

# SATELITI SENTINEL – SENTINELS – SPACE VESOLJSKA KOMPONENTA COMPONENT OF EVROPSKEGA PROGRAMA THE EUROPEAN ZA OPAZOVANJE ZEMLJE EARTH OBSERVATION COPERNICUS PROGRAMME COPERNICUS

*Tatjana Veljanovski, Andreja Švab Lenarčič, Kristof Oštir*

## 1 PROGRAM COPERNICUS

Copernicus je evropski program za vzpostavitev evropskih zmogljivosti za opazovanje Zemlje. Je najbolj ambiciozen program za globalno, regionalno in lokalno opazovanje okolja doslej. V njem sodelujejo Evropska vesoljska agencija (ESA), Evropska organizacija za uporabo meteoroloških satelitov (EUMETSAT) in Evropska okoljska agencija (EEA). ESA pri tem usklajuje dostavo podatkov z več kot 30 satelitov, EEA pa je odgovorna za podatke senzorjev iz zraka, morja ali tal. Evropska komisija, ki deluje v imenu Evropske unije, je odgovorna za splošno pobudo, ki določa zahteve in upravljanje storitev ter povezav vseh sodelujočih strani. Program, skupaj s cilji in načrtom za upravljanje vesoljske komponente, zemeljske podpore in operativnih storitev, je sredi marca 2014 podprl Evropski parlament. Proračun za obdobje 2014–2020 znaša več kot 4 milijarde evrov. Znesek je namenjen za razvoj, izstrelitev in operacije skupine satelitov Sentinel ter vzpostavitev operativnih storitev, s katerimi se bodo satelitski posnetki pretvarjali v hitro uporabne informacijske izdelke. Tematske storitve se bodo uporabljale v korist okolja, za humanitarne potrebe in kot podpora učinkovitim politikam za bolj trajnostno usmerjeno prihodnost. Razvrščene so v šest glavnih kategorij: upravljanje zemljišč, morsko okolje, ozračje, ukrepanje v nujnih primerih, varnost in podnebne spremembe.

Podpredsednik Evropske komisije Antonio Tajani, pristojen za industrijo in podjetništvo, je dejal, da je vesolje prednostna naloga Evropske unije. Proračun za vodilna evropska vesoljska programa, Copernicus in Galileo, za naslednjih sedem let je zagotovljen. V vesoljske tehnologije bo vloženi skoraj 12 milijard evrov. Program Copernicus je dozorel in vse njegove storitve bodo kmalu operativne. Zagotavljal bo točne, relevantne, sprotne in lahko dostopne informacije za potrebe upravljanja okolja, razumevanja posledic podnebnih sprememb ter sodobno podporo za dejavnosti civilne zaščite in varnosti prebivalstva. Evropska komisija se s temi področji ukvarja že od konca 90. let prejšnjega stoletja, ko je skupaj z Evropsko vesoljsko agencijo začela program globalnega spremljanja okolja in varnosti (GMES – Global Monitoring and Emergency Response). Copernicus je tako le novo ime, sicer pa se v njegovem okviru nadaljuje uresničevanje smernic iz programa GMES. Z njim bo mogoče podrobneje spoznati naš planet, ki se nenehno spreminja, omogočil bo uvedbo konkretnih ukrepov za izboljšanje kakovosti življenja prebivalcev.

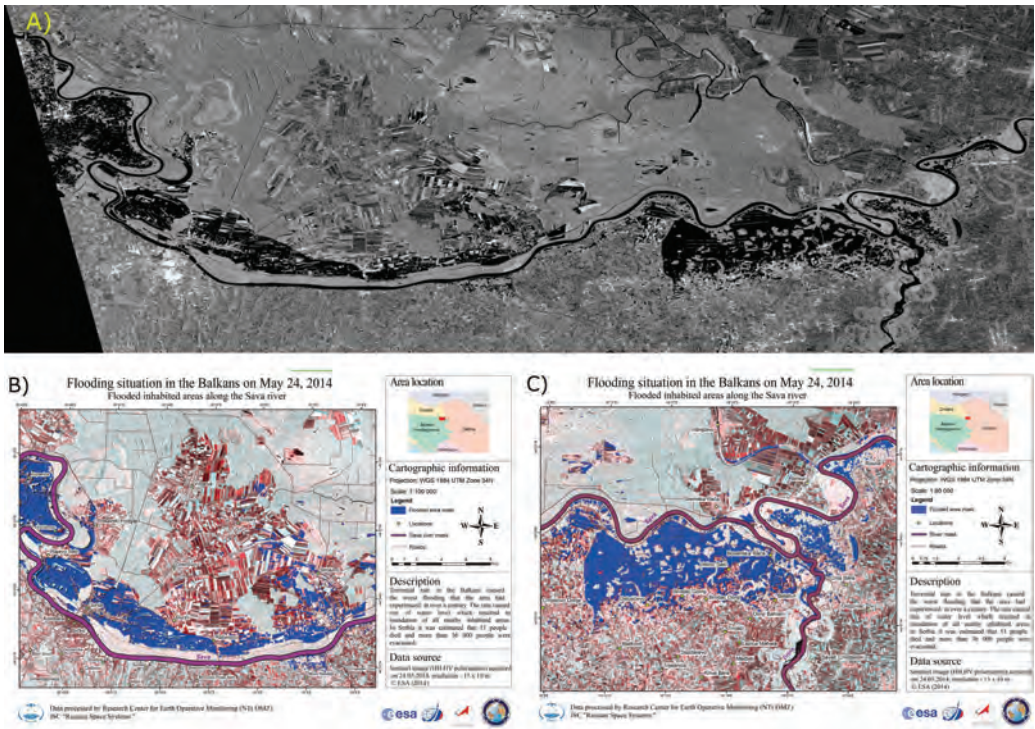
## 2 SATELITI SENTINEL

Evropska vesoljska agencija (ESA), katere pridružena članica je tudi Slovenija, pod okriljem Evropske komisije pripravlja serijo šestih misij satelitov Sentinel (slika 1). Z njimi naj bi zadovoljili operativne potrebe evropskega programa za okolje Copernicus. Aprila 2014 je po sedmih letih razvoja, izdelave in testiranja svoje mesto v tirnici približno 700 kilometrov od Zemlje zasedel Sentinel-1A, prvi satelit iz prve misije. Izstrelitev je bila izpeljana iz evropskega vesoljskega izstrelišča Kourou v Francoski Gvajani, z radarskimi posnetki tega satelita pa so bile med drugim konec maja 2014 že izdelane karte katastrofalnih poplav na Balkanu (slika 2). Do leta 2020 se bo Sentinelu-1A predvidoma pridružilo še devet drugih. Njihova naloga je, kot nakazuje tudi njihovo ime – Varuhi, omogočiti kontinuiteto opazovanja Zemlje iz vesolja za raznovrstne okoljsko in humanitarno naravnane namene. Posnetki satelitov Sentinel bodo v naslednjih dveh desetletjih omogočali mnoge načrtovane ter tudi številne poljubne servise in aplikacije podatkov satelitskega daljinskega zaznavanja za prebivalstvo Evrope in širše.



Slika 1: ESA posebej za operativne potrebe programa Copernicus razvija novo skupino misij, imenovanih Sentinel (vir: ESA).

Najsodobnejši instrumenti, izboljšane zmogljivosti senzorjev, kratki časi ponovnega obiska ter izjemna organizacijska podpora za sprejem in obdelavo podatkov na tleh bodo zagotovili najbolj pogosta in sistematična opazovanja doslej. Močno se bodo povečale zmogljivosti za uporabo satelitskih posnetkov v pomorskem in kopenskem monitoringu, za hitrejša odzivanje v izrednih razmerah ter tudi za spremljanje podnebni sprememb, varnost in vse raziskave okolja, ki temeljijo na daljših in sistematičnih opazovanjih (letna in medletna dinamika procesov). Tak režim zagotavlja zanesljivejša storitve, ki bodo lahko podprle dejansko operativnost aktivnosti opazovanja okolja v okviru programa Copernicus. Vzpostavljajo se tudi pogoji za dolgoročno arhiviranje in poljubno razširjanje velikih količin podatkov satelitskih sistemov.



Slika 2: Objavljeno operativnost programa Copernicus je že potrdilo več primerov uporabe posnetkov radarskega satelita Sentinel-1A, predvsem za opazovanje in kartiranje velikih nesreč. Na sliki A je prikazan izsek posnetka Sentinel-1A na območju toka reke Save med strahovitimi poplavami na Balkanu maja 2014. Na slikah B in C pa so upodobljeni izdelki storitev za hitro kartiranje ob velikih nesrečah (Copernicus Emergency Management Service, EMS), ki so nastali na podlagi prepoznavanja poplav na radarskem posnetku Sentinel-1A (vir: International Charter Space and Major Disasters, © GIO EMS – Mapping Service).

Sami podatki in osnovni produkti podatkov satelitov Sentinel so/bodo uporabnikom na voljo brezplačno prek javnih naročil, in sicer širši javnosti, raziskovalcem in komercialnim uporabnikom. Posnetki so/bodo dostavljeni v obdelavo v sprejemne postaje na Zemlji ter so/bodo na voljo razmeroma hitro: v eni uri od dostave za ukrepanje v nujnih primerih, v treh urah za prednostna območja in aplikacije, ki potrebujejo podatke v skoraj realnem času, v 24 urah po dostavi v sprejemne postaje pa bodo na voljo v katalogih arhiviranih satelitskih podatkov za poljubno nadaljnjo obdelavo ali uporabo.

Sateliti Sentinel in njihova namenska uporaba so zasnovani, inženirji jih pospešeno sestavljajo in testirajo. V bližnji prihodnosti nam bodo zagotavljali točne, relevantne, sprotne in lahko dostopne informacije za potrebe vseh tematskih storitev programa Copernicus ter druge, poljubne aplikacije.

### 3 LASTNOSTI IN UPORABA POSAMEZNIH SATELITOV SENTINEL

Skupina satelitov Sentinel je sestavljena iz šestih misij z različnimi najspodobnejšimi vesoljskimi tehnologijami in instrumenti. Večino misij sestavlja konstelacija dveh satelitov. Tako je zagotovljena zadostna prostorska in časovna pokritost vseh območij opazovanja na Zemlji. V nadaljevanju so na kratko opisane lastnosti in predvidena uporaba posamezne misije Sentinel.

## Sentinel-1: Visokoločljivi radarski senzor

Izstrelitev Sentinel-1A: 2014; predvidena izstrelitev Sentinel-1B: 2015

Misija Sentinel-1 je sestavljena iz dveh radarskih satelitov. Prvi je že zasedel svoje mesto v tirnici, drugi bo izstreljen čez slabo leto. Delila si bosta isto, skoraj polarno, sončno sinhrono tirnico, razmaknjena pa bosta za pol oboda tirnice. En sam satelit Sentinel-1 lahko pokrije celotno območje snemanja vsakih dvanajst dni, skupaj v paru pa to delo opravita v manj kot tednu.

Sentinel-1 ima na krovu za zdaj najbolj napreden radarski instrument C-SAR. Umetnoodprtinski radar omogoča izjemno zanesljivo, natančno in hkrati velikopovršinsko opazovanje površja Zemlje, podnevi in ponoči, tudi skozi oblake in dež. Podatki se zajemajo v več polarizacijskih načinih, v prostorski ločljivosti od 5 do 100 metrov, v pasu snemanja od 80 do 400 kilometrov. Dostava podatkov uporabnikom je prilagojena namenu snemanja, a je vsekakor zelo hitra (v razponu do 24 ur). Ko bosta utirjena oba satelita, bo eden izvajal programsko snemanje površja Zemlje, drugi pa se bo prilagajal sprotnim zahtevam po namenskem opazovanju (na primer snemanje izbrane lokacije ob nesrečah). Oba satelita Sentinel-1 naj bi zbirala podatke vsaj sedem let, na krovu pa bosta imela goriva za 12 let.

Z radarskim instrumentom na dveh satelitih in kratkimi časi ponovnega obiska bo mogoče zagotoviti najbolj pogosta in sistematična radarska opazovanja doslej. Radarski satelitski posnetki so uporabni za pomorski in kopenski monitoring (razlitja oljnih madežev, premiki ledenih plošč, nadzor con pomorskega prometa, trirazsežne deformacije površja, posedanje, obseg ledenikov, pokrovnost), za hitrejšje odzivanje v izrednih razmerah ter tudi spremljanje podnebnih sprememb, varnost in pri vseh raziskavah, ki temeljijo na daljših opazovanjih (letna in medletna dinamika procesov).

## Sentinel-2: Visokoločljivi multispektralni optični senzor

Predvidena izstrelitev Sentinel-2A in -2B: 2015, 2016

Sentinel-2 bo v polarni tirnici krožeča misija pridobivanja optičnih multispektralnih visokoločljivih posnetkov za spremljanje zemeljskih površin na globalni ravni. S tem bo vzpostavljena in dopolnjena kontinuiteta satelitskih opazovanj površja Zemlje, kot jo omogočajo posnetki SPOT in Landsat.

Na Sentinel-2 bodo vgrajeni optični senzorji za zajem vidne, bližnje infrardeče in kratkovalovne infrardeče svetlobe. Posamezno svetlobo bodo zaznavali v 13 spektralnih kanalih: 4 kanalih v 10-metrski, 6 kanalih v 20-metrski in 3 kanalih v 60-metrski prostorski ločljivosti. Slednji so namenjeni atmosferskim popravkom in zaznavanju oblakov, na podlagi česar se bo zelo izboljšala radiometrična variabilnost, povzročena zaradi spremenljivosti razmer v ozračju. Zagotovljene bodo tudi radiometrično stabilnejše časovne vrste posnetkov, iz katerih bo mogoče natančneje spremljati spremenljivost dejanskega stanja zemeljskega površja.

Satelita bosta utirjena na višini približno 800 kilometrov in bosta v paru imela čas ponovnega obiska pet dni na ekvatorju (v razmerah brez oblakov) in dva do tri dni na srednjih geografskih širinah.

Širina pasu snemanja bo 290 kilometrov, kar v kombinaciji s kratkim ponovnim časom obiska omogoča spremljanje hitrih, nenadnih sprememb in tudi rastne cikle rastiinstva.

Podatki Sentinel-2 se bodo uporabljali za storitve, povezane z upravljanjem zemljišč, kmetijstvom, gozdarstvom, pa tudi za nadzorovanje naravnih nesreč in operacije za pomoč žrtvam nesreč. Z njimi bo mogoče

izdelati kakovostne operativne produkte, kot so karte pokrovnosti, karte sprememb pokrovnosti in karte geofizičnih spremenljivk, na katerih se na primer uporablja indeks listne površine, vsebnost klorofila v listih in vsebnost vode v listih. Prav tako bomo na njih lahko zaznali pojave, kot so poplave, vulkanski izbruhi, zemeljski plazovi, požari, poseke, neželeni posegi v prostor in podobno.

### **Sentinel-3: Večnamenski instrument**

Predvidena izstrelitev Sentinel-3A in -3B: 2015, 2017

Sentinel-3 je srednjeločljiva optična in višinomerska misija, s katero se bo nadaljevalo delo pionirskih satelitov ERS-2 in Envisat. Inovativen paket instrumentov na satelitih bo vseboval:

- radiometer za snemanje temperature kopenskih in morskih površin (SLSTR) z natančnostjo, boljše od 0,3 K. SLSTR meri v devetih spektralnih kanalih in dveh dodatnih kanalih, optimiziranih za spremljanje požarov. Omogoča napredne atmosferske popravke. Prostorska ločljivost vidnih in kratkovalovnih infrardečih kanalov je 500 metrov, termalnih infrardečih kanalov pa en kilometer;
- instrument za zajem multispektralnih vrednosti morja in kopnega OLCI snema v 21 spektralnih kanalih in je optimiziran tako, da čim bolj zmanjša lesket sonca. Z ločljivostjo 300 metrov v vseh kanalih predstavlja novo generacijo meritev nad morjem in kopnim;
- napredni dvofrekvenčni umetnoodprtinski radarski višinomer (SRAL) omogoča meritve višin površin z ločljivostjo 300 metrov v načinu SAR.

Sentinel-3 je misija za globalni monitoring kopenskih in morskih površin. Dva satelita bosta zagotavljala dvodnevno globalno pokritost s podatki opazovanja Zemlje v skoraj realnem času, dostavljenimi v manj kot treh urah. Takšni produkti se bodo uporabljali v morskih in kopenskih aplikacijah, kot so: napovedovanje gibanja oceanov, kartiranje morskega ledu, servisi za pomorsko varnost, določanje temperature površja, opazovanje morskih ekosistemov, kakovosti vode, primesi v vodi, spremljanje onesnaženja, spremljanje sprememb pokrovnosti, pokritosti z gozdovi, aktivnosti fotosinteze, kakovosti prsti, zaznavanje požarov in podobno.

### **Sentinel-4, -5: Meteorološka satelita**

Predvidena izstrelitev: 2020

Sentinel-4 in -5 bosta zbirala podatke o sestavi atmosfere. Sentinel-4 se bo utiril na geostacionarno tirnico in se pridružil tretji generaciji satelitov Meteosat, Sentinel-5 pa v sončno sinhrono tirnico in bo nadaljeval poslanstvo satelitov MetOp. Sentinel-4 bo nosil visokoločljiv spektrometer UVN, ki zajema svetlobo v ultravijoličnih, vidnih in bližnje infrardečih kanalih. Sentinel-5 bo s svojim senzorjem UVNS dodatno zaznaval še svetlobo v kratkovalovnih infrardečih kanalih.

Misiji Sentinel-4 in -5 pokrivate potrebe za kontinuirano spremljanje atmosfere v visoki časovni (približno eno uro) in prostorski ločljivosti (8 kilometrov). Glavni produkti: O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HCHO, CO in količina aerosolov se bodo uporabljali za spremljanje in napovedovanje kakovosti zraka nad Evropo, stratosferskega ozona in sončnega sevanja ter podnebja.

### **Sentinel-5 Precursor: Meteorološki satelit**

Predvidena izstrelitev: 2015

Misijo Sentinel-5 Precursor (predhodnik) razvijajo za zmanjšanje časovnega preskoka med podatki Envisat in izstrelitvijo satelita Sentinel-5. Misija bo imela zelo podobne lastnosti kot njena naslednica Sentinel-5.

## Sentinel-6: Višinomerski sateliti

Predvidena izstrelitev: 2020

Sentinel-6 bo vseboval zelo natančen radarski višinomer za globalno merjenje višine morske gladine, predvsem namenjeno operativni oceanografiji in raziskavam podnebja. Nasledil bo misijo sedanjega satelita Jason-3, ki meri višino in obliko morskih površin.

## 4 POTENCIALNI GOSPODARSKI UČINKI

Copernicus podpira aplikacije na različnih področjih. Ta vključujejo: upravljanje urbanega območja, trajnostni razvoj in varstvo narave, regionalno in lokalno načrtovanje, kmetijstvo, gozdarstvo in ribištvo, zdravstvo, obvladovanje izrednih dogodkov, infrastrukturo, promet in mobilnost, pa tudi turizem.

Program Copernicus malim in srednje velikim podjetjem ponuja spodbude za razvijanje uporabniških storitev, s čimer pomaga evropskim podjetjem pri ustvarjanju novih delovnih mest in poslovnih priložnosti v gospodarskih panogah prihodnosti. Študije kažejo, da bi bilo mogoče s Copernicusom v evropskem gospodarstvu do leta 2030 ustvariti za približno 30 milijard evrov finančnih koristi ter približno deset tisoč delovnih mest. Prost in brezplačen dostop do podatkov satelitskih sistemov opazovanja Zemlje v okviru vesoljskih pobud EU naj bi uporabo satelitskih posnetkov tako povečal, da bi lahko skupni prodajni trg storitev in izdelkov na njihovi podlagi dosegel tudi pet- do desetkrat večje finančne koristi, in sicer v obsegu 200 milijard evrov.

Izpopolnjeno opazovanje Zemlje bo nedvomno prispevalo k spremljanju in preprečevanju nevarnih okoljskih sprememb, boljšemu nadzoru zakonitega pomorskega prometa ter sprejemanju ukrepov za nezakonit pomorski promet, k spremljanju in preprečevanju onesnaževanja morja, kopnega, uporabiti ga bo mogoče za pravočasno in zanesljivo obveščanje in napovedi za kmetijstvo, smotrno uporabo zemljišč in urbanistično načrtovanje, boj proti gozdnim požarom, odzivanje na katastrofe ter spremljanje posledic velikih nesreč. Pred tovrstnimi pojavi se lahko učinkovito ubranimo, jih preprečimo ali vsaj omilimo njihove učinke, samo če se jih zavedamo, jih izmerimo in razumemo.

## Viri:

[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus)

<http://www.copernicus.eu/>

<http://www.disasterscharter.org/web/charter/>

<http://emergency.copernicus.eu/mapping>

**Dr. Tatjana Veljanovski, univ. dipl. inž. geod.**

Znanstvenoraziskovalni center SAZU

Novi trg 2, SI-1000 Ljubljana

e-naslov: tatjana.veljanovski@zrc-sazu.si

**Izr. prof. dr. Krištof Oštir**

Znanstvenoraziskovalni center SAZU in Center odličnosti Vesolje-SI

Novi trg 2, SI-1000 Ljubljana

e-naslov: kristof@zrc-sazu.si

**Mag. Andreja Švab Lenarčič, univ. dipl. inž. geod.**

Center odličnosti Vesolje-SI

Aškerčeva cesta 12, SI-1000 Ljubljana

e-naslov: andreja.svab@spacec.si