



EARTH EXPLORERS

VĚDECKÉ DRUŽICE PRO DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ

Jan Kolář, Kristýna Leimerová

Jan Kolář, Kristýna Leimerová

EARTH EXPLORERS

Vědecké družice ESA pro dálkový průzkum Země

OBSAH

| | |
|---|----|
| ÚVOD | 4 |
| EVROPSKÝ PROGRAM EARTH EXPLORER | 7 |
| GOCE | 14 |
| SMOS | 20 |
| CRYOSAT-2 | 25 |
| SWARM | 31 |
| ADM-AEOLUS | 39 |
| EARTHCARE | 43 |
| PREMIER | 60 |
| FLEX | 66 |
| CARBONSAT | 74 |
| VYUŽITÍ PROGRAMU EARTH EXPLORER V ČESKÉ REPUBLICE | 77 |
| SEZNAM ZKRATEK | 79 |
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 83 |
| SEZNAM TABULEK | 85 |

O autorech

Jan Kolář

Vystudoval jadernou fyziku na ČVUT v Praze. Je odborníkem v oboru dálkového průzkumu a kosmického výzkumu. V roce 1981 založil a přes dvacet let řídil laboratoř pro pozorování Země na Stavební fakultě ČVUT. V letech 1984 až 1992 byl místopředsedou Československé komise pro kosmický výzkum a předsedou její pracovní skupiny dálkového průzkumu. V roce 1990 založil geoinformační firmu GISAT na zpracování dat z družic pro pozorování Země. Byl hlavním řešitelem mezinárodních projektů dálkového průzkumu a lektorem na kursech v zahraničí. Je autorem monografie o dálkovém průzkumu Země, několika vysokoškolských skript a desítek vědeckých článků a výzkumných zpráv. V současnosti přednáší dálkový průzkum na Přírodovědecké fakultě Karlovy univerzity v Praze, kde vedl katedru geoinformatiky. V roce 2003 založil neziskovou organizaci Česká kosmická kancelář, která se věnuje podpoře rozvoje kosmického výzkumu a kosmonautického průmyslu v České republice a podpoře mezinárodní spolupráce v kosmonautice, především s Evropskou kosmickou agenturou (ESA). Je členem vedení Mezinárodní astronautické akademie (IAA) a její vědecké sekce a komise pro pozorování Země v Mezinárodní astronautické federaci (IAF).

Kristýna Leimerová

Studovala v letech 2006 – 2011 obor geoinformatika na Univerzitě Palackého v Olomouci. Absolvovala studijní pobyty se zaměřením na dálkový průzkum Země v Centru dálkového průzkumu Země a GIS na Univerzitě v Bělehradu a na katedře geodézie, kartografie a topografie Polytechnické univerzity ve Valencii. V současnosti je odborným pracovníkem České kosmické kanceláře v oboru družicového pozorování Země.

ÚVOD

Pochopit a umění předpovídat stav našeho domova – přírodního prostředí na planetě Zemi, je důležitá schopnost nutná pro zabezpečení dlouhodobé obyvatelnosti této planety pro člověka. Jde o složitý problém, v němž se vzájemně propojuje využívání přírodních zdrojů, udržitelnost kvality přírodního prostředí a politická odpovědnost.

Stále je ještě dost aspektů ve složitém systému Země, které neumíme uspokojivě vysvětlit. To je hlavním úkolem a obsahem práce v oborech věd o Zemi, jejíž výsledky pomáhají vytvářet modely jednotlivých částí systému naší planety. Pro řešení výzkumných otázek jsou zásadní data z družic, která doplňují údaje naměřené v pozemních stanicích nebo v letadlech. Družice nabízejí jedinečné schopnosti pro pořizování dat, neboť poskytují globální, kvazi-synoptická a opakovaně pořizovaná měření v neměnné kvalitě. Počet geofyzikálních veličin, které lze z paluby umělých družic zjišťovat, se díky technologickému pokroku stále zvětšuje a zahrnuje všechny složky zemského systému. Tyto schopnosti dálkového průzkumu jsou dobře využitelné právě pro výzkum systému Země, který vyžaduje komplexní propojení časově i prostorově proměnných prvků. Pozorování z družic hraje klíčovou úlohu při výzkumu zemského systému a často poskytují jediný způsob, jak v jeho zkoumání pokročit dále.

Účelem této studie je představit hlavní program pro pozorování Země Evropské kosmické agentury, který je soustředěn na vývoj družic Země potřebných pro výzkum naší planety. Česká republika je členskou zemí agentury od listopadu 2008, ale kontakty i zapojení do tohoto programu členství předběhlo. Česká republika bylo pozorovatelem v tomto programu již o dva roky dříve, v předstihu před ostatními programy. Přesto jsou možnosti programu zatím českou vědeckou obcí využívány stále ještě mnohem méně než by české výzkumné kapacity umožňovaly. Studie seznamuje s hlavním cílem družicového programu Earth Explorer jakožto vědeckovýzkumného programu. Spojuje se v něm potřeba témat zkoumaných ve vědách o Zemi s požadavky na špičkovou přístrojovou techniku a inovační technologie, které podmiňují splnění vědeckých úkolů. Pro česká pracoviště tedy program Earth Explorer představuje příležitost uplatnění nejen v řešení špičkových vědeckých problémů, ale také ve vývoji unikátních měřících přístrojů, podpůrných systémů zajišťujících fungování družice při

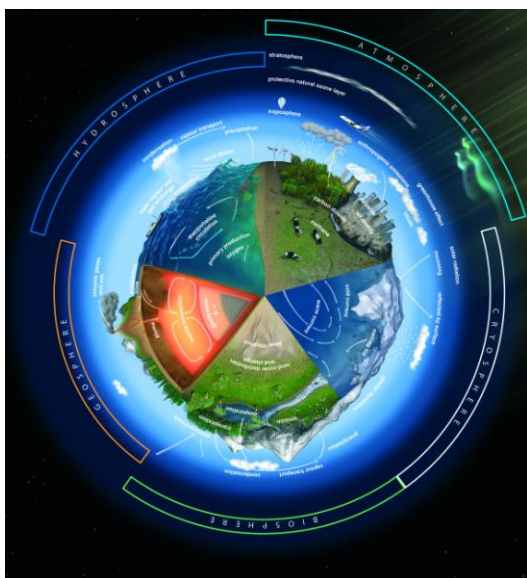
kosmickém letu na oběžné dráze kolem Země a v neposlední řadě pozemního zařízení pro příjem, zpracování a distribuci dat a řízení letu družic.

Využití pozorování Země

Dálkový průzkum Země je ze své podstaty víceúčelový nástroj. Stejně jako se říká, že jeden obrázek vydá za tisíc slov, lze z jednoho družicového obrázku či datového souboru zjistit mnoho různých typů informací vhodných k velkému počtu různých použití. A to v široké paletě podrobností od jednoho městského bloku přes město, stát až po kontinent a celou zeměkouli. Úkolem družic dálkového průzkumu je poskytnout soubor měření umožňujících sledování stavu Země a způsobu jeho změn. Obsahově se toto sledování týká různých oblastí a oborů, takže se nedá určit žádný typický uživatel této metody. Může jím být jednoduše každý, kdo potřebuje více i méně podrobný popis určité – jakkoli velké nebo malé – části naší planety.

Charakter požadavků nezbytných pro řešení konkrétního vědeckého úkolu je různý. Od přesně definovaných požadavků na hodnoty určitého parametru měřených během daného časového období, k potřebě dlouhodobého měření a sady parametrů. První typ dat je typickým výstupem výzkumných družic typu Earth Explorer, kdy jeden přístroj může přinést v relativně krátké době důležitá nová data pro řešení vědeckého úkolu. Druhý typ vyžaduje kontinuitu pozorování, kde srovnatelnost dat za dlouhé časové období je důležitější, než jedno inovativní měření. To je zase rysem operačních meteorologických družic Meteosat a MetOp organizace Eumetsat nebo budoucích družic Sentinel v programu GMES. I když jejich data jsou určena pro každodenní provozní potřebu, jsou přínosná i pro vědecký výzkum zejména dlouhodobými časovými řadami globálních dat, které jedna výzkumná družice nemůže poskytnout.

Pozorování Země poskytuje zcela nový rozměr informací, a proto jej využívá již tisíce uživatelů po celém světě. Je to technologie, která prochází již čtyřicet let rychlým vývojem. Staví stále nové a větší úkoly před vědce zkoumající různé procesy probíhající na nebi, pod zemským povrchem a v atmosféře a pracují s naměřenými daty, stejně jako



Obr. 1 Oblasti zemského ekosystému

před inženýry a výzkumníky, kteří vyvíjejí nové vědecké a měřicí přístroje či detektory.

Zkoumání systému Země není rozhodně samoučelné akademické cvičení. Z poznatků získaných při výzkumných projektech obvykle vyplynou prakticky využitelné postupy pro získání novější, podrobné anebo aktuální informace pro rozhodování v komerční sféře nebo státní správě. To vyžaduje rozšiřovat povědomí o použitelnosti metody pozorování Země v každodenní činnosti různých potenciálních uživatelských organizací. Krokem k tomu je vývoj ukázkových produktů uzpůsobených ke zvýšení efektivity práce těchto organizací. Konečným cílem je pak přeměnit tyto produkty do stálé dodavatelské služby poskytované veřejnými nebo soukromými subjekty. Postavení funkční služby, vyžaduje pevné partnerství mezi výzkumnými institucemi, poskytovateli služeb a uživatelskými organizacemi.

Vědecké cíle pozorování Země

Pozorování z oběžné dráhy mají rozhodující význam pro tvorbu modelů, které umožní předvídat, jak celá atmosféra, moře a pozemní systém bude reagovat na zásahy zvenčí a jejich důsledky pro přírodní systém i pro člověka. Znalosti o fungování naší planety a ovlivnění lidskou společností jsou zásadně důležité pro správu našeho životního prostředí a uchování možnosti z něho těžit. Hlavním úkolem ve zkoumání Země jako systému je vyvinout potřebné analytické metody, které dokážou postupně funkci systému pochopit a tak i umožnit z nich dále

připravit praktické aplikace. Základním vstupem pro tyto výzkumy jsou podrobná pozorování řady fyzikálních, chemických a biologických parametrů. Jak krátkodobé, tak dlouhodobé datové soubory mají zásadní význam pro chápání přírodního prostředí, které nás obklopuje.

Pokrok v kvantitativní znalosti jednotlivých složek a jejich vzájemných vztahů vyžaduje integrovaný přístup ve zkoumání čtyř základních témat věd o Zemi a to zemského nitra, klimatického systému, geosféry a biosféry a vlivu člověka na stav atmosféry a oceánů.

Procesy probíhající uvnitř Země silně ovlivňují naše klima a životní i přírodní prostředí v krátkém i dlouhém časovém měřítku. Znalost skladby jádra, pláště a kůry Země a jejich vývoje má pro jejich pochopení značný význam. Proto jsou zapotřebí údaje o prostorovém rozložení zemské gravitace a magnetického pole s prostorovým rozlišením lepším než 200 km a přesností 1-2 mgal u gravitačního pole a 1,5 nT u magnetického pole. Ty lze v komplexní podobě získat jen z družicových měření. Přesná plocha geoidu s chybou řádu 1-2 cm poskytne pevný podklad pro studium všech topografických procesů, včetně dynamické topografie oceánu.

Jednotlivé složky klimatického systému vykazují značnou vnitřní variabilitu. Od rychlých změn v atmosféře (hodiny až týdny související s počasím) přes střednědobé (sezónní a meziroční změny a interakce atmosféry s oceánem, kryosférou a kontinentální biosférou) až po dlouhodobé (stoleté i déle odražející změny v energetické bilanci Země). Variabilita klimatu je rovněž spojena se změnami chemického složení atmosféry. Zjistit fungování těchto jevů vyžaduje dynamická prostorová měření větru, rozložení oblačnosti a aerosolů, sledování mořských proudů a transportu zářivé energie a jejich prostorové a časové proměnlivosti a dynamiky mořského ledu a jevů v oceánu.

Geosféra a biosféra je dějištěm významných environmentálních procesů, které hrají důležitou roli ve vývoji klimatického systému a klimatických změn. Změny v krajinném pokryvu, změny hydrologických podmínek, změny ve složení atmosféry a změny hladiny moře v sobě obsahují odpovědi na klíčové otázky o tom, jak změna klimatu ovlivňuje suchozemských ekosystémů a biologické procesy a následně obnovitelné a neobnovitelné zdroje naší planety. Znalost transportních a procesů výměny hlavně přenosu energie a koloběhu vody jsou rozhodujícími faktory pro rozvíjení našich znalostí a modelování ekosystémů.

Pozorování Země poskytuje měření povrchových geofyzikálních a biofyzikálních vlastností a jejich změn v podobě degradace životního prostředí a znečištění. Na nich závisí i zlepšení numerických modelů a následně klimatických předpovědí. Prostorová data pořízená z oběžné dráhy jsou pro získání těchto údajů nezastupitelná.

Vlivem působení člověka se chemické složení zemského prostředí rychle mění, což vede k mnoha problémům. Proto je třeba kvantifikovat toky plynů a částic mezi jednotlivými složkami zemského systému (pozemní a mořská biosféra, atmosféra, oceány, půda), pochopit chemické reakce související s transportními procesy, a následně posoudit vliv antropogenní činnosti na tyto změny. Potřebná měření zahrnují oxidační vlastnosti atmosféry, změny toků zářivé energie v návaznosti na obsah skleníkových plynů a aerosolů, fotochemické procesy, zdroje znečištění oceánu a proudění, které nečistoty šíří a fyzikálně-biologicko-chemické procesy, které charakterizují dlouhodobé proměny v životním prostředí.

Během posledních dvou desetiletí se možnosti nástrojů a metod vědeckého výzkumu zemského systému výrazně zlepšily díky vývoji v přístrojové technice a numerické simulaci podpořeném podstatným nárůstem výkonu výpočetní techniky. Přes významné pokroky v rozvoji chápání a kvantitativního popisu fungování systému naší planety v minulých desetiletích, jsme stále daleko od jeho dokonalého poznání. Tím více je nedokonalá naše schopnost předvídat jeho další vývoj. Další pokrok vyžaduje řešení výše uvedených úkolů, pro které je zapotřebí nasazení nových nástrojů a inovativních metod.

EVROPSKÝ PROGRAM EARTH EXPLORER

Dlouhodobá obyvatelnost naší planety je základní otázkou, v jejíž řešení nemůže Evropa jako jedna z bohatších a technicky vyspělých oblastí, stát stranou.

První evropské družicové programy pozorování Země na národní či celoevropské úrovni, např. Meteosat, SPOT, TOPEX/POSEIDON, ERS, postavily Evropu na přední místo ve světě a to v přírodovědné i technické oblasti této lidské aktivity.

Družice Meteosat a SPOT umožnily vývoj prvních evropských aplikací, které se začaly uplatňovat v pravidelném provozu. Družice ERS napomohly rozšíření vědeckého poznání v řadě specifických oborů jako výzkum oceánu a atmosféry, mořského ledu, ledovců a sněhové pokrývky, pevninského povrchu a dynamiky zemské kůry. Následovala etapa nové generace evropských meteorologických družic: Metop na polární oběžné dráze a Meteosat druhé generace (MSG) na geostacionární. Tyto družice provozované Evropskou organizací pro využívání meteorologických družic EUMETSAT dále rozvinuly operační schopnosti meteorologických služeb. Vlajkovou lodí evropského programu pozorování Země se stala družice Envisat, která umožnila pokračovat ve výzkumu zahájeného družicemi ERS. Během deseti let činnosti po vypuštění v únoru 2002 družice poskytla nové možnosti pro sledování složení atmosféry, stejně



Obr. 2 Družice Envisat

jako pokračování výzkumu moře, pobřežní zóny a krajinného pokryvu.

Během první poloviny roku 1990 ESA začala rozvíjet nový přístup k provádění svého programu pozorování Země. Do té doby družicový dálkový průzkum prováděly buď operační družice pro meteorologii nebo vědecké družice osazené různorodými instrumenty, které umožnily celou řadu odlišných měření, ale bez potřebné tematické provázanosti. Nová koncepce obsahovala návrh uceleného programu dlouhodobého a systematického zkoumání zemského prostředí z oběžné dráhy s družicemi určenými výhradně pro pozorování Země.

Tento koncept se stal základem dokumentu "Návrh evropské politiky pozorování Země z kosmu", který ESA spolu s Evropskou komisí a organizací EUMETSAT předložila zasedání ministrů členských zemí v roce 1995. Po jeho odsouhlasení byla koncepce v následujících dvou letech rozpracována do strategického programu ESA na pozorování Země, který dostal název Žijící planeta (Living Planet). Dokument formuluje evropskou strategii družicového dálkového průzkumu pro nové století po roce 2005. Po úspěšných družicích ERS a družice Envisat, které byly určeny ke zkoumání otázek výzkumu Země v širokém záběru témat, zvolila evropská výzkumná komunita koncepci menších výzkumných projektů věnovaných vždy vybranému problému výzkumu zemského prostředí. Strategie je postavená na zásadě konkrétně stanovených výzkumných úkolů pro každou družici vybraných v úzké spolupráci a podle požadavků vědeckovýzkumné komunity. Program nazvaný Earth Explorer byl v tomto pojetí nadšeně podpořen vědeckou komunitou v Evropě, což se projevilo velkým počtem návrhů a aktivním zapojením do řízení programu. Proto na ministerské radě ESA v Berlíně v roce 2005, které se jako pozorovatel zúčastnila poprvé i Česká republika, bylo potvrzeno financování třetí fáze programu na období 2008 – 2012, v němž se dokončily první družice tohoto nového zaměření.

Celý program Earth Explorer je nástrojem pro vývoj a stavbu družic s vědeckými přístroji určenými pro výzkum atmosféry, biosféry, hydrosféry, kryosféry a zemského jádra. Základním cílem je dozvědět se

více o vzájemném působení těchto složek, a o míře dopadu lidské činnosti na chod přírodních procesů na naší planetě.

V rámci finančních prostředků poskytnutých členskými státy tomuto programu ESA jsou družice Earth Explorer vybírány podle řady poměrně specifických kritérií. Patří k nim vztah k výzkumným cílům pro pozorování Země, potřeba a užitečnost navrhovaných měření, technická dokonalost a míra inovace, jedinečnost experimentů a jejich proveditelnost. Odborná veřejnost je zapojena do všech fází výběru i vývoje a stavby konkrétních družic, aby bylo zajištěné, že program skutečně odráží jeho vědecké potřeby a cíle. To znamená, že družice Earth Explorer svým přístrojovým vybavením poskytují přesnější a i obsahově nové údaje potřebné k dalšímu studiu různých procesů a rozvíjení stávajících modelů zemského systému. Jsou určeny také k vývoji a ověření funkčnosti nových palubních přístrojů pro jejich budoucí použití v operačních systémech. Pro splnění obou cílů je důležitý technický vývoj, takže technická vývojová pracoviště jsou pro program velmi důležitá.

Všechny současné fungující nebo připravující se družice Earth Explorer byly navrženy a vyvíjeny v úzké spolupráci s vědeckou komunitou. Jejich zaměření zahrnuje široké spektrum vědeckých otázek o Zemi. Zvolená strategie dala akademické sféře nový a účinný nástroj pro zlepšování našich znalostí a chápání Země jakožto systému. Řešené vědecké otázky také vytváří základ pro vývoj nových aplikací pozorování Země. Družice Earth Explorer připravují současně cestu pro budoucí operační družice na nichž mohou být postaveny nové služby. Výhodnost této synergie a návaznosti výzkumných a operačních družic dlouhodobě prokazuje vývoj a využívání meteorologických družic.

Organizace programu Earth Explorer

Při určování zaměření jednotlivých družic Earth Explorer a k tomu potřebných technických parametrů přístrojů i systémů družice jsou výchozím bodem vědecké otázky. A to ze všech oborů věd o Zemi. U nastolených vědeckých a výzkumných otázek se přihlíží k míře jejich naléhavosti na jedné a druhé straně. Podle toho se volí i dva různé přístupy při návrhu příslušné družice. První kategorie misí se označuje jako Základní (Core). Ty jsou zaměřené na specifické oblasti velkého vědeckého zájmu, zatímco menší,

rychleji postavené a tedy i levnější družice z druhé kategorie nazvané Příležitostní (Opportunity) jsou určeny k řešení aktuálních a naléhavých globálních ohrožení životního prostředí. Tímto způsobem program spojuje stabilitu s pružností, která umožňuje reagovat na aktuální stav ve výzkumu planety. Oba typy jsou otevřené mezinárodní spolupráci, a jejich příprava zahrnuje rozsáhlé konzultace s evropskými a kanadskými vědeckými pracovníky. Vedení projektu je vždy v ESA.

Příležitostní typ družic vyžaduje méně rozsáhlé přípravy, protože by měl vždy poskytnout rychlejší způsob zareagovat na konkrétní výzkumný problém, který nebyl pokryt nebo dostatečně zvládnut předešlou misí, či se vyskytl během výzkumných aktivit. Do úkolů takové družice se mohou zařadit i přístroje pro potřeby jiných programů nebo na ověření technického inovativního řešení nebo nové způsoby řešení výzkumných cílů. Rozpočet pro celý projekt Příležitostního typu má daný finanční strop a pevný, pokud je to možné i relativně krátký, časový harmonogram v rámci zjednodušených postupů.

Oba typy družic Earth Explorer otevírají cestu ke komerčnímu využívání pozorovacích družic a pomáhají vytvořit nové uživatelské příležitosti i když základním posláním a prioritou je vědecký výzkum Země.

Program Earth Explorer je financován a řízen podle pravidel volitelného programu ESA, které lze optimálně stanovit s ohledem na společné domluvené cíle. Pravidla jsou zformulována v deklaraci a prováděcích pravidlech – dvou základních právních dokumentech volitelného programu ESA.

Aby si vědecká komunita vzala družice Earth Explorer za své, je třeba, aby mohla rozhodovat o koncepci celého programu. To je splněno dvěma aspekty. Prvním je zapojení odborné veřejnosti do přípravy a vývoje každé družice. Druhým je pravidelné posouzení (přibližně každých pět let) dosaženého pokroku a sestavení výhledů programu do budoucna. Hodnocení poskytuje podklady k posouzení, zda a jaká opatření je třeba provést, aby program odpovídal vyvíjejícím se národním a mezinárodním požadavkům a prioritám, účinně a včas dosáhl stanovené cíle a přitom napomáhal plnit cíle průmyslové politiky. V hodnotícím procesu jsou v duchu zásad programu pevně zapojeni jak vědeckí uživatelé, tak přispívající státy a průmyslová pracoviště technického vývoje. Toto hodnocení je přístupné pro celou vědeckovýzkumnou obec a je výchozím materiálem pro přípravu a schvalování další fáze programu. Pětileté období je doba

dostatečně dlouhá, aby poskytla programu potřebnou stabilitu pro jeho efektivní provádění a pro to, aby se stal zajímavým pro vědeckou obec i průmyslový vývoj. Z hlediska financování je to ale dostatečně krátké období, aby se členské státy mohly zavázat k poskytnutí prostředků, aniž by přišly o možnost úpravy závazku v dlouhodobějším časovém horizontu.

Aby program přitáhl dostatečnou uživatelskou základnu z řad vědeckých pracovníků musí jeho vedení uplatňovat rychlý a věcně efektivní rozhodovací proces. Rozhodování v programu je na dvou úrovních: o programu a jeho směřování jako celku a o jednotlivých družicích. Na programové úrovni jsou rozhodnutí sledována i z hlediska potřeby zajistit dlouhodobě dostatečně stabilní prostředí, jak pro vědeckou komunitu tak i vývojovou základnu průmyslu. Takovéto stabilizační cíle jsou dosažitelné právě pomocí vhodně formulovaného volitelného programu.

Príslušníci výzkumu vybírají jednotlivé družice podle toho, do jaké míry mohou navržené přístroje splnit požadavky na kvalitu měřených údajů. Udržení důvěryhodnosti u vědecké komunity po dobu několika desetiletí vyžaduje vzít v potaz vědecké zájmy všech hlavních odvětví rovnoměrně. Široké škále témat vyžadujících řešení a velkému počtu zúčastněných vědců odpovídá provedení Základní mise každé dva roky.

Pro průmysl je naproti tomu důležité, aby mohl zužítkovat vložené zdroje pro dosažení co nejvyšší efektivity a lepší konkurenceschopnosti v mezinárodním měřítku. Program Earth Explorer již tím, jak je koncipován, poskytuje zdroj a rozmanité spektrum pro technický vývoj, a tak představuje pro vývojářská pracoviště celou řadu příležitostí. Je to jedinečná možnost k navázání pracovních kontaktů a spolupráce mezi průmyslovými a technickými pracovišti na jedné straně a řadou evropských výzkumných ústavů na straně druhé. Mnohokrát deklarovaná potřeba spolupráce výzkumných pracovníků s vývojovým technickým prostředím dostává v tomto programu reálnou podobu a tím i podmínky pro rozvoj nových a inovativních nápadů. Všechny dodnes uskutečněné projekty tento předpoklad plně potvrdily. Kromě toho tento program je předvojem nástupnických operačních programů pozorování Země, v nichž je role průmyslových pracovišť zcela klíčová.

Dalším důležitým rysem pro podporu technického rozvoje je dlouhodobý a jasně určený plán. Průmysl se má podle čeho řídit a může se rozhodovat o svém zaměření a i případných investicích s jistotou budoucích potřeb. A současně i členské státy ESA

mohou s průmyslem harmonizovat technologický vývoj tak, aby potřebné technologie byly k dispozici v požadované době.

V souhrnu program předkládá k řešení řadu technologických problémů, a je tak zdrojem inovací v přístrojové technice a metodice pozorování Země.

Proces výběru nových družic

V programu ESA pro pozorování Země jsou tradičně jednotlivé družice schvalovány a vybírány jednotlivě s vlastními pravidly financování i provádění vývoje a stavby družice a jejich přístrojů.

I když tento přístup byl použit u úspěšných družic jako např. Meteosat a ERS-1/2, byl rozhodovací proces celkově pomalý a neefektivní. Jeden z důležitých poznatků z té doby byla potřeba zamezit vzniku dodatečných nákladů pro účastnické státy a prodloužení původních termínů, protože to snižovalo důvěryhodnost jak u uživatelů, kteří čekali na data, tak u pracovišť technického vývoje, které se podílely na stavbě přístrojů.

Výběr jednotlivých družic sleduje plnění vědeckých cílů programu podle přijatého časového plánu a samozřejmě s ohledem na celkový finanční rozpočet programu.

Celý proces výběru budoucí družice jak pro Základní tak i Příležitostní typy je zahájen veřejnou výzvou k podání námětů, co by měla družice zkoumat. Její rozsah definuje priority pro danou výzvu i způsob návaznosti na další běžící projekty družic v Evropě i jinde ve světě. Stanovení vědeckých priorit má na starosti zvláštní Poradní výbor ESA pro vědy o Zemi (ESAC). Požadavkem na návrhy je, aby vedle popisu a zdůvodnění vědeckovýzkumného tématu obsahoval i nástin koncepcí technického řešení družice.

Pro hodnocení návrhů se používá sedm kritérií, které členské země schválily pro výběr družic Earth Explorer:

1. Vazba na výzkumné cíle programu
2. Potřebnost, užitečnost a výjimečnost
3. Jedinečnost a návaznost
4. Míra příspěvku ke zvýšení evropské úrovně v pozorování Země
5. Proveditelnost a úroveň vyspělost
6. Aktuálnost
7. Organizační aspekty

Kritéria se používají pro výběr jak Základních misí tak Příležitostných.

V kritériích 2 a 4 je spolu s vědeckými kritérii zahrnuto i hodnocení využití pro případné aplikace v budoucích misích programu Earth Watch. Tuto možnost budoucího využití konkrétně z přístrojového hlediska hodnotí kritérium 4.

Výběr Základní mise sestává ze čtyř kroků:

1. Výzva k předkládání námětů nebo konceptů družic

Smyslem kroku 1 je zjistit názory vědecké obce na vhodné zaměření dalších družic Earth Explorer. Po odborném posouzení je z návrhů vybráno až osm kandidátských misí. Při výběru se uplatňují priority, které zohledňují náplň činnosti jiných družic, využití výsledků předcházejících výzkumů pro jednotlivé přístroje i celou koncepci mise a také vědecký význam a přínos navrhovaného zaměření družice. Z nich úspěšně postupují dále do hodnotící fáze

2. Hodnotící studie

V kroku 2 se připravuje půda pro fázi A v podobě hodnotící zprávy vypracované pro každý záměr vybraný v kroku 1. Tyto zprávy jsou podkladem pro konzultace s odbornou veřejností, stejně jako pro rozhodnutí o výběru pro fázi A. Výsledky jsou prezentovány odborné veřejnosti a na jejich základě jsou pak čtyři návrhy doporučeny pro pokračování ve fázi A. Toto rozhodnutí je na programové radě pro pozorování Země, která se zpravidla řídí doporučením expertů z Poradního výboru pro vědy o Zemi (ESAC).

3. Studie proveditelnosti a fáze A

Krok 3 je zakončen zprávou pro hodnocení, která je spolu s výsledky studie předložena odborné obci na zvláštním diskusním semináři. Na vybrané návrhy se následně vypracuje studie proveditelnosti, jejímž smyslem je určit úroveň celkové vyspělosti konceptu družice dříve, než se přikročí k její stavbě. Pro výběr ke studii proveditelnosti je klíčové doporučení ESAC, které je založeno na závěrech podpůrných hodnotících panelů a otevřených diskuzích s odbornou veřejností. Spolu s vyjádřením expertních hodnotících skupin vezme výstupy ze semináře v úvahu poradní výbor ESAC při formulaci doporučení programové radě o rozhodnutí, kterou družici financovat. Studie ve fázi A jsou řízeny poradními skupinami

jednotlivých misí (MAG). Po vypracování studie je opět otevřena široká diskuze s účastí jak ESAC, tak i programové rady. O tom, která družice se bude vyvíjet, rozhodne s konečnou platností programová rada pro pozorování Země.

4. Provádění

Pro krok 4 ESAC doporučí dvě mise, které se začnou souběžně zpracovávat ve fázi B. Mise, která skončí na druhém místě je sledována a hodnocena ještě dva roky, aby se zajistila její připravenost pro případ, kdyby se ukázala nemožnost pokračovat s vývojem první družice. Paralelní vývoj dvou družic odstraňuje zbytečné opakování studií. Doporučení předložené programové radě obsahuje programové informace a údaje o každé družici včetně ceny, stejně jako vědecké a technické hodnocení. A obsahují i vyjádření k dopadu na dlouhodobý výhled programu.

Výběrové řízení pro Základní mise poskytuje solidní a propracovaný podklad pro rozhodnutí. Platí se za to delším časovým odstupem mezi první výzvou k předkládání námětů a konečným rozhodnutím o postavení konkrétní družice. Nová družice by měla být vybrána přibližně jednou za dva roky.

To je přijatelné pro Základní mise, ale překážkou při dodržení koncepce Příležitostní družice, která upřednostňuje flexibilitu a rychlou reakci na vzniklé výzkumné potřeby. Proto výběrový proces pro tento typ družic podléhá podobnému konceptu, ale ukončenému v kratším časovém úseku a zredukovanému jen na tři kroky:

- Výzva k předkládání návrhů
- Studie přípravné a proveditelnosti
- Provádění

Na rozdíl od výběru Základního typu se neprovádí hodnotící studie, protože návrhy na Příležitostní mise mají mít méně novinek a proto snadněji uskutečnitelné ve srovnání se Základní misí. Fáze A a B jsou sloučeny. Výzvy k podání návrhů jsou vydávány standardně ve dvouletém cyklu, ale v případě aktuálně vzniklé potřeby to může být i dříve. Ve výzvě může jít o předkládání návrhů pro relativně malé družice se zaměřením na konkrétní výzkumné cíle, nebo na poskytnutí jednotlivého přístroje.

Rozhodnutí o výběru družice k postavení provádí opět programová rada na základě doporučení ESAC a hodnotících skupin odborníků. Postupuje se

přítom podle stejných kritérií výběru jako u Základní mise, s ohledem na celkovou situaci programu a časový harmonogram.

Konečný scénář provedení stavby družice v kroku 3 se nechává na zkušenostech projektových manažerů ESA.

Příležitostní mise se vybírají střídavě se Základními družicemi. Každý typ by se tedy měl vybírat jednou za dva roky, ale skutečná frekvence výběru je závislá na finanční i technické náročnosti uskutečňovaných návrhů.

Ve všech fázích vývoje družice se jak na úrovni proveditelnosti, tak vlastní stavby neustále konfrontuje skutečnost s požadavky potřebnými pro dosažení vědeckého cíle. Během tohoto procesu se také jasně určí technické možnosti a s nimi spojené kompromisy. Nalezení přijatelné rovnováhy mezi tím, co je technicky možné a vědeckým zadáním, si často vyžádá dodatečnou analýzu a studie. Proto jsou v procesu zapojeny poradní vědecké týmy, které šetří možný negativní dopad těchto změn a případně navrhnou opatření na jejich zmírnění. Mohou ale také ukázat na jiné a třeba i podstatně jednodušší technické řešení. Důležitým moderním nástrojem k provedení těchto analýz dopadů technických změn jsou komplexní simulátory fungování družice.

Pro vědecké družice je charakteristické, že jejich měřicí přístroje jsou založené různě velkou měrou na technických novinkách a pokrocích, které nemusí být ještě dosažitelné nebo spolehlivé. Během studií proveditelnosti se tato nejistota musí snížit na přijatelnou úroveň. Přitom se kontroluje, zda navrhované úpravy umožní provádět měření na úrovni potřebné k dosažení vědeckých cílů. To zahrnuje i případnou specifikaci potřebných doprovodných měření ať již pozemních nebo z jiné družice. To vše je třeba znát pro včasný vývoj algoritmů pro příjem dat v pozemní stanici a pro jejich další zpracování.

I potom ale zůstane příležitost pro všechny zájemce se do projektu zapojit. Prostřednictvím oznámení o příležitosti (AO) lze podávat návrhy na vývoj metodiky zpracování dat anebo na jejich využití ve vědeckém oboru nebo praktickém využití. V určitých případech je možné i umístit na družici samostatný přístroj postavený z národních zdrojů. Průběžně je ale celá vědecká komunita informována o stavu vývoje zprávami o výsledcích hodnocení a na informačních workshopech. Tímto přístupem je zajištěna neustálá zpětná vazba a možnost zásahu ze strany uživatelů během celé

doby projektu od podávání námětů až do přípravy družice ke startu.

Financování programu

Základním nástrojem či platformou pro dosažení cílů, které družice Earth Explorer charakterizují, je volitelný program zahrnující pravidelné řady Základních a Příležitostních misí. Program má všeobecné rysy vědeckého programu s nezbytnými nástroji průběžné komunikace s vědeckou obcí i účinnými a dostatečně pružnými pravidly řízení. Na rozdíl od povinného programu, rámcový volitelný program akceptuje různorodost zájmů členských států, které nejsou nutně úměrné velikosti národního důchodu. Může se do nich promítat např. národní vývojová a průmyslová kapacita, struktura minulých investic nebo zájem o některé budoucí aplikace.

Objem finančních prostředků je dán především počtem plánovaných misí a náklady s nimi spojenými. Pokud jde o počet družic, měl by být natolik vysoký, aby pro uživatelskou komunitu neztratil program důvěryhodnost. Současně větší počet vyvíjených družic podpoří účelné využití průmyslových zdrojů. V souhrnu je třeba dbát o to, aby všechny hlavní obory věd o Zemi dostaly v programu příležitost alespoň jednou v průběhu deseti let. Tento výběrový cyklus odpovídá i potřebě udržet v Evropě vědeckou úroveň a znalosti v celé rozmanitosti věd o Zemi a strategickou schopnost řešit důležité politické otázky.

Výše finančních prostředků programu Earth Explorer je domlouván na deset let s tím, že je možné jeho výši upravit po pěti letech podle aktuálních požadavků a podmínek. Tento mechanismus umožňuje na jedné straně pružně reagovat na změnu priorit a na straně druhé také vytváří potřebnou stabilitu pro vědecký výzkum i technický vývoj.

Pokud by se nepodařilo mezi členskými státy shromáždit potřebný finanční objem, bylo by nutné podstatným způsobem upravit celý program i jeho cíle. Znamenalo by to buď snížit počet vybraných družic nebo zcela zrušit kategorii družic Příležitostních. V obou případech by ale program ztratil několik základních přínosů. První by znamenal využití jen pro některé vědecké disciplíny a tím snížení atraktivity programu pro společnost jako celek. Druhá varianta by výrazně snížila schopnost programu reagovat na aktuální potřeby. To ale byl jeden z hlavních nedostatků, pro jehož zmírnění byl program Earth Explorer založen. V

souhrnu by redukce programu měla za následek pokles inovačních příležitostí pro technologický vývoj a ochuzení přípravy operačních programů. To by se promítlo do řešení evropských společenských a politických otázek i postavení Evropy v kontextu mezinárodní spolupráce.

V současné době činí celkový rozpočet ESA na program pozorování Země 350 – 420 mil. euro ročně. V průběhu příštích pěti let, se počítá s roční úrovní výdajů v řádu 400 mil. euro. Míra výdajů asi 200 mil. euro ročně na program Explorer Program je v souladu s tímto výhledem. Úroveň 400 mil. euro ročně odpovídá ročnímu rozpočtu na kosmonautiku některého většího členského státu ESA, nebo také asi pětina ročních výdajů NASA v této oblasti.

Současný stav programu Earth Explorer

Podle výše uvedených pravidel bylo dosud vybráno šest témat pro družice Earth Explorer, které pokrývají široké spektrum vědeckých otázek. Ze šesti družic Earth Explorer jsou tři Základní a tři jsou Příležitostní. Při prvním výběru družic pro vědy o Zemi podle nové strategie bylo v roce 1999 z devíti návrhů rozhodnuto o stavbě družic GOCE a ADM/Aeolus v Základní kategorii. Z další výzvy k předkládání návrhů pro Základní i Příležitostní typy družic byly později vybrány CryoSat, SMOS a Swarm pro kategorii Příležitostní a družice EarthCARE pro kategorii Základní.

V současné době jsou v různém stádiu výběrového procesu návrhy pro družice Earth Explorer 7 a 8.

GOCE – Gravity Field and Steady-State Ocean Explorer

Pořadí mise: Earth Explorer 1
Kategorie: Základní
Start: 17. 3. 2009
Téma: Jak výška hladiny moře a oceánské proudy ovlivňují gravitační pole

Mise GOCE je určena pro měření zemského gravitačního pole a modelování geoidu s nebývalou přesností a prostorovým rozlišením. Jejím úkolem je rozšířit naše znalosti o proudění v oceánech, které hraje klíčovou roli v globální energetické výměně, změně výšky hladiny moře a i v procesech v zemském nitru. GOCE současně má velký přínos pro pokrok v oblasti geodézie a mapování.

SMOS – Soil Moisture and Ocean Salinity

Pořadí mise: Earth Explorer 2
Kategorie: Příležitostní
Start: 2. 11. 2009
Téma: Jak je změnou klimatu ovlivněn koloběh vody

SMOS sleduje vlhkost půdy nad zemskou pevninou a slanost oceánů. Údaje o půdní vlhkosti jsou základním vstupem pro hydrologické studie a údaje o slanosti oceánu jsou důležité pro zvýšení znalosti o mechanismu vytváření a pohybu mořských proudů.

CryoSat-2

Pořadí mise: Earth Explorer 3
Kategorie: Příležitostní
Start: 8. 4. 2010
Téma: Jak se mění polární čepičky Země

CryoSat-2 získává přesná měření tloušťky plovoucího mořského ledu takže lze rozlišit změny sezónní od meziročních. Z dat lze také odhalit malé výškové změny ledových příkrovů pevniny. To umožní zjistit regionální trendy celoroční tloušťky a hmotnosti mořského ledu v Arktidě a jak ledovce v Antarktidě a Grónsku přispívají ke globálnímu vzestupu úrovně mořské hladiny. Družice CryoSat-2 nahradila družici CryoSat, která byla ztracena při nepovedeném startu v říjnu 2005.

Swarm

Pořadí mise: Earth Explorer 4
Kategorie: Příležitostní
Start: plánován 2012
Téma: Jak se mění síla zemského magnetického stínění proti slunečnímu záření

Swarm je sestava tří družic, které provádějí s vysokou přesností a podrobností měření síly a směru zemského magnetického pole. Výsledné modely geomagnetického pole poskytnou nové pohledy na zemské jádro, prohloubí znalosti o atmosférických procesech spojených s klimatem a počasím, a budou mít také praktické využití v mnoha různých oblastech, jako je kosmické počasí a ochrana proti nebezpečí ze slunečního záření.

ADM-Aeolus – Atmospheric Dynamics Mission

Pořadí mise: Earth Explorer 5
Kategorie: Základní
Start: plánován 2014
Téma: Jak se zvýší přesnost předpovědi počasí získáním podrobných údajů o pohybech vzduchu nad celou zeměkoulí

ADM-Aeolus bude prvním kosmickým projektem na měření výškových profilů větru v globálním měřítku. Tím se zlepší přesnost numerické předpovědi počasí a naše chápání dynamiky atmosféry a procesů souvisejících s proměnlivostí klimatu a jeho modelováním.

EarthCARE – Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer

Pořadí mise: Earth Explorer 6
Kategorie: Základní
Start: plánován 2015
Téma: Do jaké míry ovlivňují oblaka a aerosoly globální oteplování

Družice EarthCARE je vyvíjena ve spolupráci s Japonskou kosmickou agenturou JAXA. Je motivována potřebou lepšího pochopení procesů vzájemného působení mezi oblačností, zářením a aerosoly, které hrají roli v regulaci klimatu.

Earth Explorer 7

Po výzvě ESA k podání výzkumných témat pro sedmý Earth Explorer (Základní mise) v roce 2005, byly pro následnou studii proveditelnosti vybrány v roce 2009 tři návrhy pojmenované *BIOMASS* (měření obsahu biomasy v lesních porostech), *CoReH2O* (podrobné měření klíčových parametrů sněhu, ledu a vody) a *PREMIER* (zkoumání chemických procesů v atmosféře). Vybraná družice by měla startovat v roce 2016.

Earth Explorer 8

V roce 2009 byla zveřejněna výzva k předkládání návrhů na osmý Earth Explorer. Z došlých návrhů Příležitostní družice byly pro předběžné rozpracování ve fázi A/B1 vybrány v roce 2010 návrhy družice *FLEX* (Florescence Explorer) a *CarbonSat*.

V dalším textu jsou uvedeny podrobnější informace o všech stávajících družicích Earth Explorer.

GOCE

GRAVITY FIELD AND STEADY-STATE OCEAN EXPLORER

Účel

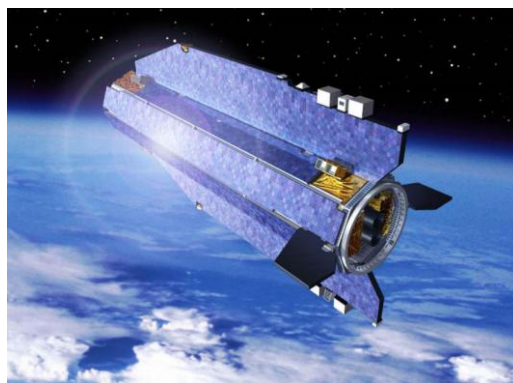
Družice GOCE byla vypuštěna 17. března roku 2009 v ruském Plesetsku na nosné raketě Rokot. Pohybuje se na nízké slunečně-synchronní polární dráze ve výšce 250 km se sklonem 96,7° k rovině rovníku. Hlavním zaměřením družice je měření gravitačního pole Země s velmi vysokou přesností a ve vysokém prostorovém rozlišení.

Podle údajů z října 2010 byl celkový rozpočet projektu 346,9 milionů euro, což je o 50 milionů euro více než v roce startu družice. Fungování družice bylo prodlouženo do počátku roku 2013, a proto se celkové náklady na misi budou ještě zvyšovat.

Velikost gravitačního pole je fyzikálně vyjádřena hodnotou gravitační konstanty, jejíž velikost odpovídá rozložení hmoty uvnitř zemského tělesa. V důsledku zemské rotace, rozložení horských systémů a podmořských příkopů a rozložení hustoty materiálů pod zemským povrchem je její velikost na každém místě naší planety jiná. Z naměřených dat lze sestavit ekvipotenciální plochu, na níž má všude gravitační konstanta stejnou hodnotu a plocha je vždy kolmá na směr gravitačního zrychlení. Jedna z těchto ploch byla arbitrárně zvolena za výchozí a nazvána geoidem. Byla stanovena tak, aby odpovídala poloze hladiny světového oceánu, pokud by na ní nepůsobily jiné síly. Odchyly ale způsobuje hlavně proudění vodních mas nebo pohyb ledu, čímž se přenáší hmota a tak se mění její rozložení. Při znalosti přesné polohy geoidu je možné tyto změny určovat a následně získávat poznatky o klimatických změnách i o dalších jevech, které přesuny vodních hmot způsobují.

Cílem této družice je určovat změny gravitačního zrychlení Země s přesností na 1 – 2 mGal (1 mGal = 10^{-5} ms⁻²) a stanovit geoid s výškovou přesností na 1 – 2 cm při prostorovém rozlišení lepším než 100 km. Protože gravitační pole je silnější blíže k Zemi, byla pět metrů dlouhá družice GOCE navržena tak, aby byla schopna létat pouhých 250 km nad povrchem Země. Pro získání požadovaných přesných měření však na družici nesmí působit žádné jiné síly než gravitace. Její pohyb tedy musí

věrně sledovat dráhu volného pádu. To ve výšce 250 km není jednoduché, protože se zde uplatňuje odpor atmosféry i přes její téměř nulovou hustotu. Na stěny družice narážejí molekuly a ionty přítomných plynů a mění velikost i směr její rychlosti. Družice je proto vybavena přístrojem, který tyto výchylky zjišťuje a malými raketovými motorky, které jejich velikost vyrovnává odpovídající silou v opačném směru.



Obr. 3 Družice GOCE

Údaje získané z družice GOCE mají význam pro řešení problému nejen v geodézii, která se primárně zabývá měřením zemského gravitačního pole, ale i v oceánografii, pro sledování ledové pokrývky polárních oblastí nebo při studiu klimatických změn. Získání přesnějšího gravitačního modelu Země, což je základním posláním družice, umožní zpřesnit globální referenční výškový systém poskytující referenční plochu ke studiu pevninotvorných procesů a změn mořské hladiny. Napomůže lépe porozumět fyzikálním procesům probíhajícím pod zemským povrchem, jako jsou geodynamické procesy v litosféře, složení zemského pláště, vertikální pohyby v zemské kůře a vznik zemětřesení. Přesnější geoid v kombinaci s měřeními družicových výškoměrů umožní získat nové poznatky o oceánské cirkulaci a přenosu materiálu a tepla v oceánech. Obdobně bude možné zpřesnit údaje o tloušťce polárního ledu, její změny a o pohybu ledových polí.

Popis družice

| Dodavatel | Součást družice |
|--|--------------------------------|
| Alenia Spazio, Itálie | Hlavní dodavatel |
| EADS Astrium GmbH, Německo | Výrobce platformy |
| Alcatel Space Industries, Francie | Gradiometr |
| ONERA, Francie | Akcelerometr a podpora systému |
| Scientific Research Institute for Precision Instruments, Rusko | Laserový odražeč |
| QuinetiQ, Británie | lontový motor |

Tab. 1 Dodavatelé mise GOCE

Konstrukce a systémy

Konstrukci těla družice tvoří dlouhá štíhlá osmiúhelníková struktura s průřezem okolo 0,9 m² a délkou přibližně 5 m. Tím je zajištěna celková symetrie, která je předpokladem minimalizace rušivých vlivů na pohyb družice. Družice nemá žádné odpojitelné či pohyblivé části. Uvnitř nosné konstrukce je několik desek s přístrojovým vybavením, které jsou soustředěny do tří modulů. Nejspodnější modul obsahuje systém AOCS/DFACS (Attitude and Orbit Control System/ Drag-Free Attitude Control System) a zařízení ITA (Ion Thruster Assembly). Centrální modul tvoří přístroj EGG (Electrostatic Gravity Gradiometer) a příslušná elektronika. Horní modul obsahuje elektronické vybavení, vybavení pro zpracování dat, rádiové vybavení a úložiště 40 kg xenonu pro pohon iontového motoru. Celý satelit měl na startu hmotnost přibližně 1050 kg včetně pohonného systému.

Elektrická energie je dodávána solárními panely tvořenými buňkami na bázi GaAs s technologií trojnásobných přechodů. Čtyři panely jsou na těle družice a dva jsou vyklopené na obou stranách družice. Proudem z panelů se dobíjí lithioiontový akumulátor s celkovou energií 2,246 kWh a kapacitou 78 Ah. Tepelná rovnováha je zajišťována pasivní izolací a vyzařováním do vnějšího prostoru.

Konvenční systém pro zpracování dat, který je přímo na palubě, obsahuje sběrnici MIL-1553, procesor ERC 32 a disk s kapacitou 2,5 Gbit. Spojení s družicí probíhá v pásmu S (dva převaděče, dvě

antény a vysílač s výkonem 1 W), rychlost přenosu příkazů na družici činí 4 kbit/s a až 1,2 Mb/s pro příjem dat z družice. Pozemní přijímací stanice se nachází v Kiruně.

Klíčovým posláním systému AOCS/DFACS na družici GOCE je splnění požadavku, aby se družice pohybovala tak, jakoby Země neměla žádnou atmosféru. DFACS proto vyrovnává vliv odporu atmosféry projevující se jak celkovým snížením rychlosti, tak i natáčením družice kolem svého těžiště. Systém dokáže udržet stálou polohu družice s přesností 0,38 mrad na základě údajů poskytovaných detektorem polohy hvězd a zařízením EEG a využívá také data z detektorů orientace na Slunce a na Zem a z tříosého magnetometru.

SSTI (Satellite to Satellite Tracking Instrument)

Zařízení SSTI tvoří dvoufrekvenční, dvanácti kanálový GPS přijímač s anténou pro příjem signálu v pásmu L. Přijímač je schopen současně přijímat vysílané signály až z dvanácti satelitů GPS. SSTI vysílá na frekvenci 1 Hz, takzvaném pseudo-pásmu nosné fáze měření na obou GPS frekvencích. Jde však o integrovanou součást systému, ne o samostatný přístroj. Zařízení zpracovává, demoduluje a dekóduje GPS signál, přijatý diskovou anténou nasměrovanou k zenitu. Signály v pásmech frekvencí L1 a L2 jsou použity ke kompenzaci ionosférických zpoždění signálu v průběhu pozemního dodatečného zpracování. Celková hmotnost subsystému SSTI je přibližně 15 kg s maximálním příkonem < 40 W.

SREM (Standard Radiation Environment Monitor)

SREM je přístroj pro zjišťování ionizačního záření s citlivostí odpovídající citlivosti přístroje EGG. Protože je přístroj EGG citlivý na elektrický náboj, mohou být data pořízená přístrojem SREM použita pro korelaci dat EGG. Přístroj SREM byl již použit na družici STRV-1c (Space Technology Research Vehicle-1 c) postavenou firmou DERA ve Velké Británii. Detekční jednotka SREM má dvě jednotky. Každá z nich měří přicházející záření v zorném poli o rozsahu 20°, které má tvar polovičního kuželu. Elektronická jednotka zahrnuje tři detektory částic, které zjišťují energetická spektra elektronů a protonů s chybou menší než 1% a registrují i celkovou radiační dávku jednotlivých událostí. SREM má hmotnost 2,6 kg a příkon 2,6 W.

LRR (Laser Retro Reflector)

Tento koutový odražeč paprsků umožňuje určování přesné polohy satelitu pomocí pozemních laserů. Laserové záblesky jsou vysílány na družici z pozemních stanic sítě SLR (Satellite Laser Ranging), kde jsou i po jejich odrazu ve zpětném směru zase přijaty. Data poté slouží pro dodatečné zpřesnění údajů o oběžné dráze.

ITA (Ion Thruster Assembly)

Pohonný systém ITA je iontový raketový motor pro provádění potřebného manévrování družice na oběžné dráze.

Konstrukce motoru má obvyklé uspořádání, kdy je xenonový plyn přiváděn do válcové nádoby, kde je ionizován výbojem stejnosměrného proudu mezi katodou a anodou s napětím +1200 V. Účinnost tohoto procesu vzniku plazmy je zvýšena použitím magnetického pole uvnitř výbojové komory, které může být také použito ke změnám tahu. Na výstupu o průměru 10 cm ionizovaný plyn prochází grafitovou mřížkou s potenciálem -500 V, která ionty urychluje k dosažení potřebného tahu. Ten závisí na počtu a rychlosti iontů vycházejících z výbojové komory. Počet iontů je dán hustotou iontů v plynu přicházejícím do komory a propustností mřížky. Rychlost je závislá pouze na urychlovacím potenciálu. Vnější katoda označovaná jako neutralizátor, emituje elektrony, kterými se neutralizuje celkový náboj vycházejícího iontového svazku.



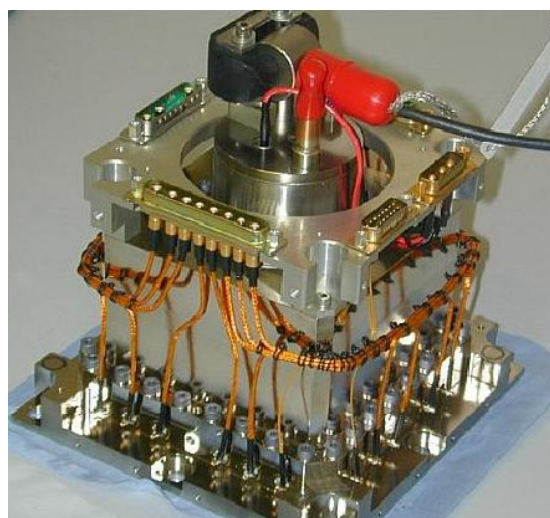
Obr. 4 Iontový motor ITA

Energetická náročnost motoru se pohybuje od 100 W pro generování tahu o velikosti 1 mN do 500 W pro tah 12 mN. Manévr zvýšení dráhy vyžaduje tah 20 mN, pro nějž je třeba energetický příkon 625 W.

Celková hmotnost zařízení ITA činí 60 kg. Tento typ iontového motoru byl zkoušen již na družici EURECA-1 v roce 1992 a pracoval i na družici ARTEMIS vypuštěné v roce 2001.

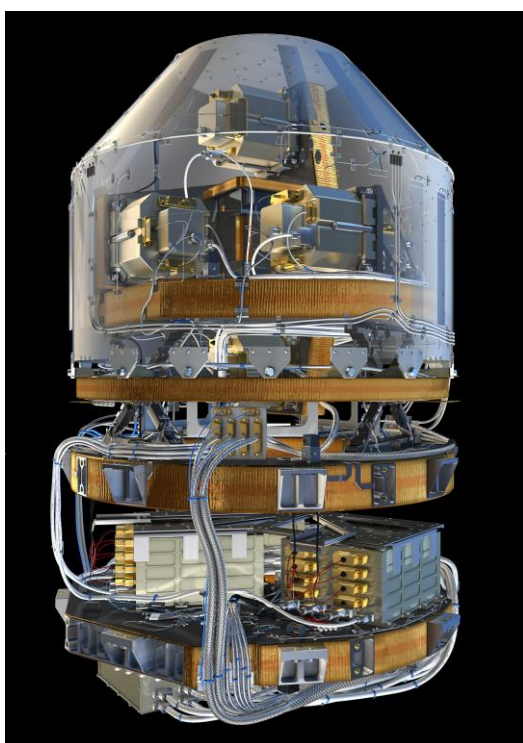
Pozorovací přístroje

EGG (Electrostatic Gravity Gradiometer)



Obr. 5 Akcelerometr

Úkolem tohoto přístroje je měření hlavních tří složek tenzoru gravitačního gradientu. Jádro přístroje tvoří tři páry ultra citlivých akcelerometrů nainstalovaných ve třech osách, které reagují na malé změny zrychlení pohybu družice způsobené nepravidelnostmi v gravitačním působení Země. Tři osy radiometrů umožňují v jednom okamžiku měřit šest nezávislých, ale komplementárních složek gravitačního pole. Každý pár je oddělen 0,5 metru dlouhou základnou. Díky rozdílné poloze akcelerometrů naměří každý z těchto přístrojů mírně odlišné hodnoty. Během měření musí být zajištěna absolutní tuhost vnitřní struktury družice a jejich všech částí, proto je celý satelit vlastně jedno velké pozorovací zařízení. Přístroj EGG váží 150 kg a vyžaduje až 75 W elektrické energie.



Obr. 6 Ilustrace kompletního zařízení EGG

| Parametr | Hodnota (rozsah) |
|---|---|
| Šířka pásma měření | $5 \cdot 10^{-3} - 10^{-1}$ Hz |
| Délka základny | 0,5 m |
| Citlivost – detekovaný šum | |
| Měřené pásmo (0,005 – 0,1 Hz) | $< 10^{-12} \text{ m s}^{-2} \text{ Hz}^{-1/2}$ |
| Rozšířené pásmo (10 ⁻⁵ – 1 Hz) | $< 10^{-10} \text{ m s}^{-2} \text{ Hz}^{-1/2}$ |
| Polohová chyba těžítka | $6 \cdot 10^{-8} \text{ m Hz}^{-1/2}$ |
| Absolutní / relativní faktor měřítka | $10^{-3} \text{ rad} / 10^{-5} \text{ rad}$ |
| Absolutní / relativní vychýlení | $10^{-3} \text{ rad} / 10^{-5} \text{ rad}$ |

Tab. 2 Parametry přístroje EGG

Dostupnost dat

Data jsou dostupná v rámci pravidel ESA všem uživatelům na internetu, a to v úrovni 1b a 2. Úroveň 1b obsahuje již zpracované, zkontrolované a kalibrované hodnoty gravitačního gradientu a doplňující orbitální informace.

Úroveň 2 má podobu modelu gravitačního pole. Úrovně 3 a vyšší zahrnují data úrovně 2 upravená pro konkrétní aplikace.

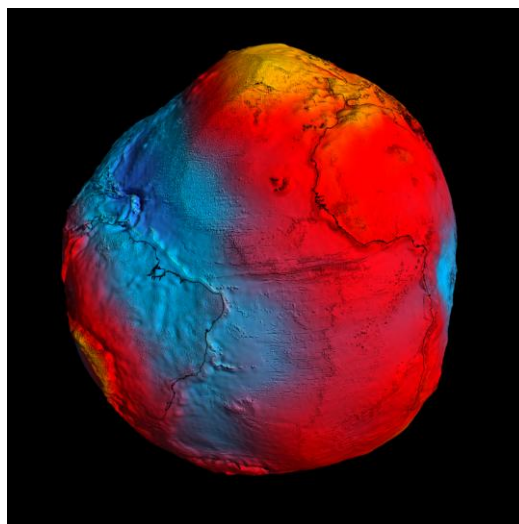
Pro přístup k datům je nutná registrace:

<https://earth.esa.int/web/guest/home>

Po zaregistrování lze k datům přistupovat třemi způsoby:

- rozhraní EOLI-SA
- GOCE Virtual Archive
- GOCE User Services
- GOCE User Tools – GUT

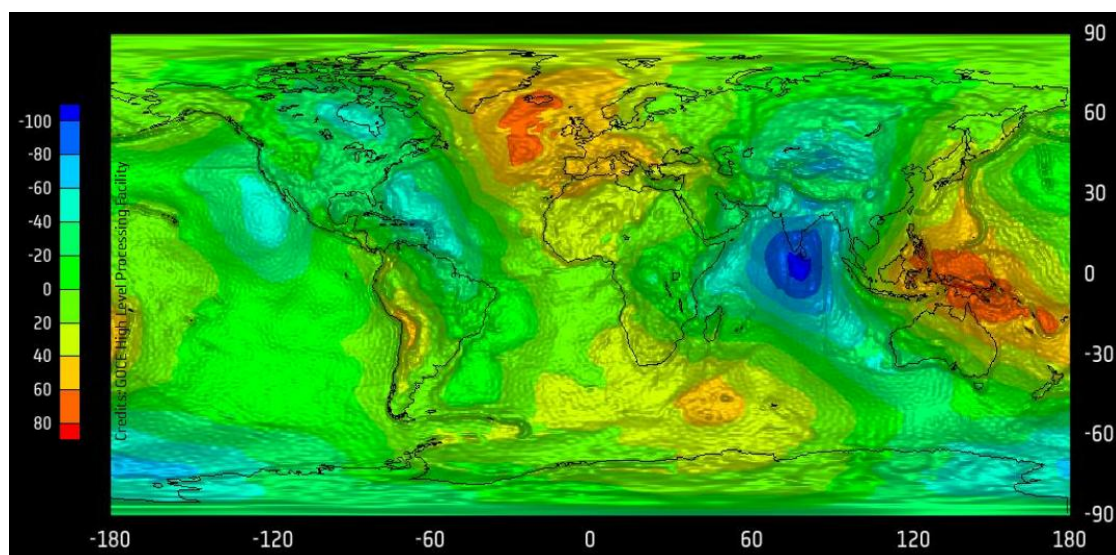
K dispozici je také soubor nástrojů pro práci s daty úrovně 2, které podporují geodetické, oceánografické a fyzikální aplikace. K získání licence a následnému stažení je nutné zadání jména a emailové adresy.



Obr. 7 Model Geoidu

| Datová úroveň | Popis |
|-------------------------|---|
| Úroveň 0 | Nezpracovaná data generovaná systémovými a pozorovacími přístroji |
| Úroveň 1b | Kalibrovaná, georeferencovaná původní data vzniklé zpracováním IPF (Instrument Processing Facility) 3 datové produkty: <ul style="list-style-type: none"> • Data přístroje SSTI včetně nezpracovaných GPS dat ve formátu RINEX • Data přístroje SSTI včetně nezpracovaných GPS dat a korekcí oběžné dráhy v textovém formátu • Data přístroje EGG včetně nezpracovaných měření akcelerometru v textovém formátu |
| Úroveň 2 | Gravitační gradienty vzniklé zpracováním HPLF (High Level Processing Facility) + odvozený model geoidu a model gravitačních anomálií 3 datové produkty: <ul style="list-style-type: none"> • Gravitační gradienty v LNOF (Local North Oriented Frame) • Gravitační gradienty v GRF (Gravity Reference Frame) • Finální model gravitačního pole |
| Úroveň 3 a vyšší | Data úrovně 2 upravená pro konkrétní aplikace (např. oceánografie, geodézie, studium hladiny moří) |

Tab. 3 Úrovně dat z družice GOCE



Obr. 8 Model gravitačního pole Země (úroveň 2)

Projekty řešené v ČR

Data mise GOCE mají v České republice vzhledem k možným způsobům využití největší roli v geodézii. Pokud chceme místa na zemském povrchu měřit čistě geometricky, určení nadmořské výšky vyžaduje znalost gravitačního pole. Geodetické vyrovnání poskytuje milimetrovou přesnost na krátké vzdálenosti, ale také systematické zkreslení v kontinentálním měřítku, které významně omezuje srovnání a propojení výškových systémů okolních zemí. Oddělení pozemních oblastí mořskými plochami vede k velkým diskontinuitám mezi výškovými systémy.

Data GOCE slouží ke kontrole, nebo dokonce nahrazení tradiční metody vyrovnání, takže je možné vyrovnání s globálním referenčním systémem, jako je GPS a Galileo. Díky tomu lze sjednotit výškové systémy na celém světě, což umožní například vyrovnání hladin moří.

V současné době se pracoviště VGHMÚř zabývá vývojem konstanty W_0 (potenciálu na geoidu) a její praktické aplikace (doc. Ing. Viliam Vátrt, DrSc., pplk. Ing. Vladimír Petera). K možnosti určování této konstanty přispěly jako první altimetrické systémy TOPEX/POSEIDON a JASON 1, jejichž měření prokázala dlouhodobou variací konstanty.

Ve vzdálené budoucnosti díky těmto poznatkům bude například možné pouze s použitím přesných hodin a znalosti nadmořské výšky bodu A stanovit přesnou nadmořskou výšku bodu B jen z doby přesunu z bodu A do bodu B.

Studiem variabilního gravitačního pole s využitím dat CHAMP, GRACE a GOCE se rovněž zabývá VÚGTK. Jeho pracovníci vyvíjejí metodu zpracování družicových dat typu GRACE a GOCE pro odvození globálního modelu gravitačního pole (v červnu 2010 byly uvolněny první data mise GOCE a to elementy dráhy a gradienty tíhového zrychlení). Vedle odvození gravitačního modelu jsou družicová data použita pro kombinování s dalšími typy tíhových dat (pozemními i leteckými) a jako vstupní data pro následné geofyzikální interpretace. Také pokračovaly práce na využití gradiometrických dat družice GOCE

Metoda kombinace družicových gradiometrických, leteckých a pozemních tíhových dat je ověřována na experimentálních datech v oblasti České republiky a Taiwanu, který poskytuje pozemní, námořní i

letecká data. Souběžně byly prováděny práce na přímém globálním modelování gravitačního efektu vybraných hmotných složek (topografie, mořská voda, ledovce), o které lze redukovat globální tíhové pole Země při studiu jeho časových změn.

Využíváním dat z družice GOCE se rovněž zabývá Astronomický ústav Akademie věd České republiky. V roce 2007 bylo zahájeno řešení projektu ESA zaměřeného na porovnání detailních družicových (zejména gradiometrických) a pozemních (gravimetrických) dat pro vytváření detailních modelů a na detekci impaktních meteorických struktur pod zemským povrchem od velikosti 30 km.

V roce 2010 a 2011 v rámci tohoto grantu byla zpracovávána první data z GOCE.

Česká republika se však nezapojuje pouze ve využívání dat, ale rovněž při vyvíjení přístrojů, které budou využitelné v kosmickém prostředí. Jedná se o společný projekt ČVUT (České vysoké učení technické) a CSRS (Czech Space Research Centre), ve kterém je vyvíjen nový typ gradiometru. Tento přístroj by měl být unikátní svojí schopností zachovat šum na ultranízkych kmitočtech při současné malé velikosti přístroje. Konečné výsledky z tohoto projektu by měly být známy v roce 2014.

Gravitační a výšková měření nejsou již v dnešní době prováděna jen pro planetu Zemi, ale i některé další planety a měsíce Sluneční soustavy. Taková měření provádí například dvě mise NASA – Mars Global Surveyor a Venus Magellan.

SMOS

SOIL MOISTURE AND OCEAN SALINITY

Účel

Družice byla vypuštěna 2. 11. 2009 na polární dráhu se sklonem 98,44° k rovině rovníku z ruského Plesetsku na raketě Rokot.

Plánovaná cena celého projektu za období 2002 – 2010 tedy včetně prvního roku provozu družice činí 162 milionů euro.



Obr. 9 Družice SMOS

Hlavním cílem družice SMOS je sledování vlhkosti půdy na pevnině a slanosti vody v oceánech. Informace o půdní vlhkosti jsou nezbytné pro hydrologické studie, zatímco údaje o slanosti vody jsou důležité pro pochopení pravidel cirkulace vodních hmot v oceánech. Rovněž se předpokládá, že získaná data budou využitelná i pro studium kryosféry. Tyto údaje jsou získávány z měření zemského povrchu v oboru mikrovlnného záření v pásmu L (1.4 GHz) interferometrickým radiometrem.

Vlhkost půdy a slanost oceánu jsou na první pohled odlišné veličiny, obě jsou však klíčové k popsání koloběhu vody, který zásadně ovlivňuje počasí i klima na Zemi. Některé družice již dříve byly zaměřeny buď na sledování slanosti vody, nebo půdní vlhkosti v globálním měřítku. SMOS je však první družicí, která provádí kontinuální pozorování těchto dvou veličin zároveň. Data z celé zeměkoule družice shromáždí opakovaně každé 3 dny. Lze je tak využít k podstatnému zpřesnění stávajících modelů vývoje počasí a klimatických procesů.

Kromě klimatických modelů jsou údaje o vlhkosti půdy důležité pro aplikace v zemědělství, management vodních zdrojů, hydrologické modelování, monitorování fotosyntézy a růstu rostlin a odhady a monitorování zemského koloběhu uhlíku. Včasné odhady půdní vlhkosti jsou rovněž důležité pro předpověď a modelování hazardních událostí, jako jsou povodně, sesuvy půdy, období sucha a horka. Povrchová vlhkost dovoluje vypočítat pravděpodobný obsah vody v půdě do hloubky 1 až 2 metry. Tato zóna je označována jako kořenové pásmo, což je vlastně zásobárna, odkud rostliny berou vodu a procesem transpirace ji uvolňují do ovzduší svými listy. Přesnější znalost půdní vlhkosti v kořenovém pásmu tak zlepšuje krátkodobé i střednědobé meteorologické předpovědi.

Obsah soli na hladině moře zase umožňuje lépe odhadnout intenzitu vypařování vodní hladiny. Jak se voda vypařuje, slanost mořské hladiny se zvyšuje. Měření výparu, a spolu s tím i odhadování srážek, není na celé ploše oceánu konvenčními metodami proveditelné, to mohou zprostředkovat jenom družicová pozorování. Ty umožňují lépe porozumět mořským proudům poháněným tepelnou energií a změnou slanosti (termohalinní cirkulace).

Popis družice

| Dodavatel | Součást družice |
|--|--------------------------|
| EADS CASA Espacio, Španělsko | Hlavní dodavatel |
| CNES, Francie a Thales Alenia Space, Francie | Platforma Proteus |
| CDTI, Španělsko | Části pozemního segmentu |
| EADS CASA Espacio, Španělsko | MIRAS |
| MIER Comunicaciones, Španělsko | přijímače LICEF |

Tab. 4 Dodavatelé mise SMOS

Konstrukce a systémy

Družice se pohybuje v průměrné výšce 755 km. Celková hmotnost družice činí 670 kg, z čehož 282 kg připadá na družicovou konstrukci Proteus, 360 kg na užitečné zatížení a 28 kg na hydrazinový pohon. Standardní krychlová konstrukce s objemem přibližně 1 m³, má připojené dva solární panely, každý o rozměru 1,5 x 0,8 m. Modul s vybavením má rovněž tvar krychle s hranou asi 1,3 m. Je připevněn ke stěně konstrukce mířící k zemskému povrchu. Na spodní stěně je připevněna trojramenná konstrukce antén mikrovlnného radiometru.

Maximální spotřeba energie družice činí 1065 W. Maximální spotřeba užitečného zařízení je 511 W. Energie ze slunečních panelů dobíjí lithiumovou baterii s kapacitou 78 Ah.

Palubní počítač provádí řízení a kontrolu palubních systémů a zpracování dat z přístroje MIRAS, se kterým je spojen datovou sběrnici typu 1553 se sériovým přenosem. Data jsou ukládána v záznamovém zařízení s kapacitou 3 Gbitů, přičemž denní objem pořízených dat činí maximálně 15,4 Gbit při provozu v plném polarimetrickém režimu. Přenos dat do pozemní stanice v pásmu X, který dosahuje rychlosti 16,8 Mb/s je nominálně řízený ze Země v rámci plánování provozu družice. V záložním režimu funguje autonomně a využívá informaci palubního GPS přijímače o viditelnosti pozemní stanice. Naměřená vědecká data přijímá stanice v ESAC (European Space Astronomy Centre) ve Villafranca ve Španělsku a stanice na Svalbardu v Norsku. Telemetrickou komunikaci v pásmu S s družicí udržuje a příkazy palubnímu počítači vysílá operační družicová stanice v Toulouse. Rychlost vysílání příkazů na družici v tomto pásmu činí 4 kb/s a rychlost přijímání dat z družice dosahuje 722 kb/s.

Družici pohání hydrazinový jednopohonový systém se čtyřmi motorky, každý s tahem 1N, které jsou umístěny na základně družice.

Subsystém udržování polohy se skládá z GPS přijímače, detektorů hvězd a tří dvouosých gyroskopů měřících orientaci družice.

Subsystém pro kontrolu teploty je založen na pasivních radiátorech a aktivní regulaci prostřednictvím ohřivačů. Přístrojové vybavení družice řídí svoji teplotu samo, vyjma situací, kdy je družice v nouzovém režimu. V takovém případě Proteus spustí speciální ohřivače, které jsou umístěny v přístrojovém modulu.

Pozorovací přístroje

MIRAS (Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis)

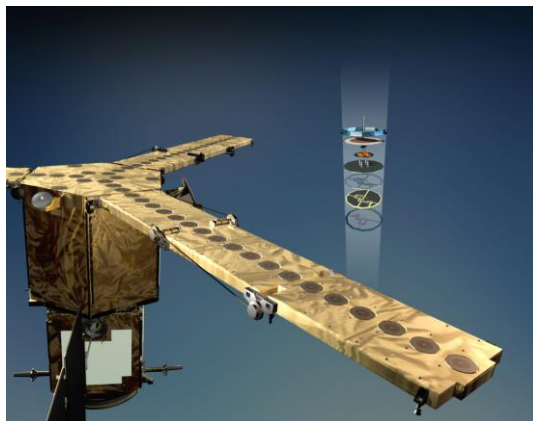
MIRAS je jediným přístrojem na palubě družice SMOS. Jedná se o mikrovlnný radiometr využívající syntetickou aperturu, který operuje v pásmu L (1400-1427 MHz). Teorie stojí za radiometrickým měřením vlhkosti půdy a slanost oceánů je založena na výrazném rozdílu mezi elektromagnetickými vlastnostmi vlhké a vysušené půdy respektive čisté a slané vody. Jak vzrůstá obsah vody v půdě (nebo obsah soli ve vodě), mění se i energie, kterou půda nebo oceán vyzařuje v různých oborech elektromagnetického spektra. Výhodou mikrovlnného záření je jeho lepší průchodnost atmosférou případně vegetačním pokryvem na zemském povrchu než u viditelného nebo infračerveného záření.

Naměřené hodnoty v podobě jasové teploty povrchu jsou ovlivněny rušivými vlivy jak přírodního tak umělého původu. Zvláštní studie identifikovala několik zdrojů signálů v pásmu 1400 – 1427 MHz, které pocházejí buď z nelegálního vysílání uvnitř chráněného pásma, nebo jde o nežádoucí vliv vysílačů pracujících v přilehlých pásmech. Působení těchto RFI (Radio Frequency Interface) zdrojů zkresluje SMOS data a vede ke znehodnocení velkého množství pořízených dat. V České republice byly detekovány pouze dva zdroje vysílající na nepovolené frekvenci a oba tyto zdroje se podařilo odstranit.

| Parametr | Půdní vlhkost | Slanost vody |
|----------------------|--|---|
| Přesnost | 4% objemové vlhkosti půdy (0,04 m ³ m ⁻³) | 0,5 – 1,5 psu (practical soil units) – jednorázové pozorování; 0,1 psu – třicetidenní průměry |
| Prostorové rozlišení | 35 – 50 km | 100 – 200 km |
| Časové rozlišení | 1 – 3 dny | 10 – 30 dní |

Tab. 5 Rozlišení přístroje MIRAS

Použití mikrovlnného radiometru se syntetickou aperturou je jedinou možností jak získat údaje o půdní vlhkosti a slanosti vody s potřebnou přesností a prostorovým rozlišením. Velikost prostorového rozlišení neboli velikost plochy pro níž je získána výsledná jasová teplota je při měření



Obr. 10 Konstrukce tří ramen s LICEF přijímači

mikrovlnného záření určena velikostí použité antény. Pro misi SMOS však byla použita anténa se syntetickou aperturou. Tvoří ji pole 69 malých pasivních mikrovlnných radiometrů rozmístěných rovnoměrně na třech ramenech dlouhých 4,5 m napojených na střední desku a vytvářejících písmeno „Y“. Na centrální ploše jich je rozmístěno 15 a dalších 54 vždy po třech segmentech o šesti přijímačích na ramenech syntetické antény. Tyto radiometrické prvky jsou na panelech namontovány v rozestupu 0,875 vlnové délky přijímaného záření (21 cm). Data jsou odečítána ze všech elementů každých 1,2 vteřiny. Interferometrickou metodou se korelací mezi všemi možnými dvojicemi elementárních radiometrů stanoví fázový posun a dvourozměrovou Fourierovou transformací se následně určí hodnota energie připadající na plochu jednoho pixelu výsledného obrazu pokrývající území v zorném poli.



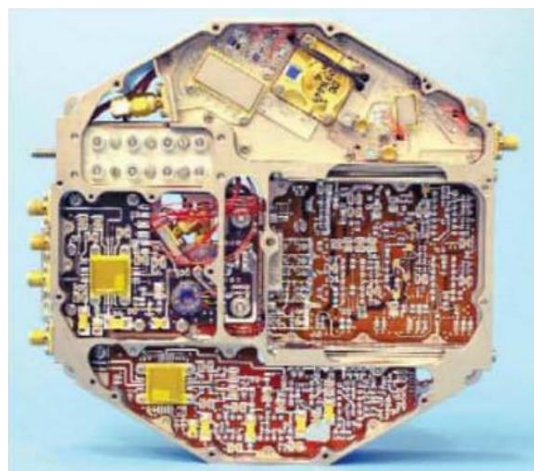
Obr. 11 Subsystem NIR

Z výšky 755 km přijímače pokryjí území o průměru téměř 3000 km. Avšak princip interferometrického měření a ypsilonový tvar antény limitují zorné pole do hexagonálního tvaru o příčném rozměru 1000 km. Po vyklopení ramen s přijímači vznikla syntetická anténa s průměrem 8 m, což dovoluje získat ve středu zorného pole pixel o velikosti 35 km.

Následuje popis subsystémů MIRAS:

LICEF (Light-Weight Cost-Effective)

Tak jsou nazvány elementární mikrovlnné přijímače,



Obr. 12 Subsystem LICEF

kteří jsou hlavní součástí celého zařízení. Každý přijímač má dvě vlastní antény, které umožňují měření zářivé energie ve frekvenčním v pásmu 1400 – 1427 Mhz sekvencně v horizontální i vertikální polarizační rovině. LICEF váží 1 kg, měří v průměru 16,5 cm a spotřebovává 1 W energie. Přijatý signál je zesílen o 100 db a digitalizován s rozlišením 1 bit.

NIR (Noise Injection Radiometers)

Pro vnitřní relativní kalibraci jednotlivých prvků jsou na centrální části antén umístěny tři jednotky NIR (2 záložní). Každá obsahuje dva LICEF přijímače – jeden pro vertikální a druhý pro horizontální polarizaci, které jsou napojené na zdroj kalibračního signálu.

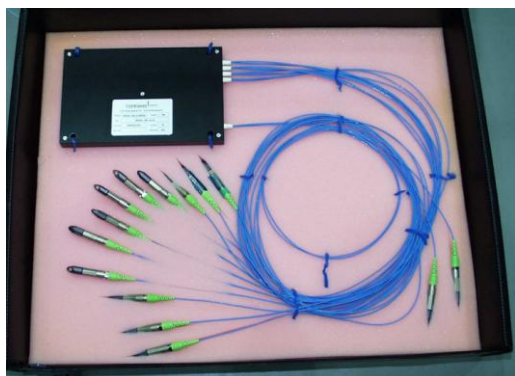
CAS (Calibration System)

Tento palubní kalibrační systém poskytuje referenční signál pro absolutní kalibraci hodnot amplitudy a fáze naměřené LICEF přijímači.

MOHA (MIRAS Optical Harness)

Přenos signálu hlavních hodin, lokálního oscilátoru a přijatých digitálních dat je prováděn digitální sítí optických vláken nazývanou MOHA. Jejím úkolem je zajistit jednotnou a stabilní časovou základnu pro všechny přijímače a přenést naměřený a digitalizovaný signál od přijímačů ke korelační jednotce. Systém má několik výhod oproti klasickým elektrickým rozhraním:

- Nízké vlastní elektromagnetické vyzařování, životně důležité pro funkci vysoce citlivých mikrovlnných přijímačů
- Dobrá fázová stabilita (oproti koaxiálním kabelům) při teplotních výkyvech a ohýbání
- Necitlivost k rozdílným zemním napětím
- Nízká váha



Obr. 13 MOHA – rozbočovač s optickými vlákny

V celé síti MOHA je zabudován velký počet optických rozbočovačů, elektrooptických převaděčů a optických vláken. Celkově MOHA obsahuje 74 pevnolátkových laserů, 168 optických přijímacích diod a přibližně 800 m kabelů optických vláken. SMOS je první evropská družice, u které byla k přenosu palubních signálů v plném rozsahu použita optická vlákna.

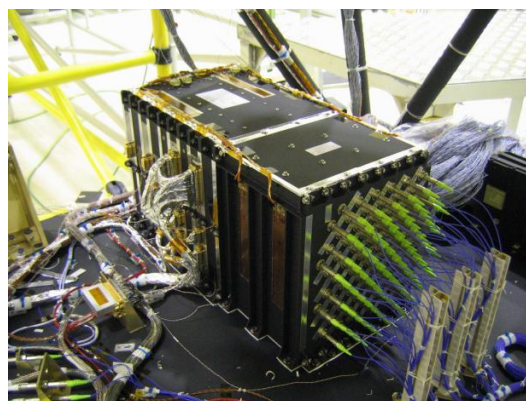
CCU (Correlator and Control Unit)

CCU je centrální řídicí a výpočetní jednotka, které koreluje data přijatá prostřednictvím 72 optických kanálů od přijímačů LICEF a provádí prvotní zpracování dat. CCU ovládá hlavní referenční časovou základnu pracující na frekvenci 55,84 MHz a zároveň kontroluje funkci celého přístroje a monitoruje 12 teplotních regulačních smyček, tak aby byl zajištěn maximální teplotní rozdíl 1°C

v libovolném segmentu šesti přijímačů a 6° C mezi jakýmkoliv párem LICEF přijímačů.

CMN (Control and Monitoring Node)

Součástí systému je 12 kontrolních uzlů CMN, které fungují jako vzdálený terminál CCU vždy pro šestici přijímačů LICEF. Poskytují lokální frekvenční zdroj 1396 MHz odvozený ze signálu hlavních hodin a k tomu vykonávají další kontrolní a monitorovací úkoly. Mezi ně patří:



Obr. 14 Centrální jednotka CCU

- Předávání telemetrických příkazů do CCU
- Získávání analogových telemetrických údajů jako teplota nebo napětí v LICEF
- Kontrola polarizace a kalibrace LICEF
- Kontrola kalibračního signálu
- Ovládání teploty (ohřivače) přijímačů
- Sekundární napájení jednotek segmentů (LICEF, NIR, CAS)



Obr. 15 Kontrolní uzel CMN

Dostupnost dat

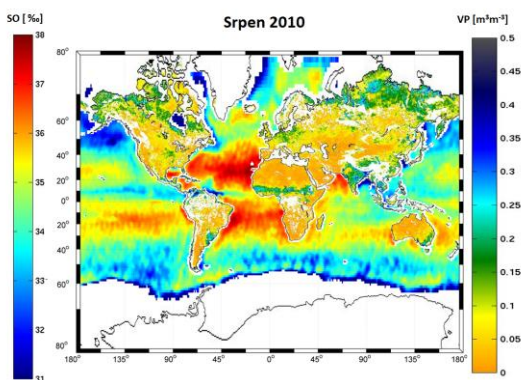
Datové produkty jsou založené na konvencích CEOS (Committee on Earth Observation Satellites). Data existují v několika úrovních od nezpracovaných dat úrovně 0 přes úrovně 1a, 1b, 1c (hodnoty jasové teploty) až k úrovni 2, která již obsahuje dva typy mapových produktů – mapy půdní vlhkosti a slanosti oceánu v širší záběru z jednoho přeletu. Data lze na stránkách ESA objednat a poté cestou FTP stáhnout, nebo si nechat zaslat na CD nebo DVD. V některých zemích se vytvářejí i produkty úrovně 3, což jsou mapy slanosti světového oceánu z jednoho přístroje anebo i úrovně 4, kdy mapa slanosti celého oceánu je určena kombinací dat z několika přístrojů.

| Datová úroveň | Popis |
|-------------------|--|
| Nezpracovaná data | Data v jejich originálním formátu, tak jak je pořídí přístroje |
| Úroveň 0 | Původní data včetně hlavičky, časově řazené |
| Úroveň 1a | Přeformátovaná a kalibrovaná data |
| Úroveň 1b | Snímky v původním kontrastu včetně koeficientů pro jeho zvýraznění |
| Úroveň 1c | Mapy jasové teploty, georeferencovaná data |
| Úroveň 2 | 2 datové produkty: <ul style="list-style-type: none"> • Mapy vlhkosti půdy a vegetace • Mapy slanosti oceánů včetně teoretického odhadu přesnosti hodnot |

Tab. 6 Úrovně dat z družice SMOS

Projekty řešené v ČR

Data pořízená družicí SMOS mohou být využita například ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav), Ústavem fyziky atmosféry AV ČR nebo Přírodovědeckými fakultami vysokých škol a dalšími vědeckými pracovišti zabývajícími se klimatickými otázkami zvláště pak koloběhem vody.



Obr. 16 Rozložení slanosti oceánů a vlhkosti půdy (úroveň 2)

V současné době se pracoviště v České republice zabývají především řešením problematiky měření vlhkosti půdy na lokální úrovni, pro kterou jsou data družice SMOS nevyhovující z důvodu jejího prostorového rozlišení, které činí více než 35 km.

Na agronomické fakultě Mendelovy univerzity v Brně jsou vyvíjeny metody pro integrovaný systém sledování sucha, díky němuž bude možné provádět sledování sucha v reálném čase, tvořit středně a dlouhodobé prognózy a hodnotit riziko jeho výskytu. Cílem tohoto projektu je integrace nejnovějších přístupů monitoringu sucha včetně využití družicových snímků, tak aby bylo dosaženo prostorového rozlišení 0,5 – 1 km a časového rozlišení 1 den za současných nízkých provozních nákladů. Právě rozlišení a potřeba delších časových řad vyřazují SMOS co by hlavního zdroje družicových dat ve prospěch družice MODIS. Pokud budou data SMOS v tomto projektu využita, tak pouze jako doplňující zdroj.

Data vlhkosti půdy družice SMOS by mohla být také využita v klimatických a hydrologických aplikacích. Na výše zmíněné fakultě jsou řešeny například dva projekty s klimatologickou tematikou, z nichž jeden se týká vývoje a testování metod pro klimatické hodnocení a prognózu meteorologického sucha v podmínkách ČR a vybraných oblastech USA, zatímco druhý z projektů se zaměřuje na dopady změny klimatu a klimatické variability mimo jiné na intenzitu zemědělského sucha. Hydrologickými tématy ve smyslu sledování kvality a dostupnosti vodních zdrojů, monitorování hydrologického sucha a návrhu koncepcí řešení krizových situací vyvolaných výskytem sucha a nedostatkem vody se zabývá například VÚV TGM (Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka), Hornicko-geologická fakulta Vysoké školy báňské nebo ČHMÚ.

CRYOSAT-2

Účel

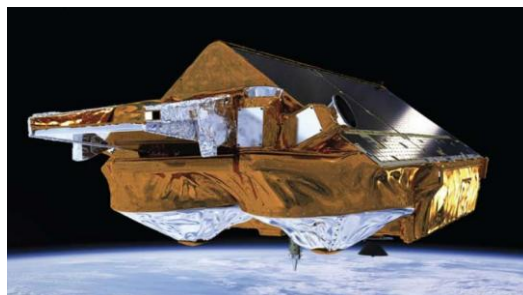
Družice byla vypuštěna 8.4.2010 na raketě Dnepr z Baikonoru. Družice obíhá po slunečně nesynchronní polární oběžné dráze ve výšce 717 km s inklinací 92°.

Finanční rozpočet projektu na období 2006 – 2011 činil 132,5 milionů euro. Jedná se ale o dodatečné prostředky, které byly vyčleněny po ztrátě prvního exempláře družice po nezdařeném startu v roce 2005. Pro Cryosat 2 bylo použito několik systémů vyvinutých pro první družici. Další roky jejího provozu mohou celkové náklady navýšit do roku 2013 až na 140 milionů euro. CryoSat-2 provádí měření tloušťky plovoucího ledu za účelem detekce jeho sezónní proměny. Zároveň tato data slouží ke zkoumání kontinentálního ledovce respektive k určení proměny jeho nadmořské výšky. Cílem je určovat regionální trendy v roční proměnlivosti tloušťky a hmotnosti mořského ledu a určování průměrného globálního vzestupu mořské hladiny, zapříčiněného táním Arktického a Grónského ledovce.

Led hraje významnou roli při regulaci klimatu, a to několika způsoby. Sluneční záření dopadá na zemskou atmosféru a povrch a určité procento je odraženo zpět do vesmíru v závislosti na albedu čili odrazivosti povrchu. Led a sníh má vysoké albedo a odráží okolo 80 % slunečního záření. Jakmile začne led či sněhová pokrývka tát, albedo se snižuje a tím se od zemského povrchu odráží méně slunečního záření. Naopak pohlcuje více sluneční energie a tím jeho teplota stoupá.

Polární oceány každý rok prochází procesem formování a následného rozpouštění velkého množství mořského ledu. Například na severním pólu taje a zamrzá plocha o velikosti Evropy. Tloušťka tohoto ledu hraje klíčovou roli v polárním klimatu, protože usměrňuje přenos tepla izolací relativně teplého oceánu od studené polární atmosféry.

Sezónní změny mořského ledu mají dále zásadní vliv na vzory cirkulace známé jako termohalinní cirkulace. Jak led taje, objevuje se přítok čerstvé vody do okolního oceánu. Tento proces má za následek snížení obsahu solí ve vodě a tím pádem hustoty vody. V opačném případě, kdy se mořská



Obr. 17 Družice Cryosat-2

voda ochlazuje a dochází k formování mořského ledu, roste její slanost a hustota. Růst hustoty způsobuje klesání povrchových vod, které začínají fungovat jako pumpa. Hlubokomořské proudy proudí směrem k rovníku a zároveň pryč od polárních oblastí. Jako kompenzace této ztráty se vrací proud teplejší méně husté povrchové vody na sever z nízkých do vysokých zeměpisných šířek.

Golfský proud, který nese teplou povrchovou vodu z Mexického zálivu do subpolárního oceánu u východního Grónska, je extrémně důležitý pro usměrňování Evropského klimatu. Pobřežní vody Evropy jsou o 4° teplejší než vody ve stejné zeměpisné šířce v severním Pacifiku. Tyto teplejší vody se míchají s okolní vodou, tím se ochlazují a klesají, jak se blíží k pólu. Pokud by byl tento cirkulační vzor narušen zmenšením objemu ledu v Arktidě, mělo by to zásadní vliv na sílu a směr tohoto proudění. Je tedy zřejmé, že porozumění proudění ledu arktického moře je důležité pro předpovídání vývoje evropského klimatu.

Obecně existují dva typy polárního ledu – oceánský a pevninský. Tyto dvě formy hrají odlišnou roli v chodu klimatu a zároveň nabízí různé způsoby detekce z vesmíru. Tloušťka mořského ledu dosahuje zpravidla několika metrů. Cryosat-2 je schopen získávat přesná data měření tloušťky tohoto plovoucího ledu, tak aby mohla být detekována jeho meziroční variabilita. Mořský led ovlivňuje regionální teplotu a cirkulaci mořských proudů. Ledovce pokrývající Antarktidu a Grónsko jsou silné několik kilometrů. Namísto měření jejich tloušťky, je měřena výška povrchu s takovou přesností, aby mohly být detekovány malé změny v průběhu mise. Růst a úbytek tohoto ledu má přímý vliv na výšku mořské hladiny.

Cíle:

- Určení trendu ve vývoji tloušťky a hmotnosti trvalého arktického mořského ledu na úrovni regionálního měřítká a měřítek jednotlivých povodí
- Určení regionálního a celkového přispívání antarktického a grónského ledovce k růstu výšky hladiny moří
- Sledování sezonního cyklu a meziroční variability tloušťky a hmotnosti arktického a antarktického mořského ledu
- Sledování variability tloušťky pevninských ledovců a ledovcových čepiček

Trendy zjištěné Cryosat-2 budou omezeny na pozorovací období. Důležitost těchto měření vzroste, pokud za několik desítek let bude vypuštěn do vesmíru podobný pozorovací přístroj, který přinese srovnání se současnými daty.

Popis družice

| Dodavatel | Součást družice |
|---|--|
| Astrium GmbH Friedrichshafen, Německo | Hlavní výroba, integrace platformy, integrace všech přístrojů |
| Thales Alenia Space, Francie | SIRAL |

Tab. 7 Dodavatelé mise CryoSat – 2

Konstrukce a systémy

Tělo družice se vyznačuje jednoduchou tuhou konstrukcí o rozměrech $4,6 \times 2,4 \times 2,2$ m. Na startu měla družice celkovou hmotnost 720 kg včetně 37 kg paliva.

Energie je vyráběna dvěma GaAs solárními panely, z nichž každý generuje 850 W a 78 Ah Li-on bateriemi.

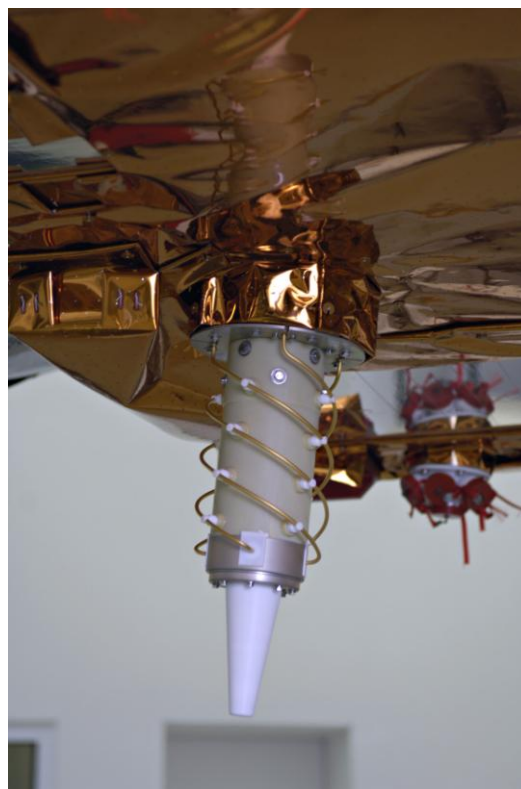
Počítač polohového a oběžného kontrolního systému komunikuje prostřednictvím sběrnice typu 1553 se sériovým přenosem. Na palubě se nachází záznamové zařízení s kapacitou 2×129 Gbit. Data generovaná palubním zařízením dosahují 400 Gbit/den. Pozemní stanice této mise se nachází v Kiruně. Rychlost přenosu dat pásma X do pozemní stanice v Kiruně činí 100 Mbit/s pro 8,1 GHz.

Rychlost přenosu příkazových dat pásma S z pozemní stanice činí 2 kbit/s a pro přenos telemetrických dat do stanice je rychlost 16 kbit/s. Řízení mise probíhá v ESOC (European Space Operations Centre) v Darmstadtu v Německu prostřednictvím stanice v Kiruně. Měření jsou plánována ESRIN (ESA's Centre for Earth Observation) ve Frascati v Itálii. Zpracování dat probíhá v Kiruně. Lokální archivace se zpracováním po jednom měsíci probíhá po dodání přesných orbitálních dat z CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) ve Francii, kde zároveň dochází k dlouhodobé archivaci dat. Uživatelské služby jsou koordinovány prostřednictvím ESRIN.

DORIS (Doppler Orbit and Radio Positioning Integration by Satellite)

Přijímač DORIS na palubě Cryosatu-2 je součástí celého systému, kterým se provádí měření potřebné pro přesné určení dráhy a přenos času. Systém DORIS zahrnuje síť více než padesáti pozemních vysílačů s přesně známou polohou a řady přijímačů na družicích i na zemi. Je součástí IDS (International DORIS Service), která rovněž nabízí možnost přesné lokalizace uživatelských stanic.

DORIS je radiofrekvenční naváděcí zařízení pracující na principu Dopplerova efektu. Každý vysílač



Obr. 18 Zařízení DORIS

pozemní síť vysílá stabilně na dvou frekvencích – 2036,25 MHz v pásmu S a 401,25 MHz v pásmu VHF (Very High Frequency). Příjímač na palubě družice měří každých 10 sekund dopplerovskou změnu frekvence těchto signálů pomocí palubního oscilátoru se stabilitou 5×10^{-13} po dobu 10 až 100 sekund. Ze změny frekvence lze určit radiální rychlost družice několikrát za jeden oběh. Tím, že se měří na dvou frekvencích, je možné kompenzovat ionosférické efekty, navíc i odhadnout obsah elektronů v ionosféře.

Systém DORIS rovněž umožňuje zakódovat doplňující informaci do vysílaných signálů. Tyto služby zajišťují dva hlavní vysílače v Toulouse a Kourou. Data z těchto stanic využívají všechny přístroje DORIS na oběžné dráze. Jejich sestava je aktualizovaná jednou týdně a obsahuje například souřadnice vysílacích stanic, parametry rotace Země, časový signál pro synchronizaci palubních hodin a jiné údaje

DORIS na palubě Cryosatu funguje také jako zdroj referenční frekvence pro přístroj SIRAL (SAR/Interferometric Radar Altimeter), protože ten není vybaven vlastním stabilním oscilátorem.

LRR (Laser Retroreflektor)

Je to pasivní zařízení, které umožňuje určovat parametry dráhy družice pomocí pozemních laserů. Koutová konstrukce ve tvaru krychle odráží světelný záblesk přesně do opačného směru, než odkud do odražeče dopadl. Na pozemní laserové stanici se měří doba, za kterou se odražený signál vrátí a tím se určí vzdálenost družice od stanice a měří interval, ve kterém je puls odražen zpět. Tím je zajištěno nezávislé referenční měření polohy družice.

LRR Cryosatu-2 je založen na již existujících LRR, které se nacházejí například na satelitech Meteor-1, 2 a 3, Etalon 1 a 2, GFZ-1 a WESTPAC. Je ale jiného typu než odražeče použité na družicích ERS-1 a 2 nebo na Envisatu.



Obr. 19 Zařízení LRR

LRR je umístěn co nejbližší těžišti družice na desce orientované k Zemi. Sedm jednotlivých odražečů zajišťuje dohromady zorné pole $57,6^\circ$ na všechny strany od normály. Družice může tedy odrazit laserový paprsek z každého místa dráhy, pokud je více než 20° nad místním obzorem laserové stanice.

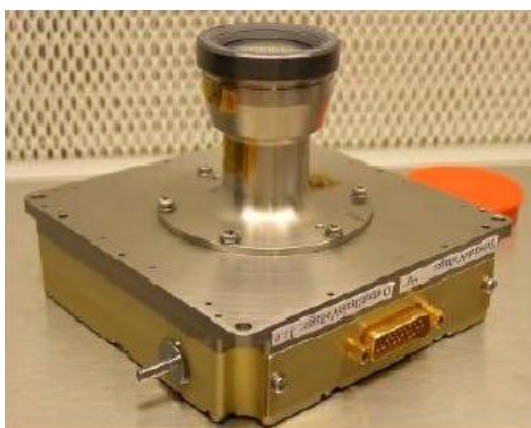
| Parametr | Hodnota (rozsah) |
|-----------------------------|--------------------------|
| Počet jednotlivých odražečů | 7 |
| Průměr apertury | 28,2 mm |
| Materiál hranolů | tavený křemen |
| Plocha vstupního otvoru | $\approx 6 \text{ cm}^2$ |
| Reflexní povrch | hliník |
| Šířka reflexního vzoru | 5 – 6 " |
| Rozsah vlnové délky | 310 – 1450 nm |
| Propustnost | 0.55 – 0.78 |

Tab. 8 Parametry koutového odražeče

Detektory polohy hvězd

Pro zjištění polohy a orientace antén jsou přímo na jejich nosné konstrukci umístěny tři detektory polohy hvězd. Optické osy tří detektorů jsou všechny v jedné rovině, která je paralelní k rovině optických os obou antén SIRAL a tedy i k místní vertikále. Prostřední detektor míří k zenitu, zatímco ostatní dva jsou odkloněny v úhlu 65° na obě strany od zenitu. Detektory je usazeny tak, že Slunce nebo Měsíc může v jednom okamžiku „oslepit“ pouze jednu kameru. Díky této násobné konfiguraci je tento polohový systém plně funkční i při výpadku jednoho ze tří detektorů

Detektory polohy hvězd je hlavním systémem pro zjišťování orientace interferometrické základny SIRAL. Každý obsahuje kameru se zorným polem 22° , která v přijímacím režimu pořizuje až pět snímků za sekundu po dobu 2-3 sekund. Po dvou sériích měření se systém přepne do režimu aktualizace polohy, v němž jsou snímky porovnávány s katalogem hvězdných pozic a triangulací upřesněn předcházející údaj o orientaci družice. Systém porovnává trojúhelníky tvořené spojnicemi hvězd. Celý systém má malou spotřebu energie, je plně autonomní, schopný dodávat inerciální měření polohy.



Obr. 20 Kamerová hlava detektoru polohy hvězd



Obr. 21 Anténa zařízení SIRAL

Pozorovací přístroje

SIRAL (SAR/Interferometric Radar Altimeter)

Tento přístroj je základním vybavením mise Cryosat-2. Svoji konstrukcí navazuje na pulzní výškoměr pracující v pásmu Ku mikrovlnného spektra (vlnová délka 2,2 cm), je však doplněn o vylepšení, která z něj dělají unikátní přístroj svého druhu. První novinkou je využití principu syntetické apertury založeném na určení místa odrazu přijatého signálu pomocí Dopplerova jevu. Tím je možné dosáhnout lepšího prostorového rozlišení ve směru letu. Druhým koncepčním zlepšením je využití principu interferometrie, která umožní potlačit chyby výšky způsobené sklonem svahu terénu ve směru kolmo ke směru letu družice. Použití obou nových technologií si vyžádalo přísné dodržení fázové koherence pulzů, interferometrie navíc i doplnění o druhou anténu a přijímač.

Jakákoliv chyba v konstrukci antén by měla za následek chyby, které by se následně projeví ve výpočtech úhlu dopadu a nadmořské výšky povrchu. Chyba musí být menší než 30 arc sekund, což je přibližně velikost fotbalového míče pozorovaného ze vzdálenosti dvou kilometrů. Tento požadavek je dán především neobvyklou oběžnou drahou Cryosatu-2. Proto musí být anténa vnitřně stabilní a být vybavena pomocnými čidly pro měření polohy, které jsou umístěné přímo uvnitř její struktury.

Celé zařízení je rozděleno do tří hlavních subsystémů. Dva z nich se skládají z jednoho či více oddělených elektronických součástí. Jedná se o digitální procesní jednotku, která vykonává veškeré digitální elektronické funkce altimetru a frekvenční

radiovou jednotku, která obsahuje všechnu analogovou elektroniku.

Třetí subsystém je anténová část, která sestává ze dvou Cassegrainových antén připevněných vedle sebe, čímž vytvářejí interferometrickou základnu pro měření napříč letu. Jejich vzdálenost musí být konstantní, proto jsou upevněny na lavici zhotovené z tuhého a teplotně stabilního kompozitu z plastu zesíleného uhlíkovými vlákny. Obě antény jsou identické s eliptickými disky s průměry 1,15 m na 1,4 m, ale jedna přijímá i vysílá, zatímco druhá pouze přijímá signál.

Operační režimy

Režim LRM (Low-resolution mode)

Tento režim je podobný konvenčnímu provozu pulzních výškoměrů a používá jediný přijímací kanál. Režim vysílací se střídá s režimem příjmu. Frekvence pulzů je 49 μ s a jsou vysílány v intervalech 508 μ s, přičemž průměrná doba mezi vysláním a příjmem odraženého signálu je 4,8 ms. Za tu dobu se tedy vyše devět pulzů. Pulzy jsou produkovány s takovým odstupem, že odražený signál nejsou korelované, takže jejich zprůměrováním lze snížit obsah šumu. Tato operace probíhá již na palubě a teprve výsledná hodnota je odeslána do pozemní stanice. Rychlost přenosu dat je tedy nízká. Tento režim je použit nad souvislými ledovými příkrovy, kde jsou malé sklony svahů a nad vodní hladinou oceánů.

Režim SAR (Synthetic aperture radar)

V tomto režimu, který také využívá jen jeden přijímací kanál, je prostorové rozlišení altimetru ve směru podél letu zvýšeno při souhrnném pozemním zpracování naměřených odražených signálů. Využívá se přitom změny frekvence

přijatých signálů vlivem Dopplerova efektu k rozpoznání signálů přicházejících z míst ležících před družicí a těch ležících za ní. Výsledkem je rozdělení naměřené odražené energie v jednom balíku až do 64 úseků o délce přibližně 250 m podél dráhy; v kolmém směru je délka pomyslného pixelu stejná jako u konvenčního radaru, tedy šířka záběru, která je v tomto případě asi 15 km. Větší počet měření z menších ploch znamená zvýšení podrobnosti a i přesnosti výšek hlavně ledových ker na moři.

Pro dodržení podmínky koherence jsou jednotlivé pulzy v tomto režimu vysílány s téměř 10krát vyšší frekvencí než v režimu LRM. Pulzy jsou vysílány v dávkách po 64 pulzech trvajících 3,6 ms oddělených mezerou 11,7 ms. Naměřené signály se předávají na zem v časových řadách, tak jak byly přijaty, bez jakéhokoliv průměrování. Proto je rychlost přenosu dat je výrazně vyšší než u LRM.

Režim SARIn (SAR-Interferometric mode)

Pulzy v tomto režimu jsou rovněž vysílány v dávkách po 64 pulzech trvajících 3,6 ms. Jsou však odděleny mezerou 46,7 ms.

Tento režim je využíván hlavně nad okraji kontinentálních ledovců, kde jsou velké sklonky svahů. Přidáním interferometrické metody je možné zpřesnit směr příchodu přijímaného signálu i ve směru příčném ke směru letu družice, a to porovnáváním fáze signálů přijatých po odrazu vyslaného pulzu od jednoho místa na zemském povrchu dvěma anténami. Z fázového rozdílu je možné určit rozdíl v délce cesty radarové vlny k oběma anténám. Jednoduchá geometrie umožňuje spočítat úhel mezi osou antény a směrem k místu odrazu přijatých signálů.

V tomto režimu jsou funkční obě antény a tudíž i objem pořízených dat přenášených do přijímací stanice je dvojnásobný oproti režimu SAR. Ve snaze vyrovnat se s náhlými změnami výšky, musí být koncept určování vzdáleností zvláště robustní. To je u výškoměru SIRAL zajištěno pomocí sledování impulsů v úzkém pásmu, které jsou přenášeny mezi po sobě jdoucími skupinami impulsů širokého pásma.

Dostupnost dat

Hlavním datovým produktem je úroveň 2, označovaná rovněž jako Geophysical Data Record. Tento produkt obsahuje nadmořskou výšku povrchu a další údaje o povrchu jako koeficient zpětného odrazu určené z dat úrovně 1b. Nad

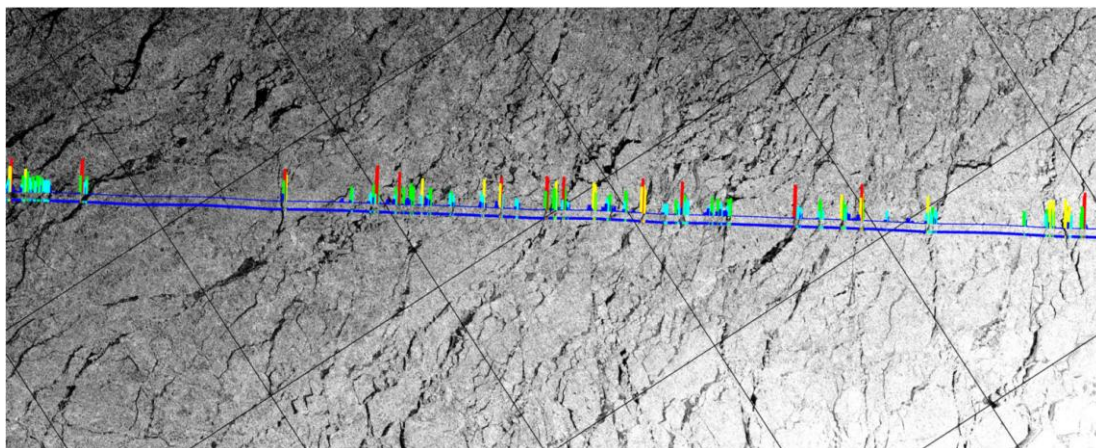
oceánským ledem data obsahují také odhad tloušťky ledu, nad pevninským ledem jsou data korigována na svahový efekt. Ostatní datové produkty jsou dostupné pouze pro zvláštní uživatele (např. pro ty, kteří se zabývají výzkumem radarových dat), ty obsahují data z různých provozních režimů výškoměru SIRAL.

Pro registrované uživatele jsou na této adrese <ftp://science-pds.cryosat.esa.int/> dostupné následující produkty: úroveň 1b, 2 a GDR (upravená úroveň 2).

Registrovaní uživatelé mohou přistupovat k datům pomocí ftp přenosu pomocí CUT (CryoSat User Tools).

| Datová úroveň | Popis |
|--|---|
| SIRAL úroveň 0 | Nezpracované zdrojové pakety, časově řazené |
| SIRAL úroveň 1b (FBR – full bitrate, plná přenosová rychlost) | Data úrovně 0, ze kterých byla odstraněna veškerá nevědecká data, přidány přístrojové a geofyzikální korekce a údaje o oběžné dráze |
| SIRAL úroveň 1b | Data jsou ve všech třech režimech zprůměrována pro frekvenci přibližně 20 Hz |
| DORIS úroveň 1b | Data Dopplerova posuvu sloužící k nezávislému určení oběžné dráhy |
| SIRAL úroveň 2 | Odhady výšky povrchu včetně ostatních parametrů povrchu (např. koeficient zpětného rozptylu) |
| Monitorovací data | Data o stavu zařízení na palubě družice |
| Data na vyžádání | Tato data zahrnují sadu FBR, úrovně 1b a úrovně 2, sada poskytována v blízkém reálném čase Využívá data DORIS Navigator v reálném čase |

Tab. 9 Úrovně dat z družice Cryosat-2



Obr. 22 Záznam radarového altimetru (barevně) Cryosat-2 na podkladu snímku ASAR družice Envisat

| Operační režimy | LRM | SAR | SARIn |
|-----------------------------------|--------------|--------------|---------------|
| Parametr | Hodnota | | |
| Střední frekvence | 13,575 GHz | | |
| Šířka pásma | 350 MHz | | |
| Vysílací výkon | 25 W | | |
| Vzorkovací interval | 0,47 m | | |
| Pulzní frekvence | 1970 Hz | 17,8 kHz | 17,8 kHz |
| Délka vysílaného pulzu | 49 μ s | | |
| Využitelná délka odraženého pulzu | 44,8 μ s | 44,8 μ s | 44,8 μ s |
| Počet pulzů na dávku | - | 64 | 64 |
| Interval pro opakování dávky | - | 11,7 ms | 46,7 ms |
| Rychlost datového přenosu | 51 kb/s | 11,3 Mb/s | 2 x 11,3 Mb/s |
| Spotřeba energie | 95,5 W | 127,5 W | 123,5 W |
| Hmotnost | 62 kg | | |

Tab. 10 Parametry zařízení SIRAL ve třech operačních režimech

Projekty řešené v ČR

Vzhledem k zaměření pozorování na pevninské a mořské ledovce, je využití v České republice značně omezené. Česká pracoviště se zabývají spíše studiem biosféry polárních oblastí než vlastním mapováním mořského ledu a ledovců.

Výzkumem polárních oblastí se v ČR zabývají následující pracoviště: Výzkumná stanice J. G. M. (Masarykova univerzita v Brně), ČGS (Česká geologická služba), Botanický ústav AV ČR, kde připadá i v úvahu možné využití dat Cryosat-2.

SWARM

Účel

Koncept Swarm je složen ze tří družic, obíhajících ve třech rozdílných polárních drahách ve výšce v rozmezí 400 až 530 km. Každá z těchto družic bude produkovat měření síly a směru magnetického pole. Všechny tři družice budou vyneseny raketou Rokot v srpnu – listopadu 2012.

Celkové náklady na misi za období 2004 – 2012 činí 221,2 milionů euro.

Cílem mise Swarm je vytvářet data pro výzkum geomagnetického pole a jeho vývoje v čase, získávání nových poznatků pro rozšiřování znalostí zemského nitra a chodu klimatu. Modely geomagnetického pole, které budou výsledkem této mise, poskytnou nový pohled na zemského nitro a atmosférické procesy spojené s klimatem a počasím. Výstupem mise budou také praktické aplikace v různých oblastech, jako například vesmírné počasí a radiační hazardy.

Hlavní zdrojem zemského magnetického pole je pohyb tekutého železa v horní vrstvě zemského jádra. K tomu se ale přidávají další příspěvky například od přirozeného magnetismu hornin, elektrických toků v ionosféře a magnetosféře a také od proudění vody v oceánech. Celý proces vzniku magnetického pole Země však má mnoho neznámého, například proč v současnosti jeho velikost slábne. Úkolem a cílem celého projektu bude určit velikost jednotlivých příspěvků. Proto bude celý experiment prováděn třemi identickými družicemi vypuštěnými jednou raketou, z nichž dvě budou na stejné dráze a třetí se na jiné dráze bude postupně od nich vzdalovat. Současná měření dovolí nově rozlišit prostorové změny magnetického pole od jeho změn časových. Pro získání nových poznatků je třeba provádět měření s řádově lepší přesností než dosud. V rámci studia dynamiky jádra, geodynamických procesů a interakcí jádra a pláště, budou vytvářet modely jádra s vyšší přesností. Tyto modely budou využity pro výzkum torzních oscilací a interakcí jádra s pláštěm. Pokud náhodou během jejich měření dojde k náhlému impulsu a tedy změně v magnetickém poli (dva poslední se vyskytly v letech 1991 a 1999), bude možné zkoumat jeho původ a spojitost s torzními oscilátory s vyšší přesností, než



Obr. 23 Družice Swarm

s jakou by to bylo možné pouze na základě pozemních dat.

Mapování magnetických vlastností litosféry je důležité pro zlepšení znalosti jejího geologického a mechanického složení a termomechanických vlastností spodní kůry a pláště. Z předchozích družicových měření byly získány informace o změnách magnetického pole v malém měřítku, které se dají v matematickém modelu vyjádřit sférickými harmonickými funkcemi stupně 15 (v jádře) a až stupně 60 v litosféře. Družice Swarm by měly poskytnout měření podrobnějších změn, popsanych v litosféře funkcemi až stupně 150. Tím by se překlenula mezera mezi družicovými a leteckými údaji. Stupně vyšší než 150 odpovídající především vrchní kůře jsou dostupné z kvalitních leteckých výzkumů. Data ve vyšším rozlišení, která budou poskytovat družice Swarm umožní globální zmapování jednotlivých magnetických polí v litosféře o velikosti od 5 km do 3000 km a první globální pohled na zemskou kůru od vrchní až po její spodní část.

Data z družic Swarm rovněž poslouží prostorovému zkoumání elektrické vodivosti zemského pláště a sestavit rozložení jejích prostorových variací. Dosud byla pro tyto práce využívána data z pozorování ze zemského povrchu, ale současná síť geomagnetických stanic je nerovnoměrně rozložená a celkově řídká. Proto je poměrně obtížné vytvářet dostatečně přesné modely struktury elektrické vodivosti zemského nitra a jen nepřesně odhadovat změny elektrických a magnetických vlastností pláště v průběhu delších časových období. K překonání těchto potíží může přispět právě využívání magnetických dat pořízených v jeden okamžik družicemi na různých místech. Trojice družic Swarm, bude provádět simultánní

pozorování nad několika regiony zároveň, a tak bude nabízet unikátní možnost odvození 3-D modelů elektrické vodivosti pláště. Tyto modely ponесou informaci o dynamice pláště a navíc umožní identifikovat místa odlišná vlivem různé teploty nebo jiného složení.

Data budou rovněž využita pro výzkum elektrických proudů v magnetosféře a ionosféře. Pro studium zemského nitra je nezbytné, aby modely magnetického pole dokázaly co nejdříve oddělit vliv zdrojů nacházející se v ionosféře a magnetosféře. Těmi jsou proudy nabitých částic způsobené srážkami iontů anebo procesy v plasmě, kde na nabitě částice působí rozdíly gravitace a tlaku třeba v plasmových bublinách nebo působením větru. Tyto proudy mohou způsobit magnetické pole s intenzitou až 5 nT, ale teprve pomocí družic Swarm by měly být určeny. Nedávné výzkumy ukázaly zásadní výhodu modelování zemského jádrového pole a jeho sekulárních variací současně s ionosférickými a magnetosférickými poli, které přispívají ke komplexnímu přístupu spojením pozemských a vesmírných měření magnetického pole.

Dalším z cílů bude měření pohybu vody v oceánech sledováním její magnetické stopy. Při proudění slané mořské vody v magnetickém poli Země vzniká elektrické pole a to vytváří i pole magnetické. Jeho vliv na zemské magnetické pole bude družice Swarm zaznamenávat. Tak by se dalo zpětně zmapovat veškeré oceánské proudění, což je velmi důležitý prvek pro přenášení tepla kolem Země a tím i pro tvorbu klimatu. Výhodou je mimoto fakt, že magnetický signál může být díky oceánským proudům detekován v oblastech pokrytých ledem. Nevýhodou je to, že velikost intenzity magnetického pole způsobeného mořskými proudy je ze všech ostatních zdrojů patrně nejmenší. Celková hodnota měřená družicí se pohybuje v hodnotách řádově desítky tisíc nanotesla, ale jen jedna padesátisícina je způsobena cirkulací oceánu.

Data také poslouží ke kvantifikaci ovlivňování svrchní atmosféry magnetickým polem. Dynamika svrchní atmosféry je výsledkem komplexní interakce mezi nabitými a neutrálními částicemi v magnetickém poli. S níže popsanou sadou nástrojů bude každá družice Swarm schopna získávat potřebná měření ve vysokém rozlišení a zároveň simultánní in-situ měření, která jsou nezbytná k pochopení celého systému. Pomocí měření hustoty plazmy bude zjišťována struktura takových ionosférických fenoménů jako „údolí“ středních zeměpisných šířek a Appletonova anomálie nízkých zeměpisných šířek. Navíc hustota

plazmatu vlivem diamagnetického efektu zkresluje místní měření magnetického pole, a proto musí být tento efekt brán v úvahu při magnetickém modelování.

Pořízená data budou přínosem pro zkoumání změn hustoty v neutrální horní atmosféře. Předpokládá se, že lokální maxima hustoty v polárních oblastech vznikají jako reakce na geomagnetické ohřívání ionosféry. Pro potvrzení této hypotézy je zapotřebí více lokálních měření hodnot magnetického pole a proudů nabitých částic v horní atmosféře spolu s hustotou atmosféry, která svým odporem mění dráhy družic.

Oblasti využití dat:

Pole zemského jádra a jeho časové změny

- Dosažení vyššího rozlišení hlavních povrchových toků v prostoru a čase
- Omezení role difuze a vlnění
- Předpověď krátkodobého vývoje

Litosférická magnetizace

- Překlenutí propasti mezi současným rozlišením satelitního a aeromagnetického průzkumu
- První globální pohled od horních až po spodní části litosféry
- Lepší pochopení tektonických procesů

3D elektrická vodivost pláště

- Vytvoření prvních globálních modelů vodivosti pláště

Elektrodynamické prostředí Země

- Modelování dynamiky externího pole ke zpřesnění modelů interního pole
- Distribuce a dynamika proudů pole
- Analýza vlivu proudu nabitých částic na produkci joulového tepla v horní atmosféře

Oceánské cirkulace

- Oceánské proudy – pohyb mořské vody skrze proudění hlavního pole: hloubkově integrovaný tok vytváří elektrické proudy, které zapříčiňují vznik sekundárního magnetického pole

Popis družice

| Dodavatel | Součást družice |
|---|------------------------------------|
| EADS Astrium GmbH, Německo | Hlavní dodavatel |
| EADS Astrium Ltd, Velká Británie | Mechanické a tepelné testy |
| University of Calgary, ComDev Ltd., Kanada | Detektor elektrického pole EFI |
| Francouzská kosmická agentura (CNES), Laboratoř Francouzské atomové komise, Grenoble, Francie | Magnetometr ASM |
| Ústav kosmické fyziky, Švédsko | Langmuirova sonda PLP |
| Dánská technická univerzita (DTU) | Magnetometr VFM a hvězdný detektor |
| Výzkumný, zkušební a letecký ústav + 12 dalších pracovišť, ČR | Mikroakcelerometr ACC |
| AMPAC-ISP, Cheltenham, Velká Británie | Motorky SVT01 |

Tab. 11 Dodavatelé mise Swarm

Konstrukce a systémy

Družice Swarm má specifický tvar tvořený hranolem s trojúhelníkovým nástavcem připojeným k tyči s magnetometry. Celková délka je tak 9,2 m, tělo má výšku 1 m a největší šířku 1,5 m. Celková hmotnost družice činí 468 kg. Družice Swarm pracují v sestavě tří družic umístěných na dvou blízkých kruhových polárních oběžných drahách. Dvě družice budou obíhat na dráze ve výšce 450 km se sklonem 87,4°. Třetí družice bude umístěna na oběžné dráze ve výšce 530 km a sklonem 86,8°. Každá družice pořizuje údaje o vektoru magnetického pole. Kombinace měření ze všech satelitů umožní získat globální pokrytí daty ve vysokém rozlišení. Vlastní magnetické pole družice muselo být velmi podrobně zmapováno v celém prostoru kolem družice, aby se naměřené hodnoty mohly o něj opravit. Ochranná opatření byla přísně dodržována i v průběhu její stavby, aby žádný kovový materiál či

nástroj nenesl zbytkové magnetické pole. Důležitým aspektem celé konstrukce je umístění magnetometrů na 4 m dlouhé tyči, aby nebyly rušeny elektronikou uvnitř hlavního těla družice. Na tyči je spolu s magnetometrem také detektor polohy hvězd, který slouží k určení přesné orientaci celé družice a následně i samotného magnetometru. Detektor tvoří tři kamery hvězdné oblohy, které jsou od magnetometru vzdáleny 50 cm a navzájem spojeny stabilní konstrukcí z uhlíkových vláken s keramikou, aby neovlivňovaly měřené magnetické pole.

Subsystem udržování tříosé stabilizace polohy a stabilní dráhy AOCS je kromě detektorů hvězd tvořen magnetickou stabilizací, přijímačem GPS, měřicí jednotkou a také detektorem Slunce a Země pro nastavení hrubé orientace. Systém pracuje ve třech základních režimech: normálním (pro plánovanou činnost), pořizovacím a nouzovém. Změna režimu může být jak automatická, tak nařízená ze Země.

Jako prostředek na vyrovnávání magnetických momentů a odporu atmosféry, které ovlivňují polohu družice, byl zvolen jednoduchý motorek na studený plyn (freon). Družice je vybavena 8 motorky pro udržování dráhy s tahem 40 mN a 16 motorky na stabilní orientaci družice s tahem 20 mN. Každá družice má na palubě 106 kg pohonné látky, což by mělo zajistit funkčnost družice po dobu 4 let.

Tělo družice je pokryto dvěma panely slunečních baterií o celkové ploše 4,4 čtverečních metrů a výkonem 1500 W (750 W každý). Na neosvětlené části dráhy bude potřebnou energii dodávat lithio-iontová baterie. Průměrná souhrnná energetická spotřeba všech přístrojů a systémů je 222 W, z toho vědeckých přístrojů 52 mW. Tepelný režim zajišťuje pouze pasivní tepelná ochrana. Všechny prvky kromě několika externích senzorů a přídatných zařízení jsou umístěny uvnitř těla družice. Jsou funkční v dostatečném rozsahu teplot, takže není zapotřebí jejich aktivní zahřívání. To platí i o venkovních anténách.

Radiové spojení se Zemí umožní spirálová anténa na straně družice, která při normálním průběhu letu bude trvale nasměrována k zemskému povrchu. Na zenitové straně jsou umístěny antény zajišťující kontakt se Zemí při nestandardní poloze družice. Pro příjem příkazů ze země jsou na palubě dva přijímače, které budou zapnuty neustále. Vysílání dat opačným směrem bude jen v dosahu pozemní stanice zajišťovat jeden ze dvou palubních vysílačů. Přenos dat do pozemní stanice bude v pásmu S s kapacitou 6 Mb/s, za den pořídí družice 2,7 Gb dat.

Na palubě je palubní záznamové zařízení kam je možné uložit až 2 x 16 Gb dat.

Pozorovací přístroje

EFI (Electrical Field Instrument)

Zařízení měří hustotu iontů v iontovém oblaku, rychlost jeho pohybu a elektrické pole, které ionty vytvářejí. Tyto údaje jsou sestavené z dat tří přístrojů. Všechny tři jsou umístěny vedle sebe v samostatné skřínce spolu s datovou jednotkou.

Měření je prováděno s časovým rozlišením 0,1 sec, což odpovídá prostorovému rozlišením kolem 1 km. Rozsah měřených hodnot od -200 mV/m do +200 mV/m umožňuje registrovat rychlost proudění až do velikosti 4 km/s. Komponenty vektoru



Obr. 24 Zařízení EFI (nahore dva ortogonální senzory)

elektrického pole by měly být určeny s náhodnou chybou menší než 3 mV/m (2σ) integrované ve frekvencích nad 0,35 Hz. Stabilita výstupních hodnot by během měsíce neměla být horší než 1 mV/ (2σ). Přístroj EFI je umístěn ve výřezu předního panelu družice. Elektronika přístroje se nachází uvnitř těla satelitu.

| Parametr | Hodnota |
|-------------------------|---------------------|
| Hmotnost | 6,5 kg |
| Energie | 5 W |
| Rozměry | 15,4 x 32 x 25,1 cm |
| Rozměry desky se vstupy | 28 x 40 cm |
| Rychlost přenosu dat | 1,8 kb/s |

Tab. 12 Parametry přístroje EFI

Následuje přehled subsystémů EFI:

SII (Suprathermal Ion Imager)

Hlavním úkolem je měřit složku rychlosti iontů orientovanou kolmo k vektoru rychlosti družice. Za čtvercovou aperturou je řada sítěk, kterými prochází proud iontů pohybujících se nadzvukovou rychlostí. Úhel, pod kterým iont do přístroje vletí je výsledek složení vektoru směru letu družice a vektoru rychlosti iontu. Připojená elektronika, produkuje signály úměrné k logaritmu generovaných proudů zachycených iontů, z nichž lze určit úhel dopadu těchto iontů.

Tento přístroj rovněž měří celkovou rychlost iontů. Tato rychlost je určena rychlostí, s jakou se družice pohybuje po své dráze. To odpovídá pohybové energii iontů o velikosti zhruba třetiny elektrovoltu na jednotku atomické hmotnosti. Použitím zpomalovacích sítí za vstupní aperturou je energie iontů uvnitř přístroje postupně snižována. Z naměřeného proudu iontů uvnitř přístroje pro různou hodnotu brzdícího potenciálu je možné vypočítat, jakou mají ionty teplotu, rychlost a složení.

LP (Langmuir Probe)

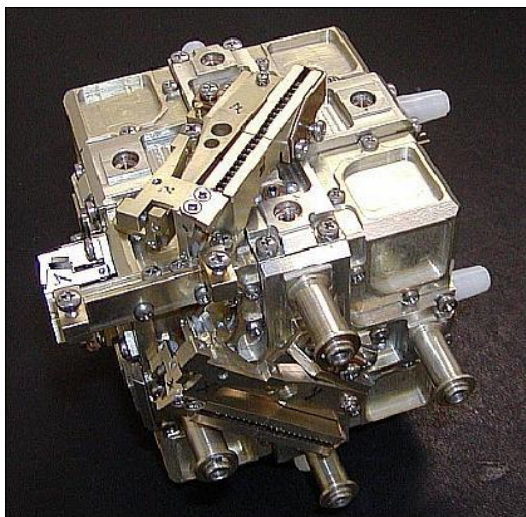
Vedle toho, že měří hustotu elektronů v okolí družice a jejich teplotu, je úkolem této fyzikální sondy hlavně měření elektrického potenciálu družice. PLP je vodič, na němž lze sledovat potenciál celé družice vůči zemi. Pokud vykazuje proud iontů sférickou symetrii, jsou hodnoty jejich teploty a hustoty určeny z Langmuirova vzorce. Potenciál družice může být rovněž určen pozorováním proudu a ze známé chyby sondy.

ACC (Accelerometer for observing non-gravitational forces)

Akcelerometr měří negravitační zrychlení pohybu družice, zapříčiněné například odporem prostředím, mechanickým tlakem slunečního větru nebo zářením od Země. Pro tento účel byl vybrán mikroakcelerometr MAC české konstrukce.

MAC je integrovaná zařízení obsahující čidlo zrychlení a elektronické součásti. Základem přístroje je krychlové hmotné čidlo, jehož posuny jsou registrovány elektrostatickým systémem. Tato krychle je umístěna uvnitř přesné krychlové komůrky, na jejíchž stěnách jsou napařením vytvořeny dvojice elektrod. Napětí na elektrodách je řízeno lineárním servosystémem, který reguluje polohu krychle uvnitř dutiny tak, aby se co nejméně v každém okamžiku odchylovala od středu dutiny.

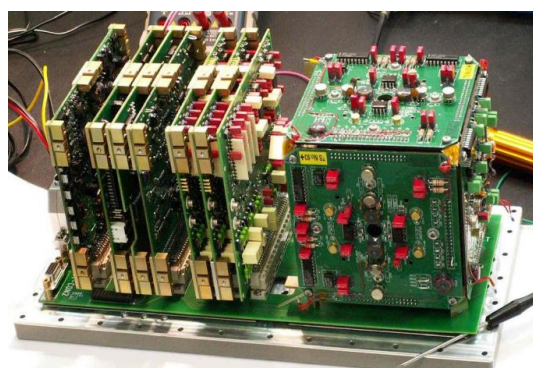
Protože krychle má šest stupňů volnosti je použito 6 regulačních smyček pro určení pozice a natočení krychle a dalších 6 smyček pro určení zrychlení v každé složce. Z důvodů dostatečné teplotní a časové stálosti mechanických parametrů těchto základních parametrů čidla jsou hranoly, ze kterých je sestavena dutina a stejně tak i měrná setrvačná krychle vyrobeny ze speciálního křemenného skla s velmi malým koeficientem teplotní roztažnosti. Na palubě družice jsou tři mikroakcelerometry MAC umístěny 15 mm od jejího těžiště, aby se při otáčení družice maximálně potlačil vliv odstředivých sil na jeho měření.



Obr. 25 MAC – mechanická část přístroje

| Parametr | Hodnota (rozsah) |
|--|--|
| Hmotnost | 5,4 kg |
| Hmotnost včetně systému pro kontrolu teploty | 6,06 kg |
| Průměrná spotřeba energie | 3,8 W |
| Rozměry | 360 x 177 x 204 mm |
| Polohový detektor z taveného křemene | ~ (30 x 30 x 30) mm |
| Rozsah lineárního zrychlení | $\pm 10^{-4} \text{ ms}^{-2}$ |
| Rozsah měření úhlového zrychlení | $\pm 9,6 \cdot 10^{-3} \text{ rad/s}^2$ |
| Rozlišení lineárního zrychlení | $< 3 \cdot 10^{-9} \text{ ms}^{-2}$ |
| Frekvence měření | Od 10^{-4} do 10^{-1} Hz |
| Celková chyba měření | $< 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}^2$ |
| Teplotní stabilita | $3 \cdot 10^{-8} \text{ ms}^{-2}/\text{K}$ (okamžitá) $1 \cdot 10^{-8} \text{ ms}^{-2}/\text{K}$ (dlouhodobá) |
| Rychlost datového přenosu | 0,278 kb/s |

Tab. 13 Parametry přístroje ACC



Obr. 26 MAC – elektronika (vlevo), akcelerometr (vpravo)

LRR (Laser Retroreflektor)

Zařízení funguje na principu laserového dálkoměru, který měří čas od vyslání laserového signálu pozemní stanicí k jeho zpětnému přijetí po odrazu od odražeče na palubě družice. Po korekci na vliv atmosféry lze vypočítat přesnou vzdálenost mezi stanicí a družicí. Přístroj směřuje k nadiru s přesností $\pm 5^\circ$.



Obr. 27 Zařízení LRR

Opakovaným vysláním laserového paprsku je možné takto určit polohu na několika místech a tak i celý úsek dráhy, po které se družice pohybuje. SLR data mohou být využita jako externí kalibrační zdroj pro palubní systém polohy družice.

Zásadní nevýhodou SLR je závislost na počasí (pro přenos laserového signálu je nutná jasná obloha) a nízké pokrytí vzhledem k malému počtu pozemních SLR stanic.

Systém je tvořen čtyřmi koutovými odražeči zasazenými do kompaktní hliníkové struktury pyramidového tvaru. Celé zařízení váží 400 g.

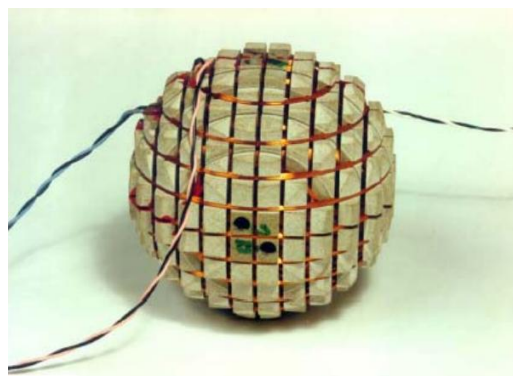
VFM (Vector Field Magnetometer)

VFM je hlavním vědeckým přístrojem družice Swarm. Poskytuje ultra lineární a nízkošumová měření vektorových komponent magnetického pole Země. Měření intenzity magnetického pole jsou prováděna v rozsahu $\pm 65,5 \mu\text{T}$ s náhodnou chybou méně než $0,5 \text{ nT}$ s frekvencí odečtu dat 50 Hz. Magnetometr je gyroindukčního typu jehož hlavní část tvoří kompaktní kulová cívka CSC (Compact Spherical Coil) propojená s datovou jednotkou DPU (Data Processing Unit). Jeho funkce využívá vysokou symetrii mezi kladnou a zápornou magnetickou indukci ferromagnetického jádra cívky. Průběžné sledování rozdílů ve velikosti proudu potřebného k dosažení plné magnetické

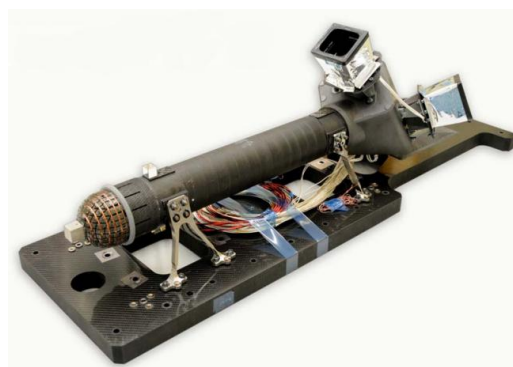
indukce u obou polarit umožňuje určovat odchylky od nulového vnějšího magnetického pole se šumem pouze několik desítek pT. K získání informace o směru vektoru vnějšího magnetického pole musí být známa poloha osy cívky s vysokou přesností. Proto je magnetometr VFM upevněn společně s detektorem polohy hvězd na optické lavici. Stejný model magnetometru bude umístěn také na palubě družice Proba-2.

| Parametry VFM | | |
|------------------|---------------|----------------|
| | Elektronika | Senzor |
| Hmotnost | 750 g | 280 g |
| Rozměry | 100x100x60 mm | 82 mm (průměr) |
| Spotřeba energie | ~ 1 W | ~ 250 mW |

Tab. 14 Parametry magnetometru VFM



Obr. 28 Kulová cívka CSC magnetometru VFM



Obr. 29 Instalace VFM společně se třemi instalace VFM se třemi detektory hvězd

ASM (Absolute Scalar Magnetometer)

Hlavním cílem přístroje ASM je poskytnout data pro kalibraci přístroje VFM a zajistit tak potřebnou přesnost jeho měření po celou několikaletou dobu jeho provozu. Magnetometer ASM proto musí měřit magnetické pole s chybou (2σ) menší než 0,3 nT při rozlišení lepším než 0,1 nT a to v celém rozmezí hodnot 15000-65000 nT.

Konstrukce ASM je postavena na principu magnetické rezonance v atomech helia. Pokud je plyn vystaven působení vnějšího magnetického pole, je energetická hladina excitovaného atomu rozštěpena do několika úrovní. Podle Zeemanova efektu jejich energetické rozdíly závisí na velikosti okolního magnetického pole. V případě atomů helia způsobí zemské magnetické pole rozdělení do tří Zeemanových hladin. Pro zjištění rozdílu mezi energetickými hladinami se radiovým zářením vyvolá magnetická rezonance mezi atomy v různých energetických stavech a následné přechody atomů mezi nimi. Tyto přechody jsou provázány zářením na konkrétních vlnových délkách, které se měří a ze získaného signálu lze stanovit velikost vnějšího magnetického pole.

Rezonanční signál je ale velmi slabý vzhledem k téměř stejnému množství atomů na Zeemanových hladinách za tepelných rovnovážných podmínek. Kvůli zvýšení rezonančního signálu jsou atomy na jedné Zeemanově úrovni selektivně excitovány do vyššího nestabilního energetického stavu pomocí laditelného lineárně polarizovaného laseru (1083 nm). Tím se počty atomů na různých hladinách změni a rezonanční signál je zesílen o několik řádů.

| Parametr | Hodnota (rozsah) |
|----------------------|---------------------------|
| Hmotnost | 3 kg |
| Spotřeba energie | 5,3 W |
| Rychlost přenosu dat | 0,35 MB/den |
| Dynamický rozsah | 15000 – 65000 nT |
| Absolutní přesnost | < 0,3 nT (2σ) |
| Všesměrová odezva | < 0,1 nT úhlová závislost |

Tab. 15 Parametry ASM

Dostupnost dat

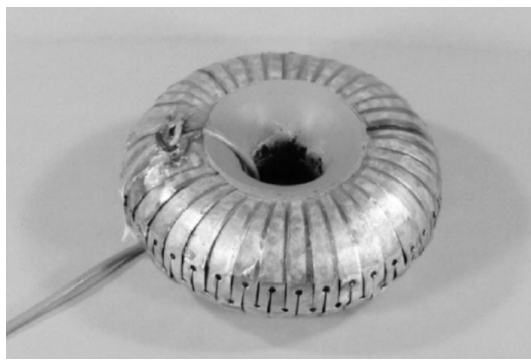
Jako u všech ostatních družic programu Earth Explorer budou i data z družice Swarm přístupná širokému okruhu uživatelů v souladu datovou politikou ESA.

| Datová úroveň | Popis |
|---------------|---|
| Úroveň 0 | Nezpracovaná přístrojová data |
| Úroveň 1a | Nekalibrované časové série |
| Úroveň 1b | Kalibrované časové série dat z jednotlivých přístrojů |
| Úroveň 2 | Odvozené datové produkty: Modely, magnetického pole Hustota atmosféry a rychlost větru Kalibrované údaje z mikroacelerometru |

Tab. 16 Úrovně dat z družice SWARM



Obr. 30 Dva senzory magnetometru ASM



Obr. 31 Toroidní senzorová cívka přístroje ASM

Projekty řešené v ČR

Data, která budou výsledkem pozorování družice Swarm s týkají výzkumných oblastí, kterými se zabývají ústavy Akademie věd ČR, především Geofyzikální ústav, Ústav fyziky atmosféry a Astronomický ústav. Příbuzná témata se rovněž zkoumají na Matematicko-fyzikální fakultě UK. Možné aspekty konstrukčního a technologického řešení jednotlivých přístrojů mají návaznost na výzkum a vývoj přístrojové techniky na fakultách Českého vysokého učení technického nebo Ústavu přístrojové techniky Akademie věd ČR.

V České republice jsou nejčastěji řešeny projekty, které se zabývají vlivem slunečního větru, kosmického počasí a extraterestrickými vlivy na geomagnetickou aktivitu. Projektu, ve kterém byla studována úzká souvislost mezi změnami slunečního větru a geomagnetickou aktivitou se účastnily Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Astronomický ústav AV ČR a Ústav fyziky atmosféry AV ČR. Sluneční vítr je nositelem hmoty a energie, která se dostává do magnetosféry, odkud je během magnetických bouří uvolňována. Změny geomagnetického pole jsou v těchto případech velmi náhlé a zvýšené energetické toky, ke kterým dochází, mohou negativně ovlivnit energetické či komunikační systémy. Proto je důležité umět tyto události předpovídat a zamezit tak nepříznivým účinkům tohoto jevu.

Právě zlepšováním metodik pro předvídaní geomagnetické aktivity se v rámci společného projektu zabývaly Geofyzikální a Astronomický ústavu spolu s Ústavem fyziky atmosféry.

Geofyzikální ústav AV ČR se samostatně rovněž zabývá krátko a dlouhodobými variacemi geomagnetického pole a denními předpověďmi geomagnetické aktivity ve středních geomagnetických šířkách.

Mise Swarm se rovněž zaměřuje na zkoumání elektrické vodivosti v zemském plášti. Toto téma bylo řešeno například na matematicko-fyzikální fakultě Karlovy Univerzity v Praze v projektu s názvem Elektrická vodivost spodního pláště, ve kterém byly parametry geomagnetického pole zajišťovány z měření pozemních stanic i z družicových snímků. V samostatném projektu bylo na této fakultě řešeno přímo využití satelitních dat ke studiu struktury elektrické vodivosti v litosféře a zemském plášti. V tomto projektu byla využívána data ze starších nízko letících družic CHAMP a Oersted.

V českém prostředí byla rovněž řešena otázka elektrické vodivosti v zemském nitru během spolupráce Geofyzikálního ústavu AV ČR a Matematicko-fyzikální fakulty UK v Praze. Cílem projektu je vytvoření modelu vnitřní stavby Země. Jednou zkoumanou oblastí byla právě elektrická vodivost, jejíž znalost osvětluje látkové složení a termodynamické podmínky v zemském tělese.

ADM-AEOLUS

ATMOSPHERIC DYNAMICS MISSION

Účel

Start této družice je plánován na začátek roku 2014. Celková cena této mise je odhadována na 393,8 mil. euro. ADM-Aeolus bude první družice Země zaměřená speciálně na měření výškových profilů pohybu vzduchu v globálním měřítku. Získají se tak unikátní údaje o směru a rychlosti větru v různých výškových hladinách, které umožní větší přesnost numerické předpovědi počasí a rozšíří znalosti o dynamice atmosféry potřebné pro výzkum změn klimatu a jeho modelování. I po několika desetiletích pozorování Země z vesmíru stále chybí trojrozměrné pozorování větrného pole. V současné době tuto informaci získáváme z pozemních pozorování pouze nepřímo. Přímé měření těchto údajů lze provádět pouze z oběžné dráhy.

Náš život je ovlivňován počasím v mnoha směrech. Jeho správné předpovídání má proto pro společnost velký význam. Včasná předpověď katastrofických událostí umožňuje záchranu životů a majetku. Ačkoliv předpověď počasí v posledních letech velmi pokročila, je její další zlepšování omezené právě neznalostí dostatečně podrobných údajů o pohybech vzduchu v různých výškách nad celou zeměkoulí. Družice ADM-Aeolus si klade za cíl dokázat, že požadovaná data je možné získávat z družicových měření.

V současnosti mohou být údaje o rozložení větrů za určitých podmínek odvozeny z družicových globálních měření teploty. K odvození se používají vztahy známé jako geostropická rovnováha. Tyto vztahy však nejdou použít pro velká horizontální měřítka (pod 3000 km) nebo malá vertikální měřítka (v řádu 10 km). Vztahy rovněž nevyhovují v tropických oblastech, kde je Coriolisova síla slabá.

Parametry větru lze rovněž odhadnout analýzou mraků a vodních par na obrazových scénách. Je ale obtížné přiřadit pozorovaným mrakům správnou výšku, rovněž se může chybně za vítr považovat jiný fyzikální proces, například kondenzace či výpar. Rovněž data pořízená rozptyloměrem na družici mohou být využita pro odvození informace o větru, i když tento postup je omezen pouze k měření



Obr. 32 Družice ADM-Aeolus

povrchových větrů nad oceánem. Přes tyto možnosti existují stále rozsáhlé oblasti, kde parametry větru nejsou pravidelně měřeny, což je jedním z velkých nedostatků globálních pozorovacích systémů.

Cena mise za období 2003 – 2014 by měla dosahovat 374,3 milionů euro.

Družice bude mít na palubě jen jedno hlavní a objemné zařízení – dopplerovský laser s názvem ALADIN, který bude měřit větry v nejspodnějších 30 km atmosféry. Zařízení bude vysílat laserové pulsy směrem k atmosféře a měřit zpětně odraženou část jeho energie po rozptylu na plynných i pevných částicích atmosféry pohybujících se v různých výškách. Protože k rozptylu záření dochází na částicích pohybujících se vůči přijímači, bude mít přijaté záření odlišnou frekvenci. Zjištěním rozdílu mezi oběma frekvencemi způsobeného Dopplerových jevem bude možné určit i velikost a směr rychlosti pohybujících se částic vzduchu.

Výsledkem zpracování signálů zpětného rozptylu budou profily větru v zorném poli buď v hladinách nad hustými mraky, při jasném počasí i v nízkých výškách u zemského povrchu. Informace o větru lze získat touto metodou i v řídké oblačnosti. Tvar odraženého signálu je různý pro aerosoly či pevné oblačné částice (Mieův rozptyl) než pro řádově menší molekuly plynů (Rayleighův rozptyl). Takže je možné touto metodou i zjistit rozložení různých částic v atmosféře Země.

Tříleté fungování družice Aeolus by mělo připravit cestu pro budoucí operační meteorologické satelity, na měření zemských větrných polí.

Popis družice

| Dodavatel | Součást družice |
|-------------------------------|-------------------------------|
| EADS Astrium, Británie | Hlavní dodavatel |
| EADS Astrium, Německo | Družice |
| EADS Astrium, Francie | ALADIN |
| Galileo Avionica | Laserový systém |
| CESI, Itálie | Hlavní oscilátor laseru |
| Quantel, Francie | Zesilovače laseru |
| Quantel Laser Diodes, Francie | Laserové diody |
| TESAT, Německo | Referenční laser |
| Kaiser-Threde, Německo | Optický systém |
| Contraves, Švýcarsko | Přijímač interferometru |
| e2v, Británie | CCD v optickém systému |
| SIRA, Británie | Jednotka zpracování signálu |
| Patria, Finsko | Elektronika optického systému |

Tab. 17 Dodavatelé mise ADM-Aeolus

Konstrukce a systémy

Družice bude obíhat Zemi po slunečně synchronní dráze s inklinací 97° ve výšce 405 km. Tělo družice má výšku 4,6 m, délku 1,9 m a šířku 2,0 m. Celková hmotnost je přibližně 1200 kg včetně 280 kg pohonné hmoty a 450 kg užitečného zatížení. Elektrickou energii zajišťují GaAs solární panely o plánovaném výkonu 2300 W na konci životnosti. Úložištěm energie je 84 Ah Li-ion baterie. To postačí na pohon všech přístrojů na družici, které mají průměrnou celkovou spotřebu 1400 W. Telemetrické povely pro řízení družice budou

přenášeny na frekvenci 2030 MHz (pásmo S) rychlostí 2 kb/s. Pro přenos telemetrických dat do přijímací stanice v Kiruně rychlostí 8 kb/s je použita frekvence 2205 MHz. Naměřená data z laseru ALADIN a dalších přístrojů jsou přijímána stanicí v norském Svalbardu. Data jsou přenášena na frekvenci 8040 MHz (pásmo X) rychlostí 5 Mb/s.

Pozemní infrastrukturu zajišťující činnost družice tvoří řídicí středisko ESOC v Darmstadtu (Německo), centrum zpracování dat ESRIN ve Frascati (Itálie) a Evropské středisko pro střednědobou předpověď počasí (ECMWF) v Reading (Velká Británie). Zpracování dat proběhne do pěti minut od přijetí dat pozemní stanicí. Data budou šířena do hlavních center předpovědi počasí v reálném čase.

Určování polohy družice na oběžné dráze probíhá pomocí GPS přijímače, který pracuje s přesností na 10 m. Dalším přístrojem je autonomní detektor polohy hvězd, který orientaci družice určí s přesností 13 μ rad. Zpřesnit tento údaj pomáhá inerciální měřicí jednotka, tvořená čtyřmi setrvačníky doplněná magnetickými torzními tyčemi k udržování hrubé orientace.

K úpravě oběžné dráhy slouží sestava čtyř malých iontových motorků s tahem 5N, které pracují vždy v páru kvůli snížení spotřeby paliva.

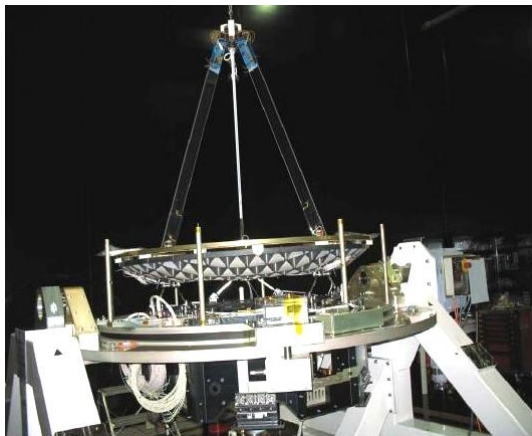
Pro případ potřeby je na palubě ještě detektor směru na Slunce a směru k Zemi, jednotka měřící rychlost rotace družice a magnetometr, který zaznamenává lokální magnetické pole.

Pozorovací přístroje

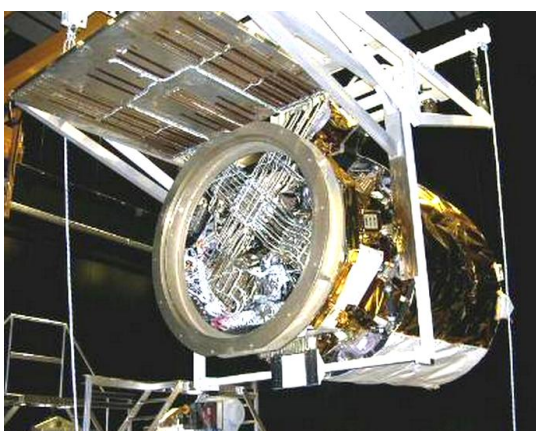
ALADIN (Atmospheric Laser Doppler Instrument)

Hlavním přístrojem na družici ADM-Aeolus je lidar ALADIN, který pracuje na vlnové délce 355 nm ultrafialového světla. Toto pásmo bylo vybráno proto, že rozptyl ultrafialového světla na molekulách vzduchu je mimořádně silný. Další výhodou je to, že signál těchto vlnových délek je generován pevnolátkovými lasery, které v současné době patří k nejnepělejší. V případě ALADINU je hlavním prvkem laseru neodynam dopovaný yttrito-hlinitý granát, který pod vlivem elektrického proudu z laserové diody produkuje infračervené záření s vlnovou délkou 1064 nm.

Celé zařízení je ve skutečnosti komplexní systém zdrojů záření a jeho zesilovačů, které jsou všechny usazeny v těsné blízkosti. Důležité jsou dva nelineární krystalové zesilovače, které postupně



Obr. 34 Teleskop ALADIN



Obr. 34 Optický modul teleskopu ALADIN

zvýší frekvenci původního záření na trojnásobek na požadovanou hodnotu vlnové délky 355 nm. Ty doplňuje oscilátor, který zajišťuje vysílání pulsů zářivé energie ve frekvenci 100 Hz. Energie vyzářená jedním pulsem je 120 mJ a laser k tomu potřebuje energetický příkon 510 W.

ALADINu dominuje mohutný teleskop o průměru 1,5 m, který zachycuje rozptýlené laserové záření z atmosféry a soustřeďuje jej na detektor. Teleskop je vyroben z lehkého keramického materiálu, takže i při své velikosti váží pouhých 55 kg. K detektoru jsou připojeny dva optické analyzátory k měření Dopplerova posuvu způsobeného rozptylem na molekulách (Rayleighův rozptyl) a rozptylem na aerosolech a vodních kapkách (Mieův rozptyl). Výstupní hodnoty zářivé energie z analyzátorů jsou fotodetektory transformovány do elektrických signálů, které jsou po digitalizaci uloženy do palubního záznamového zařízení, dokud nejsou přeneseny k pozemnímu zpracování.

Větrné profily s vertikálním rozlišením od 250 m do 2 km budou získávány z měření pořizovaných při

úhlu pozorování 35 stupňů od normály orientovaném kolmo ke směru letu a směrem od Slunce. Výsledná hodnota je získána z průměru 700 měření pořizovaných na úseku 50 km. Poté je prodleva 21 sekund, během nichž družice urazí zhruba 200 km a následuje další série 700 měření na 50 km úseku. Data jsou předávána do pozemní stanice ve Svalbardu vždy jednou za oblet (90 minut). Za den tak bude získáno asi 3200 větrných profilů, což je třikrát více než z radiové sondáže.

| Parametr | Hodnota |
|--|--------------|
| Vysílač | |
| Vlnová délka | 355 nm |
| Energie pulsu | 150 mJ |
| Frekvence pulsu | 100 Hz |
| Šířka linie | 30 MHz |
| Pracovní cyklus | 25% |
| Přijímač | |
| Šířka Fizeauvy čáry (Mie) | 30 MHz |
| Šířka dvojitě Fabry-Perotovy čáry (Rayleigh), rozestup | 2 GHz, 5 GHz |
| Optická účinnost (Mie/Rayleigh) | 3.1% / 4.6% |
| Kvantová účinnost (Mie/Rayleigh) | 75% |

Tab. 18 Parametry laseru ALADIN

Fáze realizace

Tepelné a mechanické zkoušky optických systémů vysílací i přijímací části zařízení byla dokončena v roce 2011. Ukázala se při nich potřeba zesílit mechanické upevnění optiky v obou částech. Vývoj nových mechanických prvků odsunul dokončení testů na březen 2012 a v květnu 2012 bude dokončena kompletní sestavení celého zařízení ALADIN.

Výsledky mechanických testů také ukázaly, že vlastní frekvence struktury laserového vysílače jsou harmonicky provázány s frekvencemi vibrací vznikajících při práci setrvačnickových disků gyroskopu. I když setrvačnickové disky jsou umístěny

na horní desce těla družice, mohla by velikost vibrací přenesených konstrukcí k optice laseru nad hranicí přípustnou pro zachování požadované přesnosti měření a je proto třeba zlepšit tlumící charakteristiku konstrukce. Potíže také způsobily praskliny ve spoji přivádějící proud do diod zesilovače laserového paprsku.

Segment pro zajištění letových operací je řízen ze střediska ESO prostřednictvím pozemní stanice v Kiruně. Komunikace s palubním řídicím systémem probíhá v pásmu S. Segment pro vědecká data obsahuje několik institucí, které provedou zpracování přijatých naměřených dat na určité úrovni pro další uživatele. Primární stanicí pro příjem vědeckých dat v pásmu X je stanice Svalbard. Data na úrovni 1B a 2A zpracovává zpracovatelské pracoviště v Tromso. Další produkty na úrovni 2 připravuje linka ECMWF v Readingu v Anglii. Archivace veškerých dat probíhá v Německém středisku pro letectví a kosmonautiku (DLR).

Dostupnost dat

Vzhledem k praktické potřebě těchto pozorování je ADM zařazen jako součást globálního pozorovacího systému Světové meteorologické organizace WMO. Data budou poskytována národním hydrometeorologickým službám – členům WMO – téměř v reálném čase.

Data budou rovněž přístupná širokému okruhu uživatelů v souladu s politikou ESA otevřeného a volného přístupu k datům z jejich družic. Data úrovně 1 obsahují profily větru a budou připravena ve zpracovatelském středisku vědeckých dat během 3 hodin po pořízení dat. Tyto údaje budou k dispozici meteorologické službě jako vstup do numerických modelů předpovědi počasí. Ostatní data úrovně 2 budou připravovat vědecká atmosférická centra.

| Datová úroveň | Popis |
|---------------|--|
| Úroveň 1b | Předběžné rozložení rychlostí, georeferencované |
| Úroveň 2a | Optické vlastnosti aerosolů a vrstev oblačnosti, výška a rozsah oblaků |
| Úroveň 2b | Větrné profily s korekcí na tlak a teplotu |
| Úroveň 2c | Vertikální profily vektorů větrného pole |

Tab. 19 Úrovně dat z družice ADM-Aeolus

Projekty řešené v ČR

Využití těchto dat je především v oblasti předpovědi počasí, konkrétně zpřesnění výpočtů prováděných numerickými modely předpovědi počasí. V České republice je hlavním provozovatelem tohoto modelu Český hydrometeorologický ústav. Modelováním meteorologické situace se zabývá také Ústav fyziky atmosféry AV ČR a katedra meteorologie Matematicko-fyzikální fakulty UK.

V nedávné době byly na našem území řešeny projekty zabývající se modelováním vertikálního profilu větrů, analýzou extrémní rychlosti větru či optimalizací funkcí větrolamů a jejich využití v komplexních pozemkových úpravách.

V prvním ze zmíněných projektů byla využita data sodarů REMTECH PA1 a PA2, což jsou zařízení schopná měřit trojrozměrné pole větru a termickou a turbulentní strukturu atmosféry pomocí zpracování rozptýleného echa vyslaného akustického pulsu. Tento projekt řešil Ústav fyziky atmosféry AV ČR stejně jako druhý projekt, na kterém spolupracoval s ČHMÚ. V tomto projektu byla provedena analýza historických řad měření rychlosti a nárazu větru na meteorologických stanicích. V rámci prací na projektu byly také testovány alternativní postupy možnosti odvození charakteristik extrémního větru z krátkých řad měření.

Pro poslední zmiňovaný projekt byla využita měření z klimatologických stanic pro analýzy pole větru a měření vertikálních profilů větru pro stanovení vlivu větrolamů na horizontální a vertikální stratifikaci větru.

V budoucnu by se jistě dalo uvažovat o využití dat družice ADM-Aeolus v podobných studiích. Jedinou překážkou je prostorové rozlišení 50 km, které činí tato data nevhodná pro lokální analýzy a naopak je předurčuje pro aplikace regionálních či globálních měřítek.

EARTHCARE

EARTH CLOUDS, AEROSOLS AND RADIATION EXPLORER

Účel

Start družice je plánován na listopad 2015. Jejím hlavním posláním je zlepšit znalost fungování klimatického systému naší planety. Celková cena této mise je odhadována na 594,8 mil. euro.

Záření má na funkci klimatického systému zásadní vliv – přicházející sluneční záření mu energii dodává a termální infračervené záření vyzařované Zemí zase určitou část energie odnáší do vesmíru. Část zářivé energie, která je planetou pohlcena je zdrojem pro pohyb vzduchových vrstev stejně jako proudů v oceánech a pohání planetární koloběh vody a dalších důležitých prvků a sloučenin, a tak vytváří aktuální klima. Zářivá energie je pohlcována převážně atmosférou a její velikost je určena složením atmosféry, obsahem vody a pevných částí – aerosolů. V současné době není k dispozici dostatek globálních údajů o rozložení aerosolů a roli, kterou ve vzniku různých druhů oblačnosti hrají a jak spolu s oblaky ovlivňují záření. Hodnoty těchto veličin představují hlavní příčinu nedokonalosti dnešních klimatických modelů. Úkolem družice je tento nedostatek podstatně redukovat. Bude zjišťovat rozsah vzájemného působení mezi oblačností, aerosoly a zářením, aby se tyto vztahy mohly správným způsobem zahrnout do klimatických a numerických modelů předpovědi počasí.

Jmenovitě půjde o tyto vědecké cíle:

- Zjištění vertikálního rozložení ve výskytu přirozených a antropogenních aerosolů v globálním měřítku, jejich radiačních vlastností a způsobů vzájemného působení s oblaky.
- Zjištění vertikálního rozložení kapalné vody a ledu v globálním měřítku, jejich přesunu oblačností a jejich vlivu na záření.
- Určení intenzity vyzařování zářivých toků na horní hladině atmosféry, které jsou výsledkem vzájemného působení s oblačností a aerosoly s přesností asi 10 W/m² pro plochu 10 km².



Obr. 35 Družice EARTHCARE

Pro naplnění těchto cílů budou v prostorovém rozložení měřeny fyzikální vlastnosti a parametry aerosolů a oblačnosti a záření.

Takovými parametry jsou hranice jednotlivých vrstev oblačnosti a jejich překryv, obsah vody v pevném a tekutém skupenství, velikost částic a kapek, rychlost jejich vertikálního posunu, úhrny srážek a intenzita záření odcházejícího od Země.

Měření budou prováděna přístroji představujícími špičkovou aparaturu v lidarových a radarových technologiích. Celá mise je připravována a prováděna ve spolupráci ESA a Japonské kosmické agentury JAXA, která se podílí vývojem a provozem radaru. Ten bude spolu s výkonným atmosférickým lidarem představovat dvojici aktivních přístrojů. Doplňovat je budou dva pasivní přístroje: multispektrální skener a širokopásmový radiometr.

Družice bude největší ze všech dosavadních družic řady Earth Explorer a rovněž bude vybavena novými náročnými vědeckými přístroji. Proto je i celková cena za vývoj družice vyšší než u ostatních družic Earth Explorer a je očekávána ve výši 584,4 milionů euro.

Popis družice

| Dodavatel | Součást družice |
|--|--|
| Astrium GmbH, Německo | Hlavní dodavatel |
| Astrium Ltd, Británie | Tělo a systémy družice |
| ABSL (Británie) | Palubní akumulátory |
| Astrium GmbH, Německo a CRISA, Španělsko | Jednotka rozvodu elektrické energie PCDU (Power Control and Distribution Unit) |
| Astrium SAS, Francie | Vývoj ATLID |
| SELEX Galileo, Itálie | Laser pro ATLID EPC |
| JAXA, Japonsko ve spolupráci s Národním ústavem informační a telekomunikační techniky (NICT), Japonsko | CPR |
| Communications & Power Industries (CPI), Kanada | EIK |
| SSTL, Británie | MSI |
| TNO, Nizozemsko | Optické hlavice pro solární kanály (MSI) |
| SEA (Systems Engineering & Assessment Ltd.), Británie | BBR |

Tab. 20 Dodavatelé mise EARTHCARE

Konstrukce a systémy

Družice bude obíhat Zemi na slunečně-synchronní oběžné dráze ve výšce 393 km se sklonem 97,05° k rovníku. Tato relativně nízká výška byla vybrána kvůli menším nárokům na výkony aktivních zařízení, avšak zase dost vysoko aby zásoby paliva vystačily pro udržení družice na dráze po dobu plánovaných tří let. Družice bude procházet sestupným uzlem dráhy ve 2 hodiny odpoledne místního času,

Konstrukci družice EarthCARE tvoří unifikovaná platforma AstroBus-L, která byla počátkem nového století použita už pro řadu dalších družic pracujících na různých nízkých oběžných drahách kolem Země.

Základním koncepčním rysem konstrukce je její modulová hierarchická architektura, která umožňuje snadné uzpůsobení požadavkům konkrétní mise. Při jejím návrhu se uplatnil moderní styl, kdy celý systém má vlastní vysokou schopnost zhodnotit zda některá část nepracuje správně, pojmenovat kde se závada nachází a ukázat možné nápravné řešení, podle standardu FDIR (Failure Detection, Isolation and Recovery). Hlavním konstrukčním materiálem je polymer zesílený uhlíkovými vlákny, který má stabilní mechanické i teplotní vlastnosti.

Celková velikost těla družice bez vyklopených slunečních panelů je 2,5 x 3,2 x 4,0 m. Hmotnost družice při startu včetně 313 kg hydrazinu pro korekční motorky je 2250 kg.

Subsystém pro kontrolu polohy se skládá ze senzorů (detektory polohy hvězd, sluneční senzory, magnetometry, gyroskopy a GNSS přijímače) a regulátorů (setrvačníky a motorky).

Veškeré toto vybavení již bylo použito v dřívějších misích s podobnými požadavky.

Energii pro práci družice dodávají sluneční baterie, které dobíjejí akumulátory. Panel slunečních baterií je sestaven z pěti dílů a má celkovou plochu 21,5 m². K tělu družice je připevněn natáčecím mechanismem, který dovoluje udržovat optimální orientaci ke Slunci. Po roztažení panelu na dráze dosáhne celková délka družice 19 m. Maximální příkon všech galium-arsenových článků v panelu je 6 kW. Nabíjecí baterie jsou sestaveny z lithio-iontových článků Sony 18650HC. Jsou sestaveny do tří modulů po osmi člancích, z nichž má každý hmotnost 4 kg a produkuje maximální napětí 4,2 V. Celková kapacita akumulátorů je 324 Ah a mohou dodávat energii až 9,4 kWh. Celková hmotnost baterií činí 96 kg.

Systém zásobování elektrickou energií EPS (Electrical Power Subsystem) je založen na konceptu neregulované sběrnice 28 V s baterií přímo napojenou na hlavní rozvod. Nominální napětí na sběrnici je 25 V s možnými výchylkami okamžité spotřeby v rozmezí 20 V až 34 V. Nominální odběr všech instrumentů družice se pohybuje okolo 1700 W při normálním režimu. Jednotka pro řízení a rozvod napájení PCDU (Power Control and Distribution Unit) má rozměry 616 x 350 x 233 mm (délka x šířka x výška) a její celková hmotnost činí 37 kg. Obsahuje pět nezávislých regulátorů nabíjecího napětí typu MMPT (Maximum Power Point Tracking). Každý reguluje proud přicházejícího jednoho dílu slunečního panelu. Tím je dosažena vyšší účinnost vzhledem k rozdílnému

regulujícím působení podle aktuální teploty každé části.

Řídící signály a kontrolní data o práci systémů a přístrojů družice jsou přenášena S-pásmovým transpodérem napojeným na nízkoziskovou anténu rychlostí 64 kb/s na družici a 128 kb/s na pozemní stanici. Naměřená data z přístrojů se ukládají na palubní disk s kapacitou 740 Gb, která odpovídá objemu dat pořízených za 72 hodin. Odtud se do stanice v Kiruně dopraví vysílačem v pásmu X s rychlostí až 150 Mb/s.

Pozorovací přístroje

Přístrojové vybavení družice EarthCARE tvoří dvě aktivní a dvě pasivní zařízení. Aktivním je atmosférický lidar s vysokým spektrálním rozlišením (ATLID), který pracuje na vlnové délce 355 nm, a profilový radar oblačnosti (CPR) operujícího na frekvenci 94 Ghz. Pasivní přístroje jsou multispektrální skener (MSI) a širokopásmový radiometr (BBR). Lidar a radar budou pořizovat vertikální profily parametrů aerosolů a oblačnosti podél dráhy družice. MSI bude pořizovat obrazová data horizontálního pole oblačnosti a aerosolů a poskytne kontextový podklad pro hodnocení údajů aktivních přístrojů. BBR bude zajišťovat data o zářivém toku na vrchní části atmosféry. Měření ATLID, CPR a MSI budou společně použita v modelech pro trojrozměrnou rekonstrukci pole oblačnosti, aerosolů, radiace.

ATLID (Atmospheric Lidar)

Jde o první přístroj tohoto typu použitý na družici. Přístroj bude vysílat laserové pulsy lineárně polarizovaného ultrafialového záření na vlnové délce 355 nm. Použití ultrafialového oboru spektra umožňuje určit zpětně odražené signály ve vertikálním rozlišení až 100 m do výšky 40 km od Země. Záření této vlnové délky je při rozptylu na molekule frekvenčně „roztaženo“ vlivem Brownova pohybu molekuly do širšího intervalu. Výsledný tvar signálu je určen podle Rayleighovy funkce. Na částicích je toto roztažení mnohem menší, v případě kulové částice pak má zpětně rozptýlený signál formu frekvenčně úzké Miovoy funkce. Jeho přijímací část pracuje s velkým spektrálním rozlišením a je schopna tyto dva typy rozptýleného signálu rozlišit. Tím je možné určit, zda zpětně odražené záření je výsledkem interakce s molekulou nebo větší částicí – vodou nebo prachovou částicí. Doplňkovou informaci poskytne i měření polarizace zpětně přijatého záření, protože míra změny

původní lineární polarizace je dána strukturou rozptylující částice.

Tímto způsobem bude možné určit místa výskytu mraků či aerosolů s mírou absorpce záření odpovídající koeficientu útlumu většímu než 0,05 km⁻¹, stanovit optickou tloušťku oblačnosti a aerosolů a identifikovat typ částice.

| Parametr | Hodnota |
|--|---|
| Vertikální rozlišení | 100 m ve výškovém rozsahu 0,5 – 20 km 500 m ve výškovém rozsahu 20 – 30 km |
| Vzorkovací interval (ve směru letu) | 200 m |
| Operační vlnová délka laseru | 354,8 nm |
| Průměr primární zrcadlové apertury teleskopu | 600 mm |
| Energie laserového pulsu, délka pulsu | 30 mJ, 20 ns |
| Pořizování dat | 660 kbit/s |
| Hmotnost zařízení | 479 kg |
| Průměrná spotřeba | 554 W |
| Rozměry | 160 x 148 x 93 cm |

Tab. 21 Parametry lidaru ATLID

Vysílač

Vysílač zahrnuje výkonnou laserovou hlavu s ovládací elektronikou a optiku tvarující paprsek. Aktivním materiálem laseru je obvyklý neodým dopovaný krystal (Nd-YAG laser), jehož základní frekvence je v ladícím stupni laseru ztrojnásobena, takže emitované záření má vlnovou délku 355 nm.

Teleskop

Konstrukce laseru využívá bistatickou architekturu s oddělenou vysílací a přijímací částí. Tento typ architektury byl zvolen proto, že umožňuje plně natlakování emisní cesty. Pro příjem signálu je použit Cassergian teleskop s průměrem objektivu 62 cm a velkým zvětšením. Vzhledem k malému rozptylu ultrafialového záření může mít úzké zorné pole, a tak je minimalizován šum a odrazy slunečního záření. To umožní pořídit data i na denní

straně zeměkoule s téměř stejnou přesností jako na noční straně. Pro potlačení možných zrcadlových odrazů slunečního záření na ledových krystalcích je ještě navíc teleskop skloněn o 3° k normále proti směru letu.

Přijímač

Konstrukce přijímače umožňuje měření spektrálního průběhu odražených signálů, a tak odlišit Mieův a Rayleighův případ rozptylu. V prvním případě je přijímač schopen i určit podíl složek polarizovaného záření v polarizační rovině vysílaného záření i v rovině k ní kolmé. K vymezení úzkého spektrálního intervalu a zamezení vstupu jiných rušivých signálů je použito několik druhů filtrace přicházejícího záření (úzkopásmový interferenční filtr, prostorový filtr a Fabry-Perotův etalon).

Jednotka ACDM (ATLID Control and Data Management)

Tato jednotka soustřeďuje ovládací a řídicí systém celého přístroje. Zajišťuje synchronizaci mezi vysílanými a přijímanými signály, zpracování přijatého záření do určené datové podoby, telemetrické spojení a kontrolu stavu přístroje a jeho funkcí včetně teplotní regulace a fungování v případném záložním režimu.

CPR (Cloud Profiling Radar)

Radarový systém bude měřit vertikální profily oblačnosti. Navíc je prvním zařízením, které z oběžné dráhy bude schopné měřit frekvenční posun zpětně rozptýleného radarového signálu Dopplerova jevu, který bude možné využít k určení vertikálních rychlostí částic v atmosféře, hlavně v oblačnosti. To umožní první měření například rychlosti klesání kapek deště nebo ledových částic. Tato rychlost určuje tvorbu ledových oblaků nebo vertikální pohyby uvnitř konvektivní oblačnosti, na které je navázán přenos tepla, vlhkosti i hybnosti v tropických bouřích. Vysoká citlivost přístroje -35 dBZ kromě toho dovolí určit výskyt kapalné i pevné fáze vody v různých typech oblačnosti. CPR je pulzní dopplerovský radar, který pracuje na frekvenci 94 GHz (vlnová délka 3,1 mm) s energií signálu, která mu umožní proniknout až do spodních vrstev oblačnosti. Nepohyblivá parabolická anténa s průměrem 2,5 m vyzařuje energii ve směru místní normály v úzkém svazku, který na zemském povrchu pokryje plochu s průměrem menším než 1 km. Pulzy o délce 3,3 μs jsou vysílány s frekvencí 6,1 kHz až 7,5 kHz, která zaručuje minimální změnu scény mezi pulzy. Přijaté



Obr. 36 Radarová anténa CPR

signály budou spojeny do skupin a zpracovány tak, že bude dosaženo prostorového rozlišení dat ve vodorovné rovině kolem 700 m a ve svislém směru 400 m. Měření posuvu frekvence umožní stanovit rychlost stoupání či klesání částic oblačnosti do hodnoty 10 m/s. V závislosti na přesné znalosti okamžité polohy družice a fungování elektroniky bude možné dosáhnout přesnosti v měření rychlosti kolem 1 m/s.

| Parametr | Hodnota |
|---------------------------|--|
| Vysílací frekvence | 94,05 GHz ± 3,5 MHz |
| Velikost měřené plochy | ~650 m (příčně k dráze) x 1 km (podél dráhy) |
| Průměr antény | 2,5 m |
| Vertikální rozlišení | 400 m |
| Horizontální rozlišení | 700 m |
| Datový tok | 272 kb/s |
| Průměrná spotřeba energie | 370 W |
| Hmotnost zařízení | 270 kg |

Tab. 22 Parametry radaru CPR

Ve vysílací části je vedle antény důležitý vysokoenergetický vysílač HPT (High Power Transmitter), jehož součástí je klystron EIK (Extended Interaction Klystron) emitující elektromagnetické záření dané frekvence a vysokonapěťový stabilizátor EPC (Electronic Power Conditioner). Dílčí systém obsahuje generátor pulsů a frekvenční konvertor, který zajišťuje pro výstupní signál přesnou hodnotu frekvence. Subsystem pro zpracování přijatého signálu měří intenzitu přijaté energie, převádí ji na logaritmickou hodnotu a také provádí dodatečnou detekci fáze signálu k vyhledání párů na zjištění dopplerovského posunu jejich frekvencí.

MSI (Multi-Spectral Imager)

Tento elektronický multispektrální skener získává obrazovou informaci o oblačnosti a aerosolech jako doplněk k vertikálním profilům z aktivních přístrojů. V pásu záběru širokém 150 km poskytne s pixelem o velikosti 500 m přehled o horizontálním rozložení oblačnosti, jejího typu i teploty a fáze mraků. Kombinací obrazových dat MSI a výsledků z lidarů a radarů bude možné konstruovat trojrozměrné scény prostorového rozložení oblačnosti a aerosolů.

Skener MSI je rovněž používán pro kalibraci zářivých toků na horní hranici atmosféry měřených přístrojem BRR (Broad-Band Radiometer). Měřená řádka je kolmá na směr letu i normálu z družice. Kolem stopy dráhy není umístěna symetricky, ale kvůli omezení zrcadlových odrazů slunečního záření je řádka směrem ke Slunci (vpravo od směru letu) dlouhá jen 35 km a zbývajících 115 km je na druhé straně od stopy dráhy. Skener má celkem sedm spektrálních pásem: po jednom v červeném a blízkém infračerveném oboru, dva ve středním infračerveném oboru a tři v tepelném infračerveném oboru spektra.

První dva kanály jsou osazeny křemíkovými CCD detektory, střední infračervené kanály mají chlazené detektory ze směsi india, gallia a arsenu. Každý z těchto čtyř kanálů má vlastní vstupní optiku a jsou ve společné jednotce VNS (VNIR-SWIR). Pro jejich letovou kalibraci slouží palubní radiometrický standard osvětlený Sluncem. Tepelné infračervené záření registruje v každém kanálu pole mikrobolometrů, které jsou kalibrovány na tmavý vesmír a palubní černé těleso. Pracují v režimu TDI (Time Delay Integration), který dovoluje delší expozici, aniž by se zvýšil podíl šumu v naměřených datech. Jsou umístěny v jednotce TIR.

Obě jednotky jsou namontovány na společné optické lavici na vnějším plášti družice, aby byla

zajištěna jejich shodná geometrická orientace. Modul je kabelem napojen na kontrolní jednotku ICU (Instrument Control Unit) celého přístrojového vybavení družice. Skener má vlastní elektronický systém FEE (Front End Electronics), který je zásobován z ICU a dodává energii k detektorům, reguluje parametry jejich prostředí a sbírá naměřené hodnoty. Naměřená data spolu s doprovodným údajem o čase a detektoru jsou přes datové rozhraní MDI (Measurement Data Interface) uložena po zformátování v datové paměti jednotky MMFU (Mass Memory and Formatter Unit). Odsud jsou přenášeny do pozemní stanice rychlostí 772 kb/s ve dne a 386 kb/s v noci. ICU rovněž tvoří rozhraní pro řízení palubního počítače prostřednictvím sběrnice MIL 1553.

Hmotnost celého skeneru MSI je 57 kg a energetická náročnost 65 W.

| Pásmo | Spektrální rozsah (μm) | Detektory |
|--------|------------------------|---------------------------|
| VIS | 0,660 – 0,680 | Si CCD |
| VNIR | 0,855 – 0,875 | |
| SWIR 1 | 1,625 – 1,675 | Chlazené InGaAs pole |
| SWIR 2 | 2,160 – 2,260 | |
| TIR 1 | 8,350 – 9,250 | Nechlazené mikrobolometry |
| TIR 2 | 10,350 – 11,250 | |
| TIR 3 | 11,550 – 12,450 | |

Tab. 23 Parametry zařízení MSI

BBR (Broad-Band Radiometer)

Tento trasovací radiometr je na rozdíl od tří ostatních přístrojů určen k měření toků zářivé energie na horní hranici atmosféry. Měření zahrne jak sluneční záření odražené zpět do vesmíru, tak i záření Země emitované do okolního prostoru. Měření odcházející zářivé energie je prováděno v širokém intervalu vlnových délek od 0,25 μm (ultrafialové záření) do více než 50 μm (vzdálené tepelné infračervené záření). Vedle hodnot záření z tohoto širokého kanálu označeného TW (Total wave) budou předsazením optického filtru před detektory střídavě pořizovány údaje jen o krátkovlnné (SW) části 0,25 – 0,4 μm.

Jelikož odcházející záření od Země není směrově homogenní, je pro získání údajů o směrově

závislosti radiometr vybaven třemi nezávislými jednotkami s různě orientovanými optickými systémy, které měří současně různá místa na stejné trase.

Tři teleskopy jsou orientovány ve směrech k nadiru, a s odklonem +50 (dopředu) a - 50° (dozadu). Na zemském povrchu tomu odpovídá úhel dopadu pozorovacího paprsku 55° (úhel mezi místní normálou a směrem k družici). Velikost plochy, jejíž zář radiometr měří, je pro každé zorné pole 10 x 10 km a odečet se provádí po posunu o každý kilometr podél dráhy. Radiometrická kalibrace mikrobolometrů je uskutečněna pomocí palubního standardu teplého a studeného černého tělesa. Detektory pro měření záře kratších vlnových délek jsou kalibrovány přicházejícím slunečním zářením. Získané hodnoty záření by měly mít standardní odchylku 2,5 Wm⁻²sr⁻¹ pro interval kratších vlnových délek a 1,5 Wm⁻²sr⁻¹ pro oblast tepelného infračerveného záření.



Obr. 37 Radiometr BRR

| Parametr | Hodnota |
|------------------|--|
| Spektrální pásma | SW (short wave), 0,2 – 0,4 μm, přesnost 2,5 W m ² sr ⁻¹ LW (long wave), 4,0 – 50 μm, přesnost 1,5 W m ² sr ⁻¹ |
| Měřená plocha | 10 km x 10 km pro všechny 3 pozorovací úhly |
| Hmotnost, příkon | 46,6 kg |
| Příkon | 41 W |
| Datový přenos | 138 kbit/s |

Tab. 24 Parametry radiometru BRR

Fáze realizace

EarthCARE byla vybrána jako třetí z hlavních družic Earth Explorer v roce 2004 na základě předcházející dvouleté studie. Od začátku je formulována jako společný evropsko-japonský projekt. Obtížnost zadání si vynutilo prodloužení přípravné fáze vývoje hlavních experimentů. Důležitá byla změna koncepce lidarů, kdy bylo rozhodnuto v roce 2009 přejít od monostatické varianty k bistatické. Závěrečná kontrola před zahájením výroby letových kusů je naplánována na druhou polovinu 2012.

Projekty řešené v ČR

Vzhledem k charakteru dat, který se týká především oblasti znečištění atmosféry, se v ČR nabízí možné využití ČHMÚ, CENIA (Česká informační agentura životního prostředí) nebo například ČIŽP (Česká inspekce životního prostředí).

V ČR jsou současné době řešeny projekty s podobnou tematikou například Ústavem, chemických procesů AV ČR, Přírodovědeckou fakultou Masarykovy univerzity či Matematicko-fyzikální fakultou Univerzity Karlovy v Praze.

Ústav chemických procesů AV ČR se zabývá studiem fyzikálně chemických vlastností atmosférických aerosolů a jejich původem. Cílem projektu bylo určení podílu primárních a sekundárních organických aerosolů a jejich stáří na venkovské a městské pozadové stanici ve střední Evropě.

Další projekt, který je řešen na Masarykově univerzitě se zabývá dálkovým transportem v Evropě. Cílem projektů je objasnění procesů koloběhu a dálkového transportu perzistentních organických polutantů.

Atmosférickou chemií biogenních těkavých organických látek se zabývá Matematicko-fyzikální fakulta UK. Cílem práce je simulace toků těchto látek z vegetace ve vysokém prostorovém rozlišení, modelování vzniku sekundárních organických aerosolů a aplikace výsledků v chemickém transportním modelu.

Na stejné fakultě je rovněž řešen projekt chemického modelování přízemního ozonu a sekundárních organických aerosolů ve střední Evropě a to prostřednictvím aplikace modelu MEGAN. V projektu jsou kvantifikovány emise biogenních těkavých organických látek pomocí modelu MEGAN. Následně jsou zjištěné emisní toky porovnávány se satelitními daty. Konečným cílem projektu je vytvoření online spojení modelu MEGAN

s chemickým transportním modelem CAMx, které bude sloužit ke studiu vlivu biogenních těkavých organických látek na tvorbu přízemního ozonu a sekundárního organického aerosolu.

Vzhledem k tomu, že se již v současné době satelitní snímky při studiu znečištění atmosféry využívají, lze očekávat, že data družice EarthCARE najdou v České republice využití, a to rovněž díky poměrně dobrému prostorovému rozlišení 500 m, ve kterém by měla být data produkována.

Dostupnost dat

Data budou přístupná širokému okruhu uživatelů v souladu s datovou politikou ESA umožňující otevřený přístup k datům ze všech družic ESA určených pro výzkum Země.

| Úrovně dat | |
|--|--|
| Úroveň 0 | Nezpracovaná data |
| Úroveň 1a | Rozbalená přeformátovaná data včetně dat o stavu přístroje |
| Úroveň 1b – ATLID | Naměřený zpětný signál ve třech kanálech: rayleighový signál, mieův signál lineárně polarizovaný a mieův signál s kolmou polarizací |
| Úroveň 1b – CPR | Odražený signál a dopplerovské profily |
| Úroveň 1b – MSI | Zářivost ve čtyřech slunečních pásmech Zářivost ve třech tepelných pásmech |
| Úroveň 1b – BBR | Zářivost v dlouhovlnném kanálu a v celkovém kanálu |
| Úroveň 2a – ATLID | Profily útlumu, zpětného rozptylu a depolarizace Vlastnosti aerosolů Vlastnosti ledu v oblačnosti |
| Úroveň 2a – CPR | Radarový odraz, typ oblačnosti, vlastnosti vodní a ledové oblačnosti Odhady dešťových a sněhových srážek |
| Úroveň 2a – MSI | Maska oblačnosti Mikrofyzikální parametry oblačnosti Horní výška oblačnosti Parametry aerosolu |
| Úroveň 2a – BBR | Nefiltrované hodnoty zářivosti Toky energie v krátkovlnném a dlouhovlnném kanálu |
| Úroveň 2b – údaje o oblačnosti, aerosolu získané kombinací dat z ATLID, CPR a nebo MSI | Klasifikace ve vertikálním profilu podél dráhy družice Odhady srážek a oblačnosti v profilech podél dráhy družice Vertikální pohyb uvnitř oblačnosti v profilech podél dráhy družice Horní výška oblačnosti z dat ATLID a MSI Oblačné frakce a jejich mikrofyzika v profilech podél dráhy družice Aerosolový sloupcový deskriptor z dat ATLID a MSI 3D scény oblačnosti a aerosolů |
| Úroveň 2b – údaje o záření filtrované hodnot zářivosti z BBR vylepšené zahrnutím MSI dat | Toky záření na hranici atmosféry z přístroje Vlastnosti záření (včetně zářivosti a toků na hranici atmosféry) vypočítané z 3D scén a vlastnosti oblačnosti a aerosolů s využitím 1D a 3D modelů přenosu záření |

Tab. 25 Úrovně dat z družice EARTH-CARE

BIOMASS

Účel

Pokud bude družice BIOMASS vybrána ze tří navrhovaných družic pro misi Earth Explorer 7, bude její start plánován na rok 2016. Primárním cílem mise je zjišťování globální distribuce nadzemní lesní biomasy a jejích změn. Kombinací komplementárních radarových technologií založených na polarimetrických datech následně zkombinovaných s daty interferometrickými bude zajištěno pokrytí v rozsahu od severských přes mírné po tropické lesy. Pořízená data sníží současné nepřesnosti ve výpočtech zásob uhlíku a jeho toků spojených s destrukcí a obnovou lesa.

Financování studií fáze A včetně jejího rozšíření pro všechny tři družice činí 12,3 milionu euro.

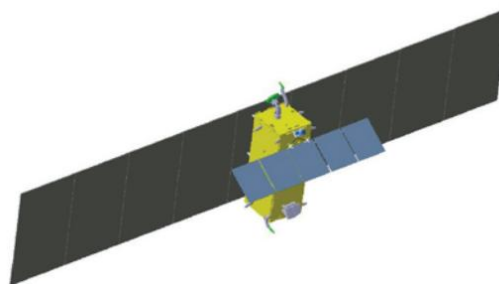
Konkrétně budou během mise BIOMASS měřeny:

- Zásoby uhlíku prostřednictvím globálního měření lesní biomasy
- Zdroje uhlíku měřením ztrát biomasy v důsledku deforestace a degradace lesa
- Pokles uhlíku měřením jeho zachytávání v lesní biomase

Tato data budou poskytována jako časové série v prostorovém rozlišení přibližně 1 ha. To zaručuje, že data budou přímo využitelná v regionálním, národním, ale i globálním měřítku. Protože se lesní biomasa mění relativně pomalu, produkované mapy budou využitelné i desetiletí po ukončení mise.

Vzhledem ke startu odhadovanému na rok 2016, mise přispěje k monitorování tropických lesů v časové periodě UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) v rámci mechanismu Reduced Emissions from Deforestation and Degradation, který byl navrhnut v Kyotském protokolu pro druhé závazné období po roce 2012.

Protože tato data budou ve formě gridu a budou tvořit globální pokrytí, stanou se ideálním základem pro modely zemského povrchu a dynamické vegetační modely. Data bude možné rovněž kombinovat s pozemními daty, ale i atmosférickými



Obr. 38 Družice BIOMASS

měřeními, ekologickými procesními modely a klimatickými modely.

Primárním cílem mise je zjišťování distribuce lesní biomasy pro zlepšení hodnocení zdrojů a zásob uhlíku, tvorby uhlíkových modelů a monitoring a kvantifikace globálních změn pozemské lesní biomasy. Důsledkem budou lepší odhady pozemských zdrojů uhlíku pomocí zjištění zásob uhlíku a poklesů uhlíku vzhledem k znovuobnovování lesa a zalesňování. Tyto informace budou rovněž využity k testování a kalibraci modelů cyklu pozemského uhlíku.

Cíle mise vyžadují následující parametry měření:

- Pozorování s pokrytím od 70° severní zeměpisné šířky po 56° jižní zeměpisné šířky s přesností $\pm 20\%$ při prostorovém rozlišení 100 – 200 m
- Přesnost výšky lesa ± 4 m
- Ztráty lesní biomasy v důsledku degradace lesa a odlesňování ročně nebo častěji při prostorovém rozlišení 100 – 200 m
- Akumulace biomasy z růstu lesa v prostorovém rozlišení 100 m; jeden odhad ročně pro tropický les, 1 odhad jednou za 5 let v ostatních lesích
- Změny ve výšce lesa zapříčiněné odlesňováním
- Změny v rozloze lesa v prostorovém rozlišení 100 – 200 m ročně nebo častěji

Sekundárním cílem mise je mapování podpovrchové litologie v aridních oblastech, mapování podpovrchových struktur polárního ledu, studium režimu ledovcových toků a monitorování permanentního a sezónního zaplavování lesa.

K dosažení těchto cílů postačuje vytvoření jediné mapy podpovrchové litologie aridních oblastí, nicméně opakovaná tvorba map může podat informaci o časové variabilitě podpovrchové

vlhkosti. To samé platí v případě detekce ledovcové struktury. Pro naplnění cíle monitorování záplav lesa je požadováno pozorování s periodou jeden měsíc během záplavového období.

Novou informaci o podpovrchových strukturách v aridních oblastech a oblastech polárního ledu bude poskytovat P-pásmový SAR. Požadavky na pozorování podpovrchových struktur jsou téměř všechny automaticky splněny díky primárním požadavkům zaměřeným na lesní biomasu a její změny. Výjimka platí pouze pro pozorování struktury ledu, kde je nezbytná operabilita družice ve vyšších zeměpisných šířkách. Snímání v dlouhých vlnových délkách rovněž vyhovují pro pozorování dynamiky zaplavování lesů. V současnosti tato data systematicky zajišťuje ALOS-PALSAR.

Citlivost zpětného rozptýlení P-pásma na lesní biomasu byla studována a dokumentována od uvedení do provozu prvního P-pásmového SAR systému na palubě letadla, což bylo v raných devadesátých letech. P-pásmový SAR se vyznačuje vyšší citlivostí radarového koeficientu zpětného rozptýlení (ekvivalentní radarové intenzitě) na lesní biomasu, disturbanci a časové změny lesní biomasy.

Popis družice

| Řešitel | Zadání |
|---|---|
| AST-UK, TAS-I | Systémové studie fáze A |
| Univerzity of Edinburgh, Británie | Konverze dat úrovně 2 a odhady CO2 proudu, testování existujících algoritmů |
| OASU (Observatoire Aquitain de Science de L'univers), Francie | Analýza sekundárních cílů |
| DLR, Německo | Simulátor mise |

Tab. 26 Řešitelé mise BIOMASS

Konstrukce a systémy

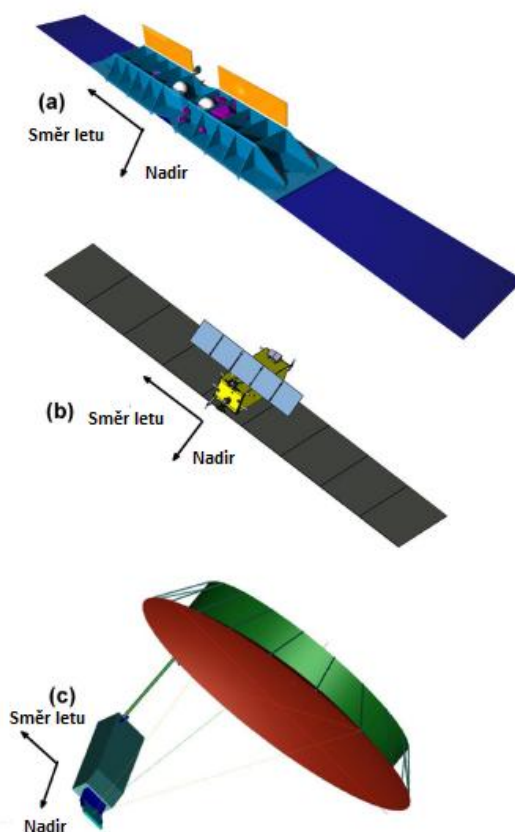
Jedná se o družici nesoucí na palubě P-pásmový SAR (435 MHz) operující v blízké polární, slunečně synchronní dráze ve výšce 639 – 643 km. Na oběžnou dráhu družici vynese nosná raketa Soyuz. Byla rovněž studována kompatibilita s menšími

nosiči, jako je VEGA. Data z pozorovacích přístrojů budou posílána na Zemi prostřednictvím X-pásma.

Celá mise, která bude trvat 5 let, má být rozdělena do dvou částí – nominální operační a experimentální tomografické. Nominální operační fáze je charakterizována periodou oběžné dráhy mezi 23 a 39 dny, zatímco perioda pro tomografickou fázi se pohybuje mezi 3 a 4 dny.

Hmotnost satelitu se bude pohybovat mezi 1200 a 2600 kg. Celková spotřeba energie by měla být 800 – 1200 W.

Infrastruktura pozemního segmentu se skládá ze segmentu letových operací FOS (Flight Operations Segment), který zahrnuje telemetrické řídicí centrum v Kiruně a centrum pro kontrolu letových operací v ESOC (European Space Operations Centre) a ze segmentu pro pořízená data PDGS (Payload Data Ground Segment), který zahrnuje stanici pro přijímání dat na Svalbardu, centrum pro zpracování



Obr. 39 Tři koncepty konfigurace družice

a archivaci dat v ESRIN a centrum pro plánování a monitorování mise.

Při konstrukci družice, mohou být implementovány dva rozdílné principy – integrace platformy se

strukturou antény nebo princip konvenčního modulárního přístupu. První princip je základem konceptu 1, který využívá tzv. Snapdragon platformu, zatímco druhý princip je aplikován v konceptu 2, který využívá odnímatelné anténové panely a v konceptu 3, jehož hlavní konstrukční prvek tvoří reflektor. Struktura družice je sama o sobě standardní. Využívá hliníkové nebo CFRP (Carbon Fibre Reinforced Plastic) sandwichové panely a jejich standardní připevnění.

Energetický subsystém družice není díky malé spotřebě energie v tomto případě rozhodujícím prvkem celé konstrukce. Koncept, který konzumuje nejvíce energie je Snapdragon, který počítá se solárním panelem o velikosti 8 m² a baterií s kapacitou 150 Ah.

Rychlost přenosu dat na pozemní stanici se pohybuje mezi 100 a 250 Mb/s. V současné době byl již vyvinut vhodný přenosový řetězec pro pásmo X a s tím spojená velkokapacitní paměť.

| Část družice | Hmotnost (kg) |
|---------------|---------------|
| P-pásmový SAR | 430 – 630 |
| Platforma | 700 – 1750 |
| N2H4 pohon | 20 – 230 |
| Celkem | 1140 – 2600 |

Tab. 27 Hmotnosti částí družice BIOMASS

Subsystém řízení polohy je v každém ze tří konceptů družice řešen jiným způsobem. Tento subsystém pro koncept 1 byl již studován ve fázi B TerraSAR-L. Předběžná analýza těchto výsledků pro BIOMASS ukazuje, že tento způsob řízení polohy je

pro tuto misi vyhovující. Koncept 2 rovněž staví na podobnosti s předchozími misemi s rozsáhlými odnímatelnými částmi. V případě konceptu 3 je potřeba problematiku subsystému řízení polohy studovat detailněji, a to v průběhu fáze A.

Výsledky fáze 0 ukazují, že je možné problematiku řízení polohy pojmout konvenčními prostředky, nicméně je zde ponechán prostor pro detailní studii ve fázi A pro koncept 3.

Pozorovací přístroje

SAR

Družice ponese jediný přístroj s bočním zorným polem, který bude pracovat na frekvenci 435 MHz (pásmo P) s šířkou pásma 6 MHz, která koresponduje s hodnotou přidělenou ITU (International Telecommunications Unions). Snímky SAR na nižších frekvencích splňují požadovanou citlivost pro monitorování lesní biomasy.

Výhodou dlouhovlnného záření SAR je fakt, že jeho paprsky pronikají hlouběji do vrstvy vegetace a více interagují se zemí pod vegetačním krytem a rozsáhlými stromovými strukturami. Zem i stromovité struktury jsou v pásmu P stabilně většími rozptylovači než menší stromky. Dekorelace zapříčiněná posuvem rozptylovačů uvnitř buněk při daném rozlišení je funkcí vlnové délky a je proto nižší pro delší vlnové délky.

Pro zařízení existují 3 různé koncepty – vždy se jedná o pasivní anténu, ale s různými operačními schopnostmi. Tyto koncepty se liší především konstrukcí antény.

Klíčovou výhodou P-pásmového SAR zařízení je

| Parametr | Požadavek | Koncept 1 | Koncept 2 | Koncept 3 |
|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|--------------------------|
| Výška oběžné dráhy (nominální fáze) | | 642 km | 641 km | 643 km |
| Opakování cyklu oběžné dráhy | ≤ 25 dní (cíl) ≤ 45 dní (práh) | 27 dní | 39 dní | 23 dní Duální paprsek |
| Globální pokrytí v nominální fázi | ≤ 25 dní (cíl) ≤ 45 dní (práh) | 27 dní | 39 dní | 46 dní Duální paprsek |
| Prostorové rozlišení (≥ 4 pohledy) | ≤ 50 m x 50 m | ≤ 61 m x 50 m | ≤ 61 m x 50 m | ≤ 55 m x 50 m |

Tab. 28 Parametry radaru SAR

velký kontrast ve zpětném rozptylu P-pásma mezi oblastmi s vysokou a nízkou biomasou, který způsobuje, že mohou být jednoduše detekovány oblasti narušení lesů. Prostřednictvím zvýšení zpětného rozptylu v oblastech lesní biomasy lze rovněž detekovat oblasti obnovování lesa v prvních letech po poškození.

Jelikož je zpětný rozptyl v každé polarizaci výsledkem různých dominantních interakčních mechanismů, je možné sestavit komplementární informaci o lesní biomase a její struktuře. Elektromagnetické modely rozptylu, které byly vyvinuty k lepšímu porozumění interakcím mezi radarovým signálem a lesní vegetací ukazují, že zpětný rozptyl HV (Horizontal Vertical) je výsledkem rozptýleného signálu v korunách stromů, zpětný rozptyl HH (Horizontal Horizontal) přichází především z rozptylu u kmenu stromů a VV (Vertical Vertical) je výsledkem obou mechanismů (rozptyl v korunách i u kmenů). Tyto poznatky poslouží při modelování výšky a strukturních charakteristik biomasy.

Fáze realizace

V první z vývojových fází družice (fáze 0) byly vypracovány 3 koncepty pro SAR operující v pásmu P, které se do jednoho zakládaly na dlouhé pasivní anténě.

Fáze A začala v březnu 2009. Dvě paralelní systémové studie fáze A vede EADS Astrium UK a Thales Alenia Space Italy. Tyto studie se zabývají elementy architektury mise od vesmírného segmentu (platforma a palubní zařízení) a pozemní segmentu přes letové operace až po využití pozorování.

Konkrétními tématy systémové studie jsou následující:

- Konfigurace rozměrné P-pásmové antény včetně termo-mechanických aspektů a upevnění antény
- Kontrola polohy z pohledu udržení stability takto velké antény na oběžné dráze
- Metody pro korekci ionosférických disturbancí
- Kalibrace v průběhu celé mise
- Testování konceptů pro anténu a kompletní družici
- Vypělost navržené technologie pro anténu

- Koncepty palubních zařízení.

Základní část fáze A skončila v prvním čtvrtletí roku 2012, od dubna 2012 se pak oba hlavní dodavatelé zabývají aktivitami, které rozšiřují fázi A. Na konci roku 2012 bude jedna ze tří misí, BIOMASS, CoReH2O nebo PREMIER vybrána pro pokračování do fáze B1, která by měla začít v roce 2013.

V rámci fáze B1 budou prováděny systémové studie již zformovanými konsorciemi. ČR se tak může zapojit do stavby družice, která by měla začít v roce 2014.

Projekty řešené v ČR

Data této mise budou reprezentovat nadzemní biomasu z hlediska její distribuce a změn v čase. V České republice se problematikou lesní biomasy zabývá například ÚHÚL (Ústav pro hospodářskou úpravu lesa) nebo správy NP a CHKO.

V ČR probíhá sledování vývoje lesních porostů, a to například pomocí laserové skenování, kterým se zabývala Fakulta životního prostředí na Univerzitě Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem. V oblasti NP České Švýcarsko byly zjišťovány především vazby mezi druhem dřeviny a prostorovou distribucí bodů laserového skenování. Takovéto práce jsou zejména dobrou přípravou na následující roky, kdy budou pořízena data laserového skenování pro celou ČR, a bude možné tyto postupy aplikovat na celém území státu.

Dynamikou lesa se zabývá Fakulta lesnická a dřevařská České zemědělské univerzity v Praze. V tomto projektu jsou v současné době vyvíjeny standardizované dendrochronologické metodiky výzkumu horských smrkových lesů. Testovací oblasti pro tuto metodiku se nacházejí v ČR a Rumunsku. Dalším cílem bude porozumění dynamiky smrkových lesů na území střední Evropy. Výsledkem obou fází projektu by mělo být definování efektivního trvale udržitelného managementu smrkových lesů.

Na stejné fakultě byl v minulosti rovněž řešen projekt na sledování dynamiky lesa v oblasti postižené kůrovcem v NP Šumava.

Podobným tématem se v minulosti zabývali rovněž instituce, jako je AOPK (Agentura ochrany přírody a krajiny), ÚHÚL, Ústav pro výzkum lesních ekosystémů a Správa ochrany přírody, které společně pracovaly na výzkumu a shromáždění poznatků o rozšíření a stavu přírodních lesů v ČR. V rámci tohoto projektu byla stanovena kritéria pro posuzování přirozenosti lesních porostů a kritéria

pro ponechání lesních porostů samovolnému vývoji. Jako výsledek projektu byla vytvořena národní databanka přirozených lesů.

Správa NP a CHKO Šumava se rovněž zabývá sledováním stavu a dynamiky vývoje přirozené obnovy lesních ekosystémů v závislosti na typu prováděného managementu.

Otázkou dynamiky smíšených temperálních lesů z hlediska sjednocování a objektivizace konceptuálních modelů se zabývá Výzkumný ústav Silva Tacoury pro krajinu a okrasné zahradnictví.

Z množství minulých i současných projektů s tematikou dynamiky lesních porostů lze usoudit, že v ČR existují kapacity na využívání snímků, které budou pořizovány v rámci mise BIOMASS. Jejich plnému využívání na našem území by v budoucnu mohlo bránit prostorové rozlišení 100 km, které je nedostatečné pro provádění analýz ve velkých měřítkách, které by byly omezené pouze na naše území. Data by však zajisté byla užitečná pro každého, kdo se bude chtít zabývat vývojem lesních porostů na globální či kontinentální úrovni.

COREH2O

COLD REGIONS HYDROLOGY HIGH-RESOLUTION OBSERVATORY

Účel

Pokud bude družice CoReH2O vybrána ze tří navrhovaných družic pro misi Earth Explorer 7, bude její start plánován na rok 2016. Mise je určena k získávání měření množství čerstvé vody uložené ve formě sněhu na zemském povrchu, ve sněhových nánosech na ledovcích a v ledovcích. Voda, která se nachází ve formě sněhu a ledu, je důležitou součástí vodního cyklu. Jelikož změna klimatu ovlivňuje množství sněhu a ledu, má současně nezanedbatelný vliv na vodní zdroje.

Financování studií fáze A včetně jejího rozšíření pro všechny tři družice činí 12,3 milionu euro.

Cílem mise je zdokonalit modelování a předpovídání vodní bilance a proudění toků v povodích se sněhovou pokrývkou a ledovci, předpovídání vodních zásob v těchto oblastech, modelování vodního cyklu a energetické bilance ve vysokých zeměpisných šířkách a zpřesnění regionálních klimatických modelů.

Tyto cíle bude plnit jediná družice nesoucí dvou frekvenční (pásmo X a Ku) dvou polarizační SAR, který bude provádět pozorování minimálně tři kompletní zimní sezóny.

Prvním z dílčích cílů mise CoReH2O je kvantifikace množství čerstvé vody uložené ve sněhové pokrývce, akumulací sněhu na ledovcích a v ledovcích. Toho bude dosaženo prostřednictvím prováděním odhadů SWE (Snow Water Equivalent), sledováním prostorového rozšíření sněhové pokrývky a ledovců a zjišťováním výšky akumulace sněhu na ledovcích. Zároveň bude sledována variabilita těchto parametrů v čase.

Pozorování prováděná v průběhu mise budou sloužit také k validaci a zpřesnění prediktivních hydrologických modelů a validaci a zpřesnění reprezentace sněhových a ledovcových procesů v klimatických modelech.

Do klimatických modelů vstupují proměnné jako například rozloha tajícího ledu, sněhová akumulace

na ledovcích, oblasti ledovcového ledu a počátek tání. Tyto charakteristiky budou pozorovány během mise a poslouží ke zhodnocení přesnosti těchto klimatických modelů.

Pozorování CoReH2O ve třídních cyklech (fáze 1) umožní určování krátkodobých variací v modelech a modely tak budou schopné reagovat na tzv. rychlé meteorologické síly. Rozšířené pozorování v patnáctidenním cyklu (fáze 2) bude využito k hodnocení schopnosti modelů reprezentovat prostorovou variabilitu proměnných.

V rámci mise bude také zkoumána distribuce sněhu v oblastech vysokých zeměpisných šířek se zaměřením na důsledky pro pozemský uhlíkový cyklus a výměnu stopových plynů. Pro tento účel budou parametry jako SWE, hloubka sněhu a rozloha sněhové pokrývky poskytovat informaci o časové a prostorové variabilitě sněhem ovlivněných okrajových podmínek v půdním tepelném režimu, díky čemuž bude možné odvodit vliv těchto faktorů na výměnu uhlíku a stopových plynů.

Dále budou data získaná v průběhu mise sloužit k evaluaci hmotnostní bilance ledovců a sněhu v globálním měřítku s cílem vysvětlit současné změny a jejich zasazení do historického kontextu. Tento zevrubný a konzistentní pohled na hmotnostní bilanci ledovců a řídicí procesy bude mít dopad na pochopení odezvy objemu ledovců a vodního zásobování na klimatické změny.

Dalším z cílů mise je validace a zpřesnění procesních modelů pro jezerní led pozorování vlastností tohoto ledu a ohodnocení efektů jezerního ledu na povrchovou výměnu energií. Konzistentní pozorování oblastí jezerního ledu a termínů zamrzání a tání budou použita k hodnocení a časování procesů jezerního ledu v relevantních modelech. Výsledek bude použit pro zpřesnění těchto modelů. Informace o výskytu prvního ledu, kompletním zamrznutím, počátku tání a stavu již kompletně bez ledu v současnosti poskytují například MODIS Snow, NOAA Interaktivní mapovací systém.

Mise se dále bude zabývat výzkumem tenkého ledu s cílem pochopení jeho termodynamických procesů a určení jeho hmotnostní bilance. Na základě mapování vývoje tenkého ledu budou tvořeny odhady tepelných proudů pro následné studium kinematiky a dynamiky ledu okrajových zaledněných zón na regionální úrovni.

Popis družice

| Řešitel | Zadání |
|---|---|
| FMI, Finsko | Synergie SAR a mikrovlnné radiometrie k získávání parametrů sněhové pokrývky a ledu |
| ENVEO, Rakousko | Vývoj algoritmů získávání informací o sněhu |
| Edinburgh Earth Observatory, Univ. of Edinburgh, Británie | Studie asimilace dat o sněhu |
| ARESYS, Itálie | Simulátor mise |

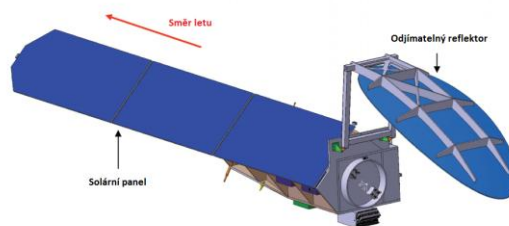
Tab. 29 Řešitelé mise COREH2O

Konstrukce a systémy

Družice bude obíhat na polární, slunečně synchronní dráze. Oběžná dráha byla stanovena tak, aby se družice vyhnula dennímu zahřívání zemského povrchu a redukovala tak efekt tání vlivem slunečního záření.

Družice bude operovat ve dvou operačních fázích. V první fázi, která bude trvat dva roky, bude družice obíhat ve výšce 666 km a ve tří denním cyklu provádět snímání nad vybranými testovacími oblastmi. V druhé fázi s trváním tři roky bude družice obíhat ve výšce 645 km s cyklem 15 dní.

Obecně jsou požadavky na platformu typické pro platformu s nízkou oběžnou dráhou (LEO – Low Earth Orbit). Obě navržené implementace – koncept 1 a 2 jsou proto založené na robustní konstrukci platformy. Výhodou je využití konstrukce a implementace, které již byly úspěšně testovány v předchozích misích, jako například Terra SAR-X, COSMO-SkyMed, Radarsat-2 a GMES. To umožňuje využití standardizovaného a osvědčeného COTS (Comercial Off The Shelf) vybavení. Na platformní úrovni je hlavním rozdílem mezi oběma koncepty konfigurace, která je buď specifická pro konkrétní



Obr. 40 Koncept 1 konstrukce družice

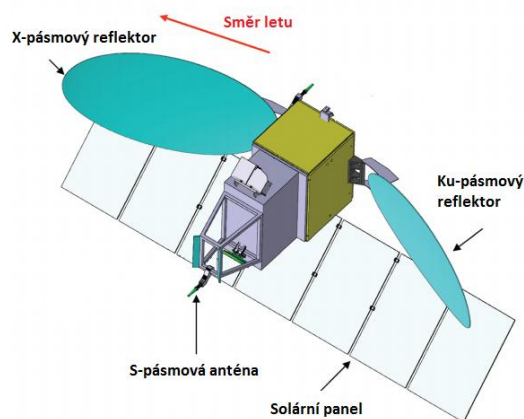
misí (koncept 1), nebo založena na drobně modifikovaném standardním konceptu družice (koncept 2).

Mechanická konstrukce obou družicových konceptů, která je založena spíše na tradičním pojetí, staví na využívání hliníkových sandwichových panelů, které jsou natočeny směrem do vesmíru, čímž je zajištěno kompletní zastínění před slunečním zářením.

Spotřeba energie je dána především požadavky zařízení SAR, ale i tak se průměr spotřeby pohybuje okolo střední hodnoty vesmírných napájecích systémů (1,5 kW). Oba koncepty využívají nasazovací a fixní solární panely (okolo 13 m²) ve dvou rozdílných konfiguracích a s využitím komerční Li-on baterie (160 Ah).

Oba koncepty jsou uzpůsobeny skutečnosti, že dvou pásmový dvoupolarizační SAR generuje poměrně velké množství dat. Především koncept 1 proto počítá s rychlostí přenosu pořízených dat do pozemní stanice ve výšce 460 Mb/s a s úložným prostorem 1400 Gb. Koncept 2 počítá s mírně nižšími hodnotami.

Telemetrické funkce jsou implementovány tradiční architekturou s využitím systému komunikujícího v pásmu S, který se skládá z plně redundantního transpondéru a dvou isofluxních antén upevněných



Obr. 41 Koncept 2 konstrukce družice

na nadírové a anti-nadírové straně platformy.

Subsystém řízení polohy AOCS (Attitude and Orbit Control System) bude operovat ve třech automatických režimech:

- Bezpečnostní režim – pro LEOP (Launch and Early Orbit Phase) a zároveň pro nouzový stav, kdy družice směřuje k Zemi
- Normální režim – k vytvoření vysoce stabilních podmínek pro fungování veškerého zařízení na palubě družice
- Režim kontroly oběžné dráhy – kontrola polohy během orbitálních manévrů

Určování polohy je prováděno pomocí tří detektorů polohy hvězd. Musí být však prováděna kontrola tepelně indukované deformace mezi SAR anténou a detektory. Tato deformace může být v případě potřeby kalibrována s využitím přístrojových dat.

Udržování oběžné dráhy nepřináší v případě této mise zvláštní požadavky na pohonný systém. Oba koncepty využívají hydrazinový (N₂H₄) jednopohonový systém, který je pod tlakem udržován heliem.

Koncept 1, který využívá přední solární panel, disponuje více integrovanou a komplexnější strukturou, kvůli umístění boční antény. Koncept 2 má umístěny dvě antény na stranách po směru letu a proti směru.

Pozorovací přístroje

Dvou polarizační SAR

Jedná se o radar operující v krátkých vlnových délkách. V této misi je využita kombinace Ku a X pásma (9,6 a 17,2 GHz), protože tyto dvě frekvence vykazují rozdílnou citlivost na fyzikální vlastnosti sněhu a podporují separaci objemu a povrchu z hlediska zpětného rozptylu. Přístroj bude pracovat ve vysokém rozlišení s podélnou a příčnou polarizací. Šířka záběru se bude pohybovat okolo 100 km. Úhel dopadu bočního SAR se bude pohybovat mezi 30 a 45°.

Pro vhodnou eliptickou anténu byly ve Fázi 0 navrženy dva základní koncepty:

- Koncept 1 je založen na jednom reflektoru, který je osvětlen dvěma společně umístěnými zdrojovými systémy mnohonásobného paprsku

- Koncept 2 je založen na dvou reflektorech osvětlených nezávislými zdroji mnohonásobného paprsku

Pro koncept 1 je rozsah dopadového úhlu paprsku 39°-45°. Využití kombinované apertury vede ke vzniku dvou sad stop (jedna pro každou frekvenci), které jsou oddělené 2,5 s ve směru podél trasy. Tato skutečnost vyžaduje koregistraci kanálů během pozemního zpracování dat. Pro koncept 2 je navržen rozsah snímání mezi 30°-37°. Oddělení antén umožňuje shodnost korespondujících stop, čímž jsou kanály automaticky koregistrované.

| Parametr | Hodnota |
|-----------------------------------|---|
| Frekvence SAR | 9,6 GHz a 17,2 GHz |
| Polarizace | VV a HV |
| Úhel dopadu | 30° – 45° |
| Prostorové rozlišení | ≤ 50 x 50 m (≥ 5 různých pohledů) |
| Šířka záběru | ≥ 100 km |
| Šumový ekvivalent σ ₀ | X-pásmo ≤ -23 dB pro VV, ≤ -28 dB HV Ku-pásmo ≤ -23 dB pro VV, ≤ -25 dB HV |
| Radiometrická stabilita | ≤ 0,5 dB |
| Absolutní radiometrické zkreslení | ≤ 1,0 dB |
| Celková ambiguita | ≤ -20 dB |

Tab. 30 Parametry radaru SAR

Navrhnuté koncepty družice jsou kompatibilní s raketou VEGA, existují však i alternativy, například pro raketu Rokot.

| Část družice | Hmotnost (kg) |
|-------------------------------------|---------------|
| SAR zařízení | 300 – 360 |
| Platforma | 600 – 810 |
| N ₂ H ₄ pohon | 40 – 60 |
| Celkem | 960 – 1200 |

Tab. 31 Hmotnost vybavení družice

| Část družice | Spotřeba energie (W) |
|--------------|----------------------|
| SAR zařízení | 800 – 1300 |
| Platforma | 460 – 700 |
| Celkem | 1500 – 1700 |

Tab. 32 Spotřeba energie

*HRU je podjednotkou povodí, která vykazuje stejné vlastnosti v oblasti srážkových a odtokových charakteristik, které jsou dané geologií oblasti, využitím půdy, půdním typem a topografií. Jejich velikost se pohybuje od 0,5 a až po několik km². Členění na tyto podjednotky se používá ke zjednodušení komplexních povodňových modelů.

Fáze realizace

Pro misi CoReH₂O jsou zpracovávány dvě paralelní studie – EADS Astrium Germany (AST-D) a Thales Alenia Space Italy (TAS-I).

Pro zařízení SAR Byly analyzovány dva různé koncepty – první koncept využívá jedinou odnímatelnou reflektorovou anténu pro obě frekvence. Druhý koncept počítá s anténami pro každou frekvenci, což vyžaduje drobné úpravy standardní platformy.

Systémové studie fáze A se zabývají všemi elementy architektury mise, tedy vesmírným (platforma a palubní zařízení) a pozemním segmentem, funkcemi a využitím.

Zvláštní pozornost je věnována minimalizaci nákladů. Konkrétní opatření pro snížení nákladů již byly definovány na úrovni výrobního návrhu a souvisejících aktivit. Analýza jejich dopadu a návrhu řešení jsou součástí pracovního plánu. Studie se bude zabývat především palubním přístrojem SAR, a to v první řadě součástmi pro příjem v pásmu Ku, které jsou inovativní:

- Konfigurace antény (pevné i odnímatelné), včetně zdrojového systému a usazení antény, které musí být přizpůsobeno přijímání signálu ve dvou frekvencích
- Kalibrace mise od jejího začátku do konce
- Tok dat, včetně aspektů spojených s poskytováním téměř reálném čase

Základní část fáze A skončila a oba hlavní dodavatelé zabývají nyní aktivitami, které rozšiřují fázi A. Na konci roku 2012 bude jedna ze tří misí,

BIOMASS, CoReH₂O nebo PREMIER vybrána pro pokračování do fáze B1, která by měla začít v roce 2013.

V rámci fáze B1 budou prováděny systémové studie již zformovanými konsorciemi. ČR se tak může zapojit do stavby družice, která by měla začít v roce 2014.

Projekty řešené v ČR

Vzhledem k tomu, že je mise určena k zjišťování množství čerstvé vody uložené ve formě sněhu, ledu a ledovců, je využitelnost v podmínkách České republiky značně omezená. Příbuznými tématy se v českém prostředí zabývá například ČHMÚ, Výzkumná stanice J. G. M. (Masarykova univerzita v Brně) nebo ČGS.

VČR se v současnosti stanovováním vodní hodnoty sněhu zabývá VÚV TGM společně Výzkumným ústavem lesního hospodářství a myslivosti a Elektroslužbami (Libor Daneš). Cílem tohoto projektu je však vývoj pozemního přístroje na kontinuální stanovování vodní hodnoty sněhu. Přístroj bude v rámci projektu testován v různých terénních podmínkách. Na základě těchto testů bude vypracována metodika instalace a obsluhy tohoto přístroje.

Srážko-odtokovými poměry se v minulosti zabývala například pracoviště Hornicko-geologické fakulty Vysoké školy Báňské, Fakulta stavební ČVÚT nebo ČHMÚ.

Cílem jednoho z projektů, který byl řešen výše zmíněnými institucemi, bylo zpřesnění srážko-odtokových modelů s využitím GIS, různých zdrojů dat a různých postupů zpracování. Rovněž zde bylo řešeno doplnění stávajících modelů a doplňující modely, které simulují chování dalších složek vodní bilance. Jako jeden z těchto modelů byl vyvinut a implementován model tání sněhu.

Prostorové rozlišení dat, která by byla pořizována misí CoReH₂O se bude pro různé produkty pohybovat od 50 – 500 km, čímž se částečně tato data stávají využitelná i pouze v rámci území ČR. Data však budou lépe aplikovatelná pro větší územní celky, jako jsou kontinenty a jejich regiony.

| Proměnná | Rozlišení (m) | | Časové rozlišení (dny) | Přesnost (RMS) |
|---------------------------------|---------------|------------|------------------------|---|
| | Globální | Regionální | | |
| Primární cíle | | | | |
| Sníh | | | | |
| SWE (Snow Water Equivalent) | 500 | 200 | 3 – 15 | 3 cm pro SWE ≤ 30 cm 10% pro SWE > 30 cm |
| Rozloha sněhu | 500 | 100 | 3 – 15 | 5% pro HRU* (Hydrological Response Unit) |
| Ledovce | | | | |
| Zimní akumulace sněhu | 500 | 200 | 15 | 10% maxima |
| Sekundární cíle | | | | |
| Sníh | | | | |
| Rozloha tajícího sněhu | 500 | 100 | 3 – 15 | 5% pro HRU |
| Hloubka sněhu (SD – Snow Depth) | 500 | 200 | 3 – 15 | 10% pro HRU |
| Ledovce | | | | |
| Typ facie | 200 | 200 | 15 | 5% ledovcové oblasti |
| Ledovcová jezera | 50 | 50 | 15 | 50 m |
| Jezerní a říční led | | | | |
| Ledová oblast | 100 | 100 | 3 – 15 | 5% ledové oblasti |
| Počátek zamrzání a tání | 100 | 100 | 3 | ± 3 dny |
| Mořský led | | | | |
| SWE | 200 | 200 | 3 – 15 | 10 cm |
| Datum počátku tání | 200 | 200 | 3 – 15 | ± 3 – 15 dny |
| Oblast tání | 200 | 200 | 3 – 15 | 5% rozlohy mořského ledu |
| Typ a tloušťka ledu | 200 | 100 | 3 – 15 | ± 5 cm, 5% klasifikační chyby |

Tab. 33 Rozlišení radaru SAR

PREMIER

PROCESS EXPLORATION THROUGH MEASUREMENTS OF INFRARED AND MILLIMETRE-WAVE EMITTED RADIATION

Účel

Pokud bude družice PREMIER vybrána ze tří navrhovaných družic pro misi Earth Explorer 7, bude její start plánován na rok 2016. Financování studií fáze A včetně jejího rozšíření pro všechny tři družice činí 12,3 milionu euro.

Cílem mise je kvantifikace atmosférických procesů prostřednictvím globálního sledování složení atmosféry ve střední a vrchní troposféře a nižší stratosféře, tedy mezi 5 a 25 km nad zemským povrchem. Složení a dynamika atmosféry na hranici mezi horní troposférou a spodní stratosférou má důležitý dopad na chemickou výměnu a zemskou radiační bilanci.

Data mise by měla sloužit pro zpřesnění chemicko-klimatických modelů, které jsou zapotřebí k předpovědi změn klimatu v řádech desítek až stovek let.

PREMIER má rovněž společně s přístroji na satelitech MetOp kvantifikovat spojitost mezi povrchovými emisemi a znečištěním vzduchu.

Mise bude dosahovat svých cílů prostřednictvím pozorování chemických látek, řídké oblačnosti a teploty v této oblasti atmosféry v třídídimenzionální soustavě. Tím bude umožněna kvantifikace procesů, které ovlivňují prostorové rozložení plynů (např. vodní pára, ozon, metan) a výskyt cirů (zvláště ultra tenkých cirů v tropické tropopauze).

Dále bude možná kvantifikace procesů atmosférického transportu důležitých pro klima a kvalitu vzduchu. Jde o charakterizaci procesů spojujících tropickou troposféru s nižší stratosférou, včetně konvektivního transportu stopových plynů ve vrstvě tropické tropopauzy.

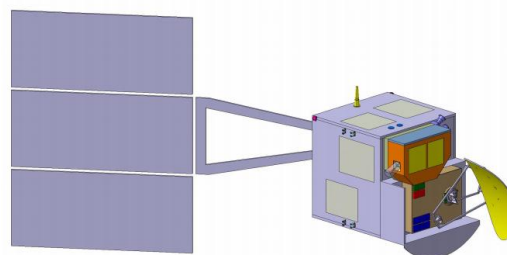
Dalším cílem je rovněž kvantifikace vztahu mezi atmosférickou dynamikou a klimatem. Dynamika středních měřítek bude v tomto výškovém rozmezí zkoumána prostřednictvím třídídimenzionálního měření teploty a šíření gravitačních vln a jejich vlivu na stratosférickou cirkulaci. V kombinaci

s předpovědí počasí a klimatickými modely, bude možné lépe kvantifikovat vliv stratosféry na atmosférickou cirkulaci v nižších polohách.

Dalším zkoumaným elementem v této misi je vodní pára, která je nejsilnějším skleníkovým plynem. Změny v její distribuci ve střední a vyšší vrstvě troposféry zvláště ovlivňují odezvu klimatu. Tropická hluboká konvekce, zvláště v západním Pacifiku (např. Hector) transportuje vodní páru nahoru napříč tropopauzou. Metan, který přichází z troposféry, rovněž generuje vodní výpar ve stratosféře. Prováděním měření vodní páry, cirů tropické tropopauzy a metanu a ostatních stopových plynů bude možno kvantifikovat procesy řídící stratosférický vodní výpar.

Globální distribuce stopových látek v UTLS (Upper Troposphere-Lower Stratosphere) jako vodní pára, CFC (Chloro-Fluoro-Carbon) a ozon je určena stratosférickou BD (Brewer-Dobson) cirkulací, stoupáním v troposféře (například konvekcí) a rychlým quazi-horizontálním transportem. Například, výměnou látek mezi stratosférou a troposférou dochází k vytváření ozonu v troposféře čistou fotochemickou výrobou. Transport rovněž hraje důležitou roli ve výměně vzduchu mezi tropickou svrchní troposférou a extra tropickou spodní stratosférou. PREMIER bude produkovat 3D sady dat atmosférických indikátorů jako CFC-11 a SF₆ (fluorid sírový) nezbytné pro studium role transportních struktur ve výměně mezi stratosférou a troposférou.

Rozsáhlé procesy, jako Indický monzun, zapřičiňují transport stopových plynů do vyšších vrstev



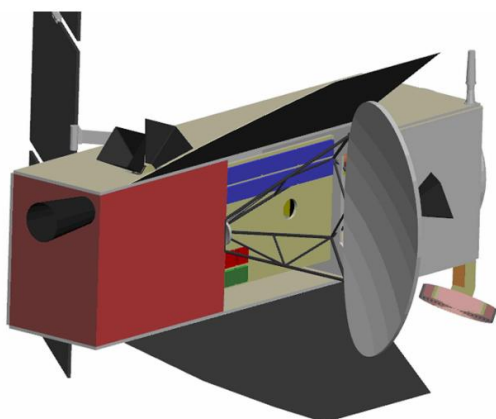
Obr. 42 Koncept a konstrukce družice

atmosféry, což má za následek velké odchylky v globální distribuci vodní páry, ozonu a metanu ve vrchní části troposféry a nižších částech stratosféry. Tím pádem je přesné měření stopových plynů ve volné a vrchní troposféře základem pro zlepšení pochopení kvantitativního transportu znečišťujících látek, následně k pochopení troposférických chemických procesů a výsledných radiačních odchylek.

Další jev, který ovlivňuje troposféru, jsou lesní požáry. Při hoření se do troposféry uvolňují plyny a jemný částicovitý materiál ve formě organického či černého uhlíku. Pouze za zvláštních podmínek, kdy je již původní vzduch nestabilní, emise mohou jít do spodních vrstev stratosféry (pyrokonvekce). Pásky stopových plynů z hořící biomasy budou v průběhu této mise detekovány z hlediska jejich vlivu na chemické složení vrchní troposféry a spodní stratosféry.

PREMIER bude snímat zemský povrch přibližně každých 50 km podél trasy satelitu, čímž bude dosaženo kvalitního rozlišení v pozorování atmosférické teploty. Díky tomuto třidimenzionálnímu vzorkování bude možné studovat interakce mezi globální dynamikou (cirkulace, vlny planetárního měřítka) a dynamikou středního měřítka (gravitační vlny). Získané informace z oblasti gravitačních vln pomohou k pochopení dynamiky stratosféry a UTLS. Rovněž by mělo být díky těmto měřením možné lokalizovat zdroje gravitačních vln.

Průmyslové znečištění je transportováno v mezikontinentálních měřítkách ve střední a svrchní troposféře. Pásky, ve kterých se znečištění šíří, budou podléhat přímým pozorováním PREMIER včetně stopových plynů, jako je ethan a PAN (peroxyacetyl nitrát). Pozorováno bude rovněž rozšířeno o povrchové emise, znečištění vzduchu



Obr. 43 Koncept B konstrukce družice

prostřednictvím kombinace prostorově a časově sjednocených dat MetOp. Tato kombinace umožní zkoumání rozložení látek ve spodní troposféře a zpřesnění odhadů pozemních zdrojů metanu a oxidu uhelnatého jak antropogenního tak přírodního původu.

Popis družice

| Řešitel | Zadání |
|------------------|--|
| SSC, Švédsko | STEAMR |
| RAL, Británie | Konsolidace požadavků a synergie algoritmů |
| IFAC CNR, Itálie | Analýza dat |
| GMV, Španělsko | Simulátor mise |

Tab. 34 Řešitelé mise PREMIER

Konstrukce a systémy

Vesmírný segment se skládá z jediného satelitu, který bude obíhat ve formaci s MetOp po slunečně synchronní dráze ve výšce 817 km. Družice poletí přibližně 8 minut před MeOp a bude provádět snímání ve zpětném pohledu, čímž bude zajištěna synergie s nadirovým pozorováním, která provádí přístroje MetOp.

Koncept platformy družice z velké části vychází z vývoje již schválených Earth Explorer misí (ADM Aeolus, EarthCARE), GMES Sentinelů a ostatních národních misí (TerraSAR X, PRISMA, Odin).

Pro družici byly zpracovány dva konstrukční koncepty. Hlavním rozdílem mezi oběma koncepty je upevnění přístrojového vybavení na družici a řešení, které chrání anténu MWLS (Millimetre-Wave Limb Sounder) před přímým vystavením Slunci.

V konceptu A jsou umístěny tři laterální panely, tak aby tvořily podpůrnou strukturu přístrojům na zastíněné straně platformy. Pro ochranu reflektoru přístroje MWLS před Sluncem, jsou použity odnímatelné štíty. Koncept B je založen na tradičním kvádrovém tvaru s přístroji umístěnými na vrchním panelu. Zastínění Slunce je dosaženo pomocí panelů viditelných na pravém horním rohu platformy.

Platformní požadavky na kontrolu teploty nejsou pro její konstrukci klíčové a jsou naplněny standardním pasivním teplotním kontrolním

systémem, který je založen na MLI (Multi-Layer Insulation) a radiátorech.

Pozorovací přístroje IRLS/IRCI (Infra-Red Limb Sounder/Cloud Imager) a MWLS disponují svým vlastním termálním kontrolním zařízením. Ohnisková rovina IRLS/IRCI vyžaduje aktivní chlazení založené na nové generaci Stirlingových chladičů nebo pulzních trubicových chladičích, které jsou nyní ve vývoji v rámci dalších kosmických programů. Termální řízení MWLS vyžaduje dostatečně vyzařující povrch (240 W). Analýzy proveditelnosti těchto systémů budou provedeny v dalších fázích vývoje.

Generování elektrické energie je zajištěno jednorázovým odnímatelným solárním panelem, který rotuje okolo družice, tak aby docházelo k jeho maximálnímu osvětlení. Vyžadovaná energie solárního pole však bude přesahovat 2 kW. Pokryv panelu budou tvořit trojné gallium-arsenidové buňky, které by měly pokrýt plochu 9 – 11 m².

Architektura zpracování dat je založena na jednom redundantním palubním počítači. Pro komunikaci mezi palubním počítačem a vzdálenými terminálovými jednotkami, které tvoří rozhraní s přístrojovým vybavením, jsou využity CAN nebo standardní MIL sběrnice. Sběrnice SpaceWire je předpokládáným řešením rozhraní mezi přístroji a subsystémem PDHT (Payload Data Handling and Transmission), který se skládá z velkokapacitní paměti a sekce pro přenos palubních dat.

Přenos IRLS/IRCI dat v cílovém vzorkovacím rozlišení bude probíhat do jedné pozemské stanice s 512 Gb velkokapacitní paměti a rychlostí přenosu přibližně 260 Mb/s za předpokladu bezztrátové komprese na palubě. Ostatní předpoklady palubního zpracování budou vyžadovat rychlost přenosu dat do pozemní stanice až 520 Mb/s.

| Část družice | Hmotnost (kg) |
|-------------------------------|---------------|
| IRLS/IRCI | 160 – 230 |
| MWLS | 76 |
| Platforma | 310 – 550 |
| Družice (bez vybavení) | 730 – 930 |
| Pohon | 50 – 80 |
| Družice (hmotnost při startu) | 800 – 1000 |

Tab. 35 Hmotnost jednotlivých částí družice

Telemetrické a řídicí funkce jsou implementovány prostřednictvím tradiční architektury s využitím pásma S pro komunikaci. Telemetrický subsystém

bude pracovat při 4 kb/s pro vysílání příkazů na družici a až 256 kb/s pro stahování telemetrických dat

| Část družice | Spotřeba energie (W) |
|------------------|----------------------|
| IRLS/IRCI | 280 – 330 |
| MWLS | 375 |
| Platforma | 1000 – 1100 |
| Nabíjení baterií | 50 – 80 |
| Celkem | 800 – 1000 |

Tab. 36 Spotřeba energie

Tělo družice je na oběžné dráze stabilizováno pomocí tří os. Směrování družice vyžaduje vysokou výkonnost polohových senzorů. Aby byla zachována mezi přístrojová koregistrace, jsou polohové senzory umístěny v blízkosti přístrojů, aby bylo co nejvíce zamezeno termo-elastickým deformacím mezi senzory a přístroji.

Hlavními režimy, ve kterých subsystém AOCS pracuje, jsou tradiční normální, bezpečnostní a kontrolní režim. V normálním režimu jsou jako regulátory polohy využity setrvačnický. V bezpečnostním režimu jsou využívány sluneční senzory pro udržení správné polohy družice vzhledem ke Slunci. V kontrolním režimu jsou při manévrech jako regulátory polohy využity reakční kontrolní motorky.

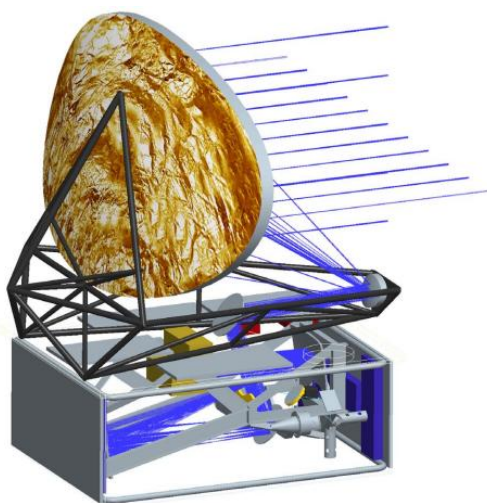
Krátkodobé relativní směrování družice vyžaduje kontrolování mikrovibrací, které vznikají rotací solárního panelu, reakčních kol a chladičů. Během fáze A bude řešen problém minimalizace těchto mikrovibrací.

Údaje o poloze a rychlosti družice bude poskytovat GNSS přijímač.

Pozorovací přístroje

Vybavení družice se skládá ze dvou základních přístrojů – MWLS (Millimetre-Wave Limb Sounder) a IRLS/IRCI (Infra-Red Limb Sounder/Cloud Imager).

Pozorování obou zařízení jsou koregistrované s vysokou přesností. Požadavek 10 m vertikální registrace pixelů IRLS a IRCI vytvořil přesvědčivý důvod pro spojení IRLS a IRCI funkcionalitu v jedno zařízení. Vyžadovaná koregistrace v hodnotě 500 m mezi přístroji MWLS a IRLS/IRCI definuje a optimalizuje návrh přístrojů, který počítá s upevněním zařízení a polohových senzorů v jediné struktuře.

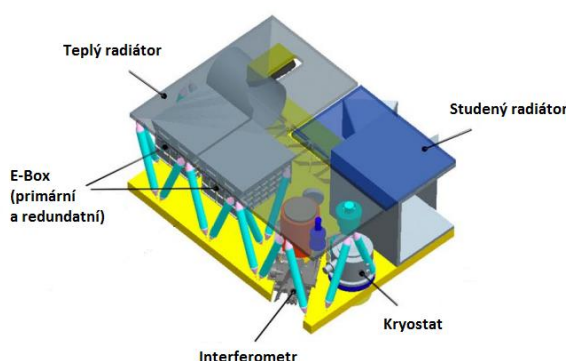


Obr. 44 Zařízení MWLS

MWLS (Millimetre-Wave Limb Sounder) STEAMR

Přístroj MWLS je založen na konceptu STEAMR (Stratosphere-Troposphere Exchange And climate Monitor Radiometer), který byl vyvinut Swedish Space Corporation v rámci švédského národního programu.

Koncept zařízení STEAMR je navržen tak, aby přístroj fungoval ve vertikálním rozlišení 1 – 2 km a horizontálním rozlišení 50 km. Informaci o látkách nacházejících se v UTLS jako vodní pára, ozon a oxid uhelnatý bude přístroj získávat při využití spektrální oblasti 310 – 360 GHz. Koncept měření zařízení STEAMR spočívá v tomografickém multi-paprskovém snímání v podélném směru (limb sounding) k oběžné dráze, k čemuž jsou využívány Schottkyho diodové detektory. Zařízení provádí podélné snímání simultánně ve 14 tečných výškách.



V dřívějších přístrojích byla implementovaná technologie snímání, při níž docházelo k posouvání jediného zorného pole teleskopu s cílem dosáhnout požadovaného výškového pokryvu. Tato technologie však snižuje pokrytí podél trasy kvůli času, který je potřebný pro integraci navráceného signálu. V misi PREMIER již toto omezení nebude díky zavedení ohniskového pole pro širokopásmové přijímače, které umožní pozorování v různých výškách v jednom okamžiku.

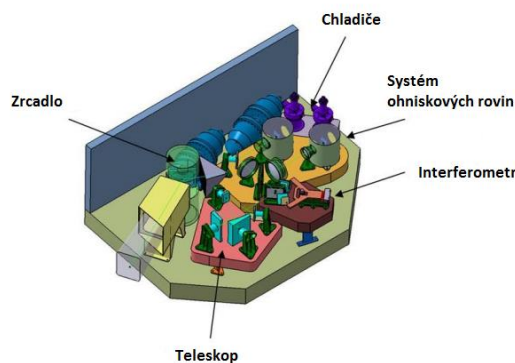
Vertikální pokrytí by mělo začínat v nejnižších pozorovatelných výškách, což je definováno především koncentrací vodních par a pohybuje se okolo 3 km v polárních oblastech až k 7 km v tropech. Vertikální rozsah 22 km bude pokryt čtrnácti paprsky s 1,5 km mezerami pro prvních 12 km a 2 km mezerami ve vyšších částech atmosféry. Rozlišení je určeno jednak velikostí antény a vzdáleností jednotlivých paprsků. Nejvyšší vertikální rozlišení by mělo být dosahováno v pásmu UTLS, a proto byla definována maximální vzdálenost paprsků 1,5 km.

IRLS/IRCI (Infrared Limb Sounder / Cloud Imager)

IRLS/IRCI je zařízení, které měří teplotu a vodní výpar jako funkci výšky. Jde o aktivní zařízení, které vysílá signál a následně snímá echa, které se mu vrátí. Cílem signálu však není zemský povrch jako u radaru ale atmosféra.

Globální pozorování v podélném směru atmosférického infračerveného vyzařování reprezentuje spolehlivý způsob získávání vertikálních profilových údajů o teplotě, množství stopových plynů, aerosolů, oblačnosti, a to jak ve dne, tak v noci.

Předchozí zařízení využívaly teleskopy se



Obr. 45 IRLS /IRCI koncepty opto-mechanického uspořádání

snímkovacími zrcadly nebo jednodimenzionální řádkové detektory k získávání profilové informace atmosférických stopových látek. Tyto přístroje však byly značně omezené v prostorovém rozlišení.

K dosažení kombinace vysokého rozlišení a pozorování více plynů, je nezbytné aby IRLS kombinoval dvou dimensionální řádkovací detektor s Fourierovým transformačním infračerveným spektrometrem (FTIR) pro spektrální oddělení emisí atmosférických stopových složek.

Hlavní výhodou celého konceptu je jeho flexibilita – zařízení IRLS může pracovat ve dvou rozdílných režimech, kterými jsou:

Chemické složení atmosféry – režim vysokého spektrálního rozlišení, optimalizovaný pro pozorování minoritních stopových plynů.

Dynamika atmosféry – režim vysokého prostorového rozlišení, optimalizovaného pro pozorování atmosférické struktury

IRCI musí kontinuálně pořizovat snímky ve vysokém prostorovém rozlišení ve stejném spektrálním rozpětí jako IRLS, ale s nižším spektrálním rozlišením ($10 - 20 \text{ cm}^{-1}$). Spektrální rozsah IRLS pokrývá dvě pásma – pásmo A ($770 - 980 \text{ cm}^{-1}$ nebo $10,2 - 13 \mu\text{m}$) a pásmo B ($1070 - 1650 \text{ cm}^{-1}$, $6,0 - 9,4 \mu\text{m}$). Spektrální rozlišení je $0,2 \text{ cm}^{-1}$ v chemickém a $1,25 \text{ cm}^{-1}$ v dynamickém režimu.

IRLS měří radiaci v podélném směru k oběžné dráze ve vertikálních intervalech po 2 km v chemickém a 0,5 km v dynamickém režimu. Šířka záběru se bude pohybovat mezi 240 a 320 km. Vertikální rozsah snímání bude 48 km.

Fáze realizace

V systémové studii fáze A pro misi PREMIER jsou vytvářeny dvě paralelní studie – AST-F (EADS Astrium France) a TAS-I (Thales Alenia Space Italy).

Systémové studie fáze A se zabývají všemi elementy architektury mise, tedy vesmírným segmentem (platforma a zařízení), pozemním segmentem, operacemi a výzkumem. Zvláštní pozornost je věnována minimalizaci finančních nákladů.

Studie se zabývá zvláště následujícími kritickými aspekty:

- Přístrojem IRLS/IRCI, včetně palubního zpracování

- Formací s MetOp, s jejími dopady na kontrolní systémy pohonu a polohy, zpracování dat a schopností odvodit synergické datové produkty
- Umístěním rozhraní s přístrojem STEAMR

Prezentovaná konfigurace družice potvrzuje velmi limitované možnosti pro start na nosiči VEGA (s ohledem na objem i hmotnost), zatímco využití PSLV, který byl původně vybrán jako záložní nosič, nepředstavuje žádné významné riziko.

Základní část fáze A skončila a oba hlavní dodavatelé zabývají nyní aktivitami, které rozšiřují fázi A. Na konci roku 2012 bude jedna ze tří misí, BIOMASS, CoReH2O nebo PREMIER vybrána pro pokračování do fáze B1, která by měla začít v roce 2013.

V rámci fáze B1 budou prováděny systémové studie již zformovanými konsorciemi. ČR se tak může zapojit do stavby družice, která by měla začít v roce 2014.

Projekty řešené v ČR

Chemickými procesy v atmosféře se v České republice zabývá například Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Ústav chemických procesů AV ČR, Ústav fyziky atmosféry AV ČR nebo ČHMÚ.

V současné době je v ČR řešen projekt, ve kterém jsou zkoumány dlouhodobé změny od dolní stratosféry po horní termosféru a ionosféru. Cílem tohoto projektu, který řeší Ústav fyziky atmosféry AV ČR je kvantifikace role jednotlivých faktorů způsobujících trendy v dlouhodobém vývoji.

Na stejném pracovišti je rovněž řešen projekt na dynamické vazby mezi magnetosférou, ionosférou a troposférou a jejich vliv na proměnlivost ionosféry. Cílem tohoto projektu je provést kvantitativní a kvalitativní analýzu dynamických vazeb mezi sférami a vlivů na proměnlivost ionosféry, způsobenou magnetickými poruchami a akusticko-gravitačními vlnami, a to nad středními šířkami severní a jižní polokoule. Data pro tyto analýzy budou získávána z kombinovaného měřicího systému – dopplerovská, ionosondová a GPS měření. Získané poznatky by měly vést k poskytování přesnějších informací o stavu ionosféry a z přesnění mezinárodních ionosférických modelů.

V současné době Ústav fyziky atmosféry rovněž řeší vliv sluneční aktivity na horní atmosféru Země.

Cílem je zpřesnit určení role sluneční aktivity na změnu klimatu.

V minulosti se Ústav fyzikální chemie Jaroslava Heyrovského AV ČR společně s Ústavem termomechaniky AV ČR zabývaly vlivem atmosférické chemie na horní troposféru a to prostřednictvím simulace ve větrném tunelu a simulace v aerodynamickém tunelu.

Na fakultě chemicko-inženýrské Vysoké školy chemicko-technologické v Praze byl rovněž řešen projekt, ve kterém bylo zkoumáno využití údajů a modelovacích procedur pro horní troposféru a dolní stratosféru.

Vzhledem k množství aplikací, které jsou v ČR řešeny v oblasti výzkumu atmosféry, by data mise PREMIER na našem území jistě našla své uplatnění, a to jak při sledování složení atmosféry, tak při kvantifikaci procesů, které ovlivňují prostorové rozložení chemických látek v atmosféře a kvantifikaci procesů atmosférického transportu a vztahů mezi dynamikou atmosféry a klimatem.

FLEX

FLUORESCENCE EXPLORER

Účel

Pokud bude družice FLEX vybrána ze dvou navrhovaných družic pro misi Earth Explorer 8, bude její start plánován na rok 2019. Pozorování této mise budou sloužit k vytvoření globální mapy fluorescence vegetace, která může být přeměněna na ukazatel fotosyntetické aktivity. Tyto údaje by měly zlepšit přehled o množství uhlíku uloženého v rostlinách a jeho roli v cyklu uhlíku a vody. Družice poletí v tandemu se Sentinelem 3.

Odhad ceny činí od 93 do 108 milionů euro pro vesmírný segment a adaptaci pozemního segmentu. Náklady na fázi A/B1 pro obě družice se pohybují okolo částky 17 milionů euro.

Kvantifikace množství světla, které je absorbováno vegetací v oblasti PAR (Photosynthetic Active Radiation) je podmínkou pro určování množství uhlíku zadržovaného vegetací díky fotosyntéze. I když, ne všechno absorbované světlo je využito na asimilaci uhlíku při fotosyntéze. Rostliny na základě klimatických a environmentálních podmínek regulují svoje interní fyziologické procesy. Za optimálních podmínek je 80 % absorbovaného světla využito na fotosyntézu. Tato hodnota je však velmi variabilní a to v rozsahu od 0 % až k 80 %, což závisí na dostupnosti vody, živin, nadbytku světla a dalších podmínkách. Vzniká zde tedy potřeba monitoringu aktuálního využití světla pro fotosyntézu a jeho prostorová a časová variabilita. Část světla, která není využita k fotosyntéze, je znovu vyzařena jako fluorescence.

Díky pozorování fluorescenčních emisí lze kvantifikovat, jak je světlo rostlinami využíváno. Tento přístup, který byl dříve praktikován rostlinnými fyziology při pozemním výzkumu, je nyní možné provádět z vesmíru.

Cílem mise FLEX je kvantifikace fotosyntetické efektivity pozemských ekosystémů v globálním měřítku. V rámci mise budou jako primární produkt tvořeny globální mapy vegetačních fluorescenčních emisí. Tento produkt může být poté konvertován na hodnoty fotosyntetické efektivity pomocí dalších dodatečných měření, z nichž některé zajišťuje rovněž FLEX (ta, která musí být měřena simultánně s fluorescencí).

Prostřednictvím výzkumu fluorescence vegetace mohou tvůrci modelů a jejich uživatelé analyzovat a monitorovat dynamiku vegetace v podmínkách měnícího se životního prostředí. V rámci mise budou rovněž měřeny ostatní indikátory stavu vegetačního pokryvu jako například teplota vegetace a PRI. Předpokládá se, že data mise FLEX budou využitelná v různých aplikacích, příkladem může být odvození nového vegetačního indexu jako zástupce efektivity využití světla nebo přímá asimilace fluorescence do dynamických vegetačních modelů.

Kromě primárních cílů byly stanoveny také dva sekundární cíle, které mají přispět k objasnění zemských dynamických procesů. Těmito cíly jsou lepší pochopení role vegetace ve vodním cyklu a globální monitoring zdravotního stavu vegetace.

Pozemské ekosystémy hrají důležitou roli v regulaci výměny vodních par mezi pevninou a atmosférou, čímž je ovlivňován hydrologický cyklus. Jedním ze vznikajících vědních oborů je tzv. ekohydrologie, která hledá souvislost mezi geobiosférickými a atmosférickými procesy. Jedním důležitým aspektem je zdokonalení předpovědní schopnosti modelů globálního uhlíkového cyklu díky parametrizaci kauzálních vztahů a odezev v podmínkách prostředí a fotosyntézy vegetačního pokryvu s explicitním propojením uhlíkových a vodních proudů mezi zemským povrchem a atmosférou.

Globální monitorování podmínek zdravotního stavu vegetace je nezbytné pro zpřesňování dynamických vegetačních modelů, jak ve fotosyntetické aktivitě a asimilaci uhlíku, tak v transpiraci vody a regulaci výměny vody mezi zemským povrchem a atmosférou. V současné době je vegetační stres v numerických modelech popsán jen z části, protože dosud nebyla dostupná pozorování pro odvození potřebných parametrů.

FLEX bude popisovat přímé indikátory zdraví vegetace, které budou využity pro získání kvantifikovaných hodnot stresových podmínek. Potenciální schopnost fluorescence být senzitivní na stres v rané fázi ještě dříve, než je poškození neodvratné, je hlavním aspektem, který by měl být zvažován v rámci pozorování misí FLEX, protože

změny v odrazivosti mohou být informativní pouze v pozdních stádiích, nebo při dramatických změnách. To může být paralelou k úsilí rostlinných biologů a agronomů o optimalizaci rostlinné výroby v měnícím se klimatu a zároveň o minimalizaci degradace půdy a vodních zdrojů.

Popis družice

| Řešitel | Zadání |
|--|--|
| Astrium (Francie), Institut Fresnel (Francie), Horiba Jobin-Yvon (Francie), Lidar Technologies (Británie) SSTL (Británie), Lidar Technologies (Británie) | FIS (hodnocení studie proveditelnosti) |
| Universidad de Valencia, Španělsko | Analýza výkonu FLEX a konsolidace požadavků + CCN |
| Universitá de Bologna, Itálie | Hodnocení fotosyntézy vegetace prostřednictvím pozorování Sluncem vyvolané fluorescence |
| GFZ Postdam, Německo | Atmosférické korekce pro získaný fluorescenční signál |
| ABSL Power Solutions Ltd, Británie | Přístrojová technologie pro fluorescenci |
| Astrium, Francie +SSTL, Británie | Studie proveditelnosti fluorescenčního snímkovacího spektrometru |
| Freie Universität Berlin, Německo | Atmosférické korekce pro získávání fluorescenčního signálu pro demonstraci mise na oběžné dráze včetně CCN atmosférické charakterizace |
| SSTL, Británie + Horiba Jobin Yvon, Francie | Technologie vnořených mřížek pro kompaktní optickou spektroskopii s vysokým rozlišením v infračerveném pásmu |

Tab. 37 Řešitelé mise FLEX

Konstrukce a systémy

Vesmírný segment se skládá z jediné družice na blízké polární slunečně synchronní oběžné dráze. Pro misi byly definovány dvě vhodné oběžné dráhy s výškou v rozsahu 606 – 651 km.

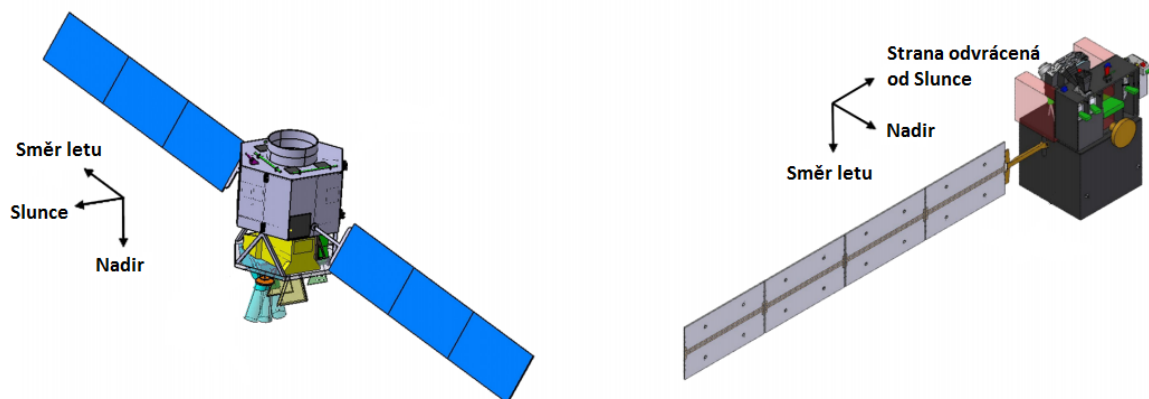
Hmotnost družice se při startu bude pohybovat v rozmezí 1000 – 1200 kg a spotřeba energie bude přibližně 1,1 kW. Stálá rychlost přenosu dat bude nejméně 330 Mb/s. Využití palubní komprese dat umožní stahování palubních dat do jediné pozemní stanice v pásmu X. Nosičem, který by měl vynést družici na oběžnou dráhu je VEGA. Družice je však také kompatibilní se záložními nosiči Rokot a PSLV.

Platforma využívá k udržování teploty ohříváče a pasivní prostředky, jako černě zbarvené zdi, vícevrstvou izolaci (MLI – Multi-Layer Insulation), radiátory umístěné čelem do vesmíru, které kontrolují teplotu v rozsahu -22 – (+50) °C. Modul s přístroji je tepelně oddělen od platformy a je závislý na pasivních i aktivních mechanismech.

Pasivní technologie omezují teplotní gradient na úrovni jednotlivých přístrojů s cílem minimalizovat termoplastickou distorzi. Termální řízení přístroje FIS rovněž závisí na pasivních technologiích, které zaručují stabilní teplotu v rozsahu 15 – 25 °C. Ostatní přístroje závisí na pasivních i aktivních ochlazovacích v závislosti na navržených konceptech.

Generování elektrické energie je založeno na dvou GaAs odnímatelných křídlech solárních panelů, které mají buď pevnou polohu či rotují, a které průměrně vytváří energii 1560 W. Solární panel bude mít maximální velikost 14 m². Uložení energie je zajišťují Li-on baterie s kapacitou 140 Ah. Distribuce energie je založena na architektuře MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Pohonný subsystém zajišťuje kontrolu oběžné dráhy, opuštění oběžné dráhy a v jednom konceptu rovněž kontrolu polohy. Skládá se ze standardního hydrazinového jedno pohonného systému, využívajícího jednu centrální nádrž, která je držena pod tlakem heliem. Telemetrické funkce jsou implementovány standardní architekturou využívající pásmo S, redundantní transpondér a dvě isofluxní konicko-spirálovité antény, umístěné na nadírovém a antinadírovém panelu platformy. Subsystém dosahuje rychlosti přenosu telemetrických na družici 2 kb/s a rychlosti přenosu do pozemní stanice 8 kb/s.



Obr. 46 Koncepty A a B konstrukce družice FLEX

Přístroje pořizují data pouze během osvětlení oběžné dráhy nad pevninskými oblastmi v rozmezí 56° a 75° zeměpisní šířky.

FLEX bude využívat konvenční platformu, jejíž strukturu tvoří centrální válec z plastu vyztuženého uhlíkovými vlákny CFRP (Carbon-Fibre Reinforced Plastic). Externí hliníkové sandwichové panely platformy jsou spojeny s centrálním válcem množstvím sdílených panelů. Vrchní a spodní panel uzavírají celou strukturu a tím posilují celkovou pevnost konstrukce. Modul s přístrojovým vybavením je připevněn k platformě prostřednictvím podpěr z uhlíkových vláken, které zajišťují izostatické upevnění tohoto modulu.

Pro konstrukce družice jsou navrženy dvě základní konfigurace:

Koncept A – modul přístrojového vybavení je umístěn na nadírovém panelu a jsou zde využity dva solární panely

Koncept B – modul přístrojového vybavení je umístěn na panelu kolmém ke směru letu a je zde použit jediný odnímatelný rotující solární panel

Koncept A je využívá na pevné a ploché základny, kde jsou upevněné přístroje FIS a TIR. FIS se nachází na anti-nadírové straně, zatímco TIR je umístěn na straně nadírové. SWIR a VNIR přístroje včetně ONI kanálů jsou připevněny na desce z uhlíkových vláken, která se nachází kolmo k základní desce. MLI pokrývá modul přístrojového vybavení i přístroje. Vzpěry z karbonových vláken tvoří izostaticky a termálně oddělené upevnění modulu přístrojového vybavení na vrchní části platformy. Toto umístění minimalizuje termo-elastickou distorzi, která přímo ovlivňuje koregistraci přístroje.

Koncept B je založen na složitějším typu struktury plástvových kompozitních panelů z uhlíkových vláken. Přístroj FIS je umístěn uprostřed, zatímco tři TIR kamery jsou upevněny na obou stranách přístroje FIS. Přístroj VNIR/SWIR je umístěn na straně odvrácené od Slunce, tak aby bylo umožněno pasivní termální řízení přístroje.

| Část družice | Hmotnost (kg) |
|-------------------------------|---------------|
| FIS | 155 – 185 |
| TIR, VNIR, SWIR a ONI | 140 – 160 |
| Platforma | 600 – 760 |
| Družice (bez vybavení) | 920 – 1100 |
| Pohon | 50 – 60 |
| Družice (hmotnost při startu) | 1000 – 1200 |

Tab. 38 Hmotnost jednotlivých částí družice

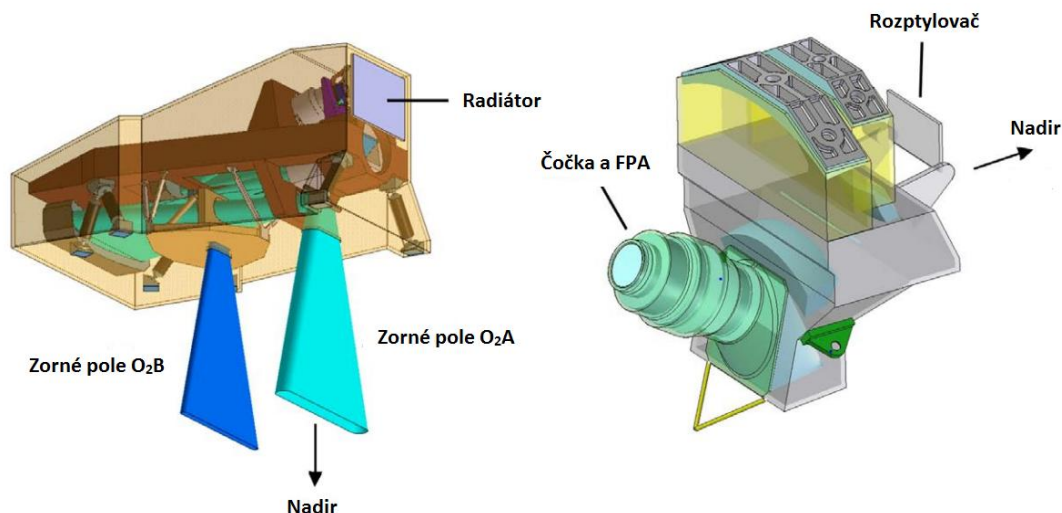
| Část družice | Spotřeba energie (W) |
|----------------------|----------------------|
| Přístrojové vybavení | 410 – 350 |
| Platforma | 710 – 750 |
| Celkem | 1100 |

Tab. 39 Spotřeba energie

Pro družici jsou zvažovány dvě navržené kandidátní platformy – Myriade a SSTL-150 (Rapid Eye).

Mise by měla trvat minimálně 3,5 roku, tak aby pokryla minimálně 3 vegetační cykly, cílem je však dosáhnout 5 let.

Rozvrh počítá s 12 měsíci na fázi A/B1, 12 měsíci na fázi B2 a 36 měsíci na fázi C/D.



Obr. 47 Koncepty A (vlevo) a B (vpravo) zařízení FIS

Mise Flex nevyžaduje vysokou výkonnost systému udržování polohy díky ne příliš vysokému prostorovému rozlišení. Detektory polohy hvězd jsou připevněny k podpurné struktuře přístroje z důvodu snížení chyb mechanické distorze. Systém udržování polohy obsahuje setrvačníky s hybností 40 Nms a reakční řídicí motorky. Údaje o poloze jsou poskytovány GNSS senzorem. Subsystém využívá 3 operační automatické režimy:

- Nouzový režim pro LEOP (Launch and Early Operations Phase) a přesné zaměření Země při mimořádných událostech
- Normální režim pro stabilní ovládání operací přístrojového vybavení
- Kontrolní režim pro kontrolu polohy družice během manévru

Pozorovací přístroje

FIS – Fluorescence Imaging Spectrometer

FIS je hlavním pozorovacím přístrojem na palubě mise Flex. Výzvou tohoto přístroje je velká šířka záběru, kterou je zajištěno globální pokrytí při současně vysokém spektrálním rozlišení.

Spektrometr bude operovat v řádkovacím režimu s šířkou záběru 100 až 150 km a velikostí pixelu 300 m. Spektrometr získává data v pásmech O₂-A (750-777 nm), O₂-B (660-714 nm), red edge (714 – 750 nm) a PRI (520-660 nm) při spektrálním rozlišení 0,1 nm v pásmech O₂ a 0,5 – 2 nm v red edge a PRI pásmech.

Architektura přístroje je konvenční a velmi podobná pro oba koncepty (A i B). Teleskop snímkuje Zemi vstupní štěrbinou spektrometru. Spektrometr se skládá z kolimátoru přijímajícího světlo ze štěrbinu, difrakční mřížky a snímací optiky, která získává spektrálně rozptýlený paprsek z mřížky a zachycuje světlo na dvoudimenzionálním řádkovém detektoru.

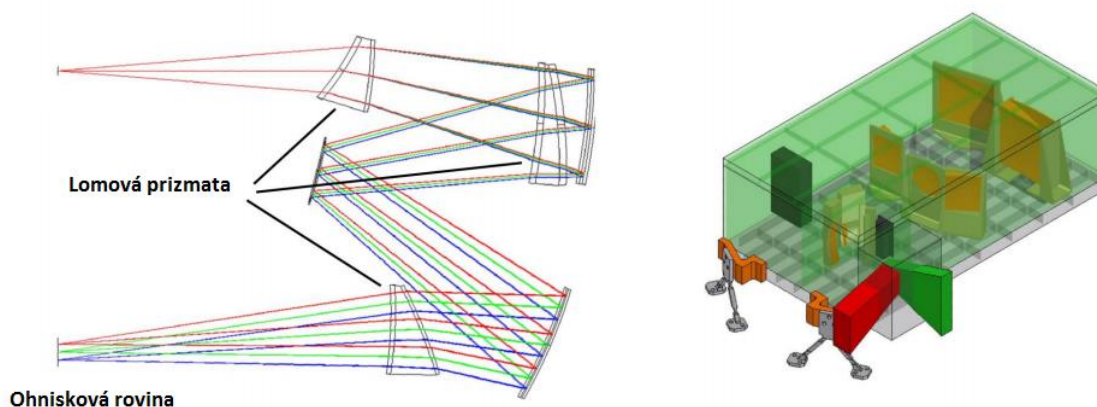
Ve spektrometru je implementován polarizační šifrovač pro redukci citlivosti přístroje na polarizaci atmosférického zpětně rozptýleného signálu.

Pro ohniskovou rovinu byly shledány vhodnými dvě technologie CCD a CMOS. Pro udržení snímací kapacity je nutná velikost pixelu větší než 50 μ m.

Přístroj bude schopen operovat ve dvou režimech: nadirový režim a otáčecí pozorovací režim. Druhý způsob je navrhnout pro snímání specifických oblastí za účelem zlepšení oddělení signálu od šumu.

VNIR (Visible/Near-Infrared Imaging Spectrometer)

Spektrometr VNIR disponuje kontinuálním spektrálním pokrytím od 450 nm do 1000 nm ve spektrálním rozlišení 5 nm. Díky těmto vlastnostem může být využit k poskytování informace o obsahu chlorofylu ve vegetačním pokryvu a dalších biofyzikálních parametrech. Zároveň přístroj bude sloužit pro atmosférické korekce přístroje FIS i ostatních palubních přístrojů. Hlavním úkolem přístroje je normalizace fluorescenčního měření celkovým slunečním zářením absorbovaným vegetací s cílem výpočtu fluorescenční účinnosti. Rovněž ale bude poskytovat dodatečnou informaci



Obr. 48 VNIR spektrometr – optické (vlevo) a mechanické (vpravo), uspořádání konceptu B

o stavu vegetace, která je nezbytná pro interpretaci měřených úrovní fluorescence.

Typy informací, které bude VNIR spektrometr poskytovat lze shrnout do tří kategorií – atmosférické korekce, celkové množství absorbovaného světla, dodatečná informace o stavu vegetace.

SWIR (Short Wave Infrared Imager)

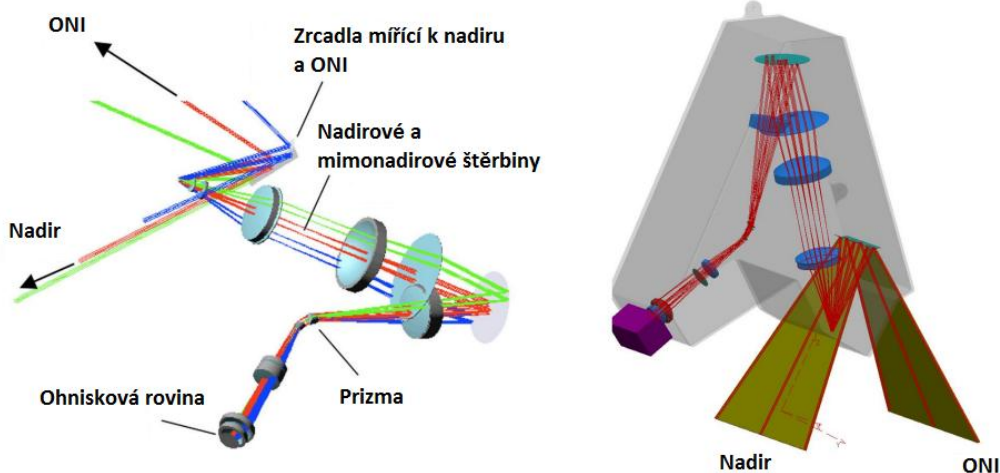
Toto zařízení bude částečně sloužit jednak k identifikaci řasové oblačnosti, která je základem pro přesné odvození fluorescence, ale i k odhadování obsahu mokré a suché hmoty v rostlinách a oddělení nefotosyntetického materiálu od zelené komponenty vegetace a odvozování optické tloušťky a typů aerosolů.

Podíl signálu a šumu SWIR kanálu je řízen aplikací, pro kterou je kanál určen. V případě kanálu pro detekci řasové oblačnosti by se tento podíl měl

pohybovat okolo hodnoty 50. Pro kanály určené k snímání nefotosyntetického komponenty vegetace jsou vyhovující hodnoty od 150 do 200. SWIR zařízení může být řešeno jako samostatný přístroj (koncept A) nebo jako přístroj integrovaný zároveň s VNIR spektrometrem (koncept B).

V konceptu A figurují dva spektrometry operující v řádkovém režimu, které pokrývají odděleně VNIR a SWIR spektrální kanály. Způsob snímání je implementován pomocí dodatečné mimoosové štěrbině, která je vychýlena o 50°. Podobně jako ve FIS je pole detektorů umístěno na snímací rovině, která přijímá rozptýlené spektrum. Jediné ohniskové pole přijímá spektrum ze dvou směrů. Základní detektory VNIR a SWIR spektrometrů jsou CCD operující při pokojové teplotě.

V konceptu B je rozsah VNIR spektrometru rozšířen do 2,2 μm , tak aby pokryl i SWIR spektrální kanály. Hyperspektrální data jsou produkována v oblasti VNIR, zatímco ve SWIR pásmu je přenášeno pouze



Obr. 49 VNIR spektrometr – optické (vlevo) a mechanické (vpravo), uspořádání konceptu A

šest kanálů. Koncept počítá také s implementací spektrálních kanálů zařízení ONI. Přístroj je adaptací spektrometru CHRIS, který funguje na platformě Proba. Zařízení bude pasivně chlazeno na 170 K.

ONI (Off-nadir Imager)

ONI je přístroj, který bude primárně využíván společně s VNIR a SWIR přístroji k odhadování optické tloušťky aerosolů. Měl by být schopen snímat minimálně ve třech spektrálních pásmech, a to optimálně ve 450, 660, 1665 nm.

TIR – Thermal Infrared Imager

Fluorescenční úrovně a fotosyntetické procesy jsou ovlivňovány teplotou listů. Z toho důvodu je informace o teplotě vegetačního pokryvu nezbytná pro správnou interpretaci těchto úrovní a pro zjištění teplotní závislosti ve fotochemických procesech a asimilaci uhlíku. Pro získávání teplotní informace jsou ustanoveny čtyři spektrální kanály, které budou snímat v pásmu 8,5 μm – 12,0 μm . Všechny kanály budou pracovat v prostorovém rozlišení 300 m.

Pro konstrukci tohoto zařízení jsou navrženy dva koncepty, které jsou založeny na odlišných principech pořizování dat.

Hmotnost zařízení se bude pohybovat mezi 55 a 75 kg. Rozsah rychlosti datového přenosu pak od 1,5 do 2,1 Mb/s v závislosti na použitém konceptu.

V konceptu A je navrženo zařízení s jedním bodovým snímačem, které pokrývá zrcadlem úhel 45°. Teleskop má malé zorné pole umístěné ve

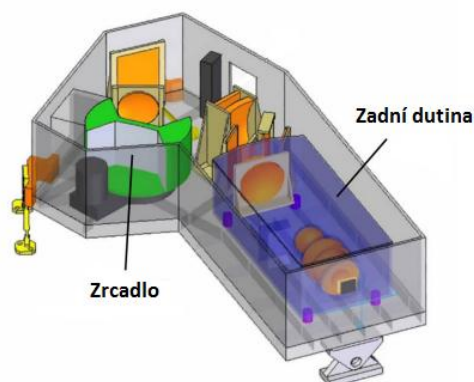
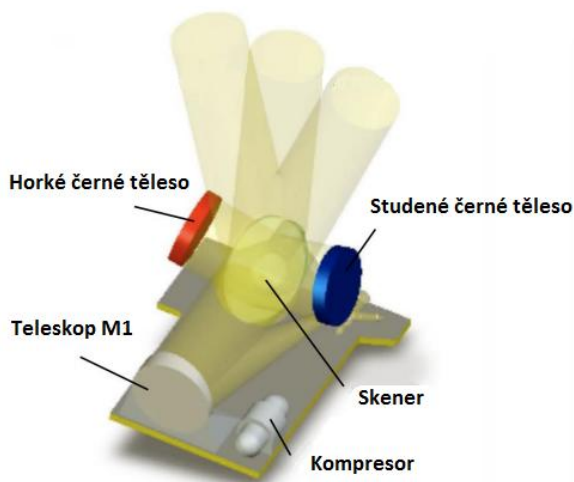
směru oběžné dráhy, které pokryje oblast 32 pixelů. Za prvním ohniskem teleskopu odděluje dichroická rovina čtyři spektrální kanály do dvou skupin po dvou. Tyto skupiny jsou dále rozděleny interferenčními filtry umístěnými přímo před dvěma liniemi 32 detektorových elementů.

Zařízení je v konceptu B lineárním spektrometrem. Šířka záběru je rozdělena mezi tři identické kamery. Každá kamera přijímá záření, odrážené zrcadlem přes jednoduchý systém složených čoček. Systém čoček formuje primární obraz scény pomocí sady čtyř pásových interferenčních filtrů na vstupu do zadní dutiny zařízení. Předtím než paprsek dorazí k filtrům, je rozdělen na dichroickém rozdělovači, tak aby byly zformovány dva oddělené obrazy stejného území. Čtyři interferenční filtry odpovídají požadovaným spektrálním kanálům TIR.

Fáze realizace

Proces výběru kandidátních misí pro další vývoj v rámci Earth Explorer – 8 byl uzavřen na konci listopadu 2010. Na zasedání PB-EO byly schváleny dvě mise – CarbonSat a FLEX, a to pro studie fáze A/B1. Po ukončení těchto studií budou dvě kandidátní mise znovu prezentovány uživatelské komunitě na User Consultation Meeting. Po zhodnocení ESAC (Earth Science Advisory Committee) bude v roce 2014 vybrána mise pro implementaci a start v časovém rámci 2018/2019.

Systémové studie fáze A/B1 tvoří páteř příprav fáze A/B1. Každá systémová studie je organizována do tří částí. První část trvající do šesti měsíců se zabývá



Obr. 50 Koncept A (vlevo) a B (vpravo) zařízení TIR

analýzou požadavků, definováním možností systémového konceptu, předběžnými analýzami a definováním aktivit a výběru technologických možností. Rovněž jsou definovány modely pro použití simulátorů chodu od počátku mise do jejího konce.

Druhá část trvající rovněž do šesti měsíců zahrnuje detailní analýzu a definici technických základů. Všechny elementy (vesmírný a pozemní segment, operace a výzkum) mise jsou zde za podpory odpovídající analýzy definovány na úrovni vyžadované pro schválení proveditelnosti a vyhodnocení odhadů nákladů. Druhá část skončí schválením všech PRR (Preliminary Requirements Review) výsledků.

Třetí část studie začíná po PRR a je ukončena formálním ISRR (Intermediate System Requirement Review). Cílem části B1 fáze A/B1 je detailní řešení technických a programových definic systému, konsolidace technické systémové specifikace a odvození technických specifikací družice včetně všech hlavních subsystémů. Rovněž byl předložen plán implementace programu, který podrobně definuje výrobní přístup pro následující vývojové fáze.

Kromě systémových studií jsou během fáze A/B1 realizovány různé podpůrné aktivity v souladu s potřebami každé mise s ohledem na doporučení ESAC, jmenovitě:

- Vědecké studie vyžadují plné definování požadavků pozorování. Za základní jsou považovány simulátory mise od jejího počátku do konce. Jejich vývoj a využití pro podporu optimalizace požadavků pozorování jsou realizovány pro každou misi. V tomto rámci je dána ke zvážení definice datových produktů a s tím spojených přístupů ke zpracování dat. Základní požadavky simulátoru jsou definovány pro každou misi včetně požadavků, které jsou relevantní pro modely vyvinuté v kontextu jiných aktivit pro pozdější integraci v simulátoru. Vývoj simulátorů je založen na běžné softwarové infrastruktuře, kterou poskytuje ESA jako plně vybavenou součást pro vývojáře simulátoru.
- Studie podpory systému (vesmírného i pozemního) pro definování jednotlivých problémů
- Aktivity definování a předvývoje technologií (vesmírného i pozemního

segmentu), včetně úzké spolupráce s vhodnými programy pro vývoj technologií ESA.

- Kampaně pro podporu vývoje konceptů misí, verifikace pozorování a požadavků na výkon, simulace datových produktů a hodnocení snímacích metod. Podpůrné vědecké a technické aktivity pro kandidáty misí FLEX a Carbonsat již byly předběžně definovány.

Hlavním nosičem pro Earth Explorer 8 je VEGA, ačkoliv ani FLEX ani Carbonsat nemohou využít jeho plné hmotnostní kapacity (na oběžnou dráhu může vynést více než jednu tunu). V nedávných diskuzích s NASA o společných misích byla zvážena možnost využít zbytkovou kapacitu VEGA k umístění dodatečného zařízení. Tato možnost se může stát předmětem výzkumu v rané části fáze A. Tato příležitost bude realizována bez vlivu na výběr Earth Explorer 8.

Jedna ze systémových studií mise FLEX fáze A/B1 byla přidělena konsorciu vedenému AST-F, které dále zahrnuje AST-UK, CRISA (Španělsko), SSTL (Británie), GMV (Španělsko), Jobin Yvon (Francie), Schott Yverdon (Švýcarsko), SENER (Španělsko), Fraunhofer Institute IOF (Německo), VEGA (Německo), SAS (Belgie), SODERN (Francie). Studie byla úspěšně zveřejněna v půli prosince 2011.

Členy konsorcia pro druhou paralelní studii, vedenou TAS-F jsou SELEX Galileo (IT), Thales Alenia Space Italy (IT), Thales Alenia Space Spain (E), Deimos (E) a SciSys (UK).

Práce na obou systémových studiích byly započaty v roce 2012.

Vzhledem k tomu, že konsorcia pro systémové studie jsou již stanovena, může se ČR v budoucnu zapojit do vlastní stavby družice, která by měla začít přibližně v roce 2015.

Projekty řešené v ČR

Data pořízená v rámci mise FLEX by v České republice mohl využít například Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR (Profesor Martin Hof, Dr. rer. nat., DSc., se zabývá novými metodami fluorescenčními technikami a jejich aplikaci v biologických vědách) nebo Centrum výzkumu globální změny AV ČR.

V ČR byl v minulosti v Biologickém centru AV ČR řešen projekt na studium fotosyntézy pomocí interference koherentního záření. Při řešení

projektu bylo cílem zkoumání účinnosti nefotochemických procesů záznamem interferogramu a kinetiky indukované fluorescence. Tímto způsobem byl kvantifikován vývoj tepla, vznik CO_2 , spotřeba CO_2 během světelné fáze fotosyntézy a rovněž byla monitorována dynamika tloušťky listu a stonku.

Dalším projektem se zabývalo Centrum výzkumu globální změny AV ČR. Jednalo se o návrh Integrovaného systému pro pozorování uhlíku, který by měl být počátkem vytvoření evropské sítě pro standardizované sledování atmosférických koncentrací skleníkových plynů. Tato měření umožní denní hodnocení oblastí zdrojů a poklesů těchto plynů v rozlišení přibližně 10 km.

CARBONSAT

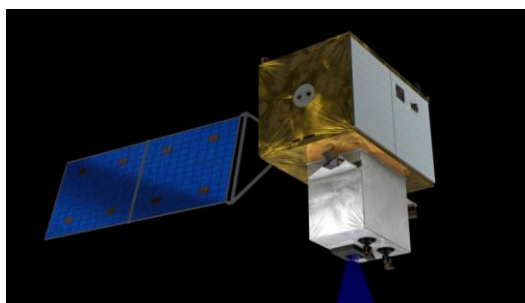
CARBON MONITORING SATELLITE

Účel

Pokud bude družice CarbonSat vybrána ze dvou navrhovaných družic pro misi Earth Explorer 8, bude její start plánován na rok 2019. Náklady na fázi A/B1 pro obě družice se pohybují okolo částky 17 milionů euro.

Cílem mise, která má trvat 5 let, je sledování a kvantifikace rozložení dvou z nejvýznamnějších skleníkových plynů v atmosféře vypouštěných v důsledku lidské činnosti – oxidu uhličitého (CO_2) a metanu (CH_4). Data z této mise by měla vést k lepšímu pochopení zdrojů a rozložení těchto dvou plynů, a jejich propojení se změnou klimatu.

Oxid uhličitý a metan jsou dva nejdůležitější skleníkové plyny produkované antropogenními a přírodními zdroji do atmosféry. Stále však existují velké nejasnosti ohledně lokalizace jejich zdrojů a poklesů, a právě družicová měření s globálním pokrytím pomohou k vyplnění těchto mezer. V komplexním programovém a technickém zhodnocení vybrala ESA z přibližně třiceti návrhů mise FLEX a Carbonsat pro postup do fáze A. Obě se zabývají problémy klimatických změn a změn životního prostředí. Carbonsat umožňuje globální měření atmosférických koncentrací CO_2 a CH_4 v prostorovém rozlišení 2×2 km při šířce záběru 500 km. Carbonsat bude schopen detekovat emise CO_2 větších měst, ale také sopek a velkých lesních či rašelinných požárů. Podobně pozorování emisí metanu odhalí zdroje, jako jsou velké skládky, průmyslové závody na zpracování zemního plynu a ropy, tající permafrost nebo mořské prosakování hydrátu metanu. Data Carbonsatu jsou základem pro koncepty inverzního modelování kvantifikace dynamických zdrojů a poklesů těchto dvou skleníkových plynů. Mise by se mohla také stát důležitým nástrojem pro monitorování a verifikaci emisí skleníkových plynů v kontextu mezinárodních klimatických dohod. Kombinací dat misí FLEX a Carbonsat bude možné rozlišit antropogenní a přírodní zdroje emisí pro tvorbu detailních map a zpřesnění stávajících modelů.



Obr. 51 Družice CarbonSat

Hlavními cíli mise jsou kvantifikace magnitud a prostorového a časového rozložení zdrojů a poklesů CO_2 a CH_4 od regionálního po suburbánní měřítko, identifikace absorpčních mechanismů CO_2 v pozemské biosféře a oceánech a určení reakce zdrojů a poklesů CO_2 a CH_4 na změnu klimatu.

Popis družice

| Řešitel | Zadání |
|---|---|
| SSTL, Británie + Horiba Jobin Yvon, Francie | Technologie vnořených mřížek pro optickou spektroskopii s kompaktním vysokým rozlišením v blízkém infračerveném pásmu |
| Sodem, Francie | Konstrukční základna elektroniky pro polarizační šifrovač Sentinelu 4 |
| Sofradir, Francie | Panchromatický detektor příští generace |
| E2V, Británie | Konstrukční základna pro elektroniku CCD detektoru pro Sentinel 4 |

Tab. 40 Řešitelé mise Carbonsat

Konstrukce a systémy

Mise se skládá z jedné družice stabilizované ve třech osách, která směřuje k nadiru. Tato družice bude nominálně obíhat Zemi ve volné formaci se Sentinelem 3. Družice bude kompatibilní s raketou VEGA.

Pozemní segment se bude skládat z FOS a PDGS. Jediná pozemní stanice ve vysokých zeměpisných šířkách postačí ke stahování nezpracovaných přístrojových dat s pomocí přenosného systému využívajícího pásma X.

Pozorovací přístroje

GHGIS (Green House Gases Imaging Spectrometer)

Spektrometr GHGIS operuje v řádkovém režimu s šířkou záběru 500 km a velikostí pixelů 2 km, čímž je schopen dosáhnout globálního pokrytí během šesti dnů. Zařízení získává data ve třech spektrálních pásmech – NIR (753-773 nm) s rozlišením 0,045 nm, SWIR1 (1559-1675 nm) s rozlišením 0,30 nm a SWIR2 (2043-2095 nm) s rozlišením 0,13 nm. Přístroj využívá konceptu jedné štěrbiny s využitím vnořených mřížek. Detekční jednotky jsou založeny na hybridních CMOS detektorech. Polarizační šifrovač (měnič bitového sledu) pomáhá minimalizovat citlivost přístroje na dopadající světelnou polarizaci.

CAI (Cloud and Aerosol Imager)

Jedná se o multispektrální snímací zařízení operující v řádkovém režimu s šířkou záběru 530 km a velikostí pixelu 0,5 km. Přístroj bude snímat ve čtyřech kanálech spektrálně lokalizovaných na 380, 675, 870 a 1625 nm. Šířka pásma 20 nm je zajištěna pro VIS/NIR pásma a šířka 10 nm pro SWIR pásmo. Všechny 4 kanály jsou zabezpečeny pouze jediným detektorem, který integruje jednocelové pásmové filtry.

Fáze realizace

Proces výběru kandidátních misí pro další vývoj v rámci Earth Explorer – 8 byl uzavřen na konci listopadu 2010. Na zasedání PB-EO byly schváleny dvě mise – CarbonSat a FLEX, a to pro studie fáze A/B1. Po ukončení těchto studií budou dvě kandidátní mise znovu prezentovány uživatelské komunitě na User Consultation Meeting. Po zhodnocení ESAC (Earth Science Advisory

Committee) bude v roce 2014 vybrána mise pro implementaci a start v časovém rámci 2018/2019.

Systémové studie fáze A/B1 tvoří páteř příprav fáze A/B1. Každá systémová studie je organizována do tří částí. První část trvající do šesti měsíců se zabývá analýzou požadavků, definováním možnosti systémového konceptu, předběžnými analýzami a definováním aktivit a výběru technologických možností. Rovněž jsou definovány modely pro použití simulátorů chodu od počátku mise do jejího konce.

Druhá část trvající rovněž do šesti měsíců zahrnuje detailní analýzu a definici technických základů. Všechny elementy (vesmírný a pozemní segment, operace a výzkum) mise jsou zde za podpory odpovídající analýzy definovány na úrovni vyžadované pro schválení proveditelnosti a vyhodnocení odhadů nákladů. Druhá část skončí schválením všech PRR (Preliminary Requirements Review) výsledků.

Třetí část studie začíná po PRR a je ukončena formálním ISRR (Intermediate System Requirement Review). Cílem části B1 fáze A/B1 je detailní řešení technických a programových definic systému, konsolidace technické systémové specifikace a odvození technických specifikací družice včetně všech hlavních subsystémů. Rovněž byl předložen plán implementace programu, který podrobně definuje výrobní přístup pro následující vývojové fáze.

Kromě systémových studií jsou během fáze A/B1 realizovány různé podpůrné aktivity v souladu s potřebami každé mise s ohledem na doporučení ESAC, jmenovitě:

- Vědecké studie vyžadují plné definování požadavků pozorování. Za základní jsou považovány simulátory mise od jejího počátku do konce. Jejich vývoj a využití pro podporu optimalizace požadavků pozorování jsou realizovány pro každou misi. V tomto rámci je dána ke zvážení definice datových produktů a s tím spojených přístupů ke zpracování dat. Základní požadavky simulátoru jsou definovány pro každou misi včetně požadavků, které jsou relevantní pro modely vyvinuté v kontextu jiných aktivit pro pozdější integraci v simulátoru. Vývoj simulátorů je založen na běžné softwarové infrastruktuře, kterou poskytuje ESA jako

plně vybavenou součást pro vývojáře simulátoru.

- Studie podpory systému (vesmírného i pozemního) pro definování jednotlivých problémů
- Aktivity definování a předvývoje technologií (vesmírného i pozemního segmentu), včetně úzké spolupráce s vhodnými programy pro vývoj technologií ESA.
- Kampaně pro podporu vývoje konceptů misí, verifikace pozorování a požadavků na výkon, simulace datových produktů a hodnocení snímacích metod. Podpůrné vědecké a technické aktivity pro kandidáty misí FLEX a Carbonsat již byly předběžně definovány.

Hlavním nosičem pro Earth Explorer 8 je VEGA, ačkoliv ani FLEX ani Carbonsat nemohou využít jeho plné hmotnostní kapacity (na oběžnou dráhu může vynést více než jednu tunu). V nedávných diskuzích s NASA o společných misích byla zvažována možnost využít zbytkovou kapacitu VEGA k umístění dodatečného zařízení. Tato možnost se může stát předmětem výzkumu v rané části fáze A. Tato příležitost bude realizována bez vlivu na výběr Earth Explorer 8.

Návrh mise byl připraven národním a mezinárodním vědeckým týmem vedeným Dr. Heinrichem Bovensmannem (IUP – Institute of Environmental Physics, University of Bremen). Studie technické a inženýrské proveditelnosti pro návrh mise byly provedeny ve spolupráci s hlavním dodavatelem OHB-System AG (vlastní družice a její systém) a Kayser-Therode (vybavení družice). Úspěšný návrh mise staví na dlouholetých zkušenostech získaných v IUP z družicově založených měření skleníkových plynů s využitím senzoru SCIAMACHY na palubě vlajkové lodi mise ENVISAT v kombinaci s přesnými vyhledávacími algoritmy a pozemními referenčními měřeními skleníkových plynů.

Práce na systémové studii započalo konsorcium vedené EADS Astrium Germany v dubnu roku 2012. S druhým konsorciem se stále vyjednává o náležitostech kontraktu.

Vzhledem k tomu, že konsorcia pro systémové studie jsou již stanovena, může se ČR v budoucnu zapojit do vlastní stavby družice, která by měla začít přibližně v roce 2015.

Projekty řešené v ČR

Problematikou skleníkových plynů se v České republice zabývá například Centrum výzkumu globální změny AV ČR, ČHMÚ, Ústav chemických procesů AV ČR nebo Ústav fyziky atmosféry AV ČR.

Skleníkovými plyny se v projektech zabývala například ČGS nebo ČHMÚ. ČGS v minulosti řešila projekt na sledování interakcí skleníkových plynů – metanu a oxidu uhličitého s doprovodných těkavých látek s obklopujícím horninovým prostředím a jejich alterace před vstupem do atmosféry.

ČHMÚ se v rámci projektu zabývalo zpracováním národních inventarizací emisí skleníkových plynů za roky 2001 – 2004 a zároveň zpětným přepočtem a doplněním emisních řad od roku 1990.

Data mise Carbonsat by mohla využít všechna pracoviště, která se zabývají sledováním skleníkových plynů a jejich dopadem na změnu klimatu. Pracoviště v ČR se touto problematikou v globálním kontextu dosud příliš nezabývala, což by se s příchodem družicových dat volně stažitelných na webu mohlo změnit.

VYUŽITÍ PROGRAMU EARTH EXPLORER V ČESKÉ REPUBLICE

Možnosti zapojení do programu Earth Explorer jsou ve všech fázích tohoto programu. Od formování ideových návrhů nových misí přes studie proveditelnosti a účasti ve vývoji družice a vědeckých přístrojů až po analýzu a využívání naměřených dat. Patří k němu i související a doplňující činnosti, například provedení kalibrace a validace naměřených dat a vývoj zpracovatelských algoritmů.

Vzhledem ke svému zaměření je pro družice Earth Explorer možné navrhovat měření ze širokého spektra oborů věd o Zemi. Využívání dat musí mít jasné cíle, inovativní charakter přístupu ať ve výzkumu nebo pro jejich aplikaci a má odpovídat globálnímu zaměření družic Earth Explorer.

Projekty z těchto vědeckovýzkumných témat, které využívají data z programu Earth Explorer, vyžadují zpravidla financování z národních prostředků a v menší míře jsou financovány prostřednictvím Rámcového programu Evropské komise. Záleží na odpovědné vládní instituci za vedení výzkumu, aby pro české aktivity v oblasti pozorování Země vytvořilo potřebné finanční zázemí.

Obecně lze chápat mise Earth Explorer z hlediska zapojení ČR ve třech různých úrovních. První z nich jsou mise, jejichž družice jsou již plně funkční na oběžné dráze nebo se nacházejí ve fázi těsně před vypuštěním do vesmíru (GOCE, SMOS, CryoSat-2 a Swarm). Zde se lze zapojit především do využívání produkovaných dat, která jsou v souladu s datovou politikou ESA volně přístupná prostřednictvím internetu. V současnosti jsou dostupná data tří prvních misí, a to po provedení registrace na webových stránkách Earthnet Online. Datové produkty a možnosti přístupu k nim jsou blíže popsány zvláště u každé mise v předchozí kapitole.

Zatím jsou v ČR nejvíce využívána data mise GOCE, vzhledem k tomu, že jsou produkována nejdelší dobu a tematicky jsou využitelná v rámci našeho území. V tomto směru jsou prováděny nejen analýzy gravitačního pole, ale jsou zároveň vytvářeny užitečné aplikace, které jsou skutečným přínosem v oblasti geodézie.

Data družice SMOS se v ČR využívají méně, protože se česká pracoviště v současnosti zaměřují především na řešení problematiky měření vlhkosti

půdy na lokální úrovni, pro kterou jsou data družice SMOS nevyhovující kvůli jejich prostorovému rozlišení a neexistenci dlouholeté časové řady, která je nezbytná pro provádění analýz dlouhodobého vývoje.

Oblast zkoumání pevninských a mořských ledovců, do které přispívají produkty mise Cryosat-2, je v ČR značně omezená. Existuje několik pracovišť, která se zabývají výzkumem v polárních oblastech, ta se však zaměřují spíše na studium biosféry než vlastním mapováním mořského ledu a ledovců.

Do druhé kategorie spadají družice, na jejichž stavbě se právě pracuje (ADM-Aeolus a EarthCARE). I když tyto družice budou startovat až za několik let, do jejich stavby se již zapojit nelze, vzhledem k tomu, že samotný vznik družice s veškerým vybavením je dlouhodobý proces, na němž konsorcia pracují několik let. V této fázi je však možné zapojení do doprovodných aktivit, a to především těch, které se týkají zpracování dat, která budou pořizovat přístroje na palubě družice. Jedná se například vývoj algoritmů pro zpracování dat, kalibrační a validační aktivity či zpracování dat z kampaní.

Poslední skupinou jsou družice, které jsou teprve v počáteční fázi vývoje. V takovém případě se lze zapojit do studií, které probíhají v rámci fází 0 a A/B1. V případě EarthExplorer 7 a 8 jsou však již konsorcia pro tyto studie zformovaná. I v takovém případě je možné participovat na doprovodných aktivitách, které jsou financovány z jiných programů (např. General Studies). V této fázi zároveň nejlepší příležitost pro formování konsorcia pro stavbu družice. ČR by se tak mohla zapojit přibližně v roce 2014 do stavby jedné ze tří navržených družic Základního typu a přibližně v roce 2015 do jedné ze dvou navržených družic v kategorii Příležitostní. Na palubách těchto družic by se měly nacházet různé druhy přístrojů, od SAR přes soundery, po spektrometry, snímající především v infračervených pásmech elektromagnetického spektra. Právě v oblasti přístrojového vybavení se pro ČR otevírá zatím málo využívaná možnost zapojení při přípravě mise. V misích Earth Explorer uspěl zatím jeden český přístroj, a to mikroakcelerometr MAC.

Do budoucna je v ČR největší potenciál v oblasti využívání dat produkovaných jednotlivými misemi.

V ČR existují kapacity schopné využívat družicová data poskytující informaci o geofyzikálních vlastnostech Země, vlastnostech půdy a vegetačního pokryvu, hydrologických poměrech i stavu atmosféry. Využívání dat produkovaných družicemi Earth Explorer se v ČR stává do cesty pouze dva zásadní problémy. Prvním z nich je fakt, že se u nás ve většině projektů zaměřujeme výhradně na řešení dané problematiky pouze v českých podmínkách za využití pozemních měřících přístrojů. Tato skutečnost je logická vzhledem k potřebě dat ve vysokém rozlišení (především prostorového a časového) pro analýzy na relativně malém území. Snímky pořízené v rámci Earth Explorer jsou však využitelná spíše v globálním či regionálním kontextu, kterým se česká pracoviště nezabývají, tak jako využitím v lokálních poměrech.

Druhým problémem je neexistence dlouhých časových řad těchto snímků, protože se jedná o družice, které byly vypuštěny v nedávné minulosti, či teprve vypuštěny budou. To samozřejmě nebrání využívání těchto produktů, pouze je to předurčuje pro využívání jako doplňujícího informačního zdroje.

Závěrem je nutné dodat, že použití dat družic Earth Explorer je umožněno prakticky komukoliv, vzhledem k jejich snadné dostupnosti prostřednictvím internetu. Samotné využívání dat však nepřináší návratnost prostředků vynaložených na členství v programu EOEP. Právě toto členství je tím, co nás staví o úroveň výš. Česká pracoviště se mohou aktivně zapojit do stavby družice a přípravných aktivit ještě před samotným startem a tím do určité míry ovlivňovat, jaká data budou produkována.

Seznam zkratek

| | |
|---------------|---|
| ACC | Accelerometer for observing non-gravitational forces |
| ACDM | ATLID Control and Data Management |
| ADM | Atmospheric Dynamics Mission |
| ALADIN | Atmospheric Laser Doppler Instrument |
| ALOS – PALSAR | Advanced Land Observing Satellite – Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar |
| AOCS/DFACS | Attitude and Orbit Control System/ Drag-Free Attitude Control System |
| AOPK | Agentura ochrany přírody a krajiny |
| ARESYS | Advanced Remote Sensing System |
| ASM | Absolute Scalar Magnetometer |
| AST | Astrium |
| AV ČR | Akademie věd České republiky |
| BBR | Broad-Band Radiometer |
| BD | Brewer-Dobson |
| CAI | Cloud and Aerosol Imager |
| CAMx | Comprehensive Atmospheric Model |
| CarbonSat | Carbon Monitoring Satellite |
| CAS | Calibration System |
| CCD | Charge-coupled device |
| CCU | Correlator and Control Unit |
| CENIA | Česká informační agentura životního prostředí |
| CEOS | Committee on Earth Observation Satellites |
| CFC | Chloro-Fluoro-Carbon |
| CFRP | Carbon Fibre Reinforced Plastic |
| ČGS | Česká geologická služba |
| CHAMP | Challenging Minisatellite Payload |
| CHKO | Chráněná krajinná oblast |
| ČHMÚ | Český hydrometeorologický ústav |
| ČIŽP | Česká inspekce životního prostředí |
| CMN | Control and Monitoring Node |
| CNES | Centre National d'Etudes Spatiales |
| CoReH2O | COld REgions Hydrology High-resolution Observatory |
| COSMO-SkyMed | Constellation of small Satellites for the Mediterranean basin Observation |
| COTS | Comercial Off The Shelf |
| CPR | Cloud Profiling Radar |
| CSC | Compact Spherical Coil |
| CSRS | Czech Space research Centre |
| CUT | CryoSat User Tools |
| ČVUT | České vysoké učení technické |
| DLR | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt |

| | |
|-----------|--|
| DORIS | Doppler Orbit and Radio Positioning Integration by Satellite |
| DPU | Data Processing Unit |
| EADS | European Aeronautic Defence and Space Company |
| EarthCARE | Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer |
| ECMWF | European Centre for Medium-Range Weather Forecasts |
| EFI | Electrical Field Instrument |
| EGG | Electrostatic Gravity Gradiometer |
| EIK | Extended Interaction Klystron |
| EOLI-SA | Earth Observation Link – Stand Alone |
| EPC | Electronic Power Conditioner |
| EPS | Electrical Power Subsystem |
| EPS | EUMETSAT Polar System |
| ESA | European Space Agency |
| ESAC | Earth Science Advisory Committee |
| ESOC | European Space Operations Centre |
| ESRIN | ESA's Centre for Earth Observation |
| FBR | Full Bit Rate |
| FDIR | Failure Detection, Isolation and Recovery |
| FEE | Front End Electronics |
| FIS | Fluorescence Imaging Spectrometer |
| FLEX | Fluorescence Explorer |
| FMI | Finnish Meteorological Institute |
| FOS | Flight Operations Segment |
| FTIR | Fourier Transform Infrared |
| FTP | File Transfer Protocol |
| GaAs | Gallium Arsenide |
| GDR | Geophysical Data Record |
| GHGIS | Green House Gases Imaging Spectrometer |
| GMES | Global Monitoring for Environment and Security |
| GNSS | Global Satellite Navigation System |
| GOCE | Gravity Field and Steady-State Ocean Explorer |
| GPS | Global Positioning System |
| GRACE | Gravity Recovery and Climate Experiment |
| GUT | GOCE User Tools |
| HH | Horizontal Horizontal |
| HPT | High Power Transmitter |
| HV | Horizontal Vertical |
| ICU | Instrument Control Unit |
| IDS | International DORIS Service |
| InGaAs | Indium Gallium Arsenide |
| IRLS/IRCI | Infra-Red Limb Sounder/Cloud Imager |
| ISRR | Intermediate System Requirement Review |
| ITA | Ion Thruster Assembly |

| | |
|---------|---|
| ITU | International Telecommunications Unions |
| JAXA | Japan Aerospace Exploration Agency |
| LEOP | Launch and Early Orbit Phase |
| LICEF | Light-Weight Cost-Effective |
| LP | Langmuir Probe |
| LRM | Low-resolution mode |
| LRR | Laser Retro Reflector |
| MAC | Český mikroakcelerometr |
| MDI | Mesaurement Data Interface |
| MEGAN | Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature |
| MetOp | Meteorological Operational satellite programme |
| MIRAS | Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis |
| MMFU | Mass Memory and Formatter Unit |
| MMPT | Maximum Power Point Tracking |
| MODIS | Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer |
| MOHA | MIRAS Optical Harness |
| MSI | Multi-Spectral Imager |
| MWLS | Millimetre-Wave Limb Sounder |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| NICT | National Institute of Information and Communications Technology |
| NIR | Noise Injection Radiometers |
| NOAA | National Oceanic and Atmospheric Administration |
| NP | Národní park |
| OASU | Observatoire Aquitain de Science de L'univers |
| ONI | Off-nadir Imager |
| PAR | Photosyntetic Active Radiation |
| PCDU | Power Control and Distribution Unit |
| PDGS | Payload Data Ground Segment |
| PDHT | Payload Data Handling and Transmission |
| PREMIER | Process Exploration through Measurements of Infrared and Millimetre-wave Emitted Radiation |
| PRI | Photochemical Reflectance Index |
| PRR | Preliminary Requirements Review |
| PSLV | Polar Satellite Launch Vehicle |
| RFI | Radio Frequency Interface |
| SAR | Syntetic aperture radar |
| SARIn | SAR-Interferometric mode |
| SEA | Systems Engineering & Assessment Ltd. |
| SII | Suprathermal Ion Imager |
| SIRAL | SAR/Interferometric Radar Altimeter |
| SLR | Satellite Laser Ranging |
| SMOS | Soil Moisture and Ocean Salinity |
| SREM | Standard Radiation Environment Monitor |

| | |
|---------|--|
| SSTI | Satellite to Satellite Tracking Instrument |
| SSTL | Surrey Satellite Technology Ltd. |
| STEAMR | Stratosphere-Troposphere Exchange And climate Monitor Radiometer |
| SWE | Snow Water Equivalent |
| TAS | Thales Alenia Space |
| TDI | Time Delay Integration |
| TOPEX | Ocean Topography Experiment |
| TW | Total Wave |
| ÚHÚL | Ústav pro hospodářskou úpravu lesa |
| UNFCCC | United Nations Framework Convention on Climate Change |
| UTLS | Upper Troposphere-Lower Stratosphere |
| VFM | Vector Field Magnetometer |
| VGHMÚř | Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad |
| VHF | Very High Frequency |
| VÚGTK | Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický |
| VÚV TGM | Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka |
| VV | Vertical Vertical |
| WMO | World Meteorological Organization |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Oblasti zemského ekosystému | 5 |
| Obr. 2 Družice Envisat | 7 |
| Obr. 3 Družice GOCE | 14 |
| Obr. 4 Iontový motor ITA | 16 |
| Obr. 5 Akcelerometr | 16 |
| Obr. 6 Ilustrace kompletního zařízení EGG | 17 |
| Obr. 7 Model Geoidu | 17 |
| Obr. 8 Model gravitačního pole Země (úroveň 2) | 18 |
| Obr. 9 Družice SMOS | 20 |
| Obr. 10 Konstrukce tří ramen s LICEF přijímači | 22 |
| Obr. 11 Subsystem NIR | 22 |
| Obr. 12 Subsystem LICEF | 22 |
| Obr. 13 MOHA – rozbočovač s optickými vlákny | 23 |
| Obr. 14 Centrální jednotka CCU | 23 |
| Obr. 15 Kontrolní uzel CMN | 23 |
| Obr. 16 Rozložení slanosti oceánů a vlhkosti půdy (úroveň 2) | 24 |
| Obr. 17 Družice Cryosat-2 | 25 |
| Obr. 18 Zařízení DORIS | 26 |
| Obr. 19 Zařízení LRR | 27 |
| Obr. 20 Kamerová hlava detektoru polohy hvězd | 28 |
| Obr. 21 Anténa zařízení SIRAL | 28 |
| Obr. 22 Záznam radarového altimetru (barevně) Cryosatu-2 na podkladu snímku ASAR družice Envisat | 30 |
| Obr. 23 Družice Swarm | 31 |
| Obr. 24 Zařízení EFI (nahore dva ortogonální senzory) | 34 |
| Obr. 25 MAC – mechanická část přístroje | 35 |
| Obr. 26 MAC – elektronika (vlevo), akcelerometr (vpravo) | 35 |
| Obr. 27 Zařízení LRR | 36 |
| Obr. 28 Kulová cívka CSC magnetometru VFM | 36 |
| Obr. 29 Instalace VFM společně se třemi Instalace VFM se třemi detektory hvězd | 36 |
| Obr. 30 Dva senzory magnetometru ASM | 37 |
| Obr. 31 Toroidní senzorová cívka přístroje ASM | 37 |
| Obr. 32 Družice ADM-Aeolus | 39 |
| Obr. 34 Teleskop ALADIN | 41 |
| Obr. 34 Optický modul teleskopu ALADIN | 41 |
| Obr. 35 Družice EARTH CARE | 43 |
| Obr. 36 Radarová anténa CPR | 46 |
| Obr. 37 Radiometr BRR | 48 |
| Obr. 38 Družice BIOMASS | 50 |
| Obr. 39 Tři koncepty konfigurace družice | 51 |
| Obr. 40 Koncept 1 konstrukce družice | 56 |
| Obr. 41 Koncept 2 konstrukce družice | 56 |

| | |
|---|----|
| Obr. 42 Koncept A konstrukce družice | 60 |
| Obr. 43 Koncept B konstrukce družice | 61 |
| Obr. 44 Zařízení MWLS | 63 |
| Obr. 45 IRLS / IRCI koncepty opto-mechanického uspořádání | 63 |
| Obr. 46 Koncepty A a B konstrukce družice FLEX | 68 |
| Obr. 47 Koncepty A (vlevo) a B (vpravo) zařízení FIS | 69 |
| Obr. 48 VNIR spektrometr – optické (vlevo) a mechanické (vpravo), uspořádání konceptu B | 70 |
| Obr. 49 VNIR spektrometr – optické (vlevo) a mechanické (vpravo), uspořádání konceptu A | 70 |
| Obr. 50 Koncept A (vlevo) a B (vpravo) zařízení TIR | 71 |
| Obr. 51 Družice CarbonSat | 74 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tab. 1 Dodavatelé mise GOCE | 15 |
| Tab. 2 Parametry přístroje EGG | 17 |
| Tab. 3 Úrovně dat z družice GOCE | 18 |
| Tab. 4 Dodavatelé mise SMOS | 20 |
| Tab. 5 Rozlišení přístroje MIRAS | 21 |
| Tab. 6 Úrovně dat z družice SMOS | 24 |
| Tab. 7 Dodavatelé mise CryoSat – 2 | 26 |
| Tab. 8 Parametry koutového odražeče | 27 |
| Tab. 9 Úrovně dat z družice Cryosat-2 | 29 |
| Tab. 10 Parametry zařízení SIRAL ve třech operačních režimech | 30 |
| Tab. 11 Dodavatelé mise Swarm | 33 |
| Tab. 12 Parametry přístroje EFI | 34 |
| Tab. 13 Parametry přístroje ACC | 35 |
| Tab. 14 Parametry magnetometru VFM | 36 |
| Tab. 15 Parametry ASM | 37 |
| Tab. 16 Úrovně dat z družice SWARM | 37 |
| Tab. 17 Dodavatelé mise ADM-Aeolus | 40 |
| Tab. 18 Parametry laseru ALADIN | 41 |
| Tab. 19 Úrovně dat z družice ADM-Aeolus | 42 |
| Tab. 20 Dodavatelé mise EARTHCARE | 44 |
| Tab. 21 Parametry lidarů ATLID | 45 |
| Tab. 22 Parametry radaru CPR | 46 |
| Tab. 23 Parametry zařízení MSI | 47 |
| Tab. 24 Parametry radiometru BRR | 48 |
| Tab. 25 Úrovně dat z družice EARTHCARE | 49 |
| Tab. 26 Řešitelé mise BIOMASS | 51 |
| Tab. 27 Hmotnosti částí družice BIOMASS | 52 |
| Tab. 28 Parametry radaru SAR | 52 |
| Tab. 29 Řešitelé mise COREH2O | 56 |
| Tab. 30 Parametry radaru SAR | 57 |
| Tab. 31 Hmotnost vybavení družice | 57 |
| Tab. 32 Spotřeba energie | 58 |
| Tab. 33 Rozlišení radaru SAR | 59 |
| Tab. 34 Řešitelé mise PREMIER | 61 |
| Tab. 35 Hmotnost jednotlivých částí družice | 62 |
| Tab. 36 Spotřeba energie | 62 |
| Tab. 37 Řešitelé mise FLEX | 67 |
| Tab. 38 Hmotnost jednotlivých částí družice | 68 |
| Tab. 39 Spotřeba energie | 68 |
| Tab. 40 Řešitelé mise Carbonsat | 74 |



EARTH EXPLORERS – Vědecké družice ESA pro dálkový průzkum Země

Autoři: doc. Ing. Jan Kolář, CSc., Mgr. Kristýna Leimerová

Vydala Česká kosmická kancelář, o.p.s.
Prvního pluku 17, 186 00 Praha 8

Obálku zpracoval: Ashanti Eaton Multimedia Inc.
DTP a sazba: Josef Šobra

1. vydání, Praha 2012
ISBN 978-80-904163-7-6

www.czechspace.cz



Česká kosmická kancelář

Je nezisková organizace, která se již od svého vzniku v roce 2003 snaží o rozvoj kosmonautiky v České republice. Naším hlavním cílem je zajistit co největší a nejefektivnější zapojení českých výzkumných, vývojových a průmyslových pracovišť do českých i mezinárodních kosmických projektů. Pracujeme na propagaci a podpoře využívání aplikací a přínosů kosmických technologií v ČR, zejména služeb evropského programu pro Globální monitoring životního prostředí a bezpečnosti. Spravujeme a vydáváme katalog českých pracovišť se zájmem a zkušenostmi v kosmických projektech, který je určený zejména pro potenciální zahraniční partnery. Vydáváme informační a reklamní materiály o českých kosmických projektech a jejich výsledcích.

Nabízíme odborné informační a konzultační služby pro orgány státní správy a veřejná i soukromá výzkumná a průmyslová pracoviště, školení o pravidlech fungování Evropské kosmické agentury a příležitostech v evropském kosmickém programu včetně programu GMES. Nabízíme poradenství při hledání projektových příležitostí, navazování kontaktů se zahraničními partnery a s přípravou a administrací projektových návrhů. Každým rokem umožňujeme českým pracovištím propagaci na Mezinárodním astronautickém kongresu IAC. Provádíme vzdělávací a osvětové akce pro školy, univerzity i širokou veřejnost a podporu studentských projektů.