

Uporaba satelitskih posnetkov v arheoloških prostorskih raziskavah

Vincent Gaffney, Zoran Stančič in
Ana Tretjak

O'BRIEN, M. in LEWARCH, D. 1992. Regional Analysis of the Zapotec Empire, Valley of Oaxaca, Mexico, *World Archaeology* 23.3, 264-282.

LAYTON, R. 1991. Figure, motif and symbol in the hunter-gatherer art of Europe and Australia, v: P. Bahn in A. Rosenfeld (eds.). *Rock art and prehistory*: 23-38. Oxford: Oxbow Monograph 10.

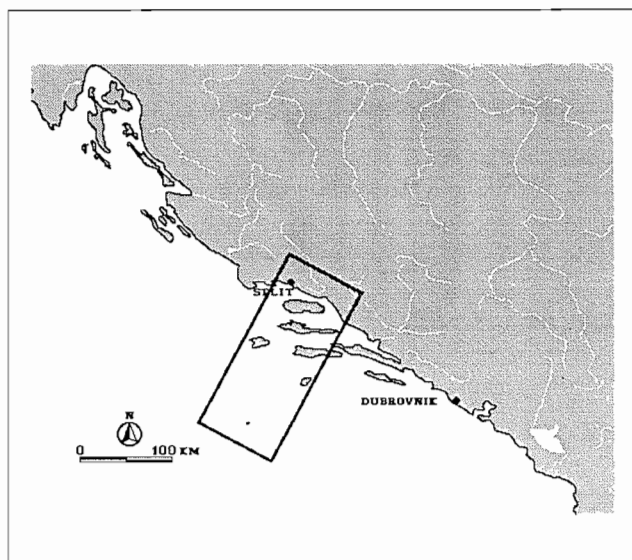
MCDONALD, W.A. in HOPE-SIMPSON, R. 1961. Prehistoric habitations in southwestern Peloponnese, *American Journal of Archaeology* 65, 221-260.

PLOG, S., PLOG, F. in WAIT, W. 1978. Decision making in modern surveys, v: M. Schiffer (ed.), *Advances in archaeological method and theory, volume 1*: 383-421, New York: Academic press.

SHENNAN, S. 1985. *Experiments in the collection and analysis of archaeological survey data*, Sheffield University Department of Archaeology and Prehistory.

1. Uvod

V okviru arheološkega projekta raziskav srednje Dalmacije, ki vključuje strokovnjake z Univerze v Birminghamu, Royal Ontario muzeja, Arheološkega muzeja v Splitu ter Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti v Ljubljani, je bilo potrebno za celotno regijo zbrati podatke o naravnem okolju. Cilj projekta je raziskati spremembe poselitvenih vzorcev, spremembe v strategiji trgovanja in komunikacij v kontekstu opazovanja sprememb v interakcijah naravnega okolja in človeka od neolitika do zgodnjega srednjega veka. Prve raziskave, omejene na otok Hvar, so bile po delih že predstavljene (Stančič in Gaffney 1991). V drugem delu raziskav je naš namen na izbranem vzorčnem območju (preseki čez srednji Jadran, ki bi se začel na celini in bi potekal čez bližnje otoke vse do Palagruže, Sl. 1) ugotoviti in dokazati funkcijo posameznih otokov pri obvladovanju celotnega prostora ter spremembe gospodarskih strategij preteklih družb.



Sl. 1. Delovno območje - presek čez srednji Jadran.

Namen prispevka je predstaviti izkušnje, pridobljene z učinkovitim zbiranjem podatkov o sodobnem naravnem okolju. Živimo v prostoru, kjer imamo na srečo bogato zgodovino kartiranih podatkov o naravnem okolju. Za lociranje točk v prostoru in kot vir informacij o naravnem okolju uporabljamo v arheologiji ponavadi topografske načrte v merilu 1:5000 oziroma topografske karte v merilih 1:25000

in 1:50000. Zaradi izredno hitrih sprememb v okolju so karte velikokrat že močno zastarele, poleg tega pa nastopajo tudi problemi zaradi neučinkovitega prenosa grafičnih podatkov na sodobne računalniške sisteme za obdelavo prostorskih podatkov. Ker smo se želeli izogniti digitalizaciji oziroma skeniranju kartografskih prilog, smo se odločili, da poizkusimo s standardno alternativo - uporabo daljinskega zaznavanja. Za izbrano območje sicer obstaja vrsta kakovostnih letalskih posnetkov, od tistih iz petdesetih let do najsodobnejših, vendar nam posnetki za celotno območje niso bili na razpolago. Ker smo želeli zbrati podatke o naravnem okolju za celotno raziskovalno območje z natančnostjo lociranja nekaj deset metrov in bi letalski posnetki, ki omogočajo bistveno natančnejše lociranje v prostoru, ne predstavljali najbolj ustrezne rešitve, smo se odločili uporabiti satelitske posnetke.

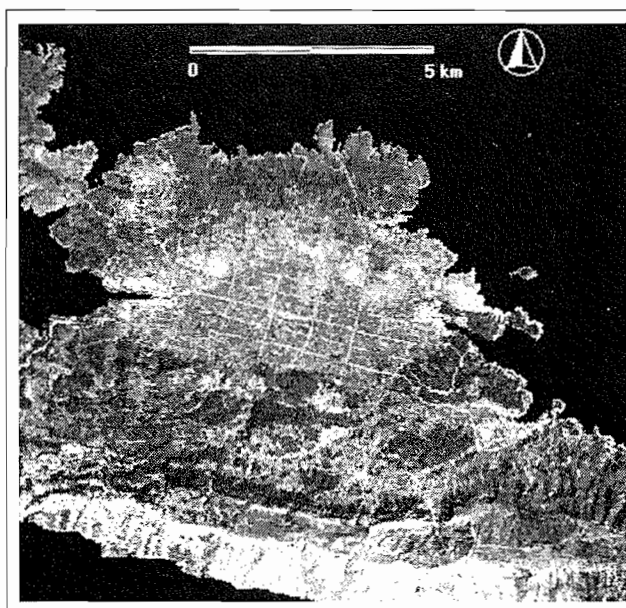
Zgodovina uporabe satelitskih posnetkov je že dokaj dolga. Leta 1972 so postali javno dostopni posnetki ameriškega satelita LANDSAT, čemur je takoj sledila njihova uporaba v številnih naravoslovnih znanostih. Bilo je tudi nekaj poskusov uporabe v arheologiji, ki pa so bili manj zanimivi za arheologe, saj so se osredotočali predvsem na dejstvo, da je mogoče s sateliti zaznavati nekatera arheološka najdišča tudi iz razdalje več sto kilometrov iz vesolja. Tipičen primer takšne raziskave je opazovanje piramid v Dolini kraljev (Quann in Bevan 1977), ki pa arheologov ni prepričala o uporabnosti te tehnologije. Problem pri prvih posnetkih je bil v relativno slabi natančnosti, saj je satelitski skener zbiral podatke po kvadrantih s približnimi dimenzijami stranic 60 x 80 m, kar je veliko preveč v primerjavi z velikostjo večine arheoloških najdišč. Toda kmalu so postali dostopni satelitski posnetki z večjo natančnostjo vzorčenja. Predvsem v ZDA so sledili številni poskusi uporabe natančnejših satelitskih posnetkov za ugotavljanje novih najdišč. Večina teh poskusov se je po pričakovanju izkazala za neuspešne (Limp 1987). Razočaranje je bilo še večje spričo dejstva, da metoda ni delovala niti v za njo idealnem okolju polpuščav ameriškega jugozahoda; le kako bi se sploh obnesla v mnogo kompleksnejših arheoloških situacijah in pri vegetacijskem pokrovu klimatsko zmerne Evrope in Sredozemlja?

Vendar je sčasoma uporaba satelitskih posnetkov našla svoje mesto v arheoloških raziskavah prostora in pokrajine. Največkrat jih lahko učinkovito uporabimo kot vir podatkov o naravnem okolju (Lind in Ring 1986). Izjema so radarski satelitski posnetki, ki bi jih lahko uporabili tudi za odkrivanje novih najdišč, saj delno prodrejo v tla (celo v suhih

sedimentih) in tako lahko odkrijemo na primer v pesku zakopane objekte (Olsen 1985).

2. Izbor posnetka

Nad zemljo v različnih tirnicah kroži že veliko število satelitov, ki sistematično zajemajo podatke o zemljini površini. Če odmislimo številne meteorološke satelite, ki bi jih v arheologiji le stežka uporabili, in številne vojaške satelite, do katerih podatkov tako in tako ne moremo priti, so možnosti v glavnem omejene na ameriški LANDSAT, francoski SPOT ter nekaj ruskih, indijskih in japonskih satelitov, vendar pa je pri slednjih težava v tem, da zemljino površje snemajo s fotografskimi tehnikami. To pomeni, da je originalni nosilec informacij fotografski film, ki ga sicer v nekaterih primerih pozneje skenirajo v digitalno obliko, sicer z dokaj veliko natančnostjo (tudi do 5 x 5 metrov na terenu), vendar je največja pomanjkljivost tovrstnih posnetkov to, da so omejeni zgolj na vidni pas elektromagnetnega sevanja. Zato se ponavadi odločamo med posnetki satelita SPOT in LANDSAT. Na eni strani ima SPOT ločljivost 10 x 10 metrov na terenu za pankromatske posnetke (kar je ekvivalent črno bele fotografije vidnega spektra) oziroma 20 x 20 metrov za multispektralne posnetke. LANDSAT skener, imenovan The-



Sl. 2. Satelitski posnetek Starigradskega polja z dobro vidno grobo parcelacijo.

matic Mapper, pa ima ločljivost 30 x 30 metrov, in sicer za sedem delov elektromagnetnega spektra, od vidnega dela do bližnjega in srednjega infrardečega dela sevanja. Posamezni satelitski posnetek pokriva pri LANDSAT-u kvadrant približnih dimenzij 180 x 180 kilometrov, pri SPOT-u pa 60 x 60 kilometrov.

Kakorkoli že, satelitski skenerji so bili zamišljeni kot kompromis med željo, da bi pokrili čim večje območje s čim večjo ločljivostjo oziroma čim manjšo velikostjo kvadrantov, ter dejanskimi možnostmi prenosa podatkov. Tako je sicer možno, da se močno zmanjša velikost pixla, tudi pod 1 meter, vendar je v tem primeru z današnjo tehnologijo prenosa elektronskih podatkov potrebno območje enega satelitskega posnetka primerno zmanjšati. Pri SPOT-u so se odločili, da naredijo nekoliko natančnejše posnetke, vendar so morali zato zmanjšati velikost enega posnetka na kvadrant dimenzij 60 x 60 kilometrov. Za naše raziskave smo se odločili za LANDSAT, ker smo predpostavili, da nam bo zadoščala velikost pixla 30 x 30 metrov in da nam bo večja spektralna ločljivost sedmih kanalov omogočala boljšo in lažjo klasifikacijo.

3. Predpriprava

V naši raziskavi smo uporabili posnetke iz julija 1989, 1990 in 1993. Izbrali smo le tako imenovane četrtscene celotnih posnetkov, saj že ena četrtscena pokriva celotno območje naših raziskav z dimenzijami 90 x 90 kilometrov. Na srečo smo bili lahko pri zahtevah o popolnem nepokritju površine z oblaki zelo strogi, tako da smo imeli na voljo kar precejšnjo izbiro posnetkov brez oblakov. Osnovna strategija dela je bila dokaj enostavna. Na eni strani smo imeli izredno dobre tematske karte za otok Hvar: pedološke, geološke, mikroklimatske in vegatecijske karte, ki so bile izdelane za potrebe razvojnega načrta otoka (Bognar 1990). Za druga delovna območja, predvsem za otoke Vis, Brač in Šolta pa teh podatkov nismo imeli ali pa so bili bistveno manj natančni (Miloš 1984). Zato smo želeli najprej ovrednotiti otok Hvar in s primerjavo rezultatov klasificiranja satelitskih posnetkov ter kartografskih podatkov izbrati najučinkovitejšo metodologijo obdelave satelitskih podatkov. V drugi fazi bi izbrano in na Hvaru preizkušeno metodo neposredno uporabili za preostale otoke v okviru raziskav.

Po prenosu surovih podatkov vseh treh četrtscen delovnega območja iz računalniških trakov smo se odločili, da celotno delovno območje razdelimo na manjša delovna podobmočja,

ki bi zajemala posamezne otoke. Glavni razlog je v količini podatkov, saj ena sama četrtscena z vsemi sedmimi kanali zavzema približno 50 MB spomina. Nato je sledil postopek geokodiranja posnetkov. LANDSAT-ovi posnetki so namreč nekoliko zamaknjeni stran od severa v smeri urinega kazalca in jih je zato potrebno rotirati, hkrati pa je treba posnetek vpeti tudi v koordinatni sistem. Ker so prostorski arheološki podatki zbrani v Gauss-Krügerjevem koordinatnem sistemu, smo se odločili, da isti koordinatni sistem uporabimo tudi v naših raziskavah. Postopek geokodiranja je načeloma enostaven. Izberemo več deset dobro definiranih točk, enakomerno razporejenih po delovnem območju, določimo njihove Gauss-Krügerjeve koordinate iz topografskih kart, nato odčitamo slikovne koordinate teh točk na satelitskih posnetkih, po metodi najmanjših kvadratov izračunamo matriko transformacij, po potrebi izločimo nekaj točk z največjimi odstopanji zaradi pogreškov in nato izpeljemo transformacijo na celotnem delovnem podobmočju. Seveda mora biti natančnost te operacije pod natančnostjo samega zajemanja satelitskih podatkov, torej največ +/- 30 metrov.

Vendar smo v praksi naleteli na vrsto težav. Prvič, odločili smo se za uporabo topografskih kart 1:50.000, saj smo pričakovali, da nam bo grafična natančnost odčitavanja koordinat +/- 10 metrov zadoščala. Na žalost so bile karte starejšega datuma; večinoma so bile izdelane v petdesetih letih. Prav zato je bilo nemogoče izbrati točke znotraj otokov, kot so na primer križišča cest ali podobno, saj se je stanje v tridesetih letih spremenilo do nerazpoznavnosti. Omejeni smo bili na točke z obale. Kljub temu je bilo še vedno nekaj kart, ki so nam povzročale težave. Še najtežje je bilo pri geokodiranju južne obale otoka Visa, kjer je pri tisku karte 1:50.000 prišlo do odstopanja, večjega od 1 mm med linijama obale in morja. Zato smo morali po večkratnih neuspeh poskusih delovno območje razširiti in poiskati kontrolne točke na bolj zanesljivo kartirani obali sosednjega otoka Biševa.

4. Obdelava in klasifikacija

Po zaključenih pripravljalnih delih in geokodiranju posnetkov smo pričeli s klasifikacijo. To smo opravili po dveh metodah. Prva je metoda t. i. nenadzorovane klasifikacije, kjer lahko definiramo število razredov, v katere želimo razvrstiti posamezne kvadrante posnetka. Nato definiramo spektralne kanale, ki jih bomo uporabili v klasifikaciji, saj se informacije iz prvih treh kanalov, ki predstavljajo vidni del elektro-

magnetnega spektra, v marsičem prekrivajo. Za potrebe klasifikacije rahlih nians v vegetacijskem pokrovu ali vlažnosti tal so zelo koristni četrti, peti in sedmi kanal, ki pokrivajo bližnji infrardeči del sevanja. Šesti kanal je ponavadi relativno malo uporabljan, saj je omejen z bistveno manjšo natančnostjo vzorčenja, in sicer le 120 x 120 metrov, pokriva pa termični del elektromagnetnega valovanja.

Izpeljali smo vrsto poskusov nenadzorovane klasifikacije z metodo klasterskih analiz. Vsakič smo rezultate primerjali s tematskimi kartami iz prostorsko-razvojnega načrta otoka Hvara, predvsem pa s kartami vegetacijskega pokrova in pedološko karto (Bognar 1990, Carter 1990, Poduje 1975), letalskimi posnetki Starigradskega polja ter topografsko karto v merilu 1:50.000. Zlahka smo identificirali sedem glavnih tipov izrabe tal: urbana območja, odprta območja, vinograde, mediteransko makijo, gozdove, travnike in druga območja intenzivnega poljedelstva.

V marsičem so se prekrivala območja, klasificirana kot urbana in odprta, kar je bilo tudi pričakovati. Ker smo želeli klasificirati tudi bolj prefinjene nianse v izrabi tal, vključujoč nasade oljk, sadovnjake in podobno, smo se odločili za metodo t. i. nadzorovane klasifikacije. Metoda nadzorovane klasifikacije je taka, da se na podlagi podatkov o dejanskem stanju na terenu, ki ga lahko ugotovimo bodisi z zbiranjem podatkov na samem terenu ali pa z letalskimi posnetki, in natančnega opazovanja satelitskih posnetkov, izbere za vsak razred nekaj poligonov, ki obkrožajo homogena območja določenega tipa izrabe tal. Nato se izračunajo statistične karakteristike posamezne kategorije v satelitskih kanalih. Sledi primerjava vsakega klasificiranega piksla posnetka s »podpisom« testnega območja in izračun verjetnosti pripadanja določenemu razredu izrabe tal. Primerjava rezultatov nenadzorovane in nadzorovane klasifikacije je pokazala, da je s slednjo mogoče natančno določiti izrabo tal. Za potrebe kvantifikativne primerjave z obstoječimi statističnimi podatki (Bognar 1990, Poduje 1975), ki smo jih prenesli v GIS, smo kategorije izrabe tal združili v naslednje tipe površin: obdelovalne površine, pašnike, gozd in nerodovitne površine (Tabela 1). Lepo je razviden pričakovani trend v izrabi tal v Dalmaciji, ki se kaže predvsem v opuščanju poljedelstva. Razvidno je tudi opuščanje pašnikov, ki jih zarašča makija in sekundarni borov gozd. Primerjava s Podujevimi podatki (1975) je problematična, saj avtor podaja zelo subtilno analizo poljedelske prakse in sistema izrabe tal, na žalost pa so njegove raziskave slabo

podprte s kvantifikativnimi podatki in so kompleksnejše primerjave bolj otežkočene.

Podoben trend lahko opazimo tudi pri primerjavi z Bognerjevimi podatki (1990) in rezultati naših analiz (Tabela 2). Klasifikacije izrabe tal smo poskusili združiti v štiri osnovne razrede glede na potenciale izrabe tal v poljedelstvu. Podobne izpeljave Bognerjeve klasifikacije se premočno razlikujejo. Razlike so verjetno rezultat različnih metod klasifikacije tal ali celo terenskega dela pedologov.

Po opravljenih raziskavah smo bili tudi presenečeni, da se nekatere arheološke strukture na posnetkih le vidijo. Seveda, gre le za grško parcelacijo Starigradskega polja, ki pokriva območje kakih dvajsetih kvadratnih kilometrov.

Tabela 1 Primerjava izrabe tal

Izraba tal na Hvaru (Poduje 1975):

obd. površine	pašniki	gozd	nerodovitno
4.491 ha	9.199 ha	22.630 ha	1.921 ha

Podatki o izrabi tal, dobljeni iz satelitskih posnetkov LANDSAT:

obd. površine	pašniki	makija	gozd	nerodovitno
4.928 ha	4.212 ha	10.232 ha	3.997 ha	7.954 ha

Tabela 2 Primerjava kakovosti tal

Kakovost tal na Hvaru (Bognar 1990):

zelo dobra	dobra	slaba	zelo slaba
6.568 ha	5.924 ha	9.655 ha	9.176 ha

Podatki o kakovosti tal, dobljeni iz satelitskih posnetkov LANDSAT:

zelo dobra	dobra	slaba	zelo slaba
4.927 ha	4.212 ha	10.232 ha	11.951 ha

5. Zaključek

Kljub temu, da gre šele za preliminarno poročilo o delih, ki še potekajo, je nekaj rezultatov že jasnih. Opisane težave pri klasifikaciji so rezultat izredno težavnega terena. Za poljedelstvo otoka je značilna ekstenzivna polikultura. Na eni sami parceli je pogosto veliko število različnih kultur, ki jih zakriva sadno drevje ali oljke. Hkrati je za otoke značilna

izredna razdrobljenost parcel. Skoraj 45 odstotkov parcel na Starigradskem polju je manjših od kvadrata 30 x 30 metrov (Fludder in Lister 1966), torej celo manj od natančnosti posnetka LANDSAT. Dodaten problem predstavljajo tudi kamnite groblje, kraški zidovi in terase. Ti stojijo bodisi ob zemljiških parcelah ali znotraj njih. Tako se redno dogaja, da je signal iz zemlje močno popačen zaradi izrednega odsevanja apnenčastega kamenja iz grobelj.

Toda kljub težavam so preliminarni rezultati zelo vzpodbudni. Vsekakor satelitski posnetki predstavljajo najučinkovitejši vir kakovostnih podatkov o izrabi tal za arheološke prostorske analize. V relativno kratkem času se nam je posrečilo izdelati karto vegetacijskega pokrova, ki je neprimerno boljša od obstoječih. Z opisano metodo bomo lahko obdelali tudi celotno območje raziskav, kar nam z drugimi načini zajemanja podatkov zagotovo ne bi uspelo.

Zahvala

Projekt so podprli EOSAT, ki nam je, med drugim, dal na razpolago tri LANDSAT posnetke in Evropska komisija skozi program Kooperacija v znanosti in tehnologiji s srednje- in vzhodnoevropskimi državami. Programska oprema, ki smo jo uporabili: EASI - PACE (PCI). Zavodu Republike Slovenije za statistiko pa se zahvaljujemo za možnost uporabe njihove računalniške opreme.

Literatura

- BOGNAR, A. 1990. Geomorfološke i inženjerisko geomorfološke osobine otoka Hvara i ekološko vrednovanje reliefa, *Geografski glasnik* 52, 49-65.
- CARTER, F.W. 1990. Development and the environment: a case study of Hvar island, Yugoslavia, *Mediterranean Social Sciences Newsletter* 4, 21-39.
- FLUDDER, C. in LISTER, R. 1966. *Report on the Hvar expedition, September 1966. Joint School of Geography*, London School of Economics, neobjavljeno poročilo.
- LIMP, W.F. 1987. The identification of archaeological site patterning through integration of remote sensing, geographic information systems and exploratory data analysis, *Proceedings of 6th Remote Sensing Symposium*, November 2.-4., Galveston, Texas, 232-262.
- LIND, A. in RING, N. 1986. Abandoned settlements and cultural resources remote sensing, v: *Remote sensing for*

recources development and environmental management, Damen M.C.J., Sicco Smith G. in Verstappen H. (ur.), AA Balkema, 835-840.

MILO, B. 1984. Bračka tla, *Brački Zbornik* 14 - Prirodne osnove otoka, 66-77.

OLSEN, J.W. 1985. Application of space-born remote sensing in archaeology, *University of Arizona Remote Sensing Newsletter*, 85:1.

QUANN, J. in BEVAN, B. 1977. The pyramids from 900 kilometers, *MASCA Newsletter* 13, 1/2, 12-14.

PODUJE, S. 1975. Poljoprivredna proizvodnja na Hvaru i integracioni procesi, *Hvarski zbornik* 3, 37-49.

STANČIČ, Z. in GAFFNEY, V. 1991. *Napovedovanje preteklosti - uporaba GIS v arheološki študiji otoka Hvara*, Znanstveni inštitut Filozofske fakultete, Ljubljana.