

AGROEKOLOŠKO KARTIRANJE I MODELIRANJE U GIS-OKRUŽENJU

Tomislav HENGL, Mladen JURIŠIĆ, Željko BUKVIĆ – Osijek*

SAŽETAK. Svrha ovog članka bila je predstaviti geodetskoj javnosti neka osnovna teorijska načela i mogućnosti primjene geoinformacijskih tehnologija u ekologiji, i to iz perspektive struke korisnika. Velik broj postojećih metoda u ekologiji nemaju određenu prostornu komponentu. Mogućnosti prikupljanja, obrade i prikaza podataka uz geokodiranje osobito su napredovale s razvitkom geoinformacijskih tehnologija. Primjenom geoinformacijskih alata i tehnologija u poljoprivredi počela se razvijati i nova grana gospodarstva, tzv. Precizna poljoprivreda. U članku se razmatraju prednosti GIS-a u ekologiji pri izračunu i kartiranju ekoloških parametara te obradi digitalnih aerosnimaka i satelitskih snimaka. Od karata važnih za poljoprivredno gospodarenje istaknute su: karta tala, karta hraniva u tlu, klimatske karte, karte indikatora pogodnosti i plodnosti, optimalne namjene, predviđanja prinosa i druge. Na najvišoj razini tehnologije GIS-a, baza prostornih podataka sačinjena od različitih tematskih slojeva rabi se u modeliranju pojava u prirodi. Prikazane su osnovne postavke detaljnog kartiranja gospodarski važnih čimbenika poput koeficijenata erozije, iznosa otjecanja, indeksa aridnosti, stresa biljke, pogodnosti i drugih posredno računanih parametara, te izrade ekološkog modela "biljka – tlo – klima" kao osnove predviđanja prinosa. Ta načela bit će osnova budućeg istraživanja i primjene u praksi.

Ključne riječi: agro-ekološko kartiranje, modeliranje, GIS, precizna poljoprivreda.

1. UVOD

Dok je u klasičnoj geodetskoj izmjeri i kartografiji osnovna svrha prikazati uglavnom topografske objekte u onom odnosu kako oni dolaze u prirodi, za struke koje se bave gospodarenjem prirodnim resursima važnija je izmjera i statistička analiza parametara bitnih za gospodarenje. Ekološki utemeljeno **gospodarenje prirodnim resursima** koje podrazumijeva tri osnovne radnje: uređenje, iskorištavanje i zaštitu, postaje danas sve složeniji problem. Da bi se osigurala potrajnost resursa postavljena međunarodnim konvencijama kao osnovna smjernica gospodarenja okolišem, potrebni su pouzdaniji alati za donošenje optimalnih odluka. Razvitak dinamičkih ekološko ekonomskih modela čini znanstvenu osnovu praćenja, inventarizacije i predviđanja po-

* Tomislav Hengl, dipl.inž., doc.dr.sc. Mladen Jurišić, prof.dr.sc. Željko Bukvić, Poljoprivredni fakultet, Sveučilište J. J. Strossmayer u Osijeku, Trg Sv. Trojstva 3, 31000 Osijek.

java u okolišu, a time i donošenja odluka, planiranja i provedbe gospodarenja (Ball 1994).

Mnogobrojna istraživanja na temu GIS-a u ekologiji na području poljoprivrede i šumarstva, te općenito iskorištavanja i zaštite prirodnih resursa već postoje. Neki primjeri geodataka važnih za poljoprivredu mogu se vidjeti u tablici 1. Dominantne teme u agroekološkim studijama su primjerice:

- pronalaženje optimalne uporabe zemljišta
- balansiranje aridnosti i plavljenja kao glavnih limita poljoprivrednih potencijala
- praćenje interakcije agroekoloških i okolnih sustava (npr. onečišćavanje vode)
- izmjera i kartiranje najutjecajnijih ekoloških parametara (limitirajući čimbenici)
- smanjivanje troškova u proizvodnji pouzdanim izračunom minimalnog potrebnog unosa i
- drugi.

Tablica 1. Informacije važne za poljoprivredu, primjena i način pridobivanja podataka (po Jürschek 1998)

Informacija	Period	Primjena	Pridobivanje
topografske karte	jednokratno	geografska osnova planiranja, pregleda	digitalizacija, unošenje u GIS
granice polja	jednokratno	osnova provođenja precizne poljoprivrede	digitalizacija, unošenje u GIS, GPS kartiranje, obrada satelitskih snimaka
karta tala	jednokratno	planiranje sjetve, bonitiranje	digitalizacija, unošenje u GIS
hraniva u tlu	po potrebi	izračun i planiranje gnojidbe	uzorkovanje i analiza, geokodiranje (DGPS) i unošenje u GIS, interpolacija
urod/prinos	godišnje	prikaz raspodjele prinosa, ekonomska analiza	kartiranje pomoću sustava za preciznu poljoprivredu, unos u GIS
pojava bolesti, suše i druge pojave u polju	po potrebi	dijagnosticiranje, planiranje provođenja zaštite	terenska izmjera i unos u GIS, daljinska istraživanja

Trendovi u svjetskom gospodarstvu pokazuju da će uskoro svaki zahvat u okoliš zahtijevati ekološku studiju. S druge strane, testiranje uporabe **GPS**-a i satelitskih snimaka u poljoprivredi pokazali su da se racionalizacijom gospodarenja mogu ostvariti i znatne zarade. Pritom se osobito misli na uštedu na unosu gnojiva, pesticida i vode pri racionalnoj analizi gospodarskog sustava. Može se reći da se spomenuta tzv. **Precizna poljoprivreda** (*Precision Agriculture*) temelji na implementaciji geoinformacijskih tehnologija (Committee on Assessing Crop Yield 1997). Uporabom GIS-a smanjuje se

znatna količina utrošenog vremena, rada i stručne intervencije. Olakšan je pregled podataka vizualizacijom, automatizirana je analiza, a time je olakšano i donošenje odluka (Strinivasan, Engel 1994). Nove su tehnike osobito napredne i važne u vizualizaciji i analizi podataka. Tu treba istaknuti digitalnu obradu snimaka (*Digital Image Processing*), virtualnu stvarnost (*Virtual Reality*) i simulacijsko modeliranje (Lyon & McCarthy 1995).

Ekološki modeli koji istražuju vezu “biljka-tlo-klima” kao dio integralnog sustava gospodarenja, pokazali su veliku isplativost, poput primjerice sustava za predviđanje proizvodnje šećerne repe u Velikoj Britaniji i Europskoj uniji (Stott 1996).

Industrija šećerne repe u Europskoj uniji velika je oko osam milijardi funti godišnje, a kako je tržište definirano kvota-sustavom, prebacivanje kvote može prouzrokovati pad cijene repe i do 20 % nominalne cijene. Uspješno se predviđanje temelji na tri glavna studijama: a) agro-ekološkom modelu, b) klimatskoj studiji i c) obradi satelitskih snimaka.

Glavna je svrha svih tih istraživanja optimizacija proizvodnje uz različite mogućnosti kombinacije uporabe zemljišta i tehnologije. Također postoji trend stvaranja integralnog ekološko-ekonomskog modela kao baze planiranja, provedbe i kontrole politike potrajnog gospodarenja. Može se reći da je općenito osnovna svrha primjene GIS-a u gospodarenju prirodnim resursima – optimizacija proizvodnje (čitaj: maksimalna dobit uz potrajnost), a temelji se na optimalnom donošenju odluka (*decision making*) te boljem razumijevanju pojava u prirodi.

2. GIS U EKOLOGIJU

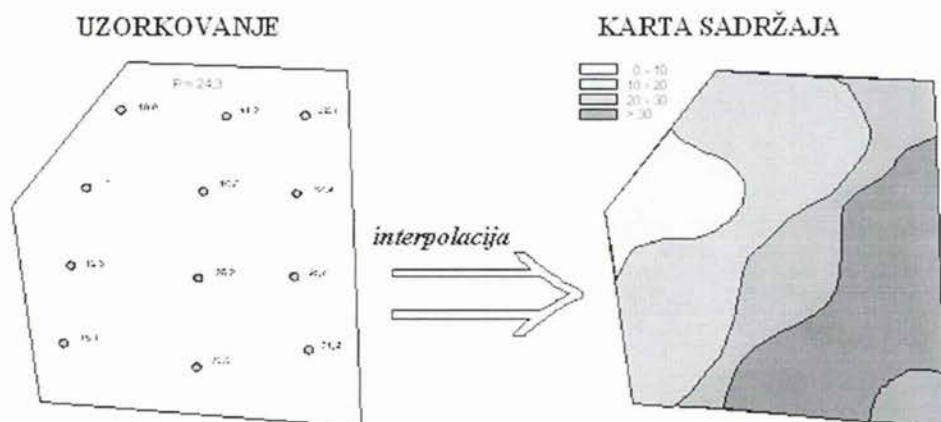
U početku su se aerosnimci i satelitski snimci rabili za vizualnu interpretaciju pojava, a GIS alati mogli su izvoditi samo jednostavnije izračune. S razvitkom metoda poput digitalne kartografije i fotogrametrije, digitalne obrade snimaka, te općenito informatike i programiranja, počele su se intenzivnije razvijati i aplikacije u ekologiji. Može se reći da su osnovne prednosti primjene geoinformacijskih tehnologija s obzirom na klasične metode obrade u ekologiji:

- mogućnost povezivanja različitih tipova podataka u jedinstvenu bazu
- veća pouzdanost i preglednost podataka dobivenih daljinskim istraživanjima
- pojednostavljeno georeferenciranje terenske izmjere pomoću GPS-prijamnika
- mogućnost automatizacije obrade, tj. izračuna i analize podataka.

Te se prednosti GIS-a u ekologiji osobito ističu pri izračunu i kartiranju ekoloških parametara, obradi digitalnih aerosnimaka i satelitskih snimaka te u modeliranju pojava u prirodi.

2.1. Ekološko kartiranje

U klasičnoj ekologiji postupak kartiranja podrazumijeva pridruživanje vrijednosti nekog ekološkog parametra (npr. pH-vrijednost tla) većem području ili lokaciji obično prema nazivu. Velik broj postojećih metoda u ekologiji, što ih primjenjuju znanstvenici i inženjeri, nemaju određenu prostornu komponentu niti mogu prikazati detaljnu prostornu distribuciju rezultata. U suvremenijem pristupu, karta distribucije parametra koji se direktno mjere poput pH-vrijednosti tla, kemijskih i fizikalnih karakteristika tla, sklopa i drugih, računa se obično na temelju sustavnih točkastih uzoraka. Vrijednosti se između točaka uzorkovanja interpoliraju i na taj se način dobiva karta (slika 1). Geokodiranje terenskih uzorkovanja izvan urbanih sredina osobito je napredovalo s razvitkom primjene GPS-a, tj. DGPS-a koji uz relativno pristupačnu cijenu osigurava točnost izmjere od oko 2–5 m.



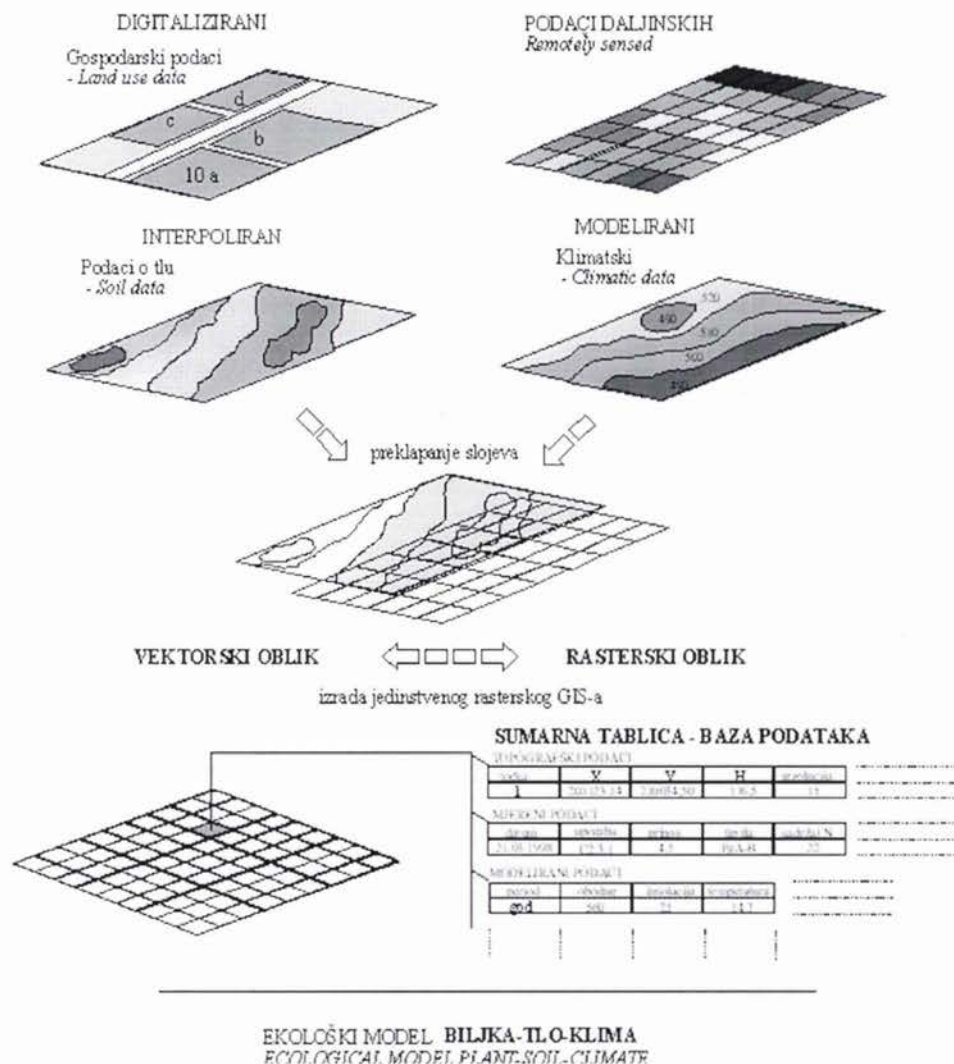
Slika 1. Karta sadržaja fosfora u tlu. Stvarne vrijednosti sadržaja fosfora poznate su samo za točke uzorkovanja. Točnost interpolacije ovisi o varijabilnosti parametra u prostoru, na osnovi čega treba izabrati određenu veličinu uzorka te metodu interpolacije (S. Searcy i suradnici 1993).

S druge strane, postoji velik broj važnih parametara koji se ne mogu mjeriti neposredno na terenu ili je taj postupak prezahtjevan te se oni procjenjuju ili računaju za veća ili manja geografska područja. To su primjerice različiti tipovi koeficijenata poput koeficijenta erozije, indeksa suše, stresa biljke, indeksa pogodnosti i dr. Osnova preciznog kartiranja tih složenih parametara je stvaranje jedinstvenog rasterskog mrežnog GIS-a (*Grid-based GIS*) iz različitih osnovnih vektorskih (digitalizirane karte) i rasterskih slojeva. Takav sustav pruža podatke za jedinicu rastera, koja je definirana rezolucijom rastera ovisno o potrebi za detaljnošću i mogućnostima hardwarea. Obično se najmanji detalj u rasterskom GIS-u određuje tako da se on podudara s terenskom rezolucijom satelitskih snimaka (npr. 10x10 m, 20x20 m itd.). Pojednostavljena shema stvaranja jedinstvenog rasterskog GIS-a vidi se na slici 2.

Na osnovi te integracije u jedinstveni sustav može se izračunati sumarna tablica za svaki piksel (najmanji detalj) rastera, na osnovi čega se računaju prije spomenuti koeficijenti i indeksi te ponovo prikazuju kao karta. Osim za izračun tih parametara, to se načelo često rabi i za detaljno kartiranje nekih meteoroloških parametara čije bi neposredno mjerenje bilo znatno kompliciranije (Antonić 1996). Tim se postupcima kartiranje izvodi prilagođivanjem podataka iz glavnih meteoroloških postaja topografskim karakteristikama terena. Popis nekih ekoloških parametara i način izračuna može se vidjeti u tablici 2.

2.2. Kartiranje obradom satelitskih snimaka

Osnova obrade satelitskih snimaka su iznosi refleksije elektromagnetskog zračenja sa Zemljine površine. Statističkom obradom različitih kanala (snimaka iste površine u različitim dijelovima spektra) moguće je provoditi klasifikaciju površine prema tipu objekta (šuma, močvara, naselje, polje, vodena površina, kultura), tj. prema uporabi, tipu biljne zajednice, prirodi pojave itd. Stereosnimci se rabe za izradu DMT-a te za razne hidrološke studije. Ti se postupci također temelje na GIS-alatima i algoritmima za statističku obradu.

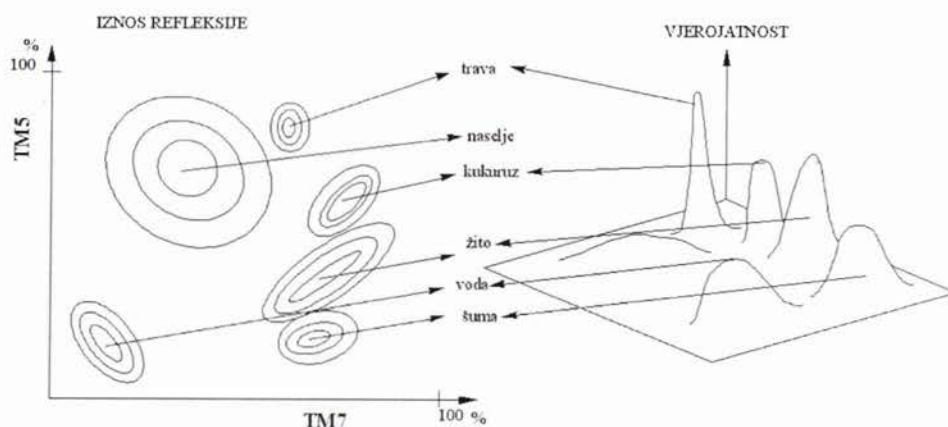


Slika 2. Shema nastanka jedinstvenoga rasterskog GIS-a iz različitih izvora podataka

Vrijednosti refleksije srodnih predmeta i pojava statističkom se analizom snimaka svrstavaju u skupine i klase, čime se omogućuje automatska klasifikacija površina. Izračun modela izjednačenja temelji se na povezivanju uzoraka poznatih objekata i pojava s vrijednostima refleksije. Jedna od najjednostavnijih metoda obrade podrazumijeva pridruživanje intervala (aritmetička sredina \pm standardna devijacija) na skali refleksije svakom objektu/pojavi koji je prije toga određen terestrički (uzorak). Pouzdaniju klasifikaciju omogućava kombinacija kanala koji pokazuju znatno razlikovanje u iznosu refleksije za način klasifikacije. Tako su primjerice kombinacijom dvaju Landsatovih kanala izračunane klase ili područja i pripadne pouzdanosti klasifikacije-graf vjerojatnosti, slika 3.).

Tablica 2. Neki ekološki parametri i načela izračuna i kartiranja u okruženju GIS-a

Parametar	Potrebni tematski slojevi	Mogući način izračuna
Sadržaj hraniva		Direktna izmjera
pH vrijednost		
Dubina podzemne vode		
Sklop		
Temperatura iznad tla	– nadmorska visina – ekspozicija...	Direktna izmjera
Padaline	– nadmorska visina – temperatura	Izračun na osnovi postojeće formule i baze podataka u rasterskom GIS-u
Količina insolacije	– oblačnost – ekspozicija – nagib terena	
Iznos dotjecanja vode	– oborine – nagib terena – pedološka/geološka podloga...	
Indeks pogodnosti za obradu, agro hidrološki potencijal	– fizička i kemijska svojstva tla – lisni indeks, potrebe biljke za vodom – klimatske prilike...	
Indeks suše	– svojstva tla – oborine – temperature...	
Indeks stresa biljke	– karakteristike tla – potreba biljke za vodom – oborine...	



Slika 3. Klase uporabe zemljišta dobivene kombinacijom dvaju Landsatovih kanala-područje Ajdovščine (Tretjak 1987), pomoću metode maksimalne vjerojatnosti. Svaka elipsa predstavlja po jednu standardnu devijaciju od srednje vrijednosti. Desno je graf vjerojatnosti klasifikacije.

Složenije metode podrazumijevaju kombinaciju i više kanala, različitih rezolucija i različitog podrijetla. Istraživanja su pokazala da se rabeći različite formule (zbrajanje, oduzimanje, množenje i druge radnje s vrijednostima refleksije različitih kanala) mogu postići mnoge primjene u kartiranju složenih pojava na Zemljinoj površini. Primjerice, kartiranje se indeksa vegetacija (*Vegetation index*) temelji na kombinaciji snimaka NOAA i LANDSAT-sustava s agrometeorološkim podacima (Pavelka 1998). Osim tog primjera pridobivanja informacija statističkom obradom satelitskih snimaka, postoje i mnogi drugi. Europska zajednica osobito podržava primjenu daljinskih istraživanja u poljoprivredi preko projekta MARS (*Monitoring Agriculture with Remote Sensing*).

2.3. Modeliranje i analiza podataka

Osnovne prostorne analitičke tehnike unutar GIS-a su preklapanje (*overlay analysis*), zone utjecaja (*buffering*) te mrežna analiza (*network analysis*). Na najvišem stupnju GIS tehnologije, baza prostornih podataka različitih tema rabi se u modeliranju nekog fenomena (Lyon, McCarthy 1995). Premda riječ modeliranje može imati različita značenja raznim osobama, tu se razmatra matematičko modeliranje s osnovnom svrhom simulacije ili predviđanja neke pojave.

U ekološkom je modeliranju veza između varijabli koje nas zanimaju obično nepoznata. Stoga modeliranju zavisnosti npr. prinosa o potencijalu tla i trenutnim klimatskim prilikama prethodi regresijsko izjednačenje modela. Postupak pronalaženja i izračuna matematičke veze između neke pojave i više nezavisnih čimbenika naziva se **više-struka regresija**.

Više-struka regresija

Osnovna je svrha više-struke regresije pomoć u spoznavanju veze između više nezavisnih varijabli (prediktora) i zavisne varijable. U slučaju kada se to izjednačenje izvodi za više od dvije varijable, regresijska se "linija" ne može prikazati u dvodimenzionalnom prostoru, ali može biti jednako lako izračunan kao i onda kada se radi o jednoj ili dvije nezavisne varijable. Više-struka je regresija deduktivna tehnika pronalaženja najpouzdanijih prediktora zavisne varijable, pa se stoga preporučuje uključivanje što više varijabli koje mogu imati utjecaj na promatranu zavisnu varijablu. Statističkom analizom eliminiraju se oni prediktori koji ne pokazuju znatan utjecaj na vrijednosti zavisne varijable. Pri odabiru modela izjednačenja razlikuju se dva temeljna pristupa:

a) **Deterministički** – funkcijska veza između zavisne varijable i prediktora empirijski je poznata (teorijski svaki model). Veza između zavisne varijable i prediktora određena je funkcijom:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

S obzirom na način izjednačenja, razlikuju se:

- modeli u kojima je moguća linearizacija
- isključivo nelinearni modeli (model rasta, logistički modeli gdje je poznat samo diferencijalni oblik funkcijske veze) – zahtijevaju i složenije metode izjednačenja od metode najmanjih kvadrata.

b) **Stohastički** (statistički) nije poznat oblik funkcije pa se prvo pretpostavlja linearna veza između varijabli (teorijski je ta pretpostavka neispravna, ali je ipak opravdana jer linearni model nije pod velikim utjecajem malih odstupanja od pretpostavke o linearnosti), ili u matematičkom obliku:

$$Y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2, \dots, + b_p \cdot x_n.$$

Veličina uzorka koja se obično preporuča pri izračunu jednog regresijskog modela trebala bi biti najmanje 10 do 20 puta više opažanja od broja varijabli, u protivnom je izjednačena regresijska linija vjerojatno vrlo nestabilna i nepouzdana. Također je važno filtriranje opažanja s obzirom na grube pogreške. Oni imaju znatan utjecaj na oblik izjednačenja i regresijski koeficijent (čak i jedna gruba pogreška može znatno promijeniti parametre izjednačenja). Razmatrajući te pretpostavke, treba prilagoditi izbor modela, način izjednačenja te veličinu uzorka istraživanih sustava. Obično jednostavan algoritam izjednačenja ne može zadovoljiti potrebe ekološkog modeliranja, pa su potrebne i složenije statističke metode.

Model "biljka-klima-tlo"

U biologiji se veza između morfoloških obilježja (biljnih i životinjskih) organizama u prirodi obično iskazuje općim oblikom $Fenotip = Genotip \times Okolina$ (znak "x" ovdje izražava interakciju), pri čemu se fenotip definira kao vanjski izgled-stanje (biljaka) u morfološkom smislu, a genotip predstavlja skup nasljednih svojstava. Osnovni je smisao modela "biljka-tlo-klima" pronalaženje zakonitosti veze između nekog obilježja biljnog organizma i okoliša (voda, tlo, hraniva, insolacija, temperatura). Za ekološko modeliranje u poljoprivredi i šumarstvu karakteristično je da se istražuju zakonitosti pojave određenih karakteristika biljnih organizama bitnih za gospodarenje (npr. prinos, prirast) s obzirom na uvjete okoliša, dok se utjecaj čimbenika *Genotipa* obično ne istražuje. Zavisne i nezavisne varijable koje trebaju ući u račun izjednačenja određene su empirijski (tablica 3).

Tablica 3. Osnovni dijelovi modela "biljka-tlo-klima".

Zavisne, gospodarske varijable Grupa "biljka" Rezultati proizvodnje	Prediktori – okoliš	
	Grupa "tlo" Potencijal proizvodnje	Grupa "klima" Uvjeti proizvodnje
Raspodjela proizvodnih karakteristika: – prinos, urod – prirast – kvaliteta biljnog proizvoda – biomasa	Tip tla Pedofizikalna svojstva tla – tekstura – stjenovitost – dubina tla – dreniranost – kapacitet za vodu Pedokemijska svojstva tla – pH-reakcija – sadržaj humusa, mineralnih hraniva, dušika, karbo-nata itd.	Oborine – min., maks., sred., raspon – po mjesecima, godišnje – za kritičnih mjeseci Temperature – min., maks., sred., raspon – po mjesecima, godišnje – mrazevi, suše Insolacija – dnevna, godišnja

Osnovne specifičnosti ekološkog modela "biljka-tlo-klima":

- funkcijska je veza između spomenutih varijabli nepoznata (stohastička) – linearni model izjednačenja
- broj prediktora je velik pa je stoga potrebno imati veliki uzorak
- varijable su prostorno i vremenski raspoređene
- postoji međusobna interakcija između prediktora, tj. nezavisne varijable nisu međusobno nezavisne
- neke varijable su kvantitativnog, a neke kvalitativnog karaktera.

Ako se uzmu u obzir te otežavajuće karakteristike ekološkog modeliranja, postaje očigledno da su potrebni ekonomičniji i pouzdaniji alati za prikupljanje, obradu i prikaz podataka. Kako je vidljivo da treba imati veliki broj mjerenja i to prostorno lociranih, te računajući da izmjera ekoloških parametara zahtijeva sofisticiranu opremu i visoke troškove, razumljivo je da je deterministički oblik veze između (globalnih i regionalnih) pojava u prirodi još uvijek relativno nepoznat. Ipak, razvitkom geoinformacijskih tehnologija, progresivno su se počele razvijati metode koje nude veliku uštedu na troškovima i vremenu uz povećanu pouzdanost rezultata.

3. ZAKLJUČAK

Kraj tisućljeća obilježio je porast skrbi za kakvoćom ljudskoga prirodnog okoliša. Ta je skrb osobito podržana međunarodnom inicijativom stvaranja baze podataka o okolišu, ekološkim studijama te pouzdanim praćenjem promjena u globalnom ekosustavu. Prateći trendove ekspanzije primjene GIS-a može se očekivati da će GIS-alati u skoroj budućnosti postati obvezan standard pri izradi ekoloških studija. Ako s druge strane uzmemo u obzir tendenciju obavezne izrade ekoloških studija kao kontrole potrajnosti bilo koje vrste gospodarenja okolišem, može se zaključiti da će uporaba GIS-a naglo porasti. To su dokazala mnogobrojna ekološka istraživanja u razvijenom svijetu ali i u Hrvatskoj.

Mogućnosti analize, prikupljanja, obrade, prikazivanja i arhiviranja podataka o objektima različitog podrijetla (građevinski i prirodni objekti), znatno su povećane uporabom metoda **daljinskih istraživanja**, razvitkom **GPS-a**, a osobito razvitkom **GIS** pristupa ili općenito razvitkom **geoinformacijskih tehnologija**. Iako te tehnologije pripadaju domeni geodetske struke, izrada informacijskog sustava, obrada aerosnimaka i satelitskih snimaka te općenito uspostavljanje informacijskog sustava, nije samo geodetski posao. Dizajn i izrada GIS-a ovise najprije o primjeni, pa je stoga logično da ti procesi podrazumijevaju multidisciplinarni pristup i međustrukovnu komunikaciju radi lakšeg pronalaženja optimalne aplikacije.

Postupak kojem se teži ponajprije u procesu ekološkog modeliranja okoliša je integracija GIS-baza podataka radi analize prostorne varijabilnosti u prirodnom ekosustavu. To ujedinjavanje postignuto je u raznim klimatskim, hidrološkim, biokemijskim i drugim modelima, ali postoje i mnoge tehničke i teoretske prepreke koje treba svladati prije nego ova integracija postane potpuno učinkovita.

LITERATURA

- Antonić, O. (1996): Application of spatial modelling in the Karst bioclimatology, Croatian meteorological Journal, 31, 95–102.
- Ball, G. (1994): Ecosystem modeling with GIS, Water Resources Bulletin, 30(3), 441–452.
- Committee on Assessing Crop Yield (1997): Precision agriculture in 21st century, National Academy Press, Washington.
- Jürchek, P. (1998): Anwendung des Satellitennavigationssysteme GPS in der Landwirtschaft, Rationalisierung-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL), 4.1.0, 945–1007.
- Lyon, J. G., McCarthy, J. (1995): Wetland and environmental applications of GIS, Lewis Publ., London.
- Pavelka, K. (1998): An integrated method for vegetation monitoring using remote sensing and ground data, Zbornik "100 godina fotogrametrije u Hrvatskoj", 367–373.
- Stott, Z. (1996): Predicting sugar beet yields using satellite data, Spot Magazine, No. 26 – December, 14–16.

- Searcy, S., Pitts M., Reid J., Ling P., Thai C., Wanjura D., Jones JW., Sowell RS., Whittaker AD., Peterson RA. (1993): Biological knowledge to provide engineering solutions, *Agricultural Engineering*. 74(6):A 2-A 4, Bedford.
- Srinivasan, R., Engel, B. (1994): A spatial decision support system for assessing agricultural nonpoint source pollution, *Water Resources Bulletin* 30(3), 441-452.
- Tretjak, A. (1987): Računalniška obdelava satelitsko skaniranih podatkov, Simpozij o digitalnoj obradi snimaka, Zagreb.

AGRO-ECOLOGICAL MAPPING AND MODELLING IN GIS ENVIRONMENT

ABSTRACT. Great number of existing ecological methods does not include spatial component. Possibilities of collecting, processing and displaying data with the geocoding have especially progressed with the evolution of geoinformation technologies. With the application of geoinformation tools and technologies in agriculture begins the development of a new branch of economy – "Precision Agriculture". Advantages of application of GIS in ecology in evaluation and mapping of ecological parameters and processing of aero and satellite images are discussed in the paper. From the maps interesting for agricultural management, map of soils, map of nutrients in soil, climatic maps, maps of suitability indicators and fertility, optimal use, prediction of crop yield and others are especially emphasised. On the most sophisticated level of the use of GIS technology, database composed of different thematic layers/maps is being used in the modelling of features in environment. The basic principles of detailed management important factors mapping, such as coefficient of erosion, amount of drain, index of aridity, water-crop stress, suitability and other indirectly estimated parameters and the evaluation of the "plant-soil-climate" ecological model as a base for the prediction of crop yield. These principles will present basis for the future research and application in practice.

Key words: agro-ecological mapping, modelling, GIS, precision agriculture.

Primljeno: 1998-07-15