

Kjub sateliti - zvezdana kapija za male zemlje

DUŠAN M. MARČETA, Univerzitet u Beogradu,

Matematički fakultet, Beograd

BOŠKO P. RAŠUO, Univerzitet u Beogradu,

Mašinski fakultet, Beograd

Pregledni rad

UDC: 629.76

DOI: 10.5937/tehnika2001047M

Začetak komercijalizacije kosmičkog prostora početkom 21. veka, kao i briljantna ideja o razvoju standardizovane klase satelita doneli su mogućnost da se u svemirski klub, koji su do tada činile isključivo najveće naučne i tehnološke sile, proširi ulaskom zemalja koje nemaju resurse za direktan pristup kosmičkom prostoru. Na ovaj način su akademske institucije iz zemalja u razvoju i tranziciji dobile priliku da prošire svoje edukativne i istraživačke kapacitete uz minimalne troškove, pa čak i da participiraju u veoma ambicioznim misijama koje prevazilaze orbitalni prostor oko naše planete. Dalji razvoj ovog tržišta, kao i sve veći broj pristupačnih programa koji nude velike svemirske agencije vodi nastavku dosadašnjeg eksponencijalnog rasta participacije ovih zemalja u budućim svemirskim projektima, što će posledično dovesti do dramatičnog rasta njihovog naučnog i tehnološkog nivoa.

Ključne reči: svemir, kjub satelit, orbita

1. UVOD

Kada je reč o svemirskoj tehnologiji, uvek se ima na umu da je to ekskluzivitet rezervisan za najveće naučne i tehnološke sile poput Sjedinjenih Američkih Država, Ruske Federacije, velikih evropskih država poput Velike Britanije, Francuske ili Nemačke, kao i dalekoistočnih sila poput Kine, Indije i Japana. Iako nema nikakve sumnje da su upravo ove države nosile svemirsku tehnologiju od početka kosmičke ere i dovele je na današnji nivo razvoja, kao i da će nastaviti da to čine i u budućnosti, u poslednje vreme su se pojavile realne mogućnosti da se i male zemlje uključe u ovaj ekskluzivni svemirski klub. Ove mogućnosti su posledica kombinacije početka komercijalizacije kosmičkog prostora i briljantnih ideja koje su pojavile krajem 20. i početkom 21. veka. Jedna od najznačajnijih ideja u ovom smislu predstavlja pojava takozvanih kjub satelita.

Od početka kosmičke ere 4. oktobra 1957. godine kada je Sovjetski Savez lansirao u orbitu legendarni Sputnik 1, njemu se pridružilo skoro 10000 satelita na različitim orbitama oko Zemlje. Podela i klasifikacija ovih satelita se može izvršiti na više načina. Kada je

reč o masi satelita, najgrublja podela je na velike i male satelite za koje je granica postavljena na 500 kg. Finija podela malih satelita je prikazana u tabeli 1.

Tabela 1. Klasifikacija malih satelita [1]

Kategorija	Masa [kg]
Minisateliti	100 - 500
Mikrosateliti	10 - 100
Nanosateliti	1 - 10
Pikosateliti	0.1 - 1
Femtosateliti	< 0.1

Kada je reč o orbitama satelita, najgrublja podela je na satelite u niskim, srednjim i visokim orbitama, čije su najvažnije karakteristike date u tabeli 2. Može se uočiti da je granica između niskih i srednjih orbita postavljena arbitrarno na 2.000 km, dok je granica između srednjih i visokih orbita (35.780 km) prirodna jer predstavlja visinu na kojoj satelit na kružnoj orbiti ima sinhronizovano kretanje sa Zemljom, tj. orbitalni period mu je jednak jednom sideričkom danu koji traje 23 časa 56 minuta 4 sekunde.

Tabela 2. Klasifikacija satelitskih orbita prema visini

Kategorija	Visina [km]	Trenutni broj satelita
Niske orbite	180 - 2000	~ 1300
Srednje orbite	2000 - 35780	~ 100
Visoke orbite	≥ 35780	~ 500

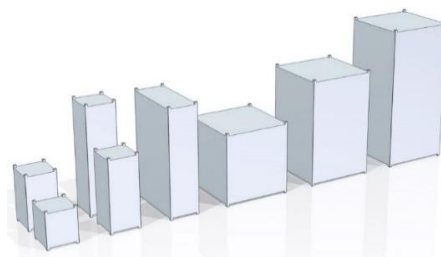
Adresa autora: Dušan Marčeta, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, Kraljice Marije 16

e-mail: dmarceta@matf.bg.ac.rs

Rad primljen: 24.01.2020.

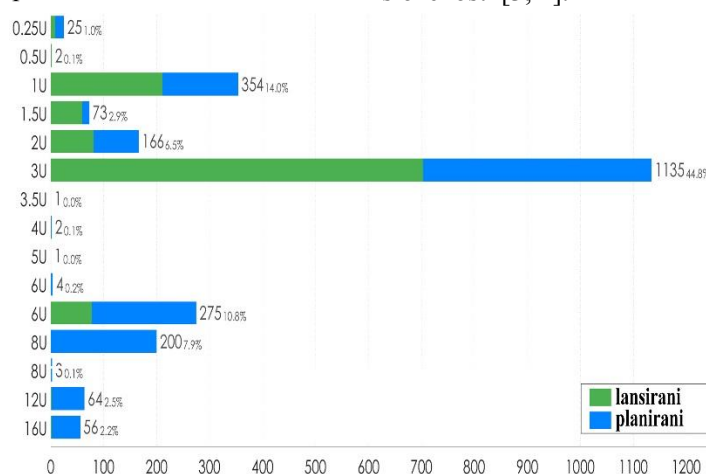
Rad prihvaćen: 31.01.2020.

Era takozvanih kjub satelita je počela 1999. godine kada je na Kalifornijskom politehničkom univerzitetu (California Polytechnic State University) i Univerzitetu Stanford (Stanford University) razvijen koncept standardizovanih nanosatelita koji bi omogućio akademskim institucijama širom sveta lakši pristup svemiru. Prvi satelit ovog tipa je lansiran u orbitu 2003. godine. Ključna karakteristika kjub satelita je to što su standardizovani. Prema usvojenom standardu [2], gradivna jedinica svakog kjub satelita je oblika kocke stranice 10 cm i mase do 1.33 kg. Ovako standardizovana gradivna jedinica praktično predstavlja najjednostavniju formu kjub satelita, tzv. 1U satelit. Kombinovanjem ovih jedinica mogu se dobiti složeniji kjub sateliti tipa 2U, 3U pa i do 16U i više.



Slika 1 - Modeli različitih formi kjub satelita (od 1U do 16U)

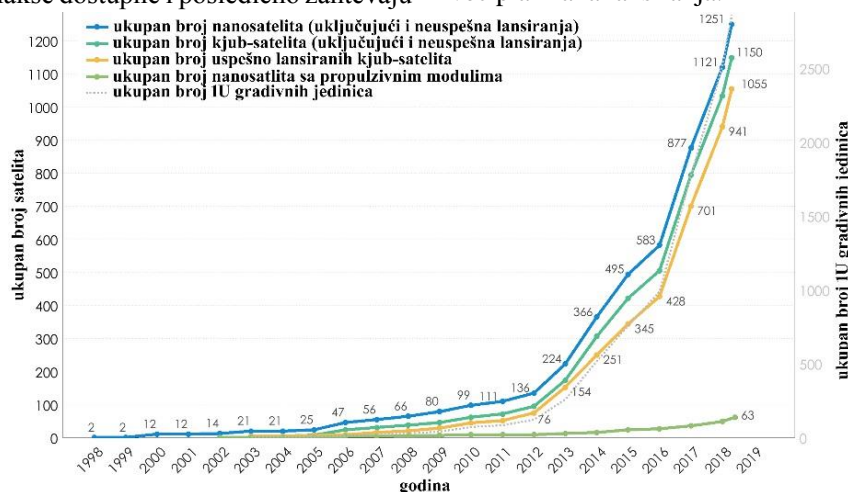
Na slici 1 prikazani su modeli kjub satelita sačinjeni od različitog broja gradivnih jedinica (od 1U do 16U), dok je na slici 2 prikazana raspodela kjub satelita koji su do sada lansirani ili planirani za lansiranje po složenosti [3, 4].



Slika 2 – Raspodela lansiranih i planiranih kjub satelita po formama

Na slici 2 se može uočiti da je ubedljivo najveći broj kjub satelita do sada lansiran u 3U formatu, što ukazuje da ovakav format predstavlja optimalnu kombinaciju kompleksnosti satelita neophodne za obavljanje misije i troškova proizvodnje i lansiranja. Kada je reč o orbitama kjub satelita razumljivo je da je najveći broj lansiran u niske orbite oko Zemlje, budući da su te orbite najlakše dostupne i posledično zahtevaju

najniže troškove lansiranja. Kao što je rečeno, najznačajnija karakteristika kjub satelita, koja ih odvađa od svih ostalih klasa satelita, je činjenica da je njihova geometrija i masa standardizovana. Ovo omogućuje dramatično snižavanje troškove razvoja i proizvodnje, i što je najvažnije, lansiranja kjub satelita, jer omogućuje njihovu integraciju kao sekundarnog tereta na već planirana lansiranja.

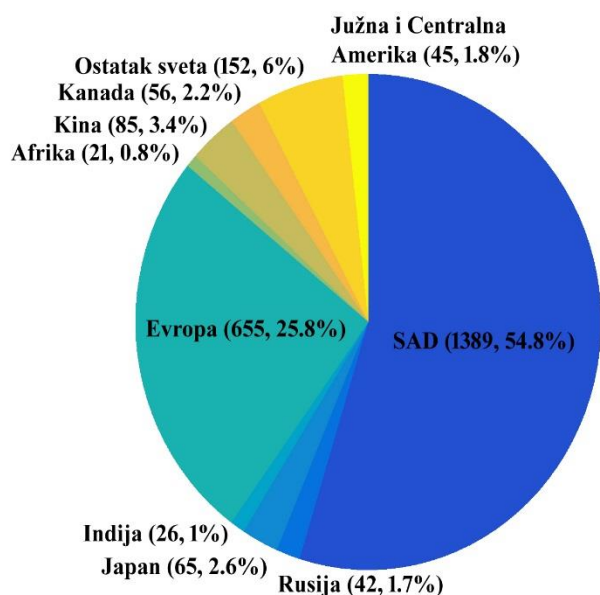


Slika 3 – Rast broja lansiranih kjub satelita u poslednjih 20 godina

Upravo zbog ove činjenice je došlo do eksplozije interesovanja malih zemalja, kao i njihovih akademskih i neakademskih institucija za ovaj koncept, što je rezultiralo eksponencijalnim rastom broja lansiranih kjub satelita u poslednjih 20 godina, što se može videti na slici 3 [3].

Na slici 3 treba posebnu pažnju obratiti na broj 1U jedinica koji je dat na ordinati sa desne strane panela koji je već dostigao ukupni broj „običnih“ satelita, te se već sada može reći da kjub sateliti čine većinu satelita u orbitama oko Zemlje.

Ako se pogleda geografska struktura, može se uočiti očekivana dominacija Sjedinjenih Američkih Država, koje su i začetnice ovog koncepta, ali i veoma značajna participacija malih zemalja, što je prikazano na Slici 4.



Slika 4 - Geografska struktura vlasnika kjub satelita

Među zemljama koje imaju, ili su u prethodnim godinama imale, ovakve satelite u niskim orbitama oko Zemlje su Bugarska, Slovenija, Mađarska, Rumunija, Litvanija, Gana, Kenija, Bangladeš, Mongolija, Butan, Peru, Ekvador i druge.

2. MOGUĆNOSTI ZA LANSIRANJE KJUB SATELITA

Oslanjajući se na svoj prilagodljiv dizajn i fleksibilnost prilikom integracije u sistem za lansiranje kjub satelita su idealni za iskorišćavanje slobodnog prostora prilikom redovnog lansiranja većih satelita. Zbog ovoga postoji veliki broj prilika za lansiranje uz niske troškove. Prilikom lansiranja kjub satelita su upakovani u kontejnere, tzv. dispanzere. Ovi sistemi služe da zaštite primarni teret od sekundarnog, u okviru kog se nalaze kjub sateliti, kao i da ih oslobode u odgovarajuće orbite kada se za to dostignu odgovarajući uslovi.

Velike svemirske agencije imaju razvijene programe lansiranja kjub satelita kroz koje se akademskim institucijama iz njihovih zemalja omogućuje relativno lak pristup orbiti. Primeri ovakvih programa su Nasin program CubeSat Launch Initiative, kanadski program Canadian Cubesat Project i evropski program Fly Your Satellite. Pristup ovim programima je ograničen na organizacije iz zemalja iz kojih potiču ove agencije, što se odnosi na zemlje koje su ionako već dominantne u istraživanju kosmosa. Kada je reč o mogućnostima organizacija iz zemalja koje nemaju resurse da samostalno lansiraju satelite, poput Srbije, postoje mogućnosti da se i njihovi sateliti lansiraju pod komercijalnim uslovima ili u okviru međunarodnih programa namenjenih promociji razvoja svemirske tehnologije u zemljama u razvoju. Jedna takva mogućnost se nudi kroz program KiboCUBE. U pitanju je zajednički program Japanske svemirske agencije (JAXA) i Ujedinjenih nacija (UN) posebno namenjen zemljama u razvoju i tranziciji. U okviru ovog programa JAXA nudi uslugu lansiranja satelita, kao i uvođenja satelita u orbitu, pomoću specijalnog dispanzera Kibo koji se nalazi na Međunarodnoj svemirskoj stanici (MSS), dok se pobednici na konkursu obezbeđuju finansirnje razvoja, proizvodnje, testiranja i transporta satelita do Japana. Primera radi, u okviru ovog programa svoje prve satelite u orbitu su poslale institucije iz Kenije i Mauricijusa.

Osim ovakvih programa, postoje i mogućnosti za lansiranje kjub satelita kroz komercijalne opcije. U poslednje vreme pojavljuju se kompanije u privatnom i javnom vlasništvu koje se bave uslugom lansiranja kao što su SpaceX, Japan Manned Space Systems Corporation, ICS Kosmotras, Eurockot, Rocket Lab i druge. Takođe, Indijska svemirska agencija (ISRO) već punih deset godina nudi usloge komercijalnog lansiranja stranih kjub satelita kao sekundarnog tereta na planiranim lansiranjima. Primera radi, u februaru 2017. godine ISRO je prilikom jednog lansiranja uvela u orbite 103 kjub satelita, čime je postavljen svetski rekord.

Kada je reč o korišćenju komercijalnih opcija, cena lansiranja kjub satelita zavisi od mnogo faktora, pre svega od veličine samog satelita (broja gradivnih jedinica) i orbite u koju se uvodi. Za najniže orbite (~250 km) može se očekivati cena od nekoliko desetina hiljada USD za 1U satelit. Sa druge strane, razvoj i proizvodnja samog satelita naravno zavisi od njegove kompleksnosti, ali se okvirno mogu očekivati troškovi istog reda veličine.

3. DISPANZERI KJUB SATELITA

Kao što je već rečeno, jedan od ključnih segmenata svakog lansiranja kjub satelita predstavlja dispanzer koji predstavlja vezu između rakete nosača i samog

satelita. Ovaj uređaj ima dvostruki zadatak. Prvo, da obezbedi da primarni teret prilikom lansiranja ni na koji način ne bude ugrožen od strane sekundarnog tereta u okviru kojeg se nalaze kjub sateliti, i drugo, da zaštiti kjub satelite od opterećenja koja se javljaju prilikom lansiranja i da ih oslobodi u odgovarajuće orbite kada se dostignu odgovarajući uslovi za to. Prvi dispanzer za kjub satelite je bio Nasin Poly-Picosatellite Orbital Deployer.

U poslednjih nekoliko godina dominaciju na tržištu je preuzeo dispanzer QuadPack koji proizvodi kompanija Innovative Solutions In Space, koji je prikazan na slici 5. Ovaj dispanzer omogućuje smeštaj do 12 građivnih jedinica. Na Međunarodnoj svemirskoj stanici su trenutno instalirana dva dispanzera, NanoRacks CubeSat Deployer koji predstavlja prvi

komericijalni dispanzer na MSS, kao i prethodno pominjani Kibo dispanzer koji je prikazan na slici 6.



Slika 5 - QuadPack dispanzer kjub satelita



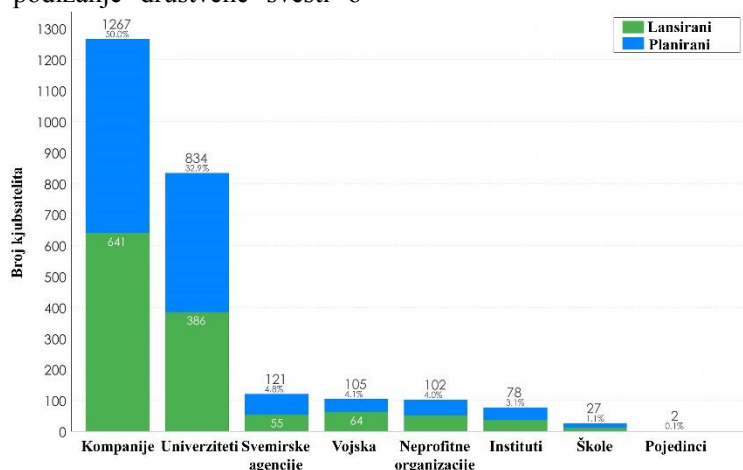
Slika 6 - Japanski dispanzer kjub satelita Kibo na Međunarodnoj svemirskoj stanici

Kada je reč o Međunarodnoj svemirskoj stanici, jedna veoma interesantna opcija je ručno uvođenje u orbitu, što je do sada uspešno izvedeno u više navrata.

4. NAMENE KJUB SATELITA

Iako možda naizgled deluje da kjub sateliti nemaju veliku upotrebnu vrednost i da pre svega predstavljaju promotivne alate za podizanje društvene svesti o

moogućnostima istraživanja svemira, to zapravo nije slučaj. Kjub sateliti predstavljaju, između ostalog, veoma vredne edukativne alate kroz koje akademske institucije širom sveta upoznaju studente sa najznačajnijim aspektima svemirske tehnologije. Ovo se vrlo jasno može videti iz raspodele do sada lansiranih kjub satelita po organizacijama koje njima upravljaju, koja je prikazana na slici 7.



Slika 7 - Raspodela kjub satelita po tipovima organizacija koje ih koriste

Na slici 7 se može uočiti da najveći broj kjub satelita u vlasništvu kompanija i svemirskih agencija ali je takođe uočljivo da je čak trećina kjub satelita u vlasništvu akademskih institucija, uključujući čak i one kojima upravljaju škole. Kada je reč o akademskim institucijama koje imaju ili su imale svoje kjub satelite u orbiti, dijapazon njihovog međunarodnog renomea veoma je širok. Ako se kao jedno od merila

ovog renomea uzme trenutna pozicija na takozvanoj Šangajskoj listi, može se zaključiti da mnogi univerziteti koji su rangirani ispod ili u nivou Univerziteta u Beogradu (trenutno, rangiran na poziciji 401-500) i Univerziteta u Novom Sadu (trenutno, rangiran na poziciji 901-1000) već odavno imaju svoje kjub satelite. U tabeli 3 su prikazani karakteristični podaci za neke univerzitetske kjub satelite.

Tabela 3. Primeri univerzitetskih kjub satelita

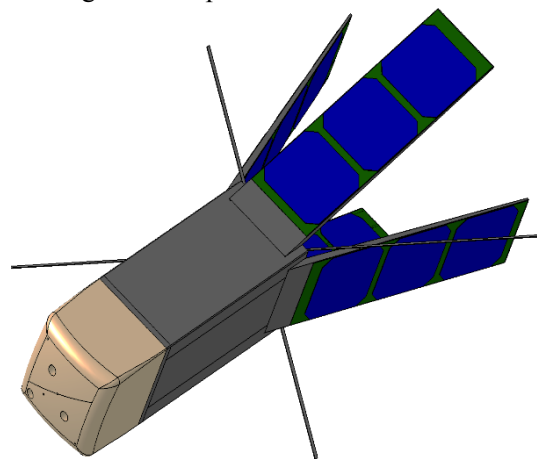
Univerzitet	Država	Pozicija na Šangajskoj listi	Godina lansiranja	Namena satelita
Aalborg University	Danska	201-300	2008	Detekcija gama zračenja
University of Tartu	Estonija	301-400	2013	Testiranje tehnologije solarnog jedra
University of Vigo	Španija	601-700	2012	Demonstracija tehnologije
Indian Institute of Technology Kanpur	Indija	601-700	2011	Posmatranje i snimanje Zemlje
Budapest University of Technology and Economics	Mađarska	801-900	2012	Demonstracija tehnologije
Warsaw University of Technology	Poljska	801-900	2012	Tehnološki eksperimenti
University of Bucharest	Rumunija	901-1000	2012	Posmatranje i snimanje Zemlje
National University of Engineering	Peru	nije na listi	2014	Demonstracija tehnologije
National University of Mongolia	Mongolija	nije na listi	2017	Demonstracija tehnologije

Primarna upotreba kjub satelita se odnosi na demonstraciju novih tehnologija u orbitalnom okruženju jer ovi sateliti predstavljaju veoma pristupačnu platformu za ove potrebe, uzimajući u obzir njihovu cenu. Ovo se u velikom broju slučajeva odnosi na minijaturizaciju postojećih tehnologija, čime se razvija sasvim novi pristup i za sve druge vrste satelita.

Primeri ovakve upotrebe su satelit GomX, koji testira različite tehnologije monitoringa radio signala u orbiti i radio veze među satelitima u orbiti do rastojanja od 4500 km, korišćenjem minijaturizovanih komunikacionih sistema. Još jedan primer predstavlja satelit QARMAN (QubeSat for Aerothermodynamic Research and Measurements on Ablation) čiji je cilj demonstracija takozvanih „re-entry“ tehnologija, odnosno novih materijala koji se mogu koristiti kao termalni štitovi prilikom ulaska letelica u atmosferu, kao i prenosa telemetrije u realnom vremenu tokom faze ulaska.

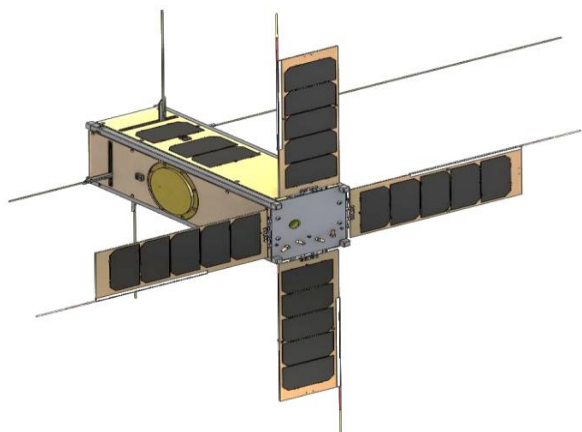
Ovaj kjub satelit, čiji model je prikazan na slici 8, ima veoma specifičan dizajn sa eksperimentalnom strukturom na vrhu za ispitivanje aerotermodinamičkih karakteristika materijala. Osim kao demonstratori, kjub

sateliti mogu biti veoma korisni i kao jeftini alati za monitornig različitih parametara iz orbite.



Slika 8 - Model kjub satelita QARMAN

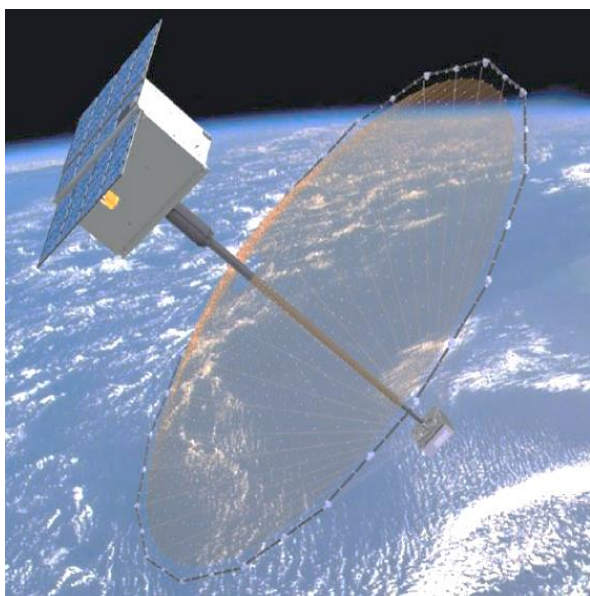
Primeru radi, satelit SIMBA meri intenzitet Sunčevog zračenja, kao i intenzitet reemitovanog zračenja sa Zemlje, dok satelit PICASSO, čiji model je prikazan na slici 9 [5], vrši monitoring raspodele ozona u stratosferi, temperaturnog profila mezosfere, kao i elektronske gustine u jonosferi.



Slika 9 - Model kjub satelita PICASSO

Na upotrebnost vrednost kjub satelita i proširivanje njihove namene veoma važnu ulogu ima razvoj sklopivih struktura koje omogućuju da se veoma kompleksne konstrukcije smeste u veoma ograničeni prostor od nekoliko 1U jedinica, a potom kada dospeju u orbitu da se rasklope u svoju operativnu formu.

Ovaj koncept na primer nudi mogućnost značajnog unapređenja komunikacije kroz rasklopljive antene. Jedan primer tako rasklopive antene koji, je razvila kompanija L3Harris Technologies, je prikazan na slici 10 [6]. Antena ovog tipa prečnika 1m može da se smesti u zapreminu 2U kljubsatelita.



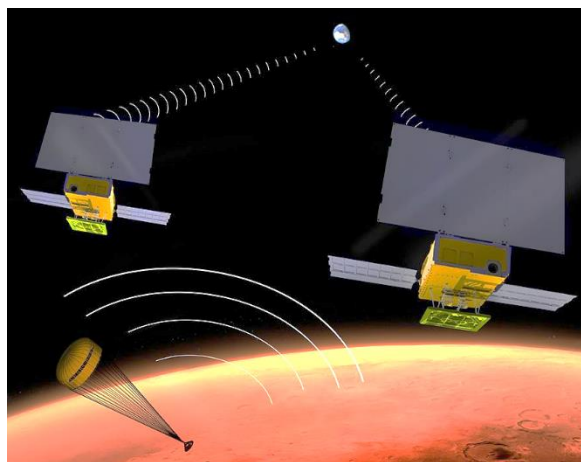
Slika 10 - Artistička interpretacija rasklopive antene za kjub satelite

Još jedna tehnologija koja će biti omogućena kroz koncept rasklopljivih struktura je takozvana fly-by-light tehnologija.

Razvojem ove tehnologije, u veoma male zapremine će biti moguće smestiti velika solarna koja se, nakon što se rasklope, mogu koristiti kao pogonska sredstva pomoću pritiska Sunčevog zračenja [7].

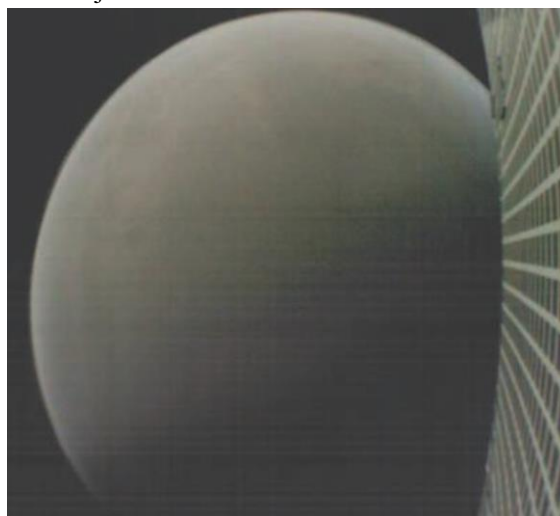
5. BUDUĆNOST KJUB SATELITA

Osim nezaustavljivog kvantitativnog skoka, tehnologija kljubsatelita će napraviti i dramatičan kvalitativni skok i otisnuti se mnogo dalje od Zemljine orbite. Zapravo, ovaj proces je već otpočeo misijom Mars InSight u okviru koje je izvršeno uspešno sletanje na površinu Marsa 26. novembra 2018. godine. U okviru ove misije lansirani su i prvi međuplanetarni kjub sateliti MarCO-A i MarCO-B [8]. U pitanju su dva skoro identična 6U kjub satelita koja su korišćena kao primopredajnici za telemetrijske podatke u realnom vremenu tokom operacije sletanja letelice InSight. Šematski prikaz ovog procesa je dat na slici 11.



Slika 11 - Šematski prikaz telemetrije u realnom vremenu pomoću kjub satelita MarCO-A i MarCO-B tokom sletanja misije Mars InSight

Na letelici MarCO-B je bila instalirana i kamera koja je zabeležila i na Zemlju poslala fotografiju Marsa prikazanu na slici 12. Ova fotografija predstavlja prvu fotografiju iz dubokog svemira koja je napravljena pomoću kjub satelita.



Slika 12 - Fotografija Marsa snimljena kamerom na prvom međuplanetarnom kjub satelitu MarCO-B

U budućnosti možemo očekivati sve više misija u dubokom svemiru koje će uz primarne letelice uključivati i kjob satelite. Neki od ovakvih projekata su već u pođmakloj fazi razvoja. Na primer, u okviru misije HERA Evropske svemirske agencije, koja će posetiti dvojni asteroid Didymos i čije je lansiranje planirano za 2024. godinu, naći će se i dva kjob satelita – APEX i Juventas, čiji modeli su prikazani na slikama 13 i 14. Ovo će biti prvi evropski kjob sateliti u dobokom svemiru.

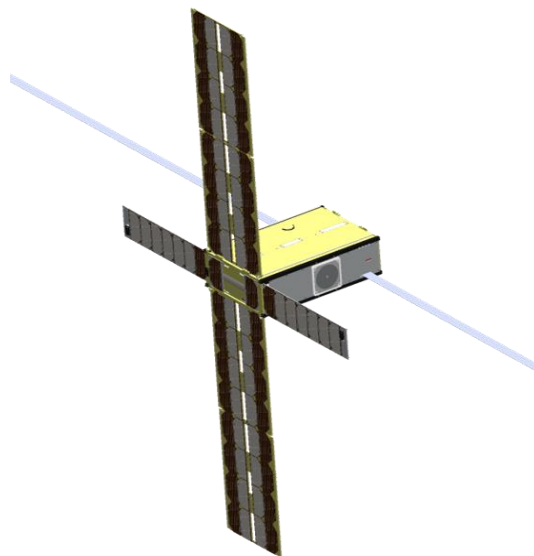


Slika 13 - Model međuplanetarnog 6U kjob satelita APEX

Primarni cilj letelice APEX će biti vršenje spektroskopskih posmatranja pomenutog dvojnog asteroida, a takođe će pokušati sletanje na jedan od njih. Sa druge strane, primarni cilj letelice Juventas će biti mapiranje gravitacionog polja ovih asteroida i njihove unutrašnje strukture. U cilju isticanja uloge malih zemalja koje ne pripadaju elitnom svemirskom klubu, korisno je napomenuti da će u konzorcijumu koji razvija letelicu APEX učestvovati institucije iz Češke, dok će u konzorcijumu koji radi na razvoju letelice Juventas participirati institucije iz Rumunije.

Planovi za intenzivnu upotrebu kjob satelita ne zaostaju ni kada je u pitanju budućnost istraživanja Meseca za šta već postoji nekoliko projekata u pođmakloj fazi [9, 10]. Veliki spektar mogućnosti koje nude kjob sateliti potvrđuje i planirana misija SpectroCube čije lansiranje se očekuje tokom 2020. godine. Primarni naučni cilj ove misije će biti izvođenje astrobioloških i astrohemijskih ekeprimenata u dubokom svemiru. Korak dalje će predstavljati projekti istraživanja dubokog svemira u okviru kojih će kjob sateliti činiti primarni teret, a ne samo usputni sadržaj. U tom pravcu, već je za sledeću deceniju planirana misija Miniaturised Asteroid Remote

Geophysical Observer [11] čiji cilj će biti da demonstrira minijaturizovane i standardizovane tehnologije za istraživanje malih tela Sunčevog sistema.



Slika 14 - Model međuplanetarnog 6U kjob satelita Juventas

Kada je reč o Zemljinoj orbiti, ubrzani razvoj minijaturizovanih propulzivnih sistema [12, 13, 14] doveste do sve većeg broja aktivnih kjob satelita koji će moći da vrše značajne intervencije na svojim orbitama tokom operativnog perioda. Ovo će dovesti do sve veće upotrebe satelitskih rojeva i konstelacija što će otvoriti sasvim nova vrata za upotrebu kjob satelita [15, 16], a takođe će omogućiti aktivno uklanjanje kjob satelita iz orbita nakon završetka misija, kako bi se unapredila kontrola orbitalnog otpada [17].

6. ZAKLJUČAK

Budućnost nesumljivo donosi nastavak eksponencijalnog rasta broja kjob satelita u orbiti, sve više kompanija koje će se uključiti u ovo narastajuće tržište, i posledično dalje snižavanje cene razvoja i lansiranja kjob satelita. Gledano sa te strane, protokom vremena će biti sve lakše da se i institucije iz Srbije uključe u svemirski klub. Međutim, uzimajući u obzir da su mogućnosti za to uključjenje već sada povoljnije od onoga što smo do skoro mogli i da zamislamo, odugovlačenje u ovom procesu će dovesti do sve značajnijeg zaostajanja, čak i u odnosu na zemlje od kojih Srbija ima značajno razvijeniju naučnu i tehnološku infrastrukturu. Činjenica da veliki broj univerziteta širom sveta, čiji je akademski renome daleko ispod univerzitetskih centara u Srbiji, već duže od decenije učestvuje u podeli orbitalnog prostora svakako nije nešto sa čime se naša akademska zajednica može pohvaliti i ponositi. Pristupačnost ove tehnologije raste tolikom brzinom da će uskoro u najbogatijim zemljama, a potom veoma

brzo i u manje razvijenim zemljama koje insistiraju na praćenju naučnih i tehnoloških trendova, kjub sateliti postati deo uobičajenih resursa čak i na nižim nivoima obrazovanja, poput srednjih škola. Uzimajući u obzir ovu činjenicu, jasno je da naša naučna i akademska zajednica, kao i država u celini, nema više vremena za gubljenje i zaostajanje za modernim svetom i da je krajnji trenutak da prođe kroz ova otvorena vrata i odlučno zakorači u kosmički prostor.

LITERATURA

- [1] W. Shiroma, L. Martin, J. Akagi, J. Akagi, B. Wolfe, B. Fewell, A. Ohta, CubeSats: A bright future for nanosatellites. *Open Engineering*, Vol 1. pp, 9-15, 2011.
- [2] CubeSat101- Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers, NASA CubeSat Launch Initiative for Public Release, 2017.
- [3] E. Kulu, Nanosatellite Database, <http://www.nanosats.eu>, 2018
- [4] T. Villela, C. A. Costa, A. M. Brandão, F. T. Bueno, R. Leonardi, Towards the Thousandth CubeSat: A Statistical Overview. *International Journal of Aerospace Engineering*, pp. 1–13. 2019.
- [5] B. Mero, K. A. Quillien, M. McRobb, S. Chesi, R. Marshall et al, PICASSO: A State of the Art CubeSat, *29th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites*, Logan, UT, USA, 2015.
- [6] M. Silver, Deployable structures expand the capabilities of small satellites, *Aerospace America*, AIAA, Volume 57, No. 11, pp. 14, December, 2019.
- [7] State of the Art Small Spacecraft Technology, NASA/TP—2018–220027, 2018.
- [8] S. W. Asmar, S. Matousek, *Mars Cube One (MarCO): Shifting the Paradigm in Relay Deep Space Operations*, AIAA 2016-2483, 2016.
- [9] R. Walker, J. Vennekens, R. Fisackerly, J. Carpenter, I. Carnelli, Lunar Cubesats for Exploration (Luce) Mission Concept Studies, in *6th Interplanetary Cubesat Workshop*, Cambridge, Uk., 2017.
- [10] S. Speretta, F. Topputo, J. Biggs, P. Di Lizia, M. Massari et al, *LUMIO: achieving autonomous operations for Lunar exploration with a CubeSat*, *15th International Conference on Space Operations, Marseille, France*, 2018.
- [11] R. Walker, D. Koschny, C. Bramanti, I. Carnelli, Esa Cdf Study Team, Miniaturised Asteroid Remote Geophysical Observer (M-Argo): A Stand-Alone Deep Space Cubesat System For Low-Cost Science and Exploration Missions, In *6th Interplanetary Cubesat Workshop*, Cambridge, Uk., 2017.
- [12] J. Mueller, R. Hofer, J. Ziemer, *Survey of propulsion technologies applicable to CubeSats*, in *Joint Army-Navy-NASA-Air Force (JANNAF) Meeting, Jet Propulsion Laboratory*, National Aeronautics and Space Administration, 2010.
- [13] Mission Design Division, Ames Research Center, NASA, Small Spacecraft Technology State of the Art, Tech. Rep., NASA/TP–2015–216648/REV1, 2015.
- [14] E. M. Petro, R. J. Sedwick, Survey of Moderate-power Electric Propulsion Systems, *Journal of Spacecraft and Rockets*, Volume 54, NO. 3, PP. 529–541, 2017.
- [15] Y. Yoshimura, Optimal Formation Reconfiguration of Satellites Under Attitude Constraints Using Only Thrusters, *Aerospace Science and Technology*, Volume 77, PP. 449–457, 2018.
- [16] R. Kristiansen, P. J. Nicklasson, Spacecraft Formation Flying, A Review and New Results on State Feedback Control, *Acta Astronautica*, Volume 65, NO.11, PP. 1537–1552, 2009.
- [17] H. Hakima, M. C. F. Bazzocchi, M. R. Emami, A Deorbiter Cubesat for Active Orbital Debris Removal, *Advances in Space Research*, Volume 61, NO. 9, PP. 2377–2392, 2018.

SUMMARY

CUBE SATELLITES – A STAR GATE FOR SMALL COUNTRIES

Begging of commercialization of space at the raise of 21st century and brilliant idea for development of a concept of standardized class of satellites, led to extension of space club, which previously consisted exclusively of leading scientific and technological powers, with small countries without capabilities for direct access to space. Through this concept, academic institutions from developing and transition countries got the opportunity to improve their educational and research capacities with minimal costs, and even to participate in very ambitious missions which go beyond the orbital space around our planet. Further development of this market, as well as increasing number of accessible programs offered by the leading space agencies leads to continuation of exponential growth of participation of these countries in future space projects, which will consequently result in dramatical improvement of their scientific and technological level.

Key words: space, cube satellite, CubeSat, orbit