

Uporaba satelitskega daljinskega zaznavanja za napovedovanje in opazovanje poplav

Krištof Oštir^{1,2}, Žiga Kokalj^{1,2}, Tatjana Veljanovski^{1,2},
Jože Rakovec^{1,3} in Nedjeljka Žagar^{1,3}

Povzetek

V prispevku je opisana uporaba daljinskega zaznavanja pri napovedovanju vremena in opazovanju poplav. Slovenijo so med 17. in 19. septembrom 2010 zajele obilne padavine. Padavine so bili tako količinsko kot krajevno zelo dobro napovedane, povzročile pa so obilne poplave v različnih delih države. Center odličnosti Vesolje-SI je v okviru aktivacije programa Vesolje in velike nesreče pridobili serijo radarskih satelitskih posnetkov. Ta nam je omogočila, da smo upoštevali štiri datume znotraj 14 dnevnega razdobja razčlenili dinamiko poplav v okolici Ljubljane in na kraških poljih ter krajevnega zastajanja oziroma odtekanja vode. Z radarskimi posnetki lahko v skoraj realnem času dobimo zelo dober vpogled v stanje v naravnem okolju in na širšem območju, ne moremo pa zaznavati poplav v naseljih. S prispevkom želimo odpreti razpravo o uporabnosti podatkov daljinskega zaznavanja in hitrega kartiranja za različne uporabnike, upoštevaje smeri razvoja vesoljske tehnologije v Sloveniji.

Uvod

Slovenijo so v času med 17. in 19. septembrom 2010 zajele močne in obsežne padavine, ki so povzročile močan porast gladin rek in razlivanja vodotokov skoraj povsod po državi. V 48 urah, od petka do nedelje zjutraj, je v povprečju padlo 170–180 mm padavin, kar je največja količina v takšnem časovnem obdobju v zadnjih 60 letih (ARSO 2010). V primerjavi s preteklimi izjemnimi padavinskimi dogodki tega najbolj zaznamuje zelo veliko območje, na katerem je bila količina padavin velika. Obsežne poplave so zajele porečje Vipave, Idrijce, Poljanske Sore, Savinje v spodnjem toku, Krke, Save v spodnjem toku, kraška polja Notranjskega in Dolenjskega krasa ter Ljubljansko barje. Visoke vode so najbolj opustošile naselja na območju Ljubljane in Posavja.

Po podatkih Civilne zaščite so poplave ogrozile več kot 15.000 ljudi, več kot 8200 objektov, okrog 30.000 hektarov kmetijskih zemljišč in več deset mostov. Povzročile so obsežno škodo v kletih in na hišah, poškodovane so bile ceste in železnica, v osrednji in zahodni Sloveniji so se pojavljali številni zemeljski plazovi, umrli so trije ljudje. Zavarovalnice ocenjujejo, da bo skupna škoda dosegla 35 milijonov evrov.

Napovedovanje vremena

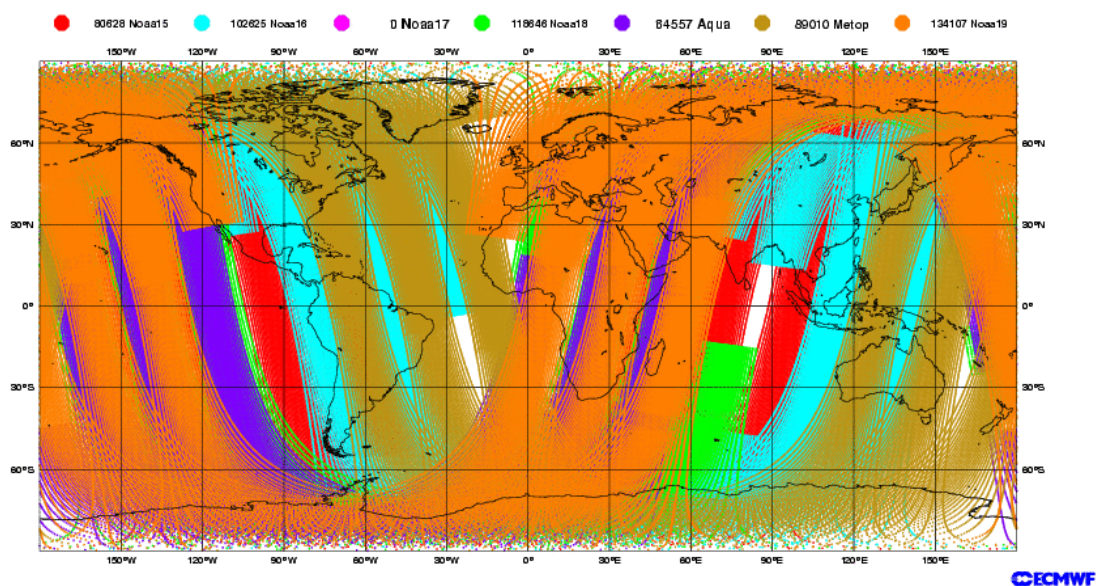
¹ Center odličnosti Vesolje-SI, Aškerčeva cesta 12, Ljubljana

² Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Novi trg 2, Ljubljana

³ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska cesta 19, Ljubljana

Napoved nastanka vremenskih pogojev, spremljanje razvoja in obsega poplav ter učinkovito obveščanje strokovne in druge javnosti je v prvi vrsti naloga Agencije RS za okolje (ARSO). Katastrofalne poplave so bile napovedane odlično, in sicer tako količinsko kot časovno in prostorsko. Prvo predhodno opozorilo pred močnimi padavinami je državna meteorološka služba izdala dne 16. septembra 2010 ob 08:50 in ga posredovala Upravi RS za zaščito in reševanje (URSZR). V njem so natančno napovedali količino in trajanje padavin.

Meteorologi pri svojem delu za spremljanje vremena uporabljajo satelitske slike meteoroloških satelitov, ki kažejo trenutne razmere, za potrebe napovedi pa je treba upoštevati mnogo širši nabor podatkov – večina teh je dobljena iz satelitov s sondiranjem navzdol skozi ozračje. Pred desetletji tovrstna dobra napoved ni bila možna, čeprav je meteorologija tedaj že poznala glavne značilnosti dogajanj v ozračju in metode, kako ta dogajanja simulirati in s tem napovedovati. Natančnost napovedi so izboljšali bistveno večja količina vhodnih podatkov, predvsem pa možnost numerične napovedi vremena. Ta je bila pred pojavom zmogljivih računalnikov preveč zahtevna, poleg tega pa je bilo pred desetletji razumevanje procesov v ozračju bolj pomanjkljivo, kot je danes, fizikalno in matematično pa so bili bistveno slabši tudi modeli za napovedovanje vremena.



Slika 1: Meteorološki globalni opazovalni sistem za pridobivanje podatkov za potrebe napovedovanja vremena. Na sliki je približno četrtina navpičnih profilov (AMSU-A) radiometričnih meritev temperature in vlažnosti, ki jih v enem dnevu uporabi ECMWF Vir:

http://www.ecmwf.int/products/forecasts/d/charts/monitoring/coverage/dcover!AMSUA!00!p op!od!mixed!w_coverage!latest/ © ECMWF, povzeto 6. 1. 2011.

Modele poganjamo od znanega začetnega stanja – od znanih (izmerjenih) lastnosti ozračja. Čim boljše poznamo to začetno stanje, tem boljša je lahko napoved. Pri tem je bistven prispevek satelitov, ki omogočajo pridobivanje vertikalnih profilov temperature zraka in

vlačnosti, vektorje vetra za razne predele in razne višine v ozračju (če je v ozračju dovolj delcev) in podobno. Podatki meritev meteoroloških satelitov so danes že glavni vir za določanje začetnega stanja ozračja za potrebe napovedovanja vremena, saj predstavljajo 95 % vseh asimiliranih podatkov meritve sevanja (in iz tega torej temperature in vlažnosti), medtem ko okoli 5 % odpade na konvencionalne meritve, ki se opravljajo s tal (meritve pri tleh, na morju in radio-sondažne meritve) ali na letalih. Več o tem v članku Rakovec in Žagar (2011, ta zbornik).

Podrobno napoved za Slovenijo računajo na ARSO z modelom ALADIN, ki za začetne in v času spreminjajoče se robne pogoje uporablja rezultate modelov francoske meteorološke službe Meteo-France in Evropskega centra za srednjeročno napoved vremena (ECMWF). Čeprav se vremenske napovedi nenehno izboljšujejo, kvantitativne napovedi vremenskih pojavov, kot so močne padavine ter nevihtni procesi z viharnim vetrom in točo, ki se v razgibanem reliefu Slovenije na stičišču vplivov Alp in Sredozemlja pojavljajo pogosto, še vedno niso povsem zanesljive. Danes si prizadevamo, tudi znotraj centra odličnosti, za izboljšane metode asimilacije podatkov, ki bodo odstotek uporabljenih satelitskih meritev še zvišale in prinesle izboljšane napovedi vremena.

Kartiranje poplav

Uprava RS za zaščito in reševanje je v sodelovanju s Centrom odličnosti Vesolje-SI in ZRC SAZU ob nedavnih poplavah aktivirala mednarodni program Vesolje in velike nesreče (Space and Major Disasters, www.disasterscharter.org) ter projekt SAFER. V primeru večjih naravnih nesreč se različne vesoljske agencije, kot so evropska ESA, kanadska CSA, japonska JAXA, ameriška NASA in številne druge, združijo in začnejo s snemanji prizadetih območij. Nove in izbrane arhivske posnetke prizadetega območja nato posredujejo lokalnim centrom v nadaljnjo obdelavo in uporabo.

V okviru omenjenih iniciativ je center odličnosti prejel skoraj 30 različnih posnetkov. 13 satelitskih posnetkov, ki so pokrivali območje osrednje in južne Slovenije, smo navsezadnje vključili v nadaljnjo obravnavo opazovanja posledic vremenskega dogodka. Od teh trinajstih so bili štiri posnetki arhivski, eden zajet med najhujšimi padavinami, osem posnetkov je bilo zajetih po glavnih padavinah. Kot najuporabnejši so se izkazali podatki radarskih satelitov ENVISAT (ESA) in RADARSAT (CSA), ki jih je bilo skupaj 9. Bistveni prednosti radarskih sistemov pred optičnimi sta neodvisnost od sonca kot vira svetlobe, zato lahko z njimi zemeljsko površje opazujemo tudi ponoči, ter zmožnost opazovanja skozi oblake. Z radarskimi posnetki smo lahko kartirali stanje in dinamiko poplavljenosti na Ljubljanskem barju in okolici, notranjskih in kraških poljih, in sicer za 19. 9., 23. 9., 26. 9. in 2. 10. Od optičnih posnetkov smo imeli na razpolago serijo posnetkov Landsat (14. 9., 20. 9. in 21. 9.), ki pa so bili za določanje obsega poplav primerni le za večja razlitja vode na območju dolenjskih in notranjskih kraških polj, saj so bili nad širšim območjem Ljubljane prisotni oblaki.

Satelit (Vesoljska agencija)	Senzor / Tip podatka	Datum zajema	Območje	Prostorska ločlj. (m)	Način uporabe
ENVISAT ASAR (ESA)	ASAR Alternating Polarisation Medium-resolution image	19. 9. 2010	Ljubljana in okolica	12,5	Kartiranje poplav
RADARSAT-2 (CSA)	Extended High HH ASAR Alternating	23. 9. 2010	Ljubljana in okolica	12,5	Kartiranje poplav
ENVISAT ASAR (ESA)	Polarisation Medium-resolution image ASAR Alternating	25. 9. 2010	Zasavje, Krka	12,5	Kartiranje poplav
ENVISAT ASAR (ESA)	Polarisation Medium-resolution image ASAR Alternating	26. 9. 2010	Zasavje, Krka	12,5	Kartiranje poplav
RADARSAT-2 (CSA)	Path Image Plus HH	26. 9. 2010	Ljubljana in okolica	12,5	Kartiranje poplav
RADARSAT -2 (CSA)	Path image HH	28. 9. 2010	Zasavje	6,25	Kartiranje poplav
RADARSAT-2 (CSA)	Path Image Plus HH	2. 10. 2010	Ljubljana in okolica	12,5	Kartiranje poplav
Landsat (USGS)	Landsat TM, 30m, 7 MS	14. 9. 2010	Osrednja Slovenija	30	Pregled stanja, referenca
Landsat (USGS)	Landsat TM, 30m, 7 MS	21. 9. 2010	Zahodna Slovenija	30	Pregled stanja poplav

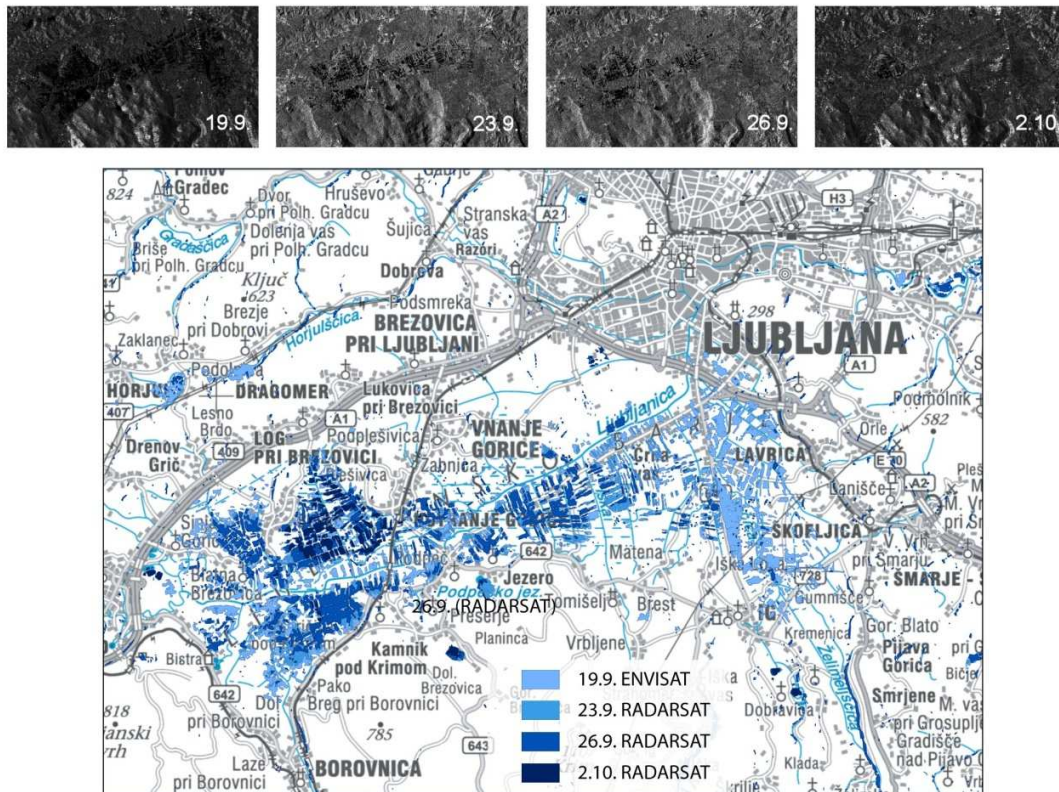
Preglednica 1: Pregled uporabljenih satelitskih posnetkov, pridobljenih v okviru programa Vesolje in velike nesreče, njihove pomembnejše lastnosti ter vloga pri kartiranju poplavljenosti.

Prvi posnetek satelita ENVISAT, zajet z radarskim sistemom ASAR, je bil narejen v nedeljo, 19. septembra 2010, nekaj pred deveto uro zvečer. Posnetek zajema stanje na območju osrednje in zahodne Slovenije. Temu so na primerljivem območju snemanja sledili še trije posnetki satelita RADARSAT-2. Vse posnetke smo najprej natančno georeferencirali v državni koordinatni sistem ter opravili ortorektifikacijo, da smo odpravili razlike zaradi različnih kotov opazovanja satelita. Ker je voda na radarskih posnetkih zelo temna, smo jo z določanjem praga odboja, klasifikacijo ter modeliranjem vpliva reliefa in senc razmeroma enostavno razločili. Rezultat obdelave so karte poplavnih območij na Ljubljanskem barju, v okolici Ljubljane in na kraških poljih, ki smo jih posredovali URSZR. Serija posnetkov omogoča spremljanje obsega poplav vsakih nekaj dni.

Odkrivanje vode na radarskih posnetkih se zdi razmeroma enostavna naloga, saj je radarski povratni signal na gladki gladini vode neznaten. Voda ima zato na radarskih posnetkih najnižjo intenziteto. Vendar so nizke vrednosti tudi posledica senc, zato pri klasifikaciji praviloma prihaja do prevelike zaznave t. i. vodne površine. Dodatno težavo povzroča zrnatost, to je značilni šum na radarskih posnetkih. Poleg precenjene zaznave vodnih površin se srečujemo tudi z nezmožnostjo zaznave vode. Vsak objekt, večji od nekaj centimetrov, ki je/gleda nad vodno površino, povzroči, da se del valovanja odbije do sprejemnika. Intenziteta

odbojnega signala je tako povečana in zato se taka površina v fazi analize ne klasificira kot voda. Odbojni objekt je lahko hiša, drevo, koruzno polje ali celo val na vodi.

Z obdelavo posnetkov smo pripravili karte poplavnih območij na Ljubljanskem barju, v okolici Ljubljane in na kraških poljih za opazovane dni (Slika 3). Karte smo posredovali Upravi RS za zaščito in reševanje ter objavili na spletni strani Programa Vesolje in velike nesreče (<http://www.disasterscharter.org>) in CO Vesolje-SI (<http://www.space.si/presentation>). Postopek obdelave radarskih posnetkov je polsamodejen in uporaben za vse prejete radarske posnetke, rezultate pa daje v nekaj urah po zajemu s satelitom.



Slika 2: Dinamika poplav na Ljubljanskem barju, dobljena iz radarskih posnetkov zajetih 19. 9., 23. 9., 26. 9. in 2. 10.

Posamezen satelitski posnetek je mogoče obdelati v razmeroma kratkem času, vendar obdelava zaenkrat še zahteva prisotnost in odločanje strokovnjaka. Center odličnosti zato razvija tehnologijo (skoraj) samodejne obdelave, ki bo bistveno skrajšala čas same obdelave, predvsem pa bo omogočila takojšnjo objavo interpretiranih rezultatov v obliki spletne karte.

Distribucija in uporaba podatkov

Potencial obdelave podatkov v skoraj realnem času zaživi šele s takojšnjo dostavo rezultatov prek spleta. Pomemben del aktivnosti centra odličnosti je zato spletni portal, ki bo končna točka za dostavo izdelkov. Del spletnega portala bo namenjen splošni javnosti in

uporabnikom z malo znanja o prostorskih podatkih in njihovi obdelavi, del pa bo omogočal tudi uporabo naprednejših orodij, kombiniranje podatkov ter modeliranje.

Potencialni uporabniki v primeru naravnih nesreč so vsi, ki se ukvarjajo s hidrološkimi pojavi, z reševanjem, to so v prvi vrsti URSZR, gasilci in drugi, ustvarjeni rezultati pa bodo tudi pomemben dejavnik pri obveščanju javnosti. Če bi razpolagali tudi s podatki visoke prostorske ločljivosti, bi bilo rezultate interpretacije in izdelane karte mogoče uporabiti pri reševanju, saj bi bile karte poplavljenih območij narejene v nekaj dneh po dogodkih oziroma še v času visokih voda. Velik pomen dobljenih rezultatov ima tudi ocena škode ter izboljšanje postopkov pri odpravljanju posledic poplav in preprečevanju ponovitve tovrstnih nesreč. Poleg tega bodo dobljeni podatki lahko uporabljeni tudi kot vhodni ali učni podatek v modeliranju oziroma simulaciji podobnih dogodkov.

Zaključek

Pomanjkljivost, ki smo jo znova občutili ob aktivaciji programa, je, da izvajalec kartiranja in končni uporabnik nimata zadostnega vpliva na določitev območja in časovnega zaporedja načrtovanega snemanja. Kot se je pokazalo v primeru poplav tako velikega obsega, bi bili pogostejši podatki v času največjih padavin in takoj po njih izjemnega pomena tako za reševanje kot za hidrološke študije. Za učinkovita satelitska opazovanja nesreč tako postaja imperativ lasten satelitski sistem in hiter, neposreden prenos snemanj do izvajalca kartiranja.

Velik del aktivnosti centra odličnosti je namenjen daljinskemu zaznavanju in aplikacijam. Satelitske posnetke bomo uporabili tako pri napovedovanju in spremljanju vremena kot pri opazovanju zemeljskega površja in sprememb na njem. Cilj prvega delovnega paketa centra odličnosti je pripraviti samodejen sistem obdelave od zajetega podatka do spletne karte, ki bo uporabna tako za strokovno kot za splošno javnost.

Zahvala

Študija ne bi bila izvedljiva brez podpore programa Vesolje in velike nesreče. Avtorji se zahvaljujejo URSZR za aktivacijo programa ter v njem sodelujočim Evropski vesoljski agenciji (ESA) ter Kanadski vesoljski agenciji (CSA) za posredovanje posnetkov, ki smo jih v študiji uporabili. Raziskave so bile delno opravljene v okviru Centra odličnosti Vesolje-SI, ki je financiran s sredstvi Evropskih strukturnih skladov.

Literatura

ARSO (2010): Poročilo izjemno obilnih padavinah od 16. do 19. septembra 2010. Elaborat, ARSO. Ljubljana.

ECMWF:

http://www.ecmwf.int/products/forecasts/d/charts/monitoring/coverage/dcover!AMSUA!00!pop!od!mixed!w_coverage!latest/ © ECMWF, povzeto 6. 1. 2011.

Henderson, Floyd M., Lewis, Anthony J. (1998): Principles and Applications of Imaging Radar, 3rd ed. New York (ZDA).

- Puech, C., Hostache, R., Raclot, R., Matgen, P. (2009): Quality of flooded plains free water detection using radar images: Towards a methodology for estimation water depth. Proceeding of VALgEO 2009. Ispra (Italija).
- Oštir, K. (2006): Daljinsko zaznavanje. Ljubljana.
- Rakovec, J. in N Žagar, (2011): Kaj vse za potrebe napovedovanja in opazovanja vremena in klime merimo s satelitov, zbornik predavanj, 16. strokovno srečanje SZGG, Ljubljana, str. 69-78.
- URSZR (2010): Dnevni informativni bilten. Bilten, URSZR. Ljubljana. Medmrežje: <http://www.sos12.si/db/priloga/p10518.pdf>, <http://www.sos12.si/db/priloga/p10460.pdf> (20. 10. 2010).