

# Obří radioteleskopy

Petr Kulhánek

V předchozím článku jsme se již zmínili o průkopnické stavbě radioteleskopu v anglickém Jodrell Bank, který je dnes s průměrem antény 76 metrů třetím největším plně pohyblivým radioteleskopem na světě. Pojďme se v následujícím vyprávění seznámit s dalšími obřími přístroji a jejich soustavami.

Kromě rutinních přehlídek oblohy jsou tyto obří přístroje zaměřeny na výzkum pulzarů, oblastí rodících se hvězd, chladných mlhovin, výtrysků z černých děr a jader vzdálených galaxií. Všechny velké radioteleskopy jsou zapojeny do mezinárodní radioteleskopické sítě.

## Radioteleskop Roberta Byrda

Americká Národní radioastronomická observatoř – NRAO (*National Radio Astronomy Observatory*) byla založena v roce 1956 v Green Banku v Západní Virginii. V té době již bylo zřejmé, že radioastronomie je věda s velkou budoucností. První používaný radioteleskop NRAO měl průměr 25 m, ale od počátku se plánovala stavba obřího 90m přístroje. První výkop byl proveden v roce 1958 a o čtyři roky později byl nový radioteleskop uveden do provozu. Na dobu deseti let se stal největším přístrojem světa (v roce 1972 ho předčil radioteleskop Effelsberg). Široká oblast kolem radioteleskopu v Green Banku je chráněna zákonem jako „Národní radiové tichá zóna“. Navíc je teleskop umístěn v přírodní sníženině a tak ho okolní vlny chrání před lidskými radiovémi signály.

Po čtvrt století bezproblémové činnosti se teleskop dne 15. listopadu 1988 zřítíl vlivem únavy

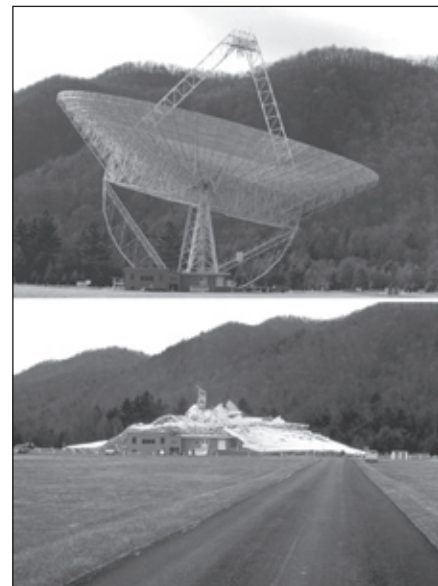
materiálu. Ze špičkového přístroje se během okamžiku stala hromada zohýbaného železa. Radioastronomy z NRAO tato tragédie neodradila a záhy začali plánovat stavbu ještě většího přístroje. Nový gigant byl dokončen v roce 2000 na místě původního a opětovně převzal nadvládu největší pohyblivé antény světa. Obvod paraboly má tvar elipsy s rozměry 100×110 m, povrch je složen z 2004 desek, které jsou v rozích namontovány na aktuátory (motorům řízené píсты) upravující plochu paraboly podle pokynů počítače. Hmotnost pohyblivé části přístroje je 7300 tun. Radioteleskop pracuje na vlnových délkách od 3,3 mm do 1,15 m (0,26–90 GHz).

V roce 2002 byly tímto přístrojem nalezeny tři milisekundové pulzary v kulové hvězdokupě M 62, v roce 2006 bylo v molekulárním mračnu v souhvězdí Orionu detekováno helikální magnetické pole a téhož roku byla v souhvězdí Hadonoše objevena vodíková superbublina, která se nachází ve vzdálenosti 23000 světelných roků.

Radioteleskop v Green Banku je znám pod zkratkou *GBT* (*Green Bank Telescope*), oficiální současný název je *Robert Byrd Green Bank Telescope*. Radioteleskop je pojmenován podle nejdéle sloužícího amerického senátora.

## Německý radioteleskop Effelsberg

Největší evropský radioteleskop má průměr 100 m. Nachází v německé spolkové republice Porýní-Falc, v blízkosti vesničky Effelsberg, která mu propůjčila jméno. Dalekohled provozuje *MPIfR* (*Max Planck Institute for Radioastronomy*) v Bonnu. Stavěn byl v letech 1968 až 1971 a uveden do provozu v roce 1972, kdy se na 28 let stal největším pohyblivým radioteleskopem na světě. Povrch paraboly je složen z 2352 elementů. Radioteleskop pracuje na vlnových délkách od 3,5 mm do



Zřícení devadesátimetrového radioteleskopu v Green Banku. Na horním snímku je dalekohled 15. 11. 1988, na dolním 16. 11. 1988.

75 cm (0,4–86 GHz). Hmotnost pohyblivé části je 3200 tun. Radioteleskopem Effelsberg byl pořízen atlas magnetických polí blízkých galaxií. Radioteleskop se podílel na výzkumu v mnoha dalších oblastech radioastronomie, například shromažďoval vědecká data z velkého souboru pulzarů. Je součástí evropské radiové sítě *EVN*, která patří k nejcitlivějším na světě.

## Lovellův radioteleskop (Jodrell Bank)

Duchovním otcem největšího anglického radioteleskopu byl anglický fyzik a radioastronom *Bertrand Lovell* a hlavním konstruktérem inženýr a architekt *Charles Husband*. Oba byli později za jeho stavbu povýšeni do šlechtického stavu. Radioteleskop byl stavěn od roku 1952 do roku 1957. Byl dokončen ve správné době, a tak mohl v říjnu 1957 sledovat pohyb nosné rakety s prvním *Sputnikem* na palubě. Později se radioteleskop zapojil do aktivní komunikace s mnoha družicemi.

Průměr paraboly je 76 m, hmotnost pohyblivé části je 3200 tun. V roce 1976 radioteleskop poškodila větrná smršť a musel být opraven. Další rekonstrukce proběhla v letech 2000 až 2003, kdy byl kompletně vyměněn povrch za nový ze 340 přesně uložených elementů. Přesnost povrchu paraboly se zvýšila čtyřnásobně (na ca 2 mm). Tím se výrazně zlepšil rozsah dalekohledu z původního pokrytí vlnových délek 18–25 cm na 5–25 cm.

Lovellovým radioteleskopem, jak se přístroj dnes nazývá, byly podrobně zkoumány mezihvězdné mlhoviny na vlnové délce 21 cm a po-



Současná podoba radioteleskopu Roberta Byrda v Green Banku. Parabola má 100×110 m, ohnisko je umístěno asymetricky. Na leteckém snímku je patrná kruhová kolejnice umožňující otáčení kolosu.

řizeny podrobné mapy galaktických i mimogalaktických radiových zdrojů. Radioteleskop proslul výzkumem polárních září, Slunce, maserů, pulzarů, kvazarů (podílel se na jejich objevu), gravitačních čoček a mnoha dalších objektů. Radioteleskop je srdcem sítě *MERLIN*.

### Australský radioteleskop Parkes

Observatoř Parkes se nachází 20 km jižně od města Parkes v Novém Jižním Walesu v Austrálii. V roce 1961 zde byl postaven stejnojmenný, plně pohyblivý radioteleskop s průměrem antény 64 m. Za jeho duchovního otce lze považovat britského fyzika *Edwarda Bowena*. Radioteleskop se stal, a dosud je, největším radioteleskopem na jižní polokouli. Během amerického programu Apollo se radioteleskop Parkes podílel se na radiových přenosech z kosmických lodí Apollo. V roce 1987 byl dalekohled kompletně zrekonstruován a jeho průměr se zvětšil na nyníjších 70 m. Obdobně jako ostatní tři obří přístroje tohoto typu se otočí o 360° přibližně za čtvrt hodiny. Provozovatelem dalekohledu je australská vědecká organizace *CSIRO*. Současný rozsah přijímaných vlnových délek je od 1,15 cm do 1 m (0,3–26 GHz).

### Sovětský projekt RT 70

Na závěr této části nelze nezpomenout sovětský projekt na rozmístění tří 70m plně pohyblivých radioteleskopů *RT-70* na území bývalého Sovětského svazu. Identické přístroje by údajně měly pracovat s vlnovou délkou od 1 mm do 6 cm (frekvenční rozsah 5–300 GHz). První ze strojů byl postaven v roce 1978 v blízkosti černomořského přístavu Jevpatorja (dnes jde o území Ukrajiny). Přístroj se zapojil do programu hledání mimozemských civilizací. Druhý byl postaven na území dnešního Ruska, na dálném východě v Ussurijsku, v blízkosti sídla Galenki, v přísně střeženém vojenském prostoru.



*RT-70 v Ussurijsku. Družicový snímek ruského radioteleskopu, který byl pořízen v rámci projektu Google Earth 4. července 2008.*

Informace o tomto stroji jsou velmi kusé. Dne 4. července 2008 byl vyfotografován v rámci projektu Google Earth a pořízený snímek vzápětí obletěl celý svět. Američané projevili zájem využívat přístroj v rámci projektu hledání nebezpečných blízkozemních planetek. Poslední radioteleskop *RT-70* je rozestavěn na území dnešního Uzbekistánu na planině Suffa. Po rozpadu Sovětského svazu byla podepsána smlouva na využívání tohoto stroje v rámci otevřené nadnárodní společnosti *IRAOS* na dobu 99 let. V původním záměru byl interferometrický provoz všech tří přístrojů *RT-70*. Rusové připravují i start družice *RadioAstron* s radioteleskopem, který by měl rozšířit interferometrickou základnu přístrojů *RT-70* do vesmíru. Přípravy ale vážnou. Obecně je informací o těchto strojích velmi málo, není ani jasné, zda skutečně některý z nich dosáhl plánovaného rozsahu frekvencí.

### Nehybní giganti

Některé radioteleskopy využívají přírodních sníženin nebo údolí jako přirozeného podkladu pro nepohyblivé antény. Výhodou je možnost stavby velkých antén, nevýhodou jejich nepohyblivost, kterou lze jen omezeně kompenzovat pohyblivým ohniskem.

### Arecibo – nejvýkonnější radioteleskop světa

Největší plně funkční nepohyblivou anténu má radioteleskop v blízkosti Areciba na ostrově Portoriko. Její průměr je 304 m a anténa v současnosti vyplňuje celé údolí. Povrch tvoří 40000 hliníkových desek, jež tvoří kulovou plochu o poloměru křivosti 265 m, jejíž maximální odchylka od správného tvaru je nejvýše 2,2 mm. Radioteleskop byl postaven v roce 1963, v roce 1997 byl kompletně zrekonstruován. Provozuje ho Cornellova univerzita spolu s americkou nadací *NSF (National Science Foundation)*. Teleskop pokrývá rozsah vlnových délek od 2,5 cm do 1 m (0,3–12 GHz). K nejvýznamnějším objevům patří: změření rotace Merkuru (1964), změření periodicity pulzaru v Krabí mlhovině (1968), objev podvojného pulzaru PSR 1913+16, vynikající relativistické laboratoře (1974), která vedla na nepřímé potvrzení existence gravitačních vln, objev prvního milisekundového pulzaru PSR B1937+21 (1982), první přímé zobrazení planetky (Castalia, 1989), objev pulzaru PSR B1257+12 (1990), u něhož se v roce 1994 našla první exoplaneta, mapování ledu na Merkuru (1994), potvrzení Jarkovského jevu (ovlivnění dynamiky tělesa pohlcováním slunečního záření) u planetky Golevka (2003) a objev hydrokvanidových molekul metaniminu v mezihvězdném



*Dva pohledy na ruský radioteleskop RATAN 600*

prostředí (2008). Radioteleskop Arecibo proslul i programem na hledání mimozemských civilizací. V roce 1974 byla vyslána obrazová zpráva směrem ke kulové hvězdokupě M 13 obsahující 73 řádků a 23 sloupců a od roku 1999 běží pasivní program *SETI (Search for ExtraTerrestrial Intelligence)* pro vyhledávání signálů od mimozemských civilizací. Data z projektu zpracovávají spojiče milionů počítačů na celém světě (projekt *SETI@home*). I kdyby byl jediným výsledkem hledání mimozemských civilizací gigantický paralelní výpočet využívající nečinné počítače, měl projekt svůj smysl.

### RATAN 600 – sovětský pokus o překonání Areciba

Jak už bývalo v dobách sovětského impéria zvykem, bylo třeba mít prvenství v mnoha oborech lidské činnosti za každou cenu. Tak vznikl i projekt *RATAN 600*, největšího radioteleskopu světa s průměrem antény 576 m. Sověti dosáhli svého. Od roku 1974 vlastní co do průměru největší radioteleskop na světě, odrazné elementy jsou ale jen po obvodu kruhu. Je zde rozmístěno 895 desek o rozměrech 2×7,4 m. Dalekohled může fungovat jako jeden jediný celek s centrálním ohniskem a nebo jako 4 oddělené části. Celková odrazná plocha je ca 20000 m<sup>2</sup>, což je necelá třetina odrazné plochy Areciba, které tak nadále zůstává nejvýkonnějším radioteleskopem světa.

*RATAN* je zkratka z ruského „*RadioTeleskop Akademii Nauk*“. Přístroj je součástí observatoře *SAO (Special Astrophysical Observatory)* a nachází se na území dnešního Ruska v severním Kavkazu, v nadmořské výšce 995 m v blízkosti vesnice Zelenčukskaja, pouhých 20 km od 6m optického dalekohledu. Použitelný vlnový



rozsah je od 1 cm do 50 cm (0,6–30 GHz). Radioteleskop se využívá k pozorování sluneční korony a zapojil se i do projektu SETI.

### FAST – čínský pokus o překonání Areciba

Zdá se, že v brzké době vstoupí do hry také Čína. V roce 2009 začali stavět radioteleskop FAST (*Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope*) o průměru 500 m, jehož plocha bude odpovídat 30 fotbalovým hřištím. Dokončení stavby se plánuje na rok 2013. Pro radioteleskop byla zvolena lokalita v provincii Guizhou v blízkosti Duyunu v jihozápadní části Číny. Jde o přirozenou krasovou sníženinu, která se nyní upravuje a bude použita jako terénní podklad kulové antény. Plocha antény bude složena z 4600 trojúhelníkových segmentů, které budou poskládány podobně, jako je tomu v Arecibu. Cena přístroje se odhaduje na dvě miliardy korun. Provozovatelem radioteleskopu FAST bude observatoř CNAO (*Chinese National Astronomical Observatory*). Je tedy pravděpodobné, že půl století od zprovoznění Areciba se na scéně poprvé objeví přístroj s lepšími parametry.

### Radioteleskopické sítě

Radioteleskopy často pracují ve skupinách, zvětší se tím základna pro interferometrii a tím rozlišení soustavy. Radioteleskopických sítí je na světě velké množství, některé se prolínají, tj. existují přístroje, jež jsou členy více sítí. Zde se dotkneme jen některých nejznámějších.

### MERLIN není jen kouzelník

Sít, jež si propůjčila jméno legendárního čaroděje, se nachází na území Velké Británie. Jejím jádrem jsou dalekohledy v Jodrell Bank a okolí, jimž vévodí Lovellův 76m radioteleskop, men-

šími přístroji jsou MARK 2 a MARK 3 (dnes již neexistuje). Později přibýly radioteleskopy Defford, Konckin, Pickmere a Darnhall, v roce 1991 se připojil radioteleskop v Cambridgi. Sít začala vznikat v roce 1973 pod názvem *MTRLI (Multi-Telescope Radio Linked Interferometer)*, nicméně se už v té době používalo i libozvučnější jméno *MERLIN (Multi-Element Radio Linked Interferometer Network)*, které se stalo oficiálním názvem až v roce 1990. Sít jako propojený celek funguje od roku 1980. Základna sítě je 217 km, frekvenční rozsah 0,15–24 GHz. Na středních frekvencích dosahuje sít úhlového rozlišení 0,04". Program sítě MERLIN je zaměřen na sledování radiogalaxií, kvazarů a spektroskopii mezihvězdných mračen. V roce 1998 objevila sít MERLIN první Einsteinův prstenec.

### Sít VLA se transformuje na sít EVLA

Snad nejznámější radioteleskopickou sítí na světě je sít *VLA (Very Large Array, Velmi velké pole)*, která je tvořena 27 radioteleskopy. Sít byla postavena ve státě Nové Mexiko na planině Sv. Augustina západně od města Socorro v nadmořské výšce 2124 m. Provozovatelem sítě je observatoř *NRAO*, finanční krytí přichází z nadace *NSF (National Science Foundation)*. Průměr každé antény je 25 m a hmotnost 230 tun. Cena celé sítě byla 80 milionů dolarů. První anténa byla usazena v roce 1971 a poslední v roce 1980. Sít byla uvedena do provozu v roce 1981. Antény lze díky důmyslnému systému dvojitých kolejnic přeskupovat pomocí tahacího zařízení, které vypadá jako velký oranžový traktor, do nejrozličnějších konfigurací. Prostorově nejrozlehlejší má tvar písmene A s rameny dlouhými 21 km. Uspořádání odpovídá jedinému přístroji s anténou o průměru 36 km! U sledovaného objektu je možné spatřit největší detaily, soustava má nej-

větší zvětšení. V nejkompaktnější formaci jsou radioteleskopy rozmístěny „jen“ na prostranství 600 m a je možné zkoumat celkovou strukturu objektu a jeho okolí, soustava má nejmenší zvětšení. Vlnový rozsah je od 0,7 cm do 4 m, tomu odpovídá frekvenční rozsah 75 MHz až 43 GHz. Rozlišovací schopnost tohoto obřího interferometru je na maximální frekvenci pouhých 0,04". Antény se mohou otáčet rychlostí 40° za minutu v azimutu a 20° za minutu ve výškové souřadnici. Signál ze všech radioteleskopů se počítačově skládá do interferenčních map.

Od 80. let se sít VLA stala velice výkonným vědeckým zařízením. Výzkum pokrýval objekty od sluneční soustavy až po samé hranice viditelného vesmíru, miliardy světelných roků od Země. Sít VLA pozorovala protoplanetární disky kolem mladých hvězd, černé díry, objevila plazmová vlákna ovládaná magnetickým polem, studovala pohyb plynu v centrální části Galaxie a zjišťovala různé mechanismy radiových emisí.

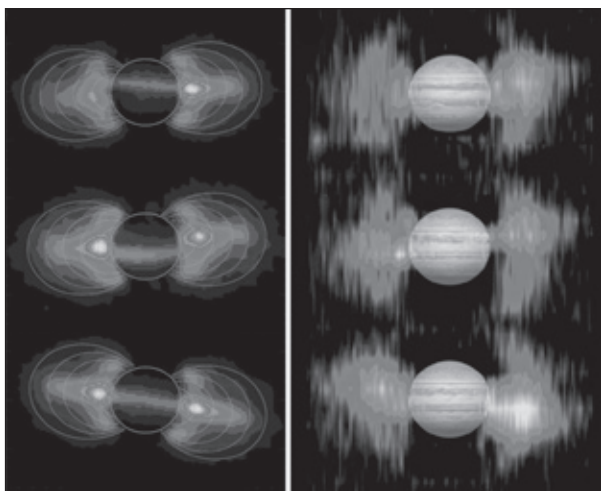
V lednu 2010 byla ukončena činnost sítě VLA a nyní se transformuje na sít *EVLA (Expanded VLA)*, která bude využívat stávající radioteleskopy, ale s novou technologií spojení jednotlivých přístrojů, která přinese desetinásobné zvýšení citlivosti sítě. Transformace by měla být dokončena v roce 2012.

### Interferometrie s velmi velkou základnou (VLBI)

Propojení radioteleskopů vzdálených tisíce km není úplně jednoduchou záležitostí. Speciální technologie, která to dokáže, se nazývá *VLBI (Very Long Baseline Interferometry)*. Získaný signál je u každého radioteleskopu nahráván spolu s velmi přesnými časovými značkami na záznamové médium. U technologie VLBI tedy radioteleskopy nejsou fyzicky spojené. Teprve později se záznamy ze všech radioteleskopů zpracovávají speciálním postupem, který bere v úvahu zpoždění signálu jednotlivých přijímačů a pomocí speciální fourierovské procedury rekonstruuje obraz. Pro úspěšnou rekonstrukci je zapotřebí signál nejméně ze tří přístrojů. Tento vysoce sofistikovaný postup předvedl v roce 1958 anglický radioastronom *Roger Jennison (1922–2006)*, ke skutečnému použití došlo až v roce 1974. Technologie umožní rekonstrukci obrazu s rozlišovací schopností úměrnou pozorovací frekvenci a největší vzdálenosti mezi radioteleskopy. Celá soustava se chová jako jediný přístroj s mimořádnou rozlišovací schopností, která nemá obdobu u optických dalekohledů. V současnosti se konají pokusy s přenosem dat v reálném čase pomocí gigabitové internetové sítě, taková modifikace se nazývá *e-VLBI*.

Nejcitlivější VLBI sítí je evropská sít *EVN (European VLBI Network)*. Sít funguje od roku 1980, dnes spojuje 12 velikých radioteleskopů, lze ji navíc propojit s britskou sítí MERLIN. Od roku 2004 jsou radioteleskopy spojeny optickými vlákny a sít pracuje jako *e-VLBI* sít na vlnových délkách od 0,7 cm do 18 cm (1,7–43 GHz) a nejlepší dosažitelné úhlové rozlišení je lepší než tisícina obloukové vteřiny.

Další známou VLBI sítí je americká *VLBA (Very Long Baseline Array)*. Sít je v provozu od roku 1993, čítá deset radioteleskopů s průměrem



Jupiterovy radiační pásy. Nalevo snímek z VLA, napravo ze sondy Cassini.



Sít' VLA. Antény jsou přepravovány po dvojitých kolejnicích a sestavovány do různých konfigurací.

antén 25 m a nejdelší základnou 8600 km – mezi radioteleskopem na Havajských ostrovech a radioteleskopem na Panenských ostrovech. Ostatních 8 strojů je rozmístěno na severoamerickém kontinentu. Celkové náklady byly 85 milionů dolarů a stavba trvala 7 let. Provozovatelem sítě je americká NSF. Rozlišovací schopnost je maximálně 0,001". Sít' měří v devíti pásmech na vlnových délkách od 7 mm do 90 cm (0,33–43 GHz).

Obě sítě (EVN a VLBA) se kombinují do sítě *Global VLBI*. Základna se rozšiřuje i spojováním s dalšími sítěmi VLBI nebo s radioteleskopy ve vesmíru, například s observatoří *HALCA*.

Kromě pozorování standardních radiových zdrojů (například kvazarů) lze sít' VLBI využívat i inverzně: z přesného časování a zpoždění signálu známého zdroje lze dopočítat tektonický pohyb zemských desek, zjišťovat slapové působení Měsíce a Slunce na Zemi atd.

### ALMA – Velké atacamské milimetrové pole

Zbrusu nová radioteleskopická sít' pro milimetrovou oblast roste v severní Chile, v Atacamské poušti na planině Llano Chajnantor, a to v nadmořské výšce 5100 m. Do roku 2012 by zde mělo být rozmístěno nejméně 50 (nejvíce 80) identických 12m antén na altazimutální montáži s perfektně opracovaným povrchem. Sít' dostala jméno *ALMA* (*Atacama Large Millimeter Array*). Jde o projekt *ESO* (*Evropské jižní observatoře*) spolu s americkou nadací NSF. Na projektu ale participují i další organizace z nejručnějších koutů světa.

První prototyp radioteleskopu dostal jméno *APEX* (*Atacama Pathfinder EXperiment*) a na planině byl umístěn v roce 2005. Plocha antény se skládá z 264 hliníkových desek s přesností uložení neskutečných 17  $\mu\text{m}$ ! Apex je tak schopen pracovat na vlnové délce pouhé 0,3 mm. Sekundární zrcadlo je hyperbolické s průměrem

0,75 m. Skutečným králem radioteleskopů se *APEX* stal až v roce 2007, kdy byl osazen mimořádně citlivou kamerou *LABOCA* (*Large APEX BOlometer CAmera*), která byla vyvinuta v německém *MPIfR*. Jde o mimořádně citlivý maticový detektor elektromagnetického záření v submilimetrové oblasti. Jednotlivá maticová čidla (bolometry) pohlcují záření, čímž se mění jejich teplota. Důsledkem je přesně měřitelná změna elektrického odporu germaniového čidla. Na deseticentimetrové křemíkové destičce je takových čidel umístěno 295. Na frekvenci 800 GHz je úhlové rozlišení radioteleskopu *APEX* s detektorem *LABOCA* 7,8". Krátce po uvedení detektoru do provozu objevil hvězdnou líheň v H II oblasti *RCW 120* v souhvězdí Šířa. Teprve v radiovém oboru vynikla struktura oblasti, která není v optickém oboru viditelná. Zdrojem signálu je totiž plyn o teplotě 23 K. Po dokončení se sít' *ALMA* stane nejcitlivější radioteleskopickou sítí světa v milimetrové oblasti (0,3–9,6 mm), na vysokých frekvencích se předpokládá úhlové rozlišení 0,005". Konfiguraci sítě bude možné měnit od široké základny 18 km až po kompaktní uspořádání, ve kterém se antény vejdou do oblasti o průměru jen 150 m.

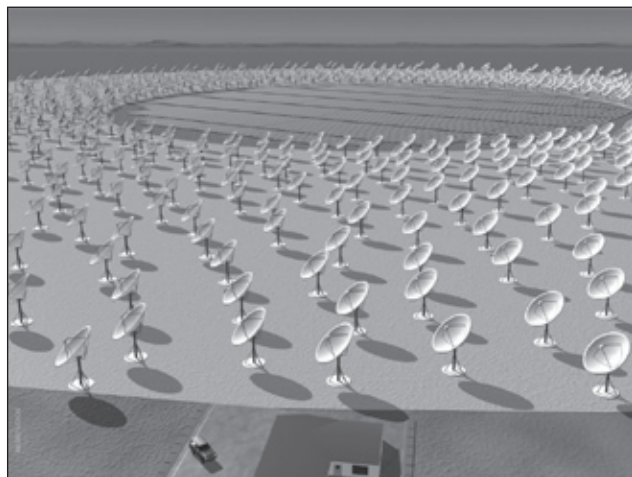
### SKA

Co dál po dostavění sítě *ALMA*? Další v pořadí by měla být sít' radioteleskopů ekvivalentní jednomu přístroji s plochou jeden kilometr čtvereční, její název je *SKA* (*Square Kilometer Array*). K vybudování bude potřeba území o průměru větším než 3000 km. S největší pravděpodobností půjde o tisíce antén s rozměry do 12 m. Jako místo výstavby se uvažuje západní Austrálie nebo Jižní Afrika. Antény nebudou rozmístěny rovnoměrně. V centrální oblasti o průměru 5 km by mělo být 50 % sběrné plochy. Tato oblast by měla zajistit dostatečnou intenzitu signálu pro pořizování spekter zkoumaných objektů. Další 25 % sběrné plochy bude v oblasti o průměru 150 km. Poslední pásmo bude mít průměr

3000 km nebo více a zajistí širokou interferometrickou základnu, nicméně radioteleskopy bude osídleno jen řídko. V této největší oblasti bude posledních 25 % sběrné plochy. S plánovanou vlnovou délkou od 1 cm do 3 m (0,1–25 GHz) by měla sít' *SKA* doplňovat sít' *ALMA* stavěnou pro milimetrovou oblast a dalekohled *JWST*, který bude pracovat v infračervené a viditelné oblasti. Odhaduje se, že první antény by se mohly začít stavět v roce 2013 a první interferometrický snímek za pomoci celé sítě by mohl být pořízen mezi roky 2020 až 2022.

### Místo závěru

V našem vyprávění už nezbylo místo na popis přístrojů umístěných ve vesmíru, ke kterým patřila např. družice *COBE* (1989), která jako první v vesmíru zkoumala reliktní záření, či současné sondy *WMAP* (2001) nebo *Planck* (2009). Těž jsme vynechali řadu odvětví radioastronomie. Snad jsme vás ale i přesto přesvědčili, že radioastronomie je fascinujícím odvětvím astronomie. Vždyť první radioastronomické záznamy byly jen grafy celkové intenzity signálu. Od těch dob radioastronomie učinila velký pokrok. Zobrazovaný objekt se skenuje v několika pásmech a signál se skládá do výsledného obrazu. Každému pásmu je přiřazena některá z barev viditelného spektra a po prostorovém a frekvenčním složení vzniká barevná kompozice nápadně se podobající fotografiím z optických přístrojů. A interferometrické skládání obrazu z více zdrojů, to už je skutečně matematické kouzlení, na jehož konci jsou nádherné „snímky“ vzdálených vesmírných objektů. Až si budete prohlížet astronomické fotografie v radiovém oboru, vzpomeňte si, jak dlouhou cestu museli lidé ujit, než mohly podobné snímky vzniknout.



Umělecká vize centrální oblasti (o průměru 5 km) budoucí sítě SKA