

ХИДРОСЕТВА – ЗЕЛЕНО РЕШЕЊЕ У БОРБИ ПРОТИВ ДЕГРАДАЦИЈЕ ЗЕМЉИШТА

HYDROSEEDING – A GREEN SOLUTION TO SOIL DEGRADATION

Мандић Теодора¹, Лазаревић Катарина¹, Тодосијевић Мирјана¹, Миљковић Предраг¹

¹Универзитет у Београду, Шумарски факултет

Апстракт: Убрзана деградација земљишта услед климатских промена, урбанизације и интензивне експлоатације природних ресурса представља један од најозбиљнијих еколошких изазова савременог доба. У циљу очувања и обнове земљишних ресурса, развијају се приступи засновани на конзервацији и еколошкој рестаурацији. Хидросетва се истиче као ефикасна техника која омогућава брзо озелењавање и стабилизацију еродираних и тешко приступачних терена. Комбинујући семе, воду, хранљиве материје и стабилизујуће компоненте, ова метода доприноси успостављању вегетационог покривача, смањењу ерозије и унапређењу биодиверзитета. Рад анализира примену хидросетве у свету и Србији, са освртом на њене техничке карактеристике, еколошке ефекте и могућности за даљу примену у контексту борбе против деградације земљишта.

Кључне речи: хидросетва, травњаци, деградација земљишта, конзервација, ерозија, еколошка рестаурација

Abstract: Accelerated soil degradation due to climate change, urbanization and intensive exploitation of natural resources is one of the most serious environmental challenges of our time. To preserve and restore soil resources, approaches based on conservation and ecological restoration are being developed. Hydroseeding stands out as an effective technique that allows for rapid greening and stabilization of eroded and difficult-to-access terrain. By combining seeds, water, nutrients and stabilizing components, this method contributes to the establishment of vegetation cover, reducing erosion and improving biodiversity. The paper analyzes the application of hydroseeding in the world and in Serbia, with a focus on its technical characteristics, environmental effects and possibilities for further application in the context of combating soil degradation.

Keywords: hydroseeding, lawns, soil degradation, conservation, erosion, ecological restoration

УВОД

Интензиван развој индустрије и ширење урбаних подручја, праћено повећаном експлоатацијом природних ресурса довели су до дубоких поремећаја у функционисању екосистема широм света. Земљиште, као основа копнених екосистема и носилац биолошке продуктивности, све је више изложен утицају ових процеса. Деградација земљишта, кроз ерозију, губитак органске материје, контаминацију, збијање и смањење биолошке активности, представља један од најозбиљнијих еколошких изазова 21. века (FAO, 2020; Montanarella, 2007). Последице ових процеса угрожавају безбедност хране, климатску стабилност, водне ресурсе и здравље животне средине.

У циљу ублажавања негативних ефеката деградације, научна и стручна заједница развиле су два основна приступа: конзервацију и еколошку рестаурацију земљишта. Конзервација представља превентивни систем управљања који обухвата конкретне технологије и праксе за спречавање ерозије, губитка плодности и деградације структуре земљишта, доприносећи тиме очувању екосистема и економској одрживости (Kadović,

¹ *manditeodora033@gmail.com

1999). Она укључује агрономске мере (нпр. противерозиони плодореци, малчирање, заснивање травњака), техничке мере (терасирање, водопутеви, ободни канали) и мере управљања земљиштем (конвенционална и конзервациона обрада).

С друге стране, еколошка рестаурација представља намерну активност усмерену ка опоравку деградираних екосистема у погледу њиховог здравља, интегритета и одрживости (SERI, 2004). Према Конвенцији УН о биолошкој разноврсности, то је процес који покреће или убрзава еколошки ток ка референтном стању, уз циљ да се успостави самоодржив, функционалан екосистем који пружа кључне екосистемске услуге и подржава одржива средства за живот. Еколошка рестаурација обухвата процену почетног стања, планирање интервенција, спровођење активности (уклањање инвазивних врста, реинтродукција аутохтоних, стабилизација терена), мониторинг и дугорочну заштиту (Gann et al., 2019; Santini & Miquelajauregui, 2022).

У оквиру ових приступа, хидросетва се издваја као савремена, технолошки напредна и еколошки прихватљива метода која комбинује агрономске и техничке принципе. Хидросетва подразумева апликацију хомогене смеше воде, семена, ђубрива, лепкова и малча под притиском, чиме се омогућава равномерно озелењавање великих, нагнутих и тешко приступачних површина. Њена примена доприноси стабилизацији земљишта, смањењу ерозије, унапређењу микроклиме и обнови биодиверзитета, што је чини важним алатом у борби против деградације и унапређењу одрживог управљања земљиштем. Хидросетва се може сврстати у категорију интегрисаних конзервационих мера, јер обједињује биолошке, техничке и управљачке аспекте у једној интервенцији. Њена примена у инфраструктурним пројектима, санацији депонија, рударским зонама и урбаним срединама показује да она не само да спречава даљу деградацију, већ и активно доприноси обнови функција земљишта и екосистема.

Циљ овог рада је да се истраже могућности и ефекти примене хидросетве као мере еколошке рестаурације и конзервације земљишта, кроз анализу примера из света и Србије, са посебним освртом на њену техничку примену, еколошке добити и потенцијал за даљи развој у контексту одрживог управљања земљиштем.

МЕТОДОЛОГИЈА

Овај рад заснива се на анализи доступне литературе, техничких извештаја и примера из праксе који се односе на примену хидросетве за брзо озелењавање деградираних површина. Методологија рада обухватила је систематску претрагу научних радова, стручних публикација и интернет извора који се баве хидросетвом. Коришћени су извори који садрже опис технике хидросетве, начине и услове примене и резултате постигнуте у рачзичитим условима (климатским и географским), са посебним освртом на примену у Србији. Коришћени су квалитативни и квантитативни показатељи како би указали на потенцијал хидросетве као зеленог решења у борби против деградације земљишта.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У овом одељку приказани су резултати анализе метода заснивања травњака, са посебним освртом на примену хидросетве као ефикасног решења за озелењавање деградираних површина.

Заснивање травњака

Травњаци представљају земљишне површине које су углавном прекривене природним травним слојем, са занемарљивим присуством дрвећа или његовим потпуним одсуством. Састављени од врста из породице Роасаеае, као и других траволиких и зељастих биљака, које формирају

биљне заједнице, травне фитоценозе, и најчешће се користе за узгој сточне хране, али могу имати и друге специфичне намене (декоративна, рекреативна, за заштиту земљишта) (Letić, 2002; Erić i sar., 2016). Инжењерско-технички значаји зелених површина су спречавање ерозије земљишта, контрола саобраћаја, заштита од снежних наноса, контрола бљештања (рефлексија), учвршћење клизишта, противпожарни значај и пречишћавање отпадних вода (Erić i sar., 2016). У оквиру мера за спречавање и ублажавање ерозије у сливовима и речним коритима, посебно је истраживана улога вегетације. Међу различитим природним решењима, травнати покривач се показао као једна од најефикаснијих и финансијски најприступачнијих опција. Његова способност да стабилизује земљиште, смањи утицај падавина и успори површинско отицање чини га кључним елементом у борби против ерозивних процеса (Gavrilović, 1972).

Сејани травњаки могу да се заснују на различите начине, али данас се најчешће користе следећи поступци (Kadović, 1999; Erić i sar., 2016):

I Сетва семена трава – генеративно (ручно сејање, хидросетва, или у/на техничку, разградиву/неразградиву подлогу)

II Постављање травног тепиха

III Садња живића столона, ризома и травних чепова – вегетативно

У наставку је приказана табела која сумира кључне параметре за избор методе заснивања травњака, узимајући у обзир техничке, економске и еколошке аспекте (Табела 1). Овај приказ омогућава брзу процену применљивости сваке методе у различитим условима терена и потребама озелењавања.

Табела 1. Упоредна анализа метода заснивања травњака у Србији

Table 1. Comparative analysis of lawn establishment methods in Serbia

Критеријум	Сетва семеном	Травни тепих	Столони / ризоми	Хидросетва
Оптимално доба године	август–септембар / април–мај	септембар–март	рана јесен / рано пролеће	пролеће / рана јесен
Оквирна цена (по m ²)	1–2 €	6–10 €	4–6 €	3–5 €
Површина примене	>1000 m ²	500–1000 m ²	>500 m ²	>500 m ²
Погодност за нагибе	мање погодна	веома погодна	умерено погодна	веома погодна
Захтеви за водом	средњи–високи	средњи	високи	средњи
Време формирања травњака	1–3 месеца	2–3 недеље	2–3 месеца	1–3 месеца
Издржљивост	добра	висока	висока	висока
Еколошки утицај	позитиван	умерен	позитиван	позитиван
Предности	ниска цена, природна регенерација	брз визуелни ефекат, стабилност	отпорност, природна метода	равномерна дистрибуција, погодна за нагибе
Ограничења	ризик од спирања, неравномерна покривеност	висока цена, потребан транспорт	технички захтевна, високи водени захтеви	захтева опрему, умерени трошкови

Извор: прилагођено од Erić i sar., 2016

На основу приказаних параметара у табели 1, избор методе заснивања травњака зависи од више фактора: морфологије терена, финансијских могућности, доступности опреме и утицаја на животну средину. Најприступачнија метода, ручна сетва, погодна је за мање површине, али показује ограничења на нагнутим теренима и захтева дужи период за стабилизацију травњака. Насупрот томе, травни тепих омогућава тренутну визуелну трансформацију, али је финансијски најзахтевнији и подразумева производњу ван локације примене. Хидросетва се издваја као оптималан компромис између техничке ефикасности и еколошке одрживости. Њена примена на површинама под нагибом показује значајне предности у спречавању ерозије, а равномерна дистрибуција семена омогућава брзо и уједначено озелењавање. Коришћење вегетативних делова трава, као што су столони и ризоме, препоручује се у ситуацијама када је потребно брзо формирати густ травни покривач отпоран на сушу, гажење и друге спољашње утицаје.

У поређењу са другим методама, хидросетва захтева умерене ресурсе, али пружа високу издржљивост и позитиван утицај на животну средину, нарочито у контексту рекултивације након грађевинских радова или природних катастрофа. С обзиром на наведене карактеристике, хидросетва се може сматрати стратешки важном методом у управљању деградираним земљиштем, нарочито у условима који захтевају брзу, ефикасну и еколошки прихватљиву интервенцију.

Преглед хидросетве као технике

Хидросетва (или хидромалчирање) представља технику наношења мешавине семена, воде, ђубрива, малча и везива на голе површине земљишта помоћу специјализованих машина (слика 1). Развијена је у САД током 1940-их као одговор на потребу за брзом регенерацијом земљишта након изградње путева и насипа. Првобитно се користила ватрогасна опрема за распршивање, а касније су додати влакнасти материјали ради боље стабилизације. Термин „хидросетва” увео је Чарли Фин 1953. године, када је конструисао прву хидросејалицу (<https://www.finnncorp.com/>). Техника је током 1960-их усавршена додавањем малчева, стабилизатора и развојем професионалне опреме за примену на великим површинама.



Слика 1. Процес хидросетве (<https://classiclawnandtree.com/commercial-hydroseeding/>)

Figure 1. Hydroseeding process (<https://classiclawnandtree.com/commercial-hydroseeding/>)

Основу хидросетве чини хидросејалица, уређај који складишти и равномерно распршује мешавину семена, воде и ђубрива у слоју дебљине 0,5–2 mm (Maiti, 2013). Примењује се у различитим условима: од стамбених травњака до великих инфраструктурних и еколошких пројеката, као што су изградња аутопутева, санација након пожара и рекултивација рударских површина.

Ефикасна примена хидросетве захтева обученог оператера и правилно припремљену опрему. Модерне хидросејалице имају резервоаре капацитета од неколико стотина до преко 10.000 литара, што омогућава примену на различитим типовима терена (слика 2). Опремљене су системима за мешање који обезбеђују хомогену смешу семена, малча, ђубрива и лепкова, спречавају стварање грудви и омогућавају равномерну примену. Пре употребе, нарочито након складиштења, потребно је проверити техничку исправност, укључујући акумулаторе и вентиле.



Слика 2: Хидросејалице различитих капацитета резервоара (лево – модел HS-50 запремине 55 галона (208 литара); десно – модел HM-1000-HARV запремине 1000 галона (3785 литара) (<https://turboturf.com/hs-50-p/>; <https://turboturf.com/hm-1000-harv/#>)

Figure 2: Hydroseeders with different tank capacities (left – model HS-50 with a capacity of 55 gallons (208 liters); right – model HM-1000-HARV with a capacity of 1000 gallons (3785 liters) (<https://turboturf.com/hs-50-p/>; <https://turboturf.com/hm-1000-harv/#>)

Количина воде у хидросејалици зависи од модела, али просечно износи око 190 литара (50 галона). Након пуњења, потребно је очистити цеви ради уклањања остатака и спречавања блокада. Материјали се додају по утврђеном редоследу: најпре семе, затим малч, па ђубриво, уз строго поштовање препорука произвођача. Добро помешана смеша, често називана „муљ”, мора бити хомогена пре примене. Стандардна спецификација укључује 100 kg/ha семена, 50 kg/ha ђубрива и 3000 kg/ha малча (Maiti, 2013). Након припреме опреме, процес хидросетве започиње прскањем мешавине, при чему се, у зависности од модела хидросејалице, прска са црева или са торња (слика 3).

Ефикасност технике зависи од квалитета хидросетвене смеше, која се састоји од семена, воде, малча, ђубрива, везива и адитива. Свака компонента има специфичну улогу у успостављању стабилне и отпорне вегетације.



Слика 3. Хидросејалица Т90 са цревом (лево) и хидросејалица Т330 са торњем (десно)
(<https://www.finnncorp.com/>)

Figure 3. T90 hydroseeder with hose (left) and T330 hydroseeder with tower (right)
(<https://www.finnncorp.com/>)

Семе представља основни елемент хидросетвене смеше, а избор врста директно утиче на брзину клијања, стабилност травњака и дугорочну покривеност терена. У хидросетви се могу користити различите врсте семена, од траве и дивљег цвећа до мешавина за контролу ерозије. Не захтевају се специјалне сорте, већ се примењују комерцијално доступна семена као код класичне сетве. Избор зависи од климе, типа земљишта и намене површине. Аутохтоне врсте доприносе очувању биодиверзитета и отпорности на локалне стресоре, па се често комбинују са брзклијајућим врстама и стабилизаторима са дубоким кореном. Добро осмишљена мешавина омогућава брз раст, ефикасну стабилизацију земљишта и дуготрајну отпорност на сушу, сенку или гажење. Најчешће коришћене врсте у свету и Србији су *Poa Pratensis* L., *Festuca rubra* L., *Festuca arundinacea* Schreb, *Lolium perenne* L. и *Trifolium repens* L. (слика 4).



Слика 4. Траве које се најчешће користе за хидросетву: а) *Poa pratensis*, б) *Festuca arundinacea*, в) *Trifolium repens* (<https://www.inaturalist.org/>)

Figure 4. Grasses most commonly used for hydroseeding: а) *Poa pratensis*, б) *Festuca arundinacea*, в) *Trifolium repens* (<https://www.inaturalist.org/>)

Малч је важна компонента хидросетвене смеше, јер доприноси задржавању влаге, стабилизацији земљишта и подстицању клијања семена. Малчирање је посебно неопходно на теренима са нагибом већим од 3:1, током сушних периода и на неповољним земљиштима — плитким, каменим или песковитим (Maiti, 2013). У хидросетви се користе различити типови малчева, у зависности од услова терена и климатских захтева:

- 1) Малчеви на бази папира: Најчешће се користе због приступачности и лаког мешања са водом. Направљени су од рециклираних целулозних влакана и формирају привремени слој који задржава влагу и подстиче клијање, нарочито на равним и благо нагнутим површинама (до нагиба 4:1). Међутим, трају око три месеца и нису погодни за дугорочну контролу ерозије. Добро функционишу са већином система за хидросетву, укључујући млазнице и лопатике (Maiti, 2013).
- 2) Биоразградиви малчеви: Израђени од природних материјала као што су слама, травна влакна и биљни полимери. Временом се разграђују, побољшавају структуру земљишта и не остављају штетне остатке. Идеални су за еколошку обнову и одрживу конзервацију земљишта (Verma et al., 2024).
- 3) Малчеви на бази хидрогела: Садрже супстанце које апсорбују воду и постепено је отпуштају у земљиште. Омогућавају примену хидросетве у аридним и полуаридним срединама, где је рационално управљање водом од пресудног значаја. Поред уштеде воде, доприносе смањењу испаравања и подстицању здравог раста биљака (Verma et al., 2024).
- 4) Компост и органски **малчеви**: Добијени од разграђених биљних материјала или зеленог отпада. Побољшавају плодност и структуру земљишта, регулишу температуру, смањују испаравање и подстичу активност корисних микроорганизама (Maiti, 2013; Verma et al., 2024).

Лепкови (таксификатори) су дуголанчана једињења угљеника која се користе за стабилизацију земљишта и у хидросетви, али и као средство за обнову биолошког покривача (Blankenship et al., 2019). Најчешће се користе:

- 1) **Гуар** је беличасти прах, природни полисахарид добијен из семених опни биљке *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.. Представља биоразградиво средство које повезује честице земљишта, семе и малч, формирајући заштитну мрежу која задржава влагу и спречава ерозију. Делује одмах након наношења и подстиче здрав раст вегетације.
- 2) **Псилијум** је браон прах, такође полисахарид, добијен из семених опни више врста рода *Plantago*. Јефтин и еколошки прихватљив, али мање ефикасан од гуара. Често се користи за контролу прашине, али се ређе примењује у хидросетви због слабијег стабилизационог ефекта.
- 3) **РАМ (Polyacrylamide)** је синтетички, биоразградиви полимер у облику кристалног праха. Одликује се високом ефикасношћу, дуготрајношћу и способношћу задржавања воде. За разлику од природних лепкова, не делује као лепак већ повезује честице у стабилне структуре, што побољшава услове за укореењавање. Користи се у мањим количинама, што га чини економичним за велике пројекте.

Сва три таксификатора већ се деценијама користе у хидромалчирању, сетви и контроли ерозије, али се разликују по трајности: до 3 месеца за гуар, и до 12 месеци за псилијум и РАМ (CalTrans 2003).

Примена ђубрива представља један од кључних фактора за успешно успостављање и развој вегетације у хидросетви. Ђубрива обезбеђују неопходне хранљиве материје за клијање и раст биљака, а истовремено утичу на стабилност екосистема, продуктивност земљишта и дугорочну еколошку одрживост. Најчешће се користе минерална ђубрива, која садрже основне макронутријенте као што су азот (N), фосфор (P) и калијум (K). Њихова добра растворљивост омогућава лако мешање у хидросетвене суспензије и брзу апсорпцију, али носи ризик од испирања и оптерећења животне средине. Све чешће се примењују ђубрива са спорим ослобађањем, која захваљујући технологијама премазивања или

капсулирања обезбеђују постепenu и контролисану испоруку хранљивих материја током дужег периода, што је посебно корисно на неприступачним теренима (Verma et al., 2024). Поред тога, у оквиру еколошки оријентисаних пројеката користе се специјализована ђубрива, формулисана на основу анализа земљишта и потреба биљних врста. Она могу садржати микронутријенте, биостимулансе и микоризне гљивице, који доприносе бољој адаптацији биљака, отпорности на стрес и дугорочној стабилизацији екосистема. Иако се органска ђубрива ређе користе у класичној хидросетви због своје густине и сложеније примене, у течном облику или као екстракти могу бити додатак мешавини, нарочито када је циљ подстицање микробиолошке активности и побољшање структуре земљишта.

Адитиви представљају важан део хидросетвене смеше, јер доприносе стабилности, ефикасности примене и успешном успостављању вегетације. Најчешће коришћени су везива и суперапсорбери. Везива служе за фиксирање семена на површини земљишта, нарочито на нагнутим теренима, док суперапсорбери задржавају влагу и формирају танак заштитни слој који спречава испаравање и ерозију. Препоручена количина суперапсорбера износи око 80 kg/ha (Maiti, 2013). Поред техничке функције, у хидросетву се често додају и боје, најчешће зелена, које имају двоструку улогу: визуелну контролу током наношења и естетски ефекат. Боја омогућава оператерима да лакше уоче покривеност терена, избегну преклапања и непокривене зоне, а истовремено ствара визуелни утисак озелењене површине одмах након апликације. Овај ефекат је посебно важан у урбаним срединама и на јавним инфраструктурним пројектима, где је визуелна презентација често део захтева пројекта.

Правилна нега након примене хидросетве је од пресудног значаја за успешно клијање семена и успостављање стабилног травњака. У првих 48 сати након апликације не препоручује се заливање, како би се омогућило фиксирање смеше на терену. Након тог периода, препоручује се често и лагано заливање, без употребе директног млаза, како би се избегло испирање семена. У подручјима са довољно природних падавина, киша може бити довољна за подршку почетном расту (Maiti, 2013; Parsakhoo et al., 2018). Прво кошење се препоручује када трава достигне висину од 7–10 cm, што се обично дешава у року од 3 до 4 недеље, у зависности од климатских услова. Приликом кошења, важно је да косилица буде правилно подешена како би се избегло оштећење младих биљака. У првим месецима након хидросетве, треба избегавати употребу хербицида и препарата за сузбијање корова, јер могу негативно утицати на развој новог травњака. Природна конкуренција и постепено јачање травне покривке представљају ефикаснији приступ у раним фазама.

Ограничења и фактори успешности хидросетве

Хидросетва представља ефикасну технику за озелењавање деградираних површина, али њена успешност не зависи искључиво од квалитета мешавине и начина наношења. Успешно клијање, укоренавање и развој вегетације у великој мери условљени су спољашњим факторима као што су климатски услови, структура земљишта, конфигурација терена и начин извођења радова. Управо због тих утицаја, хидросетва у неким ситуацијама представља златни стандард, док у другим може бити мање погодна или захтевнија за примену. Да би се обезбедила ефикасност процеса, неопходно је пратити научно утврђене кораке и прилагодити технику конкретним условима терена. Успешна примена хидросетве подразумева интеграцију техничких, еколошких и климатских аспеката, уз пажљиву процену свих фактора који могу унапредити или ограничити њен ефекат.

Клима је један од најзначајнијих спољашњих фактора који утичу на успех хидросетве. Температура ваздуха и земљишта мора бити у оптималном распону за брзо и равномерно

клијање. Превисоке температуре доводе до исушивања мешавине, док ниске успоравају метаболичке процесе и одлажу укоренавање. Влажност ваздуха и количина падавина такође играју важну улогу, умерене падавине подстичу клијање, али обилне кише могу испрати семе и нарушити стабилност процеса. Најбољи периоди за хидросетву су пролеће и јесен, када блага и влажна клима подржава развој биљака. Пролећна хидросетва треба да се изводи након ризика од мраза, док јесења може бити посебно успешна за врсте које воле хладније услове. У летњем периоду хидросетва је могућа, али захтева интензивније одржавање и веће трошкове. Ветар је додатни фактор који може утицати на равномерност наношења и испаравање воде, посебно на отвореним теренима.

Облик и нагиб терена директно утичу на избор технике и потребу за додатним стабилизационим мерама. На равним теренима примена је једноставна и равномерна, док стрми нагиби захтевају употребу лепкова, малча или мрежа за фиксацију како би се спречило спирање мешавине (Maiti, 2013). Изложеност терена сунцу, ветру и падавинама додатно компликује примену, па је неопходно пажљиво планирање и прилагођавање мешавине конкретним условима. Припремни кораци као што су чишћење, нивелација и грабљење доприносе бољој адхезији и стабилности.

Карактеристике земљишта (текстура, порозност и рН вредност) имају пресудан утицај на успех хидросетве. Песковита земљишта брзо губе воду, па захтевају чешће наводњавање и употребу хидрогелова. Глиновита земљишта задржавају влагу, али могу отежати продор корена, те захтевају додатну аерацију. рН вредност утиче на доступност хранљивих материја, па се често примењују специјализована ђубрива прилагођена киселим или алкалним условима. Добра припрема земљишта је предуслов за успешно укоренавање и дугорочну стабилност травњака.

Људски фактор игра кључну улогу у квалитету примене хидросетве. Стручност оператера, избор одговарајуће опреме и прецизност у припреми терена директно утичу на резултате озелењавања. Савремене хидросејалице са GPS навођењем омогућавају високу тачност наношења, чак и на сложеним теренима, док ручна примена захтева више времена, труда и искуства. Недовољна припрема терена, неправилно дозирање компоненти или лоша координација могу довести до неравномерног раста, испирања семена или потпуног неуспеха процеса. Због тога је интеграција техничке опреме и обученог кадра од суштинског значаја за ефикасну и одрживу примену хидросетве. Само уз добро планирану и професионално изведену процедуру могу се постићи стабилни, функционални и еколошки прихватљиви резултати.

Примена хидросетве у пракси

Хидросетва се данас успешно примењује широм света у различитим климатским условима и на бројним типовима терена. Захваљујући брзини, ефикасности и могућности примене на великим и нагнутим површинама, све више се користи у пројектима озелењавања, заштите земљишта од ерозије и обнове деградираних подручја. У овом поглављу биће приказани примери примене хидросетве у свету и Србији, са посебним освртом на њене предности, техничке карактеристике и резултате постигнуте на терену.

Примена хидросетве у свету

Транспортна инфраструктура

Током изградње, проширења и одржавања аутопута (Interstate 70 (I-70)) у Колораду, САД, хидросетва је примењена за стабилизацију земљишта и успостављање вегетације на стрмим косинама и насипима (слика 5). I-70 је кључна саобраћајница која пролази

кроз разне врсте терена, укључујући планинске области са стрмим падинама које су подложне ерозији, где је хидросетва омогућила брзо и равномерно озелењавање великих и тешко доступних површина, посебно у делу West Vail Pass (<https://www.codot.gov/projects/i70westvailauxiliarylanes/>).



Слика 5. Хидросетва и мере заштите земљишта на коридору I-70 West Vail Pass у Колораду; а) и б) процес хидросетве, в) примена мрежа за фиксацију (<https://www.codot.gov/projects/i70westvailauxiliarylanes/>)

Figure 5. Hydroseeding and soil conservation measures on the I-70 West Vail Pass corridor in Colorado; a) and b) hydroseeding process, c) application of fixation nets (<https://www.codot.gov/projects/i70westvailauxiliarylanes/>)

Урбанистички пројекти

У урбаним срединама, хидросетва се користи за озелењавање паркова, игралишта, стамбених комплекса и “зелених” кровова. Пример из Девона, Велика Британија, показује успешну примену хидросетве на крову центра за обуку Краљевских маринаца, где су тешки климатски услови превазиђени комбинацијом малча и природних лепкова (слика 6). Овај приступ омогућио је задржавање супстрата и успешну ревегетацију у условима јаког ветра са мора (<https://www.cdtshydroseeding.co.uk/green-roof-at-instow-devon/>).



Слика 6. Примена хидросетве на зеленом крову центра за обуку Краљевских маринаца у Девону (Devon, UK) (<https://www.cdtshydroseeding.co.uk/green-roof-at-instow-devon/>)

Figure 6. Application of hydroseeding on the green roof of the Royal Marines Training Center in Devon (Devon, UK) (<https://www.cdtshydroseeding.co.uk/green-roof-at-instow-devon/>)

Еколошка и конзервациона примена

Хидросетва се све чешће користи као ефикасна мера у еколошкој обнови и конзервацији земљишта, нарочито на деградираним подручјима насталим услед пожара, рударских активности или грађевинских интервенција. Њена способност да брзо успостави вегетациони покривач чини је изузетно погодном за спречавање ерозије, стабилизацију терена и подстицање природне сукцесије биљних заједница. Према истраживању Vourlitis et al. (2017), хидросетва након пожара не само да смањује ризик од ерозије, већ и доприноси повећању садржаја азота у земљишту током раних фаза обнове екосистема, али на рачун регенерације аутохтоног грмља и богатства врста.

У Северној Калифорнији, након великог пожара Glass Fire 2020. године, хидросетва је примењена на површини од 4,8 хектара као део интегрисаног програма санације (слика 7). Комбинацијом биоразградивих влакнастих ролни, прилагођене мешавине семена и темељног чишћења терена, створени су услови за регенерацију шумске вегетације и дугорочну стабилизацију екосистема. Више од 5.000 линеарних стопа влакнастих ролни постављено је дуж контурних линија како би се спречило испирање супстрата и убрзало укоренавање биљака (<https://www.hanfordarc.com/all-projects/post-fire-recovery-hydroseeding>).



Слика 7. Примена хидросетве након пожара у Калифорнији 2020. године (<https://www.hanfordarc.com/all-projects/post-fire-recovery-hydroseeding>)

Figure 7. Application of hydroseeding after the 2020 California wildfires (<https://www.hanfordarc.com/all-projects/post-fire-recovery-hydroseeding>)



Слика 8. Примена хидросетве на напуштеном руднику угља у Индонезији; а) заснивање травњака хидросејалицом, б) предео пре примене хидросетве и в) предео након примене хидросетве (Pratiwi et al., 2021)

Figure 8. Application of hydroseeding at an abandoned coal mine in Indonesia; a) establishment of a lawn with a hydroseeder, b) landscape before application of hydroseeding and c) landscape after application of hydroseeding (Pratiwi et al., 2021)

У Индонезији, хидросетва се примењује у процесу рекултивације површина након експлоатације угља, посебно у регионима источног и јужног Калимантана и Јужне Суматре (слика 8). Брзо успостављање покровних усева доприноси контроли ерозије, побољшању структуре и плодности земљишта, као и припреми услова за садњу аутохтоних врста. Овај приступ убрзава еколошку обнову и омогућава повратак функција шума, биодиверзитета и локалне продуктивности (Pratiwi et al., 2021).

Спортски и рекреативни објекти

Спортски терени (фудбалски и рагби терени, атлетске стазе, школске дворишне површине, терени за бејзбол и голф терени) захтевају специфичне услове у погледу травног покривача: велику густину, еластичност, отпорност на хабање и визуелну уједначеност. Хидросетва се примењује на спортским теренима који захтевају густ, еластичан и отпоран травни покривач. У Јужној Аустралији, током припрема за AFL Gather Round, техника је коришћена за озелењавање преко 13.000 m² терена у комплексу Barossa Park Wetland (слика 9). Захваљујући прилагођеној мешавини семена и прецизној апликацији, терен је био спреман за употребу у предвиђеном року, уз висок степен естетске уједначености и стабилности травњака (<https://www.ecodynamics.com.au/case-study/afl-gather-round-barossa-park-wetland-hydroseeding-project/>).



Слика 9. Примена хидросетве при реконструкцији спортског комплекса Barossa Park Wetland (<https://www.ecodynamics.com.au/case-study/afl-gather-round-barossa-park-wetland-hydroseeding-project/>)

Figure 9. Application of hydroseeding in the reconstruction of the Barossa Park Wetland sports complex (<https://www.ecodynamics.com.au/case-study/afl-gather-round-barossa-park-wetland-hydroseeding-project/>)

Примена хидросетве у Србији

У Републици Србији хидросетва је током последње две деценије нашла своју примену као метода брзог и ефикасног озелењавања различитих типова терена. Најчешће се користи за стабилизацију бочних страна великих путева, санацију деградираних екосистема, уређење јавних зелених површина и решавање еколошких изазова у индустријским зонама.

Транспортна инфраструктура

Током изградње аутопута „Милош Велики“ (Е-763), који повезује Београд са југозападним деловима Србије, хидросетва је примењена као једна од најефикаснијих техника за стабилизацију терена. Нарочито је била значајна на деоницама које пролазе кроз планинске

пределе са стрмим падинама, где је земљиште изложено интензивној ерозији. Примена хидросетве омогућила је равномерно наношење семенске смеше и брзо формирање вегетационог покривача, чак и на тешко приступачним површинама. Посебно се истичу деонице између Прелјине и Пожеге, као и код искључења за Обреновац (слика 10), где су радови на озелењавању обухватили израду травњака на косинама насипа и раздельним тракама саобраћајнице, применом хидросетве и ручне сетве (2023. и 2018. година).



Слика 10. Примена хидросетве на аутопуту Милош Велики код искључења за Обреновац (лево) и на потезу Прелјина-Пожега, деоница 3 (десно) (фото Т. Мандић)

Figure 10. Application of hydroseeding on the Miloš Veliki highway at the Obrenovac exit (left) and on the Preljina-Požega stretch, section 3 (right) (photo T. Mandić)

Осим на траси аутопута „Милош Велики“, хидросетва је коришћена и на другим значајним инфраструктурним пројектима. На обилазници око Београда (сектори 4, 5 и 6), у оквиру деонице од моста преко Саве код Остружнице до Бубањ Потока, изведени су обимни радови на озелењавању, који су обухватили набавку и садњу шибља, припрему терена за ручну сетву, хидросетву, као и радове на одржавању новоформираних зелених површина (2023). Слични радови су изведени и на деоници Сурчин – Нови Београд, као делу аутопута Е-763, где је такође примењена хидросетва у оквиру радова на озелењавању.

На траси Рума – Шабац – Лозница, посебно на деоници Рума – Шабац, реализовани су радови озелењавања у оквиру ширег пројекта изградње брзе саобраћајнице, при чему је примењена комбинација садње шибља и хидросетве.

Поред тога, хидросетва је примењена и на више деоница Коридора 10, као што су: деоница Станичење – Пирот (Исток), у оквиру аутопута Е-80 (2019), и обилазница око Димитровграда (2018), где су радови обухватили садњу високих лишћара, четинара, жбуња и заснивање травњака методом хидросетве.

Ови примери указују на све ширу примену хидросетве као стандардне технике у пројектима изградње путне инфраструктуре у Србији, посебно у условима захтевног терена и потребе за брзом и ефикасном стабилизацијом насипа и падина.

Урбанистички пројекти

У Кошутњаку, једном од најпознатијих београдских паркова, хидросетва је примењена ради санације еродираних и огољених површина насталих услед интензивне употребе и климатских утицаја (слика 11). Коришћена је мешавина локално прилагођених травних

врста отпорних на сушу и хабање, уз додатак ђубрива и стабилизатора. На местима са појачаним пешачким саобраћајем примењени су додатни слојеви малча ради заштите биљака током фазе раста. Резултати су показали значајно побољшање биодиверзитета, обнову станишта за инсекте и птице, као и унапређење визуелног доживљаја посетилаца. Травната површина добијена хидросетвом показала се отпорнијом на интензивну употребу и захтева минимално одржавање (<https://hidrosetva.rs/kosutnjak/>).



Слика 11. Примена хидросетве у Кошутњаку (<https://hidrosetva.rs/kosutnjak/>)
Figure 11. Application of hydroseeding in Košutnjak (<https://hidrosetva.rs/kosutnjak/>)

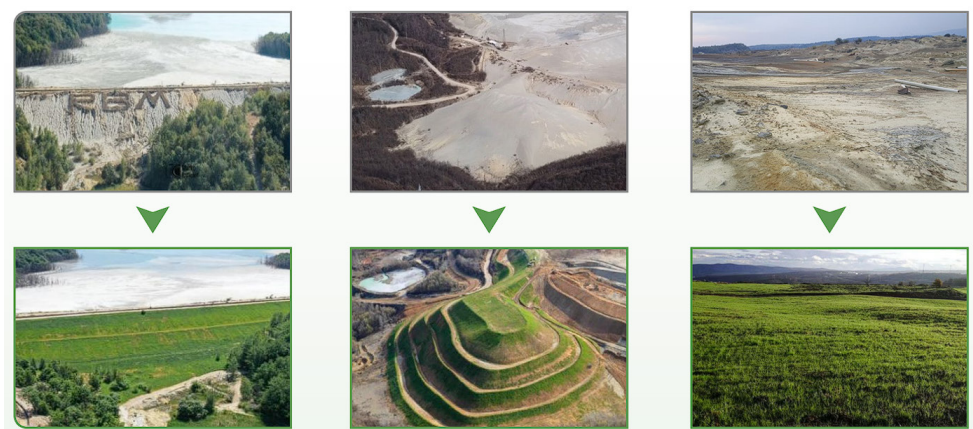
Еколошка и конзервациона примена

Депонија пепела у Обреновцу, настала као резултат рада термоелектрана, представљала је озбиљан еколошки изазов због ерозије ситних честица ветром и водом. Хидросетва је примењена као иновативно решење за стабилизацију и озелењавање ових површина (слика 12). Употреба стабилизатора допринела је смањењу спирања семена током иницијалне фазе клијања, док је вегетациони покривач умањио емисију прашине и побољшао микроклиму. Овај приступ показао се као одрживо решење које захтева минимално одржавање, уз значајно унапређење визуелног и еколошког квалитета рељефа (<https://hidrosetva.rs/deponija-pepela-obrenovac/>).



Слика 12. Примена хидросетве на депонију пепела у Обреновцу (<https://hidrosetva.rs/deponija-pepela-obrenovac/>)
Figure 12. Application of hydroseeding at the ash landfill in Obrenovac (<https://hidrosetva.rs/deponija-pepela-obrenovac/>)

У рударским регионима Бора и Мајданпека, хидросетва је примењена као део програма рекултивације земљишта након експлоатације (слика 13). Кинеска компанија Зиђин користила је ову технику за озелењавање стрмих падина, зона око транспортних система, дробилица и приступних путева. У руднику бакра у Мајданпеку, до прве половине 2024. године, озелењено је преко 130.000 m² површина, укључујући и 2.000 m² неприступачног терена код радионице електромашиноског одржавања. Укупно је у последње четири године рекултивисано преко пола милиона квадратних метара земљишта, при чему је озелењено 80% јаловишта (CSR REPORT 2023).



Слика 13. Примена хидросетве у Бору и Мајданпеку, пре и после примене (CSR REPORT 2023)

Figure 13. Application of hydroseeding in Bor and Majdanpek, before and after implementation (CSR REPORT 2023)

Спортски и рекреативни објекти

Неколико домаћих компанија које се баве озелењавањем и уређењем спортских површина, попут Green Decor, Super Green и Hidrosetva.rs, наводе да хидросетва представља ефикасну технику за брзо и равномерно заснивање травњака на спортским теренима, школским двориштима и јавним површинама. Ова метода се препоручује за терене који захтевају високу отпорност на хабање, густину траве и брзу регенерацију, што је посебно важно за фудбалске и рекреативне терене. Међутим, у погледу голф терена, иако постоје фирме у Србији које се баве њиховим пројектовањем и одржавањем, као што су Superior Green и Super Green Plus, нема доступних података који потврђују да је хидросетва коришћена као примарна техника озелењавања на тим објектима. Уместо тога, чешће се користе класичне методе сетве, пескирања и наводњавања, које омогућавају прецизнију контролу над саставом и изгледом травњака.

Примена хидросетве у Србији показала је низ позитивних ефеката:

- Брзина успостављања вегетације: омогућава брзо озелењавање и стабилизацију терена.
- Трошкови: економичнија од класичних метода на великим и неприступачним површинама.
- Еколошки утицај: смањује ерозију, побољшава микроклиму и подстиче биодиверзитет.
- Одрживост: захтева минимално одржавање, уз дугорочну стабилност травног покривача.

Хидросетва има велики потенцијал за ширу примену у Србији, нарочито у контексту

климатских промена, урбанизације и санације деградираних екосистема. Да би се ова техника системски примењивала, неопходно је унапређење законског оквира, изградња техничких капацитета и подизање свести јавности и стручњака о њеним предностима. Интеграција хидросетве у планове озелењавања, инфраструктурне пројекте и еколошке интервенције може значајно допринети одрживом управљању земљиштем и заштити животне средине.

У оквиру даљег развоја и примене хидросетве у Србији, неопходно је усмерити пажњу на будућа истраживања која би омогућила дубље разумевање њених дугорочних ефеката. Посебан значај има систематско праћење стабилности вегетационог покривача, динамике укорјењавања и утицаја на локалне екосистеме током више година након примене. Истовремено, потребна је адаптација семенских мешавина у складу са специфичностима домаћих климатских услова, типова земљишта и степена деградације терена, како би се постигла већа ефикасност и отпорност покривача. Додатно, интеграција хидросетве са другим еколошким мерама представља перспективан приступ који може допринети свеобухватној и одрживој рехабилитацији угрожених подручја.

ЗАКЉУЧАК

У светлу све израженијих процеса деградације земљишта и потребе за очувањем природних ресурса, хидросетва се показала као једна од најефикаснијих техника у оквиру еколошке рестаурације и конзервације земљишта. Њена примена омогућава брзо и стабилно формирање вегетационог покривача на ерозивним, нагнутим и тешко приступачним теренима, чиме се значајно смањује ризик од губитка плодног слоја и убрзава процес обнове биодиверзитета. Као техника која комбинује семе, воду, ђубрива, лепкове и малч, хидросетва не само да обезбеђује оптималне услове за клијање, већ и омогућава равномерно покривање великих и сложених површина, уз високу прецизност и ефикасност. Њена примена у Србији, као и у развијеним земљама широм света, потврђује свестраност ове методе, од санације депонија, паркова и рударских зона, до великих инфраструктурних пројеката. Иако захтева скупу опрему, техничку стручност и пажљив избор компоненти, предности хидросетве (брзина заснивања травњака, еколошка вредност, економичност и дугорочна стабилност) чине је незаменљивом у савременом приступу заштити и обнови земљишта. У контексту глобалних еколошких изазова, урбанизације и климатских промена, хидросетва представља одрживо решење које спаја технолошки напредак са природним процесима, доприносећи дугорочној стабилизацији, ревитализацији екосистема и унапређењу квалитета животне средине.

LITERATURA

- 1) Blankenship, W. D., Condon, L. A., & Pyke, D. A. (2019). Hydroseeding tackifiers and dryland moss restoration potential. *Restoration Ecology*, **28**(S2), S127–S138. <https://doi.org/10.1111/rec.12997>
- 2) CalTrans (California Department of Transportation) (2003) Guidance for temporary soil stabilization. <http://www.dot.ca.gov/hq/construc/stormwater/tempsoilstabilizationguide.pdf>
- 3) CSR - Corporate Social Responsibility Report. Zijin Copper Serbia, 2023.
- 4) Erić, P., Čupina, B., Krstić, Đ., Vujić, S. (2016): Travnjaci, udžbenik. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet.
- 5) FAO (2020): FAO Soils Portal Key definitions. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- 6) Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J. G., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., Dixon, K. W., (2019): International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restor Ecol*, **27**: S1-S46. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>
- 7) Gavrilović, S. (1972): Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji, Izgradnja, Specijalno izdanje, Beograd.
- 8) Kadović, R. (1999): Protiverozioni agroekosistemi, udžbenik. Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet.
- 9) Letić, Lj. (2002): Korišćenje voda u šumskim područjima: Uređivanje voda - Bioregulacije. Deo 1 – udžbenik. Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet.
- 10) Maiti, S. K. (2013): Ecorestoration of the coalmine degraded lands – book. Springer, India. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-0851-8>
- 11) Montanarella, L. (2007): Trends in land degradation in Europe, *Climate and Land Degradation*. Springer, Berlin, Heidelberg, (83-104). https://doi.org/10.1007/978-3-540-72438-4_5.
- 12) Parsakhoo, A., Jajouzadeh, M., Rezaee Motlagh, A., 2018, Effect of hydroseeding on grass yield and water use efficiency on forest road artificial soil slopes. *JOURNAL OF FOREST SCIENCE*, **64**, 2018 (4): 157–163. <https://doi.org/10.17221/2/2018-JFS>
- 13) Pratiwi, Narendra, B.H.; Siregar, C.A.; Turjaman, M.; Hidayat, A.; Rachmat, H.H.; Mulyanto, B.; Suwardi; Iskandar; Maharani, R.; et al. Managing and Reforesting Degraded Post-Mining Landscape in Indonesia: A Review. *Land* **2021**, *10*, 658. <https://doi.org/10.3390/land10060658>
- 14) Santini, N.S., Miquelajauregui, Y. (2022): The Restoration of Degraded Lands by Local Communities and Indigenous Peoples. *Front. Conserv. Sci.* **3**:873659. <https://doi.org/10.3389/fcosc.2022.873659>
- 15) SERI - Society for Ecological Restoration International and IUCN Commission on Ecosystem Management (2004): Ecological Restoration, a means of conserving biodiversity and sustaining livelihoods. Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona, USA and IUCN, Gland, Switzerland.
- 16) Verma, J., Singh, S., Singh, N., Talwar, D. (2024): Advancements in Hydroseeding Materials and Techniques. *Agri Roots*, Volume 2, Issue 8.
- 17) Vourlitis, G. L., Griganavicius, J., Gordon, N., Bloomer, K., Grant, T., & Hentz, C. (2017). Hydroseeding increases ecosystem nitrogen retention but inhibits natural vegetation regeneration after two years of chaparral post-fire recovery. *Ecological Engineering*, **102**, 46-54. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.01.041>

4. <https://www.finncorp.com/>
5. <https://classiclawnandtree.com/commercial-hydroseeding/>
6. <https://turboturf.com/hs-50-p/>
7. <https://turboturf.com/hm-1000-harv/#>
8. <https://www.inaturalist.org/>
9. <https://www.codot.gov/projects/i70westvailauxiliarylanes/>
10. <https://www.cdtshydroseeding.co.uk/green-roof-at-instow-devon/>
11. <https://www.hanfordarc.com/all-projects/post-fire-recovery-hydroseeding>
12. <https://www.ecodynamics.com.au/case-study/afl-gather-round-barossa-park-wetland-hydroseeding-project/>
13. <https://hidrosetva.rs/kosutnjak/>
14. <https://hidrosetva.rs/deponija-pepela-obrenovac/>