

PROBLEM NAVIDEZNIH SPREMENB PRI DOLOČITVI SPREMENB NA POVRŠJU S POSNETKI LANDSAT

THE PROBLEM OF FALSE (NON-INTRINSIC) CHANGES IN PIXEL-BASED CHANGE
DETECTION ON LANDSAT IMAGERY

Tatjana Veljanovski

UDK: 528.8:551.4

POVZETEK

Prispevek predstavi metodologijo za določanje sprememb na površju Zemlje, kot jih lahko zaznamo z optičnimi satelitskimi posnetki Landsat, ter problematiko, ki spremlja veččasovne analize, če se izvajajo z neposredno primerjavo para istoležnih rastrskih celic (tj. z algebro karte). Obstoječa metodologija narekuje celovito pripravo podatkov (geometrične, radiometrične in topografske korekcije) ter ponuja več tehnik za analizo sprememb. Navkljub skrbni predobdelavi podatkov se izkaže, da na posnetkih vselej ostane šum, ki moti primerjavo njihove vsebine. Tak šum se v koraku določanja sprememb obnaša kot opažena razlika in povzroča, da so v vzorcu prepoznanih pravih sprememb zajete tudi ne-prave ali t. i. navidezne spremembe. Njihov delež je lahko tolikšen, da je vzorec sprememb vidno obremenjen, onemogočena pa so tudi kvantitativna ovrednotenja rezultatov. Ker je šum posledica tako algoritmov predobdelave kot naravnih in tehnoloških okoliščin zajema, ga ne moremo povsem odpraviti s korekcijami podatkov. V prispevku je predlagana rešitev z večločljivostnim pristopom določanja sprememb, ki z združevanjem informacij v več merilih in upoštevanjem sosedstva učinkovito zmanjšuje delež navidezni sprememb. Rezultati kažejo, da se z uporabo predlagane tehnike njihov delež zmanjša na sprejemljiv minimum. V razpravi se prispevek usmeri v vrednotenje uporabnosti satelitskih posnetkov za določitev sprememb na površju Zemlje z obstoječo metodologijo.

KLJUČNE BESEDE

daljinsko zaznavanje, določanje sprememb, navidezne spremembe, veččasovne analize, Landsat

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.01

ABSTRACT

This article aims to present the change detection methodology as experienced in the use of optical remote sensing imagery (Landsat) and its pitfalls when multi-temporal analyses are performed with pixel-based (raster algebra) techniques. The existing methodology recommends fundamental data preparation (geometric, radiometric, topographic corrections) and offers numerous change detection techniques. Regardless of the carefully performed preparations certain noise remains, which can drastically weight the imagery comparisons. This noise behaves as a detected change and could have such a false effect on the identified change pattern (i.e. false, non-intrinsic changes) that the quantitative evaluation might fail. Since this noise originates from the pre-processing algorithms as well as the natural and technological conditions during data acquisition it can not be completely removed by data corrections. A multi-resolution change detection approach is therefore proposed. Taking into account the neighbourhood and change information from joining different spatial scales, the multi-resolution approach effectively reduces the amount of false changes. In the discussion the remote sensing imagery for surface change detection is evaluated.

KEY WORDS

remote sensing, change detection, non-intrinsic change, multitemporal analysis, Landsat

1 UVOD

Okolje je objektivna geografska danost, kjer so pojavi, njihova namembnost, medsebojne zveze in razvojne težnje osnovni parametri preučevanja. Prostorske pojave in procese bolje razumemo, če jih motrimo in preverjamo tudi v časovni perspektivi. Časovne analize ponujajo vpogled v preteklo dogajanje, omogočajo prepoznati spremembe in spoznati poteze razvojnih teženj v okolju.

Satelitski opazovalni sistemi ponujajo sinoptično, ponovljivo in koherentno perspektivo opazovanja zemeljskega površja. Analiza sprememb v prostoru skozi čas je na področju uporabe podatkov daljinskega zaznavanja v zadnjih dveh desetletjih postala zelo pomembna praktična aplikacija (Smits in Bruzzone, 2004; Coppin et al. 2004; Jensen, 1996). Pred tem so bile študije sprememb v senci glede na druge vsebine daljinskega zaznavanja, kot so klasifikacija posnetkov, radiometrični popravki in podobno (Smits in Bruzzone, 2004). Šele zahteve po širši uporabi obsežnih zalog podatkov, močnejše povezave med uporabniki in stroko ter hiter in poenostavljen način pridobivanja podatkov za večje površine so sprožili številne časovne analize ter opazovanja Zemljinega površja, s tem pa tudi popularizacijo raziskav in uporabe časovnih serij satelitskih posnetkov.

Določanje sprememb na podatkih daljinskega zaznavanja je postopek, kjer na podlagi primerjave stanj v dveh ali več trenutkih (to so posnetki različnih datumov) opredelimo območja, kjer so se pojavile spremembe. Osnovni pogoj za kakovostno določitev sprememb je visoka stopnja primerljivosti satelitskih posnetkov, zato velik delež nalog v praksi odpade na vsestransko usklajevanje podatkov (postopki predobdelave posnetkov). Temu sledi primerjava, kjer uporabimo eno od tehnik za ugotavljanje razlikovanja posnetkov. Pomembna naloga je še določitev tipologije sprememb (Singh, 1989, Coppin et al., 2004, Lu et al., 2004), torej kaj se je spremenilo (in v kaj) ter za kako močno spremembo gre (prehajanje, pretvorba). Identificiran prostorski vzorec sprememb se praviloma ovrednoti v skladu z oblikovanim konceptom za spremembe, ki jih opazujemo, upoštevaje tudi lastnosti podatkov in uporabljene metodologije.

Namen opazovanja sprememb na površju Zemlje s satelitskimi posnetki je (Jensen, 1996; Coppin et al., 2004):

- opredeliti območja, lokacijo oziroma obseg sprememb na površju (vzorec sprememb),
- prepoznati tip spremembe (kam – kaj – zakaj) prek kategorizacije in karakterizacije sprememb,
- kvantitativno izmeriti lastnosti opazovanih sprememb: vzorce sprememb, trende procesov, opisati stanja elementov površja glede na sezonske, letne ali večletne časovne vzorce za poljubna območja,
- predvidevati in napovedovati trende.

Prostorsko spremembo lahko opazujemo v časovnem, položajnem in/ali atributnem (vsebinskem) smislu (Al-Taha in Barrera, 1997). Glede na stopnjo ali intenziteto spremembe in proces preobrazbe predmeta ločimo (Allen, 1983; Frank, 1997) nezvezno naravo spremembe (nenadne spremembe ali preskoki) ter zvezno naravo spremembe (postopni, dolgotrajnejši procesi), kot sta prehajanje (tranzicija) in pretvorba (transformacija). Na podatkih zvezne narave, kot je na primer odboj površja, številčno enaka sprememba stanja na zveznih podatkih (intenziteta spremembe) za

različne predmete/pojave ne pomeni nujno tudi enake kategorije prehoda ali pretvorbe. Opredelitev, kaj je v opazovanem sistemu sprememba in kakšna ta je, zato ni enostavna in enoznačna naloga. Glavni problem tipologije sprememb pri opazovanju več predmetov hkrati (neselektivna opazovanja) je kompleksnost opredelitve spremembe za posamezne predmete, saj so okoljski sistemi različni, različni pa so tudi nameni opazovanja – zato ta naloga metodološko ni strogo uokvirjena.

1.1 Sprememba na daljinsko zaznanih podatkih

Sprememba, ki jo določimo na podlagi daljinsko zaznanih podatkov, kot so satelitski posnetki Landsat, izvorno izhaja iz *razlik v zaznanem odboju elektromagnetne energije*, torej iz razlik na zveznih podatkih. Poleg tega se je pomembno zavedati, da je na senzorju zaznan odboj površja Zemlje odvisen od več dejavnikov. Ključni dejavniki, ki vplivajo na zaznan odboj predmetov, so (Jensen, 1996; Liang, 2004): meteorološke razmere pred in med snemanjem, stanje in lastnosti ozračja med snemanjem, stanje površja, geometrija snemanja ter kakovost delovanja senzorjev. Vse naštetu tvori lokalne spektralne lastnosti posameznega posnetka.

Pri določitvi sprememb na daljinsko zaznanih podatkih gre za razločevanje in obravnavo tistega dela razlik v odboju, ki so dejanske spremembe stanja, ter učinkovito prepoznavanje tistih razlik, kjer se opazovani predmeti niso spremenili, imajo pa različno izražen odboj v dveh datumih snemanja. Za kakovostno določanje sprememb je torej bistvenega pomena ločevanje med dejanskimi in navideznimi spremembami stanja površja (ki so posledica variabilnosti predmetov zaradi različnih okoliščin ali nepopolne usklajenosti posnetkov).

Velik izziv pri določanju sprememb je, da ima vsak okoljski sistem svoje značilnosti, tako v sestavi kot procesih, ki v njem potekajo. Zato potrebuje specifično merilo (za prostor in čas) in ustrezne podatke (izbira satelitskega sistema narekuje tako lastnosti kot postopke obdelave podatkov). Prav sestava in lastnosti obravnavanega površja (območja) določata številne predpostavke in pogoje za izbiro postopkov v metodologiji opazovanja sprememb. Časovne analize ali primerjave površja so praviloma namensko usmerjene, zanje zato ne more obveljati univerzalen sistem. V nadaljevanju prispevek predstavi najpogosteje uporabljen pristop na področju določanja sprememb z daljinsko zaznanimi podatki in odstira njegove omejitve.

2 DOLOČANJE SPREMOMB S TEHNIKAMI RASTRSKE ALGEBRE

Satelitski posnetek je rastrski podatek, kjer je poleg položaja vsake rastrske celice opredeljen tudi njegov atribut – zaznan odboj površja, in to v več spektralnih kanalih. Za primerjavo dveh ali več posnetkov se v izhodišču odločamo med dvema pristopoma (Singh, 1989, Coppin et al., 2004, Lu et al., 2004): celično usmerjenim in predmetno usmerjenim. Z vidika analize sprememb je glavna prednost predmetno usmerjenega pristopa bolj neposredna in sporočilna interpretacija rezultatov vzorca sprememb, glavna težava pa je postopek opredeljevanja predmetov v različnih datumih, ki v praksi ni vselej enostaven in enoznačen. Nasprotno velja za celično usmerjen pristop, kjer primerjavo izvajamo z neposrednim razlikovanjem (algebro) istoležnih rastrskih celic, postopek je torej enostaven, več težav pa prinaša interpretacija rezultatov prostorskih vzorcev sprememb.

V praksi je večji del študij sprememb satelitskih posnetkov izpeljan na podlagi celično usmerjenega pristopa (tj. z algebro rastrske karte), verjetno prav zaradi preglednosti in enostavnosti izpeljave. Vendar raziskava na seriji skoraj 30 Landsat posnetkov (Veljanovski, 2007) pokaže, da obravnava posnetkov po zgledu uveljavljenih pristopov ni vselej zadostna. Problem je v tem, da obstoječa metodologija še ne odgovarja dovolj tudi na reševanje problema šuma v podatkih, ki ostane prisoten po pripravi podatkov, in s tem prisotnosti navideznih sprememb v rezultatu. Zato se ta prispevek osredotoča na določanje sprememb s celično usmerjenim pristopom, pri čemer njegove slabosti rešuje tako, da pozornost namenja reševanju problematike navideznih sprememb. V nadaljevanju je orisan splošen postopek, v poglavju tri pa analiza metodološke situacije in predlog za rešitev.

Postopek določanja sprememb na daljinsko zaznanih podatkih sestavljajo naslednji koraki:

- določitev namena opazovanja (selektivna, neselektivna opazovanja) ter s tem povezana izbira posnetkov,
- priprava podatkov - predobdelava posnetkov (popravki ter standardizacija/usklajevanje vseh posnetkov),
- opredelitev kontekstualnega modela za spremembe ter določitev sprememb,
- ovrednotenje vzorca sprememb, kvantitativna ocena določenih sprememb.

Odvisno od tega, kako obravnavamo površje na posnetkih, se z vidika obravnave opazovanih predmetov opredeljujemo med tem, ali jih želimo opazovati po kategoričnih skupinah (npr. spremembe v elementih rabe tal ali izbranih elementih gozdne združbe) - t. i. selektivna opazovanja ali pa bomo analizirali skupen, zvezen prostorski vzorec, kjer bodo vsebovane vse spremembe površja, kot posledica identificiranih razlik v odboju v opazovanem spektralnem območju - t. i. neselektivna opazovanja.

Ker je osnovni princip analize sprememb satelitskih posnetkov *primerjava para posnetkov*, moramo vzpostaviti in zagotoviti takšno stanje, da posnetke smatramo za medsebojno vsestransko usklajene, primerljive. To pomeni, da se trudimo odpraviti vsa neskladja in razlike na njih, ki lahko motijo primerjavo. Vzroki, zaradi katerih pride do geometričnih nesoglasij in semantičnih razlik med posnetki, najbolj izhajajo iz razlik v nastajanju posnetkov. Torej iz okoliščin in lastnosti (letni čas, ura snemanja, meteorološko stanje, atmosferski pogoji, fenološka faza površja, vrsta in točnost delovanja senzorjev, način snemanja) - pogojev - zajema.

Z geometričnimi popravki dosežemo prostorsko ali položajno primerljivost, z radiometričnimi (to so atmosferski in topografski) popravki ter spektralnimi transformacijami pa še vsebinski okvir primerljivosti. Cilj postopkov predobdelave posnetkov je torej pridobivanje od pogojev zajema čim bolj neodvisne in kvantitativno primerljive informacije o zemeljskem površju.

2.1 Predobdelava posnetkov

Georeferenciranje je za prostorske analize, še posebej pa za analize sprememb, zelo pomembno. Če posnetki niso položajno dobro usklajeni, ne moremo primerjati njihove vsebine. Zato je osnovna zahteva za študije sprememb, da položajno odstopanje med posnetki ne presega velikosti

ene rastrske celice. Townshend in sodelavci (1992) so dokazali, da odstopanje ranga ene rastrske celice pri analizi sprememb na kategoričnih podatkih povzroči vsaj 10-odstotno napako pri določanju obsega in vrste sprememb.

Vsi referenčni posnetki v okviru raziskave (pokritje območja Slovenije) so bili natančno georeferencirani na TK 25, uporabljena je bila polinomska transformacija 2. reda, dosežena povprečna položajna natančnost se giba med 0,3 in 0,6 celice (tj. 10–20 m). Ostali posnetki so bili natančno poravnani na referenčne posnetke, pod enakimi pogoji transformacije in s primerljivo natančnostjo rezultatov (podcelično položajno ujemanje med posnetki).

Z atmosferskimi korekcijami satelitske posnetke popravljamo za vpliv interakcije med prejeto in odbito energijo ter sestavo Zemljine atmosfere (Jensen, 1996; Oštir, 2006). To pomeni, da odpravljamo meteorološki šum, usklajujemo razlike v kontrastu med posnetki ter določimo odbojne vrednosti površja. Vsi posnetki so bili popravljani za vpliv atmosferskega odboja po metodi COST (Chavez, 1988).

S topografskimi radiometričnimi popravki odpravljamo vpliv terena ter razlike v osvetlitvi, ki so posledica geometrije opazovanja (Liang, 2004; Oštir, 2006). V postopku topografske normalizacije s pomočjo DMR odpravljamo psevdo-geomorfološke napake, ki so posledica oblike terena ter kota in časa opazovanja in se na posnetku kažejo kot pre- ali podcenjene vrednosti v intenzitetni lestvici (npr. sence, lega vrhov, dolžina pobočij). S tem popravkom dosežemo učinek izenačitve odboja prisojnih in osojnih leg ter »izravnave« naklona. Vsi posnetki so bili popravljani z Minnaertovim modelom topografske normalizacije (Smith et al., 1980).

Za potrebe časovnih analiz satelitskih posnetkov moramo poleg posamičnih popravkov posnetkov, torej nekakšnih absolutnih popravkov, le-te med seboj še relativno uskladiti. To dosežemo z eno od tehnik radiometrične standardizacije. Namen je standardizirati spektralne lastnosti kanalov med posnetki. Za to sklepno prilagajanje je bila uporabljena radiometrična standardizacija s postopkom linearne regresije, temu pa je sledila še pretvorba vseh vrednosti v standardizirano normalno obliko s sredino 0 in standardnim odklonom 1.

2.2 Prepoznavanje in določanje sprememb

Kako spremembo v določenem kontekstu zaznati, izmeriti ter jo ovrednotiti, je na področju implementacije podatkov daljinskega zaznavanja v fizične modele prostora odprto polje. Spremembe se načeloma določajo s primerjavo para stanj, profilov, indikatorjev. Pri obravnavi več posnetkov se opredeljujemo še med tem, ali primerjamo relativno zaporedje stanj pred- in po- ali primerjamo odklone različnih časovnih oddaljenosti (niz posnetkov) od izbrane referenčne vrednosti (referenčnege posnetka časovne vrste).

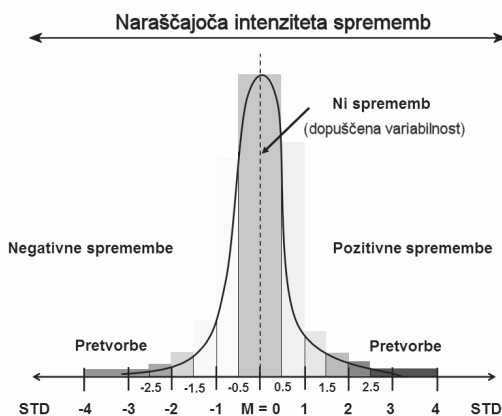
Primerjavo najbolj naravno izvajamo in razumemo, če uporabimo enostavne aritmetične parametre, kot so odštevanje količin, razmerje med količinami, delež od količine in podobno – zato tudi tehnike temeljijo na algebri razlikovanja satelitskih podob. Do razlik med tehnikami torej prihaja predvsem z vidika uporabljenega aritmetičnega operatorja in mere za kategorizacijo sprememb ter načina oblikovanja časovne vrste (Singh, 1989; Coppin et al., 2004; Lu et al., 2004). Določanje

in analizo sprememb stanj na posnetkih, upoštevaje lastnosti podatkov in namen časovne analize, tvori naslednje:

- izbrati ustrezen operator za določanje opazovanih sprememb ter
- določiti merilo oziroma mejne vrednosti za ločevanje sprememb od nesprememb in/ali prehode.

Kadar časovne analize izvajamo na zveznih podatkih, to pa so vse lastnosti površja, podane z odbojnimi vrednostmi, radianci, spektralnimi indeksi, glavnimi komponentmi in komponentami Kauth-Thomasove transformacije, za rezultat dobimo rang pozitivnih sprememb (prirastki v vrednostih), rang negativnih sprememb (zmanjšanja v vrednostih) in razred pretežno nespremenjenega stanja med sekvencami, ki zavzame večji del vrednosti (okoli 90 %). Porazdelitev vrednosti v t. i. podobi razlik je približno simetrična okoli ničle in ima približno normalno porazdelitev, če med posnetki ni veliko šuma (oblakov in drugo). Sicer je porazdelitev lahko bimodalna, z glavnim in sekundarnim vrhom, sredina pa se znatno odmakne od ničle.

V praksi najpogosteje uporabljeni meri za določitev mejne vrednosti pretvorbe predmeta (velika sprememba) sta odstotek maksimalne razlike (polovica maksimalne razlike v dani podobi razlik) ter faktor standardnega odklona (Lu et al., 2004). Obe meri lahko za pozitivne in negativne spremembe neposredno uporabimo le, če je porazdelitev razlik v histogramu normalna. Prva mera je zaradi odvisnosti od šuma, prisotnega v posnetkih (oblaki, saturirane celice), za daljinsko zaznane podatke manj primerna. Druga mera, faktor standardnega odklona, je manj občutljiva na ekstremne vrednosti, če teh ni veliko, saj izhaja iz porazdelitve celotne populacije. Slika 1 ponazarja načelo uporabe standardnega odklona, ki se v raziskavi uporablja za določitev pragov različnih kategorij sprememb. Faktor 2,5 standardnega odklona je bil prepoznan kot optimalen prag za spremembe-pretvorbe pri neselektivnem načinu opazovanja površja.



Slika 1: Shema uporabljene kategorizacije sprememb po principu faktorja standardnega odklona na podlagi porazdelitve vrednosti razlik v standardizirani podobi razlik.

S kategorizacijo sprememb določamo optimalne spodnje in zgornje meje za opredelitev (slika 1):

- dopuščene variabilnosti pojavov – t. i. območje, kjer ni sprememb za dane podobe razlik,

- prag za območje večjih sprememb – t. i. območje transformacij ali pretvorb predmetov ter
- vmesno območje, kjer so prisotne spremembe in kjer so predmeti ali lastnosti površja v neki fazi prehajanja – t. i. območje tranzicije.

Operator, ki se je v opravljeni raziskavi ustrezno odzval na našete zahteve, poleg tega pa je tudi najbolj intuitivna mera za opredeljevanje razlike, je relativna sprememba, ki je določena kot $REL = (t_2 - t_1)/100$. Pri tem predstavlja t_1 zgodnejši posnetek (pred) in t_2 kasnejši posnetek (po).

2.3 Prave in neprave spremembe

Cilj določanja sprememb s satelitskimi posnetki je prikazati prostorsko razporeditev tistih sprememb, ki so predmet zanimanja. Takšne spremembe obravnavamo kot prave, vse ostale pa so za analizo neprave spremembe. Problem nastane, če je delež nepravilnih sprememb tolikšen, da ga ne moremo zanemariti. V časovnih analizah, kjer primerjamo podatke, zajete v različnem času, so neprave spremembe največkrat posledica šuma v podatkih, ta pa je posledica preostalih (lokalnih) neuskkljenosti podatkov, ki nastane zaradi različnih okoliščin. Šum je lahko posledica (Brown, 1992):

- razlik v času in naravnih okoliščin zajema (prisotnost oblakov in meglic, različni letni čas, različno stanje vegetacijskega pokrova, različni letni meteorološki pogoji, ki vplivajo na fenološko fazo vegetacije ter stanje pred in med snemanjem),
- tehnoloških parametrov snemalne opreme (snemanja posnetkov: točnost zaznave senzorjev, vrsta senzorja, način snemanja) in
- omejenosti delovanja algoritmov za odpravljanje razlik med posnetki (v predobdelavi posnetkov se spreminjajo lastnosti posnetkov, s tem se v podatke vnašajo tudi napake algoritmov popravkov).

Dejstvo je, da na vse vzroke ne moremo vplivati, zato šuma tudi s skrbno predpripravo podatkov ne moremo v celoti odpraviti. Praksa kaže, da s skrbno predobdelavo lahko dosežemo odlično medsebojno globalno usklajenost posnetkov (statistika porazdelitve vrednosti primerljivih spektralnih kanalov), vendar za neposredno primerjavo z rastrsko algebro dobra globalna primerljivost ni nujno dovolj (Veljanovski, 2007). Tu velja še poudariti, da pri obravnavi večjega območja in/ali neselektivnega načina opazovanja sprememb na površju tvegamo več šuma v podatkih, torej tudi deleža nepravilnih sprememb v rezultatih.

Problem lokalne neuskkljenosti v podatkih zaradi prisotnega šuma se v podobi razlik kaže različno. Najpogosteje so to: odmik od normalne oblike porazdelitve (npr. dva izražena vrhova, nesimetrična porazdelitev vrednosti razlik v pozitivnem in negativnem delu) ter odmik vrha porazdelitve (to so vrednosti, kjer do sprememb ni prišlo) iz ničle. Vsak tak odmik od normalne porazdelitve je v rastrski algebri neposrednega razlikovanja podob in z opisano kategorizacijo sprememb povečan vnos navideznih sprememb v rezultate. Če torej izvajamo primerjavo na različnih in spremenljivih porazdelitvah vrednosti razlik, vzorec sprememb ni relevanten. Našteto je pomembna omejitev uporabe opisane metodologije, ki pa je v uporabniških študijah precej prezrta.

3 OBRAVNAVA NAVIDEZNIH SPREMEMB

Strokovna literatura navaja problem šuma v daljinsko zaznanih podatkih za analize sprememb (Brown, 1992; Coppin et al., 2004), vendar mu, kot rečeno, praktične aplikacije redkeje namenjajo ustrežno pozornost. Ena zanimivejših študij, ki se je ukvarjala tudi z opisanim problemom, je nastala v okviru projekta SPIN (SPIN, 2001–2004). V tej raziskavi je združena moč celično in predmetno usmerjenega pristopa analize sprememb za različne namene opazovanja habitatov na podlagi analize osnovnih komponent. Študija poroča o dobrih rezultatih obravnave pravih sprememb predvsem z vidika možnosti kombinacije postopkov in prilagodljivosti za različne namene opazovanja (selektivna, neselektivna).

Namen tega prispevka je proučiti, če in kako je mogoče do dobrih rezultatov priti z uporabo celičnega pristopa. Z analizo sprememb več časovnih vrst posnetkov Landsat (glede na letni čas, območje, vrsto indikatorja lastnosti površja) se je izkazalo, da je pogoj optimalne primerljivosti podatkov nujen za zanesljiv in uporaben rezultat, če sledimo načelu celičnega pristopa (Veljanovski, 2007). Neizpodbitno dejstvo ob tem je, da so razlike, ki so prisotne v podatkih tudi po celovitem globalnem usklajevanju, za način določanja sprememb z rastrsko algebro slojev resna omejitve, ker je njihov delež praviloma tak, da onemogoča kvantitativne ocene sprememb.

Za tehnike, ki so usmerjene v neposredno primerjavo para istoležnih rastrskih celic, je torej pogoj popolne primerljivosti podatkov v praksi nemogoče doseči. Prisotnost šuma različnih virov vnaša (ohranja) lokalno neprimerljivost med podobami. Celovita metodologija priprave podatkov vsekakor zmanjša mnoge razlike med posnetki. Toda predvsem različni meteorološki pogoji pred snemanjem, razlike v predobdelavi surovih podatkov v sprejemnih postajah (način prevzorčenja, ortorektifikacija in drugo) in razlike v občutljivosti senzorjev (degradacija senzorja, saturirane vrednosti odboja) ostanejo prisotne in moteče ter onemogočajo relevantno kvantitativno primerjavo para ali časovnih sekvenc razlik posnetkov in s tem trajektorije sprememb. Velja, da manjša območja še lahko zadostno uskladimo (in nadzorujemo neželena odstopanja), večja pa ne. Za rešitev problema, to je odpravljanje preostalega šuma pri opazovanju sprememb, se z opisanih stališč študije za neselektivna opazovanja ponujata dve možnosti:

- izločanje navidezni sprememb z uvedbo dodatnih meril prečiščevanja dobljenega vzorca sprememb ter
- odmik od celičnega pristopa (neposredne rastrske algebre slojev).

3.1 Izločanje navidezni sprememb

Izločanje navidezni sprememb z uvedbo dodatnih meril pomeni, da podatke o vsestranskih spremembah (tj. neselektivno opazovanje različni sprememb površja) naknadno prečistimo na podlagi izbranih zunanjih kriterijev. Pri tem se lahko osredotočimo na:

- geometrične lastnosti (npr. izločimo majhne skupine rastrskih celic ali skupine z določeno geometrično obliko) in/ali prostorske lastnosti (tj. povezanost z drugimi dejavniki kot je npr. določena bližina ali razdalja do določene kategorije sprememb, nenaravne anomalije znotraj večjih sicer vidno homogenih površin pokrovnosti in podobno),

- razlike v okoliščinah (npr. z uporabo komponent Kauth-Thomasove transformacije opredelimo razlike v vlažnosti in drugih naravnih razmerah površja med dvema sekvencama, nato pa razlike iz tega naslova z maskiranjem območij izločimo iz obravnave sprememb),
- spektralne lastnosti (npr. če prepoznamo, da sta si za obravnavan predmet opazovanja dva spektralna kanala ali komponenti značilno komplementarni ali nasprotno, lahko izločimo vse ostale situacije, in tako prečistimo neželene navidezne spremembe).

Našteti primeri so lahko dobra odločitev, ko opazujemo izbrane pojave in dobro poznamo njihove lastnosti zavzemanja prostorske razporeditve in odnosov z drugimi dejavniki. V praksi to lahko izvedemo z odločitvenim modelom. Niso pa enostavna rešitev pri opazovanju splošne slike stanja na posnetkih. Bilo bi namreč nesprejemljivo, če bi npr. na primeru geometričnih ali prostorskih lastnosti izločali majhne predmete (majhna območja sprememb) kar vseprek, saj bi tako izločili tudi določen delež sprememb, ki jih želimo opazovati (npr. manjša novogradnja v urbanem središču nasproti manjšim območjem navidezni sprememb na večjih gozdnih površinah). Ker v prispevku iščemo rešitev za opazovanje vsestranskih sprememb, opisana rešitev izločevanja šuma na podobah sprememb, ni primerna.

3.2 Določanje sprememb na podlagi analize sosedstva

Navidezne spremembe so v rezultatih analize vsestranskih sprememb prisotne tako v različnih kategorijah sprememb (pozitivne, negativne spremembe) kot v različnih prostorskih in spektralnih okoliščinah (tudi tipih površja). Porazdelitve navidezni sprememb zato ne moremo opisati z neko razumno funkcijo ali modelom, saj se ne kaže sistematično ali z značilnim odnosom, ampak je dejansko posledica razlik v podatkih (npr. prisotnost meglic in oblakov, celice s saturiranim odbojem).

Prehod iz celičnega načina na predmetno usmerjen pristop bi lahko rešil problem lokalne neuskkljenosti podatkov, vendar bi se pri klasifikaciji ali segmentaciji posnetkov srečevali s težavami usklajevanja razredov oziroma segmentov med posnetki različnih datumov. Zato težavo v dani situaciji lahko bolje reši prehod iz obravnave lastnosti posamezne celice na obravnavo lastnosti bližnjega območja – sosedstva, in pri tem za analizo ohranimo vse prvine celičnega pristopa. Sosedstvo je v primerjavi s klasifikacijo ali segmentacijo predmetno bolj neodvisen pristop, še vedno pa je razmeroma lokalni in upošteva lastnosti prostorske bližine. Testirani sta bili dve alternativni:

- določanje sprememb na podlagi korelacije sosedstev in
- večstopenjski ali večločljivostni pristop določanja sprememb.

3.2.1 Določanje sprememb na podlagi korelacije sosedstev

Ker večina pristopov izhaja iz ocene relativne spremembe stanj, ta pa je občutljiva na slabšo globalno in lokalno primerljivost, je v raziskavi preverjena učinkovitost korelacije kot operatorja za določanje sprememb, in sicer na način, kot sta ga predstavila Im in Jensen (2005) na primeru obravnave visoko ločljivostnih posnetkov ADAR. Korelacija pove, v kakšni medsebojni povezanosti sta dva pojava (moč linearne povezanosti). Predpostavka je, da če ni visoke stopnje

povezanosti med dvema pojavoma (pri analizi sprememb med dvema prostorsko istoležnima sosedstvoma v dveh datumih), potem je zelo verjetno prišlo do spremembe, in nasprotno.

Če so spektralne spremembe med dvema prostorsko istoležnima, a časovno različnima sosedstvoma znatne oziroma značilne, bo koeficient korelacije zavzel vrednosti blizu nič. Ker pa je korelacija mera linearne povezanosti, nam visok koeficient korelacije vselej ne zagotavlja tudi tega, da spremembe ni bilo. V pomoč pri ugotavljanju, ali je do spremembe prišlo ali ne, se po zgledu (Im in Jensen, 2005) uporabijo vrednosti koeficientov regresijske premice, presečišče in naklon, določena na podlagi vrednosti med primerjanima sosedstvoma.

Postopek je naslednji. Za vsak par primerjanih sosedstev dveh datumov s premičnim oknom izračunamo parametre sosedstva: sredino, standardni odklon, kovarianco, koeficient korelacije ter naklon in presečišče regresijske premice. Rezultat so tri podobe: korelacije, naklona in presečišča vseh sosedstev na izbranem območju. Izločimo območja z nizko stopnjo povezanosti (koeficient korelacije blizu 0) ter z odločitvenim modelom na podlagi kombinacij parametrov naklona in presečišča razločimo spremembe od nesprememb pri večjih vrednostih koeficienta korelacije (podrobnosti glej v Im in Jensen, 2005; Veljanovski, 2007).

Postopek je bil testiran za velikosti sosedstva 3 x 3 in 5 x 5 celice, tj. 90 in 150 m ločljivosti (kvadratno premično okno), na širšem območju Ljubljane, in sicer na podatkih odbojnih vrednosti za primerjano obdobje 1999–1992, poletni letni čas. Rezultati niso izpolnili pričakovanih ciljev (slika 4, desno zgoraj).

Korelacija se ni pokazala za primerno za analize sprememb posnetkov srednje prostorske ločljivosti predvsem zaradi zelo slabega odziva na prepoznavanje sprememb v izbranih merilih sosedstev (podoba je razdrobljena, zdi se, kot da je prisotnega veliko šuma). Tehnika tudi ni enoznačna za opazovanje vsestranskih sprememb, saj moramo opredeliti skupne optimalne mejne vrednosti (interval) za vse tri koeficiente/kriterije (ti pa nimajo niti primerljivih lastnosti porazdelitve) in za različne situacije krajevnih lastnosti površja (Veljanovski, 2007). Podatkov o spremembah tudi s tovrstno kategorizacijo namreč ne prečistimo toliko, da bi dobili v rezultatih presežek v primerjavi z ostalimi pristopi določanja sprememb satelitskih posnetkov Landsat.

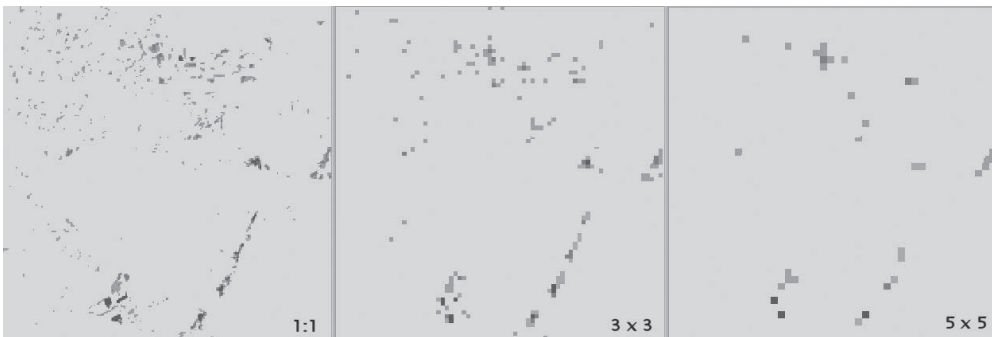
3.2.2 Večločljivostni pristop določanja sprememb

Pri večstopenjskem ali večločljivostnem pristopu z analizo območij ali sosedstva najprej določimo lastnosti površja v bolj grobem merilu, nato ocenimo stanje sprememb med različnimi datumi v tem grobem merilu. Za tem izvedemo analizo sprememb v izvornem merilu, vendar opazujemo le tista območja, kjer je spremembe zaznala analiza v grobem merilu. Večločljivostni postopek sestavljajo naslednji koraki:

- Določimo vrednosti obravnavanih posnetkov v grobi prostorski ločljivosti (90 x 90 m), npr. na podlagi izračuna srednje vrednosti celic izbranega sosedstva (s premikajočim jedrom izberemo velikost želenega sosedstva, npr. celice za izbrano grobo merilo).
- Izračunamo podobe razlik časovne vrste v grobi prostorski ločljivosti (90m) ter stopnje in smeri razlik kategoriziramo na razrede (slika 1).

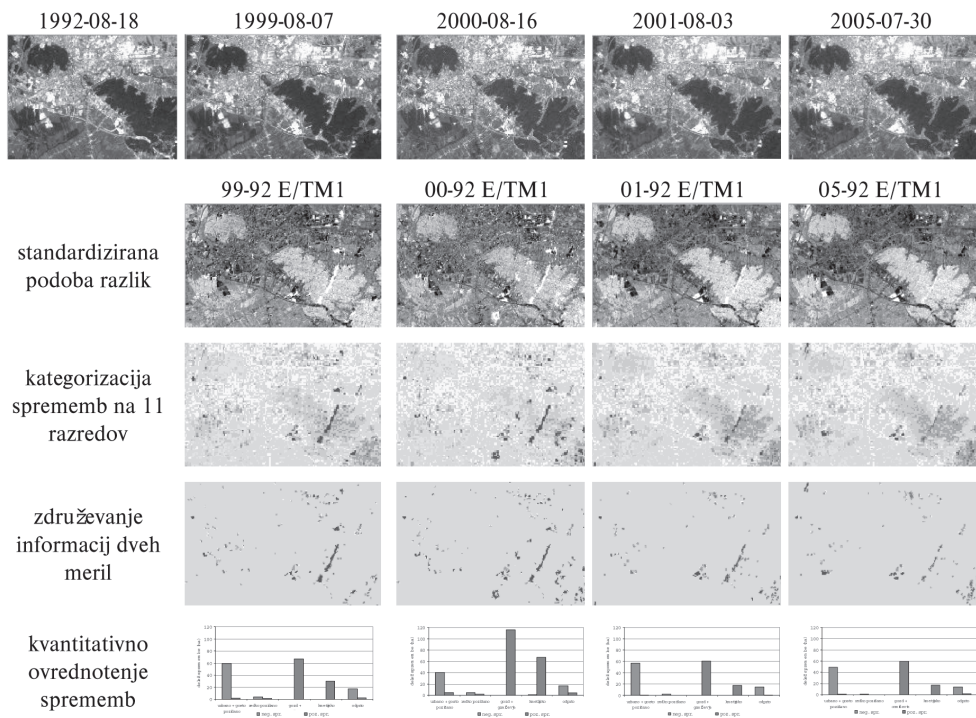
- Na podlagi podobe razlik v grobem merilu pripravimo masko območij, kjer so prisotne večje pozitivne in negativne spremembe (tj. spremembe, določene na podlagi lastnosti sosedstva).
- Izračunamo podobe razlik (določimo spremembe) za časovno vrsto v izvorni prostorski ločljivosti (30 m), stopnje in smeri razlik kategoriziramo na razrede, nato pa podobe razlik obrežemo le z območji večjih sprememb, ki smo jih dobili v grobem merilu (lahko vzamemo tudi poljubno okolico teh območij).

Pri izbiri in določitvi sosedstva moramo upoštevati velikost osnovne slikovne enote (prostorska ločljivost posnetka) ter njen pomen za predmete v naravi in njihovo prostorsko pojavnost in prepoznavnost. Prednost prehoda na bolj grobo merilo, na primer na velikost sosedstva 3 x 3 ali 5 x 5 (90-metrski in 150-metrski ločljivost v primeru posnetkov Landsat), je v tem, da se izognemo naključnemu šumu manjših prostorskih razsežnosti. Opravljeni testi s prehodom na 90- in 150-metrsko sosedstvo, so potrdili, da z večjim oknom pogleda odstranimo več šuma (slika 2), vendar začnemo izgubljati tudi vse več določenih detajlov (»spregledamo« posamezne linijske strukture ali pa se jim zmanjša pomen, zniža stopnja spremembe, prekinja povezanost in podobno, izgubljamo posamezne točkovne strukture).



Slika 2: Analiza sprememb v različnih prostorskih merilih ter stopnja prisotnega šuma. Levo: v izvorni 30-metrski ločljivosti, na sredini: v 90-metrski ločljivosti in na desni: v 150-metrski ločljivosti. Izsek prikazuje območje Ljubljane (5 x 5 km), s poudarkom na zaznani izgradnji avtocestne obvoznice pri Malencah (prečka Golovec). Temnejši toni predstavljajo večjo intenziteto pozitivnih oziroma negativnih sprememb v odboju.

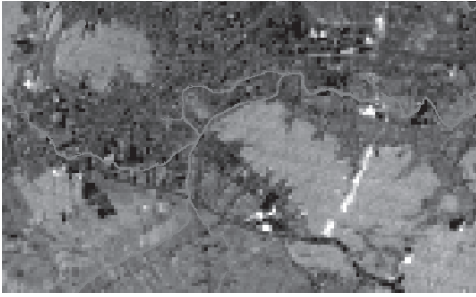
Primer rezultata za prvi spektralni kanal (modri) prikazuje slika 3. Na vrhu so prikazani kompoziti izsekov posnetkov v barvni kombinaciji kanalov E/TM 321. Sledi analiza v spektralnem območju E/TM 1. Zgoraj so standardizirane podobe razlik med dvema datumoma. Zelo svetli (beli) toni kažejo na večji prirastek v odboju, zelo temni (črni) pa na večje pomanjšanje vrednosti v odboju. V sivih tonih so območja z majhnimi spremembami ali brez njih. Sledijo kategorizirane podobe razlik v grobem merilu, zeleni toni prikazujejo pozitivne spremembe, rumeno-rdeči pa negativne. Temnejši toni zastopajo večje intenzitete sprememb. Nato so prikazane tematske karte sprememb, ki jih dobimo z združevanjem informacij v dveh merilih. Spodaj so res samo za ilustracijo kvantitativnega rezultata analize nanizani grafi, ki prikazujejo, kakšen delež sprememb (v hektarih) je analiza zaznala v posameznih razredih rabe tal glede na stanje rabe tal leta 1992 (Oštir et al., 2000).



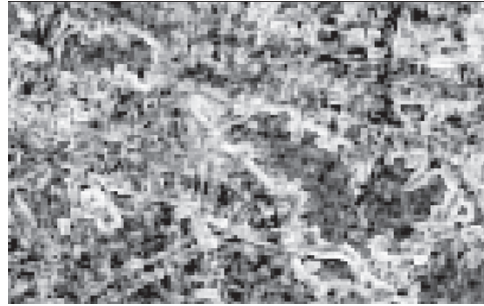
Slika 3: Shematični primer rezultatov analize sprememb časovne vrste z večločljivostnim pristopom določanja sprememb na izseku Ljubljane z okolico (10 x 5 km) za prvi spektralni kanal (modra).

Slika 4 prikazuje primerjavo rezultatov določanja sprememb z različnimi postopki: z enostavnim razlikovanjem podob, s korelacijo sosedstev in z večločljivostnim pristopom.

Pokazalo se je, da z večločljivostnim postopkom lahko odpravimo dobršen del šuma na podobah razlik (primerjaj rezultata na sliki 4 spodaj), predvsem tistega, ki izhaja iz manjše lokalne variabilnosti med posnetki. Slabša globalna primerljivost med posnetki, ki se npr. kaže tako, da ima en posnetek v povprečju višje odbojne vrednosti v urbanih predelih kot drugi, pa je za postopke določanja sprememb na podlagi razlikovanja podob (uporabljeni operator je relativna sprememba, mera za kategorizacijo sprememb pa faktor standardnega odklona) še vedno neodpravljen problem. Z uporabo večločljivostnega pristopa na manjših območjih in opazovanju značilnih sprememb (pretvorb) pa je vpliv tovrstne slabše globalne primerljivosti že praktično zanemarljiv.



podoba razlik (30 x 30 m)



podoba korelacije sosedstev (90 x 90 m)



kategorizacija sprememb podobe razlik (30 x 30 m)



kategorizacija sprememb z večločljivostnim pristopom

Slika 4: Analiza sprememb z različnimi pristopi ter stopnja prisotnega šuma za sekvenco 1999–1992, poletni letni čas, območje Ljubljane (10 x 5 km). Levo zgoraj podoba razlik v izvorni 30-metrski ločljivosti, desno zgoraj rezultat korelacije sosedstev v 90-metrski ločljivosti, levo spodaj kategorizacija podobe razlik v izvornem merilu, desno spodaj rezultat večločljivostnega postopka.

4 REZULTATI

Večločljivostni pristop določanja sprememb je ustrežna rešitev problemov šuma ali nepopolne lokalne usklajenosti med podatki različnih datumov. Prednost predlaganega pristopa je, da združuje informacije o spremembah v dveh prostorskih merilih po načelu prostorske povezanosti bližnje okolice, s čimer omogoča tudi poljubno stopnjo odstranitve šuma. Omejitev pristopa je, da se z močnejšim odstranjevanjem šuma usmerjamo k opazovanju izrazitih in površinsko večjih sprememb. Za analizo vsestranskih sprememb je to dobrodošlo, pri predmetno usmerjeni analizi sprememb pa bi za določitev ustrezne stopnje šuma ločnico morali opredeliti glede na namen opazovanja in krajevne lastnosti pojavov ter podatkov, ki jih v analizi sprememb uporabljamo.

Pokazalo se je tudi, da ob ustrezni obravnavi sosedstva lahko ohranimo večino pomembnih detajlov in obenem izločimo dovolj navideznih sprememb, da opravimo kvantitativne analize časovnih vrst. Pristop omogoča razumno interpretacijo rezultatov, tako vizualnega ovrednotenja (karte sprememb) kot kvantitativnih primerjav, še posebej, če rezultate obravnavamo povezano in iz različnih zornih kotov. Objektivna ocena rezultatov je pri časovnih analizah težavna naloga, saj običajno ne razpolagamo s primerljivimi podatki za celotno območje, zato si pogledimo nekaj možnih interpretacij.

4.1 Vizualna ocena ter interpretacija identificiranih sprememb

Svojo pravo uporabnost rezultati časovnih analiz dobijo, ko jih primerjamo z lokacijami interesnih območij za dani predmet opazovanja. Vizualen pregled zaznanih sprememb (slika 3, slika 4) pokaže, da z uporabljenim postopkom lahko identificiramo vse pomembnejše spremembe. Na sekvencah 1999, 2000, 2001 in 2005 se lepo vidi izgradnja avtocestne obvoznice pri Malencah (prečka Golovec), kjer je stičišče južne in vzhodne obvoznice ter dolenskega avtocestnega kraka. Začetek gradnje tega dela obvoznice sega v leto 1995, v uporabo pa je bila obvoznica predana leta 1999 (DARS, 2006). Ta sprememba se kaže kot znatno povečane odbojne vrednosti na območju zelene površine (gozda), pri čemer je sprememba pozitivnega predznaka, saj imajo grajeni objekti večje vrednosti odboja kot pa zelene površine. Nekoliko manj izrazita je ta sprememba na sekvenci 2005–1992, kar je verjetno posledica zaraščanja (ozelenitve) neposredne bližine obvoznice. Analiza je zaznala posamezne odseke Ljubljanske obvoznice tudi drugod, vendar so ti manj izraziti predvsem zaradi umeščenosti v bolj urbanizirane predele, zato so tudi zaznane spremembe manj izrazite in bolj nepovezane. Na drugi strani se je pokazalo, da pristop dobro zaznava tudi manjša območja sprememb v urbanih predelih, in sicer predvsem tistih, kjer se je zgodila pozidava na račun zelenih površin ali pa je prišlo do večje razlike v odboju že izgrajenih površin. Te spremembe so vidne kot majhna rdeča polja v pretežno urbaniziranih območjih in jih zlahka podrobneje opredelimo s primerjavo virov – npr. posnetkov iz obeh primerjanih datumov ali podrobnejših prostorskih virov. Dobršen del zaznanih sprememb (pozitivnih in negativnih) odpade tudi na spremembe v kmetijskih površinah, kar je z vidika razvoja in spremenljivosti poljščin na poljih precej naraven in pričakovan rezultat. Glede na vzorec ali geometrično obliko, ki jo zavzemajo slednje, si lahko pojasnimo tudi, če gre za različne faze oziroma vrste poljščin na poljih ali je prišlo, na primer, do spremembe namembnosti površin.

Slaba stran opazovanja odbojnih vrednosti površja je, da dobimo skupen seštevek pozitivnih ali negativnih sprememb, ki se nanašajo na različne procese in predmete v prostoru. Zato je dobljene rezultate večločljivostnega postopka določanja sprememb na podatkih odbojnih vrednosti z vidika kvantitativnih izračunov smiselno ovrednotiti na različne načine. Za ilustracijo si pogledimo naslednje primere.

4.2 Deleži sprememb v posameznih razredih rabe tal / pokrovnosti

V primerjavi s splošno shemo gibanja sprememb je bolj sporočilen podatek, za kakšen odstotek so se znatno spremenile lastnosti površja v posamezni kategoriji rabe tal/pokrovnosti oziroma kakšno površino v naravi so zajele opazovane spremembe.

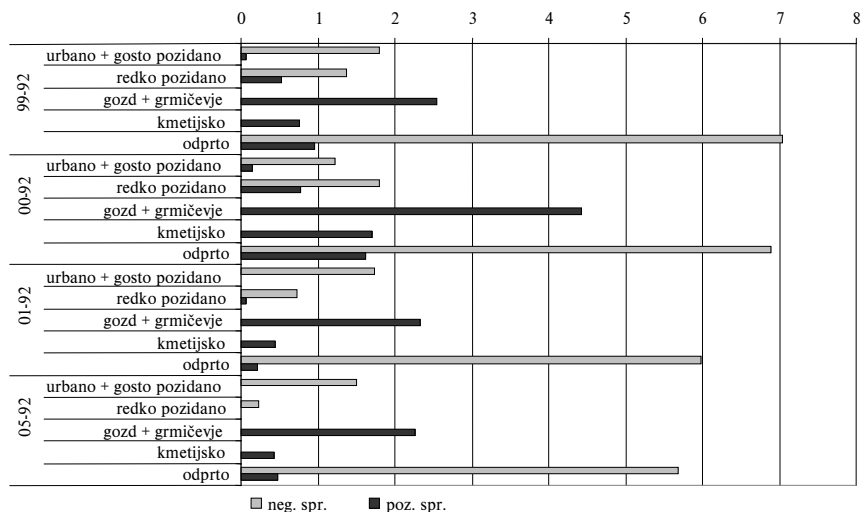
Graf 1 ilustrira oba primera, in sicer na podatkih spektralnega kanala E/TM 1. Zgornji graf prikazuje odstotek večjih pozitivnih sprememb ter večjih negativnih sprememb v razmerju glede na površino, ki jo posamezna raba tal na opazovanem območju zavzema. Spodnji graf prikazuje to razmerje tako, da so podane posamezne površine sprememb v hektarih, torej kakšne so približne prostorske razsežnosti identificiranih skupin sprememb v naravi.

Na podlagi opazovanja celotne časovne vrste lahko ugotovimo, da je delež večjih sprememb majhen (med 0 in 8 % glede na posamezno rabo tal), da je mogoče zaznati največji relativni delež

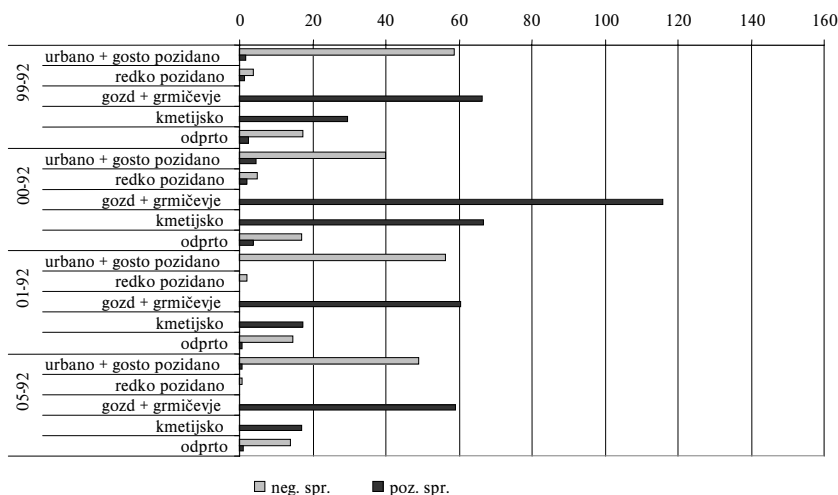
sprememb v razredu odprto (med 6 in 8 %) in da so te spremembe negativnega predznaka. Zmanjšanje odboja za razred odprto (gola tla), ki ima razmeroma visok odboj, pomeni, da se lahko zarašča ali pa je bolj podvržen spremenljivosti v odboju. Drugi izstopajoči trend lahko prepoznamo v razredu zelenih površin (gozd in grmičevje), kjer so opazne predvsem pozitivne spremembe. Nastopi velik prirastek v odboju sicer razmeroma nizkih odbojnih vrednosti gozda v vidnem delu spektra, torej gre za izgubo zelenih površin. Pri tem dajejo sekvence 99-92, 01-92 in 05-92 približno podobne rezultate, sekvenca 00-92 pa nekoliko precenjene. Slednje je posledica manjše meglice, ki povzroča rahel dvig zaznanih odbojnih vrednosti in s tem ustvarja navidezne spremembe.

Z vidika opazovanja površin skupin sprememb pa razberemo, da so spremembe v odprtem razmeroma majhnih prostorskih razsežnosti (med 15 in 20 ha na celotnem območju) ter da s časom rahlo upadajo. Iz grafa bi lahko sklepali tudi, da so se razmeroma veliko površine spreminjale v urbanih predelih (med 40 in 70 ha), vendar je takšna ocena prenaglжена, saj je odboj izgrajenih površin precej spremenljiv (zato so prisotne tudi nekatere navidezne spremembe). Kaže, da bolj skladno sled sprememb podaja razred zelenih površin.

Trajektorija sprememb v tem razredu rabe tal je vidno obremenjena z izgradnjo obvoznice, opazimo preskok pri sekvenci 99-92, nato pa razmeroma nesprenmenljiva stanja do konca časovne vrste. Sekvence 99-92, 01-92 in 05-92 nakazujejo na spremembo površine približno 60 ha. Če za ilustracijo predpostavimo približen račun, da je obvoznica na območju Golovca »obremenila« gozdne površine za 100 m po širini ter 2500 m po dolžini, bi skupna površina nanesele okoli 25 ha. Izmerjene spremembe v modrem kanalu kažejo, da je spremenjene površine 30 ha. Ta manjši presežek je lahko posledica mešanega signala ali večje prisotnosti prahu v robnih celicah, ki predstavljajo obvoznico, zaradi česar se obvoznica (in zaznana sprememba) zdi širša. Četudi je račun približen, pokaže, da polovica vseh sprememb v razredu gozda in grmičevja odpade na izgradnjo obvoznice.



TMI



TMI

Graf 1: Časovne vrste: Delež identificiranih pozitivnih in negativnih sprememb v spektralnem kanalu E/TM 1 glede na razrede rabe tal za območje Ljubljane (10 x 5 km). Zgoraj: kot odstotek glede na posamezno rabo tal, spodaj: kot površina v naravi (v ha).

5 RAZPRAVA

Daljinsko zaznani podatki so pomemben vir informacij. Da bi jih zares razumeli in znali pravilno uporabiti ali na njihovi podlagi sklepati o lastnostih površja, moramo spoznati njihovo obnašanje v različnih okoliščinah zajema in njihove spremembe po različnih obdelavah. To še prav posebej pride do izraza pri uporabi daljinsko zaznanih podatkov v časovnih analizah. Osnovna zahteva in pogoj za relevantnost časovnih analiz je, da analiziramo primerljive podatke. Podobno, kot ne moremo sešteti pet pomaranč in dveh limon v sedem pomaranč-limon, ker tovrstne združljivosti med sadežema ni, tudi ne moremo primerjati površja na več satelitskih posnetkih, če lastnosti niso izražene na enak način, v enakem merilu, v enakih enotah na vseh posnetkih. Ta osnovni pogoj si skušamo zagotoviti s postopkom priprave podatkov (satelitskih posnetkov).

Tu nastopi manjši paradoks časovnih analiz na daljinsko zaznanih podatkih. Splošna paradigma pri analizi sprememb na podatkih satelitskih posnetkov namreč je, da z vsaj nekaj pomembnejšimi predobdelavami posnetkov že toliko prestopimo prag, da smo v območju primerljivosti. Opravljena raziskava časovnih analiz pa je pokazala, da v praksi to le redko drži. Če ta pogoj ni izpolnjen, analize sprememb med zaporedjem posnetkov niso ne realne ne zanesljive, skratka, v kvantitativnem pomenu so neuporabne, saj vsebujejo veliko navideznih (nepravih) sprememb.

Ker so neželene navidezne spremembe rezultat dejanskih razlik v podatkih, ki jih z modeliranjem v pripravi in usklajevanju podatkov ne moremo v celoti odpraviti, se kot možna alternativa na področju uporabe tehnik rastrske algebre ponudi ali naknadno prečiščevanje navideznih sprememb iz vzorca sprememb ali odmik od celičnega pristopa k bolj kontekstualno usmerjenem pristopu (analizi bližnjega sosledstva). Študija je pokazala, da prva alternativa pri neselektivnem opazovanju

sprememb površja ni primerna zaradi preveč zapletenih povezav, ki bi jih morali opredeliti v odločitvenem modelu. Potrjena pa je druga alternativa, to pomeni, da na podlagi bolj posplošenega opazovanja okolice (sosedstvo) lahko zmanjšamo prisotnost inherentnega šuma na sprejemljiv minimum ter s tem omogočimo tudi kvantitativno ovrednotenje časovnih vrst.

S predlagano rešitvijo problema z večločljivostnim pristopom se je vsekakor povečala kakovost identifikacije dejanskih sprememb. Opisano metodologijo lahko uporabimo za opazovanje pretvorb na površju, tako obsežnih (npr. poseka gozda) kot majhnih (npr. individualna novogradnja).

Pomemben dejavnik za uspešnost časovnih analiz je velikost opazovanega območja. Velja, da bomo na manjših območjih bistveno lažje zagotovili optimalno primerljivost med podatki, torej dobili tudi boljše in zanesljivejše rezultate časovnih analiz – tako vsestranskih časovnih analiz kot procesno ali pojavno usmerjenih opazovanj sprememb. Pri obravnavi večjih območij in opazovanju vsestranskih sprememb je pri kvantitativnih ocenah in njihovi interpretaciji treba biti bolj previden. Za večja območja zato velja razmišljati o časovni analizi posameznih pojavov (izoliranost) ter kasnejšem združevanju tovrstnih informacij (obnašanje v prostoru skozi čas). Poleg velikosti območja pa na uspešnost časovnih analiz pomembno vplivajo še: dobro poznavanje učinkovanja postopkov predobdelave na lastnosti posnetkov ter izbira primernih posnetkov. Če so bili surovi posnetki v sprejemnih postajah obdelani različno, bodo posnetki različno prikazovali tudi lastnosti površja. Teh razlik ni mogoče poenotiti s postopki predobdelave, predlagana rešitev pa tovrsten šum obvladuje v omejenem obsegu. Tako lahko povzamemo, da je tudi pri daljinsko zaznanih podatkih kakovost podatka in pravilna izbira posnetkov ključna za uspešne časovne analize.

Literatura in viri:

- Allen, J.F. (1983). *Maintaining knowledge about temporal intervals. Communications of the ACM* 26, 11 (str. 832–843).
- Al-Taha, K., Barrera, R. (1997). *Identities through time. V Frank, A., Kuhn, W., Haunold, P. (ur.), Temporal data in geographic systems (str. 233–244). Vienna: TU Vienna.*
- Brown, L. (1992). *A Survey of Image Registration Techniques. ACM Computing Surveys* 24 (4), 325–376.
- Chavez, P.S. (1988). *An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. Remote Sensing of Environment* 24, 459–479.
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., Lambin, E. (2004). *Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. International Journal of Remote Sensing* 25 (25), 1565–1596.
- Frank, A.U. (1997). *Qualitative temporal reasoning in GIS-ordered time scales. V Frank, A., Kuhn, W. in Haunold, P. (ur.), Temporal data in geographic systems (str. 127–149). Vienna: TU Vienna.*
- Im, J., Jensen, J.R. (2005). *A change detection model based on neighbourhood correlation image analysis and decision tree classification. Remote Sensing of Environment* 99, 326–340.
- Jensen, J.R. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, Second Edition. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River.*
- Liang, S. (2004). *Quantitative Remote sensing of Lands Surfaces. New York: Wiley-Interscience.*
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., Moran E. (2004). *Change detection techniques. International Journal of Remote Sensing* 20 (25), 2365–2407.
- Oštir, K. (2006). *Daljinsko zaznavanje. Ljubljana: Založba ZRC.*
- Oštir, K., Stančič, Z., Podobnikar, T., Vehovar, Z. (2000). *Pridobivanje in uporaba prostorskih podatkov visoke ločljivosti pri načrtovanju omrežja mobilne telefonije. V Hladnik, D., Krevs, M., Perko, D., Podobnikar, T., Stančič, Z. (ur.), Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1999-2000 (str. 143–152). Ljubljana: Založba ZRC.*

Singh, A. (1989). *Digital change detection techniques using remotely-sensed data. International Journal of Remote Sensing* 10, 989–1003.

Smith, J.A., Tzeu Lie Lin, T.L., Ranson, K.J. (1980). *The Lambertian assumption and Landsat data. Photogrametric Engineering of Remote Sensing* 46, 1183–1189.

Smits, P., Bruzzone, L. (2004). *Analysis of multi-temporal remote sensing images. Singapore: World Scientific Printers.*

Projekt SPIN (2001-2004). *Spatial Indicators for European Nature Conservation. Pridobljeno 30.05.2008 s spletne strani <http://www.ec-gis.org/project.cfm?id=227&db=project>.*

Townshend, J.R.G., Justice, C.O., Gurney, C., McManus, J. (1992). *The Impact of Misregistration on Change Detection. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing* 30 (5), 1054–1060.

Veljanovski, T. (2007). *Zaznavanje sprememb na površju s podatki daljinskega zaznavanja. Doktorska disertacija. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo.*

Prispelo v objavo: 5. maj 2008

Sprejeto: 2. julij 2008

dr. Tatjana Veljanovski, univ. dipl. inž. geod.

ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije, Novi trg 2, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: TatjanaV@zrc-sazu.si