

# MAGNETICKÁ REZONANCIA, GPS ČI RÝCHLEJŠÍ INTERNET

## Z VESMÍRNYCH TECHNOLOGIÍ PROFITUJEME VŠETCI

Financie vyčlenené na poznávanie vesmíru bývajú pomerne často terčom kritiky laickej verejnosti. Nečudo, nejde o malé sumy. Za uplynulý rok na svoje aktivity minula iba NASA – asi najznámejšia, ale stále len jedna z mnohých vesmírnych agentúr – takmer 23 miliárd amerických dolárov. Na druhej strane práve vesmírnemu výskumu ľudstvo vďačí za mnohé vymoženosti, bez ktorých si dnes už nevieme predstaviť náš každodenný život.

Keďže sa pod viacero z nich podpisala existencia umelých družíc, začnime nimi. Tritisícristo – približne toľko funkčných satelitov rôzneho zamerania i veľkosti momentálne krúži okolo Zeme. Hoci nosné rakety dokážu do vesmíru vyniesť aj materiál s celkovou hmotnosťou 16 ton, pod najčastejšie využívaným štandardom medzi umelými družicami si predstavte zariadenia s hmotnosťou nad jednu tonu. Z dôvodu nižšej ceny a čoraz vyššej efektívnosti sa však stále populárnejšími stávajú tzv. mini- a malé satelity vážiacie 100 až 1000 kg. Menšie a vzdelávacie organizácie často využívajú tzv. mikrosatelity (10 až 100 kg) a nanosatelity s hmotnosťou pod 10 kg. Sem napríklad patria aj tzv. CubeSat satelity v tvare kocky s rozmermi 10 x 10 x 10 cm. Dostupné sú tiež tzv. pikosatelity s hmotnosťou menšou než 1 kg a femtosatelity, ktoré vážia dokonca menej než 100 g. Len pre porovnanie: Sputnik 1, prvá umelá družica, ktorá v roku 1957 odštartovala kozmickú éru ľudstva, vážil 83,6 kg a v súčasnosti by sme ho zaradili medzi mikrosatelity.

### Na ceste okolo Zeme

Satelity by sme pritom našli na dráhach v rôznych výškach (prevažne 200 až

35 786 km nad zemským povrchom) a s rôznymi sklonmi voči zemskému rovníku. Zvolená orbita vždy priamo súvisí s funkciou, ktorú satelit vykonáva. Najefektívnejšie je vyslať satelity na tzv. **nízke orbity**, t. j. dráhy vo výške do 2000 km nad zemským povrchom, ktoré sú ľahko dostupné. Ich nevýhodou je však pokrytie malej časti zemského povrchu jednou družicou. Husto osídlenou podskupinou nízkych dráh sú najmä tzv. **heliosynchrónne dráhy** so sklonom voči rovníku väčším než 90 stupňov. Nie sú teda úplne polárne – rovina polárnej dráhy je kolmá k rovníku, čo znamená, že teleso na polárnej dráhe prelieta okolo pólů našej planéty. Typická heliosynchrónna dráha má však sklon voči rovníku okolo 98 stupňov. A keďže sa zvyčajne nachádza vo výške 600 až 800 km, satelit na nej obehne Zem za cca 100 minút. Heliosynchrónna obežná dráha pritom kombinuje výšku a sklon takým spôsobom, že satelit prechádza nad určeným miestom povrchu Zeme vždy v rovnakom miestnom strednom slnečnom čase. Ďalšou výhodou tohto typu obežných dráh je, že ich roviny sú počas roka synchronizované tak, že satelity z nich stále „dovíďa“ na Slnko. V praxi to znamená, že objekt vôbec nevchádza do tieňa Zeme a môže tak neustále

profitovať z prísunu solárnej energie. Výnimočným typom obežných dráh sú **geostacionárne dráhy** vo výške 35 786 km a sklonom 0 stupňov, čo znamená, že rotujú okolo rovníka. V tejto výške im obeh trvá 24 hodín, takže družica obieha okolo Zeme rovnakou uhlovou rýchlosťou, akou sa otáča ktorýkoľvek bod na rovníku. V dôsledku toho sa geostacionárna družica neustále „vznáša“ nad rovnakým miestom rovníka – pozorovateľom na Zemi sa tak javí ako nehybná. To umožňuje danému satelitu stabilne pokrývať tú istú oblasť, pričom – vzhľadom na výšku orbity – jedna družica dokáže komunikovať približne so ¼ Zeme. Medzi nízkymi a geostacionárnymi dráhami sa nachádzajú tzv. **semisynchrónne (stredné obežné) dráhy** so sklonmi v rozpätí od 60 do 80 stupňov voči rovníku, pričom satelity umiestnené na týchto dráhach Zem obehnú za cca 12 hodín. Semisynchrónne orbity slúžia na kompletne pokrytie Zeme, a preto sú ideálnou voľbou pre konštelácie navigačných družíc. Výnimočne sa tiež využívajú tzv. silne výstredné dráhy s veľkými strednými výškami nad povrchom, kde by sme našli najmä vedecké družice.

### Extrémne pracovné prostredie

Aby družica dokázala vzdorovať drsným podmienkam vo vesmíre, je nevyhnutné, aby ju tvorili odolné materiály. Skoro každý objekt, ktorý obieha okolo Zeme, je totiž vystavený neustálej zmene teploty, keď prechádza do tieňa a z tieňa Zeme, čo predstavuje výkyv na úrovni 250 až 300 °C. Tieto zmeny teploty nežiaduco vplývajú na veľkosť, tvar a ďalšie vlastnosti väčšiny materiálov. Povrch satelitov vo vesmíre musí okrem toho čeliť aj vákuu, interakcii so slnečným a kozmickým žiarením, ako i potenciálnym (a vôbec nie zriedkavým) zrážkam s meteoroidnými časticami a časticami kozmického odpadu. Navyše počas štartu nosnej rakety a vynesenia objektu na obežnú dráhu Zeme sú satelity vystavené gravitačnému zrýchleniu, ktoré je tri- až štyrikrát väčšie než na Zemi. Materiálmi, ktoré dokážu vyhovieť z toho vyplývajúcim extrémnym nárokom, sú hliník (resp. jeho zliatiny) a titán. Oba kovy sú dostatočne ľahké, pevné a odolné. Na tepelnú ochranu satelitov sa za zvykne používať tzv. kevlar, čo je syntetické vlákno vyrobené z polyméru, schopné odolávať veľmi nízkym aj vysokým teplotám. Tavi sa až pri 600 °C. Vďaka mimoriadnej pevnosti a pružnosti pri zachovaní nízkej

hmotnosti by sme kevlar našli aj inde – vystužujú sa ním pneumatiky lietadiel, používa sa pri výrobe ochranných pracovných pomôcok, nepriestrelných viest, lán či kanoe. Neodmysliteľnou súčasťou väčšiny satelitov sú solárne panely, ktoré účinne vyriešili problém ich zásobovania elektrickou energiou. Technológia, ktorá dokáže premeniť zachytenú slnečnú energiu na elektrickú, rýchlo našla uplatnenie aj v pozemských podmienkach. Slnečné panely tvorené fotovoltaiickými článkami sa umiestňujú nielen na strechy budov, ale budujú sa i celé slnečné elektrárne. V posledných rokoch sa tiež realizujú experimenty s využitím slnečnej energie ako zdroja na pohon automobilov, riečnych lodí a malých lietadiel.

### Do výslužby už po pár rokoch

Vo väčšine prípadov umelé družice vo vesmíre operujú 5 až 15 rokov, čo závisí od ich misie, ale najmä životnosti. Tú určuje hlavne množstvo paliva, ktorým družica disponuje na vykonávanie potrebných korekcií dráhy, alebo to, či došlo k poškodeniu primárnych systémov, ako je napájanie solárnych panelov či schopnosť komunikácie s pozemským terminálom. Po ukončení

Mgr. Jiří Šilha, PhD., pôsobí ako vedecký pracovník na Katedre astronómie, fyziky Zeme a meteorológie Fakulty matematiky, fyziky a informatiky UK. Vo výskume sa zameriava na kozmický odpad, jeho pozorovanie, klasifikáciu a charakterizáciu.



misie sa družica presunie na dráhu mimo dosahu funkčných satelitov a stáva sa kozmickým odpadom. V prípade, že sa družicu nepodarí presunúť na menej využívanú dráhu, ohrozuje funkčné satelity, s ktorými sa môže zraziť. (Viac o kozmickom odpade a výzvach s ním spojených sa dočítate na str. 22 – 23.) V tejto súvislosti sa nemožno nezmieniť o tom, že odnedávna má funkčný satelit na obežnej dráhe opäť aj Slovenská republika. Ide o 1,2 kg nanosatelit typu CubeSat s názvom GRBALpha, ktorý je výsledkom spolupráce Technickej univerzity v Košiciach a iných (nielen slovenských) subjektov. Misia satelitu, ktorý na polárnu dráhu so strednou výškou 550 km vyniesla v marci ruská raketa Sojuz 2, sa zameriava na výskum zábleskov gama žiarenia. Ide o druhú družicu, ktorú Slováci úspešne vyslali do vesmíru – prvou bol nanosatelit skCUBE v roku 2017, ktorý je dnes už nefunkčný.

### Odštartovali novú éru komunikácie

Podľa zamerania môžeme civilne využívané družice rozdeliť do niekoľkých skupín. Začnime **telekomunikačnými družicami**. Do tejto kategórie totiž



spadá takmer polovica funkčných družíc. Nie div. Veď práve ony zabezpečujú prenos televízneho signálu, telefónnej a rádiovkej komunikácie aj internetu. Samotný prenos dát medzi zdrojom/vysielačom a prijímateľom signálu pritom prebieha – veľmi zjednodušené – nasledovne: pozemský terminál vyšle signál k družici (uplink), tá ho zachytí prostredníctvom prijímacej antény, transponuje na inú frekvenciu, zosilní ho a s pomocou vysielačej antény pošle späť na Zem (downlink). Telekomunikačné družice teda slúžia ako komunikačné relé.

Operujú na rôznych orbitách, čo závisí od ich zamerania. Na televízne vysielanie pre individuálnych používateľov sa využívajú geostacionárne dráhy – keďže sa tak družice stále vznášajú nad rovnakým miestom, signál z nich sa dá prijímať pevnou parabolickou anténou. Na geostacionárnej orbite by sme tak našli aj družicu Astra 3B z konštelácie Astra, ktorú využíva RTVS. Na nízkej dráhe je zas umiestnená napríklad sústava Iridium NEXT, ktorá sa zameriava na oblasť satelitnej komunikácie, teda satelitné telefóny a dátové riešenia. Veľkému rozmachu sa v súčasnosti teší prenos internetu pomocou tzv. megasústav nachádzajúcich sa nízkych

dráhach. Jednou z nich je tzv. Starlink sieť z dielne SpaceX, spoločnosti Elona Muska. Vďaka veľkému počtu družíc (niekoľko desaťtisíc) a relatívne malej vzdialenosti od prijímateľa dokážu tieto sústavy pokryť každé miesto na Zemi s veľmi malou latenciou (oneskorením) signálu. Tieto konštelácie však prispievajú k prudkému zvýšeniu umelých objektov na nízkej dráhe, čo zvýši pravdepodobnosť zrážky s kozmickým odpadom. Okrem toho negatívne ovplyvnia aj astronomické pozorovania zo Zeme. (Viac na str. 27.)

### Správa o stave atmosféry

**Meteorologické družice** slúžia na pravidelné monitorovanie počasia na Zemi. Sústreďujú sa na sledovanie oblačnosti, búrok, aktivity bleskov či rozloženia atmosférického ozónu. Využívajú pritom prevažne snímkovanie vo viditeľnej a infračervenej oblasti svetla, čím odborníkom poskytujú podstatné dáta na modelovanie vývoja a stavu atmosféry, zvlášť jej teploty a vlhkosti, a to s veľkým horizontálnym aj vertikálnym rozlíšením. Okolo Zeme obiehajú najmä po nízkych obežných dráhach, najčastejšie polárnych, takže nad určitým územím preletia niekoľkokrát za deň, poskytujú

detailné informácie o stave miestnej atmosféry. Meteorologické družice sa však umiestňujú aj na geostacionárne dráhy, vďaka čomu majú potom meteorológovia k dispozícii snímky o pohybe oblačnosti na veľkej časti územia, takže si môžu trúfnuť aj na dlhodobejšiu predpoveď počasia. To je aj prípad satelitov Meteosat, skupiny známych európskych meteorologických družíc, ktoré využíva aj Slovenský hydrometeorologický ústav.

### Nápomocné pri požiaroch i záplavách

Ďalším typom sú **družice na sledovanie Zeme, ľudskej činnosti a prírodných katastrof**, ktoré na snímkovanie zemskeho povrchu (pevniny aj oceánov) využívajú radar. Nimi dodané dáta pomáhajú vedcom, ktorí výstupy ich meraní v podobe výšky hladiny oceánov, stavu lodovcov či atmosféry vedia využiť pri vyhodnocovaní vplyvov klimatických zmien či environmentálnom monitorovaní daných oblastí. Pomocou analýzy ich fotografií sa dá sledovať aj stav vegetácie či zmeny v rozlohe vodných plôch, čo je užitočná informácia nielen pre poľnohospodárstvo, ale napríklad aj pre členov záchranných zložiek. Tí pri záplavách, požiaroch či ekologických katastrofách typu rozširujúca sa ropná škvrna vedia vďaka získaným snímkam dospieť k prognóze ďalšieho vývoja a prijať relevantné rozhodnutia na efektívnu elimináciu vzniknutých škôd. Tento typ družíc ma tiež potenciál pomôcť pri monitorovaní dodržiavania dohôd o znižovaní emisií CO<sub>2</sub> či kontrole odlesňovania na našej planéte. Známou sústavou takýchto satelitov sú družice z európskeho projektu Copernicus.

### Namiesto atlasu len ikonka v mobile

Nie je to tak dávno, čo by ste pri zablúdení v neznámom meste s najväčšou pravdepodobnosťou siahli po klasickej mape. Dnes vám stačí vytiahnuť mobil, naľukať cieľ cesty do navigácie a v priebehu niekoľkých sekúnd sa vám zobrazí najkratšia trasa. Aby to nebolo málo, dokáže sa dokonca pohotovo prispôbiť tomu, či ste na výlete autom, pešo alebo plánujete využiť mestskú hromadnú dopravu. Touto vymoženosťou disponujeme vďaka **navigačným družiciam**, resp. ich sieťam, keďže systém navigácie vyžaduje, aby z jedného konkrétneho miesta na Zemi bol v každom okamihu viditeľný väčší počet družíc. Z tohto dôvodu sa konštelácie desiatok

navigačných družíc nachádzajú väčšinou na semisynchrónnych dráhach s rôznymi sklonmi rovín. Iba tak družice vedia určiť presné priestorové umiestnenie a lokálny čas prijímača signálu. Základný princíp fungovania navigačných systémov je, že satelit neustále vysiela svoju súčasnú polohu s vysokou presnosťou a spolu s ňou aj presný čas, ktorý merajú atómové hodiny. Signál s týmito informáciami vysiela na Zem pomocou mikrovln. Prijímač je schopný pri prijatí signálu z troch družíc zistiť svoju polohu v intenciách zemepisnej šírky a dĺžky. V prípade signálu zo štyroch družíc dokáže určiť už aj nadmorskú výšku. Navigačné systémy sa z pochopiteľných príčin považujú za strategické, preto má každá krajina záujem operovať vlastný navigačný systém. Existuje ich tak niekoľko, napr. známy americký GPS (z angl. Global Positioning System), ruský GLONASS, európsky GALILEO či čínsky BeiDou. Navigačné družice však okrem vládnych organizácií či verejnosti využíva aj vedecká komunita, napr. geofyzici, ktorí využívajú dáta týchto sústav na modelovanie gravitačného poľa Zeme.

### Blízky vesmír pod drobnohľadom

**Astronomické družice** sa na rozdiel od predchádzajúcich typov zameriavajú na monitorovanie blízkeho okolia Zeme (najmä z dôvodu bezpečnosti a ochrany pred blízkozemskými asteroidmi), Slnka, telies slnečnej sústavy a vesmíru vo všeobecnosti. Ide o vedecké družice, ktoré disponujú detektormi na meranie elektromagnetického žiarenia v rôznych oblastiach spektra. Pozorovania v röntgenovej oblasti spektra robí napríklad americká družica Chandra X-ray Observatory, ktorá skúma veľmi horúce časti vesmíru ako klastre galaxií, supernovy, pulzary či hmotu v okolí čiernych dier. Družica sa nachádza na veľmi výstrednej orbite s výškou apogea (t. j. najvzdialenejšieho bodu na dráhe) 135 000 km. Vo viditeľnej oblasti už od roku 1990 skúma objekty slnečnej sústavy aj mimo nej Hubblov vesmírny ďalekohľad, ktorý sa vyskytuje na dráhe so strednou výškou, konkrétne 570 km nad povrchom. V infračervenej oblasti spektra objavil vyše 2600 extrasolárnych planét americký Keplerov ďalekohľad, ktorého misia sa skončila v roku 2018.

### Črtá sa ťažba z asteroidov

Okrem toho sa v súčasnosti niekoľko firiem venuje vývoju **experimentálnych**

**družíc zameraných na ťažbu surovín z asteroidov**. Ich úloha by pozostávala predovšetkým z „odchytenia“ blízkozemského asteroidu a jeho nasmerovania na geocentrickú obežnú dráhu. Následne by z neho vyťažili potrebné suroviny. Aj keď sú asteroidy vo všeobecnosti bohaté na kovy ako napríklad nikel, nie je to primárny prvok, ktorý by sme z asteroidov chceli ťažiť. Ide najmä o vodu, ktorú by sme tak vedeli využiť priamo na obežnej dráhe okolo Zeme, na Mesiaci alebo na Marse – napríklad na reguláciu teploty na družiciach, ale aj ako palivo po jej pretransformovaní na atomárny vodík a kyslík. Tým by sa totiž značne znížili náklady oproti súčasnému riešeniu, keď vodu do vesmíru vysielať raketami zo Zeme.

### Objavy, ktoré zmenili medicínu

Špecifickým typom umelých družíc sú **orbitálne či vesmírne stanice**. Hoci ich od prvej orbitálnej stanice Saľut 1, ktorá začala fungovať v roku 1971, na obežnej dráhe Zeme operovalo viacero, v súčasnosti je funkčná iba jedna, a to Medzinárodná vesmírna stanica (angl. International Space Station – ISS). Od roku 2000 sa na nej približne každého polroka menia posádky, ktorých cieľom sú vedeckovýskumné aktivity v bezťažovom stave. Práve dlhodobější pobyt ľudí vo vesmíre a objavy uskutočnené na vesmírnych staniách v mnohom obohatili modernú medicínu. Počas monitorovania zdravia astronautov sa zistilo, že v dôsledku absencie gravitácie u nich dochádza k rednutiu kostí. To, že sa tomu dá zamedziť kombináciou užívania bisfosfonátov, intenzívneho tréningu a nízkosodíkovej diéty, je najvyššou užitočnou informáciou využiteľná hlavne pre staršiu populáciu s vysokým rizikom osteoporózy. V medicíne našiel uplatnenie aj systém robotických ramien, prostredníctvom ktorých posádka na ISS dokáže zachytiť kozmickú loď so zásobami zo Zeme a následne ju pripojiť k staničnému modulu. Ukázalo sa, že ich zmenšená verzia vie chirurgom efektívne asistovať pri veľmi citlivých zákrokoch, ako je napríklad odstránenie nádoru na mozgu. Veľké objavy, z ktorých dnes profitujeme všetci, sa však kozmonautike podarili už dávno predtým. Na to, aby Američania vedeli, kde na Mesiaci budú môcť bezpečne pristáť, potrebovali disponovať kvalitnými snímkami mesačného povrchu. S týmto cieľom vyvinutá technológia dala neskôr základy

spracovaniu obrazu v medicíne, čo využívajú napríklad CT (z angl. computed tomography = počítačová tomografia) a MRI (z angl. magnetic resonance imaging = zobrazovanie magnetickou rezonanciou) skenery. Vesmírnomu výskumu vďačíme aj za infračervený ušný teplomer, ktorý stavia na infračervenom senzore vyvinutom pre NASA misiu IRAS, čo bol satelit skúmajúci teploty hviezd a planét. A istým spôsobom aj za bezfarebné strojčeky na zuby vyrobené z polykryštalického oxidu hlinitého. NASA totiž potrebovala vytvoriť priesačný materiál, ktorý by zároveň dostatočne ochránil raketové hlavice s infračerveným navádzaním.

### A výpočet pokračuje

Z výdobytkov vesmírneho výskumu však ťažia aj mnohé iné odvetvia. Vo všeobecnosti možno povedať, že kozmonautika urýchlila rozvoj mnohých technológií vrátane miniaturizácie a automatizácie. Napríklad vďaka tomu, že vesmírna misia Apollo potrebovala efektívne pozbierať vzorky hornín z povrchu Mesiaca, svetlo sveta uzrel populárny bezdrôtový vysávač Dustbuster, ktorý našťastoval éru akumulátorových prístrojov. Tragédia v roku 1967, keď na palube kozmickej lode Apollo 1 zhorela trojčlenná posádka pripravujúca sa na let do vesmíru, NASA doviedla ku skonštruovaniu požiarnych hlásičov a detektorov úniku plynu, ktorými sú dnes vybavené všetky verejné budovy na svete. S tým úzko súvisel aj vývoj nehorľavých textílií, z ktorých sa teraz šijú aj hasičské kombinézy. Pôvod v kozmickom výskume má aj termoizolačná fólia, ktorá sa v angličtine stále hovorovo nazýva „vesmírnou prikrývkou“ (angl. space blanket). Hoci je u nás už niekoľko rokov súčasťou povinnej výbavy každej autolekárniky, najprv ju využívali len satelity, a to ako tepelný štít vo vesmírnom vákuu, keďže je veľmi ľahká a dokáže odraziť až 97 % vyžiareného tepla. Za zmienku stojí aj technológia na čistenie vody vyvinutá pre potreby ISS, ktorá našla ďalekosiahle využitie aj na Zemi, obzvlášť v odľahlých oblastiach. Vymoženosti, za ktorých vďačíme kozmickému výskumu, by sme však našli omnoho viac. S určitou tak môžeme povedať, že bez kozmonautiky by niektoré technológie boli dodnes v plienkach. Nie však v tých jednorazových – aj tie totiž vznikli, aby pomohli astronautom zvládnuť niekoľkohodinový pobyt mimo vesmírnej stanice.