

ZEMLJIŠNI RESURSI: vrednovanje poljoprivrednih zemljišnih resursa

Vukadinović, Vladimir; Vukadinović, Vesna

Authored book / Autorska knjiga

Publication status / Verzija rada: **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

Publication year / Godina izdavanja: **2018**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:371887>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-11**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



Vladimir Vukadinović
Vesna Vukadinović

Zemljišni resursi



Vladimir Vukadinović

Vesna Vukadinović

ZEMLJIŠNI RESURSI

Vrednovanje poljoprivrednih zemljišnih resursa

Osijek, 2018.

Dr. sc. Vladimir Vukadinović

Red. prof. u traj. zv. Ishrane bilja, u miru

Dr. sc. Vesna Vukadinović

Red. prof. Vrednovanja zemljišnih resursa, Poljoprivredni fakultet u Osijeku

ZEMLJIŠNI RESURSI

Vrednovanje poljoprivrednih zemljišnih resursa

Elektronsko izdanje (e-knjiga)

ISBN 978-95358897-1-7

Predgovor

Razvitak i opstanak (ili nestanak) čovječanstva ovisi o proizvodnji hrane, škroba, etanola, celuloze, prirodnih vlakana te 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, klimom i njenim promjenama.

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

Kvaliteta 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, odnosno održivo korištenje zemljišnih resursa danas, ali i u budućnosti. Budući da je zdravlje tla njegovo bitno svojstvo koje se ne može izravno mjeriti, niti u kratkom ljudskom vijeku determinirati promjene njegove produktivnosti, moramo naučiti kako zemljišne resurse mudro i odgovorno koristiti, kako u proizvodnji hrane, tako za druge namjene.

Osijek, 2018. god.

Autori:

Vladimir Vukadinović

<http://tlo-i-biljka.eu>

Vesna Vukadinović

<http://pedologija.com.hr>

Sadržaj

PREDGOVOR	V
SADRŽAJ	7
BILJEŠKA O AUTORIMA	11
POVIJEST ZEMLJIŠNIH RESURSA	12
UVOD U POLJOPRIVREDNE ZEMLJIŠNE RESURSE	15
ZEMLJIŠNI RESURSI	21
KRAJOLIK	21
TLO	29
FUNKCIJE TLA	30
SASTAV TLA	33
HRANJIVI ELEMENTI (HRANJIVE TVARI, ILI ELEMENTI BILJNE ISHRANE)	39
SIMPTOMI NEDOSTATKA BIOGENIH ELEMENATA	40
DUBINA TLA	40
TEKSTURA I STRUKTURA TLA	41
SORPCIJA IONA U TLU	41
PH (REAKCIJA) TLA	42
ORGANSKA TVAR TLA (HUMUS)	42
VODA U TLU	44
ŠTETNE TVARI U TLU	44
AGROTEHNIČKE MJERE I PLODNOST TLA	45
KOLOIDNA SVOJSTVA TLA	46
SVOJSTVA TLA I NJEGOVA PLODNOST	51
KVALITETA (PLODNOST I PRODUKTIVNOST) TLA	52
<i>Definicija kvalitete tla</i>	<i>53</i>
<i>Plodnost ili kvaliteta tla</i>	<i>53</i>
<i>Poljoprivredna produktivnost i održivost</i>	<i>56</i>
<i>Zdravlje zemljište pod prirodnom vegetacijom (rangeland)</i>	<i>63</i>
<i>Degradacija i otpornost tla na pad kvalitete</i>	<i>63</i>
<i>Ocjenjivanje kvalitete tla</i>	<i>65</i>
SUSTAVI ZA PROCJENU ZEMLJIŠNE POGODNOSTI	71
TRADICIONALNI SUSTAVI	71

<i>Holistički pristup u vrednovanju pogodnosti zemljišta</i>	71
<i>Sustavi utemeljeni na maksimalnom ograničenju indikatora</i>	71
<i>Parametrijske metode</i>	71
<i>Statistički sustavi</i>	73
<i>Singl faktor sustavi (skor funkcije)</i>	74
SUVREMENE METODOLOGIJE	75
<i>Ekspertni sustavi</i>	75
<i>Fuzzy-Set metodologije</i>	78
<i>Dinamičko-simulacijski modeli</i>	81
<i>Hibridni sustavi</i>	83
<i>Automatizirane aplikacije</i>	83
<i>Baze zemljišnih podataka</i>	84
<i>Računalni programi</i>	85
<i>Koncept zemljište</i>	88
<i>Buduće perspektive</i>	96
INVENTARIZACIJA ZEMLJIŠTA.....	97
<i>Kartografija i osnove kartiranja zemljišta</i>	97
ODREĐIVANJE PRODUKTIVNIH SVOJSTAVA ZEMLJIŠTA BESKONTAKTNIM TEHNIKAMA	107
<i>Primjena dronova</i>	108
<i>Precizna poljoprivreda</i>	113
<i>GIS i digitalno kartiranje</i>	114
<i>Geostatistika i vizualizacija</i>	116
<i>Agroekološko zoniranje</i>	119
PLANIRANJE (ZONIRANJE ILI RAJONIZACIJA) KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA	126
<i>Komasacija</i>	128
<i>Arondacija</i>	128
<i>Zoniranje ili rajonizacija poljoprivrednog zemljišta</i>	128
MODEL PROCJENE POGODNOSTI ZEMLJIŠTA ZA USJEVE OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE	130
MODEL PROCJENE POGODNOSTI ZEMLJIŠTA OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE ZA TRAJNE NASADE	134
MODEL PROCJENE POGODNOSTI ZEMLJIŠTA ZA OBRADU	138
TIPOVI TLA	143

KLASIFIKACIJA (SISTEMATIKA) TALA	143
WRB KLASIFIKACIJA TALA	144
OSNOVE HRVATSKE KLASIFIKACIJE TALA.....	146
<i>Odjel automorfni tala</i>	146
<i>Odjel hidromorfni tala</i>	147
<i>Odjel halomorfni tala</i>	147
<i>Odjel subakvalni tala</i>	147
UREĐENOST I POPRAVKE ZEMLJIŠTA	149
KONDICIONIRANJE (POPRAVKE) ZEMLJIŠTA	150
<i>Kalcizacija zemljišta</i>	153
<i>Gipsanje zemljišta</i>	159
<i>Kondicioneri</i>	164
REKLAMACIJA ZEMLJIŠTA (MELIORACIJE)	165
ANALIZA ZEMLJIŠTA	167
UZORKOVANJE TLA	167
LABORATORIJSKA ANALIZA ZEMLJIŠTA	172
<i>Kemijska analiza</i>	172
<i>Mehanička analiza tla</i>	172
<i>Biološka analiza tla</i>	173
MONITORING ZEMLJIŠTA	173
<i>Degradacija fizikalnih svojstava tla antropogenim zbijanjem</i>	176
<i>Degradacija kemijskih svojstava tla</i>	176
<i>Degradacija bioloških značajki tla</i>	179
LITERATURA	181

Bilješka o autorima

Vladimir Vukadinović (1948.) je umirovljeni redoviti profesor Ishrane bilja u trajnom zvanju. Cijeli životni vijek proveo je kao istraživač i sveučilišni nastavnik na Poljoprivrednom fakultetu u Osijeku baveći se Ishranom bilja, naročito problemima ishrane dušikom i kalijem, kako usjeva tako i trajnih nasada, te proučavajući zemljišne resurse s aspekta produktivnosti tla, gnojidbe i faktora proizvodnih ograničenja. Vrlo rano, s pojavom informatičke tehnologije sredinom osamdesetih godina prošlog stoljeća, svoja istraživanja i rezultate oplemenjuje kompjutorskim modelima, GIS-om i izradom računalnih programa kao pomoć u razumijevanju produktivnosti tala, izradi gnojidbenih preporuka za usjeve, povrće i trajne nasade te kao pomoć u donošenju odluka po pitanjima popravki i rajonizacije zemljišnih resursa.

Prof. dr. Vladimir Vukadinović je diplomirao u Sarajevu 1971. godine na Odsjeku za biologiju Prirodno-matematičkog fakulteta, što je njegovim istraživanjima u području agronomije dalo specifičan fiziološki „štih“ u kojima je biljka sa svojim potrebama za rast, razvitak i tvorbu prinosa iznad ili pak jednaka po važnosti agroekološkom i agrotehničkom aspektu primarne organske produkcije.

S više od 40 godina staža u istraživanjima i nastavi Ishrane bilja, Fiziologije bilja, Ekofiziologije, Primjene kompjutera u poljoprivredi i Zemljišnih resursa, prof. dr. Vladimir Vukadinović je objavio više od 150 znanstvenih i stručnih članaka, više skripti i udžbenika te izradio niz kompjutorskih programa i modela kao i programa za statističku obradu rezultata istraživanja.

Vesna Vukadinović (1964.) redovni je profesor na predmetima Pedologije i mikrobiologije tla, Zemljišnih resursa, Pedogeneze i sistematike tla i Vrednovanja zemljišnih resursa na Poljoprivrednom fakultetu u Osijeku. Magistrirala je 1998. godine na Agronomskom fakultetu u Zagrebu, a doktorirala 2003. na Poljoprivrednom fakultetu u Osijeku istražujući solonjece istočne Hrvatske te učinkovitost njihove popravke hidrotehničkim i kemijskim mjerama.

Uži znanstveni interes prof. dr. sc. Vesne Vukadinović je utvrđivanje plodnosti različitih tipova tala, posebice onih ograničene produktivnosti uzrokovane niskom ili visokom pH vrijednosti, a šire područje obuhvaća sistematiku tala, njihovu genezu, fizikalna i kemijska svojstva tla, primjenu kartografije u poljoprivredi te procjenu pogodnosti zemljišta u poljoprivrednoj proizvodnji.

Povijest zemljišnih resursa

Premda je povijest čovječanstva kratak period u odnosu na starost Zemlje, tlo je više puta bile degradirano, sve do uništenja, a neka su društva i cijele civilizacije nestale zbog nesmotrenog i pretjeranog iskorištavanja zemljišnih resursa. Degradacija tla je često bila toliko jaka u prošlosti da se pad čitavih civilizacija (npr. Mezopotamija i Rimsko Carstvo), dijelom može pripisati padu njegove produktivnosti. Zapravo, svaka civilizacija predstavlja opasnost za obradivo tlo koje je nezamjenjiv i ograničen resurs, koristan na mnogo načina, te suvremeni ljudi moraju biti vrlo oprezni i mudri kako bi izbjegli sličnu sudbinu. Stoga se mjere za očuvanje tla javljaju veoma rano (npr. naplavlivanje mulja, kalcizacija i dr.), a u srednjovjekovnoj Europi se prakticira koncept "tri polja", sustav biljne proizvodnje u kojem se zemljište 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.) u Francuskoj, napisao je prvu znanstvenu studiju o tlu i mineralima tla, 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 Britanskog kraljevskog udruženja (*The Royal Society of London*) predlažu više različitih shema klasifikacije tla koje sadrže elemente prirodnih i znanstvenih kriterija (*Boyle* 1665.; *Lister* 1684.).

Njemački kemičar *Justus von Liebig* (1840.) predlaže revolucionarnu ideju dokazujući kako biljke asimiliraju mineralne hranjive tvari iz tla, te je prvi 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 i dr.*, 1885.; *Richtofen*, 1886), a njemački agrokemičar *Fallouand Ramman* smatrao je kako je tlo znatno više od trošne stijene, zapravo poseban i neophodan medij za rast biljaka. Slavni britanski istraživač *Charles Darwin* (1881.) u svom znanstvenom opisu 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, pa tlo definira kao samostalno prirodno i evolucijsko tijelo formirano pod utjecajem pet čimbenika, od kojih je najvažnijima smatrao vegetaciju i klimu te tako utemeljio genetski pristup klasifikaciji tla.

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 ruskih znanstvenika *Dokučajeva* i *Glinke* (1867.-1927.).

Od *Dokučajeva* na dalje jasno se razlikuju tlo i *matična stijena* ili *matični supstrat* na kojem je pod utjecajem niza čimbenika formiranja (klima, vegetacija, vrsta stijene, reljef i starost) nastalo tlo. Na temelju takvog poimanja tla *Nikiforoff* je 1959. (*Wilding i dr.*, 1983.) definirao tlo kao "uzbuđena koža ispod zračnog omotača Zemlje", a *pedogenezu* „kao transakciju energije između tla i njegove okoline“.

Dok je u povijesti erozija tla bila glavni krivac degradacije, danas su vrlo česti različiti oblici biološke, fizičke i kemijske degradacije zemljišnih resursa. Složenost i značaj degradacije zemljišta jasno se ogleda u nekoliko važnih međunarodnih sporazuma o upravljanju zemljišnim resursima. UN donosi *Povelju o ljudskom okolišu* (*United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm 1972.*) koja ističe potrebu zaštite tla kroz promjenu uzgojne prakse, sprječavanje erozije, onečišćenja i šteta od ljudskih naselja i razvoja infrastrukture. EU je 1987. uvela pojam *okoliš* s ciljem očuvanja kvalitete okoliša, zaštite ljudskog zdravlja i osiguranja racionalnog korištenja prirodnih resursa. Kasnijim revizijama tog akta (Maastricht, 1993.) okoliš je postao službeno područje politike EU-a, a Ugovorom iz Amsterdama (1999.) uvedena je obveza prema kojoj zaštita okoliša mora postati sastavnim dijelom svih sektorskih politika EU-a u svrhu promicanja održivog razvoja.

Nakon 12.000 godina od posljednje *glacijacije* (ledenog doba) Zemlja je trenutno u geološkoj epohi *holocen* (interglacijalno ili međuledeno razdoblje) koju karakterizira značajan globalni utjecaj ljudske populacije na Zemljinu geologiju i ekosustave, te se zbog toga najčešće naziva *antropocen*. Geolozi smatraju da bi se početak nove epohe trebao računati od 1950. godine zbog većeg stupnja radijacije prouzrokovane testiranjem nuklearnog oružja, ali i sve većeg onečišćenja okoliša otpadom iz nuklearnih i termoelektrana

elektrana, naglim podizanjem CO₂ i stakleničkih plinova u atmosferi, onečišćenja teško razgradljivim otpadom kao što su različite vrste plastike, odnosno odlaganja sve više različitog komunalnog i industrijskog otpada.

Jasno je, bez ikakve sumnje, da je čovječanstvo u epohi kojom dominiraju ljudi, odnosno njihove, često nerazumne aktivnosti kao što je prekomjerna sječa šuma i korištenje fosilnih goriva sve do iscrpljivanja tog resursa, naravno uz porast razine CO₂ i *stakleničkih plinova* u atmosferi te izumiranje mnogih biljnih i životinjskih vrsta. Posljedica je primjetna devastacija prirode i promjena globalne klime uz porast globalne temperature, dizanje razine mora, sve češće ekstremne vremenske uvjete kao što su česte velike poplave, izrazite i dugotrajne suše i snažne oluje. Dio čovječanstva još ne shvaća da je grubim, pretjeranim miješanjem postao najvažniji čimbenik promjena na Zemlji i da je njegov nekontrolirani utjecaj na prirodu vrlo rizičan jer uskoro neće biti u stanju ovladati novonastalim promjenama.

Do 1970. mnoge zemlje su razvile vlastite sustave vrednovanja zemljišta što je ograničavalo razmjenu informacija i iskustava te je FAO 1974. predložio međunarodnu standardizaciju klasifikacije zemljišta u cijelom svijetu, koja je odmah zatim i unaprijeđena (FAO, 1976.).

Uvod u poljoprivredne zemljišne resurse

Tlo je površinski sloj zemljišta i definira se kao prirodno tijelo na koje podržava rast i razvoj biljaka, a grade ga organske i anorganske tvari (*Buckman i Brady, 1952.*), dok izraz zemljište označava geodetsko-tehnički ekvivalent za tlo pa obuhvaća vegetaciju, geološko/orografsku, hidrološku i klimatsku osnovu nekog područja. Dakle, zemljište je puno širi pojam od tla, pod kojim se podrazumijeva samo supstrat biljne ishrane.

Tlom se bavi više znanstvenih disciplina, od kojih su najvažnije:

- *Pedologija* izučava tlo kao prirodni supstrat biljne ishrane i bavi se procesima njegovog nastanka, fizikom, kemijom, hidrologijom, morfologijom i klasifikacijom,
- *Ishrana bilja*, pored fizioloških procesa i funkcija kemijskih elemenata u živoj tvari, istražuje i sve procese fizikalne, kemijske, fiziološke i biokemijske prirode koji u interakciji biljaka i tla utječu na usvajanje hranjivih tvari, njihovo premještanje i raspodjelu u biljci, rast, razvitak i tvorbu prinosa, odnosno primarnu organsku produkciju,
- *Zemljišna mikrobiologija* proučava različite transformacije organske tvari tla kroz aktivnost zemljišnih mikroorganizama,
- *Zemljišni resursi* istražuju zemljišnu pogodnost za proizvodnju hrane i druge različite namjene, mjere njegovog očuvanja, poboljšanja, održive načine korištenja, zaštitu od degradacije zemljišta i dr., a
- *Biljna proizvodnja* bavi se praktičnim aspektima agrotehnike (obrade, gnojidbe itd.), odnosno općenito poboljšanja svojstava tla za uzgoj usjeva i nasada.

Anorganske čestice tla čine ~45 %, *organska komponenta* učestvuje s ~5 %, a u ostalih ~50 % plodnog tla ravnopravno učestvuju voda i zrak. Čestice tla mogu biti različite, od koloidne veličine (promjer <0,002 mm) koju čine glina i humus koje mogu vezati vodu i hranjive tvari, pa na više (prah, pijesak, šljunak i skelet) te *teksturni sastav* (*mehanički* ili *granulometrijski*) čini zemljište manje ili više poroznim. Zapravo, mehanički elementi (tzv. primarne čestice tla) su međusobno povezane organskom tvari u *strukturne agregate* tla koji određuju njegovu *strukturu*, odnosno kako su pojedine čestice tla povezane u grude, mrvice ili zrnca (tzv. sekundarne čestice tla)

Poroznost tla, koju definiraju tekstura i struktura, neobično je važna za biljke, a čine ju *pore* i *međuprostori* (tzv. *intersticij*) u kojima se zadržava zrak i voda s otopljenim hranjivim tvarima. Sadržaj vode i zraka u tlu obrnuto je proporcionalan, odnosno kod suviška vode premalo je zraka potrebnog za

disanje korijenja i obrnuto, te je fizička priroda tla jednako važna za rast i razvoj bilja kao i njegova kemijska priroda koja obuhvaća količinu hranjivih tvari, njihovu mogućnost za usvajanje korijenom (tzv. *raspoloživost hraniva*), pH tla, puferni i adsorpcijski kapacitet za različite ione, hranjive ili pak toksične i dr. *Živa komponenta tla* označava se kao *mikroflora*, a čine ju *heterotrofne* i *autotrofne* bakterije, gljivice (pljesni) i alge, uključujući mikro i makro fauna (protozoe, nematode, kišna gliste, crve, različite insekte, puževe i glodavce).

Dakle, fizikalna, kemijska i biološka svojstva zemljišta, uključujući topografiju i klimu (vodni, svjetlosni i temperaturni režim) zajednički utječu na gospodarski potencijal tla, a tehnologija (agrotehnika) i znanje ljudi na produktivnost, odnosno kapacitet za proizvodnju hrane.

Potrebno je naglasiti da je tlo ograničen i praktično neobnovljiv resurs (Blum, 2006). Svijet raspolaže s oko 3,2 milijarde hektara koja se koriste kao oranice, što je oko četvrtina ukupnog zemljišta (Mueller i dr., 2009.). Premda površina poljoprivrednog zemljišta obuhvaća oko 40-50 % ukupne svjetske površine, Borlaug (2007.) navodi: "U borbi za ublažavanje siromaštva i unaprijeđena ljudskog zdravlja potreban je dinamičan poljoprivredni razvitak". Naime, postoji ozbiljna zabrinutost da porast prinosa žitarica nije dovoljno brz kako bi se zadovoljile sve veće 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).

Republika Hrvatska trenutno obrađuje ~1,2 mil. ha, a ukupni potencijal poljoprivrednog zemljišta vjerojatno je dvostruko veći, odnosno iznosi ~2,4 mil. ha. Budući da broj poljoprivrednih proizvođača konstantno pada kao i broj stanovnika na selu, može se očekivati stagnacija u proizvodnji hrane i veći uvoz, sve dok se korjenito ne promijeni agrarna politika. Prema podacima EU (European Environment Agency, 2012.) ukupna površina poljoprivrednih površina Hrvatske iznosi 1.028.399,81 ha (kod 242 ili mozaik polj. površina), od čega se trajno navodnjava tek 11.129,09 ha. Šume (ukupno: bjelogorične, crnogorične i mješovite) zauzimaju 2.092.124,33 ha, pašnjaci i prirodni travnjaci 552.315,88 ha, kontinentalna i mediteranska grmolika vegetacija i zemljište u zarastanju 786.809,61 ha.

Strategije zaštite tala Europske komisije (EC, 2006.; Tóth i dr., 2007.) temelji se na njegovom održivom korištenju, a funkcija njegove 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 kvaliteta poljoprivrednog zemljišta koji ne smije biti ograničen samo na *konvencionalan* (intenzivan) koncept korištenja zemljišta već mora obuhvatiti kapacitet tla za *tradicionalni (low input)* i *ekološki uzgoj*.

Pedologija kao znanost općenito ima rudimentaran pristup produktivnosti tala utemeljen na klasifikaciji zemljišta koja se do nedavno svodila 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 model *LESA (Land Evaluation & Site Assessment)* koji se sastoji od više komponenata procjene i niza drugih čimbenika koji pridonose determinaciji prikladnosti zemljišta za poljoprivredu), kanadski *LSRS (Land Suitability Rating System)* sustav utemeljen pretežito na atributima 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 mnogi drugi. Većina modernih sustava za procjenu pogodnosti zemljišta podržani su kartama i informacijskim interpretacijskim bazama uz mogućnosti klasifikacije pogodnosti tla za uzgoj određenih kultura, potrebe melioracija i uređenja, odnosno *reklamacija tla*, mogućnost reducirane obrade i sl.

Standardizirane metodologije procjene produktivnosti zemljišnih resursa, u aspektu njegovog održivog multifunkcionalnog korištenja, općenito imaju značajne nedostatke. Na primjer, taksonomski sustavi klasifikacije daju malo informacija o funkcionalnosti tla na konkretnom agroekološkom području, naročito o vodnom i toplinskom režimu tla, koji su pod utjecajem klime i na globalnoj razini ograničavaju produktivnost 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* i *GAEZ*) je razvijen od strane Međunarodnog instituta za primijenjenu analizu sustava (*IIASA*) i *FAO*. 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 i dr., 2002.*).

Metode za procjenu potencijala produktivnost tla često se označavaju kao *Land evaluation*, odnosno proces procjene zemljišnih performansi 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 (*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 pojam tlo, dok iz globalne perspektive (Zemlja, kontinenti, veće države) imaju naglasak na ulogu klime i čovjeka u proizvodnji biomase i naklonost pojmu *zemljište*.

Sve je više regionalnih modela koji produktivnost tla procjenjuju preko količine biomase usjeva, što je moguće kad se utvrđuje moguća visina biološkog i merkantilnog prinosa. 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.*), utvrđivanje statusa 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 V. i Sarić, 1990.*), *Daisy* (*Hansen i dr., 1990.*), grupa *Ceres* modela (*Ritchie i Godwin, 1993.; Xiong i dr., 2008.*), *WOFOST* (*Supit i dr., 1994.; Reidsma i dr., 2009.*), *Candy* (*Franko i sur., 1995.*), *AGROTOOL* (*Poluektov i dr., 2002.*), *SIMWASER* (*Stenitzer i Murer, 2003.*), *Tezej* (*Wegehenkel i dr. 2004.*), grupa modela *AGROSIM* (*Mirschel i Wenkel, 2007.*), *DAYCENT* (*Del Grosso i sur., 2005.*), *HERMES* (*Kersebaum i dr., 2007.*) i mnogi drugi. Modelima ove skupine zajedničko je da su visoko sofisticirani i specifični za određenu namjenu i regiju, te je njihova prenosivost na druge agroekološke uvjete ili za drugu namjenu vrlo ograničena. Neki od tih modela u posljednje vrijeme podržani su satelitskim snimcima vegetacije (*Smit i sur., 2008.; Kurtz i sur., 2010.*), 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 (precizna agrikultura)* podržani su GIS-om i izvrsno prognoziraju proizvodnost zemljišta na regionalnoj razini, ali su njihovi algoritmi neodgovarajući i neprimjenjivi 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, presloženi su, zahtijevaju ogroman broj informacija i sl. Naime, procjena produktivnosti za održivo korištenje zemljišta zahtijeva jednostavne standardizirane alate, pouzdanost, ali i mogućnost primjene u donošenju odluka poljoprivrednih proizvođača. Autorima ove knjige to je bila ideja vodilja, te njihovu namjeru, kao i doprinos modernom i široko upotrebljivom modelu vrednovanja zemljišta treba tako i cijeliti.

Zemljišni resursi

Znanstvena disciplina „*Zemljišni resursi*“, općenito i kao predmet izučavanja na diplomskom studiju *Bilinogojstvo* i „*Vrednovanje zemljišnih resursa*“ na diplomskom studiju *Voćarstvo, vinarstvo i vinogradarstvo* na Poljoprivrednom fakultetu u Osijeku, ima za cilj:

- objasniti funkcije tla u poljoprivredi i gospodarstvu općenito,
- prepoznati i objasniti utjecaj ekoloških poremećaja na kvalitetu tla,
- nabrojiti i interpretirati morfološka, biološka, fizikalna i kemijska svojstva zemljišta,
- kritički analizirati učinke degradacijskih procesa na zemljište i planirati promjene u načinu gospodarenja,
- definirati minimalne zahtjeve za korištenje zemljišta,
- utvrditi optimalan način korištenja zemljišta,
- navesti, objasniti i primijeniti metode za procjenu pogodnosti zemljišta i
- klasificirati tlo/zemljište u kategorije prema kriterijima procjene pogodnosti.

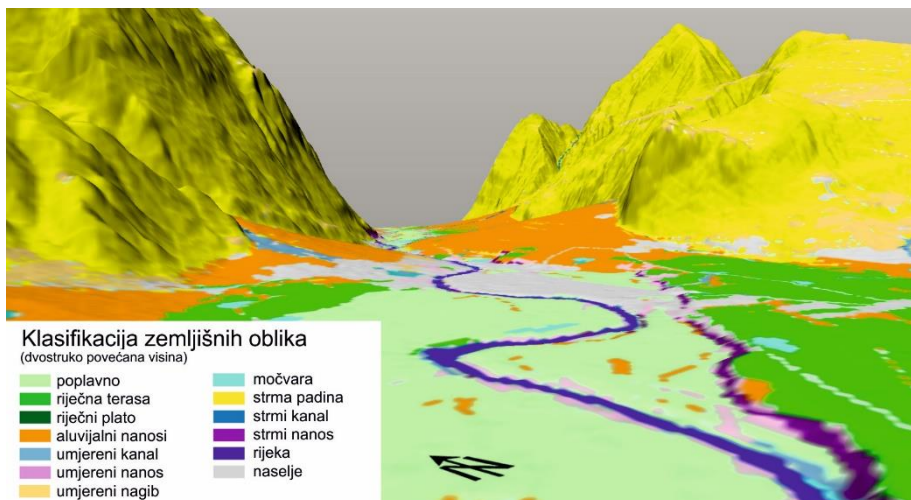
Široko znanstveno polje istraživanja Zemljišnih resursa u daljem tekstu ove knjige fokusiran je na poljoprivredne zemljišne resurse u dijelu primarne organske produkcije (bilinogojstva), ali nikako ne treba zanemariti i značaj zemljišnih resursa u ostalim aspektima njihove uloge, kao i korištenja.

Krajolik

Krajolik (sinonimi su *krajobraz*, *pejzaž*, *landscape*) je termin koji označava vidljive značajke prirode, pa stoga svi krajolici imaju strukturu (sastav i oblik) koja utječe na funkciju pojedinih prostornih elemenata strukture (*McGarigal*, 2011.). Krajolik čine *prirodni elementi* (npr. planine, doline, obala, rijeke, jezera itd.), *životni elementi* (vegetacija i fauna), *ljudski elementi* (različiti oblici korištenja zemljišta, naselja, urbani prostor, transportna infrastruktura itd.) te *promjenjivi elementi* (vremenske prilike, usjevi, nasadi i sl.), kao i *oblik elemenata* (*morfologija*, *zemljišna forma*), odnosno karakter zemljišne površine koja proizlazi iz interakcije fizičkih procesa (npr. djelovanje vode, vjetra, leda, trošenja matične stijene i tektonski poremećaji Zemljine kore).

Interakcija unutar prostornog raspored elemenata pobliže definira pojam krajolik, a *prostorni karakter* čine brojnost, raspored i kontekst (uzorak) prostornih elemenata. Dakle, konfiguracija krajolika podrazumijeva njegov prostorni aspekt koji definiraju prostorni uzorci i njihova heterogenost. Opis i analiza krajolika veoma su važni u ekološkim istraživanjima te postoji više

specijaliziranih metodologija za definiranje krajolika, a tipično se spominju slijedeće forme krajolika: planinski, obalni, riječni, pustinjski, humidni, krški, vulkanski, tropski, stepski, urbani, poljoprivredni itd. Krajolicima se često pridaju i drugi atributi, npr. kulturni, ruralni, spiritualni, estetski, ekonomski i sl., pri čemu *kulturni poljoprivredni krajolik* često ima attribute entiteta (npr. suhozidi, terase i dr.)

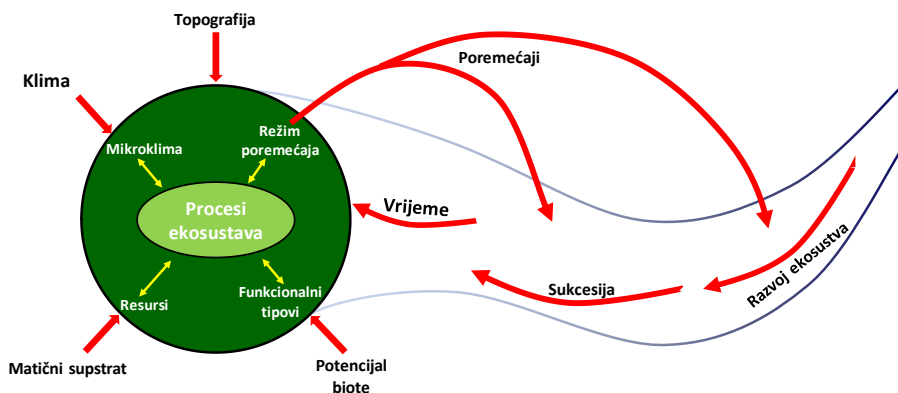


Slika 1. Digitalni model terena (DTM) riječne doline kreiran na temelju LIDAR-a (Bruneck, Južni Tiro, Italija, https://www.uibk.ac.at/geographie/bola/poster/egu_lasbo.pdf)

Poljoprivredni krajolik može se dalje razvrstati u *oranice* (ravnice i platoi, kad je udio oranica > 60 %, uzgoj žitarica i krmnog bilja, gusto naseljena područja, odsustvo drveća itd.), *travnjake* (rijetko naseljeno područje, više drveća i šumaraka, uzgoj stoke itd.), *mješovite kulture* (područja, oranica, travnjaka, šume i naselja itd.), *suburbano poljoprivredno područje* (blizina gradova i većih naselja) i dr.

Za potrebe proizvodnje hrane, krajolik se najčešće prikazuje digitalnom kartom (*digitalna realnost*) koja se temelji na određenoj perspektivi i skali (*razmjer*). Prijašnje karte terena često u kreirane iz nepotpunih ili nesavršenih podataka, uz manje ili veće, najčešće nepoznate pogreške. Sve intenzivnijim korištenjem LIDAR-a (*Light Detection and Ranging*), odnosno optičkog radara u *fotogrametriji* (analiza i interpretacija fotografskih snimaka zemljišta) i GIS alatima, posebice kreiranju digitalnih terenskih modela (DTM, Slika 1.), pogreške u digitalnim kartama sve su manje, jer se tom tehnologijom dobiva vjerodostojan, trodimenzionalni prikaz prostora (*Schneevoigt i dr., 2008., Migoń i dr., 2013.*).

Klima je čimbenik koji najsnažnije utječe, ali i globalno regulira strukturu i procese (funkcioniranje) ekosustava (Slika 2.). Termin klima označava prosječne vremenske uvjete nekog područja (količina i intenzitet i spektralni sastav Sunčevog zračenja, količina oborina, minimalna, maksimalna i prosječna temperatura, snaga vjetera i dr.). Npr., posljedica klime su tundre u blizini Zemljinih polova ili na planinskim vrhovima, a prašume su smještene u blizini ekvatora.

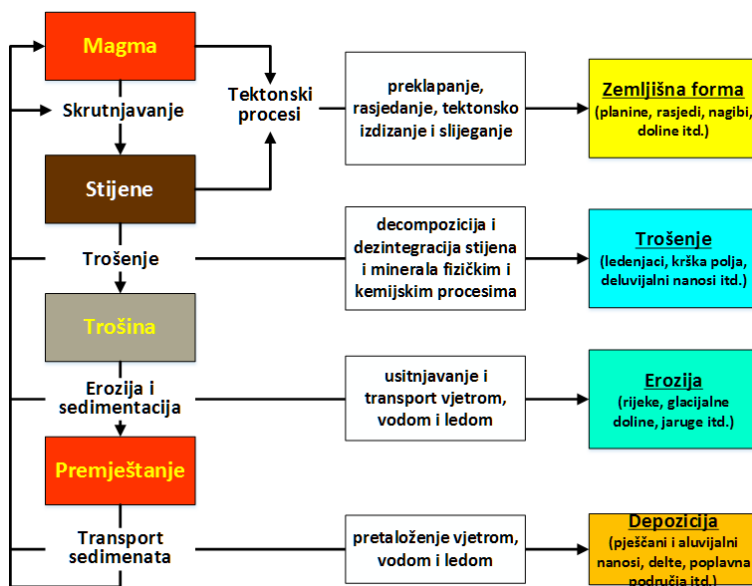


Slika 2. Glavni čimbenici koji reguliraju tip i funkcioniranje ekosustava

Geomorfologija proučava teren, tj. oblik Zemljine površine te objašnjava geomorfološke procese, odnosno zašto *krajolik* (krajobraz, pejzaž) ima konkretan izgled i strukturu (tzv. *geomorfološki izraz*), zašto je izgrađen od pojedinih materijala i koji su procesi kroz povijest doveli do izgleda pojedinih regija, dok *primijenjena geomorfologija* proučava interakcije ljudi s krajolicima i terenom (Huggett, 2007.), a *geomorfometrija* kvantitativno analizira zemljišnu površinu. Dakle, geomorfologija proučava teren s aspekta *geologije* (znanost koja se bavi proučavanjem Zemlje) koristeći se užitim znanstvenim disciplinama kao što su *tektonika* (proučava poremećaje i pomicanje Zemljine kore), *petrologija* (proučava stijene i uvjete pod kojima su nastale), *kemija* (proučava sastav i transformaciju tvari), *stratigrafija* (proučava slojeve stijena, njihovu teksturu, sastav i međudnose) i daje odgovore na interakciju klime (kretanje i djelovanje vode, vjetera i temperature) i sastava zemljišta. Svaki dio ciklusa stijena na Zemljinoj površini ima jasne geomorfološke posljedice (Slika 3.).

Geomorfologija je općenito važna jer ljudi žive na terenu, proizvode na njemu hranu i njihovi životi su pogođeni, ponekad i katastrofalno zbog geomorfoloških procesa. Nagib zemljišta izražava se u postotku ($\text{Nagib \%} = \frac{\text{vertikalna udaljenost} \times 100}{\text{horizontalna udaljenost}}$) određuje mogućnost dovoljne akumulacije tla i čini teren stabilnim ili nestabilnim. Osim što na

većim nagibima raste rizik od erozije i pojave klizišta, planine drastično utječu na vremenske prilike, posebice količinu oborina i vjetrove. Uređenjem nagnutih terena provodi se tisućama godina, npr. izgradnja terasa, brana, nasipa, kanala za drenažu podzemnih voda, odvodnju i navodnjavanje. Također, uklanjanje vegetacije (najčešće sječa i spaljivanje šuma) radi povećanja poljoprivrednih površina snažno utječe na lokalne, ali i globalne klimatske promjene (npr. sječa i paljenje prašume u Amazoniji).



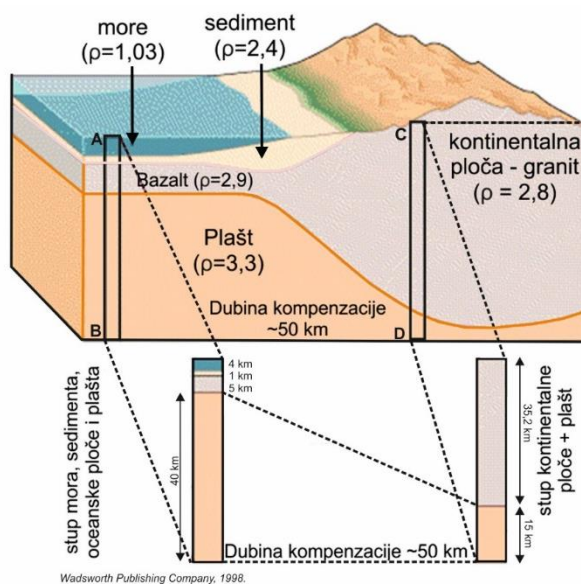
Slika 3. Geomorfološki procesi u ciklusu stijena

Budući da je geomorfološka terminologija krajolika poznata i razumljiva, definicije su svedene na osnovne značajke:

- Reljef označava kontrast između minimalne i maksimalne uzvisine (*elevacije* u regiji) te kontrolira intenzitet erozije i nakupljanje sedimentata. Planine su značajke reljefa, a visoko smješteno područje niskog reljefa označava se kao *plato*;
- *Povišenje* se determinira nadmorskom visinom i izravno utječe na eroziju nagibom i visokim temperaturnim varijacijama;
- *Nagib* je prostorni gradijenti u nadmorskoj visini i određuje stabilnost padina i nanosa (*depozicija*);
- *Podizanje ili spužtanje terena* (vertikalno pomicanje Zemljine kore) povezano je s tektonskim procesima i vulkanskim erupcijama;
- *Akumulacija* i *denudacija* označavaju vertikalne promjene zemljišta površine s obzirom na poziciju čvrste (žive) stijene (neto stopa promjene

visine zemljišta je zbroj izdizanja i slijeganja, odnosno suma akumulacije i denudacije.

Bez obzira na prilično neravnu Zemljinu površinu, tlak površine na dublje slojeve je ujednačen, a označava se kao *izostazija* koja je posljedica *Arhimedovog zakona uzgona* (Slika 4.). Stoga je globalno ujednačen tlak Zemljine kore na tekući sloj Zemlje ispod *litofere*, a razlike u tlaku koje izaziva reljef kompenzira se pomoću dva mehanizma i to razlikom u debljini i u gustoći slojeva.



Wadsworth Publishing Company, 1998.

Slika 4. Princip uravnoteženja tlaka Zemljine kore (izostazija)

Sile koje oblikuju krajolike često su različitog intenziteta i razmjera i zbog toga se krajolici razlikuju. Npr. obalna linija može biti malo ili vrlo jako razlomljena (razvedena, difuzna), teren različito nagnut i sl. Također, neke stijene su otpornije prema eroziji pa u krajoliku čine grebene, dok druge, podložnije eroziji rezultiraju usjecima ili dolinama. Između visine i erozije jaka je negativna povratna veza, odnosno velika nadmorska visina promovira eroziju pomoću intenzivnog smrzavanja i odmrzavanja stijena, kao i veće količine tzv. *orografskih oborina* i jačeg vjetra. U područjima slabo izraženih tektonskih poremećaja, erozija je najvažniji čimbenik promjena u visini terena. *Eolska erozija* (erozija vjetrom) u područjima učestalih i jakih vjetrova također može snažno utjecati na krajolik procesima *deflacije* (odnošenje sitnih čestica zemljišta), *abrazije* (trošenje stijena) i *akumulacije* prapora (lesa).

Erozija tla vodom se obično prepoznaje kao jedan od glavnih razloga degradacije zemljišta u svijetu (Ananda i Herath, 2003., Beskow i sur., 2009.).

U Europi (bez europskog dijela Rusije), *humano inducirana pojava erozije tla* (ljudski faktor) utvrđena je na oko 114 milijuna ha, što je 17 % ukupne površine (Gobin, 2004). Prema podacima Pimentel i Kounang (1998.) više od 80 % od svjetskog poljoprivrednog zemljišta trpi umjerenu do tešku eroziju tla, prosječno $30 \text{ t ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$, a zabilježene vrijednosti variraju od 0,5 do više od $400 \text{ t ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$.

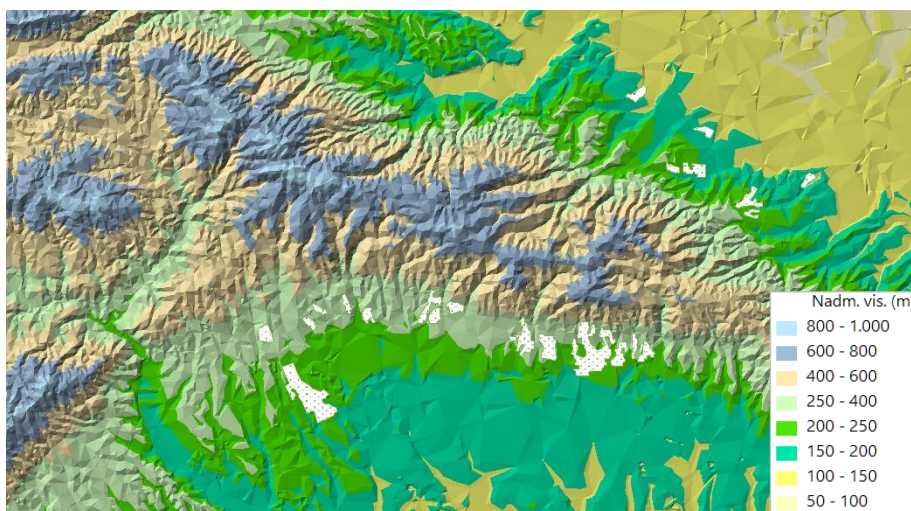
Većina siromašnih ljudi (75 %) u svijetu živi u ruralnim krajolicima, u EU 80 % površine naseljava 25 % stanovništva, a svi poljoprivrednici su posebno osjetljivi na ekološke i ekonomske rizike. Osim toga, ruralna područja Europe koja se nalaze u blizini većih urbanih centara još uvijek pokazuje progresivne trendove urbanizacije što se manifestira i promjenom krajolika, većim onečišćenjem okoliša, demografskim promjenama, smanjenju zapošljavanja u poljoprivredi, gubitku bioraznolikosti i diversifikaciji ruralne ekonomije. Zbog takvih procesa sve je važnije očuvanje postojeće biološke raznolikosti u poljoprivrednim krajolicima pa je usvajanje prakse biološke raznolikosti jedan od načina poboljšanja održivosti poljoprivredne proizvodnje, posebice većim oslanjanjem na ekološku proizvodnju s manje štetnog utjecaja na kvaliteta okoliša i biološku raznolikost (Collins i Qualset, 1999.). U procjeni Millennium ekosustava (MEA, 2005.), biološka raznolikost je označena kao važan element strategije u borbi protiv poljoprivrednih rizika. Procjena mogućnosti i očuvanja biološke raznolikosti u poljoprivrednim krajobrazima zahtijeva nove vrste komunikacija i suradnju poljoprivrednika, ekologa i ekonomista, kao i u drugim segmentima očuvana okoliša, biljnih i životinjskih vrsta.

Suvremena znanost posjeduje mnogobrojne tehnike kao što su *termoluminiscencija*, mjerenje *izotopa* ^{14}C , porijeklo organske tvari u tlu, mjerenje *radionuklida* (npr. ^{10}Be , ^{26}Al , ^{36}Cl i dr.) i druge za utvrđivanje stope evolucije krajolika.

Za zemljište i njegova produktivna svojstva najveća je opasnost erozija, posebice na nagnutim i erozibilnim terenima, što se *terasiranjem* može efikasno spriječiti (Ažman i Kladnik, 2009., Slika 5.). Tip terasa ovisan je o nagibu terena, debljini soluma, stabilnosti matičnog supstrata/stijene i količini oborina. Glavni tipovi terasa (Widomski, 2011.) su *klupa* (*bench*) *terase*, *povratno-kose bench terase*, *terase s kamenim zidom* i *Fanya juu terase* (s nasipom).



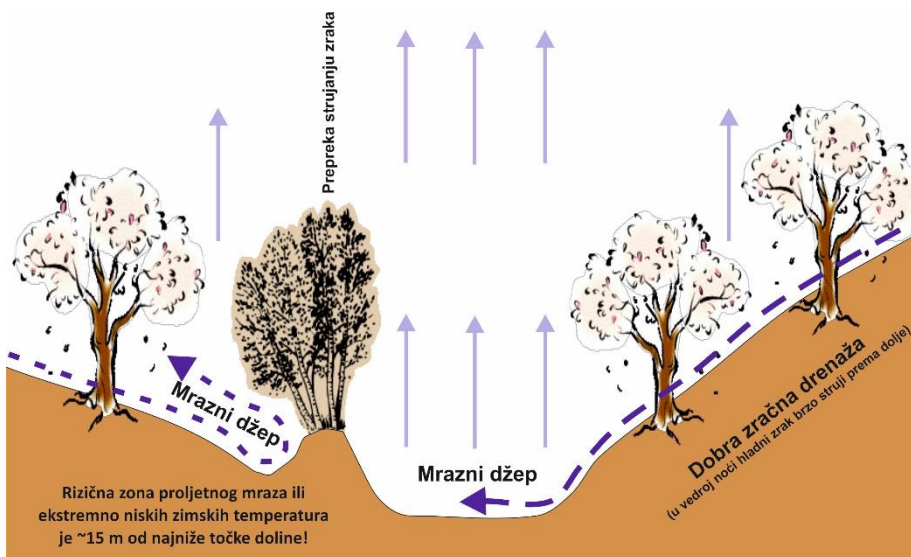
Slika 5. Vinogradske terase (vinogorje Požega-Pleternica; foto Vukadinović Vl., 2011.)



Slika 6. Kutjevačko i Feričanačko vinogorje (vinogradi: EU satelit Corine 2012.; karta (TIN): Vukadinović Vl., 2017.)

Topografija terena (mikroreljef) veoma je važna u biljnoj proizvodnji, posebice vinogradarstvu, voćarstvu i povrtlarstvu (Slika 6.). Naime, reljef, posebice nadmorska visina i mikrodepresije, najčešće koreliraju s promjenom tipa tla,

njegovim kemijskim sastavom (pH, humus, sadržaj hraniva i dr.), teksturom i strukturom tla, poljskim vodnim kapacitetom i dr., kao i vremenskim uvjetima, npr. *mrazni džepovi* (Slika 7.), nedostatkom ili suviškom vode i dr. Štete od niskih temperatura na usjevima, povrću, voću i vinovoj lozi ovise od perioda *aklimatizacije* (prilagodbe) na niske temperature, duljine izloženosti mrazu i dr. (Vukadinović, Vl. i dr., 2014.), a tolerantnost voćnih vrsta je: jabuka > kruška > šljiva > trešnja > breskva/vinova loza.



Slika 7. Topografija terena u funkciji mraznog džepa

TLO

Važnost produktivnog tla najbolje ilustrira rečenica: "*Tla Hrvatske najveće su blago hrvatskog naroda, poznavati ih znači poznavati temelje na kojima počiva hrvatska država*" (Akademik Mihovil Gračanin, 1942.). Sir Charles Fortescue-Brickdale (1857.-1944.) nadahnuo je definirao što je tlo: „*Zemljište je mjesto koje pruža sklonište u gradu, na selu i kod kuće. Ono je izvor hrane, materijala za gradnju i proizvodnju iz ugljena, plina i nafte, izvora i rijeka te drugih najosnovnijih životnih potreba. Ono je nezamjenjivo za sve ljudske aktivnosti. Kuće i tvornice, šume i farme, rijeke, putovi i željeznice, rudnici i rezervoari su oblici zemljišta. Ona nudi beskrajne mogućnosti za razvoj i otkrivanje. Ono je osnovni izvor bogatstva*“. Značaj zemljišta RH definiran je Ustavom RH koji 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*“.

Zemljište je jedan od najvažnijih prirodnih resursa za opstanak i napredak čovječanstva i platforma, kao i izvor materijala za sve ljudske aktivnosti. Zemljište i zemljišne resurse FAO definira kao: "*Zemljište i zemljišni resursi su neravna površina Zemlje koja obuhvaća sva svojstva biosfere, neposredno iznad ili ispod ove površine, uključujući i klimu, orografiju (reljef) tla i terena, hidrologiju (uključujući jezera, rijeke i močvare, sedimentne naslage, podzemne i geohidrološke rezerve vode, biljne i životinjske populacije, ljudska naselja, a rezultat je prošlih prirodnih i ljudskih aktivnost*" (FAO/UNEP, 1997.). Dakle, Zemljina površina obuhvaća sve neophodne komponente ljudske aktivnosti pa je neobično važno da se zemljišnim resursima osigura održivi kontinuitet, sačuvaju sve njegove sastavnice i omogućiti im uravnoteženo djelovanje (INTOSAI, 2013.). To znači da zemljište ima brojne funkcije koje se moraju uzeti u obzir pri planiranju razvoja, kako bi se osigurala učinkovita i uravnotežena raspodjela zemljišnih resursa.

Premda je tlo najveći i najznačajniji prirodni resurs čovječanstva, pretjeranim ili neodgovornim korištenjem tla dolazi do snižavanja njegove produktivnosti i konačno trajne degradacije. Proces upropaštavanja tla je gotovo uvijek jednosmjernan, bez realne mogućnosti vraćanja u prethodno stanje. U procesu

degradacije tla promjene su prividno male, barem u životu jedne ljudske generacije, što smanjuje potrebnu pozornost i odlaže pravovremeno poduzimanje mjera za zaustavljanje destruktivnih procesa. Stoga, briga o zemljišnim resursima, njegovim prirodnim bogatstvima i biološkoj raznolikosti sve više zaokuplja širi krug populacije, a ne samo one koji se bave poljoprivredom te sve više postaje odgovornost cjelokupne društvene zajednice. Naime, globalne promjene okoliša nepovratno mijenjaju *ekosferu* ili *ekosustav* (Zemlje, odnosno *geobiosfere*) te utječu na život velikog dijela svjetskog stanovništva, a mogu biti prirodne i antropogene te je *ekološko opterećenje okoliša = broj stanovnika × tehnologija × životni standard.*

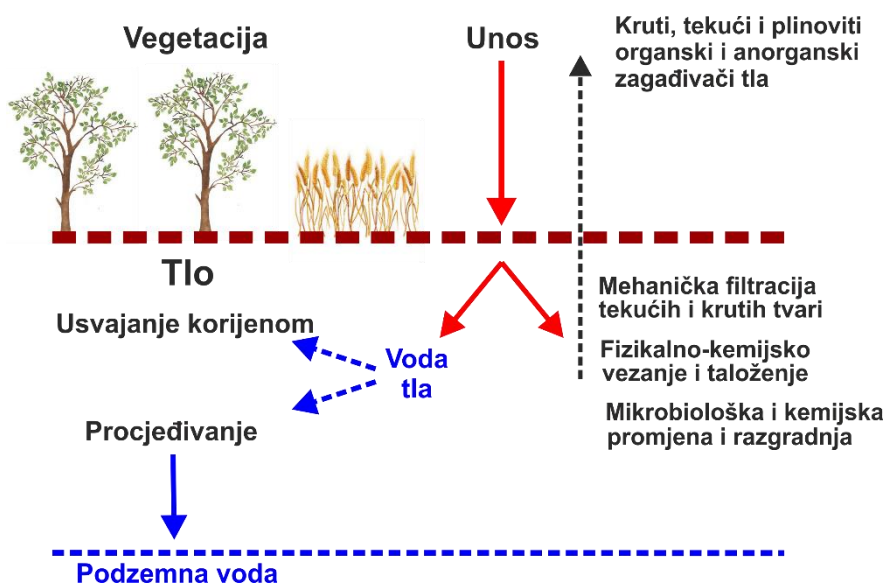
Funkcije tla

Tlo ima više važnih i različitih funkcija značajnih za društveni i ekonomski razvoj čovječanstva i koje su izravno povezane s ljudskim aktivnostima. Najčešće se definiraju kao *tehničke, industrijske i društveno-ekonomske funkcije tla*. Osnovne funkcije zemljišta su:

- *Produktivne* - zemljište podržava velik broj sustava koji omogućuju život na Zemlji preko primarne organske produkcije (biomase) koja je izvor hrane za ljude i životinje, izvor vlakana, goriva, drva i drugih biotičkih materijala za ljudsku upotrebu, bilo izravno ili posredno kroz uzgoj životinja, uključujući morsku i slatkovodnu akvakulturu;
- *Biološki okoliš* - zemljište je temelj biološke raznolikosti jer osigurava staništima genske rezerve za biljke, životinje i mikroorganizme, iznad i ispod zemlje;
- *Regulacija klime* - zemljište i njegovo korištenje su izvor i filter za stakleničke plinove te tako sudjeluje u regulaciji globalne energetske bilance kroz procese apsorpcije i transformacije sunčeve radijacije i globalni hidrološki ciklus;
- *Hidrološke* - zemljište regulira zadržavanje i protok površinskih i podzemnih voda, te utječe na njihovu kvalitetu;
- *Skladištenje* - zemljište je skladište sirovina i minerala za ljudsku uporabu;
- *Kontrola otpada i onečišćenja* - zemljište adsorbira, filtrira, puferira i transformira mnoge opasne spojeve;
- *Životni prostor* - zemljište pruža fizičku osnovu za ljudska naselja, poljoprivredu, industriju, transport, sport, rekreaciju itd.;
- *Povijesnu baštinu* - zemljište čuva i štiti dokaze o kulturnoj povijesti čovječanstva; ono je i izvor informacija o prošlim klimatskim uvjetima i prošlom korištenju zemljišta i

- *Zajednički prostor* - zemljište je prostor koji omogućuje humane komunikacije kao što su prijevoz ljudi, sirovina i proizvoda, ali i za kretanje životinja i biljaka između diskretnih područja prirodnih ekosustava (FAO, 1995).

Osim ekoloških funkcija zemljište ima i druge važne funkcije povezane s tehničkim, industrijskim i sociološko-ekonomskim koristima. Zapravo, zemljište je fizička osnova za razvitak tehničke, industrijske i društveno-ekonomske strukture (npr. industrijski prostor, stanovanje, prijevoz, sportovi, rekreacija, odlaganje otpada itd.). Jedan od glavnih problema u tom kontekstu je eksponencijalni rast urbanih i prigradskih područja, uključujući i transport između njih. Zemljište je nezamjenjivi izvor sirovina, npr. gline, pijeska, šljunka i minerala u cjelini, kao i izvor *geogene* energije (*geotermalna*) i vode, te je sirovinska osnova tehničkog i društveno-ekonomskog razvoja.



Slika 8. Ekološke funkcije tla

Osnovne ekološke funkcije tla (Slika 8. i Tablica 1.) mogu se sažeti u 6 grupa (Blum, 2006.):

- 1) Proizvodnja biomase, osiguranje hrane za ljude, stočne hrane, obnovljivih izvora energije i sirovina što je osnova ljudskog i životinjskog života.
- 2) Filtriranje, transformacija i razgraničenje između atmosfere, podzemne vode i biljnog pokrova što snažno utječe na ciklus vode na Zemljinoj površini, razmjenu plinova između tla i atmosfere i štiti okoliš, od onečišćenja podzemnih voda. Ova funkcije postaje sve važnija zbog

taloženja mnogih krutih, tekućih ili plinovitih organskih i anorganskih spojeva jer tlo na to reagira mehaničkom filtracijom, fizičkom ili fizikalno-kemijskom adsorpcijom kao i mikrobiološkim, odnosno biokemijskim procesima mineralizacije i transformacije, uglavnom organskih spojeva. Ove biokemijske reakcije također doprinose globalnim klimatskim promjenama preko emisije plinova iz tla u atmosferu, jer je na globalnoj razini ukupan *pool* organskog ugljika u tlima tri puta veći od njegove količine u atmosferi. Stoga su tla ključan čimbenik u transformaciji bio-organskog ugljika u plinoviti CO₂ atmosfere kao i N₂O i CH₄, a sva tri su poznata kao *staklenički plinovi* koji uzrokuju procese globalnih klimatskih promjena. Kapacitet tla za filtriranje i transformaciju su uglavnom dovoljni te je opasnost onečišćenja podzemne vode ili hranidbenog lanca mala, ali se mora imati u vidu da je kapacitet nekih tala smanjen ili ograničen.

- 3) Biološka staništa su i genski rezervat velikog broja različitih organizama. Tla sadrže više biljnih i životinjskih vrsta organizama od njihovog broja iznad površine zemlje. Dakle, tla su glavni temelj biološke raznolikosti. Ljudski život je vrlo ovisan o biološkoj raznolikosti, posebice što ne znamo da li ćemo morati u skoroj ili dalekoj budućnosti nove gene za održavanje ljudskog života uzimati iz tla. Osim toga, geni iz tla postaju sve važniji za mnoge, posebno tehnološke i biotehnološke procese.

Tablica 1. Funkcije zemljišnih resursa

Proizvodne funkcije	Proizvodnja ljudske i stočne hrane, biogoriva, građevinskih materijala, industrijskih proizvoda itd.
Fiziološke funkcije	Osiguranje zdravlje ljudi kroz filtraciju i neutralizaciju otrovni tvari i njihovo dospijevanje u pitku vodu i biljke; sprječavanje opasnosti kao što su klizišta, poplave itd.
Kulturne funkcije	Stvaranje i očuvanje integriteta krajolika jer su vode, zemljište, šume i životinje bitan dio kulturne baštine uz očuvanje povijesnih i estetskih vrijednosti krajolika.
Ekološke funkcije	Održavanje funkcija ekosustava i uopće života uključujući i smanjenje stakleničkih plinova, filtriranje vode i zagađivača i održavanje globalnog geokemijskog ciklusa hranjivih tvari itd.

- 4) Osim ove tri ekološke funkcije, tlo ima i druge funkcije povezane s tehničkim, industrijskim i socio-ekonomskim koristima jer su tla fizička osnova za razvitak tehničke, industrijske i društveno-ekonomske strukture (npr. industrijski prostor, stanovanje, prijevoz, sportovi, rekreacija, odlaganje otpada itd.). Jedan od glavnih problema u tom kontekstu je eksponencijalni rast urbanih i peri-urbanih područja, uključujući i transport između njih.

- 5) Tla su izvor sirovina, npr. gline, pijeska, šljunka i minerala u cjelini, kao i izvor geogene energije i vode, te su sirovinska osnova tehničkog i društveno-ekonomskog razvoja.
- 6) Posljednje, ali ne najmanje važna funkcija tla je njegova geološka i kulturna baština jer formira izgled krajolika u kojem živimo, prekriva i štiti paleontološke i arheološke ostatke velike vrijednosti za razumijevanje naše povijesti.

Sastav tla

Tlo je polifazni sustav građen iz čvrste, tekuće, plinovite i žive faze. Neprestano se mijenja u prirodnim ciklusima (npr. kisika, vode, minerala, hranjivih tvari i dr.) održavajući povoljnu strukturu i oslobađajući hranjive elemente neophodne za život u i na tlu.

Tablica 2. Prosječan elementarni sastav litosfere, hidrosfere i troposfere (<http://www.regentsearth.com>)

Element	Litosfera		Hidrosfera vol. %	Troposfera vol. %
	masa %	volumen %		
Kisik (O)	46,10	94,04	33,0	21,0
Silicij (Si)	28,20	0,88		
Aluminij (Al)	8,23	0,48		
Željezo (Fe)	5,63	0,49		
Kalcij (Ca)	4,15	1,18		
Natrij (Na)	2,36	1,11		
Magnezij (Mg)	2,33	0,33		
Kalij (K)	2,09	1,42		
Dušik (N)				78,0
Vodik (H)			66,0	
Ostalo	0,91	0,07	1,0	1,0

Omjer pojedinih frakcija mehaničkih elemenata (čestica tla) unutar je granica u kojima tlo predstavlja povoljan supstrat biljne ishrane. Čvrsta faza tla je sastavljena iz mineralnog i organskog dijela podjednake je važnosti s gledišta bilinogojstva. Taj gornji, rastresiti dio Zemljine kore, koji je nastao trošenjem litosfere pod utjecajem klimatskih čimbenika i djelovanjem živih organizama, transformiran je u prirodno biljno stanište, supstrat iz koga biljke korijenovim sustavom usvajaju sve neophodne mineralne tvari za svoj rast i razvitak.

Elementarni sastav Zemljine kore čini više od 2.000 različitih minerala (*litosfera* od grčki *lithos* = stijena; *sphaira* = sfera) izgrađenih od ~90 kemijskih elemenata od kojih su 81 stabilni nuklidi, pri čemu njih 8 gradi više od 98 % litosfere (Tablica 2.). Kako je *ekosustav* po definiciji skup biotskih i abiotskih elemenata i procesa koji imaju utjecaja na ponašanje i cjelokupan život u

definiranom prirodnom okruženju, onda je *agrosustav* ograničen na poljoprivredni prostor, a u širem smislu *agrosfera* (*mega agroekosustav*) kao dio *biosfere* u tijesnoj je vezi s *litosferom* i procesima koji formiraju tlo i određuju njegova svojstva kao supstrata biljne ishrane.

Sastav oraničnog sloja u kojem se nalazi najveći dio korijenovog sustava biljaka u povoljnom stanju vlažnosti približno je slijedeći:

1) **Čvrsta faza** - 50 % zapremine

a) **Neorganski dio** - 95 % mase:

80 % primarni minerali

20 % sekundarni minerali

b) **Organski dio** - 5 % mase: pretežito koloidi

2) **Tekuća faza** - 25 % zapremine:

Vodena otopina soli i plinova (*100 - 1.000 ppm ili 0,01 – 0,1 %*)

3) **Plinovita faza** - 25 % zapremine:

a) O₂ 20,0 % (21,0 %)

b) N₂ 78,6 % (78,03 %)

c) Ar 0,9 % (0,94 %)

d) CO₂ 0,5 (0,03 %)

(u zagrada je sastav atmosfere)

4) **Živa faza** (*edaphon*) - ukupno oko 5 t ha⁻¹:

a) Bakterije i aktinomicete (40 %),

b) Gljive (40 %), makrofauna (5 %),

c) Mikro i mezofauna (3 %) i

d) Crvi (12 %).

Čvrsta faza tla sastavljena je iz *primarnih* i *sekundarnih minerala*, *oksida silicija*, *seskvioksida* te drugih kemijskih supstanci i organske tvari. Smatra se da je optimalan sastav čvrste faze tla 93 % minerala i 7 % organskih tvari (85 % humus, 10 % korijenje i 5 % *edafon*) što je danas veoma rijetko u poljoprivrednim tlima za uzgoj usjeva, dok vrtna tla mogu sadržavati i više organske tvari. Dakle, za različite agroekološke uvjete i način biljne proizvodnje idealan sastav tla može znatno varirati, a često je mišljenje kako su teksturno najpovoljnija ilovasta tla koja sadrže oko 40 % pijeska, 40 % praha i 20 % gline.

Minerali tla su *primarni* (pijesak i prah) i *sekundarni*, pretežito *alumosilikati*, odnosno glina, *oksidi* i *hidroksidi* i *karbonati*, *sulfati*, *fosfati* i dr.) (Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011.).

Primarni minerali se u *mehaničkoj analizi* tla definiraju kao *pijesak* i *prah*. Površina im je relativno mala i stoga im je sorpcijska sposobnost elemenata ishrane zanemariva. Njihovim raspadanjem oslobađaju se biljna hraniva koja tako postaju raspoloživa za ishranu biljaka. Proces raspadanja primarnih minerala je vrlo spor i u kraćem vremenskom (vegetacijskom) razdoblju ne predstavlja značajan izvor elemenata ishrane. Prosječan kemijski sastav tla i matične stijene (prosjeak litosfere) pokazuje Tablica 3.

Tablica 3. Koncentracija nekih elemenata u tlu i matičnom supstratu (Sparks, 2003.)

Element	Tlo (mg kg ⁻¹)		Litosfera prosjeak mg kg ⁻¹	Sedimenti prosjeak mg kg ⁻¹
	Medijana	Rang		
O	490.000	-	474.000	486.000
Si	330.000	250.000-410.000	277.000	245.000
Al	71.000	10.000-300.000	82.000	72.000
Fe	40.000	2.000-550.000	41.000	41.000
C (ukupno)	20.000	7.000-500.000	480	29.400
Ca	15.000	700-500.000	41.000	66.000
Mg	5.000	400-9.000	23.000	14.000
K	14.000	80-37.000	21.000	20.000
Na	5.000	150-25.000	23.000	5.700
Mn	1.000	20-10.000	950	770
Zn	90	1-900	75	95
Mo	1,2	0,1-40	1,5	2
Ni	50	2-750	80	52
Cu	30	2-250	50	33
N	2.000	200-5.000	25	470
P	800	35-5.300	1.000	670
S (total)	700	30-1.600	260	2.200

Stabilnost primarnih minerala prema raspadanju je različita. Najstabilniji je *kremen*, a najmanje su otporni *plagioklasi* bogati kalcijem. Prisutnost dvovalentnog željeza smanjuje stabilnost minerala jer mu se oksidacijom povećava promjer i tako razmiče kristalna rešetka minerala. Tvrdoća minerala može biti utvrđena na više načina, najčešće u odnosu na objekt poznate tvrdoće prema skali austrijskog mineraloga *Mohsa* (*Friedrich Mohs*, 1773-1839.) u kojoj je najmekši je *talk* (1), a najtvrdi mineral *dijamant* (10), dok je *gips* tvrdoće 2, *kalцит* 3, *fluorit* 4, *apatit* 5, *feldspat* 6, *kremen* 7, *topaz* 8 i *korund* 9.

Sekundarni minerali (često se koriste sinonimi *glineni minerali* ili *alumosilikati*) zajedno s organskom tvari predstavljaju aktivnu, koloidnu frakciju tla. Minerali gline čine znatno manji dio čvrste faze tla u odnosu na količinu primarnih minerala, izuzev u nekim tlima tropskog pojasa. Imaju svojstva koloida, pretežito su negativno nabijeni, kao i organska tvar tla, te su

sposobni *sorbirati* pozitivno nabijene katione (temeljem razlike u električnom naboju). *Sorpcijska sposobnost* tla označava se kao KIK (*kationski izmjenjivački kapacitet*) ili CEC (*Cation Exchange Capacity*) i izražava u $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ tla što je identično $\text{mekv}/100 \text{ g}$ tla (stariji način izražavanja).

Sekundarni minerali su slojevite strukture i elektrostatskim silama vežu katione na vanjskim (nespecifično) i unutarnjim površinama (specifično, ali samo neke katione čiji promjer u hidratiziranom stanju dopušta ulazak u međulamelarni prostor određenog minerala). Izgrađeni su iz dvije strukturne jedinice i to *tetraedara* SiO_2 i *oktaedara* Al, Mg ili Fe (Slika 9.). Zbog takve kemijske građe sekundarni minerali tla nazivaju se i *alumosilikati*. Različitim kombinacijama osnovnih strukturnih jedinica nastaju svi poznati sekundarni ili drugim imenom minerali gline (*Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011.*).

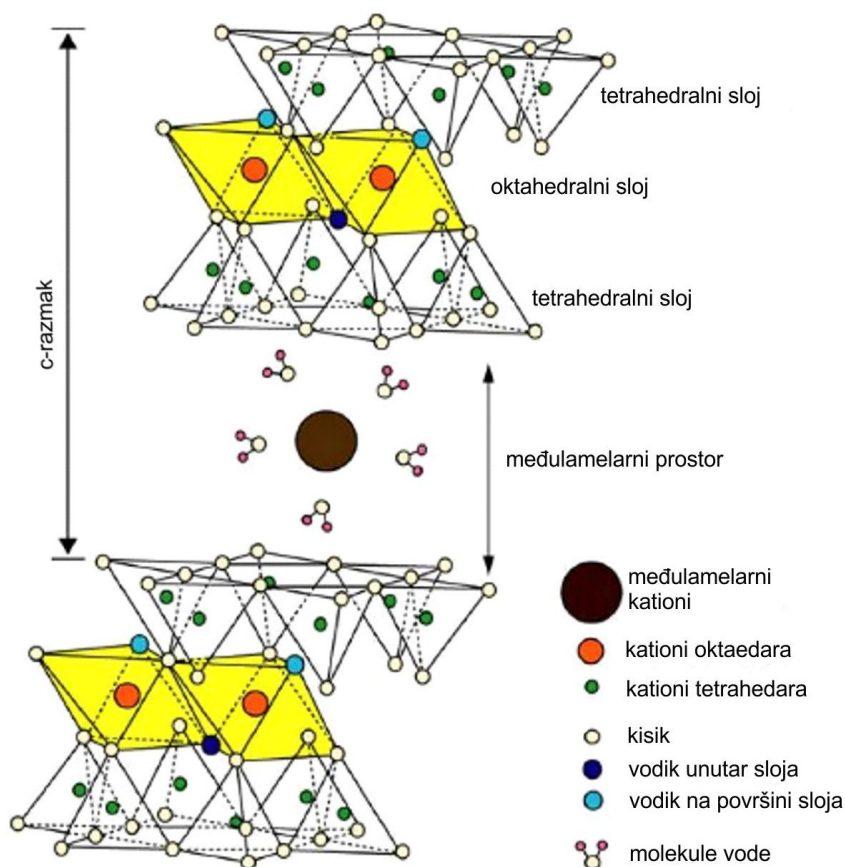
Na stabilnost i otpornost sekundarnih minerala prema raspadanju utječe više čimbenika: unutrašnja struktura (otpornost na hidrolizu kod H^+ napada), prisutni *kompleksirajući ligandi* (organske kiseline, anorganski anioni), temperatura (posebice amplituda promjene), specifična površina ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$ minerala) i efikasnost uklanjanja produkata raspadanja (ispiranje, taloženje). Topljivost (razlaganje) sekundarnih minerala je znatno veća od primarnih, ali je još uvijek vrlo mala i spora, pa u smislu oslobađanja biljci pristupačnih hraniva ne predstavlja značajan izvor. Npr. konstanta topljivosti alumosilikata je $K_{\text{top}} = 10 - 11$ do $10 - 12 \text{ SiO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ i ovisi najviše o pH i temperaturi.

Sekundarni minerali svrstani su u tri grupe:

1. *kaoliniti*,
2. *smektiti (montmoriloniti)* i
3. *iliti ili hidratizirani liskuni*.

Tablica 4. Osnovna svojstva sekundarnih minerala tla

Koloid	Promjer (mm)	Površina $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$		Razmak slojeva (nm)	KIK $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$
		vanjska	unutarnja		
Kaoliniti	0,1-5,0	5-20	-	0,7	3-15
Iliti	0,1-2,0	50-100	5-100	1,0	20-50
Vermikuliti	0,1- 5,0	50-100	450-600	1,0-1,4	120-150
Montmorilonit	< 1,0	70-150	500-700	1,0-2,0	80-120
Humus	-	-	-	-	100-300



Slika 9. Tetraedri silicija i oktaedri aluminija minerala gline

Kaolinit (*dikit*, *nakrit*) su građeni iz jednog sloja tetraedara silicija i jednog sloja oktaedara aluminija međusobno čvrsto povezanih kisikom tako da se ne mogu razmicati. Zbog omjera strukturnih jedinica svrstavaju se u grupu minerala 1:1, a kemijska formula im je $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$. Električni naboj raspoređen je samo po površini takvog tipa minerala jer je međulamelarni prostor razmaka oko 0,7 nm uz ponavljajuću distancu slojeva (*c-razmak*) također 0,7 nm. Sposobnost adsorpcije kaolinita je mala (3 - 15 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$), a njegova specifična površina iznosi svega 5 - 20 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$.

Montmoriloniti (*smektiti*) (*pirofililit*, *talk*, *vermikulit*, *saukonit*, *saponit*, *nontronit* i dr.) su građeni iz dva sloja tetraedara silicija između kojih je umetnut jedan sloj oktaedara aluminija pa se ubrajaju u tip sekundarnih minerala 2:1. Mogu biti dioktaedarske građe, npr. *montmorilonit* i *beidelit* ($\sim\text{Na}_4(\text{Al}_{2-x}\text{Mg}_x)\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) ili trioktaedarske kao *saponit* ($\sim\text{Na}_{4-y}(\text{Mg}_{3-y}\text{Al}_y)\text{Al}_x\text{Si}_{4-x}\text{O}_{10}(\text{OH})$). Jedan dio silicija često je zamijenjen fosforom ili

aluminijem, a dio aluminija Mg, Fe, Ni ili Li. Ovakva građa montmorilonitima daje višak negativnog naboja koji se uravnotežuje vezivanjem kationa iz otopine tla (kapacitet sorpcije je visokih 80 - 120 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$). Velika sposobnost sorpcije kationa smektititima uvjetovana je većim razmakom između strukturnih jedinica kristalne rešetke prema kaolinitima (u vlažnom stanju c-razmak $>2 \text{ nm}$), što omogućuje sorpciju iona u međulamelarnim prostorima. Udaljenost slojeva mijenja se ovisno o vlažnosti tla, odnosno sadržaju vode između njih, što se očituje kao bubrenje ili sakupljanje. Specifična ili sorpcijska površina smektita (vanjska i unutarnja) je 700 - 800 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$.

Slični smektitima su *vermikuliti* i *kloriti*, uz bitnu razliku da vermikuliti znatno manje bubre u vodi (c-razmak oba je oko 1,4 nm) što im omogućuje fiksaciju iona K^+ .

Vermikuliti (*hidratizirani biotiti* ili *flogopiti*) su složene *dioktaedarske* ($\text{Na}_4(\text{Al},\text{Fe})_2(\text{Al}_x\text{Si}_{4-x})\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \times 4 \text{ H}_2\text{O}$) ili *trioktaedarske* građe, a dio Al^{3+} može biti zamijenjen s Mg^{2+} (što povećava negativan naboj) i imaju veliku moć sorpcije 120 - 150 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ uz specifičnu površinu od 300 - 500 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$. Kod *klorita* (*amezit*, *klinoklorit*, *hamozit*, *penatit* i dr.) c-razmak je stabilan i neovisan o vlažnosti (ne bubre) jer imaju kristalnu strukturu 2:1:1 (nazivaju se još i sekundarni minerali kristalne građe 2:2), odnosno između slojeva tetraedara i oktaedara aluminija ubačen je hidroksidni sloj koji ne dopušta razmicanje kristalne strukture, odnosno bubrenje.

Iliti (*hidratizirani muskovit*) su građom slični montmorilonitima, ali im je dio silicija zamijenjen aluminijem, formule $(\text{K},\text{H})\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \times \text{H}_2\text{O}$. Nastaju raspadom minerala muskovita. Višak naboja se neutralizira vezivanjem kalija između slojeva kristalne rešetke pa se oni ne mogu znatnije razmicati (c-razmak je oko 1,0 nm). Stoga je sposobnost sorpcije ilita znatno manja prema montmorilonitima i vermikulitima (20 - 50 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$) uz izraženu fiksaciju kalija (čvrstog vezivanja u međulamelarnim prostorima).

Nastanak sekundarnih minerala je izrazito spor proces. Proračuni pokazuju da godišnje u prosjeku nastane 0,0002 g gline na svakih 100 g tla ($\sim 9 \text{ t ha}^{-1} \text{ god.}$ u $\sim 4.500 \text{ t ha}^{-1}$ tla koliko prosječno teži oranični sloj jednog ha). Količina gline u oraničnom sloju tla može se smanjivati erozijom i ispiranjem u dublje slojeve pa se kod obrade takvih tala moraju provoditi odgovarajuće mjere zaštite i konzervacije. Budući da je postojanost sekundarnih minerala znatno manja u odnosu na primarne, u starijim tlima prevladavaju sekundarni minerali, ali sa sniženim sorpcijskim sposobnostima za katione i porastom kapaciteta za

zamjenu aniona (što ima značaja kod primjene mineralnih gnojiva, pretežito u tropskim regijama).

Električni naboj česticama gline omogućuje međusobno vezivanje i nastajanje prostornih struktura (slično povezivanju aminokiselina u proteine). Predstavu o veličini tako nastale površine dobro ilustrira sljedeći podatak: tlo koje sadrži 10 % montmorilonita na 1 m² površine do dubine od 20 cm ima površinu veću od 24 km². Važno je naglasiti da električno polje koloidnih čestica tla dozvoljava sorpciju drugih nabijenih čestica, kao što su *unipolarni ioni* i *bipolarne molekule*, na primjer voda. Otuda se koloidne čestice tla ponašaju kao *amfoterne jedinice* jer pod određenim uvjetima mogu sorbirati i anione.

Kationi, polarno vezani na sekundarne minerale, ne ispiru se brzo iz zone korijenskog sustava, ali se zato lako zamjenjuju drugim kationima. Na taj se način u tlu zadržavaju hraniva u biljkama pristupačnom obliku za usvajanje. Svojestvo sorpcije iona sekundarnih minerala tla ima ogromnu važnost u mineralnoj ishrani bilja i gnojidbi jer sekundarni minerali (zajedno s organskim koloidnim dijelom tla) sprječavaju ispiranje hraniva iz zone korijenskog sustava i zadržavaju vodu neophodnu višim biljkama i mikroorganizmima u tlu.

Hranjivi elementi (hranjive tvari, ili elementi biljne ishrane)

Hranjive tvari (biogeni ili esencijalni elementi) čini tek 17 kemijskih elemenata bez kojih biljke ne mogu opstati, dok one ipak usvajaju znatno veći broj kemijskih elemenata. Budući da biljke ne zahtijevaju jednake količine hranjivih elemenata, uobičajeno je da se dalje dijele na:

- *makroelementi* (C=ugljik, O=kisik, H=vodik, N=dušik, P=fosfor, K=kalij, S=sumpor, Ca=kalcij, Mg=magnezij i Fe=željezo),
- *mikroelementi* (B=bor, Mn=mangan, Zn=cink, Cu=bakar, Mo=molibden, Cl=klor i Ni=nikal),
- *korisni elementi* (Co=kobalt, Na=natrij, Si=silicij, Al=aluminij, Se=selen, V=vanadij, Ti=titan, La=lantan, Ce=cer) i
- *toksični elementi* (Cr=krom, Cd=kadmij, U=uran, Hg=živa, Pb=olovo, As=arsen i dr.)

Unutar *makroelemenata* često se izdvaja grupa *organogenih elemenata* (C, O i H) koji čine više od 90 % žive tvari, dok N, P i S, premda sudjeluju u građi organske tvari, ubrajamo u mineralna hraniva, jer ih biljke pretežito usvajaju iz tla i u mineralnom obliku.

Korisni (beneficijalni) elementi pod optimalnim uvjetima rasta biljaka nemaju fiziološku ulogu, ali utjecaj im je to povoljniji što su uvjeti rasta lošiji. Korisni

elementi mogu u nekim slučajevima djelomično zamijeniti neke od neophodnih elemenata (npr. natrij može zamijeniti nespecifično kalij). Preostali elementi, a biljke ih mogu sadržavati više od 60, svrstavaju se u *nekorisne* ili pak *toksične*, zavisno od utjecaja na rast i razvitak biljaka.

Simptomi nedostatka biogenih elemenata

Poznavanje pokretljivosti pojedinih elemenata u biljkama (u oba smjera, *ascendentno*: od korijena prema listu i *descendentno*: od lista prema nižim dijelovima biljke) značajno je kod utvrđivanja *deficijencije* elemenata na temelju pojave *simptoma nedostatka*, ali i za mogućnost njihovog usvajanja listom (*folijarna gnojidba*). Npr., kod simptoma nedostatka nekog elementa u starijem lišću vjerojatno je došlo do njegovog premještanja u mlađe lišće ili plodove, a kad se isti simptom primjećuje na mlađem lišću, tada je jasno da se radi o manjku slabo pokretnog elementa (Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011.).

Simptomi nedostatka biogenih elemenata su *kloroze* (svijetložuto, reverzibilno obojenje lišća) i *nekroze* kada dolazi do izumiranja dijelova ili cijelog lista. Pored *primarnog simptoma nedostatka* nekog elementa naknadno se mogu pojaviti i *sekundarni simptomi* koji vizualnu dijagnostiku čine nepouzdanom pa je kemijska analiza nezamjenjiva za utvrđivanje pravog uzroka, posebice kod pojave *multiplih simptoma nedostatka ili suviška* elemenata ishrane. Naime, kod oslabljenih biljaka često dolazi do napada bolesti pa se "maskira" osnovni uzrok pojave simptoma (Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011.).

Osnovna svojstva tla značajna za ishranu i gnojidbu bilja su: dubina, tekstura i struktura, pH reakcija, sadržaj hraniva, sadržaj humusa, sorpcijska moć, vodni režim i sadržaj štetnih tvari.

Dubina tla

Poljoprivredna tla moraju imati dovoljnu dubinu *soluma* (tlo iznad matičnog supstrata ili stijene) zbog obrade, sjetve, sadnje, gnojidbe, a porastom dubine soluma povećava se korijenska zona (*rizosfera*) i raste zapremina tla iz kojega se biljke opskrbljuju hranivima i vodom. Kod sjetve ili sadnje korijen se nalazi na nekoj početnoj dubini (<10 cm) pa punu dubinu korijena biljke dostižu sredinom vegetacije (~70% od najveće dubine). Za poljoprivrednu proizvodnju važnija je *efektivna dubina tla* u kojoj korijen nalazi vodu, kisik i neophodna hraniva uz pomoć korisnih mikroorganizama (*rizoflora*). Raspored i količina biljnih hraniva u tlu mijenja se tijekom vegetacije ovisno o

zemljišnim, klimatskim i biljnim činiteljima (*Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011., 2016.*).

Tekstura i struktura tla

Krutu fazu tla čine međusobno povezane čestice primarnih i sekundarnih minerala različite veličine, pri čemu su pore i/ili kapilare ispunjene vodom i zrakom. Pod *teksturom* se podrazumijeva učešće pojedinih čestica (glina, prah, pijesak, šljunak, skelet) u građi krute faze tla ovisno o njihovoj veličini. *Struktura tla* je pak međusobni prostorni raspored čestica. Ta dva svojstva tla su međusobno čvrsto povezana i predstavljaju vrlo značajan indikator plodnosti tla. Povoljna struktura i tekstura tla znače dobre uvjete za rast korijena, dobru poroznost, odnosno dobru vododrživost i prozračnost tla. Stoga se ta dva svojstva tla s pravom smatraju mjerom dobre procjene potencijalne plodnosti nekog tla.

Veličina čestica tla određuje se *teksturnom* ili *mehaničkom analizom* na temelju koje se čestice tla svrstavaju u tri klase: pijesak (0,02 - 2,00 mm), prah (0,002 - 0,02 mm) i glina (<0,002 mm). Povezivanjem pojedinih čestica, uz pomoć organske tvari tla, nastaju tzv. *strukturni mikroagregati* koji se udružuju u *makroagregate*. Tla kod kojih je agregacija mehaničkih elemenata slabo izražena su *nestrurna* i u tu grupu ulazi većina pjeskovitih, ali i neka teška glinovita tla. *Strurna tla* imaju *zrnaste* (što je danas vrlo rijetko), *mrvičaste* ili *sitnogradaste* strukturne agregate. Stabilnost agregata važno je svojstvo tla, a određena je kvalitetom organske tvari koja povezuje mehaničke čestice tla.

Kod nestrukturnih, jako zbijenih ili tala zasićenih vodom, nedostaje kisik potreban za disanje korijena (*anoksija*) i razlaganje organske tvari tla, odnosno mikrobiološku aktivnost. *Anoksija* se događa kada je zraka manje od 10 % zapremine tla, a usvajanje vode i hraniva korijenom te rast biljaka prestaje kada je u tlu manje od 4 % zraka (*Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011., 2016.*).

Sorpcija iona u tlu

Procesi zadržavanja hraniva u tlu u pristupačnom obliku, odnosno *sorpcija*, za razliku od čvrstog vezivanja iona (*kemijska, biološka ili fizička fiksacija*) posve su različite naravi. Električna nabijenost koloidnih čestica zadržava pozitivno nabijene ione (*katione*) pa takva hraniva nisu čvrsto vezana, lako se desorbiraju, zamjenjuju drugima, odnosno zadržavaju oko korijena u lako usvojivom obliku (*Brady, 1984.*). Negativno nabijeni ioni (*anioni*) ne mogu se

tako sorbirati pa se vežu kemijski (ili fizički), a neki se lako ispiru, npr. nitratnim dušik ili klor.

Tla s većim sadržajem humusa i gline redovito imaju veći kapacitet sorpcije (KIK) prema lakšim i malo humoznim tlima. Kapacitet sorpcije se može procijeniti empirijski i za neutralna poljoprivredna tla približno iznosi:

pH (reakcija) tla

pH je vrlo važno svojstvo tla kojim se izražava stupanj njegove kiselosti ili lužnatosti. Obrada i gnojidba tla ubrzavaju promjene sadržaja elemenata u tlu, posebice lužnatih, pa *ispiranje baza* (najčešće Ca) izaziva promjenu tla prvo u kemijskom, a zatim i u fizikalnom pogledu. Do ispiranja baza i zakiseljavanja tla započinje kada je količina padalina veća od ~630 mm godišnje, što u Hrvatskoj odgovara prostoru zapadno od Osijeka. Zakiseljavanje tla može izazvati i *industrijska polucija*, posebice *kisele kiše* u širem području velikih energetske postrojenja.

Procesom zakiseljavanja nastaje niz problema jer se u kiselim tlima glina iz oraničnog sloja premješta dublje gdje njeno nakupljanje tvori vodonepropusnu zonu što pogoduje daljnjem zakiseljavanja. U jako kiselim tlima lako pokretljivi ioni vodika, aluminijski i željezni su za biljke, a blokirano je usvajanje fosfora, smanjena je razgradnja organske tvari, pada sorptivna moć tla, većina mikroelemenata se ubrzano ispiru dok raspoloživost drugih hraniva pada. Stoga je značaj pH reakcije tla izuzetan pa se ona obvezatno utvrđuje agrokemijskom analizom jer nizak ili visok pH korespondira s lošom strukturom i slabim proizvodnim svojstvima tla (Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011., 2016.).

Organska tvar tla (humus)

Organsku tvar tla (*humus*) čine ostaci živih organizama koji su više ili manje razloženi i iznova ugrađeni u organske spojeve tla, ali sada posve različitih u odnosu na živu tvar. Krupnije čestice, koje su nepotpuno razložene, predstavljaju inertnu organsku rezervu tla, dok su koloidne čestice (vrlo velike unutarnje površine) iznimno aktivne i označene kao humus. Biogeni elementi u žetvenim ostacima, stajnjaku ili humusu, nakon razgradnje (*mineralizacija*) uz pomoć mikroorganizama, prelaze u mineralne oblike koje biljke mogu iznova usvajati.

U tlima pod prirodnom vegetacijom intenzitet nastanka i razgradnje organske tvari je uravnotežen uz stabilan sadržaj humusa. Obradom tla neizbježno se ubrzavaju procesi razgradnje humusa te otuda sklonost svih poljoprivrednih tala smanjivanju sadržaja organske tvari. Brzina kojom pada sadržaj organske tvari ovisan je o sustavu gospodarenja i korištenja nekog tla pa se svaka agrotehnička mjera mora pažljivo razmotriti obzirom na bilancu organske tvari tla. Na sreću, pad humusa prilično je spor proces kod uobičajenog korištenja tla.

Tehnički problem zaoravanja velike količine žetvenih ostataka u poljoprivrednoj praksi izaziva dosta dvojbi. Naime, mineralizacija velikih količina žetvenih ostataka širokog C/N omjera zahtijeva dodatnu N-gnojidbu (sprečavanje tzv. *dušičnog manjka*), dok su oni kao izvor hraniva od slabijeg interesa jer sadrže puno celuloze, a malo N, P, K i ostalih biogenih elemenata. Znanstveni pristup, potaknut svjetskom energetsom krizom, smatra žetvene ostatke vrijednim proizvodom jer sadrže veliku količinu energije (neophodnu za mikroorganizme) koju treba iskoristiti na parceli zaoravanjem, a ne osloboditi. Hranjive tvari u žetvenim ostacima nalaze se na mjestu primjene (nije potreban transport), a imaju istu hranidbenu vrijednost kao stajnjak.

Žetveni ostaci se na tlima dobre biogenosti brzo razlažu, utječu na povećanje mikrobiološke populacije i sitnih organizama (*mezofaune*), dok primjena manjih količina dušika za podešavanje povoljnog C/N omjera ne predstavlja posebnu poteškoću. Jedan dio djelomično razložene svježije organske tvari uz pomoć mikroorganizama iznova gradi humus (~20 - 30 %) i taj proces se naziva *humifikacija*.

Humus poboljšava vodozračni režim i toplotna svojstva tla jer je tlo s više humusa tamnije boje i brže se zagrijava. Nezamjenjiva je uloga humusa u nastanku mrvičaste strukture koja poboljšava prozračnost i drenažu tla te strukturna tla vežu više vode, manje su podložna eroziji i znatno se lakše obrađuju. Također, humus lako gradi kompleksne spojeve s kovinama, naročito mikroelementima (*kelati*) koji se u tom obliku ne ispiru iz tla, a biljke ih lako usvajaju. Značajna je uloga humusa u povećanju efikasnosti fosforne gnojidbe i raspoloživosti mikroelemenata na kiselim tlima (*humat efekt*) pa je humus naročito važan u opskrbi biljaka fosforom, kalcijem i željezom te kao izvor dijela P, S, K, Fe i drugih biogenih elemenata (Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011., 2016.).

Voda u tlu

Voda je "medij života" i dobra opskrbljenost vodom svih živih bića je izuzetno važna. Biljke najveći dio vode uzimaju korijenom iz tla, premda je mogu usvajati listom i svim drugim organima. Količina vode u tlu zavisi najviše od teksture i sadržaja organskih tvari u njemu. Zahvaljujući većoj površini čestica i mnoštvu kapilarnih pora tla fine teksture (i dobre strukture) zadržavaju više vode u odnosu na tla grube teksture.

Voda se u tlu nalazi vezana različitim silama koje korijen mora savladati pa se voda u tlu dijeli na dvije klase: *pristupačna* i *nepristupačna*. Sile koje vodu drže uz čestice tla su *tenzija vlažnosti* (površinske, hidrostatičke i gravitacijske sile), a s druge strane značajan je *osmotski tlak vodene faze tla* jer su u njoj otopljene tvari koje vežu vodu. Visok osmotski tlak, posebno na slanim tlima ili kod unošenja velike količine mineralnih gnojiva u suho tlo (tzv. *solni udar*) može potpuno onemogućiti usvajanje vode.

Raspoloživost vode najtočnije se utvrđuje *metodom uvenuća biljaka*, a ne mjerenjem vlage u tlu. Naime, u trenutku početka venjenja pa do točke *trajnog uvenuća* (smrti biljaka), tlo sadrži vodu koju biljke mogu s naporom koristiti, a nakon toga se ne mogu više povratiti u život niti dodavanjem vode (Vukadinović, VI. i Vukadinović, Ve., 2011., 2016.).

Štetne tvari u tlu

Brz tehnološki napredak i potreba za sve većim količinama hrane uz intenzivnu kemizaciju poljoprivrede uzrok su sve onečišćenijoj životnoj sredini, smanjenju njenih prirodnih mogućnosti regeneracije i njenoj sve bržoj devastaciji.

Intenzivna poljoprivredna proizvodnja podrazumijeva visok stupanj kemizacije, a mineralna gnojiva i pesticidi postupno mijenjaju svojstva tla i preko podzemnih voda djeluje negativno i na širu životnu okolicu. Tlo se onečišćava (*kontaminacija*) i velikim brojem *polutanata* iz vode i zraka (plinovi i aerosoli u blizini velikih gradova, kemijskih, metalnih i energetskih postrojenja). Aero onečišćenje plinovima (CO₂, SO₂, N₂O) u obliku *kiselih* kiša izaziva oštećenja tla i vegetacije pa se u posljednje vrijeme sve češće spominje kao uzrok odumiranja šuma.

Mineralna, kao i organska gnojiva (posebice gnojovka), primijenjena iznad potrebne količine, mogu dovesti do narušavanja kemijskih i fizikalnih svojstava tla, onečišćenja podzemnih voda ili lošije kakvoće poljoprivrednih proizvoda. Posebice je opasna predozacija dušičnim gnojivima, jer se lako

pokretljivi nitratni dušik u tlu ispire u okolne vodotoke i podzemne vode, a u hrani štetno djeluje na ljude i stoku.

Fosfatna gnojiva uvijek sadrže izvjesnu količinu radioaktivnih elemenata (nizovi ^{238}U i ^{40}K), ali treba naglasiti da je onečišćavanje oranica *radionuklidima* iz gnojiva vrlo spor proces koji ne mijenja fizikalna, niti kemijska svojstva tla. Mikroelementi (Cu, Mo, Zn) i drugi elementi (Cd, Pb, Hg, Cr, Ni, As, Se i dr.) kod visokog sadržaja u tlu, posebice u kiselim tlima, mogu imati vrlo štetne efekte na biljke, domaće životinje i ljude.

Opasni su i ostaci *perzistentnih pesticida* koji dovode do redukcije i uništenja flore i faune tla, blokiraju aktivna mjesta na adsorpcijskom kompleksu tla i umanjuju sposobnost kelatiranja teških metala organskom koloidnom frakcijom tla (Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011.).

Agrotehničke mjere i plodnost tla

Gnojidba je najvažniji činitelj plodnosti jer utječe na povećanje prinosa s više od 50 % u odnosu na sve ostale agrotehničke mjere (obrada, zaštita i dr.). Ona održava i podiže prirodnu plodnost tla i najviše povećava vrijednost uložene rada i sredstava u poljoprivrednu proizvodnju, ali mora biti primjerena potrebama, uzrastu i stanju usjeva, jer neusvojeni dio hraniva može eskalirati u onečišćenje okoliša, prije svega podzemnih voda.

U održavanju i povećavanju prirodne plodnosti pomažu: pravilna rotacija usjeva, primjena organskih i mineralnih gnojiva, odgovarajuća obrada tla i kultivacija, zaoravanje žetvenih ostataka, zelena gnojidba, uzgoj leguminoza, mjere popravke tla (kalcizacija, humizacija, primjena mikroelemenata i dr.) i agrokemijska analiza tla kao temelj profitabilne gnojidbe i regulacije plodnosti tla

Važan indikator plodnosti je struktura tla zbog lakše obrade i kultivacije, bolje infiltracije i zadržavanja oborinske vode (ili navodnjavanjem), sprečavanja zbijanja i održavanja povoljnog vodno-zračnog režima, te tekstura tla koja određuje mehanička svojstva tla. Također, plodnost jako ovisi o agrokemijskim svojstvima tla kao što su povoljna pH reakcija (neutralna, slabo kisela i slabo alkalna), uravnotežen sadržaj humusa (koji se postiže organskom gnojidbom i zaoravanjem žetvenih ostataka u količini jednakoj mineralizaciji org. tvari tla), sadržaj biogenih elemenata, biogenost tla (dekompozicija org. ostataka i org. gnojiva, oslobađanje dušika, fosfora i drugih biogenih elemenata) i dr. (Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011., 2016.).

Koloidna svojstva tla

Prisutnost koloida usko je povezana s veličinom čestica *disperzne faze* i njihovim istovrsnim električnim nabojem. U koloidnom sustavu gravitacijska sila teži taloženju raspršenih koloidnih čestica, dok suprotno djeluju odbojna sila istovrsnog naboja čestica i *snaga difuzije*, odnosno *kinetička sila čestica* koja ih pokreće u pravcu manje koncentracije. Sile gravitacije prevladavaju kad su čestice većeg promjera od 4 μm (0,004 mm) te se one tada talože i ne dolazi do nastanka koloidnog sustava. Treba naglasiti da se zbog specifičnih uvjeta koji vladaju u tlu obično uzima granični promjer koloidnih čestica tla od 2 μm . Dakle, mineralne čestice tla manjeg promjera od 0,002 mm su čestice gline, odnosno sekundarni minerali (Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011., 2016.).

Koloidni sustav može se nalaziti u tri stanja:

- *Sol (tekući)*,
- *Gel (krut i elastičan) i*
- *Koagel (kada se disperzna faza nalazi u stanju zgrušavanja).*

Koloidi tla su hidrofilni, odnosno koloidna otopina je voda, a disperznu fazu čine sekundarni minerali i organska tvar, odnosno složene organomineralne čestice.

Čestice koloidnog sustava posjeduju površinski napon određen količinom slobodne energije. Suglasno drugom zakonu termodinamike, sustav je u ravnoteži kada je njegova ukupna slobodna energija najmanja te stoga koloidni sustav teži uspostavljanju ravnotežnog stanja smanjivanjem slobodne energije što se može odvijati na dva načina:

smanjivanjem površine koloidne čestice, što je omogućeno u procesu *koagulacije* i smanjivanjem *slobodne energije* na granici krute i tekuće faze, što dovodi do približavanja koloidnih čestica te nastajanja opne otapala oko koloidnih čestica i manifestira se kao pojava *adsorpcije*.

Značajno svojstvo vode je velika površinska napetost i izražena polarnost što uvjetuje kondenzaciju manje polarnih otopljenih tvari na površini vode. U suprotnom slučaju, otopljena tvar se koncentrira neposredno uz koloidnu česticu. Budući da je sadržaj vode u tlu vrlo promjenjiv, to se neposredno odražava na stanje koloida u njemu.

Adsorpcija je reverzibilan (povratan) proces i jedan dio sorbiranih iona i dipolnih molekula neprekidno se odvaja od koloidne čestice uslijed *Braunovog gibanja* pa se uspostavlja određena ravnoteža između *sorpcije* i *desorpcije*. Snižavanjem koncentracije i padom temperature adsorpcija raste.

Do pojave *supstitucije* (zamjene) iona na koloidnoj čestici vrlo lako dolazi kada je zasićena, odnosno kada su sva mjesta za polarno vezivanje zauzeta. Tada je sorpcija novog iona moguća samo zamjenom i to u *elektroekvivalentnim omjerima*, npr. Ca^{2+} zamjenjuje 2 K^+ , 2 Na^+ zamjenjuju Mg^{2+} itd.

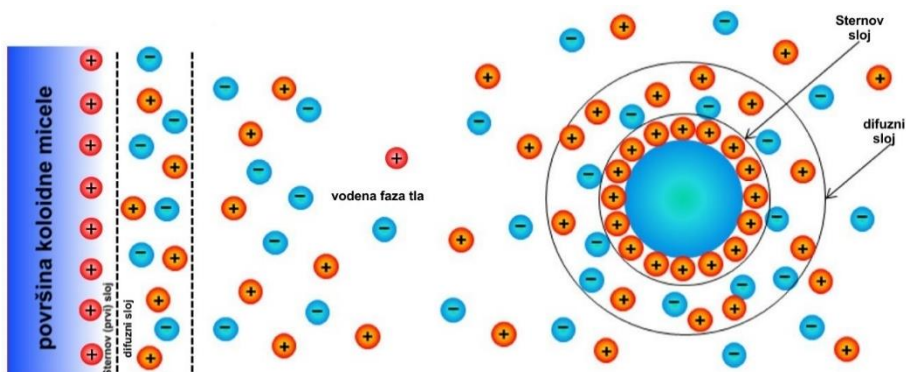
Složena struktura koloidnih čestica (*micela*) dopušta sorpciju na vanjskim i unutarnjim površinama pri čemu veličina unutarnjih prostora omogućava ulaz samo pojedinim ionima, naročito u fazi bubrenja koloidnog sustava. Takva pojava naziva se *specifična* ili *selektivna sorpcija*. Ioni unutar koloidne čestice mogu ostati "zarobljeni" nakon smanjivanja količine vodene faze pa dolazi do pojave koja se uobičajeno naziva *fiksacija* (Brady, 1984.).

Na vanjskoj površini koloidne micelle nalazi se relativno čvrsto vezani sloj iona, takozvani prvi sloj (Slika 10.). On privlači novi sloj iona, obično 2 do 3, između kojih je *intermicelarna vodena faza* koloidnog sustava. Ioni vanjskih slojeva su sve slabije *polarizirani* (prostorno orijentirani) te su raspoređeni potpuno difuzno izvan električnog polja koloidne micelle. Rastresiti slojevi iona su lako pokretljivi i stoga lako zamjenjivi drugim ionima. Razlika električnog potencijala između adsorbiranog (nepokretnog) sloja i vanjske površine micelle (*difuznog sloja*) pomnožena s debljinom difuznog sloja naziva se *elektrokinetički potencijal koloidne micelle*.

Tablica 5. Izmjenjivi kationi i njihovi ionski radijusi

Kation	Ionski radijus (nm ili 10^{-9} m)
Al^{3+}	0,051
Fe^{3+}	0,064
Mg^{2+}	0,066
Zn^{2+}	0,074
Fe^{2+}	0,070
Na^+	0,097
Ca^{2+}	0,099
K^+	0,133

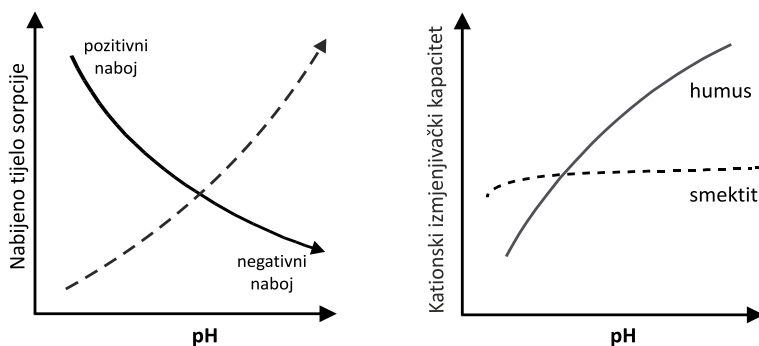
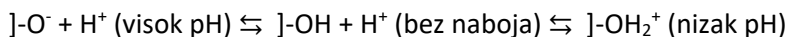
Ako su u koloidnom sustavu prisutni ioni suprotnog znaka, posebice trovalentni ioni, potencijal koloidne micelle pada i lako dolazi do prelaska difuznog sloja u adsorpcijski u trenutku pada potencijala na nulu, što se označava kao *izoelektrična točka koloidnog sustava*. U tom stanju koloidni sustav *koagulira*, zapravo dolazi do *precipitacije* (taloženja) krute faze i koloid prelazi iz sola u gel. Promjer iona u hidratiziranom stanju ovisi o njegovom naboju, ali i veličini, odnosno gustoći naboja (Tablica 5.).



Slika 10. Električni naboj koloidne micide tla i njegov utjecaj na koncentraciju iona (*Sternov model*,

https://web.nmsu.edu/~snsm/classes/chem435/Lab14/double_layer.html)

Visoka koncentracija kationa, posebice Na^+ , u tlu izaziva disperziju (*deflokulaciju*) aglomeriranih čestica gline što uzrokuje strukturnu degradaciju tla. Do pojave disperzije dolazi u prisustvu 0,025 - 0,150 mola jednovalentnih kationa, 0,0005 - 0,002 mola dvovalentnih ili 0,00001 - 0,0001 mola trovalentnih kationa (*Schulze-Hardyev zakon*).



Slika 11. Utjecaj pH na sorpcijsku moć organskih i mineralnih koloida te tip i naboj koloida

Permanentna nabijenost koloida tla odgovorna je za *izomorfnu zamjenu* atoma u sekundarnim mineralima (npr. Zn^{2+} za Al^{3+} u oktaedarskom sloju), izomorfnu zamjenu u oba sloja (npr. Mg^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} za Al^{3+} u oktaedrima, odnosno Al^{3+} za Si^{4+} u tetraedrima) i mogućnost nastanka pozitivnog naboja (npr. zamjena Al^{3+} za Mg^{2+}), dok promjenjiva nabijenost izaziva disocijaciju vanjskih hidroksilnih skupina na rubovima kristalne rešetke te *protoniranje* sekundarnih minerala:

Ovisno o vrsti i tipu koloidnih micela, razlikuje se njihova nabijenost, stabilnost i promjenjivost naboja kako to pokazuje Tablica 6.

Tablica 6. Nabijenost (cmol(+) kg⁻¹) i relativna stabilnost koloida tla

Koloid	Negativan naboj	Pozitivan naboj	Stabilnost %	Varijabilnost %
Humus	200	0	10	90
Vermikuliti	120	0	95	5
Montmoriloniti	100	0	95	5
Iliti	40	0	80	20
Kaoliniti	12	4	5	95
Fe i Al oksidi	5	5	0	100

Vrlo je važno naglasiti da uz promjenu pH nastaje znatna promjena nabijenosti koloida tla, posebice kod organske tvari. Stoga, smanjivanje naboja jako utječe na pad sorpcijske sposobnosti i *kelatizirajuću moć* humusa u kiseloj sredini, npr. u šumskim tlima i tresetištima, općenito u redukcijskim uvjetima (Slika 11.).

Svojstva tla i njegova plodnost

Efektivna plodnost ili *produktivnost biljnog staništa* vrlo je složeno svojstvo tla. Najlakše se može definirati količinom organske tvari 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 (Vukadinović, V. i Vukadinović, Ve., 2011., Mueller i dr., 2010.).

Svojstva tla mogu se promatrati statički i dinamički. *Statička svojstva*, općenito, uključuju teksturu, strukturu, dubinu, apsolutnu masu, pH i električnu provodljivost jer se ona u kratkom vremenu malo ili uopće ne mijenjaju. *Dinamička svojstva* podrazumijevaju izgled površine tla, sadržaj vode i druge jako promjenjive veličine na koje čovjek utječe obradom ili se mijenjaju pod utjecajem vremenskih prilika (sadržaj vode, zraka, erozija itd.).

Izraz plodnost tla tijesno je povezan s kapacitetom tla čime se označava njegova sposobnost da osigura potrebnu hranu biljkama u adekvatnim količinama i pogodnim proporcijama. Stoga je prvi zadatak ishrane bilja istražiti međuodnos biljaka i tla kao supstrata biljne ishrane. *Supstrat ishrane*, osim prirodnog tla, može biti pijesak, šljunak, sintetska podloga ili vodena otopina hranjivih elemenata (hidroponi). *S agrokemijskog gledišta, plodno je ono tlo koje u tijeku čitave vegetacije osigurava biljkama dovoljno hraniva i na kome se trajno postižu visoki prirodni*. Često se za plodnost tla koristi izraz produktivnost jer ona unutar nekog agroekološkog područja u velikoj mjeri ovisi o plodnosti tla, ali i tipu gospodarenja.

Plodnost tla najbolje je definirati vrednovanjem njegovih specifičnih funkcija koje kvantificiraju biljnu produktivnost, ali ujedno opisuju i utjecaj na zdravlje ljudi. *"Dobro organizirana poljoprivredna proizvodnja na dugi rok povećava ili održava produktivnost i profitabilnost proizvodnje na nacionalnoj razini, čuva ili poboljšava integritet, raznolikost i sustav poljoprivredne proizvodnje kao i okolnih prirodnih ekosustava, a također poboljšava zdravlje ljudi, njihovu sigurnost i zadovoljavanje u estetskom pogledu"* (Stuart i Robinson, 1997.).

Korištenje tla u poljoprivrednoj biljnoj proizvodnji može se opisati ključnim atributima *biološko-ekološkog, sociološko-ekonomskog i tehničko-tehnološkog* karaktera. Njihov složeni međusobni odnos zahtijeva

multidisciplinarni pristup u kvantifikaciji i analizi produktivnosti tla te veliki broj različitih podataka o njemu. Razumijevanje utjecaja i intenziteta djelovanja *indikatora plodnosti (atributa ili parametara)* i uvid u njihove međusobne interakcije neophodno je za optimalno korištenje zemljišnih resursa i primarnu produkciju hrane uz učinkovito korištenje klime, reljefa i usjeva.

Primarna poljoprivredna produkcija u svijetu, zbog strateškog značaja i ovisnosti o klimatskim faktorima, podložna je fluktuaciji oscilatornog tipa s posljedicama koje se odražavaju preko tržišta hrane na značajne promjene cijena poljoprivrednih proizvoda. Jasno je da se poljoprivredna proizvodnja ne može preorijentirati u kratkom vremenu pa se metode predviđanja i prognoze u primarnoj produkciji hrane sve više koriste, prvenstveno u sociološko-ekonomskim, ali i drugim aspektima.

Biološko-ekološki aspekt suvremenog korištenja tla sve više uključuje brojčane metode dinamičkog definiranja sustava biljka-tlo-atmosfera, dok tehničko-tehnološku razinu problema u sadašnjem trenutku karakterizira visoko učinkovita agrotehnika s problemima nadzora i automatizacije (Vukadinović, V. i Vukadinović, Ve., 2011., Vukadinović, Vl. i Bertić, B., 2013., Vukadinović, V. i Vukadinović, Ve., 2016.).

Kvaliteta (plodnost i produktivnost) tla

Tla su od temeljne važnosti za dobrobit živih bića te produktivnosti poljoprivredne proizvodnje i prirodnih ekosustava. Koncept kvalitete tla je razvijen za determiniranje njegove korisnosti i „zdravlja“, a primjenjuje se u cijelom svijetu u više varijacija i za mnoštvo različitih namjena (npr. *Lamarca, 1996. Ouédraogo i dr. 2001., Tian i Feng, 2008.*).

Od 1970-ih, povećana je orijentacija na održivost korištenja tla temeljem zabrinutosti što se uz pritisak rastuće ljudske populacije smanjuju površine i rastućoj svijesti o zaštiti okoliša. Lal (1995.) je opisao svjetske zemljišne resursa (od kojih je jedna komponenta tlo) kao "*konačna, krhka i neobnovljiva*" i izvijestio je da samo oko 22% (3,26 milijarde ha) od ukupne površine na svijetu je pogodna za uzgoj, a samo oko 3% (450 milijuna ha) ima, s poljoprivrednog aspekta, visoki proizvodni kapacitet. Stoga je kvaliteta tla postala središnje pitanje u raspravi o globalnim klimatskim promjenama jer tlo pod vegetacijom regulira stakleničke plinove, naročito izmjenu ugljika.

Međutim, unatoč važnosti razumijevanja stanja globalnih zemljišnih resursa, cilj ocjenjivanja kvalitete tla kao mjerljivog atribut na lokalnoj razini je bitno drugačiji jer se procjena kvalitete poljoprivrednih tala razlikuje kad su u

pitanju prirodni ekosustavi. Naime, u poljoprivredi upravljanje tlom svodi se na optimizaciju proizvodnje hrane bez štetnog utjecaja na okoliš, dok u prirodnom ekosustavu upravljanje je u odnosu na početno stanje ili mogućnost buduće promjene.

Definicija kvalitete tla

Tlo je najveći i najznačajniji prirodni resurs čovječanstva, ono je supstrat biljne ishrane i najznačajniji resurs za proizvodnju hrane. Nažalost, pretjeranim ili neodgovornim korištenjem tla dolazi do snižavanja njegove produktivnosti i konačno degradacije.

Vrednovanje kvalitete tla mora dati odgovore na pitanje produktivnosti tla, kako se definira kvaliteta tla i kako se treba mjeriti te kako na temelju procijenjene kvalitete tla treba njime upravljati, restaurirati, konzervirati ili praktično uzgajati usjeve. Stoga procjene kvalitete tla zahtijeva jedan ili više vrijednosnih sudova pa to nije jednostavno i lako rješivo (*Sojka i dr.*, 2003., *Palm i dr.*, 2007.). *Gregorich i dr.* (1994.) piše: "Kvaliteta tla je složeno svojstvo jer je je to sposobnost tla da funkcionira (manje ili više), u odnosu na njegovu specifičnu uporabu." Ovakav stav je u skladu sa starijim poimanjem *zemljišne kvalitete* (*FAO*, 1976., *Rossiter*, 1996., *Sombroek*, 1997.). Međutim, odnos između široko definiranih funkcija tla i njegovih različitih namjena ne može se sveobuhvatno riješiti (*Sanchez et al.*, 2003) premda se većina znanstvenika slaže kako je kvaliteta tla koristan koncept.

Koncept kvaliteta tla razvijena je kao način da se integriraju postojeće i nove ideje održive poljoprivrede te zaštite čovjekova okoliša u posljednjih nekoliko desetljeća (*Arshad i Coen*, 1992., *Sheppard i sur.*, 1992., *Karlen i dr.*, 1992. i 2001., *NRC*, 1993., *Doran i Parkin*, 1994., *Herrick i sur.*, 2002.). U principu, definicija kvalitete tla 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.

Plodnost ili kvaliteta tla

Kako je plodnost tla zapravo njegova sposobnost da osigura potrebnu hranu biljkama kad ju trebaju i to u adekvatnim količinama i pogodnim proporcijama, to je vrlo složeno i ujedno najvažnije svojstvo tla koje nije moguće apsolutno odrediti (*kvantificirati*). Kako se niti zdravlje čovjeka ne može apsolutno utvrditi, pojam *kvalitetno* ili *plodno tlo* odgovara ljudskom poimanju zdravlja te se umjesto plodnosti u znanstveno-stručnoj sredini sve

češće definira i primjenjuje izraz *pogodnost tla*, a u proizvođačkom (farmerskom) miljeu *zdravlje tla* (Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011., 2016.).

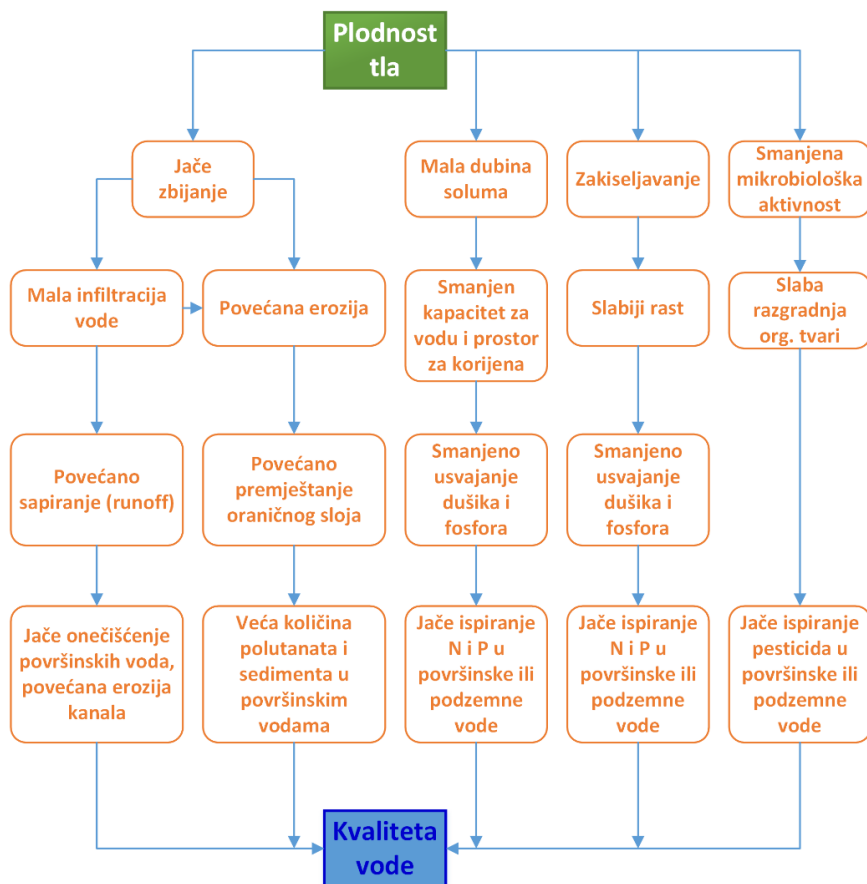
Kvaliteta ili plodnost tla povijesno je izjednačena s poljoprivrednom produktivnosti u SAD, dok je u Europi naglasak na rješavanju onečišćenja tla. Zapravo, *plodnost tla poljoprivredna produktivnost* nisu sinonimi jer se produktivnost može znatno razlikovati od plodnosti tla obzirom na sustav proizvodnje i razinu agrotehnike. Plodnost tla se stoga najčešće definira kao *potencijal tla za obavljanje njegove ekološke funkcije*, npr. za održavanje biološke produktivnosti, raspodjelu i regulaciju kretanja vode u ekosustavu itd.

Plodnost tla je koncept razvijen da bi se opisala njegova korisnost, jer je to od najveće važnosti za produktivnost poljoprivrednih, jednako i prirodnih ekoloških sustava. Tako osmišljen koncept uključuje poznavanje više različitih indikatora (pokazatelja) od kojih se neki ne mogu izravno mjeriti, pa se u praksi primjenjuje niz prilično različitih definicija plodnosti tla, odnosno njegovog zdravlja. Naime, regionalne razlike u svojstvima tla, klimi i poljoprivrednoj praksi toliko su velike da se niti jedan skup značajki tla ne može usvojiti kao opća kvantifikacija plodnosti tla. Budući da je nemoguće jednoznačno definirati plodnost tla, ona se mora posebno utvrditi za svako agroekološko područje (tip tla, klimu, biljnu vrstu, kultivar, način uporabe tla itd.). Također, plodnost tla mora obuhvatiti njegova biološka (biogenost tla) i ekonomska svojstva, odnosno isplativost proizvodnje (Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011., 2016.).

Biogenost tla često se pojednostavljuje i svodi samo na njegovu bioraznolikost (npr., Zajednička poljoprivredna politika EU-a, 2014.), a da pritom nije razvijena pouzdana metodologija za mjerenje bioloških čimbenika, niti njena interpretacija, osim jednostavnih procjena (npr. broj gujavica, populacija i brojnost mikroorganizama, disanje tla i sl.). Poseban i vrlo složen problem je definiranje plodnosti tla u smislu isplativosti (profitabilnosti) određene proizvodnje koji je velikim dijelom u domeni ekonomsko-socijalnog okruženja i nadasve politike.

Praksa zaštite i održavanja produktivnosti tla stara je kao i sama poljoprivreda, a prvi pisani tragovi datiraju iz rimskog carstva (Jenny, 1961). Početkom 1930-ih, ocjena produktivnosti tla razvijena je kako bi poljoprivrednici lakše odabrali usjeve i proizvodnu praksu te povećali proizvodnju hrane uz smanjenje erozije i/ili drugih štetnih učinke na okoliš (Huddleston, 1984). *Storie Index* (Storie, 1933., 1964.) i USDA zemljišna klasifikacija (Klingebiel i

Montgomery, 1973) razvijeni su svrstavanje tla u različite kvalitetne razrede na temelju inherentnih i statičnih svojstava tla. Ovakvi sustavi za rangiranje tala (bonitiranje) sustavi važni su prethodnici kvantitativne procjene kvalitete tla te je Carter i sur. (1997.) konačno definirao razliku između *statične* i *dinamične* kvalitete tla.



Slika 12. Učinci promjene kvalitete tla (degradacija tla) na kvalitetu vode (National Research Council, 1993.).

Korištenje zemljišta je dinamičan proces te njegovo vrednovanje mora uključiti utjecaj na okoliš (Slika 12.), kao i buduće promjene, posebice očekivanu veću učinkovitost produkcije hrane. Također, potrebno je omogućiti bolju identifikaciju potencijalno kritičnih ili ranjivih područja koja su ograničeno produktivna, izradu detaljnih karata zemljišne pogodnosti za različite tipove korištenja, ali i redovito ažuriranje različitih skupova podataka.

Poljoprivredna produktivnost i održivost

Za mnoge u poljoprivredi i poljoprivrednim istraživanjima, produktivnost je još uvijek glavni pokazatelj *kvalitete tla*, a poljoprivreda je najveći korisnik zemljišta od ~35 % cjelokupne površine Zemlje (Foley i dr., 2005., Ramankutty i dr., 2008.) što uključuje i navodnjavane površine, suho ratarenje, trajne nasade, pašnjake i uređene šume. Svaki od tih proizvodnih sustava ima različite zahtjeve za postizanje optimalne proizvodnje.

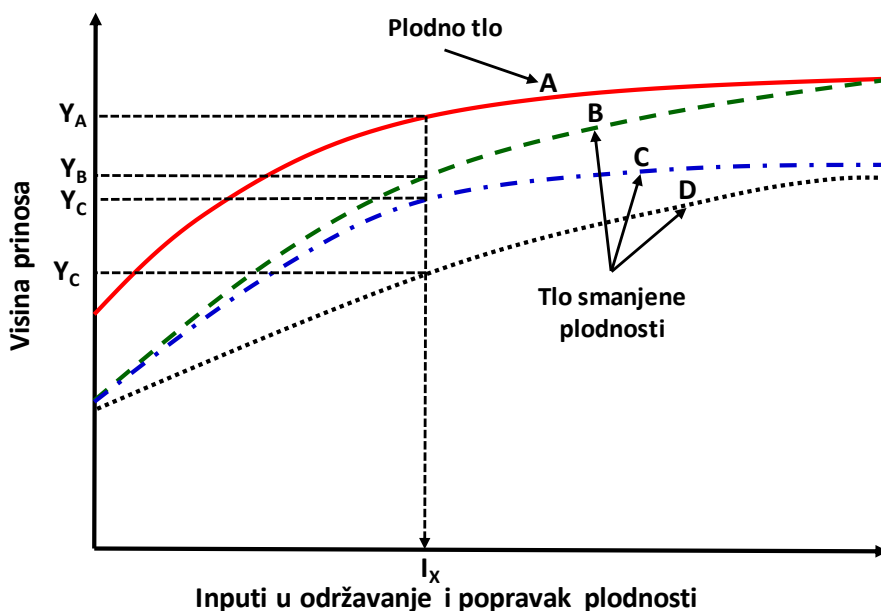
Od ranih 1960-ih godina svjetska populacija je udvostručena, a globalna proizvodnja hrane porasla je za 145 % (Pretty, 2008.). Od tog povećanja proizvodnje hrane ~70 % je kroz intenziviranje poljoprivrednih prinosa, a ne kroz širenje proizvodnog područja (MEA, 2005., Pretty, 2008.). Istodobno, povećanje potrošnje mesa je dovelo do povećanja intenziteta stočarske proizvodnje kroz korištenje jeftinih žitarica (Tilman i dr., 2002., Thorne, 2007. i Pretty, 2008.) te se u industrijaliziranim zemljama ~70 % proizvoda od žitarica koristi za stočnu hranu (Pretty, 2008.). Intenziviranje stočarstva ima i loše posljedice, npr. povećanje pojava bolesti i zagađenje okoliša zbog korištenja koncentrirane životinjskog otpada (Thorne, 2007.). Osim toga, primijećeno je da dugoročno prinos žitarica opada u high-input uzgoju, uglavnom zbog pada kvalitete visoko produktivnih tala (Cassman, 1999.; Cassman i dr., 2003.). Stoga proizvodnja hrane za rastuću svjetsku populaciju zahtijeva pažljivu procjenu odnosa između kvaliteta tla (degradacije) i prinosa, odnosno njegove produktivnosti (Slika 13.).

Smanjenje plodnosti tla (početno stanje = krivulja A, Slika 13.) uzrokuje veću potrebu za energijom, hranjivim tvarima, vodom, sjemenom i zaštitom kako bi se postigao isti prinos. Nagib i asimptota (Slika 13.) degradiranog tla (krivulje B, C i D) ovise o vrsti degradacije, što najčešće rezultira padom učinkovitosti inputa u proizvodnju, padom prinosa, ili oboje.

Ocjenjivanje kvalitete tla s aspekta visine prinosa je svakako dobar put u optimiziranju prakse korištenja tla kako bi se održala ili povećala proizvodnja hrane pri čemu se mora voditi računa o učinkovitosti korištenja inputa (N, voda) i *sekvestracije ugljika* (sekvestracija ugljika je njegovo uklanjanje iz atmosfere biološkim ili fizikalnim procesima) uz smanjenje emisije stakleničkih plinova (Cassman i dr., 2003.).

Mogućnost navodnjavanja ima jak utjecaj na korištenje zemljišnih resursa za proizvodnju hrane. Jedna trećina ukupne svjetske proizvodnje hrane dolazi s 17 % (255 milijuna ha) površina koje se navodnjavaju (Hoffman i dr., 1990., Gleick, 1993., Doll i Siebert, 2002.), od čega tri četvrtine otpada na zemlje u razvoju (Tribe, 1994., Doll i Siebert, 2002., FAO, 2008.). Područje koje se

navodnjava udvostručilo se između 1961. i 2002. (Pretty, 2008.), s najvećim površinama u Indiji, Kini, SAD i Pakistanu (Vorosmarty i dr., 2000., Doll i Siebert, 2002., FAO, 2008. i Wisser i dr., 2008.).



Slika 13. Teoretski prikaz povezanosti prinosa usjeva i ulaganja u kakvoću tla (Cassman, 1999.).

Mnogi od argumenata o održivosti poljoprivrednih sustava u prošlosti odnosili su se na povrat hranjivih tvari u tlo. Međutim, povećanje pritiska na zemljišne resurse postaje jasno kako niti jedan poljoprivredni sustav neće biti održiv na dugi rok ako ne uzima u obzir ciklus hraniva, vodu i korištenje energije (Tilman i dr., 2002., Cassman i dr., 2003.). Naime, povećanje prinosa obično zahtijeva korištenje više energije i resursa, premda u tome pomaže navodnjavanje, primjena gnojiva, učinkovita agrotehnika i dr. (Tilman i dr., 2002.; Pretty, 2008.).

Pretjerano ljudsko iskorištavanje ekosustava, uključujući i kvalitetu tla, potkopava sposobnost biosfere da održi dostatnu proizvodnju hrane i osigura kontinuirani protok drugih dobara i usluga neophodnih za dugotrajni ljudski opstanak, uključujući i održavanje slatkovodnih resursa, regulaciju klime i kvalitete zraka i pad zaraznih bolesti. Temeljni problemi istinske održivosti je od globalne važnosti pa je u interesu uravnoteženja na globalnoj razini potrebno ograničiti obradive površine na 15 %, a trenutno njihova površina iznosi 12 % (McMichael i dr., 2003., Foley i sur., 2005.) od ukupne površine zemljišta.

Održivo upravljanje zemljišta (*Sustainable Land Management; SLM*) je temelj održive poljoprivrede i strateška je komponenta održivog razvoja i ublažavanje siromaštva. Trenutno postoji samo nekoliko zemalja u svijetu koje još uvijek imaju rezerve zemljišnih resursa kako bi se zadovoljile potrebe povećanja svoje populacije. U većini slučajeva, proizvodnja se povećava intenziviranjem površina pod kultivacijom. Nadalje, u većini zemalja u razvoju najveći dio populacije se još uvijek bavi primarnom poljoprivredom, stočarstvom, šumarstvom i ribarstvom, a njihov život i mogućnosti za ekonomski razvoj su izravno povezani s kvalitetom zemljišta i njegovih resursa. Zbog toga SLM nastoji uskladiti često proturječne ciljeve pojačanog gospodarskog i društvenog razvoja uz zadržavanje i povećanje svih, posebice ekoloških funkcija zemljišnih resursa. SLM smatra da se oba cilja mogu biti postići istovremeno, ali samo ako se zemljišni resursi koriste na odgovarajući način.

SLM monitoring pomaže u tom procesu metodama i protokolima za određivanje u kom se pravcu kreće zemljišna praksa. Na taj način se podržava donošenje odluka o poduzimanju aktivnosti kojima se izbjegava neuspjeh projekta (*Herweg i dr., 1999.; López-Ridaura i dr., 2002.*). SLM može utvrditi simptome neodrživosti, kao što su degradacija tla, pad kvaliteta vode, gubitak biološke raznolikosti, povećanje pojave bolesti itd. Nepoželjne posljedice neprimjerenog upravljanja i iskorištavanje prirodnih izvora uzrokuju često niz problema u području društvenih i političkih, ali i u tehničkom i agronomskom aspektu proizvodnje hrane.

Ključno su pitanje SLM analize upravljanja zemljišnim resursima je „*Zašto korisnici zemljišta primjenjuju neprimjerenu praksu?*“ Često su korisnici zemljišta svjesni degradacije tla, ali nisu u stanju promijeniti praksu korištenja zbog političkih i ekonomskih okolnosti, npr. narušavanje tržišnih cijena, nesigurno zemljišno pravo, zlouporaba subvencija i poticaja itd., što sve ograničava njihov izbor mogućnosti da prakticiraju SLM.

SLM se, dakle, bavi procesima degradacije zemljišnih resursa i na temelju uzroka neodrživosti ukazuje na moguća rješenja. Međutim, to zahtijeva razumijevanje glavnih procesa i snaga koji djeluju na svim razinama gospodarstva, zajednice, regije i države, uključujući i međusobne interakcije (*Herweg i dr., 1999.*). Primjena SLM-IM nije izbor koji rješava sve probleme upravljanja zemljišnim resursima, ali je izvrstan alat za determinaciju problema i poduzimanje nužnih promjena (*López-Ridaura i dr., 2002.*).

Pojam i načela održivog upravljanja zemljištem

SLM (održivo upravljanje zemljištem) se bavi bitnim elementima nekog poljoprivrednog proizvodnog sustava. Budući da su iskustva sve veća o štetnom djelovanju aktualne prakse u eksploataciji zemljišnih resursa, raste svijest o tome da su visokoproduktivna tla rijetka, da zemljišni resursi nisu neograničeni, a da tlo koje je u uporabi treba više njege. Zdravlje i bogatstvo svih ljudi ovise o kvaliteti zemljišnih resursa, ali oni koji su izravno uključeni u raspolaganje njima prvi koji će doživjeti pad u kvaliteti zemljišta (*Herweg i dr.*, 1999.; *López-Ridaura i dr.*, 2002.).

Tablica 7. Aspekti održivosti poljoprivrednog zemljišta

Proizvodne funkcije	Proizvodnja ljudske i stočne hrane, biogoriva, građevinskih materijala, industrijskih proizvoda itd.
Fiziološke funkcije	osiguranje zdravlje ljudi kroz filtraciju i neutralizaciju otrovni tvari i njihovo dospijevanje u pitku vodu i biljke; sprječavanje opasnosti kao što su klizišta, poplave itd.
Kulturne funkcije	stvaranje i očuvanje integriteta krajolika jer su vode, zemlja, šume i životinje bitan dio kulturne baštine uz očuvanje povijesnih i estetskih vrijednosti krajolika
Ekološke funkcije	održavanje funkcija ekosustava i uopće života uključujući i smanjenje stakleničkih plinova, filtriranje vode i zagađivača i održavanje globalnog geokemijskog ciklusa hranjivih tvari itd.

SLM je delikatna ravnoteža proizvodnje i zaštite, a opći cilj održivog razvoja ne može se postići bez dužne pozornosti. Neodrživo upravljanje zemljištem i njegova degradacija nije uvijek zbog nedostatka svijesti korisnika, već često, postoji više razloga te politički, socijalni i ekonomski čimbenici mogu ograničiti zemljišne korisnike u upravljanju zemljišnim resursima na održiv način (Tablica 7.). Npr., kratkoročan zakup zemljišta sprječava potrebno ulaganje u zemljište; tržišne cijene ne pokrivaju troškove za zaštitu zemljišnih resursa, aktivnosti očuvanja obično traju samo dok za to postoje poticaji i subvencije itd. U tom kontekstu, SLM nastoji uskladiti komplementarne, ali često proturječne ciljeve proizvodnje i zaštite okoliša.

Potreban je kritički pogled na pojam "održivost" jer se ona često definirati apsolutno, jedinstveno ili na globalnoj razini. Međutim, koncept održivosti primjenjiv je samo unutar stvarnog života i lokalnog konteksta. Održivost treba smatrati poželjnim smjerom koji nije cilj sam po sebi.

Održivost

Održivo korištenje zemljišta (*Land Use Sustainability*, LUS) je objektivna mjera u konkretnom korištenju zemljišta, u određenoj zemlji ili području (područje pretpostavlja relativno homogena zemljišta) tijekom određenog vremenskog

razdoblja (Smith i Dumanski, 1993.). U stvari, LUS je binom zemljišne jedinice (Land Unit) i korištenja zemljišta (Land Use).

Način vrednovanja	Kriteriji	Hijerarhija u vrednovanju zemljišta					
Statičko vrednovanje (zemljišne performanse i kvaliteta)	Čimbenici plodnosti tla	Vrednovanje plodnosti zemljišta	Vrednovanje zemljišta	Važnost fizikalnog vrednovanja zemljišta	Fizikalno (tehničko) vrednovanje zemljišta	Ekonomsko vrednovanje zemljišta	Vrednovanje zemljišta održivog korištenja zemljišta
	Drugi čimbenici tla						
	Drugi čimbenici zemljišta (klima, reljef, hidrologija)						
	Lokalni čimbenici (pristupni putevi, veličina i oblik parcele itd.)	Ocjena lokacije					
	Ekonomski čimbenici (cijena, potpore, mogućnost i uvjeti kreditiranja itd.)						
	Socijalni (društveni) čimbenici						
Dinamičko vrednovanje	Okolišni čimbenici (razina degradacije, onečišćenja, bioraznolikost itd.)	Vrednovanje okoliša		Specifično vrednovanje zemljišne održivosti			
	Vremenski ovisna procjena (izdržljivost ili trajnost)	Vrednovanje izdržljivosti (durability)					

Slika 14. LUS evaluacija hijerarhijske strukture (Vlad, 2005.)

U cilju uspostave metode za ocjenu LUS, korisno je vidjeti glavne poddomene ili vrste zemljišne evaluacije kao ugniježdene sustavne hijerarhijske strukture (Slika 14.). Zemljište performanse i kvaliteta procjenjuju se statički na temelju trenutnog stanja zemljišta, uzimajući u razmatranje različite faktore i imajući u vidu različite ciljeve:

- *fizička (tehnička) evaluacija,*
- *ekonomska evaluacija,*
- *socijalna procjena i vrednovanje okoliša.*

Važno je napomenuti da ekonomska procjena treba koristiti fizičke i socijalne rezultate evaluacije. Održivo korištenje zemljišta odnosi se na fizičke, gospodarske i društvenu performanse te kvalitetu okoliša i njihovo trajanje u budućnosti (izdržljivost). Naravno, zaštita okoliša i trajnost mogu biti uključeni u ekonomsku i socijalnu evaluaciju (na primjer, troškovi za održavanje u performansu i kvalitete uključuju gospodarsku i socijalnu procjenu).

Procjena utjecaja korištenja zemljišta na okoliš (učinci na licu mjesta) odnose se i na susjedstvo tzv. *off-site* učinci. Nova dimenzija LUS evaluacije je vrijeme te je potrebno procijeniti buduće promjene zemljišnih svojstava/kvalitete kao i uspostaviti rokove na koje se odnosi procjena (Tóth i dr., 2007.). Promjene zemljišnih svojstava mogu biti kontinuirane, odnosno imaju stalan vremenski trend ili mogu imati slučajnu varijabilnost. Diskontinuirane (slučajne) promjene zemljišnih svojstava obično se uzima u razmatranje u fizičkim i ekonomskim aspektima procjene (npr. klimatska varijabilnosti, cijena/trošak varijabilnost, itd.), a trajnost se odnosi samo na promjene utvrđene u korištenju zemljišta. Prema tome, izdržljivost je sastavni dio održivosti, definirana kao kontinuirana mjera promjene u korištenju zemljišta.

Tablica 8. Što sve utječe na definiranje održive poljoprivrede

Individualna percepcija:	Poljoprivrednici, stočari, šumari, ribari, kreatori politike, znanstvenici pa čak i muškarci i žene u istoj obitelji mogu definirati održivost drugačije, u skladu s vlastitim stavovima, ekonomskim, socijalnim i ekološkim interesima koji su često kontradiktorni i moraju biti usklađeni.
Prostorne razlike:	Voda korištena u višim predjelima često postaje faktor neodrživosti u susjednoj ravnici uslijed njenog nedostatka i pada njene kvalitete, a loše gospodarenje vodom u gornjem dijelu sliva može, pored suše, izazvati i poplave u donjem dijelu sliva te lošu kvalitetu pitke vode.
Vremenska perspektiva:	Nije moguće, a vjerojatno i nije poželjno definirati održivost danas za buduće generacije, ali je moguće održavati potencijal zemljišnih resursa, tako da buduće generacije mogu razvijati vlastite vrijednosti, prioritete i imati mogućnost zadovoljenja svojih potreba.

Zapravo, ne postoji standardna definicija održivosti, jer obuhvaća nekoliko, čak i proturječnih definicija koje zahtijevaju usklađivanje na lokalnoj i političkoj razini (Tablica 8.):

Unutar lokalnog konteksta SLM kombinira politiku, tehnologiju i aktivnosti usmjerene na integriranje načela društveno-ekonomske brige za okoliš tako što istovremeno:

- *održava ili poboljšava proizvodnju/usluge (produktivnost);*
- *smanjuje razinu rizika proizvodnje (sigurnost);*
- *štiti prirodne resurse i sprječava njihovo propadanje (zaštita);*
- *doprinosi ekonomskoj isplativosti (održivost je atraktivna kad je profitabilna);*
- *utječe na društvenu prihvatljivost (sukob interesa je rješiv kada su zadovoljene potrebe siromašnih ljudi).*

Tih pet ciljeva su poznati kao *pet stupova održivost* (Herweg i dr., 1999., FAO, 2000.) i oni predstavljaju temelj provođenje SLM monitoringa koji ukazuje na promjene prakse u korištenju zemljišta. Monitoring podržava analizu održivog korištenja zemljišta, time i olakšava donošenje pravih odluka o poduzimanju aktivnosti kojima se izbjegava neuspjeh projekta jer se njime mogu utvrditi simptome neodrživosti, kao što su degradacija tla, pad kvaliteta vode, gubitak biološke raznolikosti, povećanje pojave bolesti itd. Takvi simptomi su posljedica neprimjerenog upravljanja zemljištem i iskorištavanje prirodnih izvora, a uzroci su često društveni i politički, ali i tehnički te agronomski:

- (1) *Za ocjenu održive upotrebe zemljišta (LUS) potrebno je uzeti u obzir velik broj indikatora, od kojih su neki složeni. Cilj evaluacije bi trebao biti sistem korištenja zemljišta (LUS), binom zemljišne jedinice (Land Unit) i korištenje zemljišta (Land Use) u cjelini. U cilju uspostave metode za LUS evaluacije korisna je evaluaciju tipa ugniježdene hijerarhijske strukture (Slika 14.) koja razmatra fizičku, ekonomsku i socijalnu evaluacija zemljišta (LUS).*
- (2) *Za LUS ocjenu potreban je kompleksan evaluacijski model s velikim brojem čimbenika i njihovim relevantnim interrelacijskim utjecajima na održivost. Praktičan način kako bi se utvrdio LUS je hijerarhijska, odnosno višerazinska metoda (Slika 14.). To je sustavni pristup koji se temelji na hijerarhijskoj strukturi zemljišne procjene, odnosno procjene čimbenika, obilježja, svojstava, kriterija održivosti, parcijalne i pune održivosti.*
- (3) *Za odlučivanje u poljoprivrednoj praksi potrebni su mnogi pokazatelji za procjenu održivosti korištenja zemljišta u duljem vremenskom intervalu (poljoprivredna trajnost korištenja zemljišta) što treba posebno definirati. Ipak, neki osnovni indikatori mogu se koristiti u više procjena. Ovi pokazatelji trebaju biti definirani tako da kvantificiraju glavne promjene u zemljišnim svojstvima i da su praktični za uporabu (jednostavni, jasni te prihvatljive točnosti i složenosti).*
- (4) *U mnogim slučajevima za procjenu, odnosno utvrđivanja LUS pokazatelja moguće je koristiti dostupne algoritme ili modele umjesto primjene jednostavne formule.*
- (5) *Ponekad je ukupni indeks LUS ciljem ocjenjivanja i tada je primjena višekriterijske metode praktičan i prihvatljiv način za procjenu. To je opća metoda koja se može koristiti i za agregiranje različitih heterogenih pokazatelja u više razina hijerarhijske evaluacije. Stoga je važno da različiti indikatori imaju jedinstvenu mjeru (npr., kao normalizacija postotnim indeksima).*

- (6) *Za procjenu LUS potreban je odgovarajući računalni softver. Integracija takvog softvera u sustavu za potporu odlučivanju vrlo je korisno za održivi management zemljištem.*
- (7) *Osim navedenih indikatora za dugoročno korištenje poljoprivrednog zemljišta (trajnost), treba uključiti u sustav za podršku odlučivanju u održivom upravljanju zemljištem koji obuhvaća: zbijanje tla, zaslanjivanje, primjenu pesticida, onečišćenje tla i podzemnih voda, off-site učinke, promjene bioraznolikosti, itd.*
- (8) *Potrebno je više istraživanja kako bi se utvrdili / definirali različiti važni pokazatelji, algoritmi, modeli, pragovi, ponderacijski koeficijenti, itd. za različite svrhe LUS ocjenjivanja.*

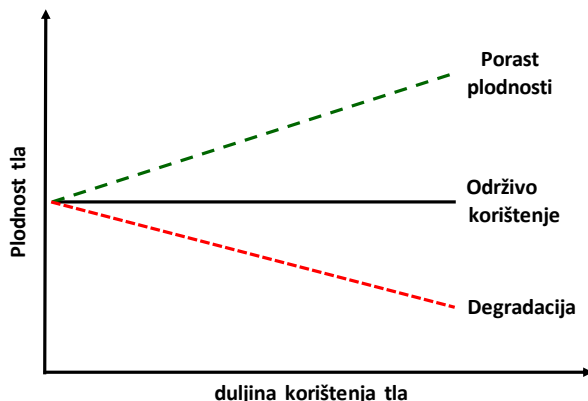
Zdravlje zemljište pod prirodnom vegetacijom (rangeland)

Zdravlje zemljišta pod prirodnom vegetacijom (*rangeland*) NRC (1994.) definira kao "stupanj integracije tla i ekoloških procesa pod prirodnom vegetacijom", a u SAD se preporučuje koordinirani nacionalni monitoring od strane USDA (*United States Department of Agriculture*). Integritet *rangelanda* je definiran prvenstveno u smislu osjetljivosti na eroziju vodom i vjetrom (gubitak tla uključujući i gubitak hraniva te organske tvari) jer još nema definirane metode za evaluaciju zdravlja prirodne vegetacije.

U umjerenim semiaridnim područjima *rangeland* površine se najčešće koriste kao pašnjaci koji osiguravaju hranu za stada domaćih životinja namijenjenih mesnoj i tekstilnoj industriji (npr. vuna ovaca). U takvom prirodnom i socijalnom okružju *rangeland* ima društveno-ekonomsku ulogu jer podržava ekonomiju i kulturu pastoralnih (seoskih) društava. Međutim, unatoč važnosti zemljišta pod prirodnom vegetacijom, ono je pod stalnim pritiskom ljudi, najezde *alohtonih invazivnih biljaka* (nezavičajne i brzo šireće biljke koje pridonose ekonomskoj šteti istiskujući *autohtone biljke* i smanjujući bioraznolikost područja), degradacije u procesima erozije i zbog djelovanja suše.

Degradacija i otpornost tla na pad kvalitete

Degradacija tla se definira kao "smanjenje kvalitete tla zbog ljudskih aktivnosti" (*Cassman*, 1999.) i kao "nepovoljna promjena svojstava tla i procesa koji dovode do smanjenja funkcija ekosustava" (*Palm i dr.*, 2007., Slika 15.).

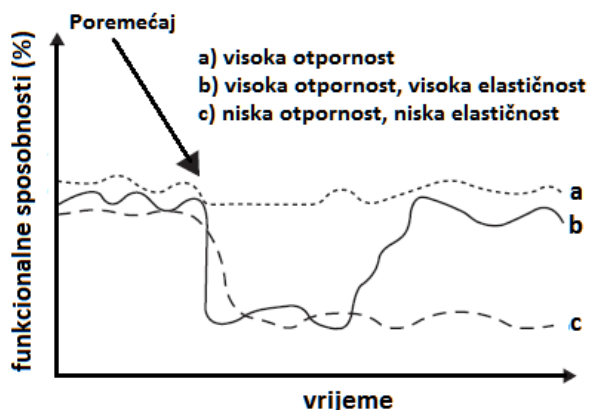


Slika 15. Mogući vremenski trendovi promjene plodnosti tla, ovisno o načinu korištenja

Degradacija označava pad kvalitete tla za određene funkcije ili čak i njegov gubitak. Takve procese mogu izazvati ekstremni prirodni događaja, kao što su dugotrajne bujične kiše, odnosno erozija i poplave, odroni i druge nuspojave, ali su prirodni oblici degradacije prilično rijetki u usporedbi s antropogenim učincima, npr. različitim oblicima intenzivnog korištenja zemljišta. Dakle, ljudske aktivnosti se mogu smatrati glavnim uzrokom degradacije tla (*Blum, 2002.*).

Povećana proizvodnja hrane, goriva i vlakana ostvarena u proteklih 40 godina dovela je do degradacije tla i ekosustava (*Palm i dr., 2007.*). Zasljanjivanje je uzrok gubitka ~1,5 milijuna hektara obradivog zemljišta na godinu, a na 40 % površina u zemljama u razvoju pojavljuje se određeni stupanj degradacije zbog erozije, smanjena plodnosti ili pretjerane ispaše (*Cassman, 1999., Foley i sur., 2005.*). Erozija ima najveći negativni ljudski utjecaj na tlo (*Pimentel i sur., 1995., Sojka i sur., 2003. i Montgomery, 2007.*) koji utječe na više od 80 % degradiranih tala (*Cassman, 1999*). Štoviše, nizvodno su učinci erozije tla i povećane primjene mineralnih gnojiva još veći. Naime *Willis i Evans (1977.)* su tvrdili da je potrebno 30 pa sve do više od 1000 godina kako bi se razvilo 25 mm površine tla iz matičnog supstrata prirodnim procesima. *Jenny (1980.)* smatra da tlo nije obnovljivi resurs u vremenskoj skali koju koriste ljudi. Ipak, u manje ekstremnim okolnostima degradacije tla, kao što su kontaminacija ili gubitak plodnosti, neke funkcije tla moguće je vratiti premda ne u potpunosti. Tako je moguće neke važne dinamičke značajke tla polako obnoviti kroz praksu korištenja, npr. organsku tvar, većinu hranjivih tvari, pa i neka fizikalna svojstva mogu se obnoviti pažljivim dugoročnim korištenjem, npr. određena kemijska svojstva (pH, salinitet, sadržaj N, P, K itd.) mogu se mijenjati.

Kapacitet tla za oporavak strukturne i funkcionalne cjelovitosti nakon poremećaja (Slika 16.) nazvan je *otpornost tla* (Blum, 1994., Seybold i dr., 1999.).



Slika 16. Kapacitet funkcija tla i njegova reakcija na poremećaje (Tugel i dr., 2005.)

Ocjenjivanje kvalitete tla

U biofizičkoj analizi vrednovanja zemljišta i procjene zemljišne pogodnosti postoje dva glavna smjera: *kvalitativna* i *kvantitativna procjena*. Općenito govoreći, sustav zemljište evaluacije je kvalitativan kada se svojstva zemljišta definira kategorijama (UNEP, 2016.), a smatra se kvantitativnim kada su te vrijednosti svojstava kombinacija numeričkih vrijednosti i matematički iskazanih ili skaliranih indeksa (Rossiter, 1996.).

Kvalitativna evaluacija (vrednovanje) zemljišta je jednostavna, opisna izjava o prikladnosti zemljišta za pojedine namjene ili može grupirati zemljišta na subjektivan način u mali broj kategorija ili klasa pogodnosti. To pretpostavlja detaljno poznavanje optimalnih zemljišnih uvjeta i posljedica odstupanja od optimalnog stanja. Primjena kvalitativnih sustava procjene zemljišne pogodnosti ili *bonitiranje* u velikoj mjeri ovisi o iskustvu i intuitivnoj prosudbi te su to, dakle, pravi *empirijski (iskustveni) sustavi*.

Aritmetičke ili parametarske metode se smatraju kao prijelazna forma između kvalitativnih metoda, koje su u cijelosti utemeljene na empirijskoj stručnoj prosudbi i *standardnih matematičkih modela koji su pravi kvantitativni sustavi*. *Statistički modeli* mogu se također smatrati semikvantitativnim metodama.

Trenutni napredak u informacijskoj tehnologiji omogućio je primjenu različitih tehnika modeliranja i najsloženijih sustava procjene zemljišne pogodnosti. Takve metodologije omogućuju kvantificiranje i integraciju različitih procjene zemljišne pogodnosti uz detaljnu analizu. Također, procesno orijentirano modeliranje koje simulira rast usjeva (pomoću matematičkih jednadžbi) temelji se na razumijevanju stvarnih mehanizama rasta biljaka koje integrira u postupak zemljišne evaluacije.

Definicija kvalitete tla i izbor indikatora potrebnih za procjenu kvalitete tla neprestano se razvija (*Idowu i dr.*, 2008. i *Kibblewhite i dr.*, 2008.), ali još uvijek procjena pogodnosti tla nije posve egzaktna i mjerljiva već dijelom empirijska.

Izbor pokazatelja kvaliteta tla

Carter i sur. (1997.) predložili su okvir za procjenu kvalitete tla koji:

- opisuje svaku funkciju tla na kojoj se njegova kvaliteta temelji,
- izbor svojstava tla koja utječu na kapacitet produkcije tla,
- izbor indikatora koji se može izmjeriti i
- metode koje omogućuju točno mjerenje tih pokazatelja.

Tlo jest konstanta, ali njegova *dinamička svojstva*, znatno variraju i bitno se razlikuju ovisno o ekosustavu uz izravnu ovisnost o klimi. Npr. na tlima pod prirodnom vegetacijom svojstva tla jako ovise od vlažnosti tla (*Herrick i Whitford*, 1995.).

Primjeri dinamičkih svojstava tla su veličina, učešće, distribucija i aktivnost mikrobiološke komponente tla, vlažnost tla, koncentracija vodene faze tla i dr. S druge strane, mineralni sastav, tekstura, dubina tla i dr. su *statički pokazatelji kvalitete* te premda se i ona kontinuirano mijenjaju, ali vrlo sporo u prirodnim uvjetima. Neka fizikalna svojstva tla, kao što su agregatna stabilnosti i hidraulička vodljivost su prostorno i vremenski vrlo varijabilna (*Moebius i dr.*, 2007.). Također, sadržaj organske tvari može biti dinamička varijabla, ali kemijska svojstva organskih tvari mogu se promijeniti samo tijekom 100 - 1000 godina, što najviše ovisi o teksturi tla.

Svojstva tla koja se brzo mijenjaju predstavljaju problem, jer su potrebna česta mjerenja, odnosno analiza kako bi se utvrdila prosječna vrijednost, odnosno mogla utvrditi da li te promjene pokazuju napredak ili degradaciju kvalitete tla. Stoga skup podataka potrebnih za analizu kvalitete tla obavezno uključuje podjednako *dinamična* i relativno *statična* svojstva tla.

Za procjenu kvalitete tla mora se odrediti njegova površina i pri tome kao mjernu jedinicu koristiti *pedon* (trodimenzionalna jedinica tla), ali je takav pristup mnogo češće komponenta kartografskog prikaza, odnosno parcela,

krajolika ili cijelog područja. Izbor ovisi o interesu korisnika/vlasnika i prostornoj varijabilnosti, a procjena se može obaviti po cijeloj površini ili uz pomoć podataka dobivenih analizom diskretnih točaka, odnosno *geopozicioniranih stalnih kontrolnih ploha*.

Primjeri pokazatelja kvalitete tla

Kvaliteta tla je kompleksno svojstvo tla koje se može procijeniti temeljem mjerenja i detaljne, laboratorijske analize pojedinih indikatora, ali i vizualnim opažanjem. Za poljoprivrednu proizvodnju je vrlo važno da procjena plodnosti tla bude relativno jednostavna, ali i točan način rangiranja kvalitete utemeljen na potencijalnoj biljnoj proizvodnji koja se odvija bez degradacije tla ili pretjerano štetnog utjecaja na okoliša. Nažalost, vrlo često se utvrđeni parametri kvalitete tla ne mogu čvrsto povezati s visinom prinosa, najčešće zbog različitih vremenskih ekscesa, pogrešne, neadekvatne ili nepravovremene primjene agrotehnike, pojave bolesti i štetnika i dr.

Fizikalni pokazatelji

Fizikalna svojstva vrlo su važan dio kvalitete tla jer se često ne mogu lako poboljšati (Karlen i Cambardella, 1996., Wagenet i Hutson, 1997., Idowu i dr., 2008.). Budući da fizikalni pokazatelji kvalitete, bitno utječu na proizvodnju, pri vrednovanju zemljišta treba postaviti slijedeća pitanja:

- *može li tlo omogućiti nesmetan rast korijena, odnosno sadrži li dovoljno pora potrebne veličine i kontinuiteta za rast i aktivnost korijena,*
- *u kojoj mjeri tlo se suprotstavlja deformacijama i*
- *koliki je kapacitet tla za vodu i zrak.*

Čimbenici kao što su efektivna dubina, poroznost ili raspodjela veličine pora, volumna gustoća, hidraulička provodljivost, tekstura i struktura su vrlo značajni indikatori kvalitete tla (Tablica 9.). Međutim, mnogi procesi koji pridonose strukturi, kao što su stabilnost agregata, gustoća i poroznosti tla, nisu posve razjašnjeni, pa se teško može djelovati u pravcu njihove promjene.

Dubina tla je dobar primjer svojstva koje se lako i točno utvrđuje, a pruža izravne informacije o mogućnosti uzgoja pojedinih vrsta biljka. Mnoge biljne vrste se dobro podnose plitko ukorjenjivanje, dok se duboko ukorjenjuju žitarice i neke mahunarke (npr. lucerna).

Kemijski indikatori

Kemijske komponente kvalitete tla mogu biti poželjne ili pak nepoželjne, ovisno o vrijednosti unutar širokog ranga pojedinog indikatora (Tablica 9.). Npr. pH vrijednost tla može biti pozitivno ili negativno svojstvo pa je tako pH između 6,0-7,5 optimalan za većinu usjeva, a niže ili više vrijednosti utječu nepovoljno na niz drugih fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava tla. Prisutnost kemikalija koje inhibiraju rast korijena ili izazivaju nedostatak hranjivih tvari, rezultiraju niskim prinosom, često i loše kvalitete, te je takvo tlo ograničeno plodno.

Procjena kvalitete na temelju kemijskih svojstava tla, utvrđivanje raspoloživosti hraniva ili pak njegovog onečišćenja, zahtijeva uzorkovanje i fizikalno-kemijsku analizu tla uz primjenu adekvatnih, najbolje standardnih metoda analize radi pravilnog tumačenja tih rezultata i usporedbe sa prethodnom analizom, odnosno objašnjenje kako kemijska svojstva tla utječu na proizvodnu hrane ili prirodne biološke sustave.

Raspoloživost hraniva ovisi o fizikalnim i kemijskim svojstvima tla, agrotehnici (posebice gnojdbi), ali i procesima u tlu, kao što su npr. vremenske prilike, mehanički sastav

tla, sadržaj organske tvari, KIK, pH i dr. U kiselim ili alkalnim tlima neke hranjive tvari slabo su dostupne biljkama, dok toksični elementi postaju mobilni, odnosno aktivni. Stoga su u RH propisane standardne metode (sukladne EU standardima) kako bi se omogućila potrebna kvaliteta mjerenja, ali i omogućilo pravilno tumačenje rezultata putem rangova, referentnih ili graničnih vrijednosti. Premda je teško odrediti razinu pojedino kemijskog

Tablica 9. Svojstva zemljišta važna za procjenu pogodnosti (Storie, 1964.)

Svojstva	Pokazatelji (atributi) svojstava tla
1. Površina zemljišta	• Ekspozicija
	• Nagib
	• Mikroreljef
	• Rizik od erozije
	• Depozicija
2. Fizikalna svojstva	• Površinska drenaža, sapiranje (runoff)
	• Boja tla
	• Dubina soluma
	• Gustoća i porozitet
	• Infiltracija vode (hidrokonduktivitet)
	• Tekstura tla (mehanički sastav)
	• Struktura tla
	• Sadržaj skeleta
	• Mogućnost obrade (obradivost)
	• Unutarnja drenaža
	• Poljski vodni kapacitet
	• Količina biljci raspoložive vode
	3. Kemijska svojstva
• Ukupni i mineralni dušik	
• pH reakcija	
• Karbonati i baze (Ca, Mg, K i Na)	
• Kationski izmjenjivački kapacitet	
• Koncentracija soli	
• Koncentracija toksičnih elemenata	
• Raspoloživost fosfora	
• Raspoloživost kalija	
• Raspoloživost mikroelemenata	
• Plodnost	
4. Mineraloški sastav	• Učešće sekundarnih i primarnih minerala
5. Klima	• Prosječna god. količina oborina
	• Prosječna god. temperatura
	• Duljina vegetacijskog perioda
6. Vegetacija	• Vjetar
	• Prirodna vegetacija

spoja koju se smatra ekološkim rizikom, svakako je potrebno definirati fizikalna, kemijska i biološka stanja/svojstva tla kao prihvatljiva ili neprihvatljiva.

Biološki pokazatelji

U središtu pozornosti mnogih ograničenja produktivnosti je biologija tla, uključujući mikrobiološka i biokemijska svojstva (Filip, 2002., Schloter i dr., 2003., Tian i Feng, 2008.). Istraživanja Waksmana (1927.), koji je proučavao populaciju mikroorganizama, pokazali su da na plodnost tla utječu podjednako njegova fizikalna, kemijska i biološka svojstva.

Mikrobiološka svojstva tla su dinamična, visoko osjetljiva na agrotehniku i poljoprivrednu praksu, a često ih je teško izmjeriti ili ocijeniti njihovu učinkovitost. Za procjenu biološke kvalitete tla obično se koriste pokazatelji različite mikrobne aktivnosti kao što su mikrobna biomasa, disanje tla, mineralizacija organske tvari, intenzitet denitrifikacije, količina mikrobnog C i N te intenzitet nekih enzimatskih reakcija.

Kvalitativne (bonitetne) procjene kvalitete tla

Svrha bonitetne klasifikacije obradivih tala je procjena njegove sposobnosti za biljnu proizvodnju, a temelji se prvenstveno na fizikalnim indikatorima. Dobar primjer takvog pristupa je utvrđivanje boniteta u RH, kako prije, tako i nakon Domovinskog rata.

Razumljivo je da plodnost tla neposredno ovisi o fizikalnim, kemijskim, biološkim i klimatskim činiteljima pa se plodnost tla, iako je to njegovo najvažnije agregirano svojstvo ne može apsolutno utvrditi. Stoga, sustav pogodnosti tala (*bonitet*) utemeljen na opisu njegovih svojstava može samo generalno i često nedovoljno precizno odrediti plodnost tla. *Kvantifikacija zemljišne plodnosti*, kao i pogodnosti za određenu namjenu, podrazumijeva puno širi pristup te uporabu više ključnih pokazatelja pogodnosti (*indikatora* ili *atributa*) biološko-ekološkog, sociološko-ekonomskog i tehničko-tehnološkog karaktera.

Kvantitativne procjene kvalitete tla

Kvantitativni sustavi procjene kvalitete tla brojčano definiranju pojedine attribute kvalitete zemljišta. To mogu biti *indeksni sustavi*, *brojčani*, *linearni*, *nelinearni* ili utemeljeni na složenim funkcijama kao što su *skor funkcije*. U odnosu na bonitiranje *kvantitativni modeli procjene kvalitete* ili pogodnosti tla omogućuju korištenje GIS-a uz automatizirano rukovanje podacima, kao

što baze podataka i njihovo čuvanje, ažuriranje, statistička obrada, vizualizacija, predikcija itd. što omogućuju kontinuiranu skalu procjene.

Storie Index (SIR) je rani primjer numeričkog indeksiranja potencijalne produktivnosti tla. Iako *Storie* smatra da produktivnost tla ovisi o više indikatora, samo se devet svojstava koristi, jer veći broj čimbenika čini sustav nezgrapnim. *Indikatori pogodnosti* ili kvalitete tla (morfologija i reljef, tekstura, nagib, dreniranost, kiselost ili alkalnost, erozivnost i plodnost) imaju ukupnu ocjenu od 1 % do 100 %, a dobivene vrijednosti iskazuju se jednadžbom (*Storie*, 1933., 1964., *Wier i Storie*, 1936.):

$$SIR = \left(A \times B \times C \sum_{i=1}^6 X_i \right) \times 100$$

Izvorni *Storie Index* (SIR) izračunat je množenjem pojedinačnih ocjena za morfologiju profila (A), površinsku teksturu tla (B), nagib (C) i neke promjenjive uvjete kao što su dubina tla, dreniranost ili lužnatosti (X). U opisu SIR autor *Storie* izrijekom se spominje *kvaliteta tla*. *O'Geen i dr.* (2008.) modificirali su *Storie Index* koristeći moderne matematičke tehnike primjenjujući neizrazitu (*fuzzy*) logiku, tako da sustav procjene kvalitete tla sada puno manje ovisi o operatoru, a omogućeno je korištenje numeričkih, odnosno digitalnih informacija.

Zaključno, kvaliteta tla je koncept razvijen kako bi se opisala korisnost i zdravlje tla, jer su tla od temeljne važnosti za dobrobit i produktivnosti poljoprivrednih i prirodnih ekoloških sustava. To je spoj atributa tla koji se mogu izravno i neizravno mjeriti. Mnoge definicije kvalitete tla se mogu naći u literaturi, ali regionalne razlike u svojstvima tla i poljoprivrednoj praksi toliko su velike da se niti jedan skup značajki tla ne može usvojiti kao opća kvantifikaciju plodnosti tla.

Kvaliteta tla često se pogrešno izjednačava s *poljoprivrednom produktivnosti* i *održivosti*, a najčešće se definira kao *potencijal tla za obavljanje ekološke funkcije u sustavu, npr. za održavanje biološke produktivnost, raspodjelu i regulaciju kretanja vode u ekosustavu i dr.*

Sustavi za procjenu zemljišne pogodnosti

Tradicionalni sustavi

Holistički pristup u vrednovanju pogodnosti zemljišta

Najjednostavniji modeli su *holistički*, teško ih je formalizirati te se ne mogu ekstrapolirati, ali u vrednovanju pogodnosti zemljišta, npr. za vinovu lozu, često se ističu jer objedinjuju lokaciju (franc. *terroir*) i tradiciju u vinogradarstvu i proizvodnji vina. Premda će uvijek postojati dvojbe oko značaja *terroira* na proizvodnju kvalitetnih vina, mudar vinogradar svakako razumije interakciju terena i kvalitete grožđa, odnosno vina.

Sustavi utemeljeni na maksimalnom ograničenju indikatora

USDA klasifikacija zemljišta (*Klingebiel i Montgomery, 1973., UNEP, 2016.*) je primjer najtradicionalnijeg sustava vrednovanja zemljišta koji omogućuje definicije klasa zemljišne pogodnosti prema stupnju njegovog ograničenja u korištenju. Taj kvalitativni sustav i njegove prilagodbe, kao što su britanski, kanadski i nizozemski, naširoko se koristi širom svijeta i oni su i danas važni alati za evaluacije zemljišnih resursa. Također, u mnogim drugim pristupima klasa pogodnosti tla koristiti se kvalitativno uz načelo maksimalnog ograničenja najznačajnijih indikatora pogodnosti (Tablica 10.).

Tablica 10. Primjer procjene pogodnosti zemljišta po principu maksimalnog ograničenja (*de la Rosa i van Diepen, 2002.*)

Klasa pogodnosti	Zemljišna svojstva			
	Dubina soluma (cm)	Tekstura	Salinitet (mS cm ⁻¹)	Nagib (%)
Vrlo visoka (S1)	>120	srednja	0 - 2	0 - 3
Visoka (S2)	60 - 120	srednja do teška	2 - 4	3 - 8
Umjerena (S3)	30 - 60	srednja do gruba	4 - 8	8 - 15
Niska (S4)	15 - 30	gruba	8 - 10	15 - 30
Nepogodno (N)	<15	vrlo teška	>10	>30

Parametrijske metode

Semikvantitativne metode vrednovanja zemljišta, u koje se ubrajaju i *parametarske procjene*, smještene su na pola puta između kvalitativnih i kvantitativnih metoda. Njihova procjena zemljišne pogodnosti izvedena je u vidu numeričkih vrijednosti iz različitih kvalitativno grupiranih svojstava zemljišta. To su aritmetički sustavi za proračun zemljišne pogodnosti koji uzimaju u obzir najznačajnije atribute zemljišta, ali i njihove međusobne

interakcije. Najčešće su aritmetičke operacije jednostavno množenje, ili indeksiranje parametara kvalitete tla.

Multipli sustavi dodjeljuju odvojene ocjene za različita svojstva zemljišta, a onda se proizvod svih pojedinih ocjena iskazuje kao konačni indeks. Ukupna ocjena ne može biti negativan broj, a ograničenje takvog pristupa je što ukupna konačna ocjena zemljišne kvalitete može biti znatno niža od vrijednosti svakog pojedinog indikatora.

Prva i široko poznata metoda višestrukih kriterija za induktivnu ocjenu produktivnosti tla je prethodno ukratko opisani *Storie Index (SIR, Storie, 1933.)*. Storie je smatrao ocjenu kvalitete tla svojom metodom kao nešto što označava približno zemljišnu pogodnost, a nikako ne kao apsolutnu vrijednost.

Tri ostala poznata sustava, *univerzalni gubitak tla (Universal Soil Loss Equation ili USLE), modificirana verzija USLE metode (Modified Universal Soil Loss Equation ili MUSLE) i revidirana USLE metodologija (Revised Universal Soil Loss Equation ili RUSLE) (UNEP, 2016.)* imaju sličan obrazac procjene kao *Storie Index*, a njima se procjenjuje gubitak tla erozijom množenjem vrijednosti erozibilnih indikatora. Sve tri navedene metode i danas se često koriste u svrhu procjene potencijala erozije, a čimbenici koji utječu na eroziju mogu se predstaviti sljedećom jednadžbom *Renarda i Foster* (1983.):

$$E_r = f(C_i, S_p, T_0, SS, M)$$

gdje je: E_r = erozija, C_i = klima, S_p = svojstva tla, T_0 = topografija, SS = svojstva površinskog sloja tla i M = agrotehnika (antropogeni utjecaji).

Aditivni sustavi procjene zemljišne pogodnosti također dodjeljuju numeričku vrijednost najvažnijim zemljišnim indikatorima pogodnosti, ali umjesto da se množe, parametri se zbrajaju ili oduzimaju od najviše ocjene (uglavnom od 100) te se tako dobije indeks konačne ocjene. Stoga aditivni sustavi imaju prednost pred ostalim parametrijskim metodama procjene zemljišne kvalitete jer mogu uključiti podatke više zemljišnih svojstava od pristupa koji se koriste množenje indikatora pogodnosti. Iskustvo je pokazalo da je četiri do pet indikatora praktično omogućuje primjenu sustava množenja, a pri većem broju indikatora zemljišne pogodnosti konačna ocjena je suviše niska i nepogodna za utvrđivanje razlika. Stoga *aditivni sustavi* omogućuju razmatranje mnogo više pojedinačnih kriterija ili njihovih kombinacija, a prednost im je što niti jedan atribut zemljišta ne može imati *suvišnu težinu* i prekomjerno utjecati na konačnu ocjenu, te je općenito lakše odrediti kriterije za indeks pojedinih svojstva.

Ograničenja aditivnih sustava proizlazi iz njihove složenosti. Kako se broj indikatora zemljišne pogodnosti povećava, konačna ocjena je sve manje realna, a problemi nastaju u slučajevima gdje se moraju uzeti u obzir i negativne ocjene.

Kombinirane metode ocjenjivanja razine produktivnosti tla koriste postupke zbrajanja i množenja indikatora pogodnosti, kao i neke dodatne postupke za dobivanje pojedinih indikatora. Metoda procjene zemljišne pogodnosti za voćnjake, koja je kasnije detaljno opisana (*Vukadinović VI. i Vukadinović Ve.*, 2011.), svakako spada u grupu kombiniranih, a oslanja se na aditivni pristup. Kombinirani pristup procjeni zemljišne pogodnosti zahtijeva analitičku provjeru svakog pojedinog korištenog indikatora kako bi se mogao izraziti matematičkim oblikom djelovanja (*skor funkcija*), te nakon toga integrirati u kompleksnu formulu ocjene. Glavna prednost ovih kombiniranih sustava je da omogućuju integraciju podatak većeg broja indikatora bez dobivanja nerealno niske ili čak negativne ukupne procjene pogodnosti zemljišta.

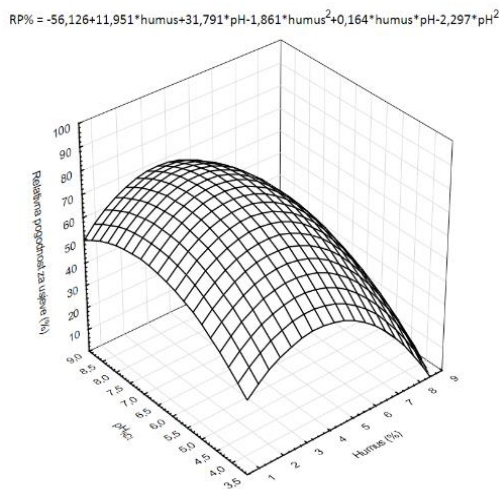
Statistički sustavi

Statistički sustavi se svrstavaju u semikvantitativne metode za predviđanje zemljišne pogodnosti. Za procjenu zemljišne pogodnosti koriste odabrane indikatore, a njihov značaj se analizira statističkim metodama, uglavnom korelacijskom i multiplom regresijskom analizom. Kad su potrebni podaci dostupni i podložni statističkoj analizi (numerička obilježja, npr. mjerenja na terenu, laboratorijske analize, visina prinosa i sl.), rezultati statističkih modela daju objektivnu ocjenu zemljišnih atributa.

Pogodnost zemljišta (odgovor varijabla Y) analizira se kao funkcija:

$$Y = \varphi(X_1, X_2, \dots, X_n) + \varepsilon$$

Neovisne varijable X_1 do X_n odgovaraju svojstvima zemljišta (npr. dubina tla, sadržaj gline, organska tvari, kapacitet izmjene iona, pH itd.), a ε je mjera utjecaja preostalih čimbenika. Kako matematički oblik φ nije poznat, ova funkcija može se



Slika 17. Veza relativne pogodnosti tla za usjeve s humusom i pH_{KCl}

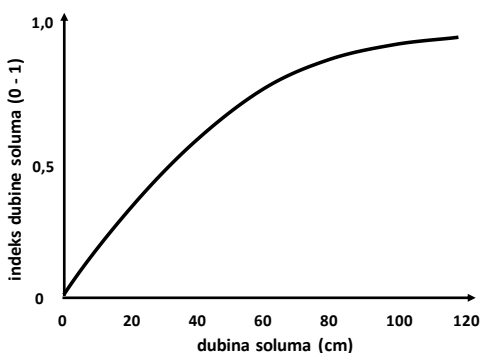
aproximirati na zadovoljavajući način u okviru eksperimentalnog scenarija kao polinomijalna jednadžba, a kalibracija (umjeravanje) modela može se obaviti statističkom analizom multiple regresije, pri čemu regresijski koeficijent (R^2) predstavlja induktivnu valjanost koja odgovara pouzdanosti takvog modela.

Također, korelacijska analiza omogućuje dobar izbor varijabli X u skladu sa njihovim učinkom na Y, odnosno pogodnost tla kao i mogućnost utvrđivanja interakcija između nezavisnih varijabli, odnosno pojedinih svojstava tla.

Ova metodologija je vrlo korisna u predviđanju produktivnost tla za važnije usjeva, a temelji se na integriranom znanja različitih disciplina (statistika i agronomske znanosti) te se u istraživanju tla često koristi za procjenu određenih geotehničkih (npr., plastičnost, zbijanje, vodozračni režim i dr.), ali i pedoloških značajki tla (npr. sadržaj gline, organske tvari, gustoće tla i dr.) kada se zapravo radi o transfer funkcijama, a ne procjeni zemljišnog sustava (Slika 17., Vukadinović Vl. i Vukadinović Ve., 2015.).

Singl faktor sustavi (skor funkcije)

Singl faktor sustavi za procjenu pojedinačnih svojstava tla matematičko-grafički prikazuju utjecaj pojedinih svojstava zemljišta na njegovu mogućnost korištenja. To su tzv. skor funkcije koje pokazuju kako i koliko djeluje pojedini čimbenik (indikator) na zemljišnu pogodnost (npr. dubina tla na biljnu



Slika 18. Utjecaj dubine tla na indeks pogodnosti zemljišta (*de la Rosa i van Diepen, 2002.*)

produkciju (Slika 18.) pa se utjecaj dubine tla na indeks pogodnosti zemljišta može predstaviti skor funkcijom oblika:

$$S_i = 1 - e^{-xS}$$

(x je specifični koeficijent usjeva u cm^{-1} , a S je dubina tla u cm).

Međusobne odnose i vrijednosti pojedinih koeficijenata potrebno je provjeriti u polju vegetacijskim pokusima za svako pojedino agroekološko područje, a skor funkcija dubine tla može biti modificirana tako da uključuje minimalnu dubinu tla potrebnu za pojedini usjev ili nasad. Npr., ako je granična, minimalna vrijednost dubine 20 cm jednadžba je:

$$S_i = 1 - e^{-x(S-20)}$$

Singl faktorski sustavi najčešće se svrstavaju u *indeks pogodnosti tla (SCI, Soil Conditioning Indeks, Zobeck i dr., 2007.)* kojim se predviđa kvalitativno promjena organske tvari u prvih 10 cm površine tla na temelju kombiniranih učinaka tri odrednice organske tvari pomoću sljedeće jednadžbe:

$$SCI = [OM \times (0,4)] + [FO \times (0,4)] + [ER \times (0,2)]$$

gdje je OM organska tvar tla, FO je agrotehnika koja stimulira dekompoziciju organske tvari, a ER odgovara utjecaja erozije vjetra i vode. Dakle, organska tvar tla i agrotehnika utječu na SCI indeks 80 %, a erozija svega 20 %.

Tradicionalni sustavi za procjenu zemljišne pogodnosti orijentirani su na dobivanje praktično primjenjivih rezultat. Oni nude mogućnost prikaza na kartama zemljišne pogodnosti, ali im nedostaje sociološko-ekonomski aspekt koji omogućuje predviđanje troškova i dobiti, odnosno analizu profitabilnosti korištenja zemljišta. Usporedba tradicionalnih sustava za procjenu zemljišne pogodnosti pokazuje jasnu sličnost u pristupu klasifikacije zemljišne pogodnosti (Tablica 11.):

Tablica 11. Usporedba između definicije klasa različitih sustava bonitiranja zemljišta (Dorrnsoro, 2013.)

Pogodnost zemljišta	LLC	SIR	RPI	FK
Intenzivna kultivacija	I	1	P1	S1
Umjerena kultivacija	II	2	P2	S2
Ograničena kultivacija	III	3	P3	
Povremena kultivacija	IV	4		S3
Pašnjaci	V, VI	5	P4	N
Šume	VII	6	P5	
Prirodne rezerve	VIII			

Land Capability Classification (LCC), Storie Index (SIR), Riquier Productivity Index (RPI) i FAO Framework (FK).

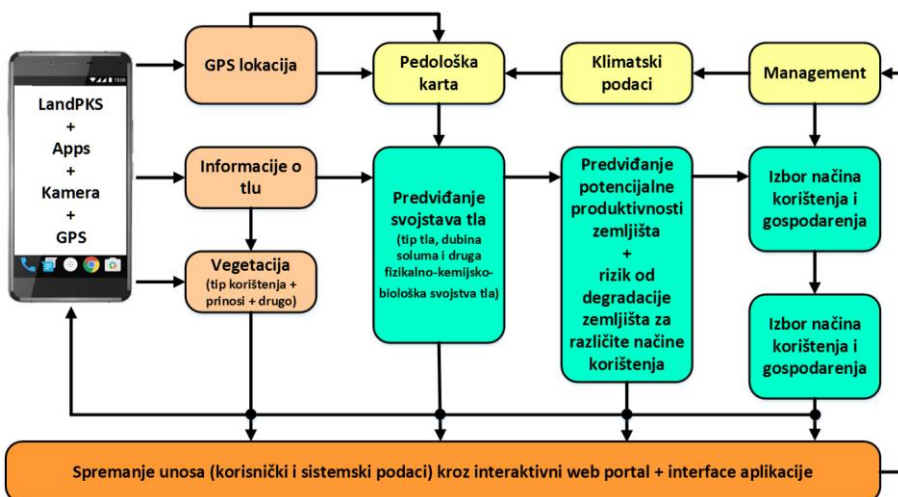
Suvremene metodologije

Ekspertni sustavi

Ekspertnost se može definirati kao natprosječno znanje, razumijevanje i vještina rješavanja problema u određenoj oblasti te se pod ekspertnim sustavom podrazumijeva računalno (programsko) uspostavljanje dijela vještine nekog eksperta koje se temelji na znanju i u takvom je obliku da sustav može ponuditi inteligentan savjet ili preuzeti inteligentnu odluku. *Ekspertni sustavi* posjeduju i svojstvo da na zahtjev verificiraju svoje rezoniranje tako da direktno izvještavaju korisnika koji postavlja pitanje.

Ekspertni sustavi temelje se na činjenici kako se svaki oblik znanja može predstaviti simboličkim izrazima i prikazati formalno te se rješavanje problema oslanja na simuliranje deduktivnih i induktivnih procesa ljudskog mišljenja, odnosno metoda uopćavanja na temelju činjenica i analogije s otprije poznatim situacijama. Oni su dio *umjetne (artificijelne) inteligencije*, a zapravo to su računalni programi koji kroz simulaciju stvarnog proizvodnog sustava omogućuju rješavanja problema bez sudjelovanja stručnjaka, odnosno eksperata za to područje.

Ekspertni sustavi formaliziraju stručne prosudbe o pojedinim zemljišnim svojstvima. *Empirijsko-statistički modeli* omogućuju kvantitativnu predikciju prinosa usjeva dok dinamički simulacijski modeli koriste vremenski slijed ulaznih podataka za simulaciju biofizikalnih mehanizama (npr. rasta, razvitka i tvorbe prinosa) i prema zakonima prirode daju odgovore za različite agroekološke uvjete.



Slika 19. Dijagram toka ekspertnog sustava LandPKS za procjenu zemljišne pogodnosti (Heerick i dr., 2016.)

Ekspertni sustavi (Slika 19.) dijele se obzirom na oblast primjene ili prema tipu zadataka u nekoliko grupa:

- Ekspertni sustavi za interpretaciju podataka,
- Sustavi za prognozu,
- Sustavi za projektiranje,
- Ekspertni sustavi za planiranje i postizanje određenog cilja i
- Sustavi za upozoravanje koji signaliziraju kad je potrebna intervencija.

Na primjeru jednog jednostavnog pravila (*Rule*) ekspertnog programa za klasifikaciju pogodnosti zemljišta u Indiji (Parthiban i Balakrishnan, 2016.),

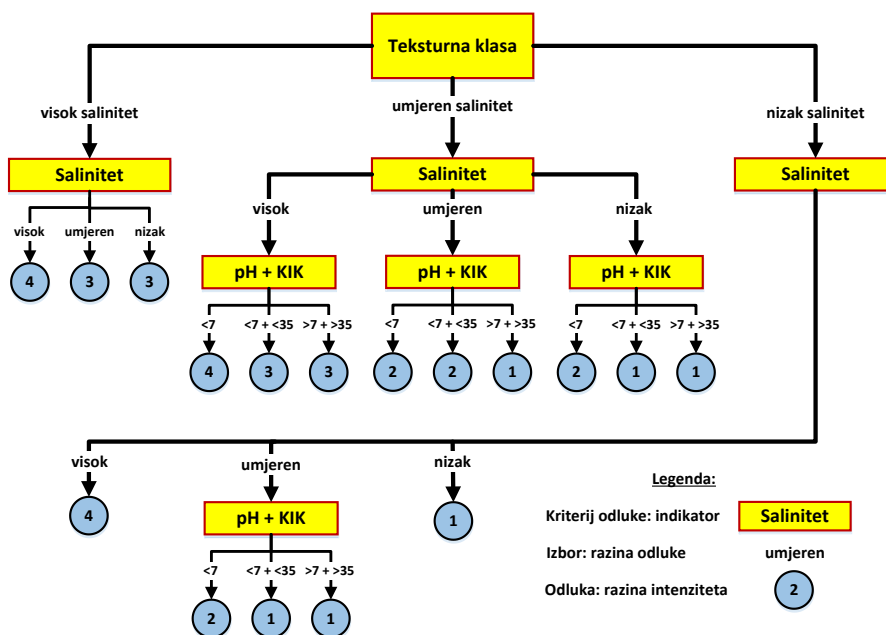
moguće je shvatiti kako takvi programi funkcioniraju koristeći logičke operatore:

Rule1()

```
{
if (DEPTHS >=val && DEPTHS <= val && SAND <= val && SILT <= val && CLAY <=
val && AVAILK <= val && SLOPEID >= val && SLOPEID <= val)
{if ( PH> val || PH< val || EC > val || EC < val || ORGC > val || ORGC < val || EXCHBS >
val || EXCHBS < val || AVAILP > val || AVAILP < val) {
else
{LIMITD = limitclass;
SUITD = suitclass;
}
}
```

val = numerička vrijednost zemljišnog indikatora; DEPTHS = dubina soluma, SAND = pjeskovita tekstura tla; SILT = praškasta tekstura tla; CLAY = glinasta tekstura tla; AVAILK = raspoloživi kalij; SLOPEID nagib tla; pH = pH tla; EC = elektroprovodljivost tla; ORGC = organski C tla; EXCHBS = % izmjenjivih baza na KIK-u; LIMITD = ograničeno plodno tlo; SUITD = pogodno tlo.

if = „ako je“; else = „tada je“; && = i (and); || = ili (or); > „veće“; < „manje“; >= „veće ili jednako“; <= „manje ili jednako“



Slika 20. Izgled stabla odluke klasifikacije zemljišne pogodnosti temeljem saliniteta (de la Rosa i van Diepen, 2002.)

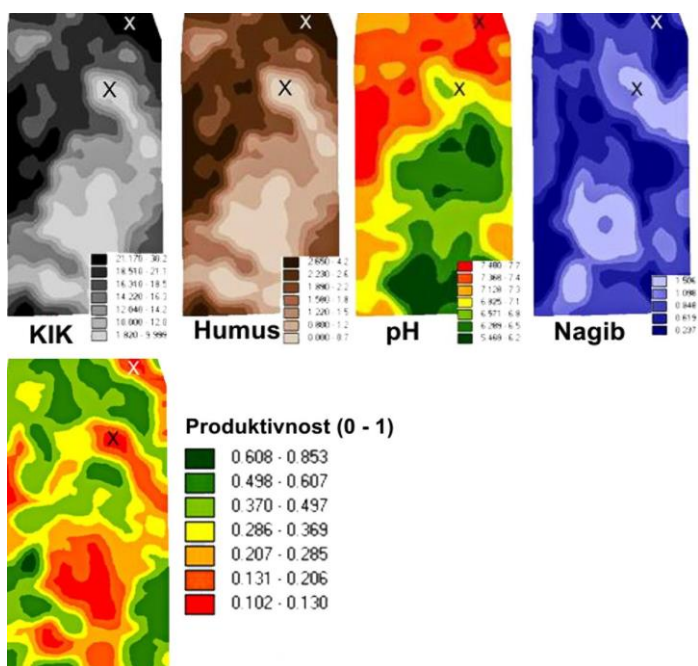
Sustavi za procjenu pogodnosti zemljišta, zbog većeg broja indikatora svojstava tla, koriste stabla odlučivanja uspoređujući svojstva tla i mogućnost njegove uporabe. Stabla odlučivanja su hijerarhijske strukture u kojem su izbori (klasa/rang) razina zemljišnog svojstva, a unutarnji čvorovi stabla odlučivanja determinacija prikladnosti klase zemljišta pa stablo odlučivanja dobro vizualizira slijed odluka (Slika 20.).

Kada su dostupni potrebni podaci, statistička analiza stabla odluke se može koristiti za generiranje modela vrednovanja zemljišta visoke pouzdanosti, a to je osobito korisno kada pretpostavke za druge statističke modele nisu ispunjena. Ovakva analiza je iterativan proces identifikacije ključnih atributa zemljišne pogodnosti i prikladna je pod uvjetima uskog omjera između broja opažanja i broja varijabli, što je pak tipično za ocjenu zemljišnih resursa.

Potrebno je posebno spomenuti automatizirani sustav evaluacije zemljišta *ALES* (*The Automated Land Evaluation System*, Rossiter, 1996. i 2012.), računalni program koji omogućuje izgradnju ekspertnih sustava za procjenu zemljišnih jedinica u skladu s metodama *FAO* ocjenjivanja (1976.) uzimajući u obzir lokalne uvjete i ciljeve. *ALES* nije ekspertni sustav sam po sebi i ne uključuje bazu znanja o zemljištu ili njegovom korištenju, već je to ljuska ekspertnog sustava u koju se ugrađuju podaci o kvaliteti tla, zemljišnim svojstvima, tipu korištenja zemljišta i dr. za lokalne agroekološke zone.

Fuzzy-Set metodologije

U tradicionalnim procjenama zemljišne pogodnosti metodologija podrazumijeva primjenu *Boole-ovu algebre* koja je temelj računalne logike (*George Boole*, 1815. - 1864.) u determiniranju maksimalnog ograničenja čimbenika. Međutim, porastom broja indikatora, koji često nisu posve



Slika 21. Fuzzy klasifikacija produktivnosti tla (*Veris Technologies*, 2012.)

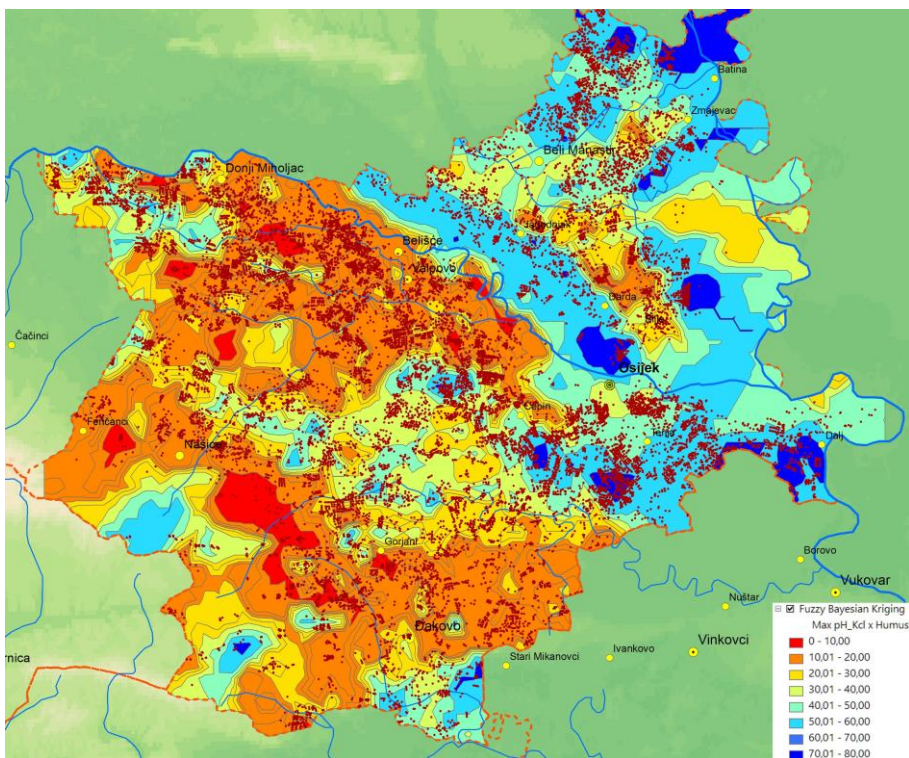
pouzdati ili točni, raste potreba korištenja neizrazite ili *fuzzy logike* (izrazita logika ima samo dvije vrijednosti: istina i neistina, dok *fuzzy logika* ima više vrijednosti istinitosti, slično ljudskom razmišljanju). Stoga je u posljednjih 20-ak godina sve veći interes za korištenje *fuzzy-set metodologije* u procjeni zemljišne pogodnosti (Slika 21.), a to se može smatrati novom fazom u kvantifikaciji zemljišne produktivnosti (Torbert i dr., 2008., Kaufmann i dr., 2009.).

Korištenje strogih *Boole-ovih pravila* s jednostavnom točno/netočno logikom prekruto je i često nije prikladno za procjenu zemljišta zbog kontinuirane prirode varijacija tla i nesigurnosti ili netočnosti vrijednosti indikatora. U svakom slučaju, procjena zemljišne pogodnosti pomoću *fuzzy metodologije* ima ograničenja, kao i sve druge metodologije, koja su uzrokovana nedostatkom podataka, ali i potrebnog znanja.

Vrlo lijep prikaz primjene *fuzzy metodologije* za procijene produktivnosti nehomogenog poljoprivrednog zemljišta su slika 21. i 22. Na slici 21. svojstva zemljišta utvrđena su primjenom senzora, dok je na slici 22. prikaz *fuzzy modela procjene zemljišne pogodnosti* Osječko-baranjske županije uz pomoć GIS-a za dva glavna indikatora plodnosti, humus i pH (19.987 mjerenje u 13 godina provođenja Kontrole plodnosti na OBŽ (Vukadinović, Vl., 2016., neobjavljeno). Korištenjem velikog broja podataka *fuzzy metodologijom* omogućeno je kreiranje pouzdanih karata produktivnosti poljoprivrednog zemljišta kao značajna pomoć poljoprivrednim proizvođačima.

Korištenje ove metodologije u procjeni zemljišne pogodnosti od osobite je važnosti kad neko svojstvo zemljišta može biti minimizirano kad je vrijednost nekog svojstva izvan ranga. Kruta *Boole-ova logika* procjene zemljišne pogodnosti zamjenjuje se najčešće *fuzzy logikom* kod indikatora koji ne odgovaraju strogoj definiciji klase pogodnosti. Primjerice, kad je vrijednost zemljišnog indikatora izvan raspona definiranog razreda pogodnosti, npr. $0,0 < RP < 1,0$), primjena *fuzzy metodologije* uklanja ograničenja *Boole-ova logike* koja ima samo dvije mogućnosti: potpun ($RP = 1$) ili nijedan ($RP = 0$). Zemljišna svojstva, koja su razvrstana u klase tim pristupom se svrstavaju u pripadnost članstvu, ovisno o vrijednosti obilježja.

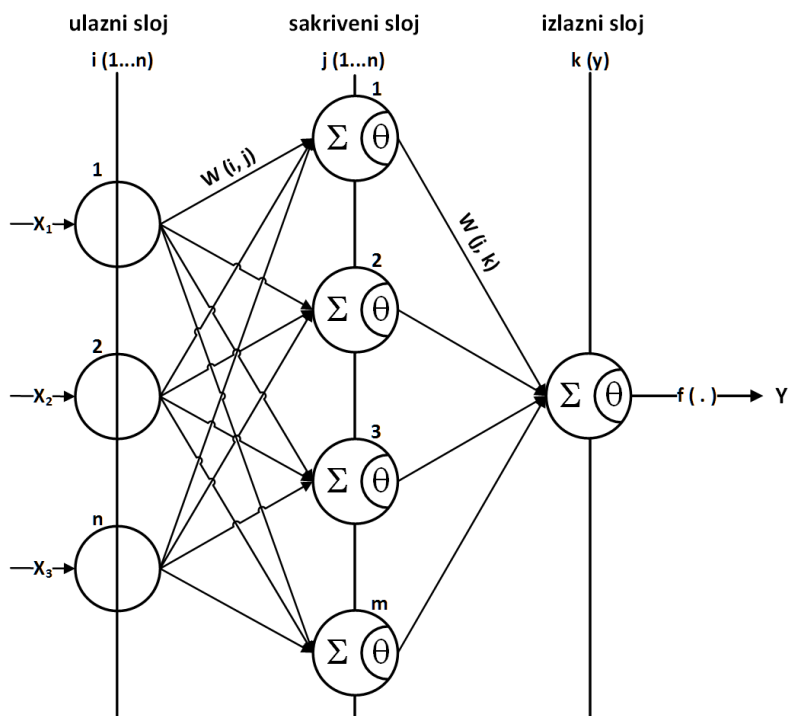
Metodologija ANN procjene kvalitete zemljišta uglavnom je razvijena kako bi se mogao simulirati rast usjeva pod utjecajem vode, hraniva u tlu i dr. Takvi modeli simulacije su *deterministički* i temelje se na razumijevanju stvarnih mehanizama, ali uključuju i *empirijsku* (iskustvenu) komponentu u svojim opisima podsustava.



Slika 22. Predikcija zemljišne pogodnosti GIS-om fuzzy metodologijom za dva indikatora zemljišne pogodnosti (Fuzzy Overlay - product: $\text{pH}_{\text{KCl}} \times \text{Humus \%}$, 19.987 lokacija uzorkovanja tla.

Interes za primjenom sustava neuronskih mreža u inženjerskim, poljoprivrednim i ekološkim znanostima naglo raste u posljednjih 20-ak godina jer ANN tehnologija zasnovana na umjetnoj inteligenciji ima vrlo dobru sposobnost rješavanja nelinearnih i multivarijatnih sustava. Također, pokazalo se da takvi sustavi dobro razlikuju relevantne podatke od nekorisnih te temeljem visoke sposobnosti generalizacije, slične ljudskom razmišljanju, mogu obraditi vrlo složene, ili čak do sada nerješive probleme.

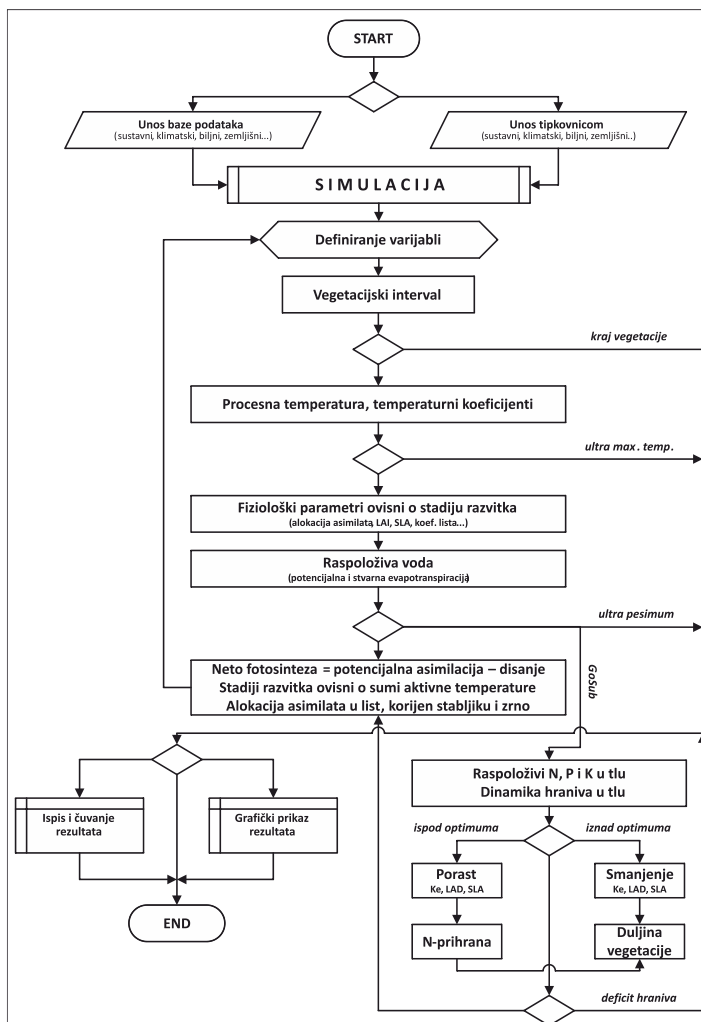
U vrednovanju zemljišta, ova tehnika omogućuje razvijanje sofisticiranih semikvantitativnih modela koji se nakon programiranja i faze testiranja neuronske mreže mogu praktično primjenjivati.



Slika 23. Struktura neuralne mreže

Dinamičko-simulacijski modeli

Dinamičko-simulacijski modeli mogu opisati kvantitativno biofizičke procese agroekosustava, kao što su rast usjeva, stanje tla, vode, ispiranje hranjivih tvari ili erozije tla (Vukadinović, Vl. i Sarić, 1990., Slika 24.). Ovi modeli se primjenjuju u ratarstvu, kod utvrđivanja posljedica suše, gubitaka hraniva ili tla erozijom za različite tipove uporabe zemljišta i kad je zemljišnu pogodnost potrebno stvarno kvantificirati. Kada se primjenjuju tijekom više godina i za više površina, rezultat modeliranja predstavlja skup prosječnih podataka i njihovih varijacija koje se mogu vrlo dobro iskoristiti kao *performans indeksi* zemljišne pogodnosti, ili kao tehnički koeficijenti korištenja zemljišta u sljedećem koraku obrade podataka (De la Rosa i dr., 2004.).



Slika 24. Shema dinamičkog modela organske produkcije s vremenskim inkrementom (Vukadinović i Sarić, 1990.) s podmodelima u hijerarhijskoj strukturi

Najveće ograničenje primjene simulacijskih modela je potreba za velikom količinom ulaznih podataka, te ih je teško kalibrirati i provjeriti za druge agroekološke uvjete, ali simulacijski modeli mogu pružiti kvantitativne informacije o proizvodnim svojstvima tla, naročito o režimu vode i hraniva u tlu i kako to utječe na visinu uroda. Dinamička simulacija daje vremensku dimenziju evaluaciji zemljišta i zemljišnih uvjeta.

Također, simulacijsko modeliranje jako je napredovalo u proučavanju odnosa tlo/rast biljaka/kontaminacija, posebice na lokalnoj razini, ali njihova ekstrapolacija na regionalnoj razini još uvijek ne zadovoljava. Treba istaći da

kombinacija empirijskih tehnika procjene zemljišta, korištenje baze podataka i simulacijskih modela u istraživanju tla daje sve bolje rezultate kroz razvoj meta-modela za vrednovanje zemljišta.

Hibridni sustavi

U procjeni zemljišne pogodnosti sve češće se primjenjuju *hibridni sustavi* koji su najčešće kombinacija ekspertnih, dinamičko-simulacijskih i modela neuralnih mreža. Naime, povezivanje dvije vrste modela, u kojem jedan zaključuje kvalitativno, a drugi kvantitativno, rezultati procjene zemljišne pogodnosti su visoke pouzdanosti, odnosno na razini ekspertnih modela. Stoga hibridni pristup pokazuje vrlo dobre rezultate u ekspertnim sustavima za procjenu biljne proizvodnje kao i dinamičkim sustavima, npr. simulaciji vodnog režima tla.

Mješoviti model može sadržavati stablo odlučivanja na temelju kvalitativnih podataka u kombinaciji s kvantitativnim podacima, takvi modeli procjene zemljišne pogodnosti i zemljišnih uvjeta koriste se često u dinamičkoj simulaciji vode u tlu, za procjenu rizika erozije i drugdje, a daju vrlo dobre mogućnosti predviđanja temeljem sposobnosti generalizacije kvantitativnih indikatora.

Automatizirane aplikacije

Procjene zemljišne pogodnosti često se provode prema nepoznatom scenariju. U tom slučaju najčešće se koristi *scaling-up* proces (postupno povećanje) koji kreće od reprezentativnih, dobro proučenih područja prema primjeni za nepoznate scenarije. Nakon unosa velikog broja podataka u takve aplikacije, njihova obrada obavlja se pomoću računala što omogućuje povezivanje baza podataka, računalnih programa i GIS alata pa automatizirane aplikacije predstavljaju alate za podršku odlučivanju u korištenju zemljišnih resursa, npr. LandPKS, MicroLEIS, ALES, WOCAT (UNEP, 2016).

Mediteranske zemlje koriste informacijski sustav MicroLEIS (*De la Rosa i dr.*, 2009.), koji je integrirani sustav podataka o zemljištu i agro-ekološke procjena zemljišta. To je interaktivni softver za sveobuhvatnu dokumentaciju planiranja, istraživanja ili edukacije za održivo korištenje i upravljanje ruralnim resursima, posebno u mediteranskim regijama. Ovaj sustav pruža računalni skup alata za praktičnu interpretaciju podataka zemljišnih resursa.

Baze zemljišnih podataka

Primjena različitih sustava procjene zemljišta i analiza podataka može biti uvelike olakšana ako su potrebni podaci sustavno sortirani i pohranjeni u formatu pogodnom za njihov dohvat i obradu (*Vukadinović, 1990.*). Informacijski sustavi o zemljištu danas su utemeljeni na informatičkoj tehnologiji, a sastoje se od atributa tla (indikatora) pohranjenih u relacijske baze podataka te se prostorna komponenta rješava pomoću zemljopisnog informacijskog sustava (*FAO and European Commission, 1999., van Engelen i Dijkshoorn, 2013., FAO, 2016. i dr.*).

Razvoj civilizacije do sada se temeljio uglavnom na aktivnosti oko osiguravanja, prerade i uporabe prirodnih sirovina na čemu je utemeljeno i suvremeno industrijsko društvo. U posljednje vrijeme, napredak se sve više oslanja na uporabu ogromnog broja različitih informacija. To su osnovni razlozi što se informacija sve ozbiljnije shvaća kao značajan resurs s tendencijom da nadmaši sve do sada poznate prirodne i materijalne resurse. Informacija ima nekoliko svojstava zbog kojih se može smatrati resursom:

- Informacija je za razliku od ostalih resursa neiscrpna jer nema prirodno porijeklo,
- Uporabom informacije ne uništava se njen sadržaj,
- Informacija je višeznačna jer se može istovremeno koristiti u različitim djelatnostima, za različite potrebe i od strane više korisnika,
- Većim intenzitetom uporabe informacije dobivaju sve više na značaju, jer informacija koju nitko ne koristi nema (trenutno) vrijednost i
- Čovjek, odnosno njegovo znanje i sposobnost, su jedino ograničenje u stvaranju i uporabi informacija što predstavlja jak izazov njegovim stvaralačkim mogućnostima.

U kompjutorskom informacijskom sustavu informacije se razvrstavaju prema nekim sličnostima ili vezama u grupe koje nazivamo *datotekama*, a više različitih datoteka, potrebnih za cjelovitu uporabu sačinjava *bazu podataka*. *Stoga je baza podataka skup strukturno organiziranih podataka između kojih postoje određene veze.*

Kapacitet baze podataka ograničen je praktično veličinom jedinice masovne memorije nekog kompjutora (a ne radnom memorijom), pa kod računala u mreži niti takvo ograničenje ne postoji. Suvremene baze su najčešće relacijske u kojima su podaci organizirani u tablicama, a terminologija relacijskih baza je slijedeća:

- 1) *Objekt (događaj) u realnom svijetu o kojem čuvamo podatke to je entitet,*
- 2) *Entitet ima svoja svojstva (atribute), tip podataka,*

- 3) *Redak tablice (slog, record) sadrži sva svojstva konkretnog objekta,*
- 4) *Stupac (polje, field) u tablici sadrži podatke o nekom svojstvu za sve entitete,*
- 5) *Primarni ključ jedinstveno određuje konkretni objekt,*
- 6) *Veza je odnos između dvije ili više instanci istog ili različitih entiteta, a u relacijskom modelu ostvaruje se dinamički prema potrebi i*
- 7) *Program za upravljanje bazom podataka (Database Management System, DBMS)*

Modeli baze podataka mogu biti:

- *Relacijski (formalni matematički model),*
- *Hijerarhijski (povezane grupe podataka organizirane u čvorove, nalik obiteljskom stablu),*
- *Mrežni (veza između slogova je neposredna – „jedan više” ili „manje jedan”) ili*
- *Objektni (podaci se definiraju kroz objekte koji sadrže podatke).*

Relacijska baza ima slijedeća jasno izražena svojstva:

- *Informacije su svrstane u tablične strukture s međusobnim vezama koje su nevidljive za korisnika,*
- *Korisnik komunicira s bazom podataka pomoću jezika visokog stupnja bez algoritamskih ili proceduralnih specifikacija, odnosno, konverzacija se može normalno odvijati i bez pisanja složenih programa i*
- *U relacijskoj bazi nema redundancije, odnosno višestruko korišteni element baze javlja se samo jednom, a svi elementi povezani s njim organiziraju svoje veze.*

Načini organizacije podataka u bazama:

Svaki model podataka mora biti vjeran opisu realnog sustava, a ima tri neodvojive komponente: 1. *Strukturu podataka*, 2. *Operacije nad podacima* i 3. *Ograničenja*.

Identificirati entitete, njihova svojstva i odnose znači praktično izgraditi model podataka.

Računalni programi

Numerički podaci imaju svoju punu vrijednost unutar sustava kojem pripadaju. Podatak može biti polazna točka nekog sustava ili njegova trenutna karakteristika koja se djelovanjem samog sustava mijenja i istovremeno utječe na njegovu promjenu. Podatak može biti i konačna vrijednost, tj. rezultat djelovanja nekog sustava. Matematičkim definiranjem svih parametara nekog sustava, uključujući međusobne odnose podataka i stanja

sustava u funkciji vremena, moguće je jednoznačno opisati svaki poznati sustav. *Matematičkim metodama najlakše je opisati sustave s jasno definiranim odnosima, dok je sustav koji uključuje procese živih organizama izuzetno složen.*

Definiraju li se matematičkim jezikom (varijable, jednadžbe, funkcije...) karakteristike nekog sustava, tada je to *matematički model sustava*. Ako se radi o modelu rasta i razvoja živog organizma koji uključuje etape razvoja i na kojeg utječu razni čimbenici različitih intenziteta i podrijetla (klimatski, pedološki, biološki, genetski...), tada model mora sadržavati podmodele u kojima je definiran svaki (ili grupa) čimbenika i njihov utjecaj na stanje sustava (životni procesi). Pošto je rast i razvoj živog organizma dinamičan proces s vremenskom dimenzijom, to i matematički model mora definirati početno stanje i sve promjene sustava u određenim vremenskim razmacima koje će sukcesivno pratiti dinamiku rasta i razvoja i rezultirati konačnim vrijednostima, tj. završnim stanjem modeliranog sustava.

Modeli nisu nužno matematički (*apstraktni*) već mogu biti i stvarni (*fizički*) i služe za konkretnu provjeru funkcioniranja modeliranog sustava. Na primjer, uzgoj biljaka u kontroliranim uvjetima predstavlja simulaciju djelovanja intenziteta nekog stvarnog proizvodnog čimbenika ili njegove interakcije s drugim čimbenicima.

Matematički model implementiran na kompjutoru (uz pomoć algoritma), u nekom od programskih jezika, predstavlja *kompjutorski pokus*, a kompjutorsko izvođenje takvog eksperimenta označava se pojmom *kompjutorska simulacija*.

Simulacijski modeli sadrže uglavnom poznate zakonitosti, ali u kompleksnim modelima s nepredvidljivim razvojem procesa često prevladava empirijska osnova s elementima teorije vjerojatnosti (*Heuristic method*).

Kompjutorska simulacija omogućuje pronalaženje boljih i najboljih scenarija razvoja nekog sustava uključujući i ponašanje stvarnih pa i bioloških sustava.

Biološki i društveni sustavi kategoriziraju s aspekta složenosti u *crnu kutiju (Black box)*, ekonomski i ekološki u *tamno sivu kutiju (Dark grey box)*, transportni, energetske i hidrološki u *sivu kutiju (Grey box)* i konačno, jasni i razumljivi sustavi kao što su mehanički, električki, upravljanje procesima, letjelicama itd. u *bijelu kutiju (White box)*.

Simulacija u širem smislu podrazumijeva niz aktivnosti od eksperimentiranja na stvarnom sustavu do analize eksperimentalnih rezultata, odnosno

modeliranje stvarnog sustava, kompjutorsko programiranje i eksperimentiranje s modelom.

Algoritmi za procjenu zemljišne pogodnosti, u formi kompjutorskog programa, omogućili su automatizaciju te je danas veoma velik broj različitih računalnih modela koji se lako primjenjuju. Korisničko sučelje omogućuje dobru komunikaciju s bazama podataka i GIS-om što olakšava njihovu masovnu primjenu.

Računalni programi za procjenu zemljišne pogodnosti mogu biti na raspolaganju velikom broju korisnika putem internete preko web poslužitelja i web preglednika. Web aplikacije su dostupne za javnost i te imaju niz prednosti, kao što je njihovo korištenje od strane velikog broja korisnika, čime se omogućuje njihova upotrebljivost i poboljšanje sustava.

Alati za optimizaciju

Evaluacija zemljišnih resursa alatima za podršku odlučivanja omogućuje korisnicima izbor optimalnog korištenja i upravljanje resursima. U tom smislu, alati za optimizaciju vrednovanja zemljišnih resursa su vrlo važni za formuliranje alternativnih odluka, npr., uvođenje poljoprivredne prakse koja će smanjiti rizik održivosti uzgojnog sustava. Naime, korištenjem zemljišta pokušavamo zadovoljiti više, često proturječnih ciljeva, odnosno najbolji uvjeti za rast biljaka vjerojatno nisu najbolje za sprječavanje erozije ili onečišćenja okoliša. Stoga se razvijaju posebni alati za optimizaciju koji mogu, u odnosu na većinu modela za evaluaciju zemljišta formulirati optimalnu strategiju upravljanja poljoprivrednom proizvodnjom.

Prostorna analiza

U završnoj fazi vrednovanja zemljišta, prostorna analiza obuhvaća korištenje prostornih tehnika za predikciju i vizualizaciju produktivnih i drugih svojstava zemljišta na kartama. Korištenje geostatističkih tehnika i alata geografskog informacijskog sustava (GIS) omogućeno je brzo generiranje tematskih karata s procjenom zemljišne pogodnosti za različite namjene. Takva metodologija omogućuje mnoge analitičke postupke nad prostornim podacima, npr. kombiniranje različitih skupina informacija putem slojeva, agregaciju sličnih svojstava zemljišta, interpolaciju za širi prostor na temelju postojećih vrijednosti i dr. Također, digitalne satelitske snimke mogu se ugraditi izravno u mnogim GIS paketa pa ovakva tehnologija je preduvjet za upravljanje velikim brojem informacija za širi poljoprivredni prostor.

Geostatistička prostorna analiza omogućuje da se na temelju relativno malog broja (dobro raspoređenih) uzoraka predvidi prostorni raspored istraživanog

svojstva/atributa/indikatora zemljišta metodama geostatističke vizualizacije i/ili predikcije (*Burrough, 2001, Krivoruchko, 2015., ILVIS, 2015.*). *Postupak kriginga* je napredna interpolacijska metoda za procjenu vrijednosti *regionalizirane varijable (prostorna vrijednost)* u točkama odabrane mreže (grid). *Regionalizirana varijabla* često je u pedologiji, geologiji i dr. *slučajna varijabla*, odnosno njene vrijednosti imaju određenu, najčešće normalnu raspodjelu. *Kriging* (prema južnoafričkom inženjeru *Krigeu, 1951.*) se temelji na upotrebi postojećih (tzv. *kontrolnih točaka*) čiji je utjecaj na procjenu izražen odgovarajućim *težinskim koeficijentima*.

Procjena krigingom podrazumijeva nepristrasnu procjenu, odnosno varijanca razlike između stvarnih i procijenjenih vrijednosti je u odabranim točkama najmanja moguća (varijanca kriginga). Na taj način se određuje pouzdanost procjene te kvaliteta odabranog prostornog modela.

Danas se koristi više varijanti *kriginga* kako bi se izvorni algoritam prilagodio različitim skupovima ulaznih podataka, odnosno različitim željenim izlazima. Osim *kriginga* koriste se i druge metode interpolacije npr. *Inverse Distance Weighting* koja također koristi kontrolne točke s odgovarajućim težinskim koeficijenti (ovisno o udaljenostima), ali je procjena drugačija i pojednostavljena. *Minimum curvature (metoda minimalne zakrivljenosti)* pogodna je za veće setove podataka i može ekstrapolirati grid vrijednosti izvan dosega datih podataka, ali ne spada u egzaktne interpolacijske metode.

Koncept zemljište

Modeli su klasificirani prema složenosti računanja (kvalitativno do kvantitativno), *deskriptivno složeni*, (empirijski do mehanicistički) i mogu biti različite organizacije. *Biofizički modeli* su uglavnom pojednostavljeni sustavi korištenja zemljišta koji omogućuju predviđanje i prije njihove stvarne primjene. Njima se predviđa korištenje zemljišta u fizičkom, kvantitativnom smislu, kao što su prinos usjeva, opskrba hranjivim tvarima, učinci na okoliš, opasnost od erozije, obradivost i dr. te utjecaj na gospodarenje zemljištem. Također, modeli za vrednovanje zemljišta mogu biti temeljeni na zemljišnim svojstvima (zemljišnim indeksima, visini prinosa, cijeni zemljišta, plodnosti/kakvoći ili kombinaciji, npr. cijeni zemljišta i postignutim prinosima), pa čak i na razlici prema drugim tipovima korištenja zemljišta, ali se uvijek unutar modela uspostavlja red važnosti ili hijerarhija pojedinih svojstava.

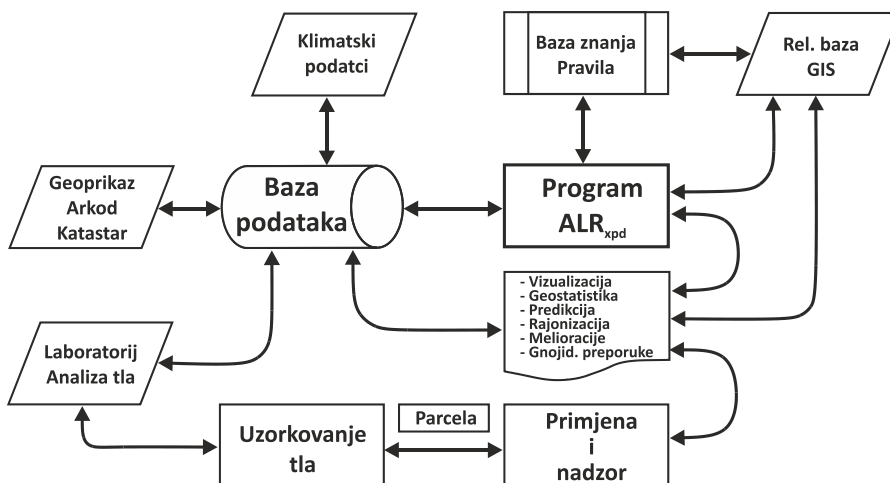
U svijetu postoji niz interpretacijskih baza zemljišnih resursa, npr. SAD na nacionalnoj razini koriste više različitih baza kao što su *State Soil Geographic*

Database (STATSGO), Soil Survey Geographic Database (SSURGO), Map Unit Interpretation Record Database (MUIR), National Soil Characterization Database (NSSC), a na razini pojedinih država vrlo je interesantna ISPAID baza tala Iowe (Iowa Soil Properties and Interpretations Database, 2015.) koja koristi gotovo 110 parametara za kvantifikaciju kapaciteta produkcije i pravi je primjer moderne interpretacijske baze.

U najrazvijenijim zemljama svijeta tlu se, kao izuzetno važnom resursu, pridaje važnost nezamjenjivog prirodnog resursa. Zbog toga se pokušavaju utvrditi i kvantificirati svi čimbenici koji utječu na svojstva tla i njegovo korištenje kako bi se tlo očuvalo, zaštitilo od degradacije ili onečišćenja, povećala njegova produktivnost i omogućilo planiranje proizvodnje dovoljne količine i kvalitetne i zdravstveno ispravne hrane. U tom se smislu istražuju sva svojstva tla i klime, antropogeni i drugi utjecaji, a podaci se spremaju u *kompjutorske baze podataka* u kojima se kompleksnim i sofisticiranim načinom interpretiraju i tako oplemenjeni svestrano koriste. Naravno, s tom svrhom razvijeno je niz *kompjutorskih modela* prilagođenih različitim namjenama, agroekološkim i drugim uvjetima, različite složenosti i najčešće podržanih GIS-om, odnosno geostatističkom analizom i predikcijom prostornih svojstava. Budući da je model pojednostavljeni prikaz izračunate stvarnosti dobivene bez potrebe za obavljanjem pokusa, modeli se uspješno primjenjuju u procjeni/vrednovanju zemljišta, čemu smo i mi doprinijeli (Slika 25.), primjerice model Kontrole plodnosti u Osječko-baranjskoj županiji (Vukadinović, 2016.).

Na Poljoprivrednom fakultetu u Osijeku u posljednjih 25 godina (Vukadinović, Vl., 2003., Vukadinović, Vl. i dr., 2008., Vukadinović Vl., 2016.) kreira i razvija interpretacijsku bazu tala istočne Hrvatske kao i kompjutorske modele za potrebe analize, prognoze, planiranja poljoprivredne proizvodnje i provođenje mjera čuvanja tla. Interpretacijska baza temelj je razvoja ekspertnog sustava odlučivanja o racionalnoj gnojidbi ratarskih usjeva, povrća te višegodišnjih kultura, ali i kondicioniranja zemljišta, uklanjanja faktora ograničenja u proizvodnji i savjeta poljoprivrednim proizvođačima u duhu dobre poljoprivredne prakse. Nakon što se ALR_{xp} kalkulatorom utvrdi potreba gnojidbe, uz mjere tehnološke i ekonomske optimizacije uzgoja planiranih usjeva i mjere popravke tla, podaci iz izlazne baze u dbf formatu vizualiziraju se tematskim kartama u GIS-u. Time je ostvareno najvažnije svojstvo informacijskog sustava da se nakon prikupljanja podataka, njihovog pohranjivanja, ažuriranja i analiziranja, kreiraju kvalitetne informacije potrebne za donošenje ispravnih odluka o korištenju zemljišta. Baza podataka

o tlu i biljnoj proizvodnji kombinirana s prostornim podacima (karte zemljišta) uz implementaciju GIS tehnologije čini *zemljišni informacijski sustav* tala istočne Hrvatske za usjeve i posebno za trajne nasade.



Slika 25. Dijagram toka interpretacijske baze tala Osječko-baranjske županije (Vukadinović, 2010.)

U principu, prihvaćanje tzv. *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 analizu nije presudno je li tlo homogeno, već koliko nehomogenost utječe na kapacitet produktivnosti pod određenim uvjetima njegove uporabe.

Koristeći suvremenu metodologiju i klasične analize procjene pogodnosti zemljišta (fizikalne, kemijske, biološke i dr.) moguće je razviti kompleksan programski alat za odlučivanje o potrebi kondicioniranja tla, eliminiranja čimbenika minimuma, izradu gnojidbenih preporuka uz davanje agrotehničkih savjeta proizvođačima, očuvanje i zaštitu prostora i dr. te provesti rajonizaciju ratarske i voćarsko-vinogradarske proizvodnje. Prednosti takvog pristupa su brzina i pouzdanost informacijskog sustava, utemeljenog na GIS-u, za utvrđivanje agroekoloških i ekonomskih rizika kod izbora terena/tla za usjeve, povrće, zasnivanje voćnjaka i vinograda i dr.

Produktivnost tla opisuje se indikatorima (parametrima, atributima) koji mogu biti jednostavni (dubina, nagib, količina oborina itd.), ili složeni od interakcija nekoliko jednostavnih (kapacitet za vodu, propusnost tla ili

prirodna plodnost). Ukupnost svih karakteristika daje *zemljišnu kakvoću* koja je određena interakcijom jednostavnih i složenih parametara s različitom težinom za različite uvjete, ovisno o vrijednosti svih parametara na jednom mjestu. Npr., opskrbljenost biljaka vodom određena je jednostavnim parametrima kao što su količina padalina i potencijal evapotranspiracije, ali i složenim kakav je retencijski kapacitet tla za vodu te interakcija između navedenih svojstava.

Najčešće je način korištenja zemljišta određen tipom *kulture* (npr.: godišnja - usjevi i *trajna kultura* - nasadi, pašnjaci) što je preširoko za kvantificiranje produktivnosti tla. *Tip korištenja zemljišta* stoga se karakterizira ključnim atributima bioloških, sociološko-ekonomskih, tehničkih i drugih aspekata koji su relevantni za promjene u produktivnosti zemljišta. Npr., ključni atributi su biljna vrsta ili intenzitet njenog rasta, tehnički *know-how* (znanje i vještina u primjeni tehnologije) proizvođača, veličina posjeda, raspoloživa energija, oruđa, kapital, laboratoriji itd.

Za procjenu veličine produktivnosti tla, izbor usjeva je dominantan ključni atribut, dok su ostali važni atributi određeni dostupnom tehnikom i financijskim sredstvima. Stoga je kod niskog ulaganja u proizvodnju zaista nerealno koristiti visoku tehnologiju.

Kombinacija zemljišne jedinice i načina korištenja zemljišta predstavlja *sustav korištenja pojedinog tla* što je i temelj uspješne *kvantifikacije*. Pri tome, proizvodnja više od jedne biljne vrste (*kulture* ili usjeva) na jednom polju u isto vrijeme, mora uzimati u obzir utjecaj jedne *kulture* na drugu (*kompeticija* prema svjetlu, vodi, hranivima). Složen sustav je sastavljen od pojedinačnih i/ili multiplih sustava korištenja tla. Detalji i točnost svih osnovnih podataka određuju relevantnost procjene produktivnosti zemljišta, a njih je potrebno unijeti u bazu podataka za potrebe kompjutorske interpretacije i procjene kapaciteta produkcije nekog tla.

Temeljni problem dobre procjene produktivnosti zemljišta je kako prikazati kakvoću tla s jedne strane i njegove nedostatke unutar jednog sustava korištenja tla. Naime, tlo je pogodno za uzgoj neke *kulture* ako zadovoljava određene zahtjeve za korištenje, koji su često izraženi pojmom kvalitete tla. Ako *zahtjev za korištenje* nije potpuno zadovoljen, *pogodnost tla* je ispod optimalne, ili u ekstremnom slučaju, tlo je nepogodno (ili neprikladno) za planiranu uporabu.

Kvaliteta tla i zahtjevi za njegovim korištenjem moraju biti kvantitativno opisani, odnosno moraju biti mjerljivi. Npr., utvrđivanje raspoloživosti vode vrlo je složen problem jer je to dinamičan sustav čiji status reprezentira

higroskopna, kapilarna i gravitacijska voda, a ukupni vodni potencijal tla je suma matriks, osmotskog, hidrostatskog, pneumatskog i gravitacijskog potencijala (prva dva su najvažnija). Dakle, retencija vode je funkcija teksture tla, ali i velik broj drugih parametara može utjecati na to svojstvo tla (npr. zbijenost tla, prisutnost nepropusne zone, nagib tla, visina podzemne vode, homogenost soluma itd.).

Zbog velikog broja čimbenika i njihovih dinamičnih međudnosa funkcijska veza između pojedinih svojstava tla je *transfer funkcija* koja se opisuje varijablama u odnosu na mjerljiva svojstva sustava. Primjenom računarskih simulacijskih modela primarne produkcije moguće je kvantificirati trenutne vrijednosti tla, također i za neku udaljenu vremensku točku. Ako je raspoloživih podataka o tlu i klimi malo, onda se mogu utvrditi samo opće karakteristike, npr. stanje vode, što je zapravo koncept *FAO agroekoloških zona* (AEZ) koji je razvijen za tu namjenu, ali je nedovoljno precizan i služi samo za grubu procjenu kapaciteta produkcije širih regija.

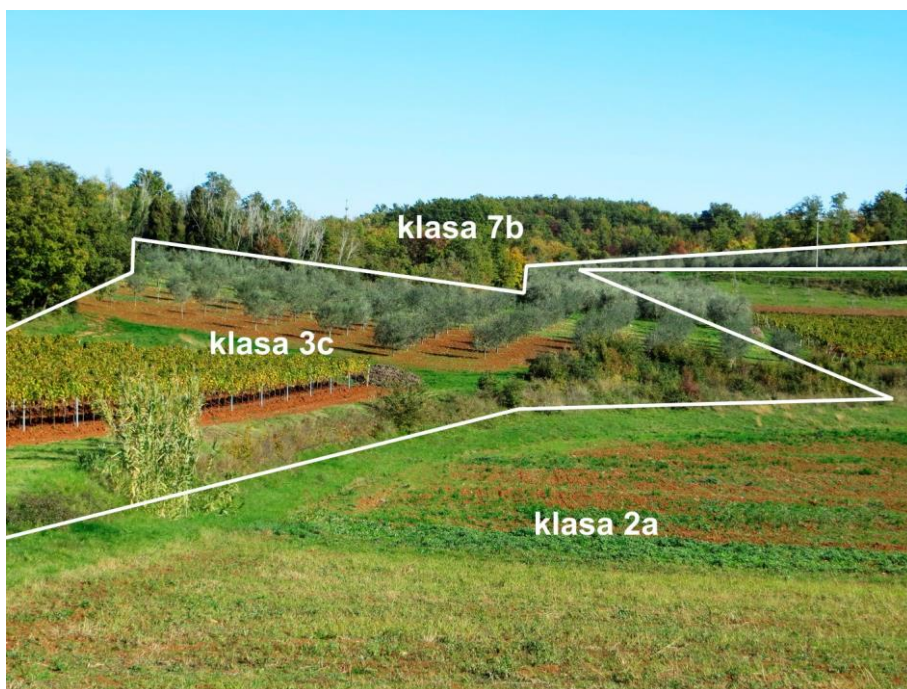
Tablica 12. FAO klasifikacija pogodnosti zemljišta (FAO, 1976.)

Red	Klasa	Podklasa
S (Suitable) Pogodno	S1 (Visoko pogodno)	
	S2 (Umjereno pogodno)	S2t
		S2d
		S2td itd.
S3 (Djelomično pogodno)		
N (Not suitable) Nepogodno	N1 (Djelomično nepogodno)	N1y
		N1z itd.
	N2 (Trajno nepogodno)	

Kategorizacija pogodnosti tla često je puno složenija u pojedinim zemljama pa se razlikuje *red pogodnosti* (grupiranje većih površina na temelju procjene pogodnosti za određenu namjenu), *klasa pogodnosti* (tipovi zemljišnog prostora različitog stupnja pogodnosti), *podklasa pogodnosti* (označavanje prostornih jedinica istog stupnja pogodnosti, ali različitih ograničenja određenih klasom pogodnosti) i *jedinica pogodnosti* (osnovna zemljišna jedinica). Kada je jednom određena mrežna ćelija sa pojedinim zemljišnim svojstvima, potrebno je još odrediti tip korištenja zemljišta. Međunarodna FAO klasifikacija pogodnosti (Tablica 12.) sva zemljišta dijeli na *pogodna* (3 klase) i *nepogodna* za proizvodnju hrane (2 klase). Pojedine klase dijele se na podklase prema grupama čimbenika kao što su *agronomski* (svojstva tla,

potrebe biljaka i sl.), *management* (lokacija, mehanizacija, prerada i dr.), *uređenje zemljišta* (cijena krčenja, čišćenja, zaštita od poplava, izgradnja sustava za navodnjavanje i dr.), *kondicioniranja* (rizici zaslanjivanja, visoke podzemne vode, erozije i sl.) i *socijalno-ekonomski faktori*. Sličan princip bonitiranja do nedavno je bio na snazi i kod nas (Tablica 12. i Slika 26.), a nije se puno promijenio niti novi sustav bonitiranja iz 2010. god. koji je još uvijek arhaičan, kvalitativan te posve neprilagođen vremenu i suvremenim potrebama biljne proizvodnje.

Dakle, tip korištenja tla određen je biljnom vrstom (*kulturom*) koja se uzgaja i ključnim atributima koji određuju razinu greške (rizika) proizvodnje. Pri tom je izbor biljne vrste *ključni atribut*, dok ostali atributi korištenja tla, općenito, odražavaju raspoloživu tehniku i upravljačku vještinu te klasificiraju tip korištenja tla u elementarni, tradicionalni ili napredni.



Slika 26. Bonitet zemljišta (Foto: Vukadinović Vl., 2015.)

Svaki tip korištenja tla postavlja specifične zahtjeve koji moraju biti ispunjeni kako bi se osigurala potrebna razina proizvodnje. Postoje razlike između zahtjeva za optimalno provođenje nekog sustava korištenja tla i minimalnih potreba koje moraju biti zadovoljene. Minimalni zahtjev za korištenje tla sadrži sljedeće aspekte po biljnim vrstama:

- *minimalna temperatura i duljina dana,*

- *minimalna gnojidba,*
- *tolerantna zaslanjenost i pH tla,*
- *minimalni zahtjevi za klijanje,*
- *minimalni zahtjevi zakorijenjavanja (dubina soluma, skelet),*
- *minimum radnih potreba,*
- *potreba za irigacijom i/ili drenažom i*
- *minimalna infrastruktura.*

Tablica 13. Bonitet zemljišta (Pravilnik o bonitiranju zem., N.N. 47/1982.)

1) Duboka zemljišta, ilovaste teksture, propusna, dobro drenirana, neutralne reakcije u kojima je podzemna voda ispod 120 cm, dobrog adsorpcijskog kapaciteta, nagiba manjeg od 5 %, zaštićena od poplava, laka za obradu (naročito mehaniziranu) i navodnjavanje.	1a) ilovaste teksture, ravna, dobro drenirana, nagib < 2 %, bez erozije; 1b) ilovaste teksture, ravna, dobro drenirana, nagib < 4 %, slabo izložena eroziji; 1c) ilovaste teksture, ravna, dobro drenirana, nagib < 5 %, slabo izložena eroziji.
2) Srednje duboka zemljišta, ilovasta ili glinasta, umjerene do dobre propusnosti, dobro drenirana, neutralna ili slabo kiselu, podzemna voda do 100 cm, na ravnom ili nagiba ispod 8 %, moguća slaba erozija ili kratkotrajne poplave, laka ili srednje teška za obradu, pogodna za mehaniziranu obradu i navodnjavanje.	2a) ilovaste teksture, dobro drenirana, na ravnom ili nagib ispod 3 %, izložena slaboj eroziji; 2b) glinaste teksture, teško propusna, umjereno do dobro drenirana, na ravnom ili malo nagnuta nagiba manjeg od 8 %, izložena slaboj eroziji; 2c) glinaste teksture, teško propusna, umjereno do dobro drenirana, na nagnutom terenu nagiba manjeg od 8 %, sadrže površinski skelet i izložena slaboj eroziji.
3) Srednje duboka i duboka zemljišta, ilovaste ili glinaste teksture, umjereno do teško propusna, dobro do nepotpuno drenirana, od slabo alkalne do srednje kisele reakcije, podzemna voda do 80 cm dubine, nagiba do 16 % i neravna, izložena eroziji i kratkotrajnim poplavama, lako do teško obradiva, ograničena upotreba mehanizacije, potrebne su mjere zaštite od erozije, odnosno poplava.	3a) ilovaste teksture, dobro propusna, srednje izložena eroziji; 3b) glinaste ili ilovaste teksture, do 10 % skeleta, slabo drenirana i teško propusna, nagnuta do 16 %, neravna, srednje izložena eroziji; 3c) glinaste ili ilovaste teksture, do 10 % skeleta, slabo drenirana i teško propusna, nagnuta do 16 %, neravna, izložena jakoj eroziji.
4) Duboka, srednje duboka i plitka zemljišta ilovaste ili glinaste teksture koja mogu imati do 30 % skeleta ili pjeskovita s manje od 10 % gline, alkalne do jako kisele reakcije ili zaslanjena, dobro do teško propusna, duboke podzemne vode, redovno, ali kratkotrajno poplavljena ili prevlažna, nagiba do 30 % s izraženom površinskom erozijom, potrebne su mjere zaštite od poplava i erozije.	4a) umjereno do dobro drenirana zemljišta, slabo skeletna do 10 % i nagiba ispod 10 %, izložena eroziji; 4b) kratkotrajno prevlažna, srednje skeletna zemljišta (do 30 % skeleta), loše drenirana, srednje duboka; 4c) često vlažna zemljišta, skeletna do 30 %, loše drenirana, nagnuta nagiba do 30 %, izložena svim oblicima erozije, srednje duboka.
5) Plitka i srednje duboka tla koja sadrže do 50 % skeleta, do ekstremno kisele reakcije, srednje dugo prekomjerno vlažna, izložena redovnim poplavama u ravnici ili nagiba do 45 % s izraženim tragovima površinske erozije. Neophodna je zaštita od erozije i meliorativni zahvati. Dije se u dvije podklase (skelet do 30 % ili 50 % uz nagib do 45 %).	
6) Uglavnom plitka zemljišta koja sadrže do 70 % skeleta, dugotrajno vlažna ili plavljena i nagiba do 45 % te izložena jakoj eroziji, visoka razina podzemne vode (dvije podklase).	
7) Uglavnom plitka zemljišta koja sadrže do 70 % skeleta, nagiba do 60 %, izrazito erozivna, zaslanjena ili alkalizirana. Uz zaštitu od erozije moguće ih je koristiti samo kao livade, pašnjake ili šume (dvije podklase).	
8) Plitka zemljišta, do 80 % skeleta. Moguće ih je koristiti samo za pašnjake ili šume.	

Velik dio zemljišnih resursa ima jedan ili više ograničavajućih čimbenika. Na našoj planeti stresovi vezani za biljnu proizvodnju su raspoređeni na sljedeći način: za 23 % stresova odgovoran je mineralni sastav tla, za 28 % uzrok je

suša, za 12 % suvišak vode, a za 24 % stresova odgovorna je loša struktura tla. Dakle, 87 % svih zemljišta Zemlje ne zadovoljava potpuno potrebe biljaka.

Indikativni minimum zahtjeva sve atribute tipa korištenja, a na prvom mjestu je zadovoljenje potreba biljne vrste-usjeva. Neki od minimuma primjenjuju se kod svih razina tehnomenadžerstva, npr. temperatura i dnevno svjetlo. Većina minimalnih zahtjeva uzima se u obzir za određene razine tehnologije kao *osnovni zahtjevi plodnosti* potrebni za najnižu tehnološku razinu, ali uglavnom ne ugrožavaju tip korištenja tla uz moguća dodatna ulaganja. Nadalje, drugi čimbenici, koji nisu navedeni, mogu biti vrlo značajni, npr. visoka tržišna cijena ili zalihe mogu odmah natjerati proizvođača da prihvati nisku razinu proizvodnje bez obzira na tip korištenja tla.

U slučaju da pri izboru tipa korištenja tla postoji neodlučnost, uvijek je potrebno razmotriti sve minimalne zahtjeve za proizvodnju. Npr., kod izbora biljne vrste za proizvodnju šećera u Hrvatskoj jedini izbor je šećerna repa, s obzirom na njene zahtjeve za temperaturom i dužinom osvjetljenosti. Naime, šećerna trska zahtjeva minimalnu temperaturu od 15°C i kratak dan, dok je šećerna repa biljka dugog dana i podnosi minimalnu temperaturu od 5°C. Kad je u pitanju minimum zahtjeva za gnojdbom, onda je indikator potrebna minimalna koncentracija nekog elementa u biljci, ali i drugi fizikalno-kemijski parametri "*neploidnosti*", odnosno ograničavajući čimbenici uzgoja, npr.:

- saturiranost tla aluminijem (>60 %),
- nepovoljan pH,
- visok sadržaj CaCO_3 ili CaSO_4 ,
- visoka koncentracija bora (>2 mg dm⁻³ u 1:1 H₂O ekstraktu),
- visoka koncentracija klora (>10 cmol dm⁻³ u 1:1 H₂O ekstraktu),
- preko 30 mg dm⁻³ NO₃⁻ ili NH₄⁺ iona (1:1 H₂O ekstrakt) ili
- preko 8,5 cmol dm⁻³ hidrogenkarbonata (1:1 H₂O ekstrakt).

Niska koncentracija biogenih elemenata u biljci indicira nisku raspoloživost hraniva što je itekako kompleksan problem vezan uz brojne *čimbenike neploidnosti*, npr. dekompoziciju rezervnih hraniva, a što se pak teško kvantificira jer ovisi od puno čimbenika, među kojima je najpromjenjivija mikrobiološka aktivnost.

Sjeme za klijanje i nicanje zahtjeva dovoljnu količinu vode, kisika, temperaturu, povoljan pH, a *fotoblastično sjeme* i određenu duljinu osvjetljenja. Ipak, u ranim etapama rasta biljaka kritična je struktura tla, npr. u tlu mora biti <40 % šljunka), a intenzitet erozije malen. Zatim, dubina ukorjenjivanja ne smije biti premala, pa tako za kukuruz mora biti >50 cm, šećernu repu i pšenicu >60 cm itd. Minimalni zahtjevi kultivacije kod uporabe

traktora ne dozvoljavaju nagib parcele veći od 10 % i sadržaj skeleta >5 %, dok za primjenu visoke tehnologije nagib ne smije biti veći od 5 %, a tlo mora biti bez skeleta.

Buduće perspektive

Odluke o korištenju zemljišta uvijek su bile dio evolucije ljudskog društva, ali su se kroz povijest znatno mijenjale pa se danas korištenje zemljišta planira praktično 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 korištenja i vrednovanje zemljišta mora temeljiti na potpunom razumijevanju prirodnog okoliša kako bi se izbjegle sve vrste oštećenja prirodnih resursa.

Potpuno kvantitativno određivanje i analiza produktivnosti tla zahtijeva visoko sofisticiran računalni model, mnoštvo točnih podataka o tlu i multidisciplinarni pristup. Nažalost, i danas je najčešće praksa da se praktično sve potrebne analize tla uglavnom obavljaju unutar agronomске struke, odvojeno od drugih disciplina te je stoga procjena produktivnosti tla ograničena uglavnom samo na *agrološke aspekte proizvodnje hrane*.

Suvremena, opće prihvaćena razmišljanja o budućim promjena u načinu korištenja i upravljanja zemljištem mogu se sažeti u nekoliko teza:

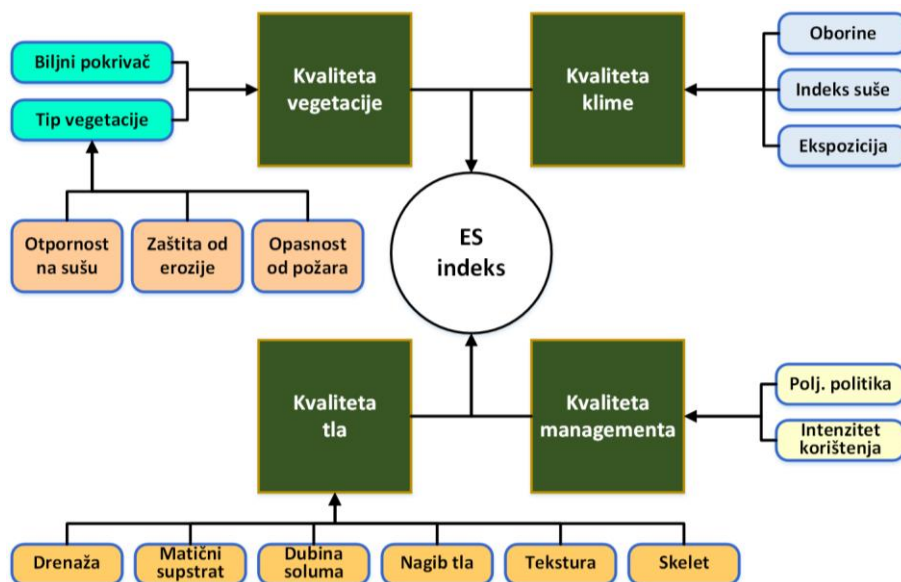
- *sve veća primjena održivih sustava korištenja zemljišta,*
- *smanjenje sadašnjeg stupnja degradacije zemljišta, kao što su erozija tla, salinizacija, zakiseljavanje, eutrofikacija, gubitak hraniva, onečišćenje tla i vode, gubitak biološke raznolikosti i dr. i*
- *upravljanje emisijom stakleničkih plinova na temelju jasnih i obvezujućih pravila i uspostavljanje ugljičnog sinka.*

Promjene u korištenju zemljišta i upravljačke prakse moraju se temeljiti na rezultatima procjene produktivnosti i svojstava zemljišta, kako bi se što pouzdanije procijenila pogodnost i ranjivost zemljišnih resursa, ali i osjetljivost okoliša na moguće promjene (UNEP, 2016.). U tom smislu, jasno je kako brzi razvoj informacijskih i komunikacijskih tehnologija predstavlja moćan alat za obradu velikog broja podataka, uključujući i nove izvore, npr. satelitski snimci, digitalni model reljefa, promjene u vegetaciji i općenito zemljišnom pokrovu i dr.

Nove i suvremene metodologije za evaluaciju zemljišta imaju poseban naglasak na:

- *istodobno određivanje pogodnosti (poljoprivredni aspekti) i ranjivosti (ekološki aspekti) kao najbolji način da se uključi pojam održivosti,*
- *preciznost i primjenjivost modela s mješovitim kvalitativno/kvalitativnim pristupom koja uključuje dalji razvoj pedo-transfer funkcija indikatora zemljišne kvalitete i*
- *integrirane metode koje kombiniraju informacije o pogodnosti i osjetljivosti zemljišnih resursa s informacijama o društveno-ekonomskim aspektima.*

Korištenje zemljišta je dinamičan proces te njegovo vrednovanje mora uključiti buduće promjene, posebice veću učinkovitost primarne organske produkcije i uz pomoću indeksa osjetljivosti bolju zaštitu okoliša (Slika 27.). Također, potrebno je omogućiti bolju identifikaciju potencijalno kritičnih ili problematičnih područja i izradu detaljnih karata zemljišne pogodnosti za različite tipove korištenja.



Slika 27. Proračun indeksa osjetljivosti okoliša (Environmental Sensitivity Indeks, Ferrera i dr., 2012.)

Inventarizacija zemljišta

Kartografija i osnove kartiranja zemljišta

Kartografija

Kartografija se bavi prikupljanjem, obradom, čuvanjem i kartografskim prikazom *prostornih informacija*. Pod prostornom informacijom

(*geoinformacija*) smatra se svaki navod, koji je uz značenje prostorno pozicioniran u datom sustavu (Hake, 2002.). *Kartografija* je složenica grčkih riječi: χαρτης (list papira, povelja, karta) i γραφω (pišem, crtam). *Geodetska kartografija* bavi se preslikavanjem dijelova Zemljine plohe za potrebe državne i detaljne izmjere, a *digitalna kartografija* ubrzava izradu karata i njihovo ažuriranje, snižava cijenu njihove izrade, te rješava s lakoćom zadatke koje nije moguće riješiti uporabom klasičnih karata.

Međunarodno kartografsko društvo ICA (*International Cartographic Association*) koristi slijedeću definiciju: *Kartografija je disciplina koja se bavi zasnivanjem, izradom, promicanjem i proučavanjem karata.*

Karta

Karta je znakovni model geografske stvarnosti, koja prikazuje odabrane objekte ili svojstva. Nastaje stvaralačkim autorskim izborom i radom, a upotrebljava se uvijek kada su prostorni odnosi od prvorazredne važnosti. Zapravo, karta je *kodirana slika geografske stvarnosti* (Frangeš, 2003.).

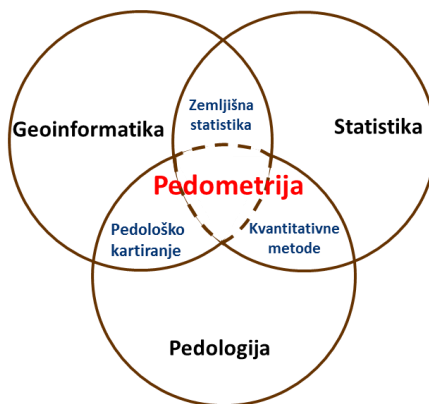
U teoriji kartografije, obzirom na svakodnevnu sve veću primjenu računala, treba razlikovati: *realne* i *virtualne* karte, *dubinske* i *plošne kartografske strukture* te *slojeve kartografskih podataka*. Ti pojmovi proizlaze iz razvoja analitičke kartografije, područja koje je glavni pokretač razvoja teorijskih matematičkih osnova kartografije.

Konvencionalni kartografski proizvodi (*listovi karata, atlas i globusi*) koji imaju čvrstu opipljivu realnost i izravno su vidljivi kao kartografske slike nazivaju se *realnim kartama*. Ostale klase kojima nedostaje jedno ili oba svojstva nazivaju se *virtualnim kartama* koje mogu sadržavati iste informacije kao realne karte, a u slučaju kartografskih baza podataka često i znatno više.

Geografija istražuje izgled, sadržaj i značenje pojedinih dijelova površine

Zemlje, *geodezija* se bavi izmjerama Zemlje, dok je objekt istraživanja *kartografije* pretvorba prostorne stvarnosti u grafički prikaz u ravnini.

Pedometrija razvija i primjenjuje matematičke i statističke metode prikupljanja kvantitativnih podataka o tlu i provjerava njihovu pouzdanost i



Slika 28. Interdisciplinarnost pedometrije (McBratney, 1994.)

promjenu u vremenu što omogućava modeliranje procesa kao i bolje razumijevanje funkcija tla. Utemeljena je na geostatističkim metodama (Slika 28.)

Daljinska istraživanja su skup metoda za prikupljanje i interpretaciju informacija o udaljenim objektima bez fizičkog dodira s objektom. Zrakoplovi, sateliti i svemirske sonde su uobičajene platforme za ovu vrstu opažanja (Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011., Vukadinović, Vl., 2015.).

Za razliku od karte, *aerosnimak* je slika određenoga područja. Na njoj je vidljiv sadržaj prikazan svojim oblikom i dimenzijama pomoću tonskih razlika (kod fotografija u boji u tonovima boja). Prema tome, snimci sadrže obilje informacija kojih s kartografskog gledišta ima i suviše mnogo da bi ih se moglo kartografski korektno prikazati.

Termin daljinsko istraživanje je obično ograničen na metode koje rabe elektromagnetnu energiju kao sredstvo za otkrivanje i mjerenje svojstava objekata. Takva definicija uključuje električno-magnetska induksijska (*EMI*) i gravitacijska mjerenja (snaga polja). Daljinska istraživanja općenito obuhvaćaju upotrebu različitih vrsta snimaka: fotografskih, termalnih, radarskih itd.:

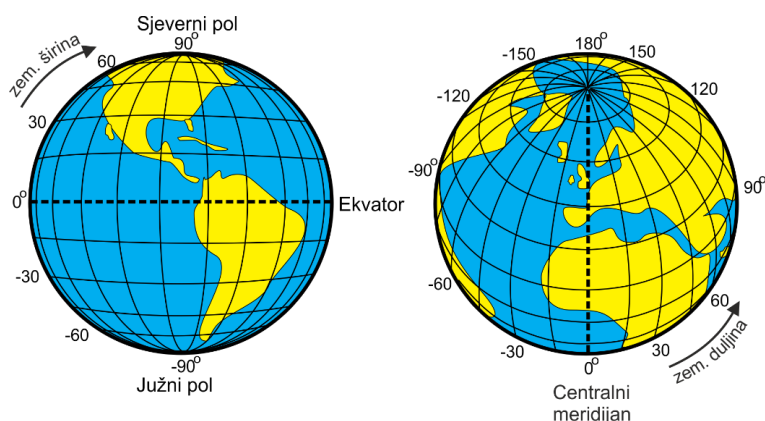
- *teledetekcija je daljinsko istraživanje u užem smislu, tj. prikupljanje informacija o Zemljinoj površini s uređajima smještenim u satelitima (zrakoplovima, balonima) te interpretacija tako dobivenih informacija,*
- *fotogrametrija je tehnika mjerenja pomoću koje se iz fotografskih snimaka izvodi oblik, veličina i položaj snimljenog predmeta,*
- *fotogrametrijska izmjera je metoda izmjere u kojoj se u osnovi upotrebljavaju snimci, snimljeni iz zraka ili sa Zemlje. Danas se najčešće koriste digitalne snimke čija rezolucija je često veća od one na filmu (fotoosjetljivu sloju), brzina snimanja je velika, a kapacitet digitalnih kamera može biti iznimno velik jer posjeduju uređaje masovne memorije (npr. HD disk).*

Interpretacija snimaka naziva se *fotointerpretacija*, koja se može izvoditi raznim priborima i vizualno. *Fotointerpretacija* se u prošlosti koristila složenim i skupocjenim instrumentima, kao što su stereoskopi i dr., a danas tu ulogu preuzimaju računala za obradu digitalnih fotografija i posebni kompjutorski programi za prepoznavanja oblika, gustoće i dr. Takva metodologija je potpuno kvantitativna (točna izmjera, površine, visine i sl.) pa se suvremena fotointerpretacija označava kao *fotogrametrija*.

Zemljopisni koordinatni sustav

Zemljopisni koordinatni sustav (Slika 29.) pomoću koordinata omogućuje točnu prostornu lokaciju svakog objekta na Zemlji, a temelji se na lučnim mjerama. Dakle, koordinatni sistem je skup parametara pomoću kojih se opisuju lokacije na Zemljinoj površi, odnosno geoprostorni podaci koji su zemljopisno referencirani (Hećimović i Pavašević, 2010.).

Koordinate čine dva, ili ponekad tri skupa slova i brojki, od koji prva grupa određuje vertikalnu poziciju (*paralele, usporednica, zemljopisna širina*), druga horizontalnu (*meridijani, zemljopisna duljina*), a treća nadmorsku visinu (*elevacija*). *Nulti meridijan* prolazi kroz opservatorij *Greenwich* kraj Londona, a *ekvator* je centralna paralela na jednakoj udaljenosti od polova.



Slika 29. Zemljopisni koordinatni sustav Zemlje

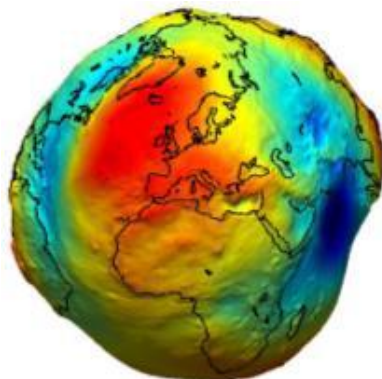
Os koja spaja polove Zemlje poklapa se s njezinom rotacijom (u smjeru istoka, odnosno suprotno kretanju kazaljki sata). Geografska širina polarnih krugova je $66^{\circ}33'$ (južno i sjeverno), a širina *Sunčevih obratnica* je na $23^{\circ}27'$ (najsjevernija i najjužnija zemljopisna širina iznad kojih Sunce više ne zalazi ljeti, odnosno na suprotnom polarnom krugu ne izlazi zimi). Sunce je točno u zenitu 21. lipnja na sjevernoj (*Rakova obratnica*), a 21. prosinca na južnoj (*Jarčeva obratnica*). Npr. geopozicija Poljoprivrednog fakulteta na dva najčešća načina označivanja u Osijeku je:

DMS (*degrees-minutes-seconds*): $45^{\circ}33'20.75''\text{N } 18^{\circ}42'25.44''\text{E}$

DD (*decimal degrees*): $45.555764^{\circ}\text{N } 18.707066^{\circ}\text{E}$

Teorija kartografskih projekcija ili *matematička kartografija* dio je kartografije koji proučava način preslikavanja zakrivljene Zemljine plohe i drugih nebeskih tijela u ravninu (Frangješ, 2003.).

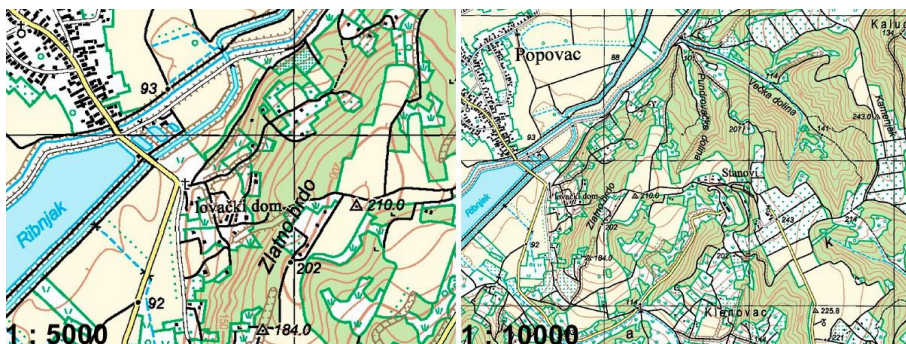
Kako bi se Zemljin kuglasti oblik (*geoid*, Slika 30.) mogao prikazati na karti (zemljovidu) koristi se projicirani koordinatni sustavi na ravnu plohu izraženi x , y koordinatama. Zapravo *ortogonalnim projiciranjem* točaka fizičke površine na matematičku plohu pomoću mreže točaka geodetske osnove s Zemljine površine prelazi se na *rotacijski elipsoid* ili *sferu* (matematičku plohu). Nakon toga slijedi prijelaz s plohe rotacijskog elipsoida ili sfere u ravninu. Opisana preslikavanja nazivaju se *kartografske projekcije*, a njima se bavi teorija kartografskih projekcija, a dijele se:



Slika 30. Model oblika Zemlje (*geoid*)

- 1) Prema održanju prostornih svojstva:
 - a) *konformna* (održanje kutova)
 - b) *ekvivalentna* (održanje površina)
 - c) *ekvidistantna* (održanje duljine)
 - d) *azimutalna* (održanje ispravnog smjera)
- 2) Prema projekcijskoj površini:
 - a) valjkasta
 - b) stožasta
 - c) ravninska

Topografske karte (Slika 31.) u pravilu koriste pravokutne koordinatne sustave kao što su UTM (*Universal Transverse Mercator*), Gauss-Kruger (*Gauß-Krüger*) i slično. UTM projekcija je *konformna*, što znači da kutovi (npr. azimut) izmjereni na karti odgovaraju kutovima izmjerenim u prirodi, a to je bitno za orijentaciju u prostoru. Koordinate u takvim koordinatnim sustavima se izražavaju u kilometrima (ili metrima), a ne u stupnjevima, a položaj neke točke definiran je udaljenošću od ishodišne točke po x i y osi i nadmorskom visinom.



Slika 31. Topografska karta (dva krupna kartografska mjerila)

Geodetski datum je skup referentnih točaka na zemljinoj površini i osnova je za mjerenje lokacije objekta na Zemlji. GPS uređaji najčešće koriste *WGS 84* geodetski datum (*World Geodetic System 1984*).

Razlikuje se:

- a) *horizontalni datum* (položajni) i
- b) *vertikalni datum* (visinski)

Službeni matematički model je za Zemljino tijelo:

elipsoid GRS80, $a=6.378.137,00$ (2r u m), $f=1/298,257222101$ (spljoštenost)

Hrvatski terestrički referentni sustav je *HTRS96*, a osnovu položajnog referentnoga koordinatnog sustava *HTRS96* određuje položajna mreža 78 osnovnih trajno stabiliziranih geodetskih točaka (*trigonometara* I. reda) čije su koordinate određene u *ETRS89* (*European Terrestrial Reference System 1989*).

Kartiranje zemljišta je njegova znanstveno-stručna inventarizacija s ciljem razvrstavanja sistematskih jedinica tla ili zemljišta na karte različitog mjerila. U poljodjelstvu kartiranje predstavlja grupiranje tala u određene razrede prema kriterijima koje postavlja cilj istraživanja te je kartiranje najčešće utvrđivanje mogućnosti povećanja prinosa ili naznačivanje drugih proizvodnih mogućnosti 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.

Kartiranje tla i zemljišta možemo razvrstati u nekoliko grupa:

Kartiranje tala na temelju pedogenetskih svojstava uključuje zakone geneze, evolucije i sistematike tala. To je temeljno grupiranje tala iz kojeg se crpe podaci i parametri za sva druga primijenjena grupiranja tala (OPK u M 1:50.000).

Kartiranje i klasifikacija kvalitete tla u tehničke svrhe:

- a) ocjenjuje kvalitetu tla, npr. propusnost tla, obradivost, rizik erozije, pojavu nepropusnog sloja, indikacije o "hard pan" sloju, drenaži, salinizaciji i drugim ograničenjima,
- b) grupiranje tala s melioracijskim parametrima za izvođenje hidromelioracijskih mjera.

Kartiranje i klasifikacija zemljišta prema uporabnoj vrijednosti:

- a) registrira sadašnju uporabu zemljišta,
- b) procjena sadašnje i potencijalne površine za buduća korištenja u melioracijama (odvodnja i navodnjavanje), pošumljavanju (važno za prostorno planiranje).

Bonitetna (katastarska) razvrstavanja:

- a) istraživanja svojstava tla, reljefa, klime i ostalih prirodnih činitelja (stjenovitost, kamenitost, poplave, izloženost poplavama, dubina soluma i dr.). Svojstva tla ocjenjuju se na temelju razvojnog stupnja, teksture i geološkog porijekla,
- b) ovakvo razvrstavanje koriste organi uprave za fiskalnu i poreznu politiku (prvih pet bonitetnih klasa zemljišta je zakonom zaštićeno od nenamjenskog korištenja).

Kartiranje i klasifikacija pogodnosti zemljišta:

- a) ukazuje na ograničenja kartiranog područja i mogućnosti. Namjena može biti različita: ocjena tla za uzgoj ratarskih kultura, podizanje vinograda, voćnjaka i dr.
- b) uzima u obzir tlo, klimu, reljef i biljku ili grupu srodnih biljnih vrsta.

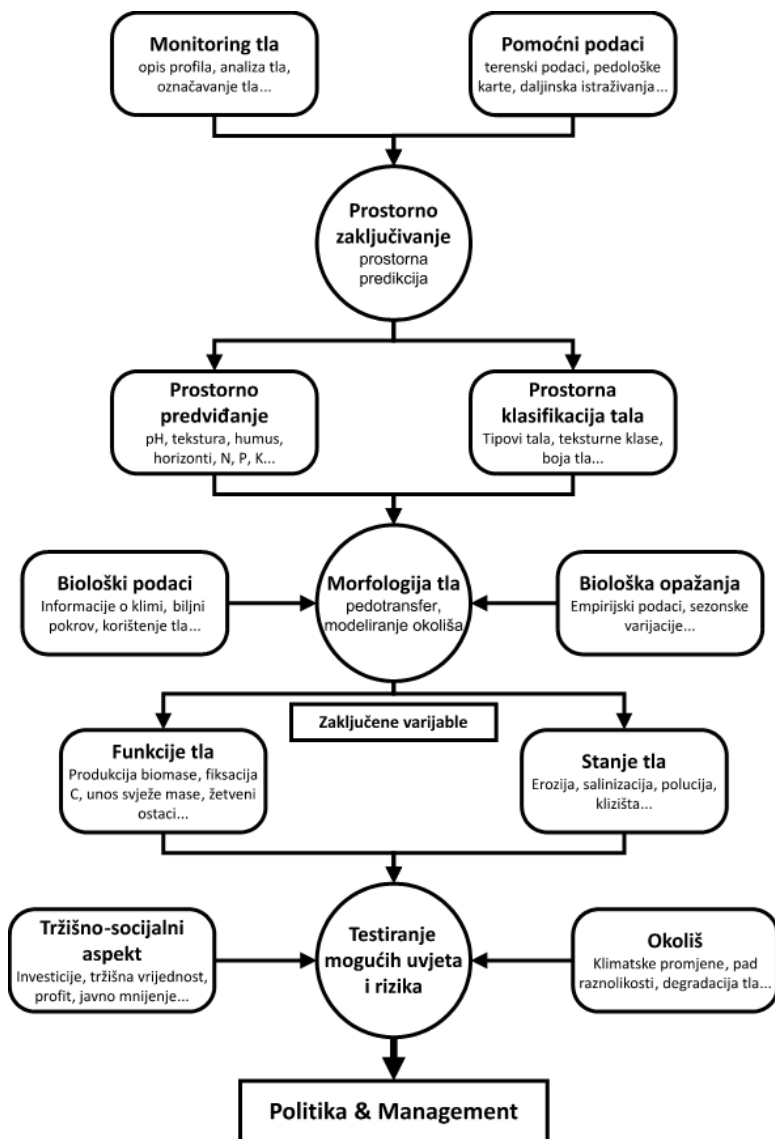
Vrednovanje (procjena) pogodnosti zemljišta (*Land Evaluation*), tamo gdje se ustanove proizvodna ograničenja, svakako bi trebala obuhvatiti i ekonomsku valorizaciju predloženih mjera uređenja tla.

Važnost vrednovanja zemljišnih resursa ogleda se i u FAO metodologiji, kao univerzalnom načinu interpretacije zemljišne pogodnosti (FAO, 1976. i 1984.; UNEP, 2016.) koja se primjenjuje u različite svrhe, npr. za potrebe navodnjavanja, odvodnje, agromelioracija, te ocjenu pogodnosti zemljišta za uzgoj pojedinih kultura.

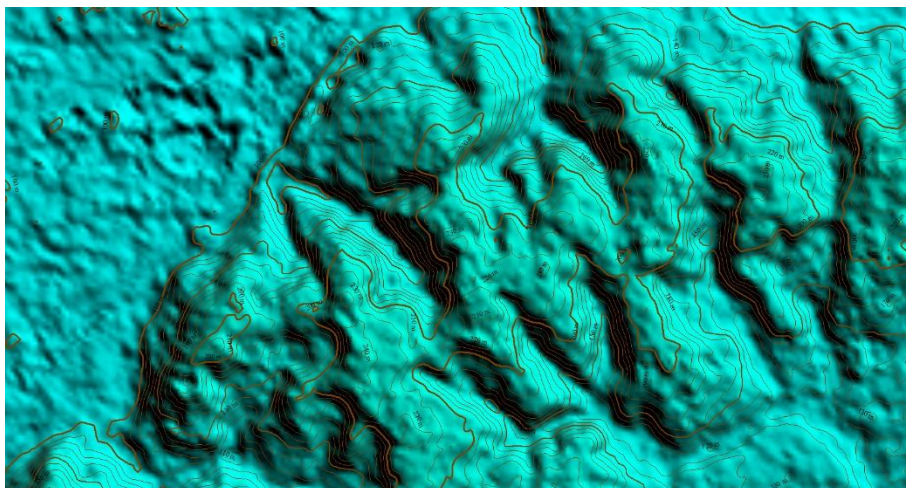
Pedološko kartiranje temelji se danas na digitalnim GIS kartama zemljišta, što uključuje pri njihovoj izradi fotointerpretaciju (aero i satelitskih snimaka), terenska i laboratorijska istraživanja (*hibridne tehnike kartiranja*).

Dobos i dr. (2005.) su za potrebe Europske unije napisali opsežan materijal o digitalnom kartiranju tla kako bi specificirali zajedničke elemente za provedbu digitalnog kartiranja (*DSM = Digital Soil Mapping*) i izradu jedinstvene baze podataka (Slika 32.). Predloženo je korištenje *DEM* podloga (digitalni

elevacijski model, Slika 33.) i to u 30 m rezoluciji koji je javno dostupan tako da je rezolucija *SRTM DEM* karata pogodna za digitalno kartiranje poljoprivrednog zemljišta i niz novih indikatora pogodnosti, npr. apsolutnu visinu terena, relativnu visinu (u odnosu na okolni teren, važno zbog opasnosti od mraza), osunčanost, izloženost vjetru, dreniranost tla itd. (slika 24.).



Slika 32. Procedura digitalnog kartiranja tla za izradu jedinstvene baze podataka EU (Dobos i dr., 2005.)



Slika 33. SRTM karta Baranjske planine (rezolucija 1 arc sec. ili 30 m) s kreiranim 10 m izohipsama u programu *Global Mapper*

Točnost i mjerilo kartiranja zemljišnih resursa

Kartiranje zemljišnih resursa ovisi o metodama anketiranja, kartiranja, broju i kakvoći atributa zemljišne pogodnosti, kao i prostorne pouzdanosti informacija. Teškoća je u tome što karte više rezolucije, npr. 1:25.000 može biti manja pouzdana od kvalitetnog i ažuriranog prikaza karte rezolucije 1:100.000. Tablica 14. daje opći vodič za odgovarajuće korištenje zemljišnih resursa.

Osnove kartiranja

Kartiranje tala je znanstveno-stručna inventarizacija zemljišta s ciljem razvrstavanja sistematskih jedinica tla ili zemljišta na karte različitog mjerila. U poljodjelstvu kartiranje predstavlja grupiranje tala u određene razrede prema kriterijima koje postavlja cilj istraživanja.

Osnova kartiranja je utvrđivanje mogućnosti povećanja prinosa proizvodnih kultura ili naznačivanje drugih proizvodnih mogućnosti za veće, a time i rentabilnije prinose. Svrha je izvršiti optimalnu kategorizaciju terena u svrhu efikasnije biljne proizvodnje.

Na *tematskim kartama* mogu biti prikazana druga svojstva topografskih objekata (npr. starost, visina, namjena i sl.) i mnogi drugi tematski objekti iz prirodnog područja (npr. vrste i tipovi tla) ili iz područja ljudskog djelovanja (npr. industrijska i agrarna proizvodnja itd.).

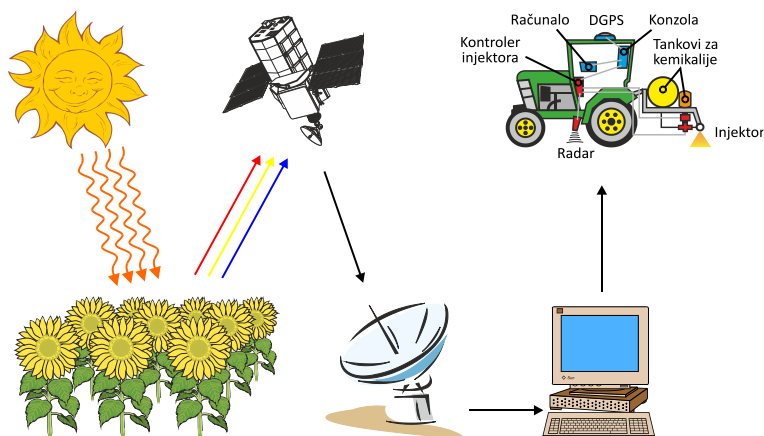
Tablica 14. Kako mjerilo karte utječe na kartiranje zemljišnih resursa (*Gunn i dr., 1988., McKenzie, 1991.*)

Približno mjerilo (rezolucija*)	Primjeri preporučene namjene
<1 : 10 000	<ul style="list-style-type: none"> • Prikladno za pojedine detaljne oblike korištenja zemljišta • Intenzivna uporaba zemljišta (npr. urbana područja, hortikultura, inženjering) • Lokalno planiranje urbane strukture • Detaljan plan gospodarstva/farme • Planiranje razvoja nekretnina
1 : 10 000 - 1 : 50 000	<ul style="list-style-type: none"> • Opća prikladnost za različite oblike korištenja zemljišta • Strateško planiranje u intenzivnom korištenju zemljišta, uključujući urbana područja i hortikulturu • Planiranje korištenja ruralnog zemljišta općine ili područja s intenzivnom poljoprivrednom proizvodnjom, posebice u blizini većih urbanih centara • Planovi upravljanja za male slivove • Planiranje farmi za nizak intenzitet poljoprivredne namjene • Proizvodna šumska područja
1 : 25 000 - 1 : 100 000	<ul style="list-style-type: none"> • Opća prikladnost za različite oblike korištenja zemljišta • Planiranje niskog intenziteta korištenja zemljišta • Strateško planiranje za intenzivniju korištenja zemljišta (npr. urbana područja i hortikultura) • Planiranje razvoja ruralnog zemljišta u područjima većih naselja, ili velikim razvojnim mogućnostima • Regionalno planiranje u područjima s visokim stopom razvoja • Upravljanje srednjim slivovima • Opće planiranje u šumarstvu
1 : 50 000 - 1 : 150 000	<ul style="list-style-type: none"> • Široki prikladnost za glavne vrste korištenja zemljišta • Najprikladnije za planiranje niskog intenziteta korištenja zemljište • Generalno lociranje intenzivnijeg korištenja zemljišta u urbanim područjima • Regionalno i lokalno planiranje pretežito ruralnih područja • Upravljanje velikim slivnim područjima
1 : 100 000 - 1 : 250 000	<ul style="list-style-type: none"> • Široki prikladnost za glavne vrste korištenja zemljišta • Strateško planiranje za suho ratarenje ili općenito lociranje drugih vrsta korištenja zemljišta uz ograničenje količine detalja • Regionalni planovi, planiranje ruralnih područja • Pregled upravljanja za vrlo velike slivove • Opće planiranje seoskih područja
>1 : 250 000	<ul style="list-style-type: none"> • Pregled zemljišnih resursa i njihovog statusa • Opće predviđanje korištenja zemljišnih resursa određenog područja • Opće planiranje ruralnih područja
>1 : 500 000	<ul style="list-style-type: none"> • Pregled zemljišnih resursa i njihovog statusa • Opći pregled regionalnih resursa • Nacionalni ili regionalni inventar zemljišnih resursa

*Rezolucija na temelju 1 cm² na karti.

Određivanje produktivnih svojstava zemljišta beskontaktnim tehnikama

Brzim razvojem različitih beskontaktnih senzora za obavljanje *daljinskih mjerenja (remote sensing)* (Slika 34.) moguće je determinirati produktivna svojstva tla kao i stanje usjeva (i prirodne vegetacije) dovoljno točno za utvrđivanje, ne samo potrebe u gnojidbi, već i potrebu za popravkama (humizacija, kalcizacija, sulfatizacija i dr.). Takve procjene nije moguće pouzdano obaviti analizom fotografija terena, ma kako rezolucija snimaka bila velika te se beskontaktnih tehnike sve intenzivnije koriste kao brz i relativno pouzdan način procjene određenih svojstava zemljišta i vegetacije u različite svrhe, npr. pogodnost zemljišta za uzgoj pojedinih kultura (rajonizacija), navodnjavanje, odvodnja, agromelioracije i dr.

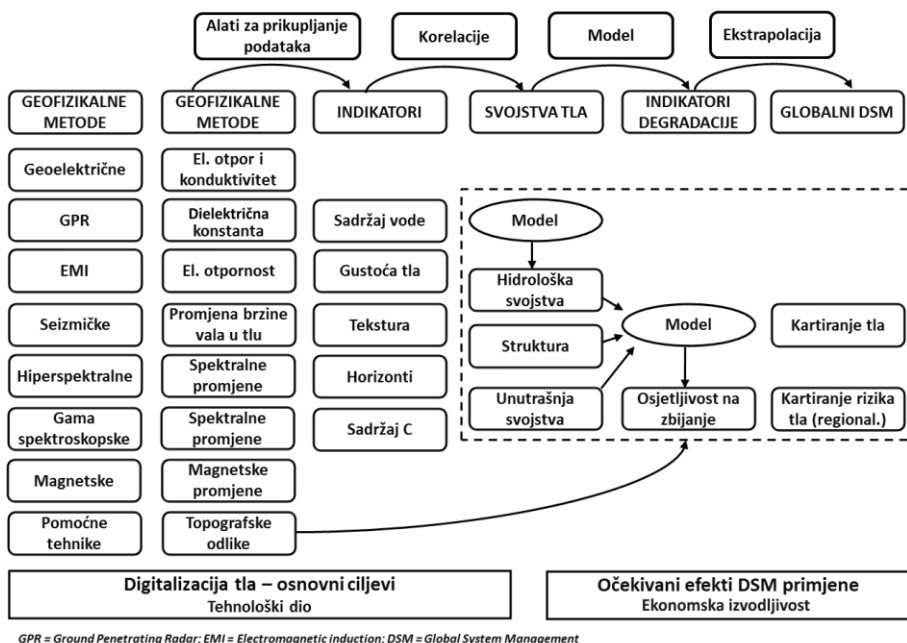


Slika 34. Shematski prikaz daljinskih mjerenja uz vizualizaciju GIS-om

Daljinsko istraživanje uz pomoć različitih senzora je primjena više različitih metoda prikupljanja i interpretacija informacija o udaljenim objektima bez fizičkog dodira s objektom. Zrakoplovi, sateliti i dronovi su uobičajene platforme za ovu vrstu opažanja (Vukadinović, Vl., 2015. i 2016.). Termin daljinsko istraživanje (daljinsko mjerenje) je obično ograničen na metode koje rabe elektromagnetsku energiju kao sredstvo za otkrivanje i mjerenje svojstava objekata. Takva definicija uključuje *električno-magnetsko induksijska (EMI)* i *gravitacijska mjerenja* (snaga polja), te općenito podrazumijeva i upotrebu različitih vrsta snimaka: fotografskih (uključujući spektralna mjerenja), termalnih, radarskih itd.

Za utvrđivanje pojedinih svojstava koriste se različite tehnike kao što su elektromagnetna indukcija (EMI), primjena radara i optičkog radara (LIDAR), seizmičke tehnike, spektralna analiza reflektiranog EM zračenja (tzv.

spektralni potpis materijala) u vidljivom i infracrvenom dijelu spektra, kao i druge vrste senzora (Slika 35.). Za utvrđivanje teksture tla i sadržaja organske tvari najčešće se koriste tehnike infracrvene spektroskopije.



Slika 35. Vrste geofizikalnih senzora za kartiranje tla

Senzori se općenito dijele na *aktivne* (koji imaju vlastiti izvor energije, npr. radar) i *pasivne* koji koriste prirodno reflektirano zračenje (npr. kamere).

Primjena dronova

Glasna i agresivna reklama za korištenje bespilotnih sustava ili *dronova* u poljoprivredi, ali i općenito, potaknula je dosta kontroverznih reakcija. Mnogi podržavaju i priželjkuju još veće korištenje dronova u poljoprivredi smatrajući da bi time tzv. precizna poljoprivreda dobila novu kvalitetu, dok su drugi oprezniji bojeći se da ogroman broj podataka dobiven uz pomoć dronova predstavlja poteškoću, kako u njihovoj adekvatnoj obradi, tako i primjeni. Pravni aspekt je i dalje nejasan jer je propisano niz ograničenja zbog mogućih zloupotreba, npr. prava na privatnost, mogućnosti vojne i industrijske špijunaže, terorizma, ometanja zračnog prometa itd.

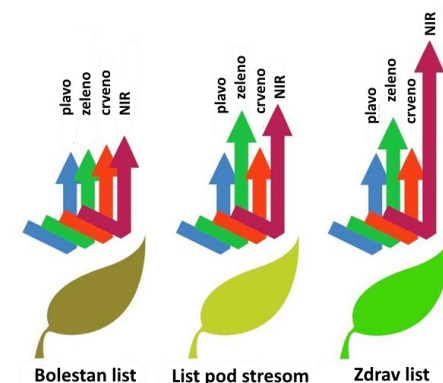
Dronovi mogu nositi različite alate, uključujući visoko razlučive kamere, infracrvene i termalne senzore, elektromagnetne senzore, pa čak i radare. Za utvrđivanje pojedinih svojstava koriste se različite EMI tehnike

(elektromagnetna indukcija, spektralna analiza u vidljivom i infracrvenom dijelu spektra, kao i druge vrste senzora.

Naime, dronovi (Slika 36.) se mogu koristiti komercijalno u području telekomunikacija, vremenskoj prognozi, prometnog i pomorskog nadzora, transporta, traganja i spašavanja, istraživanjima rudnih nalazišta (npr. nafte i plina) itd. (Vukadinović, VI., 2015. i 2016.). Budući da se u proizvodnji hrane (*primarnoj organskoj produkciji*) koriste velike zemljišne površine, najviše koristi od dronova, odnosno daljinskog istraživanja (praćenja/izviđanja), svakako će imati poljoprivreda. Naime, dronovi omogućuju učinkovito i pravodobno praćenje stanja i napredovanja usjeva, utvrđivanje potrebe za navodnjavanjem, gnojdbom (prihranom), zaštitom od bolesti i štetočina, drugim agrotehničkim mjerama, ali i utvrđivanje potrebe za uređenjem zemljišta, njegovim popravkama uključujući i sve meliorativne zahvate.



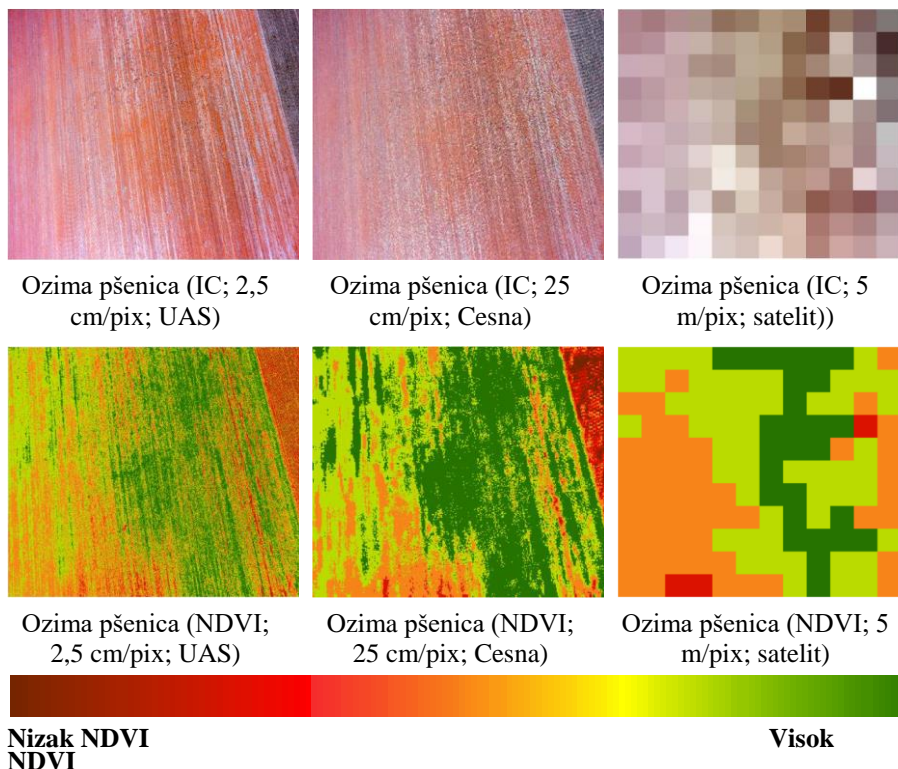
Slika 36. Tipičan izgled više rotorskog mikrodrona (lijevo) i zrakoplovnog Uz pomoć GPS-a dron (*bespilotna letjelica* ili UAV = *Unmanned Aerial Vehicle*) može brzo i učinkovito kartirati cijelu farmu ili proizvodno područje, pronaći štetnike, pojavu bolesti, nedostatak vlage itd. i to na točnim lokacijama te omogućiti pravovremenu i brzu reakciju što može drastično racionalizirati i smanjiti troškove proizvodnje, uključujući i broj potrebnih radnika. Za redovito praćenje/izviđanje stanja usjeva koriste se mali i jeftini dronovi uz čiju pomoć poljoprivrednik ima širok pogled iz ptičje perspektive, ali i krupne kadrove koji se ne mogu postići iz satelita i zrakoplova (Slika 39.). Dakle, ako se pri pregledu usjeva uoči problem, može se fotografirati i utvrditi njegova točna pozicija. Slijedeći korak je kartiranje,



Slika 37. Osnovni princip spektralne analize usjeva (NIR = blisko infracrveni

odnosno kreiranje digitalne slike proizvodne površine koja se uobičajeno vizualizira GIS alatima (geografski informacijski sustav; tzv. *pametne karte*). Kad se snimanje obavlja s više kamera u različitim dijelovima sunčevog spektra, može se obradom fotografija relativno pouzdano procijeniti stanje usjeva (Slika 37.), najčešće pomoću izračunavanja *NDVI indeksa* (normalizirani indeks vegetacije). NDVI indeks je mjera, odnosno omjer razlike između intenziteta reflektiranog svjetla u dvije različite frekvencije (VIS = vidljivi dio spektra, 400 - 700 nm; NIR = bliski infracrveni dio spektra, 700 - 1300 nm):

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS}$$



Slika 38. Snimak ozime pšenice u različitoj rezoluciji IC spektra i NDVI (vegetacijski indeks kao normalizirana razlika vidljive i IC svjetlosti; Price, K., 2014.)

Pouzdanost NDVI indeksa može biti upitna jer je to nelinearan indeks, a na njega mogu utjecati dodatni šumovi kao što je boja tla, sadržaj vode u tlu i biljkama, atmosfersko zračenje, količina biomase, boja lišća i dr. Naime, osim njegove korekcije/kalibracije na više različitih načina (npr. SAVI = *Soil Adjusted Vegetation Index*, EVI = *Enhanced Vegetation Index* i dr.) moguće je analizirati

znatno više različitih vegetacijsko-biofizikalnih parametara koristeći podatke daljinskih istraživanja jer aktivnost zelenih biljaka/usjeva uključuje indeks površine lista (*LAI*), zelenu biomasu, apsorbiranu svjetlosnu energiju, *CWSI* (*Crop Water Stress Index* ili indeks vodnog stresa biljaka koji zahtijeva termički senzor), *CCCI* (*Canopy Chlorophyll Content Index* ili koncentraciju klorofila u biljnom pokrivaču) koji ukazuje i na ishranjenost biljaka dušikom itd. Zbog opravdane sumnje u pouzdanost NDVI indeksa, trenutno se koristi više različitih vegetacijskih indeksa, ali najpopularniji je NDVI koji se stoga sve češće korigira. Za korekciju NDVI indeksa koristi se više metoda koje znatno podižu njegovu pouzdanost. Npr., *NNI indeks* (*Nutrition Nitrogen Index*) koji zahtijeva poznavanje stvarne i kritične koncentracije dušika u biljkama, zatim *RI indeks* (*Response Index*) u kome je $NDVI_{rs} = NDVI$ kalibracijske trake usjeva gnojena dozom prema preporuci temeljem kemijske analize tla; $NDVI_f = NDVI$ usjeva) i dr.:

$$RI = \frac{NDVI_{rs}}{NDVI_f}$$

Praćenje vegetacije satelitima ili zrakoplovima, kao i pregled usjeva s tla (hodanjem po terenu) do sada su bili osnovni način pregleda/inspekcije stanja usjeve. No, ove metode često su nepotpune i vremenski ograničene (oblačno i/ili kišno vrijeme, magla, vlažno tlo i sl.) pa prikupljanje podataka, njihova obrada i analiza može potrajati dugo vremena. Rezultat je zakašnjela intervencija pa su neizbježne štete zbog nezapažene pojave bolesti, neishranjenosti usjeva i sl., uz povećane troškove gnojidbe i zaštite usjeva, dakako, smanjen prinos i kakvoću proizvoda i pad profita. U usporedbi s drugim „zračnim metodama istraživanja“, dronovi mogu generirati češće i daleko jeftinije podatke o stanju usjeva pa su trenutno za praćenje usjeva na malim površinama (50 do 500 ha) dronovi prvi i najbolji izbor. Primjena im je veoma raznolika u praćenju usjeva:

- Rast i razvitak usjeva (fenofaze i etape razvitka),
- Gustoća usjeva i sklopovi,
- Zdravlje (kondicija) usjeva,
- Potreba za prihranom usjeva (vrijeme i doza),
- Potreba za navodnjavanjem,
- Pojava bolesti i štetnika,
- Pojava korova i zakorovljenost,
- Procjena biomase i prinosa,
- Utvrđivanje termina žetve,
- Utvrđivanje mikrodepresija, ležanje vode, stanje drenaže i dr.

Dronovi namijenjeni komercijalnom korištenju u poljoprivredi najčešće se nabavljaju s računalnim programima za analizu prikupljenih podataka i automatsko planiranje leta (Slika 38.). Standardnu opremu sačinjavaju GPS, digitalna kamera (fotoapararat) s multispektralnim senzorima, dok skuplji modeli često imaju i druge senzore, npr., infracrvene (toplinske), senzore hiperspektralnog (oku nevidljivog) zračenja, optički radar (LIDAR = *Light Detecting and Ranging*), 3D radar (SAR = *Synthetic Aperture Radars*) itd.

Navodnjavanje usjeva, je najveći globalni potrošač vode, a ona je u hijerarhiji biljnih potreba odmah ispod sunčeve energije, odnosno iznad potrebe za hranivima i zaštitom usjeva od bolesti štetočina. Stoga, učinkovito i pravovremeno navodnjavanje zahtijeva pouzdane informacije o raspoloživosti vode iz tla te trenutnim potrebama usjeva, ovisno o biljnoj vrsti, fenofazi, efikasnosti korištenja vode, odnosno trenutnoj potrošnji vode.



Slika 39. Programirani plan leta drona

Dronovi, premda su tehnološki najnapredniji sustavi praćenja u biljnoj proizvodnji, ipak nisu svemogućí niti mogu biti potpuna zamjena za druge, egzaktne analitičke metode, npr. utvrđivanje stanja u tlu i biljkama. Primjerice, kad se za utvrđivanje potrebe N-prihrane ozimih usjeva koristi samo nekalibrirani NDVI indeks vegetacije, temeljem kojeg se u praksi najčešće donose odluke o agrotehničkim mjerama pa i N-prihrani, moguće je donijeti pogrešnu odluku. Naime, pregled stanja ozime pšenice pred prvu prihranu (prolježno kretanje vegetacije) može pokazati potrebu za ranijom N-prihranom, premda tlo može biti hladno pa biljke neće moći usvojiti potrebnu količinu N, čak niti vodu (tzv. *fiziološka suša*) zbog niskog metabolizma korijena. Zatim, pregled ozimih žita pred vlatanje može ukazivati na dobar sklop i izvrsnu kondiciju usjeva pa se smanjivanje N-doze za drugu N-prihranu može činiti logičnim. Međutim, bez provjere raspoloživosti dušika iz tla, npr. N_{min} metodom, realna je mogućnost kako dušika u tlu više nema dovoljno za naredni period (usvojen od strane usjeva, ispran ili premješten izvan rizosfere zbog viška oborina), a pšenica u periodu od vlatanja do klasanja (30-ak dana) usvoji ~60 % ukupno potrebnog dušika. Budući da treća, tzv. korektivna N-prihrana, jako poskupljuje proizvodnju ozimih usjeva, a veoma

često neznatno utječe na visinu prinosa (tek ponekad utječe na kakvoću uroda), oslanjanje na odluku o smanjivanju doze N-prihrane, samo temeljem NDVI indeksa, može biti rizično, ali i posve pogrešno.

Korisnici dronova, ne samo u poljoprivredi, moraju znati da je od 2015. god. u RH na snazi *Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova* (http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_05_49_974.html) koji traži da *rukovatelj dronom*, mora osigurati da let bespilotnog zrakoplova ne predstavlja opasnost za život, zdravlje ili imovinu ljudi zbog udara ili gubitka kontrole i da ne ugrožava ili ne ometa javni red i mir. Let se mora odvijati danju, meteorološki uvjeti moraju biti povoljni, a bespilotna letjelica mora biti na sigurnoj udaljenosti od ljudi, životinja, objekata, vozila, plovila, drugih zrakoplova, cesta, željezničkih pruga, vodenih putova ili dalekovoda, ne manju od 30 metara, a od skupine ljudi najmanje 150 metara. Također, Pravilnikom je regulirano gdje nije nedopušteno korištenje bespilotnih letjelica (naselja, blizina aerodroma i dr.), koja je dokumentacija potrebna za izvođenje leta (pilotska dozvola, plan leta, policica osiguranja, letački priručnik i dr.) kao i niz drugih uvjeta koji moraju biti ispunjeni, shodno Pravilniku i pravilima Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo.

Precizna poljoprivreda

Precizna poljoprivreda temelji se na promatranju i mjerenju radi adekvatnog odgovora na varijaciju usjeva unutar proizvodne parcele. Varijabilnost usjeva uvijek ima prostornu kao i vremensku komponentu, što se puno lakše uočava uz primjenu geostatističke-kompjutorske analize (*Vukadinović, Vl. i Jug, 2014., Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2016.*). Stoga se precizna poljoprivreda oslanja na *sustav podupiranja odluka (Decision Support System ili DSS)* kojim se optimiziraju i nadziru različiti proizvodni procesi. DSS nije univerzalan jer pristupa upravljanju različitim proizvodnim procesima oslanjajući se na *fitogeomorfološki pristup*, odnosno *topologiju poljoprivrednog prostora* (topografske, agrokemijske, satelitske i druge karte, GPS, senzore za identifikaciju svojstava tla i prinosa i dr.). Na taj način moguće je precizno *geopozicionirati* (definirati položaj u prostoru) i detektirati prostornu i vremensku varijabilnost proizvodne parcele, npr. vlažnost tla, koncentraciju humusa, raspoloživost elemenata ishrane, pH, EC i dr. Zbog toga je geopozicioniranje temelj za definiranje strategije, odnosno izradu *tehnoloških karata* koje su podloga za donošenje odluke o vremenu i načinu izvođenja pojedinih agrotehničkih zahvata. Njena primjena sve je intenzivnija,

i to ne samo na velikim zemljišnim kompleksima. Precizna agrikultura može se grubo podijeliti na:

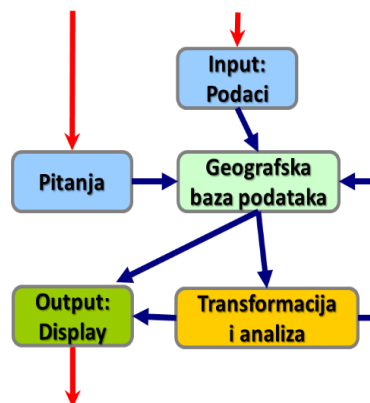
- 1) *Sustavi temeljeni na kartama* koji koriste satelitsku navigaciju kao što su GPS (ili druge sustave pozicioniranja: ruski GLONASS koji je već operativan, europski Galileo, kineski Beidou, japanski QZSS i indijski IRNSS). Ovi sustavi uključuju:
 - a) Pozicioniranje (senzori za detekciju),
 - b) Kontinuirano mjerenje prinosa (senzori za detekciju prinosa i svojstava tla),
 - c) Softver za kartiranje i
 - d) Softver za primjenu karata prinosa i zemljišnih svojstava (koji mora biti izvršan na terenu prilikom gnojidbe, sjetve i drugih agrotehničkih operacija).
- 2) *Sustavi u stvarnom vremenu* koji koriste aktualne informacije o tlu i parametrima usjeva. Oni ne zahtijevaju pozicioniranje ili kartiranje osim za izradu izvještaja (zapis akcije na karti parcele), a koriste se, npr. kod N-prihrane na temelju mjerenja boje (klorofila), količine biomase usjeva, primjene herbicida uz prepoznavanje korova u usjevu i sl.
- 3) *Sustavi u stvarnom vremenu s primjenom karata* koji kombiniraju mogućnosti karata i sustava u stvarnom vremenu. Ovi sustavi koriste različite karte (prinosa, agrokemijske karte raspoloživosti hraniva i drugih svojstava tla) kombinirajući ih s primjenom senzora u realnom vremenu za utvrđivanje uzrasta biljaka, vlažnosti tla, zakorovljenosti i sl. Budući da takvi sustavi zahtijevaju sve komponente prethodnih dvaju sustava, vrlo su složeni i zahtijevaju računala koja obrađuju potrebne informacije u realnom vremenu, ali zato omogućuju optimizaciju na terenu, posebno u primjeni gnojiva i pesticida.

GIS i digitalno kartiranje

GIS (*Geographic Information System*) je skup kompjutorskih alata namijenjenih prikupljanju, obradi, upravljanju, analizi, prikazivanju i održavanju prostorno orijentiranih informacija (*Huisman i de By, 2009., Calkins, 2016., Universität Hildesheim, 2017.*). To je tehnička definicija, koja naglašava povijesni razvoj GIS-a kao kombinaciju projektiranja uz pomoć kompjutora (CAD) i mogućnosti rukovanja digitalnom kartografijom spojenom s atributnim (opisnim) bazama podataka.

Za procjenu zemljišne pogodnosti koristi se veliki broj alata koji se mogu primijeniti samostalno ili kao pomoć sustavima za vrednovanje zemljišta. Razvojem informatičkih znanosti i razvojem kompjutora od prve generacije takvih alata (koriste se i danas) koji su uključivali tiskane karte, zračne

fotografije, terenska opažanja i mjerenja s naglaskom na jedno svojstvo, npr. opasnost od erozije zbog nagiba zemljišta, vrlo brzo razvijeni su alati druge i treće generacije namijenjeni računalnoj evaluaciji zemljišta koji najčešće uključuju više zemljišnih svojstava i ciljeva korištenja zemljišta, uključujući GIS programe. Četvrta generacija alata danas su široko dostupni jer koriste mobilne aplikacije primjenjive na terenu koje integriraju lokalne podatke sa bazom znanja u oblaku (*cloud*). Najnovija, mobilna generacija alata za procjenu pogodnosti zemljišta najčešće uključuju male, prenosne i jeftine senzore kako bi omogućili dobru lokaliziranu procjenu što omogućuje generalizaciju podataka i njihovu vizualizaciju na kartama (UNEP, 2016.).



Slika 40. Opća struktura GIS-a

GIS tehnologija integrira uobičajene operacije sa bazama podataka kao što su pretraživanja, upiti ili statističke analize, s jedinstvenim prednostima vizualizacije i prostorne analize koju donose karte. Navedene mogućnosti izdvajaju GIS od ostalih informacijskih sistema i čine ga izuzetnim alatom za najrazličitije namijene i korisnike (Slika 40.). GIS je vrsta informacijskog sustava primijenjena na geografske podatke s ciljem:

Oplemenjivanje informacija zbog efikasnijeg donošenja odluka,

- a) Upravljanje korištenjem zemljišta, sredstava, prijevoza, trgovine, mora, rijeka ili bilo kog prostorno distribuiranog entiteta,
- b) Povezivanja elemenata sustava u prostoru (npr. lokacija, blizina, prostorna raspodjela itd.) i
- c) Rješavanje složenih problema planiranja, analize i upravljanja.

Komponente GIS-a su sljedeće:

Hardver (hardware) je fizičko, kompjutorsko okruženje (očvrsje; *hardware*) na kome GIS radi, a *softver (software)* je programska podrška koja osigurava funkcije i alate neophodne za prikupljanje, analizu i prikazivanje podataka o prostoru. Ključne komponente softwera su:

- a) alati za unos i obradu prostornih informacija,
- b) sistemi za upravljanje bazama podataka (DBMS),
- c) alati za podršku prostornim upitima, analizama i vizualizaciji i
- d) grafički korisnički interfejs za jednostavno korištenje alata.

GIS alati su razvrstani na:

- prostorne proračune (izračunavanje udaljenosti, površina, granice prostora i dr.,
- transformacija projekcija i razmjera (integriranje i transformacija različitih podataka),
- Prostorne analize (kvantitativne i kvalitativne analize kao što su generalizacija, interpolacija, ekstrakcija i dr.) i
- vizualizacija podataka (tematske karte, tablice i grafikoni, animacije, virtualni 3D prikaz prostora i dr.).

Podaci (data) su najvažniji dio GIS-a. Podaci o prostoru (karte i informacije) mogu se dobiti konverzijom (skeniranjem, digitalizacija) klasičnih karata u GIS kompatibilne formate.

Korisnici (users) su od stručnjaka koji razvijaju i održavaju sistem, do krajnjih korisnika koji izvršavaju svakodnevne poslove.

Metode (methods) su specifična pravila za svaku ustanovu, firmu ili oblast primjene.

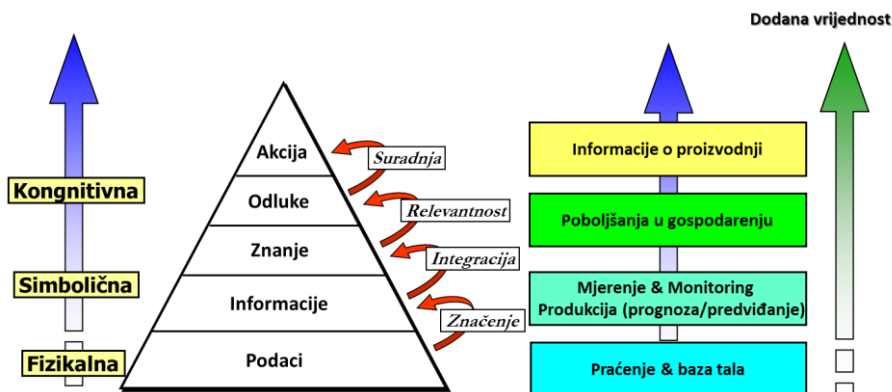
GIS integrira dva različita modela prikaza realnog svijeta u digitalnom obliku: vektorski i rasterski prikaz. *Vektorski model* predstavlja naše okruženje u formi točaka, linija ili poligona (površina). Ovi geometrijski elementi čuvaju se kao parovi x,y koordinata. Vektorski model je izuzetno upotrebljiv za predstavljanje diskretnih lokacija i objekata, ali ima problema kod prikazivanja promjenjivih veličina (npr. oborine, temperatura i dr.). *Rasterski model* je vrlo pogodan za prikaz promjenjivih veličina jer je rasterska slika slična matrici, gdje svaka ćelija ima određene atribute i vrijednosti.

Geokodiranje podataka se danas gotovo isključivo obavlja uz pomoć GPS-a (*Global Positioning System*).

Geostatistika i vizualizacija

Procjena pogodnosti tla uključuje izmjeru i interpretaciju vanjske morfologije tla, vegetacije, klime, indikatora pogodnosti fizikalne, kemijske i biološke naravi te niza drugih indikatora (iz grupe sociološko-ekonomskih i tehničko-tehnoloških) potrebnih za odabir najpovoljnijeg načina korištenja tla. Stoga je *vrednovanje zemljišne pogodnosti (Land evaluation)* proces utvrđivanja pogodnosti (prikladnosti) zemljišta za određene vrste korištenja, a klasifikacija zemljišne pogodnosti (*Land suitability classification*) je način grupiranja pojedinih tipova zemljišta u smislu njihove apsolutne ili relativne prikladnosti za određenu vrstu primjene. Dakle, vrednovanje zemljišta bavi se procjenom zemljišnih performansi za određene namjene. To uključuje praćenje i tumačenje klime, tla i vegetacije te druge aspekte zemljišta u smislu

zahtjeva za alternativnim oblicima korištenja zemljišnih resursa unutar relevantnog fizičkog, ekonomskog i socijalnog konteksta (Slika 41.).



Slika 41. Shematski prikaz korisnosti geoinformacija u procjeni produktivnosti zemljišta

Dobra procjena proizvodnog potencijala tla uključuje njegova agroekološka svojstva kao i kvantifikaciju načina njegove uporabe, pa se isključivanjem sociološko-ekonomske grupe atributa usvaja fizički pristup u proizvodnji hrane za koji je karakteristična kvalitativna procjena proizvodnih sposobnosti tla. Takav pristup procjene produktivnosti tala zastupa većina konvencionalnih metoda koje tla razvrstavaju u *bonitetne klase* pri čemu prva klasa ima očekivano višu produktivnost prema drugoj (*bonitiranje*). Danas to više ne smije niti može biti jedini kriterij, jer kapacitet produkcije tla ovisi o složenom kompleksu velikog broja čimbenika i njihovoj interakciji. Stvarna produktivnost ovisi i o motiviranosti proizvođača za proizvodni rizik, odnosno za maksimalno ulaganje, zatim potrebe tržišta, ekonomske politike države te socijalne i kulturne tradicije.

Nedostaci konvencionalne procjene zemljišta, odnosno bonitiranja njegove pogodnosti, vrlo efikasno se mogu riješiti kompjutorskim, sofisticiranim modelima utvrđivanja pogodnosti zemljišta, kakav je npr. za usjeve *ISPAID* (*Iowa Soil Properties and Interpretations*, 2015.). Također, primjenom tehnika vizualizacije (*VS*), odnosno digitalnim kartama, koje mogu biti rasterske, vektorske, dvodimenzionalne (2D) ili trodimenzionalne (3D), s uključenom animacijom i drugim novim tehnologijama (*user-friendly*), vizualizacija prostora znatno dobiva na razumijevanju i primjeni.

Znanstvena vizualizacija (SciVis) kojom se transformiraju brojevi, simbolični podaci u geometrijski računalno generiranu sliku predstavljaju jedan od najmoćnijih prostornih informacija (*Barracough i Guymer*, 1998.). Svaka karta

vizualno poboljšava prostorno i vremensko razumijevanje fenomena, ali 3D prikazi mogu značajno poboljšati percepciju i interpretaciju krajolika.

Virtualna stvarnost (VR), također spada u metode vizualizacije. Potpuna virtualna stvarnosti zahtjeva od sudionika da prima podražaje koji utječu na više osjetila, uključujući vid, sluh, ravnotežu i dodir, ali takvi interaktivni sustavi su veoma kompleksni i skupi, zahtijevaju posebne naočale za prikaz, te se koriste samo za znanstvena istraživanja, koji ponekad uključuju i holografski prikaz., 3D pisač i dr.

Desktop virtualna stvarnost je najčešće korišten oblik VS sustava jer se može prikazati na standardnom monitoru računala. Potreban je konvencionalan, često besplatan softver (npr. *Google Earth* i dr.) za virtualnu okolinu (VE), gdje se korisnici mogu interaktivno kretati (navigirati) kroz prostor, komunicirati u stvarnom vremenu s objektima, te imaju osjećaj prisutnosti. *Desktop VR* je veoma koristan za prikaz okoliša jer omogućuje 3D prikaz i analiza prirodnog okruženja.

Geografski informacijski sustavi (GIS) su najčešći alat za pohranu podataka, njihovu analizu i vizualizaciju okoliša (izradu digitalnih karata). Koriste 2D i 3D (*DMR*; digitalni model reljefa) za trodimenzionalni krajobrazni prikaz (*Dobos i dr.*, 2006.).

Pored kvantitativnih mjerila rizika pomoću numeričkih vrijednosti, rangova i dr., kompjutorski modeli uz pomoć GIS alata integriraju sve agroekološke, tehnološke i zemljišne podatke (*pedološke, topografske*) u jedinstveni informacijski sustav/bazu. Zbog brzog napretka tehnologije, kao i potrebe za velikim brojem relevantnih podataka u procjeni/vrednovanju pogodnosti zemljišta, GIS alati su sve više potpomognuti metodama i tehnologijom *daljinskih istraživanja*, a podatke, uključujući i karte, korisnik može dobiti i mobilnim telefonom na proizvodnoj parceli ili terenu.

Karte s jedinicama zemljišta su poseban reprezentant svojstava tla, tj. kombinacije njegovih klimatskih i fiziografskih karakteristika. Na nesreću, podaci o zemljištu su rijetko potpuni i točni. Npr., klimatski podaci se sakupljaju u meteorološkim postajama koje pokrivaju šira područja i podložni su tzv. *prostornim distribucijama*. Klimatske odlike osciliraju po godinama, a često su izražene tek kao prosječne vrijednosti, koje tipiziraju pojedine zone u prilično širokim regionalnim granicama. S druge strane, fizikalno-kemijska svojstva tla su manje promjenjive veličine, ali ih najčešće premalo ima jer su fizikalne i kemijske analize tla relativno spore i skupe.

Ograničenja kod definiranja jedinica zemljišta često su uzrokovana *fiziografskim pojavama* (oblik zemljišta) i drugim nehomogenostima *soluma* ili *matičnog supstrata*. Zbog toga je potrebno skupiti što više relevantnih informacija o tlu i interpretirati ih prije nego li određeno područje bude definirano kao *zemljišna jedinica*. Najjednostavnija metoda čuvanja, rukovanja i prikazivanja sređenih podataka je alokacija svih podataka u prikladne ćelije u mrežnoj karti, a zbog lakšeg određivanja koordinata mjesta, mrežu je najbolje uključiti u sustav meridijana. Veličina mrežne jedinice je vezana uz svrhu procjene, ali i određena gustoćom temeljne mreže.

Mapping-monitoring sustav, kakav je danas u svijetu vrlo čest, s vrlo grubom kartom predviđenom uglavnom za nacionalno (strateško) planiranje, nije dovoljno pouzdan na razini parcele. Zbog toga, da bi se polučila stvarna korist od *kvantifikacije produktivnosti tla* i omogućilo regionalno planiranje proizvodnje hrane, potrebna je izrada poludetaljnih (razina posjeda, mjerilo 1:50.000), detaljnih (razina malih posjeda, mjerilo 1:25.000) i konačno vrlo detaljnih karata (razina parcele, mjerilo 1:10.000). Svaka ćelija na karti mora biti označena kompletnim setom klimatskih i zemljišnih podataka. To znači da najmanja zemljišna jedinica koja može biti analizirana ima veličinu jedne mrežne ćelije. Naravno, veće jedinice nastaju *agregacijom* (spajanjem) susjednih ćelija sličnih svojstava, ali takvo integriranje ima smisla samo unutar jednog sustava korištenja zemljišta.

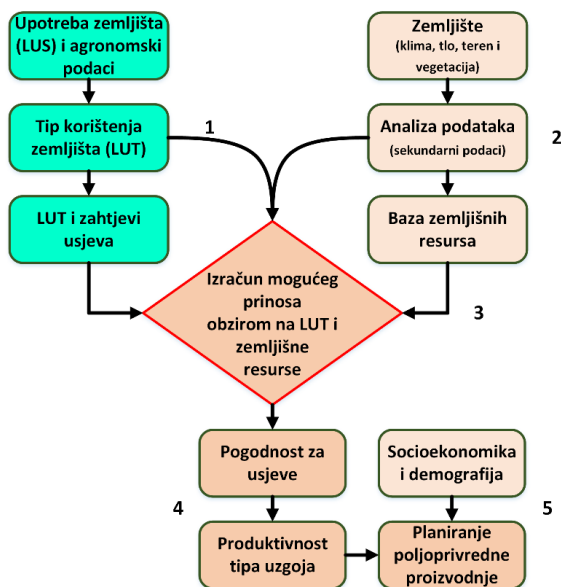
Agroekološko zoniranje

U većini zemalja u razvoju glavna pokretačka snaga u raspodjeli zemljišnih resursa za različite vrste uporabe su društveno-ekonomske potrebe i brzo povećanje populacije te je proizvodnja hrane glavni tip korištenja zemljišta. U takvoj situaciji vrlo je važno upravljanje, odnosno racionalno i održivo korištenje kako bi se sačuvali zemljišni resursi za dobrobit sadašnjih i budućih stanovnika.

Kreatori zemljišne politike i korisnici zemljišta veoma često su suočeni s degradacijom već kultiviranim područjima, kao i brzim devastacijom novo osvojenih područja, najčešće uslijed nekontrolirane erozije tla. Stoga je tijekom posljednja dva-tri desetljeća *FAO* razvio i uspješno primijenio metodologiju agroekoloških zona (*AEZ*) uz razvoj potrebnog softvera za analizu i rješavanje raznih problema u korištenju zemljišta, kao i za planiranje te upravljanje održive poljoprivredne proizvodnje na regionalnoj, nacionalnoj i subnacionalnoj razini. Brzi napredak u upravljanju zemljištem omogućila je primjena GIS-a i zemljišnih baza podataka. S obzirom na širenje *AEZ* metoda i

aplikacija na globalnoj, nacionalnoj i lokalnoj razini, razvijena je terminologija i skup smjernica za odgovarajuće razine upravljanja zemljišnim resursima.

Agroekološko zoniranje (AEZ) definira zone na temelju kombinacije tla, edafskih i klimatskih svojstava. Pojedina zona ima sličnu kombinaciju ograničenja i mogućnosti za korištenje zemljišta, te predstavlja temelj za preporuka kako poboljšati postojeći način korištenja zemljišta, bilo kroz povećanje proizvodnje ili ograničavanjem zemljišta degradaciju. AEZ se može smatrati skupom temeljnih programa za procjenu zemljišne prikladnosti i potencijalne produktivnosti (Slika 42.). Zoniranje dijeli područje na manje jedinice na temelju raspodjele zemljišta, površine zemljišta i klime. Razina detalja definirane zone ovisi o mjerilu studije, a ponekad i od mogućnosti obrade podataka. Ponekad se definiraju *podzone (agroekološke stanice, AEC)* koje su osnovne jedinice za procjenu zemljišta.

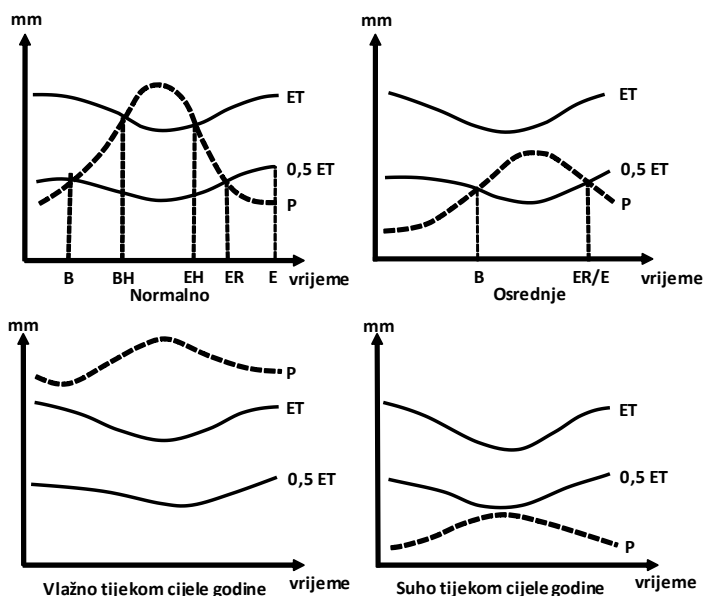


Slika 42. Konceptualni okvir za agroekološko zoniranje (FAO, 1976.)

Vegetacijsko razdoblje

Koncept vegetacijskog razdoblja je važan za AEZ jer uključujuće sezonske varijacije važne za procjenu/vrednovanje zemljišnih resursa. Npr., agroekološki uvjeti u pojedinim periodima mogu zahtijevati navodnjavanje, dok u zimskom periodu niske temperature mogu predstavljati problem (UNEP, 2016.). Stoga je vegetacijsko razdoblje dio godine kada su vlaga i temperatura pogodni za uzgoj usjeva, a značajni parametri su temperaturni režim, ukupna količina kiše, evapotranspiracija i učestalost klimatskih

opasnosti. Procjena vegetacijskog razdoblja temelji se na modelu koji uspoređuje *oborine (P)* s *potencijalnom evapotranspiracijom (PET)*.



Slika 43. Opći tipovi vegetacijskih razdoblja (FAO, 1996.)
 (B = početak vegetacije; BH početak vlažnog razdoblja; EH = kraj vlažnog razdoblja; ER = kraj kišne sezone; E = kraj vegetacije; P = oborine; ET = potencijal evapotranspiracije)

Četiri su opća tipa vegetacijskog razdoblja (Slika 43.), a početak vegetacijskog razdoblja poklapa se s početkom kišne sezone iz više razloga. Vлага tla važna je zbog mogućnosti dobre pripreme površine za sjetvu, dovoljne količine vode za klijanje i nicanje sjemena te početni rast (ukorjenjivanje i razvitak asimilacijske površine) usjeva. Eksperimentalni rad pokazuje kako je učinkovitost *ranih kiša* znatno veća kada je *P* jednak ili premašuje pola *ET* (Slika 43.). Vegetacijsko razdoblje se često produžava na period izvan kišne sezone, ali kad su rezerve vlage u tlu dovoljne. Također, u toplijim područjima, posebice kad ima dovoljno padalina ili je moguće osigurati vodu navodnjavanjem, ima više od jedne vegetacijske sezone godišnje.

Toplinski režim zemljišta

Toplinski režim tijekom vegetacijskog razdoblja je drugi osnovni klimatski parametar za definiranja agroekoloških zona. Najčešće se razmatra srednja dnevna temperatura tijekom vegetacijskog razdoblja u intervalima od 5°C ili 2,5°C.

Temperatura tla može znatno varirati ovisno o vremenu (godišnje, dnevno), nadmorskoj visini, dubini profila tla i dr. Osim temperature tla važan je i njegov *toplinski kapacitet* koji je ovisan o omjeru vode, mineralne i organske tvari, sposobnosti prijenosa topline (*toplinski konduktivitet tla*) između zagrijavanog površinskog sloja i dubljih slojeva (*rizosfera*), kao i sposobnost odavanja topline *radijacijom* (zračenjem ili isijavanjem topline u okolni prostor) te *konvekcijom* (kretanjem zagrijanog, lakšeg zraka) (Vukadinović Vl. i Vukadinović Ve., 2016.).

Tla koja sadrže više organske tvari uobičajeno imaju dobru strukturu, tamnije su boje te bolje apsorbiraju Sunčevo zračenje. Npr., *albedo* (refleksija Sunčeve radijacije u %) tamnog tla je 5 - 15 %, travnjaka 10 - 20 %, dok na golom, vlažnom tlu s malo organske tvari albedo može doseći gotovo 50 %. Važno je znati da od Sunčeve radijacije koja dopiše na površinu usjeva svega ~1 % biljke iskoriste u procesu fotosinteze, ~80 % se potroši za isparavanje (*evapotranspiracija*) vode, a tek ~20 % je iskorišteno za zagrijavanje tla. Također, zagrijavanje tla veoma ovisi o *ekspoziciji* (položaj u odnosu na upadni kut Sunčevog zračenja) što je važno za uzgoj *termofilnih vrsta* (npr. vinove loze). Također, na zagrijavanje tla utječe godišnje doba, nadmorska visina (za svakih 100 m nadmorske visine temperatura zraka u RH pada za ~0,65°C), biljni pokrov, vlažnost tla, brzina vjetra i mikro topografija tla (manje neravnine, dubina soluma, način obrade i sl.).

Temperatura je važan ekološki čimbenik koji određuje niz strukturnih i funkcionalnih svojstava tla, kako prirodnih tako i poljoprivrednih ekosustava. U klimatski hladnijim područjima temperatura u zoni korijena je najvažniji čimbenik za utvrđivanje prirasta organski tvari (*neto primarna produktivnost*) jer određuje duljinu vegetacije. Porastom temperature raste aktivnost *žive faze tla (biota)*; živi organizmi tla; 5 - 20 t ha⁻¹ ili još više u plodnom tlu). Naime, biološka aktivnost zemljišta podjednako je važna za vegetaciju i usjeve kao i metabolizam, odnosno rast korijena. U toplijem tlu s intenzivnom mikrobiološkom aktivnosti intenzivnije je usvajanje vode i hraniva, odnosno ubrzan je rast i razvitak biljaka. Temperatura tla utječe značajno na brzinu usvajanja hraniva, posebice NH₄⁺, H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻ i K⁺, tako da porast temperature za svakih 10°C ubrzava usvajanje 2 - 3 puta. To vrijedi samo do neke granice (npr. usvajanje fosfora i kalija raste kod kukuruza sve do 35°C), zapravo dok se ne uspori ili zaustavi disanje korijena.

Značaj temperature tla može se promatrati s više gledišta:

- *Razgradnja i mineralizacija organske tvari* (oslobađanje hraniva, utjecaj na vodni režim, strukturu tla itd.),

- *Razgradnja primarnih i sekundarnih minerala tla te tvorba gline* (utjecaj leda, temperaturne amplitude dan/noć, izlučevine korijena i drugi kemijski agensi),
- *Rast i razvitak biljaka* (potreba za temperaturom, temperaturna valenca, optimum, usvajanje vode i hraniva i dr.). Također, temperatura ima izravan utjecaj (klijanje i nicanje sjemena, rast korijena, usvajanje hraniva i rast izdanaka), ali i neizravan (premještanje vode, premještanje plinova, npr., N₂, O₂, struktura tla, raspoloživost hraniva i *difuzija hraniva*);
- Pokretljivost vode (konvekcija, evaporacija);

Biologija tla (bakterije i gljive mogu preživjeti od -12°C pa čak do 100°C, ali u tlu većina ih živi između 0 i 30°C; većina velikih organizama spušta se dublje u tlo tijekom zime ili ljeta).

Inventar zemljišnih resursa

Inventar zemljišnih resursa čine mnogobrojne informacije o tlu i klimi, a pogodnost zemljišta za usjeve Osječko-baranjske županije objedinjuje sve raspoložive podatke (Slika 44.). Utvrđene agroekološke zone imaju jedinstvenu kombinaciju, zapravo određeni raspon kartiranih jedinica tla, duljinu vegetacijskog razdoblja i podjednak termalni režim. Zemljišne značajke svake agroekološke stanice (AEC) se odnose na agroklimatska ili zemljišna ograničenja. Informacije o zemljišnoj administraciji, zakupu zemljišta te trenutni način korištenje zemljišta, a vezano za potencijalnu dostupnosti zemljišta, može biti registriran u inventaru zemljišnih resursa, a informacije su kvalitetnije uz korištenje GIS-a. Stoga *Osnovna pedološka karta RH*, koja je utemeljena na zastarjelim, malobrojnim i nedovoljno pouzdanim podacima, a koristi se nekritički i masovno u procjeni zemljišne pogodnosti (*Bogunović i dr.*, 1998.), praktično nije dovoljno pouzdana za uporabu.

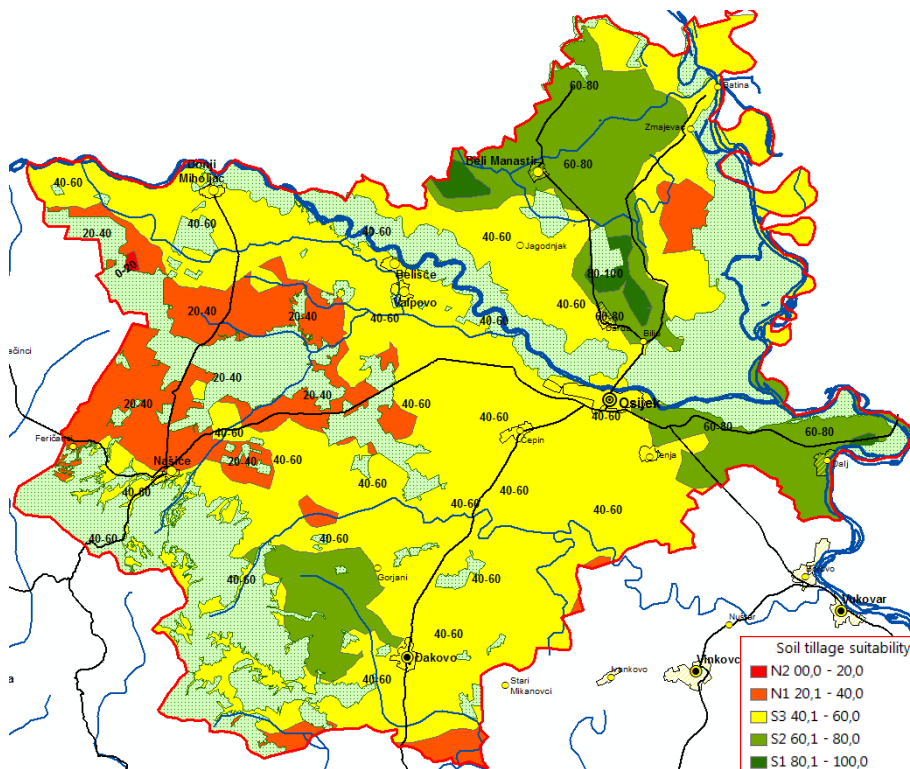
Tip korištenje zemljišta (LUT; Land utilization types)

Procjena zemljišne pogodnosti i njegova potencijalna produktivnost odnose se samo na određenu vrstu korištenju zemljišta, pod određenim proizvodnim uvjetima. Relevantni tip korištenja zemljišta mora biti jasno identificirani na temelju postojeće i potencijalne upotrebe zemljišta i opisan prije ocjenjivanja zemljišne pogodnosti.

Procjena zemljišne pogodnosti (prikladnosti) – Potencijalni prinosi

Za procjenu potencijalne produktivnosti AEZ koristi koncept maksimalno moguće ukupne biomase i prinosa. Za konkretni tip korištenja zemljišta *potencijalni maksimalni prinosi* određuje se prema intenzitetu Sunčeve radijacije i temperature konkretne lokacije, fotosintetske učinkovitosti usjeva

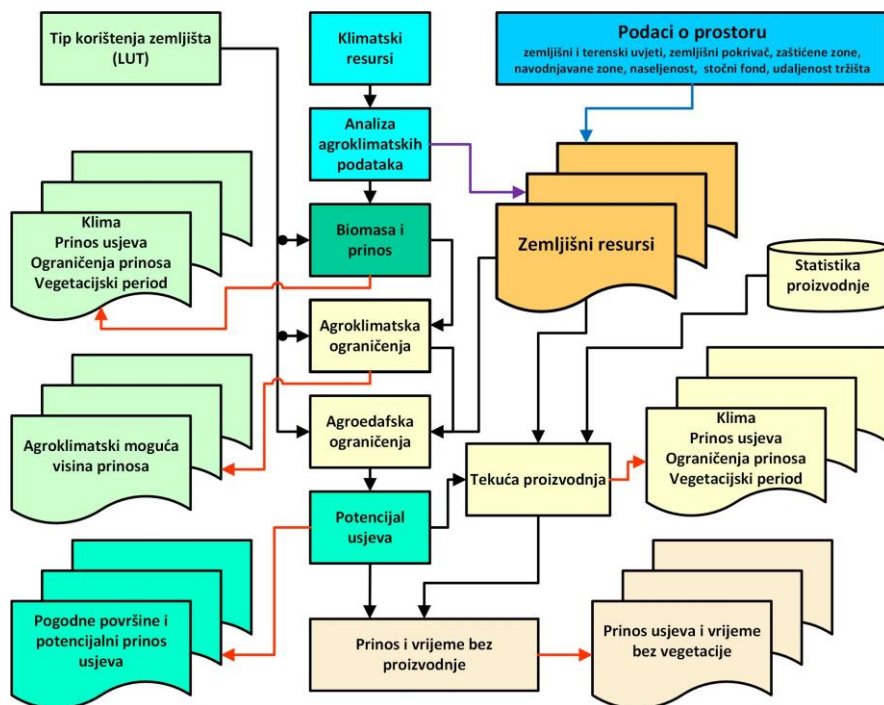
te omjeru ekonomski korisne količine (tzv. *merkantilni prinosi*) i nekorisnog dijela (*žetveni indeks*) u ukupnoj biomasi usjeva. Potencijalno najveća biomasa, kao i očekivani prinosi usjeva, obično se izračunavaju pomoću jednostavnog simulacijskog modela (FAO, 1978.).



Slika 44. Kriging relativne pogodnosti zemljišta Osječko-baranjske županije s lokacijom uzorkovanja (Vukadinović i dr., 2011.)

Agroekološko zoniranje

Međunarodni institut za primijenjenu analizu sustava (IIASA, FAO) za proizvodnju hrane, odnosno potencijal poljoprivrednih resursa, kontinuirano razvija metodologija definiranja agroekoloških zona (AEZ) te su danas na raspolaganju alati za upravljanje globalnom bazom podataka. Od 2000. godine provode se svakih nekoliko godina globalne procjene AEZ, a podaci su javno dostupni. Na globalnom agroekološkom prostoru GAEZ ima za cilj procjenu mogućeg prinosa većeg broja usjeva u svijetu, kao i na nacionalnoj i subnacionalnoj razini, što jasno ilustrira dijagram (Fischer i dr., 2012., Slika 45.)



Slika 45. Struktura i podaci o zemljištu potrebni za GAEZ (globalne agroekološke zone) proceduru

AEZ procedura

Osnovna primjena AEZ je procjena prikladnosti zemljišta i proizvodnih potencijala pod određenim tipom korištenja, a sastoji se od tri grupe aktivnosti:

- Inventarizacija tipa korištenja zemljišta i njihovi ekološki zahtjevi,
- Definiranje i kartiranje agroekoloških zona na temelju inventarizacije zemljišnih resursa (uključujući klimatske i zemljišne odlike tla) i
- Vrednovanje zemljišne prikladnosti pojedine agroekološke zone.

U proceduru AEZ uključene su i napredne aplikacije za a) Procjenu proizvodnosti zemljišta, b) Potencijalna površina obradive zemlje i c) Optimizacija korištenje zemljišta. Postupci su dobro opisani, a naglasak je na razumijevanju procedure koja se može provesti i bez računala (osim donošenja odluka). Kako većina korisnika ima pristup bazama podataka i softveru, proračun je veoma olakšan te se na ovom mjestu ne opisuju detalji.

Ekološko-ekonomsko zoniranje (EEZ)

Ekološko-ekonomsko zoniranje (EEZ) je alternativni pristup procjene zemljišnih resursa koji ima za cilj ispraviti prenaplašenost fizikalnih čimbenika

poljoprivredne proizvodnje, te ono uključuje sociološko-ekonomski aspekt proizvodnje hrane. Glavni ciljevi EEZ su (*Sombroek, 1994.*):

- Utvrditi područja u kojima se može se poticati proizvodnja hrane kroz razvojne programe, usluge, financijske poticaje itd.,
- Utvrditi područja s posebnim potrebama i problemima, kao i područja koja zahtijevaju zaštitu ili očuvanje i
- Osigurati osnovu za razvoj infrastrukture.

EEZ je zapravo planiranje korištenja zemljišta koje uzima u obzir sve abiotske i biotske elemente okoliša, ali obuhvaća i uvjete sociološko-ekonomskog okruženje. Stoga se EEZ u načelu primjenjuje na svim geografskim pozicijama i pri svim intenzitetima korištenja zemljišnih resursa. Bitan element EEZ je njegov dinamičan karakter jer se može prilagoditi promjenama društveno-ekonomskih uvjeta i/ili promjenama u trendu svjetskog tržišta.

Planiranje (zoniranje ili rajonizacija) korištenja zemljišta

Općenito, zemljište je oskudan resurs te je zbog porasta broja stanovnika, onečišćenja, erozije i širenja pustinja (dezertifikacije), učinka klimatskih promjena, urbanizacije i dr. na raspolaganju sve manje poljoprivrednog, posebice plodnog tla. Dakle, na raspoloživog zemljište konkuriraju različiti i brojni korisnici kako bi se osigurao gospodarski rast kroz dovoljnu proizvodnju i sigurnost hrane, opskrbu energijom, zaštitilo i očuvalo prirodno okruženje i ostvarili drugi ciljevi. Planiranje korištenja raspoloživog poljoprivrednog zemljišta je stoga veoma bitno za nadzor i prevenciju onečišćenja i njegove devastacije. Jednako je važan i nadzor nad korištenjem zemljišta u okviru zadanih normi (planova, propisa i smjernica). Naime, životni prostor ima tendenciju sve veće i ubrzane urbanizacije te su neminovni sve češći *prostorni sukobi*, kako na nacionalnoj tako i regionalnoj razini, između potrebe za ubrzanim razvojem s jedne te potrebe za očuvanjem krajolika i kulturne baštine za sadašnje i budućih generacija s druge strane.

Tradicionalno zoniranje nije više dostatno niti na regionalnoj, a kamoli nacionalnoj i razini, te je u suvremenom društvu potreban novi način planiranja korištenja prostora. Princip održivog razvoja dao je konceptualni okvir kojim se uravnotežuju ekonomske, ekološke i društvene potrebe, ali još uvijek nisu razvijeni adekvatni alati za upravljanje i učinkovito korištenje cjelovitog prostora, kao niti poljoprivrednog zemljišta. Zbog toga je učinkovito korištenje zemljišta veoma važan cilj s kojim se bore i tehnološki naprednije zemlje od RH, uglavnom zbog nedostatka, ali i nekorištenja postojećeg

obradivog zemljišta potrebnog za proizvodnju dovoljne količine hrane i smanjenja potrebe za njenim uvozom.

U tom kontekstu EU je donijela niz direktiva kojih se moraju pridržavati zemlje članice. Naime, određeno je da se mora procijeniti učinak svakog pojedinog javnog ili privatnog projekata na okoliš (*EIA direktiva*, 2016.) kako bi se osiguralo da projekti koji mogu značajno utjecati na okoliš budu ocjenjeni prije nego što budu odobreni. Navedena EIA direktiva također osigurava sudjelovanje vlasti i javnosti u procesu donošenja odluka kako bi se zaštitio okoliš. U planiranju korištenja poljoprivrednog zemljišta i razvoj ruralnog prostora važno je primijeniti provjerene ideje i iskustva drugih zemalja i zadržati se unutar poznatih načela (*Lithgow*, 2011.):

- Poštovati dogovorena načela u planiranju korištenja zemljišta,
- Prepoznati i zaštititi šumarstvo, poljoprivredu, rudarstvo i energetiku kao ključne elemente primarne proizvodnje,
- Zaštititi proizvodnju hrane zemlje i poljoprivrednu infrastrukturu od daljnjeg usitnjavanja i mogućih sukoba u korištenju,
- Zaštititi okoliš i njegove prirodne odlike od daljnje fragmentacije i sukoba u korištenju,
- Prepoznati i zaštititi prirodnu, povijesnu i kulturnu baštinu,
- Prepoznati estetske vrijednosti prostora i osigurati mogućnost razvoja turizma kao gospodarske grane u ekspanziji,
- Analizirati, kartirati i uzeti u obzir kapacitet zemljišta za razvoj ruralnih područja te pogodnost zemljišta obzirom na moguća ograničenja poljoprivrednog potencijala,
- Osigurati korištenje pogodnog zemljišta za razvoj intenzivne poljoprivredne aktivnosti,
- Prepoznati sposobnost za razvoj obnovljivih izvora energije,
- Osigurati teškoj industriji u ruralnim područja adekvatan i pogodan prostor,
- Općenito ukloniti laku industriju iz ruralnih područja i osigurati joj određene zone,
- Pojačati ruralno naseljavanje i osigurati ruralnim naseljima pomoć u primarnoj proizvodnji,
- Odrediti odgovarajuću minimalnu veličinu parcele u ruralnim područjima uzimajući u obzir razvoj, rast i principe održivosti,
- Utvrditi okvir za rješavanje nepogodnih životnih uvjeta i mogućih ukidanja stečenih prava kroz planiranje zemljišnog prostora.

Glavna poljoprivredna područja od nacionalnog su interesa te bi uz uređenje zemljišta i povećanje potencijala u proizvodnji hrane trebalo ograničiti

njihovo korištenje isključivo za poljoprivredne aktivnosti. Tako bi poljoprivredne regije profitirale provođenjem nacionalnih projekata za uređenje zemljišta kao što su projekti okrupnjavanje poljoprivrednog zemljišta (*komasacija* i *arondacija*), navodnjavanje, zaštita od poplava, revitalizacija zapuštenog zemljišta, izgradnja pristupnih putova, itd. Takva nacionalna strategija povećanja proizvodnje hrane mora uključiti i modernizaciju proizvodnih procesa (tehnologiju proizvodnje), uključujući i veće investicije u sredstva za proizvodnju kao što je repromaterijal, mehanizacija, prerađivački kapaciteti i dr. Takva politika trebala bi ograničiti i trgovanje nekretninama, ako i kad to dovodi do daljnje fragmentacije i usitnjavanja poljoprivrednih površina. *Fragmentacija zemljišta* (lat. *fragmentum* = dio odvojen od cjeline), često se označava i terminima *pulverizacija* (lat. *pulveris* = prah), *parcelizacija* ili *raspršenje*. Takve okolnosti u kojoj se poljoprivredno gospodarstvo sastoji od brojnih prostorno odvojene parcele bitno ograničava primjenu suvremene i učinkovite agrotehnike, poskupljuje proizvodnju i diže cijenu hrani. Zbog toga je rascjepkanost zemljišta jedan od glavnih problema efikasne organizacije proizvodnje na više odvojenih i udaljenih lokacija poljoprivrednih gospodarstava u RH.

Komasacija

Komasacija (*preparcelacija*) je kompleksna mjera agrarne politike kojom država fragmentirano zemljište grupira u veće proizvodne parcele pogodne za suvremene agrotehničke zahvate. Komasacijom se rješavaju i imovinsko pravni odnosi što olakšava izgradnju neophodne infrastrukture, kao što su putevi, provođenje hidrotehničkih melioracija, odnosno izgradnja otvorene kanalske mreže, nasipa, polaganje cijevne drenaža i dr. (*Malenica, 2015.*).

Arondacija

Arondacija je agrarna mjera kojom se manja, tuđa zemljišta, pripajaju većem posjedu radi racionalnije proizvodnje, a vlasniku tih manjih zemljišta daje se pravična naknada ili dodjeljuje drugo zemljište.

Zoniranje ili rajonizacija poljoprivrednog zemljišta

Zoniranje mora jasno označiti prihvatljivosti posebne namjene zemljišta u pojedinim područjima, odnosno namjena zemljišta i način njegovog korištenja mora biti sukladan sa planom razvoja i prihvaćenim standardima korištenja i nadzora. U tom kontekstu, regionalizacija prostora RH je potpuno izvan tog konteksta jer ne daje odgovore na specifične potrebe lokalnog

poljoprivrednog prostora. Naime, društveno-političke regije i sukladno tim granicama provedena regionalizacija poljoprivrednog prostora, premda donekle obuhvaća posebnosti klime, zemljišnih svojstava i tradicije, ne daje uvid u specifičnosti lokalnih poljoprivrednika itd. (npr. *terroir* u vinogradarstvu, potencijal i kapacitet biljne ili stočarske produkcije, hidrološke i zemljišne specifičnosti, kao niti u specifične lokalne potrebe, npr., potrebno znanje, želje i navike stanovništva, problemi i ograničenja i dr.

Zoniranje određuje vrstu uporabe zemljišta, odnosno definira njegovu uporabu kao urbano (stambene, poslovne i industrijske zone), poljoprivredno, šumsko, ili druge namjene. U Hrvatskoj je za zoniranje tradicionalno korišten izraz *rajonizacija* i tim se izrazom u poljoprivredi označava podjela nekog šireg teritorija na uža područja koja se međusobno razlikuju prema prirodnim i ekonomskim obilježjima. *Defilippis* (1995.) navodi da je rajonizacija *agropolitika mjera* koja se provodi:

1. Prema prirodnim odlikama staništa (*metoda homogenosti*), a obuhvaća analizu i razgraničenje prostora prema više ili samo pojedinim prirodnim svojstvima, odnosno specifičnostima šireg prostora. Obično se uzimaju u obzir:
 - a) *geografska svojstva* (nadmorska visina, nagib i ekspozicija zemljišta i dr.), pa se tada izdvajaju ravničarski, brežuljkasti, gorski i planinski rajoni (zone);
 - b) *geološko-pedološka svojstva*, pa se tada izdvaja npr. rajon krša i
 - c) *klimatska svojstva*, pa takove zone označavamo kao mediteranski, kontinentalni ili sl. rajon.
2. *Rajoniranje uključuje način korištenja zemljišta* (šume, pašnjaci, oranice, voćnjaci, vinogradi, livade i sl.), a *mikrozone* određuju rasprostranjenost kultura ili grupa kultura (rajoni žitarica, krumpira, maslina i sl.) ili pak rasprostiranje pojedinih kultivara.
3. *Rajoniranje obuhvaća i proizvodne mogućnosti zoniranog područja* obzirom na očekivane potencijalne mogućnosti proizvodnje ili uz provođenje odgovarajućih agrotehničkih mjera. Ovim pristupom se ukazuje na moguću buduću proizvodnju uz provođenje *reklamacije* (*melioracija*) zemljišta, uvođenje novih kultura ili novih agrotehničkih mjera.
4. *Program razvitka određenog rajona* treba sadržavati definirane mjere unapređenja poljoprivredne proizvodnje svake zone prema ekonomskom značaju predviđene proizvodnje, uzimajući u obzir potencijal pojedinog slivnog područja, značaj hidrosistema (odvodnja i navodnjavanje), blizine

većeg naselja (npr. prigradska zona) i sl. Mjere koje se predviđaju poduzeti za unapređenje proizvodnje identične su za čitavo područje rajona.

Generalno, za zoniranje konkretnog područja koriste se dvije metodologije rajonizacije, odnosno granice rajona moraju zadovoljiti dva osnovna zahtjeva:

- teritorij koji se ograničava (rajon, zona) mora biti homogen prema ključnom kriteriju temeljem kojeg se obavlja rajonizacija, odnosno razgraničenje poljoprivredna prostora i
- granica rajona (zone) mora ići po granici neke administrativno-teritorijalne jedinice tako da obuhvaća jednu ili nekoliko cjelovitih jedinica, što je važno zbog istovjetne agrarne i ekonomske politike (poticaji, pomoć poljoprivrednicima, investicije i dr.).

Drugi, *teritorijalni princip rajonizacije* važan je zbog relevantnih podataka kojima se argumentira poljoprivredna specifičnost rajona i potrebe da se sve naknadne mjere agrarne politike za konkretan rajon lakše provode i nadziru.

Prema *Defilippisu* (1995.) stara rajonizacija poljoprivrede Hrvatske zadovoljavala je oba ova zahtjeva i dobro je karakterizirala poljoprivrednu specifičnost svakog rajona i podrajona (mikrozone) sve do promjene teritorijalnog ustrojstva RH 1994. Prijelazom na novu administrativno-teritorijalnu podjelu na županije 1994. i novu regionalnu podjelu RH (*Bašić i dr.*, 2001.), poljoprivredno zoniranje se pokušava riješiti unutar regionalnih granica pa sada umjesto agroekoloških zona imamo regionalizaciju koja ne može riješiti temeljne potrebe i potrebu poljoprivrednog zoniranja.

Model procjene pogodnosti zemljišta za usjeve Osječko-baranjske županije

Plodnost tla može se pouzdano procijeniti vrednovanjem njegovih specifičnih funkcija koje kvantificiraju biljnu produktivnost i utječe na kvalitetu života, ali i zdravlje ljudi. Stoga *Karlen i dr.* (1997.) i *Pierce i Larson* (1993.) generalno definiraju plodnost tla kao njegov *kapacitet tla za funkcioniranje*. Potpuna 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 i Tugel*, 1997.). Budući da konvencionalne metode razvrstavaju tla u *bonitetne klase* temeljem koji se ne može pouzdano utvrditi potencijalna plodnost zemljišta, potrebno je *kapacitet produkcije tla* definirati analizom složenog kompleksa i interakcije velikog broja činitelja. Naime, stvarna produktivnost tla zavisi još i od motiviranosti proizvođača za proizvodni rizik, njihovog znanja, potreba i

uređenosti 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.

Proračun relativne pogodnosti tla koju su ponudili *Vukadinović Vl.* i *Vukadinović Ve.* (2011.) temelji se na *Liebigovom „Zakonu minimuma“* (autor je *Carl Sprengel* 1828., a popularizirao ga je *Justus von Liebig* 1855.) koji je *Liebscher* modificirao 1985. u tzv. „*Zakon optimuma*“. *Zakon optimuma* objašnjava da *faktor u minimumu* to više djeluje što su ostali faktori prinosa bliži optimumu. Ta *Liebscherova* hipoteza, koja je provjerena i potvrđena bezbrojnim provjerama u kontroliranim i prirodnim uvjetima, poslužila je kao temelj na kojem je *Vukadinović Vl.* (1993.) kreirao kompleksan model proračuna relativne pogodnosti zemljišta i potrebe za gnojivom izražen slijedećom formulom:

$$RP \% = \frac{\sum_1^n I - I_{\min}}{n - 1} \times \frac{I_{\min}}{100}$$

RP = relativna pogodnost tla/terena u %, I = indikator plodnosti, I_{\min} = indikator pogodnosti u minimumu, n = broj indikatora

Naime, *Sprengelov*, odnosno *Liebigov zakon minimuma* primarnu produkciju organske tvari promatra suviše pojednostavljeno. Naime, pojedini čimbenici rasta i razvoja bilja ne djeluju pojedinačno i neovisno od ostalih (npr., više vlage u tlu djelovat će na veću pokretljivost i bolje usvajanje gotovo svih hraniva iz tla itd., viša temperatura tla intenzivirat će metabolizam te ubrzati rast i razvitak, ali produžiti i duljinu vegetacije, odnosno period usvajanja vode i hraniva, kao i akumulaciju organske tvari itd.). *Stoga, prediktivni model* vrednovanja zemljišta, koji je razvijen za potrebe kontrole plodnosti Osječko-baranjske županije, uzima ključne indikatore plodnosti iz baze ulaznih podataka kao moguće faktore minimuma (ograničenja), potpuno je kompjutorski podržan pa velik broj zemljišnih indikatora i njihovih, često nelinearnih interakcije, ne utječu na brzinu proračuna i njegovu pouzdanost za procjenu zemljišne pogodnosti.

Model koristi nelinearne skor funkcije kojima se prikazuje intenzitet djelovanja pojedinog indikatora plodnosti/pogodnosti, a pogodnost zemljišta za usjeve procjenjuje se trenutno s jedanaest indikatora produktivnosti (Tablica 15.) i to: AL-P₂O₅, AL-K₂O, pH-KCl, pH-H₂O, KIK, Hy, humus, karbonati, tekstura tla, pros. god. oborine i pros. god. temperatura tla (KIK i tekstura tla se procjenjuju temeljem empirijskih modela). Također, u model je uključeno nekoliko korekcija, primjerice za biogenost tla, nagib i ekspoziciju, uređenost proizvodne parcele i navodnjavanje. Za potrebe Nacionalne baze podataka o

tlu SAD-a koristi se sličan prediktivni model (*Seybold i dr. 2005.*), ali linearnog tipa, pri čemu se homogene grupe tala izdvajaju prema sadržaju organske tvari tla, pH, mineraloškoj klasi i KIK-u.

Opisana metodologija vrednovanja zemljišta u potpunosti je podržana kompjutorskim programom i GIS-om, te osim što je pogodna za vrednovanje zemljišne pogodnosti, primjenjiva je i za *rajonizaciju* poljoprivrednog prostora, za donošenje odluka, analize i planiranja segmenata poljoprivredne proizvodnje kao što je obrada, kondicioniranje, uređenje i dr.

Tablica 15. Indikatori pogodnosti zemljišta za procjenu njegove pogodnosti prediktivnim modelom (*Vukadinović Vl. i Vukadinović Ve., 2011.*)

<p>Podaci o vlasniku zemljišta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • prezime i ime • adresa stanovanja 	<p>Agrokemijska analiza tla:</p> <ul style="list-style-type: none"> • pH_{HOH}, pH_{KCl} • $\text{H}_y \text{ meq H}^+ / 100\text{g}$ (if $\text{pH}_{\text{KCl}} < 5,5$) • humus % • $\text{AL-P}_2\text{O}_5 \text{ mg}/100\text{g}$ • $\text{AL-K}_2\text{O} \text{ mg}/100\text{g}$ • $\text{CaCO}_3 \%$ (if $\text{pH}_{\text{KCl}} > 6,5$) • KIK (empirijski model) • godišnja rata N-mineralizacije (semiempirijski model)
<p>Podaci o parceli i usjevu:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arkod ID parcele • veličina parcele • lokacija (GPS koordinate i nadm. visina) • usjev i planirani prinos • predusjev i njegov prinos • žetveni ostaci • org. gnojidba (količina i god. primjene) • siderati • teksturna klasa (procjena) • biogenost tla (procjena) • ekspozicija i nagib (procjena) • uređenost zemljišta (procjena) • agrotehnika (obrada i zaštita) • navodnjavanje 	<p>Gnojidbena preporuka:</p> <ul style="list-style-type: none"> • potreba u aktivnoj tvari • vrsta gnojiva i formulacija • vrijeme i način unošenja • objašnjenja rezultata analize • prijedlog mjera popravke tla • gnojidba za 6 usjeva do naredne analize tla • savjeti proizvođaču
	<p>Interpretacijska baza:</p> <ul style="list-style-type: none"> • unos i analiza podataka • GIS, tematske karte • ekspertni sistem

Standardno, klasifikacija procijenjene zemljišne pogodnosti obavlja se prema FAO (1981., Tablica 12.) u tri pogodne klase (S1, S2, i S3) i dvije nepogodne (N1 i N2). Tablica 16., osim klasifikacije zemljišne pogodnosti, prikazuje i postotni udio proizvodnih površina obuhvaćenih programom Kontrole plodnosti zemljišnih resursa OBŽ.

Budući da je FAO podjela ograničena na samo tri pogodne klase zemljišta, vrednovanje cjelokupnog prostora Osječko-baranjske županije (2003. - 2015.) provedeno je nakon analize pomoću geostatističke interpolacijske metode kriginga i prikazano u 9 klasa zemljišne pogodnosti (Tablica 16.). Kada je

pogodnost zemljišta za usjeve <40 % to zahtijeva velika ulaganja u njegovu reklamaciju, a meliorativni zahvati često su veoma skupi i neisplativi, posebice ako obradivog, trenutno zapuštenog zemljišta ima dovoljno na raspolaganju.

Tablica 16. Relativna pogodnost (%) zemljišta OBŽ za usjeve (*empirical bayesian kriging*)

Grupa	Rel. pog. (%)	Min. (%)	Max. (%)	Prosjek (%)	Površina (ha)
1	<=40,00	35,18	46,03	40,60	6752,77 (1,64 %)
2	40,01-50,00	46,03	54,39	50,21	49959,64 (12,15 %)
3	50,01-55,00	54,39	60,84	57,61	99333,82 (24,15 %)
4	55,01-60,00	60,84	65,81	63,32	80428,45 (19,55 %)
5	60,01-65,00	65,81	69,64	67,73	64458,81 (15,67 %)
6	65,01-70,00	69,64	72,60	71,12	45906,34 (11,16 %)
7	70,01-75,00	72,60	76,44	74,52	45409,62 (11,04 %)
8	75,01-80,00	76,44	81,41	78,92	18317,36 (4,45 %)
9	80,01-85,00	81,41	87,86	84,64	786,56 (0,19 %)

Prema podacima u Tablici 16. (temeljem analize ~25.000 slogova ulazne baze (>1.000.000 podataka), jasno je da i u OBŽ, kao poljoprivredno najrazvijenijoj županiji RH ima dovoljno zemljišnih problema, jer je svega 42,15 % zemljišta svrstano u klase S1 i S2 (visoko i umjereno pogodno zemljište), a 55,85 % pripada klasi S3 (ograničeno pogodno zemljište).

Suvremeni pristup vrednovanju zemljišta globalni je trend jer se moderni sustavi vrednovanja poljoprivrednog zemljišta sve više oslanjaju na kompjutizirane sustave. Npr., ALRC (2006.) za Kanadu (*Saskatchewan*) računa potencijalnu produktivnost tla primjenom sljedeće formule:

$$FR = ((C + OM + T + (P \times PAF) \times (-DEP) \times Phys) - Econ$$

FR = konačna ocjena

C = ocjena klime

OM = organska tvar tla

T = tekstura

P = ocjena profila

PAF = faktor prilagodbe profila

-DEP = faktor dubine

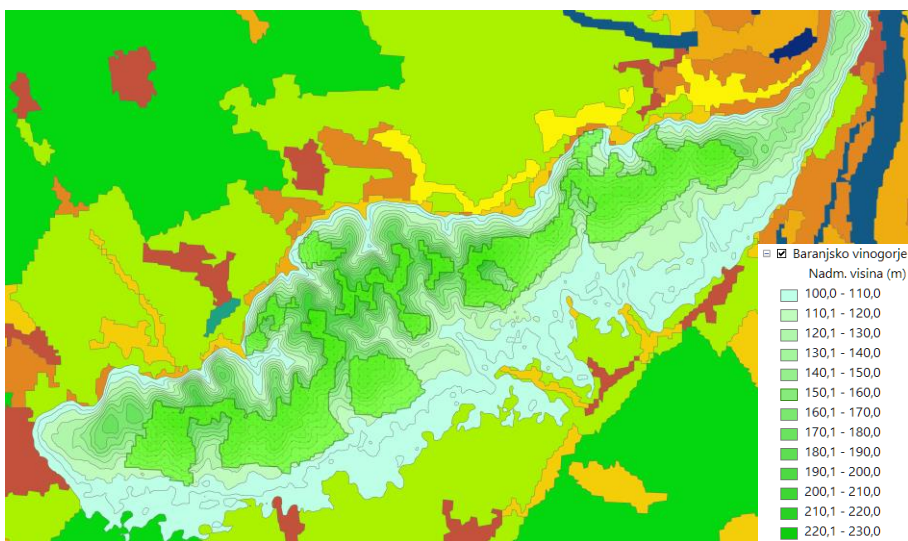
Phys = fizikalni čimbenici

Econ = ekonomski čimbenici

Druge države sastavnice Kanade (npr. *Alberta* i *Manitoba*) kao i u SAD (npr. *Colorado*, *Nebraska*, *Montana*, *North Dakota*, *South Dakota*, *Wiskonsin* i dr.) prema ALRC (2006.) imaju slične sustave procijene proizvodnog kapaciteta obradivog poljoprivrednog zemljišta. ALRC za Kanadu određuje produktivnost zemljišta pomoću sustava koji se oslanja na prosječan prinos za višegodišnji period, npr. ~250.000 izvješća o prinosu usjeva u *Saskatchewanu*.

Model procjene pogodnosti zemljišta Osječko-baranjske županije za trajne nasade

Suvremeno vrednovanje zemljišta namijenjenog višegodišnjim nasadima, posebice vinogradarstvu, zbog visokih ulaganja, proizvodnim rizicima i visoke profitabilnosti, praktično se više ne obavlja klasičnom metodologijom.. Naime, zbog potrebe za puno većim brojem informacija o zemljištu, klimi, tehnologiji proizvodnje itd. u odnosu prema uzgoju usjeva, specijalizirani kompjutorski modeli i GIS su nezamjenjivi alati za podršku procesu donošenja odluka (Slika 46.), od izbora terena za zasnivanje nasada, pa sve izbora kultivara, agrotehnike, zaštite i dr. Naime, izbor terena za podizanje trajnog nasada, primjerice vinograda, presudno utječe na prinos, kakvoću i profitabilnost u narednih 20 do 40 godina, koliki je eksploatacijski vijek takvog nasada. Stoga je izbor lokacije za sadnju trajnog nasada izuzetno važan jer se pogreške u tom dijelu naknadno praktično ne mogu ispraviti.



Slika 46. Baranjsko vinogorje (Corina satelitski snimak vinograda na GIS podlozi; vinogradi su označeni zeleno), http://tlo-i-biljka.eu/Gnojdba/Zanimljivosti/Zanimljivosti_02-2017.pdf

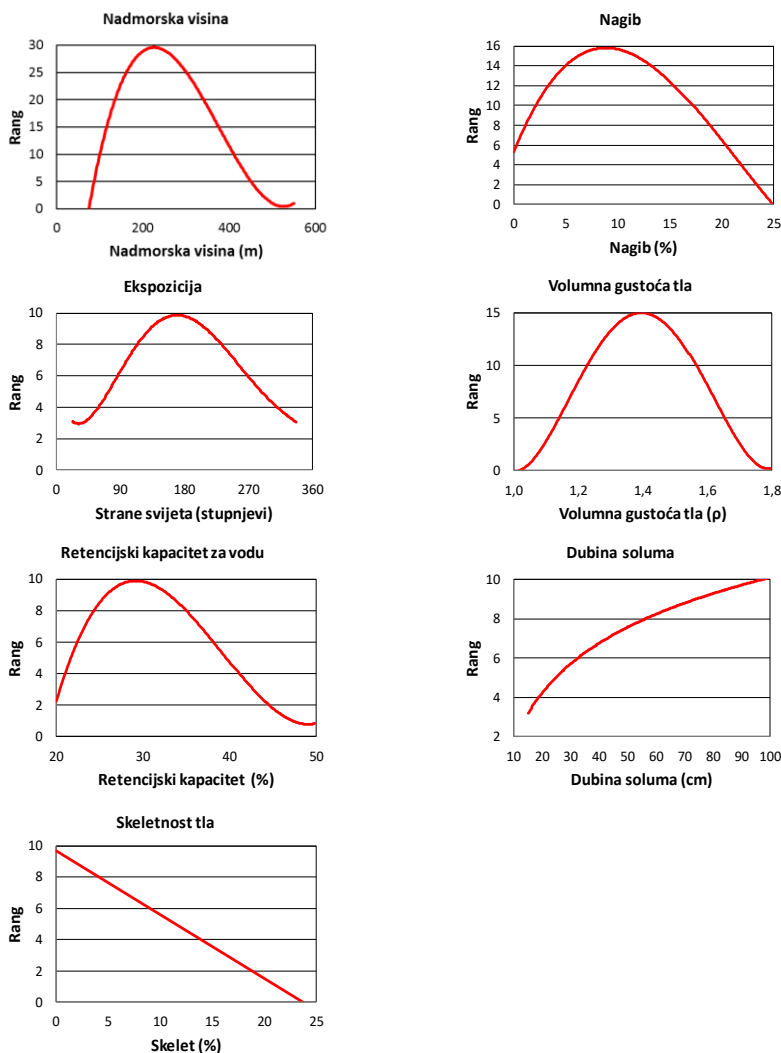
Vinova loza i vino su prirodan proizvod na čija svojstva snažno utječe velik broj agroekoloških uvjeta, a kombinacija vremenskih i prostornih varijabli, naročito promjenjivost tijekom vegetacije vinove loze, daje lokacijsku specifičnost i prepoznatljivost vinu. Stoga su za uzgoj vinove loze neobično važni lokalni agroekološki faktori, napose klima i tlo. Kako je *mezoklima* pod utjecajem topografije, ekspozicije, nagiba, barijera kretanju zraka (*mrazni džepovi*) i u manjoj mjeri zemljišnog pokrivača (golo tlo, trava, usjev, skelet),

tipa tla i vlage u tlu, sve su to značajni indikatori za procjenu pogodnosti zemljišta za zasnivanje trajnih nasada. Također, zbog izloženosti Suncu, temperaturi zraka, brzine vjetra i vlažnosti, potrebno je uzeti u obzir i mikroklimatske značajke koje su ovisne o tipu nasada, sklopu i međusobnom rasporedu voćaka, odnosno čokota, bujnosti loze i orezivanju. Za potrebe planiranja korištenja zemljišta koje će najbolje zadovoljiti potrebe ljudi, mudro je uključiti autohtono znanje jer lokalno stanovništvo obično ima vlastitu klasifikaciju pogodnosti poljoprivrednog zemljišta, koja ne mora biti društveno i ekonomski optimalna (zbog različitih interesa poljoprivrednika i šire zajednice kojoj pripadaju).

Izračun pogodnosti zemljišta za vinograde (*Vukadinović Vl. i Vukadinović Ve., 2011.*) čine dvije grupe indikatora pogodnosti zemljišta (Tablice 17. i 18.):

- 1) Limitirajući (ukupno 100 bodova; indikatori koji isključuju sadnju vinograda)
 - a) Nadmorska visina (m), do 30 bodova
 - b) Nagib (%), do 15 bodova
 - c) Ekspozicija ili aspekt (stupnjevi 0-360°), do 10 bodova
 - d) Volumna gustoća tla (g cm^{-3}), do 15 bodova
 - e) Retencijski kapacitet za vodu (%), do 10 bodova
 - f) Dubina soluma (m), do 10 bodova
 - g) Skelet (%), do 10 bodova
- 2) Antropogeni (ukupno 100 bodova; indikatori koji se kondicioniranjem i uređenjem zemljišta mogu popraviti tako da zadovoljavaju dugoročno potrebe vinove loze)
 - a) pH-KCl, do 25 bodova
 - b) Humus (%), do 15 bodova
 - c) AL- P_2O_5 ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$), do 15 bodova
 - d) AL- K_2O ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$), do 15 bodova
 - e) KIK ($\text{cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$), do 10 bodova
 - f) CaCO_3 (%), do 20 bodova

Zemljišni indikatori se mogu primjenjivati koristeći tablične vrijednosti, ili pak kao nelinearne skor funkcije (Slika 47.) kad se koristi aplikacija kreirana unutar Excela. Tablične vrijednosti indikatora, premda je proces vrednovanja zemljišta za vinograde potpuno automatiziran, dopuštaju uz njihovu adaptaciju primjenu ovog modela za različite agroekološke uvjete uzgoja vinove loze, pri čemu je moguća promjena ranga (značaja indikatora) kao i njegovog trenda (Tablica 17. i 18.).



Slika 47. Oblik skor funkcija i rang limitirajućih indikatora za vinovu lozu istočne Hrvatske (Vukadinović Vl. i Vukadinović Ve., 2011.)

Za limitirajuće čimbenike, prosječna vrijednost mora biti $\geq 40\%$, inače se zemljište klasira kao nepogodno za vinovu lozu. Antropogena grupa čimbenika (pH-KCl, karbonati, humus, KIK, AL- P_2O_5 i AL- K_2O) zapravo je korektivni faktor limitirajuće grupe indikatora pogodnosti zemljišta, ali najviše do 20% ($\pm 10\%$ u plus ili minus). Naime, zemljišta s malo humusa mogu se humizirati, kiselatla se mogu kalcizirati, a meliorativnom PK gnojdbom može se raspoloživost P i K podići do potrebne razine. Te mjere se preporučuju kao obvezne i to prije duboke obrade, odnosno rigolanja pred sadnju, kad to dubina soluma dopušta. Nakon sadnje, podizanje razine organske tvari

moguće je samo ograničeno u duljem periodu redovitom organskom gnojibom, dok je kalcizaciju i unos većih količina P i K teško moguće izvesti bez većih oštećenja korijena.

Tablica 17. Tablice rangova za antropogenu grupu indikatora pogodnosti

pH-KCl	bodova	CaCO ₃ (%)	bodova	Humus (%)	bodova
3,5	2	0	5	0	5
4,5	5	1	15	2	10
5,0	10	2	20	3	8
5,5	15	5	15	4	4
6,0	20	10	10	6	2
6,5	25	15	8	8	1
7,0	15	20	6		
7,5	5	50	2		
8,0	2	75	1		
AL-P ₂ O ₅ (mg 100g ⁻¹)	bodova	AL-K ₂ O (mg 100g ⁻¹)	bodova	KIK cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	bodova
20	3	0	10	5	2
25	6	5	8	10	5
30	10	10	5	15	8
35	8	15	3	20	10
40	4	25	0	30	4
50	1			50	1

Tablica 18. Tablice rangova za limitirajuću grupu indikatora pogodnosti

Nadm, visina (m)	bodova	Ekspozicija (0-360°)	bodova	Vol. gustoća g g ⁻³	bodova
75	0	1,0	5	1,0	0
100	10	22,5	3	1,2	5
125	15	67,5	5	1,3	12
150	28	112,5	7	1,4	15
200	30	157,5	10	1,5	8
250	28	202,5	9	1,6	6
300	25	247,5	7	1,7	2
350	20	292,5	5	1,8	0
400	10	337,5	3		
450	5	360,0	1		
500	3				
550	0				
Retencijski kapacitet (%)	bodova	Skelet (%)	bodova	Nagib (%)	bodova
20	3	0	10	0	6
25	6	5	8	3	10
30	10	10	5	8	15
35	8	15	3	15	12
40	4	25	0	25	0
50	1				
Dubina soluma (cm)	bodova				
15	3				
30	6				
100	10				

Pogodnost zemljišta za uzgoj trajnih nasada, posebice vinove loze, zbog visokih početnih, ali i redovitih ulaganja u proizvodnju s jedne strane, ali i potencijalno visoke dobiti, mora biti još bolje istražena. Zbog toga se za vrednovanje i izbor zemljišta za vinovu lozu u razvijenim poljoprivredama sve češće koristi *geografsko-tehnologijski indeks (GeoTec index)*, kako bi pomogao otkrivanju regionalnih nejednakosti poljoprivrednog dohotka, ali i kao geografska varijabla u ekonomskim studijama.

GeoTec indeks je prosjek tri podindeksa:

- a) pogodnost zemljišta,
- b) hidrometeorološki indeks i
- c) tehnologijski indeks.

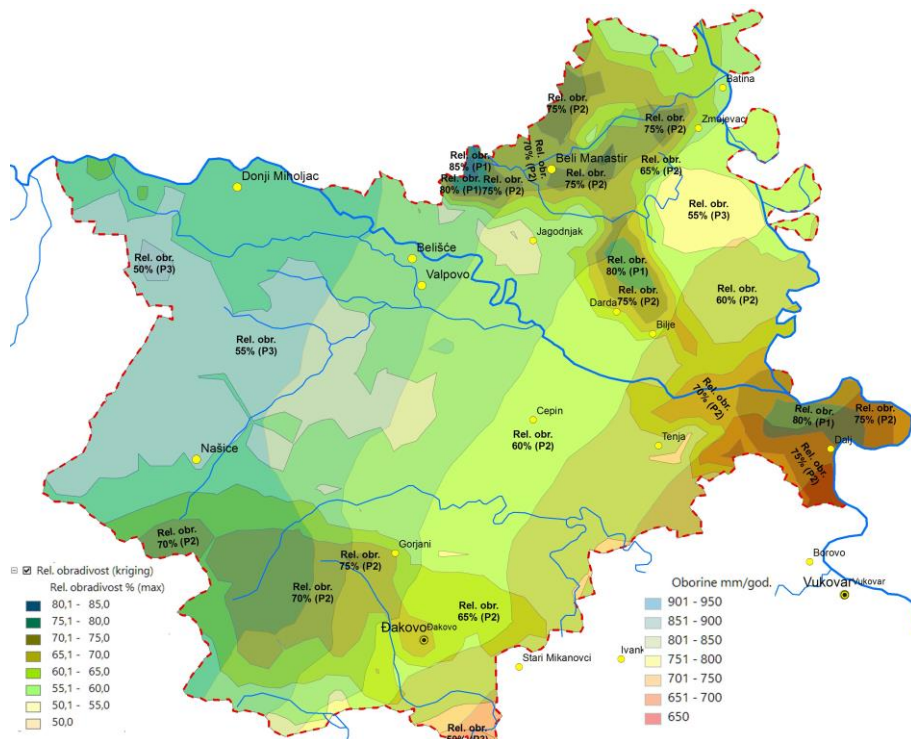
Svaki *GeoTec indeks* se dijeli dalje na podindekse pa tako *tehnologijski podindeks* uključuje praksu očuvanja tla, tehničku pomoć poljoprivrednicima, korištenje gnojiva, mogućnost korištenja električne energije, kontrolu štetnika i bolesti, mogućnost navodnjavanja. Istraživanja u nekim zemljama pokazuju pozitivan odnos između *GeoTec* indeksa i poljoprivredne produktivnosti uz istovremeno jak negativan odnos između *GeoTec* indeksa i postotka siromašnih ljudi. Stoga, *GeoTec* indeks može biti važan instrument za otkrivanje regionalnih nejednakosti i provedbu političkih mjera za smanjivanje razlika među regijama (*Fontes, 2009.*).

Metodologija *GeoTec* indeksa temelji na integriranom poznavanju raznih disciplina i daje dobre rezultate kad se koristi i za predviđanje produktivnost u uzgoju usjeva. Budući da je procjena pogodnosti zemljišta tim pristupom veoma kompleksna, ona zahtijeva multidisciplinarni pristup, odnosno agronomi, statističari, znanstvenici i dr. moraju zajedno raditi na razvoju polinomijalne regresije kojom se najtočnije proračunava maksimalna korist određenog načina proizvodnje na konkretnom zemljišu. Kako se u istraživanju *GeoTec* indeksom produktivnosti tla, osim agroloških indikatora koriste i drugi geotehnički indikatori (npr. plastičnost, zbijanje, status vode i dr.), pedološka svojstva tla (npr., sadržaj gline, organska tvar, volumna gustoća tla i dr.) bolje je govoriti o *transfer funkcijama* umjesto vrednovanja zemljišnog sustava (*De la Rosa i van Diepen, 2002.*).

Model procjene pogodnosti zemljišta za obradu

Funkcionalni modeli za vrednovanje zemljišta moraju uvažavati funkcije, procese i relevantne indikatore kojima se kvaliteta tla u odgovarajućem segmentu može definirati kao mjerljiva vrijednost uz relativno malu analitičku ili mjernu pogrešku (*Vukadinović i dr., 2009.*). Stoga je vrlo teško kreirati

učinkovit i ujedno pouzdan model vrednovanja pogodnosti tla za obradu, pa takvih modela za procjenu obradivosti tla ima vrlo malo i uglavnom se temelje na samo nekoliko indikatora. Npr., unutar interpretacijske baze ISPAID (*Iowa State University*, 2015.) samo su dva indikatora za procjenu pogodnosti obrade tla (*Tilt Rating* i *Power Index*), a temelje se na sadržaju gline, praha i pijeska, udjelu organske tvari i dreniranosti tla.



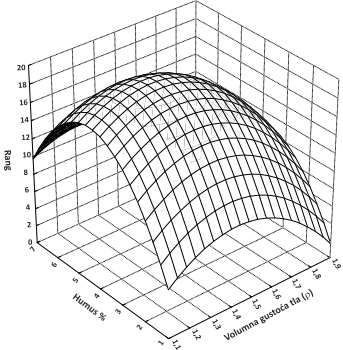
Slika 48. Karta zemljišne pogodnosti za obradu Osječko-baranjske županije (kriging, ~20.000 uzoraka, Vukadinović i dr., 2013.).

Model procjene pogodnosti zemljišta za obradu tla kombiniranim pristupom (Tablica 19.), odnosno korištenjem tablica rangova, 3D funkcija i logičkih izraza) kreirao je Vukadinović (Vukadinović i Jug, 2010.). Kako je ovaj nedovoljno provjereni model tek aproksimacija stvarnosti, uključeni su samo relevantni aspekti procjene pogodnosti zemljišta za obradu na temelju raspoloživih podataka *Namjenske pedološke karte Hrvatske* i kemijske analize tla čiji su uzorci geolocirani uz pomoć GPS-a (ukupno 17.500 uzoraka):

- 1) Opća obradivost (5 klasa temeljem tipa tla, f1),
- 2) Obradivost kod nepovoljnog stanja vlažnosti (3 klase temeljem tipa vlaženja tla, f2),

- 3) Indeks potrebne snage (3D funkcija koja objedinjuje volumnu gustoću tla i sadržaj organske tvari u njemu, f3),
- 4) Primjenjivost direktne sjetve (3 klase temeljem fizikalnih svojstava tipa tla, f4),
- 5) Indeks načina vlaženja tla (automorfni tip vlaženja tla uključuje i pH, a hidromorfni tip tla 4 klase, f5)
- 6) Nagib terena (6 klasa temeljem nadmorske visine, f6).

Tablica 19. Model procjene pogodnosti zemljišta kombiniranim pristupom (korištenje tablice rangova, 3D funkcije i logičkog izraza)

Opća obradivost (f1)		rang
1) tla pogodna za obradu		15
2) tla umjereno pogodna za obradu		10
3) tla ograničeno pogodna za obradu		5
4) tla privremeno nepogodna za obradu		2
5) tla trajno nepogodna za obradu		0
Obradivost kod nepovoljnog stanja vlažnosti (f2)		rang
1) može se obrađivati u širokom rasponu stanja vlažnosti		25
2) može se obrađivati unutar optimalne vlažnosti		10
3) može se obrađivati unutar uskih granica ("minutna tla")		5
Funkcija indeksa potrebne snage za obradu (f3)		
Primjenjivost direktne sjetve (No-tillage) (f4)		rang
1) bez ograničenja		10
2) nakon agrotehničkih i hidrotehničkih mjera popravka		7
3) trajno ograničenje		4
Indeks načina vlaženja tla (f5)		
<pre> IF (tip tla = automorfni and pH-KCl > 5) THEN rank = 20 ELSE rank = 0 ELSEIF (tip tla = hidromorfni AND pH-KCl > 5) THEN rank = -5 ELSE rank = -10 ENDIF </pre>		
Nagib terena (empirijska procjena temeljem nadm. vis.) (f6)		rang
0		10
100		8
150		6
200		4
250		2
500		1

Pogodnost tala Osječko-baranjske županije za obradu prema prikazanom modelu vrednovanja, zapravo je ispod očekivanja i jasno ukazuje na probleme u obradi. Naime, 66,3 % zemljišta je u klasi S3 (ograničeno pogodno, a tek ~20 % je razvrstano u visoko i umjereno pogodna zemljišta za obradu (S1 i S2, Tablica 20.). GIS vizualizacija procjene obradivosti zemljišta Osječko-baranjske županije prikazuje Slika 48.

Međutim, vrlo je malo trajno nepogodnih tala (< 1 % i to samo močvarno glejno vertični tip), privremeno nepogodnih ima gotovo trećina (30 %), dok na S3 otpada gotovo polovica uzoraka (45 %), na S2 (umjereno pogodno) šestina (18 %), a izvrsnih tala (S1, vrlo pogodno) za obradu svega je 7 %. Geostatistička obrada krigingom ograničena je samo na Osječko-baranjsku županiju gdje se i nalazi najveći broj analiziranih uzoraka tla te je utvrđena nešto drugačija distribucija pogodnosti za obradu u odnosu na prostor istočne Hrvatske. Naime, manje od 13 % je nepogodnih poljoprivrednih površina (FAO klasa pogodnosti N1 i N2, privremeno i trajno nepogodno), dok je dvije trećine svrstano u klasu S3 (ograničeno pogodno) što upućuje na niz mogućih problema u obradi. Svega 21 % (obradivost klase pogodnosti S1 i S2) tala pripada u dobre i izvrsne površine za obradu.

Tablica 20. Distribucija pogodnosti zemljišta za obradu Osječko-baranjske županije (ha) (Vukadinović i Jug, 2010.)

Površina Osječko-baranjske županije	Klase pogodnosti zemljišta za obradu		
Površina poljoprivrednog zemljišta (ha)	300.007 (73 %)	N2	251 (0,08 %)
		N1	38.039 (12,7 %)
		S3	198.820 (66,3 %)
		S2	58.989 (19,7 %)
		S1	3.909 (1,30 %)
Površina šuma i šikara (ha)	112.198 (27 %)	413.923 ha (100 %)	

Tipovi tla

S aspekta biljne proizvodnje tlo je živ i veoma dinamičan supstrat neophodan za život biljaka, a čine ga fizikalna sredina specifičnih kemijskih i bioloških svojstava tipičnih za pojedine prirodne, ali i antropogenizirane tipove tala. U prirodnim ekosustavima (npr. šumskim) kvaliteta tla je njegova *inherentna sposobnost* održavanja biljne i životinjske produktivnosti. Međutim, privođenjem djevičanskih tala poljoprivrednom korištenju i višegodišnjim korištenjem u biljnoj proizvodnji uz primjenu potrebnih agrotehničkih i hidrotehničkih mjera dolazi do značajnih promjena pa tip tla ni u kojem slučaju ne može biti pokazatelj i odrednica primarne organske produkcije. Naime, prirodna svojstva nekog tla mogu se znatno unaprijediti ili čak bitno izmijeniti u funkcionalnom smislu sve do razine koja opravdava ulaganje u njegovu reklamaciju, odnosno omogućuje veću profitabilnost biljne proizvodnje. Dakle, poboljšanje biljno-hranidbenog kapaciteta tla i njegovih svojstava, treba isključivo promatrati u *agrokemijskom* (fizikalnom, kemijskom i biološkom), a nikako u pedološkom smislu.

Funkcioniranje plodnog tla je blizu optimalnog kapaciteta sadržaja i kruženja hraniva koja omogućavaju biljkama rast i djelotvorno iskorištenje hraniva. U zdravom tlu hraniva se nalaze u pristupačnom obliku te ih biljke koriste prema svojim potrebama. U takvom tlu postoji minimalna opasnost od ispiranja hraniva, erozije ili gubljenja hraniva volatizacijom. Hraniva se kreću u zoni korijenovog sustava te smanjuju potencijalnu kontaminaciju okoline.

Klasifikacija (sistematika) tala

Ne ulazeći u detalje pedološke sistematizacija tipova tala, treba naglasiti da većina država ima vlastitu klasifikaciju s različitim pristupima i pravilima za određivanje tipova tala. Sve klasifikacije tala grubo se mogu podijeliti na temelju njegove *geneze* (faktori formiranja → procesi formiranja → klasifikacija tipa tla), ili temeljem njegovih kvantitativnih svojstava (faktori formiranja → procesi formiranja → kvantitativna svojstva horizonata → klasifikacija tipa tla). Stoga je *FAO* (1998.), temeljem inicijative koja seže još 20-ak godina ranije, predstavio posve novu, *univerzalnu klasifikaciju tala*, tzv. *World reference base for soil resources* zasnovanoj na kvantitativnim svojstvima dijagnostičkih horizonata.

Potrebno je naglasiti da RH nema svoju standardnu, odnosno jedinstvenu sistematiku tala (Tablica 20.), pa se većina pedologa pri determinaciji uglavnom slaže do razine tipa tla (razine: odjel, klasa i tip tla), premda često

ima i značajnih razlika u determiniranju pojedinih tipova tala, a neki se izostavljaju, npr. solođ koji je prisutan na istoku Hrvatske. Definiranje podtipa, varijeteta i forme tla trenutno je u RH posve individualno i poprilično divergentno.

Tablica 21. Zastupljenost pojedinih tipova tala u Republici Hrvatskoj (Bogunović i dr., 1997.)

Broj	Naziv tipa tla	Površina ha	Udjel %
I. AUTOMORFNA TLA		3.153.432	56.63
1.	Kamenjar (litosol)	32.703	0.59
2.	Silikatno karbonatni sirozem (regosol)	70.698	1.27
3.	Koluvij	91.938	1.65
4.	Eolski "živi pijesci" (arenosol)	667	0.01
5.	Černoziem	51.808	0.93
6.	Vapneno dolomitna crnica (kalkomelanosol)	255.201	4.57
7.	Humusno silikatno tlo (ranker)	86.944	1.56
8.	Rendzina	420.184	7.55
9.	Smonica (vertisol)	5.002	0.09
10.	Eutrično smeđe tlo	172.495	3.10
11.	Distrično (kiselu) smeđe tlo	316.184	5.68
12.	Crvenica (terra rossa)	245.289	4.41
13.	Smeđe tlo na vapnencu (kalkokambisol)	474.959	8.53
14.	Lesivirano (ilimerizirano)	703.215	12.63
15.	Podzol	1.382	0.03
16.	Smeđe podzolasto	7.393	0.13
17.	Rigolano tlo	216.850	3.89
18.	Vrtno tlo	520	0.01
II. HIDROMORFNA TLA		1.617.640	29.05
19.	Pseudoglej	577.025	10.36
20.	Aluvijalno (aluvisol)	136.343	2.45
21.	Aluvijalno livadno (humoluvisol)	89.901	1.61

WRB klasifikacija tala

Za opisivanje i definiranje grupa *WRB klasifikacija* (*World Reference Base, FAO, 1998.*) uzima u obzir svojstva tla i njegovih horizonata. Svojstva tla su pojedinačni parametri koji su jasno vidljivi ili mjerljivi na terenu ili laboratoriju, ili se mogu analizirati pomoću mikroskopskih tehnika, a razmatra se boja, tekstura i struktura tla, pokazatelji biološke aktivnosti, raspored pora, pedogenetske nakupine (npr., mrlje, nabori, konkreције itd.), kao i analitičke vrijednosti kao što su pH, mehanički sastav i distribucija čestica, kationski izmjenjivački kapacitet, izmjenjiva kationi, količina i priroda topivih soli, itd. Također, *WRB* nastoji u najvećoj mjeri generalizirati dijagnostička svojstva tipa tla kako bi se mogla primijeniti u različitim agroekološkim područjima (Tablica 22.).

Tablica 22. Ključ za WRB referentne grupe tala

Kombinacija	Dominantna obilježja	RGT
1	1) Tla s moćnim organskim slojem	1) Histosoli (HS)
2	Tla s jakim antropogenim utjecajem	
	2) Tla pod dugotrajnim i intenzivnim poljoprivrednim korištenjem	2) Antrosoli (AT)
	3) Tla koja sadrže arheološke ostatke (artefakte)	3) Tehnosoli (TC)
3	Plitka tla ograničene dubine zakorijenjavanja zbog trajne smrznutosti ili matične stijene	
	4) Tla pod utjecajem leda	4) Kriosoli (CR)
	5) Plitka, šljunkovita ili ekstremno skeletna tla	5) Leptosoli (LP)
4	Tla pod utjecajem vode	
	6) Izmjena vlažno/suho uz veći sadržaj bubreće gline	6) Vertisoli (VT)
	7) Poplavno područje, plimne bare i močvare	7) Fluvisoli (FL)
	8) Alkalna tla	8) Soloneci (SN)
	9) Akumulacija soli zbog evaporacije	9) Solončaci (SC)
	10) Tla pod utjecajem podzemne vode	10) Glejsoli (GL)
5	Tla u kojima željezo i/ili aluminij imaju glavnu ulogu u formiranju	
	11) Alofani ili kompleksi Al i humusa	11) Andosoli (AN)
	12) Eluvijacija i iluvijacija kelata	12) Podzoli (PZ)
	13) Akumulacija Fe u hidromorfnim uvjetima	13) Plintosoli (PT)
	14) Gline malog KIK-a, fiksacija P, jako strukturirana tla	14) Nitisoli (NT)
	15) Dominacija kaolinita i seskvioksida	15) Feralsoli (FR)
6	Tla sa stagnirajućom vodom	
	16) Izraziti teksturni diskontinuitet	16) Planosoli (PL)
	17) Strukturni ili umjereni teksturni diskontinuitet	17) Stagnosoli (ST)
7	Akumulacija organske tvari; visoka zasićenost bazama	
	18) Tipično molična tla	18) Černozemi (CH)
	19) Tla na prijelazu prema semiaridnoj klimi	19) Kastanozemi (KS)
	20) Tla na prijelazu prema humidnoj klimi	20) Feozemi (PH)
8	Akumulacija manje topivih soli ili minerala	
	21) Gips	21) Gipsisoli (GY)
	22) Kvarc	22) Durisoli (DU)
	23) Kalcijev karbonat	23) Kalcisoli (CL)
9	Tla s podpovršinskim slojem bogatim glinom	
	24) Izbljedjeli vertikalni jezičci	24) Albeluvisoli (AB)
	25) Niska zasićenost bazama, visoki kapacitet sorpcije gline	25) Alisoli (AL)
	26) Niska zasićenost bazama, niski kapacitet sorpcije gline	26) Akrisoli (AC)
	27) Visoka zasićenost bazama, visoki kapacitet sorpcije gline	27) Luvisoli (LV)
10	28) Visoka zasićenost bazama, niski kapacitet sorpcije gline	28) Likisoli (LX)
	Relativno mlada tla ili tla slabo izraženog profila	
	29) S kiselim i tamnim površinskim slojem	29) Umbrisoli (UM)
	30) Pjeskovita tla	30) Arenosoli (AR)
	31) Umjereni razvijena tla	31) Kambisoli (CM)
	32) Tla bez značajnog razvoja profila	32) Regosoli (RG)

Svojstva tla su kombinacija svih svojstava koja ukazuju na sadašnje ili povijesne procese koji su doveli do njegovog formiranja (npr. vertična svojstva koja su kombinacija teške - *heavy texture*, smektitne gline koja je čvrsta i ispucana u suhom stanju, a ljepljiva i nabubrjela u vlažnom).

Horizonti tla su trodimenzionalna pedološka tijela koja su više ili manje paralelni s površinom zemljišta. Svaki horizont sadrži jedno ili više svojstava i nalazi se na određenoj dubini. Debljina horizonta varira od nekoliko centimetara do nekoliko metara, najčešće nekoliko decimetrima. Gornja i donja granica mogu imati slabo izražen, postupni prijelaz, jasan ili nagao.

Bočno rasprostiranje horizonta tla jako varira, od jednog metra do nekoliko kilometara, ali horizont nikad nije beskonačan i nestaje ili prelazi u drugi horizont.

Tipovi tala su definirane vertikalne kombinacije horizonata koji se nalaze unutar određene dubine, a bočna organizacija horizonata tla odražava reljef ili zemljišnu jedinicu.

WRB klasifikacija tala (FAO, 2015.) sadrži samo 32 referentna tipa tla (RSG; *Reference Soil Group*), koji čine prvu razinu klasifikacije (Tablica 22.), a detaljna klasifikacija (druga razina) se izvodi dodatkom prefiksa i sufiksa (npr. *Epi-, Endo-, Hyper-, Hypo-, Thapto-, Bathy-, Para-, Proro-, Cumuli- i Ortho-*) na njih što omogućuje svim zemljama usklađivanje nacionalnih klasifikacija s međunarodnom WRB, ne zbog njihovog ukidanja, već zbog boljeg međusobnog razumijevanja.

Osnove hrvatske klasifikacije tala

Ne ulazeći preduboko u pedološku sistematiku naših tala, obzirom na vrednovanje zemljišnih resursa, izložene su osnove *Hrvatske genetičke pedološke sistematizacije tala*, a zatim je dan kratak prikaz najčešće korištenih tipova tla s aspekta njihovog prirodnog i agrološkog potencijala produktivnosti navođenjem faktora ograničenja i mjerama njihove popravke.

Odjel automorfnih tala

- 1) Klasa nerazvijenih tala (A)-C profila:**
 - a) Kamenjar (*Litosol*)
 - b) Sirozem (*Regosol*)
 - c) Eolski pijesak (*Arenosol*)
 - d) Koluvijalno tlo (*Koluvium*)
- 2) Klasa humusno akumulativnih tala A-C profila:**
 - a) Vapnenačko-dolomitna crnica (*Kalkomelanosol*)
 - b) Rendzina (*Rendzina*)
 - c) Humusno-silikatno tlo (*Ranker*)
 - d) Černozem (Černozem)
 - e) Smonica (*Vertisol*)
- 3) Klasa kambičnih tala A-(B)-C profila. Tipovi:**
 - a) Eutrično smeđe (Eutrični kambisol)
 - b) Distrično smeđe (Distrični kambisol)
 - c) Smeđe krečnjačko (*Kalkokambisol*)
 - d) Crvenica (*Terra rosa*)
- 4) Klasa eluvijalno iluvijalnih tala A-E-B-C profila:**
 - a) Lesivirano (*Luvisol*)
 - b) Podzol (*Podzol*)
 - c) Smeđe podzolasto (*Brunipodzol*)
- 5) Klasa antropogenih tala P-C profila:**
 - a) Rigolano (*Rigosol*)
 - b) Vrtno (*Hortisol*)

6) Klasa tehnogenih tala građe profila I-II-III:

- a) Tlo deponija (*Deposol*)
- b) Flotacijski materijal (*Flotisol*)
- c) Nanosi iz zraka (Aeroprecipitati)

Odjel hidromorfnih tala**7) Klasa pseudoglejnih tala A-Bg-Eg-C profila:**

- a) Pseudoglej

8) Klasa nerazvijenih hidromorfnih tala građe (A)-I-II:

- a) Aluvijalno tlo (*Fluvisol*)

9) Klasa semiglejnih tala A-C-G profila:

- a) Fluvijativno livadsko tlo (*Humofluvisol, Semiglej*)

10) Klasa glejnih tala A-G profila:

- a) Pseudoglej-glejno
- b) Ritska crnica (*Humoglej*)
- c) Močvarno glejno (*Euglej*)

11) Klasa tresetnih tala T-G profila:

- a) Izdignuti (visoki) treset
- b) Prijelazni treset
- c) Niski treset

12) Klasa antropogenih tala P-G profila:

- a) Tla rižišta
- b) Rigolano tresetno
- c) Hidromeliorirano

Odjel halomorfnih tala**13) Klasa akutno zaslanjenih tala Asa-G ili Asa-CG profila:**

- a) Solončak

14) Klasa solonjeca A-Bt, na - C profil:

- a) Solonjec

Odjel subakvalnih tala**15) Klasa nerazvijenih subakvalnih tala (A) - C ili A-G profila:**

- a) Protopedon

16) Klasa subakvalnih tala A-C ili A-G profila:

- a) Gitja (*Gyttja*)
- b) Daj (*Dy*)
- c) Sapropel

Uređenost i popravke zemljišta

Poljoprivredna produktivnost zemljišta podjednako se temelji na plodnosti (kvaliteti) kao i njegovoj uređenosti, odnosno mogućnosti primjene adekvatne agrotehnike. U prošlosti, dok je održavanje plodnosti tla ovisilo o prirodnim fenomenima (npr. poplave u starom Egiptu, paljenje šuma, odmaranje tla i dr.), melioracijski zahvati koji su omogućavali navodnjavanje ili odvodnju suvišne vode, kao i elementarna obrada, bili su temelj proizvodnje dovoljne količine hrane u ranih civilizacija (*Mezopotamija, Egipat, Grčka, Rim, Kina, Peru* itd.).

Uobičajeno je u RH da se sve mjere popravke zemljišta označavaju kao *melioracije*, neovisno dali se uređuje vodni režim zemljišta (odvodnja, navodnjavanje, izrada nasipa, kanalske mreže i dr.) ili se vrše dugoročne kemijske, fizikalne ili biološke popravke tla. Pojam melioracije, u specifičnim mjerama popravaka zemljišta, često je zamijenjen izrazima *restoracija* (*Land restoration*, obnova zemljišta), *reklamacija* (*Land reclamation*, kondicioniranje ili popravci zemljišta), *rehabilitacija zemljišta* (*Land rehabilitation*, oporavak ili sanacija zemljišta), *habitacija* (*Habititation*; stvaranje novog zemljišta za različite potrebe ljudi).

Melioracije, u širem smislu se mogu definirati kao sustav mjera za radikalno poboljšanje nepovoljnih hidroloških, kemijskih i agroklimatskih uvjeta s ciljem učinkovitijeg korištenja zemljišnih resursa. Uz povećanjem produktivnosti zemljišta, *meliorativni zahvati* omogućuju poljoprivredno korištenje siromašnih i neiskorištenih zemljišta, npr. močvara, pustinja, područja iskrčenih šuma i šikara, antropogeno degradiranih zemljišta i dr. Pod melioracijama se smatra i obnova zemljišta koje je oštećeno prirodnim pojavama (npr. erozijom), ili industrijskim i urbanim procesima, ali i uređenje okoliša zbog podizanja životnog standarda i kvalitete života ljudi.

Glavni meliorativni zahvati obuhvaćaju više različitih popravki (uređenja) zemljišta (navodnjavanje, odvodnja, popunjavanja, izrada nasipa i kanalske mreže, rigolanje, terasiranje, dreniranje, antierozivne mjere, isušivanje poldera itd.), ali i specifične zahvate *kemijske popravke* (*kalcizacija, humizacija, gipsanje* i dr.), *fizikalne popravke* (*primjena anorganskih i organskih kondionera* za popravak strukture, toplinskih svojstava, izmjenjivačkog kapaciteta te vlaženja tla) i *biološke popravke* (*kalcizacija, humizacija, primjena bakterijskih gnojiva* i dr.).

Duga povijest meliorativnih zahvata, osim ogromnog iskustva i unapređenja mjera zaštite od različitih vrsta devastacije i popravke njegovih produktivnih

svojstava, vremenom je znatno unaprijeđena. Danas sve razvijene zemlje imaju posebne zakone kojima uređuju izvođenje melioracija, ali i reguliraju provođenje meliorativnih projekata zbog zaštite okoliša i prirodnih staništa.

Kondicioniranje (popravke) zemljišta

Kada su prinosi niski i tijekom vegetacije pod jakim utjecajem vremenskih neprilika, kada pravovremena i intenzivna agrotehnika, ponajprije obrada i gnojdba, ne daju očekivani rezultat, najčešće se razmišlja o mjerama fizikalno-kemijsko-biološke popravke radi podizanja efektivne plodnosti tla.

Poboljšivači (kondicioneri) često sadrže biogene elemente, ali u kemijskom obliku koje biljke ne mogu odmah usvojiti (humus, vapno i dr.). Njihovo posredno djelovanje najčešće se odvija u duljem vremenskom intervalu tako što potiču mikrobiološku aktivnost, neutraliziraju kiselost, poboljšavaju strukturu tla i slično. Stoga je njihova primarna zadaća mobilizacija rezervi organskog i neorganskog porijekla, kao i poboljšanje fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava zemljišta. U tu grupu se ubrajaju i posredna gnojiva čija je namjena promjena pH-vrijednosti tla, odnosno *kalcizacija (vapnjenje tla)*, uporaba gipsa (*gipsanje*), *malčiranje*, *primjena zeolita (bentonita, vermikulita, gline i sl.)*, *bitumenskih emulzija*, *mljevenog ugljena* i dr. *Poboljšivači*, odnosno posredna gnojiva, sadrže biogene elemente, ali u kemijskom obliku koje biljke mogu usvojiti tek nakon njihove mikrobiološke ili kemijske transformacije u spojeve njima pristupačne.

Kondicioniranje (popravke) tla su najčešće meliorativni zahvati podržani posebnim agrotehničkim mjerama. Od mjera popravke tala najčešća je primjena *poboljšivača (kondicionera)* za popravljivanje kemijskih fizikalnih i bioloških svojstava tla (npr. kalcizacija, humizacija, fosfatizacija, primjena posrednih gnojiva i dr.), ali tu ubrajamo i *meliorativnu gnojdbu*, *restauracija degradiranih površina* nastalih erozijom, rudokopima ili raščišćavanjem zemljišta.

Kad se razmišlja o gnojdbi kao mjeri popravke tala, onda treba znati da *prava mineralna gnojiva* sadrže neophodne biogene elemente, a *posredna gnojiva* (neizravna) ih mobiliziraju iz rezervi tla, bilo poboljšanjem njegovih fizičkih svojstava ili putem kemijskih i bioloških promjena koje izazivaju u tlu. Posredna gnojiva, također sadrže biogene elemente, ali u kemijskom obliku koje biljke ne mogu odmah usvojiti (npr., humus, vapno i dr.) te utječu u duljem vremenskom razdoblju jer potiču mikrobiološku aktivnost, neutraliziraju kiselost, djeluju preko poboljšanja strukture tla itd., ili

neposredno nakon transformacije (mikrobiološke ili kemijske) u biljci pristupačne spojeve.

Prirodno, *djevičansko tlo*, može često imati nisku produktivnost pa je nakon uključivanja takvih tala za poljoprivrednu uporabu nužno provesti potrebne meliorativne mjere. Također, vrlo često i tla koja su već dulje vrijeme u uporabi, mogu zbog nepravilnog ili intenzivnog korištenja biti u različitom stupnju oštećena (degradirana). Najčešći uzroci degradacije su:

- *Fizikalna degradacija* erozijom, zbijanjem i pokoricom,
- *Kemijska degradacija* povezana je s padom bioraspoloživosti hraniva, zakiseljavanjem, alkalizacijom i/ili zaslanjivanjem,
- *Biološka degradacija* najčešće asocira s padom organske tvari u tlu (može biti izazvana i onečišćenjem tla teškim metalima, pesticidima i drugim toksičnim tvarima) i
- *Pogoršanje dreniranosti* koje asocira s ležanjem vode ili zaslanjivanjem.

Pad koncentracije humusa u tlu je redovita pojava u antropogeniziranim tlima u kojima je redovito manje humusa u odnosu na tla pod prirodnom vegetacijom. Uzroci opadanja humusa su intenzivna obrada i aeracija koje ubrzavaju oksidacijske procese, odnosno razlaganje organske tvari, ali na pad koncentracije humusa djeluje i primjena isključivo mineralnih gnojiva. Stoga, odvajanje ratarske od stočarske proizvodnje te izostavljanje organske gnojidbe, odvoženje ili spaljivanje žetvenih ostataka, izostanak zelene gnojidbe (sideracije) snažno utječe na pad humusa u tlu.

Pored klasičnih načina poboljšanja kakvoće tla, odnosno otklanjanja uzroka neplodnosti (kalcizacija, humizacija, meliorativna gnojidba, meliorativna obrada tla i dr.), sve češće se za popravak strukture, ali i toplinskih svojstava, izmjenjivačkog kapaciteta te vlaženja tla, primjenjuju i drugi kondicioneri koji mogu biti organske i anorganske prirodne tvari ili pak sintetski proizvodi. Zbog visokih ulaganja, uglavnom se koriste u vrlo intenzivnoj i profitabilnoj proizvodnji (zaštićeni prostori, cvijeće, povrće i sl.) a dijele se uobičajeno na:

- *tvari za povećanje hidrofilitnosti tla*, odnosno vlažnosti (npr. poliakrilamid-PAM),
- *tvari za povećanje hidrofobnosti tla*, odnosno uklanjanja viška vode (npr. bitumenske emulzije),
- *tvari za povećanje temperature površine tla* (npr. malč s bitumenoznim emulzijama),
- *tvari za sprječavanje zbijanja tla, poboljšanje drenaže i aeracije*,
- *tvari za stabilizaciju strukture* po dubini profila i lakše prodiranje korijena (npr. anorganski kondicioneri na temelju Fe, perlita i dr.) i

- *tvari za povećanje kapaciteta izmjenjivačkog kompleksa tla* (emulzije sa svojstvima jakih kiselina, zeoliti, glina, pa i čisti bentonit i vermikulit, lignitna prašina itd.).

U RH kakvoća poboljšivača tla, kao i gnojiva, regulirana je posebnim Zakonom o gnojivima i poboljšivačima tla (NN 163/03).

U kiselim tlima nedostaje kalcija što je uvijek povezano s niskom pH vrijednosti, suvišku aluminija i željeza, četo i mangana uz lošu strukturu te se u praksi vrlo često javlja potreba za *kalcizacijom*, odnosno primjeni vapnenih materijala radi neutralizacije suvišne zemljišne kiselosti. Agrotehničku mjeru unošenja kalcija u tlo treba razlikovati od *kalcifikacije*, jer taj izraz označava formiranje sekundarnih minerala kalcija ili njegovih soli u tlu (ili zakrečavanje krvnih žila kod ljudi).

Nezamjenjiva je uloga kalcija u održavanju pH-vrijednosti tla jer ona indirektno utječe na raspoloživost svih drugih elemenata, najviše P, B, Fe (*Fe-kloroza*), Mn, Zn i Cu. Kalcij je vrlo važan i za održavanje strukture tla jer zajedno s humusnim tvarima omogućuje povezivanje njegovih čestica u strukturne agregate pa posredno utječe na poboljšavanje vodozračnog režima i oksido-redukcijske procese, odnosno izrazito povećava biogenost tla (povoljan utjecaj na proces amonifikacije, nitrifikacije, biološku fiksaciju dušika, oksidaciju sumpora itd.).

U ekstremno kiselim tlima (pH < 4,0) dolazi do izravne toksičnosti vodikovih iona (H⁺), a više biljke ne uspijevaju ispod pH ≤ 3,7. Kad je pH < 5 česta je toksičnost iona Al³⁺ i Mn²⁺, a kad je pH > 4,2 toksičnost H⁺ iona je neizravne naravi i to putem aktivacije teških metala, ali i uz poremećaj u sastavu "korisne mikroflore", npr., naročito je slaba *nodulacija* leguminoza bakterijama iz roda *Rhizobium* i *Bradyrhizobium*. Temeljem brojnih istraživanja smatra se optimalnim kada je na adsorpcijskom kompleksu tla, ili KIK-u (*kationski izmjenjivački kapacitet* tla) 65-85 % Ca, 5-15 % Mg i 2,0-3,5 % K, a za šećernu repu i većinu leguminoza povoljno je da KIK čini 85 % baza (ne manje od 65 % uz ≥ 70 % Ca) i < 15 % kiselih iona, pretežito vodika.

Reklamacija teksture (sastava veličine čestica tla) vrlo je skup i opsežan melioracijski zahvat jer za povećanje udjela gline od 1 % u lakim, pjeskovitim tlima i to samo u oraničnom sloju dubine do 20 cm dodatak, potrebno je dodati približno 30 t ha⁻¹ i homogenizirati (izmiješati). Dakle, povećanje sadržaja gline pjeskovitog tla od 5 na 10 % (tlo bi trebalo sadržavati još i 5 % praha), kako bi ga pretvorili u ilovasti pijesak, zahtijeva primjenu od 5 × 30 = 180 t ha⁻¹ gline. Za to je potreban opsežan transport gline, pa kad je izvor u blizini primjene, njezina raspodjela i inkorporacija u tlo. Ako tlo sadrži

glinu na većoj dubini vjerojatno je lakše primijeniti rigolanje i „izbaciti“ dovoljno gline u oranični sloj.

Poboljšanje strukture tla (*Roy i dr., 2006.*), je za razliku od poboljšana teksture, puno kompleksniji problem. Stoga je veoma važna adekvatna obrada tla za poboljšanje strukture. Budući da pravilna obrada daje tek privremeno poboljšanje strukture tla, potrebno je omogućiti povoljne uvjeta za procese koji će rezultirati poboljšanjem njegove strukture. Prije svega, treba povećati poljski vodni kapacitet tla (unos organske tvari, kalcizacija, gipsanje, sideracija, pravilan plodored, zaoravanje žetvenih ostataka i dr.) i smanjiti rizik od erozije. Poboljšanje aeracije i drenaže tla može se postići primjenom mljevenih stijena (posebice ako sadrže biogene elemente), ali prije svega unosom organske tvari i zaoravanjem žetvenih ostataka.

Povećanje poljskog vodnog kapaciteta tla, osim posrednog djelovanja na tlo, moguće je izvesti i unosom različitih anorganski ili mineralnih kondicionera koji djeluju neposredno na poboljšanje strukture tla, što je veoma skupa mjera i provodi se uglavnom na malim površinama u vrlo intenzivnoj proizvodnji (hortikultura, proizvodnja povrća, plastenici, staklenici i sl.). Naime, organski kondicioneri imitiraju prirodnu vezu između mineralnih čestica tla i njihov učinak može se održati nekoliko godina. Za agregaciju čestica tla koriste se različite polimerne disperzije, te prašci polimera dugolančanih i vlaknastim molekula (npr., *Krilium* koji se temelji na poliakrilnoj kiselini *VAMA* (polivinil acetat i anhidrid maleinske kiseline), *Styromull* (kuglice polistirenske pjene) za popravak strukture teških tala i dr. Poboljšivači strukture tla primjenjuju se u dozama $0,1 - 2 \text{ t ha}^{-1}$, a topivi često i sustavima za *irigaciju* (*kemigaciju*).

Kalcizacija zemljišta

Acidifikacija (zakiseljavanje) tla

Zakiseljavanje zemljišta je posljedica više različitih čimbenika, od intenzivne primjene visoko koncentriranih i fiziološki kiselih gnojiva sa sve manje balasta, aplikacije visokih doza gnojovke, ispiranje baza oborinama iz tla (kalcija i magnezija), *imisijska acidifikacija (kisele kiše)* i dr. Posljedice zakiseljavanja su pad pH vrijednosti tla, gubitak kalcija, pogoršanje fizikalnih i bioloških svojstava tla i konačno smanjenje plodnosti tla.

Zakiseljavanje (acidifikacija) poljoprivrednih tala Hrvatske veliki je problem (više od 50 % poljoprivrednih tala RH je kiselo), a trend pada pH ponajviše je prisutan na tlima uz intenzivnu, pa čak i konvencionalnu poljoprivredu. Niska

pH-vrijednost dovodi do niza negativnih pojava, npr. uzrokuje deficit kalcija i magnezija (a time i kvarenje strukture tla), toksičnost aluminija i/ili mangana, smanjene raspoloživosti fosfora, nisku efikasnost gnojidbe dušikom, fosforom i kalijem uz usporen rast i razvitak biljaka te konačno uzrokuje niži prinos i njegovu lošiju kakvoću. Stoga se kao obvezna mjera popravke kiselih tala preporuča kalcizacija, ali obvezno uz detaljnu kemijsku analizu tla i uvažavanje ostalih mjera popravke (*humizacija, fosfatizacija*, primjena mikroelemenata i dr.). Kalcij se lako gubi ispiranjem iz kiselih tala, osobito kad je godišnja količina oborina veća od 600 - 700 mm god⁻¹. U takvim uvjetima ispire se prosječno 80 - 100 kg Ca ha⁻¹god⁻¹, a često i nekoliko puta više, posebice u blizini industrijskih područja s *kiselim kišama*.

Kalcizacija

Kalcizacija je vrlo stara agrotehnička mjera (poznavali su ju stari Rimljani) i njezini pozitivni učinci na kiselim tlima dobro su poznati. Ipak, ona može izazvati drastične promjene u raspoloživosti hraniva, posebice fosfora i teških metala, pa se mora provoditi obazrivo. Mudro je postupno utjecati na promjenu pH (efekt na 3 - 4 godine), jer promjena od vrlo kisele do neutralne sredine radikalno mijenja uvjete (biološko-fizikalno-kemijska svojstva tla), što onda zahtijeva melioracijske doze mineralnih gnojiva, prvenstveno fosfora i mikroelemenata te unošenje većih količina organskih gnojiva za humizaciju. Naime, kalcizacija je mjera koja izrazito utječe na biogenost tla (zbog promjene stanja oksidoredukcije) pa se pomiče ravnoteža tvorbe i razlaganja humusa u smjeru pojačane mineralizacije. To vodi, nakon početnog porasta efektivne plodnosti, u iscrpljivanje tla i pad produktivnosti. Stoga se u razvijenim zemljama može čuti poslovice "*Kalcizacija bogati očeve, a siromaši sinove*" (Vukadinović Vl. i Vukadinović Ve., 2011.).

Za utvrđivanje potrebe u kalcizaciji kiselih tala koristi se veliki broj različitih kemijskih metoda, a u praksi se vrlo često, uglavnom zbog neznanja, potreba za kalcizacijom utvrđuje samo na temelju pH vrijednosti tla. Pogrešno, jer dva tla koja imaju istu vrijednost pH mogu se znatno razlikovati u veličini adsorpcijskog kompleksa, odnosno sadrže različitu količinu vodikovih i drugih kiselih iona. Općenito, tla čija je izmjenjiva kiselost pH-KCl > 5,5 ne bi trebalo kalcizirati. Kad je pH-KCl 4,5 - 5,5, potreba za kalcizacijom je umjerena, a kad je pH-KCl < 4,5, kalcizacija je neophodna mjera popravke tala. Također, kad je hidrolitska kiselost tla $H_v < 4 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ kalcizacija nije potrebna. Sažete učinke kalcizacije prikazuje Tablica 23.

Pouzdanije određivanje potrebne doze materijala za kalcizaciju je pomoću vrijednosti *hidrolitske kiselosti* (H_v ili *potencijalne kiselosti*) tla. Kad je H_v viša

od $4 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (ili $4 \text{ mekv H}^+ / 100 \text{ g tla}$) tlo treba kalcizirati, a kad je H_v $2 - 4 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$, kalcizacija će spriječiti daljnje zakiseljavanje zemljišta.

Kada je na raspolaganju samo podatak o izmjenjivom pH (u KCl), može se koristiti jednostavan, ali i manje točan, te često nepouzdan izraz za izračunavanje potrebe u kalcizaciji:

$$\text{CaO}_{\text{t ha}^{-1}} = \frac{\text{ciljni pH} - \text{izmjereni pH}}{7 - \text{izmjereni pH}} \times 2,8$$

Primjer: ako je ciljni pH = 6,0, a izmjereni 4,7, tada je potreba $\text{CaO t ha}^{-1} = (6,0 - 4,7) / (7,0 - 4,7) \times 2,8 = 1,58$.

Utvrđivanje stvarno potrebne doze Ca-materijala, ne ulazeći dublje u kemijske procese, najbolje će objasniti sljedeći proračun neutralizacije kalcijem hidrolitske (potencijalne) kiselosti zemljišta:

$$\begin{aligned} 1 \text{ cmol}^{(+)} \text{H kg}^{-1} &= 1 \text{ cmol}^{(+)} \text{Ca kg}^{-1} \text{ tla} \\ &= 20 \text{ mg Ca } 100 \text{ g}^{-1} \text{ tla} \\ &= 28 \text{ mg CaO } 100 \text{ g}^{-1} \text{ tla} \\ &= 840 \text{ kg CaO/ha (1 ha } \sim 3.000.000^{-1} \text{ kg do 20 cm dubine uz} \\ &\text{ prosječnu gustoću tla } \rho = 1,5 \text{ kg dm}^{-3}) \end{aligned}$$

Dakle, za svaki $\text{cmol}^{(+)} \text{H kg}^{-1}$ potrebno je za neutralizaciju primijeniti 840 kg CaO ha^{-1} do dubine od 20 cm.

Kalcizacija ekstremno kiselih tala mora uvažiti i količinu izmjenjivog aluminija, a jedan od češćih empirijskih proračuna potrebne količine Ca za njegovu neutralizaciju je sljedeći:

$$\text{CaCO}_3 (\text{t ha}^{-1}) = 1,8 \times \left\{ \frac{\text{Al} - \text{ASP} \times (\text{Al} + \text{Ca} + \text{Mg})}{100} \right\}$$

ASP = saturirani Al na KIK-u % ($\text{Al}_{\text{izm}} \text{ KIK}^{-1} \times 100$)

Al = izmjenjivi Al ($\text{cmol}^{(+)} \text{ Al kg}^{-1} \text{ tla}$)

Ca i Mg = izmjenjivi Ca i Mg ($\text{cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1} \text{ tla}$)

Potreba za kalcizacijom određuju se često pomoću tablica koje uzimaju u obzir vrijednost izmjenjive reakcije tla, njegov mehanički sastav i tip korištenja tla gdje je biljna vrsta odlučujući čimbenik. Takav pristup je vrlo rizičan jer može izazvati niz pogrešaka i ozbiljnih problema. Naime, kod unosa veće količine materijala za kalcizaciju od potrebne, porast oksidacijskih procesa može prouzročiti izrazit gubitak organske tvari u tlu, sniziti raspoloživosti fosfora i svih mikroelemenata iz grupe teških metala te vrlo brzo dolazi do pada plodnost tla. Također, suvišak kalcija praktično je nemoguće (apsolutno je neisplativo) ukloniti iz tla. S druge strane, prenizak intenzitet kalcizacije, s

obzirom na cijenu i kratko vrijeme djelovanja, ekonomski je neisplativ te kalcizaciju treba provesti samo na temelju analize tla.

Tablica 23. Utjecaj kalcizacije na kisela tla

Kiselost tla	pH-H ₂ O	Neposredan utjecaj kalcizacije na usjeve	Posredan utjecaj kalcizacije na usjeve
Slabo kiselo	6,5 - 6,1	Nema izravnog utjecaja kalcizacije na većinu usjeva. Parcele čiji je prosječni pH iznad 6,0 mogu imati dijelove gdje je pH ispod 6,0 što će imati utjecaj na povećanje prinosa lucerne i većine drugih leguminoza.	Kalcizacija može poboljšati fizikalna svojstva nekih tala srednje i fine teksture tla. Poboljšana struktura tla može biti od koristi usjevima sitnog sjemena, npr. uljanoj repici.
Umjereno kiselo	6,0 - 5,6	Poboljšava se nodulacija leguminoza <i>Rhizobium</i> bakterijama, odnosno veće je vezivanje dušika iz atmosfere. Prinosi leguminoznih biljaka su veći.	Kalcizacija će poboljšati fizikalna svojstva nekih tala srednje i fine teksture tla. Veća je bioraspoloživost fosfora i efikasnost fosfornih gnojiva. Povećana je mikrobiološka aktivnost i oslobađanje (mineralizacija) biljnih hranjiva.
<ul style="list-style-type: none"> • Prinos ječma, u prve dvije ili tri godine nakon kalcizacije poraste, a veće povećanje (25-30%) zapaža se u kasnijim godinama. • Prinosi pšenice i uljane repice će također biti povećani, ali nešto manje u odnosu na ječam. • Prinosi usjeva s većom tolerancijom na kiselu reakciju tla mogu se povećati kao rezultat neizravnih učinaka kalcizacije (kako je gore navedeno). 			
Jako kiselo	5,5 – 5,1	Povećana je fiksacija dušika iz atmosfere uz porast prinosa mahunarki. Topljivi aluminij i mangan su svedeni na netoksičnu razinu.	Neizravni učinci su na poboljšanje strukture tla.
<ul style="list-style-type: none"> • Prinosi većine usjeva su povećani kao rezultat smanjene razine aluminija i mangana, a poboljšana je znatno bioraspoloživost fosfora i drugih hranjivih tvari. 			
Vrlo jako kiselo	< 5,1	Izravni učinci jednaki su onima navedenim za jako kisela tla (veća N ₂ fiksacija i uklanjanje toksičnosti Al i Mn).	Neizravni učinci slični su onima na umjereno kiselim tlima.
<ul style="list-style-type: none"> • Bez kalcizacije vrlo jako kisela tla su neplodna te su prinosi većine usjeva znatno smanjeni. • Usjevi tolerantni na kiselu reakciju tla (npr. zob i neke trave) imaju umjereno niži prinos. 			

Za proračun potrebe kalcizacije Osječko-baranjske županije (Slika 49.) korišten je kombinirani, empirijsko-egzaktni postupak koji uzima u obzir zasićenost adsorpcijskog kompleksa tla bazama (BS %), pH u KCl-u, hidrolitsku kiselost, volumnu gustoću tla (g cm⁻³), koncentraciju humusa, ciljnu saturiranost tla bazama (TSB) i dubinu oraničnog sloja (u formuli do 30 cm):

$$Ca_{t\ ha^{-1}} = \frac{TBS (\%) - BS (\%)}{100.000} \times KIK_{cmol^{(+)}\ kg^{-1}} \times 20 \times \rho_v \times 30$$

Prvi korak je procjena vrijednosti KIK-a na temelju analize humusa u tlu i teksturne klase, a zatim se izračuna BS % (saturiranost KIK-a bazama Ca, Mg, K i Na u %) iz razlike baznih kationa i kiselih vodikovih iona (H_v):

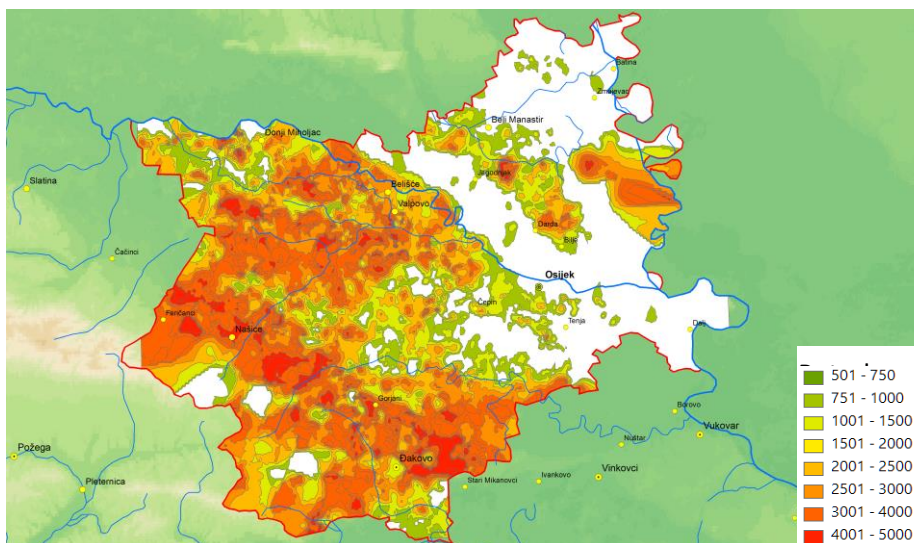
$$\text{KIK}_{\text{cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}} = \frac{\text{humus} (\%) \times F_{\text{pH}_i}}{100} + \frac{\text{glina} (\%) \times 65}{100}$$

$$\text{BS} \% = \frac{\text{KIK} - H_y}{\text{KIK}} \times 100$$

Udjel organske tvari povezan je s visinom KIK-a pomoću faktora pH_i jer kiseli humus ima znatno slabiju sorpcijsku moć, dok je njegova ciljna zasićenost bazama (TBS %) povezana s veličinom KIK-a:

$F_{\text{pH}_i} = 175$ kad je $\text{pH-KCl} < 4,5$; $\text{KIK} = < 19 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1} \text{ tla}$, TBS je 90 %;
 $F_{\text{pH}_i} = 225$ kad je $\text{pH-KCl} 4,5 - 5,5$; $\text{KIK} = 20-28 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1} \text{ tla}$, TBS je 85 %;
 $F_{\text{pH}_i} = 275$ kad je $\text{pH-KCl} > 5,5$. $\text{KIK} = > 28 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1} \text{ tla}$ TBS je 80 %.

Prije laboratorijske analize osušenog, samljevenog i prosijanog tla moguće je, kad je analitičar iskusan, procijeniti relativno pouzdano teksturu tla *feel metodom* (opipom vlažnog tla). Za procjenu/vrednovanje zemljišta namijenjenog trajnim nasadima obvezno je laboratorijsko utvrđivanje mehaničkog sastava tla. Hidrolitska kiselost tla se određuje u laboratoriju uvijek kada je $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 6,0$, a volumna gustoća i sadržaj gline su empirijske veličine (egzaktne utvrđene za potrebu zasnivanja trajnih nasada) izračunate iz teksturne klase na temelju statističke analize velikog broja rezultata egzaktnog određivanja mehaničkog sastava tala.



Slika 49. Karta potrebe kalcijacije (Ca t ha^{-1}) Osječko-baranjske županije (kriging, Bayesian interpolacija temeljem ~30.000 uzoraka, Vukadinović, 2016.)

Izračunata potreba kalcija preračunava se u CaO t ha^{-1} množenjem s faktorom 1,4, dok je za $\text{CaCO}_3 \text{ t ha}^{-1}$ faktor 1,8, a za saturacijski mulj (karbokalk) faktor je $\sim 1,5$.



Slika 50. Kalcizacija (primjena karbokalka ljeti po strništu; *Vukadinović, 2011.*)

Brzina djelovanja različitih materijala za kalcizaciju (vapno, kalcijev karbonat, dolomit, karbokalk i dr.) ovisi o njihovoj topljivosti, veličini čestica i količini vlage u tlu (Tablica 24.). Budući da sitnije granulacija kalcizacijskog materijala znatno povećavaju kontaktnu površinu s česticama tla, reakcija tla je brža, odnosno porast pH tla zapaža se ranije pa materijal granulacije manje od $\phi \leq 0,25 \text{ mm}$ (60 mesh) djeluje u roku od 30 dana. S porastom veličine čestica brzina otapanja se usporava, pa se one promjera 0,60 - 0,25 mm otapaju za 1 do 2 godine, dok se čestice između 2,36 - 0,60 mm otapaju u tlu i do pet godina. Zbog toga se krupnozrnati materijali za kalcizaciju smatraju kad je ϕ čestica $\geq 2,00 \text{ mm}$ (10 mesh ili manje).

Promjer čestica karbokalka, kakav isporučuju naše šećerane i koji se najčešće koristi za kalcizaciju na području istočne Hrvatske je $\phi \leq 0,425 \text{ mm}$ (40 mesh) te njihovo otapanje u tlu s dovoljno vlage potraje i nekoliko mjeseci, a duljina djelovanja na pH-vrijednost tla ne prelazi 3 - 5 godina pa kalcizaciju treba ponoviti, obvezno nakon kemijske analize tla (Slika 49.). Dakle, s finoćom

mljevenja materijala za kalcizaciju raste i njihova djelotvornost (zbog porasta dodirne površine s česticama tla), dok krupniji materijali imaju produženo (višegodišnje) djelovanje i treba ih koristiti za kalcizaciju kod zasnivanja trajnih nasada.

Tablica 24. Utjecaj krupnoće materijala (promjer čestica u mm i mesh) na učinkovitost kalcizacije

Učinkovitost (%)		Krupnoća čestica	
u 1. godini	nakon 4. godine	mm	mesh
5	15	4,00	5
20	45	2,00	10
50	100	0,50	35
100	100	0,20	60

Nedostatak kalcija kod voćaka (jabuke i kruške) može se spriječiti prskanjem sprejom CaCl_2 ili $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ kad je temperatura niža od $27\text{ }^\circ\text{C}$. Za jabuke se koristi koncentracija 360 g na 100 litara vode, a za kruške ~ 150 g. Ovakav tretman pomaže i u stakleničkoj, odnosno plasteničkoj proizvodnji rajčice i paprike, jer je u vlažnoj atmosferi nizak intenzitet transpiracije uz slabo premještanje Ca u plodove na kojima nastaju tipične tamne mrlje zbog razgradnje staničnih stjenki.

Gipsanje zemljišta

Gips se koristi kao sulfatno sredstvo za kondicioniranje nestrukturnih tala bez podizanja pH-vrijednosti (može se primijeniti i *kalcijev polisulfid*) i ne može zamijeniti kalcizaciju jako ili ekstremno kiselih tala, premda se njime u tlo unosi velika količina kalcija. Stoga se u praksi, npr. u SAD-u, gipsanje primjenjuje jednu godinu prije kalcizacije kako bi efekt fizikalno-kemijske popravke tla bio što bolji. Gips je mineral koji pripada u skupinu sulfata, tj. soli sumporne kiseline, koji su često zastupljeni u Zemljinoj kori. Kemijski naziv gipsa je *kalcijev sulfat dihidrat* ($\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$), a sadrži 23,3 % Ca i 18,5 % S), male je tvrdoće i čvrstoće, a gustoća mu je oko $2,4 \text{ g cm}^{-3}$.

Topljivost gipsa u vodi nije velika, svega $2,5 \text{ g dm}^{-3}$ vode, odnosno 300 mm oborina otopit će $\sim 7,0 \text{ t ha}^{-1}$ gipsa. Sukladno tome, topljivost gipsa i njegov učinak na poboljšanje fizikalno-kemijskih svojstava tla može se očekivati već nakon 3 mjeseca, a produžno djelovanje mu je slično kalcizaciji karbokalkom, odnosno 3 - 5 godina.

Primjena gipsa veoma je djelotvorna za popravak loše strukture tla, naročito solonjeca (Slika 51.), ali i drugih nestrukturnih tala, sklonih pokorici i eroziji. Gips je znatno topiviji od kalcijevog karbonata neovisno o pH tla, a u tlu reagira brzo bez obzira na veličinu čestica, odnosno teksturu tla. Opća praksa

za *kalcizaciju* (vapnjenje), kao i *gipsanje* je primjena u kasno ljeto ili početkom jeseni na suhom tlu (radi dobrog miješanja s česticama tla), a primjetni učinak se očekuje u narednih 6 do 8 mjeseci.



Slika 51. Solonjec, Čelije (foto: Vesna Vukadinović, 2015.)

U Hrvatskoj je do sada provedeno nekoliko znanstvenih istraživanja primjene *fosfogipsa* kao poboljšivača tla i to s namjerom smanjenja deponija tvornice gnojiva Petrokemija d.d. u Lonjskom polju (~4,5 milijuna tona fosfogipsa). Naime, prema važećim propisima fosfogips je industrijski, a kada se deponira bez primjene kabasti otpad nastao u proizvodnji kompleksnih mineralnih gnojiva. Premda se fosfogips smatra neopasnim tehnološkim otpadom, on je zapravo prirodni radioaktivni otpad, tzv. *NORM* (*Naturally Occurring Radioactive Materials*). Stoga je s aspekta zaštite okoliša deponiranje ogromnih količina fosfogipsa rizično zbog njegove radioaktivnosti (sadrži radioaktivne nuklide U, Ra, Th, K i dr.), sadržaja toksičnih elemenata (Cd, Hg, Zn, Cr, Ni, Pb, As i F) i fosforne kiseline. Naime, tijekom proizvodnje fosforne kiseline gotovo 80 % stabilnog izotopa radija (^{226}Ra ; vrijeme poluraspada 1.600) godina iz sirovih fosfata odlazi u fosfogips čija je radioaktivnost niža od 500 Bq kg^{-1} (prema normi EU to je granična vrijednost), dok glavina urana ostaje u fosfatnim produktima, odnosno gnojivima (Tablica 25.) koja se primjenjuju bez ograničenja. Treba napomenuti da i kalij u prirodi dolazi u smjesi s radioaktivnim izotopom ^{40}K (0,012 %) te mu je specifična aktivnost

31,200 Bq kg⁻¹ što u Njemačkoj čini 10 % prirodne radioaktivnosti (0,17 do 2,1 mSv).

Tablica 25. Koncentracija radionuklida u gnojivima u Bq kg⁻¹ (*World Nuclear Association, 2016.*)

Mineralno gnojivo	U-238	Ra-226	Th-232
Fosforna kiselina	1200 - 1500	300	-
Superfosfat	520 - 1100	110 - 960	15 - 44
Trostruki superfosfat	800 - 2160	230 - 800	44 - 48
Monoamonijev fosfat (MAP)	2000	20	63
Diamonijev fosfat (DAP)	2300	210	< 15
Dikalcijev fosfat (CaHPO ₄)	-	740	< 37
PK gnojiva	410	370	< 15
NP gnojiva	920	310	< 30
NPK gnojiva	440 - 470	210 - 270	< 15

Budući da na tonu proizvedene fosfatne kiseline nastane oko četiri tone fosfogipsa, a konačna raspodjela radionuklida u fosfogipsu ovisi o koncentraciji radionuklida u početnim sirovinama, zbog specifičnih rizika pri postupanju, fosfogips podliježe posebnom radiološkom nadzoru uz redovite analize podzemne vode oko deponije.

Problemi u gospodarenju fosfogipsom mogu se uspješno riješiti njegovom primjenom za popravak (*reklamaciju*) kiselih tala, prvenstveno *halomorfnih*, posebice *solonjeca* s visokim udjelom natrijevih iona, jer slaba radioaktivnost fosfogipsa ne predstavlja problem u dozama od nekoliko t ha⁻¹. Naravno, njegovo korištenje u ekološkoj poljoprivredi, ili kao građevinskog materijala u visokogradnji nije dopušteno zbog prisutnosti radionuklida, posebice plinovitog radona (⁸⁶Rn) koji je jednoatomni plin bez boje i mirisa, osam puta veće gustoće od zraka pri sobnoj temperaturi, radioaktivan i kancerogen ako se udiše.

Gipsanje tla efikasno je za popravak zaslanjenih (*solončaka*), naročito alkaliziranih tala (*solonjeca*) koja imaju suvišak natrija (najčešće kao Na₂CO₃) te se njegovom primjenom poboljšava struktura, postiže bolja aeracija, upijanje i procjeđivanje vode. Naime, primjenom fosfogipsa zamjenjuje se na adsorpcijskom kompleksu tla natrij s kalcijem. Također, u kondicioniranju ovakvih tala gips umjereno zakiseljava tlo. Materijale za kalcizaciju (CaO, Ca(OH)₂, CaCO₃, dolomit, karbokalk i druge) ni u kom slučaju ne treba primjenjivati za uklanjanje natrija iz zaslanjenih i alkaliziranih tala jer materijali za kalcizaciju nisu topljivi iznad pH 8, a ispod te vrijednosti topljivost im je ~160 puta manja u odnosu na gips.

Za reklamaciju (melioracije) zaslanjenih tala mogu se koristiti i drugi materijali. Npr., u Armeniji je uspješno primjenjivana razrijeđena sumporna

kiselina (otpadni produkt u metalurgiji) kako bi se otopio suvišak CaCO_3 u tlu te je na adsorpcijskom kapacitetu tla slobodni Ca zamijenio Na, a nastali natrijev sulfat lako se ispiru vodom iz tla. U Indiji je korišten jeftini mineral *pirit* (FeS_2) za proizvodnju sumporne kiseline koja je zatim korištena za reklamaciju solonjeca, čime se smanjuje ekstremna lužnatost i riješen nedostatak Fe. Zbog velike investicije u reklamaciju solonjeca većina ih se koristi samo za ispašu.

Rezultati istraživanja u SAD-u su pokazali da je gipsanje najviše koristilo lucerni pa je prinos bio dramatično povećan. Na uloženi 1 \$ povrat je bio 5 \$, a kod kukuruza 2 \$. Također, izvrsni rezultati su bili i na drugim usjevima (soja, pšenica i dr.). Naime, nakon primjene gipsa ili fosfogipsa, bolje usvajanje drugih hraniva, uključujući dušik, fosfor i kalij značajno povećava otpornost usjeva na sušu uz postizanje većih prinosa. Također, gips može poslužiti za stabilizaciju fosfora u tlu, odnosno spriječiti njegovo ispiranje i kemijsku fiksaciju u tlu te ukloniti manjak fosfora, kao i toksične efekte aluminija. Slika 52.).

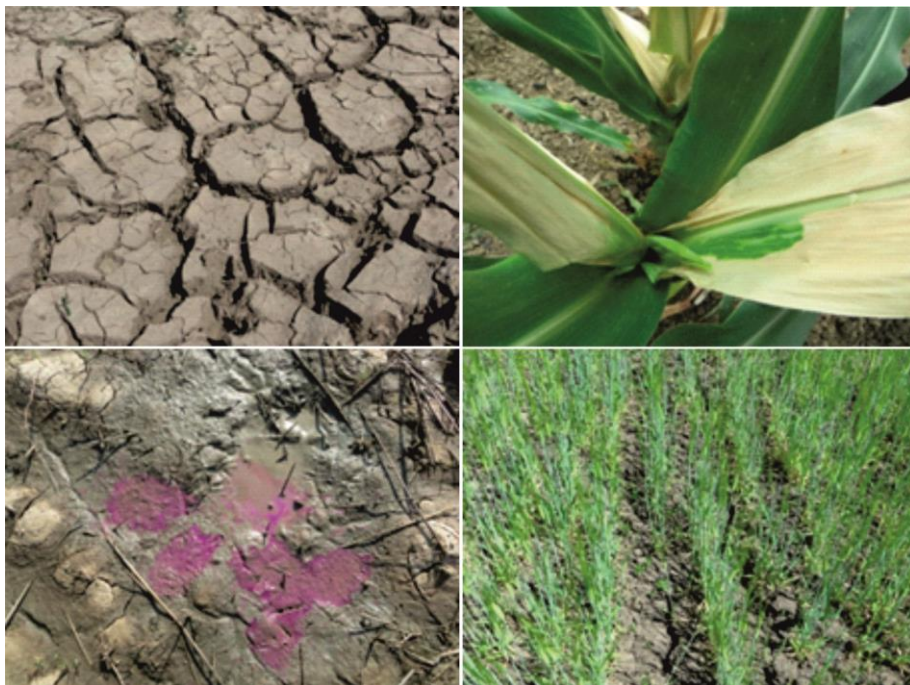
Fitotoksični efekti aluminija ($\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$; po konvenciji se označava kao Al^{3+}) zapažaju se općenito kad je pH ispod 4,5. Tada treba obvezno izvršiti kalcizaciju ili primijeniti gips, odnosno rabiti danas gotovo zaboravljeni superfosfat koji sadrži 16 - 24 % P_2O_5 u obliku vodotopljivog $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$ i 38 - 50 % CaSO_4 pri čemu nastaju netoksični spojevi $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. S istom zadaćom mogu se primjenjivati i sirovi mljeveni fosfati (npr. *fluorapatit*) koji su topljivi samo u kiselim tlima te nastaju netoksični oblici aluminija AlF_2^+ i AlF_2^+ .



Slika 52. Bestrukturano, ekstremno kiselo tlo, Bocanjevci (foto: Vl. Vukadinović, 2011.)

Budući da je gips neutralna sol koja na promjenu pH utječe vrlo sporo s tendencijom uspostavljanja neutralnog pH (7,0) i uz poboljšavanje strukture, manje je zbijanje tla, a bolja prirodna drenaža (Slika 53.). Naime, gips

stabilizira tlo tako da smanjuje *dispertziju (deflokulaciju)* većih strukturnih agregata tla i *nastanak pokorice*, što je naročito rizično pri navodnjavanju.



Slika 53. Pokorica na solonjecu, Čelije 2015. (gore lijevo); Nedostatak Zn na solođu, Marijanci, 2016. (gore desno); Visok pH solonjeca - fenoftalein je ljubičast iznad pH 8,2 (dolje lijevo); Slab porast pšenice na solonjecu, Bobota 2015. (dolje desno); (foto: Ve. Vukadinović)

Teža, glinasta tla s višim KIK-om zahtijevaju više kalcijevog sulfata u odnosu na laka, pjeskovita tla, pa je potrebu primjene gipsa najbolje procijeniti temeljem analize tla. Primjenom gipsa dolazi do zamjene 2Na^+ (oznaka *izm* u jednadžbama ispod) na adsorpcijskom kompleksu tla za jedan ion Ca^{2+} , pa se zamijenjeni, odnosno mobilni natrij (oznaka *mob*) s vodom lako ispire iz tla, što značajno potpomaže unos organske tvari:

- 1) $\text{Na}_{izm}^+ + \text{CaSO}_4 \rightarrow \text{Ca}_{izm}^{2+} + \text{Na}_{mob}^+ + \text{SO}_4^{2-}$
- 2) $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
- 3) $2 \text{Na}_{izm}^+ + \text{Ca}_{mob}^{2+} \leftrightarrow \text{Ca}_{izm}^{2+} + 2 \text{Na}_{mob}^+$

Potrebna količina materijala za gipsanje tla lako se izračuna kad su poznati kationski izmjenjivački kapacitet tla (*KIK*) i *ESP* (*Exchangeable Sodium Percentage*, odnosno *postotak izmjenjivog natrija*).

Primjerice, ako je $KIK = 15 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$, $ESP = 20 \%$, a volumna gustoća tla $\rho_v = 1,5 \text{ g cm}^{-3}$ (masa tla je $\sim 3 \cdot 10^6 \text{ kg ha}^{-1}$ do dubine 20 cm), tada je:

- $Na \text{ u tlu} = ESP/100 \times KIK$, odnosno: $20/100 \times 15 = 3,0 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1} Na$,
- $3,0/100 \times 136/2 = 2,04 \text{ g kg}^{-1} CaSO_4 \text{ kg}^{-1}$

Budući da je molekularna masa bezvodnog gipsa $CaSO_4 = 136 \text{ g mol}^{-1}$, a prirodnog gipsa $CaSO_4 \times 2 H_2O = 172 \text{ g mol}^{-1}$, potreba gipsa za 1 ha površine je $2,04 \times 3.000.000 = 6.120.000 \text{ g}$ ili **6,12 t $CaSO_4 \text{ ha}^{-1}$**

Kondicioneri

Za kondicioniranje tla, osim materijala za kalcizaciju i humizaciju, ponekad se koriste slijedeći poboljšivači:

Lumbripost (vermikompost, orbig) - organski proizvod dobiven upotrebom gujavica iz organskih otpadaka, najčešće stajnjaka. Lumbripost se koristi općenito za povećanje plodnosti, a najbolje rezultate daje u uzgoju lončanica. Djeluje na poboljšanje strukture (rastresitost, bolja retencija vode), povećanje opće mikrobiološke aktivnosti tla i aktivaciju nepristupačnih hraniva u tlu.

Gips ($CaSO_4$) - koristi se kao sulfatno sredstvo za kalcizaciju bez podizanja pH-vrijednosti (može se koristiti i *kalcijev polisulfid*). Primjenom gipsa (i fosfogipsa) neutralizira se alkalnost tla izazvana suviškom natrija (posebice Na_2CO_3), poboljšava strukturu (aeraciju i upijanje vode), djeluje i kao umjereni zakiseljavač tla. Vapno (kao i karbokalk) ni u kom slučaju ne treba primjenjivati za uklanjanje natrija iz alkalnih tala jer mu je topljivost neznatna iznad pH 7 (~ 160 puta manja u odnosu prema gipsu) te se još više podiže ionako visoka pH-vrijednost tla.

Primjenu gipsa dobro je kombinirati s organskom i/ili zelenom gnojdbom uz obvezno zaoravanje žetvenih ostataka radi popravke strukture i poroznosti alkalnih tala čime se pospješuje bolje ispiranje natrija. Duboka obrada uz primjenu gipsa često može izazvati još jaču disperziju čestica tla, stoga je način obrade dobro prije gipsanja testirati na manjoj površini. Umjesto gipsa može se koristiti i fosfogips koji zaostaje kao industrijski otpad u proizvodnji fosfornih gnojiva, odnosno sulfatne kiseline. Njegova niska radioaktivnost ne predstavlja opasnost kad se koristi kao poboljšivač tla.

Komposti - pored fertilizacijske funkcije imaju i ulogu kondicionera tla s jakim djelovanjem na strukturu (aeraciju i retenciju vode), boju i povećanje biogenosti tla.

Treset - koristi se prirodni sušeni, komprimirani, više ili manje razloženi (vlaknast) i preparirani (kemijski obrađen s različitim mineralnim dodacima)

za posebne namjene. Treset povećava retenciju vode u tlu 5 - 15 puta na unesenu masu (humus 2,6 do 6,0 puta), čini tlo rahlim, toplijim (zbog velike količine organske tvari i povećanog kapaciteta za zrak uz tamniju boju). Tresetu se često dodaje CaCO_3 za smanjivanje kiselosti, *zeoliti*, *perlit* ili *vermikuliti* za povećanje adsorpcijskih svojstava i vezivanje mineralnih oblika hraniva u raspoloživom obliku.

Malčevi - također se mogu smatrati kondicionerima tla jer mijenjaju zemljišne uvjete u različitim vrstama biljne proizvodnje. Posebice se koriste u povrćarstvu, voćarstvu i sličnim *malim proizvodnjama*, a mnogo manje u ratarstvu. Primjenjuju se različiti *organski i anorganski malčevi* čija funkcija je vrlo značajna, a ponekad i dekorativna. Naime, malčevi povećavaju retenciju vode, štite tlo od isušivanja, zasjenjuju i zadržavaju rast korova, privlače zemljišne crve, povećavaju temperaturu tla u hladnijem periodu vegetacije, štite nagnuta tla od erozije i sl. Malčevi od prirodnog materijala, osim funkcije prekrivanja tla, razgradnjom oslobađaju hraniva, posebice dušik. To mogu biti vrlo različiti materijali, npr. slama žitarica, sijeno, kora drveta, različiti organski otpaci kao što je lišće i sl.

Od anorganskih malčeva najčešće se koriste *sintetske folije* koje mogu biti crne, dekorativno obojene, prozirne, fotorazgradive, različitog sastava (PVC, polietilen, poliester), *permeabilne* ili potpuno nepropustljive za vodu i plinove, već prema namjeni. Od anorganskih malčeva mogu se koristiti i mljeveni minerali (*granit, vulkanske stijene, šljunak* i sl.), najčešće kao dekorativni malčevi u hortikulturi.

Kondicioniranje tla neophodno je i kod tala oštećenih ili degradiranih na druge načine, ne ulazeći u probleme vezane uz degradaciju erozijom.

Reklamacija zemljišta (melioracije)

Poljoprivredna zemljišta rijetko su bez ijednog ograničenja u proizvodnji pa je njihovo otklanjanje ili ublažavanje preduvjet za povećanje i optimiziranje primarne produkcije organske tvari. Od mnogih vrsta problema tla česti su nizak ili visok pH, manjak ili suvišak jednog ili više hraniva, problemi vezani uz vodni režim zemljišta (navodnjavanje i odvodnja, odnosno manjak ili suvišak vode u dijelu vegetacije, ili tijekom čitave godine), problemi vezani uz obradu i sjetvu (zbijena i slabo drenirana tla, neravnine, depresije, plitak solum, prevelik nagib, tekstura i/ili struktura). Također, česti su problemi u biljnoj proizvodnji nakon uključivanja djevičanskih tala (pašnjaka, šikara, močvara i šuma), vraćanje devastiranih i degradiranih površina (rudnici, odlagališta i sl.) u prethodno stanje (mjere restitucije i remedijacije - sanacije) i dr. Većina od

nabrojanih problema se može riješiti ili ublažiti različitim mjerama reklamacije zemljišta (u RH je uobičajen izraz melioracije), ali veliko početno ulaganje u takve zahvate najčešće je prepreka njihovom provođenju.

Budući da je tlo ograničeno i teško obnovljivi resurs u duljem periodu, pa kad dođe do njegove devastacije, odnosno značajnog gubitka njegove kvalitete (efektivne plodnosti), skupo i teško ga je vratiti u prethodno stanje, a često je to i nemoguće. Zbog toga je svaki poljoprivredni proizvođač dvoji oko razine ulaganja u održavanje efektivne plodnosti tla, obzirom na nisku profitabilnost, promjenjive i niske cijene zbog velikog uvoza hrane i sl. Ipak, striktno pridržavanje pravila održivosti, odnosno dobre poljoprivredne prakse svakog pojedinog poljoprivrednika (farmera) uz brigu i nadzor države, može spriječiti devastaciju tla. Npr., smanjenjem krčenja šuma može se usporiti ili zaustaviti *dezertifikaciju* zemljišta; navodnjavanjem se mogu riješiti problemi suše, ali i ubrzati zaslanjivanje tla korištenjem vode s prevelikom količinom soli; konvencionalnu obradu (zimsku brazdu i tlo bez vegetacije od kasne jeseni do ranog proljeća može se često uspješno zamijeniti konzervacijskom (plitko rahljenje uz vegetacijski pokrov zimi, malčiranje i dr.); na nagibima je potrebna konturna obrada (po izohipsama, a nikako niz nagib) ili terasiranje; gnojidbu treba provoditi samo na temelju analize uz način primjene koji neće dovesti do zakiseljavanja tla, onečišćenja podzemne vode ili vodotoka; mineralna gnojiva mogu se dijelom zamijeniti sideratima, uzgojem leguminoza, organskim gnojivima i pravilnim plodoredom; eolska erozija može se zaustaviti vjetrozaštitnim pojasevima; eroziju vodom, naročito jaružnu na lakoerobilnom zemljištima (pijesak, prapor i sl.) može se spriječiti uzgojem trajnih nasada ili prirodne vegetacije itd.

Analiza zemljišta

Bez analize tla ne mogu se točno kvantificirati indikatori plodnosti tla, promjena njihovog intenziteta u vremenu s obzirom na agroekološke i druge uvjete proizvodnje, niti se mogu determinirati granične vrijednosti (kardinalne točke raspoloživosti hraniva), a te vrijednosti su temelj dobre procjene moguće visine prinosa i potrebe za hranivima (*Vukadinović Vl. i Vukadinović Ve.*, 2011. i 2016.).

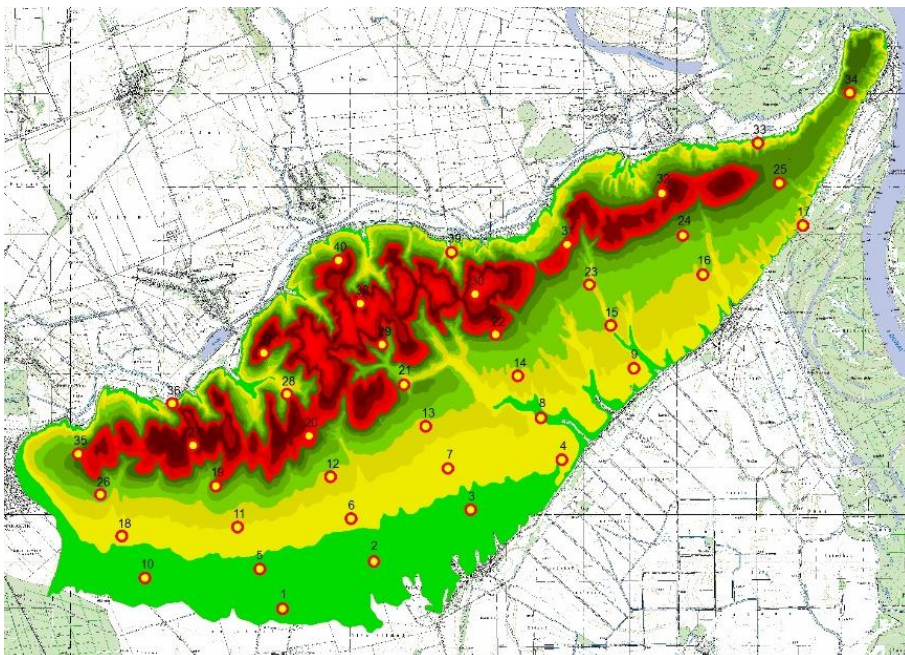
Razumljivo je da se za prirodne ekosustave (npr. šume) koristi prirodni (*inherentni*) potencijal produkcije zemljišta, dok se za poljoprivredne potrebe, ovisno o funkcionalnoj razini određenog zemljišta, potencijal produkcije podiže pomoću agrotehnike do razine koja će opravdati ulaganje i omogućiti profit konkretne proizvodnje.

Uzorkovanje tla

Pravilno prikupljanje, odnosno uzorkovanje uzoraka tla prvi je i najvažniji korak u sustavu kontrole plodnosti zemljišta jer fizikalno-kemijska analiza nepravilno uzetog uzorka, koji dobro ne reprezentira proizvodnu parcelu, ne odgovara stvarnom stanju plodnosti, odnosno potrebama usjeva za gnojidbom, obradom, uklanjanju ograničavajućih čimbenika, popravkama njegovih svojstava, gospodarenju i planiranju proizvodnje. Premda o pravilnom uzimanju uzoraka ima dosta uputa, a postoji i opsežan pravilnik s više od 50 članaka ([Pravilnik o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta, N.N. broj 39/2013.](#)), još uvijek ima puno pogrešaka jer se uzimanje uzoraka često olako shvaća. Naime, uzorkivači su često neobučeni i nepripremljeni (npr. ne poznaju osnove tloznanosti, nemaju unaprijed pripremljene karte terena s planom uzimanja uzoraka niti podatke o ranijoj proizvodnji (predkulture i njihovi prinosi, obrada, gnojidba, zaštita i dr.), uzorci se uzimaju u bilo koje vrijeme, iz smrznutog, suhog ili pretjerano vlažnog tla, za vrijeme vegetacije dok još nisu iscrpljene rezerve hraniva unesene gnojidbom i sl. Također, suvremena kontrola plodnosti tla zahtijeva precizno geopozicioniranje uzoraka, najčešće po tzv. mrežnom planu (Slika 54.) kako bi se mogla provoditi *varijabilna rata gnojidbe* (VRF, dio precizne agrikulture), a nakon svakog ciklusa kontrole plodnosti moglo uzeti uzorke tla za analizu s istog mjesta, odnosno iste kontrolne plohe (tzv. *benchmark metoda uzorkovanja*). To je najbolji način da se najtočnije utvrditi trend fizikalno-kemijsko-bioloških promjena tla i konačno, temeljem velikog broja analiziranih uzoraka zemljišta moguće je kreirati GIS alatima pouzdane

agrokemijske karte poljoprivrednog zemljišta za potrebe regionalne i lokalne razine unaprjeđivanja poljoprivredne proizvodnje, planiranje proizvodnje hrane (vrste i količine), sprečavanje onečišćenja okoliša itd.

Prije uzorkovanja tla potrebno je obaviti „snimanje“ (pregled ili *rekognosciranje*) zemljišta na temelju kojeg se određuje veličina analitičke



Slika 54. Mrežno uzorkovanje tla (Baranjska planina)

jedinice, odnosno formira mreža uzorkovanja (ovisno o kulturi i homogenosti površine) i utvrđuje potreban broj pojedinačnih uzoraka (*uboda sondom*) za dobivanje prosječnog uzorka tla. Dakle, uzorkovanje tla obavlja se planski prema unaprijed pripremljenim kartama s planovima površina i njihovim nazivima, vodi se evidencija svih značajki terena koje se ne mogu numerički označiti, a važni su za tumačenje rezultata analiza.

Uzorkovanje tla treba prilagoditi načinu uzgoja usjeva ili nasada, posebno vodeći računa o vremenu i dubini uzorkovanja, *orografiji* (npr. dubina soluma, nagib, plavljenje, erozivne promjene i dr.), vremenu, intenzitetu i načinu gnojidbe (npr. zaoravanje, plitki unos, omaške, u trake, organska gnojidba, sideracija, prethodni usjev i njegov prinos, količina zaoranih žetvenih ostataka i dr.), tipu tla i vrsti obrade (konvencionalna, reducirana, minimalna do nulta ili konzervacijska obrada), suho ratarenje ili primjena navodnjavanja. Na homogenim parcelama, s jednim predusjevom, bez nagiba, istog tipa tla,

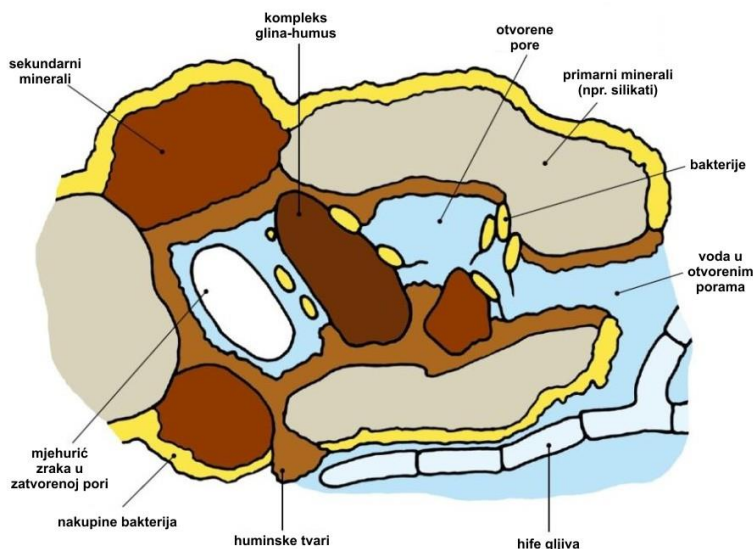
ujednačene boje, bez mikrodepresija i parcelama većim od 10 ha, potrebno je uzeti jedan prosječni uzorak na svakih 3 - 5 ha (npr., mreža 200 × 200 m), sastavljen iz najmanje 20 - 25 uboda, obavezno agrokemijskom, a nikako pedološkom sondom (koja ima puno veći promjer i zahvaća suviše veliku količinu tla s jednog mjesta). Površina kontrolne plohe promjera je 30 m, čiji je centar obavezno geopozicioniran GPS-om (dovoljna je horizontala preciznost ili HDOP $\pm 2,5 - 5,0$ m, što na otvorenom polju postiže većina GPS uređaja s uključenom korekcijom signala, npr. *EGNOS*). Na manjim, ali homogenim površinama, uzima se samo jedan prosječni uzorak tla (također obavezno koristeći GPS za geopozicioniranje centra kontrolne plohe), jer se susjedne parcelice uvijek razlikuju (bez obzira što to često nije očigledno) zbog višegodišnje različite plodosmjene, gnojidbe, obrade i dr.

Tlo je općenito vrlo heterogeno po svojim morfološkim, fizikalnim i kemijskim svojstvima, pa i onda kad naoko izgleda homogeno (po boji, nagibu i dr.), a uzorak tla je jako mala količina/dio prirodnog ili obrađenog tla koja mora reprezentirati cijelu površinu (oranični sloj površine 4 ha ima masu od ~15 mil. kg), pa se svaka pogreška učinjena pri uzorkovanju odražava na krajnji rezultat. Zbog toga je način uzimanja i broj uzoraka tla na heterogenim i nagnutim terenima različit i znatno veći u odnosu na mrežni plan. Na takvim zemljištima uzorke tla potrebno je uzeti, bez obzira na veličinu parcele, tako da je obuhvaćen najviši, srednji i najniži dio parcele, odnosno geomorfološka različitost parcele (različita nadm. visina, tip i boja tla, nagib, dubina soluma, oštećenja erozijom i sl.). Premda je i za uzimanje uzoraka na heterogenim i nagnutim zemljištima potreban GPS, ova metoda je manje pouzdana i manje sustavna od mrežnog uzorkovanja, a dobri rezultati se mogu postići samo ako su uzorci uzeti u skladu s terenskim varijacijama i dovoljno gusto da dobro reprezentiraju nehomogenost parcele.

Obrada tla, posebice oranje, ravnanje, kultivacija i dr., *mehaničko je zadiranje u pedosferu* i dovodi do manjeg ili većeg premještanja površinskog sloja, pa inzistiranje na centimetarskoj preciznosti (npr. korištenjem diferencijalnog GPS-a) za uzorkovanje tla nema smisla. Također, reducirana obrada, grebenasto oranje (slogovi) ili izostavljanje oranja nakon nekog vremena značajno utječu na slojevitost tla (*stratifikacija*), npr. raslojavanje organske tvari, pH i hranjivih tvari (osobito kod primjene gnojidbe i obrade u trakama). Stoga reducirana, grebenasta i nulta obrada zahtijevaju nešto dublje i gušće uzorkovanje kako bi se ustanovilo u kojoj se mjeri događa stratifikacija.

Uzorci tla se ne smiju uzimati s uvratina ili rubova parcela ili uz kanale zbog različite obrade, „gaženja“ i sastava tla. Prosječni uzorak sastoji se od 20 do

25 pojedinačnih uboda agrokemijskom sondom dubine 0 - 30 cm te ukupna težina prosječne je mase 1,5 - 2,0 kg svježeg tla. Ako se uzorci tla uzimaju za trajne nasade ili druge namjene dubina uzorkovanja je različita (Slika 56.). Svježe uzeti uzorci tla moraju se isti dan pretresti iz plastičnih vrećica u posebne četvrtaste posude za sušenje, pazeći da se njihova identifikacija ne izgubi ili zamijeni. Ako je uzorak prevelik, smanjuje se prije sušenja *metodom četvrtanja*, uklone se mehanički elementi (šljunak, skelet, metalni komadi) kao i organske nerazložene tvari (korijenje, nerazloženi žetveni ostaci, organski gnoj i sl.) te suši na temperaturi do 40°C u sušnici ili u hladu, a zatim usitnjava u posebnom mlinu za tlo tako da čestice tla prolaze kroz sito od 2 mm. Mlin za usitnjavanje tla ne smije razbijati *strukturne mikroagregate* tla čiji je promjer $\leq 0,25$ mm (Slika 55.), već ih mora odvajati smicanjem. U suprotnom kemijska analiza pokazuje veće vrijednosti hranjivih elemenata od stvarno raspoloživih, jer biljni korijen, zapravo korijenske dlačice ne mogu prodirati unutar mikroagregata, odnosno *organomineralnog kompleksa tla*. Suhi i samljeveni uzorci tla čuvaju se u papirnatim vrećicama ili kartonskim kutijama na prozračnom i tamnom mjestu.



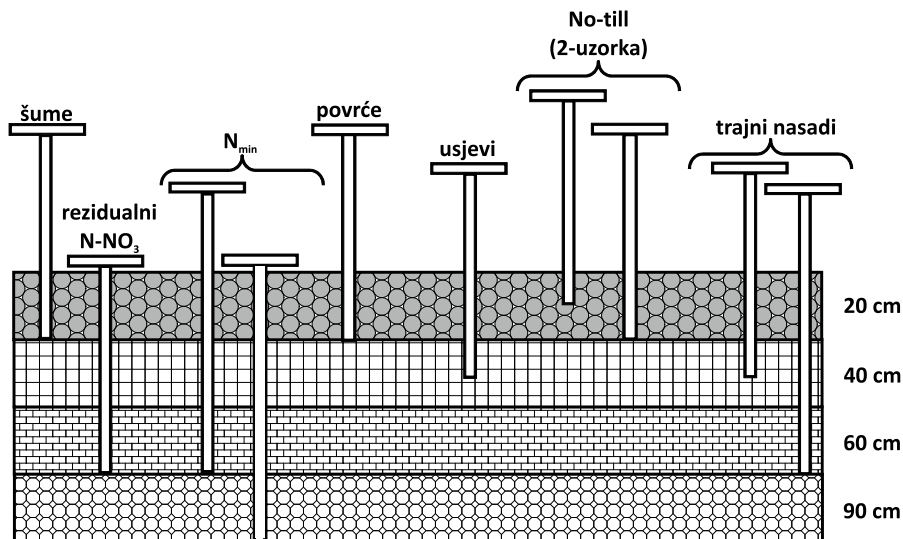
Slika 55. Shema strukture mikroagregata tla (organomineralni kompleks tla) (<https://www.aid.de/inhalt/kompost-fuer-den-acker-2398.html>)

Česta je dilema kad treba uzorkovati tlo za kontrolu plodnosti zemljišta. Na to pitanje ne može se jednoznačno odgovoriti. Naime, u sustavu kontrole plodnosti najbolje je obavljati uzorkovanje jedne parcele uvijek u približno isto vrijeme, bez obzira je li to proljeće, ljeto ili jesen. Uzorke tla ne treba nikad uzimati nakon gnojidbe, kad je tlo smrznuto, prije kraja vegetacije ili kad iz tla

još nisu iscrpljena sva hraniva iz gnojiva, nakon organske gnojidbe ili sideracije i kad je tlo vrlo suho ili suviše vlažno. Također, sezonske varijacije vrijednosti za pH i kalij mogu biti velike pa je često raspoloživost kalija precijenjena na težim (glinastim) tlima kad se uzorci uzimaju u kasnu jesen, zimu ili rano proljeće (vlažno, ili čak smrznuto tlo). Zatim, pH vrijednosti tla može znatno varirati tijekom godine, ovisno o gnojidbi dušikom, primjeni fiziološki kiselih ili alkalnih gnojivima, količini oborina, navodnjavanju i kalcizaciji.

Utvrđivanje raspoloživosti hraniva iz tla, posebice dušika za potrebe prihrane, ili rješavanje akutnog nedostatka drugih elemenata ishrane u kritičnim razdobljima mora biti usuglašeno s etapama razvika i stanju vegetacije, što se najčešće podudara s najvećom potrebom pojedinog elementa. Dakle, uzimanje uzoraka za prihranu ozimih usjeva temeljem N_{min} metodu obavlja se zimi, a za jare usjeve u rano proljeće, bez obzira na temperaturu i vlažnost tla.

Uzorke tla za kemijsku analizu potrebno je uzeti tako da *prosječan uzorak* dobro reprezentira proizvodnu površinu (parcelu), pazići da se proporcionalno obuhvate manje nehomogenosti, a kod većih (razlika u boji, izgledu, nagibu itd.) moraju se uzeti posebni uzorci tla. Dubina uzorkovanja ovisi o tipu uzgoja (Slika 56.), za usjeve je 0 - 30 cm (*rizosfera*), a uzimanje uzoraka obavlja se isključivo agrokemijskim sondama.



Slika 56. Dubine sondiranja za kemijsku analizu tla

Uzimanje uzoraka za fizikalnu ili biološku analizu može podrazumijevati i korištenje drugih alata (pedološka sonda, *Kopecky cilindri*, sterilne posude, plastične ili staklene posude za uzorkovanje podzemne vode i dr.).

Laboratorijska analiza zemljišta

Kemijska analiza

Kemijska analiza tla predstavlja ključ za dobivanje visokih priroda uz adekvatnu agrotehniku (obrada, primjena gnojiva, zaštita usjeva itd.). U tom smislu razvijeni *sustav kontrole plodnosti tla* podrazumijeva sustavno prikupljanje svih relevantnih fizikalno-kemijskih podataka o tlu (uključujući klimu) i njegovom korištenju, doprinosi boljoj raspodjeli mineralnih i organskih gnojiva, uklanjanju akutnih deficita hraniva, kemijskoj i fizikalnoj popravci tla, ekonomičnijoj proizvodnji, odnosno očuvanju i podizanju efektivne plodnosti tla čime su prirodi viši i stabilniji te manje podložni promjeni uslijed različitih vremenskih prilika (*Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2011.*).

Primjena kemijskih analiza tla pretpostavlja utvrđivanje i poznavanje graničnih vrijednosti razine raspoloživosti hraniva i drugih indikatora svojstva zemljišta (npr., pH tla, mehanički sastav itd.). Tu nastaje veliki broj problema i nejasnoća jer opskrbljenost tla hranivima ovisi o velikom broju čimbenika (bioloških, kemijskih, fizičkih i klimatskih) čiji utjecaj na stanje raspoloživosti hraniva nije moguće posve predvidjeti i odrediti. Stoga se rezultati kemijske analize tla tumače posredno pomoću klasa opskrbljenosti, ili sve češće skor funkcijama, uz predviđanje djelovanja gnojidbe, pa je stanje hraniva u tlu potrebno procjenjivati svakih nekoliko godina (*Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2016.*).

Mehanička analiza tla

Čvrstu fazu tla čine čestice *primarnih i sekundarnih minerala (mehanički elementi tla)* različite veličine i udjela (*tekstura tla*), koje su međusobno prostorno povezane u *strukturne agregate* (makro i mikro agregati; Slika 55.) koji čine strukturu tla (*Vukadinović Vl. i Vukadinović Ve., 2016.*). Budući da je „pakiranje“ strukturnih agregata tla promjenjivo tijekom vremena, ovisno od vlažnosti tla, obrade i drugih agrotehničkih zahvata, te djelovanja biljaka (rast korijena, izlučevine, žetveni ostaci i dr.), između njih se formiraju pore (povezane i nepovezane) ispunjene vodom i zrakom. Dakle, pod *teksturom* se podrazumijeva udio pojedinih čestica u građi čvrste faze tla ovisno o njihovoj veličini, dok *struktura (pedaliti)* označava njihov međusobni raspored. Kao *mjera stabilnosti strukturnih agregata* uzima se njihova otpornost na raspadanje pri vlaženju, iako je zapravo vrlo važno da se agregati tla ne raspadaju kod obrade.

Tekstura i struktura su svojstva koja su međusobno čvrsto povezana i predstavljaju vrlo značajan čimbenik rasta biljaka i tvorbe prinosa. Povoljna struktura i tekstura tla znače i dobru poroznost i dreniranost tla, dakle dobre uvjete za rast korijena, povoljan vodozračni režim, odnosno dobru vododrživost i prozračnost tla. Stoga se tekstura s pravom smatra mjerom kojom se dobro procjenjuje potencijalna plodnost nekog tla.

Problemi vezani uz poroznost tla u suvremenoj poljoprivrednoj proizvodnji vrlo često su izazvani stalnim mehaničkim zbijanjima teškom mehanizacijom, posebice u uvjetima veće vlažnosti tla, što izaziva porast *mehaničke impedance tla* (otpora pri obradi) s dugotrajnim negativnim promjenama uz primjetno snižavanje efektivne plodnosti tla. Ipak, tlo posjeduje *mehanički ili fizički puferni kapacitet*, odnosno *otpornost na strukturne deformacije*, te se može manje ili više djelotvorno "suprotstaviti" nekim mehaničkim efektima i obnoviti odgovarajuće stanje strukturnosti u kraćem ili dužem razdoblju (Vukadinović Vl. i Vukadinović Ve., 2011.).

Biološka analiza tla

Kvantitativno mjerenje mikrobiološke aktivnosti tla može se obavljati brojnim mikrobiološkim metodama, a u posljednje vrijeme često se brzo i jednostavno utvrđuje *intenzitet disanja tla* kao opći pokazatelj biogenosti. Ispitivanja mikrobiološke aktivnosti tla u RH unazad 50-ak godina pokazuju pad ukupne biogenosti i poremećeni odnos važnijih fizioloških skupina mikroorganizama.

Degradacija bioloških svojstava tla uzrokuje usporenu transformaciju organske tvari i sinteza humusa (*humifikacija*) koji je loše kakvoće čime se narušava i struktura tla. Dobra biogenost tla lako se procjenjuje prema brzini razlaganja žetvenih ostataka i organskih gnojiva, odnosno kroz tempo oslobađanja dušika, fosfora i drugih biogenih elemenata.

Biogenost tla često se pojednostavljuje i svodi samo na njegovu *bioraznolikost* (npr., nova strategija EU), a da pritom nije razvijena pouzdana metodologija za mjerenje bioloških čimbenika, niti njena interpretacija, osim jednostavnih procjena (npr. broj gujavica, populacija i brojnost mikroorganizama, disanje tla i sl.).

Monitoring zemljišta

Monitoring je sustav neprekidnog promatranja elemenata životne sredine u prostoru i vremenu. Cilj je prikupiti podatke kvantitativne i kvalitativne prirode o prisutnosti i distribuciji polutanata, njihovoj emisiji, izvorima i vrsti onečišćenja (točkasti, difuzni i sl.) i njihovoj lokaciji na određenim mjernim

postajama. Prevencija u zaštiti okoliša potpomognuta monitoringom svakako će sve više dobivati na značaju, jer je jasno da postoji jaka kauzalna veza između *ekološkog opterećenja*, brojnosti ljudske populacije, razine tehnologije i životnog standarda ljudi (Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2016.).

Monitoring se definira kao sistematski nadzor

- Zraka,
- Vode,
- Tla i
- Ekosustava

Monitoring okoliša je sistematsko motrenje, mjerenje i utvrđivanje stanja okoliša, emisije polutanata ili populacije i vrste u duljem vremenskom periodu s ciljem održivosti antropogene djelatnosti (industrije i poljoprivrede, prometa itd.) te zaštite okoliša. Razlozi provođenja monitoringa su višestruki, prije svega:

- 1) Procjena okolišnih uvjeta na temelju pouzdanih informacija o trendu i statusu flore, faune, tla i dr.,
- 2) Postavljanje prioriteta i identifikacija populacija, vrsta i ekosustava, odnosno utvrđivanje rizika za oštećenje/uništenje okoliša,
- 3) Utvrđivanje faktora koji uzrokuju promatrani trend,
- 4) Donošenje mjera očuvanja okoliša i planiranje njegove zaštite kao i nadzora i
- 5) Planiranje budućih trendova (alternative i odluke u budućnosti).

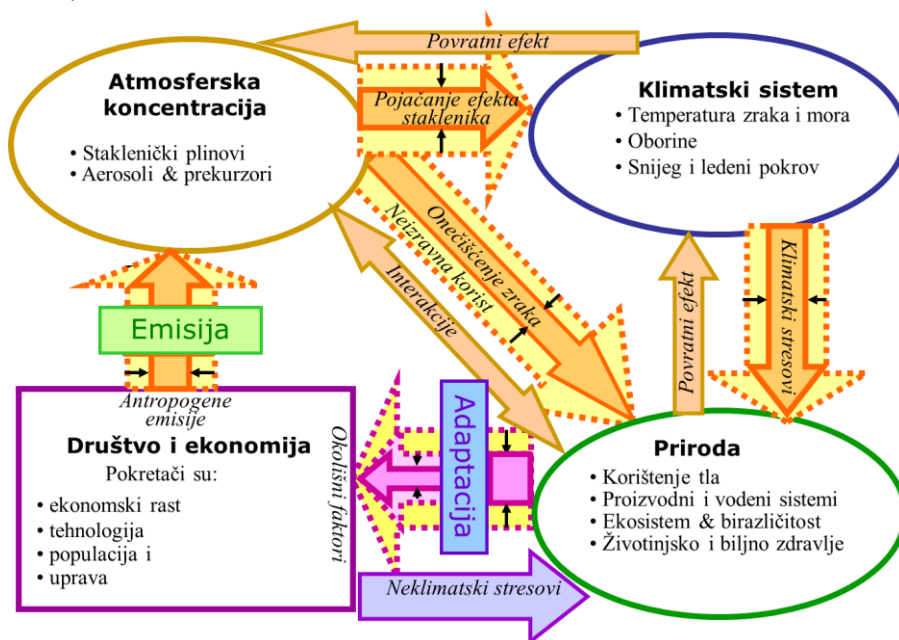
Zbog navedenih razloga provođenja program monitoringa zahtijeva plan i detaljnu organizaciju, sažeto u nekoliko točaka:

- 1) Procjena trenutne situacije koja obuhvaća prethodna i trenutna opažanja, opseg praćenja i dr.,
- 2) Prijedlog programa mjerenja,
- 3) Metode koje će se koristiti te kako će se mjeriti,
- 4) Prijedlog mreže/mjesta mjerenja,
- 5) Strukturu informacijskog sustava monitoringa i tko će koristiti podatke,
- 6) Vrijeme , odnosno učestalost mjerenja,
- 7) Financiranje i početna investicija i
- 8) Ostale namjere i prijedlozi.

Monitoring u proizvodnji hrane mora posebnu pažnju usmjeriti na stanje i očuvanje zemljišnih resursa te obuhvatiti praćenje:

- 1) Erozijske,
- 2) Promjene sadržaja organske tvari,
- 3) Onečišćenje (polucija),

- 4) Smanjivanje površina,
- 5) Zbijanje/bestrukturnost,
- 6) Smanjenje biološke raznolikosti,
- 7) Zakiseljavanje/alkalizacija/salinizacija te
- 8) Poplave i odrone.



Slika 57. Okvir za integriranu ocjenu klimatskih promjena (prema *Barker*, 2000.)

Također, jaka je sprega između antropogena djelatnosti i promjena globalne klime (Slika 57.) što se odražava na ukupnu primarnu organsku produkciju, uključujući i poljoprivredu. Naime, sve veća emisija polutanata u atmosferu, podzemne vode, kopnene vode i mora dovodi do pada produkcije hrane. Promjene klime jasno su povezane s promjenom koncentracije plinova u atmosferi, od kojih se naročito opasnim smatraju oni koji utječu na pojavu *efekta staklenog vrta*, odnosno na klimatske promjene:

- 1) Ugljični dioksid, CO_2 (0,036 % v/v)
- 2) Metan, CH_4
- 3) Ugljični monoksid, CO
- 4) Dušični oksid (N_2O)
- 5) Amonijak (NH_3)
- 6) Dušični oksidi (NO_2 , NO , NO_x)
- 7) Sumporni dioksid (SO_2)
- 8) Ozon (O_3)

Ozon je veoma važan jer:

- 1) Apsorbira UV zračenje Sunca i štiti površinu Zemlje,
- 2) Regulira utjecaj radijacije na žive organizme i
- 3) Pomaže regulaciju temperature kod zagrijavanja gornjih slojeva atmosfere i zaustavlja gubitak IR zračenja s površine Zemlje

Vrlo je složeno točno procijeniti utjecaj antropogenih aktivnosti na okoliš i klimatske promjene te ima dosta različitih mišljenja što se zapravo događa s klimom i kakva nas budućnost očekuje, od onih koji promjene smatraju normalnim klimatskim ciklusom pa sve do najcrnijih scenarija koji uključuju globalno podizanje temperature i topljenje leda na polovima i nestanak glečera.

Degradacija fizikalnih svojstava tla antropogenim zbijanjem

Budući da tlo nipošto nije lako obnovljivi resurs, a promjene u njegovoj strukturi i sastavu, premda su spore, dovode do njegove degradacije i pada proizvodne sposobnosti (plodnosti) koja se može promatrati s aspekta njegove fizikalne, kemijske i biološke degradacije (Tablica 26, Slika 58.).

Intenzivna biljna proizvodnja, neminovno izlaže tlo velikom broju prohoda teških strojeva, posebice po vlažnom tlu te dovodi do zbijanja tla i pogoršanja njegovih fizikalnih osobina, kvarenja strukture, poremećaja vodo-zračnih odnosa u zoni rizosfere, otežane penetracije korijena u dublje slojeve, te slabijeg korištenja hraniva. *Zbijanje je najčešće posljedica većeg broja prohoda mehanizacije, odnosno veći utrošak energije, a sve uz smanjenu kvalitetu obrade.*

Kvarenje strukture može biti i posljedica pada sadržaja humusa kao rezultata brže mineralizacije organske tvari u uvjetima intenzivne obrade ili lošeg "prometa" organske tvari.

Stvaranje pokorice jedna je od ekoloških značajki sekundarnih posljedica antropogenih tala, koja uzrokuje poteškoće kod nicanja biljaka. Posebno su tome sklona tla bogata frakcijama praha, a siromašna humusom i kalcijem.

Degradacija kemijskih svojstava tla

Promjene koje uzrokuju degradaciju tla najčešće su posljedica intenzivne primjene *agrokemikalija* (mineralna gnojiva, pesticidi, stimulatori rasta, desikator i dr.), ali lošija svojstva mogu izazvati i tzv. *kisele kiše* u blizini velikih energetske postrojenja na fosilna goriva (*imisijska acidifikacija; industrijska polucija*) (Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve., 2016.).

Opadanje sadržaja humusa u tlu

Pad sadržaja humusa je redovita pojava u antropogeniziranim tlima, jer se *kulturni klimaks sadržaja humusa* nalazi na nižoj razini nego u prirodnom tlu. Uzroci opadanja humusa su: intenzivna obrada i aeracija, te primjena isključivo mineralnih gnojiva. Jedan od razloga je i odvajanje ratarske od stočarske proizvodnje, izvoženje ili spaljivanje žetvenih ostataka, te izostanak zelene gnojidbe (sideracije).

Tablica 26. Gradacija stupnja oštećenja tla (Bašić, 1994.)

Stupanj oštećenja	Vrsta oštećenja	Procesi oštećenja	Posljedice oštećenja
Nizak (1.) Lako obnovljivo	Degradacija u intenzivnom bilnogojstvu	Degradacija fizikalnih osobina- antropogenim zbijanjem	<ul style="list-style-type: none"> • Poremećaji vodozračnih odnosa • Otežana penetracija korijena • Pad prinosa • Zakiseljavanje • Zaslanjivanje • Fitotoksični efekti ili depresija rasta • Smanjena biogenost • Poremećen odnos fizioloških grupa mikroorganizama
		Degradacija kemijskih svojstava	
		Degradacija bioloških svojstava	
		Degradacija tala hidromelioracijama	
Srednje težak (2.) Uvjetno obnovljivo	Onečišćenje zemljišta	Teški metali i potencijalno toksični elementi	<ul style="list-style-type: none"> • Hrana neuporabiva za animalnu i humanu ishranu, zbog mutagenih i kancerogenih i efekata • Depresija rasta biljaka • Fitotoksični efekti • Ugroženi ekosustavi
		Ostaci pesticida i policiklički aromatski ugljikovodici (PAH)	
		Petrokemikalije	
		Radionuklidi u tlu	
		Imisija acidifikacijskih tala	
Težak (3) Neobnovljivo	Premještanje zemljišta (translokacija)	Erozija vodom i vjetrom	<ul style="list-style-type: none"> • Gubitak dijela tla • Promjena stratigrafije profila • Smanjenje proizvodnih površina • Smetnje u obradi tla • Povećana heterogenost pedološkog pokrova • Povećani troškovi proizvodnje • Smanjen prinos • Ugroženi drugi ekosustavi
		Premještanje rudarskim kopovima, ciglanama, eksploatacijom kamena, šljunka i pijeska	
		Oдноšenje tla plodinama	
		Posudišta tla	
		Prekrivanje tla: smećem, industrijskim otpadom i pepelom	
		Prekrivanje drugim tlom	
		Oštećenja tla šumskim požarom	
Nepovratan (4.) Trajni gubitak	Prenamjena zemljišta	Izgradnja urbanih, industrijskih, rekreacijskih i drugih područja	• Gubitak površina i smanjenje proizvodnje hrane
		Industrija, prometnice, aerodromi	• Gubitak površina i smanjenje proizvodnje hrane
		Hidroakumulacije	• Gubitak površina

Acidifikacija (zakiseljavanje) tla je posljedica nekoliko čimbenika

Primjena fiziološki kiselih gnojiva sa sve manje balasta, visoke doze gnojovke, ispiranje baza iz tla, imisijska acidifikacija (kisele kiše) svakako će vremenom dovesti do zakiseljavanja zemljišta. Posljedice su: pad pH vrijednosti tla,

gubitak Ca, pogoršanje fizikalnih i bioloških osobina tla, smanjenje plodnosti tla.

Zaslanjivanje tla

Prema FAO/UNESCO karti (*Fischer i dr.*, 2002.) ukupne površine *halomorfnih tala* na Zemlji iznose približno 831 miliona ha, navodnjavanih površina ima ~230 miliona ha, a od toga je 45 miliona ha zaslanjeno ili izloženo sekundarnom zaslanjivanju. Izvor lakotopljivih soli može biti:

izravan - voda loše kvalitete za navodnjavanje može dovesti relativno brzo do zaslanjenja i/ili alkalizacije tla i podzemnih voda. Navodnjavanje u Hrvatskoj ne predstavlja problem, jer se radi samo o *simboličnim 0,28 % obradivih površina*.

neizravan - sastav pedosfere, posebice primarnih minerala, može biti takav da njihovom razgradnjom dolazi do zaslanjivanja.

Salinizacija u Hrvatskoj je ograničena na područje Slavonije i Baranje (istočni dio), dolinu Neretve i uski obalni pojas Dalmacije i otoka.

Također, problemi salinizacije mogu se pojaviti zbog sve veća aridnosti (prijelaz semihumidne prema semiaridnoj klimi). Proizvodnja povrća u staklenicama, plastenicima i na navodnjavanim površinama također može biti rizična zbog sekundarne salinizacije.

Fitotoksični efekti i depresija rasta

Ovaj ekološki poremećaj posljedica je *degradacije kemijskih značajki tla*. To se posebice odnosi na utjecaj mobilnog *aluminija* na kiselim tlima, kao što su pseudogleji zapadne Hrvatske, te kiselu smeđa tla Posavine i Međimurja.

Ovoj kategoriji oštećenja pripada i utjecaj *rezidua pesticida* koji u slučaju predoziranosti pesticidima, naročito na tlima slabe puferne moći, dovode do kontaminacije. Uzročnici ovih pojava spadaju u tzv. *difuzne izvore onečišćenja*.

Ugrožavanje akvatičnih ekosustava

Poljoprivreda može biti izvor onečišćenja akvatičnih sustava zbog ispiranja hranjivih tvari iz mineralnih i organskih gnojiva s bliskih poljoprivrednih površina, te pesticida (agrokemikalije). U podzemne vode se najviše ispiru *topivi oblici dušika*, posebice *nitriti* i *nitriti*, zbog *negativne sorpcije u tlu*. Mogu se isprati fosfor i kalij (ovisno o svojstvima tla), zatim *baze* (Ca, Mg, K i Na), a najmanje se ispiru *teški metali*.

Posljedica ispiranja je smanjena uporabljivost tih voda i njihova postupna *eutrofikacija*. Stoga je poljoprivreda registrirana kao *difuzni izvor zagađenja*,

za razliku od točkastih izvora emisije štetnih tvari. Sve tvari koje se ispiru iz tla *nisu same po sebi štetne*, no one uzrokuju *poremećaj* odnosa pojedinih bioloških vrsta u vodi, favorizirajući jedne na račun drugih, a neke i uništavaju.

Degradacija bioloških značajki tla

Neki ekološki rizični zahvati u intenzivnoj oraničnoj proizvodnji značajni su uzročnici poremećaja bioloških svojstava tla. Zapaženo je smanjenje broja i aktivnosti ili čak potpunog nestanka kišnih gujavica, koje su dobar indikator plodnosti tla. Biološki poremećaji u tlu uzrokuju usporenu transformaciju organske tvari (*mineralizaciju* i *humifikaciju*) ili pak sintezu humusa loše kvalitete. Time se narušava i povoljna struktura tla.

Infekcija tla *patogenim mikroorganizmima* je pojava do koje dolazi kod primjene *svježih gnojovki* sa stočnih farmi na kojima se javljaju bolesti. Nema podataka o takvim infekcijama u našoj zemlji, a uporaba ovih gnojiva *zakonski je posebno regulirana*.



Slika 58. Jaružna erozija kao izravna posljedica sjetve suncokreta niz nagib (Foto: Vukadinović VI, 2005.)

LITERATURA

1. Agricultural Land Review Committee (ALRC) (2006): The Final Report and Recommendations of the Agricultural Land Review Committee.
<http://www.sama.sk.ca/pdfs/AgLandReviewCommitteeFinalReport.pdf>
2. Alcamo, J., Dronin, N., Endejan, M., Golubev, G. and Kirilenko, A. (2007): A new assessment of climate change impacts on food production shortfalls and water availability in Russia, *Global Environ. Change* 17, 429–444.
3. Ananda, J. and Herath, G. (2003). Soil erosion in developing countries: A socio-economic appraisal. *Journal of Environmental Management* 68, 343-353p.
4. Arnold, P.W. (1962): The Potassium Status of some English Soils Considered as a Problem of Energy Relationships. Proceedings No.72, The International Fertilizer Society, York, UK. 25-43.
5. Arshad, M.A. and Coen, G.M. (1992): Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *Am. J. Altern. Agr.* 7:25–31.
6. Ažman-Momirski, L. and Kladnik, D. (2009): Terraced landscapes in Slovenia. *Acta geographica Slovenica*, 49-1, 7-37p.
7. Barker, T. (2001): Representing the Integrated Assessment of Climate Change, Adaptation and Mitigation. Tyndall Centre Working Paper 11, 23p.
8. Barraclough, A. and Guymmer, I., 1998. Virtual reality - a role in environmental engineering education? *Water Science and Technology*, (38):303-310p.
9. Bašić, F. (1994): Klasifikacija oštećenja tala Hrvatske. *Agronomski glasnik* 3-4/94, 291-310p.
10. Bašić, F. (2014): Regionalizacija hrvatske poljoprivrede u zajedničkoj poljoprivrednoj politici EU. *Civitas Crisiensis*, Vol. 1(2014), str. 143-176p.
11. Bašić, F., Bogunović, M., Božić, M., Husnjak, S., Jurić, I., Kisić, I., Mesić, M., Mirošević, N., Romić, D., Žugec, I., (2001): Regionalizacija hrvatske poljoprivrede. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zavod za opću proizvodnju bilja, Zagreb, str. 274.
12. Beskow, S., Mello, C.R., Norton, L.D., Curi, N., Viola, M.R. and Avanzi, J.C. (2009): Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. *Catena* 79, 49-59p.
13. Blum, W.E.H. (1994): Soil resilience - General approaches and definition, p. 233–237. Proc. 15th World Cong. of Soil Sci. Acapulco, Mexico.
14. Blum, W.E.H. (2002): Environmental Protection through Sustainable Soil management, a Holistic Approach. In M. Pagliai and R. Jones (Eds.): Sustainable Land Management - Environmental Protection - A Soil Physical Approach. *Advances in Geoecology* 35, 1-8. Catena Verlag GmbH 2002.
15. Blum, W.E.H. (2006): Characterisation of soil degradation risk: an overview. In: Threats to Soil Quality in Europe, EC, Joint Research.
16. Bockstaller, C., Guichard, L., Keichinger, O., Girardin, P., Galan M.B. and Gaillard G. (2009): Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review, *Agron. Sustain. Dev.* 29, 223–235.
17. Bogunović, M., Vidaček, Ž., Husnjak, S. i Sraka, M. (1997). Namjenska pedološka karta Republike Hrvatske i njena uporaba, *Agronomski glasnik*, 5-6, Zagreb, 363-399p.

- Bondeau, A., Smith, C.M., Zaehle, S., Schaphoff, S., Lucht, W., Cramer, W., Gerten, D., Lotze-Campen, H., Mueller, C., Reichstein, M. and Smith B. (2007):
18. Modelling the role of agriculture for the 20th century global terrestrial carbon balance. *Glob. Change Biol.* 13, 679–706.
 19. Borlaug, N. (2007): Feeding a Hungry World. www.sciencemag.org, Science Vol 318 19 October 2007
 20. Brady, N.C. (1984): *The Nature and Properties of Soils*. Ninth Edition, New York-London, 780p.
 21. Buckman, H. D. and Brady, N. C. (1952): *The Nature and Properties of Soils*, 5th ed. (New York: Macmillan).
 22. Burrough, P.A. (2001): GIS and geostatistics: Essential partners for spatial analysis. *Environmental and Ecological Statistics* 8, 361-377p.
 23. Calkins, H.W. (2016): *Entity-Relationship Modeling of Spatial Data for Geographic Information Systems*. State University of New York at Buffalo Amherst, 19p. <http://docshare01.docshare.tips/files/4153/41537592.pdf>
 24. Carter, M.R., E.G. Gregorich, D.W. Anderson, J.W. Doran, H.H. Janzen, and F.J. Pierce (1997): Concepts of soil quality and their significance. In E.G. Gregorich and M. Carter (eds.) *Soil quality for crop production and ecosystem health*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, the Netherlands.
 25. Cassman, K.G. (1999): Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 96:5952–5959.
 26. Cassman, K.G., Dobermann, A., Walters D.T. and Yang, H. (2003): Meeting Cereal Demand While Protecting Natural Resources and Improving Environmental Quality. *Ann. Rev. Environ. Res.* 28, 315–358.
 27. Ceotto, E. (2008): Grasslands for bioenergy production. A review, *Agron. Sustain. Dev.* 28, 47–55.
 28. Chen, Y., Avnimelech, Y. (1986): *The role of Organic Matter in Modern Agriculture*. Kluwer Academic Publishers. 306 p.
 29. Collins, W.W. and Qualset, C.O. (1999): *Biodiversity in Agroecosystems*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA, 334p.
 30. Committee on Long-Range (1993): *Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture*. Committee on Long-Range Soil and Water Conservation Board on Agriculture, National Research Council.
 31. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions (2006): *Thematic Strategy for Soil Protection*, Commission of the European Communities. Brussels, 22.9.2006.
 32. De la Rosa, D. and van Diepen, C.A. (2002): Qualitative and Quantitative Land Evaluation, in 1.5. Land Use and Land Cover, in *Encyclopedia of Life Support System (EOLSS-UNESCO)*, Eolss Publishers. Oxford, UK. <http://www.eolss.net>
 33. De la Rosa, D. and Sobral, S. (2008): *Soil Quality and Methods for its Assessment*. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/71622/1/Soil%20quality%20and%20methods%20for%20its%20assessment.pdf>
 34. De la Rosa, D. Mayol, F., Diaz-Pereira, E., Fernandez, M., D. de la Rosa Jr (2004): A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection With special reference to the Mediterranean region. *Environmental Modelling & Software* 19, 929–942p.

- De la Rosa, D., Anaya-Romero, M., Diaz-Pereira, E., Heredia, R. and Shahbazi F. (2009): Soil-specific agro-ecological strategies for sustainable land use – A case study by using MicroLEIS DSS in Sevilla Province (Spain). *Land Use Policy* 26, 1055–1065.
35. Defilippis, J. (1995.): O regionalnoj strategiji razvoja poljoprivrede republike Hrvatske. *Sociologija sela* 33 (1/4), 19–28p.
36. Del Grosso, S.J., Mosier, A.R., Parton, W.J. and Ojima, D.S. (2005): DAYCENT model analysis of past and contemporary soil N₂O and net greenhouse gas flux for major crops in the USA. *Soil Tillage Res.* 83, 9–24.
37. Dobos, E., Carré, F., Hengl, T., Reuter, H.I., Tóth, G. (2006): Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
38. Dobos, E., Daroussin, J., Montanarella, L., (2005): A SRTM-based Procedure to Delineate SOTER Terrain Units on 1:1 M and 1:5 M Scales. European Commission Report, EUR 21571. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
39. Doll, P., and Siebert, S. (2002): Global modeling of irrigation water requirements. *Water Resour. Res.* 38:1037, doi: 10.1029/2001WR000355.
40. Doran, J.W. and Parkin, T.B. (1994): Defining soil quality for a sustainable environment. In J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (eds.) *Soil Sci. Soc. Am. Spec. Pub.* 35. SSSA, Madison, WI.
41. Dorronsoro, C. (2013): Soil Evaluation, The Role of Soil Science in Land Evaluation. <http://edafologia.ugr.es/comun/congres/cartart.htm>
42. Driessen, P. M. (1986): The Q. L. E. primer. A first introduction to quantified land evaluation procedures. Agricultural University, Wageningen.
43. Epstein, E. (1972): *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspective*. New York, USA. John Wiley and Sons, Inc.
44. EU (2014): Zajednička poljoprivredna politika EU-a: za našu hranu, naša ruralna područja, naš okoliš. Luxembourg, Ured za publikacije Europske unije, <http://europa.eu/lwT73dg>
45. European Environment Agency (2012): Reporting Obligations Database, Deliveries for Corine Land Cover, <http://cdr.eionet.europa.eu/hr/eea/clc/envu6wfcg>
46. Europska komisija (2016): Smjernice Komisije za racionalizaciju procjena utjecaja na okoliš. Službeni list Europske unije (2016/C273/01)
47. FAO (1976): A Framework for Land Evaluation. *FAO Soils Bulletin* 32. Rome.
48. FAO (1984): Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture. *FAO Soils Bulletin* No. 52, 249p.
49. FAO (1996): Agro-Ecological Zoning - Guidelines. *FAO Soils Bulletin* 76, 78p.
50. FAO (2000): Simple Soil, Water and Plant Testing Techniques for Soil Resource Management. AGL/MISC/28/2000, Rome, 166p.
51. FAO (2008): AQUASTAT: FAO's information system of water and agriculture, <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>, Food and Agric. Organ. of the U.N., Rome, Italy.
52. FAO (2015): World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, 203p. <http://www.fao.org>
- 53.

- FAO (2016): Land Cover Classification System, Classification Concepts. Rome, 40p. <http://www.fao.org/3/a-i5232e.pdf>
54. FAO and European Commission (1999): The European Soil Information System. 163p. <http://www.fao.org/3/a-x7585e.pdf>
55. FAO, ISRIC and ISSS (1998): World reference base for soil resources. International Soil Reference and Information Centre ISRIC, 109p. <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsr84e.pdf>
56. FAO/UNEP (1997): Negotiating a Sustainable Future for Land. Structural and Institutional Guidelines for Land Resources Management in the 21st Century. FAO/UNEP, Rome.
57. Ferrara, A., Salvati, L., Sateriano, A. and Nole, A. (2012): Performance evaluation and cost assessment of a key indicator system to monitor desertification vulnerability. Ecological Indicators, Volume 23, 123–129p.
58. Filip, Z. (2002): International approach to assessing soil quality by ecologically-related biological parameters. Ag. Ecosyst. Environ. 88:169–174.
59. Finck, A. (1982): Fertilizers and Fertilization. Introduction and Practical Guide to Crop Fertilization. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim. 455 p.
60. Fischer, G., Nachtergaele, F.O., Prieler, S., Teixeira, E., Tóth, G., van Velthuizen, H., Verelst, L. and Wiberg, D. (2012): Global Agro-ecological Zones (GAEZ v3.0). IIASA/FAO, 196p.
61. Fischer, G., van Velthuizen, H., Shah, M. and Nachtergaele, F. (2002) Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: methodology and Results. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 154 p.
62. Foley, J.A., de Fries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N. and Snyder, P.K. (2005): Global consequences of land use, Science 309, 570–574.
63. Fontes, M.P.F., Fontes, R.M.O. and Carneiro, P.A.S. (2009): Land suitability, water balance and agricultural technology as a Geographic-Technological Index to support regional planning and economic studies. Land Use Policy. 26: 589-598.
64. Frangeš, S. (2003): Opća kartografija. Geodetski fakultet u Zagrebu, Zavod za kartografiju, skripta, <http://documents.tips/documents/opca-kartografija.html>
65. Franko, U., Oelschlägel, B. and Schenk S. (1995): Simulation of temperature, water and nitrogen dynamics using the model CANDY, Ecol. Model. 81, 213–222.
66. Ghosh, S. and Koley S. (2014): Machine Learning for Soil Fertility and Plant Nutrient Management using Back Propagation Neural Networks. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, Volume 2, Issue 2, 292-297p.
67. Gleick, P.H. (1993): An introduction to global fresh water issues. In P.H. Gleick, (ed.) Water in crisis. Oxford University Press, New York.
68. Gobin, A., Jones, R., Kirkby, M., Campling, P., Govers, G., Kosmas, C. and Gentile, A.R. (2004): Indicators for pan-European assessment and monitoring of soil erosion by water. Environmental Science & Policy 7, 25-38p.
- 69.

- Gračanin, M. (1942): Tla Hrvatske. Zemljopis Hrvatske I, Matica Hrvatska, Zagreb, 340-382.
70. Grahovac, P. (2007.): Poljoprivredno zemljište i zemljišna politika. <http://web.efzg.hr/RePEc/chapters/chapter07-02.pdf>
71. Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M. and Ellert, B.H. (1994): Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 74:367–386.
72. Hake, G., Grünreich, D., Meng, L. (2002): Kartographie. Berlin - New York, Walter de Gruyter, 604p.
73. Hall, R. (2008): Soil Essentials: Managing your Farm's Primary Asset. Landlinks Press. CSIRO Publishing. 192 p. <http://www.landlinks.com.au>
74. Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E. and Svendsen, H. (1990): DAISY: Soil Plant Atmosphere System Model. NPO Report No. A10, The National Agency for Environmental Protection, Copenhagen, 272 p.
75. Hećimović, Ž. i Pavasović, M. (2010): CROPOS kao osnova za Hrvatski terestrički referentni sustav (HTRSYY). *Ekscentar*, br. 12, str. 40-47p. <http://hrcak.srce.hr/file/77756>
76. Herrick, J.E. and Whitford, W.G. (1995): Assessing the quality of rangeland soils: Challenges and opportunities. *J. Soil Water Conserv.* 50:237–242.
77. Herrick, J.E., Beh, A., Barrios, E., Bouvier, I., Coetzee, M., Dent, D., Elias, E., Hengl, T., Karl, J., Liniger, W., Matuszak, H.J., Neff, J.C., Ndungu, L.W., Obersteiner, M., Shepherd, K.D., Urama, K.C., van den Bosch, R. and Webb, N.P. (2016): The land-potential knowledge system (landPKS): mobile apps and collaboration for optimizing climate change investments. *Ecosystem Health & Sustainability* 2(3).
78. Herrick, J.E., Brown, J.R., Tugel, A.J., Shaver, P.L. and Havstad, K.M. (2002): Application of soil quality to monitoring and management: Paradigms from rangeland ecology. *Agron. J.* 94:3-10p.
79. Herweg, K., Steiner, K. and Slaats, J. (1999): Sustainable Land Management Module - The importance of SLM. Centre for Development and Environment, Berne, 78p. https://www.mpl.ird.fr/crea/taller-colombia/FAO/AGLL/pdfdocs/lm_workb.pdf.
80. Hilgard, E.W. (1906): Soils, their Formation, Properties, Composition, and Relations in Climate and Plant Growth in the Humid and Arid Region. Macmillan, New York, N.Y.
81. Hillel, D. (2009): The mission of soil science in a changing world. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172, 5–9p.
82. Hoffman, G.J., Howell, T.A. and Solomon, K.H. (1990): Introduction. In G.J. Hoffman, T.A. Howell, and K.H. Solomon (eds.) *Management of farm irrigation systems*. ASAE, St. Joseph, MI.
83. Huddleston, J.H. (1984): Development and use of soil productivity ratings in the United States. *Geoderma* 32:297–317p.
84. Huggett, R.J. (2007): *Fundamentals of Biogeography*. Second Edition. Routledge Taylor & Francis Group, 483p.
85. Huisman, O. and de By, R.A. (2009): *Principles of Geographic Information Systems*. An introductory textbook. 540p. http://www.itc.nl/library/papers_2009/general/PrinciplesGIS.pdf
86. Idowu, O.J., Van Es, H.M., Abawi, G.S., Wolfe, D.W., Ball, J.I., Gugino, B.K., Moebius, B.N., Schindelbeck, R.R. and A.V. Bilgili (2008): Farmer-oriented
- 87.

- assessment of soil quality using field, laboratory, and VNIR spectroscopy methods. *Plant Soil* 307:243–253.
88. ILVIS (2015): Spatial data analysis: geostatistical tools. ILWIS 3.0 User's Guide, 40p. http://www.birdlist.org/downloads/ilwis/ilwis3_chap11.pdf
89. INTOSAI Working Group on Environmental Auditing (2013): Land Use and Land Management Practices in Environmental Perspective, 81p. <http://www.environmental-auditing.org>,
90. Iowa State University (2015): ISPAID Version 8.1. <http://www.extension.iastate.edu/soils/ispaid>
91. Jenny, H. (1961): Derivation of state factor equations of soils and ecosystems. *Proceeding of Soil Science, Society of America* 25: 385-393p.
92. Jenny, H. (1980): *The soil resource*. Springer-Verlag, New York.
93. Karlen, D.L. and Cambardella, C.A. (1996): Conservation strategies for improving soil quality and organic matter storage. *Adv. Soil Sci.* CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
94. Karlen, D.L., Anrews, S.S. and Doran, J.W. (2001):. Soil quality: Current concepts and applications. p.1-40. In: D.L. Sparks (ed.) *Advances in Agronomy*. Vol. 74. Academic Press, San Diego, California
95. Karlen, D.L., Eash, N.S. and Unger, P.W. (1992): Soil and crop management effects on soil quality indicators. *Am. J. Altern. Agr.* 7:48-55p.
96. Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. and Schuman, G.E. (1997): Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). *Soil Science Society of America Journal* 64, 4-10p.
97. Kaufmann, M., Tobias, S. and Schulin, R. (2009): Quality evaluation of restored soils with a fuzzy logic expert system. *Geoderma*, Volume 151, Issues 3-4, 290-302p
98. Kersebaum K.C. (2007): Modelling nitrogen dynamics in soil–crop systems with HERMES. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 77, 39-52p.
99. Kibblewhite, M.G., Ritz, K. and Swift, M.J. (2008) Soil health in agricultural systems. *Phil. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 363:685-701p.
100. Klingebiel, A.A. and P.H. Montgomery (1973): Land-capability classification. *Agriculture Handbook No. 210*. Soil Conservation Service USDA, Washington, DC.
101. Kringer, K., Tusch, M., Geitner, C., Meißl, G. and Rutzinger M. (2009): Analysis of airborne LiDAR as a basis for digital soil mapping in Alpine areas. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 11, EGU General Assembly.
102. Krivoruchko, K. (2015): Introduction to Modeling Spatial Processes Using Geostatistical Analyst. ESRI Press, 27p. <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/intro-modeling.pdf>
103. Kurtz, D., Schellberg, J. and Braun, M. (2010): Ground and Satellite Based Assessment of Rangeland Management in Sub-Tropical Argentina. *Applied Geography* 30, 210-220p.
104. Lal, R. (1995): Trends in world agricultural use: Potential and constraints, 521-536p. In R. Lal and B.A. Stewart (eds.) *Soil management, experimental basis for sustainability and environmental quality*. *Advanced Soil Science* 1. CRC Press, Boca Raton, FL.

- Lamarca, C.C. (1996): Stubble over the soil: The vital role of plant residue in soil management to improve soil quality. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Lithgow (2011): Draft Land Use Strategy 2010 - 2030; Chapter 9, Rural land use strategic rural planning principles (<http://www.lithgow.nsw.gov.au/landuse>)
- López-Ridaura, S., Masera, O. and Astier, M. (2002): Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. the MESMIS framework. Ecological Indicators 2,135-148p.
- Lowrison, G.C. (1989): Fertilizer Technology. Ellis Horwood Limited, Halsted Press, New York, Chichester. 406p.
- Lukas, V., Neudert, L. and Kren J. (2009): Mapping of soil conditions in precision agriculture. Acta Agrophys. 13, 393-405p.
- Magdoff, F. and van Es, H. (2009): Building Soils for Better Crops, Sustainable Soil Management. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE) program under cooperative agreements with USDA's National Institute of Food and Agriculture, University of Maryland and University of Vermont.
- Malenica, I. (2015): Novo uređenje komasacije poljoprivrednog zemljišta u Hrvatskoj. Zagrebačka pravna revija, 363-391p.
- Mausbach M.J. and Tugel A. (1997): Soil quality - A multitude of approaches. Kearney Foundation Symposium, Berkeley, California.
- McBratney, A. (2003): Pedometric mapping. <http://spatial-analyst.net/THESIS/Introduction.pdf>
- McBride, M. B. (1994): Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press, New York, 406p.
- McGarigal, K. (2010): What is a Landscape?, 21p. <http://www.umass.edu>
- McMichael, A.J., Butler, C.D. and Folke, C. (2003): New visions for addressing sustainability. Science 302:1919-1920p.
- Mengel, K., Kirkby E.A. (1987): Principles of Plant Nutrition: 4th edition. International Potash Institute, Bern, 687p.
- Migoń, P., Kasprzak, M. and Traczyk, A. (2013): How high-resolution DEM based on airborne LiDAR helped to reinterpret landforms - examples from the Sudetes, SW Poland. Landform Analysis, Vol. 22, 89-101p.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005): Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005): Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC, USA, 100p.
- Ministarstvo poljoprivrede RH (2014): Strateški plan Ministarstva poljoprivrede za razdoblje 2015. - 2017., 125p. <http://www.mps.hr>
- Mirschel, W. and Wenkel, K.O. (2007): Modelling soil-crop interactions with AGROSIM model family. Proceedings of the workshop on "Modelling water and nutrient dynamics in soil-crop systems", 14-16 June 2004, Müncheberg, Germany, pp. 59-73p.
- Moebius, B.N., van Es, H.M., Schindelbeck, R.R., Idowu, O.J., Clune, D.J. and Thies, J.E. (2007): Evaluation of laboratory-measured soil properties as indicators of soil physical quality. Soil Sci. 172:895-912p.

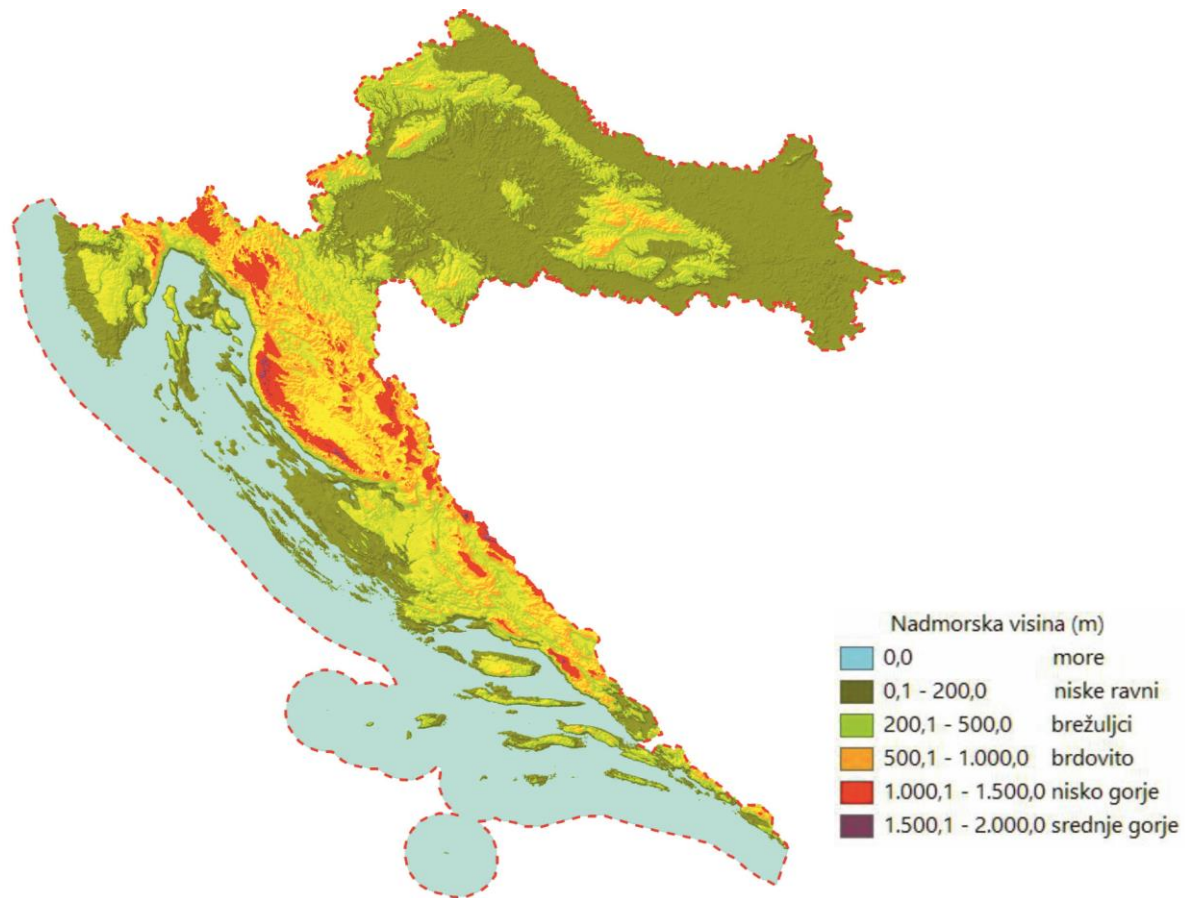
- Mohamed, A. A., (2000): An Integrated Agro-economic and Agro-ecological Framework for Land-use Planning and Policy Analysis, Ph.D. thesis, Wageningen University, the Netherlands.
124. Montgomery, D.R. (2007): Soil erosion and agricultural sustainability. Proc. Natl. Acad. Sci. 104:13268–13272p.
125. Mueller, L., Schindler, U., Mirschel, W., Graham, T.S., Ball, B.C., Helming, K., Rogasik, J., Eulenstein, F. and Wiggering, H. (2009): Assessing the productivity function of soils. A review, Agron. Sustain. Dev. 30 (2010) 601-614p.
126. NRC (National Research Council) (1994): Rangeland health. New methods to classify, inventory, and monitor rangelands. National Academy Press, Washington, DC.
127. O’Geen, T., Southard, S. and Southard, R.J. (2008): A revised Storie index for use with digital soils information. UC div. Ag. Natural Res. Pub. ANR 8355. Berkeley, CA.
128. Ouedraogo, E., Mando, A. and Zombre, N.P. (2001): Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. Ag. Ecosyst. Environ. 84:259-266p.
129. Palm, C., Sanchez, P., Ahamed, S. and Awiti, A. (2007): Soils: A contemporary perspective. Annu. Rev. Environ. Resour. 32:99-129p.
130. Parthiban, C. and Balakrishnan, M. (2016.): Expert System for Land Suitability Evaluation using Data mining’s Classification Techniques: a Comparative Study. International Journal of Computer Trends and Technology, Volume 33, Number 2, 87-92p.
131. Pierce F.J. and W.E. Larson (1993): Developing criteria to evaluate sustainable land management. In: J. M. Kimble (ed), Proceedings of the Eighth International Soil Management Workshop: Utilization of Soil survey Information for Sustainable Land, USDA Soil Conservation Service, 7-14p.
132. Pimentel, D. and Kounang, N. (1998): Ecology of soil erosion in ecosystems. Ecosystems 1, 416-246p.
133. Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R. and Air, R. (1995): Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science 267:1117-1123p.
134. Poluektov, R.A., Fintushal, S.M., Oparina, I.V., Shatskikh, D.V., Terleev, V.V. and Zakharova, E.T. (2002): AGROTOOL - A system for crop simulation. Arch. Agron. Soil Sci. 48, 609-635p.
135. Pretty, J. (2008): Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. Phil. Trans. Roy. Soc. 363:447-465p.
136. Pretty, J. (2008): Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. Phil. Trans. Roy. Soc. 363:447-465p.
137. Price, K. (2014): Drones in modern agriculture. University of Manitoba, [https://umanitoba.ca/faculties/afs/agronomists_conf/media/8 - 2-30 - Price Dec 11 2014 RoboFlight.pdf](https://umanitoba.ca/faculties/afs/agronomists_conf/media/8_-_2-30_-_Price_Dec_11_2014_RoboFlight.pdf)
138. Ramankutty, N., A.T. Monfreda, E.C. and Foley, J.A. (2008): Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. Global Biogeochem. Cycles 22:GB1003, doi: 10.1029/2007GB002952.
139. Rao, N.H. and Rogers, P.P. (2006): Assessment of agricultural sustainability. Curr. Sci. 91, 43-448p.
- 140.

- Reidsma, P., Ewert, F., Boogaard H. and v. Diepen K. (2009): Regional crop modelling in Europe: The impact of climatic conditions and farm characteristics on maize yields. *Agric. Syst.* 100, 51-60p.
141. Renard, K. G., and Foster, G. R. (1983): Soil conservation: Principles of erosion by water. In *Soil Conservation. Dryland Agriculture, Agronomy Monograph No. 23.* Madison, Wis.: American Society of Agronomy, 155-176p.
142. Ritchie, J.T. and Godwin, D.C. (1993): Simulation of Nitrogen Dynamics in the Soil Plant System with the CERES-models. *Agrarinformatik* 24, 215-230p.
143. Ritter, C., Dicke, D., Weis, M., Oebel, H., Piepho, H.P., Büchse, A. and Gerhards, R. (2008): An on-farm approach to quantify yield variation and to derive decision rules for site-specific weed management, *Precis. Agric.* 9, 133-146p.
144. Rossiter, D. G. (2012): A pedometric approach to valuing the soil resource. In *Digital Soil Assessments and Beyond: Proceedings of the 5th Global Workshop on Digital Soil Mapping 2012, Sydney, Australia*, 25p.
145. Rossiter, D.G. (1996): *Land Evaluation: Lecture Notes.* Cornell University College of Agriculture & Life Sciences, Department of Soil, Crop & Atmospheric Sciences.
146. http://www.geo.upm.es/postgrado/CarlosLopez/materiales/cursos/www.css.cornell.edu/landeval/le_notes/lecnot.htm
147. Roy, R.N., Finck, A., Blair, G.J. and Tandon H.L.S. (2006): Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* 16, 366p.
148. Schellberg, J., Hill, M., Gerhards, R., Rothmund, M. and Braun M. (2008): Precision agriculture on grassland: applications, perspectives and constraints; A review. *Eur. J. Agron.* 29, 59-71p.
149. Schloter, M., Dilly, O. and Munch, J.C. (2003): Indicators for evaluating soil quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98:255-262p.
150. Schneevoigt, N.J., van der Linden, S., Thamm, H.P. and Schrott, L. (2008): Detecting Alpine landforms from remotely sensed imagery. A pilot study in the Bavarian Alps. *Geomorphology*, 93: 104-119p.
151. Seybold C. A., Grossman R. B. and Reinsch T. G (2005.): Predicting Cation Exchange Capacity for Soil Survey Using Linear Models. *Soil Sci Soc Am J* 69:856-863p.
152. Seybold, C.A., Herrick, J.E. and Brejda, J.J. (1999): Soil resilience: A fundamental component of soil quality. *Soil Sci.* 164:224-234p.
153. Sheppard, S.C., Gaudet, C., Sheppard, M.I., Cureton, P.M. and Wong, M.P. (1992): The development of assessment and remediation guidelines for contaminated soils, a review of the science. *Can. J. Soil Sci.* 72:359-394p.
154. Smit, H.J., Metzger, M.J. and Ewert, F. (2008): Spatial distribution of grassland productivity and land use in Europe. *Agric. Syst.* 98, 208-219p.
155. Smyth, A.J. and Dumanski, J. (1993): FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management. *World Soil Resources Report No 73.* Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Italy.
156. Sojka, R.E., Upchurch, D.R. and Borlaug, N.E. (2003): Quality soil management or soil quality management: Performance versus semantics. *Adv. Agron.* 79:1-68p.
157. Sombroek, W.G. (1997): Land resource evaluation and the role of land-related indicators, p. 9–17. In *Land quality indicators and their use in*

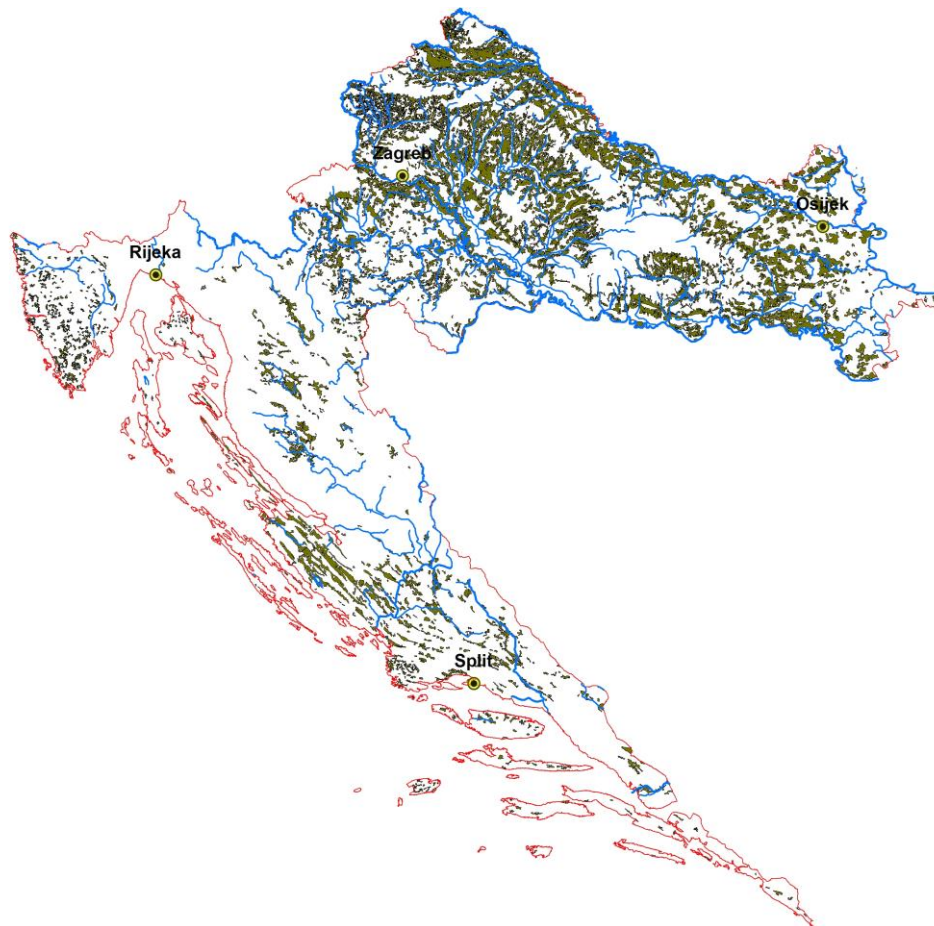
- sustainable agriculture and rural development. FAO Land and Water Bulletin 5. Rome, Italy.
158. Sparks, D.L. (2003): Environmental Soil Chemistry 2nd Edition. Academic Press, New York.
159. Stehfest, E., Heistermann, M., Priess, J.A., Ojima, D.S. and Alcamo J. (2007): Simulation of global crop production with the ecosystem model DayCent. *Ecol. Model.* 209, 203-219p.
160. Stenitzer, E. and Murer, E. (2003): Impact of soil compaction upon soil water balance and maize yield estimated by the SIMWASER model. *Soil Tillage Res.* 73, 43-56p.
161. Storie, R.E. (1933): An index for rating the agricultural value of soils, Agricultural Experiment, Station Bulletin 556, University of California Agricultural Experiment Station, Berkley, CA.
162. Storie, R.E. (1964): Handbook of soil evaluation. Associated Students Store, University of California, Berkeley, CA.
163. Supit, I., Hooijer, A.A. and van Diepen C.A. (1994): EUR 15956 - System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS, EC, Agricultural series, Catalogue number: CL-NA-15956-EN-C, 146p.
164. Tan, G.X. and Shibasaki, R. (2003): Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration. *Ecol. Model.* 168, 357-370p.
165. Thorne, P.S. (2007): Environmental health aspects of concentrated animal feeding operations. *Environ. Health Perspect.* 115:296-297p.
166. Tian, Y. and Feng, Y. (2008): Application of microbial research in evaluation of soil quality. *Chinese J. App. Environ. Bio.* 14:132-137p.
167. Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R. and Polasky S. (2002): Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418:671-677p.
168. Torbert, H.A., Kruege, E. and Kurtener, D. (2008): Soil quality assessment using fuzzy modeling. *Int. Agrophysics*, 22, 365-370p.
169. Tóth, G., Stolbovoy, V. and Montanarella, L. (2007): Soil quality and sustainability evaluation, An integrated approach to support soil-related policies of the European Union. A JRC position paper, 40p.
170. Tribe, D. (1994): Feeding and greening the world, the role of agricultural research. CAB International, Wallingford, U.K.
171. Tugel, A., Herrick, J.E., Brown, J.R., Mausbach, M.J., Puckett, W. and Hipple, K. (2005): Soil change, soil survey, and natural resources decision making: A blueprint for action. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:738-747p.
172. UNEP (United Nations Environment Programme) (2016): Unlocking the Sustainable Potential of Land Resources: Evaluation Systems, Strategies and Tools. UNESCO.
173. Universität Hildesheim (2017): Applications: GIS. 32p. https://www.ismll.uni-hildesheim.de/lehre/spatial-09w/script/apps_gis.pdf
174. van Engelen, V.W.P. and Dijkshoorn, J.A. (2013): Global and National Soils and Terrain Digital Databases (SOTER), Procedures Manual, Version 2.0. ISRIC Report 2013/04, 202p. http://www.isric.org/sites/default/files/ISRIC_Report_2013_04.pdf
175. Vlad, V. (2005): General Method for Land Use Sustainability Evaluation and Basic Indicators for Agricultural Land Use Durability. Proceedings of the

- International Conference on "Soil under Global Change - A Challenge for the 21-st Century", Constanta, vol. I, Ed.Estfalia, Bucuresti, 2005, 43-54p.
176. Vorosmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J. and Lammers, R.B. (2000): Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. *Science* 289:284-288p.
177. Vukadinović, Ve., Rengel, Z. (2007): Dynamics of sodium in saline and sodic soils. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*. 38(15-16):2077-2090p.
178. Vukadinović, Ve., Vukadinović, Vl., Jug, I., Kraljičak, Ž., Jug, D. i Đurđević, B. (2014): Model interpretacijske baze zemljišnih resursa Osječko-baranjske županije. *Agronomski glasnik* 1-2/2014., 29-43p.
179. Vukadinović, Vl. (1990): Primjena kompjutera u poljoprivredi. *Znanstveno-stručno savjetovanje*, Osijek.
180. Vukadinović, Vl. (1993): Ishrana bilja. Poljoprivredni fakultet u Osijeku i NIP Nova zemlja, 188p.
181. Vukadinović, Vl. (2015): Primjena GIS-a u modernoj biljnoj proizvodnji. http://tlo-i-biljka.eu/gnojidba/Zanimljivosti/Zanimljivosti_06-2015.pdf
182. Vukadinović, Vl. (2016): Dronovi u poljoprivredi. http://tlo-i-biljka.eu/gnojidba/Zanimljivosti/Zanimljivosti_06-2016.pdf
183. Vukadinović, Vl. (2016): Koncept zemljište i njegova primjena u Hrvatskoj. http://tlo-i-biljka.eu/tekstovi/Koncept_zemljište.pdf
184. Vukadinović, Vl. (2016): Koncept zemljište i njegova primjena u Hrvatskoj. 8p., http://tlo-i-biljka.eu/tekstovi/Koncept_zemljiste.pdf
185. Vukadinović, Vl. (editor) (1990.): Zbornik radova "Primjena kompjutera u poljoprivredi". Prvo znanstveno- stručno savjetovanje, Osijek, 1990.
186. Vukadinović, Vl. and Jug, D. (2010): Geostatistical model evaluation for soil tillage suitability on Osijek-Baranya County example. CROSTRO – Croatian Soil Tillage Research Organization : 1st International Scientific Conference.
187. Vukadinović, Vl. i Bertić, Blaženka (2013): Filozofija gnojidbe. Autorska naklada, 128p.
188. Vukadinović, Vl. i Jug, D. (2014): Izazovi i zamke moderne agrikulture. http://tlo-i-biljka.eu/gnojidba/Izazovi_i_zamke_moderne_agrikulture.pdf
189. Vukadinović, Vl. i Sarić, M. (1990): Kompjuterska simulacija produkcije organske materije kod ozime pšenice. *Savremena poljoprivreda*, Vol. 38., br. 3-4., 359-368.
190. Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve. (2011): Ishrana bilja. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, 453p.
191. Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve. (2015): Pregled rada na projektu Kontrola plodnosti Osječko-baranjske županije. http://tlo-i-biljka.eu/GIS/Statistika_iBaze_2015-07-13.pdf
192. Vukadinović, Vl. i Vukadinović, Ve. (2016): Tlo gnojidba i prinos - Što uspješan poljoprivrednik mora znati o tlu, usjevima, gnojidbi i tvorbi prinosa. Autorska naklada, e-Knjiga, 284p.
193. Vukadinović, Vl., (2010): Ekspertni sustav za racionalizaciju gnojidbe. Primijenjena istraživanja u poljoprivredi (VIP), 6p. <http://www.mps.hr/UserDocImages/VIP/2001/Vladimir%20Vukadinovic%20-%20Ekspertni%20sustav%20za%20racionalizaciju%20gnojidbe.pdf>

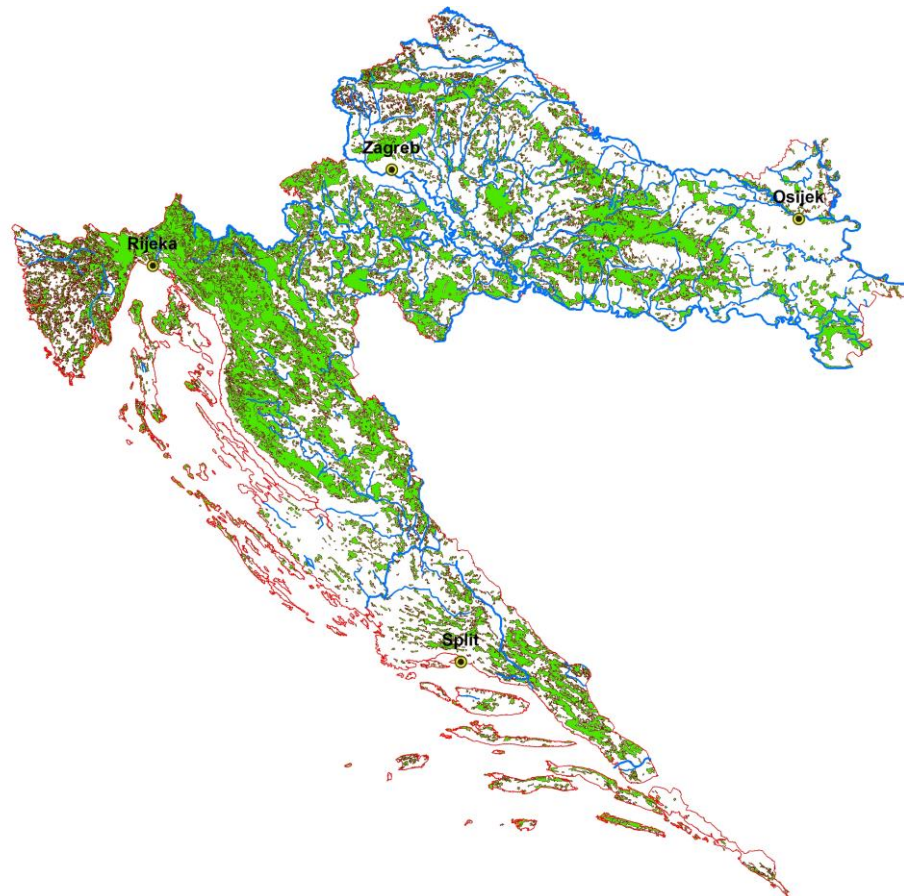
- Vukadinović, Vl., Bertić, B., Đurđević, B., Vukadinović, Ve., Jug, I. i Kraljićak, Ž. (2001): Analiza pogodnosti zemljišnih resursa istočne Hrvatske funkcijskim modelom. *Poljoprivreda*, Vol.17, No.1, 64-68p.
- 194.
- Vukadinović, Vl., Jug, D. and Vukadinović, Ve. (2013): Geostatistical model evaluation for soil tillage suitability II. *Soil and Crop Management: Adaptation and Mitigation of Climate Change, Proceedings & Abstracts, 2nd International Scientific Conference, Osijek, Croatia*, 341-351p.
- 195.
- Vukadinović, Vl., Jug, Irena i Đurđević, B. (2014): *Ekofiziologija biljaka*. Neformalna savjetodavna služba, 224p.
- 196.
- Wagenet, R.J. and Hutson, J.L. (1997): Soil quality and its dependence on dynamic physical processes. *J. Environ. Qual.* 26:41-48.
- 197.
- Waksman, S.A. (1927): *Principles of soil microbiology*. The Williams and Wilkins Co., Baltimore, MD.
- 198.
- Wegehenkel, M., Mirschel, W. and Wenkel K.O. (2004): Predictions of soil water and crop growth dynamics using the agroecosystem models THESEUS and OPUS. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 167, 736-744p.
- 199.
- Widomski, M.K. (2011): Terracing as a Measure of Soil Erosion Control and Its Effect on Improvement of Infiltration in Eroded Environment. (<http://www.intechopen.com/books/soil-erosion-issues-in-agriculture/terracing-as-a-measure-of-soil-erosion-control-and-its-effect-on-improvement-of-infiltration-in-erod>)
- 200.
- Wier, W.W. and Storie, R.E. (1936): A rating of California soils. *California Agricultural Experiment Station Bulletin* 599.
- 201.
- Wilding, L.P., Smeck, N.E. and Hall, G.F. (1983): *Pedogenesis and Soil Taxonomy*. ELSEVIER, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo 1983.
- 202.
- Willis, W.O., and Evans, C.E. (1977): Our soil is valuable. *J. Soil Water Conserv.* 32:258-259p.
- 203.
- Wisser, D., Froking, S., Douglas, E.M., Fekete, B.M., Vorosmarty, C.J. and Schumann, A.H. (2008): *Geophys. Res. Lett.* 35, L24408, doi: 10.1029/2008GL035296.
- 204.
- World Nuclear Association (2016.): *Naturally-Occurring Radioactive Materials (NORM)*. <http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/radiation-and-health/naturally-occurring-radioactive-materials-norm.aspx>
- 205.
- Xiong, W., Conway D., Holman I. and Lin E. (2008): Evaluation of CERES, Wheat simulation of Wheat Production in China. *Agron. J.* 100, 1720-1728p.
- 206.
- Zobeck, T.M., Crownover, C., Dollar, M., Van Pelt, R.S., Acosta-Martinez, V., Bronson, K.F. and Upchurch, D.R. (2007): *Investigation of Soil Conditioning Index Values for Southern High Plains Agroecosystems*. USDA, Agricultural Research Service.
- 207.



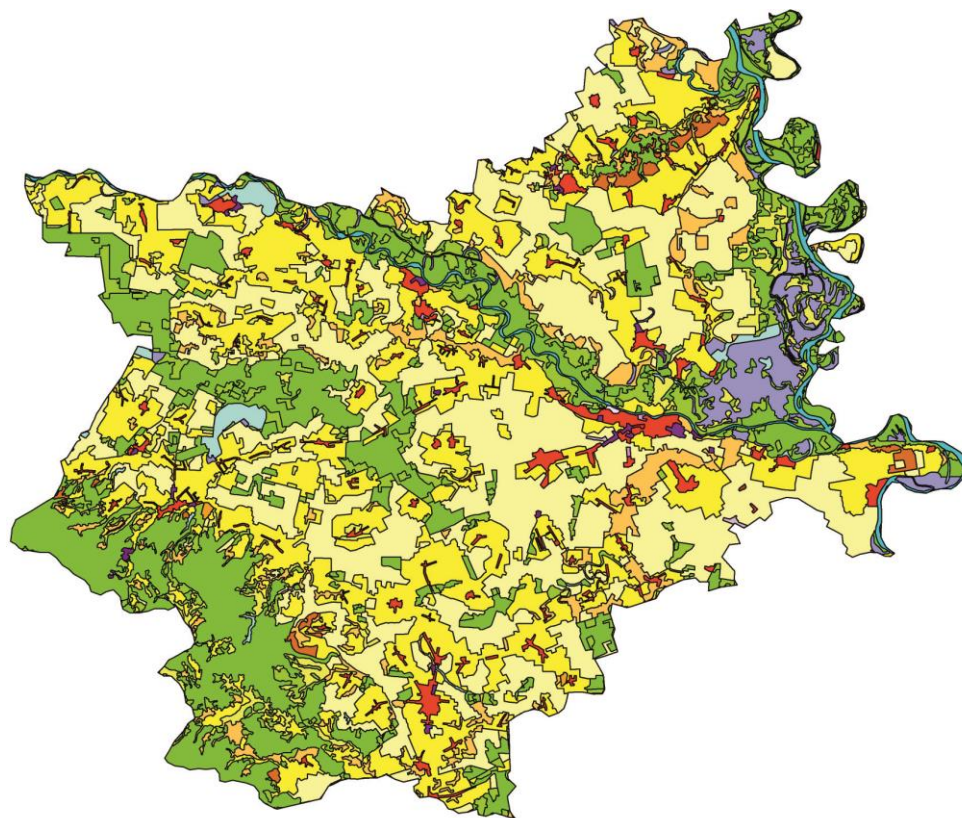
Slika 59. Vertikalna zonacija RH (prosječna nadm. visina je 302 m)



Slika 60. Mozaik poljoprivrednih površina RH (1028399,81 ha)



Slika 61. Bjelogorične, crnogorične i mješovite šume (ukupno 2092124,33 ha)



European Environment Agency (2012., Corine Land Cover)			
http://cdr.eionet.europa.eu/hr/eea/clc/envu6wfcg			
Šifra	Boja	Naziv klase	ha (HR)
111		Cjelovita gradska područja	549,75
112		Nepovezana gradska područja	153831,19
121		Industrijski ili komercijalni objekti	13949,73
122		Cestovna i željeznička mreža i pripadajuće zemljište	10363,65
123		Lučke površine	855,81
124		Zračne luke	2874,47
131		Mjesta eksploatacije mineralnih sirovina	5183,07
132		Odlagališta otpada	425,23
133		Gradilišta	1719,15
141		Zelene gradske površine	1790,14
142		Športsko rekreacijske površine	7309,43
211		Nenavodnjavano obradivo zemljište	413953,16
212		Trajno navodnjavano zemljište	11229,09
221		Vinogradi	28812,82
222		Vocnjaci	8072,29
223		Maslinici	22135,25
231		Pašnjaci	292491,59
241		Jednogodišnji usjevi u zajednici s višegodišnjim nasadima	78,85
242		Mozaik poljoprivrednih površina	1028399,81
243		Pretežno polj. zemljište sa znač. udjelom prirodne vegetacije	560232,43
311		Bjelogorična šuma	1705970,89
312		Crnogorična šuma	104608,37
313		Mješovita šuma	281545,07
321		Priradni travnjaci	259824,29
322		Kont. grmolika vegetacija (vrištine, cretovi i niske šikare)	2769,70
323		Mediterska grmolika vegetacija (sklerofilna)	112469,58
324		Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju)	671570,32
331		Plaže, dine i pijesci	209,13
332		Gole stijene	4341,06
333		Područja s oskudnom vegetacijom	52250,28
334		Opožarena područja	2588,91
411		Kopnene močvare	20997,07
421		Slane močvare	644,08
422		Solane	856,09
423		Područja plimnog utjecaja	48,08
511		Vodotoci	34477,27
512		Vodna tijela	29811,07
521		Obalne lagune	44,51
523		More	3264486,78

Slika 62. Zemljišni pokrov Osječko-baranjske županije