Zemljišni resursi

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović i izv. prof. dr. sc. Vesna Vukadinović

Prolog

Razvitak i opstanak (ili nestanak) čovječanstva ovisi o proizvodnji hrane, škroba, etanola, celuloze i prirodnih vlakana, kao i drugih dobara. Stoga je kapacitet za proizvodnju organske biomase vrlo bitna funkcija produktivnosti tla koja je usko povezana s glavnim globalnim pitanjima 21. stoljeća poput sigurnosti hrane, zahtjeva za energijom i vodom, ugljikom tla, klimom te njenim promjenama.

Svjetska populacija raste po stopi od 1,6 % godišnje, a u najmanje razvijenim zemljama s najvećim potrebama za hranom, čak do 3 %. Istovremeno su prirodni resurs, kao što su poljoprivredno zemljište i voda u opadanju, kako količinski tako i kvaliteti zbog urbanizacije i degradacije. Naime, potreba za što više hrane često je uzrok antropogene degradacije poljoprivrednog zemljišta (npr. erozija vodom i vjetrom, fizička, kemijska i biološka degradacija i dr.) i na taj izazov sadašnjice potrebno je znati odgovoriti, pravovremeno i učinkovito.

Kakvoća poljoprivrednog zemljišta i održiva poljoprivredna proizvodnja su temelj dostatne količine hrane za prehranu sve brojnijeg stanovništva Zemlje. U tom smislu zdravlje tla je neophodno za dobrobit i produktivnost poljoprivrednih i prirodnih ekoloških sustava, održivo korištenje zemljišnih resursa danas, ali i u budućnosti. Budući da je zdravlje tla njegovo bitno svojstvo koje se ne može izravno mjeriti, niti se u kratkom ljudskom vijeku mogu determinirati promjene njegove produktivnosti, moramo naučiti kako zemljišne resurse mudro i odgovorno koristiti u proizvodnji hrane, tako za druge namjene. Stoga i Ustav RH u članku 52. navodi:

„More, morska obala i otoci, vode, zračni prostor, rudno blago i druga prirodna bogatstva, ali i zemljište, šume, biljni i životinjski svijet, drugi dijelovi prirode, nekretnine i stvari od osobitog kulturnoga, povijesnoga, gospodarskog i ekološkog značenja, za koje je zakonom određeno da su od interesa za Republiku Hrvatsku, imaju njezinu osobitu zaštitu.

Zakonom se određuje način na koji dobra od interesa za Republiku Hrvatsku mogu upotrebljavati i iskorištavati ovlaštenici prava na njima i vlasnici, te naknada za ograničenja kojima su podvrgnuti“.

Značaj i vrednovanje produktivnosti zemljišnih resursa

Tla pokrivaju većinu zemljišta na Zemlji, a ona su ograničena i uglavnom su neobnovljivi resurs (*Blum*, 2006). Svijet raspolaže s oko 3,2 milijarde hektara koja se koriste kao oranice, što je oko četvrtina ukupnog zemljišta (*Scherr*, 1999., *Davis i Masten*, 2003.). Premda površina poljoprivrednog zemljišta obuhvaća oko 40 - 50 % ukupne svjetske površine *(Smith i sur*., 2007.), *Borlaug* (2007.) navodi: "U borbi za ublažavanje siromaštva i unapređenja ljudskog zdravlja potreban je dinamičan poljoprivredni razvitak". Naime, postoji ozbiljna zabrinutost da porast prinosa žitarica nije dovoljno brz kako bi se zadovoljile potrebe čovječanstva (*Cassmann i sur*., 2003.) obzirom na potrebu održivog načina korištenja zemljišta i očuvanja ekosustava (*Rao i Rogers*, 2006.; *Ceotto*, 2008.; *Bockstaller i dr*., 2009.; *Hillel*, 2009).

Strategije zaštite tala Europske komisije (*EC*, 2006.; G. *Tóth i dr*., 2007.) temelji se na održivom korištenju, te se funkcija produktivnosti najčešće definira kao "*kapacitet specifičnih funkcija tla unutar prirodnog ili ograničeno uređenog ekosustava koji podržava biljnu i animalnu produkciju, održava ili povećava kvaliteta vode i zraka i potpomaže zdravlje i stanovanje ljudi*" (*Karlen i dr*., 1997). Ovakva definicija određuje pristup

procjeni kakvoće poljoprivrednog zemljišta koji ne smije biti ograničen samo na konvencionalan koncept korištenja zemljišta već mora obuhvatiti kapacitet tla za tradicionalni (*lowinput*) i ekološki uzgoj.

Pedologija kao znanost, općenito ima rudimentaran pristup produktivnosti tala utemeljen na klasifikaciji zemljišta koju najčešće svodi u posljednjih 100-injak godina na bonitiranje (kvalitativno ocjenjivanje pogodnosti zemljišta za određenu namjenu na temelju klimatskih, pedoloških, agrokemijskih, hidroloških i dr. indikatora pogodnosti). Stoga je u posljednjih 20-ak godina razvijeno niz visoko sofisticiranih sustava za procjenu zemljišne pogodnosti kao što su u SAD LESA (sastoji se od više komponenata procjene - *storie* i niza drugih čimbenika koji pridonose determinaciji prikladnosti zemljišta za poljoprivredu), kanadski LSRS (sustav utemeljen pretežito na atributa tla i klimatskim čimbenicima), mađarski on-line sustav procjene koji se temelji na izračunu u stvarnom vremenu indeksa plodnosti uz pomoć GIS-a na proizvodnim kartama u mjerilu 1:10.000 (*Tóth i dr*., 2007.) i dr. Mnogi od takovih sustava podržani su zemljišnim kartama i informacijskim interpretacijskim bazama uz mogućnosti klasifikacije pogodnosti tla za uzgoj određenih kultura, potrebe melioracija i uređenja tla, mogućnost reducirane obrade i sl.

Standardizirane metodologije procjene produktivnosti zemljišnih resursa, u kontekstu održivog multifunkcionalnog korištenja tla, imaju još dosta nedostataka. Na primjer, taksonomski sustavi klasifikacije daju malo informacija o funkcionalnosti tla na konkretnom agroekološkom području, naročito o vlažnosti tla toplinskom režimu tla koji su pod utjecajem klime i koji su na globalnoj razini osnovna ograničenja produktivnosti tla. S druge strane, postoji niz različitih pristupa za procjenu lokalnih, specifičnih aspekata produktivnosti tla čije se ocjenjivanje ne može nekritički prenositi na druge agroekološke zone, ali imaju potencijal za integriranje u globalni model procjene produktivnosti zemljišta. Također, metode agroekološkog zoniranja i modeliranja zemljišne produktivnosti sadrže malo praktično primjenjivih informacija o tlu. Naime, te metode nisu niti namijenjene za konkretnu primjenu i ne otkrivaju glavna ograničenja tla. Koncept agroekološkog zoniranja (AEZ) je razvijen od strane Međunarodnog instituta za primijenjenu analizu sustava (IIASA) i FAO (*Fischer i Sun*, 2001.). Ova sofisticirana metodologija osigurava okvir za karakterizaciju klime koja ima najvažniju ulogu, tla i terena u uvjetima relevantnim za poljoprivrednu proizvodnju. Sustav je utemeljen na GIS-u, a obrađuje informacije o tlu, uključujući FAO/UNESCO digitalnu pedološku kartu Zemlje (*Fischer et al*., 2002.).

Metode za procjenu potencijala produktivnost tla često se označavaju kao *Land evaluation*, odnosno metodologija za procjenu zemljišnih performansi najčešće se koristi za posebne namjene (*FAO*, 1976.). Gledano iz današnje perspektive, procjena zemljišta je ipak nešto više od toga. Kako je tlo najvažniji dio zemljišnih resursa, njegova procjena je presudna za ocjenu potencijala primarne organske produkcije (*Rossiter*, 1996.), premda u mnogim slučajevima ne postoji jasna razlika između tla i zemljišta. Naime, metode procijene potencijalne produktivnosti zemljišta iz regionalne perspektive (u sličnim klimatskim uvjetima) preferiraju tlo, dok iz globalne perspektive (Zemlja, kontinenti, veće države) imaju naglasak na ulogu klime i čovjeka u proizvodnji biomase i naklonost pojmu zemljište.

Danas je sve više regionalnih modela koji produktivnost tla procjenjuju preko količine biomase usjeva, što je moguće ako se utvrđuje prinos, biološki i merkantilni. Na globalnoj razini, modeliranje klimatskih promjena koristi se za procjenu mogućih manjkova u proizvodnji hrane (*Tan i Shibasaki*, 2003.), npr. rizika od suše (*Alcamo i dr*., 2007.), status ugljika (*Bondeau i dr*., 2007) ili emisije stakleničkih plinova (*Stehfest i dr*. 2007.). Modeli ove grupe vrijede na globalnoj razini, ali prostorna rezolucija je relativno niska i nisu namijenjeni lokalnoj razini proračuna ili čak upravljanja. Za lokalne procjene produktivnosti zemljišta razvijeno je niz eko-modela poput modela organske produkcije (*Vukadinović i Sarić, 1990*.), *Daisy* (*Hansen i dr*., 1990.), grupa *Ceres* modela (*Ritchie i Godwin*, 1993.; *Xiong i sur*, 2008.), *WOFOST* (*Supit i dr*., 1994.; *Reidsma i dr*., 2009.), *Candy* (*Franko i sur*., 1995.), *AGROTOOL* (*Poluektov i dr*., 2002.), Koncept zemljište (Vukadinović, 2003., priložene agroekološke karte slika 1. do 4.), *SIMWASER* (*Stenitzer i Murer*, 2003.), *Tezej* (*Wegehenkel i dr*. 2004.), grupa modela *DAYCENT* (*Del Grosso i sur*., 2005.), *AGROSIM* (*Mirschel i Wenkel*, 2007.), *HERMES* (*Kersebaum i dr*., 2007, 2008) i mnogi drugi. Modelima ove skupine zajedničko je da su sofisticirani i specifični za određenu namjenu i regiju te je njihova prenosivost na druge

agroekološke uvjete ili svrhe vrlo ograničena. Neki od tih modela podržani su satelitskim snimcima vegetacije (*Smit i sur., 2008.*; *Kurtz i sur*., 2009.), a sve češće se koriste i podaci prostorne distribucije prinosa usjeva dobivenih u preciznom poljodjelstvu (*Ritter i sur*., 2008.; *Schellberg i dr*., 2008.; *Lukas i dr*., 2009). Modeli razvijeni za precizno poljodjelstvo podržani su GIS-om i izvrsno prognoziraju proizvodnost zemljišta na regionalnoj razini, ali su njihovi algoritmi neodgovarajući za druge regije.

Nabrojani modeli/pristupi za procjenu produktivnosti zemljišta predstavljaju velik znanstveni napredak u proteklih 40 godina, ali još uvijek imaju velik broj ograničenja, suviše su komplicirani, zahtijevaju ogroman broj informacija i sl. Naime, procjena produktivnosti za održivo korištenje zemljišta zahtijeva jednostavne standardizirane alate, pouzdanost, ali mogućnost primjene donošenja odluka. S tog aspekta treba procjenjivati namjenu i doprinos „koncepta zemljište“ namijenjenog i prilagođenog istočnoj Hrvatskoj.

Povijest zemljišnih resursa

Premda je povijest čovječanstva kratak period u odnosu na starost Zemlje, tlo je više puta bile degradirano, sve do uništenja pa su neke civilizacije nestala zbog nesmotrenog i pretjeranog iskorištavanja zemljišnih resursa. Zapravo, svaka civilizacija predstavlja opasnost za tlo koje je nezamjenjiv i ograničen resurs, koristan na mnoge načine te suvremeni ljudi moraju biti vrlo oprezni i mudri kako bi izbjegli sličnu sudbinu. Degradacija tla je bila toliko jaka u prošlosti da se pad čitavih civilizacija (npr. Mezopotamija i Rimsko Carstvo), dijelom može pripisati padu produktivnosti tla. Upropaštavanje tla je vrlo stara pojava, jednako kao i mjere za očuvanje tla te se već u srednjovjekovnoj Europi javlja koncept "tri polja", sustav biljne proizvodnje u kojem se zemlja ostavlja na ugaru svake treće godine.

Jedan od najranijih sustava vrednovanja zemljišta koji je sadržavao i klasifikaciju tala potječe iz doba Yao dinastije u Kini. Taj sustav evaluacije zemljišta sadržavao je devet razreda utemeljenih na produktivnosti tla (žuta, mekana tla - prapor, tla s visokim učešćem gline, vapnenca itd., a korišten je, uz veličinu posjeda, kao osnova za razrez poreza.

Bernard Palissy (1510.-1590.) napisao je prvi znanstveni studij o tlu i mineralima tla u Francuskoj, a *Olivier de Serres* (1529.-1619.), također Francuz, promiče plodored kao način očuvanja hranjivih tvari u tlu. U 17. vijeku tlo se već smatra supstratom (medijem) potrebnim za rast biljaka, a primjena organskog (životinjskog) gnoja bila je osnovni način povećanja prinosa. Od 1660. članovi *The Royal Society of London* predlažu više različitih shema klasifikacije tala, koje sadrže elemente prirodnih i znanstvenih kriterija (*Boyle* 1665.; *Lister* 1684.).

Njemački kemičar *Justus von Liebig* (1840.), izlaže revolucionarnu ideju dokazujući da biljke asimiliraju mineralne hranjive tvari iz tla te je predložio uporabu mineralnih gnojiva za nadoknadu manjka hraniva. *Thaer* (1853.) predlaže klasifikaciju zemljišta na temelju teksture kao najvažnijeg čimbenika poljoprivredne produktivnosti tla. U 19. vijeku pojavljuje se i više klasifikacija tla koje se temelje na geološkom podrijetlu matičnog supstrata tla (*Fallouand Ramman*, 1862;. *Peters et al*., 1885.; *Richtofen*, 1886). Njemački agrokemičar *Fallouand Ramman* smatra kako je tlo više od trošne stijene i da je to je neophodan medij za rast biljaka. *Charles Darwin* (1881) iz Velike Britanije u svojoj znanstvenoj obradi tla smatra da su pljesni i crvi (biota) vrlo značajni akteri pedogeneze, odnosno formiranja tla.

1883. *Vasilij Dokučajev* (ruski geolog, geograf i utemeljitelj pedologije) izlaže rezultate širokih terenskih istraživanja u Rusiji, opisujući pojavu različitih tipova tala i njihove morfološke značajke. Također, *Dokučajev* je pretpostavio kako različiti uvjeti okoliša dovode do razvoja različitih tala, a tlo definira kao samostalno prirodno i evolucijsko tijelo formirano pod utjecajem pet čimbenika, od kojih je vegetaciju i klimu smatrao najvažnijima (genetski pristup klasifikaciji tla). Od Dokučajeva na dalje, tlo se razlikuje od stijene iz koje nastaje pod utjecajem niza čimbenika formiranja tla (klima, vegetacija, vrsta stijene, reljef i starost). Na ovom modernom razumijevanju tla *Nikiforoff* je 1959. definirao tlo kao "osjetljivu kožu ispod zračnog omotača Zemlje", a pedogenezu kao transakciju energije između tla i okoliša.

U Sjedinjenim Američkim Državama *Eugene Hilgard* (1892.) naglašava odnos između tla i klime, koji je poznat kao koncept klimatskog zoniranja tla, a *George Coffey* (1912.) predlaže prvi sustav klasifikacije tla u Sjedinjenim Američkim Državama na temelju načela Dokučajeva i Glinke.

Dok je u povijesti erozija tla bila glavni krivac, danas je degradacija zemljišnih resursa puno složenija te su česti različiti oblici biološke, fizičke i kemijske degradacije. Složenost i značaj degradacije zemljišta ogleda se u nekoliko važnih međunarodnih sporazuma o upravljanju zemljišnim resursima pa je 1972. donesena Europska povelja koja ističe potrebu zaštite tla kroz promjenu uzgojne prakse, sprječavanje erozije, onečišćenja i šteta od ljudskih naselja i razvoja infrastrukture. 1981. UN izglasavaju Svjetsku povelju koja sadrži pet načela kako bi se racionalnije koristili zemljišni resursi te zaštitili od nepovratne degradacije.

Do 1970. mnoge zemlje su razvili vlastite sustave vrednovanja zemljišta što je ograničavalo razmjenu informacija i iskustava te je predložena međunarodna standardizacija klasifikacije zemljišta u cijelom svijetu (*FAO*, 1974.) koja je unaprijeđena godinu dana kasnije (*FAO*, Rim, 1975.).

Koncept zemljište i model procjene pogodnosti za usjeve

Odluke o korištenju zemljišta uvijek su bile dio evolucije ljudskog društva, ali su se kroz povijest znatno mijenjale i danas govorimo o procesu planiranja korištenja zemljišta u svim zemljama svijeta, uključujući i one u razvoju. Svrha planiranja korištenja zemljišta je donošenje odluke o najkorisnijem načinu eksploatacije danas uz njegovo očuvanje za budućnost. Stoga se planiranje i vrjednovanje zemljišta mora temeljiti na potpunom razumijevanju prirodnog okoliša kako bi se izbjegle sve vrste oštećenja prirodnih resursa.

U principu, definicija kakvoće tla, odnosno procijene njegove pogodnosti za određenu namjenu, oslanjala se na sveobuhvatnu inventarizaciju funkcija tla i njegovu koristi za ljude. U praksi, međutim, pojam kvaliteta tla uglavnom je primijenjen na poljoprivredno zemljište uz specifične lokalne ili regionalne skale. Dakle, plodnost tla može se odrediti vrednovanjem njegovih specifičnih funkcija koje kvantificiraju biljnu produktivnost i mogu utjecati na zdravlje ljudi pa tako *Pierce and Larson,* 1993. i *Karlen et al., 1997.* jednostavno definiraju plodnost tla kao *kapacitet tla za funkcioniranje* što baš i nije jednostavno kvantificirati. Naime, znanstvena procjena produktivnosti tla temelji se na utvrđivanju indikatora plodnosti/pogodnosti koji moraju biti osjetljivi, pouzdani, reproducibilni i dobro detektirati promjene fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava i procesa u tlu te njihove interakcije (*Mausbach and Tugel 1997)*. Stoga je *efektivna plodnost* ili *produktivnost biljnog staništa* vrlo složeno svojstvo. Najlakše se može definirati količinom organske tvari (očekivana visina prinosa) koju biljke mogu sintetizirati na nekom staništu tijekom vegetacijskog razdoblja (dio godine kada je rast biljaka moguć).

Razumljivo je da količina nastale organske tvari neposredno ovisi o biološkim, klimatskim i zemljišnim čimbenicima pa se plodnost tla, iako je to njegovo najvažnije svojstvo, ne može apsolutno utvrditi, jer efektivnu (stvarnu) plodnost karakterizira sposobnost pružanja biljkama potrebnih uvjeta za rast i razvitak. Stoga postojeći sustav klasifikacije (*boniteta*) uspijeva samo generalno odrediti plodnost tla. *S agrokemijskog gledišta, plodno je ono tlo koje u tijeku čitave vegetacije osigurava biljkama dovoljno hraniva i na kome se trajno postižu visoki prirodi.* Potpuno kvantitativno određivanje i analiza produktivnosti tla zahtijeva visoko sofisticiran računalni model, mnoštvo točnih podataka o tlu i multidisciplinarni pristup. Nažalost, danas se praktično sve potrebne analize tla uglavnom obavljaju unutar agronomske struke, odvojeno od drugih disciplina te je stoga procjena produktivnosti tla ograničena uglavnom samo na agrološke aspekte proizvodnje hrane.

Konvencionalne metode pogodnosti tla za poljoprivrednu proizvodnju razvrstavaju tla u bonitetne klase, što je preusko, jer kapacitet produkcije tla ovisi od složenog kompleksa i interakcije velikog broja činitelja. Stvarna produktivnost tla zavisi i od motiviranosti proizvođača za proizvodni rizik, njihovom znanju,

potrebe tržišta, ekonomske politike države te socijalne i kulturne tradicije. Zato dobra procjena proizvodnog potencijala nekog tla uključuje, ne samo agroekološka svojstva, već i kvantifikaciju načina njegove uporabe. U principu, prihvaćanje *koncepta zemljište* je od osobite važnosti jer je zemljište znatno širi pojam od tla koje je zapravo njegov dio, jednako kao što su to vegetacija, hidrologija, fiziografija, infrastruktura, klima itd. Samo male jedinice zemljišta su homogene u svim aspektima i njih je tada moguće identificirati i prikazati na zemljišnim, vegetacijskim i hidrološkim kartama. Zapravo, za determinaciju pogodnosti tla nije presudno je li tlo homogeno, već koliko ta nehomogenost utječe na kapacitet produktivnosti pod određenim uvjetima njegove uporabe.

Proračun relativne pogodnosti tla (Vukadinović i dr., 2009.) temelji se na *Liebscherovoj* modifikaciji *Liebigovog* „Zakona minimuma“ (1895.) koji smatra da faktor u minimumu to više djeluje što su ostali faktori prinosa bliži optimumu:

$$\text{Relativna pogodnost \%} = \frac{\sum_1^n (I - I_{min})}{(n - 1)} \times \frac{I_{min}}{100}$$

I = indikator plodnosti, I_{min} = indikator plodnosti u minimumu

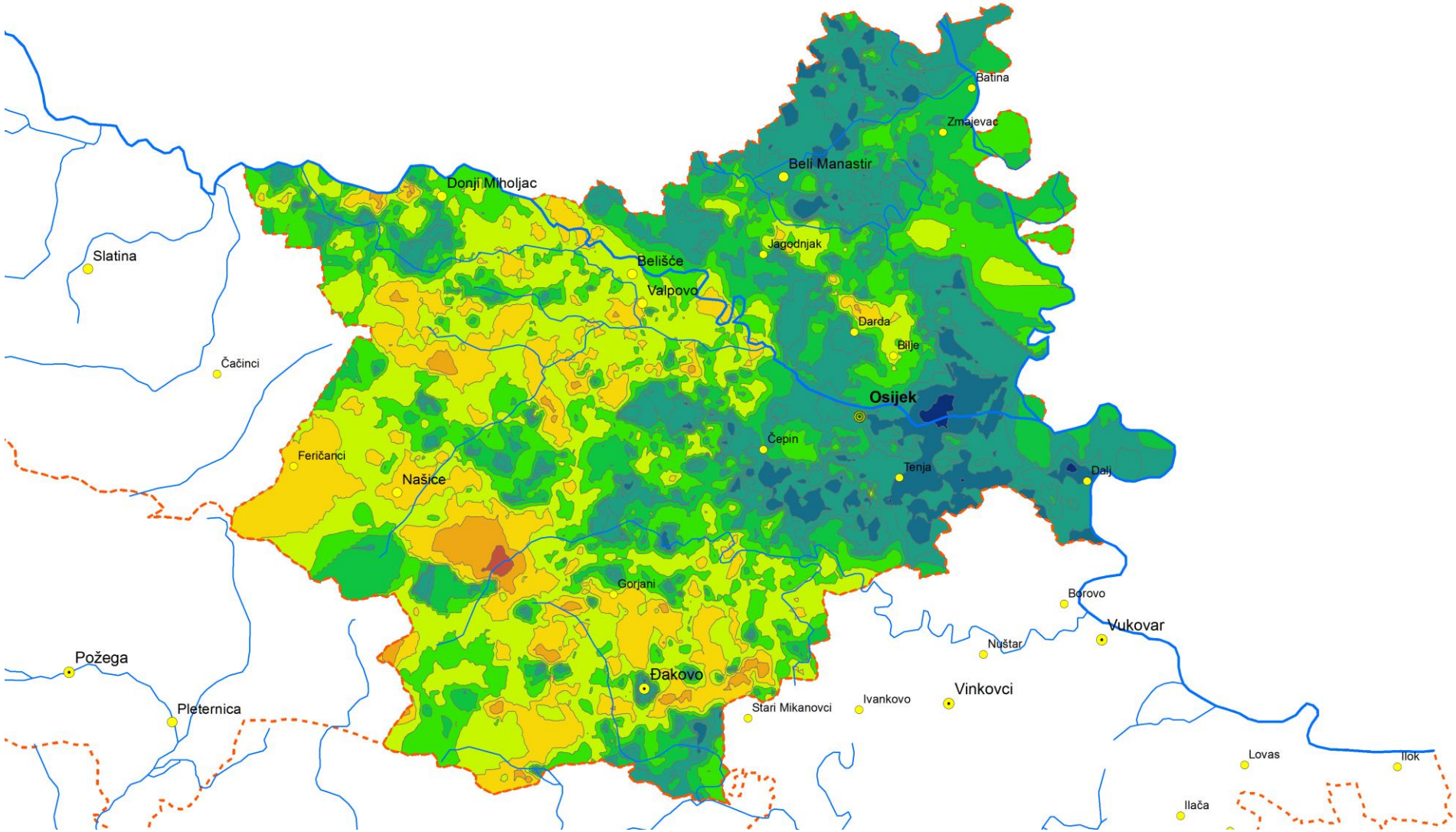
Ovakva metoda procjene pogodnosti tla za usjeve ključne indikatore plodnosti smatra faktorima minimuma (ograničenja) te je zbog svoje jednostavnosti i praktičnosti vrlo je pogodan za procjenu pogodnosti zemljišta. Metodologija za procjenu zemljišne pogodnosti za trajne nasade indikatore pogodnosti dijeli na antropogene (koji se mogu agrotehničkim zahvatima promijeniti) i limitirajuće (npr. nad. visina, sadržaj karbonata, dubina soluma i dr.).

Model za determinaciju zemljišne pogodnosti za usjeve koristi nelinearne skor funkcije, a model za trajne nasade tablice rangova. Skor funkcijama se prikazuje intenzitet djelovanja pojedinog indikatora plodnosti/pogodnosti, a pogodnost zemljišta za usjeve procjenjuje se sa 7 indikatora produktivnosti (za trajne nasade ih je 13) i to: AL-P_2O_5, AL-K_2O, pH-KCl, pH-H_2O, Hy (hidrolitička kiselost), sadržaj humusa i karbonata, dok se kationski izmjenjivački kompleks (KIK) i gustoća tla procjenjuje na temelju empirijskih modela. Vrlo slično, kako navode *Seybold et all. 2005.* za potrebe Nacionalne baze podataka o tlu SAD-a, koriste se prediktivni linearni modeli, pri čemu se homogene grupe tala izdvajaju prema sadržaju organske tvari u tlu, pH, mineraloškoj klasi i KIK-u.

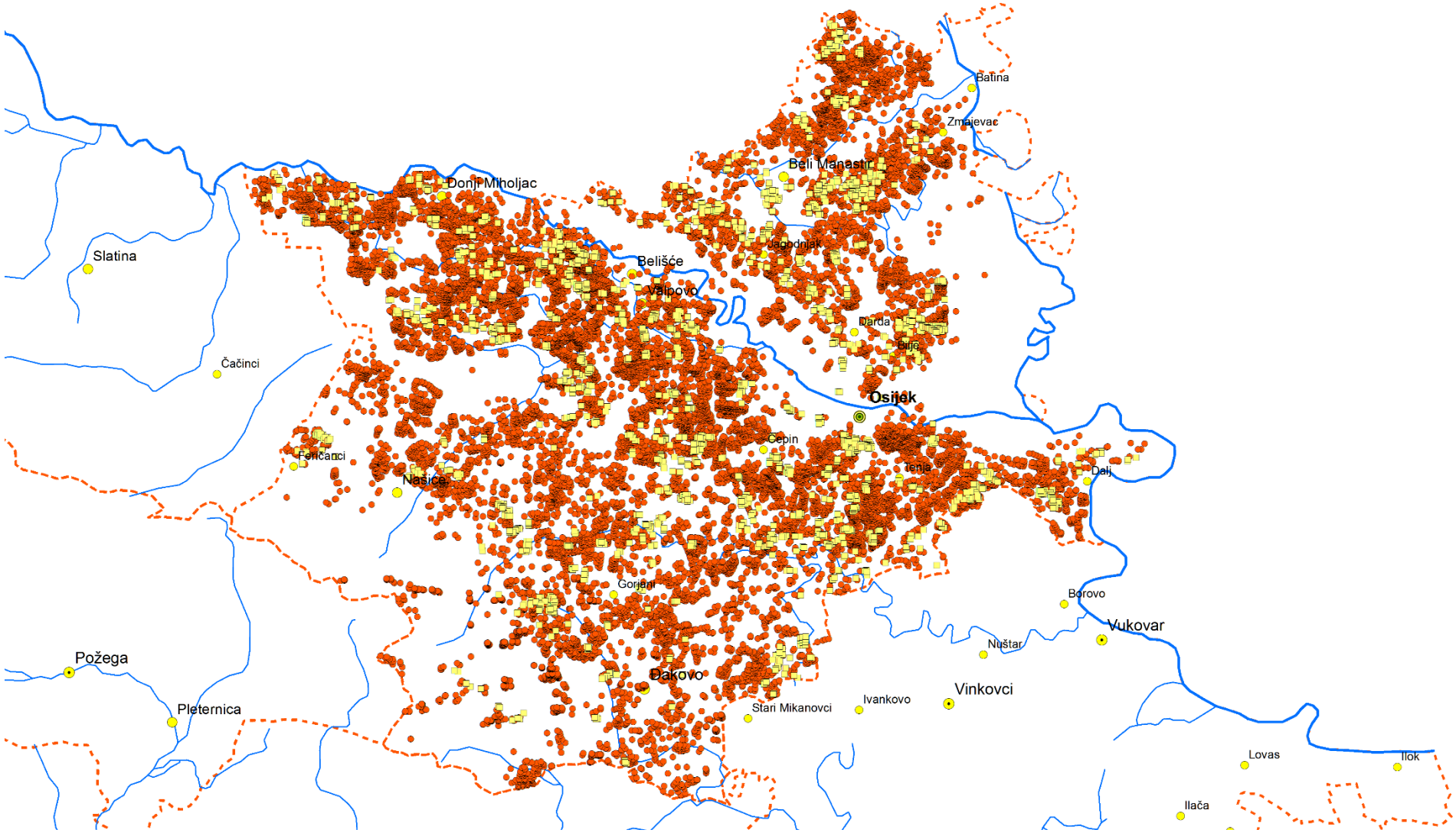
Indikatori pogodnosti mogu se proširiti tako da se kakvoća tla može definirati kao mjerljiva vrijednost u nekom drugom segmentu uz primjenu iste metodologije (*Vukadinović et al*., 2009.). Primjerice, podaci Interpretacijske baze zemljišnih resursa korištena je za procjenu obradivosti (*Vukadinović* i *Jug,* 2010.), a moguće je procijeniti i druga važna svojstva, npr. pogodnost za navodnjavanje, potrebu uređenja i/ili kondicioniranja i dr.

Modela za procjenu pogodnosti obrade tla ima vrlo malo i uglavnom se temelje na samo nekoliko indikatora. Npr., unutar interpretacijske baze ISPAID (*Iowa State University*, 2006.) samo su dva indikatora za procjenu pogodnosti obrade tla (*Tilt Rating and Power Index*), a temelje se na sadržaju gline, praha i pijeska, udjelu organske tvari i dreniranosti tla. *Bogunović et al.* (1998.) daju prikaz pogodnosti zemljišta Hrvatske utemeljen na malobrojnim i nedovoljno pouzdanim podacima *Osnovne pedološke karte RH*.

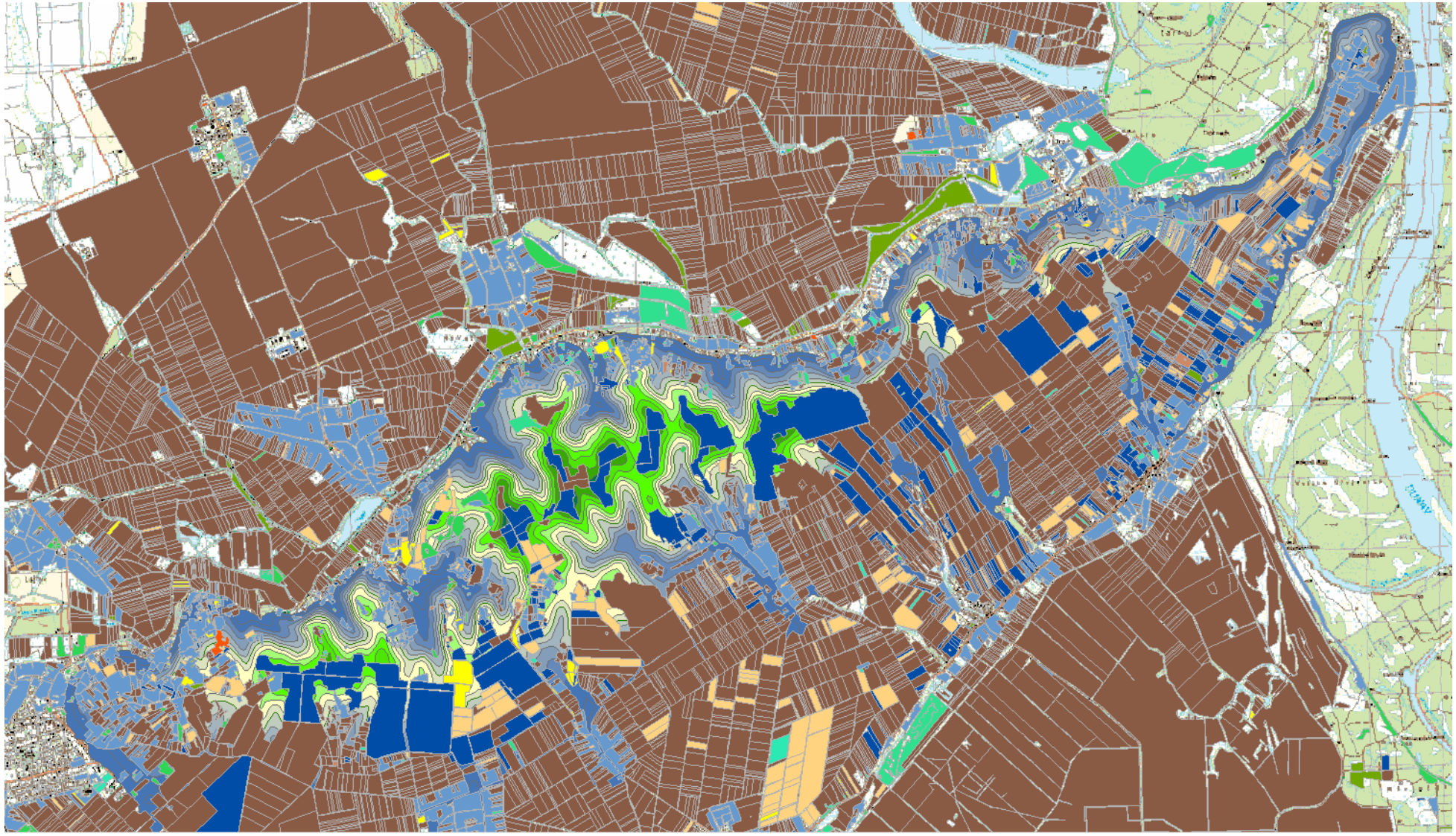
Osijek, veljača 2016.



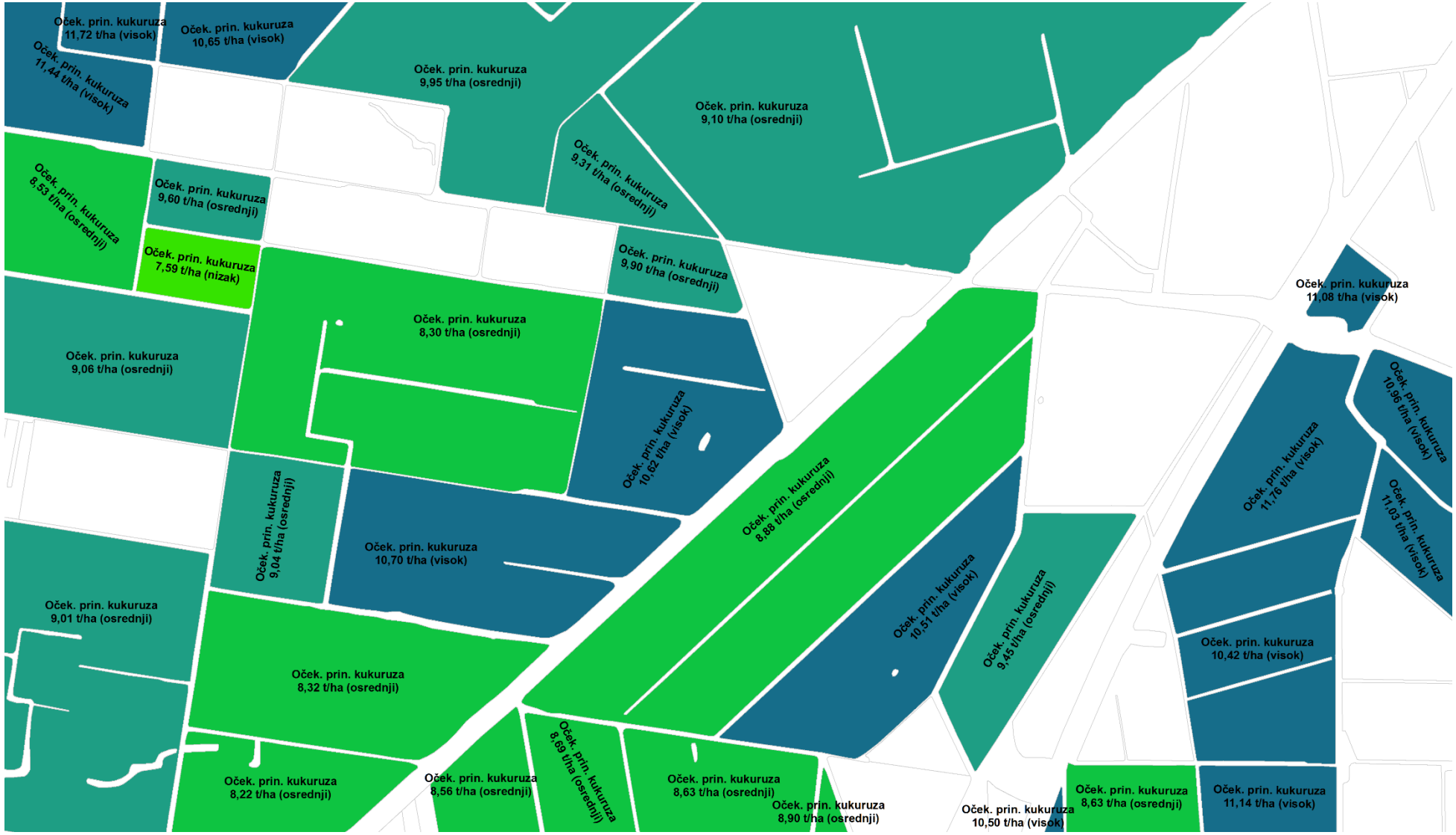
Slika 1. Relativna pogodnost zemljišnih resursa Osječko-baranjske županije za usjeve (M = 1 : 350.000; Vukadinović, 2015.)



Slika 2. Distribucija uzoraka tla (~22.000; žuti kvadratići: 2015.god.) zemljišnih resursa OBŽ, 2003.-2015. god. (M = 1 : 350.000; Vukadinović, 2015.)



Slika 3. Tip korištenja zemljišta (Baranjska planina; Arkod na podlozi TK25; plavo: vinogradi; M = 1 : 50.000; Vukadinović 2015.)



Slika 4. Očekivana visina prinosa kukuruza pojedine parcele obzirom na relativnu pogodnost tla za usjeve (M = 1 : 10.000, Vukadinović 2015.)