

Ugotavljanje pokrovnosti iz satelitskih posnetkov

IZVLEČEK

Pokrajinsko pestra Slovenija predstavlja odličen "poligon" za preizkušanje različnih metod obdelave daljinsko zaznanih podob. Predstavljena je metoda izdelave sloja pokrovnosti iz satelitskih posnetkov Landsat ter podane temeljne značilnosti izdelave vektorskega sloja pokrajinskoekoloških tipov. Izpostavljene so prednosti in pomanjkljivosti uporabljenih metod ter "ujemanje" rezultatov z obstoječo pokrajinsko podobo.

Ključne besede:

pokrajinskoekološki tipi, satelitski posnetki, pokrovnost, raba tal, Slovenija.

ABSTRACT

Land Cover Map of Slovenia

(based on Landsat satellite images)

Slovenia with its diverse landscapes is a perfect "test site" for assessment of remotely sensed imagery processing methods. The article introduces a method of producing a Landsat satellite imagery land cover map. Basic characteristics of landscape-ecological types (of vector layer production) are given as well as the types evaluation with selected indicators according to the created land cover.

Key words:

landscape-ecological types, satellite images, land cover, land use, Slovenia.

Avtorja besedila:

ŽIGA KOKALJ, univ. dipl. geog.,

KRIŠTOF OŠTIR, dr. geod.,

Inštitut za antropološke in prostorske študije,

ZRC SAZU, Ljubljana, Slovenija

E-pošta: ziga.kokalj@zrc-sazu.si

E-pošta: kristof@zrc-sazu.si

Avtorja fotografij:

ŽIGA KOKALJ in IRMA POTOČNIK SLAVIČ

COBISS I.04 strokovni članek

in vrednotenje pokrajinskoekoloških tipov Slovenije

Pokrajinskoekološki tipi so oblikovani kot bolj ali manj homogene celote in naj bi se podobno odzivali na človekove posege. Vendar, je to res? Kako se ti odzivi izražajo v pokrovnosti? Katere so skupine morebitnih odstopanj in vzroki zanje? Na ta in druga vprašanja smo skušali odgovoriti v opisani raziskavi, hkrati pa iz posnetkov satelita Landsat 7 izdelati zanesljiv zemljevid pokrovnosti. Pri tem so bile uporabljene napredne klasifikacijske tehnike in pomožni podatki ter novejša spoznanja s področja daljinskega zaznavanja. Izdelan zemljevid pokrovnosti podaja prostorsko razporeditev izbranih kategorij na ravni 25 metrske celice in je primeren zlasti za študije regionalne ali državne ravni.

S postopnim abstrahiranjem pokrajinskih razlik med posameznimi pokrajinskoekološkimi enotami Slovenije, opredeljenimi z značilnimi mozaiki ekotopov, lahko izločimo glavne pokrajinskoekološke tipe, ki so za preučevanje ranljivosti pomembni predvsem zaradi bolj ali manj homogenega odzivanja na najrazličnejše antropogene vplive. Pri pokrajinskoekološki tipizaciji je bilo z medsebojno primerjavo na ravni pokrajinskih enot opredeljenih 13 tipov (ter morje; 9).



Izdelava zemljevida pokrovnosti

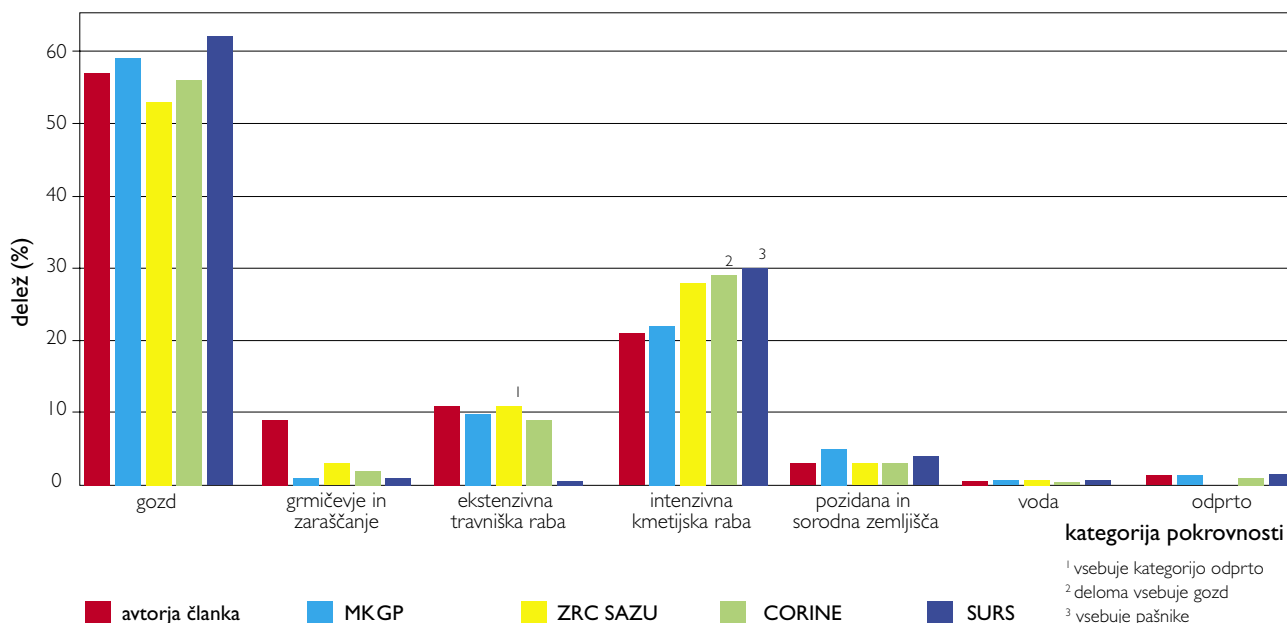
Za celotno območje Slovenije obstajajo številni zemljevidi rabe tal oziroma pokrovnosti (prvo opredeljuje funkcijska vloga zemljišča, drugo pa njegov dejanski fizični videz) v digitalni obliki:

- zemljiški kataster, ki ga vodi Geodetska uprava RS (GURS),
- zemljevid rabe tal Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP),
- zemljevid pokrovnosti CORINE, ki ga hrani GURS,
- statistični GIS pokrovnosti in rabe tal, izdelan na Statističnem uradu RS (SURS) in
- zemljevid pokrovnosti, izdelan na Inštitutu za antropološke in prostorske študije Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti (ZRC SAZU).

Omenjeni zemljevidi so bili izdelani na podlagi različnih virov in z različnimi metodami; zaradi različnih namenov se razlikujejo opredelitve in število kategorij ter kakovost zemljevidov. Pomembna razlika je v času, potrebnem za njihovo izdelavo, v številu ljudi, ki so zemljevid izdelovali, in potrebnih finančnih

sredstvih. Odločitev za izdelavo novega zemljevida pokrovnosti izhaja iz želje po uporabi satelitsko zaznanih podob in "samodejne" metode pridobivanja pokrovnosti (tj. klasifikacije) ter izogibanju dolgotrajnejši "ročni" izdelavi (tj. z omejevanjem poligonov na zaslonu). Samodejna klasifikacija namreč omogoča izdelavo kakovostnega zemljevida pokrovnosti večjih območij z delom posameznika v nekaj mesecih - v nasprotju z ročnim načinom, ki v enakih razmerah traja več let.

Izdelava zemljevida pokrovnosti iz satelitskih posnetkov Landsat povezuje različne načine klasifikacije in uporabo pomožnih podatkov, med katerimi so najpomembnejši digitalni ortofoto posnetki in model višin s prostorsko ločljivostjo 25 krat 25 m (7). Kot temeljni vir so bili uporabljeni trije satelitski posnetki sistema Landsat, prevzorčeni na ločljivost 25 krat 25 m (iz let 1999 in 2000). Ozemlje Slovenije je bilo razdeljeno na šest manjših neenakih območij, v katerih je bil glede na reliefno izoblikovanost in pričakovano pokrovnost poudarek na klasifikaciji različnih kategorij. Le tako je moč v večji meri zaobjeti posebnosti in razlike, ki so posledica reliefne razčlenjenosti, drobne zemljiško-posestne strukture, pestrosti kamninske in pedološke sestave, mikroklimatskih razmer in podobnega. Po opravljeni klasifikaciji so bila manjša območja ponovno združena v mozaik, pri čemer so bila glavna vodila vizualno ugotovljena kakovost klasifikacije, starost posnetka in meje pokrajinskoekoloških tipov.



Slika 1: Primerjava različnih zemljevidov pokrovnosti Slovenije.

Klasifikacija kategorij pokrovnosti

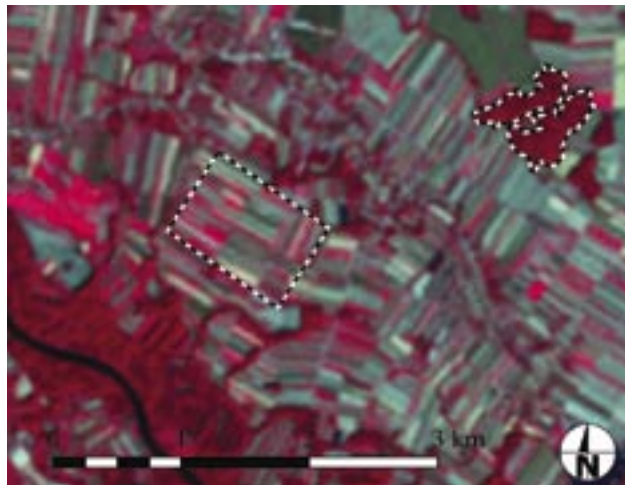
Prvi in najpomembnejši korak pri nadzorovani klasifikaciji je izbira učnih vzorcev, to je območij z znanim tipom pokrovnosti. Operater jih praviloma označi na računalniškem zaslonu. Program za obdelavo posnetkov nato izračuna spektralni podpis tipa pokrovnosti.

Izbranih je bilo naslednjih sedem kategorij pokrovnosti: gozd, grmičevje in zaraščanje, ekstenzivna travniška raba, intenzivna kmetijska raba, pozidana in sorodna zemljišča, voda in odprto.

Preglednica 1: Kategorije pokrovnosti.

uporabljena kategorija pokrovnosti	vsebuje
gozd	listnati, iglasti in mešani gozd
grmičevje in zaraščanje	grmičevje, prehod iz gozda v travnik, zaraščajoči travniki, nizki (predvsem kraški) gozd, ruševje
ekstenzivna travniška raba	pašniki in košenice, visokogorsko travinje, barjanski travniki
intenzivna kmetijska raba	njive z različnimi kulturami, vrtovi, vinogradi, sadovnjaki, hmeljišča, intenzivni travniki, čredinski pašniki
pozidana in sorodna zemljišča	mesta, vasi, industrijske površine, širše prometnice in parkirišča, gradbišča
voda	morje, jezera, zajezitve, reke, soline
odprto	skalnato visokogorje, kamnolomi in peskopopi

Učni vzorci zanje so bili določeni s samodejnim in ročnim omejevanjem, kategorija odprto pa je bila pridobljena naknadno v procesu poklasifikacije. Kakovost vzorcev je bila večkrat preverjena z različnimi analizami (grafična predstavitev spektralnih odbojev vzorcev, analiza ločljivosti vzorcev, prekrivanje v spektralnem prostoru, samoklasifikacija in testna klasifikacija manjših območij), neustrezni vzorci pa so bili zamenjani. Kot glavni klasifikator je bila uporabljena metoda največje verjetnosti, saj imajo njene dobre lastnosti (zlasti velika točnost) bistveno prednost pred slabimi, na primer občutljivostjo na kakovost učnih vzorcev.



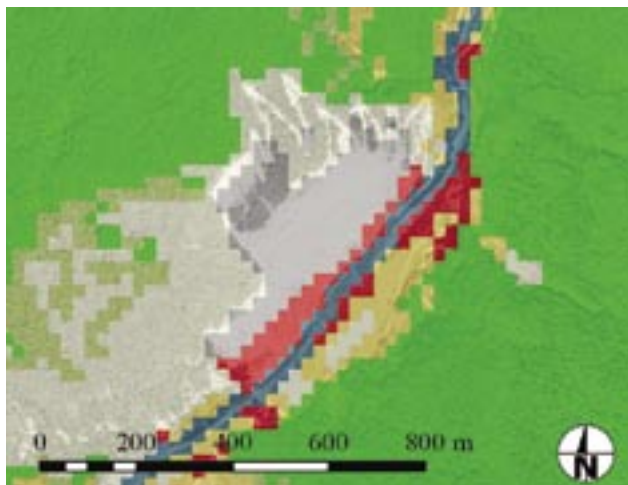
Slika 2: Ročno omejeno območje intenzivne kmetijske rabe (pravokotno) in samodejno omejeno območje gozda (nepravilna oblika). Na sliki je okolica Murskih Črncev. Satelitska slika je prikazana v kombinaciji bližnjega infrardečega, rdečega in zelenega kanala v rdeči, zeleni in modri (GURS).

Pri preklasifikaciji sta bila kot omejevalna dejavnika (za intenzivno kmetijsko rabo, gozd, pozidana in sorodna zemljišča ter vodo) upoštevana nadmorska višina in strmina pobočij, mejne vrednosti pa so bile ugotovljene s študijem literature (1, 2, 3, 5, 10).

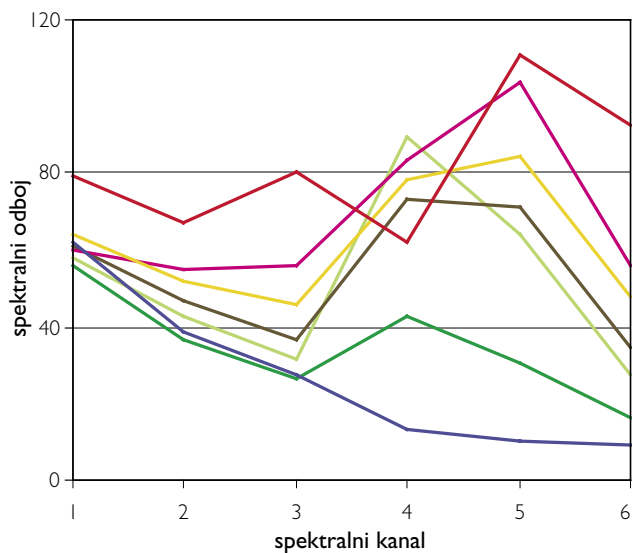
Precejšnje težave pri klasifikaciji pokrovnosti so se pojavile pri ločevanju grmičevja od zemljišč z intenzivno kmetijsko rabo. Zaradi podobnosti in prepletanja spektralnih podpisov omenjenih kategorij je bilo pri določevanju učnih vzorcev potrebno uporabiti številne metode preverjanja njihove primernosti.

Podobno težavo je predstavljalo razlikovanje med pozidanimi zemljišči in zemljišči z odkrito prstjo, vendar je bila dokaj uspešno premoščena z "mehko" klasifikacijo v dva sloja. Celicam, ki so bile v prvem sloju označene kot pozidana zemljišča in v drugem sloju kot "katera druga kategorija", je bil atribut spremenjen v kategorijo iz drugega sloja.

Za izločitev "šuma" in s tem delno generalizacijo je bilo uporabljeno filtriranje z upoštevanjem okolice. Filter večine (velikosti 3 krat 3 celice) je bil prilagojen tako, da je celicam, ki v bližnji okolici nimajo pokrovnosti iste kategorije, pripisal vrednost, ki se je v njihovi okolici največkrat pojavila. Natančnost zemljevida, ocenjena na podlagi 800 vzorčnih točk, primerjanih s stanjem na ortofoto posnetkih, presega 92 %, kar je zelo dober rezultat.



Slika 3: Z upoštevanjem nagiba 25° je bil kamnolom v Stahovici pravilno uvrščen v kategorijo odprto (sivo). Zanimiva je deformacija zahodno od kamnoloma, kjer je gozd (zeleno) klasificiran kot travinje (svetlo rjavo), višje po pobočju pa kot grmičevje (olivno). Vzrok je v onesnaženju s prahom iz kamnoloma in posledična sprememba spektralnega odboja. Sloj pokrovnosti je deloma prosojen, podlaga je ortofoto posnetek (GURS).



Slika 5: Grafična predstavitev spektralnih odbojev (os y) izbranih vzorcev različnih kategorij po posameznih spektralnih kanalih (os x).



Slika 4: Kamnolom v Stahovici pri Kamniku, iz katerega se dviguje oblak prahu (foto: Žiga Kokalj).

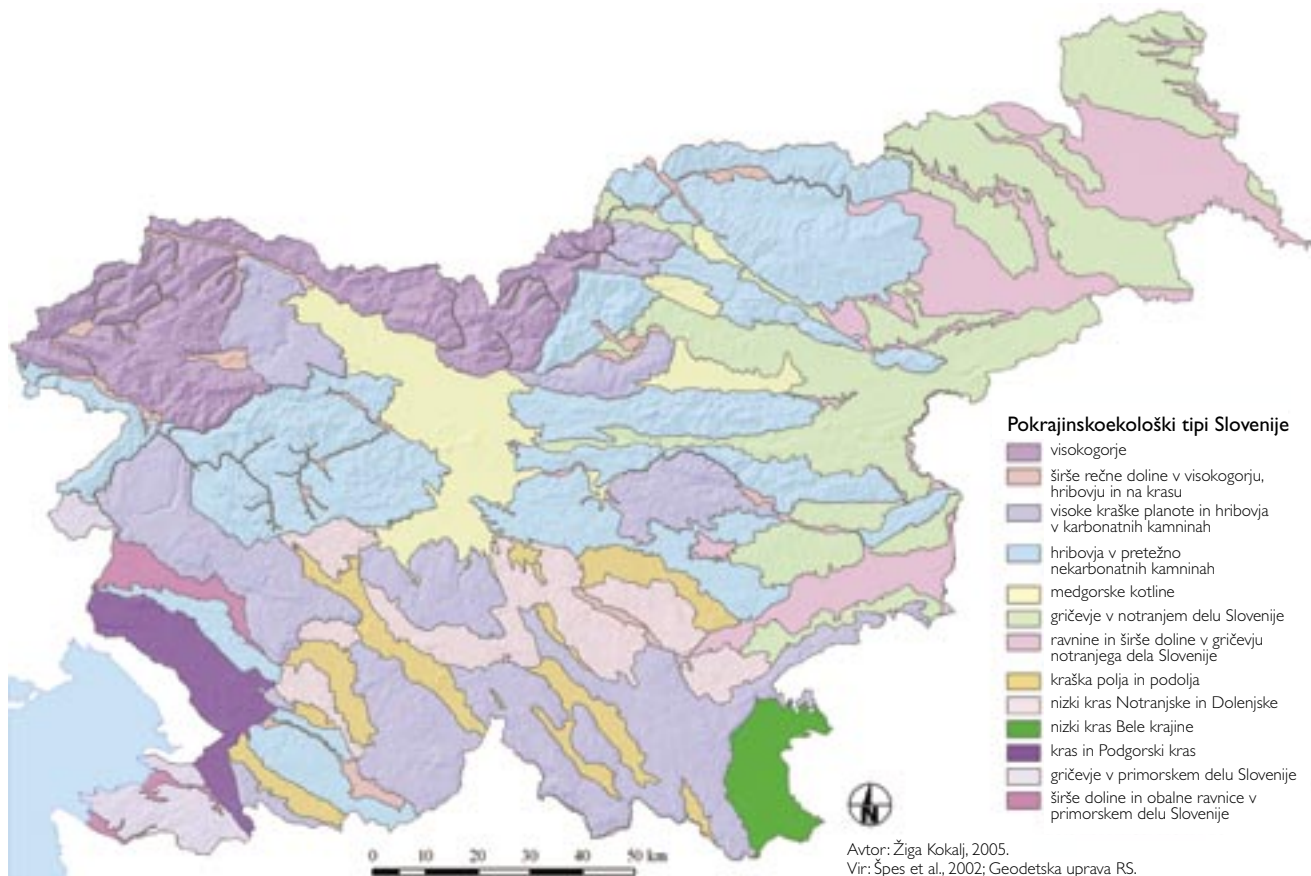
Vrednotenje pokrajinskoekoloških tipov

Vektorski sloj pokrajinskoekoloških tipov je bil izdelan že za potrebe Študije ranljivosti okolja (9), vendar je bilo potrebno tipe (zaradi neprimerne mereila zajema in posledične nenatančnosti) ponovno kartografsko upodobiti. Pri tem smo se oprli na že omenjeni model višin, iz njega izračunane naklone, klasificirane v naklonske razrede, državno topografsko karto v merilu 1 : 25.000, zemljevid senčenega in obarvanega reliefa, geološki zemljevid v merilu 1 : 100.000 in vektorski sloj vod ter opise enot na mikro- in submikroregionalni ravni, ki jih je podal Natek (6).

Nova razmejitev tipov je v primerjavi s staro primernejša za uporabo v orodjih GIS. Meje med tipi so natančneje definirane in se bolje prilegajo naravno-geografskim značilnostim, med katerimi izstopa zlasti izoblikovanost površja.

Vrednotenje tipov z vidika pokrovnosti je bilo izvedeno glede na izbrane naravno- in družbenogeografske kazalce. Pri prvih so bili upoštevani višinska pasovitost, naklon in ekspozicija, pri drugih pa kompleksen kazalec tipov naselbinskih območij, ki upošteva naravno-geografska, fiziognomska, strukturna in funkcijska merila ter njihovo medsebojno prepletanje (8).

Analiza pokrovnosti je pokazala, da se v splošnem z večanjem nadmorske višine in nagiba povečuje tudi delež gozda, deleži drugih kategorij (razen kategorije odprto) pa se manjšajo. Pri ekspoziciji so največje razlike med severnimi in južnimi legami. Na prvih je nadpovprečen delež gozda, na drugih pa delež ekstenzivne travniške rabe. Izrazito izstopajo uravnana zemljišča brez ekspozicije. Na njih prevladuje intenzivna kmetijska raba, nadpovprečna pa sta še deleža pozidanih zemljišč in vode. Deleža teh kategorij (in tudi kategorije intenzivna kmetijska raba) se z zmanjševanjem urbaniziranosti manjšata, pri čemer se večajo deleži vseh drugih kategorij. Opisano je v skladu s pričakovanji in splošnimi opažanji na ravni celotne države.



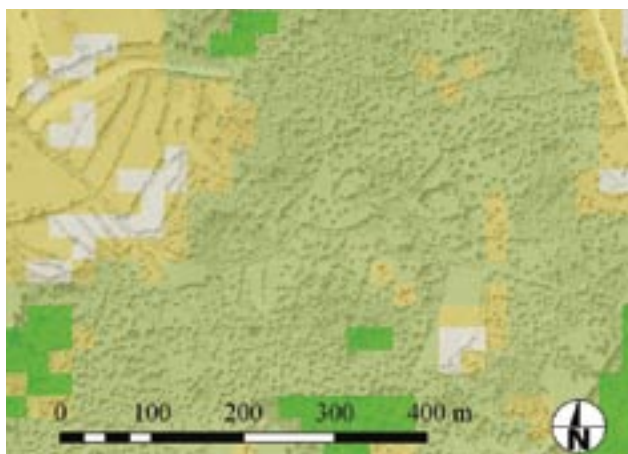
Slika 6: Pokrajinskoekološki tipi Slovenije.



Slika 7: Med glavne značilnosti slovenskih pokrajin sodi velika spremenljivost rabe tal, ki na kratke razdalje prehaja iz ene kategorije v drugo. Hkrati je raba marsikje mešana. Na fotografiji je vinograd z vmesnim travnikom in grmičevjem ter gozdom v bližini Podgriča v Vipavski dolini (foto: Žiga Kokalj).

Razlike med pokrajinskoekološkimi tipi so velike. Med najbolj gozdnata območja sodijo hribovite in kraške pokrajine. Na visokih kraških planotah in hribovjih iz karbonatnih kamnin gozd prerašča skorajda devet desetih površja. Za tipe s prevlado kraškega površja je značilno tudi močno zaraščanje. Velik delež grmičevja in gozda slabše kakovosti se pojavlja predvsem v pokrajinskoekoloških tipih primorskega dela Slovenije.

Z večanjem deleža za poselitev in kmetijstvo primernejšega ozemlja v določenem tipu se večja tudi delež ustreznih kategorij pokrovnosti (na primer pozidanih in kmetijskih zemljišč). Na prvo vplivajo družbenogeografski dejavniki precej bolj kot naravnogeografski. V mestih namreč delež pozidanih in sorodnih zemljišč presega četrtno površja. Zato ni presenetljiv največji delež te kategorije v medgorskih kotlinah ter širših dolinah in obalnih ravninah primorskega dela Slovenije. Koncentracijo prebivalstva, infrastrukture in dejavnosti pa lahko potrdimo tudi za druge ravnine in širše doline v Sloveniji. V pokrovnosti pokrajinskoekoloških tipov se torej odražajo tudi velike razlike v gospodarski razvitosti, gospodarski moči in demografski sestavi.



Slika 8: Slika prikazuje območje jugovzhodno od Volčjega Gradu, kjer je lepo vidna težavnost klasifikacije pokrovnosti na Krasu. Redko grmičevje z vmesnim travinjem je bilo pripisano kategoriji grmičevje in zaraščanje (olivno). Tudi v tem lahko iščemo vzrok za veliko odstopanje od katastrskih podatkov. Sloj pokrovnosti je deloma prosojen, podlaga je ortofoto posnetek (GURS).

Rabo tal lahko definiramo kot namen, za katerega ljudje izkoriščajo nek kos zemljišča; poudarjena je funkcijska vloga zemljišča v gospodarskih aktivnostih. Raba tal je abstraktna in je včasih ne moremo določiti niti s podrobnim ogledom. Pokrovnost je konkretna in jo lahko kot tako neposredno opazujemo. Za uspešno načrtovanje in gospodarjenje z zemljišči moramo biti seznanjeni z obema. Razlika postane pomembnejša, ko merilo raziskave postane večje in podrobnosti pomembnejše.

Razmišljanja in nadaljnje delo

Uporabljena metoda vrednotenja se je izkazala kot primerna za ugotavljanje razlik v pokrovnosti tako znotraj posameznih pokrajinskoekoloških tipov kot med njimi. Rezultati potrjujejo, da so pokrajinskoekološki tipi dovolj dobro opredeljeni, saj se z vidika pokrovnosti jasno pokažejo razlike, ki izvirajo iz njihove raznovrstnosti.

Kakovost izdelanega zemljevida pokrovnosti je zadovoljiva, mogoče pa jo je še izboljšati :

- s klasifikacijo po manjših prostorskih območjih (pokrajinskoekoloških tipih ali enotah),
- z zahtevnejšo poklasifikacijo, ki bi upoštevala še usmerjenost površja in kombinacije med nagibom, usmerjenostjo površja, višino in drugimi pomožnimi podatki ter
- z natančnejšo, s študijo podprto, kvantitativno opredelivijo višinskih in naklonskih mej posameznih razredov.

Izbrani kazalci zadovoljivo prikažejo razlike znotraj pokrajinskoekoloških tipov. Za poglobljeno študijo diferenciacije na nižji ravni pa bi bilo potrebno upoštevati dodatne, tudi bolj podrobne kazalce. K naravno-geografskim bi lahko dodali osončenost; kompleksen družbenogeografski kriterij tipov naselbinskih območij pa bi lahko razčlenili oziroma upoštevali njegove posamezne elemente. Smiselno bi bilo uporabiti tudi podrobnejšo členitev pokrovnosti, zlasti v smeri natančnejšega razločevanja intenzivnih kmetijskih kultur. Z uporabo na višji ravni bi se izognili izstopajočim območjem, kjer posamezen razred določenega



Slika 9: Za številne pokrajine Slovenije je zaraščanje ena najbolj opaznih lastnosti. S klasifikacijo satelitskih posnetkov lahko pojav podrobno opazujemo, vendar je pri analizi rezultatov potrebna posebna previdnost, saj je včasih težavno ločevanje med grmičevjem, redkim gozdom in nekaterimi tipi kmetijskih zemljišč (foto: Žiga Kokalj).

kazalca obsega le manjše ozemlje in zato prevlada izrazito izstopajoč vzorec pokrovnosti oziroma pokrovnost, značilna za prostorsko zelo omejen teritorij.

Omeniti je potrebno tudi težave z združljivostjo prostorskih podatkov. Pridobljeni v različnih časovnih obdobjih in z različnih virov so v večjem merilu praviloma nezdržljivi. Zato bi bilo smiselno poenotenje uporabljene stopnje generalizacije za posamezne ravni oziroma poenotenje merila na državni ravni za vse raziskovalne ustanove, ministrstva, agencije in druge zainteresirane institucije.

Rastrski sloj pokrovnosti in vektorski sloj pokrajinskoekoloških tipov je mogoče dobiti brezplačno pri avtorjih članka.



Literatura

1. Gams, I. 1986: Osnove pokrajinske ekologije. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.
2. Geografski atlas Slovenije 1998. DZS. Ljubljana.
3. Kladnik, D. 1999: Leksikon geografije podeželja. Inštitut za geografijo. Ljubljana.
4. Kokalj, Ž. 2004: Vrednotenje pokrajinskoekoloških tipov Slovenije v luči pokrovnosti, pridobljene s klasifikacijo satelitskih posnetkov Landsat. Diplomsko naloga, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.
5. Krajevni leksikon Slovenije 1995. DZS. Ljubljana.
6. Natek, K. 1995: Suša v kmetijstvu – ogroženost, vrednotenje in zmanjševanje posledic. Kmetijski inštitut Slovenije. Ljubljana.
7. Oštir, K., Stančič, Z., Podobnikar, T., Vehovar, Z. 2000: Pridobivanje in uporaba prostorskih podatkov visoke ločljivosti pri načrtovanju omrežja mobilne telefonije. V: Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1999-2000. Ljubljana.
8. Ravbar, M. 1997: Slovenska mesta in obmestja v preobrazbi. Geografski zbornik, 37. Ljubljana.
9. Špes, M. et al 2002: Študija ranljivosti okolja. Geographica Slovenica, 35, 1-2. Ljubljana.
10. Vrišer, I. 1995: Agrarna geografija. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.