

ZELO VISOKOLOČLJIVI SATELITSKI POSNETKI KOT DOPOLNILA K DRŽAVNIM ORTOFOTOM (DOF) VERY HIGH-RESOLUTION SATELLITE IMAGES AS SUPPLEMENTS TO STATE ORTHOPHOTOS

Andreja Švab Lenarčič

1 UVOD

Različni uporabniki prostorskih podatkov vsakodnevno uporabljamo digitalne ortofote za raznovrstne namene: kot bazični podatkovni sloj v aplikacijah geografskih informacijskih sistemov (GIS), za prostorsko planiranje in planiranje del na terenu, za zajem podatkov o rabi zemljišč, za zajem podatkov o gozdnih in trajnih nasadih, za pomoč pri simulacijah in vizualizacijah prostora in dogodkov v prostoru, za kontrolo pravilnosti lokacije raznih objektov idr. Ker se državni ortofoto (DOF) v Sloveniji v zadnjem obdobju vzdržuje v triletnem ciklu, so podatki za posamezne naloge premalo ažurni. Zato bomo v tej razpravi obravnavali možnosti zgotovitve časovne vrste ortofotov z zelo visokoločljivimi satelitskimi posnetki. Kakšne so njihove lastnosti, koliko jih je na voljo, kje in kako lahko pridemo do njih? Pri tem se bomo usmerili zgolj na najpogostejši način uporabe DOF, to je DOF kot vizualno podlago oziroma sliko pod drugimi podatkovnimi sloji.

2 PRIMERNOST SATELITSKIH POSNETKOV KOT DOPOLNIL DOF

Satelitski posnetki so, enako kot letalski posnetki, daljinsko zaznani prostorski podatki. Podatki so torej zajeti na daljavo, le da nosilna platforma ni letalo, ampak satelit. Gre torej za zelo podobno metodo snemanja, le razdalja od platforme do zemeljske površine je pri satelutih večja. Ko beremo o satelitskih posnetkih, vedno naletimo na izraze, kot so spektralna ločljivost, radiometrični popravki ipd. Pri tem se zna zgoditi, da se nam zdijo zapleteni, kar nas odvrne od njihove uporabe. V resnici pa imajo letalski posnetki enake lastnosti, le da jih običajnemu uporabniku DOF-a ni treba poznati. Če torej dobimo »na mizo« primerno obdelane satelitske posnetke, res ni razloga, da jih ne bi uporabili.

Kljub temu je dobro poznati vsaj osnovne lastnosti satelitskih posnetkov, zato jih na kratko pogledimo z vidika primerjave z ortofotom. Osnovne opredelitve povzemamo po Oštirju (2006).

Prostorska ločljivost pri rastru pomeni velikost piksela oziroma velikost najmanjšega predmeta, ki ga na posnetku lahko zaznamo. Za lažjo predstavbo sta na sliki 1 prikazana dva posnetka z različno prostorsko ločljivostjo. Posnetek *Pleiades* (na sliki levo) ima velikost piksela 0,5 metra, posnetek *SPOT* (na sliki desno) pa 1,5 metra. Ker na Geodetski upravi Republike Slovenije (GURS) DOF uporabljamo večinoma kot vizualno podlago za prikaz drugih uradnih prostorskih podatkov, je prostorska ločljivost dopolnilnih slojev odločilnega pomena pri njihovi uporabnosti. Razvidne morajo biti podrobnosti, kot

so posamezne manjše hiše, dograditve, vrste rabe idr. DOF s svojo ločljivostjo 0,5 metra (in 0,25 metra) ta pogoj izpolnjuje. Na prikazanem posnetku *SPOT* zelenih podrobnosti ne razberemo več. Zato bomo v nadaljevanju razprave obravnavali zgolj satelitske posnetke, ki imajo prostorsko ločljivost vsaj 1 meter. Navzgor po kakovosti prostorske ločljivosti nismo omejeni, je pa ločljivost, višja od 0,1 metra, vsaj za sedanjo uporabo na Gursu nesmiselna in zagotovo neekonomična.



Slika 1: Manjše območje v Budimpešti: levo posnetek *Pleiades* (0,5 m) (*Pleiades*, 2021), desno *SPOT* (1,5 m) (*SPOT*, 2021).

Prostorsko ločljivost vsaj 1 meter ali višjo danes dosegajo naslednji satelitski posnetki: *GeoEye-1* (0,4 m), *WorldView-2* (0,5 m), *WorldView-3* (0,3 m), *WorldView-4* (0,3 m), *Pleiades* (0,5 m), *Pleiades Neo* (0,3 m), *SuperView1* oziroma *Gaojing-1* (0,5 m), *TripleSat* (0,8 m), *Geosat* (0,8 m), *Kompsat-3* (0,6 m), *SkySat* (0,7 m), *BlackSky* (0,9 m), *OVS-3* (0,9 m) ter *Deimos-2* (1 m).

Spektralna ločljivost je natančnost sistema pri opazovanju elektromagnetnega valovanja različnih valovnih dolžin. Spektralna ločljivost je višja, če sistem opazuje predmete v več ozkih spektralnih kanalih. Poenostavljeno: v kolikor več »barvah sistem snema«, toliko višjo spektralno ločljivost ima. Letalski podatki za DOF so zajeti v štirih spektralnih kanalih: rdečem (R), zelenem (G), modrem (B) in bližnje infrardečem (NIR). GURS kot vizualni prikaz uporablja skoraj izključno tako imenovano sliko v pravih barvah (angl. *true color image*), to je prikaz s kanali RGB. Zato bi za satelitske posnetke, ki bi dopolnjevali DOF, zadoščala spektralna ločljivost teh treh kanalov. Razen satelita *WorldView-1*, ki zajema podatke samo s PAN (črno-belimi) kanalom, vsi navedeni sateliti snemajo tako s PAN kot tudi z vsaj štirimi barvnimi kanali (RGBNir).

Naj omenimo, da visoka spektralna ločljivost pomeni veliko dodano vrednost pri spektralnih analizah. V tej razpravi smo se omejili na vizualni prikaz. Če vas zanima kaj več o spektralnih lastnostih, v branje vabi članek Ptičji pogled z druge perspektive (Švab Lenarčič, 2020).

Časovna ločljivost pove, kako pogosto lahko snemamo iste dele Zemlje oziroma koliko časa preteče med dvema zaporednima snemanjema. DOF v Sloveniji trenutno pridobivamo na tri leta. Ker želimo s satelitskimi posnetki časovno vrsto zgotoviti, morajo biti izbrani satelitski posnetki posneti pogosteje, vsaj na eno do dve leti oziroma v letih, ko DOF na nekem območju ni izdelan. Tudi tukaj zelo visoka časovna ločljivost ni problematična, je pa zopet najverjetneje nesmiselna. Posnetkov v praksi običajno ne potrebujemo pogosteje kot enkrat mesečno.

Teoretična časovna ločljivost vseh zgoraj navedenih satelitskih posnetkov je povprečno dva dni! V praksi pa vsi sateliti še zdaleč ne snemajo vseh območij na Zemlji tako pogosto. Če upoštevamo posnetke z ničelno oziroma nizko stopnjo oblačnosti ter dovolj majhnim kotom snemanja, je pokritost vseh območij v Sloveniji vsaj en posnetek na leto, kar je pogosteje kot DOF.

Radiometrična ločljivost pove, kako dobro sistem ločuje majhne razlike v energiji valovanja oziroma koliko različnih sivin (barv) lahko poda. Izražamo jo v bitih, tako je na primer 8-bitna, 11-bitna ... Za vizualno podlago je dovolj, če so vrednosti odboja podane v razponu med 0 in 255, saj človeško oko težko zazna višjo ločljivost. Takšnemu razponu ustreza 8-bitna radiometrična ločljivost. Vsi satelitski posnetki, ki jih navajamo, to radiometrično ločljivost celo presegajo.

Predobdelava posnetkov je postopek odstranitve nepravilnosti in pomanjkljivosti posnetkov, ki ga izvajamo pred njihovo nadaljnjo obdelavo, kot sta analiza in interpretacija. Predobdelava sestoji iz radiometričnih popravkov, pri katerih skušamo odpraviti nepravilnosti v delovanju senzorja in odstraniti vpliv atmosferskih шумov, ter geometričnih popravkov, ki vključujejo odstranjevanje popačenja zaradi geometrije snemanja in ortorektifikacijo.

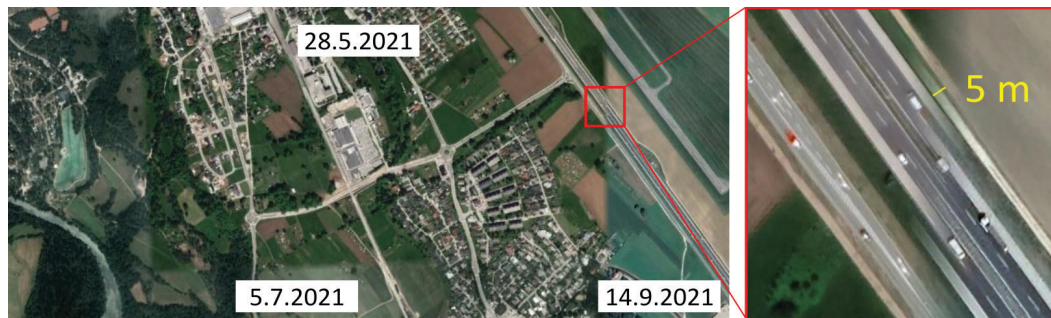
Radiometrični popravki so običajno pri komercialnih satelitskih posnetkih že izvedeni. Posnetki so (lahko) pripravljene tako, da jih uporabnik takoj uporabi. Poleg tega za vizualni pregled posnetka niso bistvenega pomena.

Od geometričnih popravkov je treba omeniti predvsem kakovost ortorektifikacije. Za DOF, izdelan po letu 2017, je zahtevana geometrična točnost predpisana v skladu s standardom ASPRS, in sicer 1,21 metra, s stopnjo zaupanja 95 %. V praksi ocenjujemo, da DOF položajno ne odstopa za več kot 0,2 metra. Vse obravnavane satelitske posnetke lahko dobimo ortorektificirane, a pri večini ne gre za ortorektifikacijo na ravni DOF-a. Proizvajalci večinoma uporabljajo model reliefa z nizko ločljivostjo in posnetke geolocirajo s točnostjo nekaj pikslov, kar pomeni, da zagotavljajo položajno točnost od štiri do deset metrov. Večinoma je položajna točnost višja od navedene. Vsekakor moramo kakovost geolokacije satelitskih posnetkov upoštevati – še posebej pri njihovi skupni uporabi z drugimi sloji prostorskih podatkov (sliki 2 in 3).



Slika 2: Primer geometrične točnosti satelitskega posnetka. Prostorsko ujemanje podatkov katastra stavb (oranžni poligoni) in hišnih števil (zeleni točke) (oboje eGP, 2021) in podatkovnega sloja Google Satellite (Google, 2021a) je zelo dobro.

Ker območje Slovenije ni zvezno pokrito s satelitskimi posnetki istega ponudnika in istega datuma, si v praksi pomagamo z mozaičenjem, krpanjem. **Mozaičenje** iz posameznih posnetkov navidezno ustvari enega samega. Na sliki 3 so na primer posnetki treh različnih datumov, zelo verjetno tudi različnih satelitskih sistemov. Dobro je, da je s posnetki prekrito celotno območje, žal pa so zaradi radiometrične neuskklajenosti vidni prehodi (različne barve). Na detajlu slike 3 je razvidno tudi, da geometrična točnost žal lahko odstopa tudi nekaj metrov.



Slika 3: Mozaik posnetkov treh različnih datumov. Razvidna je radiometrična in geometrična neuskklajenost med posnetki. Vir mozaika: Google Earth Pro (Google, 2021b).

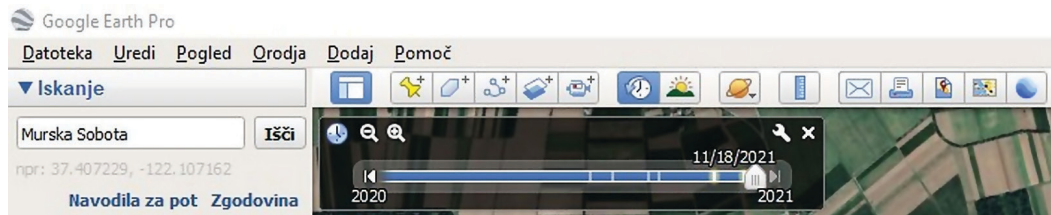
Mozaiki so v glavnem namenjeni vizualni interpretaciji posnetkov. Najlažje je uporabiti mozaik, ki ga je izdelal ponudnik. Izdelava v lastni režiji zahteva nekaj več znanja s tega področja.

Zelo visokoločljivi satelitski posnetki so torej glede na njihovo prostorsko, spektralno, predvsem pa časovno ločljivost zelo primerni kot dopolnilni podatki podatkom DOF. Tudi njihova geometrična predobdelava je za večino rab zadovoljiva, zato bi jih bilo vsekakor smiselno uporabiti pri vsakdanjem delu. Ampak kako lahko do njih dostopamo? Je to prezapleteno za običajnega uporabnika in ali niso ti posnetki zelo dragi? Na ta vprašanja odgovorimo v naslednjem poglavju.

3 DOSTOPNOST SATELITSKIH POSNETKOV

Res je, zelo visokoločljivi satelitski posnetki so komercialni, torej plačljivi. Vendar pa obstajajo načini dostopa, kjer je brezplačno na voljo za ogled omejen nabor posnetkov. Vse več je tudi možnosti prenosa izbranega posnetka za manjše območje za minimalni finančni strošek. V nadaljevanju so podani najpogostejši in najenostavnejši načini dostopa do podatkov, ki jih pri delu uporabljam tudi sama.

3.1 Splošen brezplačni ogled posnetkov v znanih aplikacijah



Slika 4: Ukaz za prikaz zgodovinskih posnetkov v aplikaciji Google Earth Pro. S časovnim drsnikom lahko izbiramo prikaz posnetkov različnih datumov.



Slika 5: Levo zgoraj: DOF 2019 (eGP, 2021). Ostalo: časovna vrsta posnetkov, ki so na voljo v Google Earth Pro za del območja Murske Sobotice za obdobje od marca 2019 do septembra 2021 (Google Earth Pro, 2021).

Kadar želimo preveriti stanje na terenu in je DOF zastarel (na primer, da nas zanima, ali so pred pol leta res porušili neko hišo), imamo možnost brezplačnega ogleda posnetkov v znanih aplikacijah, kot so Google Zemljevidi (*Google Maps*), Google Zemlja (*Google Earth*), *Google Earth Pro*, *Mapbox*, *Esri World*

Imagery, Bing Maps, HERE Maps, USGS Earth Explorer, Apple Maps in druge. Vsaka ima svoje prednosti in slabosti. Za potrebe vpogleda v posnetke predlagam *Google Zemljevide* in *Google Earth Pro*.

Google Zemljevidi (Google Maps, 2021) je prosto dostopna spletna aplikacija s prostorskimi podatki in zemljevidi, med drugim tudi satelitskimi posnetki. Slednji niso posodobljeni v realnem času, vendar po zagotovitvi ponudnika niso starejši od treh let. V tej aplikaciji podrobni podatki (metapodatki) o posnetkih niso na voljo. *Google Zemljevidi* so zaposlenim na Gursu že znani in jih že uporabljajo pri delu. Prav tako s pridom izkoristijo v aplikaciji integrirane ulične vpogleda/fotografije (*Google Street View*), ki so velikokrat zelo dobrodošla informacija o stanju na terenu. Žal so za večino Slovenije na voljo vpogledi iz leta 2013. Sveže (v prejšnjih letih zajete) vpogleda že vsi nestrpnost pričakujemo.

Google Earth Pro (Google Earth Pro, 2021) si je treba v nasprotju z *Googlovimi Zemljevidi* prenesti na računalnik kot namizni program. Prenos je brezplačen. *Google Earth Pro* ima v primerjavi z *Google Zemljevidi* veliko naprednejših funkcij, na primer uvoz in izvoz podatkov GIS, merjenje razdalj, risanje poligonov, označevanje lokacij idr. Za namen, ki ga opisujemo v tej razpravi, pa je najpomembnejši ogled zgodovinskih posnetkov. Klik na ikono »Ura« (slika 4) odpre drsnik, kjer lahko izbiramo iz časovne vrste posnetkov različnih datumov.

Ti posnetki so zelo visokoločljivi in večinoma posneti veliko pogosteje, kot je izdelan DOF. Za različna območja naše države je na voljo različno število posnetkov ob različnih datumih. Za primer so na sliki 5 prikazani izseki posnetkov območja Murske Sobote, kjer je od marca 2019 do septembra 2021 na *Google Earth Pro* na voljo kar enajst posnetkov. V primerjavi z DOF (na sliki levo zgoraj) njihova prostorska ločljivost ne zaostaja, zato ga posnetki zaradi višje časovne ločljivosti pomembno dopolnjujejo.

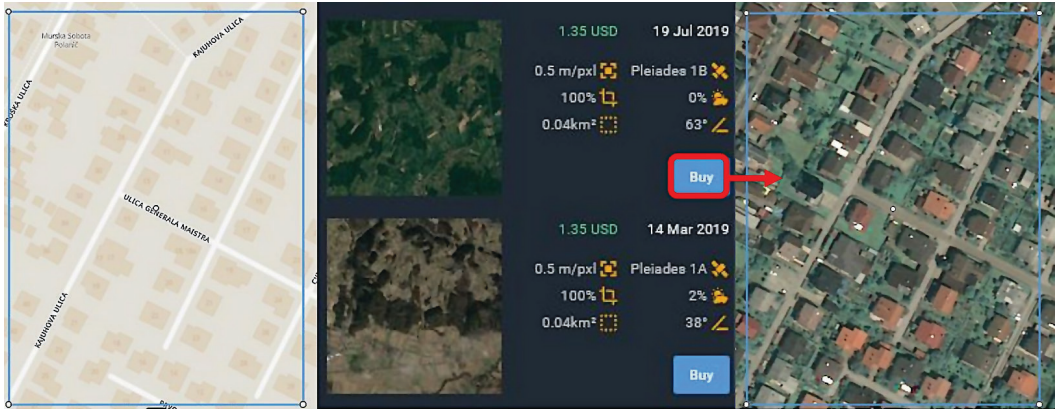
3.2 Uporaba spletnih storitev in vtičnikov v GIS-aplikacijah

Za uporabnike GIS-aplikacij (*QGIS, ArcGIS* ipd.) sta najbolj praktična vnos posnetkov prek spletnih kartografskih storitev WMS/WMTS ali uporaba vtičnikov *OpenLayer Plugin* in *Quick Map Services* ter atlasa *ArcGIS Living Atlas*, kjer imamo poleg bogatega nabora drugih kart na voljo tudi mozaike in druge hibridne karte satelitskih posnetkov različnih ponudnikov. Bistvo odprtja podatkovnega sloja v GIS-aplikaciji je kombinacija podatkovnega sloja s podatki drugih evidenc (primer na sliki 2). Za GURS bi bilo idealno, če bi imeli v pregledovalniku novega informacijskega sistema možnost vpogleda v zgodovinske zelo visokoločljive satelitske posnetke, ki so na nekem območju na voljo.

3.3 Ogled/prenos plačljivih posnetkov na različnih platformah

Zelo visokoločljivi satelitski posnetki praviloma niso brezplačni. Brezplačno so na ogled v zgoraj navedenih aplikacijah ali pa so prek spletnih storitev in vtičnikov na voljo le v zelo omejenem številu. Četudi nam je to velikokrat dovolj, se morda lahko zgodi, da bi potrebovali čisto svež posnetek ali posnetek iz določenega časovnega obdobja. Na začetku obstoja satelitskih posnetkov je bilo mogoče kupiti le celoten posnetek. Posledično je bila cena nakupa zelo visoka, datoteka zelo velika, poleg tega je bilo praviloma treba posnetek predobdelati. Danes je nakup posnetkov enostavnejši. Na voljo je vse več spletnih platform, ki uporabnikom omogočajo, da izberejo geografsko območje, za katero želijo kupiti satelitski posnetek, navedejo zeleno časovno okno, vrsto in stopnjo obdelave posnetka, stopnjo oblačnosti ipd. Veliko platform omogoča tudi različne analize, ki jih je mogoče izvesti nad podatki. Od enostavnih, kot je izračun spektralnega indeksa, do zapletenejših, kot je objektna segmentacija stavb.

Na sliki 6 je primer nakupa posnetka za manjši del naselja v spletni platformi *Land Viewer* (Land Viewer, 2021). Z ustreznim orodjem izberemo želeno območje, vrsto posnetka (v tem primeru *Pleiades*) in časovno okno, nato pa glede na predogled in osnovne metapodatke izberemo posnetek. Ko plačamo (enostaven postopek spletnega plačila), se v platformi odpre izbran posnetek, ki ga lahko shranimo.



Slika 6: Nakup posnetka v spletni platformi Land Viewer.

Kot je razvidno s slike 6, je bila cena nakupa prikazanega območja 1,35 USD (1,19 EUR), kar je dosegljivo za vsak žep. Z večanjem območja se cena sicer sorazmerno zvišuje, a še vedno znaša le okrog 50 EUR za območje srednje velikega mesta.

Land Viewer seveda ni osamljena platforma za pridobitev cenovno dostopnih zelo visokoločljivih satelitskih posnetkov. Dobro uveljavljene so tudi platforme *UP42* (UP42, 2021), z možnostjo uporabe odprtih kod za različne prostorske analize, *Maxar DigitalGlobe* (Maxar, 2021), *OneAtlas Living Library* (OneAtlas, 2021), *SecureWatch* (SecureWatch, 2021), *Apollo Mapping* (Apollo Mapping, 2021), po novem pa lahko zelo visokoločljive posnetke kupimo tudi na platformi *SentinelHub* (SentinelHub, 2021), platformi slovenskega podjetja Sinergise.

4 SKLEP

Ali lahko zelo visokoločljivi satelitski posnetki uspešno dopolnjujejo DOF? Lahko. Ali lahko do njih enostavno dostopamo? Lahko. Tudi brezplačno? Lahko. Ali naj pri svojem delu uporabim te posnetke, kadar potrebujem večjo ažurnost? O tem ni dvoma. Vseeno je treba opozoriti, da brezplačni podatkovni sloji, kot so podatki ponudnika *Google*, niso dopustni kot uradni podatkovni sloji pri izdelavi kart. Pri morebitnem izdajanju podatkov je obvezno navesti vir podatka.

Vzemite si čas, spoznajte se s posnetki in izvedenimi izdelki, izgubite morebitni strah pred »novimi« tehnolojijami, ki nezadržno pronicajo v vse pore našega dela. Satelitska snemanja zemeljskega površja so področje, ki v zadnjih letih bliskovito napreduje. Tovrstnih satelitskih sistemov je vse več, njihove lastnosti se izboljšujejo, podatkov je vse več, njihove cene se znižujejo, dostop do podatkov in tudi analiz je vse enostavnejši. Uporabimo te posnetke in izvedene izdelke vsaj za vizualno ozadje. Ko se bomo z njimi bolj »spoznali«, pa si bomo zagotovo zaželeli izkoristiti njihov polni potencial. Naj vas za konec malce

razvnamem z nekaj področji, kjer so se daljinsko zaznani posnetki že izkazali kot nepogrešljiv podatkovni sloj: kartiranje posledic naravnih nesreč in analiza škode, sledenje sezonskim pojavom, kmetijstvo (spremljanje vrste in stanja poljščin, vlage tal, kontrola upravičenosti subvencij), odkrivanje invazivnih vrst rastlin, spremljanje stopnje razraščanja in učinkovitosti zatiranja, študija dinamike razvoja in procesov v gozdovih, lociranje mestnih toplotnih otokov, opazovanje morskih površin (nadzor ribolova, naftnih izlivov, nezakonitih plovil), kartiranje neformalnih naselij, opazovanje arheoloških najdišč, analiza zgodovinske pokrajine ... Ste za?

Literatura in viri:

- Apollo Mapping (2021). Spletna aplikacija Apollo Mapping. <https://apollomapping.com/>, pridobljeno 17. 11. 2021.
- eGP (2021). Portal Prostor – e-Geodetski podatki. Geodetska uprava Republike Slovenije, <https://egp.gu.gov.si/egp/>, pridobljeno 18. 6. 2021.
- Google (2021a). Podatkovni sloj Google Satellite, prikazan v QGIS, pridobljeno 18. 6. 2021.
- Google (2021b). Podatkovni sloj Google Satellite, prikazan v Google Earth Pro, pridobljeno 12. 11. 2021.
- Google Maps (2021). Aplikacija Google Maps. <https://www.google.com/maps/>, pridobljeno 17. 11. 2021.
- Google Earth Pro (2021). Namizni program Google Earth Pro, pridobljeno 17. 11. 2021.
- Land Viewer (2021). Spletna platforma Land Viewer, dostopna na <https://eos.com/lv/>, pridobljeno 17. 11. 2021.
- Maxar (2021). Spletna aplikacija Maxar DigitalGlobe. <https://discover.digitalglobe.com/>, pridobljeno 17. 11. 2021.
- OneAtlas (2021). Spletna aplikacija OneAtlas Living Library. <https://oneatlas.airbus.com/service/living-library>, pridobljeno 17. 11. 2021.
- Oštir, K. (2006). Daljinsko zaznavanje. Ljubljana: Založba ZRC. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545215>.
- Pleiades (2021). Pleiades. <https://www.intelligence-airbusds.com/imagery/constellation/pleiades/>, pridobljeno 5. 10. 2021.
- SecureWatch (2021). Spletna aplikacija SecureWatch. https://www.digitalglobe.com/products/securewatch?utm_source=blog&utm_medium=organic, pridobljeno 17. 11. 2021.
- SentinelHub (2021). Spletna aplikacija SentinelHub. <https://www.sentinel-hub.com/>, pridobljeno 17. 11. 2021.
- SPOT (2021). SPOT. <https://www.intelligence-airbusds.com/imagery/constellation/spot/>, pridobljeno 5. 10. 2021.
- Švab Lenarčič, A. (2020). Ptičji pogled z druge perspektive. Geodetski vestnik, 64 (3), 423–429. http://www.geodetski-vestnik.com/64/3/gv64-3_swab.pdf, pridobljeno 11. 11. 2021.
- UP42 (2021). Spletna aplikacija UP42. <https://up42.com/>, pridobljeno 17. 11. 2021.

dr. Andreja Švab Lenarčič, univ. dipl. inž. geod.

Območna geodetska uprava Murska Sobota
Murska Sobota, Lendavska ulica 18, SI-9000 Murska Sobota
e-naslov: andreja.swab-lenaric@gov.si