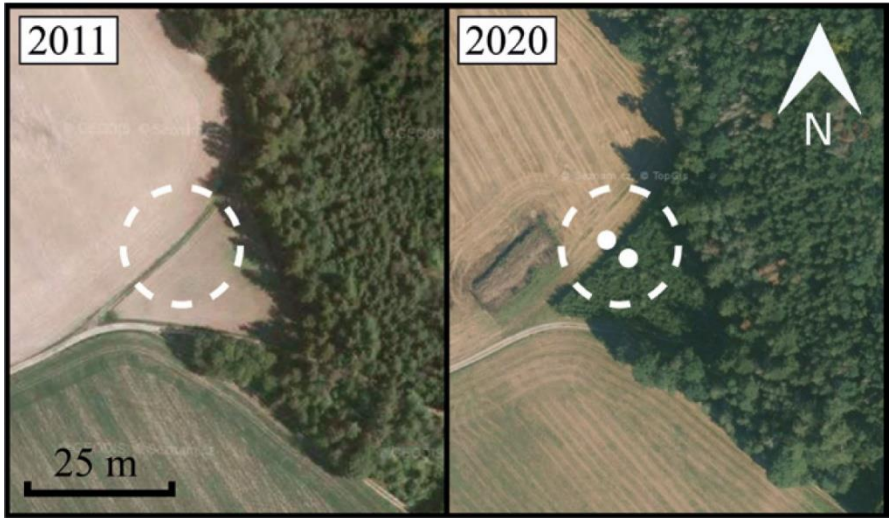


## Půdní eroze – zelená opatření

| Zelené opatření: zalesňování                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Příklad aplikace:<br>Česká republika,<br>(Klíč et al., 2023) |  <p>Obr. 1. Zalesňování orné půdy v ČR (Klíč et al., 2023)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Krátké shrnutí                                               | <p>Zalesňování je proces přeměny zemědělské půdy, okrajových pozemků nebo jiných typů krajinného pokryvu na lesy. Jedná se o „managementové opatření, které spadá do kategorie změn ve využívání půdy (LUC), protože jde o změnu na typ využití půdy, který je méně náchylný k erozi půdy a zaručuje mnoho pozitivních efektů, včetně zlepšení kvality vody, nového přirozeného prostředí a produkci dřeva“ (Ricci, 2020: 3). V důsledku expanze lesa v oblastech, kde dříve nebyly stromy, může dojít ke snížení koncentrace uhlíku v ovzduší a ke snížení maximálního průtoku při povodních (Arora a Montenegro, 2011; Johnen et al., 2020). Zalesňování je velmi důležité a účinné protierozní opatření, protože však toto opatření nelze aplikovat na veškerou ornou půdu, mělo by být doplněno o další agrotechnická opatření - mulčování, podmínkové setí, bezorebné hospodaření apod., případně zatravnění. Zalesňování se obecně používá na půdách nevhodných pro zemědělskou výrobu, zejména na půdách se sklonem větším než 17°, nebo na mělkých půdách (VÚMOP, 2019).</p> |
| Proveditelnost                                               | <p>Pro realizaci tohoto opatření je nutné nejprve najít a připravit pozemek, kde bude zalesňování probíhat. Následně se vyberou vhodné dřeviny, případně se upraví chemické vlastnosti půdy v závislosti na zvoleném typu vegetace. Když jsou stromy vysazeny, mělo by o ně být během prvních let pravidelně pečováno (Climate-ADAPT, 2020). Pro zalesňování orné půdy v České republice jsou dostupné dotace (SZIF, 2023):</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- dotace na založení lesního porostu</li><li>- dotace na péči o (založený) lesní porost dotace na náhradu za ukončení zemědělské výroby</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Efektivita nákladů</b> | Podle VÚMOP (2019) je při hodnocení účinnosti protierozních opatření ve vztahu k ochraně půdy nejúčinnější ochranné zatravnění nebo zalesňování. Kromě toho tyto oblasti jsou také odolnější vůči sesuvům půdy. Ricci et al. (2020) provedli analýzu návratnosti vložených nákladů zemědělců (FR/PC) pro několik protierozních opatření. V oblastech se strmými svahy (sklon > 20 %) bylo zalesňování hodnoceno jako opatření s nejvyšší mírou návratnosti (FR/PC = 1,49), a to za předpokladu, že první dřevo by mohlo být pokáceno a prodáno po 12 letech. Johnen et al. (2020) analyzovali účinnost tohoto opatření na různé ekosystémové služby na základě tří různých scénářů zalesňování ve Slovinsku. Odhalili pozitivní vliv zalesňování na biodiverzitu, kvalitu vody a koncentraci půdního uhlíku. Pokud jde o náklady, autoři studie zjistili, že pro zalesnění 1 ha (10 000 m <sup>2</sup> ) půdy je potřeba přibližně 3 500 stromů a při nákladech cca 1 EUR na výsadbu jednoho stromu, by činily celkové náklady na výsadbu 3 500 stromů na 1 ha přibližně 3 500 euro. Průměrná cena orné půdy, kterou lze použít k zalesnění, byla kolem 60 000 EUR na 1 ha (Johnen et al., 2020). Sulewski (2018) odhadl náklady na zalesnění (bez nákladů na nákup půdy) v Polsku na 1461 EUR/ha (1PLN=0,22 EUR) v roce 2018, Phillips (2006) na 2470-4616 EUR/ha pro Irsko. |
| <b>Flexibilita</b>        | Snížením obsahu vlhkosti v půdě stromy pomáhají snižovat pravděpodobnost sesuvů půdy. Kořeny stromů působí jako bariéra proti posunu půdy, zároveň zpevňují vrstvy půdy a připevňují půdu ke skalnímu podloží. Kromě toho mohou lesy také zabránit pádu kamení a suti, zkrátit vzdálenost sesuvů a snížit rizika eroze půdy (RECOFTC, 2012). Forbes a Broadhead (2013) však uvádějí, že to platí pouze pro mělké sesuvy půdy. Dalšími přínosy zalesňování je posílení biodiverzity krajinných oblastí, zlepšení ekologické rovnováhy krajiny, stabilizace hydrologických a klimatických poměrů v krajině a ochrana půdy a vody v krajině. Zalesňování má také zásadní roli při zmírňování povodňových rizik (jak uvádí např. Johnen et al., 2020 nebo Bezak et al., 2021).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Údržba</b>             | Podle Climate-ADAPT (2020) se během prvního roku po zalesnění průměrné náklady na údržbu stromového porostu v evropských podmínkách pohybují kolem 300 EUR/ha, zatímco během třetího roku mohou náklady klesnout až na 100 EUR/ha. Obecně platí, že proces údržby by měl být prováděn během prvních 3-5 let. Sulewski (2018) odhadl náklady na údržbu na cca 170 EUR/ha/rok (v Polsku), podle Kuhlmana (2010) jsou průměrné náklady na údržbu zalesnění v Evropě 296 EUR/ha/rok.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Klimatická změna</b>   | Lesy absorbují atmosférický CO <sub>2</sub> a přispívají tak ke zmírnění změny klimatu. Jedná se o dlouhodobé opatření, které plní cíle po dobu životnosti lesního porostu, tj. cca 60 let. Podle Organizace spojených národů lze zalesňování považovat za jedno z nejúčinnějších opatření ve vztahu ke zmírňování změny klimatu (Arora a Montenegro, 2011). O stomech je známo, že absorbují oxid uhličitý, což pomáhá bojovat se změnou klimatu. Například městská zeleň může zachytit 0,8 t CO <sub>2</sub> /1 ha porostu ročně (CNT, 2020b). Podle Andersona et al. (2010: 175) „zalesňování vede k akumulaci uhlíku v živé biomase, v mrtvém dřevě a opadu a půdním organickém uhlíku.“ 1 m <sup>2</sup> lesa mírného pásma je                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | <p>schopen ročně uložit 28,1 kg C ve srovnání s 1,1 kg/m<sup>2</sup> v orné půdě a 12,3 kg/m<sup>2</sup> v mezofilním travním porostu (Anderson et al., 2010). Zároveň však podle Bonana (1997) mají lesy tendenci mít nižší koeficient albeda, který je naopak úměrný množství odraženého slunečního záření. Z toho vyplývá, že obdělávaná půda je odrazivější než stromy, a proto se s nárůstem lesního porostu na určitém území zvyšuje i množství slunečního záření pohlceného stromy, což vede k čistému oteplování klimatu, zejména v oblastech s vyšší nadmořskou výškou. (Arora a Montenegro, 2011).</p>                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Příklad případové studie</b> | <p><b>Zalesňování orné půdy u obce Chlístov v ČR</b> (Klíš et al., 2023).</p> <p>Zalesnění orné půdy u obce Chlístov bylo realizováno v roce 2012. Druhové složení je 100% buk. V rámci stejného výzkumu byly zkoumány i další dvě zalesněné lokality na orné půdě. První lokalita byla zalesněna v roce 1998 smrkem (80 %), modřínem (10 %), třešní (5 %), borovicí (3 %) a jedlí (2 %). Druhá lokalita byla zalesněna v r. 1955 smrkem (99 %) a modřínem (1 %).</p> <p>Výsledky měření naznačují mnohem lepší půdní vlastnosti pro zalesněné půdy, protože největší půdní frakce (&gt;2 mm a 2-1 mm) zůstávají trvale zastoupeny ve vzorku v rozmezí 34,18-69,14 % a proto lze předpokládat, že půda má dobrou infiltrační a retenční schopnost. Lepších výsledků bylo dosaženo na druhé lokalitě ve starších lesích.</p> |

## Zelené opatření: Zatravnňování orné půdy

Příklad aplikace:

Zatravnňování orné půdy v Minnesotě:

[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](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)

Zatravnňování orné půdy v ČR, CHKO Moravský kras:

<https://www.casopis.ochranaprirody.cz/pece-o-prirodu-a-krajinu/zatravneni-i-zony-v-chko-moravsky-kras/>



Obr. 2. Zatravnňování orné půdy (oseť jetelotravní směsí) na Harbešské plošině. Foto Stanislav Koukal, Ochrana přírody

### Krátké shrnutí

Přeměna orné půdy na travní porosty (pastviny) je vhodným protierozním opatřením v případech, kde ztráta půdy přesahuje  $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ . Podle Franze et al. (2018) je vegetace nejběžnějším přírodním prvkem používaným k regulaci eroze; chrání půdu a absorbuje vodu. Zabraňuje také větrné erozi. Travní porost také zvyšuje drsnost povrchu a zpomaluje rychlost povrchového odtoku (MZE 2017).

### Proveditelnost

Implementace je poměrně snadná; spočívá v osetí travního semene na místo předchozí plodiny, pěstované na orné půdě. V některých případech může změna využití půdy vyžadovat také přizpůsobení strojového vybavení a úpravu budov v rámci vybavení farmy (Posthumus et al. 2015).

### Efektivita nákladů

Vegetace může snížit rychlost eroze půdy o 90 % (Franz et al., 2018). Série laboratorních experimentů s dešťovým simulátorem odtoku ukázala, že vegetace může snížit střední rychlost odtoku o 31–65 % (Pan & Shangguan 2006). Vědci také zjistili, že vegetace může snížit průměrný odtok o 51,02% a sediment o 32,22 % (Bai et al., 2019). Jiný výzkum provedený Frielinghausem (2002) uvádí, že (za předpokladu, že je půda bez zeleného pokryvu má 100% ztrátu půdy) 20-30% rostlinného pokryvu snižuje ztrátu půdy na 25%, zatímco 30-50% zeleného pokryvu ji snižuje na 8 % a více než 70 % zeleného pokryvu (což je případ travních porostů) na méně než 2 %.

Náklady na zatravnňování orné půdy se obvykle vyjadřují především na základě vyčíslení ztráty

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | <p>zemědělské produkce. Kuhlman et al. (2010) vyčíslili průměrné náklady na zatravnění orné půdy (v Evropě) na 155 EUR na ha. V rámci několika studií byly počítány náklady na zatravnění orné půdy ve Velké Británii. Studie Nixe (2009), ukazuje, že roční ztráta hrubé marže způsobená změnou využívání půdy z orné půdy na louky činila 281, 607 a 369 liber na ha v případě přechodu z ozimé pšenice, brambor a cukrové řepy. Náklady na travní semena byly vyčísleny na 50 liber/ha (Cuttle et al. 2006). Celkové náklady na pokrytí 5 % orné půdy travními porosty vypočítal Posthumus et al. (2015) na 253 liber/ ha. Poměr přínosů a nákladů byl pro 5leté období stanoven v rozmezí 0,35 a 0,75 (Posthumus et al., 2015).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Údržba</b>           | <p>Dle českých agronomických norem zahrnují náklady na obhospodařování a sklizeň 1ha travního porostu jarní vláčení 15 Euro/ha, sečení 28 Euro/ha, hrabání 17 Euro/ha, sběr a lisování sena 53 Euro/ha, což dohromady činí 113 Euro/ha (<a href="http://mmrapp.kapos.cz/agronormativy/">http://mmrapp.kapos.cz/agronormativy/</a>, údaje k roku 2012). Ve Velké Británii (v roce 2009) byly roční náklady (za předpokladu jednoho sečení za rok) cca 25 liber na ha (Nix, 2009).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Klimatická změna</b> | <p>Travní porosty mají významný potenciál, aby hrály důležitou roli při zmírňování skleníkového efektu. Jsou významné z hlediska ukládání uhlíku a pokračují v jeho sekvestraci, která se může v budoucnu ještě zvýšit. Zemědělství se zaměřením na chov zvířat na pastvinách však také přispívá k emisím skleníkových plynů (zejména metanu a oxidu dusného) a obhospodařování pastvin ovlivňuje čisté uhlíkové bilance a sekvestraci uhlíku (Hopkins a Del Prado, 2007). Změna klimatu rovněž představuje riziko pro louky a pastviny; některé klimatické scénáře předpovídají snížení jejich rozlohy v Evropě (Gibson &amp; Newman, 2019). Adaptace travních porostů na změnu klimatu bude různá, s možným zvýšením nebo snížením produktivity a zvýšením nebo snížením zásob uhlíku v půdě (O'Mara, 2012). Předpokládané scénáře naznačují, že zvýšené teploty a koncentrace CO<sub>2</sub> mají potenciál zvýšit růst bylin a upřednostňovat leguminózy více než trávy, ale změny sezónních srážek by tyto přínosy snížily, zejména v oblastech s nízkými letními srážkami. Další důsledky pro pastviny mohou vyplynout ze zvýšené frekvence sucha, bouří a dalších extrémních událostí (Hopkins &amp; Del Prado, 2007).</p> |
| <b>Jiná nebezpečí</b>   | <p>Kromě snížení vodní a větrné eroze zvyšují travní porosty drsnost povrchu a zpomalují rychlost</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | <p>povrchového odtoku, a tím snižují riziko povodní. Travní porosty mohou plnit i roli sedimentačních a záchytných pásů umístěných přímo na půdních blocích nebo jejich částech (Novotný et al., 2017).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Příklad případové studie</b> | <p>Experimentální studie z Itálie srovnávala erozi na holé půdě a na travnatých porostech na experimentálním svahu Cape Fear. Pokusy proběhly za použití přírodního i umělého deště aplikovaného na různé výšky vegetace. Výsledky snížení eroze půdy jsou jednoznačné – u sledovaných travních porostů (o výšce vegetace 70 cm) byl pozorován konzistentní pokles erodovaného materiálu (až 300krát) ve srovnání s holou půdou. Podle výsledků experimentu představuje výška vegetace 70 cm předpoklad pro maximální účinnost snížení kinetické energie deště (Apollonio et al. 2021).</p> |

## Zelené opatření: Ochranné (vegetační) pásy, dva typy: se stromy a bez stromů

Příklad aplikace:

Protierozní úpravy v obci Dubenec, ČR

<https://www.adaptterraawards.cz/cs/Protierozni-upravy-v-obci-Dubenec>



Obr. 3. Protierozní úpravy v obci Dubenec

<https://www.adaptterraawards.cz/cs/Protierozni-upravy-v-obci-Dubenec>

### Krátké shrnutí

Pásy většinou víceleté vegetace (jejich šířka se pohybuje mezi 1 a 25 m, Van Dijk et al., 1996) jsou založeny podél vrstevnic a rozdělují plochu orné půdy. Používají se ke zvýšení infiltrace, zpomalení odtoku a zvýšení depozice sedimentu (Uusi-Kämpä, 2005), filtraci sedimentu a zachycení živin z odtoku (Van Dijk et al., 1996). Pásová vegetace může být bylinná (tráva, biopásy s bylinami) nebo může být osázena dřevinami a keři. Travnaté pásy, ať už osázené/oseté nebo porostlé autochtonní vegetací, jsou většinou situované do svahů s ornou půdou nebo jsou umístěné ve svahu pod zařízení živočišné výroby za účelem snížení exportu živin, sedimentů a dalších znečišťujících látek ze zemědělských oblastí. Pásy mohou být také součástí cyklu střídání plodin (Van Dijk et al., 1996) a mohou představovat pás plodin méně ohrožených erozí (cizrna, vojtěška /alfalfa) (VÚV TGM, 2018). Tráva chrání povrch před silou proudící vody a dešťových kapek, čímž výrazně snižuje strhávání částic. Hydraulické podmínky podporují ukládání půdních částic transportovaných s odtokem pocházejícím z výše položených částí pole (Van Dijk et al., 1996).

### Proveditelnost

Dá se poměrně rychle realizovat (během 1-3 let). Toto opatření znamená zvýšené náklady na pěstování a může podmínit pořízení vybraných typů zemědělských strojů. V rámci tohoto typu opatření dochází ke stálému zvýšení ekonomických nákladů pro zemědělce (VÚV TGM, 2018). U zatravněných a bylinných pásů je protierozního efektu dosaženo rychle, u dřevin může být delší.

### Efektivita nákladů

Investiční náklady na ochranné travnaté pásy ve Velké



|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | <p>Británii odhadli Posthumus et al., (2015) na 32 liber/ha pro pásy široké 6 m. Kuhlman et al., (2010) odhadli průměrné náklady na ochranné vegetační pásy v Evropě na 125 Euro/ha/rok.</p> <p>Vegetační pásy mohou být velmi účinné při snižování eroze (Van Dijck et al., 1996) a při odtokové filtraci (Bissonnais et al., 2004). Efekt travnatých pásů při filtraci sedimentu ze splachu je ovlivněn několika faktory: šířkou travnatého pásu; koncentrací sedimentu v odtoku vstupujícím do pásu; rychlost proudění odtoku (také v závislosti na úhlu sklonu); hustota a výška trávy a stupeň ponoření trávy (Van Dijk et al., 1996).</p> <p>Účinnost při snižování ztráty půdy byla ve většině studií relativně vysoká, ztráta půdy z pole byla snížena o 76 % až 98 % pod travnatým pásem o šířce 6 m a o 81 % pod travnatým pásem o šířce 3 m (Bissonnais et al., 2004). Podobný účinek prokázali Maetens et al. (2012), kteří (na základě pokusů na plochách) zjistili protierozní účinnost vegetačních ochranných pásů 80 % (konkrétně byl poměr ztráty půdy z pole s tímto opatřením a z pole bez tohoto opatření vypočten jako 0,2). Van Dijk et al. (1996) naměřili snížení transportu sedimentu mezi 60-90% pro pásy široké 4-5 m a 90-99% pro pásy široké 10m.</p> <p>Collins et al. (2009) uvádějí snížení ztráty půdy díky remízkům a ochranným dřevinným pásům pouze mezi 5–20 %, u zatravněných pásů v polích potom mezi 5–50 %.</p> <p>Posthumus et al. (2015) odhadli, že dřevinné ochranné pásy a remízky sníží ztráty půdy pouze o 10 % a ochranné travnaté pásy přímo v poli o 25 %.</p> <p>Poměr nákladů a přínosů v 5letém období byl odhadnut mezi 0,84 až 3,75 (polní zatravněné pásy) a 0,02 až 0,25 (dřevinné ochranné pásy) (Posthumus et al., 2015). Ten je tak nízký kvůli delší době zakládání stromů, což v prvních letech snižuje účinnost opatření. Tato opatření lze doporučit pro sklony, které nejsou extrémní (méně než 25 %).</p> |
| <b>Údržba</b>           | <p>Údržba zahrnuje pravidelné sekání v prvních 12–24 měsících pro potlačení plevelu. V případě zatravněných pásů také pravidelné roční sečení. Ve Velké Británii byly náklady na údržbu vyčísleny na cca 1,50 liber/ha/rok (Posthumus et al., 2015), v závislosti na hustotě a šířce pruhů a na podílu travních porostů (sečení trávy stálo ve Velké Británii 25 liber/ha/rok počítáme-li jednu seč/rok, Nix, 2009).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Klimatická změna</b> | <p>Travní porosty mají potenciál hrát významnou roli při snižování emisí skleníkových plynů. Mohou zvyšovat množství půdního uhlíku (Hopkins &amp; Del Prado 2007), efekt úzkých a řídké umístěných pásů je však samozřejmě mnohem menší než zatravnění celého pozemku. Na druhé straně mohou být travní porosty ohroženy změnou klimatu (Gibson &amp; Newman 2019). Adaptace travních porostů na</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |



|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | změnu klimatu bude proměnlivá, s možným zvýšením nebo snížením produktivity a zvýšením nebo snížením zásob uhlíku v půdě (O'Mara 2012).                                                                                                                                                                           |
| <b>Jiná nebezpečí</b>           | Kromě snížení vodní a větrné eroze (u dřevinných pásů) zvyšují drsnost povrchu a zpomalují povrchový odtok a snižují tak rizika povodní. Travní porosty mohou plnit i roli sedimentačních a záchytných pásů umístěných přímo na půdních blocích nebo jejich částech (Novotný et al., 2017, Maetens et al., 2012). |
| <b>Příklad případové studie</b> | Zatravněné pásy byly realizovány na zemědělské půdě v Hustopečích v České republice. Po implementaci došlo k podstatnému snížení hodnoty LS (délka a sklon svahu) erozní rovnice RUSLE (Karásek et al., 2022).                                                                                                    |

## Zelené opatření: Vrstevnicové hospodaření

### Příklady aplikace:

Vrstevnicové hospodaření ve Velké Británii, Plamouth:

<https://www.plymouthswcd.com/contour-farming>

Vrstevnicové hospodaření v USA, stát Iowa:

<https://livinghistoryfarm.org/farming-in-the-1930s/crops/contour-plowing/>

Vrstevnicové hospodaření v USA, stát Wisconsin:

<https://wicci.wisc.edu/2021-assessment-report/land/wisconsin-agriculture-stressed-by-climate-change/>



Obr. 4. Vrstevnicové hospodaření v USA.

Zdroj: <https://www.plymouthswcd.com/contour-farming>

### Krátké shrnutí

Vrstevnicové hospodaření je obdělávání půdy rovnoběžně s vrstevnicemi (Quinton & Catt, 2004). Tím se snižuje odtok díky zvýšení drsnosti povrchu kolmo ke svahu. Zvýšená drsnost povrchu snižuje rychlost tekoucí vody, poskytuje více času pro infiltraci a snižuje míru eroze (Stevens et al., 2009). Orbou po vrstevnicích nebo s malou odchylkou od vrstevnic rotačními pluhy, které obražejí půdu proti svahu, lze významně přispět k ochraně půdy před erozí (Novotný et al., 2017). Dochází rovněž ke snížení ztrát hnojiva a zvýšení výnosů plodin. Liu et al. (2013) poukázali na to, že hlavní účinek se dosahuje na plochách se sklonem v rozsahu mezi 3 % a 8 %. Na lokalitách s více strmými svahy už je vysoké riziko převrácení traktoru (Abubakar et al., 2010). Vrstevnicové obdělávání půdy zároveň podporuje vyšší výnos, snížením ztráty úrodné půdy a udržením větší vlhkosti. Z tohoto důvodu bylo vrstevnicové hospodaření v zemědělství považováno za součást strukturálních postupů užitečných pro snížení plošné a rýhové eroze (Santhi et al., 2014). V Itálii je vrstevnicové obdělávání půdy jedním ze standardních postupů hospodaření v kopcovitých oblastech, které se používá od začátku roku 1900 v apeninských a subapeninských oblastech (Bazzoffi et al., 2011).

### Proveditelnost

Změna směru obdělávání vzhledem k vrstevnicím nebyla explicitně kalkulována. V

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | <p>reálu se zvýší provozní náklady spojené se zakládáním plodin a potenciálně s aplikací hnojiv a postřiků agrochemikálií díky prodloužení času stráveného na poli. Mnoho zemědělců se zdráhá zavést vrstevnicové hospodaření kvůli těmto potížím (Stevens et al., 2009). Mohou také nastat problémy se stabilitou strojů pracujících na svahu (Quinton &amp; Catt, 2004). Někde vrstevnicové hospodaření nevyžaduje velké dodatečné náklady, zatímco v jiných podmínkách může vyžadovat speciální stroje. V extrémních svazích nad 15-21 % však může být vhodnější zatravnění pole. V některých případech může také tvar pole znesnadňovat vrstevnicové hospodaření, např. pokud má tvar podlouhlého obdélníku s krátkou stranou podél vrstevnice. Ve většině případů vrstevnicové hospodaření vyžaduje pouze častější otáčení na souvratích (Macho, 2018).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Efektivita nákladů</b> | <p>Nejsou nutné žádné investiční náklady, pokud není potřeba speciální mechanizační vybavení (v oblastech s velmi strmými svahy). Jedná se tedy o velmi levné opatření; ovšem může do jisté míry zvýšit náklady, jak poukazuje Posthumus et al. (2015), jenž vychází se z předpokladu, že náklady na před sklizňové polní operace vzrostou o 10 % a náklady na sklizeň mohou vzrůst o 25 %.</p> <p>Snížení eroze odhadli Stevens et al. (2009) jako rozmezí mezi 9–98 % s průměrem 72 %. Dorren &amp; Rey (2004) odhadli snížení eroze až na 50 %. Ricci et al. (2020) publikoval snížení eroze o 22 %; od 5,95 do 4,61 t ha<sup>-1</sup>. Maetens et al. (2012) porovnali literární zdroje o ztrátě půdy na několika zemědělských půdách v různých zemích (Alžírsko, Chorvatsko, Finsko, Německo, Maďarsko, Maroko, Portugalsko, Španělsko, Turecko a Spojené království) a vypočítali průměrný roční poměr ztráty půdy (ztráty půdy s orbou po vrstevnici/ ztráta půdy konvenční praxí) jakožto hodnotu 0,5.</p> <p>Potenciální nárůst výnosu obilovin může být 16 % ve srovnání se standardní orbou (Quinton &amp; Catt, 2004).</p> <p>Poměr přínosů a nákladů vypočítal Posthumus et al. (2015) jako 2,67. Někteří farmáři považují tuto praxi za časově náročnou kvůli vytváření dalších řádků v rozích a na konci pole (Ricci et al. 2020).</p> |
| <b>Údržba</b>             | <p>Jelikož toto opatření spočívá pouze ve změně</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | způsobu hospodaření, nejsou s tím spojeny žádné náklady na údržbu. Lze tedy očekávat pouze zvýšené náklady na provádění polních operací a sklizně, které byly ve Velké Británii odhadnuty na 32 liber ha <sup>-1</sup> rok <sup>-1</sup> (Posthumus et al., 2015).                                                                                             |
| <b>Klimatická změna</b>         | Jelikož toto opatření snižuje odtok a koncentrovaný odtok (Stevens et al. 2009), může zmírnit některé jevy spojené se změnou klimatu, zejména vodní erozi způsobenou extrémními srážkami. Zvýšená infiltrace zvyšuje zásobu vody v půdě a může zlepšit chladicí účinek vegetace a zmírnit vysoké letní teploty.                                                |
| <b>Jiná nebezpečí</b>           | Tímto opatřením lze zpomalit povrchový odtok a snížit jeho objem. Zároveň zabraňuje koncentrovanému odtoku. Z toho důvodu, může snížit riziko povodní. Agrotechnická opatření mají také mírně pozitivní vliv na hydromorfologii vodních toků: zabraňují vnášení jemných půdních částic a anorganických sedimentů do vodních toků (Ricci et al., 2020).         |
| <b>Příklad případové studie</b> | Vrstevnicové obdělávání bylo aplikováno jakožto jedno z protierozních opatření v zájmovém území v Carapelle, v povodí (506 km <sup>2</sup> ) umístěném v regionech Puglia a Campania v jižní Itálii. Toto opatření snížilo nánosy sedimentů v toku o 22% a ukázalo se být ekonomicky efektivním a udržitelným na plochách se svahem <20% (Ricci et al., 2020). |

## Zelené opatření: Břehová ochranná zóna (nebo též nárazníkové zóny)

Některé příklady aplikace:

Revitalizace toku Malý Potůček v Čehovicích: <https://www.zahrada-olomouc.cz/krajinne-a-ekologicke-realizace/>

Revitalizace Sedlického rybníka: <http://hydropro.cz/portfolios/revitalizace-sedlickeho-rybnika/>

Další příklady zde: <https://www.nativeplantsolutions.ca/what-we-do/riparian-zone-restoration/>



Obr. 5. Obnova pobřežní zóny na toku Malý Potůček v Čehovicích, Česko (<https://www.zahrada-olomouc.cz/krajinne-a-ekologicke-realizace/>)

### Krátké shrnutí

Břehová ochranná zóna představuje důležitý ekosystém poskytující řadu funkcí a služeb důležitých pro člověka – například podporu biodiverzity, snížení eroze, nebo transport znečišťujících látek z okolní krajiny do vodních toků. Zároveň je to prostředí, kterému bylo často vystaveno výrazným tlakům při zemědělské kultivaci krajiny či rozvoji průmyslových a rezidenčních aktivit lidské společnosti (Jakubínský et al., 2023). Vegetační bariéra nebo filtrační pás je pozemek určený k oddělení půdy využívané k zemědělství od cenných vodních nebo suchozemských biotopů. Břehová vegetace má schopnost poskytovat velké množství ekosystémových služeb vzhledem k jejich rozsahu v krajině (např. Sweeney & Newbold, 2014) kvůli svým ekotonovým charakteristikám a ekologickým funkcím příbřežní vegetace (Capon et al., 2013).

### Proveditelnost

Realizace tohoto opatření je poměrně náročná, neboť se jedná o liniové opatření podél vodních toků, kde je velké množství vlastníků pozemků, kteří musí souhlasit s případnými zásahy. Pokud je opatření realizováno pouze v rámci koryta, není dostatečně efektivní, jak dokládá řada studií. Například podle Yuana et al. (2009), travní nárazníkové zóny o šířce 3 m mohou odstranit

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | <p>značné množství sedimentů ze zemědělského odtoku s maximálním přínosem dosaženým při šířce 6 m nebo více. Americká služba ochrany přírodních zdrojů (NRCS) doporučila pro ochranu kvality vody minimální šířku travnaté náraznové zóny 8–10 m (USDA-NRCS, 1997), která je dostatečná pro zachycování sedimentů i pro poskytování dalších funkcí a služeb. Existuje také řada sociálních a ekonomických faktorů, které mohou omezit přijetí pobřežních nárazníkových zón společností, včetně nedostatku pobídkových programů, špatně definovaných cílů nebo nedostatečné údržby.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Efektivita nákladů</b> | <p>Gene et al. (2019) uvádí studie, které zkoumaly vztah nákladů a přínosů spojený se zakládáním „nárazníkových zón“ (např. studie autorů Santhi et al., 2003; Yuan et al., 2009). Vytvoření nárazníkových zón často zahrnuje vyjmutí oblasti z produkční plochy, což se pro zemědělce promítá do ušlých příjmů. Nárazníkové zóny s vegetací však mohou být pro zemědělce také přínosné prostřednictvím pobídkových programů a/nebo snížením nákladů spojených se sníženou erozí a ztrátami živin. Většina studií dospěla k závěru, že vegetativní nárazníky představují čistý přínos, i když velikost přínosu se liší (poměry přínos vs. náklady se pohybovaly od 1,2 do 4,1) (Santhi et al., 2003).</p> <p>Celkové náklady na břehové ochranné pásy zahrnují náklady na plánování, náklady na výsadbu (stromy, keře, místní vegetaci), náklady na půdu a/nebo ztrátu příjmů z nahrazení zemědělských/pastviných ploch a náklady na údržbové práce. Tyto náklady do značné míry závisí na umístění a velikosti nárazníkové zóny, přesto se ukazuje, že jsou značně vyvážené s dlouhodobými přínosy.</p> <p>Podle Evropské komise (2006) byly náklady na údržbu 75 až 150 EUR/ha pro 3m nárazníkový pás</p> |
| <b>Údržba</b>             | <p>Očekávaná životnost je více než 25 let, pokud jsou opatření dobře zavedena v prvních letech provádění, přičemž většina údržby je v prvních 5–10 letech.</p> <p>K vybudování plně vyzrálého pobřežního nárazníkové zóny, která bude zahrnovat stromy a výhody stínění, a také vytvoření koridoru biologické rozmanitosti, by mohlo být zapotřebí 10–15 let. Do 1 roku by však mohly být vysazeny keře a místní vegetace, které již začínají projevovat své první pozitivní účinky ve smyslu snížení eroze a filtrace škodlivin. Monitorování a údržba oblasti by měla být pečlivě řízena zejména během prvních 5 let, snižovat úsilí managementu mezi 5-10 lety po zřízení nárazníkové zóny, jakmile se stane vyzrálou a méně zranitelnou vůči místním</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | environmentálním tlakům (Climate-ADAPT, 2023).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Klimatická změna</b>         | <p>Pobřežní ekosystémy jsou přirozeně odolné, poskytují lineární konektivitu stanovišť, propojují vodní a suchozemské ekosystémy a vytvářejí termální útočiště pro volně žijící živočichy: všechny vlastnosti, které mohou přispět k ekologické adaptaci na změnu klimatu. Vzhledem k tomu, že pobřežní systémy a předpokládané dopady změny klimatu jsou geograficky velmi variabilní, existuje naléhavá potřeba podpořit lokální porozumění hrozbám změny klimatu pro pobřežní ekosystémy. Odborníci na obnovu by měli zvážit, jak mohou upravit postupy, aby zvýšili odolnost břehových ekosystémů vůči změně klimatu. Takové úpravy mohou zahrnovat urychlení obnovy soukromých pozemků, účast na vodohospodářských rozhodnutích a uvedení vznikajícího oboru „geneze revitalizací“ do praxe.</p> <p>Vzhledem k tomu, že se předpokládá, že změna klimatu ovlivní dostupnost vodních zdrojů pro využití ve městech i v zemědělství (Tanaka et al., 2016, Alcamo et al., 2007, Milly et al., 2008), sociální a politické tlaky na úpravu pobřežních systémů pro zadržení vody, dopravu a využití vodních zdrojů se mohou zvýšit. Dopady způsobené změnou klimatu na přehrazených řekách bude podle projekcí větší než na nepřehrazených řekách (Palmer et al., 2008). Pokud se společnost rozhodne reagovat na změnu klimatu vybudováním vyšších hrází, hlubších studní a větších přehrad, budou břehové ekosystémy vystaveny většímu riziku. Odborníci na obnovu a ekologové musí spolupracovat s těmi, kdo rozhodují o hospodaření s vodou.</p> |
| <b>Jiná nebezpečí</b>           | <p>Břehové ochranné zóny jsou adaptační možností, která umožňuje:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1/ zabraňovat záplavám: břehové nárazníky poskytují prostor pro přirozenou dynamiku řeky, jako je stoupající a klesající hladina vody, a umožňují zpomalení toku a vytváření meandrovitých toků. Tím se snižuje potenciál koryt řek a tím i potenciál záplav po proudu.</li> <li>2/ zmírnění sucha: zlepšením doplňování podzemní vody zvýšením propustnosti půdy a prodloužením doby kontaktu vody s půdou nebo stínícími efekty, které poskytují stromy a keře, které zlepšují mikroklimatické podmínky.</li> <li>3/ zajištění chlazení: stínící efekt břehových nárazníků pomáhá vytvářet mikroklima, které slouží k ochlazení zastíněných vodních ploch, zvyšování vlhkosti vzduchu a stabilizaci teplot.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Příklad případové studie</b> | K tomuto typu opatření lze nalézt mnoho případových studií – výběr některých případových studií je k dispozici zde:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |



|  |                                                                                                               |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <a href="http://nwrn.eu/measure/buffer-strips-and-hedges">http://nwrn.eu/measure/buffer-strips-and-hedges</a> |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## Půdní eroze - hybridní opatření

| Hybridní opatření: Geotextilie (jutové sítě, kokosové geotextilie atd.)     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Příklady aplikace:<br>Česká republika (<br>Geomat , 2023b,<br>Geomat 2023c) |  <p>Obr. 6. Použití kokosových geotextilií v rámci protierozní ochrany svahu v obci Olomučany (Česká republika) a použití jutových sítí jako protierozní ochrany svahů při rekonstrukci silnice v Žacléři (Česká republika)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Krátké shrnutí                                                              | <p>„Geotextilie jsou sítě nebo rohože, které chrání půdu a snižují erozní a transportní kapacitu dešťových srážek a povrchového odtoku (...) Geotextilie jsou obvykle vyrobeny z propustných materiálů, které mohou být buď přírodní (biologicky rozložitelné), nebo syntetické“ (Alvarez-Mozos 2014: 168). Biologicky rozložitelné geotextilie se používají rovněž jako dočasná protierozní opatření v místech zakládání vegetačního pokryvu, který ještě nedosáhl zralosti a zatím neplní svou funkci (Kalibová et al., 2016), jelikož vegetační pokryv, jako je např. travní drn, je nejlepší opatření proti erozi na svažitých plochách (Krenitsky et al., 1998; Kalibová et al. 2016)</p> <p>Podle měření Álvarez-Mozose et al. (2014) nebo Kalibové et al. (2016), geotextilie (jutové sítě a textílie z kokosových vláken) významně přispívají k nižší ztrátě půdy (koncentrace sedimentů, naměřené v místech s těmito úpravami, byly nižší než u kontrolních ploch).</p> <p>Álvarez-Mozos et al. (2014) nebo Paz et al. (2018) zjistili, že na místech s vysokými strmými svahy (<math>&gt;45^\circ</math>) mohou geotextilie vést k vyššímu odtoku (2–3krát větším než na kontrolních plochách), kdežto na méně strmých svazích (<math>&lt;27^\circ</math>) mohou geotextilie odtok naopak snížit (Kalibová et al., 2016).</p> <p>I když některé studie (např. Chen et al. 2011) zdůrazňují riziko eroze na strmých svazích, kde byly geotextilie použity (odtok se může dostat pod rohože a splachovat půdu) v experimentu Álvarez-Mozose et al. (2014) to nebylo potvrzeno.</p> |
| Proveditelnost                                                              | <p>Geosyntetika obecně (geotextilie, georohože, geobuňky atd.) se aplikují za účelem omezení eroze na povrchy svahů, aby podpořily růst nové vegetace a zajistily ukotvení kořenů. Wu aet al. (2020) udává, že „vzhledem k vlastnostem, jako je vysoká pevnost, nízká cena a snadné použití, jsou geotextilie široce používány v geotechnickém inženýrství, zejména za účelem zpevnění a ochrany svahů a podpory drenážního</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | <p>systému“.</p> <p>Životnost jutových sítí je cca 12-24 měsíců. Používají se především na (mírnějších a kratších) svazích určených k zatravnění, kde je tráva schopna zarůst a ochránit povrch svahu v relativně krátkém čase. Kokosové geotextilie se používají i na strmější a delší svahy. Jejich životnost je 7-9 let. Používají se především na svazích, určených k osázení keři, kde je doba zapojení vegetace delší, nebo na svazích ohrožených proudící vodou. Geomat je 3D protierozní/vegetační rohož, která poskytuje trvalou protierozní ochranu svahů a stabilitu půdy. Otevřená struktura umožňuje dobrou propustnost vody a vzduchu a zároveň trvale stabilizuje půdu (Greenmax, 2023).</p> <p>Ve srovnání s jinými protierozními opatřeními se jedná o poměrně jednoduché a levné řešení.</p>                             |
| Efektivita nákladů       | <p>Posthumus aet al. (2015) vyčíslil investiční náklady na geotextilii na 256 liber/ha (= 298 EUR). Obecně je „cena syntetických geotextilií výrazně vyšší než cena biologických materiálů“ (Álvarez-Mozos et al., 2014: 169)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Flexibilita              | <p>Vzhledem k tomu, že eroze půdy úzce souvisí se sesuvem půdy, geosyntetika se také používá pro zmírnění sesuvu půd, aby zajistila pevnost v tahu a přidanou tuhost půdy (Damians et al., 2023)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Údržba                   | <p>Náklady na údržbu jsou 1,25 liber/ha (= 1,45 EUR), které jsou vynaloženy na sečení (jednou ročně). Některé geotextilie (vyrobené z biologických materiálů) po několika letech degradují a je třeba je pravidelně vyměňovat (Posthumus et al., 2015).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Klimatická změna         | <p>Geotextilie používané jako opatření proti erozi půdy mají pouze omezený dopad na zmírnění změny klimatu. Pouze pokud jsou geotextilie pokryty rostlinami, lze hovořit o (poměrně malé) sekvestraci uhlíku. Geotextilie jsou ve srovnání s geobuňkami méně hustě pokryty vegetací kvůli malým otvorům v materiálu - pro kořeny je obtížné geotextilií proniknout (Paz et al., 2018).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Příklad případové studie | <p>Revitalizace a zpevnění povrchu strmého svahu pomocí protierozní kokosové sítě (kokosové geotextilie) kotvené ocelovými skobami a výsadba stromů a keřů v obci Olomučany v ČR (Geomat, 2023b).</p> <p>V obci Olomučany potřebovali revitalizovat a zpevnit povrch svahu. Po dohodě byla jako řešení navržena výsadba keřů a stromů vhodných pro tuto lokalitu. Protierozní geotextilie z kokosových vláken 700 g a netkaná geotextilie 200 g byla použita jako ochrana proti erozi do doby, než vegetace dosáhne zralosti.</p> <p>Jutové sítě jako protierozní ochrana svahů při rekonstrukci silnice v Žacléři, Česká republika (Geomat, 2023c).</p> <p>Na svazích rekonstruovaného zemního náspu přibyla jutová protierozní síť, která se časem rozloží. Než se tak ale stane, poskytne ochranu svahu a oporu pro rostoucí travu.</p> |

## Hybridní opatření: Geomříže/geobuňky, georohože

Příklady aplikace:  
Česká republika (  
Geomat 2023c)



Obr. 7. Ochrana svahů usazovací pánve cukrovaru v Dobrovici (Česká republika) geobuňkami

Krátké shrnutí

Georohože a geobuňky se používají k udržení ornice na místě, čímž zabraňují jejímu sesuvu (Damians et al., 2023). Podle Álvareze-Mozose et al. (2014:170) „Geomříže mají 3D příčné struktury, které poskytují zvýšenou schopnost zadržování půdy (...) Mají vyšší pevnost v tahu než biologické produkty“ (geotextilie - jutové sítě a textilie z kokosových vláken). Nejvhodnějším materiálem pro geomříže/geobuňky je polyethylen o vysoké hustotě (HDPE), a to zejména z hlediska pevnosti, odolnosti, snadné manipulace a nákladů. Geobuňky se používají pro stabilizaci, zpevnění a jako protierozní prvek, tedy pro zadržení půdních částic, kořenů nebo drobných rostlin při výkopových a stavebních pracích a zejména na namáhaných březích nádrží a toků. Zatímco ozeleňování poskytuje nákladově efektivní řešení pro mírné svahy, geobuňky poskytují ekonomické řešení pro obtížné, silně erozně ohrožené podmínky. Výplňový materiál je chráněn samotnou buňkou, a proto je chráněn proti sesunutí. Pokud je systém geobuněk umístěn na dně nebo po stranách koryt řek a silničních násypů, ochrání svah před poškozením vodní erozí (Geomat, 2023a). Podle Paz (2016:3) „poskytují geobuňky přídatnou ochranu (omezení pohybu půdy) díky své 3D struktuře, která zamezuje bočnímu pohybu půdních částic.“ Geomat je definován jako trojrozměrná propustná struktura vyrobená z polymerních vláken a/nebo jiných prvků mechanicky, tepelně, chemicky nebo jinak spojených dohromady. Tyto výrobky jsou určeny pro protierozní ochranu svahů. Chrání svahy a břehy namáhané větrem, deštěm, tekoucí vodou nebo vlnami. Geomaty jsou většinou vyrobeny z HDPE, ale mohou být vyrobeny i z přírodních materiálů (Geomat, 2023a).

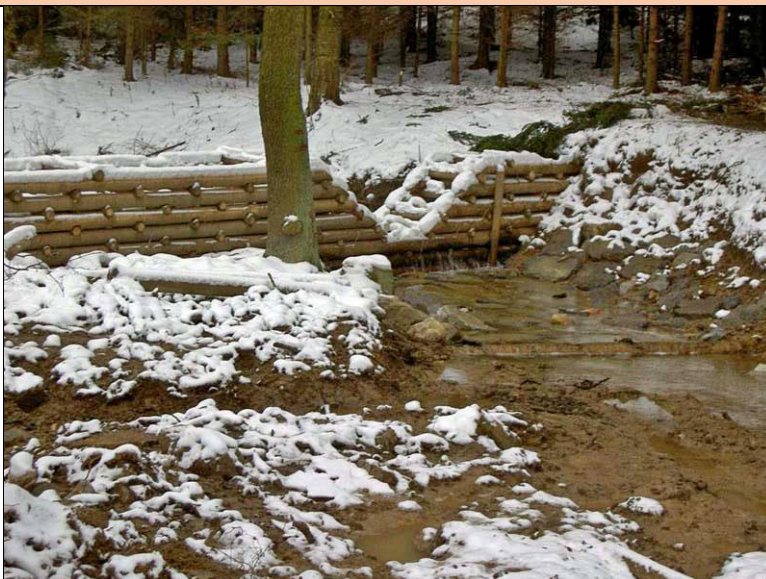
Geomříže/geobuňky jsou účinnější při ochraně před ztrátou půdy na strmých svazích než produkty z kokosových vláken nebo juty. Nicméně, „rozhodující je umístění geomříže: pokud je zcela zasypana, jsou pozorované mnohem větší ztráty půdy než při jejím umístění na povrchu“ (Álvarez-Mozos et al., 2014: 177). Geomříže jsou obvykle pokryty dobře vyvinutým vegetačním zápojem, který dále zlepšuje jejich protierozní funkci.

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Proveditelnost           | <p>Instalace georohoží a geobuněk jako protierozní opatření je méně komplikované a levnější, než řada jiných opatření (hráze, gabionové stěny, retenční poldry atd.).</p> <p>Před instalací georohože je nutné plochu svahu důkladně očistit od všech balvanů, pařezů a jiných zbytků větší vegetace. Svah musí být vyrovnán, zejména různé deprese a prohlubně. Pás georohože je pak nutné ve svahu vyrovnat, opatrně naplocho přitlačit k povrchu svahu a ukotvit dostatečným počtem upevňovacích kolíků. Po pokládce je nutné po celé ploše georohože rozhrnout kvalitní zeminu, nejlépe vyhnojenou ornici. Půda se pak oseje semeny trav a pravidelně se zalévá, alespoň první 2 týdny (Geomall , 2023).</p> <p>Protierozní funkce plastových georohoží a geobuněk prakticky není omezena.</p> |
| Flexibilita              | <p>Geomříže/geobuňky/georohože se také často používají pro zmírnění sesuvů. Damians et al. (2023: 198) uvádí, jejich „široké využití pro výstavbu vyztužených půdních konstrukcí a v mnoha projektech stabilizace sesuvů pro svahy vysoké až 60 m“.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Údržba                   | <p>Georohože a geomříže nevyžadují žádnou údržbu, pokud jsou dostatečně naplněny zeminou. Vše, co je potřeba, je péče o vegetaci (sekání trávy).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Klimatická změna         | <p>Geobuňky a georohože mají pouze omezený vliv na zmírňování změny klimatu. Pouze pokud jsou pokryty rostlinami, může to pomoci k sekvestraci uhlíku. Funkce zmírňování změny klimatu tohoto druhu opatření je však velmi nízká (ve srovnání se zalesňováním nebo jinými podobnými opatřeními).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Příklad případové studie | <p>Ochrana svahů v okolí cukrovaru v Dobrovici (Česká republika) geobuňkami (Geomat, 2023d).</p> <p>Provozovatel cukrovaru požadoval účinnou protierozní ochranu svahů nově budované usazovací nádrže, která bude periodicky zaplavována odpadními kaly z výroby cukru.</p> <p>Při návrhu vhodného řešení zpevnění povrchu svahu projektant navrhl geobuňky zasypané kamenivem frakce 32/63 mm. Vzhledem k periodickému zaplavování svahu byly zvoleny geobuňky s perforovanými stěnami. Geobuňky byly také nejlevnějším řešením splňujícím požadavky projektanta.</p>                                                                                                                                                                                                                             |



## Hybridní opatření: Dřevěné hráze

Některé příklady aplikace:



Obr. 8 Lesní hráz na potoce Smrček, ČR (zdroj: <https://orvysocina.lesycr.cz/realizovane-vodni-stavby/hrazení-bystrin-smrcek/>)

### Krátké shrnutí

Dřevěné hráze jsou vyrobeny z přírodních dřevěných materiálů, položených v potocích (Eden Rivers Trust, 2023). Jsou konstruovány v proudu, aby zpomalily tok řeky vytvořením propustného prostoru, který propouští vodu, ale snižuje množství vody v toku během vysokých průtoků. Tyto struktury mohou také podporovat přelítí z břehů, které zpožďuje špičkové průtoky po proudu. Zatímco udržování břehů a odstraňování překážek z řek je někdy zásadní pro snížení rizika povodní, jindy na vybraných úsecích kanálu v určitých oblastech může ponechání překážek, jako jsou padlé stromy nebo přidání dřevěných hrází přinést řadu výhod (UK Environment Agency, 2021). Se zvláštním prostorovým uspořádáním kusů dřeva jsou tyto hráze strukturálně odlišné od přirozené akumulace dřeva v proudu (Lo et al., 2022).

### Proveditelnost

Velmi málo se vyskytují přirozená opatření pro zvládání povodní, jako jsou tzv. „Runoff Attenuation Features“ (RAFTs), které zahrnují netěsné bariéry, které mají dopad na větší ( $> 10 \text{ km}^2$ ) měřítko povodí a pro extrémní události ( $> 100$ leté povodně) (Grace, 2020). Instalace dřevěných hrází závisí na vlastnostech vodního toku a na jeho okolním povodí (Avery, 2012). Například sklon vodního toku, půdní typ povodí, nadmořská výška a využití území jsou příklady parametrů, které je nutné před realizací posoudit. Pokud je sklon vodního toku příliš strmý, nemusí být vhodné budovat dřevěné bariéry v korytě, protože může dojít ke vzniku vývařiště a zvýšení vnitrokorytové eroze (Thomas & Nisbet, 2012).

### Efektivita nákladů

Podle Eden Rivers Trust (2023) jsou náklady na instalaci a údržbu nízké. Netěsné (dřevěné) přehrady je třeba občas vyčistit od úlomků a sedimentů, aby voda mohla stále

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | <p>protékat mezerami. To snižuje pravděpodobnost, že voda přeteče přes horní část bariéry.</p> <p>Wilkinson et al. (2019) uvádí, že dřevní hráze patří mezi prostorově poměrně malá opatření (500–2 000 m<sup>3</sup>), která zadržují vodu pouze krátkodobě (12–24 hodin). Všechny tyto funkce jsou relativně levné a každý stojí mezi 1 000 a 10 000 £ (Quinn et al., 2022).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Údržba</b>                   | <p>Odhaduje se, že dřevěné hráze z tvrdého dřeva vyžadují reinstalaci každých 25 let (Fennell et al., 2023), jinak lze předpokládat, že většina dřevěných přehrad má pouze velmi nízké nároky na údržbu, kterou lze provést i s využitím místních zásob dřeva.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Klimatická změna</b>         | <p>Dřevěné přehrady mohou pomoci zmírnit některé dopady klimatických změn, které se projevují častějším výskytem hydrologických extrémů (zejména bleskových povodní), protože jsou obvykle umístěny na svazích kopců nebo v horních tocích, aby zvýšily hydraulickou drsnost a dočasně akumulovaly malé objemy vody. Během bouřkových událostí ke zpomalení jeho dodávky do řeky (Grabowski et al., 2019).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Jiná nebezpečí</b>           | <p>Dřevěné přehrady, které jsou často záměrně stavěny tak, aby byly propustné, umožňují nízkým průtokům procházet pod nebo skrz, ale zadržují vysoké průtoky a poskytují dočasné úložiště vody analogické s bobřími přehradami. Větší množství takových prvků rozmístěných v povodí může zadržet dostatek povodňové vody (v kanálu nebo na záplavovém území) ke zmírnění povodňového rizika po proudu (Hankin et al., 2020). Dřevěné přehrady mají také širokou škálu environmentálních výhod, jako je diverzifikace stanovišť, čímž se zvyšuje biologická rozmanitost, regulace klimatu prostřednictvím zvýšeného ukládání uhlíku a zlepšení kvality vzduchu a vody (Fennell et al., 2023). Pokud jsou na vhodných místech, zvýšená infiltrace k doplnění podzemní vody může zlepšit odolnost povodí vůči suchu (Norbury et al., 2021).</p>   |
| <b>Příklad případové studie</b> | <p>St. Helens Sankey Valley NFM, Velká Británie – Cílem projektu Natural Flood Management v Sankey Valley bylo použití hybridních dřevěných přehrad k utlumení toku povodňové vody po proudu Blackbrook a zlepšení biotopu. Projekt byl řízen ve spolupráci Natural Environment Research Council, St. Helen's Council, Environment Agency a University of Liverpool. Ve Stanley Brook byly postavené čtyři hybridní dřevěné přehrady pro zadržení přívalových povodní, než dorazí k toku Blackbrook. Agentura pro životní prostředí provedla výstavbu čtyř dřevěných hrází, což znamenalo celkové náklady 2 000 £ ( <a href="https://thefloodhub.co.uk/wp-content/uploads/2018/09/Leaky-Woody-Dams-Natural-Flood-Management.pdf">https://thefloodhub.co.uk/wp-content/uploads/2018/09/Leaky-Woody-Dams-Natural-Flood-Management.pdf</a> ).</p> |



## Hybridní opatření: Poldry

Některé příklady aplikace:



Obr. 9 Poldr Žichlínek, ČR (Zdroj: SINDLAR Group, 2008)

### Krátké shrnutí

Poldr je tvořen prostorem s malým převýšením nad úrovní hrany koryta vodního toku, ohraničeným násy (hrázemi), které omezují rozlivy povodňových vod do okolí a zároveň regulují přítok vody z koryta toku (prostřednictvím manuálně či automaticky ovládaných zařízení). Renaturalizace takto vymezeného prostoru dodává poldrům dílčí přírodní charakteristiky, které umožňují lepší akumulaci vody ve vodních tocích uvnitř poldru a také zvýšení biodiverzity (NWRM, 2015).

### Proveditelnost

Doba realizace adaptačních opatření pro poldry se výrazně liší v závislosti na typologii konstrukce, zvoleném zpevňovacím opatření a na tom, zda je nutné provést EIA. Doba realizace se pohybuje v hrubém rozmezí 5-25 let. Vzhledem k tomu, že vybudování poldru vyžaduje přístup k různým pozemkům, akvizice pozemků je jednoznačně náročným úkolem pro odpovědné vodohospodářské úřady (Albrecht & Hartmann, 2021). Na druhé straně zakládání poldrových ploch vede k úbytku dostupné půdy pro orná pole a travní porosty (Karrasch et al., 2017).

### Efektivita nákladů

Odhady nákladů na úpravu hrází a hrází se liší v závislosti na typu konstrukce a metodě vyztužení. Některé orientační náklady jsou uvedeny v přehledové studii Aerts (2018). Přínosy z provádění různých opatření pro přizpůsobení se povodním jsou obvykle vyjádřeny jako snížení rizika povodní nebo snížení škod. Investice do poldrů mohou být ekonomicky atraktivní pro snížení rizika povodní ve velkých částech světa, ale ne všude. Proto by měla být vždy vyhodnocena alternativní řešení a je třeba poznamenat, že opatření, která dávají řece více prostoru, často poskytují několik vedlejších přínosů pro ekosystémy (Climate-ADAPT, 2016).

### Údržba

Poldry potřebují pravidelnou údržbu, aby byla zajištěna jejich ochranná kapacita a aby byly splněny bezpečnostní požadavky. Jedním z nejčastějších mechanismů selhání poldrů nastává v případě přelití povodňové vody přes hráz poldru. Poldry lze postavit způsobem, který zajišťuje jejich větší odolnost vůči vlivům akumulované a protékající vody během povodní (např. zpevněním vnitřní stěny hráze). Takové poldry zabraňují nekontrolovaným katastrofickým haváriím, spojeným s ničivými

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | <p>záplavami. Poškození může sice i nadále nastat kvůli vodě, která přetéká konstrukce, ale dopady jsou mnohem menší ve srovnání s protržením hráze poldru (Climate-ADAPT, 2016). Předpokládaná životnost takto konstruovaných hrází je obvykle více než 30 let. Je však třeba poznamenat, že údržba hraje důležitou roli a že požadavky na údržbu se v průběhu času mění v důsledku stárnutí konstrukcí a změn průtoků řek.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Klimatická změna</b>         | <p>Dynamická povaha klimatických změn spolu s intenzivním rozvojem záplavových území vedly k povodňovým škodám obrovského rozsahu. To podnítilo diskuse o zavádění inovativních protipovodňových opatření schopných vyrovnat se s neustále se měnícími environmentálními, sociálními a ekonomickými podmínkami. V závislosti na kontextu lze poldry považovat za inovaci, zejména ve srovnání s hydrotechnickými řešeními v řízení povodňových rizik. Přinášejí také výhody pro životní prostředí tím, že chrání přírodní ekosystémy, a také pro místní obyvatele, protože snižují riziko povodní (Warachowska et al., 2023).</p>                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Jiná nebezpečí</b>           | <p>Realizace poldrů má řadu přínosů pro poskytování ekosystémových služeb, které se prolínají se snižováním některých rizik - kvalitní přehled ekosystémových služeb poskytovaných poldry naleznete zde: <a href="http://nwrm.eu/sites/default/files/nwrm_ressources/n14_-_re-naturalization_of_polder_areas.pdf">http://nwrm.eu/sites/default/files/nwrm_ressources/n14_-_re-naturalization_of_polder_areas.pdf</a></p> <p>Hlavním přínosem poldrů z hlediska ekosystémových služeb je zejména zvýšení kvality regulačních a zásobovacích ekosystémových služeb. Kapacita akumulace vody vytváří „nárazník“ pro regulaci přírodních rizik a zadržená voda v poldrech může být využita během suchých letních období k zavlažování (Karrasch et al., 2017).</p>                                                                                                  |
| <b>Příklad případové studie</b> | <p>Byla provedena srovnávací analýza poldrů umístěných ve dvou účelově vybraných středoevropských povodích v Polsku a Maďarsku. Pro oba regiony, stejně jako pro celou Evropu, se očekává, že povodňové riziko a povodňové škody v příštím desetiletí vzrostou kvůli vysoce dynamické povaze změny klimatu (IPCC, 2021). Vzhledem k neustále rostoucímu povodňovému riziku v obou povodích jsou činěny pokusy o nalezení a realizaci inovativních protipovodňových opatření. V obou regionech hrají poldry důležitou roli v rámci protipovodňové ochrany. Ačkoli se zdá, že základní podmínky pro oba regiony jsou podobné, procesy přijaté oběma zeměmi k dosažení stejného cíle, tj. realizace poldrů pro snížení povodňového rizika, byly odlišné a přinesly různé výsledky. Podrobnosti o této případové studii lze nalézt v Warachowska et al. (2023).</p> |

## Půdní eroze – šedá opatření

| <b>Šedá opatření: Retenční přehrážky</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Některé příklady aplikace:               |  <p style="text-align: center;">Obr. 10 Retenční přehrážky ve Slovinsku</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Krátké shrnutí</b>                    | <p>Retenční přehrážky (angl. „check dams“) zajišťují ochranu před erozí v přívalových tocích a zajišťují stabilizaci proti erozním procesům v horách. Kromě ochrany proti erozi zajišťují také protipovodňovou ochranu pro oblasti po proudu. Obvykle jsou budovány v kaskádovém systému s ohledem na geomorfologické vlastnosti toku. Jejich účel je různý: zadržování sedimentů, zpevnění svahů, zpomalení aktivity sesuvů, snížení sklonu břehů, snížení podélného sklonu toku. Mohou být postaveny z řezaného kamene, zdiva nebo betonu, dřeva a kamenů. Kontrolní přehradý se běžně používají na alpských tocích.</p> <p>Lze považovat i za kombinované opatření – retenční přehrážky zajišťují (boční) zpevnění svahů a snížení sklonu svahů, což zlepšuje růstové podmínky pro vegetační kryt, jak uvádí Piton et. al. (2016). Obecně lze přehrážky použít jako bariéru pro erozní procesy v horských údolích a pro ovlivnění transportu sedimentů v nižších partiích povodí.</p> |
| <b>Proveditelnost</b>                    | Nezbytné opatření v horských tocích s významnou produkcí sedimentů a transportní kapacitou.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Efektivita nákladů</b>                | Pro stavbu je použit místní materiál. Náklady se zvyšují na základě lokalizace přehrad – často jsou v odlehlých oblastech.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Údržba</b>                            | <p>Retenční přehrážky vyžadují odstraňování sedimentu zachyceného za hrází, četnost závisí na kapacitě produkce sedimentů v toku. Betonové a broušené kamenné konstrukce jsou odolnější vůči otěru, zatímco dřevěné a kamenné konstrukce budou obecně náchylnější k otěru v důsledku proudění vody. Pravidelná údržba by měla spočívat v pravidelných vizuálních kontrolách – četnost závisí na erozních procesech specifických pro každé místo.</p> <p>Jejich údržba je považována za nákladnou – nachází se v odlehlých oblastech ve vysoké nadmořské výšce, strmých údolích. To je důvod, proč se často staré stavby opouštějí a místo nich se staví nová vodní díla.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Klimatická změna</b>                  | Jsou opatřením ke zmírnění změny klimatu, výstavbou přehradních hrází můžeme zmírnit vnitrokorytovou erozi v důsledku zvýšené frekvence extrémních hydrologických jevů.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Jiná nebezpečí</b>           | Může být také použit pro snížení rizika sesuvů půdy.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Příklad případové studie</b> | <p>Problematikou retenčních přehrážek se zabývá řada studií – např. Piton (2016) ve své disertační práci analyzoval vliv těchto přehrážek na transport sedimentů v alpských bystřinných povodích. Analýza výsledků popisuje proudění směřující ke kritickým mezím a výskyt zpětnovazebních mechanismů mezi geomorfologií a hydraulikou během masivní depozice sedimentů.</p> <p>Piton, G., Carlados, S., Recking, A., Tacnet, JM, 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, <a href="https://doi.org/10.1002/esp.3967">https://doi.org/10.1002/esp.3967</a>, 2016. <a href="https://theses.hal.science/tel-01420209">https://theses.hal.science/tel-01420209</a></p> |

## Šedá opatření: Terasy

Příklady aplikace: Terasy v pohoří Atlas, Maroko:

<https://www.mdpi.com/2673-4834/2/4/44>

Terasy v ČR, Těšany u Brna:

[https://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/3.8\\_terasy.pdf](https://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/3.8_terasy.pdf)



Obr. 11. Terasy se zorněnou plošinou terasy v k.ú. Těšany u Brna (okres Brno-venkov) (zdroj: VÚV TGM, v.v.i.)

### Krátké shrnutí

Terasy byly používány jako nejstarší a nejoblíbenější managementové opatření pro ochranu půdy a vody po celém světě (Zuazo et al., 2005). Jsou konstruovány jako hliněné stavby nebo mohou být podepřeny kamennými, případně betonovými zdmi. Jejich účelem je snížit strmost svahu a rozdělit svah na krátké, mírně svažité úseky (FAO, 2000). Snižují rychlost odtoku a ztrátu půdy, zvyšují obsah půdní vlhkosti prostřednictvím zlepšené infiltrace a snižují výpar. Mohou být také vytvořeny pro odvedení odtoku do připravené nebo bezpečné oblasti. Rozlišujeme retenční terasy určené k akumulaci a infiltraci odtoku (terasy se širokým základem) a terasy odstupňované nebo svodné (s mírným protisvahem) určené k zachycení nebo odvedení odtoku do zabezpečených vodních kanálů (FAO, 2000). V rámci Evropy jsou terasy častější v jižní Evropě (Stanchi et al. 2012), především ve Španělsku, Itálii, Francii, Portugalsku a Maďarsku (většinou pro pěstování vinic, Widomski, 2011), zatímco ve střední Evropě je výskyt teras velmi malý. V ČR se používají v erozí nejvíce ohrožených oblastech se strmými svahy nad 20 % (Novotný et al., 2017).

### Proveditelnost

Stavba teras je velmi nákladná a náročná. Terasy s technickou stabilizací (kamenné nebo betonové opěrné zdi) zabírají méně místa, ale jsou výrazně finančně i technicky náročnější, zatímco terasy se zemním násypem vyžadují více prostoru, ale jsou technicky i finančně jednodušší. Přednostně se navrhuje na hlubokých půdách (čím širší je plošina



|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | terasy a čím vyšší stupeň, tím musí být silnější půdní profil) (Novotný et al., 2017). Písčitá a hrubě zrnitá půda není vhodná pro terasování (IWRM, 2016).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Efektivita nákladů</b> | <p>Terasování je jednou z nejdražších metod (Ramos et al., 2007; IWRM, 2016), která se v zemědělství používá pouze na půdě s velmi strmými svahy (Napoli et al., 2020) v rozmezí od 16 % do 40 % (IWRM, 2016). FAO (2000) je doporučuje pro svahy strmější než 20 %. Jsou účinné na půdách s vysokým faktorem erodovatelnosti (IWRM, 2016) a měly by být navrhovány pouze pro kontrolu závažné eroze (<math>&gt;10 \text{ t ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}</math>) (Kuhlman et al., 2010).</p> <p>Podle Dumbrovského et al. (2014), v České republicebyly pořizovací náklady na <math>1 \text{ m}^3</math> objemu terasy 10,72 EUR. Náklady na údržbu se pohybovaly mezi 0,37 a 0,6 EUR/<math>1 \text{ m}^3</math> objemu terasy. V Americe odhadovali Kling et al. (2007) náklady na zřízení 1m délky terasy na 3,97 až 14,92 USD. Hustota teras se může pohybovat mezi 3000 až 6000 m/ha, podle sklonu (Stanchi et al., 2012); při výpočtu se střední cenou a střední hustotou by náklady činily 42 502 USD/ha. Průměrné roční náklady na údržbu teras v Evropě jsou podle Kuhlmana et al. (2010) 200 EUR/ha/rok.</p> <p>Účinnost terasového systému je ovlivněna místními podmínkami a rozměry, tvarem a stabilitou teras (Dorren &amp; Rey 2004). Zvyšuje se aplikací dalších ochranných postupů (tj. vrstevnicová orba, pásové střídání plodin, vysoká pokryvnost vegetace). Výsledky získané v Paraná (IAPAR, 1984) ukázaly, že terasování umožňuje snížit ztráty půdy na polovinu, nezávisle na použitém kultivačním systému. Chow et al. (1999) pozorovali dramatický pokles ztráty půdy u polí brambor, z průměrných 20 tun na hektar na méně než jednu tunu na hektar (což znamená snížení ztráty půdy o více než 95 %) s využitím terasování svažitých polí v kombinaci se založením zatravněných tras soustředěného odtoku a vrstevnicovou orbou. Bai et al. (2019) prokázali, že terasování snižuje erozi půdy dokonce až o 99 %. Schuman et al. (1973) zjistili, že odtok na svahu s rovnými terasami byl 8krát nižší než na srovnatelném svahu s vrstevnicově vysázenými plodinami. Bevan &amp; Connelly (2011) zjistili, že terasy v Řecku snížily průměrnou míru eroze půdy o 56 % ve srovnání s oblastmi bez teras. Na základě literárních údajů ze 14 ploch v Evropě a v některých mimoevropských zemích středomořské oblasti, Maetens et al. (2012) zjistili, že terasy snižují erozi v průměru o 75 % ve srovnání s pozemky bez teras.</p> |
| <b>Údržba</b>             | Pro zlepšení účinnosti teras jsou doporučené pravidelné kontroly, zejména po významných                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | <p>bouřkových událostech (William, 1997). Terasy mohou být snadno erodovány a obecně vyžadují mnoho údržby a oprav (Dorren &amp; Rey, 2004). Četné studie prokázaly, že pro zabránění procesům vodní eroze a pro zlepšení stability svahu vyžadují terasy neustálou údržbu (Gallart et al., 1994). Průměrné roční náklady na údržbu v Evropě dosahovaly podle Kuhlmana et al. (2010) 200 EUR/ha/rok. Četné studie prokázaly pokles kvality půdy a zvýšené riziko eroze půdy po opuštění zemědělských teras, což by mohlo vést ke zhoršení kvality terasy jako celku a k tvorbě roklí vedoucí ke zvýšené erozi (Deng et al., 2021; Lasanta et al., 2019). Moderní terasy někdy vyžadují specifické úpravy, aby bylo umožněno používání mechanizace (Ramos et al., 2007), např. vyrovnání a výstavba spojených lavic na strmých svazích. Mechanizace je někdy jediným způsobem, jak učinit terasovité zemědělství ekonomicky ziskovým (Cots- Folch et al., 2006).</p> |
| <b>Klimatická změna</b>         | <p>Úpravou reliéfu horských a kopcovitých oblastí poskytují zemědělské terasy několik výhod pro životní prostředí, které by mohly zmírnit riziko změny klimatu. Zvyšují obsah půdní vlhkosti prostřednictvím zlepšené infiltrace a snižují výpar (FAO, 2000), zlepšují vodoretenci, snižují odtok, pomáhají akumulovat biomasu a tím zmírňují extrémní letní teploty (Deng et al., 2021). Klimatická změna však přináší změny ve srážkovém vzoru a zvyšuje extrémní jevy. Současné opouštění půdy a změna srážek zvyšuje riziko degradace půdy v terasovité půdě (Vergari et al., 2013).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Jiná rizika</b>              | <p>Terasy také přispívají ke zvýšení obsahu půdní vlhkosti prostřednictvím zlepšené infiltrace a snížení maximálního průtoku řek. Díky zvýšené infiltraci a sníženému odtoku mohou částečně přispět ke zmírnění povodní.</p> <p>Terasovité plochy také zlepšují stabilitu svahu. Hrají důležitou roli při regulaci eroze díky snížení sklonu svahu (Martinez-Casanovas &amp; Ramos, 2006) a představují také ochranu před rozsáhlými pohyby nebo sesuvy půdy (IUCN, 2023). Ovšem špatně udržované terasy mohou naopak sesuvy podporovat. Krátkodobě neudržované terasy patří mezi nejvíce nebezpečné prvky krajiny. Studie z Itálie potvrzuje, že opouštění půdy a špatné hospodaření v zemědělství zesilují zejména velikost mělkých sesuvů (Brandolini et al., 2018)</p>                                                                                                                                                                                          |
| <b>Příklad případové studie</b> | <p>Djuma et al. (2017) modelovali půdní erozi na Kypru pomocí modelu PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment) a zjistili, že svahy s dobře</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |



|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>udržovanými terasami trpí 10krát nižší erozí než stejný svah bez teras, což znamená snížení množství odnesené půdy o 91 %. Přínosy zemědělského využívání terasových polí s ohledem na vybrané ekosystémové funkce jsou přehledně shrnuty např. v brožuře vydané Aliancí pro středomořskou přírodu a kulturu (Alliance for Mediterranean Nature and Culture – více zde <a href="https://iucn.org/sites/default/files/2023-05/practice_g.terraces_final.pdf">https://iucn.org/sites/default/files/2023-05/practice_g.terraces_final.pdf</a> ).</p> |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## Šedá opatření: Protierozní průlehy a příkopy

Příklady aplikace:  
Záchytné průlehy  
v katastrálním území  
Lhotka u Zlína

[https://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/3.1\\_pruleh.pdf](https://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/3.1_pruleh.pdf)



Obr. 12. Záchytné průlehy v katastrálním území Lhotka u Zlína

(zdroj: VÚV TGM, v.v.i.; Novotný et al. 2017)

### Krátké shrnutí

Protierozní příkop či průleh je odvodňovací kanál, zkonstruovaný pro prevenci vniknutí odtoku z výše položených částí svahu na pozemek, nebo k zachycení odtoku na samotném pozemku a k infiltraci nebo svedení vody stranou. Je to liniový prvek, umístěný na pozemku v místě nutného přerušení svahu, orientovaný po vrstevnici, případně s velmi mírným sklonem (1%). Může být kombinován s dalšími liniovými prvky v krajině (mezí, cestou, travnatým pásem, biokoridorem, apod.). Nad příkopem či průlehem je vhodné založit pás trvalého travního porostu v minimální šířce 5 -6 m, kde bude docházet k zachycování splavenin nesených odtokem (Novotný et al., 2017; Kuypers, Mollema & Topper, 2005).

Rozlišujeme příkopy a průlehy. Odlišují se velikostí, tvarem a hloubkou; příkopy jsou hluboké 0,6 – 1,2 m a mají strmější svahy (1:1,5 – 1:2) a tudíž nejsou překonatelné mechanizací, zatímco průlehy jsou mělké a mají mírný sklon svahů (1:5 - 1:10), jsou většinou zatravněné a pojízdné zemědělskou mechanizací (Novotný et al., 2017). Příkopy se dělí na záchytné, jež jsou umístěné nad plochou orné půdy a odklánějí vodu, tekoucí z pozemků na horní části svahu a na sběrné, které jsou umístěné přímo na pozemku, aby snižovaly délku svahu. Jejich vzdálenost je počítána pomocí

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | <p>erozní rovnice (USLE), nebo pomocí simulačního modelu (SMODERP). Odvodňovací příkop je recipientem obou předchozích typů. Je širší a má trochu větší sklon a je tudíž většinou stabilizovaný dlážděním nebo kameny, ovšem může být také zatravněný (Novotný et al., 2017). Ve Středomoří se používají také dočasné příkopy/průlehy. Jsou úzké a mělké, překonatelné mechanizací, ovšem je nutné je vždy po několika letech obnovovat (Francaviglia &amp; Neri, 2020, Bazoffi et al., 2011).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Proveditelnost</b>     | <p>Opatření vyžaduje přípravu v podobě záboru zemědělské půdy, řešení majetkových vztahů a zpracování projektové dokumentace. Příprava a realizace trvá cca 7 (i více) let, efekt je patrný do tří let (VÚV TGM, 2018). Pro úspěšné protierozní působení je potřeba správně propočítat kapacitu a vzdálenost příkopů a průlehů, aby byla voda bezpečně odvedena a vsáknuta (Bazoffi et al., 2011). Je také potřeba naplánovat odvod vody až do konečného recipientu. Samotná realizace je poměrně finančně náročná (VÚV TGM, 2018).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Efektivita nákladů</b> | <p>Použití je vhodné v případě neúčinnosti či nemožnosti realizace méně náročných typů opatření (organizačních a agrotechnických opatření) nebo je lze použít za účelem rozčlenění krajiny. Jsou však finančně nákladnější. Průměrné náklady na průleh se zatravněným profilem bez doprovodné výsadby byl v ČR v roce 2018 cca 1500 Kč/bm. Doporučená je především realizace za účelem ochrany osob a majetku (VÚV TGM, 2018).</p> <p>Posthumus et al. (2015) odhadují náklady na průlehy ve Velké Británii na 212 liber/ha (za předpokladu, že 30 % zemědělské půdy je svedeno do průlehu). Poměr přínosů a nákladů byl v pětiletém období odhadnutý na 0,23 až 2,78. Úspěšnost a efektivita je závislá na správném propočtu a volbě velikosti a vzdálenosti příkopů vzhledem k odtoku vody. Při jejich nízké kapacitě může dojít naopak ke zhoršení situace a zrychlení eroze (Bazoffi et al., 2011).</p> <p>Efektivita opatření závisí také na sklonu svahu. Studie z Toskánska (Itálie) odhalila, že tato opatření jsou efektivnější na svazích o sklonu nižším, než 9 %. V případě prudších svahů tato opatření nedokázala zmírnit erozi na akceptovatelnou míru (Napoli et al., 2020). Ve studii Macha (2018) byla eroze (vyjádřená jako ztráta půdy) zredukována o 30 % po založení protierozního průlehu na cca 200m dlouhém svahu. Výsledky studie, prováděné v 16ti regionech v Itálii, ukázaly účinnost dočasných příkopů/průlehů, dosahující 67% (Francaviglia &amp; Neri, 2020); podle jejich výsledků tyto příkopy/průlehy významně snížily erozi o 22,6 Mg ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> v porovnání s erozí na pozemcích bez průlehů (10,3 vs 32,9 Mg ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>). Jiná studie z Itálie ukázala efekt malých, dočasných příkopů/průlehů, založených ve vzdálenostech menších než 80 m; jejich výsledky ukázaly, že</p> |

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | <p>v kukuřičném poli byla eroze snížena o 94 % a odtok o 32 % (Bazoffi et al., 2011).</p> <p>Ovšem protierozní průlehy a příkopy jsou méně účinné než terasy, které podle Napolie aet al.) snižují erozi 4,7 – 12,3 krát lépe.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Údržba</b>                   | <p>Co se týče údržby, je nutné pravidelně čistit příkopy a udržovat je volné, aby byla zachována jejich kapacita (Kuypers, Mollema &amp; Topper 2005). Zatravněný pruh nad příkopem nebo korytem by měl být pravidelně sečen, aby byla zachována ideální drsnost jeho povrchu (Novotný et al., 2017).</p> <p>Údržba včetně sečení a bagrování činila v roce 2018 ve Francii 1 euro/1 m délky/rok (Patault et al., 2021). Podle Posthumus et al.. (2015) je životnost průlehu cca 15 let. Z výsledků vyplývá, že náklady na údržbu jsou relativně nízké.</p> |
| <b>Klimatická změna</b>         | <p>Jelikož klimatická změna přináší také větší podíl extrémních srážek, mají tato opatření zmírňující vliv na její dopady tím, že snižují erozi – plošnou i rýhovou. Zvýšené zasakování vody přispívá k lepší zásobě vody v půdě a tím i k vyšší evapotranspiraci a chladicí funkci vegetace (plodiny), která je na pozemku pěstovaná.</p>                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Jiná nebezpečí</b>           | <p>Stejně jako terasy, i protierozní průlehy a příkopy poskytují kromě snižování eroze – tedy plošného odnosu i rýhové eroze i další funkce, které snižují hazardy v území: podporují zasakování vody a tím snižují riziko povodní.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Příklad případové studie</b> | <p>Experimentální případová studie z Itálie ukázala efekt malých, dočasných průlehů/příkopů na ploše orné půdy, vzdálených 80 m od sebe; výsledky ukazují snížení eroze v kukuřičném poli o 94% a snížení odtoku o 32% (Bazoffi et al., 2011).</p> <p><a href="https://agronomy.it/index.php/agro/article/view/ija.2011.6.s1.e3">https://agronomy.it/index.php/agro/article/view/ija.2011.6.s1.e3</a></p>                                                                                                                                                   |

## Šedá opatření: Malé přehrady (hráze)

Některé příklady aplikace:



Obr. 13 Příklad malé přehrady (převzato z <https://www.thinktrees.org/wp-content/uploads/2019/07/WEBS-Fact-Sheet-7-Small-Dams-Reservoirs.pdf>)

### Krátké shrnutí

Malé přehrady (hliněné, betonové) mohou snížit kulminační průtok a objem povodňových průtoků, mohou pomoci snížit transport sedimentů nebo živin (např. dusík, fosfor). Využití malých přehrad je různé, často se jedná o víceúčelové stavby, např. suché protipovodňové hráze, protipovodňové přehrady; další možné využití je např. rekreační, akumulací, zavlažování, ochrana mokřadů, biotopů. Nejběžnějším typem malé přehrady je násep, kde materiály použité pro stavbu zahrnují přírodní zeminu nebo/a štěrk. Druhým nejběžnějším typem malých přehrad je gravitační přehrada postavená z betonu nebo zdiva. Může být přizpůsobena místním podmínkám – poskytovat opatření malého rozsahu, například se zahrnutím rekreačního využití nebo začleněním potřeb zemědělství. Rozhodnutí, jaký typ přehrady postavit, závisí na morfometrických podmínkách údolí, dostupnosti stavebních materiálů, lokalizaci daného místa, atd. Součástí vodního díla, které vytvoří bariéru volného proudění vody ve vodním toku, by měly být také prvky umožňující migraci ryb a dalších vodních organismů.

### Proveditelnost

Závisí na specifikách lokality – měla by být provedena analýza nákladů a přínosů, vyhodnocena finanční a ekologická proveditelnost.

### Efektivita nákladů

Záleží na typu přehrady (hráze) a specifikách lokality. Pokud je to možné, pro výstavbu by měl být použit místní materiál.

### Údržba

Vizuální kontroly, péče o vegetaci (sečení trávy, odstranění nízké vegetace), monitoring zanášení. Každá přehrada musí mít svůj program údržby a provozu, který je třeba dodržovat.

### Klimatická změna

Výstavba malé přehrady (hráze) může regulovat negativní dopad klimatické změny v podobě výskytu extrémních hydrologických situací (epizod sucha, přívalových povodní), prostřednictvím ovlivnění proměnlivosti průtoku.

### Jiná nebezpečí

Malé přehrady (hráze) jsou náchylné k zanášení. Musí být správně zkonstruované a udržované kvůli riziku vybřežení toku po jejich eventuálním zanesení sedimenty. Důležitý faktor je také správný výběr vhodné lokality, na základě odborné hydrologické studie se zaměřením na extrémní situace. Dalším potenciálním nebezpečím těchto typů opatření je také jejich náchylnost k prosakování, zejména v případě

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | konstrukčních nedostatků, nebo při dlouhodobě nevyhovující údržbě.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Příklad případové studie</b> | <p>V rámci různých případových studií je nejčastěji analyzován vliv malých přehrad na vyrovnění extrémních průtoků na vodních tocích (během povodní či epizod sucha) nebo také na kvalitu povrchových vod – viz např. tato studie z Kanady, v rámci které byl analyzován dopad malých vodních nádrží na koncentrace dusičnanů, fosforečnanů a dalších rozpuštěných látek – <a href="https://www.thinktrees.org/wp-content/uploads/2019/07/WEBS-Fact-Sheet-7-Small-Dams-Reservoirs.pdf">https://www.thinktrees.org/wp-content/uploads/2019/07/WEBS-Fact-Sheet-7-Small-Dams-Reservoirs.pdf</a></p> <p>Zejména jako nástroj pro nadlepení nízkých průtoků v epizodách sucha jsou vnímány malé nádrže v Indii – viz <a href="https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJCCSM-12-2014-0141/full/pdf">https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJCCSM-12-2014-0141/full/pdf</a></p> <p>Další případové studie zaměřené na malé vodní nádrže jsou uvedeny níže:</p> <p><a href="https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29HE.1943-5584.0001005">https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29HE.1943-5584.0001005</a></p> <p><a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633921000198">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633921000198</a></p> |



## Šedná opatření: Dřevěné „gabiony“ a další typy konstrukcí podobné gabionům

Některé příklady aplikace:



Obr. 14 Příklad dřevěných „gabionů“ ve Slovinsku  
[https://www.gov.si/assets/ministrstva/MK/DEDISCINA/NESNOVNA/RN\\_SD\\_SI/Rzd-02\\_00027.pdf](https://www.gov.si/assets/ministrstva/MK/DEDISCINA/NESNOVNA/RN_SD_SI/Rzd-02_00027.pdf)

### Krátké shrnutí

Tento typ staveb se používá především pro regulaci vody, sanaci erozí nebo stabilizaci svahů. Tento typ staveb lze použít i přímo ve vodním toku v podélném i příčném směru. Je vhodný zejména pro regulaci bystřin a horských vodních toků. Nosné dřevěné konstrukce lze využít, pokud je potřeba stabilizovat tenkou nestabilní horní vrstvu zeminy, zatímco vrstva podloží je stabilní. Konstrukce stěn by měly mít objem 10-15 procent objemu zeminy určené ke stabilizaci. Výplňový materiál musí být ztuhlý a odvodněn, musí být zajištěna drenáž konstrukce. Gabionové stěny díky dlažební výplni a designu pletiva dobře odvodňují konstrukční vlastnosti. Hlavní výhodou tohoto typu konstrukcí je přizpůsobivost a flexibilní design, schopný přizpůsobit se místním podmínkám.

### Proveditelnost

Proveditelné v oblastech náchylných k erozi a v oblastech, kde jsou preferována přírodní řešení. Pro stavbu bylo preferováno použití místních materiálů.

### Efektivita nákladů

Jsou-li k dispozici, lze použít místní materiály, díky čemuž jsou zejména dřevěné stěny jesliček cenově velmi efektivní.

### Údržba

Nutné pravidelné kontroly, protože konstrukce má elastické vlastnosti a dokáže se přizpůsobit změnám terénu, je důležité, abychom pravidelnou údržbou předešli lokálním defektům.

### Klimatická změna

Možným opatřením ke stabilizaci erozních ohnisek je stabilizace svahu.

### Jiná nebezpečí

Musí být zajištěna správná drenáž, jinak je konstrukce náchylná ke vzniku svahové nestability.

### Příklad případové studie

Dřevěná gabionová stěna je součástí Registru živého kulturního dědictví Slovinska a je široce používána při regulaci alpských toků.  
[https://www.gov.si/assets/ministrstva/MK/DEDISCINA/NESNOVNA/RN\\_SD\\_SI/Rzd-02\\_00027.pdf](https://www.gov.si/assets/ministrstva/MK/DEDISCINA/NESNOVNA/RN_SD_SI/Rzd-02_00027.pdf) (ve slovinštině)

## Šedá opatření: Kamenný pohoz

Některé příklady aplikace:



Obr. 10. Kamenný pohoz s vegetací v korytě Chodoveckého potoka, Česko (zdroj: <https://www.prostranstvi.cz/Priklady-dobre-praxe/Databaze/Revitalizace-vodnich-toku-ve-meste> )

### Krátké shrnutí

Kamenný pohoz (anglicky riprap) je obvykle definován jako trvalý, odolný proti erozi, z velkého nezajištěného kamene aplikovaného na okraje řek (ačkoli mohou být použity i betonové bloky pravidelného tvaru). Charakteristiky kamenného pohozu se značně liší v závislosti na prostředí, ve kterém je umístěn a na povaze požadované ochrany proti erozi (Reid & Church, 2015). Kamenný pohoz může ovlivnit průtočnost koryta místním snížením usazenin a přísunu dřeva a zvášením hrubosti břehového materiálu. Snížené nánosy sedimentu z břehové eroze mohou vést k zahloubení koryt, což má za následek zhrubnutí štěrků na dně a změně místní morfologie vedoucí k degradaci kanálů (např. Arfeuillère et al., 2023).

### Proveditelnost

Podle Reid & Church (2015) se zdá, že mezi mnoha správci toků kamenný pohoz ztratil přízeň jako stabilizační opatření, pokud jsou dostupné jiné metody stabilizace koryta (jako jsou bioinženýrská řešení) (Quigley & Harper, 2004), i přesto že jsou tyto metody často považovány za méně bezpečné na kritických místech. Variabilita v rozsahu a zahloubení, textura říčního sedimentu a morfologie koryta pravděpodobně povedou k podstatným rozdílům ve specifických reakcích jednotlivých říčních prostředí na stabilizaci břehů v důsledku umístění tohoto opatření.

### Efektivita nákladů

Kamenný pohoz je běžný postup pro stavební projekty a často se předpokládá, že je nákladově nejefektivnější možností pro opevňování koryt toků. Ukládání pohozu je jedním z nákladově nejefektivnějších opatření pro ochranu proti erozi, strukturální stabilitu a stabilizaci svahů (Abt et al., 2013). V některých studiích však bylo zjištěno, že cena těchto opatření je velmi závislá na přírodních podmínkách – zejména na vzdálenosti, na kterou je nutné materiál dopravit. Studie provedená Auburn University zjistila, že ve státě Alabama mohou jednotkové náklady tohoto opatření drasticky kolísat v závislosti na umístění daného projektu. V severních regionech státu mohou jednotkové náklady na

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | <p>kamenný pohoz dosahovat až 73 % státního průměru, zatímco na jihu může být míra zvýšena až o 160 % státního průměru (Gerber, 2022). Několik studií naznačilo, že bioinženýrství je účinnou alternativou k použití kamenného pohozu na stabilizovaných březích řek a tento přístup vede ke zvýšené rozmanitosti rostlin a sukcesi, téměř připomínající přírodní břehy řek (Tasserant et al., 2021).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Údržba</b>                   | <p>Vzhledem k tomu, že kamenný pohoz je přírodní materiál složený z kamene nebo balvanů a je snadno dostupný v mnoha oblastech, byl široce používán při pracích na ochranu proti erozi. V některých oblastech se kamenný pohoz vyrábí těžbou tvrdé, odolné horniny. V jiných oblastech se úlomky sbírají ze sutě nebo těžbou velkých říčních dlažebních kostek z aluviálních usazenin. Kamenný pohoz, pokud je správně navržen a používán jako ochrana proti erozi, má výhodu oproti tuhým konstrukcím, protože je pružný, když je vystaven říčním proudům. Může zůstat funkční, i když se některé jednotlivé kameny ztratí, a zároveň je lze poměrně snadno opravit. Správně provedený pohoz může poskytnout dlouhodobou ochranu, pokud je pravidelně kontrolován a udržován, stejně jako po povodních (Lagasse et al., 2006).</p> |
| <b>Klimatická změna</b>         | <p>Předpokládá se, že změna klimatu bude mít významný dopad na regionální hydrologické charakteristiky a zejména na intenzitu a četnost výskytu extrémních povodní. Změna klimatu a následně modifikované hydrologické režimy představují vážné ohrožení bezpečnosti vodních staveb, jako je kamenný pohoz (Ravindra et al., 2018). Podle Kalogeraki &amp; Antoniou (2022) jsou tato opatření aplikována také kolem mostních pilířů jako opatření pro přizpůsobení se změně klimatu. Velikost zásypu je pak určena na základě maximálního očekávaného projektovaného povodňového průtoku v místě mostu v průběhu projektovaného období.</p>                                                                                                                                                                                         |
| <b>Jiná nebezpečí</b>           | <p>Kamenný pohoz je užitečný pro podporu samočistícího procesu proudění. Přítomnost velkých kamenných vrstev na dně koryta může regulovat pohyb sedimentů (Quigley et al., 2004). Umístění riprapu má také tendenci oddělit vstup organického materiálu z pobřežní zóny, vstupu dřeva a vstupu jemnějšího organického materiálu (Reid &amp; Church, 2015).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Příklad případové studie</b> | <p>Tato opatření jsou poměrně běžná – např. v Praze v minulosti proběhlo několik obnov menších městských vodních toků, které zahrnovaly i aplikaci kamenných pohozů. Více informací o těchto přístupech naleznete zde: <a href="http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-toky/kosikovsky-potok/revitalizace-a-opravy-na-kosikovskem-potoce/revitalizace-koryta-kosikovskeho-potoka/">http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-toky/kosikovsky-potok/revitalizace-a-opravy-na-kosikovskem-potoce/revitalizace-koryta-kosikovskeho-potoka/</a></p>                                                                                                                                                                                                                                                      |

#### Citovaná literatura:



- 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., Casalí, 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>
- Apollonio, C., Petroselli, A., Tauro, F., Cecconi, M., Biscarini, C., Zarotti, C., Grimaldi, S. 2021. Hillslope Erosion Mitigation: An Experimental Proof of a Nature-Based Solution. *Sustainability*. 13(11) <https://doi.org/10.3390/su13116058>
- 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](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., & Stellatou, 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:2004010](https://doi.org/10.1051/agro:2004010)ff. [ffhal-00886045f](https://doi.org/10.1051/agro:2004010)
- 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>
- 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](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](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.
- 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
- 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>
- Klíč, 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.  
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.08.002>
- Kuhlman, T., Reinhard, S., & Gaaff, A. (2010). Estimating the costs and benefits of soil conservation in Europe. *Land Use Policy*, 27(1), 22-32.
- Kuypers, H., Mollema, A., & Topper, E. (2005). *Erosion control in the tropics* (6th ed.). Agromisa Foundation. Wageningen, Netherland.
- 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>
- 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.
- 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/7q4byu/>. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. Vedoucí práce Ing. Václav Bystřický, Ph.D.
- 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](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](http://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.friendsoftheireishenvironment.org/attachments/article/16409/phillips.pdf>
- 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. <https://doi.org/10.1111/sum.12057>
- 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., Srinivsan, 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 \(vumop.cz\)](https://www.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](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.pdf](https://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/p1_katalog_opatreni_0.pdf)
- Warachowska, W., Ungvári, G., Kis, A., Matczak, P., & Zwoliński, Z. (2023). Social, economic, and legal aspects of polder implementation for flood risk management in Poland and Hungary. *Journal of Flood Risk Management*, e12897. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12897>
- Widomski, M. K. (2011). Terracing as a measure of soil erosion control and its effect on improvement of infiltration in eroded environment. *Soil erosion issues in agriculture*, 314-335.

- William, P. A. (1997). Massachusetts erosion and sediment control guidelines for urban and suburban areas. Department of Environmental Protection. Massachusetts, USA.
- Wu H, Yao C, Li C, Miao M, Zhong Y, Lu Y, Liu T. 2020. Review of Application and Innovation of Geotextiles in Geotechnical Engineering. *Materials*. 13(7):1774.  
<https://doi.org/10.3390/ma13071774>
- Yuan, Y., Bingner, R. L., & Locke, M. A. (2009). A review of effectiveness of vegetative buffers on sediment trapping in agricultural areas. *Ecohydrology: Ecosystems, Land and Water Process Interactions, Ecohydrogeomorphology*, 2(3), 321-336.  
<https://doi.org/10.1002/eco.82>
- Zuazo, V.H.D.; Ruiz, J.A.; Raya, A.M. & Tarifa, D.F. (2005). Impact of erosion in taluses of subtropical orchard terraces. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107, pp. 199- 210.