

Živjeti na Marsu

Jakuš, Ivana

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:082332>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Kemijski odsjek

Ivana Jakuš

Studentica 3. godine Preddiplomskog sveučilišnog studija KEMIJA

ŽIVJETI NA MARSU

Završni rad

Rad je izrađen u Zavodu za anorgansku kemiju

Mentor rada i neposredni voditelj: izv. prof. dr. sc. Nenad Judaš

Zagreb, 2020.

Datum predaje prve verzije Završnog rada:

11. lipnja 2020.

Datum ocjenjivanja Završnog rada i polaganja Završnog ispita:

28. rujna 2020.

Mentor rada: izv. prof. dr. sc. Nenad Judaš

Potpis:

Sadržaj

§ SAŽETAK.....	7
§ 1. UVOD.....	1
1.1. Mars	1
1.2. Misija na Mars	2
§ 2. PRIKAZ ODABRANE TEME	3
2.1. Zračenje	3
2.1.1. Zračenje na Zemlji	3
2.1.2. Zračenje u svemiru.....	4
2.2. Materijali zaštite	5
2.2.1. Vodik	5
2.2.2. Nanocjevčice borovog nitrida	5
2.3. Hrana	8
2.3.1. Sustav za proizvodnju povrća	8
2.3.2. Osjetljivost hrane	10
2.4. Sustav za kontrolu okoliša i životnu potporu	12
2.5. Kolonija na Marsu	14
§ 3. LITERATURNI IZVORI.....	XVI

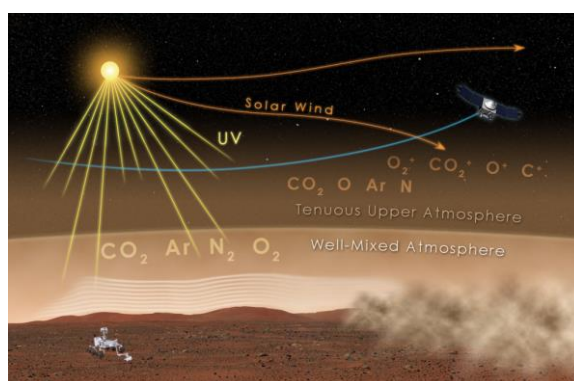
§ Sažetak

Mars je četvrti planet Sunčevog sustava. Pogodan je za buduću kolonizaciju jer je sličan Zemlji. Oba planeta građena su od sličnih stijena te je na Marsu prisutna voda u obliku leda. On, međutim, ima vrlo rijetku atmosferu s tek 0,13 % kisika, nema magnetosferu pa je zračenje izuzetno jako. Također, gravitacija mu je 0,375 gravitacije Zemlje što može dovesti slabljenja kostiju i mišića. Zbog toga bi se život na Marsu oslanjao na Sustav za kontrolu okoliša i životnu potporu (ECLSS) koji bi upravljao atmosferskim tlakom, razinom kisika, gospodarenjem otpada i opskrbom vode. Bez zaštite od zračenja ne bi se moglo živjeti. Najučinkovitija zaštita, osim vodika, je nanocjevčicama borovog nitrida (BNNT) koje imaju cjevastu nanostrukturu gdje su atomi bora i dušika raspoređeni u šesterokutnoj mreži. Naime, one mogu skladištiti vodik ili biti hidrogenirane čime se povećava zaštita. Staništa bi bila zaštićena ledom ili polietilenom, a dozimetri bi pratili količinu zračenja na površini. Hrana se u svemiru i danas proizvodi. Biljke rastu u sustavu za proizvodnju povrća, tzv. „Veggie“ sustavu koji osigurava osvjetljenje, vodu i hranjive tvari za učinkovit rast biljaka, koristeći okruženje u kabini za kontrolu temperature i relativne vlage te izvor ugljičnog dioksida za fotosintezu. Do sada su u svemiru uzgojene crvena i zelena salata, cinija, kineski kupus, špinat, paprika i rotkvica. Hrana bi se proizvodila i poljoprivrednom tehnikom „akvaponika“ koja kombinira konvencionalnu akvakulturu (uzgoj vodenih životinja) i hidroponiku u simbiotskom okruženju. Kolonizaciji Marsa prethodila bi misija na Mars u kojoj bi se služilo ovim tehnologijama, a trajala bi dvije godine. Osim što bi astronauti uzgajali biljke u „Veggie“ sustavu, nosili bi hranu u obliku relativno niske i masne verzije komprimiranih pločica i mješavina pića u prahu. Ispitivanja osjetljivosti vitamina A, B1, B9, C i E na trogodišnje skladištenje pri 21 °C pokazala su da prate sekvencu $B9 > A > B1 > C > E$ te da prate kinetiku razgradnje prvog reda.

§ 1. UVOD

1.1. Mars

Mars je četvrti planet po udaljenosti od Sunca, udaljen 229 milijuna kilometara. Promjerom 6791 km manji je od Zemlje, a masa mu je 0,107 Zemljine mase. Godina traje 687 dana, a dan 24 sata i 37 minuta. Gravitacija Marsa je 0,375 gravitacije Zemlje. Prosječna temperatura na Marsu je $-62,7$ °C te ima četiri godišnja doba.¹ Klima ovisi o sezonskim promjenama ugljikovog dioksida (suhi led), kretanju velike količine prašine u atmosferi i izmjeni vodene pare između površine i atmosfere. Ima dva prirodna satelita: Phobos i Deimos. Reljef Marsa sličan je Zemljinom. Oba planeta su terestrička i građena od sličnih stijena. Sve stijene i minerali na Marsu nalaze se i na Zemlji. Na Marsu je prisutno nekoliko vrsta stijena: eruptivne bazaltne stijene, sedimentni pijesak, muljnjak i evaporiti. Te stijene građene su od minerala kao što su olivin, piroksen, feldspat, različiti karbonati, sulfati, silikati, fosfati i željezovi oksidi, primjerice hematit od kojeg potječe crvena boja planeta. Slični su i slojevi, imaju atmosferu, koru, plašt i jezgru. Nema aktivnih tektonskih ploča.



Slika 1. Shematski prikaz atmosfere Marsa⁴

Mars ima najveće vulkane i najdublje kanjone u Sunčevom Sustavu, što ukazuje da je nekada bio topliji planet ispunjen vodom.² Atmosfera je rijetka i sastoji se od ugljikovog dioksida (96 %) uz male primjese drugih kemijskih elemenata kao što su dušik (2,7 %), argon (1,6 %) i kisik (0,13 %). Isto tako sadrži i vodenu paru (0,03 %).³ Podatci prikupljeni tijekom NASA-ine misije MAVEN, ukazuju da je Mars u prošlosti imao gušću atmosferu koja je prorijeđena zbog solarnih vjetrova. Atmosferski tlak na površini je 400 do 800 Pa, što je 0,6 % od onog na Zemlji. Nema magnetnog polja niti ozonskog omotača koji bi ga štitili od UV zračenja. Zbog

niske temperature i niskog tlaka nema tekuće vode pa nema jezera niti oceana. Mape raspodjele vodika, koje je prikupila NASA-ina misija Odyssey orbiter, ukazuju na velike količine leda u polarnim regijama ispod površine tla. Iako je u prošlosti bio topliji planet s tekućom vodom, Mars je sada hladan i suh.

1.2. Misija na Mars

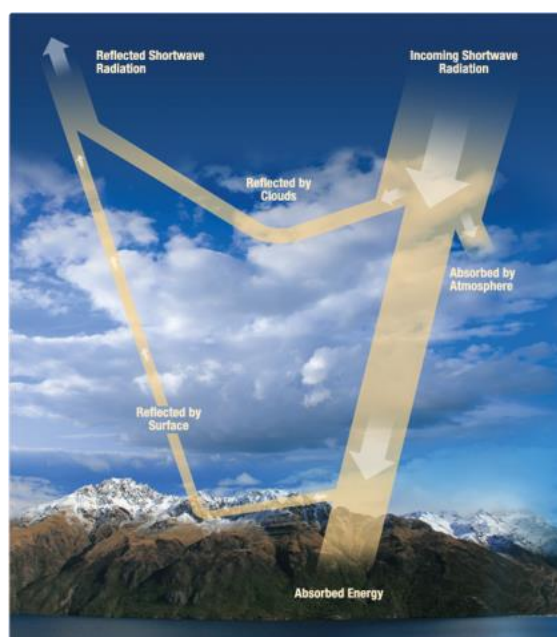
Misija na Mars, koja bi trajala minimalno dvije godine, nailazi na mnoštvo prepreka i opasnosti. Zračenje je najveća prijetnja ljudskom organizmu. Uzrokuje rak, oštećuje središnji živčani sustav, može uzrokovati promjene u kognitivnim funkcijama, smanjiti motoričke funkcije i uzrokovati brze promjene ponašanja. Svemirska postaja nalazi se unutar Zemljinog magnetnog polja koje ju štiti od zračenja. Astronauti jesu izloženi deset puta većem zračenju nego na Zemlji, ali je doza zračenja svejedno manja od one koju bi primili na Marsu, stoga je potrebno zaštititi i opremu i ljude. Izolacija je također jedan od problema. Na Marsu, astronauti će biti dugotrajno izolirani i ograničeni. Neizbježni su problemi ponašanja unutar male skupine ljudi, u zatvorenom prostoru tijekom dugog vremena. Gubitak sna, gubljenje ritma svjetla i tame te radno preopterećenje može dovesti do smanjenja radne učinkovitosti, zdravstvenih problema i ugrožavanja ciljeva misije. Mars je u prosjeku 225,31 milijuna kilometara udaljen od Zemlje pa dolazi do 20 minuta odmaka u komunikaciji. Misije na Međunarodnoj svemirskoj postaji (MSP) mogu ugrubo poslužiti kao temelj za planiranje i logistiku misije na Mars, ali podatci ipak nisu usporedivi. Naime, ako dođe do medicinskog problema ili bilo kojeg hitnog slučaja, posada MSP može se unutar nekoliko sati vratiti na Zemlju. Također, teretna vozila neprekidno opskrbljuju posadu MSP hranom, lijekovima i drugim potrepštinama. Zbog udaljenosti, jednom kada se odleti na Mars, više nema povratka niti dodatne opskrbe pa se javlja i problem skladištenja hrane. Nedostatak gravitacije na Marsu još je jedan problem. Na Marsu bi posada živjela i radila na 3/8 Zemljine gravitacije. Godine bez standardne gravitacije uvelike će utjecati na kosti, mišiće i kardiovaskularni sustav posade. Posljednja opasnost je neprijateljska okolina. Svemirska letjelica bit će dom posade, ali se ne smije zaboraviti da je to mehanička naprava. Ekosistem unutar vozila je bitan faktor koji uključuje temperaturu, tlak, svjetlost, buku i količinu prostora potrebnu za život.

§ 2. PRIKAZ ODABRANE TEME

2.1. Zračenje

2.1.1. Zračenje na Zemlji

Zračenje je oblik energije koja se emitira u obliku elektromagnetskih valova i čestica. Elektromagnetski val sastoji se od promjenjivog električnog i magnetskog polja. Spektar elektromagnetskog zračenja je širok, sastoji se od: radio valova (najveće valne duljine), mikrovalova, infracrvenog zračenja, vidljive svjetlosti, ultraljubičastog zračenja, rendgenskih zraka i gama zračenja (najkraće valne duljine, ali najveće energije). Ulazno ultraljubičasto, vidljivo i ograničeni dio infracrvenog zračenja Sunca, pokreću klimatski sustav Zemlje. Solarno zračenje koje prolazi Zemljinu atmosferu reflektira se na snijegu, ledu i ostalim površinama ili se apsorbira. Toplina koja nastaje kao rezultat apsorpcije dolaznog kratkovalnog zračenja emitira se kao dugovalno zračenje. Zračenje ugrijava atmosferu, zajedno s manjim zračenjem sa Zemljine površine, emitira se u svemir. Staklenički plinovi u atmosferi apsorbiraju većinu Zemljinog emitiranog infracrvenog zračenja, koji zagrijava donju atmosferu. Zagrijana atmosfera zrači dugovalnim zračenjem, od kojeg dio emitira prema Zemljinoj površini održavajući planet toplim i ugodnim.



Slika 2. Zračenje na Zemlji⁵

2.1.2. Zračenje u svemiru

Zračenje u svemiru je drugačije od onoga koje osjećamo na Zemlji. Uključuje: čestice zarobljene u Zemljinom magnetskom polju, čestice u svemiru koje potječu od solarnog zračenja te galaktičke kozmičke zrake koje su visokoenergijski protoni i ioni teških metala koji dolaze prostora izvan našeg Sunčevog sustava. Sve ove vrste zračenja predstavljaju ionizirajuće zračenje. Ionizirajuće čestice mogu biti opasne za ljude, jer prolaze kroz kožu i oštećuju stanice i DNA. Ovo oštećenje može značiti povećani rizik za rak kasnije u životu, ili, u najgorem slučaju, akutnu radijacijsku bolest tijekom misije, ako je doza zračenja dovoljno velika. Na Marsu, astronauti će cijelo vrijeme biti izvan Zemljine magnetosfere, izloženi ionizirajućem zračenju pa kako Mars nema globalno magnetsko polje koje bi odbilo ionizirajuće čestice i atmosfera mu je mnogo rjeđa od Zemljine, neće biti zaštićeni. Tijekom cijelog putovanja astronauti moraju biti zaštićeni od dva izvora zračenja. Prvo dolazi od Sunca, koje kontinuirano emitira stalan tok tzv. solarnih protona (SPE) kao i povremene izboje uslijed velikih eksplozija, poput sunčevih bljeskova i izbacivanja koronalne mase. Iako Sunce oslobađa velik broj solarnih protona, njihova energija je dovoljno niska da se astronaute može gotovo potpuno fizički zaštititi strukturom svemirske letjelice. Od drugog izvora energijskih čestica se teže zaštititi. Galaktičko kozmičko zračenje (GCR) je dominantan izvor zračenja s kojim se treba nositi u svemirskim misijama unutar našeg Sunčevog sustava. GCR dolazi izvan Sunčevog sustava, iz zvijezda galaksije Mliječnog puta ili čak drugih galaksija. Sastoji se od jezgara atoma kojima su uklonjeni elektroni i koji putuju gotovo brzinom svjetlosti. Te su čestice vjerojatno ubrzanе u posljednjih nekoliko milijuna godina magnetskim poljem ostataka supernove.⁶ Zapravo, GCR je sastavljeno od visokoenergijskih potpuno ioniziranih atomskih jezgara, od vodika do uranija. Vodikove jezgre čine 89 % GCR spektra, a uranijske se javljaju samo u tragovima.⁷ Postoji mala, ali značajna komponenta GCR čestica s visokim atomskim brojem ($Z > 10$) i visokom energijom ($E > 100$ GeV). Ove čestice visoke energije, s visokim nabojem (HZE) čine samo 1 % do 2 % ukupne fluktuacije GCR-a, ali one djeluju s vrlo visokim specifičnim ionizacijama i tako doprinose oko 50 % dugoročne doze zračenja koju će ljudi u svemiru primiti.⁸ Ove čestice mogu ionizirati atome u materijalu u kojeg udaraju, poput astronauta ili metalnih zidova svemirske letjelice. Astronauti su izloženi ionizacijskom zračenju s dozama u rasponu od 50 do 2000 mSv (za usporedbu godišnja prirodna doza zračenja na Zemlji je 2,4 mSv). Dodatna opasnost od zračenja potječe od neutronske i gama zračenja proizvedenog nuklearnim

sudarima koji su posljedica djelovanja svemirskog zračenja na stijenke svemirskih letjelica. Postoje dva načina zaštite od takvih čestica: koristiti mnogo veće mase tradicionalnih materijala za svemirske letjelice ili koristiti učinkovitije zaštitne materijale. Korištenje čiste, veće mase za zaštitu bilo bi skupo, jer veća masa znači više goriva za pokretanje. Upotreba materijala koji učinkovitije štite smanjila bi masu i troškove, no pronalaženje takvih materijala još je u tijeku.⁹

2.2. Materijali zaštite

2.2.1. Vodik

Najbolji način zaštite od zračenja je s nečim što je slične veličine. Kako su protoni i neutroni slične veličine, vodik je element koji dobro štiti od kozmičkog zračenja. Atomi vodika najčešće se sastoje samo od jednog elektrona i jednog protona pa zbog toga imaju najveći omjer naboja i mase. Budući da zaštita od čistog vodika nije izvediva, polimeri koji sadrže vodik su najprikladniji kandidati za zaštitu. Vodik je djelotvoran pri fragmentaciji teških iona kao što su oni koji se nalaze u galaktičkom kozmičkom zračenju (GCR), zaustavljanju protona poput onih koji se nalaze u različitim događajima čestica sunca (SPE) i usporavanju neutrona poput onih koji nastaju kao sekundarno zračenje kada GCR i SPE djeluju na materiju. Što je veći sadržaj vodika u materijalu, to je bolja učinkovitost zaštite od zračenja i od GCR-a i od SEP-a.⁸ Međutim, čisti vodik je lako zapaljiv, ima mali presjek apsorpcije neutrona i ne može se pretvoriti u strukturne komponente.

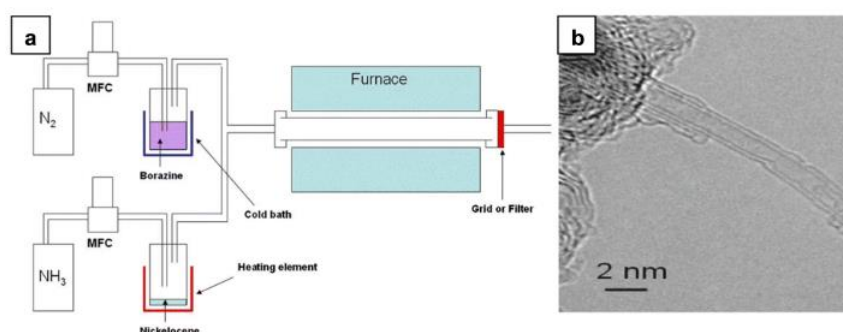
Voda sadrži vodik, ali to je tekućina, a ne strukturni materijal; može se koristiti kao dio cjelokupnog sustava zaštite od zračenja, jer je voda neophodan potrošni materijal za sve ljudske istraživačke misije.

Polietilen također ima potencijal za zaštitu od zračenja. Ima mnogo vodika i prilično je jeftin za proizvodnju, međutim nije dovoljno jak i čvrst da izgradi veliku strukturu. Nema snagu i toplinsku stabilnost da bude konstrukcijski materijal za svemirske primjene, poput svemirske letjelice koja prilikom lansiranja prolazi kroz veliku toplinu i snažne sile. Dodavanje polietilena u metalnu strukturu dodalo bi priličnu masu, što znači da će za lansiranje biti potrebno više goriva.

2.2.2. Nanocjevčice borovog nitrida

Nanocjevčice borovog nitrida (BNNT) imaju cjevastu nanostrukturu u kojoj su atomi bora i dušika raspoređeni u šesterokutnoj mreži. BNNT je sintetiziran uglavnom metodama koje su ranije korištene za izradu ugljičnih nanocjevčica (CNT), uključujući lučno pražnjenje, kemijsko

taloženje isparenja (CVD), lasersku ablaciju itd. U metodi CVD koristi se pročišćeni borazin kao izvor bora i dušika, s nikelocenom, bis(ciklopentadienil)niklom(II), kao katalizatorom, kako bi se spriječilo nastajanje nepotrebnih borodušičnih vrsta ili vjerojatnu kemijsku kontaminaciju. Sinteza BNNT-a provodi se u miješanju dviju struja plinova: jedna je struja amonijaka koja nosi katalizator bis(ciklopentadienil)niklom(II), a druga je struja dušika koji sadrži borazin. Rast BNNT-a kontroliran je omjerom protoka amonijaka prema dušiku (100 : 3) pri 1200 °C. BNNT-ovi sintetizirani ovim postupkom uglavnom su dvoslojne nanocjevčice promjera dva nm i duljine nekoliko stotina nanometara.¹⁰



Slika 3. a) Shematski prikaz CVD metode, b) TEM slika dvoslojne nanocjevčice BNNT-a dobivene CVD metodom¹⁰

BNNT čine u potpunosti atomi niskog Z (atomskog broja) – bor i dušik. Bor ($Z = 5$) i dušik ($Z = 7$) veći su od vodika ($Z = 1$), ali su još uvijek mali i manji od aluminijsa ($Z = 13$). Vrhunska mehanička (tvrdoća i žilavost) i termička (stabilnost i vodljivost) svojstva ovih BNNT-ova čine ih idealnim materijalom za razvoj novih laganih i vrlo učinkovitih materijala protiv zračenja. Bor ima jedan od najvećih presjeka neutronske apsorpcije svih elemenata periodnog sustava elemenata, a dušik ima veći presjek apsorpcije neutrona od ugljika. Presjek neutronske apsorpcije za izotop ¹⁰B je 3835 ambara, tako da bi obogaćivanje BNNT ili BN izotopom ¹⁰B omogućilo još bolju zaštitu od neutrona. BNNT su nanocjevčice; njihova je molekulska struktura pogodna za skladištenje vodika. Postoje dvije metode ili tehnike za unošenje vodika u BNNT:

- (1) skladištenje vodika u BNNT-u i
- (2) hidrogeniranje BNNT-a.

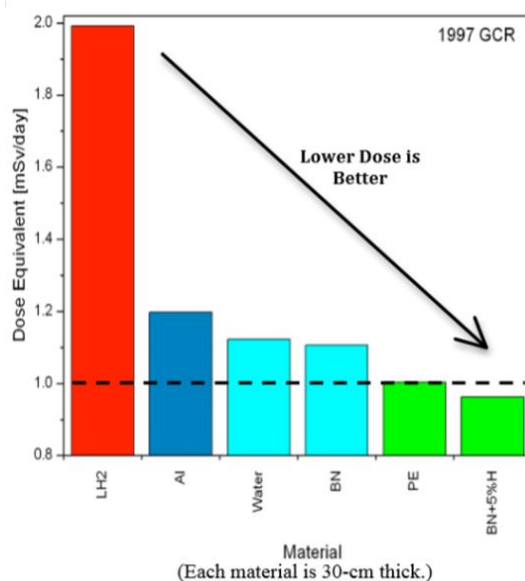
Nanocjevčice su pogodne za skladištenje vodika preko čestica i limova, jer imaju veću površinu i veću energiju vezanja vodika. Druga metoda uvođenja vodika u BNNT je hidrogeniranje BNNT-a, pri čemu će vodik biti kovalentno vezan za bor, dušik ili oboje. Ovim pristupom, može se postići veći udio vodika u usporedbi s pristupom skladištenja vodika.

BNNT je toplinski stabilan do 800 °C i Youngov modul mu je 1,18 TPa. Očekuje se da će dodavanje BNNT-a kompozitima značajno poboljšati čvrstoću i toplinsku otpornost materijala. Svojstva BNNT-a prikazana su u Tablici 1.

Tablica 1. Fizikalna svojstva BNNT-a¹¹

Karakteristike	BNNT
Električna svojstva	poluvodič
Youngov modul	1,18 TPa
Toplinska provodljivost	3000 W/mK
Toplinska oksidacijska otpornost	800 °C na zraku
Neutronska apsorpcija	B = 767 (¹⁰ B = 3800) N = 1,9
Polarnost	stalni dipol
Piezoelektricitet	0,25 – 0,4 C/m ²
Koeficijent ekspanzije	1 · 10 ⁻⁶

Dodavanjem 5 % BNNT u polimernu matricu povećava joj toplinsku vodljivost za oko 140 %. Povećana toplinska vodljivost i stabilnost pri visokim temperaturama pomaže smanjiti lokalnu štetu od pregrijavanja pod utjecajem visokih prodora kinetičke energije.¹² Kad se uzmu u obzir debljine zidova i oblici materijala koji bi se stvarno mogli upotrijebiti za izgradnju svemirskih letjelica, BN materijali djeluju bolje od tekućeg vodika (LH₂) i vode. BN + 5 % H djeluje bolje od najsuvremenijeg polietilena kao što se vidi na Slici 4, gdje je svaki materijal debljine 30 cm.



Slika 4. Izloženost GCR sa zaštitom debljine 30 cm različitih materijala⁸

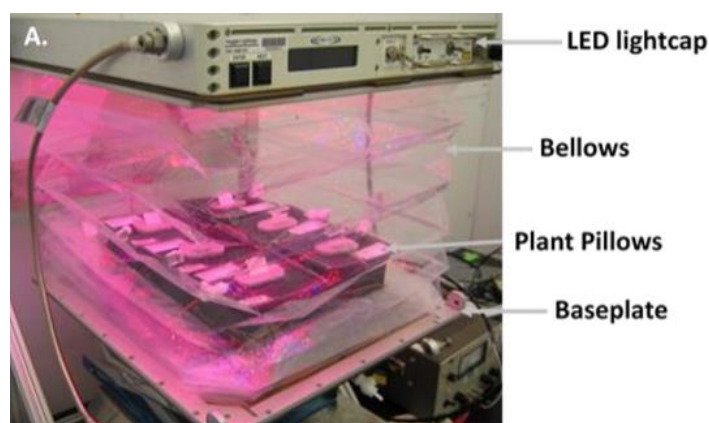
2.3. Hrana

2.3.1. Sustav za proizvodnju povrća

Znanstvenici uzgajaju hranu u svemiru od kad astronauti žive tamo. Sovjetski astronauti uspješno su uzgajali kineski kupus, poriluk i luk 1971. godine na prvoj svemirskoj postaji s posadom Salyut 1. Svježe povrće moglo bi biti ključno za održavanje zdravlja posade tijekom godina u svemiru. Biljke sadrže mnogo hranjivih tvari osim esencijalnih vitamina koje bi čovjek mogao uzimati u obliku tableta. Sposobnost proizvodnje i održavanja usjeva za salatu tijekom dugoročnih misija bila bi velika korist za NASA-u; obnovljiva opskrba hranom uštedjela bi na teretnom prostoru, masi i novcu. Biljke se uzgajaju za hranu, ali one mogu reciklirati atmosferu, uzimajući ugljični dioksid i osiguravajući kisik astronautima. Biljke također mogu pomoći pri preradi otpadnih voda i opskrbljivanju čistom, pitkom vodom transpiracijom.

Sustav za proizvodnju povrća („Veggie“) je sustav rasta biljaka koji je dizajniran u suradnji s Orbital Technologies Corp, tzv. ORBITEC-om i trenutno se koristi na Međunarodnoj svemirskoj postaji. Osim uzgoja povrća u svemiru, „Veggie“ se koristi u raznim eksperimentima kako bi se utvrdilo utjecaj mikrogravitacije na rast biljaka te sredstvo za rekreaciju i opuštanje kroz terapijsko vrtlarstvo. Dizajniran je za malu potrošnju energije, malu pokretačku masu i volumen skladištenja, te minimalne potrebe za posadom.¹³ Osigurava osvjetljenje, vodu i hranjive tvari za učinkovit rast biljaka, koristeći okruženje u kabini za kontrolu temperature i relativne vlage te izvor ugljičnog dioksida za fotosintezu. „Veggie“ jedinica pruža površinu uzgoja od 0,17 m². Sastoji se od tri primarna podsustava: velikog podesivog poklopca sa svjetiljkama s diodama (LED) koji se može postaviti na različite intenzitete svjetlosti, proširivog, prozirnog kućišta s miješom koji se može prilagoditi biljkama kako rastu i spremnika volumena 1,5 L. Proširivi mješovi pružaju kontrolu protoka i tlaka zraka u spremniku te se mogu koristiti na različitim visinama između 5 i 45 cm. Spremnik je povezan s bazom za ukorjenjivanje i tzv. biljnim jastucima pričvršćenim elastičnim vrpčama. Biljni jastuci sadrže supstrat za rast, gnojivo s kontroliranim oslobađanjem i sjemenke.¹⁴ Osnovni izazov uzgoja biljaka u mikrogravitaciji je dostava odgovarajuće količine vode i hranjivih tvari u korijenski sustav. Prostirka s korijenjem sastoji se od vlažne površine Nomex koja izlazi iz zatvorenog spremnika. Njena uloga je pasivna isporuka vode i hranjivih tvari iz spremnika prema potrebama biljaka na koje utječe evapotranspiracija. Putem evapotranspiracije voda se kroz vlažnu površinu Nomex uvlači u biljni mediji. Površinska napetost vode na vlažnom materijalu sprječava nakupljanje slobodne vode u mikrogravitaciji. Do problema nakupljanja

vode može doći zbog manjka protoka zraka. To se sprječava korištenjem ventilatora.¹⁵ Svjetlosni poklopac sadrži crvenu (630 nm), plavu (455 nm) i zelenu (530 nm) LED svjetlost.¹⁴ Ružičasta nijansa koja okružuje biljke u Veggie rezultat je kombinacije crvenih i plavih svjetiljki koje po dizajnu emitiraju više svjetla od zelenog LED svjetla te imitiraju sunčevu svjetlost. Dodatno zeleno LED svjetlo pomaže u poboljšanju ljudske vizualne percepcije biljaka.¹⁶



Slika 5. Sustav za proizvodnju povrća („Veggie“)¹⁴

U „Veggie“ sustavu prvo su uzgojene crvena zelena salata i cvijet cinija koje su odabrane zbog brzog rasta. Zelena salata je izabrana kao jestivo povrće bogato antioksidansima. Ima niske razine mikroorganizama na lišću kada raste u kontroliranim uvjetima što je čini sigurnom za jelo bez prethodnog pranja, jer je pranje vodom u svemiru zbog mikrogravitacije izazovno. Cinija je izabrana kao preteča rajčicama zbog cvijeta. Osim crvene zelene salate i cinije još su uzgojeni i kineski kupus, mizuna, špinat, paprika, rajčice i rotkvica. Biljke rastu slično u svemiru kao i na Zemlji. Mikrogravitacija ne utječe značajno na rast biljaka.¹⁷



Slika 6. Crvena zelena salata izrasla u „Veggie“ biljnom jastuku¹⁸

Drugi sustav za rast biljaka je Napredno stanište za biljke (APH) koja je visokokvalitetna komora s visokim performansama i širokim sustavima za nadzor i kontrolu. APH će omogućiti praćenje i kontrolu svih kardinalnih čimbenika rasta biljaka: svjetlosti, temperature, atmosfere, vode i hranjivih tvari. Osim toga, kontrola sustava u stvarnom vremenu, mogućnost snimanja iz više uglova i visoka razlučivost podataka važni su aspekti ovog sustava. Koristi LED svjetla i supstrat od porozne gline s gnojivom i kontroliranim oslobađanjem za isporuku vode, hranjivih tvari i kisika u korijenje biljke. Raspodjela vode, sadržaj atmosfere, razina vlage i temperatura su automatizirani. Ima više LED svjetla od Veggie sustava, s crvenim, zelenim i plavim svjetlima, ali i bijelim, te dalekocrvenim, pa čak i infracrvenim da omogući noćno snimanje. APH je svoj prvi pokusni rad pokrenuo na svemirskoj postaji u proljeće 2018. godine koristeći talijin uročnjak (*Arabidopsis thaliana*) i patuljastu pšenicu.¹⁹

Biološko istraživanje u kanisterima (BRIC) je sustav koje se koristi za proučavanje utjecaja svemira na organizme koji su dovoljno mali da rastu u Petrijevim posudama, poput kvasca i mikroba. BRIC-LED je najnovija inačica, koja je dodala diode koje emitiraju svjetlost (LED) za rast biljaka, mahova, algi i cijanobakterija kojima je potrebna svjetlost za prehranu. Njime se istraživala ekspresija gena biljke talijin uročnjak u svemiru. Promijenio se imunološki sustav biljaka te se povećao stres od oksidacije. Određeni geni imunološkog sustava se isključuju u svemiru što može ugroziti sposobnost biljaka da se bore protiv infekcije.¹⁹

2.3.2. Osjetljivost hrane

Budući da je masa tereta na letjelici glavna briga za svako lansiranje, malo je vjerojatno da bi posada za Mars sa sobom nosila hranu potrebnu za dvije godine. Dio njihove hrane vjerojatno će putovati ispred njih na zasebnoj letjelici te će se astronauti na dugotrajnim misijama vjerojatno uvelike oslanjati na prerađenu, zapakiranu hranu koja će osigurati potrebne hranjive sastojke. Hrana mora biti prihvatljive kvalitete i raznolikosti te mora biti male mase i volumena da bi udovoljila ograničenjima tereta i mora zadržati organoleptičku kvalitetu kako bi se osigurala potrošnja.

Poseban je interes za očuvanje vitamina A, B1 (tiamin), B9 (folna kiselina), C i E. Funkcije ovih vitamina uključuju očuvanje i zaštitu oštine vida (vitamin A), imuniteta (vitamini A i C), mišićnog i neurološkog funkcioniranja (vitamin B1), sintezu DNK i RNK (vitamin B9); vitamini C i E nadalje djeluju kao antioksidanti, a B9 nudi zaštitu protiv anemije. Vitamini mogu proći kroz izrazitu, ali različitu stopu razgradnje tijekom skladištenja, pri čemu

osjetljivost ovisi o hrani, njenom sastavu i okolišnim uvjetima. Pokazalo se da je za pšenicu, koja je bila čuvana tri mjeseca pri 25 i 40 °C, izgubljeno 45 % i > 85 % vitamina A. Zadržavanje je negativno povezano s razinom slobodnih masnih kiselina u proizvodu. Pokazalo se da raspad tiamina raste s porastom temperature i pH-vrijednosti te da slijedi kinetiku raspada prvog reda. Gubitci folne kiseline u formulacijama ekstrudirane riže nakon devet mjeseci pri 40 °C kreću se između 24 % i 43 %, a zadržavanje ovisi o sadržaju željeza. Kristalni vitamin C smanjuje se više od 60 % u sušenom bivolju obranom mlijeku pri 30 °C tijekom 12 mjeseci. Degradacija vitamina C bila je prilagođena reakcijskom modelu prvog reda, pri čemu se pokazalo da brzina reakcije raste s vlagom i temperaturom. Vitamin E kao α -tokoferol je stabilan u zamrznutom sušenom grahu pohranjenom pri 37 °C dvije godine. Vitamini B1 i B9 osjetljivi su na visoku toplinu, svi su osjetljivi na zrak i oksidaciju. Različiti pristupi općenito mogu teorijski povećati stabilnost vitamina. Niske temperature skladištenja mogu umanjiti stope reakcija razgradnje, kao što se može koristiti i matrikse hrane s malim udjelom vode.

Inkapsulacija u zaštitne prevlake može osigurati fizičku zaštitnu barijeru za vitamine. Uz to, upotreba suprotnog polarnog okruženja, tzv. "polarni paradoks", koji bi se mogao primijeniti na vitamine prilagodbom sastava hrane. Ograničenjem kisika u prehrambenom proizvodnom okruženju tehnikama pakiranja ili sabijanjem materijala također se može sačuvati aktivnost vitamina. Stoga bi idealno trebalo koristiti kombinaciju parametara formulacije, obrade i skladištenja za dugoročno očuvanje aktivnosti vitamina. Vojna hrana spremna za jelo (MRE) koriste aluminijsku foliju presvučenu plastikom. Ona je snažna prepreka zraku i vlazi koja može razgraditi hranu i potaknuti rast mikroba. NASA bi se, međutim, željela odmaknuti od ove ambalaže kako bi povećala ukusnost svojih namirnica. Zbog ambalaže, vojni MRE sačuvani su kuhanjem pod pritiskom. Prelazak na drugačiju metodu, poput termičke sterilizacije potpomognute mikrovalnom pećnicom, koja koristi kratke, snažne mikrovalove za ubijanje mikroba u hrani, teorijski bi mogli dovesti do kvalitetnije hrane. Ali, aluminijska folija ne može ići u mikrovalnu pa se koristi slojevita plastična ambalaža s prevlakom od aluminijevog oksida. Više kisika prodire u ove plastične vrećice u odnosu na foliju, ali tijekom trogodišnje studije nisu pronađeni mikrobi. Također postoji i konzerviranje zračenjem, koje NASA koristi na svježim komadima mesa koji su poslani na ISS, ali taj proces uništava većinu vitamina u hrani. Vitamini A, B1, B9, C i E inkapsulirani su tako da je lipidni inkapsulans nanesen na vitamine B1, B9 i C koji su topljivi u vodi, a sastojao se od hidrogeniranog ulja pamučnog sjemena. Kapsulans ugljikohidrata primijenjen je na lipidno topljivim vitaminima A i E, a sastojao se od

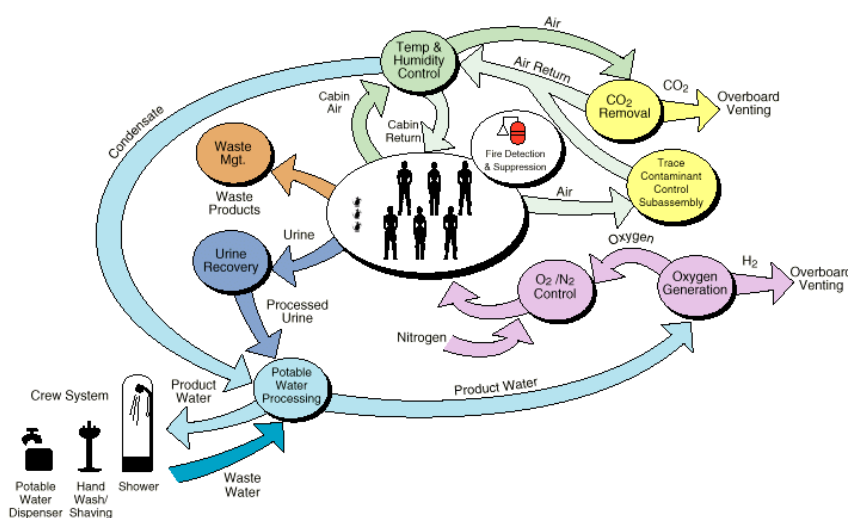
maltodekstrina. Upotrebe inkapsulansa suprotne polarnosti poboljšava zaštitu te se zasniva na „polarnom paradoksu“. Polarni antioksidansi su relativno stabilniji u sustavima na bazi ulja, a nepolarni antioksidansi učinkovitiji su u emulzijama na vodenoj bazi. Kao hrana su razvijene relativno niske i masne verzije komprimiranih pločica granola od borovnice i mješavina pića u prahu s čokoladom i lješnjakom. Pločice i osnovna pakiranja pića su pohranjeni pri 21 °C i analizirani u početku i nakon prve, druge i treće godine. Proizvodi su, za usporedbu, odvojeno pohranjeni pri 38 °C (temperatura korištena za studije pohranjenih u vojnim obrocima) i povučeni na analizu nakon prve godine. Osjetljivost na razgradnju pri 21 °C slijedila je sekvencu B9 > A > B1 > C > E; stope degradacije postavljene su prema kinetikama prvog reda. Usporedba gubitka vitamina u pločicama u odnosu na baze pića, objedinjujući sve vitamine i proizvode, pokazala je nešto veći gubitak u pićima (otprilike 3 %). Razlike u stabilnosti zbog oblika proizvoda mogu se pripisati relativnom nedostatku zarobljenog kisika u pločicama, kako zbog kompresije tako i zbog njihovog vakuum pakiranja. Vitamin B1 pokazao je znatno veću razgradnju u proizvodima s visokom masnoćom. Jednogodišnje skladištenje pri 38 °C barem je udvostručilo gubitke (u odnosu na one nakon tri godine pri 21 °C) vitamina A i vitamina C u svim proizvodima. Senzorne karakteristike za proizvode pohranjene tri godine pri 21 °C ostale su uglavnom iznad 6,0 na hedonskoj skali od 9 točaka, dok su one pohranjene jednu godinu pri 38 °C uglavnom iznad 5,0.²⁰

2.4. Sustav za kontrolu okoliša i životnu potporu

Životna podrška bitna je za ljudski svemirski let te buduću kolonizaciju Marsa, jer ljudi ne mogu preživjeti surovo svemirsko okruženje. Kako je dugoročan cilj NASA-e je proširiti ljudsku prisutnost izvan niske orbite oko zemlje (LEO), sustavi za održavanje života ključni su za misije u kojima ponovna opskrba nije moguća.

Sustav za kontrolu okoliša i životnu potporu (ECLSS) je sustav životnog održavanja koji kontrolira atmosferski tlak, razinu kisika, gospodarenje otpadom i opskrbu vodom. Trenutno se nalazi na Međunarodnoj svemirskoj postaji. Stvaranje ECLSS-a omogućava smještaj veće posade na svemirskoj postaji, produžava vrijeme koje se posada može zadržati u svemiru i značajno smanjuje troškove upravljanja Svemirskom postajom. ECLSS se sastoji od dvije ključne komponente: sustava za povrat vode (WRS) i sustava za proizvodnju kisika (OGS).²¹ WRS proizvodi čistu vodu iz otpadnih voda koje uključuju urina članova posade, kondenzata vlage zraka u kabini i ostale higijenske otpadne vode. Sastoji se od sklopa procesora urina

(UPA) i sklopa procesora vode (WPA). UPC je zasnovan na destilaciji kompresijom pare (VCD), a uključuje i adsorpciju, ionsku izmjenu i heterogenu katalitičku oksidaciju. U VCD procesu, urin promjenom faze prelazi u plin (isparava) pomoću niskog tlaka u rotirajućem uređaju za destilaciju. Procesor zagađenu vodu šalje kroz niz filtracijskih slojeva te je pročišćava katalitičkom oksidacijom.²² Čistoća vode provjerava se sensorima električne vodljivosti. Neprihvatljiva voda se prerađuje, a čista odvođi u spremnik. UPC je dizajniran tako da podnosi opterećenje od 9 kg na dan što odgovara šesteročlanjoj posadi te je sposoban za povrat i recikliranje 85 % vode.²³ OGS proizvodi kisik za udisanje. Sastoji se od sklopa za proizvodnju kisika (OGA), sklopa za smanjenje ugljičnog dioksida i modula napajanja. OGA elektrolizom vode dobivene iz WRS-a proizvodi kisik i vodik. Kisik se dovodi u kabinu, a vodik se odvođi u sklop za smanjenje ugljičnog dioksida.²⁴ Sustav revitalizacije zraka uklanja ugljični dioksid i onečišćenje u tragovima. Sustav ima molekulska sita sa zeolitima za uklanjanje ugljikovog monoksida i kombinaciju zeolita i silikagela za isušivanje dolaznog zraka. Glavni nadzor atmosfere obavlja glavni sustavni analizator tvari (MCA) koji se temelji na masenoj spektrometriji i analizira dušik, kisik, vodik, ugljikov dioksid, metan i vodenu paru.²² ECLSS također kontrolira stalnu temperaturu zraka i vlažnost pomoću sklopke za kontrolu temperature i vlažnosti (THC). Sabatierov sustav koristi vodik dobiven kao sustavom za proizvodnju kisika i ugljikov dioksid uklonjen sustavom revitalizacije zraka kako bi nastala voda i metan. Voda se pročišćava u WPA sustavu, a metan se izbacuje izvan Svemirske postaje.²³ Na taj način svi resursi cirkuliraju te se obnavljaju što sustav čini izuzetno praktičnim i korisnim.



Slika 7. Kruženje i recikliranje resursa u ECLSS sustavu²³

2.5. Kolonija na Marsu

Mars je planet sličan Zemlji. Stijene koje čine Mars jednake su onima koje se nalaze na Zemlji. Ima godišnja doba, dan traje 24 sata, 39 minuta i 35 sekunde. Za buduću kolonizaciju Marsa najbitnije je da ima vode u obliku leda. Međutim, brojne su razlike i prepreke koje će trebati svladati prilikom naseljavanja. Za opstanak ljudi na Marsu potrebno je živjeti u umjetnim staništima sa složenim sustavima za potporu i održavanje života. Kolonizacija bi zahtijevala široku paletu opreme; onu koja bi služila za izravno pružanje usluga ljudima i onu koja bi se koristila za proizvodnju hrane, vode, kisika, pogonskog goriva i energije. Kisik bi se dobivao elektrolizom vode te su potrebni veliki elektrolizeri kako bi se pripravilo dovoljno kisika za potrebe ljudi. Kisik se može proizvesti elektrolizom cirkonijevog dioksida kojeg ima u atmosferi Marsa pa se ne bi trošile zalihe vode. Osnovni izvor vode bio bi led u polarnim regijama Marsa. Led bi zagrijavali roveri mikrovalnim zračenjem. Voda bi se pretvarala u vodenu paru te kondenzirala i pohranjivala u tekućem obliku. Pogonsko gorivo mogli bi biti vodik i metan koji se dobivaju Sabatierovom reakcijom. Solarne elektrane proizvodile bi energiju. Energija bi se također mogla proizvoditi u geotermalnim postrojenjima te nuklearnim elektranama. Hrana bi se proizvodila u sustavima za proizvodnju povrća te poljoprivrednom tehnikom „akvaponika“. „Akvaponika“ se odnosi na bilo kakav sustav koji kombinira konvencionalnu akvakulturu (uzgoj vodenih životinja) i hidroponiku u simbiotskom okruženju. Izlučevine životinja odvođe se u hidroponski sustav gdje ih nificirajuće bakterije pretvaraju u hranu za biljke.²⁵

Naselja bi mogla biti smještena u ekvatorijalnim regijama. Mars „Odyssey“ orbiter pronašao je prirodne špilje u blizini vulkana Arsia Mons. Doseljenici bi mogli imati korist od takve vrste skloništa ili neke slične strukture, jer pruža zaštitu od zračenja. Iz istog razloga mreža tunela koje je stvorila lava mogla bi biti staništa u koja bi stalo 25 000 ljudi. Regija Hellas Planitia je najdublji sliv. Sastoji se od topografski najnižih dijelova na Marsovoj površini koji prigušuju 50 % zračenja i imaju najviši atmosferski tlak. Prisutnost bazaltnih stijena u marsovoj kori ispod Hellas Planitia idealan je izvor građevinskih materijala potrebnih za razvoj infrastrukture za naselje.²⁶ Analizom stijena utvrđeno je prisustvo željezovog oksida, silikata i zeolita. Silikati bi se mogli koristiti za proizvodnju stakla nakon uklanjanja željeznih nečistoća. Značajna prisutnost vodika može se iskoristiti za proizvodnju plastike.

Staništa trebaju dobru zaštitu od zračenja. Naselja u lava-cijevima mogla bi se zaštititi upotrebom polietilenskog pokrova, a u slučaju površinskih naselja ledenim kupolama. Najbolji

materijal zaštite bio bi BNNT koji se može ugraditi u zaštitna odjela. U svim javnim i privatnim prostorima bili bi postavljeni dozimetri kako bi se pratila razina zračenja na površini.

Ljudsku koloniju pripremali bi robotski sustavi. Oni bi pomagali u pronalaženju resursa i njihovoj obradi. Život bi bio uvelike olakšan tehnologijom i automatizacijom. Svakidašnje administrativne poslove i papirologiju zamijenilo bi *e*-upravljanje. Nadzor bi bio automatiziran kao i sustav za održavanje života. Sva staništa te medicinski, pravni, ekonomski i socijalni sustavi, odnosno većina administrativnih i upravljačkih zadataka, bili bi složeni u mrežu podataka kako bi se osigurala što bolja učinkovitost te bi njima upravljali umjetni administratori.

Kolonija bi bila parlamentarna republika s izravnom demokracijom, a izvršna vlast oslanjala bi se na tehnološkom napretku. Rješavala bi pitanja kao što su nedostatak prostora, resursa, životne zaštite, sustava životne podrške, ograničenje transporta te nužne zaštite na otvorenom. Naseljavali bi je ljudi iz različitih dijelova Zemlje, različitih socijalnih, etičkih i vjerskih identiteta čiji bi zajednički cilj bio preživljavanje. Ekonomija bi se temeljila na sektorima koji podupiru industrije kao što je rudarstvo, biotehnologija, građevina, poljoprivreda i turizam. Također bi se oslanjala na istraživanju i razvoju umjetne inteligencije. Za takav ekonomski sustav potrebna je visoko obrazovana radna snaga koja može ostvariti vizije za razvoj društva. Iako je kolonizacija Marsa još daleka, nije ni fikcija, jer razvoj tehnologija iz dana u dan pruža nove mogućnosti.

§ 3. LITERATURNI IZVORI

1. <https://mars.nasa.gov/all-about-mars/facts/> (datum pristupa 10.5.2020.)
2. https://mars.nasa.gov/#red_planet/2 (datum pristupa 10.5.2020.)
3. https://mars.nasa.gov/#red_planet/3 (datum pristupa 10.5.2020.)
4. <http://lasp.colorado.edu/home/maven/mars-atmospheric-reservoirs/> (datum pristupa 10.5.2020.)
5. https://science.nasa.gov/ems/13_radiationbudget (datum pristupa 26.5.2020.)
6. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/real-martians-how-to-protect-astronauts-from-space-radiation-on-mars> (datum pristupa 26.5.2020.)
7. G. De Angelis, F. F. Badavi, S. R. Blattnig, M. S. Cloudsley, J. E. Nealy, G. D. Qualls, R. C. Singleterry, R. K. Tripathi, J. W. Wilson, *Nucl. Phys. B.* 166 (2017) 184-202.
8. *Radiation Shielding Materials Containing Hydrogen, Boron, and Nitrogen: Systematic Computational and Experimental Study – Phase 1*, NASA Headquarters, Washington, 2012.
9. <https://www.nasa.gov/analogs/nsrl/why-space-radiation-matters> (datum pristupa 26.5.2020.)
10. <https://nanoconvergencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40580-018-0149-y> (datum pristupa 4.6.2020.)
11. G. Sauti, C. Park, J. Ho Kang, J. W. Kim, J. S. Harrison, M. W. Smith, K. Jordan, S. E. Lowther, P. T. Lilleheil, S. A. Thibeault, Boron nitride and boron nitride nanotube materials for radiation shielding, U. S. Patent 0119316, 2013.
12. J. H. Kang, C. Park, G. Sauti, M. W. Smith, K. C. Jordan, S. E. Lowther, R. G. Bryant, *High kinetics energy penetrator shielding and high wear resistance fabricated with boron nitride nanotubes (BNNTS) and BNNT polymer composites*, U. S. Patent 9067385, 2015.
13. https://en.wikipedia.org/wiki/Vegetable_Production_System (datum pristupa 15.6.2020.)
14. G. D. Massa, R. M. Wheeler, R. C. Morrow, H. G. Levine, *Growth Chambers on the International Space Station for large Plants*, 8th International Symposium on Light in Horticulture, East Lansing, SAD, 2016

15. G. W. Stutte, G. Newsham, R. M. Morrow, R. M. Wheeler, *Concept for Sustained Plant Production on ISS Using VEGGIE Capillary Mat Rooting System*, 41st International Conference on Environmental Systems, Portland, Oregon, SAD, 2011.
16. https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/meals_ready_to_eat (datum pristupa 15.6.2020.)
17. A. M. Eldemire, *Scientific Verification Test of Orbitec Deployable Vegetable Production System for Salad Crop Growth on ISS – Gas Exchange System design and Function*, NASA Kennedy Space Center, 2007.
18. https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/veggie.html (datum pristupa 7.7.2020.)
19. <https://www.nasa.gov/content/growing-plants-in-space> (datum pristupa 15.6.2020.)
20. A. H. Barrett, M. J. Richardson, D. F. Froio, L. F. O'Connor, D. J. Anderson, T. V. Ndou, *J Food Sci.* **83** (2018) 2183 – 2190.
21. <https://www.nasa.gov/centers/marshall/history/eclss.html> (datum pristupa 8.7.2020.)
22. R. L. Carrasquillo, *ISS ECLSS Tehnology Evolution for Exploration*, 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, SAD, 2005.
23. https://en.wikipedia.org/wiki/ISS_ECLSS (datum pristupa 8.7.2020.)
24. <https://www.nasa.gov/centers/marshall/history/eclss.html> (datum pristupa 8.7.2020.)
25. <https://en.wikipedia.org/wiki/Aquaponics> (datum pristupa 8.7.2020.)
26. https://en.wikipedia.org/wiki/Colonization_of_Mars (datum pristupa 8.7.2020.)