



Sonda LVICE<sup>2</sup> na ilustraci u Měsíce

# LVICE<sup>2</sup>:

## První česká sonda na cestě k Měsíci

O poslání a možných přínosech mise s poetickým názvem LVICE<sup>2</sup> jsme si povídali s Lukášem Krincvajem, který působí jako projektový vedoucí zmíněného ambiciózního programu s ryze českou stopou

Ptala se Jana Žďárská

**Č**eská vědecká mise k Měsíci dosáhla posledního milníku přípravné fáze. Při vývoji první ryze české kosmické sondy LVICE<sup>2</sup> s vlastním pohonem se podařilo zakončit revizi systémových požadavků a předběžné technické architektury a nyní se čeká na schválení financí. Lunární automat s řadou českých vědeckých přístrojů nabyt na velikosti a do jeho přípravy se zapojily další domácí aerokosmické firmy.

**?** LVICE<sup>2</sup> se stane první čistě českou sondou, která zamíří k Měsíci a do meziplanetárního prostoru. Mohl byste ji našim čtenářům představit?

Myslím, že jste v jedné větě vystihla všechno podstatné. LVICE<sup>2</sup> alias Lunar Vicinity

Complex Environmental Explorer, česky bychom mohli říct „komplexní průzkumník prostředí v blízkosti Měsíce“, se stane první u nás vyvinutou a integrovanou sondou s vlastním pohonem. Půjde o největší a nejtěžší umělé těleso v historii česko-slovenského zkoumání vesmíru, přičemž by se mělo vydat k Měsíci a provádět tam takzvaný základní výzkum kosmického prostředí.

**?** LVICE<sup>2</sup> vznikla jako odpověď na poptávku po ambiciózních českých kosmických misích od Ministerstva dopravy. Co tvoří její nejdůležitější cíl? Jde především o rozvoj vesmírného průmyslu v Česku, ale také o podporu spolupráce

průmyslu s akademickou a výzkumnou sférou a o vědecký přínos na světové úrovni. My si k tomu interně přidáváme ještě inspirování nových generací českých vědců a inženýrů, aby si vybrali kariéru v oblasti aerokosmonautiky a fyzikálních věd a pomohli u nás rozvíjet moderní průmyslové a vědecké odvětví s vysokou přidanou hodnotou.

**Kde se vzala LVICE<sup>2</sup>?**

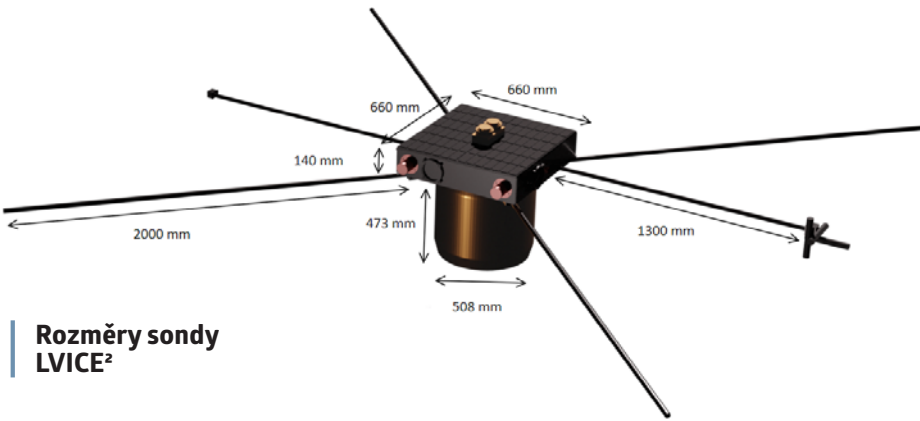
**?** Jak vznikl nápad připravit sondu k Měsíci?

Kolegové zmíněnou historii neradi dávají k dobru, ale já ji čtenářům prozradím. Tak jako většina skvělých českých nápadů, i tento se zrodil v hospodě. Náš vedoucí



» **fakta****OBLAKA PRACHU**

Kordylewského oblaka představují koncentrace prachu v Lagrangeových bodech L4 a L5 soustavy Země–Měsíc. Poprvé je popsal polský astronom **Kazimierz Kordylewski** v 60. letech 20. století a jejich existenci potvrdila Královská astronomická společnost v říjnu 2018.

**Rozměry sondy LVICE<sup>2</sup>**

shromážděná LVICI<sup>2</sup> budou velmi hodnotná pro výzkumníky u nás i jinde ve světě, protože jim poskytnou cenné informace o lunárním prostředí a pomohou vytyčit cestu pro budoucí mise mimo oběžnou dráhu Země.

**Potvrdí se oblaka prachu?**

**?** LVICE<sup>2</sup> má několik zásadních vědeckých cílů: Především se pokusí potvrdit existenci Kordylewského oblaků...

A nejen to – zaměří se i na koncentraci prachu v těchto objektech, které se nacházejí v blízkém okolí libračních bodů L<sub>4</sub> a L<sub>5</sub> systému Země–Měsíc. Zmíněná kvazistabilní místa mohou zachycovat meziplanetární prach o velikosti nad několik mikronů, čímž se stávají oblastí s jeho potenciálně zvýšenou koncentrací, která představuje riziko pro jakoukoliv navigaci.

**?** Popsaná oblaka poprvé pozoroval polský vědec **Kazimierz Kordylewski**. Jak dalece se je už podařilo probádat? A věnují se vědci jejich zkoumání i nadále?

Kordylewski pořídil i jejich první fotografie, přičemž jeho pozorování následně potvrdil americký vědec J. Wesley Simpson prostřednictvím Kuiperovy observatoře a dále také J. Roch s využitím družice OSO 6. Musíme si však uvědomit, že jsou Kordylewského oblaka ze Země obtížně pozorovatelná, a potvrzení jejich existence přímo na místě tedy hraje skutečně důležitou roli. V devadesátých letech se o něj pokusila japonská sonda Hiten, ale během svého jediného průletu žádný prach nenaměřila.

**?** Takže se LVICE<sup>2</sup> pokusí provést první měření koncentrace prachu přímo v libračních bodech L<sub>4</sub> a L<sub>5</sub>?

Ano, pozorování zvýšené koncentrace prachových částic by představovalo naše důležité prvenství. A také z vědeckého hlediska by bylo skvělé, kdybychom prostřednictvím LVICE<sup>2</sup> jejich existenci

potvrdili. Hromadění meziplanetární hmoty v libračních bodech pozorujeme například i u Jupitera, který sdílí svou oběžnou dráhu kolem Slunce s takzvanými trojány. Zmíněné asteroidy se pohybují po stejné trajektorii jako obří planeta, ale koncentrují se v Langrangeových bodech „před“ ní a „za“ ní. Trojány se přitom podařilo objevit rovněž u Marsu, Neptunu i Země.

**Tajemství slunečního větru**

**?** Sonda bude studovat také sluneční vítr. Na co se u něj zaměří především?

Zmíněné plazma vycházející ze Slunce sestává z nabitých částic – elektronů, protonů či těžkých jader o nízké energii – přičemž jde o nositele magnetického pole naší hvězdy. LVICE<sup>2</sup> se zaměří konkrétně na studium turbulentních kaskád v uvedeném proudu částic a vliv závětří Měsíce na

negativně ovlivnit naši civilizaci. Pochopení „jemnosti“ meziplanetárního plazmatu a slunečního větru je důležité pro spolehlivější předpovědi kosmického počasí, které má vliv nejen na kosmonauty a družice, ale třeba i na velké pozemní rozvodné sítě. Právě unikátní dráha LVICE<sup>2</sup> nabízí možnost zkoumat tok iontů slunečního větru dlouhodobě a také studovat meziplanetární rázové vlny – čemuž se dosud věnoval jen omezený počet zařízení, neboť přesná měření vyžadují polohu mimo zemskou magnetosféru. Sonda bude systematicky monitorovat tok galaktického kosmického záření a energetické částice ze Slunce, tok i spektrum měkkého rentgenového záření a záření gama. Zároveň bude vybavená detektorem neutronů.

.....

## Česko se díky LVICI<sup>2</sup> zařadí do prestižního klubu zemí, které dokážou postavit vlastní sondu k průzkumu Sluneční soustavy

.....

jejich vlastnosti. Se vzdáleností od Slunce klesá teplota slunečního větru pomaleji, než se čekalo. Popsané turbulence jsme dosud dostatečně neprozkoumali, a přitom mohou zásadně přispět k pochopení, jak se ve slunečním větru přenáší energie ve formě vln.

**?** Pokusí se mise pomoci i s objasněním mechanismu urychlování částic slunečního větru?

Mechanismu urychlování nabitých částic na vysoké energie při protuberancích a výronech koronální hmoty ještě plně nerozumíme, uvedené jevy však mohou velmi

**S vlastním pohonem**

**?** V jaké fázi se nyní projekt nachází?

Každý podobný návrh prochází stejnými projektovými fázemi. My jsme během léta aktualizovali dokumentaci na základě připomínek Evropské kosmické agentury, která na přípravu mise dohlíží. Nyní (*na konci srpna 2023, pozn. red.*) očekáváme, že budeme moci formálně uzavřít fázi B1, v níž došlo k finalizaci systémových požadavků a k prvnímu potvrzení, že navrhovaná technická architektura sondy zadaným požadavkům vyhovuje. Ministerstvo dopravy spolu s ESA výsledky naší práce vyhodnotí a v průběhu podzimu rozhodnou,



## rozhovor Lukáš Krincvaj

zda na realizaci mise přidělí finance. Pokud dostane výroba sondy zelenou, měla by se k Měsíci vydat mezi léty 2027 a 2028.

### ? Můžete nám víc přiblížit její vzhled?

V kompaktním stavu k vypuštění bude mít rozměry asi 66 × 66 × 61 centimetrů, její suchá hmotnost by měla dosahovat zhruba šedesáti kilogramů, včetně paliva pak okolo sto čtyřiceti kilogramů. Sonda ponese tři moduly akumulátorů po sto watt-hodinách, celkem tedy tři sta watt-hodin. Solární panely o výkonu sto wattů se budou nacházet na její vrchní straně a nebudou výklopné. Pohonný systém s tryskami na jednosložkové palivo hydrazin jí umožní doletět k Měsíci a manévrovat na jeho oběžné dráze. Zajistí ho společnost Stellar Exploration EU, přičemž bude

a k libračním bodům doletět musíme. Již zmiňovaná mise CAPSTONE to zvládla jako dvanáctijednotkový cubesat, ale zase se jí podařilo zajistit si dopravu až na únikovou dráhu k Měsíci neboli TLI, takže potřebovala méně paliva než my. Naše startovací dráha bude přechodová ke geostacionární čili GTO, s apogeeem přibližně třicet šest tisíc kilometrů od Země – což je dáno především finanční náročností dopravy na vzdálenější orbity a dostupností nosičů.

### Pestrá paleta přístrojů

#### ? Již nyní, v podobě návrhu, náleží

LVICI<sup>2</sup> několik zajímavých „nej“ v dějinách česko-slovenského dobývání vesmíru...

S potěšením mohu říct, že naše sonda bude historicky největší a nejtěžší. Půjde také

Sonda bude vědeckými přístroji doslova „napěchována“. Například Faraday Cup Analyser má charakterizovat vlastnosti plazmatu slunečního větru a měřit jeho turbulence v okolí Měsíce. Stejný úkol, jen v oblasti elektromagnetické, čeká na elektrické antény LEW a Search Coil Magnetometer. Měření magnetických vlastností slunečního větru zajistí také Fluxgate Magnetometer. AMR Magnetometer nám potom poskytne data k redukci signatury samotné sondy, a zlepší tak výsledky měření ostatních magnetometrů.

#### ? Zajímavé je rovněž zařízení pro detekci prachu. Mohla by se díky němu potvrdit existence Kordylewského oblaků?

Jejich přítomnost i hustotu bude měřit fóliový a piezoelektrický prachový detektor. K detekci větších a rychlejších částic prachu bude možné využít také již zmíněný Faraday Cup Analyser, jako terciární detektor. Přístroj PARDAL2 poslouží k měření radiace, zatímco spektrum nabitých částic bude měřit křemíkový LET detektor SPACEDOS. Tři kamery se pak postarají o sledování technického stavu družice a zachycování Země i Měsíce. A možná díky nim uvidíme také prach levitující nad lunárním povrchem.

## Pokud sonda dostane zelenou, měla by se na cestu k Měsíci vydat mezi léty 2027 a 2028

čerpat z předchozího úspěchu téhož pohonu na misi CAPSTONE. Autonomní navigaci a let zvládne sonda také pomocí slunečních senzorů, star trackeru, reakčních kol, potažmo setrvačníků, a inerciální měřicí jednotky IMU, udávající její orientaci. Ponese rovněž šest vědeckých přístrojů, některé na výklopných ramenech. Půjde tudíž o velice komplexní automat, jehož správné sestavení a otestování pro drsné podmínky vesmírného prostoru představuje značný oříšek.

### ? LVICE<sup>2</sup> se od ostatních plánovaných českých družic odlišuje především vlastním pohonem. Zpočátku se s ním ovšem nepočítalo...

Podle původního návrhu měla cíle mise naplnit sonda vyrobená v populárním standardu cubesatu, který nabízí modulární řešení pro malé družice: Měla mít šestnáct jednotek, vážit zhruba dvacet kilogramů a dosahovat velikosti stolního počítače. Vzhledem k množství vědeckých přístrojů a k dalším požadavkům mise však bylo nutné přistoupit k návrhu zcela nové, vlastní konstrukce. Nechtěli jsme škrtnat vědecké cíle nebo dělat kompromisy v kvalitě dat, která hodláme sbírat. Vlastní pohon však tvořil součást návrhu vždy – nějak k Měsíci

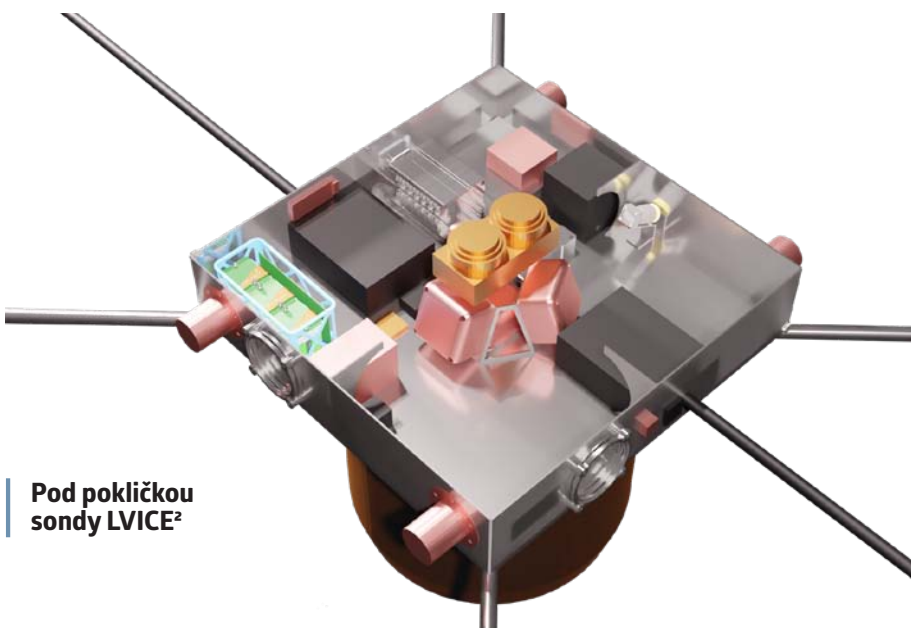
o první automat s vlastním pohonným systémem a s aktivní navigací – a především o nejdál letícího českého „vyslance“ na první samostatné misi k Měsíci. Navíc se jedná o zatím nejkompaktnější tuzemské zařízení s očekávaným vědeckým přínosem na světové úrovni.

### ? Jaké přístroje LVICE<sup>2</sup> ponese a kterým oblastem výzkumu se budou věnovat?

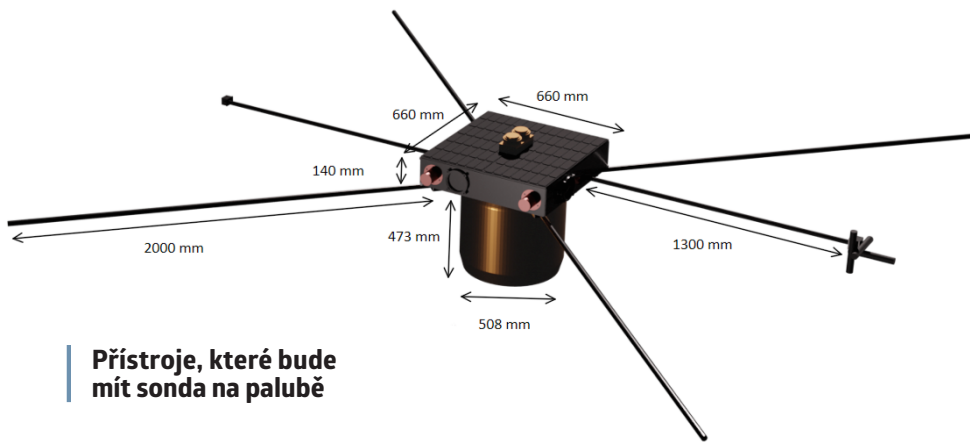
### Náročná cesta k cíli

#### ? Jaký nosič sondy do vesmíru dopraví? A odkud bude startovat?

To bohužel ještě nedokážeme říct, kvůli kombinaci podmínek v podobě hmotnosti a velikosti sondy, dopravy až na GTO či poptávky na termín za čtyři až pět roků. Zatím sondu koncipujeme tak, aby zvládla start na co nejširším spektru nosičů. Preferujeme raketu evropskou, abychom podpořili a demonstrovali



Pod pokličkou sondy LVICE<sup>2</sup>



## Přístroje, které bude mít sonda na palubě

nezávislost Evropy v oblasti startů do vesmíru. Ekonomicky však dnes dává největší smysl americký Falcon 9. Ovšem za pár let už třeba bude létat Starship, a čekáme i na úspěchy Ariane 6. S nadšeným zájmem sledujeme také pokrok společností jako Rocket Factory Augsburg, které by mohly do evropského prostoru vnést trochu agility ve stylu SpaceX. A zda se poletí s Francouzské Guyany, z Floridy, nebo odjinud, to zatím určeno není.

### ? Jak se budou zpracovávat data z vědeckých přístrojů?

Nedílnou součástí sondy pochopitelně tvoří palubní počítače, které budou řídit let i zpracovávat data z vědeckých přístrojů. Jejich návrh a výrobu zajišťuje společnost esc Aerospace, přičemž je následně plánuje dodávat také do dalších družic a sond. Data budeme ukládat do redundantní paměti, komprimovat je a vysílat pro příjem na Zemi k dalšímu zpracování a analýze.

### ? Jaké kroky čekají LVICI<sup>2</sup> nyní?

Pokud bude vybrána k realizaci, začneme s aktivní přípravou zkraye roku 2024, s plánovaným startem mezi léty 2027 a 2028. Po vypuštění sondy proběhne na zemské orbitě její základní oživení a manévr, který ji nasměruje do oblasti s nižším radičním zatížením. Po kompletním oživení se pak vydá k Měsíci,

kde bude v první fázi plnit vědecké cíle týkající se měření turbulencí ve slunečním větru a ionizujícího záření. Zhruba po roce se přesune na vzdálenější orbitu synchronizovanou s Měsícem tak, aby prolétala libračními body  $L_4$  a  $L_5$ , kde bude mít především za úkol měřit koncentraci kosmického prachu. Na sklonku mise provede sonda terminační

nějakého jevu, ale rozšiřuje naše poznání. Jeho uplatnění se pak většinou dostaví časem samo. Vždyť koho by napadlo, že teoretizování o kvantové mechanice jednou umožní konstrukci polovodičů i magnetické rezonance a obrovské pokroky v lékařské diagnostice? Lidstvo se dnes nachází v citlivé fázi vývoje, a dokud se neproměňme ve víceplanetární civilizaci, bude nás jeden mylný krok dělit od budoucnosti, ve které přestaneme existovat.

### ? Průzkum vesmíru tedy vnímáte jako jednu z hlavních priorit lidstva?

Rozhodně ano! V kosmu existují mnohá nebezpečí nejen pro živé organismy, ale i pro elektronické systémy a jiné technologie. Hlavní rizika v meziplanetárním prostoru představují mikrometeoroidy,

## Výběr evropské rakety by podpořil a demonstroval nezávislost Evropy v oblasti startů do vesmíru. Ekonomicky však dnes dává největší smysl Falcon 9

manévr a opustí citlivou lunární oblast, která bude v příštích letech a dekadách velmi vyhledávaná a navštěvovaná.

### Bez průzkumu ani ránu

#### ? Jak by mohla LVICE<sup>2</sup> pomoci v běžné praxi na Zemi?

Základní výzkum je specifický v tom, že nemá za cíl přijít s konkrétní aplikací

ionizující záření, sluneční erupce a na nízké orbitě Země také reaktivní kyslík. Právě na nízké oběžné dráze a v její blízkosti se nachází spousta družic monitorujících kosmické prostředí. Cislunární prostor však dosud nijak extenzivně nesledujeme a závažnost popsanych hrozeb tam nedokážeme posoudit. Právě na uvedená témata se LVICE<sup>2</sup> zaměří, takže nám poskytnete ke zkoumání velice unikátní data. Pokud se na nás tedy usměje štěstí, budou to právě články českých vědců a výzkumníků, jež se objeví na stránkách prestižních recenzovaných periodik. ✍

## Silný tým

Sondu LVICE<sup>2</sup> vyvíjí konsorcium českých firem v čele s **esc Aerospace**, která patří mezi hlavní poskytovatele inovativních kosmických řešení u nás. Přípravu projektu financuje **Ministerstvo dopravy** a do konsorcia dále spadá společnost **Stellar Exploration EU**. Vědecké přístroje dodá hned několik akademických a výzkumných institucí, jmenovitě **Fakulta elektrotechnická a Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT, Matematicko-fyzikální**

**fakulta Univerzity Karlovy a Ústav fyziky atmosféry spolu s Ústavem jaderné fyziky Akademie věd. Fakulta strojní ČVUT** má potom na starosti přípravu výpočtů orbitálních manévrů a drah. Expertizy z různých oblastí poskytly v poslední fázi projektu i firmy **Spacemanic** a **OHB Czechspace**, s jejichž spoluprací se počítá také do budoucna. V případě realizace mise se do ní zapojí dalších více než dvacet českých subjektů.

*Mgr. Jana Žďárská pracuje ve Fyzikálním ústavu AV ČR, v rámci popularizace vědy publikuje v Československém časopise pro fyziku a dalších periodikách. Je držitelkou ceny Littera Astronomica a členkou České astronomické společnosti (ČAS), Kosmologické sekce ČAS (dříve místopředsedkyní), Astronautické sekce ČAS, porotkyní Československé astrofotografie měsíce (ČAM) a členkou Jednoty českých matematiků a fyziků*