

3D kartiranje oraničnog sloja tla

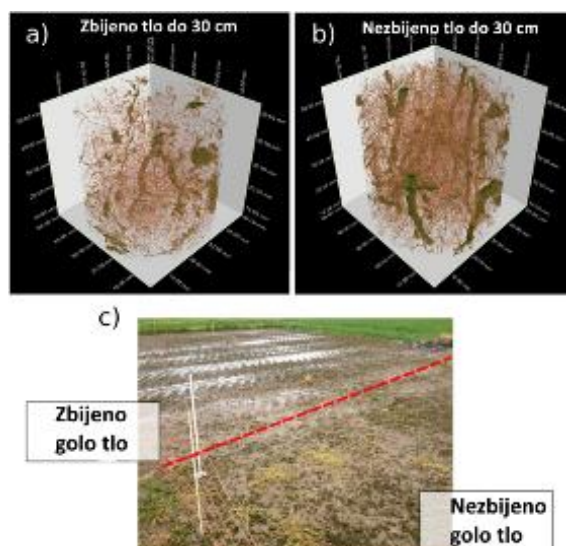
Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Kartiranje zemljišta (klasificiranje i istraživanje njegovih pedo-fizikalnih, kemijskih i bioloških, odnosno ukupnih produkcionih svojstava) svojevrsna je dijagnostika, inventarizacija i karakterizacija temeljem koje je moguće pouzdano definiranje pogodnosti za različite namjene prirodnih resursa, prostorno planiranje, poljoprivredno proširenje, zaštita okoliša i slični projekti. Poljoprivredno kartiranje u suštini je grupiranje tala u određene razrede prema unaprijed postavljenim kriterijima, najčešće utvrđivanju mogućnosti povećanja prinosa ili determiniranje faktora limita i mogućnost za veće, a time i rentabilnije prinose. Dakle, svrha kartiranja u poljoprivredi je izvršiti optimalnu kategorizaciju zemljišta/terena u svrhu efikasnije biljne ili stočarske proizvodnje.

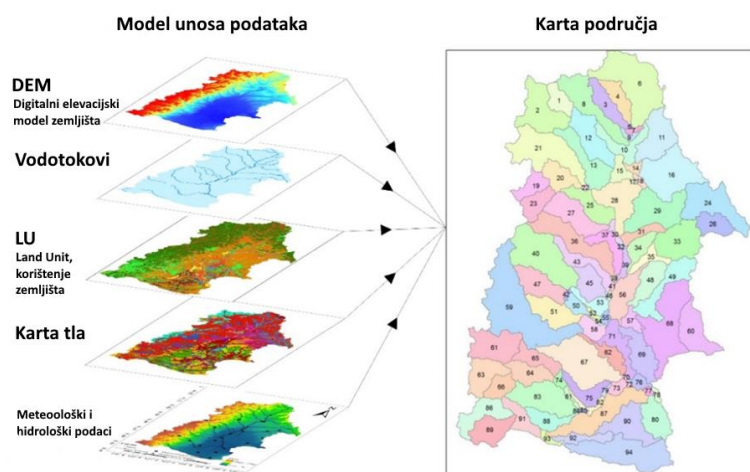
Karta tla je znakovni model, zapravo slika geografske stvarnosti koji prikazuje tipove tla, njegova agrokemijska svojstva tla (npr. pH tla, teksturu, sadržaj humusa ili organskog ugljika, dubinu soluma i dr.), proizvodna ograničenja itd. Tradicionalne, realne zemljopisne karte obično pokazuju samo opću raspodjelu tla i/ili njegovih svojstava, dok su suvremene, digitalne karte u raznim digitalnim vektorskim i rasterskim formatima koje su znatno bogatije prostornim detaljima i drugim važnim podacima o okolišu, mogu biti dvo- ili trodimenzionalne. Digitalne karte obično uključuju procjenu nesigurnosti modela i uglavnom su pohranjene u [informacijskom sustavu kao baza podataka o tlu](#).

[Informacijski sustav tla zapravo je kombinacija vizualnih i podatkovnih informacija kojima se može manipulirati, analizirati i vizualizirati](#) ih kao 2D ili 3D tematska karta s primarnim atributima tla (izvorni i izmjereni podaci na terenu) ili u kombinaciji sa sekundarnim (izvedenim) informacijama o tlu (npr. svojstva u kontekstu

upotrebe tla kao što su kapacitet plodnosti, reakcija tla na određenu uporabu, funkcije tla, degradacija, zbijanje tla (Slika 1.) itd. Utvrđivanje primarnih atributa, uglavnom zbog potrebe velikog broja kvantitativnih mjerenja predstavlja često naporan i skup proces pa se najčešće pribjegava korištenju indirektnih, daljinskih metoda (senzori, roboti, fotografiranje iz dronova ili satelita, LIDAR, multispektralna analiza usjeva i površine tla i dr.). Međutim, [agrokemijsko kartiranje](#) može znatno povećati prinose, smanjiti inpute i pomoći u zaštiti okoliša, a uz upotrebu suvremenih beskontaktnih (daljinskih) mjerenja, ili za neke analize mobilnog robota za



Slika 1. Učinci zbijanja tla na makroporoznost ilustrirani su slikama rendgenske računalne tomografije



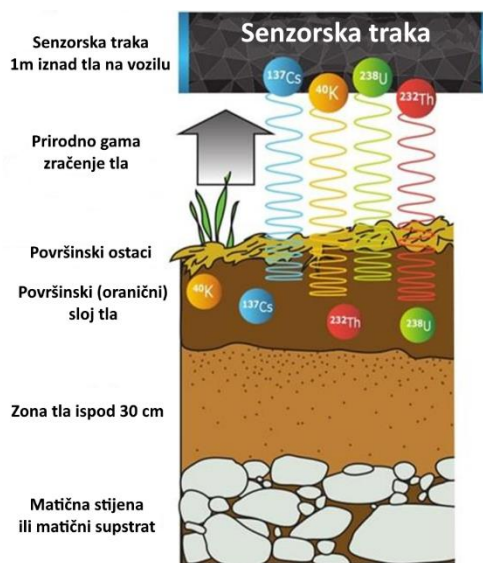
Slika 2. Potrebni podaci za izradu SWAT karte

automatsko prikupljanje podataka o stanju tla (npr. zbijanja tla, dubine humusno-akumulativnog horizonta, vlažnosti, pH i dr.), moguće je kreirati kvalitetne i pouzdane karte stanja tla.

Trodimenzionalno kartiranje tla nije novi koncept, ali se korištenjem suvremene digitalne tehnologije i moćnim računalnim kapacitetima 3D karte brzo, lako i jeftino kreiraju. Uobičajene tehnike za procjenu svojstava tla u trodimenzionalnom prostoru uključuje geostatističku interpolaciju pojedinih, ili kombinacije atributa u oraničnom sloju. Obje metode, posebno geostatistička interpolacija (najčešće metodom *kriginga*),

imaju nedostatke. Kriging predviđa svojstva tla cijele površine (na mjestima za koja ne postoje podaci) koristeći ponderirani prosjek obližnjih promatranja/mjerenja, što je zapravo zaglađivanje podataka, a posljedica je smanjena pouzdanost, osobito zbog uobičajeno velike varijacije površine zemljišta.

Vizualizacija atributa po dubini tla uobičajeno se obavlja uzorkovanjem/mjerenjem na više različitih dubina (tzv. *spline* metodologija) za koje se provodi dvodimenzionalna (2D) geostatistička interpolacija pa 3D model u tom slučaju čine slojevi, a takav način vizualizacije najčešće se označava kao 2,5D ili pseudo-3D kartiranje. Treća dimenzija (dubina) tla predstavlja velik napredak jer do tada nevidljivo i nepoznato ispod površine tla postaje vidljivo i razumljivo. Naime, 3D karte tla pružaju važne informacije o raspoloživosti hraniva, pH, organskom ugljiku, pristupačnoj vodi i dr. na različitim dubinama tla što omogućuje donošenje ispravnih odluka o potrebi gnojidbe, navodnjavanja, popravkama tla, načinu obrade itd. Odgovarajućim i pravovremenim odlukama o provođenju pojedinih agrotehničkih zahvata moguće je učinkovitije i profitabilnije proizvoditi te je za to razvijen poseban softverski alat kojim se izrađuju tzv. SWAT karte (*Soil, Water, and Topography*, Slika 2.) koje integriraju više slojeva, uobičajeno agrokemijsku, kartu vlage tla s topografskim kartama. Budući da su takve karte digitalne prirode, [lako se mogu koristiti u pametnim poljoprivrednim strojevima za automatizaciju procesa](#) koji se temelje na razini vlage u tlu, stopi sjetve ili gnojidbi.



Slika 3. Princip utvrđivanja teksture tla gama senzorom

SWAT je široko prihvaćena vrhunska tehnologija preciznog kartiranja koja se koristi u razvijenim poljoprivredama od 1994. za kvantifikaciju okolišnih problema, utvrđivanje varijabilnosti kemijskih i fizikalnih svojstava tla, efikasniji uzgoj usjeva i dr.



Slika 4. Mjerenje svojstava tla sustavom Veris

odnosno njegov mehanički sastav. Istraživanje provedeno u Nizozemskoj gama senzorima pokazala su točnost i preciznost mjerenja usporedivu s mehaničkom analizom tla u laboratoriji. Naime, gama zračenje koje emitiraju minerali u stijinama, ili u tlu, reprezentira teksturu tla jer γ -zračenje (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th i ^{137}Cs) ovisi o mineralnom sastavu matičnog materijala i veličine čestica tla (teksture) do dubine 0-30 cm.

Trenutno se praktično koristi više različitih senzora za 3D kartiranje oraničnog sloja koji mjere u realnom vremenu različite parametre tla (npr. EC, pH, organski C, vlagu, geografsku poziciju, nadmorsku visinu, ekspoziciju i dr.), a mogu biti vučeni preko proizvodne parcele traktorom ili manjim vozilom (Slika 4.).