

1 VESMÍRNÉ NEROSTNÉ SUROVINY

Dříve než se pustíme do ryze právní analýzy problematiky těžby nerostných surovin v kosmickém prostoru, je potřeba si ujasnit, co se vlastně ve vesmíru plánuje těžít a za jakým účelem.

Požadavky lidstva v oblasti surovin se neustále zvyšují. OSN očekává do roku 2050 až dvojnásobný nárůst surovin a zdrojů, které lidé dokážou spotřebovat.¹ V této souvislosti se mezinárodní společenství v posledních několika desetiletích stále více zaměřuje na iniciativy „udržitelnosti“ využívání přírodních zdrojů a surovin, jako například recyklace a přechod na alternativní zdroje energie. Všechna taková opatření ke snížení spotřeby však mohou přinejlepším představovat pouze krátkodobé řešení z hlediska rostoucích spotřebních požadavků budoucích generací. Z dlouhodobého hlediska proto **budeme muset přejít od pouhého udržitelného využití surovin a přírodních zdrojů ke snahám o snížení spotřeby a zároveň nalezení více nových zdrojů surovin.**

Vzhledem ke skutečnosti, že nerostných surovin a zdrojů energie na Zemi stále ubývá, jediné místo, kde můžeme najít nové zásoby energie i surovin, je kosmický prostor. To by mohlo zahrnovat především těžbu na asteroidech, Měsíci, Marsu a výhledově na jiných nebeských tělesech.

1.1 Solární energie

Ovšem, než budou vyvinuty technologie umožňující skutečně efektivní a ekonomicky přínosnou těžbu na nebeských tělesech, naší první nejpravděpodobnější možností získání nerostných surovin mimo zemský povrch je solární energie šířící se kosmickým prostorem.

Postup zpracování kosmické solární energie nabízený současnými vědci by se zjednodušeně dal pospat následujícím způsobem. Na zemské oběžné dráze se umístí soustava satelitů vybavená solárními panely zachycujícími sluneční energii dříve, než dosáhne zemského povrchu. Takto zachycená sluneční energie se následovně bezdrátově přenáší do přijímací stanice umístěné na Zemi. Jednou z nejdůležitějších technických otázek přitom zůstává nastavení takové frekvence bezdrátového přenosu energie, která by nepoškodila živé organismy, rostliny nebo stroje, které přijdou do kontaktu s přenosovým paprskem.

¹ *Assessing global resource use: A systems approach to resource efficiency and pollution reduction.* Zpráva Mezinárodního panelu pro přírodní zdroje. Program OSN pro životní prostředí. Nairobi, Keňa, 2017.

Satelity sbírající sluneční energii nebudou podléhat pozemským překážkám jako například oblačnost, měnící se roční období nebo mlha a podobné atmosférické jevy. Na geostacionární oběžné dráze asi 35 800 km nad rovníkem Země by na satelity do značné míry neměl vliv ani noční stín způsobený otáčením Země okolo své osy. Veškeré tyto faktory tak umožní, aby satelity mohly být zhruba 10x účinnější než pozemní solární zařízení.

Návrhy soustavy satelitů pro zpracování sluneční energie byly poprvé vyvinuty americkým inženýrem českého původu Peterem Glaserem, který už v roce 1973 získal patent na svou „metodu a zařízení pro přeměnu slunečního záření na elektrickou energii“. Zahrnovala soustavu satelitů s mikrovlnnými anténami, které by přenášely energii do velkých pozemských přijímačů nazývaných „rekténami“.²

Od Glaserových průkopnických snah projekt vesmírné solární elektrárny doznal významného vývoje v USA, Kanadě, Evropě, Japonsku, Číně a Indii. Například v 70. letech NASA společně s americkým ministerstvem energetiky utratily přibližně 50 milionů dolarů za studie zkoumající proveditelnost takového projektu.³ V letech 1995 až 1997 se NASA znovu zaměřila na kosmickou sluneční energii v rámci iniciativy pod názvem Fresh Looks.⁴ V roce 2007 svou podrobnou analýzu předložil také americký národní úřad pro vesmírnou bezpečnost, a v roce 2009 své ambiciózní plány zveřejnila společnost Pacific Gas and Electric⁵ a JAXA. Z Evropy můžeme jako příklad uvést společnost EADS Astrium, která v roce 2010 začala hledat vhodné partnery pro společnou přípravu ukázkové mise.⁶ Dalším příkladem může posloužit První mezinárodní posudek vesmírné solární elektrárny připravený v roce 2011 Mezinárodní akademií astronautiky.⁷ Podle tohoto posudku „v nadcházejících desetiletích neexistují žádné zásadní technické překážky, které by bránily realizaci rozsáhlých platforem pro zpracování solární energie“. Nakonec v dubnu 2014 JAXA odhalila plány vesmírné solární elektrárny, která měla začít zásobovat energii jedno z největších měst světa – Tokio – už od roku 2030.⁸

Vzhledem k tomu, že veškerý život, jak jej známe, závisí na energii ze Slunce, není překvapivé, že zájem o kosmickou solární energii roste již více než 45 let. Stále se objevují průkopnické firmy (např. SpaceEnergy a Powersat), které lákají nové možnosti. Zájem takové organizace jako JAXA dává této problematice více institucionální kontext. Závěrem je třeba poznamenat, že všechny technologie potřebné k výrobě satelitů pro akumulaci solární energie již existují, přičemž se vedou neustále práce na jejich zdokonalování. Možnost přenosu energie na dlouhé

² GLASER, P. *Power from the Sun: Its Future*. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.162.3856.857>.

³ Zdroj: <https://web.archive.org/web/20170313135341/http://www.nss.org/settlement/ssp/library/1978DOESPS-ProgramPlanJuly1977-August1980.pdf>.

⁴ MANKINS, J. *A fresh look at space solar power: New architectures, concepts and technologies*. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(98\)00075-7](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(98)00075-7).

⁵ Zdroj: https://www.pge.com/en_US/small-medium-business/business-resource-center/energy-management-articles/energy-management-articles/past-articles/energy-from-outerspace.page.

⁶ Zdroj: <https://phys.org/news/2010-01-european-space-company-solar-power.html>.

⁷ Zdroj: https://iaaspace.org/iaa/Studies/sg311_finalreport_solarpower.pdf.

⁸ Zdroj: <https://spectrum.ieee.org/green-tech/solar/how-japan-plans-to-build-an-orbital-solar-farm>.

vzdálenosti pomocí mikrovln nebo laserů je také již dlouho prokázána. O několik desetiletí později se proto vize Petera Glasera ohledně získávání energie z vesmíru může stát realitou.

1.2 Těžba na asteroidech

Kosmická solární energie může pomoci uspokojit některé z našich budoucích energetických potřeb, nepomůže však s dodávkou fyzických nerostných surovin. Abychom dokázali uspokojit vlastní budoucí poptávku po nových nerostných surovinách, budou muset vesmírní průkopníci cestovat ze Země do vzdálených destinací, jako jsou asteroidy a Měsíc.

Asteroidy – známé také jako planety nebo planetoidy – jsou kusy kosmické hmoty, ze které se skládají i větší planety, na oběžné dráze kolem Slunce. Jsou materiálem, který zbyl z formování planet, a jejich průměr se pohybuje od několika metrů do stovek kilometrů.

Většina asteroidů se nachází v Hlavním pásu asteroidů mezi oběžnými dráhami Marsu a Jupiteru. Obsahuje miliony asteroidů, z nichž 750 000 má průměr více než 1 km a přes 200 mají průměr přesahující 100 km. Asteroidy v hlavním pásu jsou mimořádně rozloženy v prostoru: většina z nich je od sebe vzdálena stovky tisíc kilometrů.

Mimo Hlavní pás se nacházejí tři seskupení „okolozemských“ asteroidů, které se nazývají Athens, Amors a Apollo. Obsahují asi 9 000 asteroidů, z nichž téměř 1 000 mají v průměru více než kilometr. Kvůli jejich relativní blízkosti k naší planetě je asi 1 500 asteroidů blízkých Zemi nejvhodnějším kandidátem na první těžební operace.

Asteroidy se skládají z mnoha různých prvků, přičemž většina je klasifikována jako asteroidy typu C, typu S nebo typu M. Nejběžnější jsou uhlíčné asteroidy typu C, které mají šedivou barvu, a předpokládá se, že se skládají ze sloučenin uhlíku, horniny, až 20 % vody a menšího množství kovů. Asteroidy typu S nebo křemičité jsou nazelenalé až načervenalé barvy a jsou většinou složeny ze silikátů železa a hořčíku, s menším množstvím čistého niklu a železa, jakož i některých kovů platinové skupiny. Nakonec jsou kovové asteroidy typu M, které mají načervenalou barvu a skládají se převážně z čistého niklu a železa s menšími ložisky platinové skupiny. Odhaduje se, že jediný asteroid široký 500 metrů, bohatý na platinu, obsahuje množství platinových kovů, jež je až 174krát větší než roční světová produkce těchto vysoce vzácných materiálů a 1,5krát větší než známé světové zásoby kovů této skupiny na Zemi.

Během budoucích misí v kosmickém prostoru bude voda, která se nachází na asteroidech typu C, stejně, ne-li více, vzácná než slitiny drahých kovů, protože voda je kritickou komoditou jak pro podporu životaschopnosti lidí ve vesmíru, tak i jako zdroj kyslíku pro raketové palivo. I základní hornina na asteroidech se může ukázat jako cenný stavební materiál, protože může chránit lidi před smrtícím zářením. Jak

ilustrují všechny tyto příklady, existují různé možnosti využití asteroidů jako cenného zdroje mimozemských nerostných surovin. U některých jednotlivých asteroidů dokonce bylo spočítáno, že hodnota přírodních zdrojů obsažených na těchto tělesech může přesahovat sto miliard amerických dolarů.

Obecně se předpokládá, že **dobývání nerostných surovin na asteroidech bude o něco snazší než těžba na Měsíci**. Je tomu tak zejména proto, že i ty největší asteroidy mají velmi nízká gravitační pole. Může to znamenat, že pro kosmické těžbařské stroje by bylo relativně snadné, jak přistát na povrchu toho či onoho asteroidu, tak i se vrátit zpět do vesmíru. Vytěžené kovy, voda a další cenné suroviny by proto mohly být snadno transportovány na Zemi nebo na jiná dostupná místa.

Jakmile budou identifikovány první vhodné asteroidy, může začít samotná těžba, kterou lze provádět různými způsoby. Pro začátek mohou být na větších asteroidech založeny těžbařské základny. Obytné prostory pro lidi mohou být vyřezány přímo v hornině příslušného asteroidu takovým způsobem, aby poskytovaly ochranu před smrtícím kosmickým zářením. Průmyslová zařízení pevně připojená k povrchu asteroidu by pak zpracovávala a skladovala extrahované materiály a suroviny.

Jako alternativa k výstavbě dlouhodobých základen mohou posloužit menší kosmické lodě, které se dokážou dočasně připojit k velkým a malým asteroidům. Tato potenciálně robotická těžební plavidla by se potom probourávala pod povrch a hromadila by vytěžené suroviny ve speciálně určených nákladních prostorách. Malé lodě budou pravděpodobně preferovanou volbou pro těžbu menších asteroidů nebo pro těžbu koncentrovaných ložisek kritických materiálů a surovin z velkých asteroidů, které jsou převážně „schovány“ pod méně hodnotnou vrstvou horniny.

A jako další možnost se nabízí zpracovatelské stanice v podobě jakéhosi raketového „vlaku“, umístěného v blízkosti velkého asteroidu nebo poblíž rozsáhlého seskupení menších asteroidů. Tyto malé asteroidy nebo části větších asteroidů by pak byly dodávány do zpracovatelské stanice, zpracovávány na užitečné suroviny a odeslány na Zemi. Alternativně mohou raketové vlaky přepravovat malé zachycené asteroidy nebo části velkých asteroidů do zpracovatelských stanic na oběžné dráze Země nebo Měsíce.

V současné době těžba asteroidů může znít jako sci-fi, nicméně mnoho především soukromých společností se již věnuje vývoji technologií umožňujících dobývání nerostných surovin na asteroidech.

Těžba asteroidů rozhodně nebude snadná a souběžně s novými technologiemi se v dnešní době zpracovávají i ekonomické modely, které by byly alespoň trochu finančně výnosné pro těžbařské společnosti a případné zpracovatele vesmírných zdrojů. Ovšem stále se zvyšující spotřeba lidstva a omezenost pozemských zdrojů vytvářejí velký tlak na vývoj kosmických technologií. Tento tlak nám zároveň dává naději, že již v polovině tohoto století bude lidstvo schopno provádět své první těžbařské operace na asteroidech a Měsíci.

1.3 Těžba na Měsíci

Zájem lidstva o Měsíc není nijak nový. Lidé vzhlíželi k Měsíci už od počátku dějin. K dnešnímu dni ovšem pouze 12 z nás stálo na měsíčním povrchu a mělo možnost pozorovat nevěštní výhledy své domovské planety. Poslední astronaut Apolla odletěl z Měsíce v roce 1972.

Dnes v této oblasti zažíváme svého druhu renesanci. Zájem o návrat, a hlavně trvalé usazení na Měsíci, v posledních letech rapidně vzrostl jak mezi státními kosmickými agenturami, tak i mezi soukromými společnostmi. Vývrcholením těchto snah je **přijetí Artemis Accords, mezinárodního prohlášení učiněného skupinou států pod vedením NASA**, jemuž se podrobněji věnuje kapitola 7 (Artemis Accords a „společné dědictví lidstva“) této knihy.

Obchodní společnosti se zajímají o Měsíc především jako o potenciální zdroj nerostných surovin. Zejména se předpokládá, že náš přírodní satelit obsahuje značné zásoby kobaltu, železa, zlata, palladia, platiny, titanu, wolframu a uranu. Od roku 2009 experimenty NASA také potvrdily přítomnost vody na Měsíci, což by se mohlo ukázat jako rozhodující pro podporu dlouhodobé lidské přítomnosti. Nejcenějším prvkem však může být plyn zvaný **helium-3**, který by mohl pohánět budoucí jaderné reaktory.

V současné době používají všechny jaderné elektrárny k výrobě tepla a následně elektřiny proces štěpení jádra. Konkrétně uvnitř současných štěpných reaktorů jsou atomy uranu nebo plutonia zasaženy neutrony, které je rozštěpují. Tím se uvolňuje atomová energie, což ale zároveň vede také ke vzniku vysoce toxického jaderného odpadu.

Naproti tomu v budoucích fúzních atomových elektrárnách by se mohla používat dvě paliva, která budou v reaktoru sloučena dohromady, v důsledku čehož dojde k atomové reakci, ovšem, bez vzniku škodlivého jaderného odpadu. A to je právě úloha pro helium-3, jež by mohlo v kombinaci s deuteriem pohánět budoucí atomové elektrárny. Jediným vedlejším produktem takové interakce by při tom byl vznik obyčejného helia a zbloudilých protonů. Fúzní jaderné elektrárny fungující na bázi helia-3 a deuteria tak mají velký potenciál zásobovat Zemi bezpečnou energií.

Hlavní problém tkví v tom, že helium-3 se na Zemi přirozeně nevyskytuje, resp. vyskytuje se ve velmi zanedbatelném množství. V kosmickém prostoru je tomu ale jinak. Zdrojem helia-3 je samotné Slunce, které tento prvek vylučuje jako produkt vlastních termonukleárních reakcí. Vzhledem ke skutečnosti, že na Měsíci není atmosféra, helium-3 se nerušeně usazuje na povrchu Měsíce a uchovává se tam po miliardy let. Teoretické odhady naznačují, že v prvních několika metrech měsíčního regolitu se může nacházet více než 1,1 milionu tun helia-3. Přitom pouze okolo sta tun helia-3 by mohlo po celý rok zásobovat energií celou naši planetu. Hodnota helia-3 tak může mít hodnotu až miliard dolarů za tunu, což může být ekonomicky zajímavé už dnes pro již existující kosmický průmysl.

K tomu, aby budoucí těžba helia-3 byla ekonomicky životaschopná, je nezbytné, aby se tento plyn extrahoval z regolitu přímo na měsíčním povrchu. Těžba helia-3, jakož i ostatních nerostných surovin na Měsíci, by tedy vyžadovala výstavbu a provoz významné průmyslové infrastruktury. Takové zařízení by mohlo získávat energii potřebnou pro svůj provoz přímo ze Slunce a mohlo by být částečně postaveno z materiálů získaných nebo zpracovaných na Měsíci.

Koncept takové infrastruktury pod názvem Moon Village byl představen ESA⁹ ještě v roce 2015.¹⁰ „Village“ neboli „vesnice“ v tomto kontextu označuje jakési fórum pro mezinárodní veřejné a soukromé investory, vědce, inženýry, univerzity a obchodníky k diskusi o možnostech vybudování a sdílení infrastruktury na Měsíci a v cislunárním prostoru pro různé účely. Není to ani tolik projekt nebo program ESA v klasickém pojetí. Koncepce Moon Village se svým charakterem spíše blíží neziskové organizaci, která se snaží poskytnout platformu pro otevřenou mezinárodní architekturu a spolupráci. Jinými slovy, Moon Village se snaží vytvořit vizi, kde může vzkvétat jak mezinárodní spolupráce, tak komercializace vesmíru.¹¹

Otevřená povaha konceptu by zahrnovala jakýkoli druh lunárních aktivit, ať už jde o roboty nebo astronauty, 3D tištěná stanoviště,¹² čerpací stanice, přenosové orbitery, astronomii, využívání přírodních zdrojů nebo dokonce cestovní ruch. Cílem je dosáhnout alespoň určitého stupně koordinace a využití potenciálních synergií a vytvořit trvalou udržitelnou přítomnost na povrchu Měsíce, ať už robotickou nebo s posádkou. Jan Wörner, generální ředitel ESA do roku 2021, popsal v roce 2017 „vesnici“ jednoduše jako „porozumění, nikoli jediné zařízení“.¹³ Tato iniciativa je míněna jako první krok k tomu, abychom se spojili jako druh a rozvíjeli partnerství a know how před pokusem o totéž na Marsu.¹⁴ Wörner dále uvedl, že tato vize synergie může být stejně inspirativní jako Mezinárodní vesmírná stanice, ale na skutečně globální bázi mezinárodní spolupráce, a navrhl tento přístup jako náhradu za Mezinárodní vesmírnou stanici na oběžné dráze, která má být vyřazena z provozu v roce 2024.¹⁵

Zájem o spolupráci projevila Čína,¹⁶ a o potenciální synergií v rámci vlastního programu Lunar Gateway se také zajímá i NASA.¹⁷ Zainteresovanost vyjádřila i soukromá letecká a kosmická společnost Blue Origin, když nabídla vývoj

⁹ Mezinárodní mezivládní organizace založená podle Úmluvy ESA podepsané dne 30. května 1975 s účinností ode dne 30. října 1980. Úmluva ESA dostupná pod odkazem: https://www.esa.int/About_Us/ESA_Publications/ESA_monographs_SPs/SP-1337_ESA_Convention_pocket_edition.

¹⁰ Zdroj: <https://www.bbc.com/future/article/20150712-should-we-build-a-village-on-the-moon>.

¹¹ Zdroj: https://www.esa.int/About_Us/Ministerial_Council_2016/Moon_Village; <https://www.space.com/32695-moon-colony-european-space-agency.html>.

¹² Zdroj: https://www.esa.int/Highlights/Lunar_3D_printing/.

¹³ Zdroj: <https://www.techforspace.com/european-space-sector/esa-moon-village-what-it-really-is/>.

¹⁴ Zdroj: <https://phys.org/news/2017-09-moon-village-mars-esa.html>.

¹⁵ Zdroj: <https://futurism.com/esas-plan-for-a-moon-village-is-slowly-starting-to-come-together>.

¹⁶ Zdroj: <https://futurism.com/china-and-europe-may-build-a-moon-village-in-the-2020s>; <https://www.siliconrepublic.com/innovation/moon-village-colony-2050>.

¹⁷ Zdroj: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/ger_2018_small_mobile.pdf.

nákladního přistávacího modulu s nosností 4 500 kg.¹⁸ Významnou osobností podporující tento odvážný projekt je například i astronaut Buzz Aldrin, který již dlouho naléhá na své americké kolegy, aby ve své snaze o návrat na Měsíc spolupracovali s mezinárodními partnery.¹⁹

V současnosti je koncept Moon Village provozován neziskovou organizací založenou v listopadu 2017 s názvem Moon Village Association.²⁰ Je to nezisková organizace registrovaná ve Vídni, jejímž posláním je vytvořit globální fórum pro rozvoj Měsíční „vesnice“ a potenciálně realizovat trvalé lidské osídlení poblíž měsíčního jižního pólu s využitím téměř nepřetržitého slunečního záření a blízkého ložiska ledu a dalších přírodních zdrojů. V roce 2018 získala Vídeňská technická univerzita sponzorství od ESA pro designový workshop na téma Moon Village. 35 studentů magisterského programu vytvořilo hypotetické scénáře pro budoucí měsíční základnu. Zajímavé je, že kooperativní koncept workshopu vedl k řadě nových témat, jako je víceúčelová mobilní infrastruktura, astro-vědecký výcvikový areál na Měsíci, experimentální výzkumná potravinářská laboratoř nebo lunární recyklační zařízení.²¹

Obrovské množství čisté energie může být budoucími měsíčními koloniemi vysíláno přímo na Zemi pomocí mikrovln nebo laserů. Taková energie by mohla být generována buď jadernými elektrárnami postavenými na Měsíci, nebo rozsáhlými solárními panely vyrobenými z měsíčních materiálů. Pokud k tomu někdy dojde, může se Měsíc stát další supervelmocí, která sice bude závislá na určitých zásobách ze Země, ale která bude zároveň ovládat trh s energiemi na Zemi.

Veškeré scénáře a vize popsané výše jsou bezpochyby zajímavými možnostmi pro rozvoj lidstva, vyvolávají ovšem velké množství otázek technického a ekonomického charakteru, které zatím zůstávají bez odpovědi. Stále se hledají odpovědi i na právní otázky spojené s kosmickou těžbou. V současné době odborníci poukázali na celou řadu **právních problémů**, které se již v blízké budoucnosti mohou stát realitou, a kterým jsou věnovány kapitoly 4 (Národní právní úprava týkající se kosmického prostoru), 5 (Zákonnost jednostranného využívání vesmírných nerostných surovin z hlediska mezinárodního práva) a 6 (Srovnání regulace těžby „ve prospěch lidstva“ na mořském dně a v kosmickém prostoru: Role malých států a mezinárodní právo v extrateritoriální expanzi těžby) této knihy. Experti z oblasti kosmického práva se zabývají jak naprosto základními otázkami, např. zda je těžba v kosmickém prostoru vůbec legální podle současného kosmického práva, tak i komplexnějšími studii majícími za cíl navrhnout právní úpravu umožňující spravedlivou distribuci výnosů z takové těžby. Abychom byli schopni věnovat se těmto tématům, musíme se nejdříve podívat na vývoj kosmického práva a prozkoumat specifika tvorby jeho pramenů.

¹⁸ Zdroj: <https://spacenews.com/bezos-outlines-vision-of-blue-origins-lunar-future/>.

¹⁹ ALDRIN, B. *Mission to Mars: My Vision for Space Exploration*. National Geographic Society, 2013.

²⁰ Zdroj: <https://moonvillageassociation.org/#overview-1>.

²¹ Zdroj: <https://iafastro.directory/iac/archive/browse/IAC-18/A5/1/43903/>; https://issuu.com/hochbau2/docs/hb2_moonvillage.

