu skla (byť vytvořeného svařováním menších šestibokých hranolů), které váží 22 tun a jeho tloušťka je cca 20 cm. Zrcadlo pro Gillet bylo vyrobeno už v roce 1995 a čtyři roky trvalo, než na něj dopadlo první světlo noční oblohy a absolvovalo během té doby loď trasu New York – Paříž – Havaj. Součástí observatoře je vakuová napařovací komora, protože 8m zrcadlo by bylo příliš náročné na pokovení dopravovat jinam. Povrch zrcadla je pokoven stříbrem, které lépe odráží IR světlo než dostupnější hliník.

Montáž dalekohledu váží 342 tun a primární zrcadlo drží v lůžku podpíraném 120 hydraulickými písty, které umožňují vyrovnávat tepelné a gravitační deformace skleněné desky (povrch zrcadla by se od ideální plochy za žádných okolností neměl odchýlit o více než 30 nm). Dalekohled využívá adaptivní optiku s umělou naváděcí hvězdou, kterou na rozhraní mezoféry a termosféry, ve výškách kolem 90km, vytváří excitací atomů sodíku laser s vlnovou délkou 589,2 nm. Kopule dalekohledu má neobvyklou konstrukci, umožňuje zdvihnout spodní zhruba třetinu polokoule v průběhu stmívání, aby se co nejrychleji vyrovnala vnitřní a venkovní teplota. Kromě toho je také postříbřená, aby v průběhu dne absorbovala co nejméně tepelného záření ze Slunce. Dalekohled i kopule se ovládá vzdáleně

ze základní stanice ve městě Hilo na východním pobřeží Velkého ostrova (Havaje). Zrcadlo, konstrukce dalekohledu i kopule jsou u obou dalekohledů stejné, jejich přístrojové vybavení se však liší.

Gillet je vybaven pro optickou a infračervenou astronomii. O zobrazování v optickém oboru se stará zařízení GMOS (*Gemini Multi-Object Spectrograph*) je spektrograf, který umožňuje pořizovat buď klasická spektra jednoho objektu, více spekter objektů v zorném poli nebo CCD snímkování celého zorného pole, které má velikost 5,5'×5,5'. Ve středu zorného pole lze navíc zvolit speciální spektrální režim, ve kterém lze snímat náraz spektra v čtvercovém poli 30×30 bodů s úhlovým rozlišením 0,2". Zařízení disponuje řadou filtrů, spektroskopických mřížek a umožňuje tvorbu vlastních masek pro snímání spekter více objektů náraz. V blízkém IR oboru jsou k dispozici dva přístroje, NIRI (*Near InfraRed Imager and Spectrometer*) a NIFS (*Near-infrared Integral Field Spectrometer*), které poskytují zhruba tytéž možnosti jako GMOS, ale v IR. Pro oblast středních IR vlnových délek je určen přístroj Michelle, který pracuje v oboru vlnových délek 7–26 μm a který umožňuje pracovat jako CCD kamera, spektroskop a polarimetr. V současnosti se vyhodnocují testy přístroje GNIRS (*Gemini Near-InfraRed Spectrograph*), původně umístěného na Gemini South a opraveného po havárii z roku 2007, kdy se porouchala řídicí jednotka termostatu a přístroj se doslova upekl, což nejvíce poškodilo samotný detektor.

Very Large Telescope (VLT)

Velmi velký dalekohled byl v druhé polovině 20. století bezkonkurenčně nejodvážnějším projektem evropských astronomů. Označení dalekohled je poněkud nepřesné, protože dalekohledů je ve skutečnosti osm – čtyři velké, s průměrem hlavního zrcadla 8,2m, a čtyři malé (pomocné), které mají průměr zrcadla „jen“ 1,8m (tedy jen o trochu méně než ondřejovský Dvoumetr).


Rozhodnutí o stavbě přístroje padlo 1. prosince 1987, přesně o tři roky později bylo vybráno místo, kde má dalekohled stát. Stavba byla slavnostně zahájena 1. prosince 1996 a první světlo prošlo optickým systémem prvního z hlavních dalekohledů 25. května 1998 (tedy o čtyři roky později, než bylo původně plánováno).

Součástí observatoře (ale ne VLT) jsou ještě *Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy (VISTA)* o průměru 4m a budovaný *VLT Survey Telescope (VST)* s průměrem hlavního zrcadla 2,6 m. Celkem zatím stála stavba dalekohledů 310 milionů Eur, nemalé jsou také provozní náklady – sekunda pozorovacího času jednoho hlavního dalekohledu stojí přibližně 1 Euro.

Umístění dalekohledu bylo zvoleno na vrcholu Cerro Paranal (jako druhé možné umístění byla zvažována již existující observatoř La Silla), do té doby nijak význačné hory asi 120km daleko od města Antofagasta a přibližně 12km od pobřeží Tichého oceánu v poušti Atacama v severní části Chile.

Místo vyhrálo díky vynikajícím atmosférickým podmínkám v nadmořské výšce 2635m a v neposlední řadě díky nedostupnosti z civilizace. Vzdušná vlhkost se pohybuje pod 20% (většinou kolem 10%), roční srážkový úhm je méně než 10mm, což zahrnuje i občasně sněžení, teploty se pohybují od -8° do 25°C. Za pět let byl dosud pustý vrchol hory přeměněn v zatím (efektivně) největší optický systém, kterým lidstvo zkoumá vesmír.

Čtyři hlavní dalekohledy jsou pojmenované v jazyce Mapučů podle význačných objektů na obloze: **Antú** – Slunce (původně označovaný jako UT1 [z. *Unit Telescope*]), **Kueyen** – Měsíc (původně UT2), dokončený v roce 1999, **Melipal** – Jižní Kříž (původně UT3), který byl dohotoven roku 2000, a konečně **Yepun** – Večernice (původně UT4), dostavěný v roce 2001. Čtyři pomocné dalekohledy byly postupně dokončeny v letech 2004–2006. (Dalekohled VISTA byl uveden do provozu v prosinci loňského roku a práce na dalekohledu VST finišují a *snad* bude hotov ještě letos.) Hlavní dalekohledy mohou pracovat samostatně, čímž tráví nejvíce pozorovacího času, ve dvojicích i všechny čtyři dohromady. Se čtyřmi pomocnými dalekohledy navíc pak tvoří interferometr s efektivním průměrem zrcadla 16 m. V režimu interferometru ovšem „dalekohled“ pracuje jen asi 20% pozorování. Pomocné dalekohledy se automaticky pohybují i se svými kopulemi po kolejnicích a umějí se s obrovskou přesností zastavit na celkem 30 vybraných stanovištích, odkud se světlovody v podzemí svádí světlo do



Gemini North na vrcholu Mauna Kea na Havaji. Oranžový paprsek laseru vytváří vysoko v atmosféře obraz umělé hvězdy.



Západ Slunce na Paranalu – VLT se připravuje k pozorování

společného ohniska interferometru. Pomocné dalekohledy fungují jako samostatný interferometr i v době, kdy hlavní dalekohledy mají jiný pozorovací program. Hlavní dalekohledy jsou typu Ritchey-Chrétien a každý umožňuje využít Cassegrainova, Nasmythova i Coudé ohniska, v nichž jsou umístěné různé detektory (Coudé ohniska se využívá v režimu interferometru). Všechny dalekohledy také využívají systémy aktivní a adaptivní optiky. Kopule hlavních dalekohledů jsou vybaveny aktivním chlazením, a to včetně zrcadel.

Celkový počet kamer a detektorů, které na jednotlivých dalekohledech a jejich kombinacích pracují, je větší než deset, nepočítaje v to detektory interferometru. Většina detektorů umožňuje pracovat jak v režimu zobrazovacího zařízení, tj. v podstatě kamery se sadou filtrů, tak v režimu spektrografu. Optické detektory dokáží pracovat v optickém a blízkém infračerveném oboru spektra, spektrografy fungují buď jako spektrograf (ať už klasický nebo echelle) nebo jako MOS (*Multi-Object Spectrograph*), tedy pořizují spektra více objektů naráz (opět ve více konfiguracích, nejčastěji s využitím masek a optických vláken). V případě pozorování úhlově malých objektů lze navíc zobrazovací a spektroskopický režim kombinovat a pořizovat tak naráz fotometrii i spektroskopii daného objektu.

Observatoř na vrcholu Paranalu si můžete najít také na družicových snímcích na Google Maps, kromě dalekohledů jsou dobře patrné i pomocné stavby včetně heliportu, garáží, dílen a ubytovacích zařízení. Protože okolí observatoře je skutečně nehostinné a víc než co jiného připomíná podmínky na povrchu Marsu, byl pro ubytování vědců i techniků pracujících na observatoři vybudován částečně podzemní komplex, přezdívaný *La Residencia*. Jedná se o unikátní čtyřpodlažní konstrukci, která spojuje obytné prostory, vnitřní zahradu, restauraci, plavecký bazén, knihovnu a další místnosti s normálními životními podmínkami. Stavba je dílem dvou německých architektů Auera a Webera, získala řadu architektonických ocenění a můžete si ji

Devatenáct hodin na Paranalu

Tu cestu jsem plánoval několik let. Chtěl jsem při příležitosti našich služebních cest do Argentiny kvůli výstavbě observatoře Pierra Augera těsně pod Andami ukázat také svým šéfům i kolegům, jak si vedou evropští astronomové přímo v Andách na protější chilské straně velehor. Nakonec to vyšlo líp, než jsem si myslel, když se přiblížil okamžik, kdy měla být Česká republika přijata do svazku Evropské jižní observatoře (ESO). Můj záměr tak dostal oficiální rámeček – na Cerro Paranal s námi cestoval jak tehdejší předseda Akademie věd Prof. Václav Pačes, tak duchovní otec našeho příjetí do ESO a šéf zahr. odboru Akademie Prof. Jan Palouš. Když se v krásném slunném počasí poprvé vnořil zplanýrovaný vrcholek hory s podivnými krabicemi, které vůbec ničím nepřipomínají klasické kopule astronomických dalekohledů, zatajil se mi dech a pořídil jsem přes okno autobusu svůj první snímek VLT. A když jsme zastavili u návštěvnického centra při vjezdu na území observatoře, kde na stožárech vlály vlajky Chile, ESO a Česka, tak jsem byl naměkko.

K mým nejlepším přátelům mezi astronomy totiž patří dva starší kolegové, Zdeněk Kvíz (+1993) a Luboš Kohoutek, kteří po sovětské invazi odešli do exilu do Austrálie, resp. do Německa, což jim vzápětí umožnilo soustavně pozorovat na starší části ESO na observatoři La Silla. Psávali mi o svých zkušenostech v době, kdy mě ani ve snu nenapadlo, že se jednou podívám na observatoř, která doslova vyrostla z nenahraditelných zkušeností, které evropští astronomové získali na La Silla, a že mne u VLT bude provázet můj někdejší diplomant z Ondřejova.

Po převratu se mě několik vysoce postavených činitelů ptávalo, co bych si nejvíc přál jako astronom a pokaždé jsem odpovídal, že mým snem je, aby Česko vstoupilo do ESO. V té době jsem přirozeně myslel jen na La Sillu; výstavbu VLT komplikovaly spory s údajným soukromým majitelem pozemku na Paranal, které vedly až k policejní razii na staveništi a úvahám o tom, že se osmimetry postaví v Jižní Africe nebo někde jinde na jižní polokouli. Snad nikdy v životě mne pohled na slajdičku českou vlajku uprostřed pustých chilských And proto tak nepotěšil jako právě onoho slunného 6. listopadu 2006.

Základní dojem z observatoře byl prostě úžasný. Promyšlená infrastruktura v horské poušti je sama o sobě malý zázrak. Obří dalekohledy jsou pak zázrak velký. Připadal jsem si jako ve sci-fi filmu, jaké vychytávky tam člověk vidí na každém kroku. Uvnitř těch nevzhledných škatulí člověk nejprve pochopí, že jejich tvar je podřízen účelu, aby pro osmimetry uvnitř poskytly co možná nejlepší ochranu zejména proti větru a proti teplotním spádům. Zároveň máte pocit, že tubus osmimetru se nemůže v kopuli téměř pohnout, jak je těsně obestaven tou škatulí. Na rozdíl od dřívějších velkých dalekohledů sedí pozorovatelé v místnostech, kde na dalekohled vůbec nevidí, čili teoreticky v zásadě by ho mohli ovládat přes internet třeba z Garchingu, což také v principu funguje. Poslední velký dojem na Paranal má člověk z té černočerné tmy. V argentinské pampě jsme na dobrou noční tmou docela zvyklí, ale ta paranalská je ještě černější, jednak díky nadmořské výšce, ale též díky vrstvě mraků pod observatoři, která dokonale odstíní světla i vzdálených osad nebo městeček. Pohled očima na paranalskou noční oblohu je zážitek, který opravdu bere dech.

■ Jiří Grygar

zvenku i zevnitř prohlédnout v zatím posledním filmu s Jamesem Bondem.

Gran Telescopio Canarias (GTC)

Velký kanárský dalekohled, často přezdívaný jako *GranTeCan* je jeden z nejmambiciózněj-

ších evropských projektů na poli velkých přístrojů. Prvotní nápad vznikl v roce 1987, teprve v roce 1994 byla založena španělská společnost GRANTECAN s cílem realizovat největší optický dalekohled na severní polokouli. Od začátku bylo zřejmé, že podpora španělské

Obrázek	Dalekohled	Efekt. \varnothing [m]	Typ zrcadla	Umístění	Provozovatel	Rok dokonč.
	Gran Telescopio Canarias (GTC)	10,4	Segmentové ze 36 kusů	La Palma, Kanárské ostrovy	Španělsko, Mexiko, USA	2006/2009
	Keck 1	10	Segmentové ze 36 kusů	Mauna Kea, Havajské ostrovy	USA	1993
	Keck 2					1996
	Southern African Large Telescope (SALT)	9,2	Segmentové z 91 kusu	Sutherland, JAR	JAR, USA, UK, Německo, Polsko, Nový Zéland	2005
	Hobby-Eberly Telescope (HET)	9,2	Segmentové z 91 kusu	Mount Fowlkes, Texas, USA	USA, Německo	1997
	Large Binocular Telescope (LBT)	2x8,4	2x souvislé	Mount Graham, Arizona, USA	USA, Itálie, Německo	2004
	Subaru (JNL)	8,2	Souvislé	Mauna Kea, Havajské ostrovy	Japonsko	1999
	Antú (VLT1)	4x8,2 (spolu 16)	Souvislé	Cerro Paranal, Chile	Země sdružené v ESO, Chile	1998
	Kueyen (VLT2)					1999
	Melipal (VLT3)					2000
	Yepun (VLT4)					2001
	Gemini North (Gillet)	8,1	Souvislé	Mauna Kea, Havajské ostrovy	USA, UK, Kanada, Chile, Austrálie, Argentina, Brazílie	1999
	Gemini South			Cerro Pachón, Chile		2001

Přehled největších optických dalekohledů s (efektivním) průměrem primárního zrcadla větším než 8 m

vlády (a místní kanárské samosprávy) na vybudování tak velkého přístroje stačit nebude, proto Kanárský astrofyzikální ústav (IAC, *Instituto de Astrofísica de Canarias*) hledal partnery po celé světě - nakonec se projektu účastní také Mexiko (prostřednictvím astronomického ústavu *Universidad Nacional Autónoma de México*, což je nejstarší univerzita v Mexiku a střední Americe vůbec, byla založena již roku 1551, a dále *Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica*, tedy něco jako národní astronomický, astrofyzikální a optoelektronický ústav) a USA (prostřednictvím *University of Florida*). Na přístrojovém vybavení se pak podílí celá řada dalších institucí a firem, převážně z ibero-americké oblasti.

Stavba dalekohledu trvala sedm let a spolklá nakonec 130 milionů. Slavnostní uvedení do provozu proběhlo 24. července 2009 za účasti španělského krále Juana Carlose I. a mnoha (nejen) astronomických celebrit. Dalekohled samotný sídlí na ostrově La Palma v Kanárském souostroví na observatoři *Roque de los Muchachos* (ORM, název by se dal přeložit jako „Chlapecká skála“) v nadmořské výšce 2396 m. Jedná se po vrcholu Mauna Kea na Havaji o druhé místo s nejlepšími pozorovacími podmínkami naseverní polokouli Země, kvůli tomu ostatně už před stavbou GTC už tato observatoř hostilacelou řadu velkých optických přístrojů (např. WHT – *William Herschel Telescope* o průměru 4,2m, TNG – *Telescopio Nazionale „Galileo“* o průměru 3,5m, NOT – *Nordic Optical Telescope* o průměru 2,5m a řadu dalších).

Observatoř využívají také sluneční fyzici (např. SST – *Swedish Solar Telescope* s průměrem 1m) a částicovní fyzici (experimenty *MAGIC* a *SuperWASP*).

Rozměry dalekohledu jsou jen těžko představitelné: průměr primárního segmentového zrcadla (segmenty jsou šestiúhelníkové a celkem jich je 36, každý váží cca 450kg) je v nejširším místě téměř 11,4m, efektivní průměr pak je o necelý metr menší. Sběrná plocha primárního zrcadla je zhruba 75 m².

Dalekohled je vybaven systémem adaptivní optiky, řídicí elektronika dále monitoruje gravitační i teplotní deformace primárního zrcadla a koriguje s frekvencí 200 Hz nepřesnosti v ploše zrcadla pomocí miniaturních motorků se základním krokem odpovídajícím posunu zrcadla o 1,19 nm. Konstrukce dalekohledu umožňuje přesmě-

Návštěva Gran Telescopio Canarias je velkolepá od začátku do konce. Po tom, co přiletíte nebo připlujete na La Palmu, čeká vás ještě dlouhá jízda k vrcholku neuvěřitelně strmého vulkánu nekonečnými serpentinami mokré silnice. Za okýnkem se střídají mangovníky s borovicemi obrostlými neskutečně dlouhými jehlicemi, nízkou klečí až je kolem jenom kamenitá půda a barevné skály. Když se konečně dostanete na hranici mraků, jste tam. První, co vás namlsá na rozdechvěle očekávané spatření dalekohledu, je šestiúhelníkové zrcadlo v recepci hvězdárny. Další nádech dobrodružství okusíte po vstoupení do obrovského dómu, kde hned za dveřmi obdržíte helmu, snad aby až na vás dopadne to ohromení, jste se nezranili. A ohromení na vás skutečně dopadne, ale našťástí máte tu helmu. Ono, i když stojíte přímo pod tou velkolepou konstrukcí, tak je dost těžké si uvědomit opravdové rozměry zrcadel. Teprve, když spatříte překvapivě malou postavu technika někde blízko primární odrazné plochy, můžete žasnout naplno.

■ Ivana Ebrová

rovat svazek paprsků do tří ohnisek, v základní konfiguraci má ohniskovou vzdálenost 16,5 m. Celková hmotnost dalekohledu s montáží se blíží 500 tun, uložených na kluzných ložiskách na olejovém filmu pod tlakem několika atmosfér. Kopule kolem dalekohledu má výšku 41 m a váží také přibližně 500 tun. Montáž nevyužívá inkrementálních čidel, ale polohových prvků, které jsou schopné určit její polohu s přesností pod 1 μm . Montáž disponuje systémem dynamického závaží, které se přesouvá podle potřeby, aby odpovídalo váze konkrétního přístrojového vybavení v Cassegrainově ohnisku.

Od května 2009 začala pozorování s přístrojem OSIRIS (*Optical System for Imaging and low Resolution Integrated Spectroscopy*), který je jedním ze dvou základních instrumentů GTC. OSIRIS je hybridní zobrazovací zařízení, které dokáže pracovat buď jako standardní CCD kamera nebo jako spektroskop zobrazující současně spektra více objektů naráz. Kameře lze předřadit různé filtry (s měnitelnou efektivní šířkou) a při zorném poli 8,5'x8,5' je kamera schopná provádět i velmi rychlou fotometrii.

Druhým instrumentem je *CanariCam*, který je primárně instalován v Nasmythově ohnisku dalekohledu a který je ještě variabilnějším zařízením – spojuje v sobě schopnosti infračerveného spektrografu, polarimetru a koronografu, opět s možností využití jako přímé CCD „kamery“. Pro fotometrii je k dispozici téměř



Optické schéma dalekohledu LSST je tvořeno třemi zrcadly a třemi refraktivními prvky.

dvacítku filtrů, spektrograf disponuje mj. deseti roztečemi štěrbin, polarimetr a koronograf disponují řadou masek a konfigurací. Zorné pole přístroje v základní konfiguraci (různé konfigurace pracují s různými částmi pole) je 25,6"×19,2". Pro dalekohled se v současnosti připravuje řada dalších přístrojů hlavně pro infračervený obor.

Large Synoptic Survey Telescope (LSST; Velký celooblohový přehlídkový dalekohled)

Zdánlivě trpaslíkem mezi budoucími projekty je přehlídkový dalekohled LSST. Přesto jeho uvedení do provozu, které se očekává v roce 2017, bude znamenat revoluci v astronomii.

Dalekohled má unikátní optický design, kdy jsou k vytvoření obrazu využita tři zrcadla a ze tří čočky. Primární zrcadlo o průměru 8,4 metrů tvoří jeden celek se zrcadlem terciárním, přičemž terciární zrcadlo má samozřejmě jiný poloměr křivosti. Po odečtení plochy terciárního zrcadla je tak efektivní průměr dalekohledu pouze 6,5 metru. Po třech refrakčních elementech následuje ještě zakřivený barevný filtr a teprve za ním nakonec celá optická soustava vytvoří plochý obraz pokrývající zorné pole zaujímající 10 stupňů čtverečních. V ohniskové rovině je umístěna gigantická kamera s hranou dlouhou přes 63 centimetrů. Celá mozaiková kamera bude tvořena celkem 189 CCD čipy, kdy každý z nich bude mít rozlišení 16 Megapixelů. Celkově tak bude kamera čítat 3,2 miliard pixelů a jeden pixel bude zabírat pouze 0,2 úhlové vteřiny oblohy.

Zároveň bude tento gigant schopen nasnímkovat celou pozorovatelnou oblohu za pouhé tři noci. Každá expozice totiž potrvá pouhých 15 sekund, pro záznam rychle proměnných zdrojů bude provedena ve stejném filtru dvakrát těsně po sobě a přitom bude celá kamera vyčtena vždy za méně než dvě sekundy. Na přesun na další místo na obloze bude dalekohled potřebo-

vat jen 5 sekund, a proto dokáže bez potíží pokrýt celých pozorovatelných 20 tisíc čtverečních stupňů oblohy za méně než 1500 minut, tedy za méně než tři noci dlouhé 8 hodin.

Během očekávaných 10 až 15 let svého života teleskop vyfotografuje každé místo na obloze ve všech ze šesti filtrů zhruba 300 až 400× a vytvoří tak naprosto unikátní film hlubokého vesmíru. S předpokládanými parametry přístroje totiž na jednotlivé expozici budou patrné objekty do 25. magnitudy jasnosti a na složené expozici všech pořízených snímků pak objekty téměř až do 28. magnitudy. Filtry pokryjí oblast od 300 do 1100 nm, tedy více než celou viditelné spektrum, ale i jistou část spektra ultrafialového a blízkou část spektra infračerveného.

Předpokládá se, že takový dalekohled odhalí bezprecedentní množství proměnných objektů, například alespoň 250 tisíc vzácných standardních kosmologických svíček, supernov typu Ia s červeným posuvem větším než jedna. Dalekohled dále nalezne zhruba 90 % procent všech planetek s průměrem větším než 140 metrů, které potenciálně mohou zkřížit dráhu Země a které mohou znamenat pro pozemšťany globální nebezpečí. Dalekohled též pečlivě proměří polohy 3 miliard galaxií a zdaleka nejpřesněji tak zmapuje kosmologické okolí naší Galaxie a přispěje k přesnému určení fundamentálních parametrů našeho vesmíru, zejména množství temné hmoty a velikosti kosmologické konstanty. Očekává se, že jeho měření bude natolik přesné, že se s jeho pomocí podaří určit, zda náš vesmír ovládá čistokrevná kosmologická konstanta, tedy taková kdy se její hustota plně podílí na repulzi (urychlování rozpínání) vesmíru, anebo zda je v našem vesmíru přítomna spíše obecnější pátá síla, kdy repulze je menší než v případě kosmologické konstanty. (Pro ty, kteří mají rádi rovnice upřesňujeme, že pro kosmologickou konstantu platí stavová rovnice, kde tlak $p = -\rho$ (kde ρ je hustota), zatímco pro zobecněnou pátou sílu je rovnice malinko složitější $p = -w\rho$, kde w je větší než -1 a menší než 0.)

Každou noc dalekohled vyprodukuje 15 Terabytů dat a za dobu svojí životnosti zhruba jeden Petabyte (10^{15}) obrázků. Pozoruhodné je též to, že všechny snímky mají být pro kohokoli veřejně dostupné. Zárukou toho, že se to možná skutečně podaří má být i účast firmy Google, která možná ze snímků LSST vytvoří neuvěřitelně podrobný „Google Universe“.

Dalekohled bude umístěn v Chile na hoře Cerro Pachón ve výšce asi 2600 metrů nad mořem. Na stejném místě již stojí 8metrový dalekohled Gemini South a 4,2metrový dale-

kohled SOAR. Stavba dalekohledu vyjde asi na 500 milionů dolarů, z toho zhruba z jedné třetiny se na nyní bude podílet americká NSF (*National Science Foundation*), z další třetiny americké Ministerstvo energie (*Department of Energy; DOE*) a poslední část uhradí soukromí dárci. 20 milionů již projektu věnoval například tvůrce Wordu a Excelu a dvojnásobný vesmírný turista Charles Simonyi a 10 milionů dolarů dlouholetý šéf Microsoftu Bill Gates. Projekt se podaří s nejvyšší pravděpodobností skutečně realizovat, protože při nedávné americké desetileté přehlídce chystaných astronomických projektů (*Astro Decadal Survey 2010*) získal projekt LSST nejvyšší prioritu mezi chystanými pozemními dalekohledy a bylo mu přislíbeno 421 milionů z federálních amerických zdrojů v průběhu následujících 10 let.

Na projektu se kromě Američanů podílejí i Francouzi a Chilani, ale i čeští vědci z Fyzikálního ústavu AV ČR, kteří jsou součástí týmu chystajícího kameru a podílejí se zejména na testování CCD čipů pro tento jedinečný přehlídkový dalekohled.

Thirty Meter Telescope (TMT; Třicetimetrový dalekohled) a Giant Magellan Telescope (GMT; Obří Magellanův teleskop)

Situace dvou konkurenčních amerických projektů obřích dalekohledů není tak růžová jako v případě LSST. V již zmíněném vlivném přehledu amerických projektů *Astro Decadal Survey 2010* bylo doporučeno, aby k federálnímu financování byl vybrán pouze jeden z obou projektů. Který by to měl být by mělo být rozhodnuto v průběhu příštího či přes-příštího roku.

TMT již má zajištěné místo na nejkvalitnější astronomické destinaci na severní polokouli, na havajské sopce Mauna Kea, v nadmořské výšce přes 4000 metrů. Oproti tomu GMT směřuje na jižní polokouli, předpokládá se, že byl měl být umístěn na observatoři Las Campanas v Chile v nadmořské výšce 2500 metrů.

Oba konkurenční projekty vycházejí z tradiční rivality dvou elitních institucí z kalifornské Pasadeny – Carnegieho institutu a Kalifornského technologického institutu (Caltechu). Oba ústavy spolupracovaly na stavbě a provozu 5metrového dalekohledu na Mount Palomar, rozkmořil je jejich ředitel Maarten Schmidt (a objevitel kvasarů) v roce 1979, který již byl unaven tím, že každé jeho rozhodnutí schvalovaly dvě rady dvou ústavů. Od té doby se jejich cesty rozešly a rivalita trvá dodnes. Caltech se podílel na budování Keckových dalekohledů

a Carnegieho institut zase pracoval na konstrukci dvojice 6,5metrových Magellanových dalekohledů v Chile.

Carnegieho ústav se snaží ve spolupráci s několika významnými univerzitami v USA (například s Harvardovou univerzitou, Chicagskou univerzitou, Arizonskou univerzitou či Texaskou univerzitou) a s dalšími institucemi z Austrálie a Jižní Koreje o stavbu pozoruhodného dalekohledu GMT, který bude složen ze sedmi 8metrových monolitických zrcadel. Podle plánu by dalekohled měl být dokončen v roce 2018 a jeho konstrukce by měla stát zhruba 600 milionů dolarů. Carnegieho ústav přislíbil přispět 60 milióny dolarů, další desítky miliónů dolarů by měly přitéci z amerických univerzit, většina peněz pak zatím chybí a rozhodnutí o federálním americkém příspěvku tak bude klíčové.

O něco lépe si v této chvíli stojí 30metrový dalekohled TMT, využívající obvyklejšího segmentového zrcadla, které bude tvořeno 492 šestiúhelníkovými 1,44metrovými segmenty. Celých 200 milionů dolarů (z celkem potřebných 750 milionů dolarů) totiž daroval na jeho stavbu známý počítačový odborník Gordon Moore se svojí manželkou Betty. Moore je jedním ze zakladatelů firmy Intel a autor známého zákona o zdvojnásobování množství tranzistorů v počítačových procesorech. Na přípravách pro stavbu TMT se kromě Caltechu podílí dále asociace kanadských univerzit ACURA, Kalifornská univerzita, Národní astronomická observatoř Japonska, jako pozorovatelé se účastní čínské a indické observatoře. TMT bude mít pozoruhodný spektrální rozsah, jeho přístroje budou pracovat od 310 nanometrů na hraně ultrafialové až po 28 mikronů daleko v infračervené oblasti. Dalekohled by měl spatřit první světlo v roce 2017.

European Extremely Large Telescope (E-ELT; Evropský extrémně velký dalekohled)

Nejambicióznějším projektem nadcházející dekády je bezpochyby projekt Evropské jižní observatoře (*European Southern Observatory; ESO*) na stavbu dalekohledu E-ELT s průměrem primárního zrcadla 42 metrů. Toto gigantické zrcadlo má být složeno z téměř tisíce segmentů o průměru 1,4 metru. Dalekohled má dosti složitý design tvořený celkem pěti zrcadly. Pro zvýšení kvality obrazu bude, jak je v současnosti obvyklé, využita aktivní i adaptivní optika a sledování laserových hvězd ve vysoké atmosféře.

Konstrukce dalekohledu má vyjít zhruba na jednu a čtvrt miliardy Euro a přístroj má spatřit

první světlo v roce 2019 (podle posledních zpráv z ESO spíše až o dva roky později). Získání dostatečného množství prostředků za současného provozu observatoří na Paranal a na La Silla a značného podílu na provozu milimetrového detektoru ALMA bylo donedávna pro management ESO tvrdým oříškem. Zatím se zdá, že se jej podaří vyřešit tak, že roční členský příspěvek všech zúčastněných zemí (včetně České republiky) postupně každý rok poroste o 3% procenta a zároveň bude použit jeden trik. Tím bude s vysokou pravděpodobností přistoupení první mimoevropské země (vyjma Chile) do ESO. Touto novou zemí má být Brazílie. Každý člen ESO kromě ročního příspěvku platí i nemalý vstupní poplatek, který je úměrný celkovému hrubému domácímu produktu země. Odhaduje se, že 200milionová Brazílie tak zaplatí za svůj vstup kolem 300 milionů Euro.

Dalekohled bude vystavěn nedaleko stávající observatoře na vrchu Paranal v Chile, kde je umístěna i čtveřice dalekohledů VLT, konkrétně 22 kilometrů na východ od Paranal, na kopci zvaném Armazones s nadmořskou výškou 3080 metrů. Je pozoruhodné, že výbor složený ze zástupců jednotlivých zemí, dokázal odolat velkému španělskému pokušení. Mezi kandidátskými místy totiž byla i La Palma z Kanárských ostrovů. Z dlouhodobého sledování ale vyšlo, že ve srovnání s Chile je na La Palmě zhruba o 20% méně jasných nocí a o zhruba 25% méně vhodného počasí pro infračervené pozorování. Španělé se přesto pokusili unikátní dalekohled získat, a to nabídkou mimořádného příspěvku ESO ve výši 200 až 300 milionů Euro. Autoři tohoto článku tipovali, že výbor ESO tomuto volání španělských sírén neodolá, ale nestalo se, a od dubna 2010 je rozhodnuto, že dalekohled bude postaven v Chile. Původně se mělo s konstrukcí E-ELT mělo začít již v příštím roce, ale nakonec se začne až o rok později – mezitím by měly být detailněji vyřešeny rostoucí příspěvky členských zemí a přistoupení Brazílie.'

Model teleskopu E-ELT

