

Pobočni masni premiki na satelitskih posnetkih SPOT: Primer območja Železnikov po vodni ujmi septembra 2007

Slope mass movements on SPOT satellite images: A case of the Železniki area (W Slovenia) after flash floods in September 2007

Mateja JEMEC¹ & Matjaž MIKOŠ²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana; e-mail: mateja.jemec@geo-zs.si

²Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana; e-mail: matjaz.mikos@fgg.uni-lj.si

Ključne besede: hudourniška poplava, plazovi, satelitski posnetki, SPOT, daljinsko zaznavanje, Železniki, Slovenija

Key words: flash floods, landslides, satellite images, SPOT, remote sensing, Železniki, Slovenia

Izvleček

V prispevku smo se osredotočili na prizadeto ozemlje zahodne in severno zahodne Slovenije, po hudourniških poplavah septembra 2007. Cilj naše raziskave je bil v prvi fazi prikaz metodologije dela določevanja verjetnosti pojavljanja plazov iz satelitskih posnetkov pred in po ujmi na območju Železnikov. V drugi fazi pa primerjava dobljenih rezultatov že z obstoječimi modeli napovedi pobočnih masnih premikanj in določiti prepoznavnost tipov plazov na satelitskem posnetku. Rezultati so pokazali, da se velik del plazovite površine, določene iz nadzorovane in nenadzorovane klasifikacije satelitskih posnetkov ujema z razredi, kjer je verjetnost pojavljanja plazov največja.

Abstract

Flash floods in Slovenia, which was exposed on September 18th 2007, demanded 6 lives, several thousand houses and over one thousand kilometres of roads were damaged and more also than 50 bridges. The highest amount of rain fell at west and north-west parts of Slovenia (northern Primorska region and southern Gorenjska region), from where heavy rain spread eastwards over the central Slovenia and in east part of Slovenia. In the article we focused on area of western and north-western part of Slovenia. The aim of present research was in the first phase to describe methodology to determine landslide occurrences from satellite images before and after natural disaster on Železniki region. Second phase was based on comparison of obtained results with the existing models for prediction of slope mass movements, and finally also to determine identificability of landslide types on a satellite image. Results have shown, that the highest part of obtaining area from supervised and unsupervised classification of satellite images, are comparable with classes of landslide susceptibility, where occurrences of landslide are largest.

Uvod

Slovenija leži na stičišču Alp, Panonske nižine, dinarsko-kraškega sveta in Sredozemlja, kar znanuje naš življenjski prostor z izjemno pokrajinsko pestrostjo in naravnimi lepotami, obenem pa tudi s številnimi naravnimi nesrečami. Vsakih nekaj let Slovenijo prizadenejo hude naravne nesreče (poplave, plazovi, potresi itd.), ki povzročijo veliko materialno škodo in stiske prizadetih ljudi, včasih pa terjajo tudi človeške žrtve. Ob vsakem takšnem dogodku se potem nekaj časa sprašujemo, zakaj se je to zgodilo, zakaj je narava tako kruta in kaj so poglobitni vzroki za nesrečo. V nekaj letih po ujmi počasi zopet pozabimo, da so naravne nesreče sestavni del narave, in se niti ne vprašamo več, ali nismo morda tudi sami odgo-

vorni za nesrečo. Davek, ki ga vsako leto poberejo poletna neurja, vodne ujme, zemeljski plazovi in druge naravne nesreče, v povprečju presega 2 % bruto domačega proizvoda. V posameznih letih je škoda, ki jo povzročijo naravne nesreče, tudi višja (Mikoš et al., 2004).

Vremenska ujma, ki je 18. 9. 2007 zajela Slovenijo, je terjala 6 življenj, poškodovanih je bilo nekaj tisoč hiš, stotine kilometrov cest in več kot 50 mostov. Največ dežja je padlo v zahodnem in severno zahodnem delu države (severna Primorska in južna Gorenjska), od koder se je deževje nadaljevalo v osrednjo Slovenijo in vzhodni del države. Največ posledic so povzročile naraščajoče reke, ki so presegle meje svoje struge in začele poplavljati (Sava, Sora, Paka, Bolska, spodnja Savinja). Vodna ujma je imela tako dva glavna »epi-

centra« zahodni in vzhodni del s skupno površino okoli 150 km x 170 km (slika 1). Na zahodu države so bila zelo močno prizadeta mesta Železniki, Cerknjo, Škofja Loka, Bohinjska Bistrica, Kropa, Davča ter soteska Baška grapa. Na vzhodu pa so največ posledic utrpeli občine Celje, Vojnik, Žalec, Velenje in Laško. V tem delu Slovenije so se sprožili tudi številni plazovi, največji se je zgodil v kraju Letuš (občina Braslovče), kjer sta bili 2 smrtni žrtvi. Uničenih ali poškodovanih je bilo na tisoče domov in avtomobilov, pod vodo je bilo tudi več uspešnih slovenskih podjetij, ogromna škoda je bila tudi na infrastrukturi.

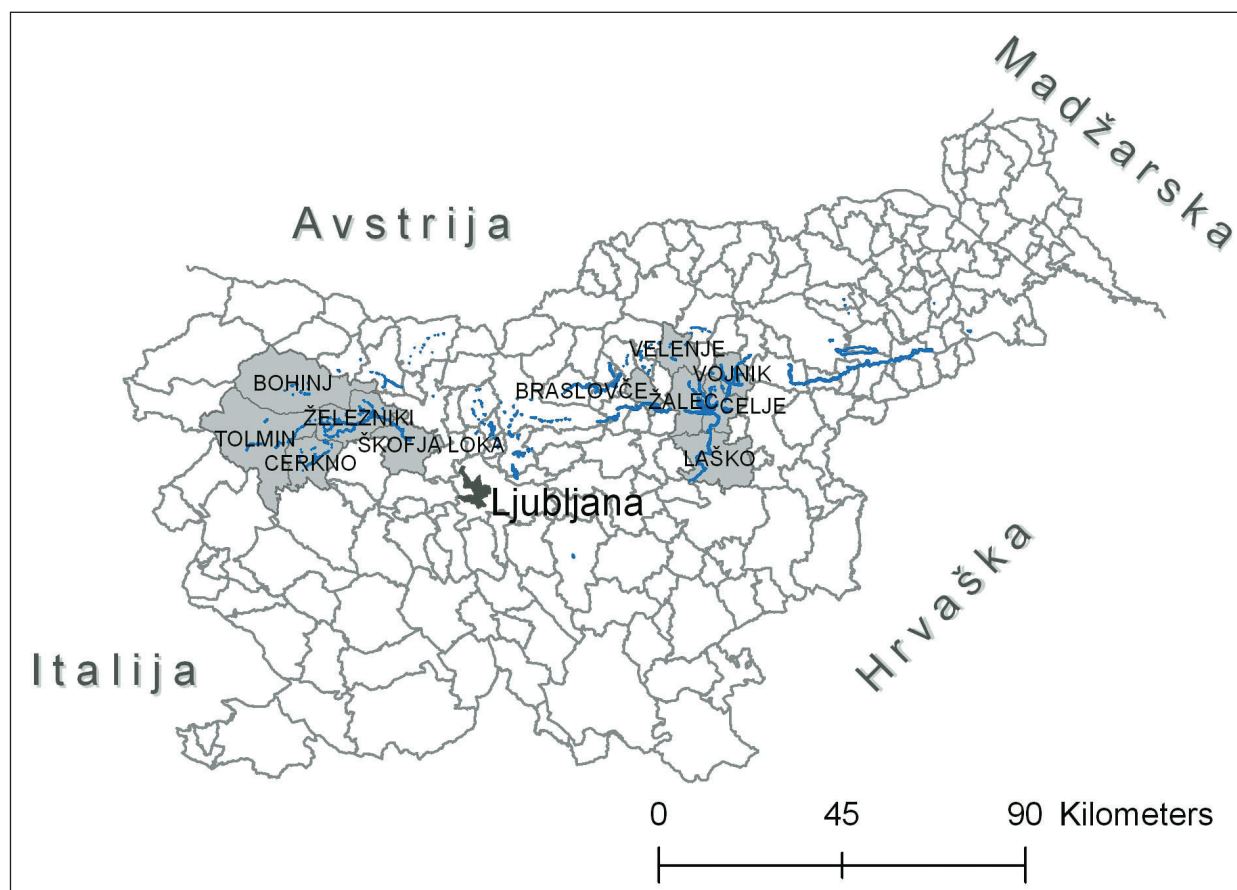
V pričujoči raziskavi smo se osredotočili na ozemlje zahodne in severno zahodne Slovenije. Cilj naše raziskave je bil v prvi fazi prikaz metodologije dela določevanja verjetnosti pojavljanja plazov iz satelitskih posnetkov pred in po ujmi na območju Železnikov. V drugi fazi pa primerjava dobljenih rezultatov že z obstoječimi modeli napovedi pobočnih masnih premikanj in določiti prepoznavnost tipov plazov na satelitskem posnetku.

Pretekle raziskave

V Sloveniji je bila izdelana študija o uporabi satelitskih posnetkov ob poplavih septembra 2007 (OŠTIR et al., 2007). Po vodni ujmi so aktivi-

rali Space and Major Disasters Charter. Posnetih in posredovanih je bilo več satelitskih posnetkov sistemov SPOT, Envisat, Radarsat, IRS in Formosat. Za najbolj uporabnega se je izkazal posnetek zahodne Slovenije sistema SPOT, posnet tri dni po neurju. Izdelali so več preglednih in podrobnih satelitskih kart prizadetih občin. Satelitski posnetki SPOT se uporabljajo na tem področju tudi v svetu, npr. za izdelavo kart dovzetnosti za plazenje tal (WEIRICH & BLESIIJS, 2007).

KOMAC & RIBIČIČ (2006) sta izdelala karto verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji v merilu 1 : 250.000. Model temelji na prostorsko časovnih faktorjih (litologija, naklon, ukrivljenost in usmerjenost pobočja, oddaljenost od geoloških mej, oddaljenost od strukturnih elementov, oddaljenost od površinskih vod, dolžina toka površinske vode ter tip rabe tal) in vplivu sprožilnih dejavnikov (maksimalne 24-urne padavine s 100-letno povratno dobo, objektni talni pospešek s 475-letno povratno dobo (LAPANJE et al., 2001) in količina povprečnih letnih padavin). Osnovo karte predstavlja baza GIS_ujme (KOMAC et al., 2005; RIBIČIČ et al., 2006), v kateri je zabeleženih 6.602 plazov, od tega jih ima 3257 znano geografsko lokacijo. Analize so bile izdelane z GIS orodjem na rastrskih podatkih s prostorsko ločljivostjo 25 x 25 metrov. Karta verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji, je bila izdelana v merilu 1 : 250.000 kot končni produkt matematičnega modeliranja pro-



Slika 1. Naraščajoče reke so za seboj pustile največ škode v občinah Železniki, Škofja Loka, Cerknjo, Tolmin in Bohinj v zahodnem delu Slovenije ter na vzhodu v občinah Laško, Celje, Žalec, Braslovče, Vojnik in Velenje.

Figure 1. Swelling rivers caused a lot of damages in the municipalities of Železniki, Škofja Loka, Cerknjo, Tolmin, and Bohinj on the west part of Slovenia and on the east in the municipalities of Laško, Celje, Žalec, Braslovče, Vojnik, and Velenje.

storsko časovnih faktorjev, ki vplivajo na pojavljanje plazov. Izdelan model temelji tudi na predhodni študiji KOMAC (2005), kjer avtor ugotavlja možnost napovedovanja plazov s pomočjo podatkov daljinskega zaznavanja z večspektralnimi satelitskimi podobami Landsat-5 TM in visokoločljivimi podobami Resurs-F2 MK-4. Prvi so bili uporabljeni v sled njihove dokazane uporabnosti pri ugotavljanju plazovitih območij, drugi pa zaradi njihove visoke ločljivosti, ki znaša od 6 do 8 oz. od 8 do 12 metrov.

Uprava za zaščito in reševanje Republike Slovenije in Podjetje za urejanje hudournikov (PUH d.d.) sta izdelala obširno študijo »Analiza upravljanja in vodenja v primeru neurja septembra 2007 na najbolj prizadetih območjih v Sloveniji« (PUH, 2008). Analiza tega poplavnega dogodka je postala tudi sestavni del evropskega projekta HYDRATE (Hydrometeorological data resources and technologies for effective flash flood forecasting), v katerem sicer Slovenija neposredno ni sodelovala. Projektna skupina je ob pomoči Agencije Republike Slovenije za okolje teden dni v okolici Železnikov izvajala popis poškodb, opravila posnetke profilov, določila mesta odnašanja in mesta odlaganja plavin ter intervjuvala domačine. S pridobljenim gradivom so potem poskušali razumeti dejansko poplavno dogajanje na terenu.

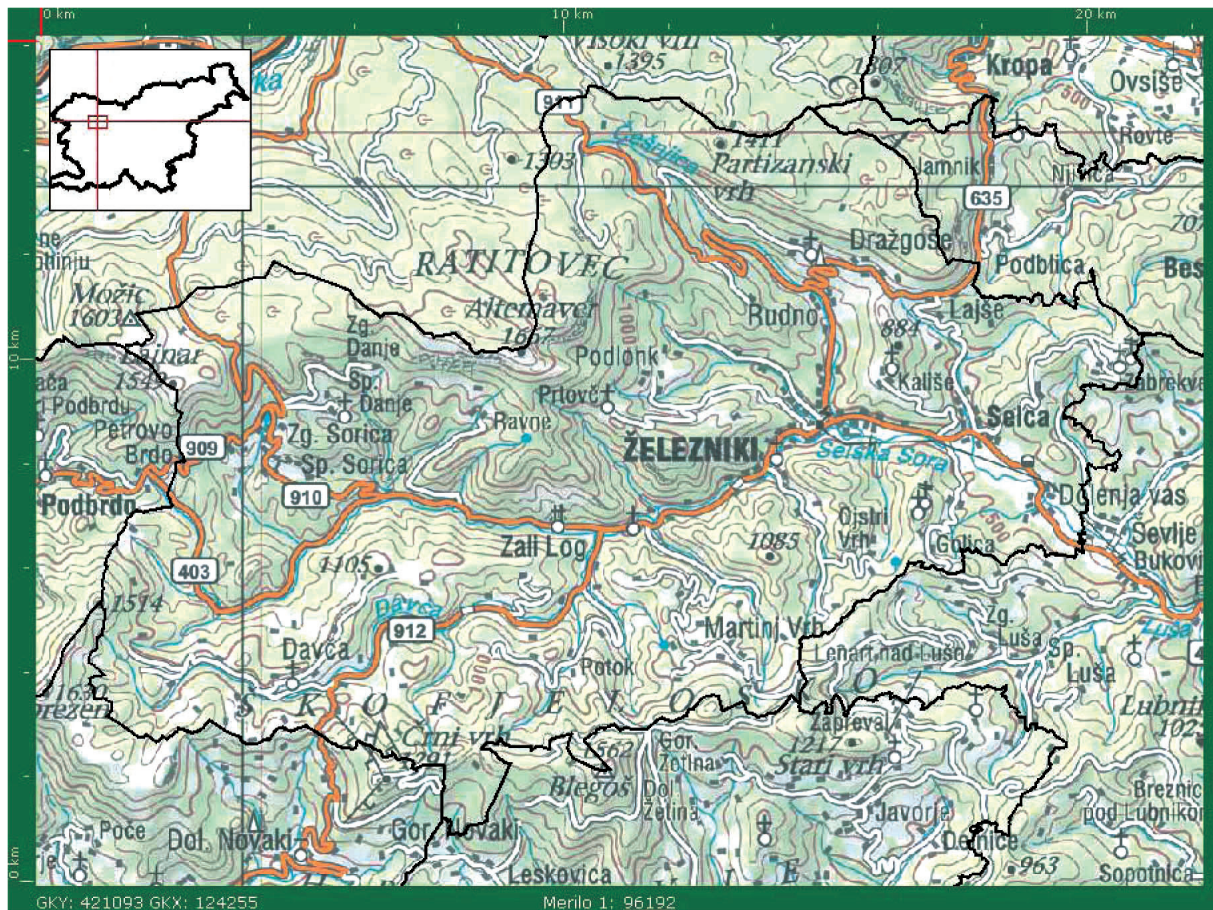
Tudi številni tuji avtorji so v svojih raziskavah uporabljali prostorske faktorje pri izdelavi mode-

lov verjetnosti pojavljanja plazov (CARRARA, 1983; CARRARA et al., 1991; KOJIMA et al., 2000; FABBRI et al., 2003; CROZIER & GLADE, 2005).

Geološki opis ozemlja

Obraavnano območje leži v zahodnem delu Slovenije v velikosti približno 27 km x 15 km in obsega občino Železniki (slika 2).

Glavni vir geoloških podatkov na območju Slovenije predstavlja Osnovna geološka karta SFR Jugoslavije v merilu 1 : 100.000. Obravnano ozemlje leži na listu Kranj OGK. Podatki o geološki zgradbi so bili povzeti po GRAD & FERJANČIČ (1974 in 1976). Na raziskovanem območju imamo zastopane karbonske in permske sklade meljevca, peščenjaka, konglomerata, sljudnatega meljevca in kremenovega peščenjaka; triasne sklade v obliki amfiklinskih plasti (skrilavi glinavec, droba, peščenjak, apnenec, vložki konglomerata in breče), baški dolomit, ki ga sestavlja plastnat dolomit s polami in gomolji roženca, rabeljske plasti (vložki apnenca, glinavca, meljevca, tufa, peščenjaka, konglomerata), psevdoziljske plasti (različno zrnat droba, tuf, skrilavci, glinavci), žažarske plasti (plastnat apnenec z vložki lapornatega glinavca); ter glinavce, lapornate glinavce, kalkarenit, breče, fliš ter ploščasti apnenec kredne starosti. Ponekod na pobočjih se nahaja tudi pobočni grušč.



Slika 2. Raziskovano območje, občina Železniki.
(http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso)
Figure 2. Research area, the municipality of Železniki.

Metodologija dela in uporabljeni podatki

GIS in podatki

Za osnovni podatek smo uporabili karto poplavnih linij, erozije in poškodb ob neurju 18. septembra 2007 (IzVRS, 2007) v digitalni vektorski obliki, sestavljeno iz grafičnih objektov (točke, poligoni ali črte), ki so preko enotnih identifikacij povezani s podatki v tabelah. Šifrant vsebuje 4 kategorije podatkov (poplavne linije, erozija poškodbe, erozija poškodbe usad, erozija poškodbe nanosi). Pri naši analizi ugotavljanja pobočnih premikanj, sta bila za nas najpomembnejša podatka »erozija poškodbe usad« in »erozija poškodbe«. V karti so zajeta le območja, ki so jih prizadele poplavljajoče reke.

Satelitske posnetke tipa SPOT, ki sta jih posnela CNES (2007) in Spot Image (2007), smo dobili v georeferencirani in ortoklasificirani obliki (Ic, 2007), vpete v državni koordinatni sistem D48 z 10 m ločljivosti in 3,2 m natančnostjo iz Inštituta za antropološke in prostorske študije, ZRC SAZU (OŠTIR et al., 2007).

Satelit	Vrsta posnetka	Datum posnetka
SPOT	SPOT 10m colour (srednja ločljivost MS)	12. 03. 2007
	SPOT 10m colour (srednja ločljivost MS)	21. 09. 2007

Uporabljeni so bili tudi naslednji informacijski sloji: naklon pobočij $> 5^\circ$, velikost celice 10 x 10 m (DMV 12,5 m), digitalni podatki osnovne geološke karte v merilu 1 : 25000, vektorski poligonski sloj o plazovih v zahodnem delu Slovenije (FAJFAR et al., 2005; RIBIČIČ et al., 2006), digitalni model višin (DMV) z velikostjo celice 12,5 m, digitalni ortofoto posnetki (DOF5).

Klasifikacijska shema

Glavni namen klasifikacije satelitskih in drugih posnetkov je prepoznavanje predmetov na zemeljski površini in njihovo upodabljanje v obliki tematskih kart. Glede na metodo dela, delimo klasifikacijo satelitskih posnetkov na nadzorovano (*ang. supervised classification*) in nenadzorovano (*ang. unsupervised*). Glavna razlika med obema je način, kako ustvarimo spektralne podpise. Pri nadzorovani klasifikaciji operater določi manjša območja, kjer je razpoznaven določen tip rabe tal, računalnik pa iz njih izračuna spektralne podpise. Pri nenadzorovani klasifikaciji podpise ustvari računalnik sam, z matematičnim združevanjem podatkov v n-razsežnem spektralnem prostoru (OŠTIR, 2006). Najpomembnejši dejavnik, ki omogoča klasifikacijo posnetkov, je tako imenovani spektralni podpis ali spektralni odziv. Omenjeni izraz uporabljamo za opis načina odboja elektromagnetnega valovanja na zemeljski površini. Spektralni odziv določenega predmeta je merilo za intenziteto odbitega elektromagnetnega valovanja v odvisnosti od valovne dolžine (CAMPBELL, 1996). Odbojnost se močno spreminja z valovno

dolžino. Z uporabo posnetkov večje prostorske (in spektralne) ločljivosti pridejo na dan prednosti in tudi slabosti njihove obdelave. Najbolj očitna prednost je dostop do več podrobnosti, kar pomeni večjo ločljivost manjših objektov na posnetku. Druga prednost je večja homogenost posamezne celice na posnetku. To pomeni, da ena celica predstavlja enega ali nekaj različnih tipov površja, vsekakor pa manj kot celica pri slabši prostorski ločljivosti. Ovira, ki se pojavi ob večanju prostorske ločljivosti, je posledično povečanje števila tipov površja in s tem razredov, ki jih opisujejo pri klasifikaciji posnetka (CAMPBELL, 1996).

Pri nenadzorovani klasifikaciji piksle razporedimo v razrede glede na njihovo naravno združevanje v spektralnem prostoru. Osnovna ideja, ki jo uporabljamo je, da so vrednosti enake pokrovnosti (ali podobni predmeti) blizu skupaj v spektralnem prostoru, vrednosti različnih tipov pokrovnosti pa so daleč narazen. To je sicer nekoliko idealizirano, saj vedno pride do določenega prekrivanja razredov in je zato ločevanje precej težavno, poleg tega pa je posamezni informacijski razred pogosto sestavljen iz več spektralnih informacijskih razredov. Za nenadzorovano klasifikacijo lahko torej rečemo, da najprej z upoštevanjem številčnih vrednosti podatkov določimo spektralne razrede, ki jim v nadaljevanju priredimo informacijske razrede (OŠTIR, 2006).

Pri nadzorovani klasifikaciji za ustvarjanje spektralnih vzorcev uporabimo svoje poznavanje zemeljskega površja. Na nek način računalnik »naučimo«, kaj je recimo voda in kaj trava, nato pa svoje znanje prenese na celoten posnetek. Postopek nadzorovane klasifikacije v grobem razdelimo na tri dele: ustvarjanje in urejanje vzorcev, razvrstitev v razrede ter analiza natančnosti in predstavitve rezultatov. Prvi in najpomembnejši korak pri nadzorovani klasifikaciji je izbira vzorcev. Operater praviloma na računalniškem zaslonu označi območja, kjer ve, da se nahaja določen tip površja. Program za obdelavo posnetkov nato izračuna spektralni podpis tipa pokrovnosti. Ta ponavadi obsega povprečne, največje in najmanjše vrednosti, standardne odklone in podobno v vseh kanalih, ki jih imamo na razpolago. Za vsakega izmed razredov je potrebno izbrati dobre, to je homogene in dovolj velike učne vzorce. Slednje ponavadi določamo glede na poznavanje površja, pa tudi s primerjavo topografskih in različnih tematskih kart. Posebno pozornost je treba posvetiti njihovi homogenosti, zato je smiselno postopek iterativno ponavljati in neprimerne vzorce izločevati. Pomembno je tudi, da so vzorci reprezentativni, torej da dobro predstavljajo iskane kategorije (OŠTIR, 2006).

Metodologija

Satelitske podobe so bile obdelane in analizirane v programskem orodju ERDAS Imagine 9.1.

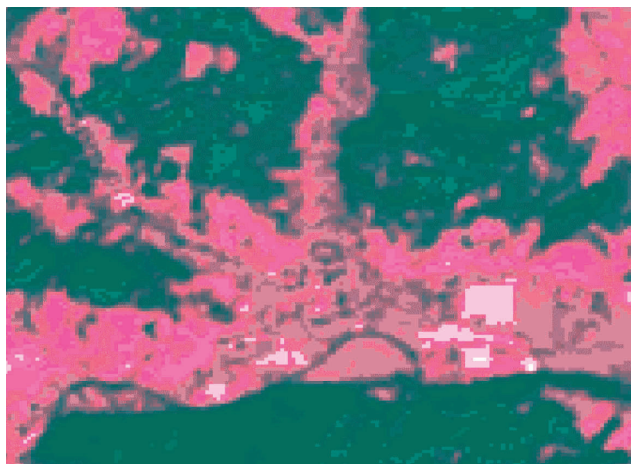
Za boljšo ponazoritev rezultatov smo uporabili 2 satelitski podobi, in sicer prvo, ki je bila posneta pred ujmo in drugo, ki je bila posneta 3 dni po intenzivnih padavinah. Pojavi plazov so povezani z različnimi dejavniki in podatki daljinskega

zaznavanja upoštevajo nekatere od motečih ali manj pomembnih dejavnikov. Za določevanje in prepoznavanje plazov na satelitskih posnetkih so najboljši tisti, ki so posneti pozimi (brez snežne odeje) ali pa zgodaj pomladi, ko še ni vegetacije. Prvi posnetek pred ujmo (12. 03. 2007) je bil narejen na začetku pomladi, to je v začetni rasti dobi vegetacije (v našem primeru ne moremo reči, da je bilo ravno brez vegetacije, ker so bile relativno visoke temperature v času pred snemanjem posnetka). Drugi je bil posnet v začetku jeseni, v pozni rasti dobi. Tu so veliko večji odkloni pri spektralnih značilnostih, ki se pojavijo zaradi senc krošenj dreves, pašnikov, poljskih pridelkov itd. Interpretacija v pozni rasti dobi tako lahko zahteva precej natančno lokalno poznavanje kmetijskih navad (WRIGHT & MORRICE, 1997).

Pred ujmo

Nenadzorovano klasifikacijo, satelitskega posnetka SPOT MS posnetega 12. 03. 2007 (slika 3), smo uporabili za začetno pridobivanje osnovnega znanja o »obnašanju« t.j. naravni razporeditvi vzorcev. Posamezna testna območja smo klasificirali na 35 razredov.

35 spektralnim razredom smo določili informacijske razrede. Na sliki smo s pomočjo ortofoto posnetkov (DOF 5) prepoznali mesta, reke, gozd, kmetijske površine in tudi že znane plazove in pobočne premike. Klasificiran satelitski posne-



Slika 3. Prikaz satelitskega posnetka SPOT pred ujmo, dne 12. 03. 2007, RGB kanali 432.

Figure 3. SPOT satellite image before disaster, on March 12th 2007, RGB channels 432.

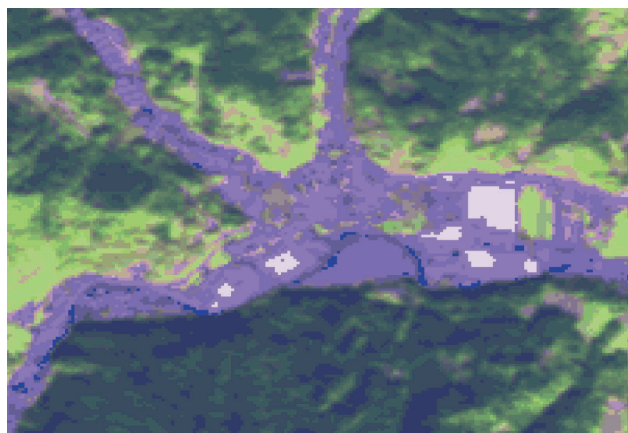
tek smo prekrili z vektorskim slojem poplavnih linij, erozije in poškodb ob neurju 18. septembra 2007 ter s plazovi iz baze GIS_ujme. Pri naši raziskavi smo se osredotočili le na plazove in pobočne masne premike, zato smo izdvojili 4 informacijske razrede, ki pripadajo slednjim. Nadalje je obdelava potekala v programu ESRI ArcMap 9.2, kjer smo dobljene informacijske razrede prekrili z rastrom *naklon pobočij* $>5^\circ$, ter tako izločili vsa območja, ki imajo naklon manjši od 5° (ni verjetnosti pojavljanja plazov). Ker je podatek o vrsti kamnine zelo pomemben podatek o stabilnosti tal in tudi o možnosti nastanka kakršnih kolih po-

dorov, plazov ter usadov, smo za to potrebo izbrali geološko karto lista Kranj, v merilu 1 : 25.000. Glavni namen je bil izločiti relativno trde kamnine (apnenec, dolomit, apnenec in dolomit), za katere velja, da na pojavljanje plazov vplivajo redkeje kot ostale kamnine.

Po ujmi

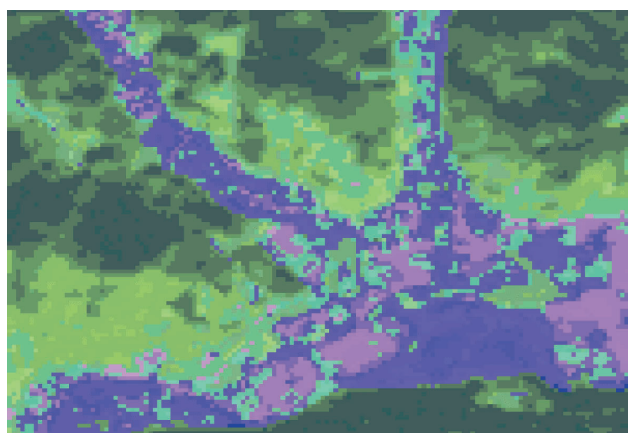
Za prikaz razmer po ujmi smo naredili primerjavo med nadzorovano in nenadzorovano klasifikacijo satelitskega posnetka SPOT MS, posnetega 21. 09. 2007 (slika 4). Nenadzorovana klasifikacija je potekala na enak način kot klasifikacija pred ujmo. Prav tako smo 35 spektralnim razredom določili njihove informacijske razrede, še posebno smo se osredotočili na razrede, ki pripadajo plazovom in pobočnim masnim premikom. Na posnetku smo določili 5 informacijskih razredov, ki so si v spektralnem prostoru zelo blizu in označujejo plazovita območja.

Pri nadzorovani klasifikaciji (slika 5) smo za vsako kategorijo ali informacijski razred izbrali več učinkov vzorcev. Pri omejevanju vzorcev smo se naslonili predvsem na digitalne ortofoto posnetke, v veliko pomoč pa nam je bil še vektorski sloj rabe



Slika 4. Prikaz satelitskega posnetka SPOT po ujmi, dne 21. 09. 2007, kanali 413.

Figure 4. SPOT satellite image after disaster, on September 21st 2007, channels 413.



Slika 5. Prikaz nadzorovane klasifikacije satelitskega posnetka SPOT po ujmi, dne 21. 09. 2007, kanali 413.

Figure 5. Supervised classification of satellite image SPOT after disaster, on September 21st 2007, channels 413.

tal, izdelan na Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (GERK, 2008). Vzorce gozda smo zaradi zelo različnega spektralnega podpisa omejevali posebej le glede na barvo, saj namen ni bil podrobno ločevanje gozda. Pri določevanju plazov smo za osnovo vzeli ortofoto posnetke in že znane lokacije plazov, npr. plaz Slano blato pod Lokavcem ter tako določili tri informacijske razrede, ki označuje plazove. Nadaljnji postopek analize je enak predhodno opisanim postopkom.

Rezultati in razprava

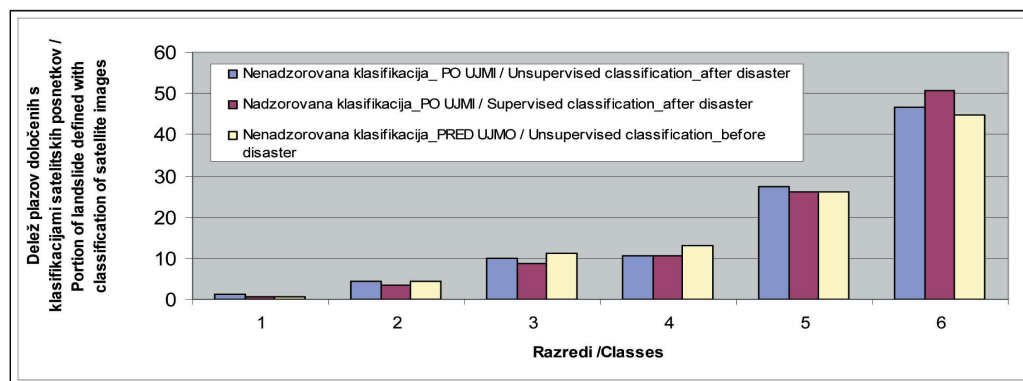
Obravnavana posnetka pred in po ujmi sta bila posneta z istim satelitom in oba imata 4 spektralne kanale. Med seboj se razlikujeta potem, da sta bila posneta z različno kamero (HRG1 in HRG2) ter imata različne kalibracijske parametre (Ic, 2007). Slednji se močno razlikujejo med seboj na obeh posnetkih in za neposredno primerjavo, bi bilo potrebno narediti radiometrično kalibracijo. Zaradi tega v nadaljnji analizi rezultatov ni obravnavane neposredne primerjave med posnetkoma, temveč smo se osredotočili na primerjavo med nadzorovano in nenadzorovano klasifikacijo pred in po ujmi ter ostalimi že izdelanimi modeli napovedi oz. prostorskimi pojavljanji plazov. Odstopanja se pokažejo tudi pri primerjavah med posameznima klasifikacijama (nadzorovana in nenadzorovana) pred in po ujmi, ko gre razliko pripisati načinu postopka klasifikacije in času nastanka posnetka. Nenadzorovana klasifikacija je v nekaterih primerih bolj smotrna za določevanje plazovitih območij, ker se pri tem izognemo subjektivnemu vplivu na razdelitev. Pri primerjavi porazdelitve območji pojavljanja plazov, dobljenih iz satelitskih posnetkov, z verjetnostnim modelom, ki sta ga izdelala KOMAC & RIBIČIČ (2006), gre raz-

liko pripisati različnim izhodiščnim parametrom, uporabi različnih tipov satelitskih posnetkov ter metodologiji izdelave modela napovedi. Prav tako podatki poplavnih linij, erozije in poškodb ob neurju 18. septembra 2007 zajemajo le ožje območje reke Sore in Davče, to je neposredno ob strugi in na površinah, ki sta ju reki poplavlili. Primanjkujejo podatki iz višjih ležečih predelov, kjer je voda drla in odnašala seboj material, posledično pa so nastali udori, podori in pobočni masni premiki, ki bi nam pomagali pri ovrednotenju posnetkov.

Pri primerjavi deležev plazov, ki smo jih določili s klasifikacijami satelitskih posnetkov (slika 6) z razredi, ki označujejo verjetnost pojavljanja plazov (KOMAC & RIBIČIČ, 2006) je razvidno, da največji delež plazov, ki smo jih določili z dvema različnima postopkoma klasifikacije (nadzorovano in nenadzorovano klasifikacijo), pade v razred 5 in 6. Rezultati nenadzorovane in nadzorovane klasifikacije pred in po ujmi znotraj posameznih razredov, so med seboj primerljivi. Nekoliko večje odstopanje imamo pri nadzorovani klasifikaciji po ujmi, kjer se več kot 50 % površine uvršča v šesti razred, kjer je verjetnost pojavljanja plazov največja (tabela 1).

Pri razmerju površin dobljenih s klasifikacijo satelitskih posnetkov (slika 7), najbolj izstopa površina pojavljanja plazov iz nenadzorovane klasifikacije pred ujmo, kjer je največji delež površine zastopan v šestem razredu. To lahko pripišemo času nastanka posnetka (začetek rastne dobe), saj so piksli pri klasifikaciji lahko zavzeli večjo površino, ki je označevala pobočne procese. Medtem ko v jesenskem času, veliko površine zakrivajo gozdovi.

Na sliki 8 imamo prikazano porazdelitev površine plazov iz baze GIS_ujme (KOMAC et al., 2005) po verjetnostnih razredih pojavljanja plazov (KOMAC & RIBIČIČ, 2006). Največ plazov iz omenjene



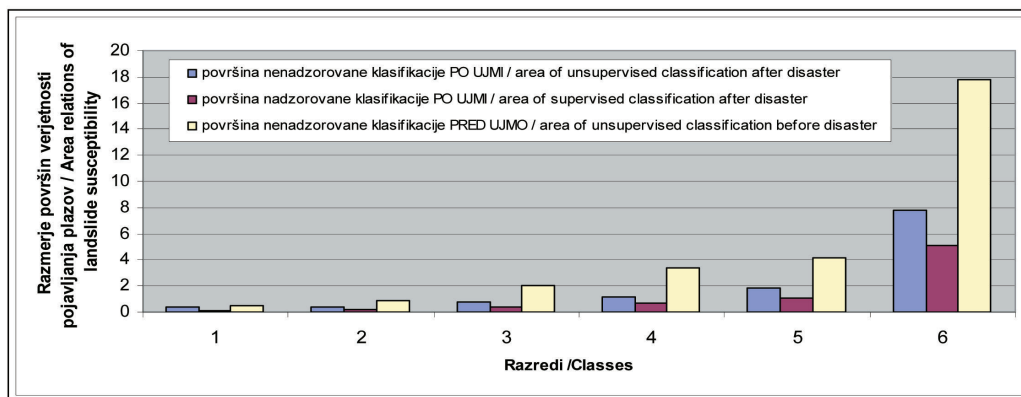
Slika 6: Delež plazov določenih s klasifikacijami satelitskih posnetkov po verjetnostnih razredih pojavljanja.

Figure 6: Portion of landslides defined with classifications of satellite images according to landslide susceptibility.

Razred / Class	Verjetnost pojavljanja plazov / Landslide susceptibility	Pred ujmo nenadzorovana / Before disaster unsupervised	Po ujmi nadzorovana / After disaster supervised	Po ujmi nenadzorovana / After disaster unsupervised
1	Ni je / None	0,7	0,7	1,3
2	Zelo majhna / Very low	4,2	3,3	4,3
3	Majhna / Low	11,2	8,7	9,8
4	Srednja / Medium	13	10,5	10,5
5	Velika / High	26,1	26,2	27,5
6	Zelo velika / Very high	44,9	50,6	46,7

Tabela 1. Porazdelitev površin pojavljanja plazov po verjetnostnih razredih (KOMAC & RIBIČIČ, 2006).

Table 1. Distribution of landslide occurrences according to landslide susceptibility classes (KOMAC & RIBIČIČ, 2006).

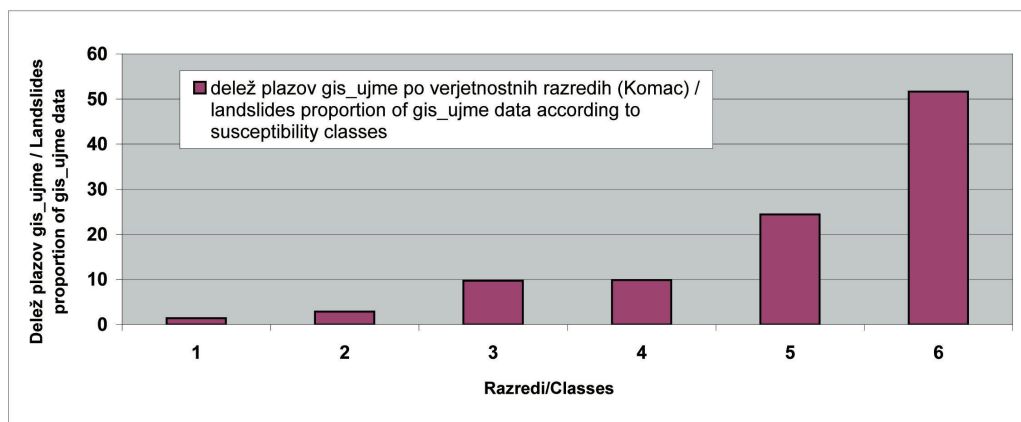


Slika 7: Razmerje površin dobljenih s klasifikacijo satelitskih posnetkov po verjetnostnih razredih pojavljanja. Figure 7: Relation between areas obtained with classifications of satellite images and landslides susceptibility.

baze je zastopanih v 6 razredu, v katerem je malo več kot 51 % vseh plazov iz baze.

Na sliki 9 je prikazana površina plazov določena s klasifikacijami, ki prekriva določen delež plazov iz baze GIS_ujme. Upoštevali smo število posameznih območji (rastrskih celic), ki se nahajajo znotraj površin plazov iz baze GIS_ujme na raziskovalnem območju, za vse tri načine klasifikacije posebej. Največ verjetne površine za plazove določene s klasifikacijami prekriva od 10 do

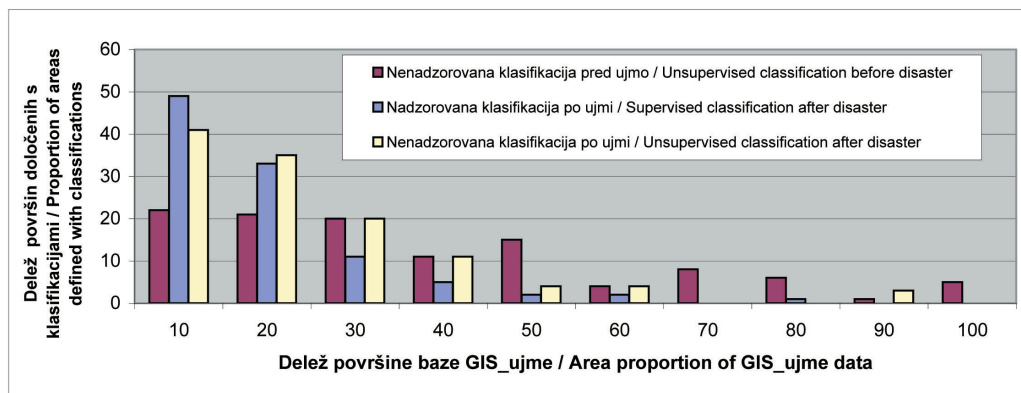
Ker je za določevanje plazov iz satelitskih posnetkov veliko odvisno od samega posnetka (dobra prostorska ločljivost, vremenske razmere v času nastanka posnetka, pred obdelava podob itd.) se nemalokrat zgodi, da dobljeni rezultati niso povsem v skladu s pričakovanimi. V našem primeru smo želeli tudi pogledati katere tipe plazov se da določiti oz. se jih vidi direktno na satelitskem posnetku še pred klasifikacijo. Uporabili smo visokoločljivi satelitski posnetek SPOT



Slika 8: Porazdelitev površine plazov iz baze GIS_ujme po verjetnostnih razredih pojavljanja. Figure 8: Distribution area of landslides from GIS_ujme data according to landslide susceptibility classes.

20 % površine plazov iz GIS_ujme, medtem ko smo dobili zelo malo površin, ki 100 % prekrivajo določeno površino plazov iz baze GIS_ujme. Iz tega lahko zaključimo, da večina dobljenih površin, ki naj bi določale ploskve večje nestabilnosti oz. zemeljskih premikov, sovpadajo že z ugotovljenimi lokacijami plazov. Plazovi iz baze GIS_ujme so v nekaterih primerih zabeleženi v prevelikem obsegu, kar pomeni, da se tudi v njihovem primeru ne ve natančnega mesta porušitve.

s pankromatskim kanalom in prostorsko ločljivostjo 2,5 m. Najbolje in najlepše se na posnetku da določiti »tip plazov«, ki označuje gibanje plazine s prekinitvami. Ti plazovi so številčno najbolj zastopani na raziskanem območju (tabela 2) in tudi v največjem obsegu. Na satelitskem posnetku, je njihova struktura pojavljanja v večini primeri jasno nakazana, ponavadi se nahajajo nad cestami, v grapah ali pa v bližini objektov (slika 10).



Slika 9: Delež površine, ki prekriva plazove iz baze GIS_ujme. Figure 9: Proportion of area, which cover landslides from GIS_ujme data.



Slika 10. Na izostrenem (pansharpened) satelitskem posnetku SPOT, je označen tip plazov 2, ki predstavlja gibanje plazine s prekinitvami.

Figure 10. On pansharpened SPOT satellite image we indicate type of landslide 2, which represent landslide movement with interruption.

Tabela 2. Razdelitev tipov plazov v odvisnosti od hitrosti gibanja mase oz. zdrsna na raziskanem območju (po KOMAC, 2005).
Table 2. Distribution of type of landslide in dependence from velocity of mass movements or slide on research area (after KOMAC, 2005).

Oznaka / Label	Tip plazanja / Type of landslide	Pojavlanje / Occurrences
1	Umirjen ali fosilni plaz / Ancient mass movements	16
2	Gibanje plazine s prekinitvami / Mass movement with interruptions	197
3	Počasno plazenje / Slow mass movements	26
4	Hitro plazenje / Rapid mass movements	/
5	Trenutni zdrs plazeče mase (usad, podor) / Slip mass movements	28
6	Neznana hitrost gibanja plazine / Unknown velocity of mass movements	/

Zaključek

V predstavljeni študiji smo prikazali metodologijo določevanja verjetnosti pojavljanja plazov iz satelitskih posnetkov pred in po ujmi na območju Železnikov. Ugotavljamo, da so naši rezultati pokazali enega izmed načinov določevanja plazovitih območij iz satelitskih posnetkov. Ker zaradi omejitvenih dejavnikov (kalibracijski parametri, način klasifikacije, čas nastanka posnetka) neposredna primerjava med posnetkoma ni bila mogoča, smo se osredotočili na primerjavo z ostalimi obstoječimi modeli napovedi pomožnih masnih premikanj. Rezultati so pokazali, da se največji deleži dobljene površine iz nadzorovane in nenadzorovane klasifikacije satelitskih posnetkov ujemajo z razredi, kjer je verjetnost pojavljanja plazov največja. Zato lahko uporabljeno metodologijo smatramo za dobro tehniko določevanja pojavov plazovitosti, ki pa bi z uporabo satelitskih posnetkov boljše prostorske ločljivosti in terenskega preverjanja lokacij ter uporabo ostalih sodobnih orodij za napovedovanje plazovitosti terena, podala še bolj natančne lokacije sprožitve zemeljskih plazov. Tako bi pripomogli prostorskim planerjem ter ustanovam, ki se ukvarjajo z varovanjem civilnega prebivalstva in dobrin, da strateško pristopijo k reševanju problematike oziroma, da se temeljito pripravijo na potencialne posledice ter na njihovo odpravljanje.

Zahvala

Avtorja se zahvaljujeta Znanstveno raziskovalnemu centru, in sicer Inštitutu za antropološke in prostorske študije (dr. Krištof Oštir, Peter Pehani in Aleš Marsetič) za podatke o satelitskih posnetkih ter pri njihovi interpretaciji in dr. Marku Komacu za posredovane podatke. Satelitski posnetki so bili dobljeni v okviru programa Space and Major Disasters (aktivacija št. 179).

Literatura

- CAMPBELL, J.B. 1996. Introduction to remote sensing. New York, Taylor and Francis, 622pp .
CARRARA, A. 1983: Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Mathematical Geology*, 15: 403–426.
CARRARA, A., CARDINALI, M., DETTI, R., GUZZETTI, F., PASQUI, V. & REICHENBACH, P. 1991: GIS techniques and statistical models in evaluating

landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16: 427–445.

- CNES 2007: Centre National d'Etudes Spatiales, Paris. <http://www.cnes.fr/> (20. 9. 2007)
CROZIER, M.J. & GLADE, T. 2005: Landslide hazard and risk: Issues, concepts and approach. In Glade, T., Anderson, M.G., Crozier, M.J., eds., *Landslide Hazard and Risk*, John Wiley & Sons, (New York):1–40.
FABBRI, A.G., CHUNG, C.F., CENDREO, A. & REMONDO, J. 2003: Is Prediction of Future Landslides Possible with a GIS? *Natural Hazards*, 30: 287–499.
FAJFAR, D., RAVNIK, D., RIBIČIČ, M., KOMAC, M. 2005: Slovenian National Landslide DataBase as a solid foundation for the landslide hazard analysis. – V: Abstracts of the Contributions of the EGU General Assembly 2005: Vienna, Austria, 24–29 April 2005, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 7). Katlenburg-Lindau: EGU, 4 str.
GERK 2008: Raba kmetijskih zemljišč Republike Slovenije. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana. <http://rkg.gov.si/GERK/> (20.9.2008)
GRAD, K. IN FERJANČIČ, L. 1974: Osnovna geološka karta SFRJ, list Kranj, 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
GRAD, K. IN FERJANČIČ, L. 1976: Tolmač za list Kranj L 33–65. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.

- Ic 2007: International Charter »Space and Major Disasters«. http://www.disasterscharter.org/main_e.html (20.9.2007)
- IzVRS = Inštitut za vode Republike Slovenije, 2007: Karta poplavnih linij, erozije in poškodb ob neurju 18. septembra 2007 (stanje 28. 9. 2007). Ljubljana.
- KOJIMA, H., CHUNG, C.F. & VAN WESTEN, C.J. 2000: Strategy on the landslide type analysis based on the expert knowledge and the quantitative prediction model. *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing*, 33/Part-B7: 701–708.
- KOMAC, M., ŠINIGOJ, J., KRIVIC, M., KUMELJ, Š., HRIBERNIK, K. 2005: Novelacija in nadgradnja informacijskega sistema o zemeljskih plazovih in vključitev v bazo GIS_UJME: fazno poročilo za leto 2004. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 50 str.
- KOMAC, M. 2005: Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov = Landslide occurrence probability prediction with analysis of satellite images and other spatial data. Geološki zavod Slovenije (Ljubljana) 284 str.
- KOMAC, M. & RIBIČIČ, M. 2006: Landslide susceptibility map of Slovenia at scale 1 : 250.000. *Geologija* (Ljubljana) 49/2: 295–309.
- LAPANJE, J., ŠKET MOTNIKAR, B. & ZUPANČIČ, P. 2001: Potresna nevarnost Slovenije – Projektni pospešek tal. Agencija Republike Slovenije za okolje, Uprava RS za geofiziko, Ministrstvo za okolje in prostor, Ljubljana. (http://www.arso.gov.si/podrocja/potresi/podatki/projektني_pospesek_tal.html)
- MIKOŠ, M., BRILLY, M. & RIBIČIČ, M. 2004: Poplave in zemeljski plazovi v Sloveniji = Floods and landslides in Slovenia. *Acta hydrotechnica* (Ljubljana) 22/37: 113–133.
- OŠTIR, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Založba ZRC (Ljubljana), 250 str.
- OŠTIR, K., KOKALJ, Ž., MARSETIČ, A., PEHANI, P. & SCHNEIDERHAN, T. 2007: Floods and landslides in Slovenia, Space and major disasters – activation No. 179. Strokovno poročilo, Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU, German Aerospace Center (DLR). Ljubljana, München.
- PROSTORSKI PODATKI DOF 5. Listi C25, D25, D24 (2000) in C24 (2005). Geodetska uprava Republike Slovenije.
- PUH, 2008: Analiza upravljanja in vodenja v primeru neurja septembra 2007 na najbolj prizadetih območjih v Sloveniji. Poročilo, št. Proj. IV – 06/2008. Ljubljana, PUH/Podjetje za urejanje hudournikov: 87 str., http://www.sos112.si/slo/tdocs/naloga_88.pdf
- RIBIČIČ, M., KOMAC, M., MIKOŠ, M., FAJFAR, D., RAVNIK, D., GVOZDANOVIČ, T., KOMEL, P., MIKLAVČIČ, L., KOSMATIN FRAS, M. 2006: Novelacija in nadgradnja informacijskega sistema o zemeljskih plazovih in vključitev v bazo GIS_UJME: končno poročilo. Ljubljana: UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 1 zv. (loč. pag.), ilustr. http://www.sos112.si/slo/tdocs/zem_plaz_gis_ujme.pdf
- SPOT IMAGE 2007: Toulouse. <http://www.spotimage.fr/> (20.9.2007)
- WEIRICH, F. & BLESIVUS, L. 2007: Comparison of satellite and air photo based landslide susceptibility maps. *Geomorphology* (Amsterdam) 87/4: 352–364.
- WRIGHT, G. G. & MORRICE, J. G. 1997. Landsat TM spectral information to enhance the land cover of Scotland 1988 dataset. *International journal of remote sensing*, 18: 3811 – 3834.
- Spletne strani MINISTRSTVA ZA OBRAMBO- URSZR <http://www.sos112.si/slo/index.php> (20.9.2008)
- Spletne strani: HYDRATE PROJECT: <http://www.hydrate.tesaf.unipd.it/> (15.10.2008)