



РЕПУБЛИКА СРБИЈА

Министарство заштите животне средине

**ПРОГРАМ ЗАШТИТЕ ЗЕМЉИШТА
РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ ЗА ПЕРИОД
2026-2032. ГОДИНЕ**

-НАЦРТ-

2026. године

Садржај

1. Увод.....	3
2. Функције земљишта.....	2
3. Сврха, значај и циљ Програма.....	3
4. Дефиниције појмова	4
5. Правни и стратешки оквири заштите земљишта у Европској унији	6
6. Заштита земљишта у Републици Србији: стратешки, правни и институционални оквир.....	7
7. Стање земљишта у Европској Унији	8
8. Стање земљишта у Републици Србији	10
8.1. Типови земљишта	10
8.2. Вегетациони покривач и употреба земљишта.....	12
8.3. Органска материја у земљишту	13
8.4. Реакција земљишта	15
8.5. Потенцијално токсични елементи.....	16
8.6. Контаминиране локације.....	18
8.7. Садржај приступачног фосфора	18
8.8. Ерозија земљишта (водна ерозија).....	19
8.9. Еолска ерозија (ерозија ветром)	21
8.10. Микробиологија земљишта	21
8.11. Климатске промене и здравље земљишта у Србији	22
9. Мере заштите и очувања земљишта.....	24
9.1. Мере за спречавање непланске и неконтролисане промене намене земљишта	24
9.2. Мере за спречавање загађења и ремедијација земљишта	25
9.3. Мере за спречавање и мелиорације сабијених земљишта	25
9.4. Мере за очување и повећање садржаја органске материје у земљишту.....	26
9.5. Мере за заштиту и унапређење биодиверзитета земљишта	27
9.6. Мере за очување повољног баланса храњивих материја у земљишту	27
9.7. Мере за спречавање ацидификације и мелиорације киселих земљишта.....	28
9.8. Мере за спречавање алкализације и мелиорације заслањених земљишта	28
9.9. Мере за заштиту од ерозије земљишта	29
10. Систем здравља земљишта	29
10.1. Прелазак ка систематском управљању здрављем земљишта	29
10.2. Европски политички и истраживачки оквир за процену здравља земљишта.....	31

10.2. Изазови имплементације система здравља земљишта у Србији.....	33
10.3. Дефиниција здравља земљишта	34
10.4. Димензије деградације и потреба за индикаторима	35
10.5. Избор индикатора здравља земљишта.....	36
10.6. Интегрисани систем индикатора	38
10.7. Толерантне вредности и интервентне вредности	39
10.8. Здравље земљишта и важност нормализације података	40
10.9. Додатне методолошке препоруке.....	42
10.10. Развој интегрисаних индикатора за системску оцену здравља земљишта	42
10.11. Класификација композитног индекса здравља земљишта.....	43
10.12. Примарни индикатори здравља земљишта у Србији	45
10.13. Додатни индикатори здравља земљишта	54
11. Живе лабораторије и демонстрациони локалитети у Србији.....	55
12. Едукација о здрављу земљишта	56
13. Интегрисани оквир истраживања и иновација у области здравља земљишта	57
14. Стандардизација формата и координатних система у оквиру здравља земљишта ...	57
15. Мониторинг земљишта и вруће тачке у Србији	59
15.1. Систематски мониторинг здравља земљишта.....	59
15.2. Мониторинг врућих тачака.....	61
15.3. Узорковање земљишта	63
16. Временски оквири за имплементацију циљева политике здравља земљишта	64
16.1. Краткорочни циљеви за период од 2025. до 2032. године.....	64
16.2. Дугорочни циљеви за период од 2032. до 2050. године.....	66
17. SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) анализа.....	69
18. Финансијски план имплементације система здравља земљишта	71
19. Списак прописа	72
20. Основна литература	73

1. Увод

Земљиште је један од кључних стубова животне средине, неодвојиво повезано са квалитетом воде и ваздуха, очувањем биодиверзитета, климатском стабилношћу и здрављем људи. Оно представља сложен и динамичан природни систем у којем се преплићу физичке, хемијске и биолошке компоненте и формира основу за низ екосистемских функција које омогућавају живот на Земљи. Те функције обухватају производњу хране, регулацију водног режима, филтрацију и прочишћавање воде, складиштење и циклус угљеника као и обезбеђивање станишта за велики број живих организама. Земљиште је жива матрица која упркос својој издржљивости захтева пажљиво управљање и заштиту јер процеси његовог формирања трају хиљадама година, док деградација може настати у релативно кратком временском периоду а губитак функција често је неповратан.

Живот на Земљи директно зависи од здравог земљишта јер оно обезбеђује 95% наше хране, чисту воду, представља велики резервоар угљеника и чини друштва отпорнијим на екстремне климатске догађаје. Здраво земљиште је у сржи Европског зеленог договора (European Green Deal) и његових амбиција за зелену, праведну и одрживу будућност. Према проценама Заједничког истраживачког центра (Joint Research Centre), 60-70% земљишта у Европи налази се у нездравом стању што указује на потребу за хитним акцијама. Последице деградације не огледају се само у губитку еколошких функција већ и у економском и социјалном домену. Трошкови деградације у Европској унији премашују 50 милијарди евра годишње, а комбинација климатских промена и деградације може до 2050. године приморати између 50 и 700 милиона људи широм света на миграције.

Савремени притисци на земљиште све чешће превазилазе његову природну способност обнављања. Интензивна употреба простора, неконтролисана урбанизација, ширење индустријских зона, неодрживе пољопривредне праксе, експлоатација минералних сировина и климатске промене делују заједно и доводе до постепеног али често трајног нарушавања здравља и стабилности земљишта. Најчешћи облици деградације су ерозија земљишта, губитак органске материје, закисељавање, заслањивање, збијање земљишта, контаминација потенцијално токсичним елементима (ПТЕ), трајно заузимање површина и промене у структури које смањују водопропусност и способност задржавања хранљивих материја и целокупну одрживост генетичких и екоекосистемских функција.

Земљиште је ограничен ресурс што значи да губитак његових функција у једном подручју не може бити једноставно надокнађен у другом. Због тога је његова заштита неодвојиви део свеобухватне политике заштите животне средине. Очување и обнављање здравља земљишта захтева трансформативне промене у праксама свих сектора друштва и свих типова коришћења земљишта, засноване на интегрисаном управљању, новим политикама и пословним моделима, уз активно укључивање научне заједнице, доносиоца одлука, привреде и грађана. Само кроз мултидисциплинарни приступ, повезивање истраживања, иновација и политичких инструмената као и подизање свести јавности могуће је обезбедити да будуће генерације наследе чиста, продуктивна и отпорна земљишта.

Европска унија је усвојила Стратегију за земљиште до 2030 (Soil Strategy for 2030) са циљем да сва земљишта до 2050. године буду у здравом и отпорном стању. Стратегија предвиђа конкретне мере као што су смањење нето заузимања земљишта (no net land take), обнављање деградираних подручја, повећање садржаја органског угљеника, бесплатне анализе земљишта, јачање образовања и увођење индикатора здравља земљишта у систем мониторинга и извештавања. Она је усклађена са другим политикама Зеленог договора међу којима су План за нулто загађење (Zero Pollution Action Plan), Од њиве до трпезе (Farm to Fork) и Стратегија за биодиверзитет (EU Biodiversity Strategy). Усвајање Закона о праћењу здравља земљишта (Soil Monitoring Law) представља први правни оквир у области земљишта на нивоу Европске уније. Његова сврха је да дефинише појам здравог земљишта, уведе хармонизован систем мониторинга, утврди критеријуме и обавезе за државе чланице и обезбеди механизме превенције загађења и ремедијације контаминираних подручја. На тај начин земљишту се признаје статус ресурса од јавног интереса упоредивог са водом и ваздухом, чија заштита постаје законска обавеза.

У контексту европских интеграција, Србија је препознала значај кључних европских докумената у области заштите земљишта, али је процес њиховог усаглашавања и практичне примене и даље у развоју. И даље недостају поуздани и свеобухватни подаци о обиму деградираних површина, као и о доминантним облицима деградације и њиховој просторној расподели, што значајно отежава процену ризика и планирање мера заштите. Посебно је изазов то што се не може са сигурношћу утврдити које функционалне компоненте земљишта су највише угрожене, нити у којој мери деградација утиче на стабилност земљишних екосистема.

Увођење система здравља земљишта као оквирног принципа у национални законодавни и стратешки оквир управљања земљиштем представља стога неопходан корак ка систематичнијем и интегрисаном заснованом приступу. Такав оквир би омогућио јасније дефинисање приоритета, боље разумевање стања земљишних ресурса и ефикасније усклађивање са европским стандардима очувања природних ресурса.

2. Функције земљишта

Земљиште обавља мноштво виталних функција које су од суштинског значаја за стабилност екосистема, очување биолошке разноврсности и опстанак људских заједница. Његова улога се не ограничава само на производњу хране, већ обухвата сложене процесе који омогућавају регулацију природних токова, обезбеђују материјалне ресурсе и носе културне и симболичке вредности. Те функције могу се аналитички груписати у четири међусобно повезане категорије: примарне, регулаторне, функције снабдевања и културне функције.

Примарне функције представљају основу целокупног система услуга које земљиште пружа. Укључују процесе формирања земљишта, односно распадање минералне компоненте, ослобађање и трансформацију органске материје, стварање агрегата, као и успостављање површина погодних за размену јона. Ови процеси омогућавају несметан проток воде и гасова, као и раст биљака. Земљиште, у својој улози носиоца примарне продукције, служи као подлога за клијање семена и развој кореновог система, обезбеђујући неопходну воду и хранљиве материје. Поред тога, учествује у кружењу нутријената кроз трансформацију

органиске материје и контролу доступности елемената који су од значаја за биљни и микробни свет.

Регулаторне функције омогућавају очување природне равнотеже и стабилност еколошких процеса. Земљиште има способност да филтрира и неутралише загађујуће материје, чиме смањује ризик од контаминације подземних и површинских вода. Контролише инфилтрацију и кретање воде унутар профила, регулише одводњавање и утиче на доступност воде биљкама. Учествоје у циклусу угљеника и регулацији емисије гасова као што су угљен-диоксид, метан и азот-оксид, чиме доприноси глобалној климатској стабилности. Својом структуром и покровом учествује у сузбијању ерозије земљишта, стабилизује површинске слојеве и смањује губитак честица током падавина.

Функције снабдевања односе се на директну корист коју људи остварују од земљишта. Оно омогућава пољопривредну производњу, узгој усева и сточарство, служи као резервоар и филтер за питку воду, пружа ресурсе за добијање биоенергије, влакана и индустријских материјала, као и минералне сировине попут глине, тресета и шљунка. Земљиште обезбеђује физичку подлогу за изградњу инфраструктуре и стамбених објеката, представља уточиште за велики број организама и служи као генетички резервоар микроорганизама и једињења од значаја за медицину, као што су антибиотици и природни метаболити.

Културне функције земљишта обухватају нематеријалне вредности које се односе на естетску, духовну и симболичку димензију односа човека и природе. Земљиште је неодвојиви део пејзажа, инспирише уметност, одражава идентитет заједница и чува материјалне трагове људске цивилизације у виду археолошких налазишта и историјских наслага. Оно има улогу у очувању културног наслеђа, као и у подстицању доживљаја простора и природе који имају психолошки и друштвени значај.

Све ове функције указују на то да земљиште није инертна маса већ активна, интегрална компонента природног система чије очување представља услов за одрживу будућност људског друштва.

3. Сврха, значај и циљ Програма

Сврха Програма је да обезбеди дугорочно очување, обнову и унапређење овог кључног природног ресурса успостављањем јединственог и дугорочног система праћења и управљања. Програм је усмерен на стварање услова у којима ће земљиште задржати или повратити свој пуни капацитет за обављање основних екосистемских функција, од производње хране и подршке биодиверзитету, до регулације водног режима и складиштења угљеника. Посебан акценат ставља се на правовремено препознавање и спречавање процеса деградације, смањење постојећих притисака и обнову оштећених површина у стање које обезбеђује њихову дугорочну стабилност и отпорност.

Значај Програма проистиче из потребе да се очува један од највреднијих и најугроженијих природних ресурса, чије деградирање има далекосежне последице на пољопривреду, квалитет вода, биодиверзитет, климатску стабилност и здравље становништва. Земљиште

је необновљив ресурс на временској скали људског живота, а губици његових функција тешко се надокнађују. Програм успоставља стабилан и функционалан оквир који обједињује деловање државних институција, научне заједнице, локалних самоуправа, привреде и грађана, полазећи од система здравља земљишта као темељног принципа.

Општи циљеви Програма су да се успоставе темељи за примену система здравља земљишта, утврди степен угрожености земљишта и појединачних индикатора на националном нивоу, и да се постепено изгради систем који ће касније постати правно обавезујући оквир за праћење, оцену и управљање здрављем земљишта, са крајњим циљем очувања и унапређења земљишних екосистема. Посебни циљеви обухватају имплементацију правног и институционалног оквира, примену индикатора и толерантних и интервентних вредности, развој живих лабораторија и демонстрационих локалитета, као и примену циљаних мера очувања, обнове и заштите земљишта, уз интеграцију здравља земљишта у релевантне секторске политике.

Програм представља средство за рационално решавање приоритетних проблема у области заштите земљишта и треба да одговори на следећа питања:

- Како дефинисати, операционализовати и интегрисати систем здравља земљишта у национални контекст?
- Који индикатори ће бити коришћени за процену здравља земљишта?
- Како ће се резултати применити у управљању земљиштем?
- Која је динамика реализације Програма?

4. Дефиниције појмова

У овом Програму користе се следеће дефиниције основних појмова ради обезбеђивања јасног и уједначеног разумевања садржаја и примене мера заштите земљишта.

- Земљиште: горњи чврсти део Земљине коре, од матичног супстрата до површине, који укључује минералну, органску, течну и гасовиту фазу, као и живи свет који га настањује.
- Екосистем: динамичан комплекс живих организама и њиховог физичког окружења који делује као функционална целина кроз међусобне интеракције.
- Екосистемске услуге: означавају директне или индиректне доприносе екосистема заштити животне средине, као и економским, друштвеним, културним и другим користима које људи остварују од тих екосистема.
- Здравље земљишта: означава физичко, хемијско и биолошко стање земљишта, које одређује његову способност да функционише као виталан живи систем и да пружа екосистемске услуге.
- Земљишни индикатор: означава параметар који описује физичку, хемијску или биолошку карактеристику здравља земљишта.

- **Процена здравља земљишта:** означава вредновање стања земљишта на основу мерења или процене вредности једног или више земљишних индикатора, који су интегрисани у јединствену оцену здравља земљишта.
- **Функције земљишта:** основне улоге земљишта у екосистему, као што су подршка биолошкој продукцији, регулација и филтрација воде, складиштење хранљивих материја и угљеника, пружање станишта и генетичких ресурса.
- **Пад биодиверзитета земљишта:** смањење разноврсности и бројности микроорганизама, бескичмењака и других организама који обитавају у земљишту, што негативно утиче на његове функције и стабилност.
- **Органска материја земљишта:** сви органски састојци земљишта у различитим фазама распадања, укључујући хумус, остатке биљака и животиња, кључни за плодност, структуру и задржавање воде.
- **Губитак органског угљеника у земљишту (SOC):** смањење резерви органског угљеника у земљишту, што утиче на способност задржавања воде, структуру, контролу патогена и снабдевање хранљивим материјама.
- **Деградација земљишта:** процес, најчешће узрокован људским активностима, који доводи до смањења или губитка способности земљишта да обавља своје функције и пружа услуге екосистема.
- **Деградирано земљиште:** земљиште које је изгубило своје природне функције у мери да опоравак није могућ без значајне и дуготрајне интервенције.
- **Ерозија земљишта:** одношење и губитак површинског слоја земљишта под дејством воде, ветра или људских активности. Ерозија земљишта је неодржива када премашује природну стопу стварања новог слоја.
- **Заслањивање:** повећана концентрација растворљивих соли у земљишту, природног или антропогеног порекла, која утиче на плодност и биолошку активност.
- **Ацидификација земљишта:** смањење рН вредности услед акумулације H^+ и Al^{3+} јона, што доводи до губитка базних катјона (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) и нарушавања плодности.
- **Збијеност земљишта:** повећање густине и смањење порозности земљишта услед физичког притиска, што ограничава кретање воде, гасова и корења.
- **Контаминација земљишта:** присуство или уношење хемијских, биолошких или радиоактивних супстанци у количинама које нарушавају функције земљишта, здравље екосистема или здравље људи.
- **Прекривање (техничко заузимање земљишта):** трајно прекривање површина непропусним материјалима, као што су бетон или асфалт, чиме се губе све природне функције земљишта.
- **Одрживо управљање земљиштем:** примењивање пракси које омогућавају коришћење земљишта без угрожавања његових функција и ресурса за будуће генерације.
- **Заштита земљишта:** систем мера, политика и активности усмерених на очување квалитета, функција и услуга земљишта.

- Мониторинг земљишта: систематско и дугорочно праћење физичких, хемијских и биолошких индикатора ради процене стања, идентификације ризика и планирања мера заштите.
- Обнова земљишта: означава намерну активност усмерену на промену стања земљишта из деградираног у здраво;
- Ризик: представља вероватноћу настанка штетних последица по људско здравље, екосистеме или функције земљишта као резултат различитих облика притисака и деградационих процеса.
- Ремедијација је скуп мера и поступака који треба да елиминишу или смање концентрације загађивача у земљишту и подземним водама, у складу са праговима утврђеним анализом ризика и према намери будуће намене земљишта.
- Мелорације земљишта представља скуп техничких, биолошких и хемијских мера којима се спречавају процеси деградације и побољшају природна својства земљишта.

5. Правни и стратешки оквири заштите земљишта у Европској унији

Заштита земљишта у Европској унији (ЕУ) заснива се на више међусобно повезаних стратегија, законских аката и политичких иницијатива које заједно чине оквир за очување овог кључног ресурса. Највиши ниво стратешког усмеравања представља Европски зелени договор, који поставља визију климатски неутралне, ресурсно ефикасне и еколошки одрживе економије до 2050. године, у складу са Агендом 2030 и Париским споразумом. У том оквиру, земљиште је препознато као саставни део климатске и еколошке политике, а очување његовог здравља повезано је са циљем „нулте деградације“.

Најзначајнији документ посвећен управо земљишту је Стратегија ЕУ о земљишту до 2030. године (EU Soil Strategy for 2030), усвојена 2021. године. Ова стратегија први пут успоставља свеобухватне циљеве за обнову и одрживо коришћење земљишта, уводи обавезу процене стања, дефинише механизме за спречавање деградације и најављује законодавне иницијативе које ће те циљеве подржати. Стратегија наглашава да је здраво земљиште предуслов за храну, чисту воду, биодиверзитет и отпорност на климатске промене. Као директан наставак стратегије, Закон о праћењу здравља земљишта (Soil Monitoring Law) усвојен од стране Европског парламента 23.10.2025. године, обавезује процене, анализе и мапирања здравља земљишта у ЕУ, утврђује кључне показатеље и дефиниције деградације, и прописује мере за обнову до 2050. године. Ово је први правни акт на нивоу ЕУ који систематски регулише земљиште, а уједно и одговор на неуспех доношења Директиве о земљишту из 2006. године. Поред ових централних докумената, низ секторских политика индиректно доприноси заштити земљишта. Стратегија ЕУ о биодиверзитету до 2030. године предвиђа повећање површина под високим степеном биолошке разноврсности, укључујући и најмање 10% пољопривредног земљишта. Стратегија за шуме подржава очување шумског земљишта, док климатски циљеви до 2030. и 2050. године утичу на смањење емисија и повећање капацитета земљишта за складиштење угљеника. Секторске директиве такође имају значајну улогу. Директива о депонијама

спречава загађење земљишта од инфилтрације процедурних вода, Директива о индустријским емисијама прописује мере за спречавање и контролу загађења земљишта од стране индустријских постројења, а прописи о процени утицаја на животну средину (EIA) захтевају разматрање утицаја планова и пројеката на земљиште. Значајно место има и развој иновативних алата и пројеката који подржавају праћење и управљање земљиштем. ЕУ финансира иницијативе као што је AI4SoilHealth, усмерен на развој дигиталне инфраструктуре засноване на вештачкој интелигенцији за праћење здравља земљишта широм Европе. Поред тога, алати као што су EU Soil Observatory и Copernicus Land Monitoring Service омогућавају интегрисано управљање подацима и подршку креирању политика. Систематско праћење здравља земљишта спроводи и Европска агенција за животну средину (EEA), користећи индикаторе као што су збијеност, садржај органског угљеника, салинизација и загађење са ПТЕ.

6. Заштита земљишта у Републици Србији: стратешки, правни и институционални оквир

Заштита земљишта у Републици Србији заснива се на јединственом системском закону и групи међусобно повезаних прописа који заједно обезбеђују правни, институционални и технички оквир за очување овог ресурса. Основу система чини Закон о заштити земљишта, први свеобухватни акт који уређује очување површина и функција земљишта, прописује систематско праћење стања и квалитета, мере мелиорације, ремедијације и рекултивације, као и инспекцијски надзор. Закон се примењује на све типове земљишта, без обзира на намену и својину, и поставља оквир за доношење оперативних прописа и дефинисање институционалних надлежности. На овај закон директно се надовезују кључни подзаконски акти. Уредба о систематском праћењу стања и квалитета земљишта прецизира садржај програма мониторинга, методологије и критеријуме за избор мерних места, листе параметара и метода, учесталост мерења, индикаторе ризика и динамику достављања података. Уредба о граничним вредностима загађујућих, штетних и опасних материја у земљишту утврђује граничне и ремедијационе вредности чије прекорачење покреће додатна испитивања и ограничења у управљању земљиштем.

Закон о пољопривредном земљишту уређује планирање, заштиту, уређење и коришћење пољопривредног земљишта као добара од општег интереса. Закон дефинише мере заштите путем задржавања природних функција земљишта, прописује контролу плодности и евиденцију ђубрива, ограничења у променама намене и одредбе о комасацији. Такође, успоставља институционалне механизме за надзор, уз могућност ношења санкција у случају кршења закона. Закон о шумама обухвата шумско земљиште као део ресурса под посебном заштитом, уређује га као добро од општег интереса и прописује одрживо газдовање, очување биолошке разноврсности, спречавање деградације и интеграцију у информациони систем, чиме директно доприноси одржавању функције земљишта у оквиру природне инфраструктуре.

Шири правни и стратешки оквир дају и други закони који садрже одредбе релевантне за земљиште. Закон о заштити животне средине успоставља интегрални систем заштите и обавезе државних органа, укључујући праћење стања свих компоненти животне средине и управљање информацијама. Закон о процени утицаја на животну средину обавезује носиоце пројеката да изврше свеобухватну процену утицаја на животну средину, која може укључити и вредновање могућег утицаја на земљиште, као део свеобухватне екоструктуре. Закон о управљању отпадом прописује обавезе у области третмана отпада, спречавања и контроле његових негативних утицаја на животну средину, укључујући управљање опасним отпадом и услове за деконтаминацију. Закон не садржи директне одредбе о контаминацији земљишта, али доприноси превенцији јачом регулацијом складиштења, третмана и одлагања отпада. У области просторног планирања, Закон о планирању и изградњи уређује коришћење грађевинског земљишта, услове и процедуре промене намене, што је од кључне важности за спречавање трајног прекривања и неконтролисаног заузимања плодних површина.

На стратешком нивоу, Република Србија нема посебну националну стратегију за земљиште, али је његова заштита интегрисана у више планских докумената. Предлог Стратегије за заштиту животне средине са акционим планом заштите животне средине поставља дугорочне циљеве и смернице за очување природних ресурса, укључујући земљиште. Програм прилагођавања на измењене климатске услове са акционим планом разматра утицај климатских промена на деградацију земљишта.

У оквиру међународних обавеза, Србија је Софијском декларацијом о Зеленој агенди за Западни Балкан преузела дужност да усклади своје политике са европским еколошким стандардима, што обухвата заштиту земљишта, спречавање деградације и загађења и примену одрживог управљања природним ресурсима.

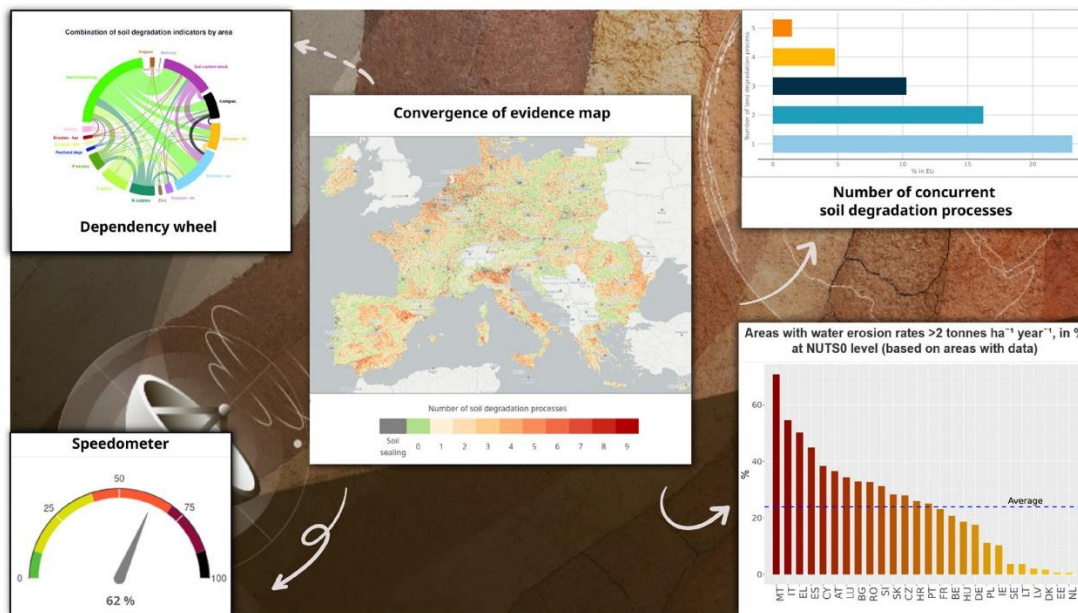
7. Стање земљишта у Европској Унији

Интегрални показатељи здравља земљишта у ЕУ показују да је приближно 62% европског земљишта у нездравом стању (Слика 1), при чему различити индикатори упућују на то да је тло истовремено изложено више врста деградацијских притисака, од ерозије и загађења до нутритивних дисбаланса и губитка биолошких функција. Код ерозије земљишта се посебно издваја водна ерозија, која погађа приближно 23% европских површина и повезана је са интензитетом падавина (R фактор), нагибом терена (LS фактор) и начином управљања земљиштем (C фактор). Еолска ерозија обухвата око 6% ораница и најчешће је условљена климатским карактеристикама, сушом и недовољном заштитом земљишта биљним покривачем.

Загађење земљишта ПТЕ представља другу важну групу индикатора. Најзаступљеније повишене концентрације односе се на Cd, који је идентификован на око 5% површина, затим Zn са око 1,5% и Cu са око 2%. Ови метали се обично јављају у областима са интензивним пољопривредним активностима, применом фосфорних ђубрива, рударством и гајењем винограда и маслина. Hg је присутна у повишеним концентрацијама на приближно

0,8% земљишта, док се As процењује кроз вероватноћу прекорачења референтних вредности, што омогућава препознавање локализованих зона ризика.

Проблеми са хранљивим материјама у земљишту такође су значајни. Вишак N забележен је на око 22% пољопривредног земљишта и представља један од главних притисака на квалитет земљишта, вода и ваздуха. Насупрот томе, око 21% пољопривредних површина има недовољно доступног P2O5, што може ограничити продуктивност усева, док око 10% има прекомерне количине фосфора које могу довести до загађења и еутрофикације водених екосистема.



Слика 1. Здравље земљишта у ЕУ (Извор: Joint Research Centre (JRC); Panagos et al., 2024)

Додатни облици деградације пружају још детаљнију анализу стања. Око 53% ораница има садржај органског угљеника који је више од 60% испод свог потенцијално достигнутог нивоа, што указује на велики простор за унапређење плодности, стабилности и отпорности земљишта. Потенцијалне претње биолошким функцијама забележене су на око 37% европских површина и обухватају утицаје као што су фрагментација станишта, загађење и интензивне промене у коришћењу земљишта. Збијеност земљишта јавља се на око 2,2% територије ЕУ и представља значајан проблем тамо где је присутна, јер умањује инфилтрацију воде и смањује принос усева. У медитеранској области око 7% површина изложено је ризику секундарне салинизације услед интензивног наводњавања и климатских услова који поспешују акумулацију соли у земљишту.

Посматрано у целини, индикатори здравља земљишта указују на комплексну слику у којој су поједини облици деградације, као што су недостатак органског угљеника, претње биолошким функцијама, водна ерозија и прекомерни унос азота, веома раширени, док су други, попут загађења ПТЕ или салинизације, мање распрострањени али и даље значајни за

локалне заједнице и екосистеме. Ови подаци показују да је значајан део европског земљишта у различитом степену угрожен и да су неопходне циљане мере управљања како би се обезбедила његова дугорочна одрживост.

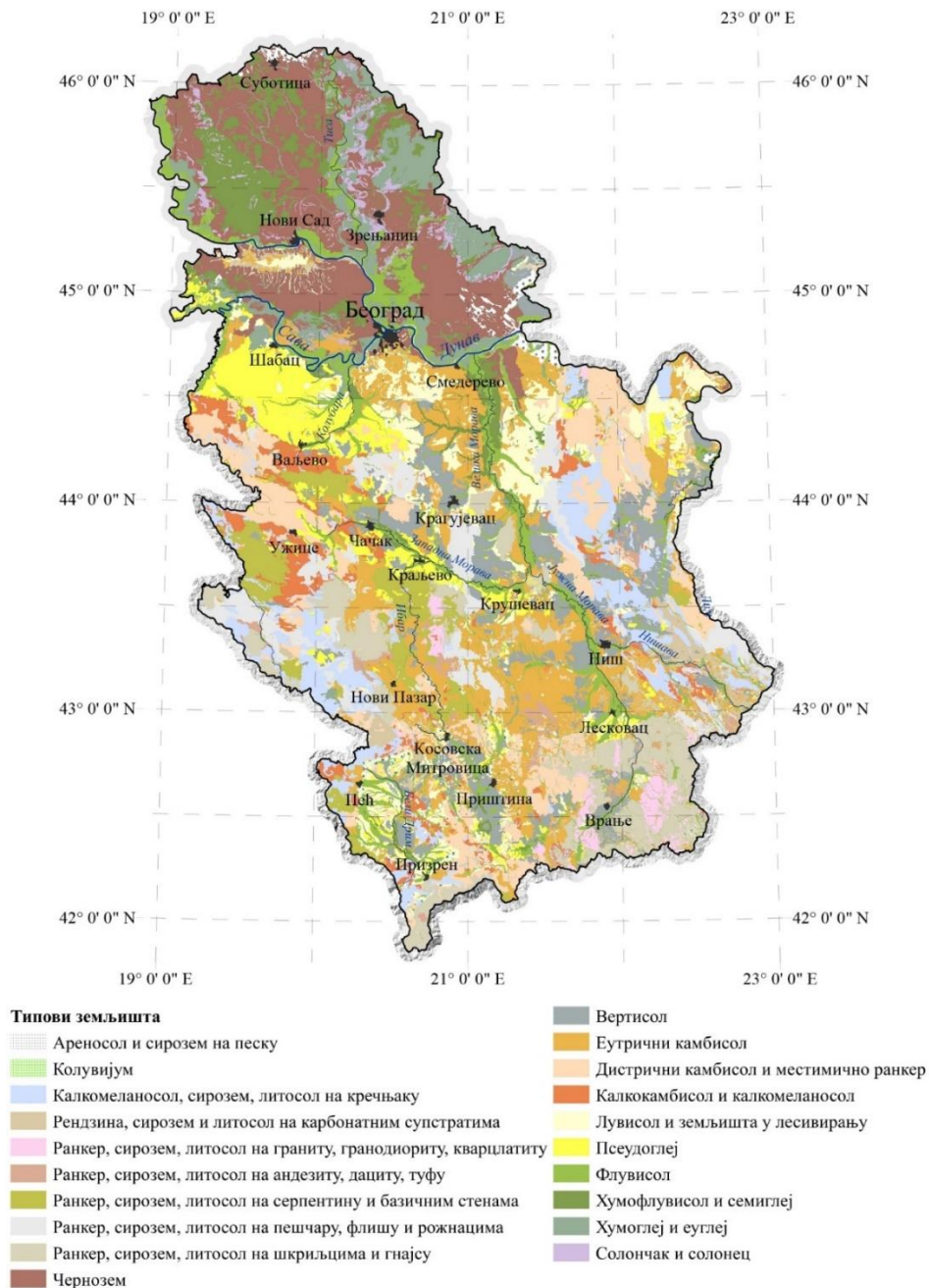
8. Стање земљишта у Републици Србији

8.1. Типови земљишта

Земљиште представља један од најважнијих природних ресурса, станиште и основу живота биљног и животињског света. Његове особине и плодност могу значајно да варирају чак и на малим растојањима, у зависности од климе, рељефа, геолошког супстрата, вегетације, хидрографских и хидролошких услова, као и утицаја човека и времена. Због велике разноврсности педогенетских чинилаца у Србији, типови земљишта, њихове особине и производна вредност показују високу хетерогеност. Према важећој националној класификацији земљишта, у Србији је идентификовано око 35 различитих типова. Расподела ових типова условљена је природним карактеристикама региона. У Војвођанској низији, где преовлађују равничарски терени до 200 метара надморске висине, умерено континентална клима и супстрати квартарне старости, формирана су дубока и плодна земљишта високе производне вредности, често заступљени чренозем, алувијална земљишта, ливадска и ритска црница, као и смоница. Земљишта нижег бонитета јављају се на мањим површинама, док се у зонама са високим нивоом заслањене и алкализоване подземне воде образују солонец и солончак. На нижим планинама, попут Фрушке горе и Вршачког брега, јављају се ранкер и камбисол. Централна Србија, Косово и Метохија одликују се већом разноврсношћу природних услова у односу на Војводину. Најнижи делови терена, у непосредној близини река, заузети су алувијалним земљиштима, док се у ширим речним полојима јављају ливадска земљишта, ритска црница и, у депресијама, мочварна земљишта. У котлинама и на равним и брежуљкастим теренима између 100 и 600 метара надморске висине доминирају дубоко развијена земљишта: гајњача (еутрични камбисол), смоница (вертисол), псеудоглеј и лувисол, формирана претежно на неогеним седиментима, а делимично на алувијалним наносима и терасама. За разлику од Војводине, чернозем је у овим пределима слабо заступљен. Укупно, низијски и брежуљкасти терени обухватају око 50% површине Србије. На већим надморским висинама, односно на ниским и високим планинама, доминирају ранкер (хумусно силикатно земљиште) и дистрични и еутрични камбисол на магматским, метаморфним и силикатним стенама. На карбонатним супстратима, који су подложни распадању, формира се рендзина, а на масивним кречњацима калкомеланосол и калкокамбисол. Ова планинска земљишта често се јављају у комплексима са неразвијеним типовима као што су литосоли и сироземи. Уколико се налазе на заравњеним површинама или благим нагибима, могу бити погодна за пољопривредну производњу, воћарство и виноградарство. Међутим, чешће су распоређена на стрмим нагибима, где су еродибилна, плитка, скелетна и сува, са ниским бонитетом. Због ових ограничења најчешће су под шумом, пашњацима и ливадама, док на најплићим земљиштима доминира ретка травна вегетација.

Додатни увид у просторну расподелу и карактеристике земљишта пружа прва целокупна педолошка карта Србије, израђена на основу педолошких карата размере 1:50.000 (Мрвић и сар., 2013), уз мање модификације (Слика 2). У карти је дефинисано 20 картографских

јединица које одговарају најзначајнијим типовима земљишта или групама сродних типова, при чему су поједини (попут ранкера, регосола и литосола) класификовани према геолошком супстрату. Најчешће заступљени типови су ранкер (са регосолом и литосолом), еутрични камбисол и чернозем, који захватају 12-16% територије. Значајне површине (6-10%) обухватају земљишта на чврстим кречњацима, дистрични камбисол, флувисол и вертисол, док око 5% заузимају псеудоглеј, лувисол, хумофлувисол и семиглеј, хумоглеј и еуглеј. Остали типови земљишта распрострањени су на мање од 2% територије Србије.



Слика 2. Педолошка карта Србије (Извор: Институт за земљиште; Мрвић и сар., 2013)

8.2. Вегетациони покривач и употреба земљишта

Вегетациони покривач и употреба земљишта у Србији пролазе кроз континуиране и сложене промене које одражавају утицај демографских кретања, економских токова, начина коришћења природних ресурса и све израженијих климатских промена. Ове трансформације имају директан утицај на плодност и стабилност земљишта, као и на његову способност да одржи еколошке функције и одговори на климатске и антропогене притиске. Према подацима Агенције за заштиту животне средине, у периоду од 2000. до 2015. године забележене су изражене промене у структури земљишног покривача. Површине под шумама повећане су за приближно 1.951 km², што представља раст од 6,36%, док су истовремено пашњаци и ливаде смањени за више од 30%, а обрадиво земљиште за 1,7%. Истовремено, урбане и друге вештачке површине порасле су за више од 72%, што указује на јачање процеса урбанизације, изградње инфраструктуре и пренамену земљишта у корист антропогених структура. Ови подаци показују дугорочну тенденцију смањења природних и пољопривредних површина, уз све веће оптерећење на природне ресурсе, али треба нагласити да се вредности добијене из различитих извора често разликују и да не постоји потпуна уједначеност у методологији процене земљишног покривача, што додатно компликује тумачење трендова.

Након 2015. године, а посебно у периоду између 2018. и 2024. године, прикупљени подаци из различитих извора (Copernicus Land Monitoring Service, Агенција за заштиту животне средине и објављених научних радова) потврђују наставак поменутих процеса, али у новим просторним и климатским околностима. Пољопривредне површине и даље заузимају више од половине територије Србије, али бележе благо опадање, од око 1,3% у односу на 2018. годину. Шумске и полу-природне површине формално показују умерен раст, до око 39% укупне територије, али детаљнија анализа указује да је реч о неуједначеном процесу у коме поједини региони истовремено бележе пошумљавање и деградацију постојећих шума. Вештачке површине настављају да расту и 2024. године достижу приближно 3,6% територије, што представља више него двоструко повећање у односу на почетак века, када је удео антропогеног земљишта износио око 1,35%. Овај континуирани раст урбаних и инфраструктурних зона најизраженији је у околини Београда, Новог Сада, Ниша и дуж транспортних коридора X и XI, где су забележене најинтензивније промене у структури коришћења земљишта.

Иако статистички подаци указују на повећање површина под шумама, детаљне теренске и сателитске анализе показују да је реч о паралелним процесима пошумљавања, с једне стране, и деградације и сече шума, с друге. Према подацима релевантних извора, у последњим деценијама Србија је изгубила приближно 74.200 хектара шума, а током 2023. године посечено је око 7.900 хектара, што представља готово двоструко повећање у односу на претходну годину. У појединим подручјима, као што су Златибор и Куршумлија, овај тренд има наглашене локалне карактеристике: на Златибору су након ветролома и пожара из 2022. године шумске површине смањене за око 3,5%, док је у околини Куршумлије у последњих пет година изгубљено више од 4.800 хектара шума, углавном услед нелегалне сече и напуштања традиционалних облика газдовања шумама.

Климатске промене представљају један од кључних фактора који убрзавају трансформацију вегетационог покривача. Подаци за период од 1980. до 2019. године показују пораст просечне температуре у Србији од око 0,6 °C по деценији, уз смањење броја мразних дана за осам и ледних дана за три по деценији, док се број тропских ноћи повећао за један, а летњих дана за осам. Такве промене термичког режима условљавају измене у вегетационом циклусу, убрзавају минерализацију органске материје и ремете стабилност површинског слоја земљишта. Последице су посебно изражене у шумским екосистемима, где продужени сушни периоди доводе до сушења стабала и смањења биомасе. Анализе из 2013. године показале су да је процес сушења захватио више од 13.800 хектара шума, уз губитак преко 80.000 m³ дрвне масе, а након неколико година релативне стабилизације, током 2023. године поново је забележено сушење стабала у више регија.

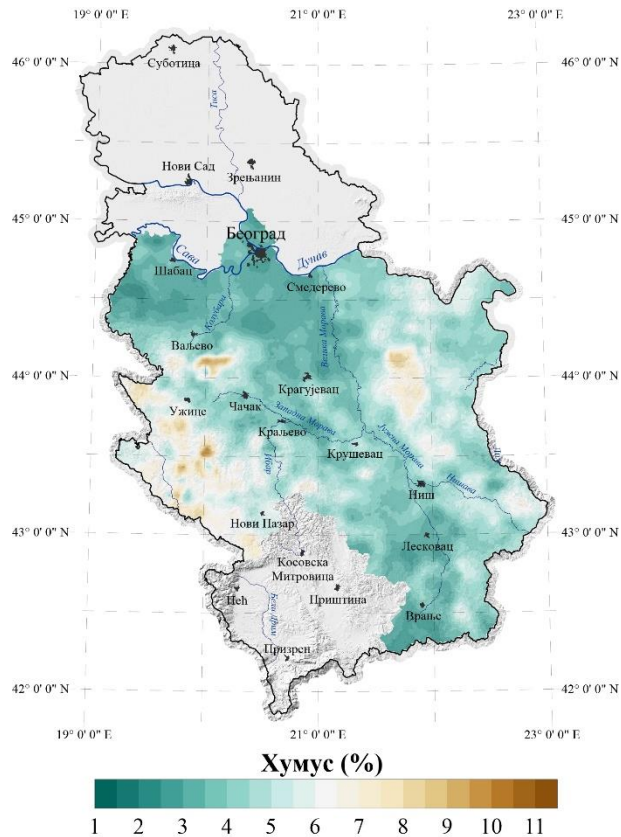
Шумски пожари постају све чешћи и интензивнији као последица повећања температура и дуготрајних суша. У периоду 2007-2016. године регистровано је 922 приземна пожара, што представља више од осамдесет процената свих пожара у државним шумама. Иако је 2023. године забележено смањење опожарене површине (са око 423 ha на 192 ha), подаци из 2024. године показују поновни пораст активности пожара, са 98 пожара у државним шумама на укупној површини од 3.573 хектара, док су у приватним шумама пожари захватили додатних 2.497 хектара. У комбинацији са ерозијом земљишта, нелегалном сечом и климатским екстремима, ови догађаји значајно умањују заштитну улогу шума у стабилизацији земљишта, регулацији микроклиме и очувању биодиверзитета.

Синтетичком анализом расположивих података може се закључити да су процеси промене вегетационог покривача у Србији изразито динамични, али просторно неравномерни и статистички неједначени због различитих методологија мерења, временских серија и извора података. Док равничарски делови земље, нарочито у Војводини и Шумадији, трпе највећи притисак урбанизације и интензивне пољопривреде, брдско-планинска подручја све више су изложена деградацији шумских екосистема и ерозионим процесима под утицајем климатских екстрема. Ове промене не утичу само на структуру и физичко-хемијске особине земљишта, већ и на његову способност да задржи воду, складишти угљеник и спречи ерозију. Имајући у виду сложеност наведених процеса и неусклађеност извора, неопходан је свеобухватан и интегрисан приступ управљању простором и земљишним ресурсима који би објединио климатске, еколошке и социоекономске факторе ради очувања стабилности и функције земљишних екосистема у условима све интензивнијих климатских промена.

8.3. Органска материја у земљишту

Органска материја представља један од најважнијих показатеља квалитета и плодности земљишта, јер директно утиче на његову структуру, капацитет задржавања влаге, микробиолошку активност, отпорност на ерозију и способност снабдевања биљака хранљивим материјама. Најзначајнији индикатор органске материје је садржај хумуса, чији се проценат у земљиштима централне Србије креће у веома широком распону од свега 0,05% до чак 15%. У оквиру тог распона, удео узорака са ниским садржајем хумуса, испод 1,5%, износи 2,7%, док 26% узорака има садржај између 1,5% и 3%. С друге стране, око 30% анализираних узорака бележи садржај виши од 3%, што показује да у појединим локалитетима постоји задовољавајући ниво органске материје. Ипак, када се посебно

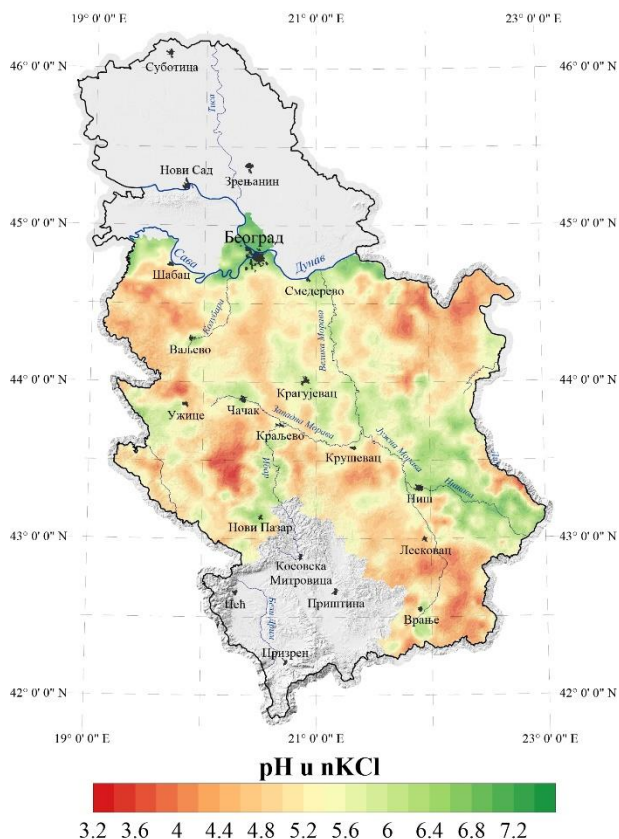
посматрају пољопривредна земљишта, слика постаје знатно неповољнија. На основу националних анализа, просечан садржај органског угљеника у ораничном слоју до 30 cm износи свега 1,87%, што се сврстава у категорију ниског садржаја. Велики проценат анализираних узорака, чак 36,48 %, показује управо низак ниво органског угљеника у распону од 1,1% до 2%. Средњи садржај, између 2,01% и 6%, забележен је код 57,88 % узорака, док 5,20 % припада категорији веома ниског садржаја, испод 1 %. Само 0,44 % пољопривредних земљишта има висок садржај органског угљеника, виши од 6%. Истраживања спроведена у западној Србији додатно су осветлила овај проблем, показујући да овако низак садржај органске материје у великој мери потиче од процеса хемијске деградације. Иако се резултати односе на узорке из тог региона, они јасно указују на шири тренд у областима са интензивном пољопривредом, где прекомерна обрада земљишта, недостатак органског ђубрења и убрзани процеси ерозије доводе до исцрпљивања хумуса и слабљења земљишних функција. Слична ситуација примећена је и у Војводини, региону са најинтензивнијом пољопривредом у Србији. Иако 52 % анализираних узорака припада класи хумозних земљишта, забрињавајуће је што чак 48 % узорака улази у категорије слабо и врло слабо хумозних земљишта, са мање од 3 % хумуса. Када се посматра садржај органског угљеника, резултати се подударају са националним просеком: 59,79 % узорака има низак садржај, 38,41 % спада у средњу категорију, док је веома низак садржај испод 1% регистрован код 1,80 % узорака. Висок садржај органског угљеника, изнад 6%, забележен је у свега 0,1 % узорака. Сви ови подаци недвосмислено указују да се пољопривредна земљишта у Србији суочавају са озбиљним губитком органске материје. Последице су директно угрожавање плодности, нарушавање структуре, губитак биодиверзитета и смањена дугорочна продуктивност. Због тога очување и обнављање органског садржаја мора постати један од приоритетних циљева одрживог управљања земљиштем у наредним деценијама.



Слика 3. Садржај хумуса у централној Србији (Извор: Институт за земљиште)

8.4. Реакција земљишта

Реакција земљишта, односно рН вредност, представља један од најважнијих показатеља хемијског састава земљишта и његове погодности за различите облике пољопривредне производње. У Србији, резултати супституционог мерења рН вредности показују распон од 2,5 до 7,6, при чему је просечна вредност 5,21, што ове земљишне услове сврстава у категорију киселих. Извештаји о стању земљишта потврђују да се у централној Србији највећи део земљишта налази у оквиру класа кисело (рН 4,5-5,5) и слабо кисело (рН 5,5-6,5), при чему је средња вредност рН 5,45, што додатно наглашава доминацију киселих земљишта у овом региону. Посматрано по површини, јако кисела земљишта (рН мање од 4,5) и средње кисела (рН 4,5-5,5) заузимају укупно око 60% територије централне Србије, свако са по приближно 30%. Слабо кисела земљишта (рН 5,5-6,5) покривају око 22% површина, док неутрална и алкална земљишта (рН већа од 6,5) чине преосталих 18%. Највеће површине под киселим земљиштима налазе се у планинским пределима под шумском вегетацијом, где је процес ацидификације изражен, што додатно ограничава продуктивни потенцијал и угрожава стабилност шумских екосистема.



Слика 4. Реакција земљишта у централној Србији (Извор: Институт за земљиште)

Ситуација у Војводини знатно је другачија. Земљишта киселе реакције (pH до 6,5) присутна су у 14,8% узорака, док остатак углавном припада неутралним и слабо алкалним типовима. Средња вредност pH износи 6,91, што одговара неутралној, односно благо алкалној реакцији. Већина узорака са ораница, башти и воћњака показује слабо алкалне услове (pH 7,2-8,2), док узорци из винограда често имају киселију реакцију (pH 4,5-5,5). Поред тога, Војводину карактерише и значајан проблем заслањавања. Заслањена земљишта заузимају око 14% површине, а најзаступљенији типови су солончак и солоњец, при чему солоњци покривају око 7,5% обрадивих површина Баната. Ови типови имају неповољну структуру, смањену пропустљивост и неприлагођен хемијски састав за већину гајених врста, што озбиљно отежава њихово пољопривредно коришћење.

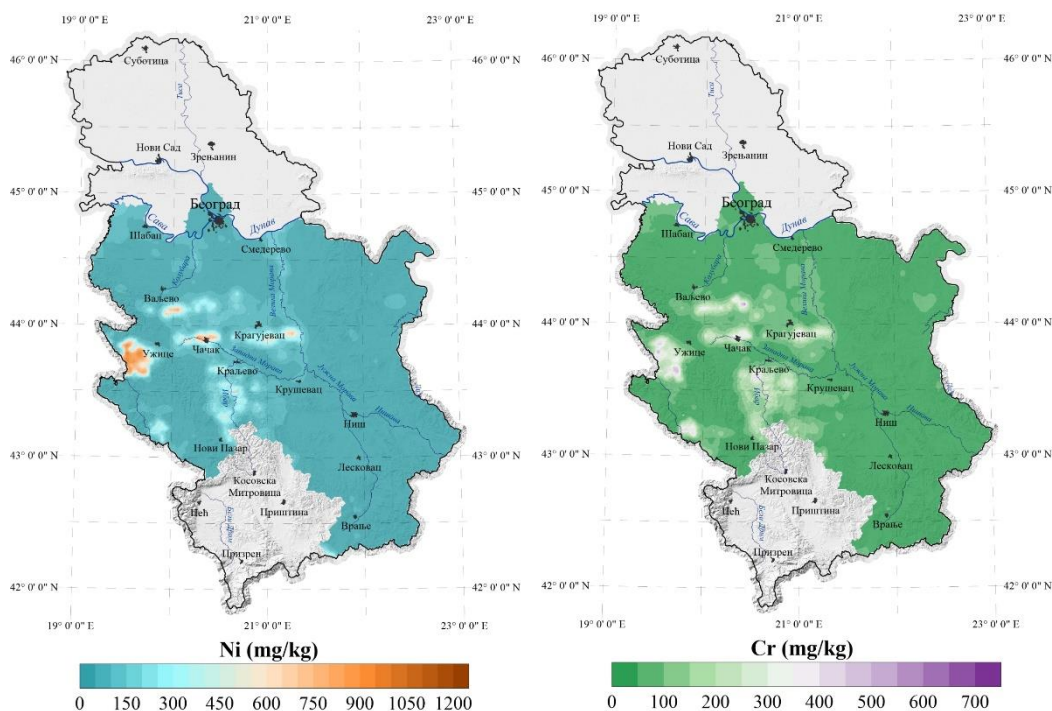
У целини посматрано, реакција земљишта у Србији показује изражену регионалну разноврсност. Доминација киселих земљишта у централној Србији и појава заслањених земљишта у Војводини представљају два кључна изазова у погледу хемијског стања земљишта и одрживог управљања земљишним ресурсима.

8.5. Потенцијално токсични елементи

Потенцијално токсични елементи у земљишту представљају озбиљан изазов за здравље земљишта, безбедност хране и здравље људи. Њихово присуство може бити последица природних услова, пре свега специфичног геолошког састава, али и антропогених утицаја

као што су рударство, индустрија, интензивна пољопривреда и саобраћај. У Србији је забележен различит ниво акумулације ПТЕ, који зависи од региона, геохемијских карактеристика и степена људске активности.

У земљиштима централне Србије просечан садржај арсена износи 11 mg/kg, при чему око 14% територије има вредности изнад природног фона, углавном у рударским областима. Кадмијум је присутан у просеку са 0,80 mg/kg, а регионалне разлике су изражене, у западној Србији вредности изнад природног фона заузимају 2,6% територије, док у источној достижу чак 13,3%. Хром показује просечну концентрацију од 48 mg/kg, али 34% површина у западној Србији има вредности више од природног фона, у поређењу са 15% у источној. Бакар, са просеком од 27 mg/kg, премашује природни фон на око 13% територије. Никл се издваја као елемент са највећим степеном прекорачења, иако је просечна вредност у централној Србији 58 mg/kg, чак 46,1% територије западне Србије показује вредности изнад природног фона, док је у источној тај проценат 13%. Олова има у просеку 40 mg/kg, а површине са вредностима изнад природног фона захватају око 5% територије. Цинк је присутан са 48 mg/kg, уз 4,5% територије изнад природног фона, док је жива, иако у просеку ниска (0,12 mg/kg), регистрована са вишим концентрацијама на 10% територије западне и 3,6% источне Србије. Упоредна анализа показује да западна Србија има већи степен прекорачења природног фона код већине елемената, нарочито никла, хрома и живе, што је повезано са геолошком подлогом и рударском активношћу. Источна Србија бележи повишене вредности арсена и кадмијума, што се углавном доводи у везу са антропогеним изворима контаминације и нижим природним фоном.



Слика 5. Садржај Ni и Cr у земљиштима централне Србије (Извор: Институт за земљиште)

За Војводину још увек није утврђен геохемијски „background“, односно природни фон, који би прецизно дефинисао полазне вредности ПТЕ. Ипак, постојећа мерења пружају корисне увиде. Просечан садржај арсена износи 8,45 mg/kg, што је ниже од глобалног просека и значајно ниже него у централној Србији. Кадмијум је заступљен са 0,37 mg/kg, што је испод домаћег и светског просека. Хром је присутан са 41,6 mg/kg, у складу са светским нивоом, док бакар има просечну концентрацију од 27,4 mg/kg, слично као у централној Србији. Никл са 33,4 mg/kg премашује глобални просек, али је ипак нижи од вредности у централној Србији. Олова има 18,5 mg/kg, што је знатно мање од вредности у централној Србији и глобалног просека. Цинк је присутан са 17,17 mg/kg, што је такође испод просечних вредности, док је жива забележена са 0,07 mg/kg, готово упола мање него у централној Србији.

У целини гледано, земљишта Војводине показују ниже концентрације потенцијално токсичних елемената у односу на централну Србију, али без утврђивања природног фона није могуће донети коначан закључак о степену ризика. Ипак, ови резултати указују на неопходност даљег мониторинга и израде детаљне геохемијске карте, која би дефинисала референтне вредности и омогућила идентификацију потенцијално угрожених зона.

8.6. Контаминирани локације

Контаминирани локације у Србији представљају један од најозбиљнијих еколошких изазова у вези са здрављем и безбедношћу земљишта. Према подацима из Катастра контаминираних локација Републике Србије идентификовано је 309 локација на којима се обављају активности из Правилника о листи активности које могу бити узрок загађења и деградације земљишта. Највећи удео у идентификованим локалитетима имају локације управљањем отпадом (54%). Значајан удео чине и локације настале услед производње и прераде метала са 11%, индустрија минералних материјала са 7%, хемијска индустрија са 6%, док производња енергије заузима 4% идентификованих локација. Преосталих 18% односи се на друге индустријске и комуналне изворе загађења. Ове локације представљају не само озбиљан еколошки и здравствени ризик већ и значајну препреку за одрживо коришћење земљишта. Оне умањују плодност и ограничавају безбедну употребу земљишта у пољопривреди, као и његову намену за друге сврхе, чиме директно угрожавају дугорочну продуктивност и стабилност локалних екосистема.

8.7. Садржај приступачног фосфора

Фосфор представља један од кључних макроелемената неопходних за раст и развој биљака, а његова приступачност у земљишту условљена је типом земљишта, рН реакцијом, садржајем органске материје и интензитетом пољопривредне производње. Правилно управљање садржајем овог елемента има велики значај за одрживу пољопривреду, јер и његов недостатак и његов вишак могу довести до негативних последица по биљке, квалитет хране и животну средину. Због тога је праћење количина приступачног фосфора у земљиштима широм Србије важан сегмент процене плодности и нивоа хемијске деградације земљишта. У земљиштима централне Србије, резултати показују да чак 61% узорака, од око 5000 узорака, има веома низак садржај приступачног фосфора (испод 6 mg/100g), док се додатних 13% сврстава у класу ниског садржаја. Ове површине најчешће

се налазе под шумама, ливадама и пашњацима, где се минерална ђубрива не примењују у значајнијој мери. Прекомерне количине фосфора, изнад 50 mg/kg, забележене су на свега 2,8% површина, што указује на релативно ретку појаву прекомерног ђубрења у овом региону. Детаљније анализе показују да оранице, баште, воћњаци, као и ливаде и пашњаци централне Србије углавном припадају класама веома ниског и ниског садржаја приступачног фосфора ($P_2O_5 < 5$ и 5-10 mg/100g). Чак и виногради, који су често подложни интензивнијој производњи, доминантно припадају класи ниског садржаја (P_2O_5 5-10 mg/100g), што потврђује да и пољопривредна земљишта овог подручја пате од дефицита овог хранљивог елемента.

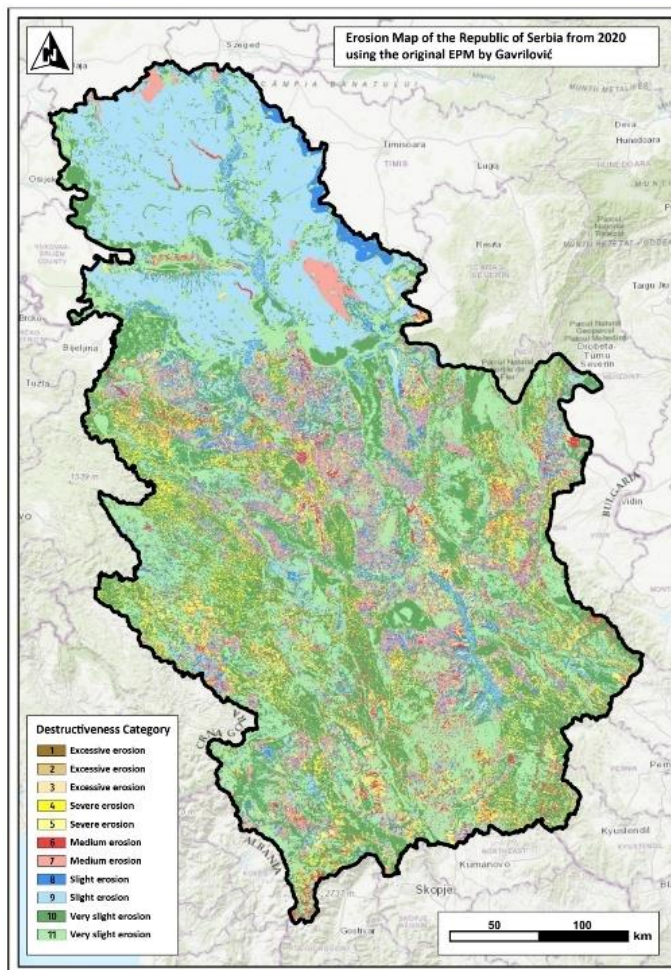
Сасвим другачија слика уочава се у Војводини, где дугогодишња интензивна пољопривреда и шира примена минералних ђубрива условљавају повољнији биланс фосфора у земљишту. У овом региону присутан је већи проценат земљишта са средњим, оптималним и високим садржајем приступачног фосфора, али се истовремено јављају и површине са прекомерним количинама, што указује на проблем неусклађеног ђубрења и ризик од потенцијалног загађења. Највећи број узорака са ораница и башти у Војводини сврстава се у класе оптималног и високог садржаја (P_2O_5 15-25 и 25-50 mg/100g), док ливаде и пашњаци углавном показују средњи, оптимални и високи садржај (P_2O_5 10-15, 15-25, 25-50 mg/100g), што обезбеђује стабилнију исхрану биљака у трајним травнатим екосистемима. Ипак, анализе указују и на проблем прекомерних концентрација, око 16,9% узорака у Војводини припада класама са веома ниским и ниским садржајем фосфора, док је средњи и висок садржај присутан у 41,8% узорака. Истовремено, приближно 13% земљишта садржи штетне (50-100 mg/kg) и токсичне количине фосфора (>100 mg/kg), што може имати озбиљне последице по биљке, квалитет вода и шире компоненте животне средине.

У целини посматрано, садржај приступачног фосфора у земљиштима Србије показује изражене регионалне разлике условљене како природним карактеристикама земљишта, тако и степеном интензитета пољопривреде и праксом ђубрења. Док је у централној Србији доминантан проблем дефицит фосфора, у Војводини се, поред зона са недостатком, јављају и локалитети са прекомерним садржајем, што наглашава потребу за пажљивим усклађивањем ђубрења са стварним потребама биљака и специфичностима земљишта.

8.8. Ерозија земљишта (водна ерозија)

Јужно од Саве и Дунава доминира водна ерозија, често праћена разорним бујичним токовима који узрокују губитак плодног површинског слоја земљишта, смањење пољопривредне продуктивности, нанос седимената у речне токове и акумулације, као и повећан ризик од бујичних поплава. Основа за израду прве карте ерозије земљишта била је Метода потенцијала ерозије (МПЕ) проф. Слободана Гавриловића, која је, уз примену модификација предложених од стране проф. Раденка Лазаревића, омогућила да се у другој половини XX века започне систематско праћење овог процеса кроз израду „Карте ерозије СР Србије“ (Лазаревић, 1983). Према овој карти, врло слаба ерозија обухватала је 41,94% територије, слаба 17,25%, средња 12,49%, јака 13,64%, а ексцесивна 1,02%. Процена из 2009. године (Лазаревић, 2009) показала је значајне промене, врло слаба ерозија порасла је на 47,68%, слаба на 28,51% и средња на 19,32%, док је јака смањена на 3,82%, а ексцесивна на 0,68%. Новија процена из 2020. године, заснована на примени оригиналне МПЕ у ГИС

окурењу, указала је на даље промене, врло слаба ерозија проширила се на 52,35% територије, слаба обухвата 25,23%, средња 11,8%, јака 7,57%, а ексцесивна 3,05%. У поређењу са 2009. годином, забележен је пораст врло слабе ерозије за 4,67%, док је слаба смањена за 3,28% и средња за 7,52%, а јака и ексцесивна порасле за 3,75% и 2,37%.



Слика 6. Карта ерозије земљишта Републике Србије из 2020. године, израђена применом МПЕ (извор: Ристић и сар. 2022)

Процена из 2020. године показује другачији образац, условљен како методолошким разликама примењених поступака, тако и природним факторима. Наставак пораста врло слабе ерозије објашњава се постепеним напуштањем пољопривредних површина и променом начина коришћења земљишта, док је истовремено дошло до појаве локализованих жаришта јаких и ексцесивних процеса под утицајем интензивне пољопривреде и све учесталијих екстремних климатских догађаја.

8.9. Еолска ерозија (ерозија ветром)

У равничарским пределима Војводине најзначајнији процес деградације земљишта представља еолска ерозија (дефлација), која изазива озбиљне економске и еколошке губитке. Најизраженија је на песковитим теренима, познатим као голети, дуж великих речних токова попут Дунава и Тисе, где се издвајају Делиблатска, Суботичко-Хоргошка и Рамско-Голубачка пешчара као најподложнија подручја. Степен угрожености зависи од начина коришћења и степена заштићености земљишта, шумске површине имају најстабилнију заштитну улогу, вишегодишњи засади су нешто рањивији, док су пољопривредне парцеле под ратарским и повртарским културама знатно осетљивије јер периодично остају без вегетационог покривача и постају изложене утицају ветра. Најкритичнија ситуација јавља се на незаштићеним или слабо заштићеним пешчаним теренима Делиблатске и Суботичко-Хоргошке пешчаре, као и на пешчаним обалама и спрудовима великих река. Новије просторне анализе показују да је 8,5% територије површине са слабом осетљивошћу на еолску ерозију, док категорија високе осетљивости обухвата приближно 60,41% подручја, а средње осетљивости око 36% укупне површине Војводине.

8.10. Микробиологија земљишта

Микробиолошко стање земљишта у Србији представља кључан показатељ његовог здравља и плодности, јер микроорганизми разграђују органску материју, минерализују хранљиве материје, фиксирају азот и тиме обезбеђују стабилност земљишног екосистема. Њихова бројност и активност ензима, посебно дехидрогеназе, непосредно указују на биолошки потенцијал земљишта. Најповољније микробиолошке карактеристике имају чернозем и вертисол, који заузимају око 11% површина централне Србије. У њима је број микроорганизама врло висок од 14 до преко $880 \times 10^6/g$ земљишта уз богатство амонификатора (до $880 \times 10^5/g$) и азотофиксатора (азотобактер до 1100/g), као и активност дехидрогеназе до 379 μg TRF/g. Овакве вредности указују на стабилан метаболизам, разноврсну микробиолошку заједницу и висок потенцијал за кружење хранљивих материја. Флувисоли, еутрични камбисоли и колувијуми, који заузимају више од 25% површина централне Србије, показују умерено високу биолошку активност укупни број микроорганизама креће се од 3 до $145 \times 10^6/g$, док амонификатори достижу до $250 \times 10^5/g$. Гљиве и актиномицете доприносе разградњи сложених органских материја, што ове типове земљишта чини значајним за интензивну пољопривредну производњу. Насупрот томе, киселија и забарена земљишта попут лувисола, дистричних камбисола и псеудоглејева (око 32% површина) имају знатно нижу биолошку разноврсност и активност. Укупан број микроорганизама често је испод $25 \times 10^6/g$, ензимску активност ретко прелази 125 μg TRF/g, а код псеудоглеја азотофиксатор и потпуно изостају, што повећава подложност деградацији. Плитка и скелетна земљишта, као што су литосоли и рендзине (око 14% површина), микробиолошки су врло хетерогена, па тако укупан број микроорганизама варира од свега 2 до чак $1000 \times 10^6/g$ у зависности од локалних услова и органске материје, те су њихови екосистеми нестабилни и осетљивији на деградацију. Сличан образац уочен је и у Војводини. Чернозем (42% површина) бележи $1,7-4 \times 10^7/g$ хетеротрофних бактерија и највишу активност дехидрогеназе, док ливадске и ритске црнице имају нешто ниже

вредности, а солоњец (3,5%) показује најнижи микробиолошки потенцијал тек $0,8-1,0 \times 10^7/g$ уз врло ниску ензимску активност.

8.11. Климатске промене и здравље земљишта у Србији

Последње деценије у Србији показују јасне и забрињавајуће сигнале климатских промена. У периоду 2001-2020. просечна температура порасла је за $1,4 \text{ }^\circ\text{C}$ у односу на референтни период 1961-1990, док је деценија 2011-2020. била најтоплија у историји инструменталних мерења са одступањем од $1,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Највећа одступања забележена су током лета, када су температуре у просеку биле више за $2,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Ови трендови већ имају опипљиве последице. У периоду 2000-2020. материјалне штете износиле су најмање 6,8 милијарди евра, при чему је више од седамдесет процената губитака настало услед суша и високих температура. Ови подаци јасно показују да климатске промене делују као мултисекторски ризик који погађа пољопривреду, шумарство, водне ресурсе, енергетику, урбану средину и јавно здравље.

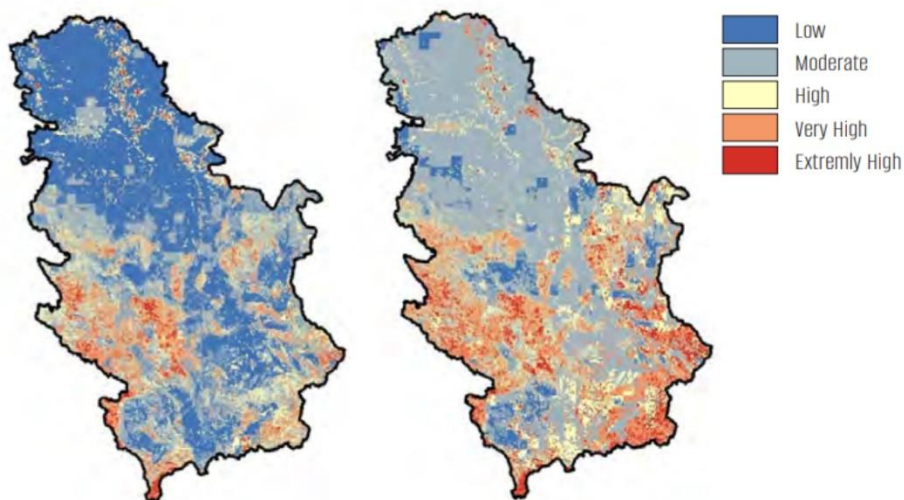
Пољопривреда је најосетљивија на климатске поремећаје. Продужавање вегетационог периода за двадесет до четрдесет дана и могућност раније сетве за двадесет до тридесет дана на први поглед делују као погодност, али се тај потенцијал губи услед све учесталијих топлотних таласа, дуготрајних суша и екстремних падавина. Индекс аридности очекује се да порасте за 20%, а број веома топлих дана биће већи за десет до двадесет у нижим деловима земље. Последице су већ видљиве кроз пад приноса, трајна оштећења засада и деградацију пољопривредних површина. Водни ресурси све више показују нестабилност. Неуједначене падавине, поплаве и суше ремете режим подземних и површинских вода, што директно утиче на земљиште. У влажним годинама долази до испирања хранљивих материја и убрзане ерозије, док у сушним годинама земљиште губи влагу и органску материју, што смањује његову продуктивност и отпорност. Шумски екосистеми се такође налазе под притиском. Пројекције показују да ће погодност станишта за главне врсте бити смањена за 13-78% у наредних педесет година, док ће до краја века, у екстремним сценаријима, редукација достићи од 25 до готово 100%, посебно за јелу, смрчу и букву. Смањење виталности и губитак шумског покривача појачавају ерозију, нарушавају локалне водне режиме и убрзавају деградацију земљишта.

Иако земљиште истовремено делује као регулатор климе, основа производње хране, резервоар биодиверзитета и кључни елемент у управљању водним ресурсима, здравље земљишта је маргинализовано у климатским стратегијама. Политике се углавном усмеравају на видљиве ефекте као што су приноси у пољопривреди, производња енергије из хидропотенцијала или очување шума, док се само земљиште посматра као пасивна подлога. У стварности, деградација земљишта производи кумулативне последице које се преливају на све секторе. Губитак органског угљеника умањује способност земљишта да функционише као резервоар угљеника, што додатно појачава ефекте климатских промена, док се процеси ерозије и заслањивања одражавају на плодност и продуктивност, а биолошка деградација нарушава кружење хранљивих материја и стабилност биогеохемијских циклуса. Све ове промене потврђују да је здравље земљишта фундаментални параметар климатске отпорности и неопходан предуслов за очување производних и еколошких функција. Дакле, здравље земљишта, схваћено као интеграција његових физичких, хемијских и биолошких својстава, већ је озбиљно угрожено, јер климатске промене

истовремено делују на сва три сегмента. Последица је прогресивно смањење продуктивности, отпорности и способности земљишта да одржи стабилне екосистемске функције. Интензивне падавине доводе до убрзаног испирања хранљивих материја и јачања ерозионих процеса, што резултира губитком површинског слоја богатог органском материјом. Продужени сушни периоди изазивају пуцање профила, смањење инфилтрационог капацитета и повећану подложност збијању, а у комбинацији са континуираним губитком органске материје то доводи до деградације агрегатне стабилности и веће изложености еолоској ерозији. Ови процеси посебно погађају Војводину, где је већ уочен пад плодности и значајан губитак здравља земљишта. Истовремено, промене у температури и влажности убрзавају минерализацију органске материје, чиме се смањује капацитет земљишта да везује хранљиве материје. Повећава се ризик од губитака азота, фосфора и калијума кроз испирање, што доводи до нарушавања плодности и хемијске равнотеже, уз поремећаје у рН вредности и електричној проводљивости. У сушним деловима Србије све је чешћа појава салинизације, јер редуковане падавине и високе температуре условљавају акумулацију растворљивих соли у површинском слоју, што додатно снижава продуктивност и нарушава водни баланс. Биолошка својства земљишта показују највећу осетљивост на климатске промене. Органска материја се на повишеним температурама убрзано разлаже, што смањује плодност и биодиверзитет и умањује способност земљишта да задржи воду. Смањење органског угљеника директно погађа циклусе угљеника и азота, а истовремено се мења и структура биљне вегетације која обезбеђује улаз органске материје у систем. Микробне заједнице, кључне за разградњу и кружење хранљивих материја, бележе пад биомасе и ензимских активности, нарочито у сушним и топлијим условима. Последице су нарушавање биогеохемијских циклуса, губитак еколошке стабилности и повећана емисија гасова стаклене баште из земљишта.

Према доступним проценама (Слика 7), у периоду 2001-2020. године највећи део територије Србије сврставао се у категорије ниског (43%) и умереног ризика (29%) од деградације земљишта. Пројекције за период 2041-2060. указују на значајно ширење зона умереног ризика, које ће обухватати више од половине територије, као и на јачање области високог и веома високог ризика које би могле захватити око 42% државе. Истовремено, учешће површина у категорији ниског ризика смањује се више од шест пута, што јасно показује тенденцију ка тежим облицима деградације и пораст укупне рањивости земљишта. Подручја с већим степеном ризика претежно се налазе јужно од Саве и Дунава, али су локалне зоне повишене рањивости препознате и у оквиру Војводине. Ипак, наведени резултати представљају полазну основу за даље разматрање стања земљишта у Србији, будући да нису засновани на детаљној анализи појединачних деградационих процеса.

CR classification		2001–2020		2041–2060	
Risk class	Risk level	Area (ha)	Area (%)	Area (ha)	Area (%)
Low	<0.2	3,817,696	43.2	562,119	6.4
Moderate	0.2–0.4	2,584,433	29.2	4,561,389	51.6
High	0.4–0.6	1,224,670	13.9	1,512,727	17.1
Very high	0.6–0.8	990,353	11.2	1,641,311	18.6
Extremely high	>0.8	220,809	2.5	560,415	6.3



Слика 7. Карте ризика од деградације земљишта за период 2001–2020 (лево) и 2041–2060 (десно); (извор: Животић и Вуковић Вемић, 2022)

9. Мере заштите и очувања земљишта

9.1. Мере за спречавање непланске и неконтролисане промене намене земљишта

Законом о пољопривредном земљишту утврђена је обавеза очувања пољопривредног земљишта као ресурса од посебног националног значаја. Овим прописом предвиђене су административне мере и новчане казне за физичка и правна лица у случају непланске или неконтролисане промене намене. Промена намене дозвољена је искључиво на основу одлуке надлежних органа и уз поштовање прописаних процедура, које обезбеђују да се не угрози пољопривредна производња и да се надокнаде евентуални губици настали изузимањем земљишта из обрадивог фонда. Поступак промене намене шума и шумског земљишта регулисан Законом о шумама. У њему је јасно наведено да се шума и шумско земљиште могу користити за друге намене само уз сагласност надлежних институција и на основу претходно спроведене процене утицаја на животну средину. Суштина овог законског оквира јесте спречавање стихијске урбанизације, ширења индустријских и инфраструктурних објеката на рачун пољопривредних и шумских површина, као и увођење система контроле који омогућава планирано управљање простором. Наведена правна решења део су ширег система заштите животне средине, у складу са Законом о заштити животне средине, где је земљиште препознато као једна од кључних компоненти од општег

интереса, чија заштита обухвата и превенцију деградације и контролу промене намене у складу са принципима одрживог развоја.

9.2. Мере за спречавање загађења и ремедијација земљишта

Загађење земљишта представља један од најтежих облика деградације, јер доводи до трајног губитка његове продуктивности и угрожава здравље људи и екосистема. Према Закону о заштити земљишта, изричито је забрањено испуштање и одлагање загађујућих, штетних и опасних материја и отпадних вода на површину земљишта и у земљиште. Прописано је да се особине земљишта могу мењати само у циљу побољшања његовог квалитета у складу са наменом, док Влада, на предлог надлежног министарства, утврђује граничне вредности загађујућих, штетних и опасних материја у земљишту. На овај начин административни механизми усмерени су на превенцију контаминације, као и на санкционисање субјеката који својим активностима угрожавају квалитет земљишта. Тако уколико се из хоризонта или слоја неког типа земљишта, земљиште преноси на другу локацију ради даљег коришћења, морају се детаљно испитати његове физичке, хемијске и микробиолошке карактеристике. Земљишта која садрже концентрације опасних и штетних материја изнад прописаних граничних вредности, не могу се даље користити. Министар надлежан за послове заштите животне средине даје сагласност на оцену квалитета земљишта, ризика од деградације локације ископа, као и поступак ремедијације. Мере за спречавање загађења заснивају се пре свега на контроли извора контаминације. То подразумева изградњу и одржавање постројења за пречишћавање отпадних вода, спречавање неконтролисаног одлагања индустријског и комуналног отпада, контролисану примену минералних ђубрива и пестицида, као и систематско праћење концентрација потенцијално токсичних елемената у земљишту. Редован мониторинг омогућава благовремено откривање загађења и предузимање мера за спречавање ширења контаминаната. Успостављање зона водоизворишта, као и строжија примена принципа „загађивач плаћа“, представљају додатне механизме превенције. Када до загађења ипак дође, примењују се мере ремедијације земљишта, чији је циљ снижавање концентрације загађујућих материја на ниво који не представља ризик по животну средину. Методе ремедијације земљишта сврставају се у три основне групе: физичке, које укључују механичко уклањање или изолацију контаминаната. Хемијске, које их хемијски мењају или разграђују и стабилизују. Биолошке, које користе микроорганизме или биљке за њихово уклањање или стабилизацију Све наведене мере показују да правна регулатива, превентивна политика и технике ремедијације морају бити међусобно повезане, јер се само њиховом интегралном применом може обезбедити дугорочно очување здравља земљишта као непроцењивог природног ресурса.

9.3. Мере за спречавање сабијања земљишта и мелиорација

Сабијање земљишта представља значајан проблем јер доводи до смањења порозности, слабије аерације и водопропусности, смањене активности микроорганизама и укупног пада плодности. Као облик деградације, оно је препознато у оквиру политика заштите пољопривредног земљишта, где се административне мере односе на контролу агротехничких поступака и прописивање добрих пољопривредних пракси које подлежу надзору пољопривредних инспекција. У том контексту, прописима се инсистира на очувању

физичких својстава земљишта и превенцији прекомерне механизације и неправилне обраде, као индиректних узрока сабијања. Мере превенције обухватају примену органских ђубрива (стајњак, компост, тресет), јер органска материја делује као цементни материјал за структурне агрегате и повећава њихову стабилност. Обрада у повољном стању влажности, нарочито у условима лентокапиларног капацитета, омогућава стварање ситномрвичасте структуре отпорније на притисак механизације. Правилно ђубрење органским материјама такође повећава порозност, смањује запреминску масу и побољшава отпорност земљишта према збијању. Значајан утицај има и плодоред, јер различите културе остављају земљиште у различитом степену збијености у зависности од типа кореновог система и примењених агротехничких мера. Када је сабијање већ наступило, предузимају се мере мелиорације ради обнове структуре. Ту спадају дубоко орање и риголовање ради разбијања збијеног хоризонта, уношење органске материје ради побољшања стабилности агрегата, као и увођење усева са снажним и разгранатим кореновим системом који природним путем разбијају збијене слојеве. Примена трајних травно-легуминозних смеша и заштитних усева додатно побољшава аерацију и стабилност структуре. На овај начин обезбеђује се дугорочна санација, а ризик од поновног сабијања своди на минимум кроз уравнотежену употребу механизације и очување оптималне влажности приликом обраде.

9.4. Мере за очување и повећање садржаја органске материје у земљишту

Административне мере за спречавање деградације земљишта услед смањења садржаја органске материје и сабијања заснивају се на важећим законским решењима. У складу са Законом о пољопривредном земљишту предвиђене су мере заштите које обухватају контролу коришћења и обраде пољопривредног земљишта, са циљем да се очувају његова плодност и биолошка активност. Поред тога, кроз одговарајуће прописе забрањује се пракса која директно доводи до губитка органске материје, попут спаљивања жетвених остатака, док је у шумским подручјима поступање са органским материјалом регулисано Законом о шумама. Превентивне мере заснивају се на додавању органских ђубрива (стајњака, различитих компоста и тресета), чиме се повећава садржај органске материје која делује као везивни материјал за структурне агрегате и тиме унапређује њихову стабилност. Органска ђубрива такође доприносе већој порозности, мањој запреминској маси и већој отпорности према збијању. Обрада у повољном стању влажности, нарочито у условима лентокапиларног капацитета, доприноси стварању ситномрвичасте структуре и спречавању настанка збијености. Ефикасне мере у пракси су заоравање жетвених остатака и сидерација, односно зеленишно ђубрење. Ова техника подразумева заоравање зелене масе различитих биљних врста гајених у ту сврху, попут легуминозних сидерата (црвена и бела детелина, кокотац, соја, сточни боб, сточни грашак) или нелегуминозних (уљана репица, горушица, суданска трава, раж, јечам). Плодоред, такође, значајно утиче на физичко стање земљишта, док повећање залиха органског угљеника представља дугорочну меру која истовремено повећава стабилност структуре и смањује емисију гасова стаклене баште. Практике попут смањене или безобразне технологије, употребе органских компоста уместо тресета и оптималне примене азотних ђубрива омогућавају истовремено очување органске материје, спречавање ерозије и унапређење биодиверзитета у земљишту. Мере мелиорације деградираних земљишта усмерене су на дугорочно повећање садржаја органске материје. Оне обухватају примену органских ђубрива и биљних остатака, поновно увођење плодореда, пошумљавање и мелорације, као и поновно навлаживање деградираних

тресетишта у комбинацији са увођењем одговарајућих биљних врста, чиме се смањује емисија угљен-диоксида и постепено враћају функције земљишта.

9.5. Мере за заштиту и унапређење биодиверзитета земљишта

Административне мере за очување биодиверзитета земљишта обухватају системску контролу и мониторинг кључних индикатора биодиверзитета (биомаса, разноликост, равномерност, број кључних таксона, повезаност мреже и активност), као и прописивање ограничења у примени агрохемикалија и интензивних техника обраде које могу угрозити микробиолошку и зоолошку компоненту земљишта. Поред тога, подстиче се развој органске производње и агроеколошких система кроз мере аграрне политике, као и забрана пракси које доводе до деградације биолошке активности. Мере превенције заснивају се на промоцији агротехничких и еколошких пракси. Најбољи резултати постигнути су у органским системима производње и при примени смањене или елиминисане обраде земљишта без инверзије и орања, где је забележено значајно повећање биодиверзитета, посебно фауне земљишта (и до +600%). Калцификација шумских екосистема у појединим условима довела је до вишеструког повећања бројности организама (до +2000%). Такође су уочени позитивни ефекти на микробиом, уз пораст бројности „корисних“ бактерија и гљива. Мелиорација деградираних екосистема подразумева примену органских и биолошких техника ревитализације, уношење органске материје, микробиолошких инокулума и сидерата, као и обнову шумских и травнатих екосистема ради враћања изгубљене функционалне разноликости. У случајевима јаке деградације, потребне су дугорочне мере рекапациације и континуирани мониторинг индикатора биодиверзитета ради постизања потпуне еколошке стабилизације земљишта.

9.6. Мере за очување повољног баланса хранљивих материја у земљишту

Административне мере у области очувања баланса хранљивих материја заснивају се на законски прописаној обавези контроле плодности земљишта у Републици Србији. Она подразумева редовно праћење садржаја основних хранљивих елемената и израду препорука за ђубрење на основу агрохемијских анализа. Мере превенције укључују ограничења у прекомерној примени минералних ђубрива и пестицида, као и подстицаје за рационално коришћење органских ђубрива, махунарки и сидерата. У шумарским системима оне обухватају и контролу сече на стаништима сиромашним или богатим хранљивим материјама, како би се очувала нутритивна стабилност екосистема. Спречавање поремећаја у равнотежи хранљивих материја заснива се на примени добрих пољопривредних и шумарских пракси. Количина минералних и органских ђубрива одређује се на основу анализа својстава земљишта и захтева гајене културе. Интеграција махунарки у пољопривредне системе обезбеђује додатни азот, смањује губитке (и до -40%) и повећава садржај органског угљеника, али ефекат зависи од контекста. У шумарству се препоручује редукација интензитета сече и примена мера које минимизују губитке хранљивих материја, док побољшано управљање водама у агросистемима смањује испирање и повећава ефикасност коришћења хранљивих елемената. Мере мелиорације усмерене су на дугорочну примену органских ђубрива и сидерата, као и на уношење корисних микроорганизама ради убрзавања процеса хумусогенезе. У шумским екосистемима може се користити дрвни пепео као замена за изгубљене хранљиве материје, уз пажљиву процену ризика по биодиверзитет.

Мелиорације подразумевају интегрално управљање хранљивим материјама и водним режимом ради постепеног враћања стабилности и продуктивности земљишта.

9.7. Мере за спречавање ацидификације и мелиорације киселих земљишта

Ацидификација земљишта представља један од најраспрострањенијих облика деградације у Србији, са директним последицама по плодност и продуктивност пољопривредних и шумских екосистема. Узроци су прекомерна примена киселих минералних ђубрива, изношење жетвених остатака, депозиција киселих материја из атмосфере и неповољни биохемијски процеси у земљишту. Мере превенције обухватају контролу плодности, редовно праћење рН вредности и базне засићености, као и рационалну примену минералних ђубрива у складу са агрохемијским анализама. Повећана употреба органских ђубрива (стајњак, компост, зелена ђубрива) побољшава пуферски капацитет земљишта. Увођење плодореда са махунаркама и задржавање жетвених остатака чува базне катјоне и успоставља равнотежу. У шумарству је неопходна контрола интензитета сече и очување биогеохемијске равнотеже станишта. Када је деградација већ наступила, примењује се калцизација као основна мелиоративна мера. Уношењем калцијума смањује се киселост раствора, растворљивост алуминијума и токсичних микроелемената, а побољшава структура, водопропустљивост и аерација. Најчешћа средства су фино млевени кречњак или лапорац (CaCO_3), печени креч (CaO) и хидратисани креч [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]. Њихова ефикасност зависи од рН вредности земљишта, садржаја калцијума и начина уношења, а количине се прилагођавају степену закисељавања. Дугорочно, најбоље резултате даје комбиновање калцизације са редовним уношењем органских ђубрива и гајењем култура толерантних на киселу реакцију. Тако се обезбеђује постепен, али стабилан опоравак и одржива продуктивност земљишта.

9.8. Мере за спречавање алкализације и мелиорације заслањених земљишта

Превенција и мелиорације алкализираних земљишта подразумева више међусобно повезаних мера. Основни корак је изградња система за одводњавање којим се снижава ниво подземних вода и обезбеђује преовлађивање десцендентних токова, чиме се спречава капиларно издизање заслањене воде и акумулација соли на површини. Додатно, риголовањем се разбијају збијени и водонепропусни слојеви, што омогућава брже кретање воде у дубље хоризонте и убрзава процес испирања. Након тога примењује се интензивно наводњавање у комбинацији са хоризонталном дренажом, чиме се уклањају лако растворљиве соли и испира натријум из адсорптивног комплекса. Да би се натријум заменио стабилнијим катјоном и побољшала структура, примењује се уношење калцијума у земљиште, најчешће гипсовање или калцизације. Калцијум потискује натријум, стабилизује структуру, повећава водопропустљивост и плодност. Најбоље резултате даје комбинација више мера, изградња ефикасног система одводњавања, риголовање, наводњавање у циљу испирања соли и уношење калцијума. Овим приступом обезбеђује се дугорочна стабилност и поновно успостављање продуктивности земљишта у агроколошком смислу.

9.9. Мере за заштиту од ерозије земљишта

Ерозија земљишта представља један од најраспрострањенијих процеса деградације у Србији. Она доводи до губитка плодног слоја, смањења биолошке активности, појаве наноса у водотоковима и нарушавања стабилности предела. Административне мере подразумевају ограничење коришћења земљишта на подручјима са повећаним ризиком од ерозије. Забрањено је орање уз нагиб, гајење окопавина на стрмим њивама, извођење чистих сеча шума и прекомерна испаша на деградираним пашњацима. Истовремено се налаже орање по изохипси, трајно затрављивање и пошумљавање голети, као и конверзија једногодишњих у вишегодишње културе на осетљивим теренима. Ове мере се спроводе у оквиру планова управљања сливовима и локалних програма заштите земљишта. Техничке мере усмерене су на стабилизацију терена и регулацију површинског отицаја. У њих спадају изградња преграда, таложника, каскада и дренажних канала, као и санација јаруга, клизишта и нестабилних косина. Уређење бујичних сливова представља важан елемент ових активности јер обухвата интегрално управљање водама и земљиштем ради смањења наноса и ерозионог притиска. Биолошке мере имају за циљ обнову и очување вегетационог покривача који штити земљиште од површинског спирања. Пошумљавање еродираних и напуштених површина, мелиорација деградираних шума и пашњака, затрављивање и подизање ветрозаштитних појасева обезбеђују дугорочну стабилност и побољшавају инфилтрацију воде у земљиште. Биотехничке мере повезују вегетационе и техничке поступке. Примењују се на теренима сложене морфологије и повећаног ризика од ерозије. Обухватају терасирање нагнутих површина, изградњу биотехничких преграда од природних материјала и успостављање противерозионих засада који комбинују стабилизациону и заштитну функцију.

10. Систем здравља земљишта

10.1. Прелазак ка систематском управљању здрављем земљишта

Увођење система здравља земљишта у институционални и плански оквир Републике Србије отвара простор за успостављање јединственог, мерљивог и применљивог система вредновања земљишних ресурса. За разлику од постојећих приступа који фрагментарно посматрају земљиште кроз појединачне параметре или секторске приоритете, овај систем (концепт) омогућава интегралну процену функционалности земљишта на нивоу читавог простора, кроз јасно дефинисане индикаторе и толерантне вредности. На националном нивоу, примена овог система ствара основ за доношење одлука које су утемељене на објективним подацима и транспарентним критеријумима. То значи да се мере очувања, планирања и коришћења земљишта могу прецизније усмеравати, како у пољопривреди, тако и у просторном планирању, заштити природе и инфраструктури. Уз то, омогућава се хармонизација са европским стандардима, али и развој сопственог, локално прилагођеног система вредновања који одговара специфичностима земљишта Србије. Кроз овакав систем, Србија може да успостави сопствену референтну основу за оцену стања земљишта, да препозна зоне које захтевају приоритетно деловање и да повеже научне увиде са оперативним алатима управљања. На тај начин, систем здравља земљишта престаје да буде теоријска одредница, а постаје темељна алатка за одговорно управљање једним од

најважнијих природних ресурса у служби развоја, стабилности и међугенерациске одрживости.

Овим Програмом стање и здравље земљишта у Србији прати се кроз интеграцију примарних и додатних индикатора који заједно обезбеђују свеобухватан увид у плодност, стабилност и степен загађености овог кључног природног ресурса. Хемијски индикатори као што су рН вредност, садржај органске материје, укупан азот, однос C/N, приступачни фосфор и макроелементи представљају основу за процену хемијске равнотеже и производног потенцијала земљишта. Физички параметри као што су ерозиони процеси и запреминска маса пружају увид у структурну стабилност, водно-ваздушни режим и ризике од физичке деградације. Истовремено, праћење садржаја потенцијално токсичних елемената (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg) као и органских контаминаната омогућава процену еколошког ризика и могућих последица по здравље људи и интегритет екосистема. Биолошки индикатори међу којима се издвајају показатељи активности микроорганизама и присуство макрофауне служе као мере биолошке функционалности и еколошке резилијентности. Допунски параметри (индикатори) као што су салинитет, садржај CaCO₃, приступачни калијум, микропластика, рF крива и показатељи просторне фрагментације земљишног покривача проширују аналитички оквир и омогућавају интегративно разумевање утицаја климатских промена, интензитета коришћења земљишта и антропогених притисака.

Методолошки приступ је усаглашен са релевантним европским и националним стандардима (LUCAS, ISO, SRPS), чиме се обезбеђују стандардизација поступака, репрезентативност узорака, упоредивост резултата и праћење дугорочних трендова у процени здравља и стања земљишта. Доследна примена ових протокола гарантује валидност података, транспарентност у њиховом тумачењу и интеграцију у шире европске и међународне оквире изучавања земљишта. У том контексту, процена различитих процеса деградације земљишта мора се заснивати на установљеним и стандардизованим методолошким смерницама, које обезбеђују поузданост, репродуктивност и упоредивост резултата. Посебно у области ерозије земљишта, на територији Србије препоручена је примена признатих модела као што су Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) и Модел потенцијала ерозије (МПЕ), у складу са важећим техничким упутствима и научно верификованим процедурама (Renard et al., 1997; Гавриловић, 1972). Њихова правилна примена подразумева спровођење теренске анализе, укључујући узорковање земљишта које мора да обухвати различите типове земљишта и начине коришћења ради обезбеђивања репрезентативне просторне покривености, затим неопходне лабораторијске анализе како би се утврдили параметри еродибилности земљишта, као и коришћење података са аутоматских метеоролошких станица које омогућавају читавање максималних тридесетоминутних интензитета падавина и проверу вредности добијених са плувиографских трака, што директно доприноси прецизнијој процени фактора ерозивности кише. Изостанак било ког од ових корака, као и примена поједностављених приступа без адекватне емпиријске и аналитичке основе, може довести до методолошких одступања и нетачних процена.

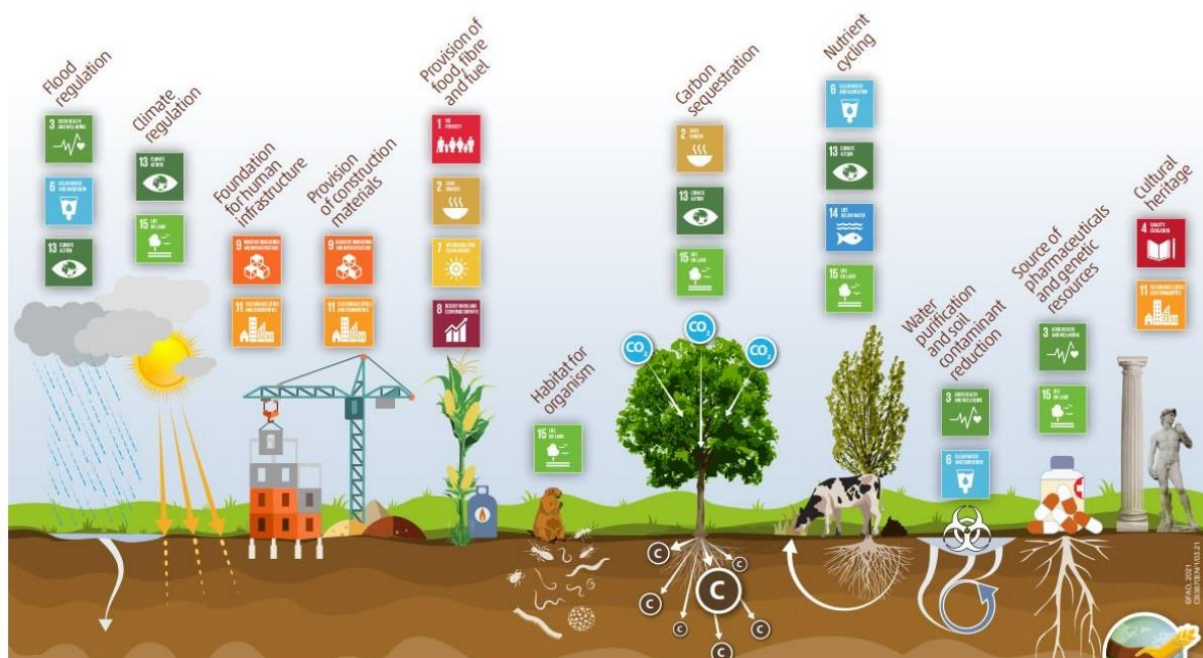
10.2. Европски политички и истраживачки оквир за процену здравља земљишта

Према Плану имплементације мисије „Споразум за земљиште у Европи“ (EU Mission: A Soil Deal for Europe - Implementation Plan), као и смерницама садржаним у Европској стратегији за земљиште до 2030. године (EU Soil Strategy for 2030), земљиште се посматра као темељни ресурс за храну, воду, биодиверзитет и климатску отпорност, али истовремено и као један од најугроженијих елемената животне средине. Процењује се да је између 60 и 70% европских земљишта у нездравом стању због ерозије, загађења, губитка органске материје, прекривања и прекомерне експлоатације. Такав тренд умањује способност земљишта да обезбеди основне екосистемске услуге и појачава последице екстремних временских појава, попут поплава на збијеним и деградираним земљиштима. Да би се овај негативан процес преокренуо, мисија предвиђа транзицију ка здравим земљиштима кроз мрежу живих лабораторија и демонстрационих локација, снажан програм истраживања и иновација, хармонизован систем мониторинга и подизање свести о значају земљишта у друштву.

Здраво земљиште обезбеђује бројне екосистемске услуге и директно доприноси остваривању циљева одрживог развоја (Слика 8). На тој основи, у Плану имплементације издвојено је осам основних индикатора здравља земљишта. Први је садржај органског угљеника као основа плодности и капацитета за складиштење угљеника. Други се односи на структуру и збијеност која условљава порозност, режим воде и ваздуха и отпорност на деградацију. Трећи индикатор је ерозија земљишта и прекривање као најдиректнији показатељ губитка производног потенцијала. Четврти је биодиверзитет земљишта, који обухвата присуство и активност микроорганизама и других живих заједница одговорних за кружење хранљивих материја. Пети је присуство загађивача, вишкова хранљивих материја и соли који угрожавају стабилност екосистема и безбедност производње. Шести индикатор односи се на хемијске особине, као што су рН вредност и садржај хранљивих елемената, који одређују доступност хранљивих материја биљкама. Седми индикатор је вегетациони покривач и хетерогеност пејзажа, као фактори који утичу на заштиту од ерозије и очување екосистемских услуга. Осми је шумовитост и покривеност сталном вегетацијом, која доприноси стабилности земљишта и регулисању климатских утицаја. Важно је нагласити да овај сет индикатора представља само основни оквир, док у оквиру сваке од ових категорија постоји знатно већи број специфичних показатеља који омогућавају детаљније и прецизније праћење стања и трендова.

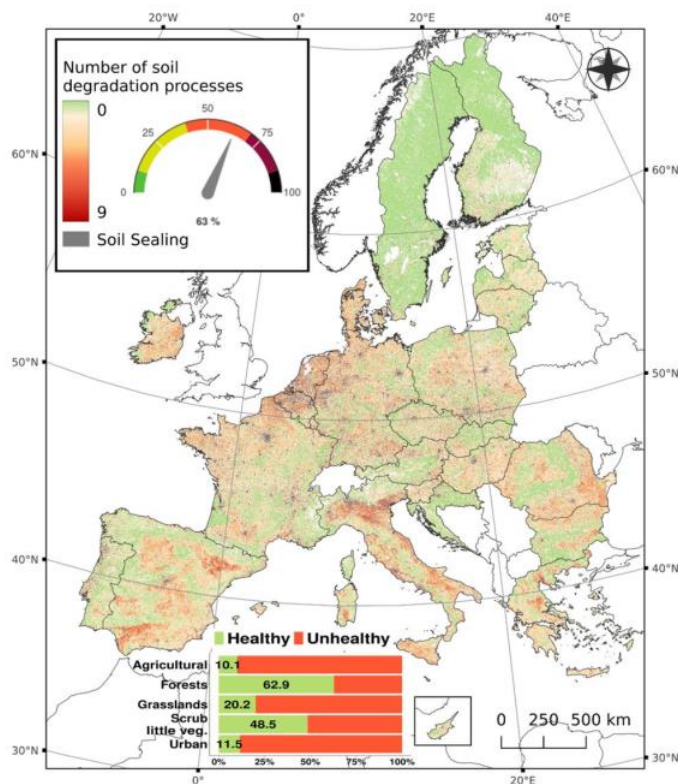
Да би се наведене смернице преточиле у праксу, План имплементације предвиђа и четири стуба интервенционог приступа. Први се односи на изградњу капацитета и знања за одговорно управљање земљиштем. Други подразумева развој и ширење локално прилагођених иновација у пољопривреди, шумарству, урбаним и природним просторима. Трећи обухвата успостављање интегрисаног европског система мониторинга и извештавања о здрављу земљишта, у складу са Директивом о мониторингу и отпорности земљишта (Soil Monitoring and Resilience Directive). Четврти стуб усмерен је на активно учешће заједница корисника и шире јавности ради подизања свести и развијања нових вештина. На овај начин обезбеђује се да научни резултати, пракса на терену и политички

механизми делују заједнички, што омогућава бржи опоравак земљишта и повећање његовог здравља.



Слика 8. Екосистемске услуге у функцији здравља земљишта (извор: FAO)

Паралелно са тим, значајну улогу има и Европска опсерваторија за земљиште (European Soil Observatory - EUSO), чији је један од најважнијих резултата развој алата за праћење здравља земљишта (Soil Health Dashboard). Реч је о јединственом дигиталном алату који омогућава први интегрисани преглед стања здравља земљишта у ЕУ. Овај инструмент комбинује податке из националних мониторинг програма, европских научних пројеката и база података и интегрише их у сет од 17 индикатора који прате кључне аспекте здравља земљишта. Подаци показују да више од 60% земљишта у Европи испољава бар један облик нездравог стања, а често и више њих истовремено. Једна од кључних предности Dashboard-а јесте могућност просторне визуелизације ризика, што га чини практичним алатом за доносиоце политика у одређивању приоритета и мера заштите земљишта, у складу са циљевима дефинисаним у Закону о праћењу здравља земљишта (Soil Monitoring Law) и Стратегији за земљиште до 2030 (Soil Strategy for 2030), као и у повезаним политикама као што су Стратегија за биодиверзитет 2030 (EU Biodiversity Strategy 2030), План за нулто загађење (Zero Pollution Action Plan) и Стратегија од њиве до трпезе (Farm to Fork Strategy).



Слика 9. Просторна расподела процеса деградације земљишта у Европи (извор: JRC)

10.2. Изазови имплементације система здравља земљишта у Србији

Србија се налази у раној фази успостављања система усклађеног са европским стандардима у области здравља земљишта. Постоје различити стратешки документи и регулаторни акти који се баве аспектима стања земљишта, међу којима је и Правилник о националној листи индикатора заштите животне средине, који садржи одређен број индикатора за праћење стања овог ресурса. Ипак, систем процене здравља земљишта у целини још није у потпуности развијен, нити су успостављени сви елементи неопходни за свеобухватно праћење, тумачење и извештавање. Поред тога, Србија тренутно не располаже поузданом и национално репрезентативном проценом укупног степена здравља земљишта, нити комплетном проценом стања појединачних индикатора који га одређују. Таква процена мора да задовољи принцип просторне репрезентативности, да обухвати различите типове земљишта, климатске услове, интензитет коришћења и регионалне специфичности, како би резултати били реални, упоредиви и применљиви на нивоу целе државе. Посебно је важно да ова процена буде структурисана кроз три репрезентативне географске целине: западну Србију, источну Србију и Војводину, које се значајно разликују по типовима земљишта, начину коришћења и доминантним деградационим процесима. Оваква подела омогућава методолошку доследност, већу територијалну покривеност и израду индикаторских модела прилагођених специфичностима сваког региона, што је предуслов за добијање реалне и национално валидне слике о степену здравља земљишта.

Овако структуриран приступ је од кључног значаја јер деградација земљишта директно утиче на продуктивност пољопривреде, стабилност екосистема, отпорност на климатске промене, здравље становништва и дугорочну безбедност природних ресурса. Успостављање система здравља земљишта стога представља основни механизам за благовремено препознавање ризика и усмеравање мера ка превенцији и очувању функција земљишта, уместо интервенција које се предузимају тек након што деградација достигне критичан ниво.

10.3. Дефиниција здравља земљишта

За разлику од традиционалних приступа који су земљиште вредновали углавном кроз његов тренутни агрономски или производни учинак, савремени систем здравља земљишта полази од ширег сагледавања његове улоге у одржавању екосистема. Он обухвата способност земљишта да у дугом временском периоду подржава и регенерише основне производне, регулаторне, носиве и културне функције, укључујући производњу хране, регулисање водног режима и складиштење угљеника као и очување биодиверзитета. У том смислу, здравље земљишта није крајње стање, већ процесна особина, односно одраз његове отпорности, прилагодљивости и способности да одговори на природне и антропогене притиске, без губитка интегритета.

У средишту овог система налази се идеја да земљиште, као живи ентитет, поседује унутрашњу динамику и способност саморегулације. Његово здравље огледа се у начину на који повезује процесе унутар биосфере, у томе како посредује између атмосфере, биљног покривача, подземних вода и биолошких заједница које у њему обитавају. Такво разумевање захтева холистички приступ који обухвата физичке, биолошке, хемијске и функционалне аспекте земљишта у њиховој међузависности и просторно-временској динамици. Тиме се улази у шири дискурс о климатској отпорности, очувању биодиверзитета, безбедности хране и одрживом коришћењу земљишног простора.

Систем здравља земљишта захтева промену начина размишљања од процене употребне вредности ка процени функционалног капацитета. Он успоставља мост између науке и политике, између локалних знања и глобалних изазова, подстичући развој интегрисаних метода оцењивања, стратешког планирања и прилагођених мера заштите. У том смислу, здравље земљишта постаје темељни показатељ одрживости једног система и оријентир за обликовање будућих политика заштите природе и ресурса.

У савременим оквирима политике очувања природних ресурса, здравље земљишта се све чешће сагледава као вишеслојни систем који обухвата различите димензије његовог стања и функционалности. Једна од широко прихваћених дефиниција описује га као **„физичко, хемијско и биолошко стање земљишта које одређује његову способност да функционише као виталан живи систем и да обезбеђује екосистемске услуге“**. Овакво одређење наглашава унутрашњу повезаност између основних својстава земљишта и његове улоге у стабилности природних система. Према проширеном тумачењу, у процену здравља земљишта потребно је укључити и контекст његове употребе. У складу са тим, дефинише

се као „*физичко, хемијско, функционално и биолошко стање земљишта које одређује његову способност да функционише као виталан живи систем и да обезбеђује екосистемске услуге, узимајући у обзир намену коришћења земљишта*“. Овим се приступ процени стања земљишта проширује и уводи флексибилнији, прилагодљив оквир, који омогућава повезивање здравља земљишта са специфичностима простора, пејзажа и начина коришћења.



Слика 10. Визуелизација дефиниције здравља земљишта

10.4. Димензије деградације и потреба за индикаторима

Земљиште је изложено вишеструким облицима деградације који директно умањују његову способност да обавља своје функције. Кључни типови деградације укључују:

- Физичку деградацију, као што су збијеност, структура и ерозија земљишта;
- Хемијску деградацију, укључујући загађење потенцијално токсичним елементима кисељавање, осиромашење хранљивим материјама;
- Биолошку деградацију, изражену кроз смањену активност микроорганизама, губитак органске материје и биодиверзитета;
- Еколошку деградацију, као сложену комбинацију претходних, која доводи до поремећаја у екосистемским функцијама.

За разлику од опсервација које препознају деградацију тек када је она очигледна, индикаторима је могуће уочити промене у раним фазама, идентификовати ризике и предузети мере заштите пре него што деградација постане неповратна.

10.5. Избор индикатора здравља земљишта

Индикатор представља параметар или синтетизовану вредност добијену из мерења појединачних физичких, хемијских и биолошких својстава земљишта, која служи за тумачење сложених процеса и трендова унутар земљишног система. У контексту управљања земљишним ресурсима, индикатор не представља само бројчану вредност, већ и средство за тумачење сложених процеса који се одвијају унутар земљишног система. Његова улога је вишеслојна, пружање увида у стање, препознавање потенцијалних ризика и усмеравање одлука у области очувања, мониторинга и просторног планирања.

Основни приступ заснива се на томе да индикатор представља мерљив параметар или вредност која пружа информацију о стању и променама у земљишту. Они имају двоструку улогу јер са једне стране смањују број потребних мерења свдећи их на суштинске параметре, а са друге стране омогућавају комуникацију резултата ка доносиоцима одлука и широј јавности. Да би били употребљиви, индикатори морају задовољити више критеријума. Први је да буду релевантни за политику и лако тумачљиви. Други је да имају довољну осетљивост и стабилан сигнал у односу на варијабилност у простору и времену како би се промене поуздано детектовале. Трећи је да буду практични за мерење и усклађени са стандардизованим протоколима. Четврти критеријум односи се на економску ефикасност јер овај систем мора бити одржив дугорочно. Индикатори здравља земљишта се не посматрају изоловано већ у функцији шире слике о функционисању земљишта као живог система. Њихова вредност није само у томе да квантитативно изразе одређену особину, већ и у томе да кроз своју интерпретацију помогну у оцени да ли земљиште испуњава своје кључне функције и да ли постоје знаци деградације које треба препознати и адресирати на време.



Слика 11. Физичке, хемијске и биолошке карактеристике - темељ здравог земљишта

Методолошки, индикатори се развијају и анализирају кроз различите изворе и приступе као што су лабораторијска и аналитичка мерења, статистичко моделирање, експертне процене и знања из праксе. Могу се изражавати у различитим јединицама, а њихова евалуација укључује параметре међу којима су средња вредност, стандардна девијација, медијана или одступања од референтних вредности. Индикатори могу бити квантитативни, на пример концентрација органске материје, квалитативни, као што је визуелна процена структуре земљишта, или комбиновани. Оваква разноврсност захтева јасан оквир интерпретације који омогућава њихову употребу у различитим агроколошким, просторним и временским условима.

У савременим приступима, индикатори се најчешће класификују у две основне категорије:

- Статистички индикатори, који су део систематских програма мониторинга, заснивају се на лабораторијским подацима и омогућавају детаљно, квантитативно праћење својстава земљишта кроз дуже временске периоде;
- Индикатори за теренску процену, који се заснивају на једноставнијим, визуелним или брзим тестовима и користе се за непосредну оцену стања земљишта, често као алат у комуникацији са пољопривредницима, планерима и другим корисницима.

Међутим, да би индикатори заиста били поуздани и применљиви у оцени здравља земљишта, њихов избор мора бити заснован на методолошки доследним принципима који одражавају сложеност и динамичност земљишног система. Кључно је да сваки индикатор осликава не само тренутни статус одређених особина, већ и промене које указују на потенцијалне поремећаје, регенерацију или дугорочну стабилност. Његова употреба треба да буде оправдана дубинским разумевањем процеса које представља, а не искључиво доступношћу података или једноставношћу мерења. Поред тога, индикатор мора имати способност да региструје промене које настају као последица спољашњих утицаја, било природних или антропогених. Само тако је могуће благовремено идентификовати угрожаваће функција земљишта, што омогућава доношење проактивних мера у области очувања и управљања земљиштем. Једнако је важна његова квантитативна прецизност и методолошка поновљивост. Мерљивост мора бити осигурана кроз валидиране и стандардизоване методе, како би се добијени резултати могли међусобно упоређивати у различитим временским периодима и просторним контекстима, независно од природне хетерогености земљишта. Осим временске стабилности, индикатор треба да има и просторну конзистентност, како би омогућио израду карата, идентификацију просторних образаца и сагледавање ширих еколошких трендова. Важно је и да буде репрезентативан за агроколошке и пејзажне карактеристике подручја у којем се примењује, јер само тако може дати тачне информације о стању земљишних функција у реалним условима. На крају, посебну вредност индикатор има када његове резултате могу да тумаче и користе различите заинтересоване стране. Да би ушао у ширу употребу, мора бити разумљив, практичан и релевантан за планирање, доношење политика и имплементацију мера на терену. Индикатор који је теоријски утемељен, али оперативно непрактичан или тешко разумљив, не доприноси ефикасности система управљања земљишним ресурсима.

10.6. Интегрисани систем индикатора

На основу усклађивања са савременим европским стандардима и уважавања специфичних агроеколошких и социоекономских услова Републике Србије, неопходно је успостављање структурираног сета индикатора здравља земљишта, који се састоји од 17 примарних и већег броја додатних индикатора.

Примарни индикатори представљају основни и универзално применљиви скуп параметара који омогућавају поуздану процену кључних функционалних својстава земљишта у контексту његове отпорности, продуктивности и екосистемске одрживости. Ови индикатори имају висок степен валидности, мерљивости и интерпретабилности, те су неопходни за праћење стања земљишта кроз простор и време.

Додатни индикатори допуњују процену омогућавајући дубљи увид у специфичне аспекте здравља земљишта или контекстуализацију резултата у посебним условима. Иако нису обавезни у сваком контексту, додатни индикатори се користе у циљу детаљније анализе, моделирања или праћења циљаних интервенција.

Табела 1. Примарни индикатори здравља земљишта

Број	Индикатор
1.	Реакција земљишта
2.	Органски угљеник
3.	Ерозија земљишта
4.	Азот (N)
5.	Однос C/N
6.	Пристапачни фосфор (P_2O_5)
7.	Арсен (As)
8.	Кадмијум (Cd)
9.	Хром (Cr)
10.	Бакар (Cu)
11.	Никл (Ni)
12.	Олово (Pb)
13.	Цинк (Zn)
14.	Жива (Hg)
15.	Запреминска маса земљишта
16.	Структура земљишта
17.	Биодиверзитет земљишта

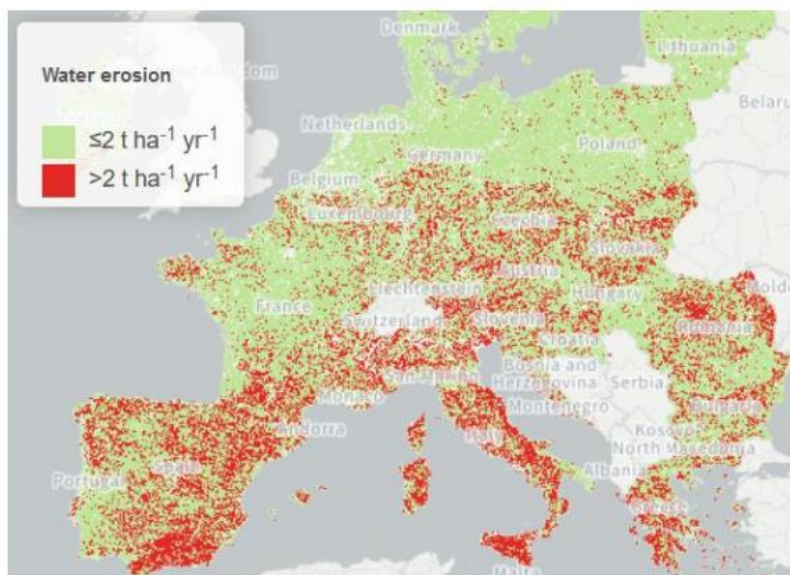
10.7. Толерантне вредности и интервентне вредности

Врста резултата која се добија мерењем индикатора мора јасно да укаже на конкретан циљ процене да ли се земљиште налази у стању стабилности, рањивости или деградације. Како би се омогућила таква процена, пожељно је да за што већи број индикатора буду развијене **толерантне вредности** и **интервентне вредности**.

Толерантна вредност представља границу испод које се одређено својство земљишта још увек сматра погодним за обављање његових кључних функција. Она дефинише праг између здравог и потенцијално деградираниг стања, и користи се као референтна тачка у оцени земљишног здравља. У случајевима када таква вредност није доступна, могу се користити оријентационе границе засноване на регионалним истраживањима, стручној процени или поређењу са репрезентативним локалитетима.

Интервентна вредност представља вредност прекорачења која доводи до озбиљне функционалне угрожености земљишта, уз веома висок ризик од деградације. Ова вредност сигнализира потребу за хитним мерама заштите и обнове како би се спречило даље погоршање стања. Иако није увек могуће прецизно квантификовати ове прагове за сваки индикатор, њихова примена, када је изводљива, значајно доприноси ефикаснијем и циљаном управљању земљиштем.

Толерантне и интервентне вредности представљају основу за класификацију земљишта у односу на његово стање и функционалност. Иако се у највећем броју случајева могу применити као референтне границе, важно је имати у виду да њихова интерпретација може зависити од типа земљишта и специфичног начина коришћења.



Слика 12. Карта индикатора ерозије земљишта (водна ерозија) са применом толерантне вредности: зелена поља представљају „здро“ земљиште ($\leq 2 \text{ t ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$), а црвена поља „нездро“ земљиште ($> 2 \text{ t ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$); (извор: JRC).

Методолошки гледано, толерантне вредности и интервентне вредности могу бити изражене кроз различите концепте мерења, у зависности од природе индикатора и циљева процене:

- **Апсолутне нумеричке границе**

Овај приступ подразумева јасно дефинисане нумеричке вредности које означавају границу између здравог и деградираног (нездоровог) земљишта. Овакве вредности се обично заснивају на широко прихваћеним научним доказима, стандардима или законским и регулаторним смерницама. Њихова предност је једноставна применљивост и јасноћа у тумачењу, али им може недостајати флексибилност у различитим еколошким и педолошким условима.

- **Процена ризика на основу вероватноће**

У ситуацијама када одговор земљишта на одређени притисак није линеаран и зависи од више међусобно повезаних фактора, толерантне вредности и интервентне вредности се могу изражавати у пробабилистичкој форми (као вероватноћа). На пример, може се сматрати да је ризик од деградације земљишта висок ако постоји више од 80% шансе да индикатор пређе одређену критичну вредност. Овај приступ је нарочито користан код комплексних биолошких и функционалних индикатора где није могућа стриктна нумеричка граница.

- **Релативне девијације од референтних или оптималних вредности**

Код неких индикатора, посебно оних који се значајно разликују међу типовима земљишта, толерантне вредности и интервентне вредности се могу дефинисати у односу на локална или референтна стања. На пример, одступање од просечне вредности за неизмењено или "здрави" земљиште у истом региону може указивати на деградацију. Овај приступ омогућава већу контекстуализацију и прилагођавање природним варијацијама, али захтева поуздане податке о референтним условима.

10.8. Здравље земљишта и важност нормализације података

Систем здравља земљишта представља интегративан приступ процени његове продуктивности, стабилности и отпорности на деградацију. Да би се различити показатељи (физички, хемијски и биолошки) могли поуздано упоредити и синтетисати у јединствен индекс, неопходно је спровести нормализацију података. Нормализација осигурава да сви индикатори, иако изражени у различитим јединицама и опсезима вредности, буду сведени на упоредиве димензије. У статистичком смислу, нормализација има двоструку улогу. Прво, омогућава да се сви индикатори доведу у исти ранговни опсег, што елиминише утицај различитих јединица мере. Друго, смањује варијансу између индикатора и тиме спречава да поједине променљиве са великим распоном непропорционално утичу на укупан индекс. На тај начин обезбеђује се да сваки индикатор доприноси мери здравља земљишта сразмерно свом стварном значају.

Да би се нормализација прилагодила различитим типовима индикатора и обезбедило њихово реалистично тумачење, примењују се одговарајуће трансформационе функције које одражавају суштину сваког индикатора и начин на који он учествује у формирању индекса.

- **Функција „више је боље“**

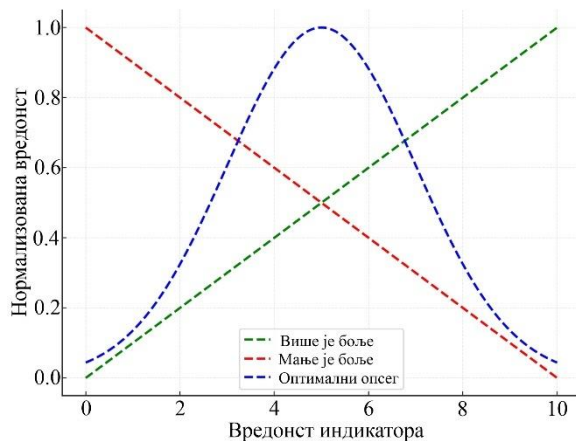
Ова функција се примењује код индикатора где веће вредности значе боље стање земљишта. У пракси то су индикатори који директно побољшавају плодност и продуктивност, као што је на пример садржај органске материје. Статистички гледано, вредности се трансформишу тако да највиша добија највећи значај, док све ниже вредности добијају пропорционално мањи резултат. На тај начин се добија јасна градација између земљишта која су богата хранљивим материјама и оних која показују знаке деградације. У агрегирању индекса ова функција повећава варијансу између различитих узорака и олакшава издвајање најквалитетнијих земљишта.

- **Функција „мање је боље“**

Ова функција се користи када веће вредности значе погоршање стања земљишта. То су индикатори који указују на процесе деградације, као што су висок садржај ПТЕ, прекомерна електропроводљивост или велика заслањеност. У статистичкој обради најниже вредности добијају највише оцене јер представљају најповољније стање, док веће вредности добијају смањен резултат. Овај приступ омогућава да се негативни утицаји прецизно детектују и интегришу у индекс, без ризика да их прикрију позитивни индикатори. У процесу агрегирања функција „мање је боље“ делује као корективни механизам који уравнотежује укупан резултат и снажније истиче ризичне параметре.

- **Функција „оптимални опсег“**

Ова функција се примењује код индикатора за које ни минимум ни максимум нису пожељни, већ постоји интервал у коме су услови најповољнији. Најбољи пример је рН вредност земљишта. Екстремно кисела и екстремно алкална земљишта подједнако ограничавају доступност хранљивих материја и ремете биолошку равнотежу. Статистички, вредности унутар оптималног опсега добијају највећи резултат, док се одступања ка обе крајности постепено санкционишу нижим оценама. Ова функција је посебно значајна јер у агрегирању индекса делује стабилизујуће, наглашава потребу за равнотежом и спречава да једностранни трендови буду тумачени као позитивни. На тај начин функција „оптимални опсег“ смањује варијансу и уводи додатну флексибилност у модел, чинећи га осетљивијим на одступања од равнотеже.



Слика 13. Функције нормализације индикатора здравља земљишта

10.9. Додатне методолошке препоруке

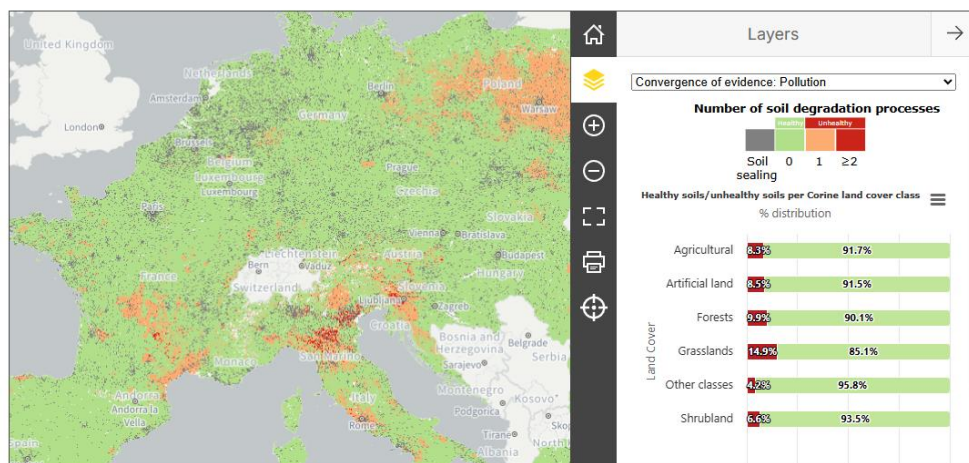
Поред примене различитих функција нормализације пожељно је да се индекси израчунавају појединачно за физичке, хемијске, биолошке и остале индикаторе који описују стање и функције земљишта пре њихове интеграције у јединствен композитни индекс здравља земљишта. Оваква процедура омогућава боље разумевање улоге сваке групе индикатора и обезбеђује да резултати не прикрију специфичне слабости или предности појединих компоненти. На тај начин обезбеђује се транспарентнији и поузданији систем вредновања који је осетљив на различите аспекте деградације и очувања земљишта. Једнако је значајно да се простор организује у хомогене целине које одражавају сличност у вегетационом покривачу, типу земљишта и другим релевантним факторима. Када се анализе спроводе унутар овако дефинисаних целина, резултати постају поузданији јер се елиминише део варијабилности изазван разноликошћу окружења. Истовремено се добија основа за реалистичнију нормализацију података која верније одражава стварне услове на терену. На тај начин мере управљања постају циљаније и ефикасније, а свака целина се посматра као уједначен систем унутар кога се индикатори могу доследно упоређивати и тумачити.

10.10. Развој интегрисаних индикатора за системску оцену здравља земљишта

У савременом систему управљања земљишним ресурсима, развој композитних индекса здравља земљишта представља кључан стратешки корак ка интегрисаном вредновању и праћењу функционалности земљишта. Уместо ослањања на појединачне индикаторе, који одражавају само делимичан увид у стање земљишта, композитни индекс омогућава обједињену и квантитативну процену вишеструких аспеката земљишне функционалности. На тај начин, сложени скуп информација преводи се у јединствену, нумерички изражену вредност, што значајно унапређује могућности за одлучивање, планирање и евалуацију политика у области заштите земљишта. Традиционални бинарни модели процене, у којима се земљиште оцењује као здраво или нездраво на основу тога да ли одређени индикатор премашује толерантну вредност, и даље се примењују због своје једноставности. Ипак, овакав приступ не омогућава прецизну оцену степена нарушености здравља земљишта, јер

се занемарује кумулативни ефекат вишеструких, чак и благих нарушавања, што може довести до неадекватне интерпретације стварног стања. Јасан пример ових ограничења пружа Soil Health Dashboard, где се приказује расподела деградационих процеса условљених полутантима на територији ЕУ (Слика 14). У овом систему земљишта су категорисана бинарно, као „здрава“ или „нездрава“, без могућности да се разликује степен нарушености, што додатно потврђује потребу за напреднијим, вишестепеним приступима процене здравља земљишта. Због тога се у стратегијама одрживог управљања земљиштем све више преферира коришћење композитних индекса који омогућавају рангирање локалитета према степену очуваности и функционалности земљишта.

Такође, као један од приступа процени стања земљишта у оквиру глобалних иницијатива све чешће се примењује такозвани „traffic light“ систем. Ова метода заснива се на категоризацији индикатора у три нивоа при чему зелено означава здрава земљишта, жуто представља ризичну зону, а црвено упућује на нездрава земљишта. Све вредности пореде се са унапред дефинисаним прагом (толерантна вредност). Предност овог приступа огледа се у једноставности и могућности да се резултати лако пренесу различитим циљним групама, али његово ограничење је губитак детаљнијих информација, јер се континуалне промене свде на категоријалне оцене, што може умањити видљивост нијанси у просторним и временским варијацијама стања земљишта.



Слика 14. Пример примене бинарног модела у процени здравља земљишта у односу на садржај ПТЕ (Извор: JRC)

10.11. Класификација композитног индекса здравља земљишта

У циљу практичне примене система здравља земљишта и његове интеграције у националне и локалне политике управљања земљишним ресурсима, неопходно је дефинисати јасан и оперативан систем интерпретације вредности композитног Индекса здравља земљишта (Soil Health Index, SHI). Иако је сам индекс континуирана нумеричка мера у опсегу од 0 до 1 или скалиран на 0 до 100, за потребе планирања мера очувања, праћења динамике стања и утврђивања приоритета интервенција, неопходно је спровести класификацију у више категорија здравља земљишта. Класификација омогућава да се сложени квантитативни

результати преведу у разумљиве и употребљиве информације које могу да користе различити актери, укључујући истраживаче, доносиоце одлука и кориснике земљишта. У том оквиру примењују се два приступа класификације: стандардна класификација са унапред дефинисаним интервалима и класификација заснована на квартилној подели добијених вредности индекса. С друге стране, у ситуацијама када доступни скуп података није статистички репрезентативан или не показује довољан степен варијабилности за поуздану процену здравља земљишта, препоручује се примена поједностављеног класификационог приступа. Такав приступ може бити заснован на бинарној класификацији „здрово“ и „нездрово“ или на „traffic light“ систему који разликује стабилно стање, стање које захтева праћење и стање које захтева интервенцију. Иако ови приступи не обезбеђују пуну статистичку конзистентност, могу послужити као оријентациони инструмент за општу оцену стања, нарочито у условима ограниченог броја података или просторне неуједначености узорака.

- **Стандардна класификација према фиксним вредностима**

Ова класификација полази од претпоставке да се индекс здравља земљишта изражава на скали од 0 (потпуно деградирано) до 1 (оптимално здраво), односно од 0 до 100 када је скалиран ради лакше интерпретације. Категорије се одређују према унапред дефинисаним опсезима који представљају различите нивое очуваности и функционалности земљишта:

Табела 2. Стандардна класификација здравља земљишта на основу вредности композитног индекса

Вредност индекса (0 - 1)	Скалирано (0-100)	Категорија здравља земљишта
0,80 - 1,00	80 - 100	Оптимално функционално земљиште
0,60 - 0,79	60 - 79	Земљиште са очуваном функционалном стабилношћу
0,40 - 0,59	40 - 59	Земљиште са благо нарушеном функционалном равнотежом
0,20 - 0,39	20 - 39	Земљиште са израженим дисфункционалним стањем
0,00 - 0,19	0 - 19	Земљиште са готово потпуним губитком функционалности

Напомена: Вредности 0 код појединачних индекса указују на то да је земљиште испод толерантне вредности за одређену компоненту (физичку, хемијску или биолошку), док код композитног SHI индекса вредност 0 означава најнижи ниво укупне функционалности земљишта.

- **Квартилна класификација заснована на статистичкој дистрибуцији**

Алтернативно, класификација може бити изведена из саме расподеле вредности композитног индекса у конкретном узорку, што омогућава контекстуализовано и релативно рангирање земљишта у оквиру посматраног простора. Коришћењем квартилне поделе (25.

перцентил, 50. перцентил, 75. перцентил) дефинишу се четири класе које рефлектују релативну позицију сваке тачке или локалитета.

Табела 3. Релативна класификација здравља земљишта у односу на све анализиране локалитете (напомена: редослед квартила је инвертован ради лакшег тумачења).

Квартил	Опсег индекса (емпиријски)	Категорија здравља земљишта
Q1	75. - 100. перцентил	Земљиште са највишим вредностима индекса
Q2	50. - 74. перцентил	Земљиште изнад просека
Q3	25. - 49. перцентил	Земљиште испод просека
Q4	0. - 24. перцентил	Земљиште са најнижим вредностима индекса

Квартилна класификација је посебно корисна у условима високог регионалног диверзитета, јер омогућава идентификацију релативно здравијих и угроженијих подручја чак и када апсолутне вредности индекса нису екстремне. Овај приступ омогућава рангирање сваког локалитета у односу на све анализиране локалитете у оквиру посматраног подручја, чиме се постиже већа прецизност у локалном контексту.

10.12. Примарни индикатори здравља земљишта у Србији

Примарни индикатори здравља земљишта одабрани су у складу са карактеристикама и стањем земљишта у Србији. Они представљају основу за процену физичких, хемијских и биолошких својстава која одређују његову продуктивност, стабилност и отпорност на деградацију.

Следеће табеле приказују примарне индикаторе који се користе у праћењу стања земљишта. За сваки индикатор наведене су основне функције, поступци узорковања и анализе, јединице мере и интервентне вредности које омогућавају процену нивоа здравља земљишта.

Табела 4. Основни параметри индикатора реакције земљишта

Параметар	Вредност / опис
Основна функција	Показатељ киселости или алкалности земљишта; утиче на биодоступност хранљивих материја, токсичност метала и активност микроорганизама.
Узорковање	По LUCAS стандарду (JRC105923; LUCAS2018; JRCTechnicalReport).
Јединица	pH јединице

Доња толерантна вредност (токсичност)	pH 4,5 у 1N KCl / pH 5,0 у H ₂ O; ризик алуминијумске токсичности и смањене биодоступности фосфора.
Горња толерантна вредност (алкализација/заслањивање)	pH 8,5 у 1N KCl / pH 8,8 у H ₂ O; ризик алкализације и секундарног заслањивања.
Дубина узимања узорака	0-30 cm и 30-60 cm; 0-10 cm у урбаним подручјима.
Аналитичка метода	Потенциометријска метода у суспензији земљиште: 1N KCl (1:2,5) и земљиште:H ₂ O (1:2,5) према SRPS ISO 10390.

Табела 5. Основни параметри индикатора садржаја органског угљеника у земљишту

Параметар	Вредност / опис
Основна функција	Главни показатељ плодности; извор хранљивих материја; побољшава структуру и капацитет задржавања воде; утиче на биолошку активност и стабилност екосистема.
Узорковање	По LUCAS стандарду (JRC105923; LUCAS2018; JRCTechnicalReport).
Јединица	% органски угљеник
Најнижа (оптимална) толерантна вредност вредност	2,0% садржаја органског угљеника (минимум за одрживу плодност минералних земљишта).
Највиша (оптимална) толерантна вредност вредност	7,0% садржаја органског угљеника (висок ниво плодности и добра структура).
Интервентна вредност (Доња граница деградације)	< 60% од природног садржаја за испитивано земљиште или 1,5% органског угљеника (индикатор деградације и смањења плодности).
Дубина узимања узорака	0-30 cm за оранице; 0-10 cm за травњаке и повртњаке.
Аналитичка метода	Бихроматна метода по Тјурину, метода по Kotzman-у (оксидација KMnO ₄) или суво сагоревање према SRPS ISO 10694.

Табела 6. Основни параметри индикатора ерозије земљишта (водна ерозија)

Параметар	Вредност / опис
Основна функција	Губитак земљишта услед водне ерозије
Модел	Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) и/или Модела потенцијала ерозије (МПЕ)
Јединица	t ha ⁻¹ god ⁻¹ и/или m ³ km ⁻² god ⁻¹
Толерантна вредност	2 t ha ⁻¹ god ⁻¹ (дубина земљишта < 70 cm) ≈ 154 m ³ km ⁻² god ⁻¹ * 4 t ha ⁻¹ god ⁻¹ (дубина земљишта ≥ 70 cm) ≈ 308 m ³ km ⁻² god ⁻¹ *

Методолошки приступ	Renard et al., 1997; Гавриловић, 1972
Обавезне процедуре	Процена мора да обухвата теренску валидацију, теренско узорковање и лабораторијску анализу земљишта при израчунавању фактора К; коришћење података са аутоматских метеоролошких станица ради добијања максималних 30-минутних интензитета падавина и верификацију вредности са плувиографских трака при израчунавању фактора R.

* У извршеној трансформацији примењена је вредност запреминске масе земљишта од 1,3 g/cm³; за методолошки поуздане резултате неопходно је спровести одговарајуће теренске и лабораторијске анализе.

Табела 7. Основни параметри индикатора укупног азота у земљишту

Параметар	Вредност / опис
Основна функција	Показатељ плодности и расположивог азота за биљке; индиректно указује на ниво органске материје.
Узорковање	По LUCAS стандарду (JRC105923; LUCAS2018; JRCTechnicalReport).
Јединица	% или g/kg
Најнижа (оптимална) толерантна вредност вредност	0,1% (слабо плодно земљиште).
Највиша (оптимална) толерантна вредност вредност	0,3-0,4% (добро плодно земљиште).
Дубина узимања узорака	0-30 cm (оранични слој).
Аналитичка метода	Модификована метода по Kjeldahl-у (SRPS ISO 11261), или суво сагоревање (SRPS ISO 13878).

Табела 8. Основни параметри индикатора односа C/N у земљишту

Параметар	Вредност / опис
Основна функција	Показатељ минерализације органске материје и баланса угљеника и азота.
Јединица	Однос, без димензије.
Најнижа (оптимална) толерантна вредност вредност	8 (брза минерализација, нижа стабилност органске материје).
Највиша (оптимална) толерантна вредност вредност	12-15 (уравнотежена минерализација).
Дубина узимања узорака	0-30 cm.
Аналитичка метода	Комбиновањем метода за органску материју и укупан азот.

Табела 9. Основни параметри индикатора приступачног фосфора (P₂O₅) у земљишту

Параметар	Вредност / опис
Основна функција	Макроелемент неопходан за развој биљака; део енергетских процеса.
Узорковање	По LUCAS стандарду (JRC105923; LUCAS2018; JRCTechnicalReport).
Метод екстракције	AL-метод (Egner-Riehm) или Olsen-метод за земљишта са pH > 7 (SRPS ISO 11263).
Јединица	AL: mg P ₂ O ₅ / 100 g; Olsen: mg P / kg.
Недостатак	AL: 10; Olsen: 20.
Горња толерантна вредност (вредност могућег испирања)	AL: 50; Olsen: 50.
Дубина узимања узорака	0-30 cm.
Аналитичка метода	Према AL и Olsen процедурама; SRPS ISO 11263.

Табела 10. Основни параметри индикатора садржаја арсена (As) у земљишту

Параметар	Вредност / опис
Функција	Праћење и процена контаминације арсеном ради заштите здравља људи, екосистема и пољопривредне производње; идентификација ризика од токсичности и преноса у ланац исхране.
Узорковање	По LUCAS стандарду (JRC105923; LUCAS2018; JRCTechnicalReport). Композитни узорци унутар парцеле; гушће узорковање на врућим тачкама.
Јединица	mg/kg (сува материја).
Толерантна вредност (background)	До 18 mg/kg.
Интервентна вредност (ремедијациона)	≥ 55 mg/kg.
Дубина узимања узорка	0-30 cm и 30-50 cm; у урбаним подручјима 0-10 cm.
Аналитичка метода	Дигестија aqua regia према SRPS ISO 11047; анализа ICP-OES или ICP-MS; алтернативно AAS (пламена или GF-AAS) према SRPS ISO 14870 и ISO 16772.

Табела 11. Основни параметри индикатора садржаја кадмијума (Cd) у земљишту

Параметар	Вредност / опис
Функција	Праћење и процена контаминације кадмијумом; идентификација ризика од фитотоксичности и преноса у ланац исхране.
Узорковање	По LUCAS стандарду (JRC105923; LUCAS2018; JRCTechnicalReport). Композитни узорци унутар парцеле; гушће узорковање на врућим тачкама.
Јединица	mg/kg (сува материја).
Толерантна вредност (background)	Западна Србија и Шумадија: 1,3 mg/kg; остатак Србије: 0,7 mg/kg.
Интервентна вредност (ремедијациона)	≥ 12 mg/kg.
Дубина узимања узорка	0-30 cm и 30-50 cm; у урбаним подручјима 0-10 cm.
Аналитичка метода	Дигестија aqua regia према SRPS ISO 11047; анализа ICP-OES или ICP-MS; алтернативно AAS (пламена или GF-AAS) према SRPS ISO 14870 и ISO 16772.

Табела 12. Основни параметри индикатора садржаја хрома (Cr) у земљишту

Параметар	Вредност / опис
Функција	Праћење и процена контаминације хромом; процена фитотоксичности и ризика по ланац исхране.
Узорковање	По LUCAS стандарду (JRC105923; LUCAS2018; JRCTechnicalReport). Композитни узорци унутар парцеле; гушће узорковање на врућим тачкама.
Јединица	mg/kg (сува материја).
Толерантна вредност (background)	Западна Србија и Шумадија: 97,0 mg/kg; остатак Србије: 58,0 mg/kg.
Интервентна вредност (ремедијациона)	≥ 380 mg/kg.
Дубина узимања узорка	0-30 cm и 30-50 cm; у урбаним подручјима 0-10 cm.
Аналитичка метода	Дигестија aqua regia према SRPS ISO 11047; анализа ICP-OES или ICP-MS; алтернативно AAS (пламена или GF-AAS) према SRPS ISO 14870 и ISO 16772.

Табела 13. Основни параметри индикатора садржаја бакра (Cu) у земљишту

Параметар	Вредност / опис
Функција	Есенцијалан микронутријент; у вишим концентрацијама токсичан. Праћење је важно ради превенције дефицита и токсичности.
Узорковање	По LUCAS стандарду (JRC105923; LUCAS2018; JRCTechnicalReport). Композитни узорци унутар парцеле; гушће узорковање на врућим тачкама.
Јединица	mg/kg (сува материја).
Толерантна вредност (background)	30 mg/kg.
Интервентна вредност (ремедијациона)	≥ 190 mg/kg.
Дубина узимања узорка	0-30 cm и 30-50 cm; у урбаним подручјима 0-10 cm.
Аналитичка метода	Дигестија aqua regia према SRPS ISO 11047; анализа ICP-OES или ICP-MS; алтернативно AAS (пламена или GF-AAS) према SRPS ISO 14870 и ISO 16772.

Табела 14. Основни параметри индикатора садржаја никла (Ni) у земљишту

Параметар	Вредност / опис
Функција	Микроелемент неопходан у малим количинама; у већим концентрацијама токсичан за биљке и микроорганизме, потенцијални ризик по здравље људи.
Узорковање	По LUCAS стандарду (JRC105923; LUCAS2018; JRCTechnicalReport). Композитни узорци унутар парцеле; гушће узорковање на врућим тачкама.
Јединица	mg/kg (сува материја).
Толерантна вредност (background)	Западна Србија и Шумадија: 81 mg/kg; остатак Србије: 47 mg/kg.
Интервентна вредност (ремедијациона)	≥ 210 mg/kg.
Дубина узимања узорка	0-30 cm и 30-50 cm; у урбаним подручјима 0-10 cm.
Аналитичка метода	Дигестија aqua regia према SRPS ISO 11047; анализа ICP-OES или ICP-MS; алтернативно AAS (пламена или GF-AAS) према SRPS ISO 14870 и ISO 16772.

Табела 15. Основни параметри индикатора садржаја олова (Pb) у земљишту

Параметар	Вредност / опис
Функција	Тешки метал и РТЕ који се акумулира услед индустрије, саобраћаја и других извора; значајан ризик за здравље људи и екосистеме.
Узорковање	По LUCAS стандарду (JRC105923; LUCAS2018; JRCTechnicalReport). Композитни узорци унутар парцеле; гушће узорковање на врућим тачкама.
Јединица	mg/kg (сува материја).
Толерантна вредност (background)	60 mg/kg.
Интервентна вредност (ремедијациона)	≥ 720 mg/kg.
Дубина узимања узорка	0-30 cm и 30-50 cm; у урбаним подручјима 0-10 cm.
Аналитичка метода	Дигестија aqua regia према SRPS ISO 11047; анализа ICP-OES или ICP-MS; алтернативно AAS (пламена или GF-AAS) према SRPS ISO 14870 и ISO 16772.

Табела 16. Основни параметри индикатора садржаја цинка (Zn) у земљишту

Параметар	Вредност / опис
Функција	Есенцијалан микронутријент; у повишеним концентрацијама фитотоксичан и екотоксичан.
Узорковање	По LUCAS стандарду (JRC105923; LUCAS2018; JRCTechnicalReport). Композитни узорци унутар парцеле; гушће узорковање на врућим тачкама.
Јединица	mg/kg (сува материја).
Толерантна вредност (background)	90 mg/kg.
Интервентна вредност (ремедијациона)	≥ 720 mg/kg.
Дубина узимања узорка	0-30 cm и 30-50 cm; у урбаним подручјима 0-10 cm.
Аналитичка метода	Дигестија aqua regia према SRPS ISO 11047; анализа ICP-OES или ICP-MS; алтернативно AAS (пламена или GF-AAS) према SRPS ISO 14870 и ISO 16772.

Табела 17. Основни параметри индикатора садржаја живе (Hg) у земљишту

Параметар	Вредност / опис
Функција	Изузетно токсичан метал са потенцијалом биоакумулације; ризик по екосистеме, биљке и људско здравље.
Узорковање	По LUCAS стандарду (JRC105923; LUCAS2018; JRCTechnicalReport). Композитни узорци; гушће узорковање на врућим тачкама.
Јединица	mg/kg (сува материја).
Толерантна вредност (background)	$\leq 0,2$ mg/kg.
Интервентна вредност (ремедијациона)	$\geq 10,0$ mg/kg.
Дубина узимања узорка	0-30 cm и 30-50 cm; у урбаним подручјима 0-10 cm.
Аналитичка метода	Директна анализа техником хладне паре (CV-AAS или CV-AFS) или digestija са даљом ICP-MS анализом.

Табела 18. Основни параметри индикатора густине земљишта (запреминска маса)

Параметар	Вредност / опис
Основна функција	Показатељ збивености и капацитета за задржавање воде и ваздуха; утиче на продирање корена, инфилтрацију и минералну исхрану; одражава степен деградације.
Узорковање	По LUCAS стандарду (JRC105923; LUCAS2018; JRCTechnicalReport).
Јединица	g/cm ³ .
Најнижа оптимална вредност	1,1 g/cm ³ за песковита земљишта са високом порозношћу.
Највиша оптимална вредност	1,3 g/cm ³ за иловаста до глиновита земљишта у добром агроеколошком стању.
Толерантна вредност	$> 1,75$ g/cm ³ као индикатор збивености, смањене порозности и ризика од деградације.
Дубина узимања узорака	Хумусни и подхумусни хоризонт или фиксне дубине према програму мониторинга.
Аналитичка метода	Цилиндри по Копецком према SRPS ISO 11272 или методе према USDA Soil Survey Manual.

Табела 19. Основни параметри индикатора структуре земљишта

Параметар	Вредност / опис
Основна функција	Распоред и повезаност честица у агрегате; утиче на порозност, аерацију, инфилтрацију, отпорност на ерозију и доступност хранљивих материја.
Узорковање	По LUCAS стандарду (JRC105923; LUCAS2018; JRCTechnicalReport).
Јединица	Квалитативна оцена типа структуре или % стабилних агрегата.
Највиша оптимална вредност	80-90% стабилних агрегата оптималне величине; висока стабилност смањује ерозију и повећава инфилтрацију.
Толерантна вредност	< 40% стабилних агрегата оптималне величине, или присуство збијене, масивне, плочасте структуре.
Дубина узимања узорака	0-30 cm за оранице; 0-10 cm за травњаке и повртњаке; у педолошким истраживањима по хоризонтима.
Аналитичка метода	Метода мокрог просејавања (Yoder апарат) за стабилност агрегата; визуелна класификација према SRPS ISO 11074 и FAO смерницама.

Табела 20. Основни параметри индикатора биодиверзитета земљишта

Параметар	Вредност / опис
Основна функција	Показатељ биолошке активности и плодности; кључни за разграђивање органске материје, кружење хранљивих материја, стварање хумуса и одржавање структуре.
Узорковање	Стандардне микробиолошке процедуре; стерилни алати, хлађење и брза анализа; ускладити са педолошким протоколима.
Јединица	CFU/g суве масе или број гена/активности по g суве масе (нпр. qPCR, активност ензима у $\mu\text{g/g/h}$).
Оптимална вредност	Зависи од типа земљишта и сезоне; за пољопривредна земљишта често > 10^6 CFU/g указује на добру активност.
Толерантне вредности	Смањење укупне бројности < 10^3 CFU/g указује на деградацију, загађење или стрес.
Дубина узимања узорака	0-30 cm; код детаљних истраживања и профилно по хоризонтима.
Аналитичка метода	Класичне методе сејања, молекуларне методе (qPCR, секвенцирање 16S rRNA/ITS), и

биохемијски тестови ензимске активности;
стандарди ISO 11063, ISO 17601, ISO 16072.

10.13. Додатни индикатори здравља земљишта

Додатни индикатори здравља земљишта представљају проширени скуп параметара који омогућавају детаљнију и просторније усмерену процену стања земљишта. У појединим подручјима ови индикатори могу имати већу дијагностичку вредност, јер прецизније одражавају просторну разноликост и функционалне особине земљишта. Следећа табела приказује основне додатне индикаторе и методе њиховог одређивања.

Табела 21. Основна листа додатних индикатори здравља земљишта

Редни број	Индикатор	Метода или техника
1	Пристапачни калијум	Амонијум лактат метода (AL) или Mehlich метода
2	Садржај CaCO ₃	Шажблеров калциметар (волуметријско одређивање)
3	Додатни ПТЕ и ретке земље	ICP-OES или ICP-MS; алтернативно AAS (пламена или GF-AAS)
4	Садржај Cr ⁶⁺	Спектрофотометрија; ICP-OES или ICP-MS;
5	Салинитет (електрична проводљивост - EC)	Мерење EC у екстракту засићеног земљишта
6	Концентрација одабраних органских контамината	Течна и гасна хроматографија
7	Микропластика	Спектроскопске, микроскопске и термоаналитичке методе
8	Водни капацитет: капацитет земљишта за задржавање воде; Инфилтрација воде: засићена хидрауличка проводљивост; ваздушни капацитет	Узорковање цилиндри Копецког; одређивање садржаја влаге при различитим матричним потенцијалима у лабораторијским условима коришћењем pressure plate apparatus
9	Ерозија ветром	Revised Wind Erosion Equation (RWEQ)
10	Макрофауна у земљишту (глисте, стогоге, инсекти и други макрооргаризми)	Стандардизоване методе прикупљања макрофауне. Ручно ископавање блокова земљишта и ручно сортирање. Berlese/Tullgren екстракција за мање организме. Постављање трапова. Морфолошка идентификација или метабаркодирање DNK (COI маркер за животиње)

Поред директних физичко-хемијских и биолошких индикатора, процена здравља земљишта може да обухвати и индикаторе који индиректно одражавају стање земљишта и његових функција. На пример, вегетациони покривач представља значајан додатни индикатор здравља земљишта, јер синтетише више процеса који директно и индиректно утичу на функционисање земљишног система. Он одражава биолошку продуктивност и виталност

екосистема, степен заштите земљишта од физичке деградације, регулацију влаге и температуре у површинском слоју, стабилизацију агрегата и органске материје, као и потенцијалну изложеност ерозионим процесима. Његова процена најчешће се базира на даљинским индексима као што су NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), LAI (Leaf Area Index), fPAR (Fraction of Photosynthetically Active Radiation) и FVC (Fractional Vegetation Cover), као и на категоријама вегетационог покривача добијеним из CLC (Corine Land Cover) класификације. Слично томе, хетерогеност пејзажа представља интегративан индикатор који омогућава процену структурне сложености и просторне организације земљишта и вегетације. Овај приступ анализира разноврсност типова земљишта, начина коришћења земљишта, вегетационог покривача и топографских карактеристика, као и њихов међусобни распоред, повезаност и просторну конфигурацију.

Паралелно са применом додатних индикатора, технолошки напредак довео је до увођења приступа који омогућавају бржу и шире примењиву процену стања здравља земљишта. У том оквиру, све више се истичу спектралне технике, које омогућавају добијање информација о својствима земљишта на основу анализе рефлектованог светла, уз минималну припрему узорака. Иако спектрометрија има дугу традицију у природним наукама, њена примена у науци о земљишту постала је значајно ефикаснија онда када је омогућено тумачење целокупног спектралног сигнала, а не само појединачних трака. Ова промена је омогућила добијање сложенијих информација о саставу и стању земљишта. Додатни помак постигнут је применом вештачке интелигенције и метода машинског учења, који омогућавају идентификацију образаца у спектралним сигнаlima и њихово повезивање са својствима земљишта, чиме се повећава поузданост процене. Комбиновањем спектралних података са лабораторијским резултатима граде се прецизни калибрациони модели који омогућавају процену различитих показатеља здравља земљишта на ширем простору, што спектралне технике чини важним допунским алатом савременим програмима праћења стања здравља земљишта.

11. Живе лабораторије и демонстрациони локалитети у Србији

Живе лабораторије представљају теренске, експерименталне и истраживачке просторе у којима се на систематичан и дугорочан начин проучавају процеси који одређују здравље земљишта. Оне повезују научне институције, јавне установе и локалне заједнице у заједничком циљу да се у реалним условима тестирају методе очувања, обнове и процене функције земљишта. Основна идеја овог концепта јесте да се научна сазнања, теренска запажања и управљачке праксе интегришу у јединствен систем који омогућава квантификацију, интерпретацију и предвиђање стања земљишта у различитим еколошким и социо-економским контекстима Србије. У живим лабораторијама се не врши само примена постојећих метода, већ и развој нових индикатора здравља земљишта који боље одражавају националне специфичности. Ови индикатори могу обухватити физичке, хемијске, биолошке и еколошке параметре који се односе на структуру, плодност, органску материју, хидролошку стабилност, биолошку активност и отпорност на деградационе процесе. Поред класичних лабораторијских и теренских параметара, лабораторије ће

омогућити и увођење савремених метода спектроскопских, сензорских и биоиндикаторских анализа, као и коришћење даљинских и геопросторних података за праћење промена у времену. Посебно значајна улога живих лабораторија огледа се у калибрацији и валидацији толерантних и интервентних вредности индикатора здравља земљишта.

Свака жива лабораторија обједињује више експерименталних парцела које покривају различите типове земљишта и начине коришћења, како би се омогућила упоредна анализа процеса и међусобних утицаја. Живе лабораторије биће повезане у националну мрежу са демонстрационим локалитетима који ће служити за приказ добрих пракси, обуку и едукацију пољопривредника, стручњака и шире јавности. Успостављањем мреже лабораторија омогућава се праћење промена кроз дужи временски период, тестирање нових метода и развој индикаторских система који интегришу биофизичке, климатске и друштвене параметре. Оне постају простор за сарадњу, експериментисање и обуку, али и извор података за стратешко планирање, израду националних индекса здравља земљишта и утврђивање приоритета мера заштите.

Као илустрација, могуће је успоставити неколико локација које представљају различите типове деградационих процеса и омогућавају испитивање прилагођених приступа управљању. Тако би, на пример, подручја западне и централне Србије могла послужити за проучавање контаминације земљишта повишеним концентрацијама никла и хрома, области Војводине за анализу губитка органске материје услед интензивне пољопривредне производње, а делови централне Србије за мерење и моделирање процеса водне ерозије, укључујући валидацију и калибрацију процена губитака земљишта добијених RUSLE моделом.

12. Едукација о здрављу земљишта

Кључна препрека унапређењу здравља земљишта у Србији јесте недовољно познавање овог система у различитим друштвеним секторима и слаба комуникација између јавних, научних и стручних заједница. Образовање је средиште промене начина на који друштво вреднује земљиште, оно не подразумева само стицање знања, већ развој компетенција за његову примену у пракси и оснаживање грађана да артикулишу потребу за заштитом земљишта према доносиоцима одлука. У српском контексту то значи јаче упориште теме земљишта у формалном и неформалном образовању, системско повезивање са истраживањима и отвореним подацима, као и бољи приступ саветодавним услугама.

У основним школама потребни су кратки, практични садржаји о земљишту прилагођени узрасту. Школске едукативне баште и мини парцеле у двориштима и парковима помажу да ученици уоче везу између производње хране, биодиверзитета земљишта и кружења хранљивих материја. На универзитетима наставу о здрављу земљишта треба ојачати системским приступима и техничким напретком. Студијске програме треба прилагодити новим трендовима и увести напредне геоинформационе и статистичке методе, уз праксу у живим лабораторијама и на демонстрационим локацијама.

За ширу јавност потребно је систематско информисање о значају здравља земљишта путем медија и едукативних емисија. Кратке рубрике на ТВ и радију, серијали, подкасти и садржаји на друштвеним мрежама треба да преносе јасне поруке и практичне савете о важности здравља земљишта.

13. Интегрисани оквир истраживања и иновација у области здравља земљишта

Према европском моделу, истраживања и програми у области здравља земљишта у Србији треба да буду структурирани око четири приоритетне области које обухватају повезивање знања, праксе, институција и финансијских механизма у јединствен систем. Прва приоритетна област односи се на интеграцију и примену постојећих знања. Србија већ располаже бројним подацима, резултатима истраживања и дугорочним експериментима, али су ти подаци често распршени између различитих институција и недовољно доступни. Неопходно је успоставити националну платформу за земљишне податке која би обједињавала све релевантне изворе и омогућила синергију између истраживања, мониторинга и планирања мера. Таква интеграција би обезбедила континуитет знања, транспарентност и ефикасније коришћење постојећих ресурса. Друга област обухвата повезивање науке и праксе кроз успостављање „живих лабораторија“ и „демонстрационих локација“. Ове структуре треба да омогуће испитивање и унапређење научних сазнања у реалним условима, уз активно учешће локалних заједница. Такви простори би постали покретачи примене одрживих технологија и пракси, као што су очување угљеника у земљишту, смањење ерозије, агроеколошка и органска производња, као и очување подручја високе природне вредности. Трећа област односи се на развој саветодавних и образовних услуга. С обзиром на регионалне разлике у типовима земљишта, клими и интензитету деградационих процеса, потребно је прилагодити обуку и подршку специфичним условима сваког подручја. Саветодавне службе, пољопривредне школе, универзитети и институти треба да делују координисано, са циљем да све заинтересоване стране имају сталан приступ актуелним знањима, новим методама и практичним алатима за одрживо управљање земљиштем. Четврта област подразумева јачање институционалних и финансијских механизма за подршку промени система управљања земљиштем. Потребно је успоставити трајне облике координације између надлежних министарстава, истраживачких институција и локалних самоуправа, као и омогућити боље повезивање националних буџетских средстава са европским и међународним фондовима. Финансијска подршка треба да буде усмерена на програме који подстичу иновације, унапређују мониторинг, повећавају отпорност земљишта на климатске утицаје и доприносе заштити природних ресурса.

14. Стандардизација формата и координатних система у оквиру здравља земљишта

Успостављање поузданог система за праћење здравља земљишта захтева не само дефинисање одговарајућих индикатора, већ и стандардизацију формата у којима се подаци

прикупљају, чувају и размењују. Како систем здравља земљишта обухвата различите компоненте, неопходно је да подаци буду разноврсни и доследно структурирани, почев од лабораторијских анализа и теренских мерења, преко климатских и топографских информација, до снимака добијених даљинском детекцијом и података са сензора.

INSPIRE директива (Infrastructure for Spatial Information in the European Community) прописује да се подаци који се размењују на европском нивоу представљају у координатном систему ETRS89 / LAEA Europe (EPSG 3035) и да буду усклађени са ISO и OGC стандардима. У Републици Србији, према важећим прописима, званични државни геодетски референтни систем је SRB_ETRS89, заснован на елипсоиду GRS80 и Универзалној трансверзалној Меркаторовој пројекцији (UTM) чије параметре утврђује и одржава Републички геодетски завод. Сходно томе, сви скупови података, индикаторски слојеви и веб сервиси у области здравља земљишта морају бити усаглашени и са националним координатним оквиром SRB_ETRS89 UTM и са INSPIRE стандардима за европску размену.

Следећа табела представља преглед препоручених формата у систему здравља земљишта, са кратком напоменом о њиховој намени.

Табела 22. Препоручени формати у систему здравља земљишта

Тип података	Формат (стандард)	Функција
Векторски	GeoPackage (.gpkg)	Примарни формат за просторне податке
Векторски	Shapefile (.shp)	Широко коришћен формат за размену података
Векторски	GeoJSON (.geojson)	Размена података преко веб апликација
Векторски	GML (.gml)	INSPIRE формат за размену просторних података
Растерски	GeoTIFF (.tif)	Основни формат за растерске податке
Растерски	NetCDF (.nc)	Климатски и временски низови
Базе	PostGIS / PostgreSQL	Централно складиште података
Метаподаци	ISO 19115 / 19139	Стандарди за опис скупова података и методологија
Специфични	OGC SensorThings API	Прикупљање података у реалном времену
Табеларни	CSV (X, Y, EPSG)	Чување лабораторијских резултата узорковања са геореференцама

15. Мониторинг земљишта и вруће тачке у Србији

Мониторинг земљишта у Републици Србији представља кључну компоненту система заштите земљишта, јер омогућава добијање поузданих података о стању и променама здравља земљишта, процесима деградације и присуству контаминаната. Мониторинг је у пракси подељен на систематски мониторинг, који обезбеђује дугорочан преглед стања на репрезентативним локацијама широм земље, и мониторинг врућих тачака, који је усмерен на приоритетне локације са израженим еколошким ризицима.

Мониторинг земљишта почива на пет основних постулата:

- Употреба стандардизованих протокола за узорковање земљишта, анализу и извештавање о подацима кључна је за обезбеђивање конзистентности и квалитета података.
- Сарадња са другим заинтересованим странама, укључујући истраживаче, креаторе политике и стручњаке из индустрије, неопходна је у идентификовању празнина у знању и развоју ефикасних решења. Приликом решавања проблема загађења земљишта у Србији треба узети у обзир различите приступе
- Препозната је важност континуираног праћења како бисмо пратили промене у здрављу земљишта током времена и проценили не само ефикасност напора мелиоративних и ремедијационих мера, већ и кумулативни ефекат деградационих процеса у земљишту током дужег временског периода. Штавише, идентификовање и карактеризација подручја са вишеструким деградационим процесима значајно ће побољшати наше разумевање деградације земљишта.
- Земљиште је сложен систем у коме се физичке, хемијске и биолошке реакције одвијају у четири фазе. Чврсте (неорганске и органске), течне, гасовите и неводене (NAPL). Интеракцију и реактивност одређеног загађивача земљишта треба размотрити узимајући у обзир не само хемијска својства већ и интеракцију са компонентама земљишта. Ови подаци треба да буду укључени у базу података о земљишту.
- Отвореност датог система и могућност убацивања нових карактеристика земљишта у циљу побољшања оцене здравља земљишта одређеног подручја.

15.1. Систематски мониторинг здравља земљишта

Србија већ поседује свеобухватан правни оквир који омогућава систематски мониторинг и заштиту земљишта. Кључни прописи који регулишу ову област обухватају Закон о заштити земљишта, Закон о заштити животне средине и Закон о управљању отпадом. Ови закони дефинишу обавезе државе и локалних самоуправа у праћењу и ремедијацији контаминираних локација, управљању депонијама, као и у ограничавању присуства загађујућих супстанци које могу негативно утицати на квалитет земљишта.

Према Закону о заштити земљишта, мониторинг се спроводи на нивоу државне мреже, локалних мрежа, као и на локацијама на којима се обављају активности које могу довести до загађења или деградације земљишта. Ове активности спроводе овлашћена правна лица, а добијени подаци се уносе у Информациони систем за земљиште, чиме се обезбеђује организовано праћење стања и планирање мера заштите.

Тренутни систем мониторинга земљишта у Србији у великој мери се заснива на педолошкој карти као основу за избор локација, што представља методолошку слабост. Иако је педолошка карта корисна за приказ типова земљишта и њихових основних својстава, она не одражава стварне и динамичке процесе деградације, контаминације и утицаја људских активности. Последица тога је неравномерна покривеност, при чему су подручја са израженим проблемима, посебно урбана и индустријска, често недовољно заступљена. У савременом систему мониторинга неопходно је узети у обзир и просторни аспект, односно административне јединице и начин коришћења земљишта. Због високе просторне варијабилности својстава и намена земљишта, једна „јединица земљишта“ може обухватати површине које нису међусобно повезане. Поред тога, приликом дефинисања граница земљишних јединица потребно је урачунати и остале еколошке факторе, како би се обезбедила реална слика стања и ризика по земљишне ресурсе.

У циљу унапређења и развоја програма за праћење здравља земљишта, као и њиховог усклађивања са системом мониторинга Европске уније, у Србији се постепено уводи приступ заснован на LUCAS пројекту (Land Use and Coverage Area Frame Survey). Циљ овог приступа је успостављање заједничког оквира за разумевање појма здравог земљишта кроз дефинисање минималног скупа заједничких и мерљивих критеријума, чије непоштовање би указивало на критичан губитак способности земљишта да функционише као виталан живи систем и да обезбеђује кључне екосистемске услуге. LUCAS пројекат обезбеђује стандардизовано и хармонизовано прикупљање података о коришћењу земљишта, покривености површина и особинама земљишта, уз посебан фокус на праћење промена у начину коришћења и покривености земљишта, као и на прикупљање података о његовим физичко-хемијским својствима и другим параметрима животне средине. За описивање процеса деградације неопходно је успоставити заједничке индикаторе земљишта који се могу поуздано мерити или процењивати. Иако постоје значајне разлике између типова земљишта, климатских услова и начина коришћења, савремена научна сазнања омогућавају дефинисање основног скупа универзалних критеријума, који се затим морају прилагодити локалним условима.

Узорак истраживања ће бити дизајниран из комплетног узорка који садржи најбоље доступне информације о распрострањености својстава земљишта, укључујући претходна национална мерења и мерења у оквиру LUCAS програма. Шема узорковања ће бити стратификовано случајно узорковање. Величина националног узорка мора испуњавати захтев за максималну процентуалну грешку (или коефицијент варијације) од 5% за процену подручја које има здраво земљиште. Узорак мора допринети минимум 20% величине националних узорака. Расподела и величина узорка ће се одредити применом Бетеловог алгорита (Bethel, 1989) узимајући у обзир потребну максималну грешку процене.

Стратификовано случајно узорковање засновано на типу земљишта. Стратификационе варијабле могу укључивати климатске услове, тип земљишта, тип коришћења земљишта и административне регионе. Потребно је омогућити да одређени проценат локација за узорковање (до 20%, а не мање од 10%) буде посвећен циљном узорковању ради посебних истраживања или процене ризика.

У случају да на нивоу државе постоји план узорковања који испуњава одређене критеријуме, референтна методологија може бити модификована. На основу просечних података у ЕУ предвиђена је мрежа од око 450 тачака, које би биле репрезентативне за различите типове земљишта, агроеколошке услове и начине коришћења простора Србије. На овим тачкама спроводи се узорковање земљишта (најчешће у слоју 0-10 и 10-30 cm, а по потреби и у дубљим хоризонтима), лабораторијске анализе и бележење параметара који обухватају: садржај потенцијално токсичних елемената, органску материју, рН реакцију, заслаћеност, ерозију земљишта, збијеност, садржај хранива и друге физичко-хемијске и биолошке карактеристике.

Мониторинг се обавља периодично, углавном на шест година, како би се обезбедило праћење дугорочних трендова и правовремено реаговање на ризике деградације. Циљеви и очекивани распони за обезбеђивање референтних вредности треба да буду специфични за земљиште. Укључиће методологије засноване на грађанској науци и новим токовима података о земљишту (нпр. даљинска детекција, краудсорсинг (енг. crowdsourcing), сензорске мреже), као и робусне процедуре валидације и тестирања иновативних технологија мониторинга здравља земљишта. Ово обухвата примену рецепторских модела, алгоритама машинског учења и других напредних аналитичких приступа који омогућавају интеграцију хетерогених извора података и повећање просторне и временске резолуције праћења.

Да би се смањило административно оптерећење, прописано је да је довољно да лабораторије поседују један вид акредитације за било коју од методологија које се користе за одређивање индикатора здравља земљишта. Лабораторије, као и организације које оне ангажују, дужне су да примењују системе управљања квалитетом у складу са признатим међународним стандардима. У том контексту, Акредитационо тело Србије (АТЦ) има кључну улогу, јер је надлежно за акредитацију свих организација које обављају испитивања земљишта. Процес акредитације се спроводи у складу са стандардом SRPS ISO/IEC 17025, при чему се у обиму акредитације јасно дефинишу методе испитивања и референтни документи које лабораторија примењује. На овај начин обезбеђује се поузданост, упоредивост и квалитет резултата мониторинга земљишта.

15.2. Мониторинг врућих тачака

За разлику од ситематског мониторинга, мониторинг врућих тачака је фокусиран на локализоване изворе загађења и локације са повећаним ризиком по здравље људи и животну средину. Вруће тачке обухватају индустријске зоне, рударско-енергетске басене,

несанитарне и опасне депоније, локације историјског загађења као и локације на којима се обављају активности које могу бити или су узрок загађења или деградације земљишта.

Критеријуми за избор врућих тачака су: постојање индустријских постројења и рударских активности са историјом емисија загађујућих материја, постојање несанитарних и опасних депонија, органских полутаната, као и урбана подручја са израженим антропогеним притисцима.

Мониторинг врућих тачака обухвата циљано узорковање (најчешће до 30 cm, а код специфичних контаминаната и до 1 m), лабораторијску анализу хемијског састава земљишта и идентификацију загађујућих материја (потенцијално токсични елементи, органски полутанти, нафтни деривати, пестициди). Анализа врућих тачака зависи од више фактора, укључујући тип загађења, географске карактеристике, дубину и начин контаминације, као и временски период настајања и трајања загађења. У случајевима када су активности, попут подземног складиштења опасних материја, довеле до цурења контаминаната у матични супстрат, потребно је анализирати и подземне слојеве (bedrock, parent material) јер загађење може мигрирати и ван површинског слоја земљишта, угрожавајући здравље људи и животну средину. При процени ризика и одређивању циљева ремедијације, потребно је узети у обзир природне и антропогене позадинске нивое (background levels) елемената и контаминаната у земљишту. Ови нивои могу послужити као основа за дефинисање реалних циљева ремедијације и стандарда здравља земљишта.

Како се ремедијација земљишта углавном фокусира на смањење ризика по здравље људи и животну средину, у појединим случајевима може се десити да ремедијација не побољша остале индикаторе здравља земљишта. Одређене методе ремедијације чак могу имати негативан утицај на опште здравље земљишта. Због тога је неопходно узети у обзир све предности и ограничења различитих приступа ремедијацији, у зависности од врсте контаминације и локалних услова.

За прецизно утврђивање анализе геолошког утицаја, мрежне структуре, просторног и историјског порекла ПТЕ, као и утврђивање улоге појединих чинилаца деградације, неопходна је употреба разних аналитичких и рецепторских модела. Овакав приступ омогућава разумевање повезаности различитих фактора деградације и њиховог међусобног утицаја, што помаже у планирању циљаних мера ремедијације.

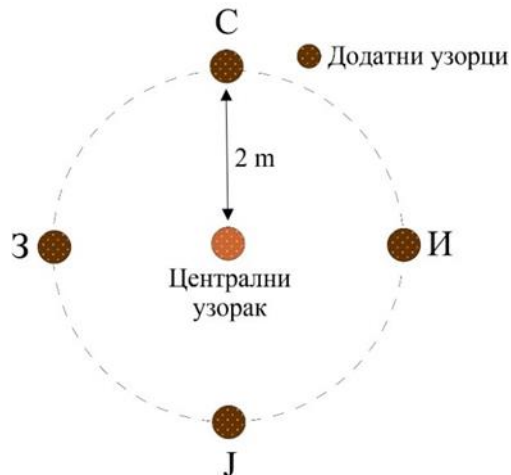
На основу резултата врши се класификација и уношење локација у Катастар контаминираних локација, који води Агенција за заштиту животне средине. До 2019. године у Катастру контаминираних локација евидентирано је 309 локације, од којих је значајан број означен као вруће тачке. Највише загађења и деградације земљишта проузрокују локације за управљање отпадом, посебно несанитарне депоније. У 2023. години за 64,34% од укупно 129 локација израђен је пројекат санације, затварања и рекултивације, али су радови спроведени само на 13,18%. Извештај о мониторингу земљишта доставило је 31 предузеће, а код шест је потврђено присуство опасних материја у концентрацијама већим од дозвољених. Систем евиденције још увек није у потпуности заокружен, јер део урбаних и индустријских подручја није обухваћен детаљним истраживањима. Због тога се предлаже

јаче ослањање на GIS анализе, даљинску детекцију, употребу вештачке интелигенције и веће укључивање локалних заједница у детекцију и праћење врућих тачака.

Правни основ за мониторинг врућих тачака обезбеђују исти закони и подзаконски акти као и за општи мониторинг, уз посебно наглашену примену Правилник о садржини и начину вођења Катастра контаминираних локација, врсти, садржини, обрасцима, начину и роковима достављања података, којим су јасно дефинисане обавезе евидентирања и периодичног ажурирања података.

15.3. Узорковање земљишта

За потребе узорковања земљишта, неопходно је прикупити најмање 500 грама (односно 0,5 килограма) површинског слоја земље. Ова количина мора бити репрезентативна за ширу површину, што значи да узорак не сме потицати са једне једине тачке, већ мора бити композитни, добијен мешањем пет појединачних подузорака. Први подузорак се прикупља директно на LUCAS тачки, док се преостала четири узимају на удаљености од по два метра у правцу основних страна света и то севера, истока, југа и запада. Пре почетка узорковања, са површине терена потребно је уклонити траву, лишће и друге остатке вегетације, али ситни делови органске материје и жиле који се налазе у самом горњем слоју тла могу остати у узорку, уколико их није могуће у потпуности одстранити. У централној тачки се помоћу ашова ископа рупа у облику слова V до приближне дубине од 30 центиметара, након чега се узима део земљишта дебљине око 3 центиметра. Са тог узорка се затим пажљиво уклањају преостали органски и неоргански материјали као што су каменчићи, лишће и корење, а сам узорак се обрађује тако да на ашову остане равномерни слој тла дебљине 3 центиметра. Тако припремљен узорак се одлаже у чисту канту, а алат се очисти од вишка земље. Идентичан поступак се затим понавља и на преостале четири тачке, северној, источној, јужној и западној у односу на централну. Када се прикупи свих пет подузорака, они се пажљиво измешају у канти, уз употребу лопатице, како би се добио уједначен композитни узорак. Из тако добијене масе издваја се најмање 500 грама земљишта, које се ставља у мању пластичну кесу, затим се кеса правилно означава и добро завезује како би се спречило просипање или контаминација током транспорта и складиштења.



Слика 15. Начин узимања узорака земљишта

16. Временски оквири за имплементацију циљева политике здравља земљишта

16.1. Краткорочни циљеви за период од 2025. до 2032. године

Општи и посебни циљеви Програма заштите земљишта за период 2025-2032. постављени су тако да обезбеде постепено и контролисано увођење система здравља земљишта у Србији. У овој првој фази приоритет је изградња основног оквира система, дефинисање индикатора, утврђивање толерантних и интервентних вредности и развој дигиталне инфраструктуре. Кључни задатак периода 2025-2032. године јесте утврђивање степена угрожености здравља земљишта, како у погледу укупног стања, тако и у погледу појединачних индикатора, што представља неопходну основу за даље планирање и приоритизацију мера. Остваривањем ових циљева стварају се предуслови да се у наредној програмској фази спроведу циљане мере очувања и унапређења здравља земљишта

Табела 23. Краткорочни циљеви за период од 2025. до 2032. године

Елемент	Опис
ОПШТИ ЦИЉЕВИ	
Циљ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Постављање темеља за увођење система здравља земљишта; ✓ Утврђивање степена угрожености здравља земљишта на националном нивоу; ✓ Процена угрожености појединачних индикатора здравља земљишта на националном нивоу.
ПОСЕБНИ ЦИЉЕВИ	
Правни оквир	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Имплементација Програма заштите земљишта као стратешког оквира за оперативну примену система здравља земљишта; ✓ Разрада подзаконских аката и препорука које омогућавају постепено увођење стандарда и процедура у праксу.
Стратешка (студијска) истраживања	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Примена система здравља земљишта кроз стратешка (студијска) истраживања у три административне целине: западна Србија, источна Србија и Војводина.
Индикатори	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Примена примарних и додатних индикатора из Програма заштите земљишта; ✓ Провера и валидација индикатора и упоређивање са европским стандардима.
Толерантне и интервентне вредности	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Примена успостављених толерантних и интервентних вредности дефинисаних Програмом заштите земљишта; ✓ Анализа прилагођености ових вредности локалним специфичностима.
Едукација и институционализација	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Тренинг програма за саветодавне службе, образовне институције и локалне администрације; ✓ Укључење локалних заједница и пољопривредних удружења ради подизања свести и припреме корисника за будуће обавезе; ✓ Развој образовних модула и практичних приручника за кориснике земљишта, као и интеграција теме здравља земљишта у формално и неформално образовање.
Дигитална платформа	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Имплементација дигиталног система за унос и праћење података о здрављу земљишта; ✓ Успостављање механизма интероперабилности са постојећим гео-информационим системима и креирање првих јавних интерактивних приказа.
Извештавање	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Извештавање из стратешких (студијских) подручја и синтеза података на републичком нивоу; ✓ Припремање првих интегрисаних националних извештаја као основе за праћење напретка и прилагођавање будућих политика.

Табела 24. Дугорочни циљеве за период од 2032. до 2050. године

Елемент	Опис
ОПШТИ ЦИЉЕВИ	
Циљ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Успостављање правно обавезујућег система за праћење, оцену и управљање здрављем земљишта на националном нивоу; ✓ Очување и унапређење функционалности земљишних екосистема и достизање циља да сва земљишта у Србији буду у здравом стању до 2050. године.
ПОСЕБНИ ЦИЉЕВИ	
Правни оквир	<p>Здравље земљишта постаје законска обавеза:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Интегрисано у Закон о земљишту, Закон о пољопривредном земљишту и другим Законима; ✓ Дефинисане одговорности корисника земљишта и институција; ✓ Прецизно дефинисане надлежности институција и обавезе корисника земљишта, уз увођење механизма контроле и одговорности
Имплементација живих лабораторија и демонстрационих локалитета	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Успостављање националне мреже „живих лабораторија“ као централних тачака за примену, тестирање и евалуацију мера; ✓ Развој демонстрационих локалитета за едукацију; ✓ Сарадња са локалним самоуправама, пољопривредницима и научним институцијама.
Индикатори и вредности	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Примена утврђених примарних и додатних индикатора, као и толерантних и интервентних вредности за све категорије земљишта; ✓ Редовно ажурирање листе индикатора у складу са новим научним и технолошким сазнањима.
Мониторинг и извештавање	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Систематски мониторинг сваких 6 година; ✓ Увођење минималне учесталости узорковања и географске покривености; ✓ Повезивање са регионалним и европским базама података ради упоредивости; ✓ Интеграција података из живих лабораторија у националне извештаје.

<p>Мере заштите и очувања земљишта</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Мере за спречавање непланске и неконтролисане промене намене земљишта; ✓ Мере за спречавање загађења и ремедијација земљишта; ✓ Мере за спречавање сабијања земљишта и мелиорација; ✓ Мере за очување и повећање садржаја органске материје у земљишту; ✓ Мере за заштиту и унапређење биодиверзитета земљишта; ✓ Мере за очување повољног баланса храњивих материја у земљишту; ✓ Мере за спречавање ацидификације и мелиорације киселих земљишта; ✓ Мере за спречавање алкализације и мелиорације заслањених земљишта; ✓ Мере за заштиту од ерозије земљишта; ✓ Приоритетно финансирање мелиорације и ремедијације најугроженијих подручја и укључивање локалних заједница у процес обнове; ✓ Активна улога „живих лабораторија“ у тестирању и процени ефикасности мелиорационих и ремедијационих мера.
<p>Подршка и санкције</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Финансијски подстицаји за кориснике који одржавају земљиште изнад толерантних вредности; ✓ Обавеза примене мера за оне изнад интервентних вредности; ✓ Могуће ограничење коришћења земљишта у случају континуираног погоршања стања.
<p>Интеграција у секторске политике</p>	<p>Обавезно разматрање здравља земљишта у:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Изради и спровођењу просторних и планских докумената; ✓ Процени утицаја на животну средину и стратешких процена утицаја; ✓ Доделе подстицаја и субвенција у пољопривреди и руралном развоју; ✓ Формулисању националних климатских и енергетских планова, стратегија биодиверзитета и водне политике.
<p>Национална база и гео-платформа</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Јавна платформа са интегрисаним подацима о индикаторима, статусу земљишта, препорукама и интерактивним приказима по катастарским парцелама повезана са другим државним регистрима и доступна корисницима преко отворених података.

Ревизија и унапређење система	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Систем индикатора и толерантних и интервентних вредности, се ревидира сваких 10 година на основу нових научних сазнања, података и евалуације спроведених мера, увођење механизма независне експертске ревизије и јавних консултација ради повећања транспарентности; ✓ Континуирано унапређивање методолошких приступа за процену стања и здравља земљишта, како би се обезбедила већа поузданост, упоредивост и практична примењивост резултата.
-------------------------------	---

17. SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) анализа

SWOT анализа представља инструмент за процену потенцијала, изазова и ризика у процесу примене система здравља земљишта у Републици Србији. Њена сврха је да идентификује унутрашње снаге и слабости, као и спољашње прилике и претње које могу утицати на успешност реализације стратешких циљева у оквиру фазе увођења (2025-2032) и фазе институционализације (2032-2050).



Слика 17. Стратешки оквир за здраво земљиште у Србији - SWOT перспектива

- **Снаге**

Србија поседује стабилну институционалну и техничку основу за успостављање система здравља земљишта. Вишедеценијско искуство у праћењу стања земљишта кроз агрохемијске и друге програме обезбеђује дугорочне серије података и методолошки континуитет. Постојећа лабораторијска инфраструктура, као и развијени капацитети института и универзитета, пружају научно-техничку подршку за примену система. Поред тога, усаглашеност са европским правним и стратешким оквирима (EU Soil Strategy 2030, Soil Monitoring Law, Mission “A Soil Deal for Europe”) и активна сарадња у међународним иницијативама обезбеђују политичку подршку и приступ финансијским и техничким ресурсима. Фазни приступ имплементацији, заснован на пилот (студијским) подручјима и

постепеном увођењу законских механизма, омогућава да се институције и корисници прилагоде новом систему без наглих поремећаја.

- **Слабости**

Базе података су фрагментиране, а методолошки стандарди различити између институција, што отежава интеграцију и компаративну анализу. Образовни и саветодавни системи још нису у потпуности усмерени ка интердисциплинарним приступима, док је сарадња између науке и праксе недовољно структурисана. Институционална координација између ресора (пољопривреда, заштита животне средине, шумарство, урбанизам, водопривреда) често је административно сложена, што успорава имплементацију и доношење одлука. Методолошка неуједначеност у научној и стручној заједници представља додатно ограничење. Део истраживача и даље примењује искључиво агрохемијске показатеље, што сужава поље анализе и смањује кредибилитет система у контексту стандардизованих приступа заснованих на мултифункционалности земљишта.

- **Прилике**

Постоје значајне могућности за јачање система здравља земљишта кроз финансијске и техничке механизме европских и међународних програма као што су Horizon Europe, LIFE, CAP, FAO и UNEP, који омогућавају модернизацију лабораторија, набавку теренске и аналитичке опреме, као и изградњу дигиталне инфраструктуре и обуку кадрова. Пораст свести јавности и доносилаца одлука о кључној улози земљишта у очувању климатске стабилности, биодиверзитета и здравља становништва отвара простор за укључивање ширег спектра актера у процесе праћења и управљања земљиштем. Интеграција система здравља земљишта у климатске, просторне, руралне и биодиверзитетне политике омогућава међусекторску координацију и боље повезивање мера у области пољопривреде, заштите природе, водног и просторно-планског управљања. Развој савремених технологија, као што су даљинска детекција, спектроскопија, машинско учење и вештачка интелигенција, значајно унапређује могућности за прецизно, брзо и просторније обухватно праћење стања земљишта. Међународна сарадња и развој мреже живих лабораторија и демонстрационих локалитета пружају основу за тестирање иновативних приступа, примену најбољих европских пракси и директно повезивање науке, политике и праксе у реалним условима.

- **Претње**

Недовољна примена постојећих прописа и слаб надзор у пракси могу довести до формалног спровођења мера без стварног побољшања стања земљишта. Ризик од административне инерције и кашњења у усвајању законских и подзаконских аката може успорити прелазак из пилот фазе у обавезујући систем. Недовољна стандардизација методологија и неконзистентност у обради података представљају опасност за поузданост резултата и могу угрозити поверење јавности у систем процене здравља земљишта. Фрагментација података између институција и неусклађена терминологија могу довести до дуплирања активности и смањења ефикасности система. Недовољна мотивација корисника земљишта да активно учествују у програмима процене и мелиорације, као и недовољно јасан систем подстицаја и санкција, могу ограничити практичну примену система. Потенцијална маргинализација

система уколико се промене политички приоритети или се систем не интегрише довољно снажно у секторске политике представља додатни дугорочни ризик.

18. Финансијски план имплементације система здравља земљишта

Финансирање имплементације система здравља земљишта у Републици Србији заснива се преважно на средствима државног буџета, чиме се обезбеђује институционална стабилност, дугорочна одрживост и јасна одговорност државе за управљање овим стратешким ресурсом. Према Закону о заштити земљишта, финансирање заштите и унапређења квалитета земљишта обезбеђује се из: (1) буџета Републике, аутономне покрајине и јединица локалне самоуправе; (2) прихода од накнада у складу са законом; (3) средстава стечених на основу међународних програма и пројеката сарадње; (4) донација домаћих и страних правних и физичких лица; и (5) других извора у складу са законом. На тај начин закон успоставља правни основ за разнолике механизме финансирања, који омогућавају комбиновање националних и међународних извора ради дугорочног одржања система. У оквиру националног финансијског оквира предвиђа се постепена динамика улагања, у складу са фазама развоја система, уз могућност допунског ангажовања фондова Европске уније у оним сегментима где је потребна методолошка иновација, унапређење техничке инфраструктуре или интеграција Србије у европске истраживачке токове.

У периоду од 2025. до 2032. године, који представља иницијалну фазу имплементације, финансијска средства из државног буџета усмеравају се на развој методолошког оквира и стандардизацију индикатора, пилот истраживања у репрезентативним целинама, успостављање националне дигиталне платформе као основног инструмента за интеграцију и размену података, као и на изградњу људских и институционалних капацитета кроз едукацију и специјализоване програме обука. Буџетска издвајања у овој фази имају карактер стратешких инвестиција у инфраструктуру и знање. Поред националних средстава, у овом периоду могу се користити и фондови Европске уније као што су Horizon Europe и LIFE, пре свега за подршку истраживачким активностима, развој дигиталних и аналитичких алата и трансфер најбољих пракси. На тај начин државни буџет обезбеђује основну и обавезујућу подршку систему, док европски програми имају катализаторску улогу у убрзавању технолошког и методолошког напретка.

Од 2032. године систем улази у фазу правно обавезујуће примене, што подразумева нову финансијску динамику. Средства из државног буџета користе се за редован национални мониторинг у прописаним интервалима, за одржавање и унапређење јавног регистра деградираних земљишта, као и за примену система подстицаја и санкција који обезбеђује поштовање утврђених стандарда. Средства државног буџета у овој фази делују као кључни ослонац финансијског система, обезбеђујући редовност и стабилност примене мера. Европски фондови у овом контексту могу имати комплементарну улогу, нарочито кроз инструменте структурне и кохезионе политике, као и механизме Заједничке пољопривредне политике који подржавају еколошке мере и рурални развој.

Овако постављен финансијски модел почива на јасној подели одговорности. Држава кроз сопствени буџет обезбеђује примарна средства и гарантује стабилност система, док европски фондови делују као допунски механизам који омогућава технолошки и

методолошки напредак, као и укључивање Србије у шире европске процесе. На тај начин финансијска димензија система добија системски карактер у којем се национална обавеза и европска подршка прожимају, чиме се обезбеђује и предвидивост и флексибилност у изградњи трајног система управљања здрављем земљишта.

19. Списак прописа

Закони

Закон о планском систему Републике Србије („Службени гласник РС”, број 30/18)

Закон о заштити земљишта („Службени гласник РС”, број 112/15)

Закон о заштити животне средине („Службени гласник РС”, бр. 135/04, 36/09, 36/09 - др. закон, 72/09 - др. закон, 43/11 - одлука УС, 14/16, 76/18, 95/18 - др. закон, 95/18 - др. закон и 94/24 - др. закон)

Закон о пољопривредном земљишту („Службени гласник РС”, бр. 62/06, 65/08 - др. закон, 41/09, 112/15, 80/17 и 95/18 - др. закон)

Закон о шумама („Службени гласник РС”, бр. 30/10, 93/12, 89/15 и 95/18 - др. закон)

Закон о управљању отпадом („Сл.гласник РС”, бр. 36/09, 88/10, 14/16, 95/18- др. закон и 35/23)

Уредбе

Уредба о систематском праћењу стања и квалитета земљишта („Службени гласник РС”, број 88/20)

Уредба о граничним вредностима загађујућих, штетних и опасних материја у земљишту („Службени гласник РС”, бр. 30/18 и 64/19)

Уредба о утврђивању критеријума за одређивање статуса угрожене животне средине и приоритета за санацију и ремедијацију („Службени гласник РС”, број 22/10)

Правилници

Правилник о садржини и форми извештаја о мониторингу земљишта („Службени гласник РС”, број 126/21)

Правилник о садржини пројеката ремедијације и рекултивације („Службени гласник РС”, број 35/19)

Правилник о методологији за израду пројеката санације и ремедијације („Службени гласник РС”, број 74/15)

Правилник о условима које правно лице мора да испуњава за обављање послова мониторинга земљишта, као и документацији која се подноси уз захтев за добијање овлашћења за мониторинг земљишта („Службени гласник РС”, број 58/19)

Правилник о садржини и начину вођења Катастра контаминираних локација, врсти, садржини, обрасцима, начину и роковима достављања података („Службени гласник РС”, број 58/19)

Правилник о листи активности које могу да буду узрок загађења и деградације земљишта, поступку, садржини података, роковима и другим захтевима за мониторинг земљишта („Службени гласник РС”, број 102/20)

Правилник о дозвољеним количинама опасних и штетних материја у земљишту и води за наводњавање и методама њиховог испитивања („Службени гласник РС”, број 23/94)

20. Основна литература

European Commission (2024), Joint Research Centre, Broothaerts, N., Panagos, P. and Jones, A., A proposal for soil health indicators at EU-level, Publications Office of the European Union, Luxembourg, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/8953204>, JRC138417.

European Commission, (2021). EU soil strategy for 2030: Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate. https://ec.europa.eu/environment/publications/eu-soil-strategy-2030_en

European Commission, (2025). A Soil Deal for Europe: 100 living labs and lighthouses to lead the transition towards healthy soils by 2030. Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1215a29c-5ba3-11f0-a9d0-01aa75ed71a1>

European Commission, Joint Research Centre, Broothaerts, N., Panagos, P., Arias Navarro, C., Ballabio, C., Belitrandi, D., Breure, T., De Medici, D., De Rosa, D., Fendrich, A., Havenga, C., Koeninger, J., Kreiselmeyer, J., Labouyrie, M., Liakos, L., Maréchal, A., Martin Jimenez, J., Matthews, F., Michailidis, V., Montanarella, L., Muntwyler, A., Orgiazzi, A., Scarpa, S., Schillaci, C., Simoes Vieira, D., Van Eynde, E., Van Liedekerke, M., Wojda, P., Yunta Mezquita, F. and Jones, A. (2024). EUSO annual bulletin 2023, Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/46142>, JRC137235.

European Environment Agency (2024). The state of soils in Europe – Fully evidenced, spatially organised assessment of the pressures driving soil degradation, Arias-Navarro, C.(editor), Baritz, R.(editor) and Jones, A.(editor), Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/7007291>

European Environment Agency, (2023). Soil monitoring in Europe - Indicators and thresholds for soil health assessments. EEA Report No. 08/2022. <https://doi.org/10.2800/956606>

European Parliament and Council of the European Union, (2025). Directive on Soil Monitoring and Resilience (Soil Monitoring Law). C/2025/5746. <https://data.europa.eu/eli/C/2025/5746/oj/eng>

Mrvić, V., Zdravković, M., Sikirić, B., Čakmak, D., Kostić-Kravljanac, Lj. (2009). Štetne i opasne materije u zemljištu. U: Plodnost i sadržaj opasnih i štetnih materija u zemljištima centralne Srbije. Institut za zemljište, Beograd, Srbija, pp. 75-144.

P. Panagos, A. Jones, E. Lugato, C. Ballabio, A Soil Monitoring Law for Europe. (2025). Global Challenges, 9, 2400336. <https://doi.org/10.1002/gch2.202400336>

Министарство заштите животне средине - Агенција за заштиту животне средине (2024). Извештај о стању животне средине у републици србији за 2023. годину. <https://sepa.gov.rs/wp-content/uploads/2025/02/ZivotnaSredina2023.pdf>

Министарство заштите животне средине - Агенција за заштиту животне средине (2020). Извештај о стању земљишта у републици Србији - Индикаторски приказ. <https://sepa.gov.rs/wp-content/uploads/2024/10/Zemljiste-2018-2019.pdf>