

Holandský otvorený teleskop

Mgr. Július Koza, PhD.

Úvod

„Holandský otvorený teleskop na La Palme sa síce podobá na útočníka z Marsu, no v skutočnosti je to novátorský slnečný teleskop vynikajúci v pozorovaní slnečného magnetizmu vo veľkom rozlíšení,“ – tolko domovská webstránka o podobnosti teleskopu a príšer zo Spielbergovej Vojny svetov. Astronomický svet ho pozná pod skratkou DOT alebo ako Dutch Open Telescope. Pozornosť a rešpekt si získal dlhými sériami špičkových snímok fotosféry a chromosféry poskladaných do nádherných animácií. Tento úspech priniesla kombinácia otvorenej konštrukcie teleskopu, výbornej polohy a počítačovej metódy rekonštrukcie obrazu, ktorá eliminuje všetky neostroti, deformácie a chyby snímok spôsobené atmosférickou turbulenciou (tzv. seeingom).

História, ľudia, myšlienky

S revolučnou myšlienkou otvoreného slnečného teleskopu prišiel prof. Cornelis Zwaan (1928 – 1999) z Astronomického ústavu Univerzity

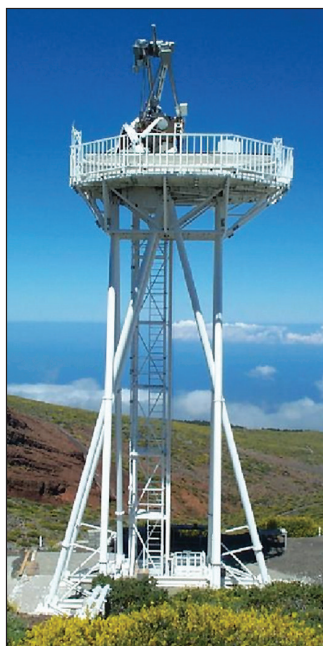


Obrázok 1. DOT a západ Slnka.

Foto: S. Rondi

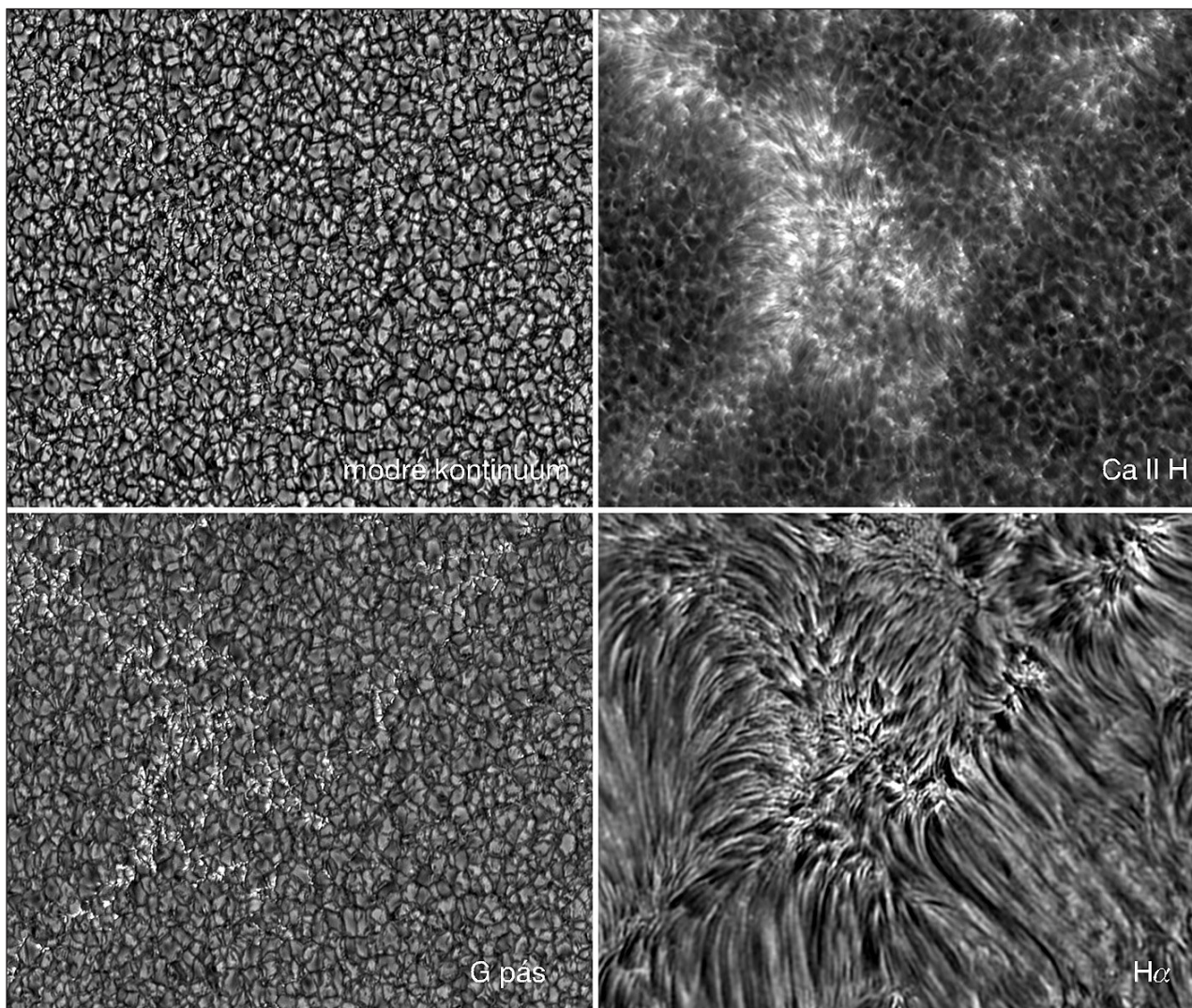
v Utrechte (ďalej AÚ UU) v čase, keď konštruktéri stavili na vákuum ako spôsob potlačenia vnútorného seeingu, spôsobeného prehrievaním teleskopu. Konceptia vákuového teleskopu je obmedzená maximálnym priemerom objektívovej šošovky na vstupe vákuového tanku, ktorý nemôže byť väčší ako 1 m. V súčasnosti je v prevádzke niekoľko vákuových teleskopov. Spomedzi nich je potrebné uviesť Švédsky slnečný teleskop (SST), ktorý je, s priemerom objektívovej šošovky 1 m, najväčším európskym optickým slnečným prístrojom a druhým vo svete po McMath-Pierce teleskope na Kitt Peaku v Arizone. Problémy riešené fyzikou Slnka si však vyžadujú teleskop s rozlíšením podstatne väčším, ako dosahujú tieto teleskopy. Lepšie rozlíšenie

poskytnú až reflektory so zrkadlami väčšími ako 1 meter, ktoré už nemôžu byť vákuované. To si vyžaduje inú koncepciu, ktorá by umožnila vybudovať novú generáciu ešte väčších slnečných teleskopov, dosahujúcich maximálne rozlíšenie dané difrakčným limitom. Výzvy sa chopil Dr. Ir. Robert H. Hammerschlag (AÚ UU) a dá sa povedať, že kľúčový problém vyriešil geniálne. Každý, kto pozoroval pod otvorenou oblohou pri silnom vetre, vie, že vietor spôsobuje chvenie teleskopu, a tým aj neostrot obrazu. Dr. Hammerschlag však urobil zo silného vetra – nepriateľa astronómov – ich najlepšieho spojencu. Vlastný teleskop umiestnil na vrchol vysokej konštrukcie tak, aby bol mimo silnej prízemnej turbulencie. Vnútorný seeing potlačil zjednodušením konštrukcie a jej otvorením a prevzdušnením do maximálnej možnej miery. Silnému vetru tak nič nebráni previevať celou konštrukciou DOT-u iba s minimálnym odporom. To bráni tvorbe vnútornej turbulencie spôsobenej prehrievaním teleskopu. Primárne zrkadlo vyčnieva vysoko nad okraj nosnej misy a je voľne ovievané vetrom. Vysoká tuhosť konštrukcie zabraňuje chveniu a plošina teleskopu sa pri silných nárazoch vetra môže vychyľovať iba rovnobežne so zemou. DOT sa tak mal stať testom novej otvorenej koncepcie budúcich veľkých slnečných teleskopov. V jeho myšlienke je čosi charakteristické práve pre Holandsko. Veľká časť jeho územia vznikla prehradením mora a odčerpaním vody. Práve túto prácu urobil vietor a veterné mlyny, ktoré väčšinu času fungovali ako vodné čerpadlá. Teraz vietor pomáha získať ostrý obraz. DOT bol vyrobený v dielňach Univerzity v Utrechte a Technologickej univerzity v Delfte. Stavba DOT-u prebehla v rokoch 1996 – 1997 a bol inštalovaný v susedstve SST na hrane sopečnej kaldery na ostrove La Palma (Kanárske ostrovy) v nadmorskej výške 2350 m. Prvé pozorovanie sa uskutočnilo práve pred desiatimi rokmi v r. 1997. Prelomovým bol



Obrázok 2. Veža a DOT počas pozorovania (vľavo). Primárne 45-cm zrkadlo a sústava kamier vedľa primárneho ohniska (uprostred). Primárne ohnisko s vodou chladeným šikmým zrkadielkom odrážajúcim väčšinu obrazu Slnka mimo teleskop (vpravo). Malá dierka uprostred prepúšťa časť svetla do sústavy filtrov.

Foto: R. Hammerschlag, A. Kučera



Obrázok 3. Ukážka tomografickej DOT sekvencie v oblasti pokojnej slnečnej atmosféry z 24. apríla 2006 získanej počas pozorovacej kampane organizovanej Oddelením fyziky Slnka AsÚ SAV. Modré kontinuum zobrazuje fotosférickú granuláciu. Magnetické elementy, dobre viditeľné ako jasné škvrnky v G pás, lemujú hranice supergranúl. Reverzná granulácia, jasná pláž a chromosférická sieť sú nápadné v Ca II H. Pre chromosféru pozorovanú v H α sú typické tmavé vlákna fibríl.

rok 1999, keď do Utrechtu prišiel dr. Peter Sütterlin, známy ako Pit, ktorý z Göttingenu so sebou priniesol metódu počítačovej rekonštrukcie obrazu s názvom škvŕnková rekonštrukcia (speckle reconstruction). Vtedy sa naplno prejavili prednosti DOT-u a vysoká ostrosť a kvalita rekonštruovaných snímok potvrdila, že cesta k veľkým slnečným teleskopom je voľná a koncepcia otvoreného teleskopu je správna. DOT mal byť pôvodne iba testom, no špičková kvalita snímok doslova volala po vedeckej analýze a povýšení DOT-u na vedecký prístroj s jasne definovanými výskumnými cieľmi. To sa stalo v roku 2004, keď prof. Robert J. Rutten (AÚ UU) publikoval v žurnále európskych astronómov *Astronomy and Astrophysics* článok predstavujúci DOT vedeckému svetu a definujúci jeho výskumné ciele. Prof. Rutten, skôr známy jednoducho ako Rob, sa stal zároveň aj hnacím motorom DOT-u nesúcim neľahké bremeno získavania financií a ľudí.

Konštrukcia, tomografia

Vlastný teleskop je umiestnený na plošine nesej 15 m vysokou vežovou konštrukciou. Mon-

táž je paralaktická vidlicového typu. Parabolické primárne zrkadlo má priemer 45 cm. Rúrová konštrukcia s extrémne vysokou tuhosťou obklopujúca zrkadlo nesie prídavnú optiku, sadu filtrov a kamier umiestnených v primárnom ohnisku zrkadla. Obraz Slnka dopadá v primárnom ohnisku na poľnú clonu – malé šikmé zrkadielko chladené vodou, ktoré väčšinu slnečného svetla odráža mimo teleskop. Uprostred zrkadielka je malý kruhový otvor s priemerom 1,6 mm prepušťaajúci časť svetla do prídavnej optiky a ďalej do sústavy filtrov a kamier. Čipy kamier poskytujú zorné pole približne 90×70 oblúčkových sekúnd. DOT je chránený proti nepriaznivému počasiu pomocou 7-m zvinovacieho pologuľového stanu vystuženého oceľovými rebrami. Stan je možné bezpečne zvinúť (aj rozvinúť) aj pri rýchlosti vetra 100 km/h a zvinutý do-

káže odolávať vetru s rýchlosťou do 200 km/h, čo sa už potvrdilo v praxi. Pre vedecké ciele slúži sústava piatich filtrov a kamier umiestnených priamo v ohnisku primárneho zrkadla. *Tabuľka 1* uvádza prehľad filtrov, v ktorých DOT pozoruje fotosféru a chromosféru.

Snímkovanie slnečnej atmosféry v rôznych spektrálnych pásmach umožňuje pozorovať rôzne výškové hladiny, pretože hĺbka do ktorej je možné dovidieť, silne závisí od vlnovej dĺžky. Keďže pozorovania vo všetkých piatich filtroch prebiehajú súčasne, je možné študovať vybraný jav a jeho dôsledky súčasne v rôznych hladinách

Tabuľka 1 Charakteristika DOT filtrov

Spektrálna čiara, pás, kontinuum	Vlnová dĺžka	Šírka priepustnosti filtra	Typ filtra	Ladenie
Ca II H	396,8 nm	0,135 nm	interferenčný	naklápatelný
G pás	430,5 nm	1 nm	interferenčný	pevný
modré kontinuum	432 nm	0,6 nm	interferenčný	pevný
červené kontinuum	654 nm	0,3 nm	interferenčný	naklápatelný
H α	656,3 nm	0,025 nm	Lytot	laditeľný

slnčnej atmosféry. DOT tak umožňuje tomografiu slnčnej atmosféry, teda pozorovať ju nielen plošne, ale aj v rezoch po výške. Preto je niekedy DOT označovaný ako tomografický snímkovač slnčnej atmosféry.

Výber vlnových dĺžok nebol náhodný, ale súvisí so štruktúrami, ktoré je možné v príslušnej spektrálnej oblasti študovať:

- Ca II H: mapuje chromosférickú sieť a reverznú granuláciu;
- G pás: magnetické elementy pozorované v tomto páse sú jasnejšie a kontrastnejšie ako okolitá granulácia, pravdepodobne v dôsledku disociácie molekúl CH, spôsobenej žiarením granulárnych stien obklopujúcich elementy;
- modré kontinuum: je užitočné pre štúdium fotosférickej granulácie a magnetických elementov;
- červené kontinuum: je doplnok pre rekonštrukciu H α snímok.
- H α : umožňuje študovať chromosférické štruktúry ako napr. filamente, protuberancie, spikuly a fibrily.

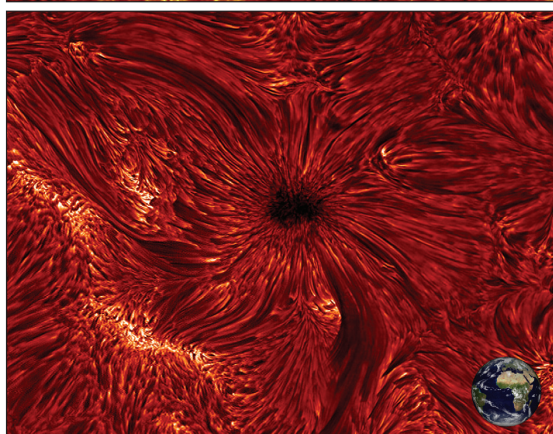
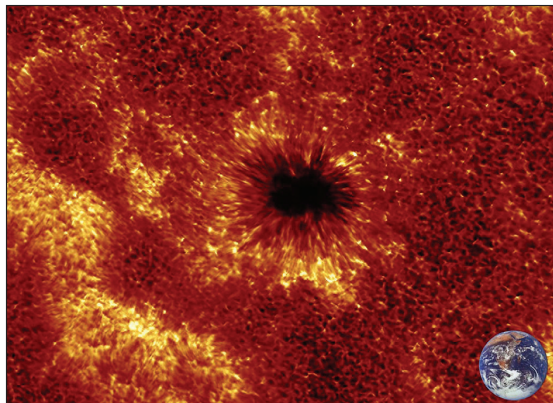
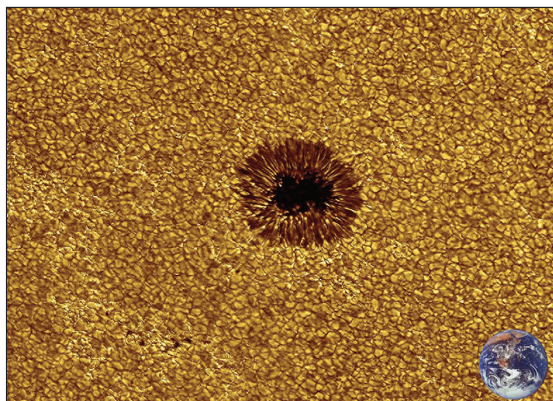
Pozorovanie, rekonštrukcia obrazu

Atmosférický seeing je takým a neúnávnym súperom astronómov v ich zápase o čo najostrejší obraz. Sú však momenty, trvajúce len nepatrný zlomok sekundy, keď seeing akoby zamrzol a obraz je dokonale ostrý. Tento okamih je potrebné vystihnúť a práve vtedy exponovať. Z tohto poznatku sa odvíja aj pozorovacia stratégia DOT-u. Každá z jeho kamier dokáže exponovať až 12 snímok za sekundu s expozičnými časmi kratšími ako 10 milisekúnd. Počas jednej pozorovacej sekvencie je exponovaných 100 snímok. Z nich je vybraná jedna najlepšia pre ďalšiu rekonštrukciu

metódou škvŕnkovej rekonštrukcie, založenej na rýchlej Fourierovej transformácii. Ak by všetky kamery DOT-u bežali nepretržite 8 hodín, vyprodukovali by celkovo 1,6 TB dát. Takýto objem nie je možné rekonštruovať bežnými výpočtovými prostriedkami a ani prenášať internetom. Preto je blízko DOT-u umiestnený klastor pozostávajúci zo 70 vodou chladených procesorov, ktoré dokážu rekonštruovať dennú dátovú produkciu DOT-u v priebehu jednej noci. Výsledné rekonštruované snímky sú umiestnené do verejnej voľne prístupnej databázy.

DOT alebo POT

DOT je výnimočný teleskop vďaka tomografickému snímkovaniu fotosféry a chromosféry súčasne v piatich spektrálnych oblastiach a otvo-



Obrázok 4. Slnčná škvŕna z 29. septembra 2004 v G páse (hore), Ca II H (uprostred) a H α (dole). Každý obrázok je mozaikou zloženou z niekoľkých snímok v nepravých farbách. Výsledná veľkosť je 140 \times 111 arcsec (100 000 \times 80 000 km). Obrázok Zeme je v mierke. Sekvencia bola astronomickou snímkou dňa (APOD) 16. februára 2005.

renou databázou, v ktorej sú dáta verejne voľne prístupné už krátko po pozorovaní. Je výnimočný aj tým, že všetky pozorovania bez výnimky od roku 1999 získal a zrekonštruoval jediný pozorovateľ – Pit Sütterlin. Preto Rob Rutten svojím nezameniteľným humorom poznamenal, že DOT by sa mal premenovať na POT, t. j. Pit's Own Telescope (Pitov vlastný teleskop).

Budúcnosť DOT-u

Už počas konštrukčných prác myslel Dr. Hammerschlag na budúcnosť a dimenzoval DOT tak, že jeho terajšia konštrukcia a montáž by dokázala niesť zrkadlo s priemerom 1,4 m. DOT však bol koncipovaný iba ako test otvorenej konštrukcie, a preto mu chýba dostatočné personálne aj finančné zázemie obvyklé pre slnčné teleskopy,

koncipované ako výskumné. Aj keď je úspech DOT-u nepopierateľný, ani tak bohatá astronomická komunita, akou je holandská, nemá potrebných 800 000 eur na jeho väčšieho nástupcu, pracovne označovaného ako DOT++. Problémom je aj fakt, že holandská astronómia si zadefinovala na najbližšie roky svoje strategické priority a fyzika Slnka medzi nimi chýba. Navyše, od januára 2008 sa Pit Sütterlin stáva pozorovateľom na Švédskom slnčnom teleskope a po odchode Dr. Hammerschlaga do dôchodku prevezme prevádzku DOT-u jeho nástupca Ir. Felix M. C. Bettonvil. Budúcnosť DOT-u na dlhšie obdobie je tak stále nejasná.

Oddelenie fyziky Slnka AsÚ SAV a DOT

Pracovníci Oddelenia fyziky Slnka Astronomického ústavu SAV v Tatranskej Lomnici (ďalej ako OFS) využili otvorenosť DOT-u a predložili vedeckej komisii DOT-u niekoľko projektov, ktoré boli prijaté a zrealizované. Do koordinovaných pozorovacích kampaní boli zapojené okrem DOT-u aj SST spolu s kozmickými observatóriami SoHO, TRACE a RHESSI. Projekt s názvom „Spektroskopia a tomografia slnčných fibril: fotosférické budiče a koronálne dôsledky“ bol realizovaný počas dvoch kampaní v jeseni 2005 a na jar 2006. V lete 2006 boli v rámci jednej kampane zrealizované projekty „Štúdium slnčných mikroerupcií pri veľkom rozlíšení a ich vzťah k ohrevu koróny a dodávke hmoty“ a „Fotosférické budiče fyzikálnych mechanizmov zodpovedných za prenos energie a dynamiku vnútri chromosférickej siete“. Do tohoročnej kampane sa zapojilo aj nedávno vypustené slnčné kozmické observatórium Hinode. Projekt je zameraný na „Fyzikálne mechanizmy vyvolávajúce slnčné mikroerupcie a dynamiku supergranulárnej siete – vzťah ku koronálnemu ohrevu a dodávkam hmoty“.

Autor článku pracoval od r. 2005 do r. 2007 ako postdok v Astronomickom ústave Univerzity v Utrechte v DOT tíme prof. Ruttena. V tomto období využíval pozorovania z DOT-u v H α čiare pri realizácii projektu „Slnčné fibrily a spikuly vo veľkom rozlíšení“. Výsledky tohto projektu sú predstavené v samostatnom článku. Získaná dôvera a dobré vzťahy medzi OFS a kolegami z AÚ UU viedli k ponuke zo strany prof. Ruttena, aby kolega autora článku, pracovník OFS Mgr. Peter Gömöry, PhD. pôsobil počas mesačnej letnej kampane 2007 ako pozorovateľ na DOT-e. Tým dostal jedinečnú profesionálnu príležitosť stať sa prvým mimoutrehtským pozorovateľom, ktorý zvládne pozorovaciu metódu a ovládanie DOT-u.

Webstránky

Domovská stránka DOT-u: <http://dot.astro.uu.nl>

Galéria vybraných snímok a animácií:

http://dot.astro.uu.nl/DOT_showpieces.html

DOT databáza pozorovaní:

<http://dotdb.phys.uu.nl/DOT/>

DOT APOD:

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap050216.html>

Švédsky slnčný teleskop (SST):

<http://www.solarphysics.kva.se>

Prof. Robert J. Rutten:

<http://www.astro.uu.nl/~rutten/>

Pozorovacie kampane OFS AsÚ SAV + DOT:

<http://www.astro.sk/~choc/>