

Usposabljanje ESA na temo opazovanja Zemlje v povezavi z umetno inteligenco in komercializacijo

ESA Training on Earth Observation, Artificial Intelligence and Commercialisation

Maj Čapelnik

1 Uvod

Evropska vesoljska agencija (ESA), ki se ji je Slovenija kot 23. polnopravna članica priključila 1. januarja 2025, ima poleg številnih drugih dejavnosti osrednjo vlogo na področju opazovanja Zemlje, zlasti prek satelitskih misij programa Sentinel in storitev Copernicus. Ti sistemi zagotavljajo ključne podatke za spremljanje podnebni sprememb, obvladovanje naravnih nesreč, podporo trajnostnemu razvoju in mnogo več. Poleg razvoja in upravljanja vesoljskih misij ESA pri delovanju poudarja pomen izobraževanja ter povezovanja tehničnega znanja z inovacijami in podjetništvom.

V tem okviru je decembra 2025 potekal štiridnevni izobraževalni program Disruptive Innovation and Commercialisation in Earth Observation, organiziran v okviru Akademije ESA (ESA Academy). Logotip organizacije in izobraževalnega programa je prikazan na slikah 1 in 2. Usposabljanje je bilo zasnovano za študente in mlade strokovnjake s tehnično, naravoslovno ali poslovno izobrazbo ter je združevalo vsebine s področja daljinskega zaznavanja, umetne inteligence (UI; angl. artificial intelligence – AI) in razvoja poslovnih modelov.

Čeprav so se na izobraževanju prepletale različne vsebine, jih je za preglednejšo predstavitev smiselno razdeliti na štiri sklope. Peti del obravnava organizacijske in logistične vidike izobraževanja ter je namenjen bralcem, ki razmišljajo o udeležbi na prihodnjih izvedbah.



Disruptive Innovation and Commercialisation in Earth Observation



Sliki 1 in 2: Logotip Evropske vesoljske agencije na levi in logotip izobraževanja na desni strani.

2 Organizacijski in logistični vidiki izobraževanja

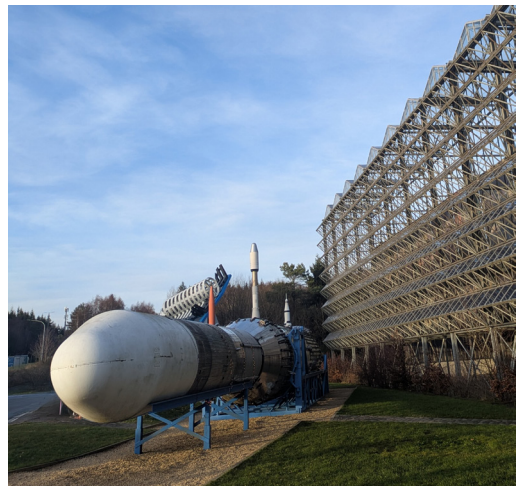
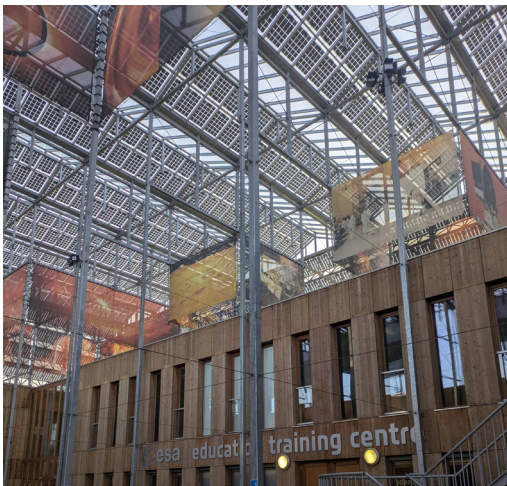
Pred začetkom izobraževanja smo udeleženci dobili pripravljana gradiva, ki so vključevala splošne informacije o poteku izobraževanja, nastanitvi in logistiki, uvod v delovanje Akademije ESA, podroben urnik, varnostni in organizacijski pregled ter predstavitev predavateljev.

Za udeležence je bila organizirana nastanitev v hotelu Mercure v kraju Han-sur-Lesse, kjer smo dobili tudi večerjo in zajtrk, za kosilo pa je bilo poskrbljeno na lokaciji izobraževanja. Prevoz do Belgije in nazaj so si udeleženci organizirali sami, ESA pa je po koncu dogodka povrnila stroške javnega prevoza do določene višine. Sam sem se na pot odpravil nekoliko prej in priložnost izkoristil še za dvodnevni ogled Bruslja.

Izobraževanje je potekalo v Esinem izobraževalnem središču ESEC-Galaxia v Belgiji, kjer so tudi učni prostori Akademije ESA (Training and Learning Facility – TLF). Lokacija izobraževanja je razvidna s slike 3, učno poslopje pa s slik 4 in 5. Program je bil prve tri dni celodnevni, praviloma med 8. in 18. uro, z vmesnimi odmori za kavo in kosilo, zadnji dan se je končal opoldne.



Slika 3: Lokacija izobraževanja.



Sliki 4 in 5: Učno poslopje Akademije ESA.

3 Uporaba umetne inteligence pri opazovanju Zemlje

3.1 Uvod v opazovanje Zemlje in delo s satelitskimi podatki v sodobnem programskem okolju

Udeleženci smo osvežili temeljna znanja s področja opazovanja Zemlje (EO) ter nekatere pogosto uporabljene koncepte programiranja v jeziku Python. Pri delu smo uporabljali orodje Google Colab, ki omogoča učinkovito obdelavo podatkov z brezplačnim spletnim dostopom do grafičnih in tenzorskih procesnih enot (GPU in TPU) ter ne zahteva lokalne namestitve Pythona ali njegovih knjižnic.

Predstavljena sta bila oba pristopa umetne inteligence, pri čemer je bil poudarek namenjen globokemu učenju (DL). Ključna razlika med klasičnimi metodami strojnega učenja (ML) in metodami globokega učenja je v načinu obravnave značilnic. Pri ML temeljijo modeli na vnaprej definiranih kazalnikih, medtem ko se pri DL modeli samodejno učijo in prepoznajo pomembne vzorce neposredno iz satelitskih slik.

Spoznali smo pomen postopkov podatkovnega povečevanja (angl. data augmentation) pri učenju modelov umetne inteligence, ki nam omogoča, da z ustvarjanjem več različic osnovnih slik učinkovito povečamo količino učnih podatkov. S tem izboljšamo sposobnost modela za posploševanje in povečamo njegovo robustnost pri delu z novimi podatki.

3.2 Delovanje nevronske mreže in učni proces globokega učenja

Drugi vsebinski sklop je bil namenjen razlagi, kako se abstrakten pojem umetne inteligence prevede v konkreten, delujoč sistem za klasifikacijo slik. V ospredju je bil vpogled v to, kako zaporedje matematičnih operacij, podatkov in optimizacije vodi do končnih uporabnih rezultatov.

Nevronska mreža je bila udeležencem, ki niso iz stroke, predstavljena kot sistem enačb, v katerem posamezni nevroni seštevajo utežene vhode, dodajo pristranskost ter rezultat preoblikujejo z aktivacijsko funkcijo. Pomen ni vgrajen v strukturo modela, temveč se pojavi šele skozi proces učenja, ko se uteži postopoma prilagajajo z namenom zmanjševanja napake napovedi. Ključno je razumevanje, da model ne »razume« slike ali razreda v človeškem smislu, temveč zgolj optimizira matematično funkcijo glede na učne podatke.

Ker je bil program osredotočen na satelitske posnetke, je bila posebna pozornost namenjena metodam obdelave slikovnih podatkov, pri čemer smo spoznali konvolucijske nevronske mreže ter mehanizem samopozornosti (angl. self-attention).

V osrednjem delu predavanja je bil obravnavan učni cikel nevronske mreže, od pretvorbe vhodnih podatkov v numerično obliko do optimizacije modela s postopkom povratnega razširjanja napake (angl. backpropagation). Razložena sta bila vloga funkcije izgube ter pomen referenčne resnice (angl. ground truth) pri nadzorovanem učenju, obenem s pristopi, s katerimi je mogoče obvladati odsotnost takšnih oznak v okviru nenadzorovanega učenja.

Sklepni del je povezal teorijo s sodobno prakso uporabe prednaučenih modelov. Namesto učenja iz nič se v realnih primerih pogosto uporablja dodatno prilagajanje (angl. fine-tuning) že naučenih mrež, pri čemer že naučene splošne značilnice modela dopolnimo s specifičnimi podatki.

3.3 Strokovne praktične naloge

Izvedli smo dve praktični nalogi, pri katerih je bil del kode podan:

1. Prva naloga je bila praktični izziv, pri katerem smo morali udeleženci razviti čim lažji in hkrati natančen model za klasifikacijo rabe tal na satelitskih posnetkih EuroSAT, ob upoštevanju omejitev, značilnih za uporabo v vesoljskih sistemih.
2. Druga naloga, prikazana na sliki 6, je obsegala praktično uporabo fizikalno informiranih nevronske mreže (PINNs) za reševanje adveksijske parcialne diferencialne enačbe, pri čemer se je model učil rešitve z neposrednim upoštevanjem fizikalnih zakonov ter začetnih in robnih pogojev.



Slika 6: Predstavitel naloge praktične uporabe fizikalno informiranih nevronske mreže (PINNs).

4 Predstavitel ESA Φ -lab fellows

Sledil je sklop predavanj, ki so jih izvedli tako imenovani ESA Φ -lab fellows, mladi podoktorski raziskovalci, ki na Evropski vesoljski agenciji delujejo na zelo specifičnih in aktualnih raziskovalnih področjih. Vsak izmed njih je predstavil tematiko v povezavi s svojim raziskovalnim delom na področju UI pri opazovanju Zemlje.

4.1 UI za hidrologijo

Na predavanju je bil predstavljen sodoben pristop k analizi kopenske zaloge vode (TWS), ki temelji na gravimetriji. Ta omogoča zanesljivo oceno skupne količine vode in njenega časovnega gibanja, vendar v omejeni prostorski in časovni ločljivosti. Te omejitve se premagajo z uporabo umetne inteligence za prostorsko in časovno

sovno povečevanje ločljivosti (angl. downscaling). Uporabljena arhitektura U-Net združuje grobe gravitacijske meritve z visokoločljivimi satelitskimi in meteorološkimi podatki ter tako rekonstruira podrobnejšo prostorsko razporeditev vode, pri čemer skupna količina ostane skladna z gravitacijskimi meritvami.

4.2 Pristranskost pri strojnem učenju

Naslednje predavanje je obravnavalo pristranskost (angl. bias) v strojnem učenju kot sistemsko lastnost celotnega modelnega procesa. Ta se kaže kot sistematično odstopanje rezultatov in pogosto izhaja iz podatkov, merilnih postopkov, oznak ali modelnih odločitev, ne nujno iz algoritma samega. Poudarjeno je bilo, da je pristranskost težko popolnoma odpraviti, mogoče pa jo je zmanjševati z analizo rezidualov, kritičnim vrednotenjem referenčne resnice (angl. ground truth) ter ustreznimi postopki naknadne kalibracije izhodov (angl. post-processing).

4.3 Fizikalno vodene nevronske mreže (PINNs)

Predavanje je obravnavalo uporabo fizikalno vodenih nevronske mreže (PINNs) pri problemih, kjer je obravnavan pojav dobro opisljiv s fizikalnimi zakoni, razpoložljivi podatki pa so redki ali šumni. V takšnih primerih klasični podatkovno vodeni pristopi pogosto odpovedo, medtem ko vključitev diferencialnih enačb, robnih in začetnih pogojev neposredno v funkcijo izgube (angl. loss function) omeji prostor možnih rešitev in vodi do fizikalno skladnejših rezultatov. Metoda se uporablja pri modeliranju ledenih plošč, oceanografskih in hidroloških procesov ter drugih prostorsko-časovnih sistemov.

4.4 Temeljni geoprostorski modeli (GFM)

Na zadnjem predavanju so bili predstavljeni temeljni geoprostorski modeli (angl. geospatial foundation models – GFM), veliki modeli umetne inteligence za opazovanje Zemlje, učene na obsežnih in raznolikih satelitskih podatkih. GFM omogočajo splošno razumevanje prostorskih in časovnih vzorcev ter uporabo v različnih aplikacijah, kot so spremljanje poplav, požarov ali urbanega razvoja. Temeljijo na samonadzorovanem učenju, ki zmanjšuje potrebo po ročnem označevanju podatkov. Ob omejeni količini označenih podatkov pogosto presegajo klasične nadzorovane pristope, pri večjih količinah pa so slednji še vedno konkurenčni. Poudarjen je bil tudi pomen sistematičnega benchmarkinga za objektivno vrednotenje in prenos modelov v prakso.

5 Komercializacija opazovanja Zemlje

5.1 Od raziskav do tržno izvedljivih EO rešitev

Na prvem predavanju je bil predstavljen proces prenosa raziskovalnih rezultatov opazovanja Zemlje v tržno izvedljive produkte in storitve. Obravnavani so bili koraki od oblikovanja poslovne ideje do razvoja poslovnega modela, vključno z osnovami poslovnega načrtovanja in razumevanjem življenjskega cikla podjetja od zagonske faze do rasti. Poudarek je bil na pričakovanih vlagateljev in programih Evropske vesoljske agencije, ki podpirajo prehod EO tehnologij iz raziskovalnega okolja v prakso.

5.2 Vlagateljski vidiki in strateško financiranje EO projektov

Drugo predavanje se je osredotočalo na strateške pristope k vlaganju v projekte opazovanja Zemlje z vidika javnih in zasebnih vlagateljev. Predstavljeni so bili ključni kriteriji za ocenjevanje EO projektov, kot so tržni potencial,

stopnja tehnološke zrelosti (TRL), sestava projektne ekipe ter obvladovanje tveganj. Poseben poudarek je bil namenjen razlikam med klasičnimi investicijskimi pristopi in programi Evropske vesoljske agencije, ki poleg gospodarskih vidikov upoštevajo tudi širše strateške, okoljske in družbene cilje. Predavanje je udeležencem ponudilo vpogled v pričakovanja vlagateljev ter s tem pomembne usmeritve za učinkovito predstavitev projektov. V razpravi je bilo izpostavljeno, da vlagatelje še posebej zanimajo rešitve z možnostjo tako imenovane uporabe dual-use, torej tehnologije, ki imajo tako komercialni kot obrambni oziroma varnostni potencial.

6 Skupinsko praktično delo

Vse vsebine izobraževanja so se povezale v skupinskem praktičnem delu, med katerim smo udeleženci, razdeljeni v večdisciplinarne skupine, razvijali inovativne poslovne ideje na področju opazovanja Zemlje. Vsaka skupina je oblikovala projektne koncepte in jih strukturirala na podlagi poslovnega modela. Delo moje skupine med procesom razvoja ideje prikazuje slika 7. Skupinsko delo se je sklenilo s predstavitvijo projektov pred strokovno komisijo, ki je ideje ocenjevala z vidika inovativnosti, izvedljivosti, potencialnega vpliva in privlačnosti za investitorje.



Slika 7: Skupinsko delo – razvijanje poslovne ideje na področju opazovanja Zemlje.



Slika 8: Fotografija centra ESEC-Redu.

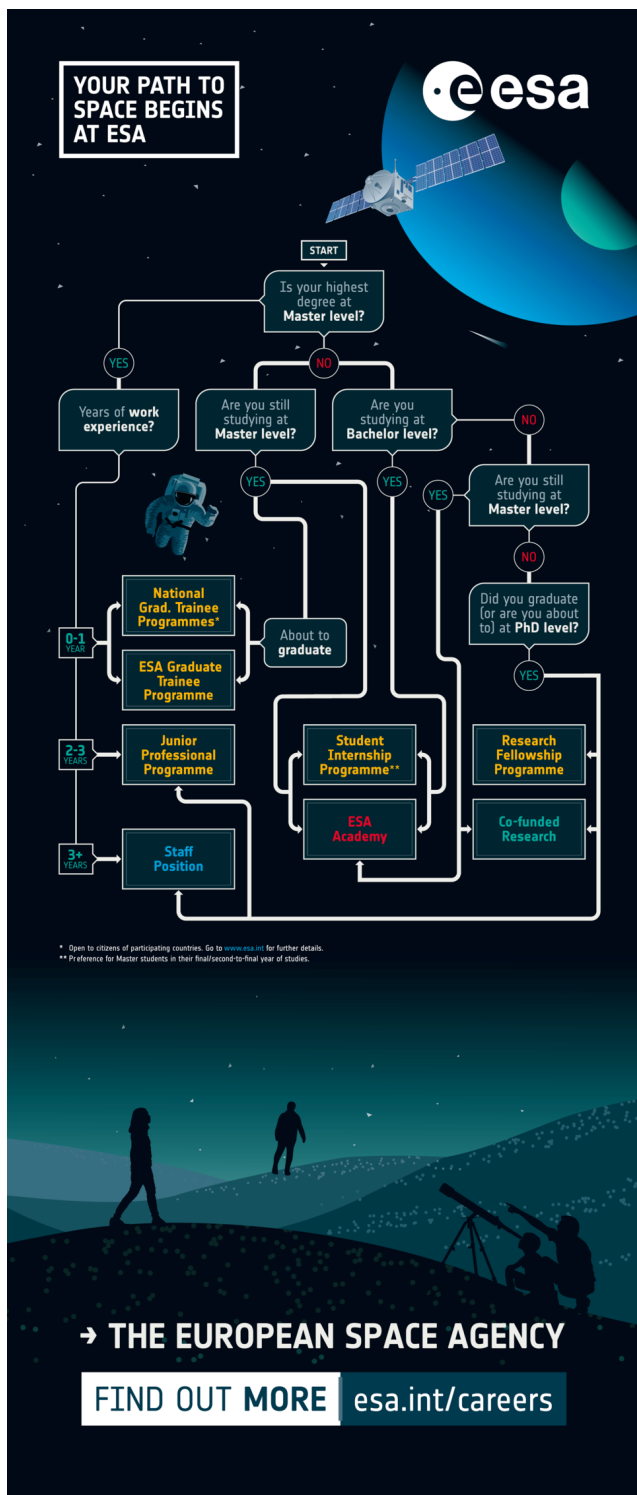
7 Ogljed centra ESEC-Redu in druge vsebine

V okviru izobraževanja je bil organiziran tudi ogled centra ESEC-Redu, ki ima pomembno vlogo pri podpori vesoljskim misijam in zemeljskim komunikacijam. Center, prikazan na slikah 8 in 9, je med drugim osrednja lokacija za testiranje satelitov navigacijskega sistema Galileo v orbiti.

Program je vključeval še predstavitev Φ -laba, njegovih aktivnosti in poslanstva ter sklepni pregled kariernih priložnosti, ki jih ponuja Evropska vesoljska agencija.

8 Zaključek

To je bila prva, pilotna izvedba programa, kar pomeni, da bo še izboljšán in nadgrajen. Kljub pilotni naravi je izobraževanje že tokrat potekalo na visoki ravni, saj je bilo strokovno zasnovano, dobro organizirano ter izvedeno v prijaznem in spodbudnem duhu. ESA Academy je medtem že objavila nov termin izobraževanja Disruptive Innovation and Commercialisation in Earth Observation, ki bo potekalo 6.–9. julija 2026 (<https://www.esa.int/>)



Slika 9: Pregled izobraževalnih in karier-
 nih priložnosti Evropske vesoljske
 agencije za študente in mlade
 strokovnjake.

Education/ESA_Academy/Opportunities_for_university_students_currently_open). Rok za prijavo je 19. april 2026. Pogoji za prijavo so poleg standardnih zahtev vključevali priporočilno pismo profesorja, prijaviteli pa so lahko magistrski in doktorski študenti iz držav članic Evropske vesoljske agencije ter njenih partnerskih držav.



Slika 10: Skupinska fotografija udeležencev pred centrom ESEC-Redu.

Tovrstne projekte in druge krajše izobraževalne priložnosti, ki jih ESA redno objavlja za študente, je mogoče spremljati na uradni spletni strani Akademije ESA v razdelku Current opportunities for university students. Na spletni strani Find your path with ESA so predstavljene tudi možnosti za daljša sodelovanja, ki niso omejena na študente. Priložnosti so shematično prikazane na sliki 9.

Literatura in viri:

European Space Agency (ESA). (n.d.). Find your path with ESA – Current opportunities for university students, https://www.esa.int/About_Us/Careers_at_ESA/

Find_your_path_with_ESA, pridobljeno 20. 12. 2025

Maj Čapelnik, univ. dipl. inž. geod. in geoinf.
magistrski študent Univerze v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo
e-naslov: maj.capelnik@gmail.com