

# Zaštita astronauta od kozmičkog zračenja

---

**Vukobratović, Mario**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:544677>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-27**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
ODJEL SIGURNOSTI I ZAŠTITE NA RADU

Mario Vukobratović

**ZAŠTITA ASTRONAUTA OD KOZMIČKOG  
ZRAČENJA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Slaven Lulić, dipl. ing.

Karlovac, 2015.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STUDIJ SIGURNOSTI I ZAŠTITE  
USMJERENJE: ZAŠTITA NA RADU

**ZAVRŠNI RAD**

Student: Mario Vukobratović

Matični broj: 0420413014

Naslov diplomskog rada : **Zaštita astronauta od kozmičkog zračenja**

**Zadatak Završnog rada:** Objasniti načine i metode zaštite astronauta od kozmičkog zračenja. Navesti utjecaje kozmičkog zračenja na tijela astronauta. Demonstrirati pokus teoretskog zaustavljanja čestice.

**Zadatak zadan:**

02/2015.

**Rok predaje rada:**

06/2015.

**Predviđen datum obrane:**

06/2015.

**Mentor:**

Slaven Lulić, dipl. ing.

**Predsjednik ispitnog povjerenstva:**

Ivan Štedul, prof.

## ZAHVALA

Zahvaljujem se profesorima Veleučilišta u Karlovcu, Odjel sigurnosti i zaštite, na kvalitetnom prenošenju znanja, kao i na pomoći tijekom cijelog studiranja.

Najviše se zahvaljujem svojem mentoru Slavenu Luliću, dipl. ing. zbog pomoći u izradi ovog rada. Uz kvalitetno znanje koje mi je prenio tokom studija, velika čast mi je i što sam dobio još jedanput priliku da svoju ideju prenesem u završni rad kod njega.

Velika zahvala ide i kolegi Mariu Vukošiću, ing. zaštite na radu i izvrsnom crtaču čiji crteži su točno predočili bit ovoga rada i moje ideje približili stvarnosti. Ovim radom mu se zahvaljujem i čast mi je što je sudjelovao samnom u tome.

Hvala Vam!

## SAŽETAK

Buduća putovanja izvan Zemlje su nezamisliva bez zaštite šatlova i astronauta. Zemljino magnetsko polje pruža dovoljnu zaštitu u nižoj orbiti ali jednom kad se izađe izvan dometa polja, astronauti su pod velikim utjecajem zračenja. Zračenje u svemiru dolazi sa Sunca (Solarne kozmičke zrake) i izvan našeg sustava i galaksije (Galaktičke kozmičke zrake). Ubrzane čestice velike energije, brzine i naboja prijete penetracijom tkiva i razaranja DNK. Utjecaj jakog zračenja je isti kao i na Zemlji i dolazi do formacije tumora, a pri jačim dozama i do sigurne smrti. Zaštitni materijali i njihove legure se konstantno proučavaju zbog poboljšanja njihovih svojstava za zaštitu. Potrebno je odabrati materijal sa najmanje sekundarnog zračenja i najpouzdanijom atomskom strukturom. Moguća rješenja se nalaze i u različitim oblicima aktivne zaštite kao npr. magnetski ili elektrostatski štit.

## **SUMMARY**

Future space travel outside Earth's magnetic field is impossible without the protection of shuttle and astronauts. Earth's magnetic field gives sufficient protection in low orbit but once outside of its boundaries, astronauts are directly affected by radiation. Radiation in space comes from the Sun (Solar cosmic rays) and outside of our system and galaxy (Galactic cosmic rays). Particles of high speed, energy and charge penetrate the tissue and destroy DNA. High radiation effects are the same as the ones on Earth and tumors are forming, death is certain with high doses. Protective materials and their alloys are constantly under research to give them better abilities for protection. It is necessary to choose the material who emits low secondary radiation and has the most reliable atomic structure. Possible solutions are even found in different active protections for example magnetic or electrostatic shield.

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OPĆI POJMOVI .....</b>	<b>2</b>
2.1 Kozmičko zračenje .....	2
2.2 Solarni vjetar .....	3
2.3 Solarna baklja .....	4
2.4 Galaktičke kozmičke zrake .....	5
2.5 Zemljino magnetsko polje .....	7
2.6 Van Allenovi pojasi zračenja .....	8
<b>3. DJELOVANJE NA ZEMLJU .....</b>	<b>11</b>
3.1 Interakcija solarnog vjetra i baklji sa magnetskim poljem Zemlje .....	11
3.2 Interakcija galaktičkih kozmičkih zraka sa Zemljinom atmosferom .....	12
<b>4. OPASNOSTI U SVEMIRU .....</b>	<b>14</b>
<b>5. NAČINI ZAŠTITE ŠATLOVA I ASTRONAUTA OD KOZMIČKOG ZRAČENJA IZVAN MAGNETSKOG POLJA .....</b>	<b>15</b>
5.1 Opći dizajn i karakteristike materijala šatla .....	16
5.2 Materijali za zaštitu od zračenja - osobni prijedlozi i istraživanja .....	25
5.2.1 Vodik .....	29
5.2.2 Voda .....	31
5.2.3 Polietilen + gadolinij .....	34
5.2.4 Simulacije, proračuni i grafovi .....	40
5.3 Multisloj i prijedlog ergonomskog oblikovanja prostora za obitavanje .....	47
5.4 Materijali za zaštitu od zračenja – NASA .....	51
5.5 Aktivna zaštita od čestica .....	56
5.5.1 Magnetski štit .....	56
5.5.2 Elektrostatski štit .....	58

<b>6. DETEKTOR KOZMIČKOG ZRAČENJA .....</b>	<b>59</b>
<b>7. UTJECAJ KOZMIČKOG ZRAČENJA NA ZDRAVLJE ASTRONAUTA .....</b>	<b>61</b>
7.1 Dopuštene doze pri izlaganju .....	61
7.2 Djelovanje kozmičkog zračenja na tijela astronauta .....	62
7.3 Djelovanje bestežinskog stanja na tijela astronauta – žene i muškarci .....	63
7.4 Poremećaj neuroloških funkcija .....	65
<b>8. UTJECAJ KOZMIČKOG ZRAČENJA NA ELEKTRONIKU .....</b>	<b>66</b>
<b>9. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>67</b>

## **LITERATURA**





## **1. UVOD**

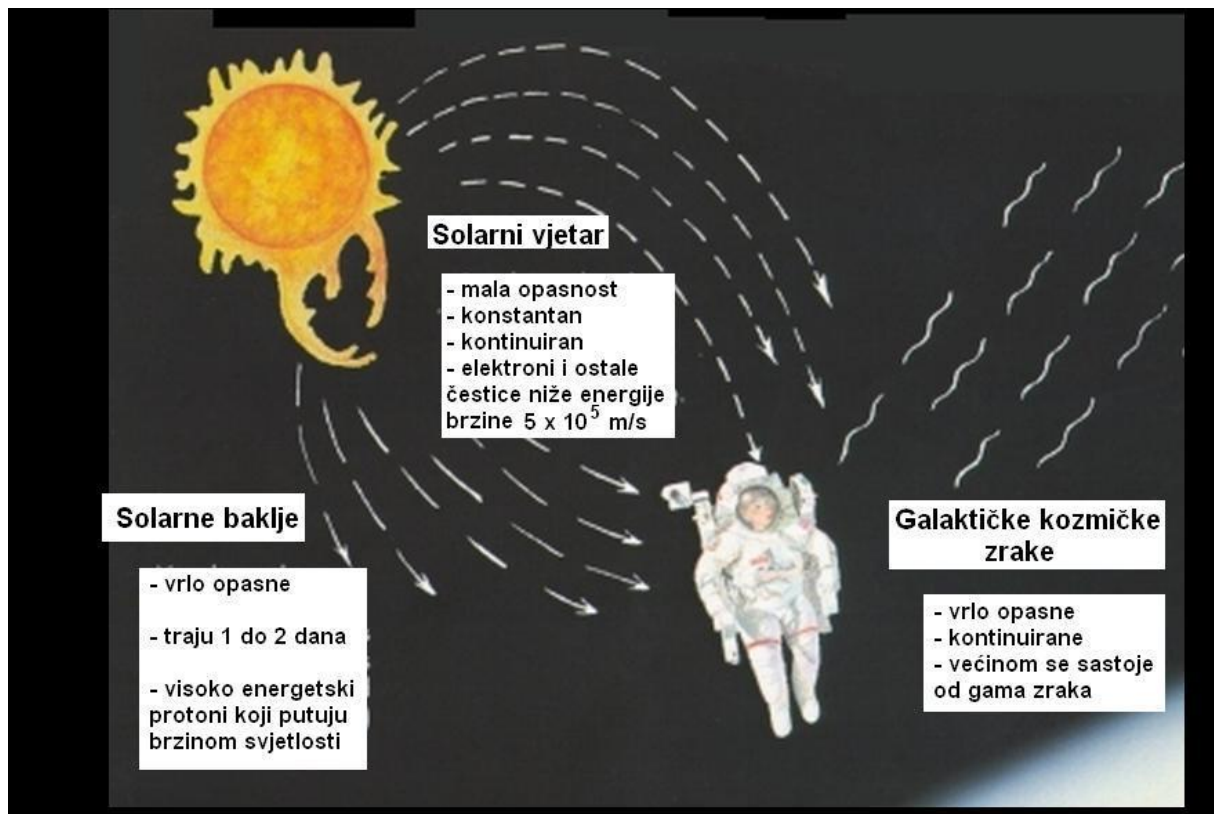
Sa razvojem moderne tehnologije razvija se i ljudska mašta o svemirskim putovanjima. Danas već šaljemo astronaute u Zemljinu orbitu no glavni cilj je putovanje mnogo dalje od matičnog planeta. Problemi već započinju pri samom izlasku iz Zemljinog magnetskog polja jer svemir je sve, samo ne gostoljubiv za čovjeka. Iako se kaže da je naš Sunčev sustav čist, on je daleko od toga. Ovaj diplomski rad će predstaviti i opisati prvu i najveću prepreku za bilo koje svemirsko putovanje, a to je opasno kozmičko zračenje. Svemir je pun različitih vrsta zračenja za koje će trebati i adekvatna zaštita. Moguće rješenje su materijali na našem vlastitom planetu i naše znanje o zakonima i uvjetima koji sačinjavaju svemir.

## 2. OPĆI POJMOVI

### 2.1 Kozmičko zračenje

Kozmičko zračenje je skup različitih vrsta zračenja iz različitih izvora.

Kozmičko zračenje čine 3 tipa zračenja koja djeluju na astronaute i cijeli planet. Navedeno na slici 1.



Slika 1. Zračenje koje djeluje na astronaute

Solarni vjetar i baklje zapravo čine zrake koje se nazivaju solarne kozmičke zrake

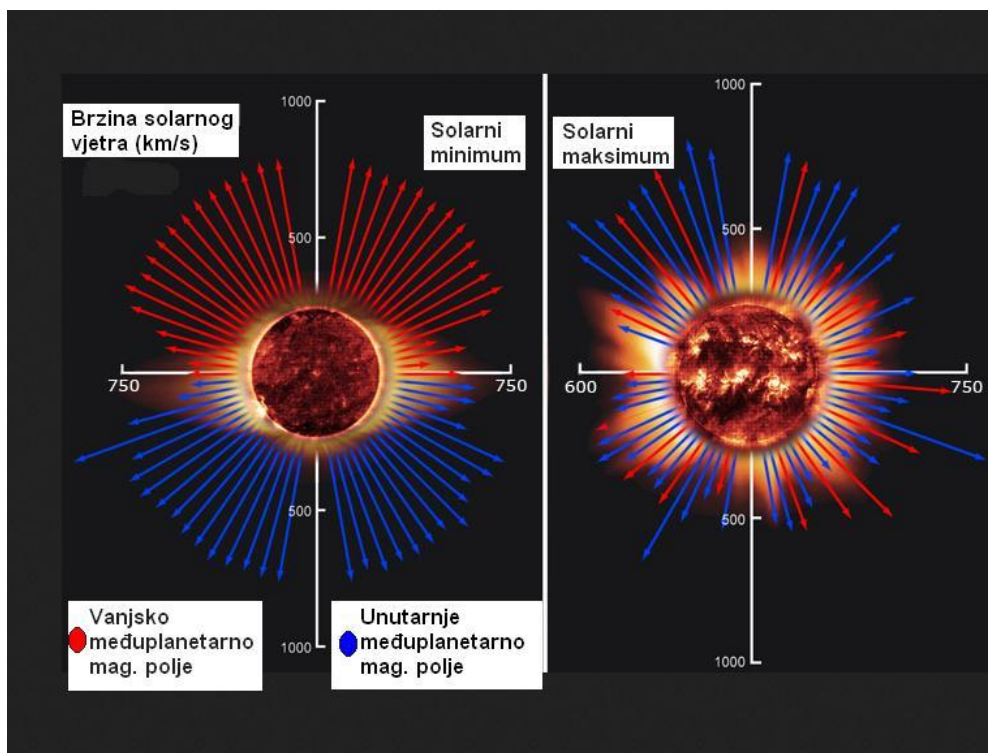
## 2.2 Solarni vjetar

Solarni vjetar je struja električki nabijenih čestica koje su izbačene iz gornje atmosfere Sunca. Uglavnom se sastoje od elektrona i protona čija je energija između 20 i 100 keV. Njihova temperatura, kao i brzina, s vremenom se mijenja. Te čestice mogu izbjeći Sunčevu gravitaciju jer imaju vrlo veliku kinetičku energiju i zbog visoke temperature u koroni.

Sunčev vjetar stvara heliosferu, ogroman prostor međuplanetarne materije koja okružuje Sunčev sustav. On stvara i geomagnetske oluje koje mogu ometati električnu mrežu na Zemlji, polarnu svjetlost i rep kometa koji sadrži plazmu i uvijek je okrenuta u smjeru od Sunca.

Sunčev vjetar se može podijeliti na spori Sunčev vjetar i brzi Sunčev vjetar. Spori Sunčev vjetar ima brzinu od oko 400 km/s, temperaturu od oko  $1.4 - 1.6 \cdot 10^6 K$  i sastav koji je sličan koroni. S druge strane, brzi Sunčev vjetar ima brzinu oko 750 km/s, nižu temperaturu oko  $8 \cdot 10^5 K$  i ima sastav kao fotosfera. Spori Sunčev vjetar je duplo gušći.

Spori Sunčev vjetar potiče iz Sunčevog ekvatorijalnog pojasa, koji se još zove i “strujni” pojas, i to za vrijeme Sunčevog minimuma. Za vrijeme Sunčevog maksimuma uglavnom ide sa polova. Brzi Sunčev vjetar polazi iz koronalnih šupljina, koje su područja otvorenog magnetskog polja i ima ih najviše na polovima.

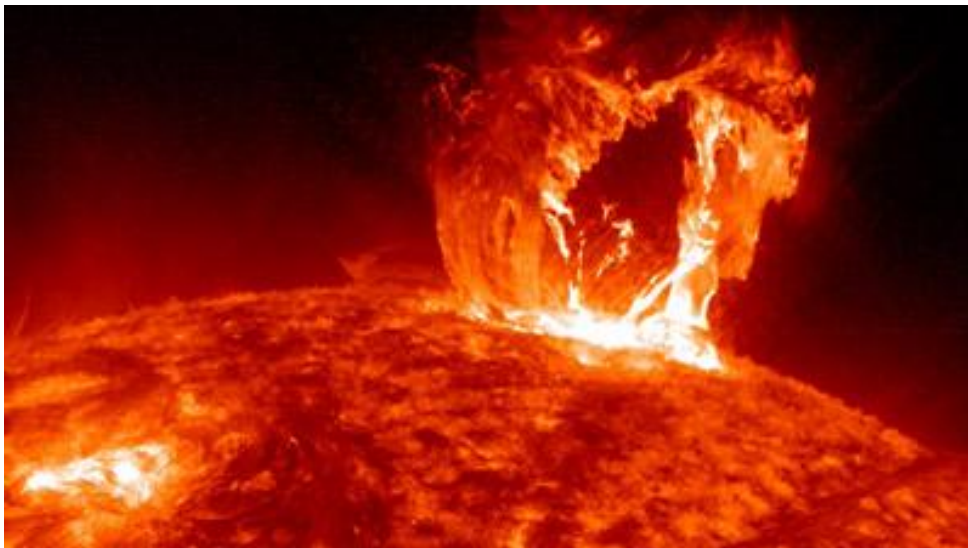


Slika 2. Brzine solarnog vjetra

### 2.3 Solarna baklja

Sunčeva baklja je velika eksplozija u Sunčevoj atmosferi, koja može osloboditi oko  $6 \cdot 10^{25} \text{ J}$  energije, a to je oko 1/6 ukupne energije koja odlazi sa Sunca svake sekunde). Sunčeve baklje utječu na sve slojeve Sunčeve atmosfere (fotosfera, kromosfera i korona), grije plazmu do 10 milijuna Kelvina i ubrzava elektrone, protone i teške ione skoro do brzine svjetlosti. Stvara elektromagnetsko zračenje na svim valnim duljinama, od radio valova do gama-čestica. Većina Sunčevih baklji se pojavljuje u aktivnim područjima oko Sunčevih pjega, gdje snažno magnetsko polje prolazi fotosferu i povezuje se sa koronom. Snagu dobiva iznenada (traje minutu do desetak minuta) oslobađanjem magnetske energije iz korone. Ako su Sunčeve baklje izuzetno snažne, one mogu uzrokovati koronalne izbačaje masa.

Sunčeve baklje se dijele na A, B, C, M ili X, prema vršnom toku energije ( $W/m^2$ ), kada se mjeri X zrakama valne duljine 0,1 do 0,8 nm, iz blizine Zemlje, kao npr. sa letjelice GOES. Svaka klasa ima vršni tok energije 10 puta veći od prethodnog, dok X klasa ima vršni tok energije  $10 - 4 W/m^2$ . Unutar klasa je podjela od 1 do 9, tako na primjer X2 klasa je dva puta snažnija od X1. Naj snažnije klase M i X su često povezane sa različitim smetnjama u Zemljinoj atmosferi.



Slika 3. Solarna baklja

## 2.4 Galaktičke kozmičke zrake

Kozmičke zrake su energetske električki nabijene subatomske čestice, koje dolaze iz vanjskog svemira i sudaraju se sa Zemljinom atmosferom. One mogu stvoriti sekundarne čestice (spalacija) koje mogu proći Zemljinu površinu, pa i dublje. Kozmičke zrake su iste čestice koje se kao stabilni dijelovi atoma, mogu pronaći na Zemlji: protoni, atomske jezgre ili elektroni. To su slične čestice koje kruže unutar akceleratora čestica, s tom razlikom da su energije kozmičkih zraka veće. Danas se priroda čestica kozmičkih zraka treba naglasiti, tako da bi ispravnije bilo ih zvati kozmičke čestice.

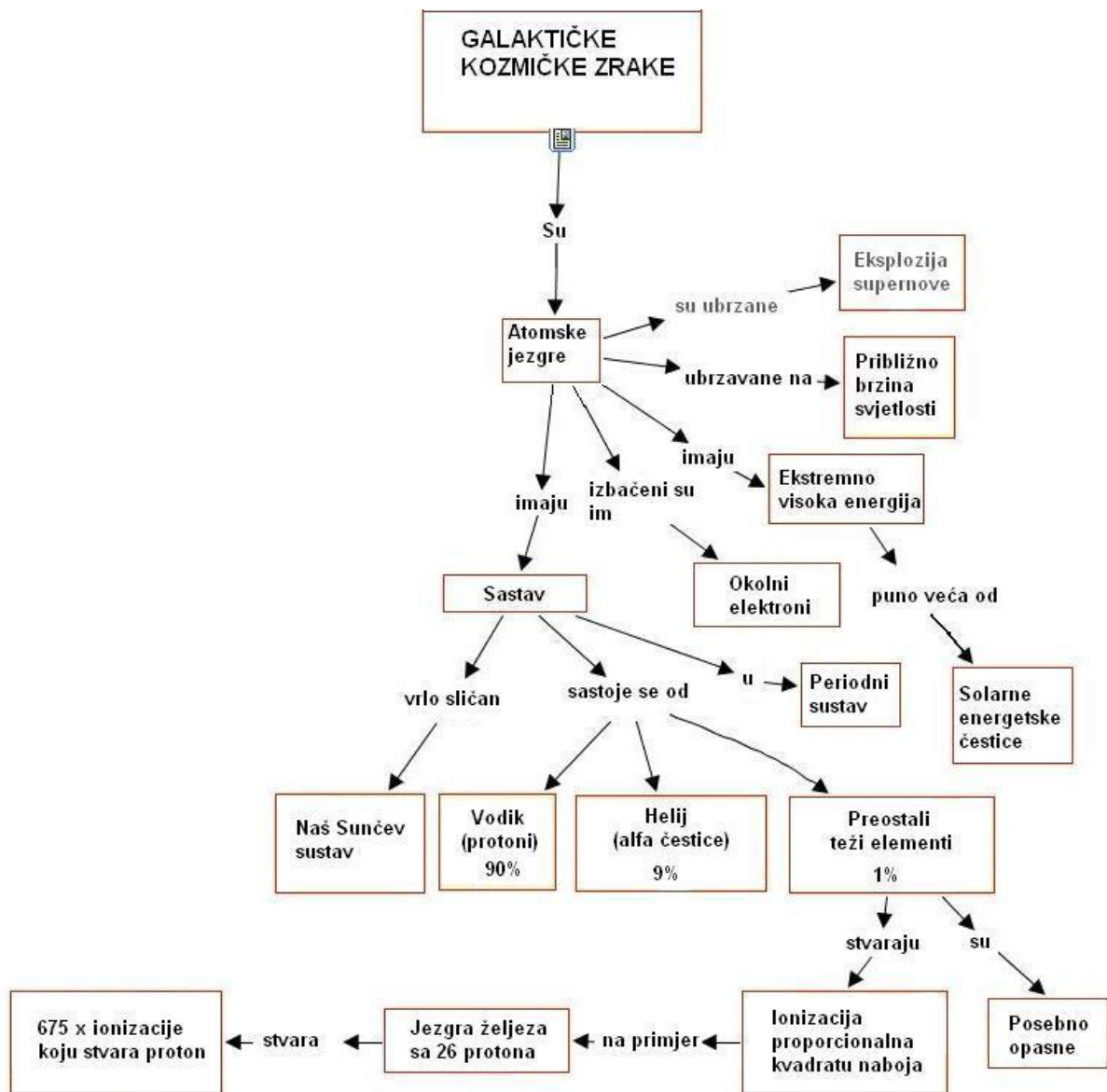
Oko 89% dolazećih kozmičkih zraka su jednostavni protoni (jezgre vodika), 10% su jezgre helija (alfa-čestice) i 1% su teži elementi. Te jezgre vodika i helija čine 99% kozmičkih zraka. Pojedinačni elektroni (poput beta-čestica) čine ostalih 1% galaktičkih kozmičkih zraka – to su kozmičke zrake koje dolaze izvan Sunčevog sustava. Zasad je nepoznato odakle ti elektroni dolaze i zašto imaju ubrzanje manje od atomskih jezgri.

Podrijetlo kozmičkih zraka je različito, jedan dio dolazi od Sunca, kao i od ostalih zvijezda, a drugi dio dolazi od nepoznatih događaja iz najudaljenijih dijelova vidljivog Svemira. Kozmičke zrake imaju energiju veću od  $10^{20}$  eV, puno veću nego što stvara akcelerator čestica ( $10^{12}$  do  $10^{13}$  eV).

Iako se izvori ovih zraka gotovo nemogu detektirati tako lako, ustanovljeno je da svi jaki energetske objekti emitiraju takvo zračenje. Ti izvori su izvan našeg sustava i unutar/izvan naše galaksije. Uključuju:

- Supernove
- Središte galaksije
- Crne rupe
- Kvazari
- Pulsari
- Izvan galaktički izvori

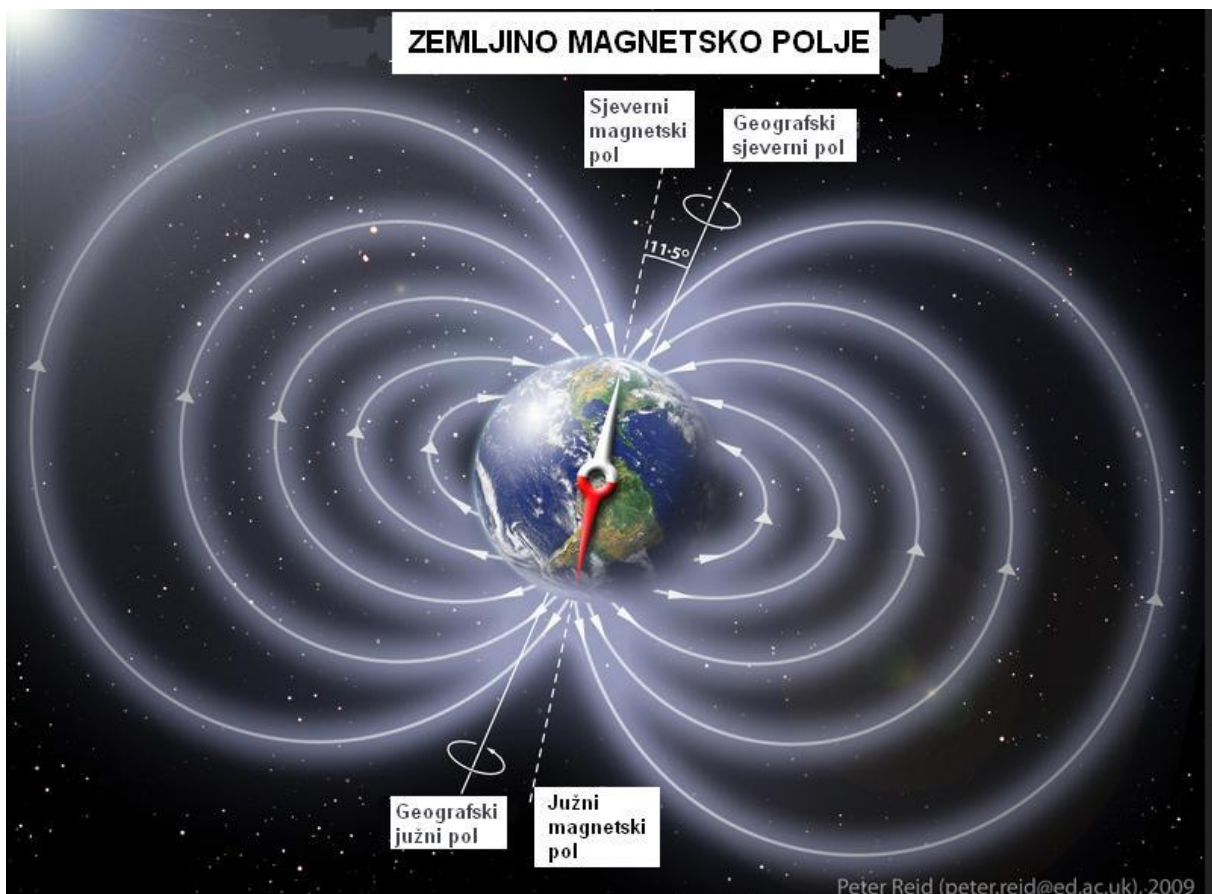
Na slici 4. je prikazan točan sastav ove vrste kozmičkih zraka



Slika 4. Sastav kozmičkih zraka

## 2.5 Zemljino magnetsko polje

Zemljino magnetsko polje ili geomagnetsko polje je magnetsko polje koje se prostire od Zemljine unutrašnjosti do mjesta na kojem nailazi na solarni vjetar, tok nabijenih čestica koji izbija sa Sunca. Njegova magnituda na Zemljinoj površini iznosi od 25 do 65 mikrotlesa (od 0,25 do 0,65 gausa). Grubo govoreći riječ je o polju magnetskog dipola trenutano nagnutog za kut od oko 10 stupnjeva u odnosu na Zemljinu os rotacije, kao da je štapićasti magnet postavljen pri takvu kutu u središte Zemlje. Za razliku od štapićastog magneta Zemljino se magnetsko polje mijenja tijekom vremena jer ga stvara geodinamo (u slučaju Zemlje, gibanje slitina rastaljenog željeza u njezinoj vanjskoj jezgri).



Slika 5. Magnetsko polje Zemlje



## 2.6 Van Allenovi pojasi zračenja

Američki fizičar James Van Allen je otkrio dva pojasa pojačanog radioaktivnog zračenja koji okružuju Zemlju. Pojase u obliku torusa, nazvane “Van Allenovi pojasi zračenja”, otkrio je pomoću Geigerovih brojača, postavljenih na umjetnim satelitima Exploreru 1 i Exploreru 3 1958. godine. Poslije su izmjereni i mapirani sa umjetnim satelitima Explorer 4, Pioneer 3 i Luna 1. Oni štite Zemlju od opasne Sunčeve radijacije tako što je “skupljaju” i od nje formiraju pojase koji okružuju Zemlju. Te čestice predstavljaju elektroni, protoni i alfa-čestice. Van Allenovi pojasi zračenja su otkriveni i na drugim planetima. Svaki planet koji ima dovoljno jako magnetsko polje, može stvoriti takve pojase. Sunce nema takve pojase. Voyager 2 je potvrdio da postoje na Uranu i Neptunu.

Van Allenovi pojasi zračenja su oblika torusa i sadrže energetske nabijene čestice (plazma), koje okružuju Zemlju, a drži ih Zemljino magnetsko polje. Te visokoenergetske elementarne čestice električki nabijaju kozmičke zrake. Zemljino magnetsko polje je jednoliko raspodjeljeno oko Zemlje, ali na Sunčevoj strani je sabijeno zbog utjecaja Sunčevog vjetra, dok na drugoj, mračnoj strani, je izduženo.

Razlikuju se dva Van Allenova pojasa zračenja, vanjski i unutarnji. Vanjski Van Allenov pojas zračenja sadrži visokoenergetske elektrone, dok unutarnji sadrži protone i elektrone. Osim toga, ti pojasi sadrže i manju količinu alfa-čestica. Ovi pojasi su povezani i sa stvaranjem polarne svjetlosti, kada visokoenergetske čestice udaraju u gornje slojeve atmosfere i stvara se fluorescencija.

### 2.6.1 Vanjski Van Allenov pojas zračenja

Veliki vanjski pojas zračenja se širi negdje od 13 000 do 60 000 km iznad Zemljine površine. Najjači intenzitet ima između 4 do 5 Zemljinih polumjera (25 000 do 30 000 km). Sastoji se od visokoenergetskih (0,1–10 MeV) elektrona, koji su zarobljeni magnetosferom. Osim toga, mogu se pronaći ioni, u obliku visokoenergetskih protona, mali udio alfa-čestica i kisikovih  $O^+$  iona. Sličan je sastav kao u ionosferi, samo što su ove čestice mnogo veće energije.

Vanjski pojas je veći od unutarnjeg i čestice su dosta promjenjive, posebno pod utjecajem geomagnetskih oluja, koje nastaju zbog pojačanog magnetskog djelovanja na Suncu.

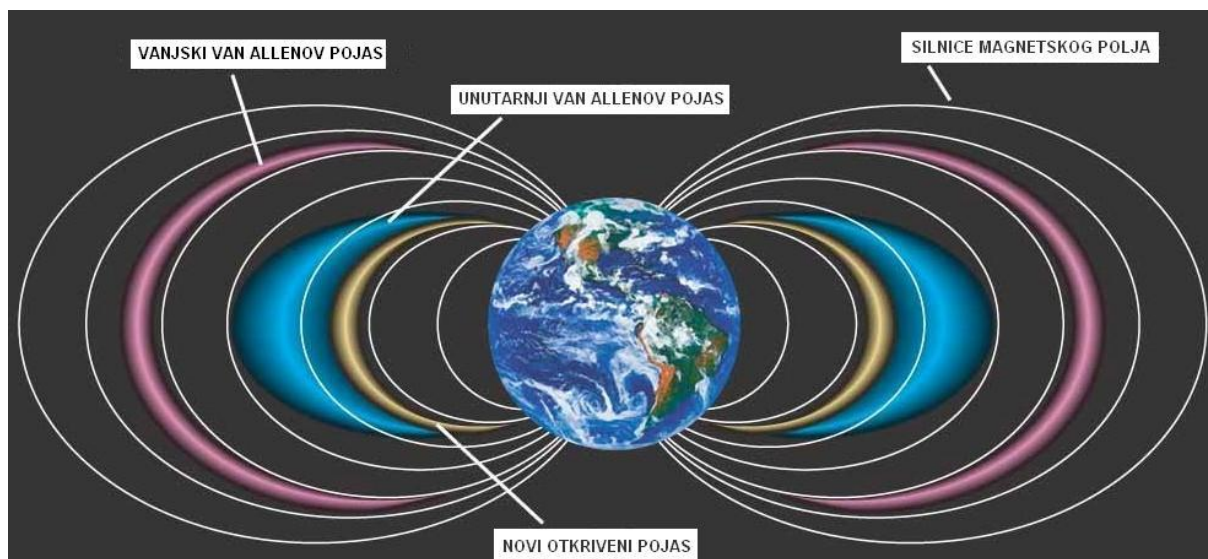
## 2.6.2 Unutarnji Van Allenov pojas zračenja

Unutarnji Van Allenov pojas zračenja se širi od 100 do 10 000 km iznad površine Zemlje. Sadrži visokoenergetske protone, čija energija prelazi i 100 MeV te elektrone sa energijom preko 100 keV, koji su zarobljeni sa jakim Zemljinim magnetskim poljem, u tom području. Smatra se da protoni energije veće od 50 MeV nastaju sudarom kozmičkih zraka sa jezgrama atoma, u gornjoj atmosferi. Protoni energije manje od 50 MeV vjerojatno potječu od geomagnetskih oluja.

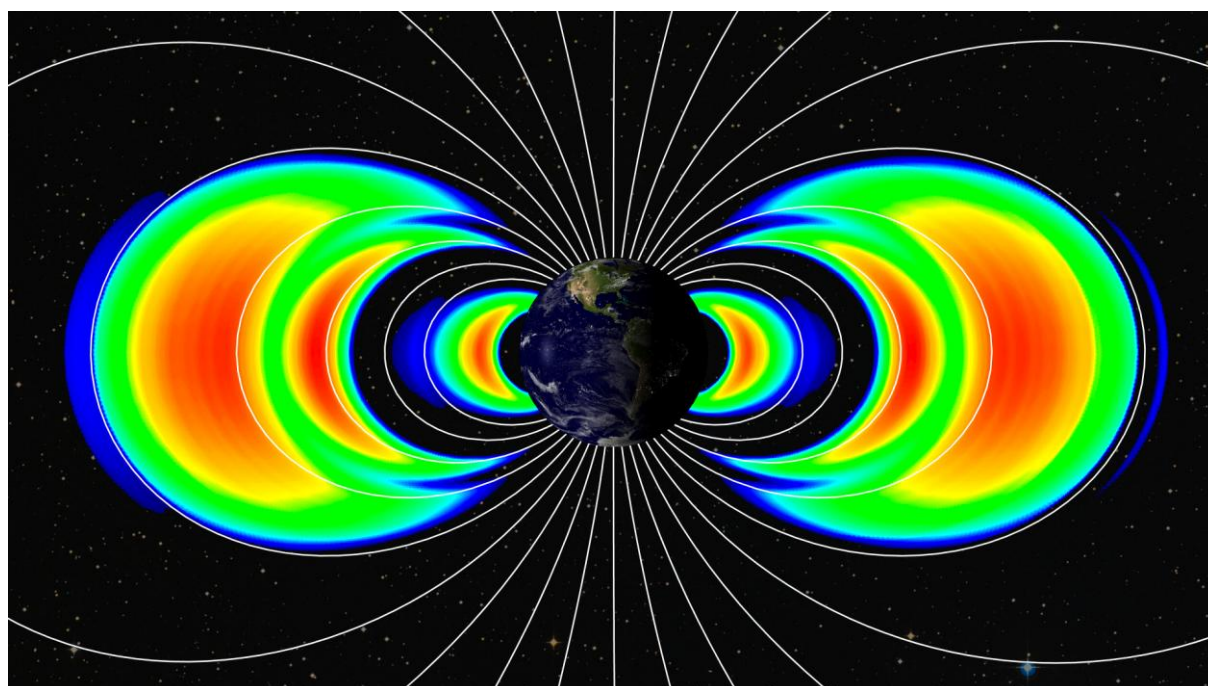
Zbog malog odstupanja unutarnjeg pojasa i Zemljine rotacijske osi, unutarnji Van Allenov pojas zračenja je najbliži Zemlji u južnom Atlantskom oceanu. Kao rezultat te nepravilnosti u južnom Atlantskom oceanu, dolazi do zamjena mjesta sjevernog i južnog magnetskog pola. Protoni su kinetičke energije od 100 keV (može proći kroz olovo debljine 0,6 mm) do 400 MeV (može proći kroz olovo debljine 143 mm). Energija koju imaju brzi elektroni ili alfa-čestice, u unutarnjem i vanjskom Van Allenovom pojasu zračenja, opasna je za ljudsko zdravlje.

## 2.6.3 Novootkriveni pojas

2013. godine letjelice Van Allen (nazvane po slavnom prof. Van Allenu) su detektirale novi radijacijski pojas oko planeta Zemlje. Ono što je bilo iznenađujuće je što je taj pojas bio građen od elektrona jako velikih energija i brzine vrlo bliske brzini svjetlosti. Ovakvi elektroni bi imali izuzetno opasni utjecaj na elektroniku i astronaute. Zbog toga su bili popularno nazvani „*elektroni ubojice*“. Bio je na visini od oko 500 km. Pojas je trajao 4 tjedna dok ga jaka sunčeva oluja nije doslovno izbrisala. Pojas i dalje fascinira znanstvenike i samo pokazuje koliko zapravo neznamo o zračenju svemira čak i u našoj neposrednoj blizini.



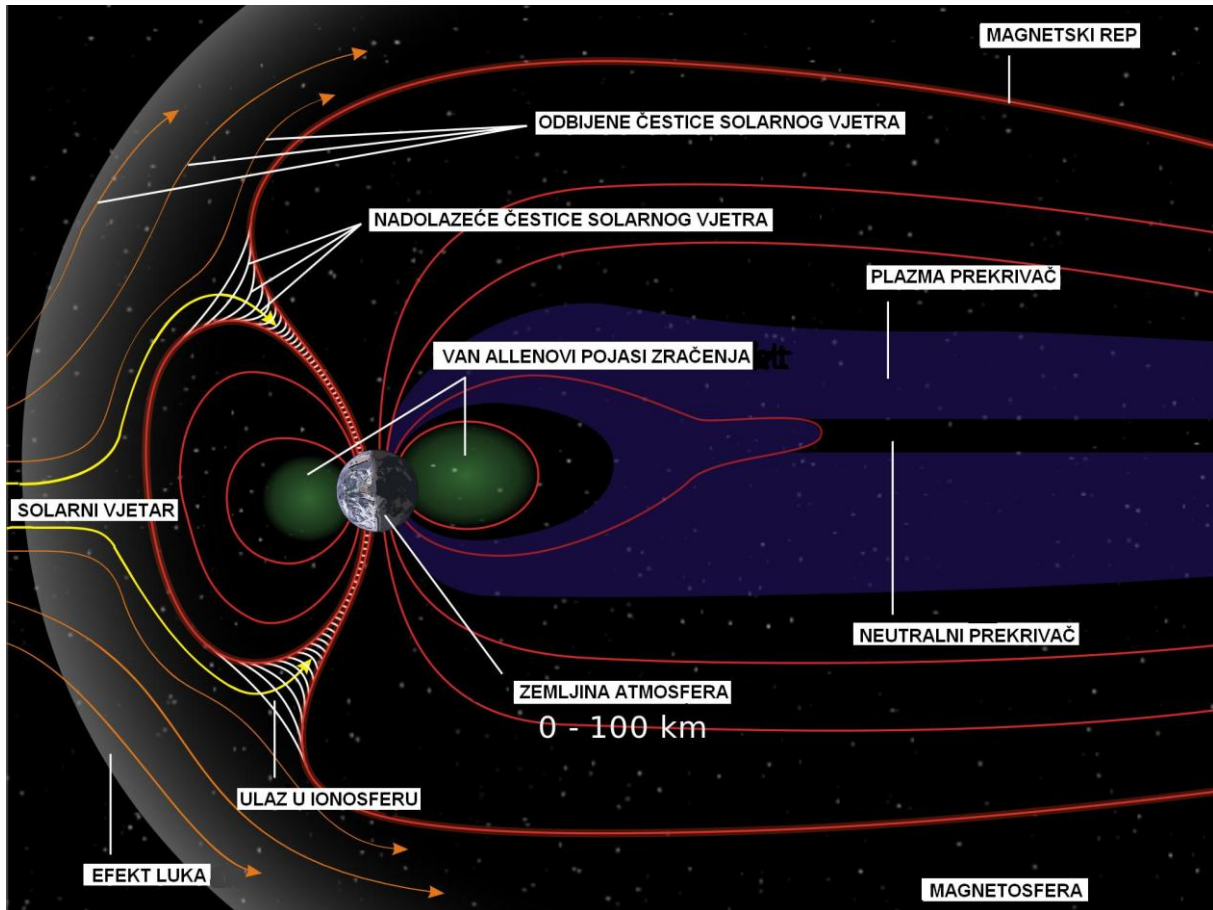
Slika 6. Van Allenovi pojasi zračenja



Slika 7. Spektroskopski prikaz pojaseva

### 3. DJELOVANJE NA ZEMLJU

#### 3.1 Interakcija solarnog vjetra i baklji sa magnetskim poljem Zemlje



Slika 8. Interakcija sa magnetskim poljem

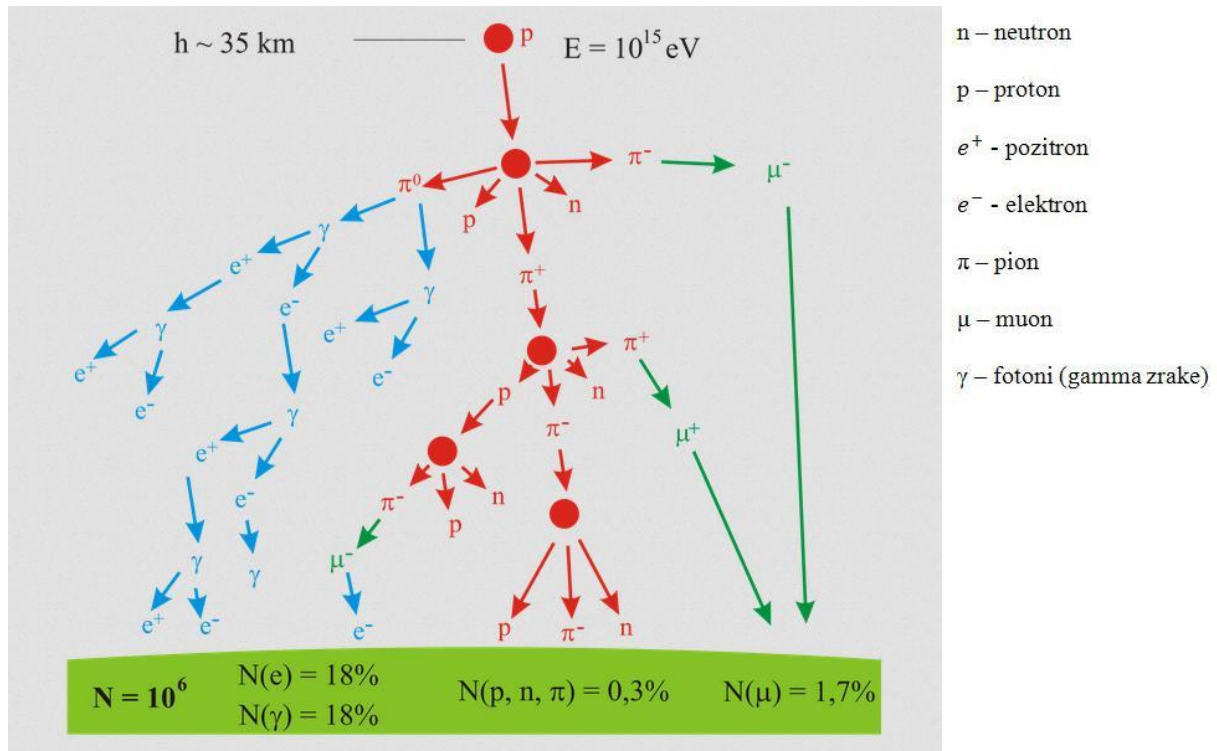
Zemljina magnetosfera je dio svemira, koji je određen Zemljinim magnetskim poljem, plazmom Sunčevog vjetra i međuplanetarnim magnetskim poljem. U magnetosferi, mješavina iona i elektrona, i od sunčevog vjetra i od zemljine ionosfere, je zarobljena s elektromagnetskim silama, koje su puno snažnije od gravitacije i sila sudaranja.

Čestice su odbijene Lorentzovom silom.

Lorentzova sila je sila koja djeluje na električni naboj  $q$  koji se giba brzinom  $v$  u magnetskom polju  $B$  i na njega djeluje električno polje  $E$ . Iznos i smjer Lorentzove sile zbrojem magnetske i električne sile na električni naboj:

$$\mathbf{F} = q (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

### 3.2 Interakcija galaktičkih kozmičkih zraka sa Zemljinom atmosferom

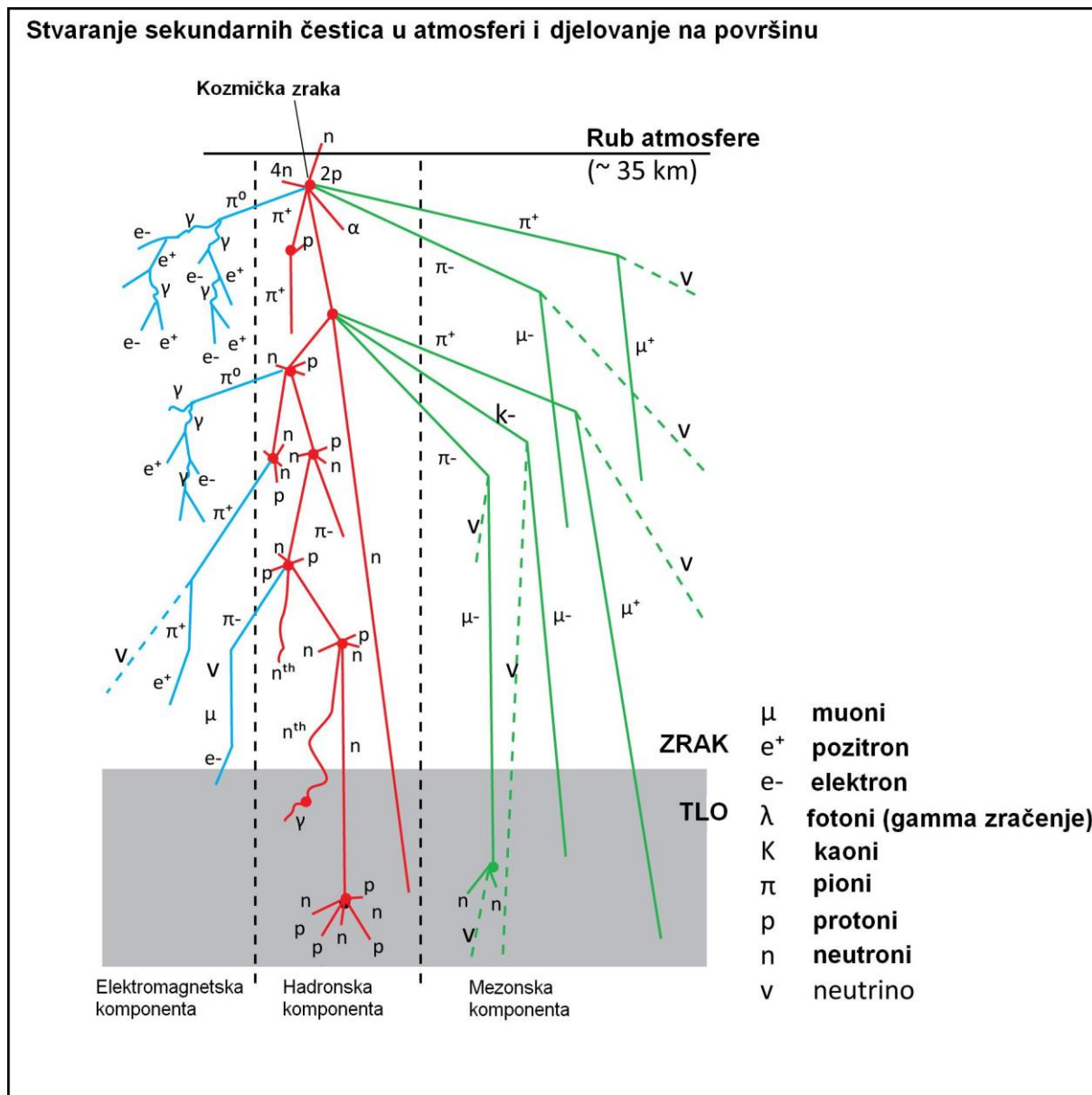


Slika 9. Princip interakcije kozmičke zrake sa molekulama zraka

Slika 9. prikazuje interakciju protona iz kozmičke zrake sa atomima zraka u atmosferi ( dušik, kisik itd.). Djelovanje se temelji na izbacivanju elektrona iz atoma uz dodatno stvaranje nekih drugih čestica. Gama zračenje je vrlo opasno u ovom području i izbijeni elektroni su usmjereni prema površini Zemlje kao i neutroni. Tokom interakcije stvaraju se i neki radioaktivni izotopi kao npr. ugljik 14 koji služi za datiranje. On nastaje kada kozmička zraka stvori neutrone koji su u reakciji sa atomima dušika.



Kretanje tih čestica može se još detaljnije prikazati kada dođu skroz do površine i kada većina njih nestane, brzine su im usporene, energije smanjene. Slika 10. se nadovezuje na sliku 9. i prikazuje što se sa česticama događa kada stignu do površine (tla).



Slika 10. Čestice u kontaktu sa tlom

Na slici 10. možemo vidjeti što se događa točno kada se čestice već približe tlu i naknadnom prolasku kroz tlo. Čestice su već jako usporene i kada dođu do tla cijelu reakciju možemo podijeliti na 3 komponente. Primjetimo da elektrona više nema u tlu, dolazi do pražnjenja i zato je EM komponenta praktički prazna. Ostale dvije komponente prikazuju prodor čestica, no one više nisu izrazito opasne za život. Neutroni prolaze kroz sve ali na Zemlji više nisu opasni za nas, dok protoni imaju toliko smanjenu energiju i brzinu da nemože doći do opasnosti po život. Naravno oni ulaze u ukupnu izloženost zračenju na Zemlji koja iznosi 2,5 mS godišnje. Ipak se radi o otprilike 100000 neutrona i 400000 protona svaki sat kroz ljudsko tijelo.

## 4. OPASNOSTI U SVEMIRU

Kao što je navedeno u sažetku ovoga rada, navest će se opasnosti vezane uz put izvan zaštite Zemljinog magnetskog polja i pri kretanju šatla iz orbite.

**4.1 Kozmičko zračenje** – sve što je vezano za ovo zračenje je navedeno prethodno kao i njegova interakcija sa planetom Zemljom no pravi problem i leži u tome. Mi smo zaštićeni magnetskim poljem, a to uključuje i astronaute u nižoj orbiti. Tu smo sigurni, no pri putovanju dalje od planeta, magnetsko polje više ne štiti i astronauti su izloženi punom djelovanju različitog zračenja. Diplomski rad će se većinom bazirati na već dugo željenom i iščekivanom putu na Mars ali i putu na druge udaljene objekte poput većih asteroida.

**4.2 Otpad u orbiti** - u orbiti postoji čak 22.000 komada otpada, koje se može pratiti sa Zemlje, zbog njihove veličine, ali i ovi manji ostaci mogu prouzročiti ozbiljnu štetu. Dodajmo tome i brzinu kojom taj otpad leti oko Zemlje (28.164 km/h) i jasno je da je svaki sudar s otpadom poput udara projektila.

**4.3 Mikrometeoriti** - mikrometeoriti su vrlo mali dijelovi stijene ili metala odlomljeni od većih komada stijena i krhotina koji često datiraju još od rođenja Sunčevog sustava. Mikrometeoriti su vrlo česti u svemiru. Mikrometeoriti imaju manje stabilne orbite od meteora, zbog njihovog omjera veće površine i mase. Slično kao i sa otpadom, sudar sa ovakvom česticom je poput udara projektila.

**4.4 Temperaturni izboji** – toplina se prenosi na tri načina, a to su konvekcija, kondukcija i radijacija. U svemiru je jedini prijenos topline radijacija. Fotoni koji udaraju u oplatu broda uz toplinu koju dovodi solarni vjetar mogu zagrijati oplatu na visoku temperaturu. Isto vrijedi i za odijela astronauta. No to je samo ako je došlo do izlaganja objektima koji stvaraju toplinu, u svemiru vladaju zapravo niske temperature i to većinom do  $-270,45\text{ }^{\circ}\text{C}$

**4.5 Krivo slijetanje šatla** – pri slijetanju na neko drugo svemirsko tijelo mogu se dogoditi neki neželjeni događaji kao npr. krivi način slijetanja što može rezultirati padom i eksplozijom ili izgaranjem.

**4.6 Skretanje sa putanje** – put na udaljena svemirska tijela poput Marsa je vrlo dug i mogu se dogoditi greške u proračunu ili nekakav kvar unutar same letjelice orbite kojom će astronauti putovati. Veliki kvar (npr. sa motorima ili elektronikom) može dovesti do skretanja sa glavnog puta.

## **5. NAČINI ZAŠTITE ŠATLOVA I ASTRONAUTA OD KOZMIČKOG ZRAČENJA IZVAN MAGNETSKOG POLJA**

Na dužem svemirskom putovanju kada više nismo zaštićeni Zemljinim mag. poljem treba pronaći rješenja za zaštitu astronauta. Sama tema ovog diplomskog rada se zapravo odnosi na ovaj ključni problem. Cilj mojeg istraživanja je dati vlastite prijedloge za materijale koji bi štitili od zračenja te obavezno navesti prijedloge koje je NASA objavila na svojim stranicama. Svi prijedlozi su teoretski i ovo poglavlje ću podijeliti na nekoliko istraživačkih kategorija. Svaka će biti detaljno opisana u nastavku rada.

- Opći dizajn i karakteristike materijala šatla
- Materijali za zaštitu od zračenja - osobni prijedlozi i istraživanja
- Multisloj i prijedlog ergonomskog oblikovanja prostora za obitavanje
- Materijali za zaštitu od zračenja – NASA
- Aktivna zaštita od čestica



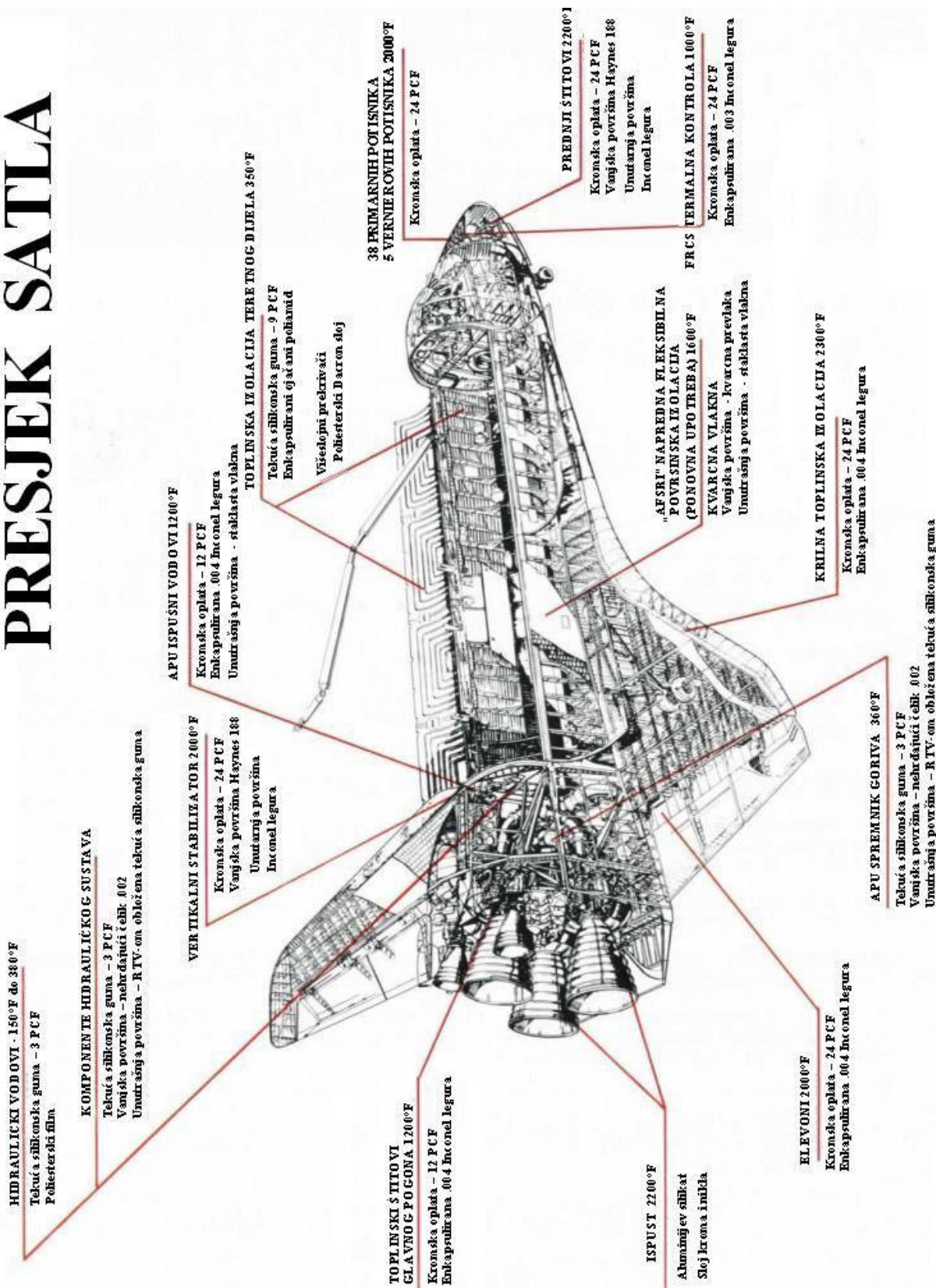
## 5.1 Opći dizajn i karakteristike materijala šatla

Da bi osmislili dobru zaštitu astronauta od zračenja i općenito oblikovali šatl prema novim zamislima, trebamo prvo vidjeti od kojih je to materijala trenutno građen. Uz to biti će navedene i karakteristike dotičnih materijala s obzirom da neki od njih čak i štite od određenih vrsta zračenja.

Šatl je izložen vrlo niskim i visokim temperaturama na svojim misijama. Slika 11. prikazuje listu materijala kojima se oblaže svaki dio šatla i time ga se štiti od naglih temperaturnih izboja, korozije i mehaničkih oštećenja. Ti materijali su:

- Tekuća silikonska guma
- Aluminijski silikat
- Nehrđajući čelik
- Krom
- Nikal
- Haynes 188
- Ojačani poliamid
- Kerakrom
- Kvarcno staklo (vlakna)
- Inconel legura
- Metalizirani poliesterski film

# PRESJEK ŠATLA



Slika 11. Presjek šatla sa materijalima za toplinsku izolaciju i antikorozijsku

#### a) Tekuća silikonska guma

Tekuća silikonska guma je platinom impregniran silikon vrlo visoke čistoće s niskim setom kompresije, velikom stabilnosti i sa velikom otpornosti na ekstremne temperature topline i hladnoće idealna za proizvodnju dijelova, gdje je visoka kvaliteta nužan uvjet. Zbog termičkih svojstava materijala, tekuća silikonska guma zahtijeva posebnu obradu, kao što je intenzivno distributivno miješanje, pri tome održavajući materijal na niskoj temperaturi, prije nego što se ubaci u peć za zagrijavanje i vulkanizira.

Kemijski gledano silikonska guma spada u grupu termoelastomera i može se lako povezati sa drugim vrstama plastike kao npr. najlon 6.6 itd.

#### b) Aluminijev silikat

Aluminijev silikat je naziv često upotrebljavan za kemijske mješavine dobivene iz aluminijevog oksida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i silicijevog dioksida  $\text{SiO}_2$ . Aluminijev silikat je vlaknasti materijal čvrste staklaste strukture. Ima izrazito veliku otpornost na visoke temperature koja ovisi o tome koliki nam je omjer aluminiija i silicija. Što je postotak aluminiija veći to je otpornost veća. Vrlo je postojan, male mase i jednostavnog postupka dobivanja. Može se pronaći u prirodi ali dobiti i sintetski.



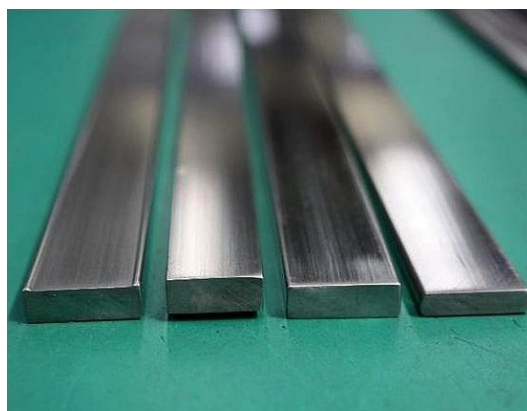
Slika 12. Aluminijev silikat

### c) Nehrđajući čelik

Nehrđajući čelik ili korozijski postojani čelik je slitina željeza i najmanje 12% kroma (moderni nehrđajući čelici sadrže i do 30% kroma), za razliku od običnog čelika koji brzo oksidira na zraku (oksid je crvene boje) ako nije na neki zaštićen od korozije. Osim legiranja s najmanje 10,5% kroma, da bi čelik bio korozijski postojan (pasivan), mora biti ispunjen još jedan uvjet, a to je postojanje homogene monofazne feritne, austenitne ili martenzitne mikrostrukture, radi izbjegavanja opasnosti od nastanka različitih područja s različitim elektropotencijalom od potencijala osnovne mase.

Pored kroma postojanost prema koroziji povećava se dodatkom nikla. Kombinacijom legiranja kromom i niklom razvijeni su čelici tipa 18/8 (18% Cr i 8% Ni), s austenitnom mikrostrukturom koji su otporni na djelovanje kiselina. Legiranje molibdenom omogućava lakše pasiviziranje, te poboljšava korozijsku postojanost i otpornost na jamičastu koroziju Cr-Ni čelika.

Korozija predstavlja razaranje metala ili legura zbog njihovog djelovanja s vanjskim medijem. Uvjeti međudjelovanja i svojstva medija određuju vrstu korozije, pa tako postoji plinska, atmosferska, podvodna, biološka korozija itd. Prema načinu razaranja metala postoje sljedeći oblici korozije: opća (jednolično odnošenje površine), jamičasta (točkasta, rupičasta, "pitting"), interkristalna, napetosna itd. Korozijska postojanost upravo predstavlja sposobnost materijala da se suprotstavi negativnom djelovanju korozijskog medija pomoću usporavanja njegovog djelovanja.



Slika 13. Poluge nehrđajućeg čelika

#### d) Krom

Kemijski element 6. skupine periodnoga sustava elemenata, vrlo tvrd, srebrnobijeli metal plavkasta odsjaja koji se može polirati (uglačati) do visokoga sjaja. Nema mirisa ni okusa, a podatan je za kovanje. U dodiru s kisikom, zrakom ili vodenom parom prevlači se vrlo tankim slojem oksida otpornim na koroziju. Nije topljiv u dušičnoj kiselini i zlatotopci, sporo se otapa u hladnoj klorovodičnoj i sumpornoj kiselini, a u vrućima puno brže. Na povišenim temperaturama reagira s mnogim nemetalima.

Krom ima široku primjenu kao sastojak legura (primjerice, nehrđajućeg čelika posebne čvrstoće), kojima povećava otpornost na koroziju, a zadržava im sjaj i tvrdoću. Vrlo poznata zaštita željeza njime je postupak kromiranja.

Krom se dobiva iz rude kromita ( $\text{Fe Cr}_2\text{O}_4$ ). Komercijalni proces ekstrakcije kroma iz kromita sastoji se od zagrijavanja rude u prisustvu aluminija i silicija. Oko dvije petine svjetskih zaliha kroma se nalaze u Južnoj Africi, a značajni proizvođači su i Kazahstan, Indija, Rusija i Turska.



Slika 14. Kromirana donja strana šatla Atlantis

#### e) Nikal

Nikal je kemijski element 10. skupine periodnoga sustava elemenata. Srebrnastobijela, blistavo-sjajna i tvrda kovina. Plastičan je, žilav i teško taljiv metal. Postupcima plastične deformacije može se obrađivati u tanke folije, cijevi i vrpce.

Slabo je feromagnetičan u rasponu od sobne temperature do 340° C. Otporan je na koroziju u različitim sredinama, te na djelovanje atmosferskih plinova (na zraku sporo oksidira), vode, halogenih elemenata i sumpora na sobnoj temperaturi, a zagrijavanjem mu se reaktivnost povećava. Otporan je prema lužinama sve do 500° C, u neoksidativnim kiselinama otapa se vrlo sporo, a u razrijeđenim oksidirajućim kiselinama brzo.

Njegova katalitička aktivnost temelji se na lakoj apsorpciji (upijanju) veće količine plinova poput ugljikova monoksida (CO) i vodika (H<sub>2</sub>). Tali se na temperaturi od 1450°C.

#### f) Haynes 188 legura

Haynes 188 je legura nastala spajanjem nikla, kroma, kobalta i wolframa koja kombinira izrazito veliku otpornost na visoke temperature sa jako dobrim otporom na oksidaciju. Može se dobiti kovanjem, toplim ili hladnim vučenjem. Toplo vučenje je moguće samo ako se zadržava na temperaturi od 1175°C. Ova legura je najpogodniji materijal za upotrebu u aero industriji (avioni, šatlovi). Dodavanjem lantana otpornost ove legure na koroziju je povećana 10 puta.

KEMIJSKA STRUKTURA U POSTOTCIMA									
Co	Ni	Cr	W	Fe	Mn	Si	C	La	B
39 <sup>a</sup>	22.0	22.0	14.0	3.0*	1.25*	0.35	0.10	0.03	0.015*

## g) Poliamid

Industrijska plastika može biti zamjena za uobičajene materijale kao što su drvo, metal i staklo. Nudi prednost lakše obrade, rukovanja, i proizvodnje. Zbog male specifične težine cijena industrijske plastike je niža od cijene istog tog komada napravljenog od tradicionalnih materijala. Mnoge vrste industrijske plastike su vrlo otporne na kemikalije, na habanje i izlizivanje. Imaju veliku primjenu u metalnoj, kemijskoj, prehrambenoj i farmaceutskoj industriji. Industrijska plastika je dostupna kao šipke, ploče i cijevi.

### Industrijska plastika – poliamid 6 (PA 6)

Čvrsti materijal sa visokom otpornošću na struganje, ljuštenje i udar sa dobrim mehaničkim svojstvima. Kod apsorpcije vlage povećana je otpornost na udarce i vibraciju. Ove važne karakteristike dodane su impresivnom omjeru koštanja i izvedbe. Tipična primjena: kuglični ležajevi, frikcijski ležajevi, ležajevi za užad, blokade proklizavanja, prigušnici vibracija, brtveni prstenovi, vijci, zupčanici i dr.

### Industrijska plastika - poliamid 6 MO (PA6 MO)

Opće namjenski poliamid 6 (PA 6) punjen sa molibden disulfidom ( $\text{MoS}_2$ ) ima poboljšana klizna svojstva i nešto višu snagu kompresije. Otpornost na UV zračenja je poboljšana njegovom crnom bojom. Također je poboljšana otpornost na trošenje kao i niže površinsko trenje u odnosu na poliamid 6 (PA 6). Apsorpcija vlage je nešto niža nego kod nepunjenog poliamida 6 (PA 6). Tipična primjena poliamida 6 MO (PA 6 MO), u industrijskoj plastici: klizni ležajevi sa niskim koeficijentom trenja, zupci zupčanika, prijenosnici, zupčanici, sigurnosne matice, postolja za ventile, ležaji i dr.

### Industrijska plastika – poliamid 6.6 (PA 6.6)

Poliamid je kao industrijska plastika vrlo zbijene snage poznat po svojoj otpornosti na visoke temperature i rastezljivost. To je najtvrdi i najkrući oblik ekstrudiranog poliamida. Glavne karakteristike su visoka otpornost na goriva, ulja, masti, većinu organskih kiselina i lužina. Apsorpcija vlage je niža nego kod poliamida 6. Tipična primjena poliamida 6.6: frikcijski ležajevi, prijenosnici, zupci i pratioci zupca, vodiči, grla za povezivanje cijevi, postolja za ventile i dijelovi namjenjeni za velike terete ili visoke temperature.

#### h) Kerakrom

Ekstremno tvrdi i vrlo izdržljivi keramički materijal koji je potpuno otporan na ogrebotine, brazgotine i habanje. Izlaganje Suncu ili slanoj vodi nema nikakav utjecaj na ovaj materijal. To svojstvo otpornosti na navedene faktore dobiva tako da ga se zagrije na temperaturu od 1500°C i onda bombardira česticama zlata ili platine. Taj postupak na kraju učini kerakrom potpuno otpornim na slanu vodu i UV zračenje.

#### i) Kvarcno staklo

Jedan od najkvalitetnijih i specijalnih materijala korištenih u industriji i istraživanjima. Zbog kombinacije različitih svojstava koje ne daje niti jedan drugi materijal, kvarcno staklo je omogućilo put ka stvaranju raznih visoko tehnoloških aplikacija. Dobar primjer su kompjuterski procesori i čipovi, moderni laseri i UV lampe.

Veći broj jedinstvenih optičkih, mehaničkih i toplinskih svojstava čini kvarcno staklo nužnim materijalom u tehnološkoj proizvodnji. To su:

- visoka kemijska čistoća i otpornost
- visoka toplinska otpornost
- visoka temperatura topljenja
- niska toplinska rastezljivost
- visoka otpornost na toplinski šok
- visoka otpornost na ozračivanje

#### j) Inconel legura

Specijalna legura nikla i kroma koja se koristi zbog svoje velike izdržljivosti, lake tvorničke izrade i posebne otpornosti na koroziju. Inconel 625 je široko rasprostranjena po svojoj upotrebi zbog svojstava kao što su:

- upotreba u slanoj vodi
- antikorozivnost
- otpornost na klor - ionsku koroziju
- visoka otpornost na lomove
- visoka otpornost na naprezanja poput savijanja i torzije
- visoka toplinska otpornost
- postojanost pod visokim tlakovima



#### k) Metalizirani poliesterski film

Izuzetno mehanički čvrst materijal. Njegovo glavno svojstvo je reflektiranje topline ili hladnoće. Kao materijal nije potpuno vatrootporan nego samo zadržava trenutnu temperaturu objekta kojeg pokriva. Upravo zbog toga se on postavlja kao jedan od međuslojeva ukupne toplinske izolacije.

## 5.2 Materijali za zaštitu od zračenja - osobni prijedlozi i istraživanja

Analizirajući različite članke, kompjuterske simulacije, kemijske karakteristike i dr. došao sam do zaključka da postoji nekoliko lako dostupnih materijala ovdje na Zemlji koji bi lako mogli štititi od kozmičkog zračenja. Glavni uvjet je biti što više u toku sa NASA-om te također analizirati njihove prijedloge. Nakon te analize zaključio sam da se moja mišljenja koja su stečena mojim školovanjem i čitanjem znanstvenih radova, a vezana uz zaštitu od zračenja u mnogo toga poklapaju sa njihovim istraživanjem. Stoga imamo neke zajedničke zaključke.

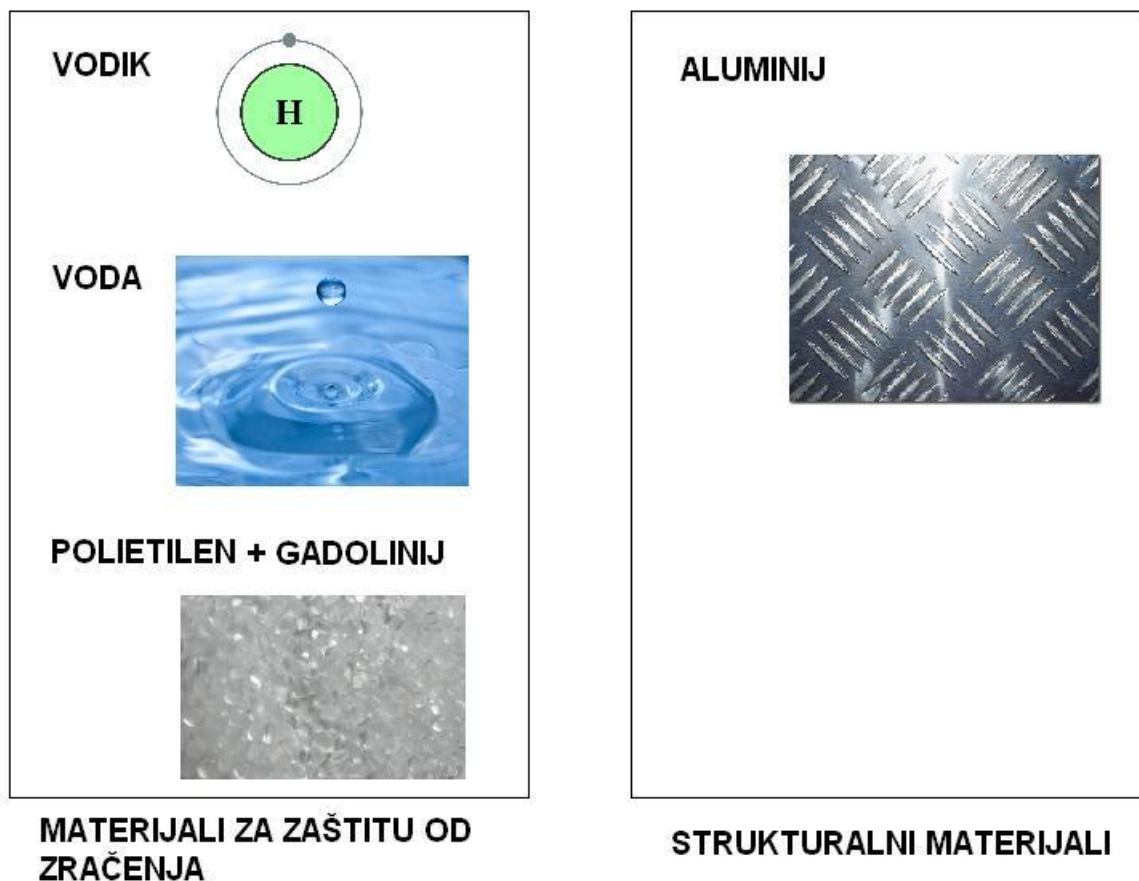
U ovom poglavlju ću navesti te zajedničke materijale i njihove karakteristike te materijale za koje ja prema svojim istraživanjima dodatno smatram da bi bili kvalitetna zaštita.

Kada govorimo o zaštiti u svemiru, znanstveno je dokazano da što su molekule materijala lakše, zaštita od zračenja je veća. Princip se može vidjeti po tome što npr. olovo jako dobro štiti od gama zračenja jer je mekano, iako je teški metal. Može se lako rezati nožem. Materijal što je mekši to bolje štiti. Molekule čine tzv. „Bounce off „, efekt. Kada se brza čestica sudari sa molekulama lakšeg medija, ona je drastično usporena i zarobljena jer lakše molekule kojih ima u ogromnom broju vrlo lako zaustave teže jezgre i druge ubrzanе čestice.

Pri odabiru materijala za zaštitu treba se držati određenih kriterija koje je zadala i sama NASA. Ti kriteriji za materijale su:

- Masovna i jeftina proizvodnja
- Što manja atomska masa
- Apsorpcija neutrona
- Mali utjecaj na ukupnu težinu samog šatla
- Dvostruka iskoristivost (i kao zaštita i po mogućnosti strukturalna)
- Blokiranje ubrzanih čestica
- Nemogućnost stvaranja sekundarnog zračenja

Oslanjajući se na te kriterije materijali koje predlažem za zaštitu prostora gdje astronauti obitavaju su na slici 15.



Slika 15. Predloženi materijali

S obzirom da aluminij ostaje najbolji strukturalni materijal za vanjsku oplatu šatla, slažem se da se i dalje koristi i da ga nije potrebno mijenjati. Uz to dizajn šatla mora ostati isti bez nekih značajnih promjena izvana osim dimenzija prostora.

Odabir materijala se gleda po njegovoj sposobnosti da zaustavi česticu. Radi se o linearnom reduciranju energije danom sa:

$$S = \frac{-dE}{dx} \quad (1)$$

gdje je

$$\frac{-dE}{dx} = \frac{4nz^4 e^4}{m_0 v^2} NB \quad (2)$$

i gdje je magnetsko polje B

$$B = Z \ln \frac{2m_0 v^2}{I} - \ln \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} - \frac{v^2}{c^2} \right) \quad (3)$$

e - naboj čestice

v - brzina čestice

Z - atomska gustoća

N - atomski broj

$m_0$  - inercijska masa elektrona

I – parametar vezan za potencijal ionizacije (dobije se mjerenjem)

Svojstvo apsorpiranja u elektromagnetskom polju dano je sa:

$$A \frac{W}{m^3} = \frac{1}{2} \sigma E^2 + \pi f \epsilon_0 \epsilon_r E^2 + \pi f \mu_0 \mu_r H^2 \quad (4)$$

$E$  (V/m) električno polje

$H$  (A/m) jakost mag. polja

$\sigma$  (S/m) provodljivost

$f$  (Hz) frekvencija

$\epsilon_0$  (F/m) vakuumska permitivnost

$\epsilon_r$  permitivnost materijala

$\mu_0$  (A/m) permeabilnost vakuuma

$\mu_r$  permeabilnost materijala.

## 5.2.1 Vodik

### a) Svojstva

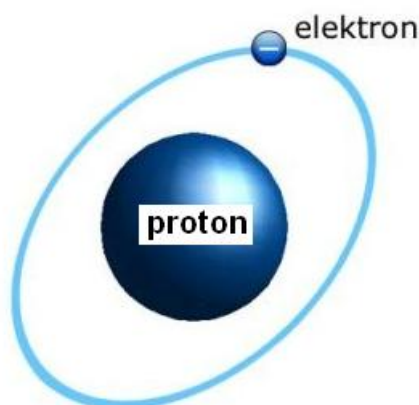
Vodik je kemijski element koji u periodnom sustavu elemenata nosi simbol H, atomski (redni) broj mu je 1, a atomska masa mu iznosi 1,00794(7).

Vodik nema određen položaj u periodnom sustavu. Ima jedan valentni elektron kao alkalijski metali, a od njih se razlikuje mnogo većom energijom ionizacije. Za stabilnu elektronsku konfiguraciju nedostaje mu jedan elektron. Vodik bi se mogao smatrati halogenim elementom, ali od njih ima manju elektronegativnost i afinitet prema elektronu, pa se zbog toga proučava zasebno. Čini 75% mase svemira, te je ishodišna tvar iz koje su nuklearnom fuzijom nastali ostali elementi. Zvijezde u glavnom nizu se uglavnom sastoje od vodika, u obliku plazme. Elementarni vodik na Zemlji je u vrlo malim količinama.

Elementarni vodik sastoji se od običnog vodika (protija) (> 99,98%), dok ostatak (gotovo 0,02%) čini teški vodik (deuterij) s tragovima super teškog vodika (tricija). Vodik stvara kemijske veze sa najviše elemenata, posebno u organskim tvarima. Pri standardnom tlaku i temperaturi, vodik je plin bez boje, mirisa i okusa, 14,4 puta lakši od zraka. Neotrovan je. Slabo je topljiv u polarnim, a bolje u nepolarnim otapalima.

### b) Atomska građa

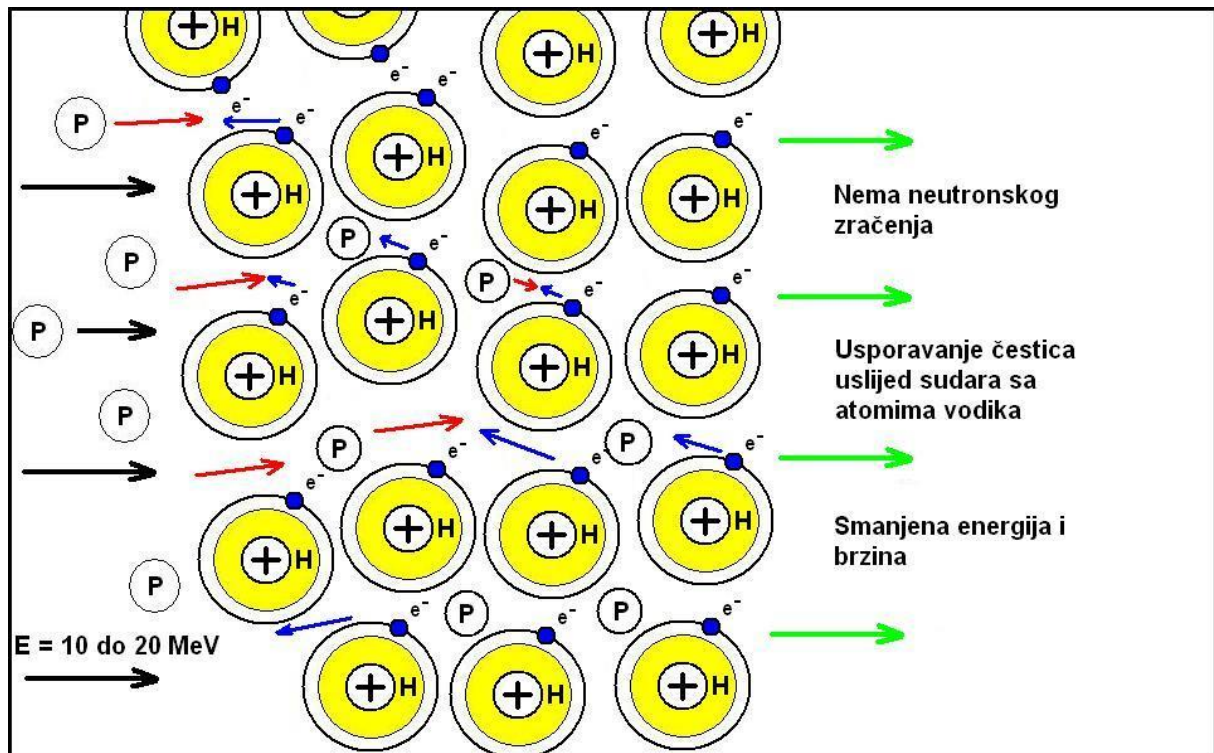
Atom običnog vodika sastoji se od jednog protona (jezgra) i jednog elektrona (plašt)



Običajni atom vodika (H)

Slika 16. Atom vodika

c) Kao zaštita od kozmičkog zračenja



Slika 17. Princip zaustavljanja energetskih čestica uslijed interakcije sa vodikom

Na slici 17. se vidi što se događa kada energetske čestice (protoni) dođu u kontakt sa atomima vodika. Bitno je naglasiti da atomi vodika imaju najmanju masu i da ih je u vrlo velikoj količini. Energetske čestice su usporene sudarima sa elektronima vodika i jezgrom. S obzirom da su atomi vodika u velikom broju oni postepeno zaustavljaju protone sve dok njihova energija i brzina na kraju ne bude takva da više nisu opasni za zdravlje. Najvažnija karakteristika je što nema sekundarnog neutronskega zračenja pošto atomi vodika nemaju neutrona u sebi koji bi bili izbačeni. Na istom principu čestice zraka zaustavljaju prodiranje energetskih čestica iz svemira polako ih usporavajući. Zaključak je da svi spojevi koji u sebi imaju veće količine vodika mogu jako dobro štititi od zračenja. Tekući vodik se smatra jako dobrom zaštitom no utjecao bi znatno na masu šatla.

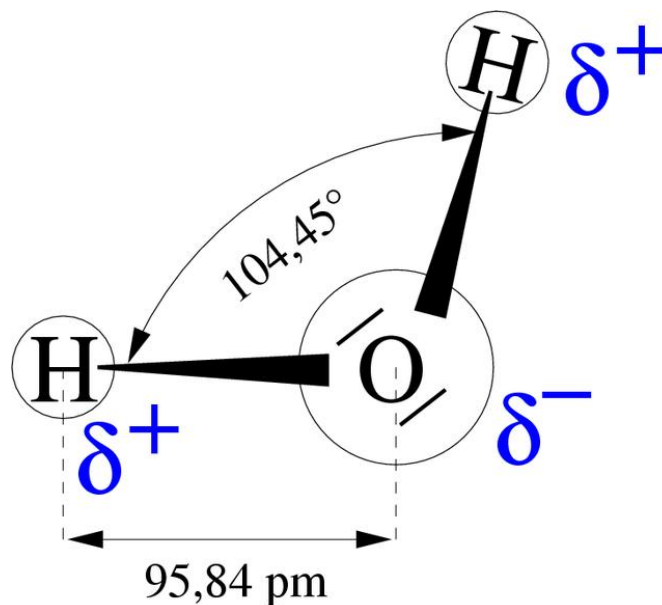
## 5.2.2 Voda

### a) Svojstva

Voda je najrasprostranjenija tekućina na Zemlji (obujma  $\sim 1500 \times 10^9 \text{ km}^3$ ) i najvažnije (polarno) otapalo koje otapa kapljevine, plinove i mnogobrojne krutine. Voda zbog polarnosti posjeduje svojstvo otapanja različitih vrsta tvari. Polarnost je neravnomjerna razdioba električnog naboja unutar molekule. Uzrokovana je odjeljivanjem električnog naboja uslijed neravnomjerne raspodjele elektrona u molekuli. Atom kisika molekule je elektronegativan (teži privlačenju elektrona), pa jedan kraj molekule ima parcijalno negativan električni naboj, a drugi kraj molekule, oko vodikovih atoma, parcijalno pozitivan naboj. To uzrokuje asimetričnost molekule vode - dva atoma vodika su pod kutom od  $104,5^\circ$  vezana za atomom kisika. Polarnost uvelike određuje ostala svojstva vode.

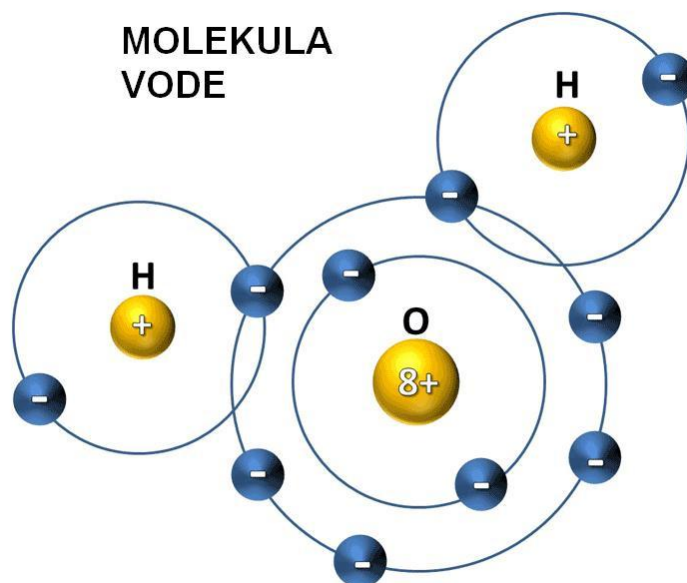
### b) Molekularna građa

Voda je kemijski spoj dva atoma vodika i jednog atoma kisika. Kemijska formula vode je  $\text{H}_2\text{O}$ .



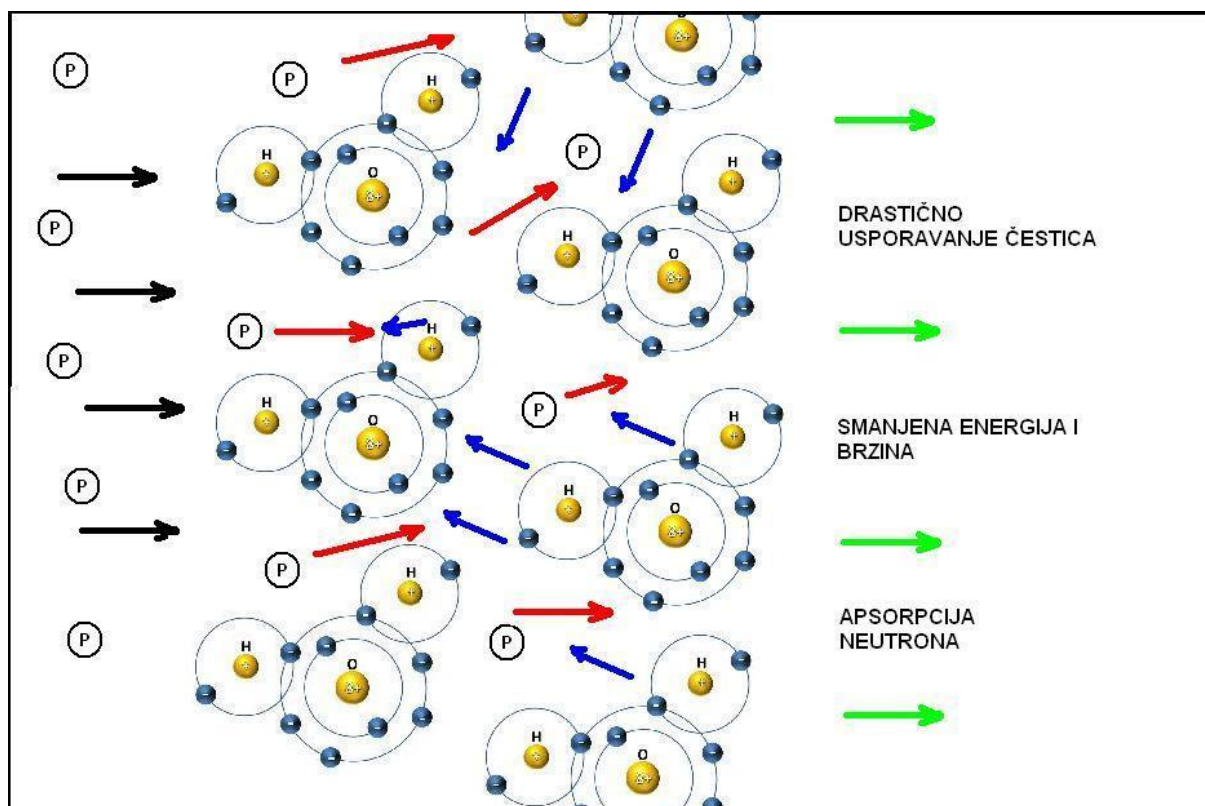
Slika 18. Molekula vode sa relevantnim kutevima





Slika 19. Shematski prikaz molekule vode sa elektronskim parovima (kovalentna veza)

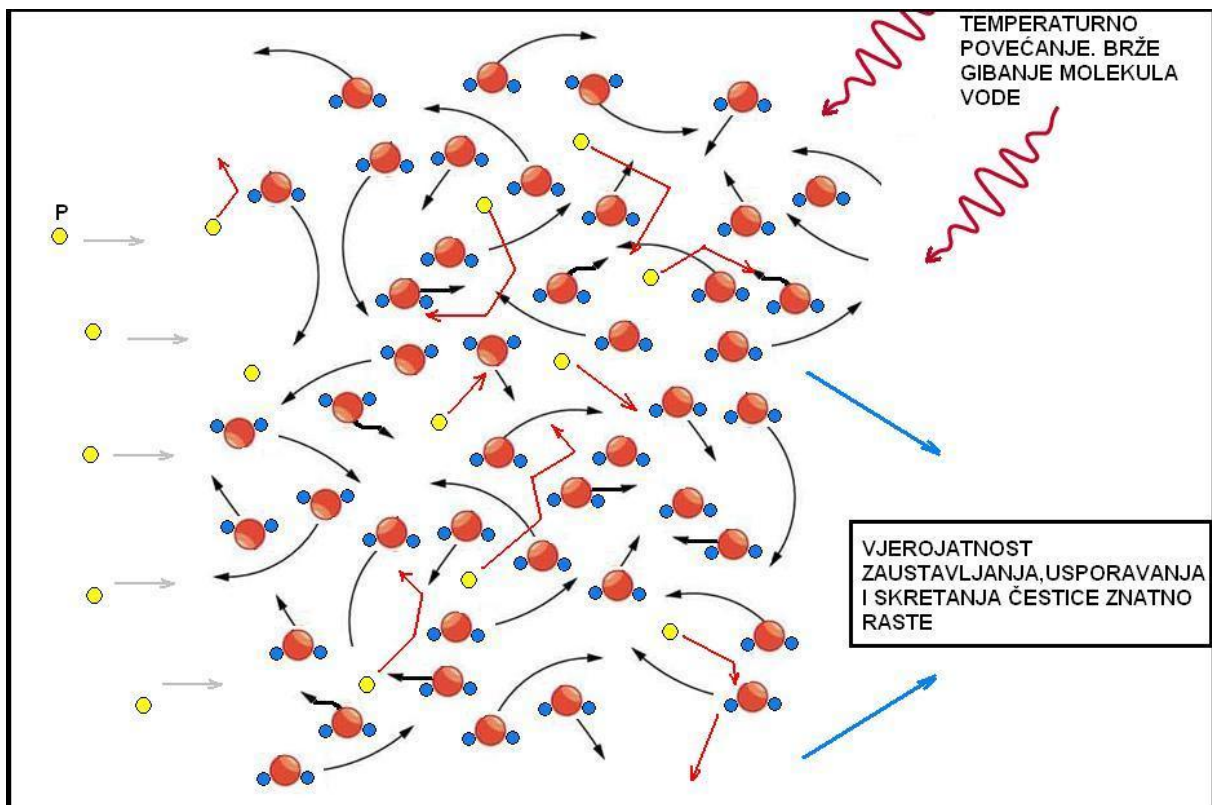
c) Kao zaštita od kozmičkog zračenja



Slika 20. Princip zaustavljanja energetske čestice uslijed interakcije sa molekulama vode

Slika 20. prikazuje molekule vode i protone koji nastoje proći barijeru koju one stvaraju. Sposobnost zaštite koju voda pruža se upravo nalazi u nasumičnom i brzom kretanju molekula vode. Nasumično kretanje daje statistički vrlo veliku vjerojatnost da će se spriječiti čestica u naletu. Vruća voda (visoka temperatura vode) bi teoretski bila još bolja zaštita. Znamo da se sa povećanjem temperature molekule kreću puno brže, a time se povećava statistička vjerojatnost sprječavanja čestice u naletu. Prostor sa vodom se može obložiti određenim termos materijalima kako bi se što duže održala na visokoj temperaturi.

Slika 21. prikazuje kako bi izgledalo na molekularnoj razini.



Slika 21. Teoretska ilustracija usporavanja protona uslijed ubrzanog kretanja molekula  $H_2O$

Na slici 21. prikazane su molekule vode koje se pod povećanom temperaturom kreću puno brže. Crne zakrivljene strelice predstavljaju njihove nasumične smjerove kretanja. Naletom nabijene čestice, u ovom slučaju protona, molekule vode se ubacuju u putanju protona. Time ga preusmjeravaju (princip odbijanja od molekule), usporavaju a postoji i mogućnost potpunog zaustavljanja. Radi se o neelastičnim sudarima. Crvene strelice demonstriraju nagle promjene putanje protona između molekula. Te promjene su upravo rezultat ubacivanja tisuća molekula na putanju protona.

### 5.2.3 Polietilen + gadolinij

NASA uzima polietilen kao jedan od najboljih materijala za zaštitu od zračenja. No oni bi ga povezali sa borom radi sakupljanja neutrona. Bor sam po sebi je jedan od boljih apsorbera neutrona. Moj prijedlog je da se polietilen spoji sa gadolinijem preko makromolekularnog povezivanja. Gadolinij je najbolji apsorber neutrona na svijetu. Zbog njegovih nevjerojatnih svojstava gadolinij je po osobnom mišljenju mnogo bolji i kvalitetniji od bora i lakše se dobije proizvodnjom nego bor.

#### **Polietilen**

##### a) Svojstva

Polietilen (PE) je makromolekularni proizvod koji se dobija polimerizacijom etilena. Predstavlja jednu od najviše korištenih plastičnih masa.

Molekule polietilena imaju ravnu strukturu uz određenu količinu bočnih lanaca. Sadržaj kristalne faze ovisi o stupnju razgranatosti molekula. Što je veći stupanj razgranatosti molekula, manji je stupanj kristalichnosti. Specifična masa polietilena ovisi od molekularnoj masi, razgranatosti i stupnju kristalichnosti. Polietilen je termoplastični materijal koji se proizvodi kao:

- Polietilen niske gustoće (LDPE)
- Polietilen srednje gustoće (MDPE)
- Polietilen visoke gustoće (HDPE)
- Polietilen ultra visoke molekularne mase (UHMWPE)

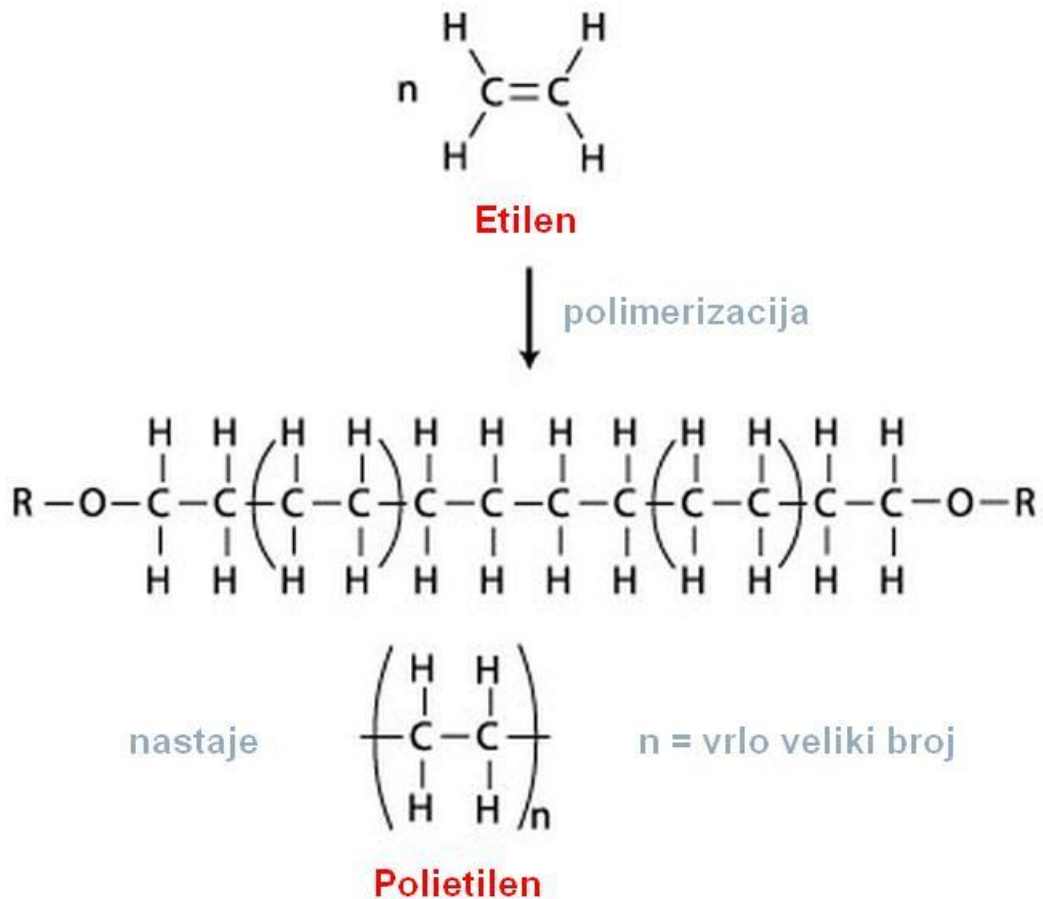
Polietilen niske gustoće ima točku topljenja 105°C, otporan je na lomljenje, fleksibilan, proziran te se zbog toga koristi kao materijal za pakiranje i za proizvodnju cijevi. Ima dobru otpornost prema djelovanju kemikalija pa se može koristiti za držanje mnogih organskih reagensa osim alkana, aromatskih i kloriranih ugljikovodika i jakih oksidansa. Polietilen visoke gustoće ima bolje mehaničke osobine i otpornost prema kemikalijama. Nije otporan prema jakim oksidacijskim sredstvima.

Za dobivanje polietilena se koriste dva industrijska postupka:

- sinteza pod visokim tlakom
- sinteza pod niskim tlakom

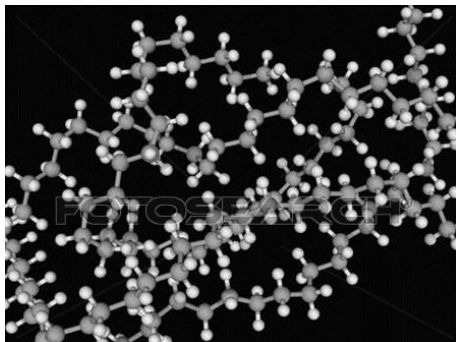
Na svojstva polietilena ne utječe slana voda, slani i kiseli tereni, te gradski i industrijski otpad, što ga čini osobito pogodnim za ugradnju u onečišćena tla.

b) Molekularna građa

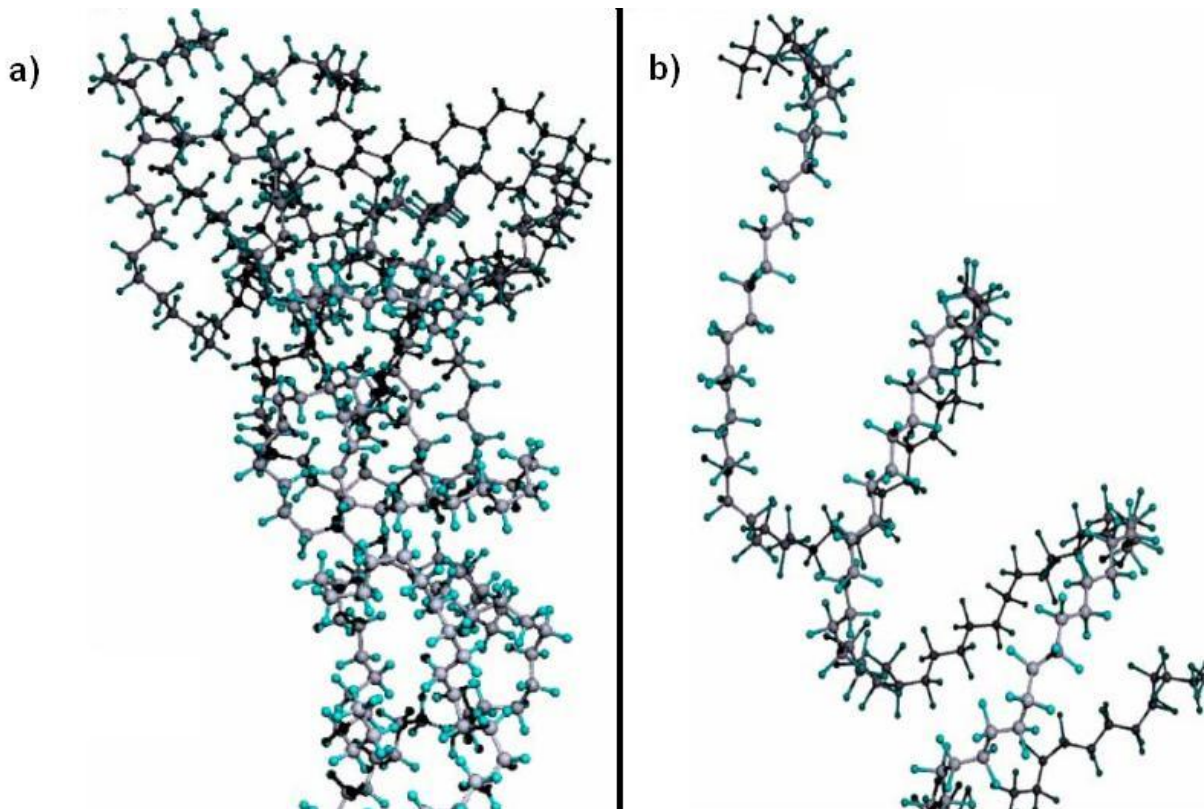


Slika 22. Polietilenski molekularni lanac i građa molekule polietilena

Molekule polietilena zapravo čine velike lance koji se sastoje od atoma vodika nadovezanih na ugljik.



Slika 23. Model lanca polietilena



Slika 24. a) Gusti polietilenski lanac od 902 atoma; b) Spiralni lanac od 388 atoma

## Gadolinij

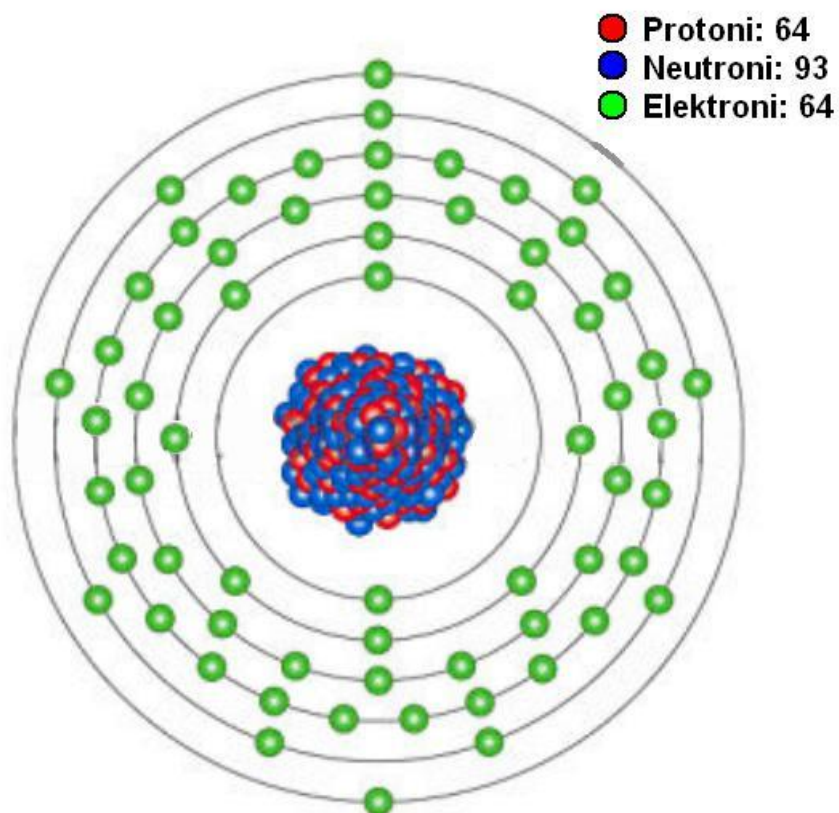
### a) Svojstva

Gadolinij je kemijski element iz skupone lantanida. U Zemljinoj kori koncentracija gadolinija je oko 5 ppm. Kao i ostali lantanidi, nalazi se u sastavu minerala gadolinita, monacita i bastnezita. Gadolinij je srebrnobijeli metal, mekan i rastezljiv pa se lako obrađuje. Javlja se u dvije alotropske modifikacije: alfa-gadolinij heksagonske strukture koji zagrijavanjem preko 1262°C prelazi u beta-gadolinij koji ima prostorno centriranu kubičnu strukturu. Na suhom zraku je relativno stabilan, a na vlažnom zraku gubi sjaj zbog nastanka tankog oksidnog sloja. S razrijeđenim mineralnim kiselinama reagira vrlo brzo, ali je gotovo inertan prema jakim lužinama i vodi (pa i kipućoj). Reducira velik broj metala kao što su željezo, krom, mangan, kositar, olovo, cink i druge. Gadolinij se sastoji iz smjese sedam stabilnih izotopa.

Gadolinij - 157 ima najveću apsorpciju termalnih neutrona od bilo kojeg poznatog elementa. Samo ksenon -135 ima veću, ali taj izotop je nestabilan pa se uopće ne uzima u obzir. Zbog jakog apsorpiranja neutrona koristi se u nuklearnim reaktorima. Također se koristi u reaktorima CANDU tipa kao sredstvo za sekundarno zaustavljanje reaktora u slučaju nužde. Neobična metalurška svojstva gadolinija pri barem 1% ovog elementa u slitini utječu na

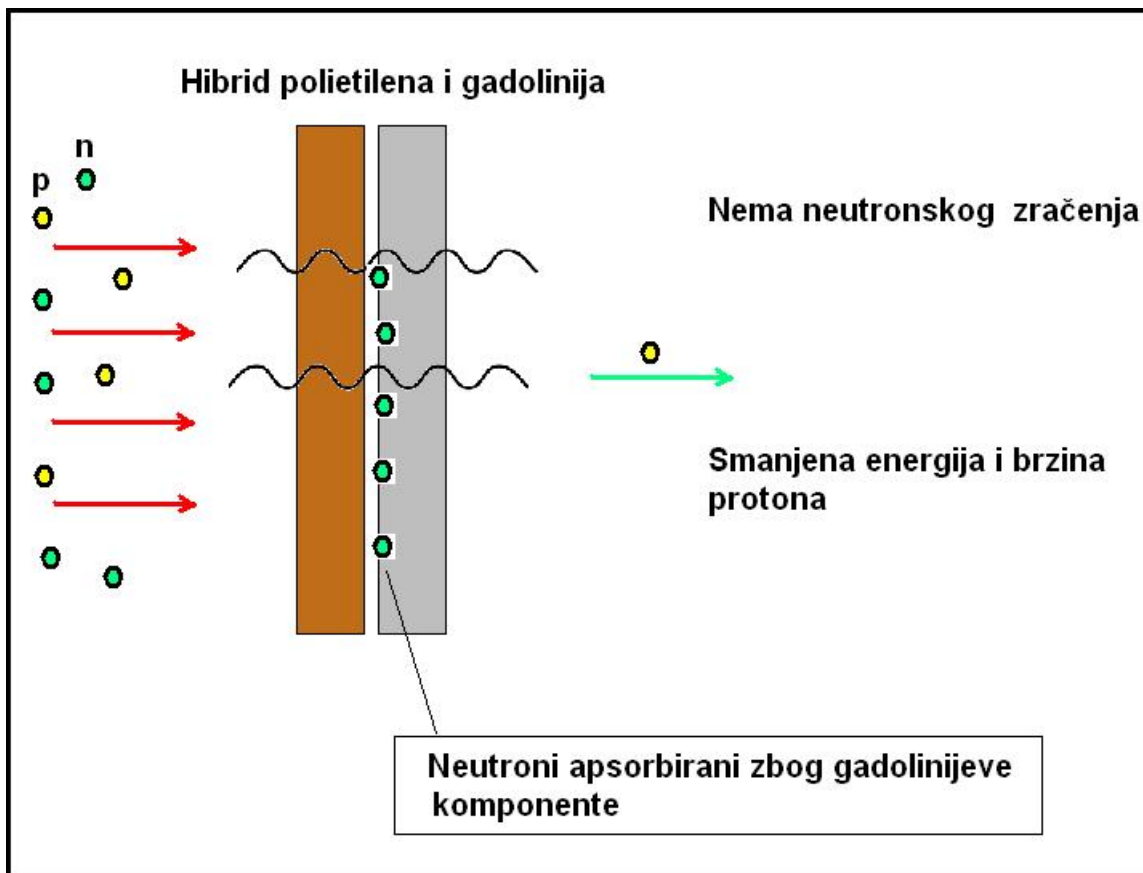
obradivost željeza, kroma i svojstva njihovih legura na visokim temperaturama, odnosno na podložnost oksidaciji.

b) Atomska građa



Slika 25. Atom gadolinija

c) Kombinacija polietilena i gadolinija kao zaštita od zračenja



Slika 26. Teoretski princip usporavanja čestice prolaskom kroz hibrid polietilena i gadolinija

Slika 26. prikazuje kako bi otprilike funkcioniralo usporavanje čestice prolaskom kroz predloženi materijal. Sposobnost usporavanja čestice se nalazi u strukturi polietilena. Polietilen čine veliki molekularni lanci. U ovom slučaju prijedlog je polietilen ultra visoke molekularne mase (UHMWPE). Njegovi lanci su izrazito dugački, a molekule imaju veliku masu. Međumolekularne veze nisu jake kao nekih drugih vrsta ali zbog dužine lanaca i njihovog preklapanja stvara se gusta lančana mreža koja pruža jaki otpor kretanju čestice. Postoji i mogućnost da čestica bude apsorbirana i zbog toga se stvara toplina, no termalni sustav samog šatla vrši preraspodjelu temperature. U većini slučajeva čestica će proći kroz te lance ali će biti jako usporena. Doći će do manjeg sekundarnog zračenja (većinom protonskog). Zbog toga je potrebno polietilen povezati sa nekim drugim materijalima koji mogu popraviti njegova svojstva ili čak stvoriti novo svojstvo. Dobar primjer je upravo dodavanje gadolinija što omogućuje polietilenu apsorbiranje neutrona. Također atomi gadolinija zbog težine i velikog broja elektrona znatno doprinose usporavanju. Prethodno je

navedeno da svi materijali bogati vodikom imaju bolju zaštitu od zračenja stoga zbog svoje građe i velikog udjela vodika polietilen zasigurno mora biti baza svake zaštite.

Polietilen ima manju masu od aluminijsa, i ta se masa može dodatno smanjiti stvaranjem kompozita tj. povezivanjem polietilena sa drugim materijalima koji poboljšavaju svojstva. Polietilen dobiva još veću otpornost na udarce i naprezanja ako se proizvodi kao vlakna. Kao takav može poslužiti u zaštiti od mikrometeorita jer može biti puno puta čvršći od ugljičnog čelika.



## 5.2.4 Simulacije, proračuni i grafovi

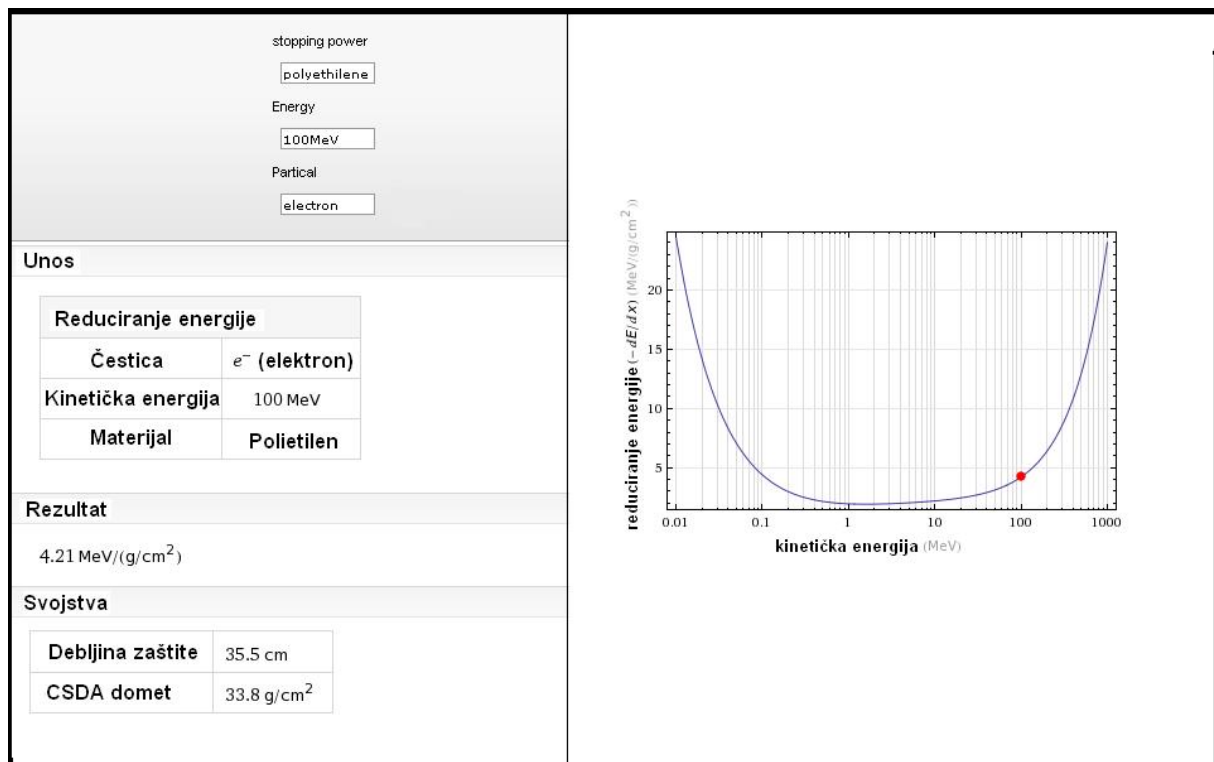
U simulacijama je uzet prosjek energija od 100 do 200 MeV za elektrone i protone.

Istraživanje je vezano za vodu i polietilen/gadolinij. Osobni prijedlog je debljina polietilenskog sloja cca 30 cm, vode cca 30 cm. Prema tome su se ravnale simulacije. Prijedlog je postaviti dva sloja hibrida polietilena i gadolinija a između svakog ubaciti vodik. Osmišljeni dizajn kupole ispunjene vodom će zapravo biti mjesto za spavanje. Voda bi se koristila samo kao kupolni pokrov kreveta, dok bi polietilen i vodik bili kao multisloj optele šatla. Kratica CSDA znači aproksimacija prosječne dužine putanje čestice dok kontinuirano usporava do mirnog stanja.

Prvo treba krenuti od tablice djelovanja protona različitih energija i njihovog djelovanja.

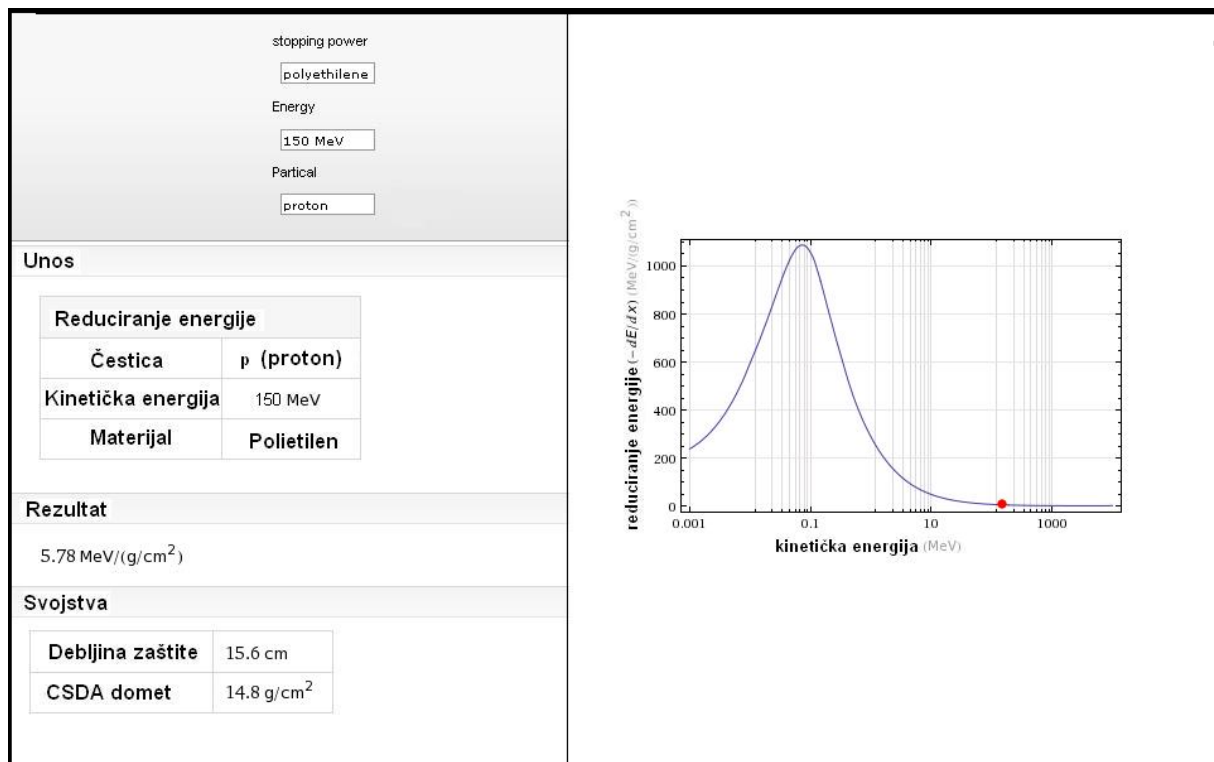
Parametar	Efekti	Izvori
Protoni 0.1-1 MeV	Površinsko oštećenje materijala	Većinom čestice radijacijskog pojasa
Protoni 1-10 MeV	Oštećenje solarnih ćelija	Radijacijski pojasevi i nagla akceleracija u svemiru
Protoni >10 MeV	Ionizacija i oštećenje senzora	Radijacijski pojasi, solarne kozmičke zrake i galaktičke kozmičke zrake
Protoni >30 MeV	Štetno djelovanje na tkivo i organe	Isto kao i ovo iznad navedeno
Protoni >50 MeV	Jednokratni efekti	Isto kao i ovo iznad navedeno
Ioni >10 MeV nucleon <sup>-1</sup>	Jednokratni efekti	Solarne čestice i galaktičke kozmičke zrake
Energije u GeV	Velika opasnost za ljude u dubokom svemiru	Isto kao i ovo iznad navedeno

Tablica 1. Utjecaji protona na čovjeka i elektroniku



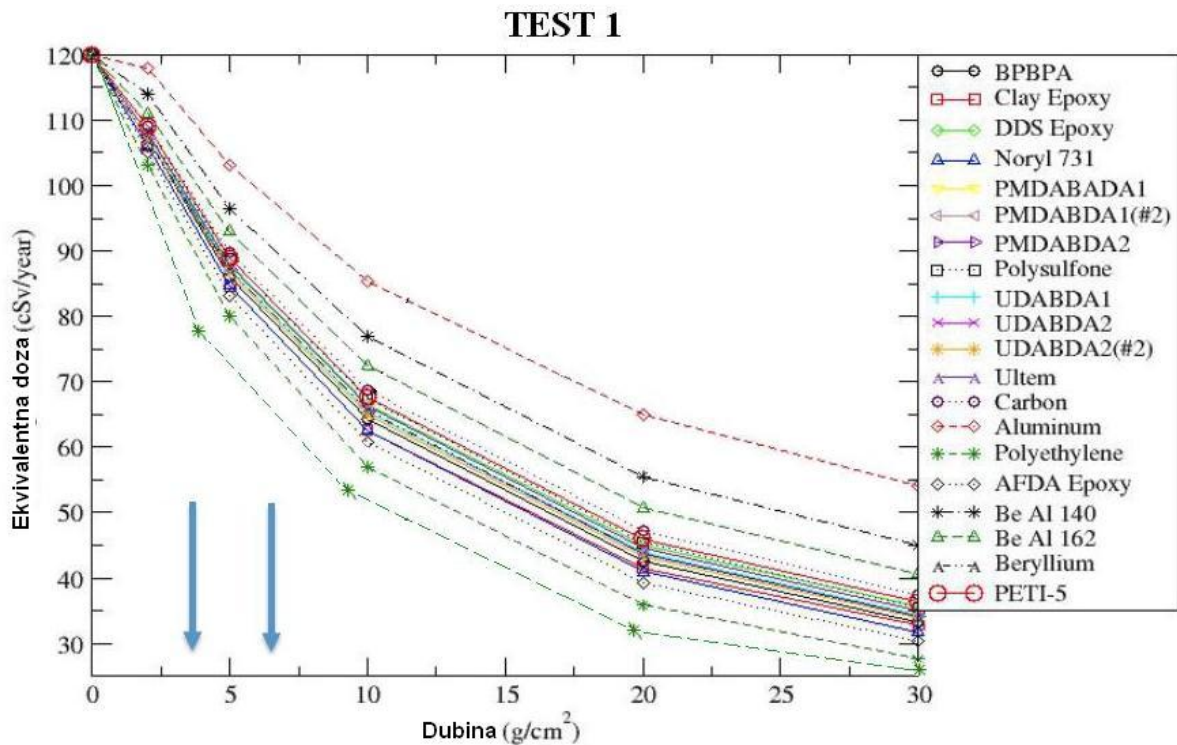
Slika 27. Simulacija 1 (Wolfram Alfa) – zaustavljanje elektrona polietilenom

Na slici 27. vidimo točan izračun raduciranja energije elektrona od 100 MeV. Pri predloženoj debljini sloja od 35.5 cm postoji dobra zaštita od proboja elektrona čiji domet pri reduciranju i usporavanju traje do 33.8 g/cm<sup>2</sup>.



Slika 28. Simulacija 2 (Wolfram Alfa) - zaustavljanje protona polietilenom

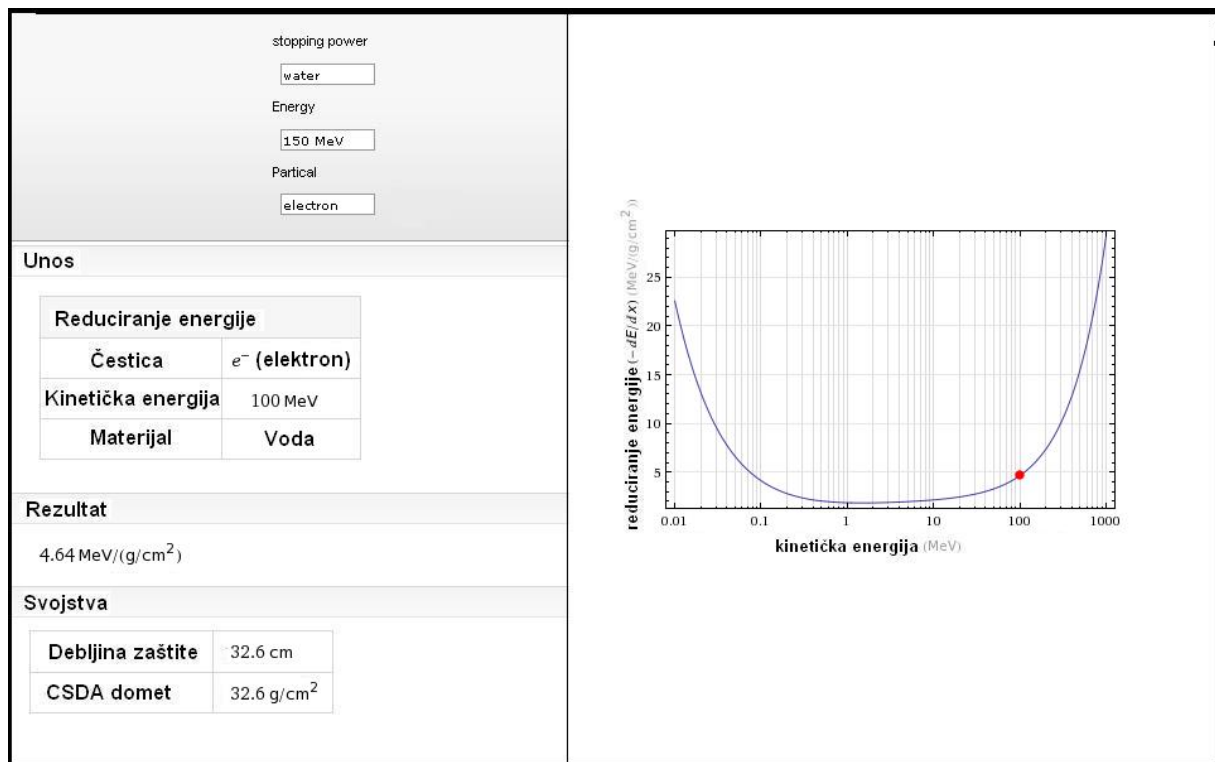
Iz ove simulacije (slika 28.) zaključuje se da polietilen zaustavlja protone mnogo bolje nego elektrone. Iz priloženih podataka se vidi da samo polovica od predložene debljine sloja štiti od protona energije 150 MeV što znači da bi punih cca 30 cm spriječilo protone duplo veće energije cca 300 MeV. Elektron je puno prodorniji u polietilen nego proton. Ovo je dokaz teorije da je polietilen jako dobra zaštita od energetičnih protona. Kozmičke zrake se većinom sastoje od protona.



Slika 29. Testiranje materijala (FastRad)

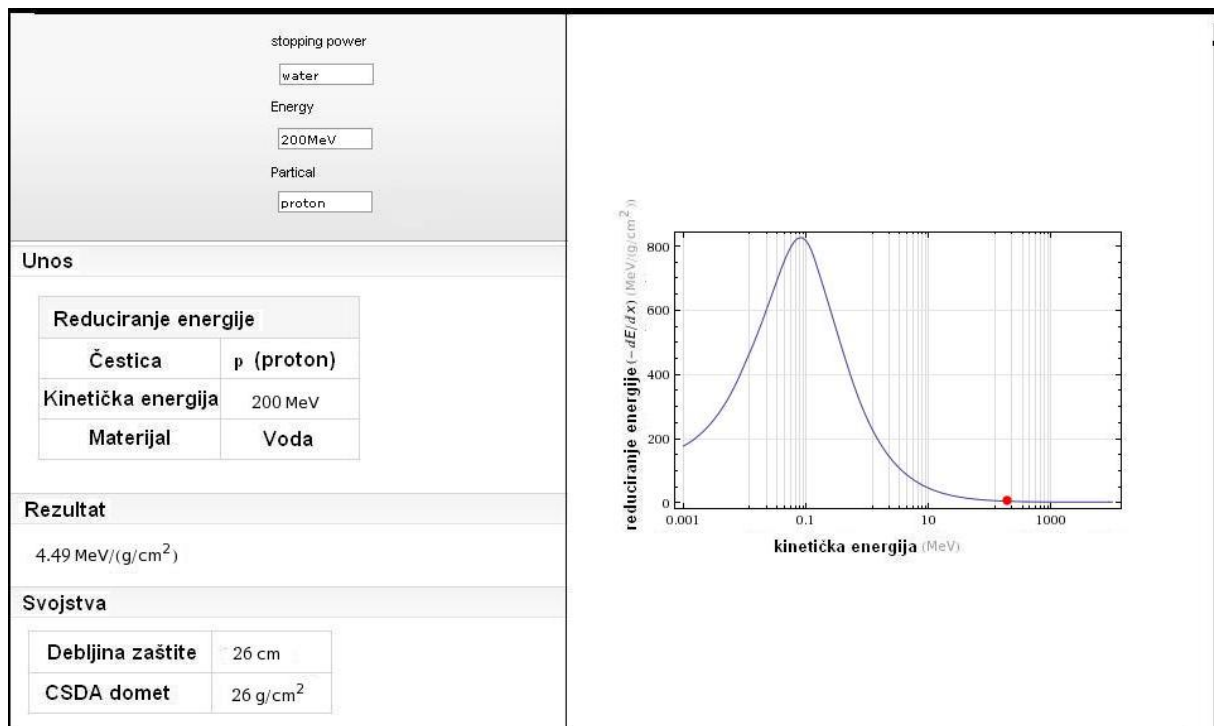
Na slici 29. se nalazi veliki graf sa spektrom materijala i njihovim djelovanjem na godišnju dozu izlaganja. Crvena linija skroz gore je aluminij i vidi se da najslabije štiti od kozmičkog zračenja. Blagi spust ide tek sa velikom količinom aluminija. To je nepoželjno jer bi težina bila prevelika. Dvije donje zelene linije su poletilen i osobni prijedlog polietilena sa gadolinijem. Zaštita je vrlo učinkovita jer već pri 30 g/cm<sup>2</sup> hibrid drastično smanjuje godišnju dozu zračenja.

1 cSv (centisevert) = 1 rem = 1000 mrem (milirem) , prema tome pri zadanoj dubini godišnje izlaganje bi bilo 20 cSv = 20000 mrema = 200 mSv. Ali s obzirom da su dva sloja tada dubina raste još više na cca 70 (i više) što bi na kraju dalo ukupnu godišnju izloženost puno manju od 20 cSv, cca 20 do 30 mSv. Ta doza je godišnja doza dopuštena za radnike nuklearke. Naravno to je teoretski i ima još faktora koji mogu utjecati ali smatram da je rizik prihvatljiv donekle. Na 100 mSv se već počinje uočavati umjeren rizik za nastanak raka. Može se onda reći da bi to bila neka granica tolerancije.



Slika 30. Simulacija 3 (Wolphram Alfa) - zaustavljanje elektrona vodom

Na slici 30. vidimo točan izračun raduciranja energije elektrona od 150 MeV. Odmah se da primjetiti razlika u odnosu na polietilen. Voda može zaustaviti elektrone veće energije pri istoj debljini sloja. Debljina sloja vode od 32.6 cm izvrsno zaustavlja elektrone pružajući otpor od 4.64 MeV/(g/cm<sup>2</sup>) što je više od polietilena iako ne mnogo.



Slika 31. Simulacija 4 (Wolphram Alfa) - zaustavljanje protona vodom

Simulacija 4 demonstrira da oko 30 cm sloja vode može zaustavljati protone od cca 200 MeV energije. To je opet mnogo više od polietilena što samo pokazuje da su oboje izrazito dobra zaštita, tome pridonosi veliki udio vodika.

## RAD PRO CALCULATOR

ISOTOPE DECAY
DOSE RATE & ACTIVITY
U & PU GRAMS
CONVERSIONS
URANIUM ENRICHMENT
MDC/MDA

GAMMA EMITTERS
BETA EMITTERS
BREMSSTRAHLUNG
X-RAY DEVICES
ALARA
INVERSE SQUARE LAW

**Select Calculation**

Activity and Dose-Rate     Shield Thickness

**Select Isotope (Point Source)**

Cs-137

**Select Dose-Rate Units**

mSv/hr

**Select Coefficient**

Attenuation (mu)     Energy Absorption (muen)

**Enter Item ID**

**Shielding Entries**

**Select Shield Material**

Water

**Select Thickness Units**

Centimeters

Use Buildup Factor (recommended)

Add Shielding

**Enter Initial Dose-Rate**

mSv/hr

**Enter Target Dose-Rate**

mSv/hr

**Calculated Shield Thickness**

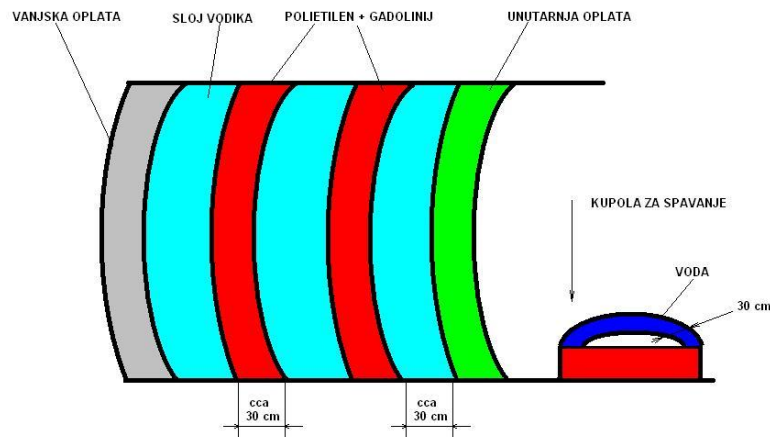
cm

Slika 32. Smanjenje doze izloženosti (RadPro sučelje)

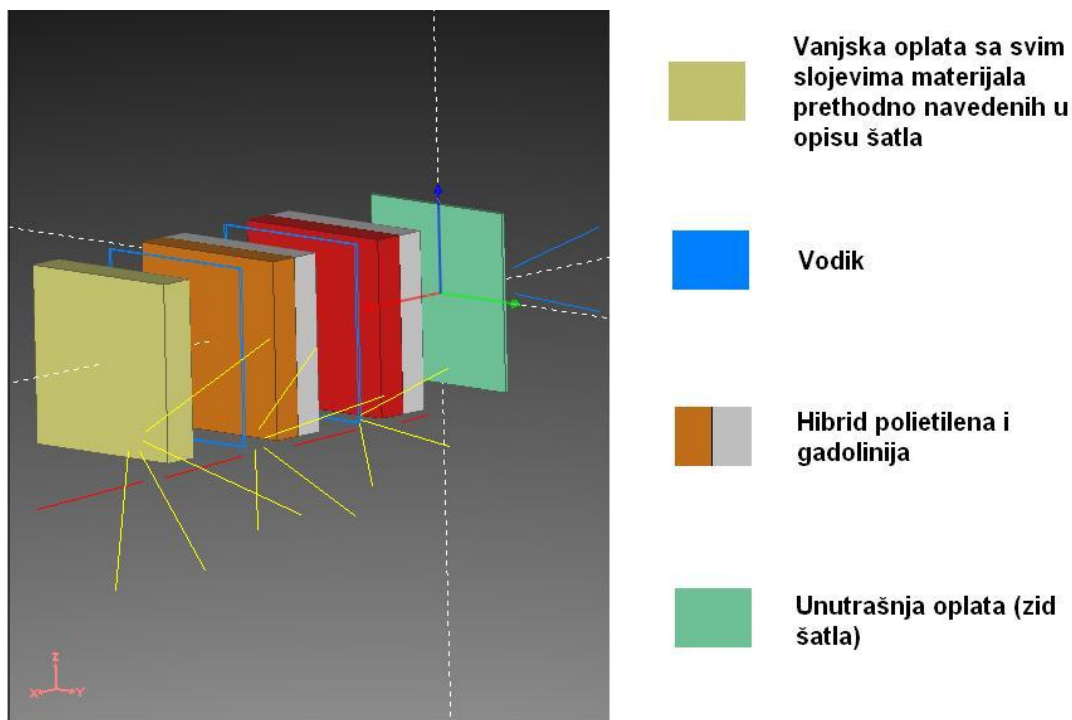
Na slici 32. je ubačeno sučelje RadPro simulatora kojim je izračunato koliko bi se mogla smanjiti doza satnog izlaganja. Kao izvor zračenja upotrebljen je izotop Cs – 137 kojeg i NASA koristi u simuliranju. Da bi sa 20 mSv / hr bila smanjena doza na 5 izračunato je da bi trebao sloj vode debljine 34 cm. To je praktički skoro identično navedenom osobnom prijedlogu od barem 30 cm za svaki sloj. Svako smanjenje doze izlaganja je poželjno.

### 5.3 Multisloj i prijedlog ergonomskog oblikovanja prostora za obitavanje

Prethodno je navedeno da se izgled šatla ne mijenja već dimenzije i to barem prostora kabine i prostora za obitavanje. U nastavku će biti navedeni crteži koji ilustriraju kako bi osobno zamišljeni prostori izgledali sa navedenim zaštitama. Uz to biti će prikazani i crteži kupole prema osobnom dizajnu koja bi bila ispunjena vodom i štitila astronauete pri spavanju.



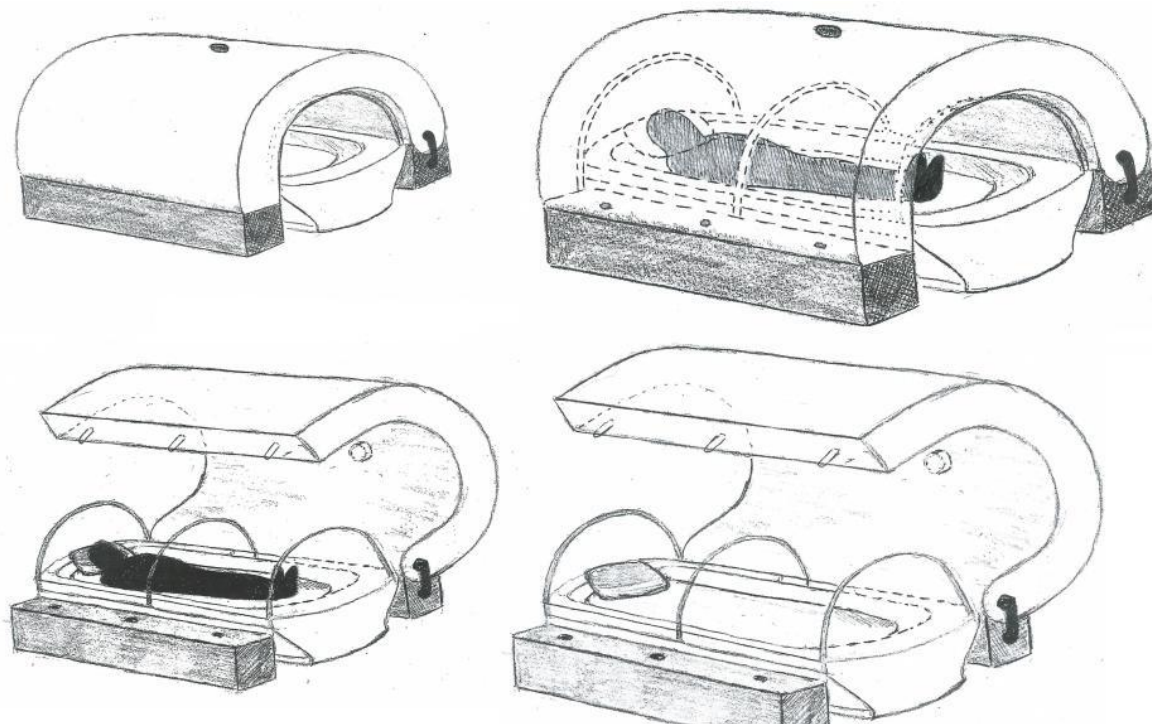
Slika 33. Teoretski zaštitni multisloj



Slika 34. FastRad simulacija multisloja

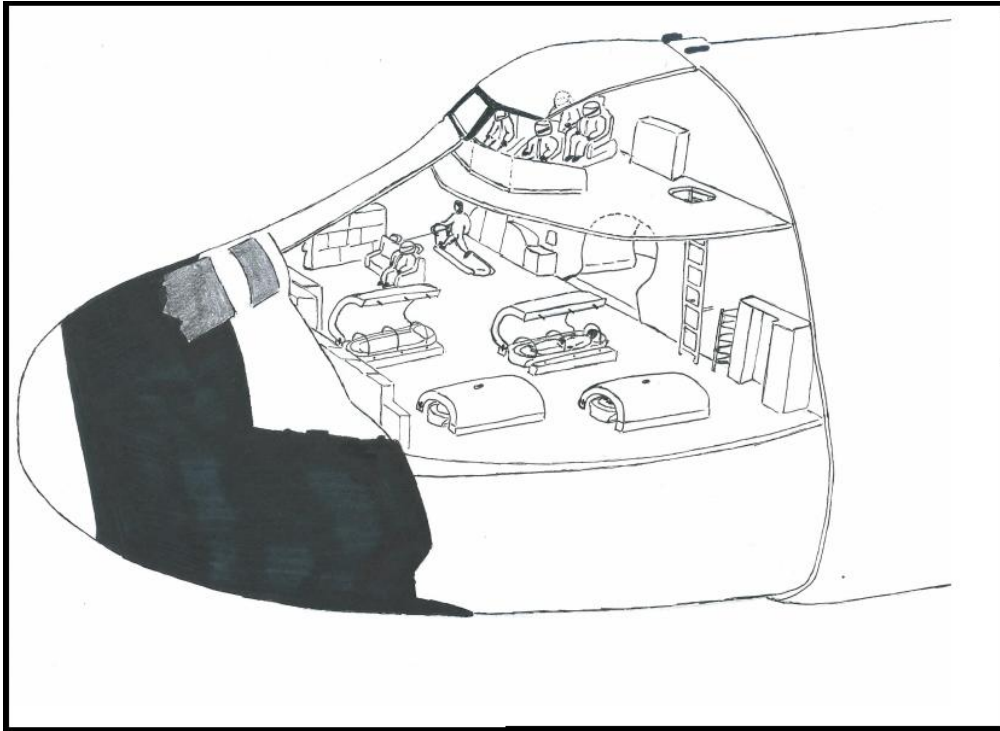


Na slici 33. je samo ugrubo prikazan multisloj jer unutarnja i vanjska oplata imaju također materijale koji su prethodno navedeni u opisu materijala šatla. Simulaciju prolaska čestica prikazuje slika 34. FastRad je jedan od simulatora koji se primjenjuje u fizici za izračun i simulaciju putanja čestica i njihove interakcije sa materijalima. Na slici možemo vidjeti predloženi multisloj te crvenom linijom prikazanu putanju čestice. Kao i svaki materijal kroz koji prođe čestica postoji sekundarno zračenje u slučaju da se čestica raspadne na manje komponente (npr. muoni, pioni i sl.). To zračenje je prikazano žutim linijama i mnogo je slabije nego kod teških metala i smanjuje se kako se približavamo unutarnjoj oplati šatla. Posebno je bitno smanjenje crvene linije koja postaje sve kraća što znači da čestica naglo gubi energiju i brzinu. Plave linije na izlazu pokazuju da u tom trenutku čestica više nema ni brzinu ni energiju dovoljnu da napravi štetu ljudskom zdravlju.

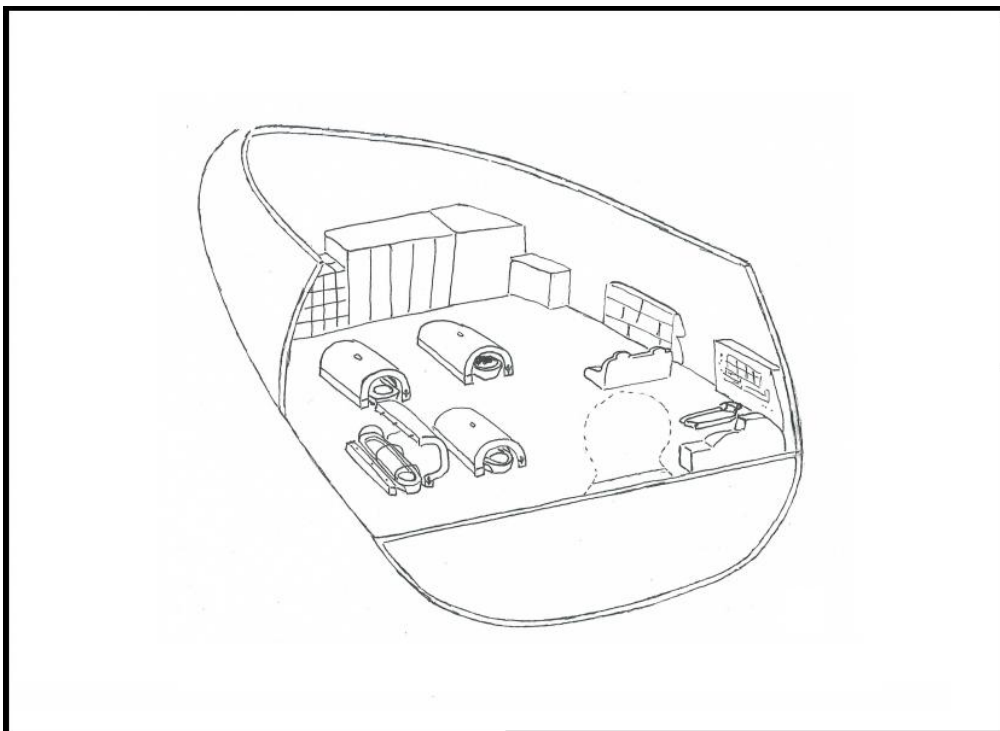


Slika 34. Osobni teoretski prijedlog ležaja za spavanje

Ležaj je prekriven polukružnom kupolom koja bi bila građena od tvrdog stakla, npr. pleksiglasa i punjena vodom. Debljina sloja bi bila 30 cm i štitila bi astronaute na spavanju. Čak bi i doza izlaganja po satu bila smanjena za 15 mSv. U slučaju da se voda s vremenom ionizira uslijed djelovanja zračenja, može se lako izvršiti postupak elektro-deionizacije. Vodom se propusti struja i ponovno vrati izgubljene elektrone. Kao potpora služe i čvrsti polukružni oslonci ispod kupole koji smanjuju naprezanje. Za ležaje se učvrste i remeni kojima se astronauti vežu zbog bestežinskog stanja.



Slika 35. Presjek šatla sa smještajem kupola i potrebnim stvarima kao npr. sprava za trčanje



Slika 36. Uzdužni presjek šatla

## 5.4 Materijali za zaštitu od zračenja – NASA

U ovom poglavlju će biti prikazani prijedlozi svemirske agencije NASA. Iako postoji veći opseg materijala koje oni predlažu posebna pažnja će se obratiti većinom na one koji su isplativi, lagani i lako proizvedivi. Zajedničke materijale ne treba opisivati jer su u prethodnom poglavlju objašnjene karakteristike.

- Borirani polietilen
  - RXF1
  - Nextel
  - Kevlar
  - Nano vlakna
  - Voda
  - Vodik
  - Hibridna plastika
- } uglavnom vezani za zaštitu od mikrometeorita

#### a) Borirani polietilen

Borirani polietilen je proizvod koji se obično koristi u medicini za zaštitu od neutrona. Napravljen od polietilena vrlo visoke gustoće, s 5% sadržaja bora po težini, ovaj materijal pokazuje izuzetnu postojanost u širokom temperaturnom području. Borirani polietilen je dostupan u standardnim veličinama kao listovi (48"x 96"x1"), blokovi i ploče. Bor kao jedan od boljih apsorbira neutrona daje svojstvo apsorpcije polietilenu.

#### Karakteristike:

- Lako obradiv
- Brza tvornička proizvodnja
- Izuzetno dobra zaštita od X zraka
- Mogućnost ojačavanja zbog strukturalnih karakteristika
- Odlična zaštita protiv termalnih neutrona, primarnih i sekundarnih gama zraka

#### Primjene:

- Nuklearni reaktori
- Nuklearni ratni brodovi
- Medicinski prostori (rendgenska prostorija)
- Vrata kod linearnih akceleratora
- Istraživački laboratoriji

#### b) RXF1

Noviji materijal predložen svemirskoj agenciji. Izumio ga je dr. Raj Kaul.

RXF1 je nevjerovatno izdržljiv materijal i lagan. 3 puta je strukturalno čvršći od aluminija i 2.6 puta lakši. Ima sve karakteristike balističkog štita pa bi moguću upotrebu imao i protiv mikrometeorita. Do sada je primjenjivan na ratne helikoptere. Može se vući u vlakna i prilagoditi bilo kojem dijelu šatla ili drugih letjelica. Njegova baza je upravo polietilen, materijal na kojem se cijeli završni rad i bazira. Polietilenska komponenta je ta koja daje svojstvo zaštite od zračenja ovom materijalu.

### Karakteristike:

- Lakši od aluminija
- Velika čvrstoća i otpornost na naprezanja
- Balistički štiti
- Sastav i način proizvodnje su tajna (patent i prava)

Iako je ovaj materijal na prvi pogled jako dobar ima neke nedostatke. Nije otporan na visoke temperature i zapaljivost. Pošto je patentiran i dolazi kao privatna proizvodnja mala je mogućnost da se može masovno proizvoditi.

### c) Nextel

3M Nextel keramički materijal je na bazi jakih aluminijskih, silicijevih i borovih vlakana i posebno je dizajniran da izdrži FAA test tj. da prođe test zapaljivosti pri temperaturi od 1093°C.

### Karakteristike:

- Snaga i fleksibilnost
- Malo stiskanje materijala pri kontinuiranoj temperaturi (1100°C)
- Visoka vatrootpornost
- Vrlo tvrd

### Primjene:

- Štit od svemirskog otpada i mikrometeorita (ISS postaja)
- Kompozitna vatrena barijera
- Fleksibilna termalna barijera
- Vatrostalni pečati

#### d) Kevlar

Kevlar je vrsta jako otpornog sintetičkog vlakna, otkriven 1960-ih godina u kompaniji DuPont. Ovaj materijal je pet puta izdržljiviji od metala i dobro podnosi visoke temperature. Vlakna od kevlara imaju zateznu čvrstoću znatno veću od čelika kao i od drugih inženjerskih polimernih materijala. Zbog svoje kemijske strukture kevlar je veoma lagan pa se zbog toga koristi u proizvodnji dijelova aviona, svemirskih raketa i satelita, kao i bolida Formule 1. Zbog svoje izdržljivosti, kevlar se također koristi i u proizvodnji pancirki. Moguće korištenje kao štit od mikrometeorita.

#### e) Nano vlakna

Nano vlakna nisu materijal nego predstavljaju dio materijala čije kvalitete nam odgovaraju i htjeli bismo ga ojačati na molekularnoj razini. Tu dolazi do nano vlakana koja sama po sebi imaju bolja svojstva. Sve ovisi o materijalu kojeg bi koristili. Najčešće su to ugljična, aluminijska i polietilenska nano vlakna.

#### f) Hibridna plastika

Materijal koji proizvodi tvrtka NeuShield. Sastoji od polietilena niske gustoće vezanog za neke od metala sa posebnim svojstvima. Tu dolazi također gadolinij. Materijal je po mnogočemu sličan prethodno navedenim materijalima no razlika je u industrijskom oblikovanju. Hibridna plastika se može posebno oblikovati da štiti od neutrona, X zraka, a ponajviše kao bitan strukturalni materijal. Tehnički naziv je hibrid plastika/metal.

#### Karakteristike:

- Visoka čvrstoća
- Otpornost na mehaničke udare
- Poboljšane dimenzijske tolerancije
- Mala težina
- Izrazita otpornost na torziju, stlačivanje i savijanje
- Apsorpcija energije
- Recikliranje

Primjene:

- Automobilska industrija
- Građevinarstvo
- Zaštitne kacige
- Alati
- Elektronika
- Motori
- Avionska industrija

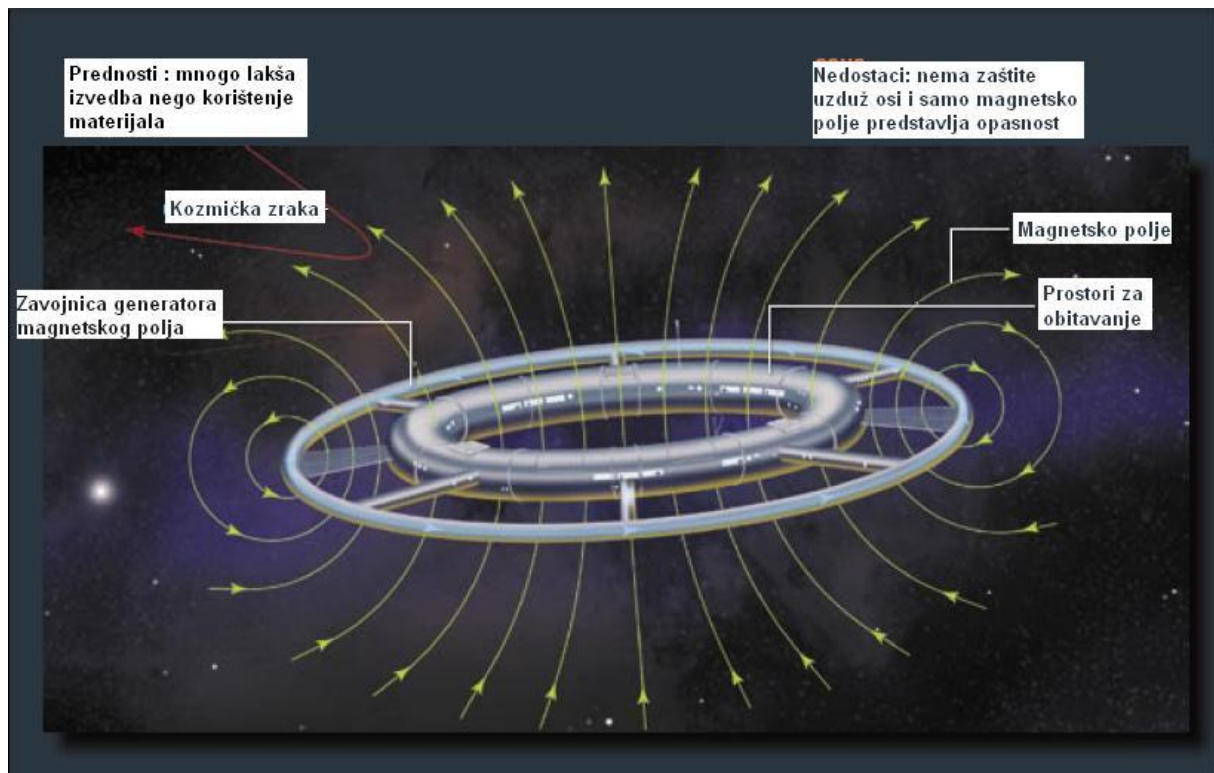


## 5.5 Aktivna zaštita od čestica

Materijali za zaštitu od zračenja spadaju u tzv. pasivnu zaštitu. Postoje i prijedlozi za aktivnu zaštitu. Aktivna zaštita uključuje korištenje električnih i magnetskih polja. S obzirom da su te čestice većinom protoni sa nabojem teoretski je moguće ih odbiti ako je cijeli šatl pozitivno nabijen. Ove metode imaju dosta nedostataka, a još nije dovoljno ni istražen utjecaj jakih magnetskih polja na čovjeka.

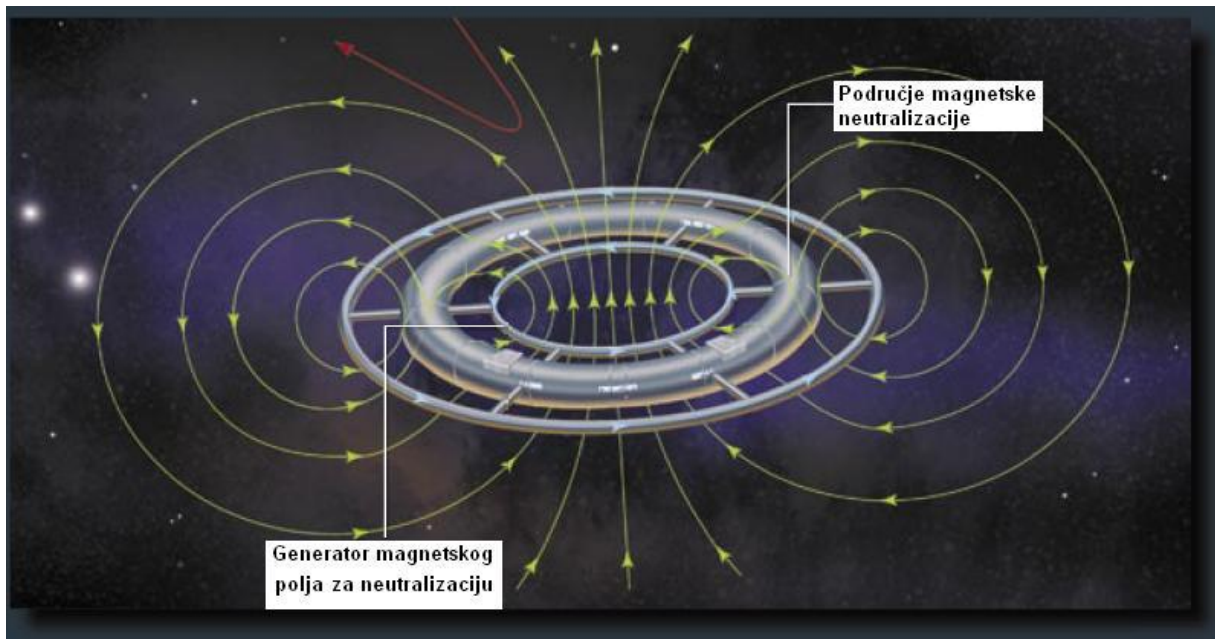
### 5.5.1 Magnetski štit

Jaki elektromagnet odbija nabijene čestice natrag u svemir. Da bi se odbila veća količina kozmičkih zraka koje imaju energiju u GeV trebat će 600 000 puta jače magnetsko polje od Zemljinog ekvatorijalnog polja. Teoretski princip je prikazan na idućim slikama.



Slika 37. Princip magnetskog štita

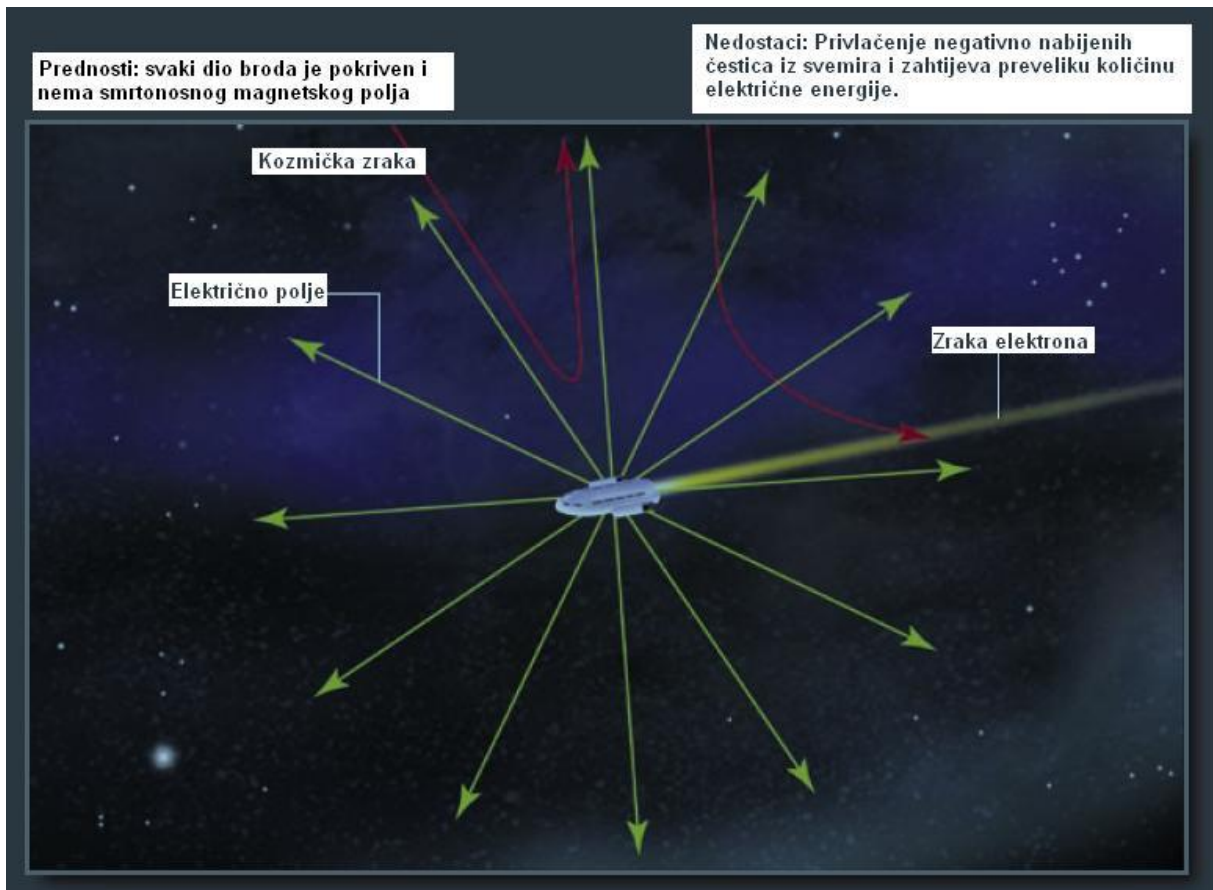
S obzirom da bi magnetsko polje djelovalo i na prostore gdje astronauti obitavaju, prijedlog je da se izgradi drugi elektromagnetski prsten i to iznutra. Njegova svrha je potiskivanje vanjskog jakog magnetskog polja. Iako je to teoretski ostvarljivo, zahtijevalo bi stalno nadogradnju nečega novog i time se nepotrebno podiže sama kompleksnost sustava.



Slika 38. Sekundarni EM prsten i princip neutralizacije vanjskog polja

### 5.5.2 Elektrostatski štit

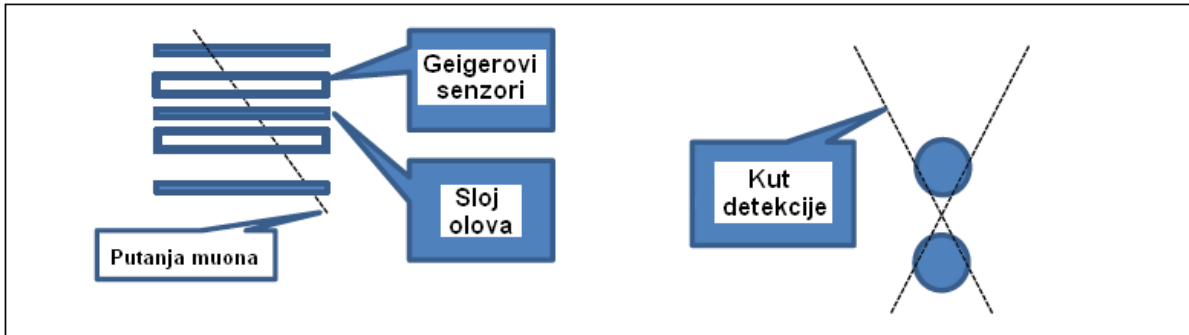
Ovaj prijedlog se bazira na ispucavanju zrake elektrona u svemir što uzrokuje nakupljanje pozitivnog naboja na šatlu. Taj naboj odbija kozmičke zrake pošto se i one sastoje od pozitivno nabijenih čestica. Da bi ovakav štit odbio te čestice šatl bi trebao biti pod nabojem od 2 milijarde volti.



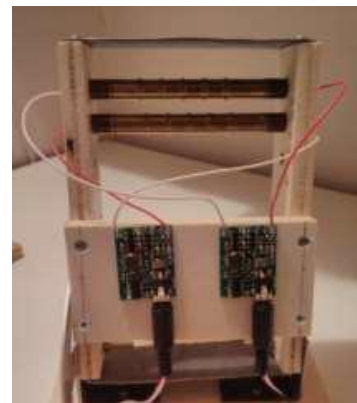
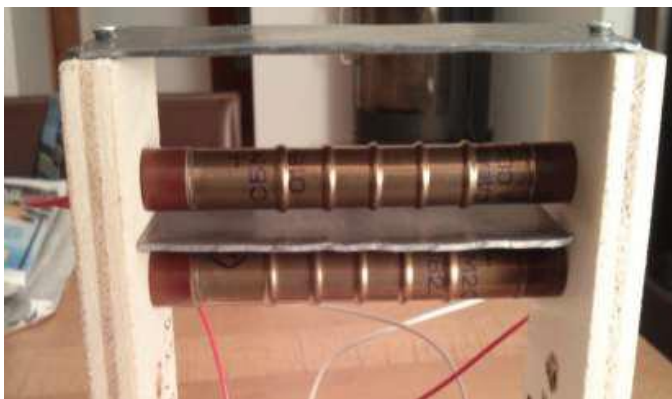
Slika 39. Princip djelovanja elektrostatskog štita

## 6. DETEKTOR KOZMIČKOG ZRAČENJA

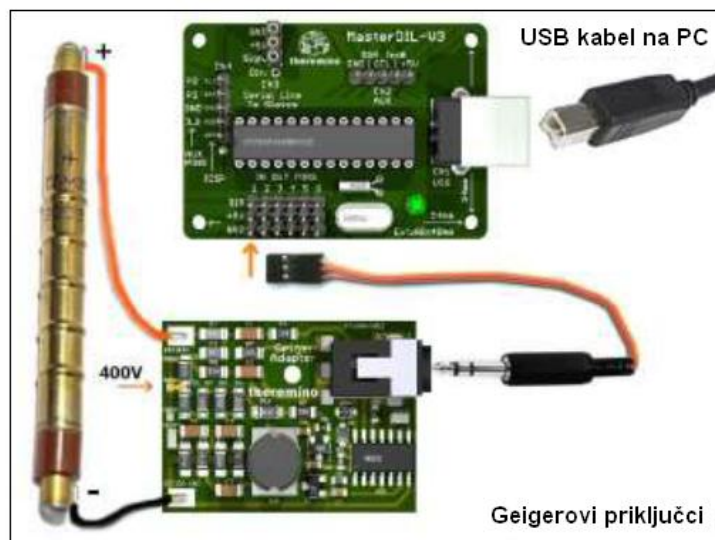
Princip rada



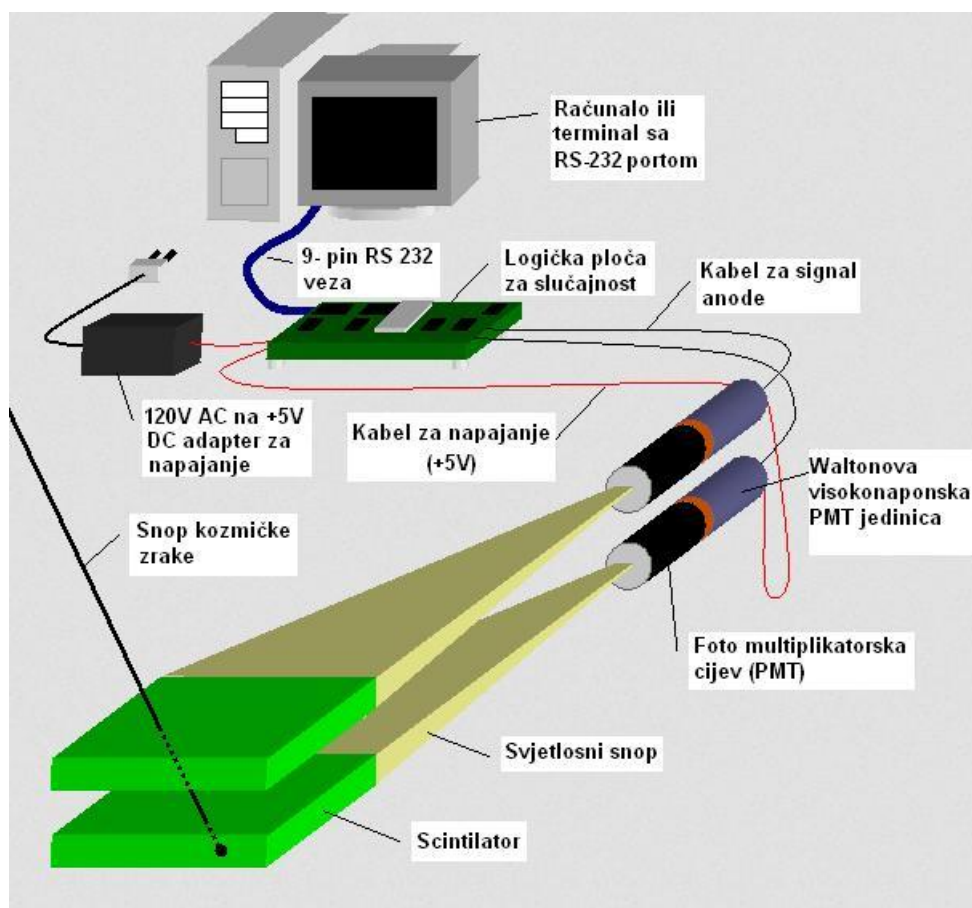
Dvije Geigerove cijevi su postavljene jedna iznad druge i međusobno poravnate i udaljene 1 cm. Tanki listići olova debljine 1.2 mm se nalaze iznad senzora. Prvi je iznad prvog senzora, a drugi ispod drugog. Uloga listića je zaštita senzora od pozadinskog zračenja. Postoji još jedan sloj olova između obje cijevi kako bi se spriječilo moguće zračenje iz prve cijevi na drugu. Sa tim uvjetima jedino čestice koje imaju energiju za prolazak kroz sloj olova su registrirane. Te čestice sa takvim karakteristikama su uvijek galaktičke. Čestice prolaze kroz to poravnanje cijevi i započinje brojanje preko senzora.



Slika 40. Geigerove cijevi (lijevo); Senzori (desno), amaterski model



Slika 41. Hardver detektora i povezivanje sa računalom



Slika 42. Shema istraživačkog sustava detekcije

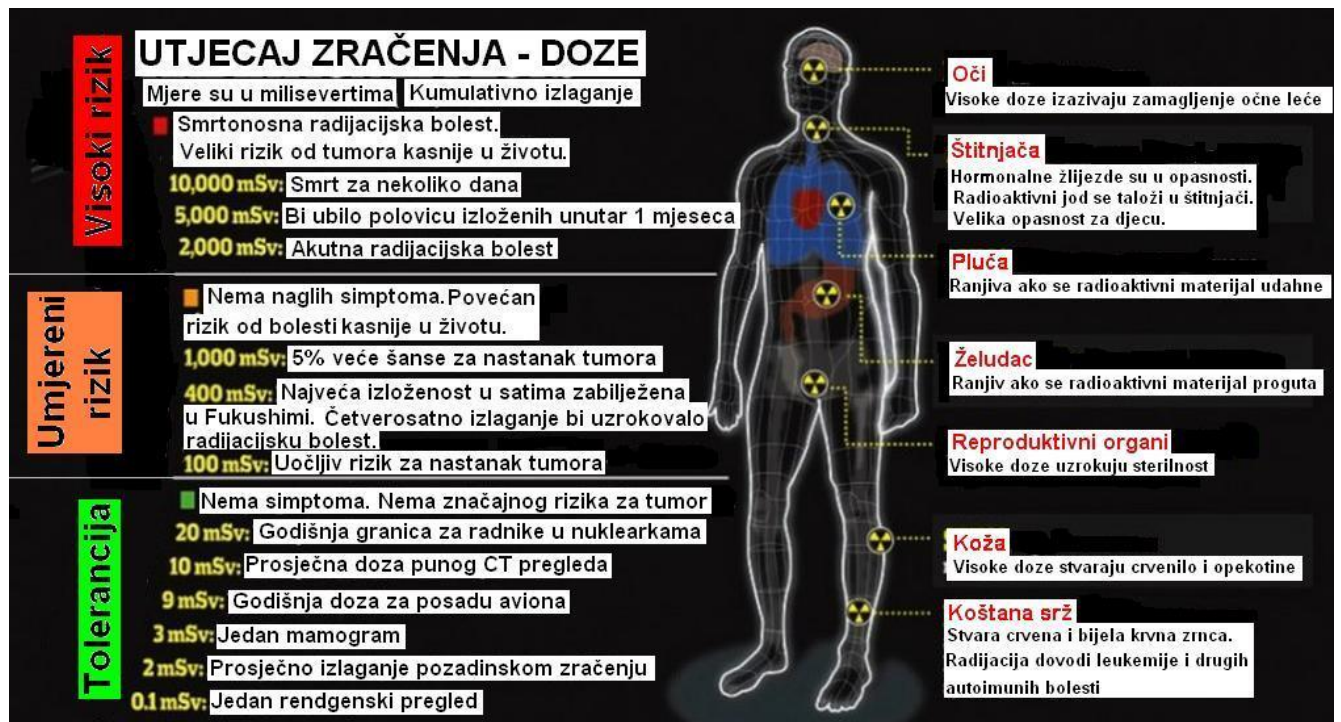
## 7. UTJECAJ KOZMIČKOG ZRAČENJA NA ZDRAVLJE ASTRONAUTA

Najbitniji dio svakog istraživanja o djelovanju zračenja je utjecaj na čovjeka.

Prvo treba naglasiti dopuštene doze i klase rizika te opisati djelovanje na tijelo astronauta.

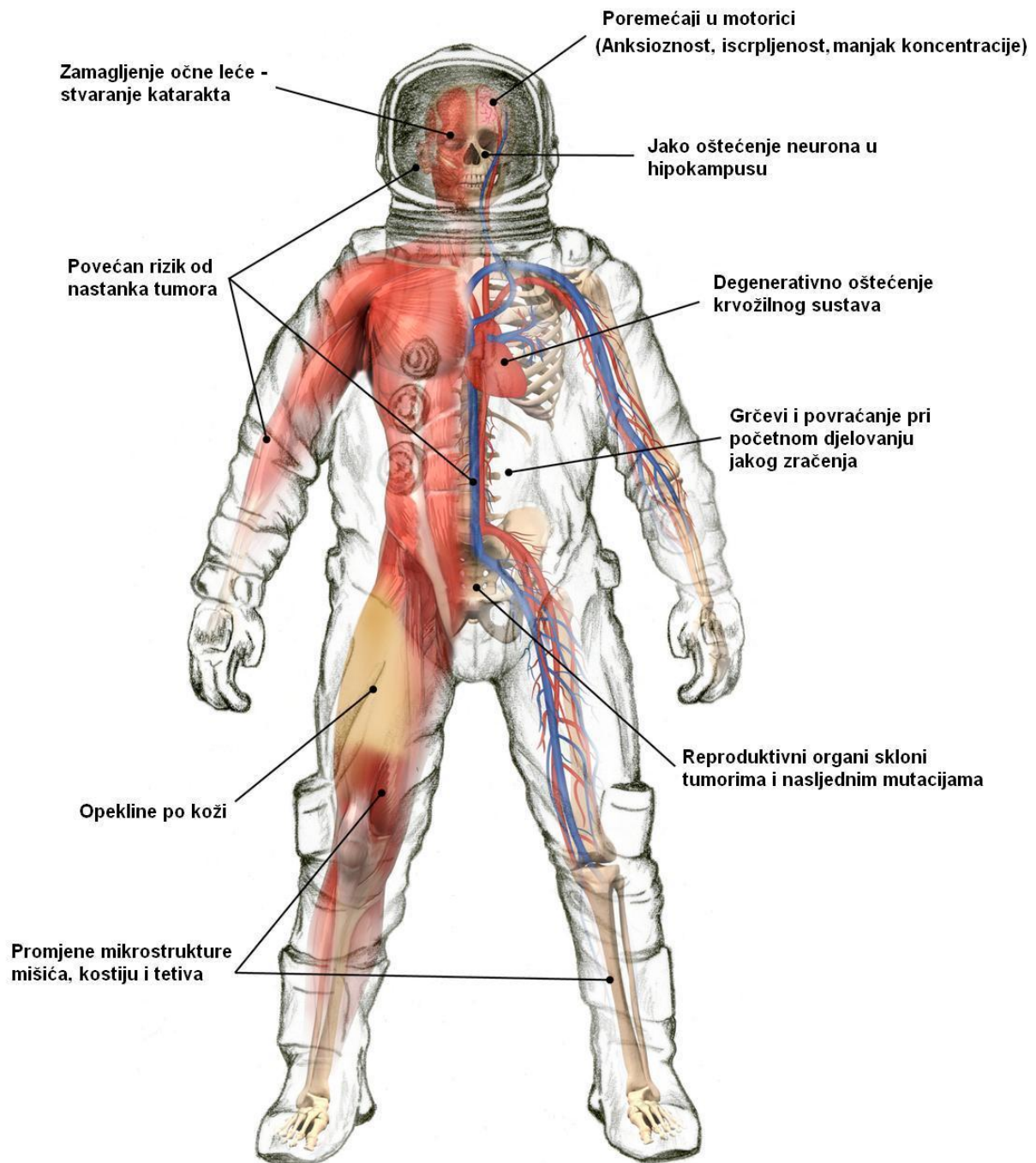
Uz zračenje opasno djelovanje na tijelo ima i bestežinsko stanje.

### 7.1 Dopuštene doze pri izlaganju



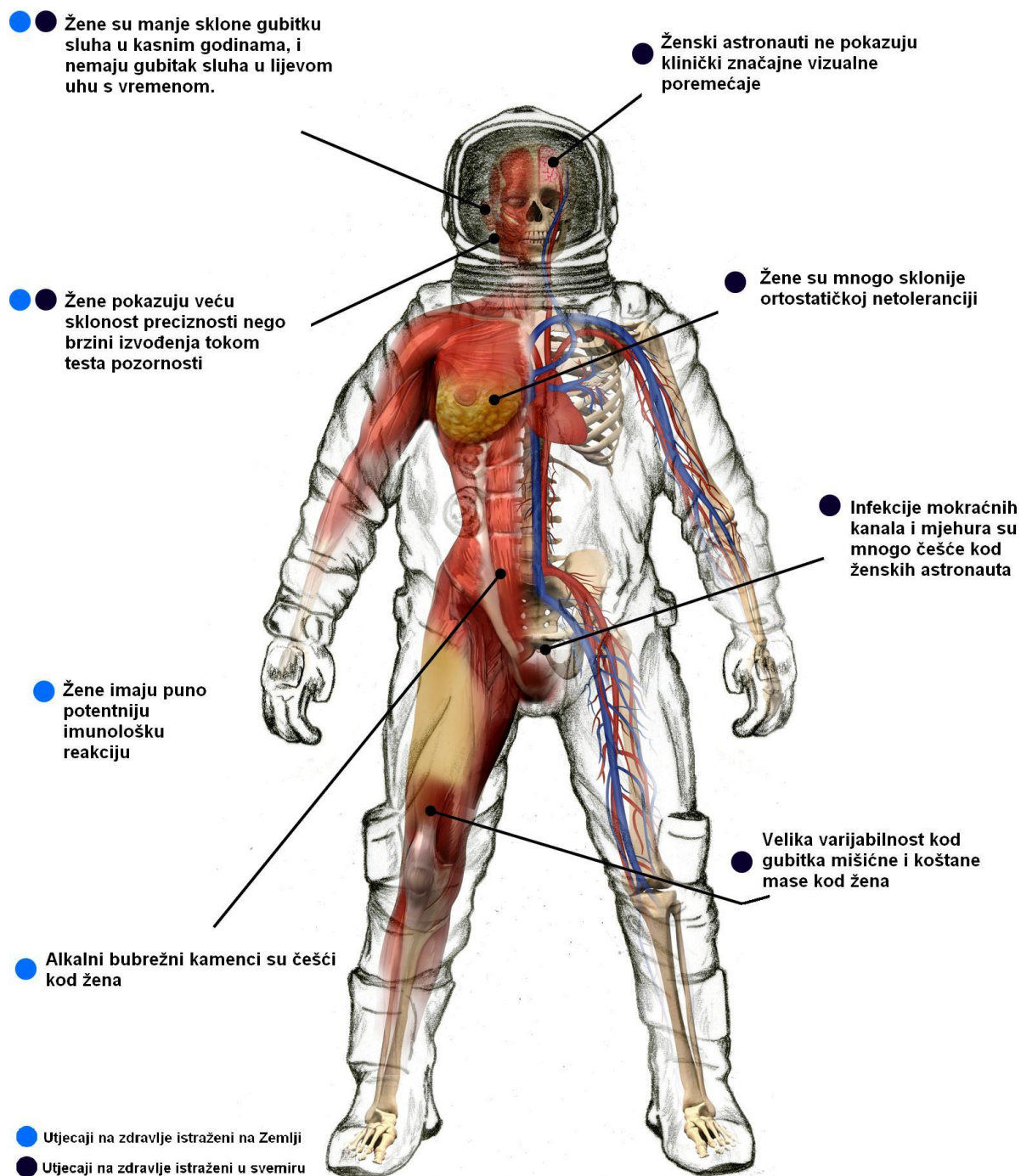
Slika 43. Rizici i doze izlaganja zračenju

## 7.2 Djelovanje kozmičkog zračenja na tijela astronauta



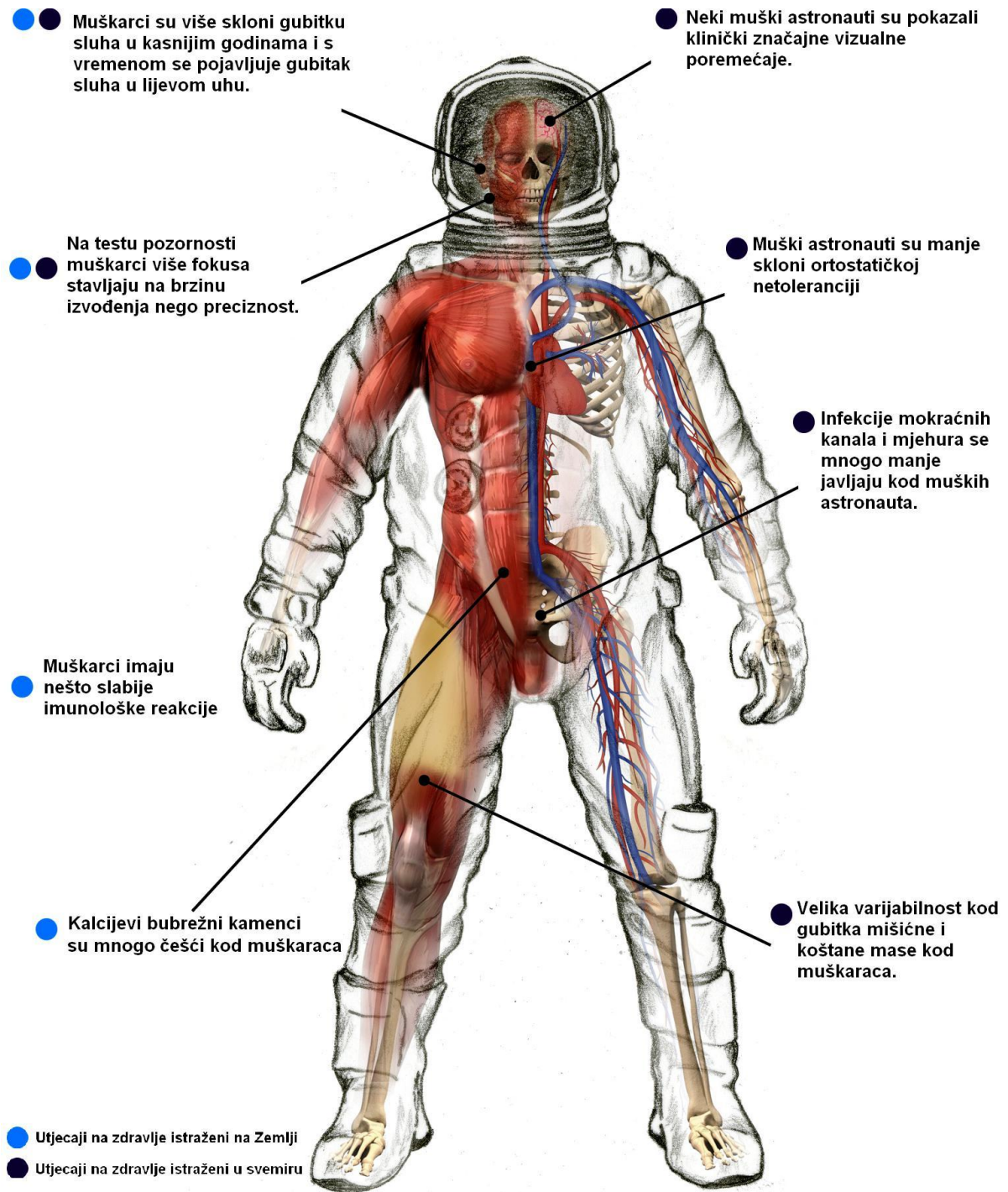
Slika 44. Posljedice djelovanja kozmičkog zračenja na tijela astronauta

### 7.3 Djelovanje bestežinskog stanja na tijela astronauta – žene i muškarci



Slika 45. Utjecaji bestežinskog stanja na tijelo astronauta – žene

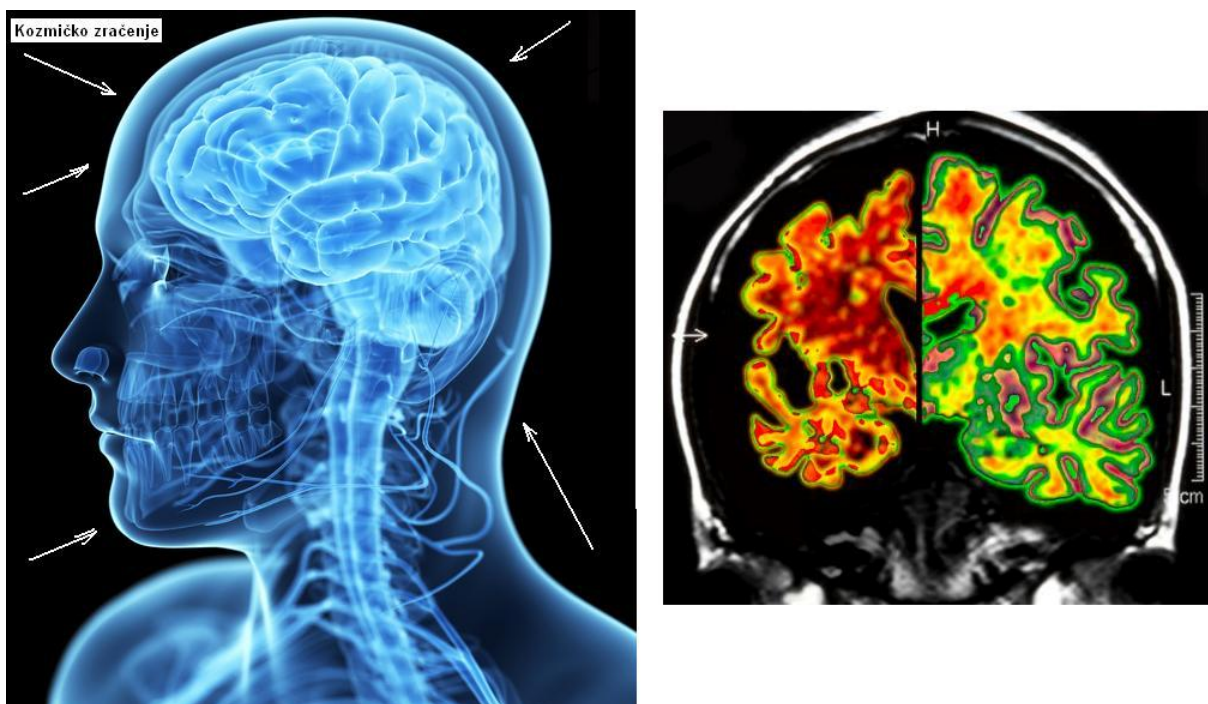




Slika 46. Utjecaji bestežinskog stanja na tijelo astronauta – muškarci

## 7.4 Poremećaj neuroloških funkcija

Rezultati novog istraživanja američkih znanstvenika pokazali su da bi kozmičko zračenje kojem bi astronauti bili izloženi na misijama duboko u svemiru moglo ubrzati pojavu Alzheimerove bolesti. Eksperiment je izvršen na miševima. Miševi su stavljeni pod djelovanje brzih i energetičnih čestica kisika i titana. Izlaganje miševa toj zruci je počelo polako razarati tkivo njihovih mozгова što je utjecalo na prijenos impulsa između neurona. Nakon 6 tjedana izloženosti miševi su imali mali broj dendritskih sinapsi (dijelovi neurona koji prenose impulse). Zaključak je da čestice tog zračenja izbacuju iz ravnoteže sinapse što je vrlo sličan ako ne i identičan efekt koji ima i Alzheimerova bolest na mozak. Miševi su poslije stavljeni sa normalnim miševima i razlike u izvršenju kognitivnih testova su bile velike. Izloženi miševi su bili manje zainteresirani, slabije koordinacije, lakše ih se zbunilo i preslaba tjelesna aktivnost. Sada je ustanovljeno da kozmičko zračenje ne djeluje samo na krvožilni i mišićno – koštani sustav već je tu i neurološka komponenta tzv. radijacijom inducirani kognitivni deficiti.



Slika 47. Djelovanje zračenja na mozak; desno je prikaz demencije mozga

Slika 47. pokazuje da na temelju pokusa na miševima čija je struktura mozga nakon izlaganja promijenjena i propada, može se zaključiti da bi ljudski mozak slično reagirao. Došlo bi do neuralnog raspada i slabljenja kognitivnih funkcija.

## 8. UTJECAJ KOZMIČKOG ZRAČENJA NA ELEKTRONIKU

Djelovanje na elektroniku se događa kada kozmičke čestice prolaze kroz uređaj npr. satelit i ioniziraju atome kroz sudare. To utječe na svojstva uređaja i mijenja njegove performanse i s vremenom dolazi do degradacije i potpunog gašenja. Najviše su osjetljivi poluvodiči jer se kod njih najviše vidi kumulativni utjecaj zračenja. Naravno ne utječu sve čestice jednako na uređaje. Neke nisu toliko ni brze niti velike energije da bi napravile štetu. Najveća opasnost prijeto od električnog nabijanja uređaja. Slobodni elektroni i slične čestice imaju sposobnost naelektriziranja i stvaranja električnih izboja. Stvara se statički elektricitet koji djeluje negativno na sustav uređaja. Sateliti koji kruže oko Zemlje imaju istu zaštitu od mag. polja zemlje ali su više ozračeni zbog visine. Današnji materijali štite relativno dobro s obzirom da sateliti koji su poslani izvan mag. polja i dalje odašilju podatke bez problema. Najbolji način zaštite elektronike je obavljanje kućišta materijalima koji su jaki izolatori, a ujedno i dovoljno lagani da bi usporili prolaz čestica. Tu ulaze različita vlaknasta stakla, aerogel, drvo i sl. U obzir su uzeti i različiti polimeri poput hibridne plastike.



Slika 48. Kozmičke zrake su veliki uzrok štetnog djelovanja na sve oblike moderne tehnologije

## ZAKLJUČAK

Na osnovi obavljenih simulacija i analiziranih podataka putovanje izvan mag. polja Zemlje je moguće uz prikladnu zaštitu. Ta zaštita dokazano uključuje kombinaciju vode i polietilena jer su to jedini materijali koji imaju izrazito malo sekundarno zračenje. No čak uz sve proračune to putovanje još nije ostvarljivo. Prevelika zaokupljenost težinom šatla i trošenjem novca u krive svrhe će samo unazaditi putovanje. Treba se osloboditi standardnog načina razmišljanja i razmisliti o ideji gradnje u orbiti. Time bi se izbjeglo uzlijetanje sa Zemlje i dimenzije šatla bi mogle biti mnogo veće jer ne treba uzimati u obzir kozmičku brzinu. Isto kako je i međunarodna postaja građena može biti i novi šatl u nižoj orbiti. Ako planiramo na Mars tada treba preusmjeriti novac u te svrhe a ne u stvari poput ratova. No uz nova otkrića djelovanja kozmičkog zračenja na čovjeka, mali su izgledi za takav put. Bestežinsko stanje i demencija mozga samo dodatno otežavaju probleme kao i slabi izgledi u pronalasku materijala jer svaki ima neke nedostatke. Kako stvari stoje nitko sa ovog planeta ne odlazi još jako dugo.

## LITERATURA

[1] Sharma. Atomic And Nuclear Physics. Pearson Education India. p. 478. ISBN 978-81-317-1924-4.

[2] Kerr, Richard (31 May 2013). "Radiation Will Make Astronaut's Trip to Mars Even Riskier". *Science* 340 (6136): 1031. doi:10.1126/science.340.6136.1031.

[3] Alvarez, Luis; Compton, Arthur Holly; Compton (May 1933). "A Positively Charged Component of Cosmic Rays". *Physical Review* 43 (10): 835–836. Bibcode:1933PhRv...43..835A. doi:10.1103/PhysRev.43.835.

[4] Scientific American; "Solar Storms: Fast Facts". Nature Publishing Group.

[5] Jha, Alok; "Cosmic ray mystery solved". The Guardian. Guardian News and Media Limited.

## Internetske stranice

<http://www.space.com/29309-space-radiation-danger-mars-missions.html>

<http://goflightmedicine.com/cosmic-radiation/>

<http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=21747.php>

<http://www.theguardian.com/science/2013/mar/01/mars-mission-risk-human-life-nasa>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Micrometeoroid>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Space\\_Shuttle\\_thermal\\_protection\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle_thermal_protection_system)

<https://www.google.hr/search?q=aerogel+radiation+shielding&ei=osNwVd7gBdSM7Abu9IH4DQ>

<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/468511/polyethylene-PE>

[http://www.nasa.gov/vision/space/travelinginspace/radiation\\_shielding.html](http://www.nasa.gov/vision/space/travelinginspace/radiation_shielding.html)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-high-molecular-weight\\_polyethylene](http://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-high-molecular-weight_polyethylene)

[http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2005/25aug\\_plasticspaceships/](http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2005/25aug_plasticspaceships/)

<http://www.techbriefs.com/component/content/article/5-ntb/tech-briefs/materials/20314>

[http://www.kip.uni-heidelberg.de/~coulon/Lectures/Detectors/Free\\_PDFs/Lecture3.pdf](http://www.kip.uni-heidelberg.de/~coulon/Lectures/Detectors/Free_PDFs/Lecture3.pdf)

<http://www.hybridplastics.com/>

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1196/annals.1324.013/abstract>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic\\_ray](http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_wind](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_wind)

<http://www.gizmag.com/cosmic-ray-radiation-protection/24511/>

<http://www.universetoday.com/10048/magnetic-bubble-could-protect-astronauts-on-long-trips/>

[http://nepp.nasa.gov/docuploads/392333B0-7A48-4A04-A3A72B0B1DD73343/Rad\\_Effects\\_101\\_WebEx.pdf](http://nepp.nasa.gov/docuploads/392333B0-7A48-4A04-A3A72B0B1DD73343/Rad_Effects_101_WebEx.pdf)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Van\\_Allen\\_radiation\\_belt](http://en.wikipedia.org/wiki/Van_Allen_radiation_belt)

[http://www.nasa.gov/pdf/284275main\\_Radiation\\_HS\\_Mod3.pdf](http://www.nasa.gov/pdf/284275main_Radiation_HS_Mod3.pdf)