

PREGLED LITERATURE O SIVIH, ZELENIH IN HIBRIDNIH UKREPIH ZA ZMANJŠANJE OGROŽENOSTI ZARADI EROZIJE TAL

V tem poglavju je predstavljen pregled literature o sivih, zelenih in hibridnih ukrepih za zmanjšanje ogroženosti zaradi erozije tal. Pri pregledu izbranih ukrepov so bili upoštevani vidiki, kot so izvedljivost, stroškovna učinkovitost, prilagodljivost, zahtevnost vzdrževanja, vpliv na podnebne spremembe in njihovo blaženje. Poleg tega sta za vsak posamezen ukrep predstavljena kratek povzetek in študija primera. Preden pa se poglobimo v podrobnosti o vsakem ukrepu, je treba najprej omeniti, kako so bili ti ukrepi razdeljeni med te tri različne kategorije (sivi, zeleni, hibridni ukrepi).

Tako je bila glede sivih ukrepov izbrana tradicionalna in bolj ali manj običajna siva infrastruktura za blaženje erozije tal. V primerjavi z drugimi tehnikami zmanjševanja ogroženosti zaradi erozije tal sivi ukrepi vizualno predstavljajo togo infrastrukturo, ki je običajno izdelana iz biološko nerazgradljivih materialov, kot sta beton ali jeklo, in takšni ukrepi imajo prevladujoč "siv" vizualni videz. Poleg tega tovrstni ukrepi običajno zagotavljajo omejene ekosistemske storitve ali jih skorajda ne zagotavljajo. Zeleni ukrepi pa imajo v primerjavi z drugimi kategorijami ukrepov za zmanjšanje ogroženosti zaradi erozije tal prevladujoče ekosistemske funkcije in so večinoma izdelani iz razgradljivih materialov. Čeprav je v fazi izgradnje zelenih ukrepov običajno potrebna določena tehnična oprema, imajo ti ukrepi pozneje po postopku izgradnje večinoma le "zeleni" vizualni učinek. V povezavi s hibridnimi ukrepi so bile izbrane rešitve za zmanjševanje ogroženosti zaradi erozije tal, ki vključujejo elemente tako sivih kot zelenih ukrepov. Omeniti je treba tudi, da se v tem primeru hibridni ukrepi nanašajo predvsem na tiste rešitve, ki so vizualno videti bolj zelene in zagotavljajo določene ekosistemske storitve, vendar še vedno vsebujejo elemente sive infrastrukture, ki pomagajo ukrepi, da pravilno opravljajo svoje funkcije oziroma da je učinkovitost ukrepa čim večja.

V preglednicah 1 in 2 so navedeni izbrani sivi, zeleni in hibridni ukrepi ter opisi parametrov, ki so bili analizirani med pregledom literature za vsak posamezen ukrep.

Preglednica 1. Izbrani ukrepi za sive, zelene in hibridne ukrepe za zmanjševanje ogroženosti zaradi erozije tal.

Kategorija	Izbrani ukrepi
Siva	Zaplavne pregrade, terase, proti-erozijski jarki, majhni jezovi, Kranjska stena, kamen v betonu
Zelena	pogozdovanje, zatavljanje njiv, varovalni (vegetacijski) pasovi - dve vrsti: z drevesi in brez njih, konturno obdelovanje, obrežni varovalni pasovi
Hibridni	Geotekstil, geomreže, leseni jezovi, zadrževalniki

Preglednica 2. Seznam deskriptorjev in njihova razlaga.

Deskriptor	Razlaga
Kratek povzetek	Kratka razlaga/opis izbranega sivega, zelenega ali hibridnega ukrepa.
Izvedljivost	Kako težko je izvesti ukrep v smislu zasnove, postopka izvajanja itd. Poleg tega se lahko v tem razdelku upošteva tudi trajnost (življenjska doba) ukrepa.
Stroškovna učinkovitost	Kako učinkovit je ukrep z vidika blaženja erozije tal in drugih vidikov (po potrebi) glede na višino naložbe (npr. stroškov gradnje).
Prilagodljivost	Vpliv izbranega ukrepa na druge nevarnosti, kot so zemeljski plazovi, poplave, sedimentacija, onesnaženje podtalnice itd.
Vzdrževanje	Vzdrževanje (količina) da objekt ohranja funkcijo. Poleg tega se lahko v tem razdelku upoštevajo tudi stroški vzdrževanja.
Podnebne spremembe	Vpliv izbranega ukrepa na podnebne spremembe. Tu se lahko glede na izbrani ukrep upošteva blažitev ali, nasprotno, negativen vpliv na podnebne spremembe.
Referenčni primer	Opis primera, v katerem je bil izbrani ukrep izveden ali v katerem je bilo njegovo izvajanje preizkušeno.

Erozija tal - zeleni ukrepi

Ukrep: pogozdovanje	
Primer ukrepa (Klič et al., 2023)	 Slika 1. Pogozdovanje obdelovalnih površin na Češkem (Klič et al., 2023).
Kratek povzetek	Pogozdovanje je proces spreminjanja kmetijskih zemljišč, marginalnih zemljišč ali drugih vrst zemljišč v gozdove. Gre za prakso upravljanja, ki spada v kategorijo spremembe rabe zemljišč, saj gre za spremembo vrste rabe zemljišč, ki je manj nagnjena k eroziji tal in zagotavlja številne pozitivne učinke, vključno z izboljšanjem kakovosti vode, novimi habitati divjih živali in proizvodnjo lesa (Ricci, 2020). Zaradi širjenja dreves na območjih, kjer prej ni bilo dreves, se lahko zmanjšata koncentracija ogljika v zraku in obseg poplav (Arora in Montenegro, 2011; Johnen et al., 2020). Pogozdovanje je zelo pomemben in učinkovit protierozijski ukrep. Ker pa tega ukrepa ni mogoče uporabiti na vseh njivskih površinah, ga je treba dopolniti z agrotehničnimi ukrepi - mulčenjem, zatratitvijo, kmetovanjem brez obdelave tal, itd. Pogozdovanje se na splošno uporablja na tleh, ki niso primerna za kmetijsko pridelavo, zlasti na tleh z naklonom, večjim od 17° (VÚMOP, 2019).
Izvedljivost	Za izvajanje tega ukrepa je treba najprej poiskati in pripraviti zemljišče, na katerem bo potekalo pogozdovanje. Nato se izberejo primerne drevesne vrste in izberejo ustrezna gnojila glede na izbrano vrsto vegetacije. Ko so drevesa posajena, jih je treba v prvih letih vzdrževati (Climate-ADAPT, 2020). Za pogozdovanje njivskih površin na Češkem so na voljo subvencije (SZIF, 2023): - subvencije za vzpostavitev gozdnih površin; - subvencije za vzdrževanje gozdnih nasadov; - subvencije kot nadomestilo za prenehanje kmetijske proizvodnje.
Stroškovna učinkovitost	Po podatkih VÚMOP (2019) je pri ocenjevanju učinkovitosti protierozijskih ukrepov v zvezi z varstvom tal zagotovo najučinkovitejša zaščitna zatratitev ali pogozdovanje. Poleg tega na takšnih območjih ne prihaja do neželenih erozijskih procesov. Ricci in drugi (2020) so opravili analizo razmerja med donosnostjo in proizvodnimi stroški kmetov za več protierozijskih ukrepov. Na območjih strmih pobočij (naklon > 20 %) je bilo pogozdovanje uvrščeno na vrh ukrepov, ob predpostavki, da je prvi les mogoče posekati in prodati po 12 letih. Johnen in sodelavci (2020) so analizirali učinkovitost pogozdovanj na različne

	ekosistemske storitve na podlagi treh različnih scenarijev. Pokazali so pozitiven učinek pogozdovanja na biotsko raznovrstnost, kakovost vode in koncentracijo ogljika. Glede stroškov je ista študija pokazala, da je za 1 ha zemljišča potrebnih približno 3 500 dreves. Ob upoštevanju dejstva, da je za posaditev vsakega drevesa potreben približno 1 EUR, bi skupni stroški posaditve 3 500 dreves na 1 ha znašali približno 3 500 EUR. Povprečna cena obdelovalnih površin, ki jih je mogoče uporabiti za pogozdovanje, pa je bila ugotovljena pri približno 60 000 evrih na hektar (Johnen et al., 2020). Sulewski (2018) je stroške pogozdovanja (brez stroškov nakupa zemljišč) na Poljskem ocenil na 1461 EUR/ha (1PLN=0,22 EUR) v letu 2018, Phillips (2006) pa na 2470-4616 EUR/ha za Irsko.
Prilagodljivost	Z zmanjševanjem vlage v tleh drevesa zmanjšujejo verjetnost proženja zemeljskih plazov. Korenine dreves delujejo kot ovira pred premiki tal, hkrati pa utrjujejo plasti tal in pritrjujejo tla na podlago. Poleg tega lahko gozdovi tudi preprečujejo padanje kamenja, skrajšajo razdaljo proženja zemeljskih plazov in zmanjšajo nevarnost erozije tal (RECOFTC, 2012). Vendar, Forbes in Broadhead (2013) navajata, da to velja le za plitve zemeljske plazove. Druge koristi pogozdovanja so krepitev biotske raznovrstnosti krajinskih območij in izboljšanje ekološkega ravnovesja krajine. Stabilizacija hidroloških in podnebnih razmer v pokrajini, varstvo tal in varstvo voda. Pogozdovanje ima ključno vlogo tudi pri zmanjševanju poplavne ogroženosti (glej npr. Johnen et al., 2020 ali Bezak et al., 2021).
Vzdrževanje	V skladu s Climate-ADAPT (2020) v prvem letu po pogozdovanju povprečni stroški vzdrževanja dreves znašajo približno 300 EUR na ha, v tretjem letu pa se lahko stroški znižajo na 100 EUR na ha. Na splošno je treba postopek vzdrževanja izvajati v prvih 3-5 letih. Sulewski (2018) je stroške vzdrževanja ocenil na približno 170 EUR/ha/leto (na Poljskem), po podatkih Kuhlmana (2010) pa povprečni stroški vzdrževanja za pogozdovanje znašajo 296 EUR/ha/leto.
Podnebne spremembe	Gozdovi absorbirajo atmosferski CO₂ in tako prispevajo k blažitvi podnebnih sprememb. To je dolgoročni ukrep, ki izpolnjuje cilje v življenjski dobi gozdova, tj. približno 60 let. Po podatkih Združenih narodov lahko pogozdovanje štejemo za enega najučinkovitejših ukrepov v zvezi z blaženjem podnebnih sprememb (Arora in Montenegro, 2011). Znano je, da drevesa absorbirajo ogljikov dioksid, kar pripomore k boju proti podnebnim spremembam. Na primer, mestno zelenje lahko na leto predela 0,8 tone CO₂ na hektar zelenih površin (CNT, 2020b). Na 1 m² gozda se lahko shrani 28,1 kg C v primerjavi z 1,1 kg/m² in 12,3 kg/m² C na obdelovalnih površinah in travnikih (Anderson et al., 2010). Hkrati pa imajo po podatkih Bonana (1997) gozdovi običajno nižji albedo, ki pa je sorazmeren s količino odbitega sončnega sevanja. To pomeni, da so obdelovalne površine bolj odbojne kot drevesa, zato se z večanjem gozdnih površin na določenem območju povečuje tudi količina sončnega sevanja, ki ga absorbirajo drevesa, kar vodi v neto segrevanje podnebja, zlasti na območjih z višjimi nadmorskimi višinami (Arora in Montenegro, 2011).
Referenčni primer	Pogozdovanje njiv v bližini vasi Chlístov na Češkem (Klíš et al., 2023). Pogozdovanje njivskih površin v bližini vasi Chlístov je bilo izvedeno leta 2012. Sestava je 100 % bukev. V okviru omenjene raziskave sta bili analizirani tudi dve drugi pogozdeni njivi. Prva je bilo pogozdena leta 1998 s smreko (80 %), macesnom (10 %), češnjo (5 %), borom (3 %) in jelko (2 %), drugo pa leta 1955 s smreko (99 %) in macesnom (1 %).

Ukrep: Zatravljanje njivskih površin	
Primer ukrepa	https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.interreg-danube.eu%2Fmedia%2Fdownload%2F29123&psig=A0vVaw1V0xKxH9KiSa4UfYsqFd1r&ust=1694716032321000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=2ahUKEwiHz4qqm6iBAxUHi_OHHSqTCKEQr4kDegQIARBR  <i>Slika 2. Primer spremembe rabe tal, povzeto po:</i> https://www.researchgate.net/publication/279230806_Long-term_Land_Use_and_Land_Cover_Changes_Affected_by_the_Conservation_Reserve_Program_in_the_Minnesota_River_Valley#fullTextFileContent
Kratek povzetek	Preoblikovanje njivskih površin v travnike (pašnike) je ukrep, primeren za nadzor erozije tal, kadar izguba tal presega $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Po podatkih Franz et al. (2018) je vegetacija najpogostejši naravni element, ki se uporablja za nadzor erozije; ščiti tla in absorbira vodo. Preprečuje tudi vetrno erozijo. Vegetacija povečuje tudi hrapavost površja in upočasnjuje površinski odtok med padavinskimi dogodki (MZE 2017).
Primer študije primera	Študija primera: eksperimentalna študija erozije tal na golih tleh in travnikih (Apollonio et al., 2021). Rezultati zmanjšanja erozije tal so jasni - v primerjavi z rastlinskim pokrovom (70 cm višine) je bilo opaziti dosledno zmanjšanje erodiranega materiala (do 300-krat) glede na stanje golih tal. Glede na rezultate poskusa višina vegetacije 70 cm že predstavlja konfiguracijo z največjo učinkovitostjo za zmanjšanje kinetične energije dežja in posledično manjše vodne erozije.
Izvedljivost	Izvedba je razmeroma preprosta; namesto prejšnjega posevka se poseje travno seme. V nekaterih primerih lahko sprememba rabe zemljišč zaradi sprememb v kmetijskem podjetju zahteva tudi prilagoditve strojev in zgradb na ravni kmetije (Posthumus et al. 2013).

Stroškovna učinkovitost	Vegetacija lahko zmanjša stopnjo erozije tal za 90 % (Franz et al., 2018). Vrsta laboratorijskih eksperimentov je pokazala, da lahko vegetacija zmanjša povprečno hitrost vode za 31-65 % (Pan in Shangguan, 2006). Raziskovalci so tudi ugotovili, da je bilo povprečno zmanjšanje odtoka in sedimentov za 51,02 % oziroma 32,22 % za tla z vegetacijo v primerjavi s stanjem brez vegetacije (Bai et al., 2019). Druga raziskava, ki jo je opravil Frielinghaus (2002), navaja: če predpostavimo, da ima prst brez zelenega rastlinskega pokrova 100 % izgubo tal, 20-30 % rastlinskega pokrova zmanjša izgubo tal na 25 %, 30-50 % zelenega pokrova jo zmanjša na 8 %, več kot 70 % (kar velja za travnike) pa na manj kot 2 %. Stroški zatavljanja njivskih površin se večinoma izračunajo kot izguba kmetijske proizvodnje. Kuhlman et al. (2010) so izračunali, da so stroški spreminjanja njiv v travnike 155 EUR na ha. Študija Nixa (2009) kaže, da je letna izguba bruto marže zaradi spremembe rabe zemljišča v travinje znašala 281, 607 in 369 funtov na ha v primeru spremembe rabe iz ozimne pšenice, krompirja oziroma sladkorne pese. Stroški semen trave so znašali 50 funtov na ha (Cuttle et al., 2006). Posthumus in drugi (2013) so izračunali, da skupni stroški pokritja 5 % njivskih površin s travnim pokrovom znašajo 253 funtov. Stroški vzdrževanja za pridelavo sena znašajo približno 113 EUR/ha, dobiček pa je lahko med 208 EUR (v primeru zelo nizke pridelave) in približno 860 EUR na ha.
Vzdrževanje	V skladu s češkimi agronomskimi normativi stroški upravljanja in spravila 1 ha travnika vključujejo spomladansko vleko 15 EUR/ha, košnjo 28 EUR/ha, grabljenje 17 EUR/ha, zbiranje in baliranje sena 53 EUR/ha, kar skupaj znaša 113 EUR/ha (www.agronormativy.cz). V Angliji (leta 2009) so letni stroški (ob predpostavki ene košnje na leto) znašali približno 25 funtov na hektar (Nix, 2009).
Podnebne spremembe	Za travnike velja, da imajo lahko ključno vlogo pri zmanjševanju emisij toplogrednih plinov. So zelo pomembno skladišče ogljika, ki ga še naprej shranjujejo in imajo precejšnje možnosti, da ga še povečajo. Vendar pa tudi travna ruša prispeva k emisijam toplogrednih plinov, zlasti metana in dušikovega oksida, upravljanje travne ruše pa vpliva na neto bilanco ogljika in njegovo sekvenciacijo (Hopkins in Del Prado 2007). Tveganje za travnike predstavljajo tudi podnebne spremembe; v Evropi nekateri podnebni scenariji predvidevajo njihovo zmanjšanje (Gibson in Newman 2019). Prilagajanje travnih površin na podnebne spremembe bo različno, z možnim povečanjem ali zmanjšanjem produktivnosti ter povečanjem ali zmanjšanjem zalog ogljika v tleh (O'Mara 2012). Predvideni scenariji kažejo, da lahko povišane temperature in koncentracije CO₂ povečajo rast zelišč in dajejo prednost stročnicam bolj kot travam, vendar bi sezonske spremembe padavin te koristi zmanjšale, zlasti na območjih z malo poletnimi padavinami. Nadaljnje posledice za travišča

	lahko izhajajo iz pogostejših suš, neviht in drugih ekstremnih dogodkov (Hopkins in Del Prado 2007).
Druge nevarnosti	Poleg zmanjševanja vodne in vetrne erozije travniki povečujejo hrapavost površja in upočasnjujejo površinski odtok ter tako zmanjšujejo tveganje poplav. Travniki imajo lahko tudi vlogo sedimentacijskih in zadrževalnih pasov, ki se nahajajo neposredno na zemljiščih ali njihovih delih (Novotný et al. 2017).

Ukrep: varovalni (vegetacijski) pasovi - dve vrsti: z drevesi in brez njih	
Študija primera	 <i>Slika 3. Primer varovalnega vegetacijskega pokrova povzeto po:</i> http://nwrn.eu/measure/buffer-strips-and-hedges https://extension.missouri.edu/publications/g1653 https://se.copernicus.org/articles/8/217/2017/se-8-217-2017.pdf
Kratek povzetek	Pasovi (večinoma) trajnega rastlinja (njihova širina se giblje med 1 in 25 m, Van Dijk et al., 1996) so postavljeni vzdolž kontur naklonov in delijo območje obdelovalnih površin. Uporabljajo se za povečanje infiltracije, upočasnitev površinskega odtoka in povečanje odlaganja sedimentov (Uusi-Kämpä, 2005), filtracijo sedimentov in odstranjevanje hranil iz odtoka (Van Dijk et al. 1996). Rastlinski pasovi so lahko zeliščni (trava, bio pasovi z zelišči) ali pa so v obliki živih mej oziroma zaščitnih pasov, zasajenih z lesnimi in grmovnimi vrstami. Travnati pasovi so sestavljeni iz pasov vegetacije, ki se nahajajo na pobočju obdelovalnih površin ali objektov za rejo živali, da bi zmanjšali iznos hranil, sedimentov in drugih onesnaževal s kmetijskih površin. Pasovi so lahko tudi del cikla kolobarjenja (Van Dijk et al., 1996), saj so pasovi posevkov manj ogroženi zaradi erozije (VÚV TGM, 2018). Trava ščiti površino pred odnašanjem s strani vodnega toka in dežnih kapljic ter tako močno zmanjšuje odnašanje delcev. Hidravlični pogoji so ugodni za odlaganje delcev tal, ki se transportirajo s površinskim odtokom z njiv, ki so na pobočju (Van Dijk et al. 1996).
Primer študije primera	Travnati pasovi so bili izvedeni na kmetijskih zemljiščih v kraju Hustopeče na Češkem. Po implementaciji se je vrednost LS RUSLE znatno zmanjšala (glej Karasek et al. 2022).
Izvedljivost	Izvede se lahko razmeroma hitro (v 1-3 letih). Ta ukrep pomeni povečane stroške pridelave z možno povezavo z nakupom izbranih vrst kmetijske mehanizacije. V okviru te vrste ukrepa se uporabnikom zemljišč stalno povečujejo ekonomski stroški (VÚV TGM, 2018). Pri travnatih in zeliščnih pasovih se učinek doseže hitro, pri drevesni vegetaciji pa je lahko daljši.
Stroškovna učinkovitost	Posthumus et al. (2015) so ocenili, da so investicijski stroški (travnatih) varovalnih pasov 32 funtov/ha za pasove, široke 6 m.

	Kuhlman et al. (2010) ocenjujejo, da so stroški varovalnih pasov na polju 125 evrov/ha/leto. Lahko so zelo učinkoviti pri zmanjševanju erozije (Van Dijck et al., 1996) in filtriranju odtoka (Bissonnais et al., 2004). Na učinek filtriranja sedimentov iz površinskega odtoka s travnatimi pasovi vpliva več dejavnikov: širina travnatega pasu, koncentracija sedimentov v vodi, ki vstopa v pas, hitrost toka vode, gostota in višina trave (Van Dijk et al., 1996). Učinkovitost pri zmanjševanju izgube tal je bila v večini študij razmeroma visoka, saj se je izguba tal z njive zmanjšala za 76 % in 98 % dolvodno od 6-metrskega travnatega pasu ter za 81 % dolvodno od 3-metrskega travnatega pasu (Bissonnais et al., 2004). Podoben učinek so dokazali tudi Maetens in drugi (2012), ki so na podlagi poskusov na ploskvi ugotovili, da je učinkovitost varovalnih pasov 80 % (razmerje med poljem s tem ukrepom in poljem brez tega ukrepa je bilo namreč izračunano kot 0,2). Van Dijk s sodelavci (1996) so izmerili zmanjšanje odvajanja sedimentov med 60 in 90 % pri pasovih, dolgih 4-5 m, in 90-99 % pri pasovih, dolgih 10 m. Collins in drugi (2009) so ocenili, da je manjša izguba tal pri zaščitnih pasovih ali živih mejah le med 5 in 20 %, pri varovalnih pasovih na polju pa med 5 in 50 %, Posthumus in drugi (2015) pa, da je izguba tal pri zaščitnih pasovih le 10 %, pri varovalnih pasovih na polju pa 25 %. Razmerje med stroški in koristmi v petletnem obdobju je bilo ocenjeno na 0,84 do 3,75 (varovalni pasovi na polju) in 0,02 do 0,25 (zaščitni pasovi) (Posthumus et al., 2015). Slednje je tako nizko zaradi daljšega časa uspevanja dreves, zaradi česar je ukrep v prvih letih manj učinkovit. Ta ukrep je mogoče priporočiti za pobočja, ki niso ekstremno strma (manjša od 25 %).
Vzdrževanje	Vzdrževanje vključuje redno košnjo v prvih 12-24 mesecih, da se zmanjša travnata ruša. V primeru travnatih pasov tudi letno košnjo. Stroški vzdrževanja lahko znašajo približno 1,50 GBP/ha/leto (Posthumus et al., 2015), odvisno od gostote in širine pasov ter deleža različnih rastlin (košnja trave stane 25 GBP/ha/leto ob upoštevanju ene košnje na leto (Nix, 2009)).
Podnebne spremembe	Za travnike velja, da imajo lahko ključno vlogo pri zmanjševanju emisij toplogrednih plinov. V njih se lahko shranjuje ogljik in prispevajo k njegovi sekvenciaciji (Hopkins in Del Prado, 2007), vendar je učinek ozkih in redko razporejenih pasov seveda veliko manjši kot zatravitev celotnega zemljišča. Po drugi strani pa lahko travnike ogrozijo podnebne spremembe (Gibson in Newman 2019). Prilagajanje travnikov na podnebne spremembe bo različno, z možnim povečanjem ali zmanjšanjem produktivnosti ter povečanjem ali zmanjšanjem zalog ogljika v tleh (O'Mara 2012).
Druge nevarnosti	Poleg zmanjšanja vodne in vetrne erozije (v primeru lesenih pasov) povečujejo hrapavost površine in upočasnjujejo površinski odtok ter tako zmanjšujejo tveganje nastanka poplav. Travniki

	imajo lahko tudi vlogo pasov za sedimentacijo in zadrževanje sedimentov, ki se nahajajo neposredno na zemljiških blokih ali njihovih delih (Novotný et al., 2017; Maetens et al., 2012).
--	--

Ukrepanje: Konturno obdelovanje	
Študija primera	 Slika 4. Primer konturnega obdelovanja povzeto po: https://www.plymouthswcd.com/contour-farming https://livinghistoryfarm.org/farming-in-the-1930s/crops/contour-plowing/ https://wicci.wisc.edu/2021-assessment-report/land/wisconsin-agriculture-stressed-by-climate-change/ Vir: https://www.plymouthswcd.com/contour-farming
Kratek povzetek	V okviru tega ukrepa gre za kmetovanje na določenih delih pobočij vzdolž plastnic (angl. contour farming)(Quinton in Catt, 2004). Ukrep zmanjšuje površinski odtok s povečanjem hrapavosti površine pravokotno na pobočje. Povečana hrapavost površine zmanjša hitrost vode, kar zagotavlja več časa za infiltracijo in zmanjša stopnjo erozije (Stevens et al., 2009). Z oranjem vzdolž plastnic pobočja ali z majhnim odstopanjem od plastnic z rotacijskimi plugi, ki obračajo tla proti pobočju, je mogoče pomembno prispevati k zaščiti tal pred erozijo (Novotný et al. 2017). Neposredni učinek je zmanjšanje izgube gnojil in povečanje pridelka. Liu et al. (2013) so poudarili, da je največji učinek dosežen pri naklonu med 3 in 8 %, saj je na območjih s strmimi pobočji lahko velika nevarnost prevrnitve traktorja (Abubakar et al, 2010). Ta ukrep spodbuja večji pridelek, saj zmanjšuje izgubo rodovitnih tal in ohranja več vlage v tleh. Zato se obdelava vzdolž plastnic šteje za del strukturnih praks, ki so koristne za zmanjševanje erozije (Santhi et al., 2014). V Italiji je konturno kmetovanje ena od standardnih praks upravljanja zemljišč na hribovitih območjih, ki se uporablja od začetka leta 1900 (Bazzoffi et al., 2011).
Izvedljivost	Sprememba smeri obdelave od prečno na nagib v obdelavo vzdolž plastnic ni bila izrecno stroškovno ovrednotena. Dejansko lahko dodaten čas, porabljen na polju zaradi zmanjšane delovne hitrosti, poveča operativne stroške na hektar, povezane z vzpostavljanjem posevkov in morebiti tudi z gnojenjem in škropljenjem. Številni kmetje se zaradi težav pri obdelovanju in škropljenju (Stevens et al., 2009) ter tradicije za ta način obdelave ne odločijo. Težave so lahko tudi s stabilnostjo strojev, ki se uporabljajo za delo na pobočju (Quinton in Catt, 2004). Ponekod obdelava vzdolž plastnic ne zahteva veliko dodatnih stroškov, drugod lahko zahteva uporabo posebnih strojev. Vendar je pri ekstremnih naklonih

	nad 15-21 % morda bolj priporočljiva zatravitev polja. V nekaterih primerih lahko konturno kmetovanje otežuje tudi oblika polja, če ima obliko podolgovatega pravokotnika s kratko stranico vzdolž konture. V večini primerov je pri obdelovanju vzdolž plastnic potrebno le pogostejše obračanje na vrtičkih (Macho 2018).
Stroškovna učinkovitost	Investicijski stroški niso potrebni, razen če so potrebni posebni stroji (na zelo strmih območjih). Gre torej za zelo poceni ukrep; lahko se nekoliko povečajo letni stroški oranja vzdolž plastnic, ki so jih Posthumus in drugi (2013) ocenili na $32 \text{ £ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ (temelji na predpostavki, da se bodo stroški za določene operacije povečali za 10 %, stroški za spravilo pa se lahko povečajo za 25 %). Stevens in drugi (2009) so ocenili, da je zmanjšanje erozije v razponu od 9 do 98 %, v povprečju pa 72 %. Dorren in Rey (2004) sta ga ocenila na 50 %. Ricci s sod. (2020) je poročal o zmanjšanju erozije (po uvedbi konturnega kmetovanja) za 22 %; s 5,95 na $4,61 \text{ t ha}^{-1}$). Maetens in drugi (2012) so primerjali vire o izgubi tal na več kmetijskih zemljiščih v različnih državah (Alžirija, Hrvaška, Finska, Nemčija, Madžarska, Maroko, Portugalska, Španija, Turčija in Združeno kraljestvo) ter izračunali, da je bilo ugotovljeno, da je povprečno letno razmerje izgube tal (izguba tal s konturno obdelavo / izguba tal s konvencionalno prakso) 0,5. Potencialno povečanje pridelka pri žitih je lahko 16 % v primerjavi z obdelavo vzdolž plastnic (Quinton in Catt, 2004). Razmerje med koristmi in stroški so Posthumus in drugi (2013) izračunali kot 2,67. Nekateri kmetje menijo, da je ta praksa zamudna (Ricci et al. 2020).
Vzdrževanje	Pri tem ukrepu gre le za spremembo smeri obdelave tal njim niso povezani stroški vzdrževanja. Zato je mogoče pričakovati le povečane stroške predelave pri poljskih opravilih in spravilu pridelka, ki so bili ocenjeni na $32 \text{ £ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ (Posthumus et al., 2013).
Podnebne spremembe	Ta ukrep zmanjšuje površinski odtok (Stevens et al. 2009) in tako lahko ublaži nekatere pojave, povezane s podnebnimi spremembami, zlasti v primeru ekstremnih padavin. Povečana infiltracija poveča zaloge vode v tleh in lahko izboljša hladilni učinek vegetacije ter tako ublaži visoke poletne temperature.
Druge nevarnosti	S tem ukrepom lahko upočasnimo površinski odtok in zmanjšamo njegovo količino. Zato lahko ta ukrep zmanjša nevarnost poplav. Agrotehnični ukrepi imajo tudi pozitiven učinek na hidromorfologijo vodotokov: preprečujejo vnos drobnih talnih delcev in anorganskih sedimentov v vodotoke (Ricci et al., 2020).

Ukrep: obrežni varovalni pasovi

Nekaj primerov uporabe:



Slika 5. Obnova obrežnega pasu potoka Maly Potucek na Češkem (<https://www.zahrada-olomouc.cz/krajinne-a-ekologicke-realizace/>).

Drugi primer uporabe: <http://hydropro.cz/portfolios/revitalizace-sedlickeho-rybnika/>
<https://www.nativeplantsolutions.ca/what-we-do/riparian-zone-restoration/>

Kratek povzetek

Obrežna varovalna območja so pomemben ekosistem, ki zagotavlja vrsto funkcij in storitev, pomembnih za ljudi - na primer podporo biotski raznovrstnosti, zmanjšanje erozije ali prenos onesnaževal iz okoliške krajine v vodotoke. Hkrati je to okolje, ki je bilo pogosto izpostavljeno velikim pritiskom med kmetijsko obdelavo krajine ali razvojem industrijskih in stanovanjskih dejavnosti človeške družbe (Jakubínský et al., 2023). Vegetacijski varovalni pas je zemljiška parcela, ki je namenjena ločitvi zemljišč, ki se uporabljajo za kmetijstvo, od vodnih ali kopenskih habitatov. Obrežna vegetacija lahko zaradi svojih značilnosti in ekoloških funkcij (Capon et al., 2013) zagotavlja nesorazmerno veliko količino ekosistemskih storitev glede na njihov obseg v krajini (npr. Sweeney in Newbold, 2014).

Primer študije primera

O tej vrsti ukrepov je na voljo veliko študij primerov - izbor nekaterih študij primerov je na voljo tukaj: <http://nwrn.eu/measure/buffer-strips-and-hedges>

Izvedljivost

Izvajanje tega ukrepa je precej zahtevno, saj gre za linijski ukrep vzdolž vodotokov, kjer je veliko število lastnikov zemljišč, ki se morajo strinjati z morebitnimi posegi. Če se ukrep izvaja le znotraj struge, ni dovolj učinkovit, kar dokazujejo številne raziskave. Po podatkih Yuan et al. (2009) lahko na primer travnati odbojni pasovi, ozki le 3 m, odstranijo znatne količine sedimentov iz kmetijskih odplak, največja korist pa se doseže pri širini 6 m ali več. Služba za ohranjanje naravnih virov (NRCS) je za zaščito kakovosti vode priporočila najmanjšo širino travnatega

	varovalnega pasu 8-10 m (USDA-NRCS, 1997), kar zadostuje za zadrževanje sedimentov ter izvajanje drugih funkcij in storitev. Obstajajo tudi različni socialni in ekonomski dejavniki, ki lahko zavirajo sprejetje obrežnih varovalnih pasov, vključno s: pomanjkanjem spodbujevalnih programov, slabo opredeljenimi cilji ali pomanjkanjem vzdrževanja.
Stroškovna učinkovitost	Po podatkih Gene et al. (2019) so študije preučevale razmerje med stroški in koristmi, povezanimi z vzpostavitvijo varovalnih pasov (Santhi et al., 2003; Yuan et al., 2009). Vzpostavitev varovalnih pasov pogosto vključuje odstranitev območja polja iz proizvodnje, kar pomeni izgubo prihodka za kmeta. Vendar pa lahko vegetacijski dejavniki kmetu prinesejo tudi koristi zaradi programov spodbud in/ali zmanjšanja stroškov, povezanih z zmanjšanjem erozije in izgub hranil. Večina študij ugotavlja, da vegetacijska območja predstavljajo neto korist, čeprav se velikost koristi razlikuje (razmerje med koristmi in stroški je bilo od 1,2 do 4,1) (Santhi et al., 2003). Skupni stroški obrežnih varovalnih pasov vključujejo stroške načrtovanja, stroške sajenja (dreves, grmovnic, lokalne vegetacije), stroške zemljišč in/ali prihodkov, ki so nastali zaradi nadomestitve kmetijskih/pašnih površin, ter stroške vzdrževalnih del. Ti stroški so zelo odvisni od lokacije in velikosti varovalnega pasu, vendar se je izkazalo, da so v veliki meri uravnoteženi z dolgoročnimi koristmi.
Vzdrževanje	Pričakovana življenjska doba je več kot 25 let, če so ukrepi dobro vzdrževani v prvih letih izvajanja, večina vzdrževanja pa poteka v prvih 5-10 letih. Za razvoj popolnoma delujočega obrežnega varovalnega pasu, ki vključuje drevesa in senčenje ter ustvarja koridor biotske raznovrstnosti, bo morda potrebnih 10-15 let. V enem letu pa je mogoče posaditi grmovnice in lokalno vegetacijo, ki že začnejo kazati prve pozitivne učinke v smislu zmanjšanja erozije in filtracije onesnaževal. Spremljanje in vzdrževanje območja je treba skrbno upravljati zlasti v prvih petih letih, med 5 in 10 leti po vzpostavitvi varovalnega območja, ko postane bolj zrelo in manj občutljivo na lokalne okoljske pritiske, pa je treba prizadevanja za upravljanje zmanjšati (Climate-ADAPT, 2023). Po podatkih Evropske komisije (2006) so stroški vzdrževanja za 3 m varovalni pas znašali od 75 do 150 EUR/ha.
Podnebne spremembe	Obrežni ekosistemi so naravno odporni, zagotavljajo linearno povezanost habitatov, povezujejo vodne in kopenske ekosisteme ter ustvarjajo toplotna zatočišča za prostoživeče živali: vse te značilnosti lahko prispevajo k ekološkemu prilagajanju na podnebne spremembe. Ker so obrežni sistemi in predvideni vplivi podnebnih sprememb geografsko zelo raznoliki, je nujno treba razviti razumevanje nevarnosti podnebnih sprememb za obrežne ekosisteme. Izvajalci takšnih ukrepov bi morali razmisliti, kako lahko spremenijo prakse, da bi povečali odpornost obrežnih ekosistemov na podnebne spremembe. Takšne spremembe lahko vključujejo pospešitev obnove zasebnih zemljišč, sodelovanje pri odločitvah o upravljanju voda, itd. Ker bodo podnebne spremembe predvidoma vplivale na vodne vire za številne urbane in kmetijske namene (Tanaka et al. 2016, Alcamo et al. 2007, Milly et al. 2008), se lahko družbeni in

	politični pritiski za spreminjanje obrežnih sistemov za shranjevanje, prenos in črpanje vode povečajo. Ekološke obremenitve zaradi podnebnih sprememb na zajezenih rekah bodo predvidoma večje kot na prosto-tekočih rekah (Palmer et al. 2008). Če se bodo družbe na podnebne spremembe odzvale z gradnjo višjih nasipov, globljih vodnjakov in večjih jezov, bodo obrežni ekosistemi bolj ogroženi. Strokovnjaki za obnovo in ekologi morajo sodelovati z odločevalci pri upravljanju voda. To sodelovanje bo moralo vključevati zagotavljanje informacij o tem, kako bodo spremembe v rabi vode vplivale na izid obrežnih ekosistemov.
Druge nevarnosti	Obrežni varovalni pasovi so možnost prilagajanja, ki lahko: -preprečujejo poplave: obrežni pasovi dajejo prostor naravni dinamiki reke, kot je dviganje in spuščanje vodne gladine, ter omogočajo upočasnitev toka in oblikovanje meandriranih tokov. To zmanjšuje možnost erozije struge reke in s tem možnost poplavljanja v spodnjem toku. -ublažitev suše: z izboljšanjem napajanja podtalnice s povečanjem prepustnosti tal in podaljšanjem časa stika vode s tlemi ali s senčenjem, ki ga zagotavljajo drevesa in grmovnice, ki izboljšujejo mikroklimatske razmere. -zagotavlja hlajenje: učinek senčenja obrežnih varovalnih pasov pomaga ustvariti mikroklimo, ki hladi vodna telesa v senci, povečuje vlažnost zraka in stabilizira temperature.

Erozija tal - hibridni ukrepi

Ukrep: geotekstil (mreže iz jute in iz kokosovih vlaken)	
Primer resničnega primera, kjer je bil ukrep uporabljen: Češka (Geomat, 2023b, Geomat 2023c)	 Slika 6. Uporaba mrež iz kokosovih vlaken za protierozijsko zaščito pobočja v vasi Olomučany (Češka) in uporaba mrež iz jute za protierozijsko zaščito pobočij med rekonstrukcijo ceste v kraju Žaclěř (Češka).
Kratek povzetek	Geotekstilne mreže so mreže, ki ščitijo tla ter zmanjšujejo sposobnost odnašanja delcev tal in prenosa zaradi padavin in površinskega toka. Takšne mreže so običajno izdelane iz prepustnih materialov, ki so lahko biološki (biorazgradljivi) ali sintetični" (Alvarez-Mozos, 2014). Biološko razgradljivi geotekstil se uporablja tudi kot začasni ukrep za zaščito pred erozijo tal na območjih, kjer je bil zasajen rastlinski pokrov, vendar še ni dozorel (Kalibová et al., 2016), saj je rastlinski pokrov, kot so travne ruše, najboljši protierozijski ukrep na nagnjenih pobočjih (Krenitsky et al., 1998; Kalibová et al., 2016). Glede na meritve, ki so jih opravili Álvarez-Mozos et al. (2014) ali Kalibová et al. (2016), geotekstil (mreže iz jute in kokosovih vlaken) znatno prispeva k manjši izgubi tal (koncentracije sedimentov, izmerjene v teh obdelavah, so bile nižje od kontrolnih). Vendar, kot so ugotovili Álvarez-Mozos et al. (2014) ali Paz et al. (2018), lahko geotekstil na območjih s strmimi pobočji ($>45^\circ$) povzroči več površinskega odtoka (2-3-krat več kot na kontrolnih območjih), vendar lahko geotekstil na manj strmih pobočjih ($<27^\circ$) zmanjša površinski odtok (Kalibová et al., 2016). Čeprav nekatere študije (npr. Chen et al., 2011) poudarjajo nevarnost erozije na strmih pobočjih, kjer je bil uporabljen geotekstil (odtok lahko pod mrežami erodira tla), v poskusu Álvarez-Mozos et al. (2014) to ni bilo potrjeno.
Izvedljivost	Takšne ukrepe uporabljamo za nadzor erozije na površinah pobočij, da bi spodbudili rast nove vegetacije in zagotovili stabilno območje za koreninske strukture. Po navedbah Wu et al. (2020) se takšne mreže zaradi značilnosti visoke trdnosti, nizkih stroškov in enostavne uporabe pogosto uporabljajo v geotehničnem inženirstvu. Življenjska doba mrež iz jute je približno 12-24 mesecev. Uporabljajo se predvsem na (manj strmih in krajših) pobočjih, namenjenih zatratitvi, kjer se trava v razmeroma kratkem času lahko vključi in zaščiti površino pobočja. Na strmejših in daljših pobočjih se uporabljajo tudi odeje iz kokosovih vlaken. Njihova življenjska doba je od 7 do 9 let, uporabljajo pa se predvsem na pobočjih, zasajenih z grmovnicami, kjer je obdobje rasti vegetacije daljše, ali na pobočjih, ki jih ogroža tekoča voda. Geomats je 3D protierozijska/vegetacijska blazina, ki zagotavlja trajno protierozijsko zaščito pobočij in stabilnost tal.

	Odprta struktura omogoča dobro prepustnost za vodo in zrak, hkrati pa trajno stabilizira zgornji sloj tal (Greenmax, 2023). V primerjavi z drugimi protierozijskimi ukrepi je to razmeroma preprosta in poceni rešitev.
Stroškovna učinkovitost	Posthumus et al. (2014) so izračunali investicijske stroške za geotekstil 256 GBP/ha (= 298 EUR). Na splošno so "stroški sintetičnih geotekstilov bistveno višji od stroškov bioloških materialov" (Álvarez-Mozos et al., 2014).
Prilagodljivost	Ker je erozija tal tesno povezana z zemeljskimi plazovi, se takšni ukrepi uporabljajo tudi za zmanjševanje ogroženosti zaradi plazov, saj zagotavljajo natezno trdnost in dodatno togost tal (Damians et al., 2023).
Vzdrževanje	Stroški vzdrževanja znašajo 1,25 GBP/ha (= 1,45 EUR) in se porabijo za košnjo (enkrat letno). Nekateri geotekstili (iz bioloških materialov) po nekaj letih propadejo, zato jih je treba občasno zamenjati (Posthumus et al., 2014).
Podnebne spremembe	Geotekstil, ki se uporablja kot ukrep za nadzor erozije tal, ima le omejen vpliv na blažitev podnebnih sprememb. Le če so takšne mreže ali odeje pokrite z rastlinami, lahko govorimo o (razmeroma majhnem) sekvestriranju ogljika.
Primer študije primera	Revitalizacija in utrditev površine strmega pobočja s protierozijsko kokosovo mrežo, pritrjeno z jeklenimi sponkami, ter zasaditev dreves in grmovnic v vasi Olomučany na Češkem (Geomat, 2023b). V vasi Olomučany so morali oživiti in utrditi površino pobočja. Po dogovoru je bila kot rešitev predlagana zasaditev grmovnic in dreves, primernih za to območje. Za protierozijsko zaščito sta bila uporabljena protierozijska odeja iz 700 g kokosovih vlaken in 200 g netkanega geotekstila, dokler vegetacija ni zrasla. Jutne mreže kot protierozijska zaščita pobočij med rekonstrukcijo ceste v kraju Žacléř na Češkem (Geomat, 2023c). Na pobočja obnovljenega zemeljskega nasipa je bila dodana protierozijska mreža iz jute, ki bo sčasoma razpadla. Preden se to zgodi, bo mreža zaščitila pobočja in nudila oporo rastoči travi.

Ukrep: geomreže, geomati	
Primer resničnega primera, kjer je bil ukrep uporabljen: Češka (Geomat 2023c)	 <i>Slika 7. Zaščita pobočij usedalnega bazena tovarne sladkorja v Dobrovicah (Češka) z geocelicami.</i>
Kratek povzetek	Geomreže in geocelice se uporabljajo za zadrževanje vrhnjega sloja zemljine na mestu, kar preprečuje zdrs (Damians et al., 2023). Álvarez-Mozos in drugi (2014): "Geomreže imajo 3D prečne strukture, ki naj bi zagotavljale večjo sposobnost zadrževanja tal (...) Imajo večjo natezno trdnost kot geotekstil iz bioloških proizvodov" (mreže iz jute in odeje iz kokosovih vlaken). Najprimernejši material za geomreže/geocelice je polietilen visoke gostote (HDPE) z vidika trdnosti, trajnosti, enostavnosti ravnanja in stroškov. Geomreže se uporabljajo za stabilizacijo, izboljšanje pogojev temeljenja, ojačitve in kot protierozijski element, npr. za zadrževanje delcev zemlje, korenin ali majhnih rastlin med izkopi in gradbenimi deli ter zlasti na obremenjenih bregovih rezervoarjev in potokov. Medtem ko je ozelenitev stroškovno učinkovita rešitev za blaga pobočja, so geomreže ekonomična rešitev za težke erozijske razmere. Polnilni material je zaščiten s samo celico in s tem zaščiten pred premikanjem. Če je sistem postavljen na dnu ali ob straneh rečnih strug in cestnih nasipov, ščiti pobočje pred poškodbami zaradi vodne erozije (Geomat, 2023a). Geomat je opredeljen kot tridimenzionalna prepustna struktura iz polimernih vlaken in/ali drugih elementov, ki so med seboj mehansko, toplotno, kemično ali kako drugače povezani. Ti izdelki so namenjeni protierozijski zaščiti pobočij. Ščitijo pobočja in brežine, ki jih obremenjujejo veter, dež, tekoča voda ali valovi. Geomati so večinoma izdelani iz HDPE, lahko pa tudi iz naravnih materialov (Geomat, 2023a). Geomreže/geomati so učinkovitejši pri preprečevanju izgube tal na strmih pobočjih kot izdelki iz kokosovih vlaken ali jute. Vendar je postavitve geomreže bistvenega pomena; če je bila zakopana, je bila ugotovljena stopnja izgube tal veliko večja kot pri površinski postavitvi (Álvarez-Mozos et al., 2014). Običajno so geomreže pokrite z dobro razvito rastlinsko krošnjo, kar še dodatno izboljša njihovo funkcijo nadzora erozije tal.
Izvedljivost	Vgradnja geomatov in geocelic kot protierozijskega ukrepa je manj zapletena in cenejša od številnih drugih ukrepov (jezovi, gabionski zidovi, zadrževalni polderji itd.). Pred namestitvijo geomatov je treba območje pobočja temeljito očistiti vseh balvanov, drevesnih štorov in drugih ostankov večje vegetacije. Pobočje je treba izravnati, zlasti različne vdolbine in jamice. Nato je treba geomatski trak izravnati na pobočju, ga skrbno pritisniti na površino pobočja in zasidrati z zadostnim številom sidrskih čepov. Po namestitvi je treba po celotni površini geomata nanesti kakovostno zemljo, po možnosti pognojeno vrhšnjo plast zemlje.

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

	V zemljo nato posujemo semena trave in jo redno zalivamo vsaj prva dva tedna (Geomall, 2023).
Stroškovna učinkovitost	Nismo uspeli najti nobenih ustreznih podatkov o stroškovni učinkovitosti.
Prilagodljivost	Geomreže//geomati se pogosto uporabljajo tudi za blažitev zemeljskih plazov. Kot navajajo Damians et al. (2023), so se "pogosto uporabljali za gradnjo ojačanih talnih konstrukcij v številnih projektih stabilizacije zemeljskih plazov, in sicer za pobočja, visoka tudi do 60 m".
Vzdrževanje	Geomati in geomreže ne potrebujejo vzdrževanja, če so dovolj napolnjeni z zemljo. Potrebna je le skrb za vegetacijo (košnja trave).
Podnebne spremembe	Geomreže in geomati imajo le omejen vpliv na blažitev podnebnih sprememb. K zadrževanju ogljika lahko pripomorejo le, če so pokriti z rastlinami. Vendar je funkcija tovrstnih ukrepov za blaženje podnebnih sprememb zelo majhna (v primerjavi s pogoždovanjem ali drugimi podobnimi ukrepi).
Primer študije primera	Zaščita pobočij usedalnega bazena tovarne sladkorja v Dobrovicah (Češka) z geocelicami (Geomat, 20023d). Upravljavac tovarne sladkorja je zahteval učinkovito protierozijsko zaščito pobočij novo zgrajenega usedalnika, ki ga bo občasno zalivalo odpadno blato iz proizvodnje sladkorja. Pri načrtovanju ustrezne rešitve za utrditev površine pobočja je projektant predlagal geocelice, zasute z agregatom frakcije 32/63 mm. Zaradi občasnega poplavljanja pobočja so bile izbrane geocelice s perforiranimi stenami. Geocelice so bile tudi najcenejša rešitev, ki je izpolnjevala projektantove zahteve.

Ukrep: leseni jezovi	
Nekaj primerov uporabe:	 <i>Slika 8. Leseni jez na potoku Smrček, Češka (vir: https://orvysocina.lesycr.cz/realizovane-vodni-stavby/hrazeni-bystrin-smrcek/).</i>
Kratek povzetek	Leseni jezovi so narejeni iz naravnih lesenih materialov, postavljeni v potoke in hudournike (Eden Rivers Trust, 2023). Znani so tudi kot "prepustne pregrade" ali "prepustni jezovi iz naplavin". Zgrajeni so v strugi, da upočasnijo tok reke z ustvarjanjem prepustnega prostora, ki prepušča vodo. Te strukture lahko spodbujajo tudi razlivanje po bregovih, kar upočasni najvišje pretoke v spodnjem toku. S posebno prostorsko razporeditvijo kosov lesa se ti jezovi strukturno razlikujejo od naravnih akumulacij lesa v strugi (Lo et al. 2022).
Primer študije primera	St. Helens Sankey Valley NFM, Združeno kraljestvo - Cilj projekta naravnega obvladovanja poplav v dolini Sankey Valley je bil z uporabo hibridnih lesenih jezov zmanjšati pretok poplavne vode v dolvodnem kraju Blackbrook in izboljšati habitat. Štirje hibridni leseni jezovi, zgrajeni za zmanjševanje hudourniških poplav v Stanley Brook, preden prispe v kraj Blackbrook. Četrti jez je zgradila Agencija za okolje, skupni stroški pa so znašali 2.000 funtov za štiri jezove (https://thefloodhub.co.uk/wp-content/uploads/2018/09/Leaky-Woody-Dams-Natural-Flood-Management.pdf).
Izvedljivost	Obstaja malo dokazov, da imajo naravni ukrepi za obvladovanje poplav, kot so elementi za zmanjševanje odtoka (Runoff Attenuation Features - RAFs), ki vključujejo lesene pregrade, učinek na večjih (> 10 km²) porečjih in pri ekstremnih dogodkih (> 100-letna povratna doba) (Grace, 2020). Namestitev lesenih pregrad je odvisna od značilnosti vodotoka in, kar je prav tako pomembno, njegove okolice (Avery, 2012). Primeri parametrov porečja, ki jih je treba oceniti pred izvedbo, so na primer naklon vodotoka, tip tal v porečju, nadmorska višina in raba tal. Če je naklon vodotoka prestrm, posegi, kot so lesene pregrade, morda ne bodo primerni, saj se lahko v strugi vodotoka okrepijo erozijski procesi (Thomas in Nisbet, 2012).
Stroškovna učinkovitost	Po podatkih družbe Eden Rivers Trust. (2023) so stroški namestitve in vzdrževanja nizki. Neprepustne (lesene) jezove je

	treba občasno očistiti naplavin in sedimentov, da lahko voda še vedno teče skozi vrzeli. S tem se zmanjša verjetnost, da bo voda pritekla čez vrh pregrade. Na primer, manjše lesene pregrade v porečju Belford v Združenem kraljestvu so stale 100-1000 funtov, čeprav so stroški odvisni od zasnove, razpoložljivosti materiala in dostopa. Wilkinson et al. (2019) navajajo, da so leseni jezovi prostorsko precej majhni ukrepi (500-2,000 m³), ki zadržijo vodo le za kratek čas (12-24 ur). Vsi ti elementi so razmeroma poceni, saj vsak stane od 1 000 do 10 000 funtov (Quinn et al., 2022).
Vzdrževanje	Ocenjuje se, da je treba takšne pregrade ponovno obnoviti vsakih 25 let (Fennell et al., 2023), sicer pa je mogoče domnevati, da ima večina lesenih pregrad le zelo majhne zahteve po vzdrževanju, ki se lahko izvaja tudi z uporabo lokalnih zalog lesa.
Podnebne spremembe	Leseni jezovi lahko pomagajo ublažiti nekatere vplive podnebnih sprememb, ki se kažejo v pogostejšem pojavljanju hidroloških ekstremov (zlasti hudourniških poplav), saj so običajno postavljeni na hudournikih, da povečajo hidravlično hrapavost in začasno shranijo majhne količine vode med padavinskimi dogodki ter tako upočasnijo njen dotok v reko (Grabowski et al., 2019). V primeru nizkih pretokov se v strugi ohranja večji volumen vode, kar je pozitivno z vidika podnebnih sprememb.
Druge nevarnosti	Leseni jezovi, ki so pogosto namenoma zgrajeni tako, da so prepustni, omogočajo, da nizki vodostaji tečejo pod njimi ali skozi njih, vendar zadržujejo visoke vodostaje in tako zagotavljajo začasno skladiščenje vode. V nekaterih primerih lahko veliko število takšnih elementov nameščenih v porečju, zadrži dovolj vode (v strugi ali na poplavni ravnici), da se zmanjša poplavna nevarnost v spodnjem toku (Hankin et al., 2020). Leseni jezovi imajo tudi številne okoljske koristi, kot so diverzifikacija habitatov in s tem povečanje biotske raznovrstnosti, uravnavanje podnebja s povečanim shranjevanjem ogljika ter izboljšanje kakovosti zraka in vode (Fennell et al., 2023). Če so na primernih lokacijah, lahko povečana infiltracija za polnjenje podtalnice izboljša odpornost porečja na sušo (Norbury et al., 2021).

Ukrep: zadrževalniki vode (polderji)

Nekaj primerov uporabe:



Slika 9. Zadrževalnik vode Žichlínek, Češka (Vir: SINDLAR Group, 2008).

Kratek povzetek	Polder je nizko ležeče zemljišče, obdano z nasipi (pregradami), ki tvori umetno hidrološko enoto, kar pomeni, da je brez povezave z zunanjo vodo (zadrževalnik). Njegova ponovna naturalizacija obsega krepitev polderjev z naravnimi značilnostmi, kar omogoča boljše zadrževanje vode v vodotokih znotraj polderja in večjo biotsko raznovrstnost (NWRM, 2015).
Primer študije primera	Opravljen je bil primerjalna analiza zadrževalnikov v dveh namensko izbranih srednjeevropskih porečjih na Poljskem in Madžarskem. V obeh regijah, pa tudi v celotni Evropi, se bosta poplavna ogroženost in škoda zaradi poplav v naslednjem desetletju predvidoma povečali zaradi zelo dinamične narave podnebnih sprememb (IPCC, 2021). Zaradi stalno naraščajoče poplavne ogroženosti v obeh porečjih se poskušajo poiskati in izvajati inovativni protipoplavni ukrepi. V obeh regijah imajo zadrževalniki pomembno vlogo pri zmanjševanju poplavne ogroženosti. Čeprav se zdi, da so osnovni pogoji za obe regiji podobni, so bili postopki, ki sta jih obe državi sprejeli za doseg istega cilja, tj. izvajanje polderjev za zmanjšanje poplavne ogroženosti, različni in so prinesli različne rezultate. Podrobnosti o tej študiji primera so na voljo na: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jfr3.12897
Izvedljivost	Čas za izvedbo prilagoditvenih ukrepov za polderje se zelo razlikuje glede na tipologijo strukture, izbrani ukrep za krepitev in glede na to, ali je treba izvesti presojo vplivov na okolje. Čas izvedbe je v grobem od 5 do 25 let. Ker gradnja zadrževalnikov zahteva dostop do različnih zemljišč, je pridobivanje zemljišč očitno zahtevna naloga za pristojne vodne organe (Albrecht in Hartmann, 2021). Po drugi strani pa vzpostavitev območij zadrževalnikov povzroči zmanjšanje razpoložljivih zemljišč za njive in travnike (Karrasch et al., 2017).
Stroškovna učinkovitost	Ocene stroškov za prilagoditev nasipov in jezov se razlikujejo glede na vrsto strukture in način gradnje. Nekateri okvirni stroški so navedeni v pregledni študiji, ki jo je pripravil Aerts (2018). Koristi izvajanja različnih ukrepov za prilagajanje poplavam so običajno izražene kot zmanjšana poplavna ogroženost ali zmanjšana škoda. Naložbe v zadrževalnike so lahko ekonomsko privlačne za zmanjšanje poplavne ogroženosti v večjem delu sveta, vendar ne povsod. Zato je treba vedno oceniti alternativne rešitve, pri čemer je treba opozoriti, da ukrepi, ki dajejo več prostora reki, pogosto zagotavljajo več dodatnih koristi za ekosisteme (Climate-ADAPT, 2016).

Vzdrževanje	Zadrževalnike je treba redno vzdrževati, da se zagotovi njihova zaščitna zmogljivost in izpolnijo varnostne zahteve. Eden od najpogostejših mehanizmov okvare zadrževalnikov je porušitev, če jih preplavi voda. Zadrževalnike je mogoče zgraditi tako, da omogočajo prelivanje. Takšni zadrževalniki preprečujejo nenadzorovane katastrofalne porušitve, povezane z uničujočimi poplavami zaledja. Škoda še vedno lahko nastane zaradi vode, ki preliwa nasipe, vendar je v primerjavi s porušitvijo zadrževalnika veliko manjša (Climate-ADAPT, 2016). Pričakovana življenjska doba prilagojenih nasipov in jezov je običajno daljša od 30 let. Vendar je treba opozoriti, da ima vzdrževanje pomembno vlogo in da se zahteve po vzdrževanju sčasoma spreminjajo zaradi staranja elementov.
Podnebne spremembe	Dinamična narava podnebnih sprememb je skupaj z intenzivnim razvojem poplavnih območij povzročila ogromno škodo zaradi poplav. To je spodbudilo razprave o izvajanju inovativnih ukrepov za zaščito pred poplavami, ki se lahko spopadajo z nenehno spreminjajočimi se okoljskimi, socialnimi, formalnimi in gospodarskimi pogoji. Odvisno od konteksta se lahko zadrževalniki obravnavajo kot inovacija, zlasti v primerjavi s hidrotehničnimi rešitvami v primeru zmanjševanje poplavne ogroženosti. Prinašajo tudi koristi za okolje, saj varujejo naravne ekosisteme, in za ljudi, saj zmanjšujejo poplavno ogroženost in zagotavljajo varnost (Warachowska et al., 2023).
Druge nevarnosti	Izgradnja polderjev prinaša številne koristi za ekosistemskih storitve, ki se prepletajo z zmanjševanjem nekaterih tveganj - kakovosten pregled ekosistemskih storitev, ki jih zagotavljajo zadrževalniki, je na voljo tukaj: http://nwrn.eu/sites/default/files/nwrn_ressources/n14_-_re-naturalization_of_polder_areas.pdf . Zadržana voda v zadrževalnikih se lahko v sušnih poletnih obdobjih uporabi za namakanje (Karrasch et al., 2017).

Erozija tal - sivi ukrepi

Ukrepanje: zaplavne pregrade	
Nekaj primerov uporabe:	 <i>Slika 10. Zaplavna pregrada v Sloveniji.</i>
Kratek povzetek	Zaplavne pregrade zagotavljajo zaščito pred erozijo v hudourniških potokih in stabilizacijo pred erozijskimi procesi v teh območjih. Poleg zaščite pred erozijo zagotavljajo tudi zaščito pred poplavami na območjih v spodnjem toku. Običajno so zgrajeni v kaskadnem sistemu, pri čemer se upoštevajo geomorfološke lastnosti hudournika. Njihovi nameni so različni: zadrževanje sedimentov, utrjevanje pobočij, upočasnitev delovanja zemeljskih plazov, zmanjšanje naklona brežin, zmanjšanje vzdolžnega nagiba struge. Zgrajeni so lahko iz kamna, betona, lesa ali kombinacije materialov. Zaplavne pregrade se pogosto uporabljajo na alpskih vodotokih. Lahko se obravnava tudi kot kombiniran ukrep – zaplavne pregrade zagotavljajo (bočno) konsolidacijo pobočja in zmanjšanje naklona pobočja, kar omogoča rastne pogoje za rastlinski pokrov, kot je predstavljeno v Piton, et. al. (2016). Na splošno se lahko zaplavne pregrade uporabljajo kot blažilnik erozijskih procesov v gorskih dolinah in za nadzor prenosa sedimentov v nižjih predelih potoka.
Primer primera študije	https://theses.hal.science/tel-01420209 Piton, G., Carlados, S., Recking, A., Tacnet, J. M., Liébault, F., Kuss, D., ... Marco, O., Why do we build check dams in Alpine streams? An historical perspective from the French experience, <i>Earth Surface Processes and Landforms</i>, 42(1), 91-108, https://doi.org/10.1002/esp.3967, 2016.
Izvedljivost	Nujen ukrep v hudournikih z veliko intenzivnostjo erozijskih procesov in transporta sedimentov.
Stroškovna učinkovitost	Za gradnjo se uporablja lokalni material. Stroški se povečajo zaradi lokacije pregrad - pogosto so na oddaljenih območjih.
Vzdrževanje	Zaplavne pregrade zahtevajo praznjenje sedimentov, ujetih za jezo, pogostost praznjenja pa je odvisna od transportne zmogljivosti struge. Betonske strukture in strukture iz brušenega kamna so odpornejše proti obrabi, medtem ko so lesene in kamnite strukture na splošno bolj dovzetne za obrabo zaradi transporta sedimentov. Redno vzdrževanje mora obsegati redne vizualne preglede - pogostost je odvisna od erozijskih procesov, značilnih za vsako lokacijo. Njihovo vzdrževanje je drago - nahajajo se na oddaljenih območjih na visoki nadmorski višini, v strmih dolinah. Zato se pogosto stare strukture preprosto opustijo in namesto njih se zgradi nov jez.
Podnebne spremembe	So ukrep za blažitev podnebnih sprememb. Z izgradnjo zaplavnih pregrad lahko ublažimo povečano erozijo zaradi pogostejših ekstremnih hidroloških dogodkov in zmanjšamo količine plavin, ki se transportirajo dolvodno v času visokovodnih razmer

Druge nevarnosti	Ima vpliv tudi na nevarnost pojavljanja plazov, saj stabilizira območje.
Ukrep: terase	
Nekaj primerov uporabe:	 Slika 11. Primer teras v porečju Ourika, povzeto po: https://www.mdpi.com/2673-4834/2/4/44 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213305414000113 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633921000228 http://www.adottaunterrazzamento.org/ Widomski (2011)
Kratek povzetek	Terase se uporabljajo kot najstarejša in najbolj priljubljena praksa upravljanja za ohranjanje tal po vsem svetu (Zuazo et al., 2005). Zgrajene so kot zemeljske strukture, lahko pa jih podpirajo kamniti ali betonski zidovi. Njihov namen je zmanjšati naklon pobočja in pobočje razdeliti na kratke blago nagnjene odseke (FAO, 2000). Zmanjšujejo hitrost površinskega odtekanja vode in izgubo tal, z boljšo infiltracijo povečujejo vsebnost vlage v tleh in zmanjšujejo izhlapevanje. Ustvarimo jih lahko tudi za preusmeritev površinskega odtoka na pripravljeno ali varno območje. Razlikujemo retencijske terase, namenjene zbiranju in infiltraciji površinskega odtoka (široke terase), in gradacijske ali preusmeritvene terase (s povratnim naklonom), namenjene prestrežanju ali preusmerjanju površinskega odtoka v zaščitene vodotoke (FAO 2000). V Evropi so terase pogostejše v južni Evropi (Stanchi idr. 2012), predvsem v Španiji, Italiji, Franciji, na Portugalskem in Madžarskem (predvsem za obdelovanje vinogradov, Widomski 2011), medtem ko v srednji Evropi terase pridejo v poštev le v redkih primerih; na Češkem jih uporabljajo na erozijsko najbolj ogroženih območjih s strmimi pobočji nad 20 % (Novotný idr. 2017).
Primer študije primera	Djuma in drugi (2017) so s programom PESERA modelirali erozijo tal na Cipru in ugotovili, da je stopnja erozije na pobočjih z dobro vzdrževanimi terasami 10-krat manjša kot na enakem pobočju brez teras, kar pomeni zmanjšanje količine tal za 91 %.

	https://iucn.org/sites/default/files/2023-05/practice_g.terraces_final.pdf https://air.unimi.it/retrieve/handle/2434/602037/1638448/Camera_et_al_2018_postprint_terrace_effectiveness_soil_erosion.pdf
Izvedljivost	Gradnja teras je relativno draga in zahtevna. Teras s tehnično stabilizacijo (kamniti ali betonski podporni zidovi) zavzamejo manj prostora, vendar so finančno in tehnično precej zahtevnejše, terase z zemeljskim naklonom pa zahtevajo več prostora, vendar so tehnično in finančno ugodnejše. Zaželeno jih je načrtovati na globokih tleh (širša kot je terasna ploščad in višji kot je nivo, močnejši mora biti profil tal) (Novotný et al. 2017). Peščena in groba tla niso primerna za terasiranje (IWRM, 2016). Lahko se uporabijo tudi za delno stabilizacijo pri plazovitih območjih.
Stroškovna učinkovitost	Terasiranje je ena najdražjih praks (Ramos et al., 2007, IWRM, 2016), ki se uporablja le na kmetijskih zemljiščih z zelo strmimi pobočji (Napoli et al. 2020) od 16 % do 40 % (IWRM, 2016), FAO (2000) jih priporoča za pobočja, strmejša od 20 %. Učinkovite so na tleh z visokim faktorjem erodibilnosti (IWRM, 2016) in se jih lahko uporabi za nadzor izrazite erozije ($>10 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) (Kuhlman et al. 2010). Po podatkih Dumbrovskega in drugih (2014) so stroški izdelave 1 m^3 prostornine terase znašali 10,72 evra, stroški vzdrževanja pa so se gibali med 0,37 in 0,6 evra/1 m^3 prostornine terase. V Ameriki so Kling in drugi (2007) ocenili, da se stroški vzpostavitve 1 m dolžine terase gibljejo med 3,97 in 14,92 dolarja. Gostota teras je lahko od 3000 do 6000 m/ha, odvisno od naklona (Stanchi et al. 2012); po izračunu s povprečno ceno in povprečno gostoto bi stroški znašali 42 502 dolarjev/ha. Letni stroški vzdrževanja po podatkih Kuhlmana in drugih (2010) znašajo 200 evrov/ha/leto. Na učinkovitost sistema teras vplivajo lokalni pogoji ter njihove dimenzije, oblika in stabilnost (Dorren in Rey 2004), učinkovitost pa se poveča z uporabo dodatnih varstvenih praks (npr. dobra pokritost z vegetacijo). Rezultati, pridobljeni v Parani (IAPAR, 1984), so pokazali, da je mogoče s terasiranjem zmanjšati izgube tal za polovico, ne glede na uporabljeni sistem obdelovanja. Chow in drugi (1999) so opazili zmanjšanje izgube tal pri krompirju, in sicer s povprečno 20 ton na hektar na manj kot eno tono na hektar (kar pomeni zmanjšanje izgube tal za več kot 95 %) s terasiranjem nagnjenih polj. Bai in drugi (2019) so pokazali, da terasiranje zmanjša erozijo tal celo do 99 %. Schuman in drugi (1973) so ugotovili, da je bil odtok na pobočju z ravnimi terasami 8-krat manjši kot na primerljivem pobočju s konturnimi nasadi. Terenske meritve na Japonskem so pokazale zmanjšanje izgube tal za približno 88,2 % (v primeru talnih teras) in 92,4 % (v primeru teras s kamnitimi zidovi) (Nakoa 2000). Bevan in Connolly (2011) sta ugotovila, da so terase v Grčiji zmanjšale povprečno stopnjo erozije tal za 56 % v primerjavi z območji brez teras. Maetens in drugi (2012) so na podlagi podatkov iz literature za 14 površin v Evropi in na nekaterih neevropskih sredozemskih območjih ugotovili, da so terase v povprečju zmanjšale erozijo za 75 % v primerjavi s površinami brez teras.

Vzdrževanje	Za izboljšanje delovanja teras se predlaga redno pregledovanje, zlasti po večjih neurjih (William, 1997). Teraso lahko zlahka erodirajo, zato je na splošno potrebno veliko vzdrževanja in popravil (Dorren in Rey, 2004). Številne študije so pokazale, da terase za preprečevanje procesov vodne erozije in izboljšanje stabilnosti pobočij potrebujejo stalno vzdrževanje (Gallart et al., 1994). Letni stroški vzdrževanja po podatkih Kuhlmana in drugih (2010) znašajo 200 evrov/ha/leto. Številne študije so pokazale na poslabšanje kakovosti tal in povečano tveganje erozije tal po opustitvi kmetijskih teras, kar lahko privede do poslabšanja stanja terase kot celote in nastanka grap, ki vodijo k povečani eroziji (Deng et al. 2021; Lasanta et al. 2019). Sodobne terase včasih zahtevajo posebne spremembe, da bi omogočile mehanizacijo (Ramos et al., 2007). Mehanizacija je včasih edini način, da postane terasasto kmetijstvo ekonomsko donosno (Cots-Folch et al., 2006).
Podnebne spremembe	Kmetijske terase s spreminjanjem reliefa gorskih in hribovitih območij zagotavljajo številne okoljske koristi, ki bi lahko zmanjšale tveganje podnebnih sprememb. Povečujejo vsebnost vlage v tleh z boljšo infiltracijo in zmanjšujejo izhlapevanje (FAO 2000), izboljšujejo sposobnost infiltracije padavin, zmanjšujejo površinski odtekanje vode, pomagajo kopičiti biomaso in tako blažijo ekstremne poletne temperature (Deng et al. ,2021). Vendar podnebne spremembe prinašajo spremembe v vzorcu padavin, kar povečuje število ekstremnih dogodkov. Sočasnost opuščanja zemljišč in spremembe padavin povečuje tveganje degradacije tal na terasiranih zemljiščih (Vergari et al., 2013).
Druge nevarnosti	Teraso prispevajo tudi k povečanju vsebnosti vlage v tleh z izboljšanjem infiltracije in zmanjšanjem največjih pretokov rek. Zaradi povečane infiltracije in zmanjšane površinskega odtoka lahko delno prispevajo k blažitvi poplav. Terasirane površine izboljšujejo tudi stabilnost pobočij. Zaradi zmanjšanja naklona pobočja imajo pomembno vlogo pri erozijskih procesih (Martinez-Casanovas in Ramos, 2006), predstavljajo pa tudi zaščito pred masnimi premiki ali zemeljskimi plazovi (IUCN, 2023), vendar lahko slabo vzdrževane terase nasprotno povečujejo tveganje za nastanek zemeljskih plazov, predvsem v kombinaciji z neustreznim odvodnjavanjem padavinskega odtoka z območij teras. Ugotovitve študije iz Italije razkrivajo, da opuščanje teras in slabo upravljanje kmetijstva še posebej povečata velikost plitvih zemeljskih plazov (Brandolini et al. 2018).

Ukrepanje: Protierozijski jarki	
Nekaj primerov uporabe:	 <i>Slika 12. Primer protierozijskega jarka, povzeto po:</i> https://www.fao.org/3/au297e/au297e.pdf https://farmwildlife.info/how-to-do-it-5/field-boundaries/ditches/ Protierozijski jarki na katastrskem območju Lhotka pri Zlinu (vir: VÚV TGM) Novotný et al. 2017
Kratek povzetek	Protierozijski jarek/kanal je drenažni kanal, ki je zgrajen tako, da preprečuje odtekanje vode z zgornjega dela hriba na njivo ali da odtekačo vodo zajame na njivi, kjer se lahko infiltrira ali preusmeri. Gre za linijski element, ki je postavljen tam, kjer je treba prekiniti nagnjeno polje. Jarek je lociran vzporedno s konturami in ima zelo blag naklon (1 %). Lahko se kombinira z drugimi protierozijskimi ukrepi (npr. travnati pas). Nad jarkom ali kanalom je priporočljivo vzpostaviti travnati pas, širok vsaj 5-6 m, da zajame delce tal (Novotný et al. 2017, Kuypers, Mollema in Topper, 2005). Razlikujemo med jarki in kanali. Razlikujejo se po velikosti, obliki in globini; kanali so globoki od 0,6 do 1,2 m in imajo bolj strme naklone (1:1,5-1:2), zato jih kmetijska mehanizacija ne more prečkati, medtem ko so jarki plitvi in imajo blage naklone (1:5 do 1:10), večinoma so zatravljeni in jih zato lahko prečka kmetijska mehanizacija (Novotný et al. 2017). Kanale lahko razdelimo na lovilne kanale, ki so postavljeni nad njivo in preusmerjajo vodo, ki prihaja z drugih površin, lociranih nad njo, ter zbiralne kanale, ki so postavljeni neposredno na njivo in prekinajo dolžino svojega naklona. Razdalja med jarki se lahko izračuna na podlagi erozijske formule (USLE) ali s simulacijskim modelom (SMODERP). Odvodni kanal je prejemnik obeh prej opisanih vrst kanalov. Ta je širši in ima nekoliko bolj strm naklon, zato je pogosto utrjen s tlakovci ali kamni, lahko pa je tudi zatravljen (Novotný et al. 2017). Na sredozemskih območjih se uporabljajo tudi začasni jarki. Ti so ozki in plitvi ter prehodni z mehanizacijo, vendar jih je treba obnavljati, saj po nekaj letih izginejo (Francaviglia in Neri, 2020, Bazoffi et al. 2011).
Izvedljivost	Ukrep zahteva pripravo v obliki pridobitve kmetijskih zemljišč, reševanja lastninskih pravic in obdelave projektne dokumentacije. Priprava in izvajanje trajata približno 7 (ali več) let, učinek je viden

	v treh letih (VÚV TGM 2018). Potreben je pravilen izračun zmogljivosti in razdalje jarkov ali kanalov, da se voda lahko varno odvaja in ponika (Bazoffi et al., 2011). Načrtovati je treba tudi odvajanje vode do končnega prejemnika. Sama izvedba je razmeroma finančno zahtevna (VÚV TGM 2018).
Stroškovna učinkovitost	Uporaba teh ukrepov je primerna v primeru neučinkovitosti ali nezmožnosti izvajanja manj zahtevnih vrst ukrepov (organizacijskih in agrotehničnih) ali pa se lahko uporabi za razdelitev obdelovalnih površin na manjše dele, s čimer se lahko zaščitijo ljudje in njihova lastnina (VÚV TGM 2018). To je razmeroma drag ukrep; povprečni stroški za jarek s travnatim profilom (brez druge zasajene vegetacije) znašajo približno 1500 CZK/m. Posthumus in drugi (2015) ocenjujejo, da so stroški za jarke 212 funtov/ha (ob predpostavki, da se 30 % kmetijskih zemljišč odvaja v jarke). Ocenili so, da je razmerje med koristmi in stroški v petletnem obdobju med 0,23 in 2,78. Pravilna velikost in razdalja jarkov in kanalov sta pomembni glede na njihovo sposobnost, da zadržijo vodo, ki prihaja z območja med dvema drenažnima kanaloma, zmanjšajo hitrost in omogočijo sedimentacijo erodiranega materiala. Zaradi teh vidikov je nujno, da se upravljanje voda z jarki izvaja v skladu s standardi, sicer bo poslabšalo razmere in lahko celo pospešilo erozijo tal (Bazoffi et al., 2011). Učinkovitost je odvisna tudi od naklona polja, študija iz Toskane v Italiji je pokazala, da so ti ukrepi učinkovitejši na pobočjih, nižjih od 9 %, v primeru strmejšega pobočja pa ti ukrepi erozije niso mogli obvladovati do sprejemljive ravni (Napoli et al., 2020). V študiji Macho (2018) se je erozija, izražena z vrednostjo povprečne izgube tal (G), po izvedbi enega protierozijskega jarka na njivo z dolžino pobočja približno 200 m zmanjšala za 30 %. V študiji, izvedeni v Italiji (v 16 regijah), so rezultati pokazali, da so začasni jarki pomembno zmanjšali erozijo tal za 67 % (Francaviglia in Neri, 2020); njihovi rezultati so pokazali, da je prisotnost jarkov v povprečju pomembno zmanjšala erozijo za 22,6 Mg ha⁻¹ leto⁻¹ v primerjavi z erozijo brez začasnih jarkov (10,3 proti 32,9 Mg ha⁻¹ leto⁻¹). Druga študija je pokazala učinek majhnih začasno narejenih jarkov na razdaljah, manjših od 80 m; njihovi podatki so pokazali, da so na koruznih poljih zmanjšali erozijo tal za 94 %, odtok pa za 32 % (Bazoffi et al. 2011). Vendar so protierozijski jarki manj učinkoviti pri zmanjševanju izgube tal kot terase, ki izgubo tal zmanjšujejo 4,7-12,3-krat bolje (Napoli et al. 2020).
Vzdrževanje	Pri vzdrževanju je treba jarke redno čistiti in jih očistiti vseh predmetov in materiala, da se ohrani transportna zmogljivost jarkov (Kuypers, Mollema in Topper, 2005). Travnati pas nad jarkom ali kanalom je treba redno kositi, da se ohrani idealna hrapavost njegove površine (Novotný et al., 2017). Vzdrževanje, vključno s košnjo in poglabljanjem, je leta 2018 v Franciji znašalo 1 evro/1 m dolžine/leto (Patault et al., 2021). Po podatkih Posthumusa in drugih (2015) je življenjska doba takšnega ukrepa približno 15 let. Menijo, da so stroški vzdrževanja zanemarljivi.

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

Podnebne spremembe	Podnebne spremembe prinašajo tudi večji delež ekstremnih padavin, zato imajo ti ukrepi blažilni učinek na zmanjšanje erozije, ki je posledica teh sprememb. Povečana infiltracija vode prispeva k boljši oskrbi tal z vodo in s tem tudi k večji evapotranspiraciji ter hladilni funkciji vegetacije (pridelka), ki raste na parceli.
Druge nevarnosti	Podobno kot terase, protierozijski jarki in kanali vplivajo (poleg erozije) na druge nevarnosti na območju; povečujejo infiltracijo vode in zmanjšujejo nevarnost poplav.

Ukrep: majhni jezovi	
Nekaj primerov uporabe	 Slika 13. Primer majhnega jezu povzeto po: https://www.thinktrees.org/wp-content/uploads/2019/07/WEBS-Fact-Sheet-7-Small-Dams-Reservoirs.pdf
Kratek povzetek	Majhni jezovi (zemeljski, betonski) lahko zmanjšajo maksimalni pretok in poplave v spodnjem toku, pomagajo zmanjšati transport sedimentov ali hranil (na primer dušika in fosforja). Uporaba malih jezov je različna; pogosto je cilj gradnje pokriti več namenov, npr. suhi jezovi za nadzor poplav, druge uporabe, kot so rekreacija, shranjevanje vode, namakanje, ohranjanje mokrišč, habitatov. Najpogostejša vrsta majhnih jezov je nasip, pri katerem se za gradnjo uporabljajo naravni materiali iz zemlje in/ali kamnine. Druga najpogostejša vrsta malih jezov je gravitacijski jez, zgrajen iz betona ali kamna. Prilagodijo se lahko lokalnim razmeram - na primer za zagotavljanje ukrepov manjšega obsega z vključitvijo rekreacijske rabe ali vključitvijo kmetijskih potreb. Odločitev, katero vrsto jezu zgraditi, je odvisna od pogojev temeljenja, razpoložljivosti gradbenega materiala, dostopnosti lokacije, pričakovanih hidravličnih razmer itd. Kadar majhen jez zajezuje potok, je treba načrtovati pomožne storitve in strukture, ki omogočajo prehajanje vodnih organizmov.
Primer študije primera	https://www.thinktrees.org/wp-content/uploads/2019/07/WEBS-Fact-Sheet-7-Small-Dams-Reservoirs.pdf https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJCCSM-12-2014-0141/full/pdf https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29HE.1943-5584.0001005 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633921000198
Izvedljivost	Glede na posebnosti lokacije je treba opraviti analizo stroškov in koristi ter oceniti finančno in ekološko izvedljivost.
Stroškovna učinkovitost	To je odvisno od vrste jezu in posebnosti lokacije. Če je mogoče, je treba uporabiti lokalno opremo.
Vzdrževanje	Vizualni pregledi, vzdrževanje vegetacije (obrezovanje trave, odstranjevanje nizke vegetacije), spremljanje zamuljevanja. Upravljanje prisotnosti ljudi in živali. Vsak jez mora imeti program vzdrževanja in obratovanja, ki ga je treba upoštevati.
Podnebne spremembe	Varovalni pas za podnebne spremembe hidroloških razmer, vzpostavitev ribnikov, mokrišč ali drugih obrežnih ekosistemov.
Druge nevarnosti	Vodni zadrževalniki so dovzetni za zamuljevanje. Zaradi nevarnosti prelivanja (in posledično porušitev) morajo biti ustrezno zgrajeni in vzdrževani. Ustrezna izbira lokacije. Ustrezne hidrološke študije ob poplavah. Nagnjenost k izcejanju, zlasti pri konstrukcijskih pomanjkljivostih in slabem vzdrževanju. V vseh hidroloških razmerah je treba zagotoviti zadostno varnostno nadvišanje. Ukrep ima sicer pozitiven učinek na transport sedimentov.

Ukrep: kranjska stena	
Nekaj primerov uporabe:	 Slika 14. Primer kranjske stene v Sloveniji. https://www.gov.si/assets/ministrstva/MK/DEDISCINA/NESNOVNA/RNSD_SI/Rzd-02_00027.pdf
Kratek povzetek	Ta vrsta objekta se večinoma uporablja za uravnavanje vode, sanacijo erozijskih žarišč ali stabilizacijo pobočij. Ta vrsta objekta se lahko uporablja tudi neposredno v vodotoku v vzdolžni in prečni smeri. Posebej primerna je za regulacijo hudournikov ter gorskih vodotokov. Podporne konstrukcije tipa "kranjske stene" se lahko uporabijo, kadar je treba stabilizirati tanko nestabilno zgornjo plast tal, medtem ko je dno stabilno. Takšne konstrukcije morajo imeti prostornino 10-15 odstotkov prostornine tal, ki jih je treba stabilizirati. Polnilni material mora biti zgoščen, poskrbeti je treba tudi za drenažo konstrukcije. Gabionski zidovi so zaradi zasipa s kockastim polnilom in zasnove z mrežo dobro odvodnjavani glede na konstrukcijske lastnosti. Glavna prednost te vrste struktur je prilagodljivost in fleksibilna zasnova, ki se lahko prilagaja lokalnim lastnostim. V hudournikih, gorskih in hribovitih vodotokih sovpadajo s krajinskimi značilnostmi in povzročajo manj negativnih vplivov na okolje kot obrežna zavarovanja.
Primer študije primera	Lesene kranjske stene so del Registra žive kulturne dediščine Slovenije in se pogosto uporabljajo za regulacijo alpskih potokov v Sloveniji in sosednjih državah: https://www.gov.si/assets/ministrstva/MK/DEDISCINA/NESNOVNA/RNSD_SI/Rzd-02_00027.pdf.
Izvedljivost	Izvedljivo na erozijsko ogroženih območjih in območjih, kjer so primernejše rešitve, ki temeljijo na naravi. Za gradnjo se raje uporabljajo lokalni materiali.
Stroškovna učinkovitost	Če so na voljo, se lahko uporabijo lokalni materiali, zaradi česar so zlasti kranjske stene zelo stroškovno učinkovite.
Vzdrževanje	Ker ima konstrukcija elastične lastnosti in se lahko prilagaja spremembam terena, je pomembno, da z rednim vzdrževanjem preprečimo lokalne okvare.
Podnebne spremembe	Možen ukrep za stabilizacijo erozijskih žarišč je stabilizacija pobočij.
Druge nevarnosti	Zagotoviti je treba ustrezno odvodnjavanje, sicer je konstrukcija izpostavljena prevračanju ali zdrs. Ukrep omogoča tudi podporo zmanjševanju ogroženosti zaradi nastanka zemeljskih plazov.

Ukrep: kamen v betonu (ali v suho)	
Nekaj primerov uporabe:	 <i>Slika 15. Kamnita obloga v potoku Chodovecky na Češkem (vir: https://www.prostranstvi.cz/Priklady-dobre-praxe/Database/Revitalizace-vodnich-toku-ve-meste).</i>
Kratek povzetek	Kamen v betonu ali kamen v suho je običajno opredeljen kot trajni ukrep proti eroziji iz velikih nezavarovanih kamnov, ki se uporabljajo na brežinah rek, čeprav se lahko uporabljajo tudi redno oblikovani betonski bloki. Značilnosti takšnih ukrepov se zelo razlikujejo glede na okolje, v katerem so nameščeni, in vrsto zelenega protierozijskega vpliva (Reid in Church, 2015). Kamen v betonu ali kamen v suho lahko vpliva na struge vodotokov z lokalnim zmanjšanjem dotoka sedimentov in lesa. Zmanjšan dotok sedimentov zaradi erozije bregov lahko privede do lokalnega poglobljanja struge in sprememb posteljice dna struge (npr. Arfeuillère et al., 2023).
Primer študije primera	Ti ukrepi so razmeroma pogosti - na primer v Pragi na Češkem je bilo v preteklosti izvedenih več obnov manjših mestnih vodotokov, pri katerih so bili uporabljeni tudi ukrepi za zaščito pred naravnimi nesrečami. Več informacij o teh pristopih je na voljo tukaj: http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-toky/kosikovsky-potok/revitalizace-a-opravy-na-kosikovskem-potoce/revitalizace-koryta-kosikovskeho-potoka/.
Izvedljivost	Po podatkih Reida in Churcha (2015) se zdi, da je med številnimi upravljavci vodotokov kamen v betonu ali kamen v suho izgubil naklonjenost kot najprimernejši ukrep za stabilizacijo struge in brežin, saj so postale na voljo druge metode stabilizacije struge (kot so bioinženirske rešitve) (Quigley in Harper, 2004), čeprav te metode pogosto veljajo za manj varne na kritičnih območjih. Takšni ukrepi imajo vpliv takoj po izgradnji (inženirske-biološke metode potrebujejo nekaj časa, da se vegetacija razraste) Raznolikost v obsegu in odmiku brežin, strukturi rečnih sedimentov in morfologiji struge bo verjetno povzročila precejšnje razlike v specifičnih odzivih posameznih rečnih okolij na stabilizacijo bregov s takšnimi ukrepi.
Stroškovna učinkovitost	Kamen je zelo pogost material za gradbene projekte in pogosto velja za stroškovno najučinkovitejšo možnost za utrjevanje brežin vodotokov. Postavitev kamnitih blokov je eden od stroškovno najučinkovitejših ukrepov za zaščito pred erozijo, strukturno stabilnost in stabilizacijo pobočij in brežin (Abt et al., 2013). Vendar je bilo v nekaterih študijah ugotovljeno, da je cena ukrepov zelo odvisna od naravnih pogojev - zlasti od razdalje, na katero je treba material prepeljati. V zvezni državi Alabama cena na enoto takšnega ukrepa niha glede na lokacijo določenega projekta. V

	severnih predelih zvezne države je lahko strošek na enoto ukrepa le 73 % državnega povprečja, medtem ko je na jugu države ta cena lahko višja za 160 % od državnega povprečja (Gerber, 2022). Več študij je pokazalo, da so inženirsko-biološke metode učinkovita alternativa uporabi kamnitih zložb (v suho ali v betonu) na stabiliziranih rečnih bregovih, ta pristop pa vodi k večji rastlinski raznolikosti in sukcesiji, ki sta skoraj podobni tisti na naravnih rečnih bregovih (Tisserant et al., 2021).
Vzdrževanje	Brežino sestavlja naravni material, kot je kamenje ali balvani, ki je na številnih območjih zlahka na voljo, se pogosto uporablja pri zaščiti pred erozijo. Na nekaterih območjih se material za kamnite zložbe proizvaja v kamnolomih, kjer se pridobiva trda in trpežna kamnina. Če je pravilno zasnovan in uporabljen za zaščito pred erozijo, ima prednost pred togimi strukturami, saj je prožen in lahko ostane funkcionalen, čeprav se nekateri posamezni kamni izgubijo, in ga je mogoče razmeroma enostavno popraviti. Ustrezno zgrajeni ukrepi lahko zagotavljajo dolgoročno zaščito brežin, če se redno pregledujejo in vzdržujejo (Lagasse et al., 2006).
Podnebne spremembe	Podnebne spremembe bodo predvidoma pomembno vplivale na regionalne hidrološke značilnosti ter zlasti na intenzivnost in pogostost pojavljanja ekstremnih poplav. Spremenjeni vremenski vzorci in posledično spremenjeni hidrološki režimi resno ogrožajo varnost objektov na hudournikih (Ravindra et al., 2018). Po podatkih Kalogerakija in Antoniouja (2022) se kot ukrep za prilagajanje podnebnim spremembam uporabljajo tudi kamnite zložbe (v suho ali v betonu) okoli mostnih opornikov pri rečnih mostovih.
Druge nevarnosti	Kamnite zložbe so lahko uporabne kot podpora samočistilnim sposobnostim vodotoka ter lahko vplivajo na transport sedimentov (Quigley et al., 2004). Postavitev kamnitih zložb običajno zmanjša vnos organskih snovi iz obrežnega območja (Reid in Church, 2015).

VIRI

- Abt, S. R., Thornton, C. I., Scholl, B. A., & Bender, T. R. (2013). Evaluation of overtopping riprap design relationships. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49(4), 923-937. <https://doi.org/10.1111/jawr.12074>
- Abubakar, M. S. A., Ahmad, D., & Akande, F. B. (2010). A review of farm tractor overturning accidents and safety. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 18(2), 377-385.
- Aerts, J. C. (2018). A review of cost estimates for flood adaptation. *Water*, 10(11), 1646. <https://doi.org/10.3390/w10111646>
- Albrecht, J., & Hartmann, T. (2021). Land for flood risk management—Instruments and strategies of land management for polders and dike relocations in Germany. *Environmental Science & Policy*, 118, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.12.008>
- Alcamo, J., Flörke, M., & Märker, M. (2007). Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal*, 52(2), 247-275. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.2.247>
- Álvarez-Mozos, J. Abad, E., Giménez, R., Campo, M., Goñi, M., Arive, M., Casali, J., Díez, J., Diego, I. 2014. Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects on runoff and soil loss. *Catena* 118:168–178. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.05.018>
- Anderson, R.G., Canadell, J.G., Randerson, J.T., Jackson, R.B., Hungate, B.A., Baldocchi, D.D., Ban-Weiss, G.A., Bonan, G.B., Caldeira, K., Cao, L., Diffenbaugh, N.S., Gurney, K.R., Kueppers, L.M., Law, B.E., Luyssaert, S. and O'Halloran, T.L. 2011, Biophysical considerations in forestry for climate protection. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9: 174-182. <https://doi.org/10.1890/090179>
- Arfeuillère, A., Steiger, J., Gautier, E., Petit, S., Roussel, E., Vautier, F., ... & Saillard, J. (2023). Removal of riprap within channelized rivers: a solution for the restoration of lateral channel dynamics and bedload replenishment? *Applied Sciences*, 13(5), 2981. <https://doi.org/10.3390/app13052981>
- Arnáez, J., Lana-Renault, N., Lasanta, T., Ruiz-Flaño, P., & Castroviejo, J. (2015). Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. A review. *Catena*, 128, 122-134.
- Avery, S., & Eng, C. (2012). *Lake Turkana & the Lower Omo: hydrological impacts of major dam and irrigation developments*. African Studies Centre, the University of Oxford. https://www.africanstudies.ox.ac.uk/sites/default/files/africanstudies/documents/media/executive_summary_introduction.pdf
- Bai, J., Shengtian, Y., Yichi, Z., Xiaoyan, L., & Yabing, G. (2019). Assessing the impact of terraces and vegetation on runoff and sediment routing using the time-area method in the chinese Loess Plateau. *Water*, 803(11), 1-20, doi:10.3390/w11040803.
- Bazzoffi, P., Ciancaglini, A., & Laruccia, N. (2011). Effectiveness of the GAEC cross-compliance standard short-term measures for runoff water control on sloping land (temporary ditches and grass strips) in controlling soil erosion. *Italian Journal of Agronomy*, 6(s1), e3-e3.
- Bevan, A., Conolly, J., Colledge, S., Frederick, C., Palmer, C., Siddall, R., & Stelatou, A. (2013). The long-term ecology of agricultural terraces and enclosed fields from Antikythera, Greece. *Human Ecology*, 41, 255-272.
- Bissonnais Yves Le, Lecomte Véronique, Cerdan Olivier. Grass strip effects on runoff and soil loss. *Agronomie*, 2004, 24 (3), pp.129-136. [ff10.1051/agro:2004010ff](https://doi.org/10.1051/agro:2004010ff). [ffhal-00886045f](https://doi.org/10.1051/agro:2004010ff)
- Brandolini, P., Cevasco, A., Capolongo, D., Pepe, G., Lovergine, F., & Del Monte, M. (2018). Response of terraced slopes to a very intense rainfall event and relationships with land abandonment: a case study from Cinque Terre (Italy). *Land Degradation & Development*, 29(3), 630-642.
- Capon, S. J., Chambers, L. E., Mac Nally, R., Naiman, R. J., Davies, P., Marshall, N., ... & Williams, S. E. (2013). Riparian ecosystems in the 21st century: hotspots for climate change adaptation? *Ecosystems*, 16, 359-381. <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9656-1>
- Chen, S.C., Chang, K.T., Wang, S.H., Lin, J.Y., 2011. The efficiency of artificial materials used for erosion control on steep slopes. *Earth Sciences and Environment* 62: 197–206. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0514-6>
- Chow, T.L., Rees, H.W., and Daigle, J.L., 1999. Effectiveness of terraces grassed waterway systems for soil and water conservation: a field evaluation. *Journal of Soil and Water Conservation* 54(3): 577-583
- Collins, A.L., Anthony, S.G., Hawley, J. & Turner, T. 2009. The potential impact of projected change in farming by 2015 on the importance of the agricultural sector as a sediment source i England and Wales. *Catena*, 79, 243–250

- Cots-Folch, R., Martínez-Casasnovas, J. A., & Ramos, M. C. (2006). Land terracing for new vineyard plantations in the north-eastern Spanish Mediterranean region: Landscape effects of the EU Council Regulation policy for vineyards' restructuring. *Agriculture, ecosystems & environment*, 115(1-4), 88-96.
- Cuttle, S.P., Macleod, C.J.A., Chadwick, D.R., Scholefield D. Haygarth, P.M., Newell-Price, P., Harris, D., Shepherd, M.A., Chambers, B.J. & Humphrey, R. 2006. An inventory of methods to control diffuse water pollution from agriculture (DWPA). User Manual. September 2006. Prepared as part of Defra Project ES0203. IGER/ADAS
- ČRS, 2023. Parkovací plocha na Strženém je v provozu. Available on <https://www.crs-sus.cz/1/1963/parkovaci-plocha-na-strzenem-je-v-provozu>
- Damians, I.P., Miyata, Y., Rimoldi, P., Touze, N., Kraus, J. 2023. Sustainability of Geosynthetics-Based Landslide Stabilization Solutions. In: Sassa, K., Konagai, K., Tiwari, B., Arbanas, Ž., Sassa, S. (eds) *Progress in Landslide Research and Technology*, Volume 1 Issue 1, 2022. Progress in Landslide Research and Technology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16898-7_14
- Deng, C., Zhang, G., Liu, Y., Nie, X., Li, Z., Liu, J., & Zhu, D. (2021). Advantages and disadvantages of terracing: A comprehensive review. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(3), 344-359.
- Djuma, H., Bruggeman, A., Camera, C., & Zoumides, C. (2017). Combining qualitative and quantitative methods for soil erosion assessments: An application in a sloping Mediterranean watershed, Cyprus. *Land Degradation & Development*, 28(1), 243-254.
- Dorren, L., & Rey, F. (2004). A review of the effect of terracing on erosion. In *Briefing Papers of the 2nd SCAPE Workshop* (pp. 97-108). C. Boix-Fayons and A. Imeson. Available at: https://www.researchgate.net/publication/228581261_A_review_of_the_effect_of_terracing_on_erosion.
- Dumbrovský, M., Sobotková, V., Šarapatka, B., Chlubna, L., & Váchalová, R. (2014). Cost-effectiveness evaluation of model design variants of broad-base terrace in soil erosion control. *Ecological engineering*, 68, 260-269.
- Eden Rivers Trust (2023). Natural rivers for life. Available at: <https://www.edenrivertrust.org.uk/>
- FAO, 2000. Manual on integrated soil management and conservation practices. FAO Land and Water Bulletin 8, Rome, Italy: 230 pp
- Fennell, J., Soulsby, C., Wilkinson, M. E., Daalmans, R., & Geris, J. (2023). Time variable effectiveness and cost-benefits of different nature-based solution types and design for drought and flood management. *Nature-Based Solutions*, 3, 100050. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2023.100050>
- Francaviglia, R., & Neri, U. (2020). Temporary ditches are effective in reducing soil erosion in hilly areas. An evaluation with the RUSLE model. *Italian Journal of Agronomy*, 15(4), 315.
- Franz, E.P., Poala, F., Nuna, A., & Maria C. M. M. (2018). Performance evaluation of soil erosion control by geotextile materials on road cut slope. The 2018 world congress on Advances in Civil, Environmental, & Materials Research (ACEM18). Sangdo convensia, August 27-31. Incheon, Korea.
- Frielinghaus, M., Brandhuber, R., Schmidt, W. A. (2002): Experiences with the German soil protection act to realise best management practice – precaution basis against soil erosion. 12th International Soil Conservation Organization Conference, May 26–31, 2002, Beijing, China, pp. 328–333.
- Gallart F, Llorens P, Latron J. 1994. Studying the role of old agricultural terraces on runoff generation in a small Mediterranean mountainous basin. *Journal of Hydrology* 159: 291–303. DOI:10.1016/0022-1694(94)90262-3.
- Gene, S. M., Hoekstra, P. F., Hannam, C., White, M., Truman, C., Hanson, M. L., & Prosser, R. S. (2019). The role of vegetated buffers in agriculture and their regulation across Canada and the United States. *Journal of Environmental Management*, 243, 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.003>
- Geomall, 2023. Protierozní georohož Trinter. Available on <https://www.geomall.cz/protierozni-georohoz-trinter#>
- Geomat, 2023a. Geobuňky. Available on <https://www.geomat.cz/vyrobky-katalog/geobunky/>
- Geomat, 2023b. Protierozní ochrana svahu v obci Olomučany. Available on <https://www.geomat.cz/reference/protierozni-ochrana/protierozni-ochrana-svahu-v-obci-olomucany>
- Geomat, 2023c. Jutové sítě jako protierozní ochrana svahů při rekonstrukci silnice v Žacléři. Available on <https://www.geomat.cz/reference/protierozni-ochrana/kokosove-site-jako-protierozni-ochrana-svahu-pri-rekonstrukci-silnice-v-zacleri/>
- Geomat, 2023d. Ochrana svahů sedimentační nádrže cukrovaru v Dobrovicích pomocí geobuněk. Available on <https://www.geomat.cz/reference/protierozni-ochrana/ochrana-svahu-sedimentacni-nadrze-cukrovaru-v-dobrovicich-pomoci-geobunek/>
- Gerber, C. J. (2022). A Multi-Attribute Utility Theory Analysis of Alternative Erosion Control Materials to Class 2 Riprap in Alabama (Doctoral dissertation, Auburn University).

- Gibson, D. J., & Newman, J. A. (Eds.). (2019). *Grasslands and climate change*. Cambridge University Press.
- Grabowski, R. C., Gurnell, A. M., Burgess-Gamble, L., England, J., Holland, D., Klaar, M. J., ... & Wharton, G. (2019). The current state of the use of large wood in river restoration and management. *Water and Environment Journal*, 33(3), 366-377. <https://doi.org/10.1111/wej.12465>
- Greenmax, 2023. Protierozní systémy a geotextilie. Available on <https://www.greenmax.cz/protierozni-systemy>
- Hankin, B., Hewitt, I., Sander, G., Danieli, F., Formetta, G., Kamilova, A., ... & Lamb, R. (2020). A risk-based network analysis of distributed in-stream leaky barriers for flood risk management. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(10), 2567-2584. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2567-2020>
- Hopkins, A., & Del Prado, A. (2007). Implications of climate change for grassland in Europe: impacts, adaptations and mitigation options: a review. *Grass and Forage Science*, 62(2), 118-126.
- IAPAR, 1984. IAPAR (Fundação Instituto Agronômico do Paraná) 10 anos de pesquisa: relatório técnico 1972-1982. Londrina, PR, Relatório Técnico: 233 pp. In: Dorren, L., & Rey, F. (2004, April). A review of the effect of terracing on erosion. In Briefing Papers of the 2nd SCAPE Workshop (pp. 97-108). C. Boix-Fayons and A. Imeson.
- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.
- Jakubínský, J., Machová, K., Prokopová, M., Cudlín, O., Purkyt, J., Štěrbová, L., ... & Cudlín, P. (2023). Assessment of the potential natural status of riparian zones in the Czech Republic. *River Research and Applications*, 39(1), 95-107. <https://doi.org/10.1002/rra.4061>
- Kalibová, J., Jačka, L., Petrů, J. 2016. The effectiveness of jute and coir blankets for erosion control in different field and laboratory conditions. *Solid Earth*, 7: 469–479. <https://doi.org/10.5194/se-7-469-2016>
- Kalogeraki, M., & Antoniou, F. (2022, December). Current research trends into the effect of climate change on civil engineering infrastructures: A bibliometric review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1123, No. 1, p. 012037). IOP Publishing. 10.1088/1755-1315/1123/1/012037
- Karrasch, L., Maier, M., Kleyer, M., & Klenke, T. (2017). Collaborative landscape planning: Co-design of ecosystem-based land management scenarios. *Sustainability*, 9(9), 1668. <https://doi.org/10.3390/su9091668>
- Klič, R., Čepelka, L., Kravka, M., 2023. Vliv zalesnění orné půdy a různého věku lesního porostu na tvorbu vodostabilních půdních agregátů (WSA) [Different age of afforestation of former arable land and its effect On the formation of water-stable aggregates (WSA)]. *Zprávy ze zemědělského výzkumu*, 68 (1): 37-48
- Kling, C., Rabotyagov, S., Jha, M., Feng, H., Parcel, J., Gassman, P., & Campbell, T. (2007). Conservation practices in Iowa: historical investments, water quality, and gaps. A report to the Iowa farm bureau and partners. Final report. Iowa State University Center for Agricultural and Rural Development, Ames, IA.
- Krenitsky, E.C., Carroll, M.J., Hill, R.L. Krouse, J.M. 1998, Runoff and Sediment Losses from Natural and Man-Made Erosion Control Materials. *Crop Science*, 38: 1042-1046. <https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800040026x>
- Kuhlman, T., Reinhard, S., & Gaaff, A. (2010). Estimating the costs and benefits of soil conservation in Europe. *Land Use Policy*, 27(1), 22-32.
- Kuhlman, T., Reinhard, S., & Gaaff, A. (2010). Estimating the costs and benefits of soil conservation in Europe. *Land Use Policy*, 27(1): 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.08.002>
- Kuypers, H., Mollema, A., & Topper, E. (2005). *Erosion control in the tropics* (6th ed.). Agromisa Foundation. Wageningen, Netherlands.
- Lagasse, P. F. (2006). Riprap design criteria, recommended specifications, and quality control (Vol. 568). Transportation Research Board.
- Lasanta, T., Arnáez, J., & Nadal-Romero, E. (2019). Soil degradation, restoration and management in abandoned and afforested lands. In *Advances in chemical pollution, environmental management and protection* (Vol. 4, pp. 71-117). Elsevier.
- Liu, R., Zhang, P., Wang, X., Chen, Y., & Shen, Z. (2013). Assessment of effects of best management practices on agricultural non-point source pollution in Xiangxi River watershed. *Agricultural Water Management*, 117, 9-18.
- Lo, H. W., van Leeuwen, Z., Klaar, M., Woulds, C., & Smith, M. (2022). Geomorphic effects of natural flood management woody dams in upland streams. *River Research and Applications*, 38(10), 1787-1802. <https://doi.org/10.1002/rra.4045>

- MACHO, Bohumil. Vyhodnocení vlivu potenciálně vybudovaných protierozních opatření pomocí modelování v GIS [online]. České Budějovice, 2018 [cit. 2023-08-15]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/7g4byu/>. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. Vedoucí práce Ing. Václav Bystřický, Ph.D.
- Maetens, W., Poesen, J., & Vanmaercke, M. (2012). How effective are soil conservation techniques in reducing plot runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean?. *Earth-Science Reviews*, 115(1-2), 21-36.
- Martínez-Casasnovas, J. A., & Ramos, M. C. (2006). The cost of soil erosion in vineyard fields in the Penedès–Anoia Region (NE Spain). *Catena*, 68(2-3), 194-199.
- Milly, P. C., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., & Stouffer, R. J. (2008). Stationarity is dead: Whither water management?. *Science*, 319(5863), 573-574. DOI: 10.1126/science.1151915
- Minnesota Pollution Control Agency, 2023. Erosion prevention practices – Riprap. Available on https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=Erosion_prevention_practices_-_Riprap
- Nakoa, S. (2000). Soil Conservation on Sloping Orchards in Japan, In: *Soil and Water Conservation and Management*, 13.02.2011, Available from: <http://www.agnet.org/library/eb/451/>
- Napoli, M., Altobelli, F., & Orlandini, S. (2020). Effect of land set up systems on soil losses. *Italian Journal of Agronomy*, 15(4), 306-314.
- Nix, J. 2009. Farm management pocketbook. 40th edition. Imperial College. The Anderson Centre, London
- Norbury, M., Phillips, H., Macdonald, N., Brown, D., Boothroyd, R., Wilson, C., ... & Shaw, D. (2021). Quantifying the hydrological implications of pre-and post-installation willowed engineered log jams in the Pennine Uplands, NW England. *Journal of Hydrology*, 603, 126855. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126855>
- Novotný et al. (2017) Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy, MZE (Czech Ministry of Agriculture) and VÚMOP v.v.i., 86 p.p., ISBN VÚMOP 978-80-87361-67-2, ISBN MZE 978-80-7434-362-9, available online at: eagri.cz/public/web/file/293635/MZE_prirucka_ochrany_proti_erozi_zemedelske_pudy_2017.pdf
- NWRM (2015). Natural Water Retention Measures. EU Directorate General Environment. Available at: <http://nwrn.eu/index.php/>
- O'Mara, F. P. (2012). The role of grasslands in food security and climate change. *Annals of botany*, 110(6), 1263-1270.
- Palmer, J. A. (2008). An assessment of riparian land-use and channel condition impacts on streambank eroding lengths and recession rates in two third order rural watersheds in Central Iowa. Iowa State University.
- Pan, C., & Shangguan, Z. (2006). Runoff hydraulic characteristics and sediment generation in sloped grass plots under simulated rainfall conditions. *Journal of Hydrology*, 331, 178–185.
- Patault, E., Ledun, J., Landemaine, V., Soullignac, A., Richet, J. B., Fournier, M., ... & Laignel, B. (2021). Analysis of off-site economic costs induced by runoff and soil erosion: Example of two areas in the northwestern European loess belt for the last two decades (Normandy, France). *Land Use Policy*, 108, 105541.
- Paz, F. E., Flor-Paz, P., Almanzor, N., Marcos, M. C. M. 2018. Performance evaluation of soil erosion control geotextile materials on road cut slope. In *Proceedings of the 2018 World Congress on Advances in Civil, Environmental, & Materials Research (ACEM18)* Songdo Convensia, Incheon, Korea, 27–31 August 2018
- Phillips, 2006. Economic analysis of broadleaf afforestation. <https://www.friendsoftheirishenvironment.org/attachments/article/16409/phillips.pdf>
- Posthumus, H., Deeks, L. K., Rickson, R. J., Quinton, J. N. 2013. Costs and benefits of erosion control measures in the UK. *Soil Use and Management*, 31: 16-33. <https://doi.org/10.1111/sum.12057>
- Posthumus, H., Deeks, L. K., Rickson, R. J., & Quinton, J. N. (2015). Costs and benefits of erosion control measures in the UK. *Soil use and management*, 31, 16-33.
- Quigley, J. T., & Harper, D. J. (2004). Streambank protection with rip-rap: an evaluation of the effects on fish and fish habitat. Habitat and Enhancement Branch, Fisheries and Oceans Canada.
- Quigley, J. T., & Harper, D. J. (2004). Streambank protection with rip-rap: an evaluation of the effects on fish and fish habitat. Habitat and Enhancement Branch, Fisheries and Oceans Canada. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=8bb23be4585bc6a763e582a9eccaff723d9e76d1>
- Quinn, P. F., Hewett, C. J., Wilkinson, M. E., & Adams, R. (2022). The Role of Runoff Attenuation Features (RAFTs) in Natural Flood Management. *Water*, 14(23), 3807. <https://doi.org/10.3390/w14233807>
- Quinton, J.N. & Catt, J.A. 2004. The effects of minimal tillage and contour cultivation on surface runoff, soil loss and crop yield in the long-term Woburn Erosion Reference Experiment on sandy soil at Woburn, England. *Soil Use and Management*, 20, 343–349.

- Ramos, M.C., Cots-Folch, R., & Martinez-Casanovas, J.A. 2007. Sustainability of modern land terracing for vineyard plantation in a Mediterranean mountain environment – The case of the Priorat region (NE Spain). *Geomorphology* 86, 1-11.
- Reid, D., & Church, M. (2015). Geomorphic and ecological consequences of riprap placement in river systems. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 51(4), 1043-1059. <https://doi.org/10.1111/jawr.12279>
- Ricci, G. F., Jeong, J., De Girolamo, A. M., & Gentile, F. (2020). Effectiveness and feasibility of different management practices to reduce soil erosion in an agricultural watershed. *Land Use Policy*, 90, 104306.
- Ricci, G. F., Jeong, J., De Girolamo, A. M., & Gentile, F. 2020. Effectiveness and feasibility of different management practices to reduce soil erosion in an agricultural watershed. *Land Use Policy*, 90, 104306. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104306>
- Santhi, C., Arnold, J. G., Srinivasan, R., & Williams, J. R. (2003). A modeling approach to evaluate the impacts of water quality management plans implemented in the Big Cypress Creek watershed. In *Total Maximum Daily Load (TMDL) Environmental Regulations II* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers. doi:10.13031/2013.15585
- Santhi, C., Kannan, N., White, M., Di Luzio, M., Arnold, J. G., Wang, X., & Williams, J. R. 2014. An Integrated Modeling Approach for Estimating the Water Quality Benefits of Conservation Practices at the River Basin Scale. *Journal of Environment Quality*, 43(1), 177. doi:10.2134/jeq2011.0460
- Schuman, G.E., Spurner, R.G. and Piest, R.F., 1973. Phosphorus losses from four agricultural watersheds on Missouri Valley loess. *Soil Science Society of America Proceedings* 37(3): 424-427
- Stanchi, S., Freppaz, M., Agnelli, A., Reinsch, T., & Zanini, E. (2012). Properties, best management practices and conservation of terraced soils in Southern Europe (from Mediterranean areas to the Alps): A review. *Quaternary International*, 265, 90-100.
- Stevens, C.J., Quinton, J.N., Bailey, A.P., Deasy, C., Silgram, M. & Jackson, D.R. 2009. The effects of minimal tillage, contour cultivation and in-field vegetative barriers on soil erosion and phosphorus loss. *Soil Tillage & Research*, 106, 145–151.
- Sulewski, P., 2018. Conditions, scope and economic effects of afforestation of marginal soils on farms in Poland. *Problems of Agricultural Economics* 1(354) 2018, 149-169. <https://doi.org/10.30858/zer/89620>
- Sweeney, B. W., & Newbold, J. D. (2014). Streamside forest buffer width needed to protect stream water quality, habitat, and organisms: a literature review. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 50(3), 560-584. <https://doi.org/10.1111/jawr.12203>
- SZIF, 2023. Zalesňování zemědělské krajiny. Available on <https://www.szif.cz/cs/zalesnovani-zemedelske-pudy>
- Tanaka, M. O., de Souza, A. L. T., Moschini, L. E., & de Oliveira, A. K. (2016). Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216, 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.10.016>
- Thomas, H., & Nisbet, T. (2012). Modelling the hydraulic impact of reintroducing large woody debris into watercourses. *Journal of Flood Risk Management*, 5(2), 164-174. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2012.01137.x>
- Tisserant, M., Bourgeois, B., González, E., Evette, A., & Poulin, M. (2021). Controlling erosion while fostering plant biodiversity: A comparison of riverbank stabilization techniques. *Ecological Engineering*, 172, 106387. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106387>
- UK Environment Agency (2021). Leaky woody dams - Natural Flood Management. Available at: <https://thefloodhub.co.uk/wp-content/uploads/2018/09/Leaky-Woody-Dams-Natural-Flood-Management.pdf>
- USDA Natural Resources Conservation Service. (1997). *National Handbook of Conservation Practices*. Wash. D.C.
- Uusi-Kämpä, J., 2005. Phosphorus purification in buffer zones in cold climates. *Ecological Engineering* 24 (5), 491–502.
- van Dijk, A. I., & Bruijnzeel, L. A. (2003). Terrace erosion and sediment transport model: a new tool for soil conservation planning in bench-terraced steep lands. *Environmental Modelling & Software*, 18(8-9), 839-850.
- Van Dijk, P. M., Kwaad, F. J. P. M., & Klapwijk, M. (1996). Retention of water and sediment by grass strips. *Hydrological processes*, 10(8), 1069-1080.
- Veek, G., Zhou, L., & Ling, G. 1995. Terrace construction and productivity on loessal soils in Zhongyang County, Shanxi Province, PRC. *Annals of the Association of American Geographers* 85: 450-467.

- Vergari F, Della Seta M, Del Monte M, Fredi P, Lupia PE. 2013. Long- and short-term evolution of several Mediterranean denudation hot spots: the role of rainfall variations and human impact. *Geomorphology* 183: 14–27. DOI:10.1016/j.geomorph.2012.08.002.
- VUMOP WEB ENCYCLOPEDIA 2019 OCHRANA PROTI VODNÍ EROZI – Webová encyklopedie (vumop.cz)
- VÚMOP, 2019. Studie protierozních opatření: Havlíčkův Brod. Available on https://www.dataplan.info/img_upload/7bdb1584e3b8a53d337518d988763f8d/studie-protieroznich-opatreni-havlickuv-brod-2019.pdf
- VÚV TGM (2018), Sucho v krajině, https://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/p1_katalog_opatreni_0 Novotný et al. (2017) Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy, MZE (Czech Ministry of Agriculture) and VÚMOP