

# SLOVENIJA V VESOLJU - PROJEKT TRISAT-R

Avtor: dr. Anton Hauc univ. dipl. str. inž., redni univ. profesor

Na našem domu planetu Zemlji živi **8 milijard** ljudi. Slovencev nas je po zadnjih podatkih **2,109 milijona**. Primerjavo, koliko je to odstotkov glede na svetovno prebivalstvo, prepuščam vam bralcem.

**Zakaj takšen uvod?** Razlogov je lahko veliko. Razlog za takšen uvod našega prispevka pa je spoznanje, da je ekipa

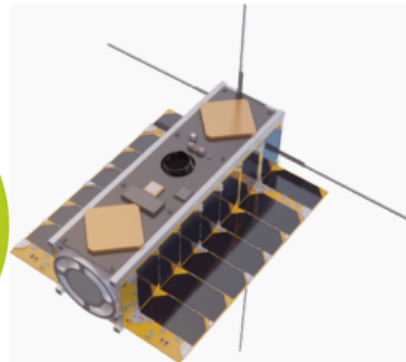
znanstvenikov, raziskovalcev, strokovnjakov iz Slovenije pod okriljem Univerze v Mariboru, Fakultete za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v dveh letih poslala v vesolje dva satelita, ki opravljata zahtevne in koristne raziskave. Postavil sem si vprašanje, kako je to mogoče. Prepričan sem, da to ni samo moje vprašanje.



**TRISAT - R**



**triglav sateliti**



**TRISAT**



Slika 1: Izstrelitev novega slovenskega satelita Trisat-R z novo evropsko nosilno raketo Vega-C iz vesoljskega letališča Kourou v Francoski Gvajani

Zaprosili smo vodjo projektov TRISAT, doc. dr. Iztoka Krambergerja s Fakultete za elektrotehniko, računalništvo in informatiko (FERI) Univerze v Mariboru, za odgovore na nekaj vprašanj o vesoljskem programu Slovenije, o projektih izstrelitve satelitov, o njegovih spoznanjih s poudarkom na tem, kako so bili projekti vodeni in kaj bomo z njimi spoznali in raziskali. Predvsem se bomo osredotočili na zadnji projekt, poimenovan TRISAT-R.



Slika 2: doc. Dr. Iztok Kramberger

**Vsak podvig, poimenujmo ga projekt, ima svoj začetek. Z njim se udejanjanja ideja, zamisel, strategija, potreba in še kaj. Zanima nas, kako je sploh prišlo do tega, da se je porodila ideja o vesoljskem programu v Sloveniji, na Univerzi v Mariboru in predvsem na vaši Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, katerega prvi rezultati so vaši lastni in izvirni sateliti, projekti utirjenja satelitov TRISAT in TRISAT-R. Lahko preprosto vprašamo, kdo je začel, kako in kdaj? Kaj in kdaj je bil »začetek – začetka« tega programa?**



Slika 3: Logo ESA – Evropska vesoljska agencija

Leta 2008 smo s strani ESA – Evropske vesoljske agencije<sup>1</sup> na fakulteti dobili obisk delegacije, ki je vzorčila stanje tehnologije v Sloveniji. Slovenija je imela velik interes, da se vključi v to agencijo. Takrat smo ravno prenehali z razvojem avtonomnih letalnih naprav, danes poznanih kot droni. Ob koncu prejšnjega tisočletja smo imeli kot ena izmed treh skupin na svetu skupaj s slovenskim podjetjem Astron razvit dron, ki smo ga kot dosežek slovenske znanosti predstavljali v Cankarjevem domu v Ljubljani.

Leta 2007 so o naših aktivnostih pisali tudi v Financial Times, vendar nam v Sloveniji ni uspelo ustvariti interesa za vlaganje v nadaljnji razvoj in proizvodnjo. Naj omenim, da smo od podjetniškega sklada pridobili sredstva v višini 65,000 EUR. Seveda s tem »prispevkom« nadaljnega razvoja ni bilo možno izvesti. Potrebna so velika investicijska sredstva

<sup>1</sup> Vir: <https://si.linkedin.com/company/european-space-agency>

za nadaljnjo evaluacijo takšnega produkta. Vemo, da razvoj razvojne tehnologije zahteva velika sredstva. Ne gre samo za proizvodnjo, temveč tudi trženje, zagotovitev servisne pomoči in še marsikaj.

Vendar je odvisno od tehnologije in samega produkta, kaj omogoča. Razvoj računalniško podprtih produktov za delovanje npr. komunikacijskih in drugih omrežij je dosti lažje razviti in je seveda donosnejše, saj ob tem praviloma ni potrebna nova in prilagojena računalniška oprema.

Poenostavljeno rečeno, potrebna sta samo tehnologija za procesiranje podatkov in kapital za trženje, servisiranje, posodobitve itd. To so dokazali npr. Kitajska, Rusija, Amerika s svojimi produkti Facebook, Tik Tok, Amazon in drugimi.

Razvoj tehnologije zahteva velika sredstva. Naj samo omenim, da smo za laboratorijsko opremo za komunikacije na višjih frekvencah potrebovali 1,5 milijona EUR. Brez tega razvoj v prihodnje sploh ni možen. Razvoj tehnologije je izredno drag, rizičen, potrebna je visoka in izvirna strokovnost, ustrezna laboratorijska oprema, oprema za testiranja, v to so vključena še specializirana podjetja in institucije, kar je bilo pri naših projektih satelitov tudi potrebno.

Razvoj tehnologije lahko primerjamo s sajenjem npr. paradiznika. Poješ ga lahko šele, ko si ga selektivno pobral in dostavil in pripravil kot jed.

# In pursuit of innovation

## INFORMATION TECHNOLOGY

These businesses are increasingly export-orientated, writes **Kester Eddy**

It is well past six o'clock in Maribor, Slovenia's second city, and most of the working population is already home for supper. Not so Darko Pihler and Iztok Kramberger, who are locked in conversation in a city-centre office around what appears to be a micro-helicopter, replete with four rotors.

"It flies! It's a UAV, an unmanned aerial vehicle. These have been around for years, but we have given ours autonomy – that is, some artificial intelligence that means it can fly without continuous human supervision," says Mr Pihler, general manager of Astron, a start-up high-tech company.

Powered by lithium-ion polymer batteries, giving the UAV a relatively high power-to-weight ratio, the two enthuse about the craft's potential, which, in essence, allows the observation of inaccessible or dangerous locations.

"It can lift a kilogram [payload] and could be used from mountain rescue operations to mine detection, depending on the camera underneath," says Mr Kramberger, a computer science teacher at Maribor University in his daytime job.

Astron, which enjoys temporary rent-free accommodation in Maribor University's "incubator house" – a joint project funded by the government, European Union and private business, including Microsoft – is just one example of Slovenia's vibrant IT-sector.

In statistical terms, software experts may number just 4,700 people, or 0.6 per cent of Slovenia's 802,000 workforce; but their numbers grew 13 per cent last year, against the average job expansion rate of just 2.5 per

cent. The figures also belie the value of the sector to the Slovenian economy, since IT companies are increasingly serving foreign markets, says Mirko Music, a Ljubljana-based consultant.

Zootfly, a computer games company based in Ljubljana, is an extreme example of this tendency, though its sales are mainly to the west.

"We are working on a \$5m project for 20th Century Fox [the US entertainment company]. It's our third game, and 95 per cent of our production is for export," says Bostjan Troha, Zootfly co-founder and chief executive.

But the government fails to recognise fully the importance of small IT companies, he argues, particularly of the more esoteric kind.

"When we founded Zootfly we could not register as a game development company – the category simply did not exist. Game development is not seen as serious business, unlike, say in France. And tax regulations here make stock options difficult to use," Mr Troha says.

Zootfly, now four years old and with 33 employees, needs to take on another 10 to meet deadlines next year.

But with growth throughout the sector, and a trend towards humanities in university education since 1990, staff of the right calibre are hard to find. The company has several times battled local bureaucracy to take on Serb, Macedonian and even Ukrainian workers.

Ziga Turk, Slovenia's minister for growth, accepts that too many students are choosing humanities, but says education policy has now tilted to favour technical subjects. And while the legal framework may not support the use of stock options, the authorities have given a boost to the entire sector, he insists.

"It's likely that voting in the next election will be by internet or mobile phone," Mr Turk says, to illustrate progress.

## Slika 4: Prispevek v Financial Times

Poskušali smo sicer zainteresirati Slovensko vojsko, policijo, gasilce in druge. Naj omenim, da Slovenska vojska takrat ni pokazala interesa; ni vedela, zakaj to uporabljati. Danes vemo, kaj droni pomenijo na področju vojskovanja in na drugih zelo različnih področjih, kot je npr. gozdarstvo, pomoč pri obvladovanju požarov, naravnih

katastrofah, športu itd. Moram pa posebej omeniti gasilce, ki so bili pripravljeni tudi investicijsko sodelovati. Žal do dogovora ni prišlo. Slovenija slovi kot izredno dober inovator in razvojni potencial marsičesa, vendar smo kapitalsko prešibki za izvedbo vsega ostalega, kar je po razvoju še potrebno narediti. To se pojavlja tudi ponekod drugod v Evropi, posebno če to primerjamo z Ameriko, pri čemer mislim predvsem ZDA.

Leta 2015 smo na primer Evropski komisiji predlagali razvoj majhnih satelitov za spremljanje Zemlje na različnih področjih v realnem času. Odgovor Evropske komisije je bil zelo kratek, raje to delamo sistematično. V tem času je z istim namenom podjetje Google kupilo podjetje Skybox za 500 MUSD, podjetje Planet Labs pa zbralo 65 MUSD. Slednji ima danes preko 250 satelitov v orbiti. Dela točno to, kar smo mi predlagali. Letošnje poletje sem imel priložnost govoriti s predstavnico Evropske komisije, odgovorne za digitalizacijo, ki mi je odgovorila, da smo takrat mi bili pred časom. Moj odgovor je bil, da mi nismo bili pred časom, Evropa je bila za časom.

Naši naporji za razvoj in nadaljnjo implementacijo dronov niso uspeli. Ko je leta 2008 prišla delegacija iz ESA in si v laboratoriju ogledala naše drone, so nam povedali, da če znamo s tem leteti, zakaj ne bi šli v vesolje. Mislim, da je to začetek naše usmeritve, naše strategije »gremo v vesolje«.

Pričeli smo iskati, kaj pomeni in kaj zahteva iti v vesolje. Kaj lahko kot Slovenci storimo. Kaj lahko naredimo na fakulteti, kaj naši študentje. V okviru ESA sem našel zanimiv projekt, kjer so si študenti 21 univerz v Evropi zadali cilj, da

bi naredili satelit, imenovan ESMO (European Student Moon Orbiter), ki bi poletel okoli Lune. Projekt se mi je zdel izredno zanimiv, saj bi lahko dobili začetne informacije in zamisel, kako bi sodelovali pri tem projektu tukaj v Mariboru. Z dr. Markom Kosom, takratnim mojim asistentom, danes pa izjemnim predavateljem, sva pričela snovati projekt. Napisal sem prijavo, da bi nas sodelovanje zanimalo in bi prevzeli implementacijo rokovanja s podatki na tem satelitu. ESA je bila zelo zainteresirana, da pridobi za projekt novo univerzo. Odpotovala sva v London in se dogovorila s podjetjem SSTL Ltd, ki ga je ustanovila Univerza v Surreyju. Univerza je bila 75-% lastnik tega podjetja, 15 % pa je bilo v lasti privatnega kapitala. Podjetje je bilo primarni izvajalec tega projekta. S kolegom sva odšla v London in predstavila našo ponudbo. Vključil sem proaktivne študente, ki so želeli delati na tem projektu.

V nadaljevanju je obveljalo naše stališče, da se bomo vključili v projekt, kakor mi mislimo. Študente sem izbral in vozili so se v Anglijo, da pridobijo potrebna znanja, se usposobijo za izgradnjo lastnih računalnikov, kar v začetku ni bilo mogoče. Mi smo podpisali pogodbo in pričeli sodelovati na projektu ESMO. Pomembno je bilo, da je podjetje SSTL Ltd naredilo prvi satelit Galileo predvsem iz razloga, da zasede ustrezno frekvenco. Evropa je namreč sklenila vzpostaviti svoj satelitski navigacijski sistem, kar je povzročilo nejevoljo pri Američanih, Kitajcih in Rusih. Satelit pravzaprav ni delal nič drugega, kot oddajal signal »bip bip bip ...« na 12-urni orbiti. V vesolju namreč še vedno velja klasično rimsko pravo »prvi prideš, prvi melješ«. Takrat je podjetje SSTL Ltd že vedelo, da bo delalo

na satelitih Galileo in bo prodano. Privatni del lastništva je vedel, da se bo pojavil kupec. Podjetje je kupil AIRBUS. To je bila priložnost za nas, saj so naši študentje lahko delali v njihovih laboratorijih. Vključili smo se tudi v izobraževalni program ESA. Naši študentje so se tako izobraževali v tehnološkem centru ESA na Nizozemskem. To sodelovanje ni bilo urejeno s pogodbo, ampak je šlo za dogovor.

Hkrati je bilo dogovorjeno, da so se naši študentje izobraževali v tehnološkem centru ESA tudi s projektnim managementom, managementom tveganj in ostalim, kar je potrebno za takšne projekte. Tega izobraževanja sem se udeležil tudi sam. Organizacijo tega projekta je sestavljala ekipa ESA, ki je vodila ta izobraževanja. Sodelovalo je 22 univerz.

Interes ESA je bil, da pridobi kader za projekte drugih podjetij. Menil sem, da ne sprejemamo, da te kadre in njihovo znanje pridobi nekdo drug in ne Slovenija. V nadaljevanju je bil pomemben mejnik obisk skrbnika s strani ESA, ki je zagovarjal stališče agencije, da je vesoljski program pomembna industrijska dejavnost. Razvoj v povezavi z izobraževanjem naj ta prehod v industrijsko sfero zagotavlja. Pomeni, da je najprej treba aktivirati institucije znanja in nato sledi razvoj do industrijske ravni. To nam je bilo jasno sporočilo, da moramo ustanoviti samostojno podjetje, da lahko to, kar bomo razvili in naredili, tudi tržišmo.

Projekt ESMO se je po preliminarnem pregledu ustavil in ukinil. Razlogov je bilo več. Veliko univerz je izstopilo iz projekta. In kaj nam je tedaj preostalo? Sprejel sem odločitev, ki bi jo strnil v »fantje gremo po

svoje«. S tem smo pričeli s programom novih projektov, programom TRISAT. Predstavniki ESA je na obisku pri nas zastopal stališče, da je potrebno povečevati industrializacijo razvojnih dosežkov na področju osvajanja vesolja in temu podrediti oz. bolje rečeno usmerjati razvoj. Torej v začetku so potrebne institucije znanja, kot so predvsem univerze. Ko se znanje in usposobljenost pridobi, je potrebna industrijska implementacija, označimo jo lahko kot komercializacijo. To nas je vodilo k temu, da smo morali ustanoviti podjetje. V podjetju so zaposleni tudi študentje z ustreznim znanjem, ki so si ga pred tem pridobili, in razvijati smo pričeli produkte, ki jih lahko prodamo.

### **Kaj je to podjetje in kaj vse je njegova dejavnost?**

Ustanovili smo podjetje SkyLabs<sup>2</sup> in v njem so se zaposlili tudi študentje, ki so delali na projektih. Hkrati pa smo preko njega pričeli izvajati trženje ustvarjenega. Produkte, ki jih trenutno izdelujemo, lahko najdete na naši spletnih straneh.



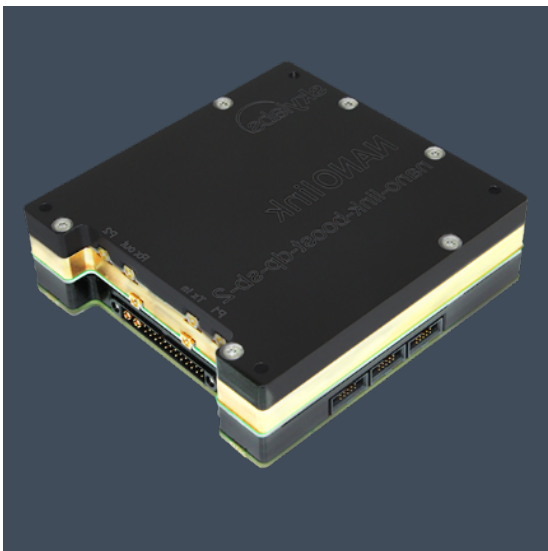
Slika 5: Logo Skylabs

Gre za podsisteme satelitov, ki v vedno večji meri pokrivajo vse potrebne elemente visoko miniaturizirane satelitske platforme, od rokovanja s

---

<sup>2</sup> <https://www.skylabs.si/>

podatki na krovu satelita, nabiranja in shranjevanja energije do komunikacije z zemeljskim segmentom. Naj omenim in naj ne izzvem kot neka reklama, ampak komunikacijski podsistem za komunikacijo z Zemljo NANOLink je tudi en najbolj prodajanih produktov, ki se prodaja tudi na ameriškem trgu. Komunikacijski podsistem trenutno predstavlja enega najbolj izpopolnjenih produktov na trgu v smislu storilnosti, teže in velikosti. Podjetje hkrati vrši tudi prenos vesoljskih tehnologij na področje zemeljskih aplikacij, tako smo na primer uspešno prenesli tehnologijo kamere za oddaljeno opazovanje Zemlje v senzorski sistem z umetno inteligenco za prepoznavanje tekstilov, ki ga prototipno vgrajujemo v pralne stroje podjetja Hisense z namenom samodejnih pralnih programov glede na vrsto blaga.



Slika 6: NANOLink-boost-dp Gen2

**Satelit je pravi satelit, če z njim komuniciramo, če ga spremljamo. Samega brez tega bi težko označili kot satelit. Kako ste to splošno poznano dejstvo vključili med storitve podjetja?**

To spoznanje, ki ste ga v vprašanju omenili, me je zelo zgodaj usmerilo v razmišljanje, da bomo potrebovali tudi storitve, vezane na spremljanje satelitov v njihovih orbitah. Zasnovali smo nov projekt kot nadaljevanje projekta postavitve postaje za spremljanje satelitov na strehi fakultete. Projekt smo prijaviли kar direktno na ESA, ki je projekt potrdila in zagotovila predvsem finančno pomoč. Postaja deluje z inovativnimi rešitvami na osnovi programske definirane radija, ki ga leta 2012 še na svetu ni bilo. Danes je ogromno teh postaj v svetu, ki delujejo na način, ki smo ga mi takrat razvili med prvimi.

Postavili smo lastno zemeljsko postajo v Mariboru pri Zrkovcih. Njene naloge so komunikacija z našimi sateliti na dnevni bazi. Storitve spremljanja in nasploh komuniciranja satelitov ne izvajamo samo za naš program razvoja satelitov TRISAT, temveč so naši kupci teh storitev npr. večja evropska podjetja kot sistemski integratorji. Ko satelit preide v orbito, kjer za nas ni lokalno dosegljiv, spremljanje izvaja zemeljska postaja v Zrkovcih.



Slika 7: Zemeljska postaja za spremljanje satelitov podjetja SkyLabs v sodelovanju z Univerzo v Mariboru, FERl

*Bralci si lahko ogledajo nekaj podatkov o spremljanju in komuniciranju s satelitom na spletnem video [trisat.um.si](http://trisat.um.si).*

**Projekt ESMO se je končal. In gotovo je sledila nova strategija z novo projektno idejo, z novim projektom ali celo programom več projektov. Je to prelomnica in hkrati rojstvo programa TRISAT?**

Danes je vaše vprašanje enostavno naša zgodovina razvoja. Pričeli smo s projektom TRISAT. Logotip naše blagovne znamke za projekte TRISAT ste prikazali na uvodu pri slikah satelitov TRISAT. Prikažimo si ga še enkrat:



Slika 8: Logo trifat

Uporabili smo simbol naše domovine, rečemo lahko tudi našega doma Slovenije. Je povezava besed Triglav in sateliti. Blagovna znamka ima namen predstaviti in hkrati zaščititi naše znanje in nasploh program produktov. Z njo smo želeli povedati, da poteka razvoj nano satelitske tehnologije v Mariboru, na Univerzi v Mariboru. Zemljo obkroža magnetno polje, lahko bi tudi poenostavljeno rekli, da nas na Zemlji magnetno polje ščiti pred visoko energijskimi delci, ne pusti jih bliže. Ta zaščita se v višjih orbitah zmanjšuje, naš

cilj pa je, da naša tehnologija v takem okolju preživi in deluje. Preverjanje delovanja sistemov v radiacijsko aktivnih okoljih preverjamo na dva načina. Na Zemlji gremo npr. v okolje, kot je CERN, PSI ipd., kjer so izvori močnega sevanja. Drugi način pa je poleteti v vesolje in tam dosežati delovanje v radiacijsko intenzivnem okolju. Na ta način dosežemo tehnološko raven 9. Kupci to spoznavajo in naročajo, kar potrebujejo. Naj samo omenim, da je magnetno polje npr. na višini 6000 km dosti šibkejše kot npr. na višini 500 km. Naš cilj je bil, da dokažemo, da naša tehnologija preživi tudi v takšnem okolju. To dokazujejo naši sateliti. Na drug način pa preizkušamo v umetno ustvarjenih radiacijsko aktivnih okoljih na osnovi pospeševalnikov, kot je na primer CERN. Produkt NANOLink podjetja SkyLabs je na primer v takem okolju brezhibno deloval 14 dni in s tem pridobil dozo, ekvivalentno 174 let v nizki Zemljini orbiti. Naša konkurenčna prednost je predvsem v visoki stopnji miniaturizacije in visoki stopnji vgrajene inteligence ter hkratni zanesljivosti delovanja v radiacijsko aktivnih okoljih.

**Ob tem povzetku se nam pojavlja vrsta vprašanj. Prosim vas za nekoliko podrobnejšo predstavitev satelita TRISAT-R. Kaj vse ga sestavlja, kakšne funkcije lahko opravlja in na kakšen način; energijska oskrba, prenos podatkov – izsledkov raziskav, ki jih opravlja in nasploh, kako je izvedena komunikacija s kontrolnimi postajami na Zemlji in verjetno je še kaj. Zanimajo nas tudi podatki o koridorju kroženja, oddaljenost od Zemlje, hitrosti itd. Navedli ste, da je TRISAT-R satelit z mnogimi izvirnimi inovacijami.**

## V čem se razlikuje od vašega prvega satelita TRISAT?

Satelit TRISAT-R temelji na platformi z izjemno visoko stopnjo miniaturizacije in je v celoti zasnovan, načrtovan in izdelan v Sloveniji. S svojo težo 4.965 gramov in velikostjo 30 krat 10 krat 10 centimetrov sodi v razred nanosatelitov standardne velikosti treh enot. Satelit TRISAT-R je primarno tehnološka demonstracija slovenskih vesoljskih tehnologij v srednji Zemljini orbiti, hkrati pa služi spremljanju vesoljskega vremena na osnovi merjenja ionizacije in scintilacije. Namen satelita TRISAT-R je opravljanje dragocenih meritev ionizirajočega sevanja v srednji Zemljini orbiti z namenom modeliranja okolja magnetosfere in boljšega razumevanja vesoljskega vremena. Kot posredni namen pa služi kot tehnološka demonstracija, ki prikaže tehnološke sposobnosti tako slovenskega visoko tehnološkega znanja in slovenskih prebojnih tehnologij, kot tudi dosežke slovenskih podjetij na področju vesoljskih tehnologij. Pri tem ne smemo pozabiti na izobraževalni vidik, ki gre v smeri izobraževanja slovenskih vesoljskih inženirjev in posledičnega zagotavljanja kadrov za hitro rastoče slovensko vesoljsko gospodarstvo.

Satelit sestavlja več podsistemov, ki skrbijo za delovanje celote od napajalnega modula, komunikacijskega modula, pa do računalnika na krovu, senzorskega sistema in instrumentov. Napajalni modul nabira energijo iz nameščenih sončnih panelov, pri tem pa se lahko pohvalimo z enim najboljših algoritmov za sledenje točke maksimalne moči, kar smo tudi objavili v znanstveni publikaciji z naslovom »Analog maximum power point tracking for spacecraft within a low Earth orbit«. Sam algoritem se je izkazal kot odločilen ravno pri

začetku misije TRISAT-R, saj se je satelit ob ločitvi od nosilne rakete rotiral s precej visoko hitrostjo, mnogo višjo od pričakovane, pri tem pa je nabiranje energije delovalo brezhibno. Zbrana energija, ki se shranjuje v vgrajene baterije, poganja vse ostale podsisteme in instrumente na krovu. Na sočnih panelih so nameščeni sončni senzorji, ki omogočajo določanje vektorja proti soncu in na tej osnovi podajajo grobo informacijo o orientaciji satelita v orbiti. Ob tem je na krovu nameščen še triosni giroskop, ki daje aktualno informacijo o trenutni prostorski rotaciji satelita. K temu se doda še magnetni senzor, ki smo ga za projekt TRISAT-R morali novo razviti. Namreč magnetno polje v tej orbiti na 6000 km je nekje šestkrat do sedemkrat šibkejšo od tistega v nizkih Zemljinih orbitah, kar je posledično zahtevalo razvoj novega magnetnega senzorja z višjo občutljivostjo. Na satelitu je ogromno temperaturnih senzorjev, s pomočjo katerih ugotavljamo temperature sončnih panelov, baterij, procesorjev, napajalnih delov in podobno. Med senzorje uvrščamo tudi sprejemnik satelitskega navigacijskega sistema, s pomočjo katerega ugotavljamo natančen položaj in hitrost v orbiti. Te informacije se nadalje koristijo za uravnavanje položaja. Ker nimamo pogona na krovu, lahko zgolj kontroliramo usmerjenost satelita, kar izvajamo z magnetnimi navorniki ali preprosto povedano se oprijemamo silnic magnetnega polja na način, da se usmerimo v želeno smer. Algoritmi merjenja senzorjev in algoritmi uravnavanja usmerjanja potekajo v računalniku na krovu, ki ga poganja slovenski procesor PicoSkyFT, Med prvimi na svetu smo pokazali, da lahko tudi na tako oddaljenem in tako majhnem



satelitu izvedemo nadgradnjo programske opreme. Podatke, ki jih zbira algoritem rokovanja s podatki na krovu iz senzorjev in instrumentov, se na zahtevo prenašajo na Zemljo prek radijske povezave med satelitom in zemeljsko postajo v Zrkovcih. Na krovu so nameščeni razni instrumenti za merjenje radiacije SkyLabs, ESA in CERN. S ponosom lahko povem, da instrument SkyLabs za merjenje scintilacije satelitskih navigacijskih signalov poganja procesor RISC V, ki je tudi prvi procesor RISC V v vesolju. S podatki poskušamo bolje razumeti sevanje v tej orbiti, izpopolniti modele, hkrati pa bolje razumeti vesoljsko vreme. Seveda smo v tem času mnoge podsisteme že izpopolnili glede na predhodnika TRISAT.

### **Projekt razvoja satelita se je zaključil z izstrelitvijo z raketo VEGA-C in utirjenjem v orbito iz Francoske Gvajane. Kako je potekal ta zadnji del projekta?**

Moram reči, da je to bil izredno težak del projekta. Seveda ne v razvojnem smislu. Satelit teže malo manj kot 5 kg je bilo treba v prirejenem kovčku spraviti do mesta izstrelitve v Francoski Gvajani. Pot z veliko birokratskimi ovirami za nas je potekala iz Maribora na Dunaj, nato do Pariza, nato do meje z Gvajano in nato na izstrelitveno ploščad. Vodenje projekta ter tudi kot projekt postane nekaj drugega kot projekt izdelave satelita. Najprej je treba alocirati frekvenčni prostor. Veliko držav hočejo biti soudeleženi pri tej operaciji in to s celotnega sveta. Postopek mednarodne frekvenčne koordinacije se izvaja prek naše Agencije za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije (AKOS).

Postopki so kar komplicirani, saj se je treba dogovoriti z vsemi državami, kar zahteva izredno veliko komuniciranja. Ob frekvenčni koordinaciji je treba prevozniku v vesolje dokazati, da je sistem varen za prevoz v vesolje, kar zahteva dokazila o kvalifikacijah, ocenah zanesljivosti in tveganja in še veliko drugega. Naj samo strnem: satelita ni možno servisirati v vesolju, delovati mora zanesljivo, hkrati pa prevoznik v vesolje s tovorom ne želi vnašati tveganj. Ogromno kvalifikacijskih testov opravimo s slovenskim podjetjem Domel.

Za dostavo satelita in njegovo integracijo na nosilno raketo si najdemo agregatorja. To so podjetja, ki zbirajo večje število satelitov na en skupen polet v vesolje. Mi večinoma sodelujemo z italijanskim podjetjem SAB. Pri satelitu TRISAT smo organizirali tako, da smo ga pripeljali na Nizozemsko, tam smo ga nato integrirali in nato prepeljali v Brno. Z dostavo v brezcarinsko cono so se nadaljnji postopki nekoliko poenostavili. Pri satelitu TRISAT-R smo hoteli postopek pospešiti in poenostaviti. Integracijo smo izvedli pri nas v Mariboru. Pravzaprav je šlo za to, da smo ga želeli iz naše sobe v laboratoriju prepeljati v Francosko Gvajano. Sledili so zapleti. Najprej je bilo treba to izvesti pri naši carinski upravi, na kar smo še posebej ponosni. Za njih je to bila prva naloga, vezana na satelit. Sledila je dostava satelita na Dunaj, od koder smo ga odpremili v Pariz. Sledila je pot do Francoske Gvajane in izstrelišča. Zapletalo se je, ker Slovenija ni poznana po prevozi vesoljskih tehnologij in satelitov, dokazovati smo morali, da niso vgrajeni nevarni materiali itd. itd.

Na raketi Vega C smo bili sekundarni tovor. Znano je, da je raketa ponesla v orbite več satelitov hkrati.

### **Kdo je lastnik satelitov, kdo njegov upravljavec? Kakšne so njihove dolžnosti in odgovornosti?**

Formalnopravno je lastnik satelitov Univerza v Mariboru in vsak ima svojo inventarno številko. Med primarne dolžnosti in odgovornosti upravljavca satelitov spada redna komunikacija s sateliti in spremljanje njihovega položaja v orbiti. Pri tem nam pomagajo ameriška vojska in francoski ter portugalski evropski center za spremljanje dogajanja v orbitah. Med redno komunikacijo s sateliti je treba spoštovati mednarodno uveljavljeno zakonodajo na področju izrabe skupnega frekvenčnega prostora.

**Vse živi, raste, deluje in se razvija, dokler ne konča svoje poti. To pot običajno označujemo kot nekakšno življenjsko dobo. Kakšna bo življenjska doba satelita TRISAT-R? Poznano je, da se ta doba za satelite zaključi s približevanjem v Zemljino ozračje, kjer zgorijo ali celo padejo nekje na Zemljo. Glede na orbito, po kateri leti satelit TRISAT-R, smo v dilemi. To je »zelo« daleč in magnetno polje je izredno šibko.**

Na višini, na kateri potuje satelit TRISAT-R, gravitacija nima več moči, da bi zadržala satelit v orbiti letenja. Za izračun te poti uporabljamo specifično orodje, s katerim izračunavamo trajanje te dobe. Omogoča simulacijo gravitacije z analizo vrste parametrov. To nam daje oceno trajanja življenjske dobe. Mi upamo, da bo izračunana življenjska doba daljša od dveh let. Satelit seveda nima lastnega pogona in se tako postopno oddaljuje.

### **Satelit bo tako letel dalje, letel bo v večnost vesolja?**

Lahko sklepamo tudi tako. Seveda, če satelita ne bo kdo našel in ... Ugibanje, kaj bi z njim naredil, je seveda lahko samo šala. Ničesar od tega, kar smo poslali v vesolje, nismo do sedaj prejeli nazaj.

Projekt je bil poseben izziv ne samo za mene, temveč za vse sodelavce. Projekt je bil naš, mi smo ga izvedli. S tem je postal tudi projekt vsakega člana tima. Tako bo tudi pri ostalih projektih. Pa dodajmo še to, da bo nekaj stvari, ki smo jih ustvarili, večno ostalo v vesolju. In to od nas iz male Slovenije.

**Kdo vse je tvoril projektni sistem udeležencev na projektu, od Univerze v Mariboru, fakultete FERI, SkyLabs, ministrstev in različnih vladnih institucij, ESA, Cyber, CERN, poslovnih partnerjev in izvajalcev iz Slovenije, EU itd., kako ste si zagotovili njihovo sodelovanje?**

To je bila nekako moja življenjska pot od leta 2008 pa do danes. Več kot desetletje sem imel čas, da razmislim, kaj bom povedal ob tem izjemnem in prelomnem dogodku, ko smo uspeli utiriti pravi nanosatelit. V takšnih trenutkih imamo pogosto priložnost, da se ozremo nazaj v preteklost in razmislimo, kaj smo naredili dobro in kaj slabo, se iz tega nekaj naučimo in se zazremo globoko v prihodnost za boljši in lepši jutri vseh nas. V veliko čast in veselje mi je bilo in mi je voditi ekipo slovenskih elitnih raziskovalcev, inženirjev in inženirk, študentov in študentk. Ekipo, ki je s svojo radovednostjo, željo po znanju, željo po osvajanju vesolja in izjemnim entuziazmom ustvarila ta prelomni

trenutek, katerega priča smo bili leta 2019, ko smo celotnemu svetu pokazali, da Slovenci zmoremo tudi to. Večina jih je pričela sodelovati kot študentje in v veliko veselje mi je bilo opazovati in sooblikovati njihovo znanstveno in inženirsko odraščanje ter karierno pot, postali so pomembni znanstveniki, inženirji in poslovneži na mednarodnem področju. Zato sem nanje izjemno ponosen in hvaležen za te trenutke.

**Ste vodja projektov TRISAT, ste snovalec vesoljskega programa, ki ga izvajate v Sloveniji. Iz razgovora z vami lahko povzamemo, da ste strateg tega programa, vodja programa projektov TRISAT in vodja posameznih projektov, ki tvorijo vesoljski program nanosatelitov oz. nano vesoljske tehnologije Univerze v Mariboru. Bili ste iniciator ustanovitve podjetja SkyLabs, organizator izvajanja strategije in programa vseh projektov in še marsičesa. Ste glavni motivator vseh vključenih v projekte in izvajanje strategije. Prosim vas za kratek opis nalog, ki ste jih izvajali in jih še boste, saj pripravljate nove projekte in verjetno tudi nove strategije razvoja vesoljskega programa, s sodelavci razvijate izvirne rešitve itd. itd. Kakšne so pravzaprav naloge vas kot strateškega in projektne managerja?**

Po več kot desetletju učenja, novih spoznanj, novih dognanj, raziskav in razvoja smo ustvarili nekaj, kar premorejo le redke univerze na svetu. Leta 2014 sta Univerza v Mariboru in slovensko podjetje SkyLabs podpisala pogodbo z Evropsko vesoljsko agencijo o izgradnji in utirjenju satelita TRISAT. Strokovnjake pri

Evropski vesoljski agenciji je prepričalo naše znanje, naša inovativnost in tehnološka pripravljenost ter naše zmožnosti za ustvarjanje novih prebojnih tehnologij, ki jih svet trenutno ne premore. Sledila so leta trdega dela, leta mnogih turbulenc in leta pričakovanj. Leta pričakovanj sta zasenčila dva nesrečna trenutka: neuspešen polet nosilne rakete Vega VV15 in kasnejša pandemija COVID-19, ki je celo človeštvo pahnila v neznano. Z velikim ponosom lahko povem, da v ekipi ni bilo niti kančka dvoma o tem, da nam bo uspelo, in uspelo nam je. Sedaj imamo znanje in tehnologijo, prve izkušnje in vesolje nam ni več tuje okolje. Poznamo pristope in obvladujemo mednarodne postopke. Pot v vesolje nam ni več tuja, neznana ali nemogoča, postala je del naše resničnosti. Naloge je težko povzeti z nazivi, pa vendar je moja ključna naloga raziskovanje, poučevanje, motivacija, povezljivost in inovativnost. Slovenskega semena vesoljskega tehnološkega napredka pa nismo zasadili zgolj v vesolju, temveč ravno tukaj v naši regiji. Zato se ob tej priložnosti iskreno zahvaljujem slovenskemu podjetju SkyLabs in vsem zaposlenim v podjetju, da smo lahko vsa ta leta skupaj sanjali, ustvarjali ter odraščali in da ste postali to, kar ste danes.

Nalog je bilo, preprosto rečeno, veliko in bile so zelo raznolike. Poimenovali ste me kot stratega, strokovnega nosilca. Vodil sem proces postavitve strategije, organiziral postopek njene potrditve, določil projekt in izvajal s sodelavci vso potrebno komuniciranje z zunanjimi izvajalci in notranjimi izvajalci iz Slovenije.

Izredno pomembna naloga je bila zagotoviti študente za delo na projektu in jih za delo ustrezno motivirati.

Delo kot vodja projekta bi strnil v planiranje, organiziranje izvajanja z ustreznim razporejanjem dela vsem izvajalcem, sodelovanje pri zagotovitvi finančnih sredstev, pripravo podlag za sklepanje pogodb z izvajalci, s katerimi smo te poslovne dogovore izvajali, in kontroliranje izvajanja projekta. Izpostavil bi še naloge v zvezi s komuniciranjem z vodstvom Univerze v Mariboru in fakultet, z vladnimi in občinskimi organi in drugimi. Velik poudarek sem dal izvajanju motiviranju vseh udeležencev na projektu. Ja, motivirati sem moral tudi sam sebe.

**Pri projektih se pojavljajo tudi različni vplivni dejavniki, ki projekt podpirajo ali mu nasprotujejo, med njimi so tudi skeptiki, ki na različne načine vplivajo na projekt. Kako ste jih obvladovali, kako ste urejali odnose z njimi?**

Skeptiki so vedno prisotni, prisotna je tudi nevoščljivost, pogosto tudi nepriznavanje rezultatov. V bistvu temu nisem nikoli posvečal preveč pozornosti, preprosto smo delali na prepoznavnosti v tujini. V Sloveniji se je na Ministrstvu za gospodarstvo in tehnološki razvoj s časom ustvarila izjemna ekipa, ki skrbi za vesoljske dejavnosti. Gre za njihov izjemen trud in uspeh, da je v centrih Evropske vesoljske agencije zaplapolala slovenska zastava, da se je pripravila ustrezna zakonska podlaga, da smo kot nacija dosegli ne le mednarodno prepoznavnost, temveč tudi priznavanje, da smo Slovenci sposobni sooblikovati prihodnost uporabe vesolja. Skupaj smo se postavili ob bok velikih. Vpetost raznih podjetij in inštitucij od proizvodnje elektronskih sklopov in mehanskih delov do mednarodne koordinacije dokazuje,

da smo bili uspešni pri vzpostavljanju slovenske dobavne verige za vesoljske aplikacije.

**Kateri sateliti, ki sedaj krožijo po orbiti Zemlje, res prispevajo k obvladovanju globalnih strateških kriz, naj samo omenimo podnebne spremembe, predvideno pomanjkanje vode, vse večje pomanjkanje obdelovalnih površin, naraščanje gladine morja itd.? Projekti satelitov, nadaljnje izstrelitve vesoljskih postaj, ponovna osvojitve Lune s človeško prisotnostjo, itd. itd. Med temi sateliti je tudi orožje. Po drugi strani pa nam satelitsko omrežje zelo koristi, naj samo omenimo telekomunikacije, opazovanje in napovedovanje vremena, navigacijo, analize in napovedovanje naraščanja gladine morij, raziskave, ki so povezane na ekosistem, itd.**

Prvo, kar bi želel izpostaviti, je pravilno in koristno razumevanje razvoja tehnologij, tudi vesoljskih tehnologij. Odgovoril vam bom s primerom iz naše zgodovine. Spomnimo se prvih radijskih sprejemnikov, ki so seveda potrebovali antene za uporabo radijskega omrežja, potrebna je bila oprema za pripravo in oddajanje programov, potreben je bil priključek na elektriko in še marsikaj. Z razvojem tehnologije danes uporabljamo mobilne telefone kot produkt za telefoniranje, poslušanje, oddajanje, slikanje in ogled tistega, kar smo posneli, sledenje tega, kar zagotavljajo razna omrežja, sporočanje, navigacijo itd. itd. itd. Postavimo si samo vprašanje, kdo si je to zamislil in kdo vse so bili razvijalci in proizvajalci teh tehnologij, vse te opreme, ki to omogoča. Naj si ob vsem tem postavimo vprašanje, ali to potrebujemo,

in seveda še vprašanje, ali je to koristno in kaj za človeštvo ni koristno. Podobno razmišljanje lahko prenesemo na vesoljsko tehnologijo. Treba jo je bilo razviti in treba jo bo razvijati naprej v smeri novih koristi. Za primer vzemimo sledenje vremenskih dogajanj za napovedi vremena, navigacijo, izgradnjo telekomunikacijskega omrežja prek satelitskega omrežja itd. itd. Veliko primerov bi še lahko navedel. Iz svojega razmišljanja izključujem koriščenje satelitov in satelitskega omrežja v različne vojaške in uničevalske namene.

Brez razvoja tehnologij in produktov in organiziranja njihove uporabe »ni več možno živeti«, ali boljše rečeno, »ne bo več možno živeti«. Potrebna bo več seznanjanja z razvojem novih tehnologij in produktov. Zavedati se je treba, da je to, kar danes samoumevno uporabljamo, rezultat razvoja tehnologij. Tudi razvoja vesoljskih tehnologij. Začeti je treba pri mladih, saj bodo nosilci razvoja in implementacije novih tehnologij in hkrati uporabniki.

Študente vedno usmerjam predvsem pri vajah in seminarskem delu v to, da naj delajo, razvijajo rešitve, ki so nove in jih bomo potrebovali. Potrebno je, da jih usmerimo pri njihovem delu v razvoj tega, kar bo, in ne samo v poznavanje tega, kar je že. Kot primer jim dajmo nalogo, kako priti na Mars in zakaj. Sedaj pa naj ustvarjajo, razvijajo, si zamišljajo.

**Kakšen je vaš naslednji projekt? Preveč nas zanima, da tega vprašanje ne bi postavili. Vnaprej vas prosimo za pogovor o vašem novem projektu TRISAT-S.**

Trenutno pripravljamo misijo novega nanosatelita TRISAT-S. Primarni cilj misije bo tehnološka demonstracija varne radijske komunikacije med vesoljskim segmentom nanosatelitov in zemeljsko postajo, ki bo temeljila na najsodobnejši različici programsko definiranega širokopasovnega radijskega sistema, ki vključuje tako vesoljski kot zemeljski segment in zagotavlja varnost celovite komunikacije med satelitom in končnim uporabnikom. Zemeljski segment ob tem ponuja oblačni vmesnik za enovito integracijo komunikacije v najsodobnejše informacijske sisteme. Gre za časovno gledano zelo kratko misijo satelita v zelo nizki Zemljini orbiti, ki bo trajala najverjetneje mnogo manj od 2 mesecev. Točne življenjske dobe zaenkrat še nismo natančno simulirali, smo pa dizajn satelita povsem poenostavili in prilagodili zahtevam z namenom zmanjševanja stroškov. Omenjeni satelit ne bo imel sončnih panelov, temveč kar primarne baterije, ki bodo za tako kratko časovno obdobje zagotavljale energijo za njegovo delovanje. Polet novega satelita je načrtovan za prvo četrletje naslednjega leta, in sicer z nosilno raketo Spectrum nemškega podjetja ISAR.

*Omenili ste, da je življenjski cikel delovanja satelita TRISAT-R okoli dve leti, nakar bo sledila njegova nadaljnja pot v neskončnost vesolja. Ob zaključku najinega pogovora me je ponovno presunilo spoznanje: dosežek vas in vaših sodelavcev je prvi dosežek Slovenije, ki bo začel svojo pot v neskončnost, je prvi slovenski dosežek večnosti. Ali lahko ob tem projektu tako razmišljamo, je prav? (Bralci, odgovorite si tudi sami.)*

*Na zaključku naj prikažemo dva rezultata projektov izdelave poštних znamk Pošte Slovenije. Znamko, ki je posvečena*

projektu TRISAT in TRISAT-R. Znamki bosta imeli dolgo, dolgo življenjsko dobo pri nas osebno, ne samo pri filatelistih. Se motimo?

Na voljo za ogled je tudi maketa satelita TRISAT, ki se nahaja v Centru vesoljskih tehnologij Hermana Potočnika Noordunga.



Slika 9: Poštni znamki s podobo satelita TRISAT in satelita TRISAT-R



Slika 10: Maketa satelita TRISAT, ki je na ogled v Centru vesoljskih tehnologij Hermana Potočnika Noordunga Vitanje



**PROJEKTI**  
**IN MI**