

PREGLED LITERATURE S PODROČJA SIVIH, ZELENIH IN HIBRIDNIH UKREPOV

V tem poglavju je predstavljen pregled literature o sivih, zelenih in hibridnih ukrepih za zaščito pred poplavami. Pri pregledu izbranih ukrepov so bili upoštevani vidiki, kot so izvedljivost, stroškovna učinkovitost, prilagodljivost, postopek vzdrževanja, vpliv na podnebne spremembe in njihovo blaženje. Poleg tega sta za vsak posamezen ukrep predstavljena kratek povzetek in referenčni primer. Preden pa se poglobimo v podrobnosti o vsakem ukrepu, je treba najprej omeniti, kako so bili ti ukrepi razdeljeni med tri različne kategorije.

Med sivimi ukrepi smo izbrali nabor tradicionalne in uveljavljene infrastrukture za blažitev vpliva poplav. Ti ukrepi, v primerjavi z zelenimi ali hibridnimi ukrepi za zmanjševanje poplavne ogroženosti, vizualno predstavljajo togo infrastrukturo, ki je običajno izdelana iz materialov, kot sta beton ali jeklo, in je znano, da imata prevladujoč "siv" vizualni učinek. Poleg tega tovrstni ukrepi običajno zagotavljajo omejene ekosistemske storitve ali jih skorajda ne zagotavljajo. Zeleni ukrepi pa imajo v primerjavi z drugimi kategorijami zmanjševanja poplavne ogroženosti prevladujoče ekosistemske funkcije in so večinoma izdelani iz razgradljivih materialov. Čeprav je v fazi izvajanja za izgradnjo zelenih ukrepov varstva pred poplavami običajno potrebna določena tehnična oprema, imajo ti ukrepi pozneje po postopku vzpostavitve običajno le "zeleni" vizualni učinek. Pri hibridnih ukrepih so bile izbrane rešitve za zmanjšanje poplavne ogroženosti, ki vključujejo funkcije sivih in zelenih ukrepov. Omeniti je treba tudi, da se v tem primeru hibridni ukrepi nanašajo predvsem na tiste rešitve, ki so vizualno videti bolj zelene in zagotavljajo ekosistemske storitve; vendar še vedno vsebujejo elemente sive infrastrukture, ki pomagajo sistemu, da pravilno opravlja svoje funkcije.

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

Preglednica 1. Izbrani ukrepi za sive, zelene in hibridne ukrepe za ublažitev poplav

Kategorija	Izbrani ukrepi
Siva	Pregrade, jezovi, protipoplavni zidovi, podzemni rezervoarji za deževnico, prepustni betonski tlakovci, infiltracijski jaški/suhi jaški.
Zelena	Pogozdovanje, ponovna vzpostavitev rečnih meandrov in obnova poplavnih območij, deževni vrtovi, mestni parki in mestni gozdovi, infiltracijski bazeni.
Hibridni	Suhi in mokri zadrževalniki, zelene strehe, z vegetacijo porasli jarki za padavinsko vodo, prepustne vegetacijske površine.

Preglednica 2. Seznam deskriptorjev in njihova razlaga

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

Poplave – sivi ukrepi

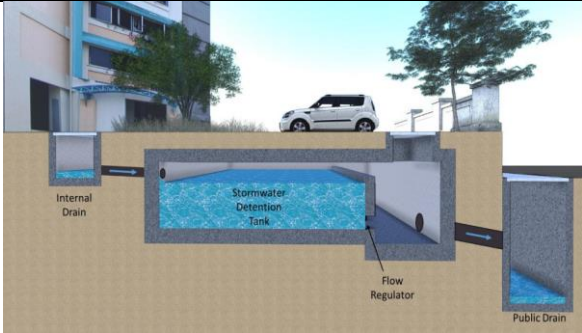
Ukrep: Velike pregrade																																																																			
Primer ukrepa: Pregrada Wivenhoe Avstralija (ASDSO, 2023).	 Slika 1. Betonska pregrada (Malm et al., 2016)																																																																		
Kratek povzetek	V skladu s poročilom EEA (2017) sodijo pregrade med hidrotehnične objekte, s katerimi lahko uravnavamo pretok vode v reki. Za razliko od regulacijskih nasipov, ki so običajno zgrajeni vzporedno z rečnimi bregovi, so pregrade v večini primerov zgrajene v strugi pravokotno na smer toka vode, za njimi se ustvari akumulacija, kar omogoča uravnavanje razmer dolvodno.																																																																		
Izvedljivost	Poročilo EEA (2017) navaja, da gradnja pregrad zaradi njihove kompleksne sestave zahteva velike naložbe v začetnih fazah investicije. Ansar et al. (2014) omenja, da je gradnja pregrad drag proces, ki je povezan tudi z nadaljnjimi stroški vzdrževanja.																																																																		
Stroškovna učinkovitost	Znano je, da lahko s pomočjo izgradnje pregrad učinkovito ščitimo dolvodna območja pred poplavami, saj omogočajo uravnavanje odtoka v zgornjem toku reke. Poleg tega so lahko jezovi večnamenski, na primer za zagotavljanje vode za namakanje, proizvodnjo električne energije itd. V spodnji preglednici so povzeti stroški gradnje pregrad na različnih lokacijah v Evropi: <table><tr><th colspan="3"></th><th>Land acquisition and compensation</th><th>Costs</th><th>Operation and maintenance</th></tr><tr><th colspan="3">Longitudinal barriers</th><th></th><th>Construction and rehabilitation</th><th></th></tr><tr><th>Case</th><th>River/Location</th><th>Source</th><th></th><th>EUR/m</th><th>EUR/m/y</th></tr><tr><td>1</td><td>Maas (NL)</td><td>Hillen et al. (2010)</td><td></td><td>1.82 M</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>Hartel (NL)</td><td>Hillen et al. (2010)</td><td></td><td>0.84 M</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td>Scheldt (NL)</td><td>Hillen et al. (2010)</td><td></td><td>1.68 M</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>Ramspol (NL)</td><td>Hillen et al. (2010)</td><td></td><td>0.55 M</td><td></td></tr><tr><td>5</td><td>Ems (DE)</td><td>Hillen et al. (2010)</td><td></td><td>1.02 M</td><td></td></tr><tr><td>6</td><td>Thames (UK)</td><td>Hillen et al. (2010)</td><td></td><td>2.73 M</td><td></td></tr><tr><td>7</td><td>Venice Lagoon (IT)</td><td>Hillen et al. (2010)</td><td></td><td>1.46 M</td><td></td></tr><tr><td>8</td><td>Europe</td><td>Linham and Nicholls (2010)</td><td></td><td></td><td>5–10 % of investment</td></tr></table> Poročilo navaja, da so skupni povprečni stroški gradnje pregrad, vključno z nakupom zemljišč, v sedmih preiskovanih primerih v Evropi znašali 1,6 milijona evrov.				Land acquisition and compensation	Costs	Operation and maintenance	Longitudinal barriers				Construction and rehabilitation		Case	River/Location	Source		EUR/m	EUR/m/y	1	Maas (NL)	Hillen et al. (2010)		1.82 M		2	Hartel (NL)	Hillen et al. (2010)		0.84 M		3	Scheldt (NL)	Hillen et al. (2010)		1.68 M		4	Ramspol (NL)	Hillen et al. (2010)		0.55 M		5	Ems (DE)	Hillen et al. (2010)		1.02 M		6	Thames (UK)	Hillen et al. (2010)		2.73 M		7	Venice Lagoon (IT)	Hillen et al. (2010)		1.46 M		8	Europe	Linham and Nicholls (2010)			5–10 % of investment
			Land acquisition and compensation	Costs	Operation and maintenance																																																														
Longitudinal barriers				Construction and rehabilitation																																																															
Case	River/Location	Source		EUR/m	EUR/m/y																																																														
1	Maas (NL)	Hillen et al. (2010)		1.82 M																																																															
2	Hartel (NL)	Hillen et al. (2010)		0.84 M																																																															
3	Scheldt (NL)	Hillen et al. (2010)		1.68 M																																																															
4	Ramspol (NL)	Hillen et al. (2010)		0.55 M																																																															
5	Ems (DE)	Hillen et al. (2010)		1.02 M																																																															
6	Thames (UK)	Hillen et al. (2010)		2.73 M																																																															
7	Venice Lagoon (IT)	Hillen et al. (2010)		1.46 M																																																															
8	Europe	Linham and Nicholls (2010)			5–10 % of investment																																																														
Prilagodljivost	Tiessen et al. (2011) poudarjajo, da so lahko pregrade in jezovi tudi razmeroma učinkoviti pri upravljanju obremenitev s sedimenti. V študiji so obravnavali dve manjši pregradi v Kanadi, kjer navajajo da so za jezovoma Stepler in Madill, v obdobju enega leta zadržali 77 % oziroma 66 % sedimentov. Razen zgoraj navedenih podatkov v literaturi ni bilo mogoče najti posebnega vpliva jezdov na druge nevarnosti, kot so zemeljski plazovi, erozija itd.																																																																		
Vzdrževanje	Hughes (2023) poudarja pomen rednih pregledov in vzdrževanja, kontrole pojava in rasti razpok ter drugih napak in pomanjkljivosti, ki bi lahko ogrozile varnost konstrukcije. Pri betonskih in zidanih konstrukcijah stalno spremljamo razvoj razpok, saj vse razpoke ne ogrozajo varnosti objekta. Med postopkom pregleda smo pozorni na dolžino, širino in globino ter smer in lokacijo razpoke. Razpoke pa razlikujemo tudi glede na vrsto (površinske, globinske) in vzrok (npr. temperatura, krčenje, nabrekanje). Poleg razpok je treba pri betonskih in zidanih elementih preveriti tudi druge značilnosti staranja, kot so pronicanje vzdolž konstrukcijskih elementov, površinske napake, kot so betonska gnezda in ravslojenost, diferenčni pomiki, pronicanje skozi temelje																																																																		

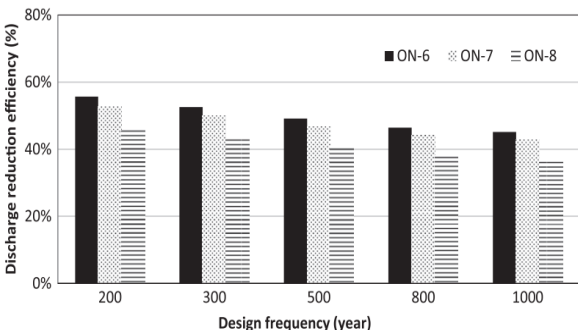
Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

	itd. O stanju objekta je treba voditi tudi evidenco. Poleg tega je treba v okviru rednega vzdrževanja nenehno odstranjevati naplavine in nezaželeno vegetacijo (Hughes, 2023; Klun et al., 2021).
Podnebne spremembe	International Rivers (2007) states that dams exert a negative impact on climate change by producing dangerous gas - methane (CH₄). In fact, the gas is produced at the bottom of the dam and is released into the air after a sudden pressure drop when water from the dam is released. However, when the gas rises up by itself and becomes in contact with the air, it is converted to CO₂. In addition, according to the Portland Cement Association (2023), the cement manufacturing process is considered to be one of the emitters of carbon dioxide into the atmosphere. However, the same source states that around 60 percent of the carbon dioxide released throughout the cement production process is very gradually absorbed by the concrete surface, when it becomes in contact with air.
Referenčni primer	Galoie and Motamedi (2014) studied the effectiveness of a retention dam located in a small catchment in Austria in terms of flood control. The study revealed that availability of the 215,000 m ³ volume dam is not sufficient enough to reduce inundation extent in all investigated regions, caused as a result of a 100-year return period flood event. In fact, the dam was only able to manage half of the floods, making it necessary to construct another retention dam in this region in order to deal with the rest of the areas that were inundated the most.

Ukrep: protipoplavni zidovi	
Primer ukrepa: Bratislava, Slovaška (Kryžanowski et al., 2014)	 Slika 3. Različne vrste protipoplavnih zidov kot protipoplavni ukrep v mestu Bratislava na Slovaškem: (a) betonski, (b) tesnilna zavesa, (c) armiranobetonski in (d) premični zidovi (Kryžanowski et al., 2014)
Kratek povzetek	Po podatkih FEMA (2013) so protipoplavni zidovi inženirski objekti, običajno grajeni iz armiranega betona in jekla, namenjeni zaščiti stavb na poplavno ogroženih območjih pred visokimi vodami.
Izvedljivost	Kádár (2015) navaja, da postopek namestitve, na primer mobilnih protipoplavnih zidov, običajno ne traja dolgo, saj so posamezni konstrukcijski elementi precej lahki in jih je zato enostavno premikati in prevažati. Za postavitev 300 m dolgega protipoplavnega zidu v enem dnevu je običajno potrebna delovna sila 8 ljudi. Dodatna prednost mobilnih protipoplavnih zidov se nanaša predvsem na možnost ohranjanja izgleda naravne pokrajine, saj se zidovi po poplavnem dogodku odstranijo. Hkrati pa avtorji navajajo tudi številne pomanjkljivosti, na primer, stroški namestitve so razmeroma visoki, poleg tega pa moramo zagotavljati tudi prostor za skladiščenje. Rickard (2009) navaja, da so poplavni zidovi na splošno bolj najugodnih rešitev za poplavno ogrožena območja, kjer je razpoložljiv prostor za druge ukrepe za ublažitev učinka poplav omejen. Poleg tega avtor omenja, da čeprav se ta vrsta protipoplavne zaščite zdi razmeroma močna, je ob mrebitnem prelivanju vode, njena stabilnost ogrožena. Saj zaradi moči vode pri prelivanju pride do poškodb temeljnih tal in povzroči hipno porušitev. Zato je pri načrtovanju in izvedbi problematiki površinske odpornosti temeljnih tal potrebno nameniti posebno pozornost.
Stroškovna učinkovitost	Stroški protipoplavnih zidov so odvisni predvsem od vrste materiala, ki se uporablja za gradnjo protipoplavne zaščite (Rickard, 2009). Po podatkih RetainingWall Solutions (2023) je veliko dejavnikov, ki vplivajo na ceno protipoplavnih zidov, zlasti vrsta uporabljenega materiala, višina konstrukcije, posebne omejitve na lokaciji, značilnosti tal in obseg projekta. Na splošno se cena za 0,675 m visok protipoplavni zid, zgrajen na glinenih tleh, giblje pri približno 300 funtov (342 EUR), medtem ko je gradnja na peščenih tleh že skoraj 350 funtov (399 EUR) za zid enake višine (RetainingWall Solutions, 2023).
Prilagodljivost	V literaturi ni bilo mogoče najti zapisov o pozitivnem ali negativnem vplivu izvedbe protipoplavnih zidov na erozijske procese, zemeljske plazove ali katere druge naravne nevarnosti. Nasprotno pa Rickard (2009) navaja, da je ta vrsta protipoplavne zaščite lahko precej občutljiva na bočno rečnih bregov, saj običajno privede do izgube stabilnosti temeljnih tal in porušitev.
Vzdrževanje	Za zagotavljanje dobrega kondicijskega stanja poplavnih zidov je treba izvajati redne preglede. Pomembno je predvsem zgodnje odkrivanje znakov precejanja vode (npr. peščeni vrelci). Pomembna je tudi kontrola stabilnosti rečnih brežin (erozijska žarišča), redno odstranjevanje plavja, plavin ter biti pozorni na znake živlaske aktivnosti (NRC, 1982). Čeprav protipoplavni zidovi zahtevajo redne preglede in vzdrževanje, je obseg teh v resnici minimalen (Rickard, 2009).

Podnebne spremembe	Dokazov o vplivu protipoplavnih zidov na blažitev podnebnih sprememb nismo našli.
Referenčni primer	Mednarodna organizacija Flood Control International (2023) predstavlja primer protipoplavnega sistema v Wakefieldu v Angliji. Sistem je bil zasnovan za zaščito mesta pred stalnimi poplavami reke Calder. Edinstvena značilnost teh protipoplavnih zidov je, da se upravljajo s posebno glavno nadzorno enoto, ki sistem aktivira takoj, ko senzorji za vodo zaznajo mejno raven vodostaja. Protipoplavna zaščita je bila zgrajena leta 2008 z namenom, da vzdrži po proketu maksimalno predvideno hidravlično obremenitev in dodatnim 30 % varnostnim faktorjem.  Slika 4. Protipoplavna zaščita v mestu Wakefield (Flood Control International, 2023)

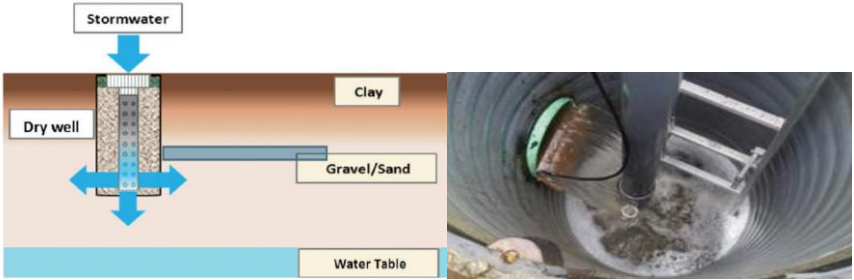
Ukrep: podzemni zadrževalniki za padavinsko vodo	
Primer ukrepa: Gomeznarro Park in Madrid (Climate-ADAPT, 2022).	 Slika 5. Vizualni prikaz podzemnega sistema za zadrževanje padavinske vode (PUB, 2021)
Kratek povzetek	Zadrževalnik meteorne vode je poseben objekt za shranjevanje vode, ki se uporablja za zakasnitev odtoka meteorne vode in zmanjševanju konice poplavnega vala. Po podatkih singapurske nacionalne agencije za vode PUB (2021) je mogoče zadrževalnike razvrstiti v dve kategoriji: nadzemne in podzemne rezervoarje. V tem oddelku je obravnavana druga vrsta.
Izvedljivost	Po podatkih US EPA (2020) je običajno precej zapleteno najti primerno in primerna mesta za umestitev podzemnih zadrževalnikov za padavinsko vodo, saj so območja, ki so pogosto poplavljeni, večinoma prekrita z blatno zemljo in odpadki. Druga težava, s katero se lahko srečamo, je povezana s silami vzgona, ki delujejo na podzemno objekte. Če so podzemni rezervoarji vgrajeni v območja saturirane zemljine, so namreč podvrženi pritisku, ki potiska rezervoar navzgor in povzroča škodo na ceveh, pločnikih in drugih infrastrukturnih elementih, ki se nahajajo nad njim. Zato je pomembno zagotoviti zadostno sidranje in zaščito pred dvigom. V ta namen se lahko vrh rezervoarja obteži npr. z namestitvijo težkih vreče s peskom ali zabojnike s kamni kot dodatno obremenitev, ki lahko prepreči, da bi se konstrukcija dvignila (US EPA, 2020). PUB (2021) navaja, da mora biti sistem zasnovan tako, da lahko po štirih urah, ko pride do poplave, izpusti zbrano vodo v rezervoarju. S tem pa se zagotovi, da je v rezervoarju na voljo prostor za primer, če pride do naslednjega poplavnega dogodka.
Stroškovna učinkovitost	Cena podzemnih rezervoarjev za meteorno vodo je zaradi zapletenega postopka vgradnje in vzdrževanja bistveno višja od cene nadzemnih rezervoarjev. Vendar je lahko ta sistem cenovno ugodnejši na lokacijah, kjer je pridobivanje zemljišč razmeroma drago in kjer je problem z razpoložljivostjo zemljišč (Lakesuperiorstreams, 2009). Tako kot pri številnih drugih ukrepih za ublažitev poplav so stroški sistema zelo odvisni od značilnosti lokacije in lege, vrste materiala rezervoarja, količine prostornine rezervoarja, potrebne za shranjevanje padavinske vode, stroškov dela, količine izkopane zemlje, velikosti cevi in drugih dejavnikov. Na splošno se stroški rezervoarjev UST gibljejo med 3 in 10 dolarji na ft³ skladiščene prostornine, kar pomeni skoraj 97-325 EUR/ m³ (Lakesuperiorstreams, 2009).
Prilagodljivost	V literaturi ni bil najden noben vpliv podzemnih zadrževalnikov padavinske vode na zmanjšanje tveganja za katero koli drugo nevarnost.
Vzdrževanje	V zvezi z vzdrževanjem je v poročilu Lakesuperiorstreams (2009) navedeno, da je treba vsak mesec opraviti vizualni pregled stanja dovodnih in odvodnih cevi ter pregledati stanje zapornic in zasunov, da se na njih ne naberejo smeti in plavine. Poleg tega je treba v primeru popravil katerega koli elementa to storiti pravočasno, da se izključi nevarnost slabega delovanja rezervoarja med poplavami. Prav tako je priporočljivo vsaj enkrat letno mehansko odstraniti vse nakopičene usedline. Če je za čiščenje padavinske vode vgrajen filtrirni sistem, mora biti podjetje, ki ga izdeluje, odgovorno za preverjanje njegovega pravilnega delovanja.

Podnebne spremembe	V literaturi ni bil ugotovljen noben poseben vpliv na podnebne spremembe.																								
Referenčni primer	Shin et al. (2022) so v raziskavi preverili učinkovitost umeščanja podzemnih zadrževalnikov za padavinsko vodo v najbolj urbaniziranih regijah porečja Oncheon v Koreji. Študija je pokazala njihovo učinkovitost pri zmanjševanju konic poplavnih valov in posledično njihovo vlogo pri zaščiti poplavno ogroženih območij. Za visoke vode s 200-letno povratno dobo je bilo na primer ugotovljeno približno 56-, 55- in 53-odstotno zmanjšanje izpusta poplav v potoku Sa-jik (ON-6), pred potokom Geo-je (ON-7) oziroma po potoku Geo-je (ON-8) (slika 5). Na splošno je bilo za vse obravane poplavne dogodke različnih povratnih dob ugotovljeno, da je bilo zmanjšanje obsega poplavljanja na vseh preiskovanih območjih vsaj 40-odstotno. Največje zmanjšanje območja poplavljanja je bilo ugotovljeno za 200- in 300-letne povratne dobe (88 oziroma 79 odstotkov).  <table><caption>Data for Slika 1: Zmanjšanje konice po vgradnji podzemnih zadrževalnikov</caption><tr><th>Design frequency (year)</th><th>ON-6 (%)</th><th>ON-7 (%)</th><th>ON-8 (%)</th></tr><tr><td>200</td><td>56</td><td>55</td><td>53</td></tr><tr><td>300</td><td>54</td><td>52</td><td>50</td></tr><tr><td>500</td><td>50</td><td>48</td><td>46</td></tr><tr><td>800</td><td>48</td><td>46</td><td>44</td></tr><tr><td>1000</td><td>46</td><td>44</td><td>42</td></tr></table> Slika 1. Zmanjšanje konice po vgradnji podzemnih zadrževalnikov za padavinsko vodo v vodotoku Sa-jik (ON-6), gorvodno of Geo-je (ON-7) in dolvodno pod Geo-je (ON-8) (Shin et al., 2022)	Design frequency (year)	ON-6 (%)	ON-7 (%)	ON-8 (%)	200	56	55	53	300	54	52	50	500	50	48	46	800	48	46	44	1000	46	44	42
Design frequency (year)	ON-6 (%)	ON-7 (%)	ON-8 (%)																						
200	56	55	53																						
300	54	52	50																						
500	50	48	46																						
800	48	46	44																						
1000	46	44	42																						

Ukrep: prepustni betonski pločniki	
Primer ukrepa: parkirišča Finley Stadium, Chattanooga, Tennessee (US EPA, 2013).	 <i>Slika 2. Prepustni beton (Upper Midwest Water Science Center, 2019)</i>
Kratek povzetek	S širjenjem urbaniziranih območij se povečuje tudi število nepropustnih površin. Ob poplavah ima mestni drenažni sistem pomembno vlogo pri odvajanju odvečne padavinske vode z ulic (Huang et al., 2020). Ker pa je veliko površin, ki ne omogočajo infiltracije padavinske vode, je ob prevelikem dotoku presežena požiralna sposobnost drenažnega sistema (Bae in Lee, 2020; Mu et al., 2021). Kar še dodatno poslabša odtočne razmere na urbanih površinah. Prepustne mestne površine (prepustne betonske površine) so tako pozitiven ukrep pri zmanjševanju konice odtoka, saj zaradi infiltracije padavinske vode omogočajo zadrževanje padavinske vode v tleh in razbremenitev sistema odvodnje meteorne vode (Ma et al., 2020; Qin et al., 2013).
Izvedljivost	Zamenjava obstoječih pozidanih površin in izvedba prepustnih betonskih površin bi zahtevala obsežna gradbena dela na veliki površini urbaniziranih območij, kar močno omejuje izvedbo in je skorajda nemogoče. Zato je na tej točki smiselno izbrati manjše površine, kot so parkirišča in kolesarske poti. Poleg tega je treba za uspešnost tega ukrepa tudi izbrati območja, kjer temeljna tla sestavljajo zemljine in kamnine z visoko infiltracijsko sposobnostjo. (Bezak et al., 2021). Kar zadeva življenjsko dobo, je po podatkih (Green Building Alliance, 2023), pričakovana življenjska doba prepustnega betona med 20 do 40 let.
Stroškovna učinkovitost	Stroški prepustnega betona običajno vključujejo stroške vgradnje prepustnih površin in njihovega nadaljnjega vzdrževanja (Bezak et al., 2021). Agencija za okolje (2015) navaja, da se stroški izvedbe prepustnih površin gibljejo med 34 in 46 EUR na m² površine. Prednosti so običajno naslednje: zmanjšanje odtoka, bogatenje podtalnice in zmanjšanje temperature na betonski površini (Green Building Alliance, 2023). Kalkulator za upravljanje padavinskih voda CNT, (2020a) navaja, da stroški gradnje prepustnih parkirišč, pločnikov in ulic v Združenih državah Amerike znašajo 8,68 dolarja na ft² (~0,0929 m²), kar je 67,9 EUR na m², letni stroški vzdrževanja pa znašajo 0,02 dolarja na ft² (~0,2 EUR na m²).
Prilagodljivost	US EPA (2021a) navaja, da lahko prepustne betonske površine pripomorejo k odstranjevanju onesnaževal iz padavinske vode. Odvisno vgrdnje soljev pod prvim slojem betona se lahko zardi filtracije koncentracija onesnaževal v vodi zmanjša. Razen tega v literaturi ni bilo mogoče najti posebnega vpliva betonskih tlakovcev na katero koli nevarnost.
Vzdrževanje	Pri vzdrževanju prepustnega betonskih površin je treba upoštevati možnost mašenja por z onesnaževali (Kryeziu et al., 2013). Zaradi zamašitve por se zmanjšuje prepustnost materiala, kar vodi do skrajševanja življenjske dobe (Kia et al., 2017). Električno sesanje in pranje pod pritiskom sta dve glavni tehniki vzdrževanja prepustnega betona. Obe metodi preprečujeta zamašitev por in omogočata vzdrževanje poroznosti primerne za zagotavljanje pronicanje padavinske vode v globlje plasti tal (Kryeziu et al., 2013).
Podnebne spremembe	Prepustni pločniki so znani kot eden od dejavnikov, ki prispevajo k zmanjšanju tako imenovanega učinka toplotnega otoka v mestih. Haselbach (2009) je ugotovil, da je pri uporabi prepustnega betona s 23-odstotno poroznostjo stopnja prenosa toplote pri neprepustnem pločniku za 41 odstotkov večja kot pri prepustnem. Študija je zaključila, da lahko prepustni beton zmanjša učinek

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

	toplotnega otoka z izhlapevanjem vode iz njegovih por. Kot je bilo že omenjeno v poglavju za betonske jezovne zgradbe, je znano, da je cement kot en izmed sestavin betona med proizvodnim procesom tudi eden od povzročiteljev emisij ogljikovega dioksida v ozračje (Portland Cement Association, 2023), kar lahko negativno vpliva na podnebne spremembe.
Referenčni primer	Prikazana je študija primera mesta Shoreview, kjer se prepustni beton za cestne pločnike uporablja od leta 2009. Pred letom 2009 je mesto izvajalo konvencionalno hidravlično infrastrukturo za upravljanje odtekanja padavinske vode, vendar so za spodbujanje bolj trajnostne zasnove mesta in zmanjšanje pritiska zaradi presežka padavin uvedli prepustne pločnike. Študija je pokazala, da so stroški tradicionalnih betonskih tlakovcev bistveno višji od stroškov prepustnih tlakovcev. Na splošno ima prepustni beton zaradi svoje sposobnosti infiltracije vode precejšnjo prednost pred nepropustno alternativo. Vendar pa se je po drugi strani pokazalo, da se učinkovitost prepustnih pločnikov sčasoma zmanjšuje zaradi zamašitve, kar kaže na potrebo po stalnem vzdrževanju in nadzoru (Izevbekhai and Schroeder, 2017).

Ukrep: infiltracijski vodnjaki/suhi jaški	
Primer ukrepa: Oregon, Arizona, Washington (Elk Grove, 2023).	 Slika 3. Suhi jašek (City of Elk Grove, 2023)
Kratek povzetek	Infiltracijski jašek, imenovan tudi suhi jašek ali perkolacijski jašek, je poseben podzemni sistem, sestavljen iz enega glavnega jaška in spremljajočih objektov, ki omogočajo zbiranje padavinske odpadne vode. Sistem omogoča, da se presežne količine padavinske vode shranijo v jašek, nato pa se počasi sproščajo v okoliška tla (City of Elk Grove, 2023; DWA, 2005).
Izvedljivost	Sasidharan et al. (2021) so proučevali učinkovitost suhih vodnjakov in infiltracijskih bazenov za blažitev poplav. Študija je pokazala več prednosti suhih jaškov pred infiltracijskimi bazeni, saj na primer zavzemajo manjšo površino, kar precej olajša postopek pridobivanja zemljišč. Poleg tega Sasidharan et al. (2021) trdijo, da suhi jaški ne kvarijo estetskega videza mestnih parkov, ulic in drugih krajev, saj so običajno videti kot komunalne luknje. Poleg tega suhi jaški v primerjavi z infiltracijskimi bazeni omogočajo, da se voda pred vstopom v jašek predhodno obdelja, brez da bi to pomenilo dodatno omejitev pri delovanju. Glede na izkušnje iz mesta Elk Grove (2023), je treba v fazi načrtovanja preučiti možnosti in izbrati ustrezno lokacijo za postavitev jaškov za umestitev infiltracijskih jaškov. Da bi zmanjšali tveganje onesnaženja podtalnice, jaškov ni priporočljivo umestiti na območja v bližini bencinskih črpalk ali drugih objektov, v katerih se uporabljajo ali skladiščijo nevarne snovi. Prav tako naj se ne umeščajo na območja močno onesnaženih zemljin, s tem se izključi tveganje, da bi onesnaževala tal vstopila v suhi jašek. Poleg tega je za zmanjšanje koncentracije nevarnih onesnaževal potrebna predhodna obdelava padavinske vode.
Stroškovna učinkovitost	Po podatkih Kalkulatorja za upravljanje padavinskih voda CNT, (2020a) je povprečni investicijski strošek gradnje suhega jaška v Združenih državah Amerike skoraj 250 dolarjev (~230 EUR), najvišji strošek pa znaša približno 5,000 dolarjev (~4,600 EUR). Stroški vzdrževanja suhega jaška pa znašajo 20 dolarjev na leto, kar je skoraj 18,4 evra na leto. Življenjska doba te infrastrukture za zmanjševanje poplavne ogroženosti je približno 70 let. Stroški so seveda odvisni tudi od velikosti suhega jaška. Na primer, v Združenih državah Amerike se stroški za 1 500-galonski jašek MaxWell Type IV (~5,7 m³) in 2 500-galonski jašek MaxWell Plus (~9,6 m³) gibljejo med skoraj 25 750-32 200 oziroma 34 950-41 400 evri (Sasidharan et al., 2021; Torrent Resources, 2023). V zvezi z učinkovitostjo tega ukrepa je bilo prav tako s kalkulatorjem za upravljanje padavinskih voda določeno število suhih jaškov s prostornino 265 galonov (~1 m³), potrebnih za približno 90-odstotno zmanjšanje odtoka padavinskih voda na ročno določenem območju. Značilnosti območja so predstavljene na sliki 8:

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

	Total Land Use <table> <tr> <th>Land Use</th><th>Original Area</th><th>Area including BMP(s)</th></tr> <tr> <td>Total Impervious Area</td><td>1,885 ft²</td><td>1,885 ft²</td></tr> <tr> <td>Flat Roof</td><td>400 ft²</td><td>400 ft²</td></tr> <tr> <td>Pitched Roof</td><td>900 ft²</td><td>900 ft²</td></tr> <tr> <td>Sidewalk</td><td>585 ft²</td><td>585 ft²</td></tr> <tr> <td>Total Landscape Area</td><td>4,190 ft²</td><td>4,190 ft²</td></tr> <tr> <td>Lawn/Turf</td><td>3,850 ft²</td><td>3,850 ft²</td></tr> <tr> <td>Flower Bed/Garden</td><td>340 ft²</td><td>340 ft²</td></tr> <tr> <td>Total BMP Area</td><td></td><td>0 ft²</td></tr> <tr> <td>Total Lot Area</td><td>6,075 ft²</td><td>6,075 ft²</td></tr> <tr> <td>Other Volume Control</td><td></td><td>530 gallons</td></tr> <tr> <td>Drywell</td><td></td><td>530 gallons</td></tr> </table>	Land Use	Original Area	Area including BMP(s)	Total Impervious Area	1,885 ft ²	1,885 ft ²	Flat Roof	400 ft ²	400 ft ²	Pitched Roof	900 ft ²	900 ft ²	Sidewalk	585 ft ²	585 ft ²	Total Landscape Area	4,190 ft ²	4,190 ft ²	Lawn/Turf	3,850 ft ²	3,850 ft ²	Flower Bed/Garden	340 ft ²	340 ft ²	Total BMP Area		0 ft ²	Total Lot Area	6,075 ft ²	6,075 ft ²	Other Volume Control		530 gallons	Drywell		530 gallons	Za območje na sliki 8 je bilo ugotovljeno da pri povprečni letni količini padavin približno 830 mm oz pri 59 mm na nevihto sta potrebna dva infiltracijska jaška, da se količina odtoka zmanjša za 90 odstotkov. Prostornina posameznega jaška pa je bila približno 1 m³.
Land Use	Original Area	Area including BMP(s)																																				
Total Impervious Area	1,885 ft ²	1,885 ft ²																																				
Flat Roof	400 ft ²	400 ft ²																																				
Pitched Roof	900 ft ²	900 ft ²																																				
Sidewalk	585 ft ²	585 ft ²																																				
Total Landscape Area	4,190 ft ²	4,190 ft ²																																				
Lawn/Turf	3,850 ft ²	3,850 ft ²																																				
Flower Bed/Garden	340 ft ²	340 ft ²																																				
Total BMP Area		0 ft ²																																				
Total Lot Area	6,075 ft ²	6,075 ft ²																																				
Other Volume Control		530 gallons																																				
Drywell		530 gallons																																				
Prilagodljivost	Infiltracijski vodnjaki predstavljajo dobro rešitev za bogatenje zalog vode v podtalnici. Leta 2005 je bila v Los Angelesu izvedena 10-letna študija, katere namen je bil ugotoviti učinkovitost infiltracijskih vodnjakov. Ugotovljeno je bilo, da bi lahko v tej regiji zgolj z uporabo teh vodnjakov skupno oskrbeli kar 750 000 z vodo za potrebe gospodinjstev (City of Elk Grove, 2023).																																					
Vzdrževanje	Podobno kot številni drugi ukrepi za zmanjševanje poplav tudi infiltracijski vodnjaki potrebujejo redno vzdrževanje. Pomembno je redno odstranjevanje plavin, mulja in zarasti ter drugih snovi, kot na primer smeti. S tem zagotovimo, da v jašku ne bo zastajala voda (Torrent Resources, 2023). V literaturi Elk Grove, (2023) navajajo, da je pred vtokom padavinske vode v vodnjak potrebno predčiščenje. S tem se zmanjša koncentracija nevarnih onesnaževal, ki bi lahko povzročile onesnaženja podtalnice. DWA, (2005) navaja, da se lahko v infiltracijski jašek vgradi tudi filtrirna membrana, ki služi kot element predčiščenja meteorne vode.																																					
Podnebne spremembe	V literaturi ni bil ugotovljen noben vpliv infiltracijskih vodnjakov na podnebne spremembe.																																					
Referenčni primer	Študija Sasidharana et al.(2021) je obravnavala delovanje 38 m globokega infiltracijskega vodnjaka in 70 m širokega ponikovalnega polja s skupno površino 3 847 m². Primerjava obeh ukrepov za zmanjšanje poplavne ogroženosti je pokazala, da lahko že izvedba petih infiltracijskih vodnjakov bistveno bolj vpliva na količino površinskega odtoka kot eno sam ponikovalno polje. študija tako nakazuje na prednost infiltracijskih vodnjakov v primerjavi z izvedbo ponikovalnih polj. Sasidharan et al. (2018) so analizirali delovanje sistema Maxwell Type IV, na dveh lokcijah v Kaliforniji: Fort Irwin in Torrance. Prvi je nacionalni center za usposabljanje, drugi pa komercialna organizacija. Študija je pokazala, da je učinkovitost infiltracije zelo odvisna od hidravlične prevodnosti tal. Ugotovljeno je bilo, da je prvi infiltracijski jašek v obdobju približno 18 ur na lokaciji Fort Irwin lahko infiltriral skoraj 53,2 m³, drugi pa le 12,6 m³. Glede na dane značilnosti obeh vodnjakov so avtorji študije zaključili, da je bil vodnjak Torrance zaradi manjše hidravlične prevodnosti manj učinkovit, kar bi lahko povzročilo celo zamašitev jaška in posledično prelivanje.																																					

Poplave – Zeleni ukrepi

Ukrep: pogozdovanje	
Primer ukrepa: United Kingdom (Open Access Government, 2022).	 <i>Slika 4. Pogozdovanje v Združenem kraljestvu (Open Access Government, 2022)</i>
Kratek povzetek	Pogozdovanje je proces spreminjanja kmetijskih, marginalnih ali drugih vrst zemljišč v gozdove. Pri tem se lahko zaradi širjenja drevesne odeje na območjih, kjer prej ni bilo dreves, zmanjšata koncentracija ogljika v zraku in maksimalni odtok ob poplavah (Arora and Montenegro, 2011; Johnen et al., 2020).
Izvedljivost	Za izvajanje tega ukrepa je treba najprej izbrati primerno zemljišče, na katerem bo potekalo pogozdovanje in tega pripraviti. Nato se izberejo primerne drevesne vrste in ustrezna gnojila glede na izbrano vrsto vegetacije. Ko so drevesa posajena, jih je treba v prvih letih vzdrževati (Climate-ADAPT, 2020).
Stroškovna učinkovitost	Pogozdovanje kot ukrep za ublažitev poplav je obravnavano v delih Johnen et al. (2020) in Bezak et al. (2021). V obravnavanih prispevkih so proučevali ukrep pogozdovanja z vidika njegove učinkovitosti pri obvladovanju poplavne ogroženosti. Johnen et al. (2020) so izvedli analizo stroškov in koristi učinek širjenja drevesne zarasti na maksimalne pretoke v reki Glinščici za tri povratne dobe: 2, 10 in 25 let. Opazili so, da se lahko s 15-60-odstotnim pogozdovanjem višek poplavne vode zmanjša za 9-14 odstotkov. Za 2-, 10- in 25-letno povratno dobo se je poplavna konica zmanjšala za 14, 10 oziroma 9,5 odstotka. V tem primeru se torej lahko zmanjšajo tudi gospodarske izgube, saj je obseg poplavljenega območja zaradi pogozdovanja manjši. Johnen et al. (2020) so tudi ugotovili, da je med tremi preučevanimi povratnimi dobami pri 25-letni povratni dobi vpliv pogozdovanja najbolj prispeval k zmanjšanju poplavne škode. Pri tem so bili začetni stroški škode za obstoječe stanje rabe tal izračunani na približno 610752 evrov, medtem ko je bila s širjenjem gozdne površine gorvodno, dolvodno in tudi na celotnem območju skupna škoda zaradi poplav bistveno manjša. Zaradi povečanja gozdnih površin v zgornjem, spodnjem toku in na obeh odsekih skupna škoda zmanjšala za 78 %, 65 % oziroma 80 %. Hkrati pa je skupna škoda pri drugih dveh povratnih dobah za vse scenarije nižja in tudi ugodni učinek pogozdovanja je manj opazen. Poleg tega so v študiji analizirala učinkovitost treh različnih scenarijev pogozdovanja na različne ekosistemske storitve. Johnen et al., (2020) so na primer prepoznali pozitiven učinek pogozdovanja na biotsko raznovrstnost, kakovost vode in koncentracijo ogljika. Glede stroškov je so ugotovili, da je za 1 ha (10000 m ²) zemljišča potrebnih zasaditi približno 3500 dreves. Ob upoštevanju dejstva, da je strošek posaditve vsakega drevesa približno 1 EUR, bi skupni stroški za 3500 dreves na 1 ha znašali približno 3500 EUR. Povprečna cena obdelovalnih površin, ki jih je mogoče uporabiti za pogozdovanje, pa je znašala približno 60000 EUR/ha.
Prilagodljivost	Z zmanjševanjem vsebnosti vlage v tleh drevesa prispevajo k zmanjšanju verjetnosti zemeljskih plazov. Korenine dreves delujejo kot stabilizacijski element pri površinskih pomikih tal, hkrati pa utrjujejo plasti tal in pritrjujejo tla na podlago. Poleg tega lahko gozdovi preprečijo tudi padanje kamenja in ruševin, skrajšajo dolžino izteka zemeljskih plazov in zmanjšajo tveganje erozije tal (RECOFTC, 2012). Vendar Forbes in Broadhead (2013) navajata, da to velja le za plitve zemeljske plazove.

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

Vzdrževanje	Po podatkih Climate-ADAPT (2020) je v prvem letu po pogozdovanju povprečni strošek vzdrževanja drevesne odeje približno 300 EUR na ha, že v tretjem letu pa se lahko stroški zmanjšajo na 100 EUR na ha. Na splošno je treba postopek vzdrževanja izvajati v prvih 3-5 letih.
Podnebne spremembe	Po podatkih Združenih narodov je pogozdovanje eden najučinkovitejših ukrepov za blažitev podnebnih sprememb (Arora in Montenegro, 2011). Znano je, da drevesa absorbirajo ogljikov dioksid, kar pripomore k blaženju vpliva proti podnebnih sprememb. Kot primer, mestno zelenje predela 0,8 tone CO₂ na hektar zelene površine na leto (CNT, 2020b). Hkrati je znano, da v luči podnebnih sprememb drevesna zarast tudi zmanjšuje površinski odtok padavinske vode, kar je tudi pozitiven učinek. Kar je zelo pomemben učinek, saj eden ključnih vplivov podnebnih sprememb prav povečana količina ekstremnih padavinskih dogodkov in posledično povečanje pogostosti in obsega poplav. Gozdovi s pomočjo prestrezanja padavin običajno zmanjšajo določeno količino padavin, ki bi potencialno lahko dosegle tla in povzročile presežno količino odtoka (Zabret in Šraj, 2015). N
Referenčni primer	Izpostavimo lahko študijo na primeru zgornjega porečja reke Chao Phraya na Tajskem. Študija je bila izvedena ne le za preučitev učinka pogozdovanja na poplavno ogroženost, temveč tudi za primerjavo z učinkom podnebnih sprememb. Avtorji študije so ugotovili, da lahko pogozdovanje pozitivno vpliva na zmanjšanje poplav, vendar je ta vpliv razmeroma majhen, če ga primerjamo s hitrostjo globalnega segrevanja, s katero se soočamo danes (Takata in Hanasaki, 2020).

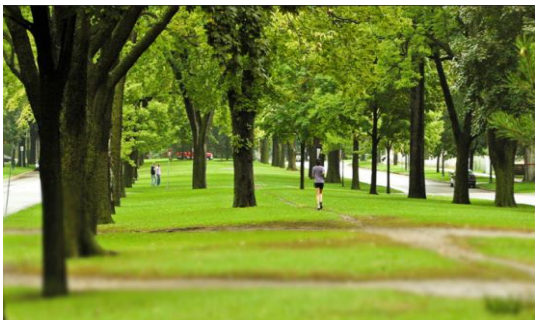
Ukrep: ponovno vzpostavljajanje rečnih meandrov in ponovna vzpostavitev poplavnih ravníc	
Primer ukrepa: Nijmegen, Nizozemska (World Landscape Architecture, 2017).	 Slika 5. Prostor za reko, Nijmegen, Nizozemska (World Landscape Architecture, 2017)
Kratek povzetek	Preurejanje rečnih strug iz meandrov v ravne kanalizirane struge je ukrep iz preteklosti, za katerega dandanes vemo, da prinaša veliko negativnih učinkov na okolje. Poleg tega pa se ravnih strugah vodotokov razvijajo višje hitrosti vodnega toka, kar v dolvodnih območjih odsekov privede do poslabšanja poplavnega stanja. Zaradi številnih negativnih posledic se je marsikje začelo obnavljanje rek, da bi se reke vrnile v prvotno stanje in s tem ublažile posledice poplav (Bechtol in Laurian, 2005).
Izvedljivost	Vračanje rek v njihovo naravno stanje je lahko precej problematično, kadar gre za mestna območja, saj v mestih običajno ni dovolj razpoložljivega prostora za naravne rečne meandre (Guimarães et al., 2021).
Stroškovna učinkovitost	Ponovno vzpostavljajanje rečnih koridorjev z meandri na rekah, ki so bile v preteklosti kanalizirane ima pozitiven vpliv na njihovo morfološko stabilnost, zmanjša se padec reke in hitrost toka, s tem pa se zmanjša tveganje erozije bregov in količina prenesene vode na časovno enoto. Poleg tega meandriranje rek spodbuja biološko in hidrološko diverzifikacijo rek (Bechtol and Laurian, 2005). Glede stroškov so Szalkiewicz et al.(2018) analizirali 119 projektov obnove rek v Evropi, osredotočili so se tudi na višine naložb v ponovno vzpostavitev naravnih koridorjev rek. Ugotovili so, da je bil povprečni strošek obnove reke v Evropi 310000 EUR na hektar.
Prilagodljivost	Obnova poplavnih območij lahko omogoči odlaganje sedimentov v reki in zmanjša hitrost odlaganja naprej po toku reke, saj omogoča odlaganje sedimentov na samem poplavnem območju. Zaradi odlaganja sedimentov se lahko izboljšata kakovost in rodovitnost tal. Z izvedbo dodatnih ukrepov, kot na primer umeščanja kamnitih zložb, jezov, utrditev v poplavne ravnice na mestih, ki so erozijsko ogrožena, lahko zaščitimo ta območja pred močjo vodnega toka. Poleg tega se lahko v poplavne ravnice umešča tudi mokrišča in poplavne gozdove (Natural Water Retention Measures, 2013).
Vzdrževanje	Vzdrževanje rečnih koridorjev običajno vključuje naslednje dejavnosti: popravila in vzdrževanje dna rečne struge, odstranjevanje in nadzor rasti vegetacije, redne vizualni pregledi, odstranjevanje smeti in ovir ter druge dejavnosti. Po podatkih Agencije za okolje (2015) so stroški odvisni predvsem od načina izvajanja tega postopka, zlasti od tega, ali se izvaja ročno ali mehansko. V okviru rednih vzdrževalnih del so stroški mehanskega čiščenja običajno nižji od stroškov ročnega čiščenja. Stroški strojnega čiščenja se običajno gibljejo med 1680-17096 dolarji na km letno, kar pomeni skoraj 1,6-15,7 EUR/m/leto, pri stroških ročnega čiščenja pa je ta znesek med 5730-51311 dolarjev na km na leto (~5,3-47,2 EUR/m/leto). Poleg tega isti vir navaja, da so stroški vzdrževanja reke odvisni tudi od končnega stanja reke, ki naj bi ga dosegli. Poleg tega pa izvedba dodatnih raziskav in pregledov vzdolž reke običajno pomeni dodatne stroške, ocenjene na približno 4049 dolarjev na km (~3,7 EUR/m). Poleg tega lahko v skladu z ukrepi za naravno zadrževanje vode (2013) stroški vzdrževanja pri obnovi poplavnega območja običajno znašajo od 0,5 do 1,5 odstotka stroškov naložbe.

Podnebne spremembe	Projekti obnove poplavnih območij v velikem obsegu lahko močno vplivajo na podnebne razmere. Obnova poplavnih območij lahko vpliva na količino padavin in najvišje temperature, ki so posledica sprememb rabe tal in zlasti praks pogozdovanja. Obsežno pogozdovanje lahko vpliva na stopnjo evapotranspiracije, kar običajno vodi k večji količini padavin. Zaradi povečane evapotranspiracije se lahko znižajo najvišje temperature. Poleg tega se v tem primeru kmetijska in umetna zemljišča običajno spremenijo v gozdove, zato se zaradi procesa fotosinteze absorbira več ogljikovega dioksida, kar lahko privede do blaženja podnebnih sprememb (Natural Water Retention Measures, 2013). Po podatkih GeoForschungsZentrum Potsdam in Helmholtz Centre (2021) so meandrirajoče naravne reke v primerjavi z ravnimi rečnimi strugami, ki jih je ustvaril človek, bolj sposobne odstranjevati CO₂ iz zraka. Namreč naravne reke delujejo na veliko širši prostor, z erozijskimi procesi s svojih naravnih poplavnih površin odnašajo material, tudi ogljik, dolvodno proti morju. Umetno ustvarjene kanalizirane reke pa povzročajo razgradnjo ogljika nazaj v ogljikov dioksid, kar omogoča, da se skozi rečni odsek pretaka le suspendirano breme.
Referenčni primer	Projekt z naslovom "Prostor za reko" na Nizozemskem je primer, pri katerem je bila izvedena obnova reke. Glavni cilj projekta je bil povečati kapaciteto rečnega odtoka z izvedbo posegov v rečni prostor 35 različnih lokacijah na reki Ren. To je bilo doseženo z znižanjem dna struge Rena v kombinaciji z naslednjimi ukrepi razširitev reke, umestitev nasipov na večji razdalji od reke, znižanje kote poplavnih površin, itd. Skupni investicijski stroški projekta so znašali približno 2,64 milijarde dolarjev, kar pomeni skoraj 2,4 milijarde evrov (Aerts, 2018). Bechtol in Laurian (2005) sta kot primer trajnostnega zmanjševanja poplavne ogroženosti prikazala projekt zaščite pred poplavami na reki Nape. Ta študija je pokazala, kako je mogoče z vzpostavitev prvotnega stanja poplavnih območij in vzpostavitev meandrov ublažiti posledice poplav (Bechtol and Laurian, 2005).

Ukrep: dežni vrt	
Primer ukrepa: St. Paul campus rain garden (The University of Minnesota) (Asleson et al., 2010).	 <i>Slika 6. Dežni vrt (NOAA's Office for Coastal Management, 2015)</i>
Kratek povzetek	Dežni vrt je majhen vrt z zasajenimi grmovnicami, cvetjem, travo in drugo vegetacijo, ki se običajno nahaja na nizko ležečih območjih pod pobočjem s katerega zbira odtekajočo padavinsko vodo (NOAA's Office for Coastal Management, 2015). Deževni vrtovi so zasnovani tako, da lahko sprejmejo odvečne količine vode s streh, cest, zelenic in drugih površin ter jo posledično infiltrirajo v tla (Groundwater Foundation, 2022).
Izvedljivost	Deževne vrtove je smiselno umeščati v bližino stavb, na ta način omogočajo zajem odtekajoče padavinske vode s streh, travnikov, pločnikov ... Za izgradnjo deževnega vrta je pomembno nadomestiti naravno zemljo s porozno, kar omogoča razrast vegetacije in infiltracijo odvečne količine vode. Preprečiti pa moramo pojav pogojev ugodnih za razvoj komarjev, zato morajo imeti tovrstni vrtovi zadostno sposobnost sušenja po padavinskem dogodku (Qin, 2020).
Stroškovna učinkovitost	Stroški izgradnje dežnih vrtov so odvisni od izbire rastlinskih vrst, površine vrta, vrste tal itd. Poleg tega so stroški odvisni tudi od tega, ali je vrt gradimo sami ali pa je za izvedbo zadolžen zunanji izvajalec, na primer podjetje za urejanje okolice. Pri najemu zunanjega izvajalca se stroški postavitve gibljejo med 10 in 15 dolarji na kvadratni čevelj (skoraj 100-150 evrov na m²), pri lastni izvedbi pa med 3-5 dolarji na kvadratni čevelj, kar znaša skoraj 30-50 evrov na m² (Groundwater Foundation, 2022). Po podatkih Kalkulatorja za upravljanje padavinskih voda CNT, (2020a) znašajo investicijski stroški gradnje 100 ft² (~9,3 m²) velikega deževnega vrta v Združenih državah Amerike skoraj 607 dolarjev, kar je skoraj 558 evrov, medtem ko stroški vzdrževanja vrta z enako površino znašajo 41 dolarjev na leto (~37,7 evra na leto). V tem primeru isti vir navaja, da je življenjska doba deževnega vrta 22,5 leta. Na splošno velja, da so dežni vrtovi učinkovit način uravnavanja odtoka, saj zbirajo padavinsko vodo in omogočajo njeno infiltracijo globoko v zemljo, s čimer se bogati podtalnica. Hkrati lahko vegetacija pomaga filtrirati vodo pred onesnaževali, kot so gnojila, umazanija, smeti, strojna olja, ki se nabirajo v vodi, medtem ko ta teče po vrhovih dovoznih poti, strehah in drugih poteh (NOAA's Office for Coastal Management, 2015).
Prilagodljivost	V literaturi nismo našli posebej zabeleženih posebnih dokazov o učinkovitosti deževnih vrtov pri zmanjševanju tveganja drugih nevarnosti. Vendar pa je v nekaterih virih zaslediti navedbo sekundarnih funkcij, kot so odstranjevanje usedlin in onesnaževal v odtoku padavinske vode (Dietz in Clausen, 2005; Groundwater Foundation, 2022).
Vzdrževanje	Dežnih vrtovih običajno ne potrebujejo gnojil ali pesticidov, razen v prvem letu, saj se v njih zasadijo avtohtone rastlinske vrste. Na splošno je treba v prvih nekaj letih, odstranjevati nepotreben plevel, odmrle rastline in drugo vegetacijo, ki lahko prepreči trajnostno rast ciljnih rastlinskih vrst in poslabša estetiko. Ko se bodo avtohtone rastline dodobra ukoreninile in zarastle, bodo lahko same izpodrinile plevel. Poleg tega bo v prvih letih v primeru pomanjkanja padavin morda treba vrtove zalivati, da se ohrani normalna rast rastlin (Groundwater Foundation, 2022).
Podnebne spremembe	Ustrezne literature, ki bi kazala na pomemben vpliv deževnih vrtov na blažitev podnebnih sprememb, nismo našli.
Referenčni primer	Dietz in Clausen (2005) sta preučevala učinkovitost dežnih vrtov z vidika zmanjšanja odtoka padavinske vode v Haddamu. Ugotovila sta, da je lahko ta

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

	ukrep zelo učinkovit pri zmanjševanju vpliva poplav, saj je študija pokazala, da se 98,8 odstotka vode, ki je prišla s strehe, infiltrira v tla.
--	--

Ukrep: mestni parki in mestni gozdovi	
Priemr ukrepa: Danube-Auen National Park in Vienna, Austria; Parkforest in Ghent, Belgium; Forest Ostend in Belgium (Network Nature, 2023).	 <i>Slika 7. Mestni park (Minnesota Pollution Control Agency, 2022)</i>
Kratek povzetek	V preteklih letih se je s širjenjem mest in splošnim urbanim razvojem na mestnih območjih pojavil trend sekane dreves in odstranjevanja rastlinske odeje s tal, hkrati pa se je povečalo število neprepustnih površin, kar je posledično povzročilo občutno povečanje odtoka padavinske vode in posledično nastanek urbanih poplav. Vendar imajo drevesa pomembno vlogo v kroženju vode, zlasti njihove krošnje lahko prestrežejo deževnico in omogočijo, da del deževnice izhlapi nazaj v ozračje, drevesne korenine pomagajo odtekanju padavinske vode prodreti globlje v tla in izboljšajo sposobnost zadrževanja vode v tleh (Kuehler et al., 2017).
Izvedljivost	Nepropustne mestne površine, kot na primer dovozne poti, so sestavni del mestnega okolja in zato je precej težko odstraniti vse nepropustne mestne površine, ki povečujejo odtok padavinske vode. Iz tega vidik ima umeščanje mestni gozdov omejen učinek, saj se sami po sebi ne bodo mogli spopasti s problemom urbane odvodnje (Kuehler et al., 2017). Kuehler et al. (2017) tudi omenjajo, da so lahko mestni gozdovi le v kombinaciji z drugimi tehnikami za zmanjšanje količine padavinske vode prepoznavni kot uspešen ukrep.
Stroškovna učinkovitost	McPherson et al. (2005) navaja, da je na primer v Združenih državah Amerike povprečna cena posaditve drevesa v mestno okolje med 12,87 in 65 dolarji (11,8 in 60 EUR). Vendar pa po podatkih Kalkulatorja za upravljanje z deževnico CNT, (2020a) investicijski stroški enega drevesa v ZDA znašajo skoraj 250 dolarjev (~230 EUR), medtem ko stroški vzdrževanja drevesa znašajo 180 dolarjev na leto (~165 EUR/leto). Isti vir tudi navaja, da je življenjska doba enega drevesa približno 80 let.
Prilagodljivost	Kot je bilo omenjeno že v poglavju o pogozdovanju, lahko drevesna odeja vpliva le na plitve zemeljske plazove, medtem ko je pri globokih zemeljskih plazovih njen vpliv zanemarljiv. Zlasti pri manjših zemeljskih plazovih se lahko drevesa dodatno zmanjšajo padanje kamenja in utrdijo ter sušijo tla, kar posledično pomaga zmanjšati pritisk vode v zemljini (Forbes in Broadhead, 2013). Poleg tega, kot v svoji študiji navajata Zabret in Šraj (2015), drevesa ublažijo tudi učinek podnebnih sprememb, zlasti z zmanjšanjem količine padavin, ki zaradi procesa prestrezanja dosežejo tla.
Vzdrževanje	Vogt et al. (2015) opozarja na nujnost rednega vzdrževanja mestnih dreves skozi celotno življenjsko dobo, zlasti pa vzdrževalni ukrepi vključujejo obrezovanje, nadzor bolezní in škodljivcev, mulčenje, zalivanje, gnojenje in zagotavljanje podpornega sistema za drevesa. Podporni sistem za drevesa pa pomeni zagotavljanje različnih podpornih struktur za drevesa, kot so kabli ali oporniki, ki pomagajo podpreti deblo drevesa v času, ko je bolj ranljivo, na primer za mlada drevesa, ki so še posebej ranljiva in nestabilna, zlasti na vetrovnih območjih (Vogt et al., 2015). Pomemben korak je tudi zalivanje, brez zadostnega zalivanja drevesa morda ne bodo preživela kritičnih obdobjí, sploh na primer mlada drevesa v prvih letih, ko še razvijajo svoj polni koreninski sistem. Drug pomemben korak vzdrževanja se nanaša na vzdrževanje infrastrukture, in sicer popravila poškodb drenažnih cevi, dovoznih poti, parkirišč in drugih vrst pločnikov, ki jih povzroča koreninski sistem. Poškodovane elementi se popravijo ali nadomestijo z novimi, korenine drevesa pa se po potrebi obrežejo.

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

Podnebne spremembe	Nowak in Crane (2002) navajata, da lahko drevesa v urbanih območjih shranijo skoraj 700 milijonov ton ogljika. Tudi Safford et al. (2013) omenjajo, da mestni gozdovi v ZDA shranijo več kot 708 milijonov ton ogljika, kar po ocenah predstavlja več kot desetino vseh emisij CO ₂ , ki se v državi proizvedejo na leto. Poleg tega drevesa v urbaniziranih območjih ZDA vsako leto absorbirajo tudi 28,2 milijona ton ogljika.
Referenčni primer	Rahman et al. (2023) povzemajo analizo 92 člankov na temo učinkovitosti raziskali mestnega drevja pri obvladovanju poplavne ogroženosti. Analiza je pokazala, da imajo gozdovi v primerjavi z različnimi vrstami rabe tal največji potencial pri zmanjševanju koeficienta odtoka padavinske vode. Izkazalo se je, da so iglavci bolj primerna skupina drevesnih vrst z vidika obvladovanja letne poplavne ogroženosti, zaradi višjih kapacitet transpiracije in prestrezanja. Poudariti je treba, da je kljub temu njihova sposobnost infiltracije v tla slabša od sposobnosti infiltracije listnatih dreves. Na splošno so Rahman in drugi (2023) ugotovili, da je mogoče s 30-odstotnim povečanjem krošenj iglavcev na območjih z večjo količino padavin v hladnem obdobju doseči dodatno 4-odstotno zmanjšanje presežne količine padavinske vode v odtoku, medtem ko naj bi 20-odstotno povečanje zagotovilo enako dodatno zmanjšanje odtoka za območja z izključno vlažnimi podnebnimi razmerami.

Ukrep: infiltracijski ribniki/bazeni	
Primer ukrepa: Lehigh County in Pennsylvania (Pennsylvania Department of Environmental Protection, 2005).	 <i>Slika 8. Infiltracijski bazen (US EPA, 2021b)</i>
Kratek povzetek	Infiltracijski ribnik ali bazen je primer zelenega ukrepa za blažitev poplav, uporabljamo jih za zmanjšanje konic odtoka padavinske vode. Ta je v urbanih območjih pogosto povečan, zaradi povečanega števila nepropustnih površin v urbanih območjih, ki ne omogočajo infiltracije vode v tla (Massmann, 2003).
Izvedljivost	Agencija za okolje (2015) navaja, da je življenjska doba infiltracijskih ribnikov ali bazenov neomejena, vendar le, če se vsakih 5 do 10 let zamenja vrhnji sloj zemlje in opravi obdelava tal. Kot navaja Massmann (2003), je postopek načrtovanja infiltracijskih ribnikov običajno precej zapleten, saj je znano, da so napovedi stopenj infiltracije zelo negotove. Poleg tega je pomembno izbrati prave dimenzije bazena zaradi neugodnih posledic, ki jih lahko povzroči neustrezna zasnova. Zlasti infiltracijski bazen z manjšimi dimenzijami, kot je potrebno, lahko povzroči poplave, nasprotno pa je lahko bazen s prevelikimi dimenzijami relativno neučinkovit glede na količino porabljenega zemljišča in denarja (Massmann, 2003). Glede na US EPA (2021b) je tip tal ena od omejitev za umeščanje ribnikov, saj vsi tipi tal niso primerni, na primer, zelo zbita ali slabo prepustna tla. Poleg tega je treba pred gradnjo preveriti, da je raven podtalnice dovolj nizka, da se lahko odvečna padavinska voda zlahka infiltrira.
Stroškovna učinkovitost	Po navedbah Agencije za okolje (2015), v Združenem kraljestvu strošek izgradnje enega m³ ribnika znaša skoraj 10-15 funtov oz. 11,5-17 EUR. Po podatkih Kinga in Hagana (2011) pa naj bi v Združenih državah Amerike skupni stroški gradnje znašali približno 55.000-85.000 dolarjev na aker zemljišča, oz. skoraj 12,5-19,3 EUR/m². Sasidharan et al. (2021) navajajo, da čeprav se infiltracijski bazeni pogosto uporabljajo za upravljanje odtoka padavinske vode, zgolj ta ukrep še vedno ne more zagotoviti zadostnega zmanjšanja obsega odtoka padavinske vode na urbanih območjih. Poleg tega se z kolmatcijo zmanjšuje njihova učinkovitost, saj se zaradi kopičenja onesnaževal in odlaganja sedimentov na dnu bazena se infiltracijska zmogljivost bazena znatno zmanjša, kar lahko vodi celo do pogostega prelivanja. Nujno je redno vzdrževanje, ki zahteva tudi zadostna finančna sredstva (Sasidharan et al., 2021).
Prilagodljivost	Kot navaja US EPA (2021b), se v infiltracijski bazenih usedajo tudi onesnaževala iz padavinske vode in tako se zmanjšuje njihov vnos v podtalje.
Vzdrževanje	Po podatkih Agencije za okolje (2015) znašajo stroški rednega vzdrževanja približno 0,6 funta na m ² (~0,68 evra na m ²), medtem ko se pri periodičnem (manj pogostem) vzdrževanju na isti površini povzpnejo na 3,0 funta, kar znaša skoraj 3,5 evra. Isti vir na primer navaja, da je ena od praks občasnega/periodičnega vzdrževanja ribnikov odstranjevanje mulja enkrat na tri leta, kar običajno stane približno 500 funtov (~570 evrov) za en infiltracijski ribnik. Poleg tega vir navaja tudi stroške povezane z odstranjevanjem onesnaženih usedlin in sajenjem nove vodne vegetacije. Za te dejavnosti se cena giblje med 50-60 funti in 3-5 funti na m ² (~57-68,5 in 3,4-5,7 evra na m ²). Vendar v poročilu ni navedeno, kako pogosto je treba izvajati ti dve vzdrževalni dejavnosti.

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

	V zvezi z zahtevanimi vzdrževalnimi dejavnostmi za infiltracijske bazene US EPA (2021b) navaja, da je treba v primeru zamašitve, ki povzroči slabo infiltracijsko zmogljivost bazena, zgornjo plast tal zamenjati z novo. Poleg tega je treba izvajati redne preglede, po možnosti enkrat na mesec, s katerimi se preveri, ali so v ponoru ostanki, erodirana območja, stabilnost strukture in po potrebi odstrani pokošena trava. Enkrat na pet let je treba pregledati, ali se v bazenu zadržujejo usedline: po potrebi je treba z dna bazena odstraniti nakopičene usedline.
Podnebne spremembe	V literaturi ni bilo mogoče najti posebnih dokazov o učinkovitosti infiltracijskih ribnikov z vidika blaženja vpliva podnebnih sprememb.
Referenčni primer	Helles in Mogheir (2022) sta raziskovala infiltracijsko zmogljivost in dejavnike, ki vplivajo na infiltracijo na treh različnih lokacijah na območju Gaze. Študija je pokazala, da je stopnja infiltracije zelo odvisna od količine sedimenta, ki lahko vpliva na prepustnost infiltracijskih por. Poleg tega je bilo v študiji ugotovljeno, da je zmogljivost infiltracije neposredno sorazmerna z globino padavinske vode znotraj posameznega infiltracijskega bazena. Vendar to velja le, ko globina doseže določeno globino, pri kateri se hitrost infiltracije začne upočasnjevati.

Poplave - hibridni ukrepi

Ukrep: mokri zadrževalniki	
Primer ukrepa: Zadrževalnik, Poznan, Poljska (Waligórski et al., 2019).	 <i>Figure 9. Mokri zadrževalnik Radzyny located v Poznaniu, Poljska (Waligórski et al., 2019)</i>
Kratek povzetek	Mokri zadrževalniki so posebna vrsta infrastrukture za shranjevanje vode, ki se lahko tudi uporablja za zmanjšanje maksimalnega padavinskega odtoka med poplavnimi dogodki. V nasprotju s suhimi zadrževalniki so mokri zadrževalniki trajno ojezerjeni, kar omogoča tudi uporabo vode za druge namene, kot so kmetijstvo, oskrba stanovanjskih območij z vodo, proizvodnja energije in drugo. (Connecting Nature, 2020; Eastcoast Sitework, 2021).
Izvedljivost	Med izgradnjo zadrževalnika Podutik je bilo na opaženih več težav., kot na primer zapleten proces pridobivanja zadostna sredstva za projekt in dovoljenja organizacij, povezanih z vodo. Poleg tega je bila slaba komunikacija med deležniki še en dejavnik, ki je oviral proces (Connecting Nature, 2020).
Stroškovna učinkovitost	Bezak et al. (2021) v svoji študiji navajajo, da je rekonstrukcija zadrževalnika Podutik znašala približno 500.000 evrov, medtem ko je na primer gradnja zadrževalnika Brdnikova v bližini Ljubljane stala 2.400.000 evrov. Po podatkih projekta Connecting Nature (2020) so koristi zadrževalnika Podutik naslednje: zaščita pred poplavami, izboljšanje biotske raznovrstnosti, zmanjšanje onesnaževanja voda, rekreacijske dejavnosti, namakalni nameni itd.
Prilagodljivost	Kot je bilo omenjeno že v poglavju o jezovih in pregradah, so lahko večji zadrževalniki zelo učinkoviti pri zmanjševanju sedimentacije v spodnjem toku z zadrževanjem znatnega deleža hranil (Tiessen et al., 2011).
Vzdrževanje	V skladu z Eastcoast Sitework (2021) vzdrževanje zadrževalnikov vključuje naslednje prakse: redno odstranjevanje sedimentov, nadzor erozije, pregled infrastrukture za odkrivanje poškodb po obilnem deževju, odstranjevanje smeti, nepotrebne vegetacije itd.
Podnebne spremembe	V literaturi ni bilo mogoče najti dokazov o vplivu zadrževalnikov na podnebne spremembe.
Referenčni primer	Bezak et al. (2021) so preučevali vpliv zadrževalnika Podutik in zadrževalnika Brdnikova v porečju Glinščice na poplavno ogroženost. Študija je pokazala razmeroma veliko učinkovitost zadrževalnika Brdnikova pri zmanjševanju največjega odtoka ob poplavah za dve preučevani povratni dobi. Pri tem je za povratni dobi 2 in 25 let odstotek zmanjšane največjega izpusta znašal 32 oziroma 45 odstotkov. Pri drugem zadrževalniku Podutik pa so bili rezultati precej drugačni, saj je bilo 30-odstotno zmanjšanje največjega odtoka za 25- in le 5-odstotno za 2-letno povratno dobo (Bezak et al., 2021).

Ukrep: Mali mokri zadrževalniki	
Primer ukrepa: Meissen, Saxony, Germany (Interreg Central Europe, 2020); Savinjska dolina, Slovenija (Glavan et al., 2020).	 <i>Slika 10. Mali mokri zadrževalniki (levo) in zamašitev iztoka (desno) (Sustainable Stormwater Management, 2009)</i>
Kratek povzetek	Eden od načinov obvladovanja poplavne ogroženosti so zadrževalniki/rezervoarji. Glavni namen zadrževalnikov med poplavami je začasno skladiščenje vode, s čimer se zmanjša višek poplave in posledično ublažijo njene morebitne negativne posledice (Ngo et al., 2016).
Izvedljivost	Zadrževalnike umeščamo gorvodno nad poplavno ogroženimi območji. Na splošno se lahko močvirna zemljišča in naravna jezera obravnavajo kot zemljišča za umeščanje zadrževalnikov, saj jih običajno ni mogoče uporabljati v druge gospodarske namene. Med postopkom načrtovanja zadrževalnika je treba upoštevati verjetnost prelivanja in na ustrezen način izvesti načrtovanje infrastrukture za ublažitev poplav (Majidi, 2020). Glede stroškov Hettiarachchi (2011) trdi, da je v primerjavi z drugimi strategijami za ublažitev poplav umeščanje zadrževalnika za blaženje poplav mogoče obravnavati kot trajnostno in stroškovno učinkovito možnost.
Stroškovna učinkovitost	Kot je bilo že omenjeno v poglavju o mokrih zadrževalnikih, so na primer stroški gradnje zadrževalnika Brdnikova znašali približno 2.400.000 EUR. (Bezák et al., 2021).
Prilagodljivost	Kot je bilo že omenjeno v poglavju o jezovih, je študija Tiessen et al. (2011) pokazala učinkovitost velikih zadrževalnikov pri zmanjševanju nezaželenih sedimentacije v dolvodnih regijah.
Vzdrževanje	Brez ustrezne gradnje in nadaljnjega vzdrževanja se lahko stanje zadrževalnika hitro poslabša, kar povzroči krajšo življenjsko dobo in nezmožnost uporabe. Kadar zadrževalnik ne izpolnjuje zelenih standardov gradnje in vzdrževanja ter je dovolj star, je njegova zanesljivost vprašljiva. Zato je njegovo redno vzdrževanje ključni korak pri ohranjanju ključnih lastnosti in zagotavljanju glavnega namena (Majidi, 2020). Po Rollinsu (2020) so mehansko vzdrževanje konstrukcijskih elementov, nadzor vegetacije, odpadkov in usedlin v dovodnih in odvodnih ceveh ter v samem zadrževalniku glavni koraki vzdrževanja. Agencija za okolje (2015) omenja, da je treba za odstranjevanje odpadkov in vseh drugih virov smeti iz dovodnih in odvodnih cevi mesečno porabiti 50 funtov (~57 EUR), za pregled ventilov pa je treba enkrat na šest mesecev plačati 10 funtov (~11,5 EUR). Vizualni nadzor stane 15 funtov na mesec, kar znaša skoraj 17 evrov na mesec.
Podnebne spremembe	O vplivu suhih rezervoarjev na blažitev podnebnih sprememb ni bilo ustreznih informacij.
Referenčni primer	Primer umeščanja zadrževalnika v prostor je v Olmos Creek v San Antoniu v Teksasu. Glavni namen zadrževalnika je uravnavanje poplav ob izrednih dogodkih. Vendar pa zadrževalnik služi tudi za druge dodatne namene, kot sta sedimentacija in nadzor nad naplavinami, zadrževanje onesnažil in smeti ter tako preprečitev vstopa onesnažil v občinski vodovodni sistem. Poleg tega je ena od edinstvenih značilnosti tega večnamenskega objekta za zadrževanje vode tudi ta, da se nahaja neposredno na mestnem območju in dodatno služi za rekreacijske dejavnosti (Majidi, 2020).

Ukrep: zelene strehe	
Primer ukrepa: Basel, Switzerland (Climate-ADAPT, 2016).	 <i>Figure 11. Zelena streha (NOAA's Office for Coastal Management, 2015)</i>
Kratek povzetek	Zelene strehe so ena od rešitev, ki temeljijo na naravi in ne pomagajo le pri obvladovanju naraščajoče poplavne ogroženosti, temveč imajo tudi druge, nič manj pomembne koristi, kot so ustvarjanje ustreznega okolja za razvoj biotske raznovrstnosti, zagotavljanje toplotnega ugodja v stavbah, zmanjšanje porabe energije in onesnaževanja okolja, izboljšanje estetskega videza stavb itd. (Basu et al., 2021).
Izvedljivost	Po podatkih Climate-ADAPT (2016) je življenjska doba zelenih streh približno 50 let. Glede na čas izvajanja sta na primer v Baslu v Švici dva vladna programa pobude za zelene strehe v letih 1996 in 2005 trajala po približno 2 leti (Climate-ADAPT, 2016).
Stroškovna učinkovitost	Na primer, če bi v mestu imela le desetina stavb zelene strehe, se lahko skupni odtok padavinske vode v mestu zmanjša za 2,7 odstotka. Poleg tega je v tem primeru ocenjeno 54-odstotno zmanjšanje odtoka, če se stavbe obravnavajo posamično (Mentens et al., 2006). Poleg tega je študija, ki sta jo izvedla Jarosińska in Gołda (2020), pokazala, da lahko veliko število zelenih streh v mestu prispeva k zmanjšanju odtoka padavinske vode in posledično izboljša njeno zadrževanje za 12,2-16,9 odstotka. Po drugi strani pa na primer porozni beton kaže manj učinkovite rezultate kot zelene strehe v smislu zmanjšanja padavinske vode med poplavami, kar izboljša zadrževanje le za 5,2-5,7 odstotka. Kljub pozitivnemu vplivu zelenih streh na poplavno ogroženost lahko zelena infrastruktura za padavinsko vodo prispeva tudi k varčevanju z energijo. Zelene strehe lahko s senčenjem stavb pred soncem s pomočjo rastlinskega pokrova zagotovijo izolacijo in znižajo notranje temperature v stavbah, kar posledično zmanjša stroške komunalnih storitev (CNT, 2020b). Kot navajata Francis in Lorimer (2011), so glede stroškov eden glavnih izzivov zelenih streh stroški izvedbe. Z ekonomskega vidika sodijo zelene strehe med upravičene naložbe, le če upoštevamo tudi prihranke energije. S pomočjo zelene vegetacije na strehah je mogoče izboljšati porabo energije in prihraniti do 215 dolarjev na leto na stavbo (~198 evrov na leto). Glede na to, da bo za povrnitev naložbe potrebno veliko časa, bi bilo treba za analizo izvedljivosti zelenih streh pred njihovo namestitvijo upoštevati več vidikov (Francis in Lorimer, 2011). Poleg tega v hladnem podnebju zelenih streh ni mogoče obravnavati kot najbolj izvedljivo rešitev zaradi majhnih prihrankov energije za ogrevanje (Feng in Hewage, 2014). Vendar to velja le, če je poleg zmanjšanja poplavne ogroženosti še en pomemben dejavnik, ki ga je treba upoštevati pri izvedbi, prihranek energije. Agencija za okolje (2015) omenja, da je cena zelene strehe običajno različna, odvisno od pokrivnega materiala, iz katerega je izdelana. Na primer, za streho iz sedumske preproge je cena približno 90 funtov na m², medtem ko se za zeleno streho zmanjša na 80 funtov na m² (~103 oziroma 91 evrov na m²).
Prilagodljivost	V literaturi ni bilo moč najti primere, ki bi izkazali učinkovitost zelenih streh za zmanjšanje tveganja drugih nevarnosti.
Vzdrževanje	Francis in Lorimer (2011) v svoji študiji poudarjata, da je glavna omejitev izvajanja zelenih streh prav vzdrževanje. Študija, ki so jo izvedli Silva in drugi (2015) o ukrepih vzdrževanja zelenih streh na sredozemskih območjih, je

Vrednotenje hibridne infrastrukture za zmanjševanje ogroženosti pod vplivom podnebnih sprememb

	pokazala, da je treba zeleno strešno kritino redno vzdrževati. Pri tem se vzdrževalna dela nanašajo predvsem na vrtnarske dejavnosti, ki pa vključujejo gnojenje, odstranjevanje nepotrebnih in okuženih rastlinskih vrst, čiščenje streh, stalno preverjanje škodljivcev itd. Poleg tega je namakalni sistem še en pomemben vidik zelenih streh, ki ga je treba ustrezno nadzorovati in vzdrževati. Namakalni sistem zagotavlja vodo za rast potrebnih rastlin in s tem zagotavlja tudi ustrezen razvoj vegetacije. Poleg tega je treba drenažni sistem zelenih streh nenehno čistiti nepotrebnih odpadkov in redno izvajati tehnične preglede (Silva et al., 2015). Po podatkih Agencije za okolje (2015) so stroški vzdrževanja odvisni tudi od materiala, ki se uporablja za prekrivanje strehe, na primer od sedumske preproge ali biološko raznovrstne strehe. Agencija za okolje (2015) navaja, da je za prvo v prvih dveh letih po izvedbi cena približno 2500 funtov (~2852 EUR) na leto, za drugo pa 1250 funtov (~1426 EUR) v istem obdobju. Po dveh letih je letni strošek vzdrževanja 600 in 150 funtov, kar ustreza skoraj 685 oziroma 171 evrom.
Podnebne spremembe	Eden od pozitivnih vidikov zelenih streh se nanaša na njihovo sposobnost boja proti podnebnim spremembam (CNT, 2020b). Hkrati strešna vegetacija spodbuja prilagajanje mest na hitro spreminjajoče se okoljske razmere (Jarosińska in Gołda, 2020). Podobno kot pri pogozdovanju zelene strehe prispevajo k zadrževanju ogljikovega dioksida iz zraka in tako upočasnjujejo proces globalnega segrevanja. Po podatkih CNT (2020b) je bila v Združenih državah Amerike letna vrednost zmanjšanja ogljikovega dioksida zaradi manjše porabe energije približno 129 EUR na hektar (~10 000 m²) dreves. Besir in Cuce (2018) navajata, da je mogoče z uporabo dvoplastnih zelenih fasad letno zmanjšati emisije ogljikovega dioksida za $2,2 \times 10^3$ kg, obenem pa je mogoče z drevesom srednje velikosti letno zmanjšati približno 133 kg ogljikovega dioksida (Wong in Baldwin, 2016).
Referenčni primer	Karteris et al. (2016) so analizirali, kako učinkovita bi bila izvedba zelenih streh v občini Solun v Grčiji. Tu so kljub prednostim, kot sta varčevanje z energijo in povečanje biotske raznovrstnosti, razkrili, da lahko razširitev zelenih streh v občini za sedemkrat zmanjša odtekanje deževnice do 45 odstotkov.

Ukrep: Drevesni jarki za meteorno vodo	
Primer ukrepa: Vancouver, Canada (Vega, 2018).	 Figure 12. Shematski prikaz mreže drevesnih jarkov za meteorno (NOAA's Office for Coastal Management, 2015)
Kratek povzetek	Drevesni jarki za meteorno vodo predstavljajo zaporedje dreves, ki so med seboj pod zemljo povezana s sistemom jarkov za upravljanje presežne količine meteorne vode (NOAA's Office for Coastal Management, 2015). Drevesni jarki za meteorno vodo zagotavljajo tudi zdravo okolje za drevesa za trajnostno rast v urbanih območjih, kjer prevladujejo neprepustni pločniki. S posebnim podzemnim sistemom, zasnovanim z zemeljskim polnilom, dovodnimi in odvodnimi cevmi ter posebnim sistemom za distribucijo vode, ki omogoča infiltracijo in odvajanje padavinske vode v drenažni sistem.
Izvedljivost	Za izvedbo drevesnih jarkov za meteorno vodo je treba izbrati posebne drevesne vrste, ki so sposobne preživeti v urbanem okolju. Za takšen sistem upravljanja padavinskih voda je potreben zadosten prostor za drevesne korenine, da se te lahko ustrezno razrastejo in razvijejo. Poleg tega je treba zagotoviti, da se korenine dreves ne bodo dotikale kakršnih koli podzemnih struktur, kot so znaki, cevi, temelji stavb, električne žice itd. Agencija za okolje (2015) navaja, da imajo infiltracijski jarki neomejeno življenjsko dobo, vendar je treba vsakih 10-15 let zamenjati filtrirni material.
Stroškovna učinkovitost	Nekatere od koristi drevesnih jarkov za meteorno vodo vključujejo polnjenje podtalnice, uravnavanje odtekanja padavinske vode, izboljšanje kakovosti zraka, izboljšanje kakovosti vode zaradi absorpcije onesnaževalcev z rastlinjem (rastlinsko filtriranje). Poleg tega naj bi po podatkih McPherson et al. (2005) drevesa na urbanih območjih prihranila 485,8 milijona dolarjev (~447 milijonov evrov) ali 2,5 odstotka energije, porabljene za klimatizacijo na leto. Poraba energije, povezana z drevesi, nastane zaradi učinka senčenja, zmanjšanja števila neprepustnih tlakovcev, hlajenja zaradi procesa evapotranspiracije, ki ga zagotavljajo drevesa (Minnesota Pollution Control Agency, 2022). V zvezi s stroški Agencija za okolje (2015) poroča, da stroški infiltracijskih jarkov predstavljajo skoraj 60 funtov na m ² , kar ustreza skoraj 68,5 evra na m ² .
Prilagodljivost	V literaturi ni bilo mogoče najti dokazov, ki bi kazali na učinkovitost drevesnih jarkov pri zmanjševanju tveganja drugih nevarnosti, razen filtracije padavinske vode - odstranjevanja onesnaževal iz padavinske vode (US EPA, 2013).
Vzdrževanje	Urad NOAA Office for Coastal Management (2015) navaja, da za zagotavljanje dobrega stanja sistema drevesnih jarkov za meteorno vodo potrebujemo redno vzdrževanje. Zlasti je treba zalivati drevesa, nenehno opravljati preglede, da se odstranijo smeti in drugi viri odpadkov, nadzorovati invazivne vrste in vzdrževati cevi za pravilen pretok padavinske vode. Poleg tega isti vir navaja, da je treba sistem drevesnih jarkov za meteorno vodo čistiti dvakrat na leto. V zvezi s stroški vzdrževanja Agencija za okolje (2015) navaja, da vzdrževanje infiltracijskih jarkov običajno stane približno 0,2-1,0 funta na m ² (~0,23-1,14 EUR na m ²).
Podnebne spremembe	Kot je bilo obravnavano že v poglavjih o pogozdovanju in urbanih gozdovih, imajo drevesa zaradi vezave ogljika pomembno vlogo pri blaženju podnebnih sprememb. US EPA (1998) navaja, da odvisno od vrste in hitrosti razvoja zrelo

	drevo običajno absorbira približno 50 funtov (~57 evrov), kar pomeni skoraj 22,7 kg CO ₂ na leto.
Referenčni primer	Vega (2018) je raziskal učinkovitost drevesnih jarkov za meteorno vodo v Vancouvru v Kanadi. Po ocenah iz leta 2016 je bila v tem letu več kot polovica površine mesta prekrita z nepropustnimi površinami. Zaradi velikega števila nepropustnih površin, ki povzročajo nastanek razmeroma velikih konic odtoka padavinske vode, je bilo treba spodbujati trajnostno zasnovano mesto, kjer so se izvajali tudi drevesni jarki za meteorno vodo. V poročilu je navedeno, da so lahko sistemi drevesnih jarkov za meteorno vodo precej uspešni pri upravljanju padavinskega odtoka, saj omogočajo infiltracijo vode v tla, zlasti v gosto poseljenih mestih, kot je mesto Vancouver. Poleg tega je Vega (2018) na podlagi opravljenega pregleda literature o učinkovitosti sistemov drevesnih jarkov za meteorno vodo v Evropi, Združenih državah Amerike in nekaterih drugih regijah ugotovil, da so sistemi drevesnih jarkov za meteorno vodo stroškovno učinkovita infrastrukturna rešitev.

Ukrep: prepustne vegetacijske površine (na parkiriščih).	
Primer ukrepa: Horizon Village, Oregon (Environmental Oregon Council, 2014).	 <i>Slika 13. Travnato-betonski pločnik (Atelier GROENBLAUW, 2016)</i>  <i>Slika 14. Odprt vzorec tlakovanja (Atelier GROENBLAUW, 2016)</i>
Kratek povzetek	Prepustne površine na urbanih območjih omogočajo pronicanje prevelikih količin vode ob deževju. Čeprav so bili prepustni pločniki obravnavani že v poglavju o sivih ukrepih, bodo v tem primeru analizirane prepustne rastlinske (travnate) površine. Prepustne vegetacijske površine, kot so na primer travno-betonski tlakovci, imajo običajno betonske pilote, med katerimi so vegetacijski prostori, ki omogočajo infiltracijo vode v tla. Kot vrsta prepustnega pločnika se lahko uporabljajo tudi cestne opeke, napolnjene z zemljo in vegetacijo, kot je trava (Atelier GROENBLAUW, 2016).
Izvedljivost	Po podatkih Ateljeja GROENBLAUW (2016) ob močnem deževju tovrstne prepustne površine niso vedno dobra rešitev za upravljanje odtoka padavinske vode. Namreč pri močnem deževju prepustne površine ne bodo mogle prestreči celotne količine odvečne vode, zato je treba dodatno izvesti druge ukrepe za zmanjšanje poplavne ogroženosti. Poleg tega se tovrstne površine običajno izvajajo na parkiriščih, površinah ob garažah in drugih pločnikih, ki se ne uporabljajo intenzivno. Poleg tega je druga omejitev, na primer tako imenovanih odprtih vzorcev tlakovanja (slika 19), povezana predvsem z nezmožnostjo prenašanja velikih obremenitev.
Stroškovna učinkovitost	Po podatkih podjetja Verity Supply (2023), ki se ukvarja s komercialno gradnjo, je cena 240 ft² (~22,3 m²) travnato-betonskega prepustnega pločnika 1,020 dolarjev, kar je skoraj 938 evrov.
Prilagodljivost	Poleg zmanjšanja odtoka padavinske vode so vegetacijski prepustni pločniki znani tudi po tem, da odstranjujejo onesnaževala iz onesnažene padavinske vode, vendar se lahko ta sposobnost sčasoma poslabša (Soil Retention, 2023).
Vzdrževanje	V dokumentu Soil Retention (2023) je navedeno, da na splošno za vse vrste prepustnih tlakovcev, vključno z vegetativnimi prepustnimi površinami, postopek vzdrževanja ni zapleten, dokler ne pride do zamašitve por. V zvezi z vzdrževalnimi dejavnostmi je pomembno, da se izvajajo redni pregledi gradbišča, da se zagotovi, da ne prihaja do dotoka usedlin iz drugih objektov, ki lahko zamašijo odprtine pločnika z usedlinami. Poleg tega je treba nadzirati vegetacijo pred neželenimi boleznimi in bolje izbrati vegetacijo, ki je odporna na sol. Poleg tega je treba po vsaki poplavi, pri kateri globina poplave presega 0,5 palca (1,27 cm), opraviti pregled lokacije, da se izključi nevarnost zastajanja vode (Soil Retention, 2023).

Podnebne spremembe	Znano je, da vegetacija na prepustnih betonskih površinah absorbira CO ₂ in zmanjšuje tako imenovani učinek mestnega toplotnega otoka zaradi hlajenja, ki ga povzroča evapotranspiracija (Soil Retention, 2023).
Referenčni primer	Okoljski svet Oregona (2014) predstavlja primer stanovanjskega območja v vasi Horizon v Oregonu, kjer so na parkiriščih izvedli travnato prepustno tlakovanje. Tu je bila uvedena kombinacija polietilenskih plošč in trave, da bi se ustvaril prepusten pločnik, ki je sposoben obvladovati odtekanje padavinske vode. Sam pločnik lahko prenese 35,842 tone obremenitve na ft²  Figure 15. Zeleni pločnik v naselju Horizon Village v Oregonu (Environmental Oregon Council, 2014)

VIRI

- Aerts, J.C.J.H., 2018. A review of cost estimates for flood adaptation. *Water* (Switzerland). <https://doi.org/10.3390/w10111646>
- Ansar, A., Flyvbjerg, B., Budzier, A., Lunn, D., 2014. Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. *Energy Policy* 69. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.069>
- Arora, V.K., Montenegro, A., 2011. Small temperature benefits provided by realistic afforestation efforts. *Nat. Geosci.* 4. <https://doi.org/10.1038/ngeo1182>
- ASDSO, 2023. Case Study: Wivenhoe Dam (Australia, 2011) [WWW Document]. URL <https://damfailures.org/case-study/wivenhoe-dam-australia-2011/> (accessed 3.20.23).
- Asleson, B.C., Nestingen, R.S., Gulliver, J.S., Hozalski, R.M., Nieber, J.L., 2010. Stormwater Treatment: Assessment and Maintenance. Minneapolis, MN.
- Atelier GROENBLAUW, 2016. Water-permeable pavements [WWW Document]. URL <https://www.urbangreenbluegrids.com/measures/porous-paving-materials/> (accessed 3.12.23).
- Bae, C., Lee, D.K., 2020. Effects of low-impact development practices for flood events at the catchment scale in a highly developed urban area. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 44. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101412>
- Basu, A.S., Pilla, F., Sannigrahi, S., Gengembre, R., Guillard, A., Basu, B., 2021. Theoretical framework to assess green roof performance in mitigating urban flooding as a potential nature-based solution. *Sustain.* 13. <https://doi.org/10.3390/su132313231>
- Bechtol, V., Laurian, L., 2005. Restoring straightened rivers for sustainable flood mitigation. *Disaster Prev. Manag. An Int. J.* 14. <https://doi.org/10.1108/09653560510583806>
- Besir, A.B., Cuce, E., 2018. Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106>
- Bezak, N., Kovačević, M., Johnen, G., Lebar, K., Zupanc, V., Vidmar, A., Rusjan, S., 2021. Exploring options for flood risk management with special focus on retention reservoirs. *Sustain.* 13. <https://doi.org/10.3390/su131810099>
- Bonan, G.B., 1997. Effects of land use on the climate of the United States. *Clim. Change* 37. <https://doi.org/10.1023/A:1005305708775>
- City of Elk Grove, 2023. Project Factsheets, Presentations And Documents [WWW Document]. URL <https://www.elkgrovecity.org/dry-well-project-prop-84/project-factsheets-presentations-and-documents> (accessed 3.10.23).
- Climate-ADAPT, 2022. The refurbishment of Gomeznarro park in Madrid focused on storm water retention [WWW Document]. URL <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/the-refurbishment-of-gomeznarro-park-in-madrid-focused-on-storm-water-retention> (accessed 3.26.23).
- Climate-ADAPT, 2020. Afforestation and reforestation as adaptation opportunity [WWW Document]. URL <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/afforestation-and-reforestation-as-adaptation-opportunity> (accessed 3.18.23).
- Climate-ADAPT, 2016. Green roofs in Basel, Switzerland: combining mitigation and adaptation measures [WWW Document]. URL <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/green-roofs-in-basel-switzerland-combining-mitigation-and-adaptation-measures-1> (accessed 3.10.23).
- CNT, 2020a. Stormwater management calculator [WWW Document]. URL <https://greenvalues.cnt.org/index.php> (accessed 3.7.23).
- CNT, 2020b. Green Values Strategy Guide: Linking Green Infrastructure Benefits to Community Priorities [WWW Document]. URL <https://cnt.org/publications/green-values-strategy-guide-linking-green-infrastructure-benefits-to-community> (accessed 3.15.23).
- Connecting Nature, 2020. Water Retention Reservoir - Podutik [WWW Document]. URL <https://connectingnature.eu/oppla-case-study/17577> (accessed 3.14.23).
- Dietz, M.E., Clausen, J.C., 2005. A field evaluation of rain garden flow and pollutant treatment. *Water. Air. Soil Pollut.* 167. <https://doi.org/10.1007/s11270-005-8266-8>
- DWA, 2005. Standard DWA-A 138E Planning, Construction and Operation of Facilities for the Percolation of Precipitation Water, Buildings.
- Eastcoast Sitework, 2021. What is a retention pond and why is maintenance important? [WWW Document]. URL <https://eastcoastsitework.com/what-is-a-retention-pond-and-why-is-maintenance-important/> (accessed 3.28.23).
- EEA, 2017. Green infrastructure and flood management. Promoting cost-efficient flood risk reduction via green infrastructure solutions. <https://doi.org/TH-AL-17-013-EN-N>
- Environment Agency, 2015. Cost estimation for SUDS - summary of evidence. Bristol.
- Environmental Oregon Council, 2014. CASE STUDY: Horizon Village Grassy Pavers [WWW Document]. URL <https://oeonline.org/stormwater/> (accessed 3.28.23).
- FEMA, 2013. Floodwalls [WWW Document]. Free Univ. Berlin, Dep. Earth Sci. URL https://www.geo.fu-berlin.de/geographie/geographische_informatik/floodwalls/

- berlin.de/en/v/iwrm/Implementation/technical_measures/Flood-protection-measures/structural_measures/Floodwalls/index.html#:~:text=Floodwalls%2C which are typically constructed, ice away from the building. (accessed 3.20.23).
- Feng, H., Hewage, K., 2014. Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings. *Energy Build.* 75. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.039>
- Flood Control International, 2023. Wakefield Flood Defences [WWW Document]. URL <https://floodcontrolinternational.com/case-studies/wakefield/> (accessed 3.5.23).
- Forbes, K., Broadhead, J., 2013. Forests and landslides: The role of trees and forests in the prevention of landslides and rehabilitation of landslide-affected areas in Asia. RAP Publ.
- Francis, R.A., Lorimer, J., 2011. Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls. *J. Environ. Manage.* <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.01.012>
- Galoie, M., Motamedi, A., 2014. Flood Control using Retention Dams (Case Study: A Small Catchment in Austria). *SimHydro* 36, 1–10.
- GeoForschungsZentrum Potsdam and Helmholtz Centre, 2021. Meanders in river beds help the climate: River beds that can shift naturally are more efficient carbon sinks than straightened rivers [WWW Document]. ScienceDaily. URL www.sciencedaily.com/releases/2021/10/211029113959.htm (accessed 3.16.23).
- Glavan, M., Cvejić, R., Zupanc, V., Knapič, M., Pintar, M., 2020. Agricultural production and flood control dry detention reservoirs: Example from Lower Savinja Valley, Slovenia. *Environ. Sci. Policy* 114, 394–402. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.09.012>
- Green Building Alliance, 2023. Permeable Pavement [WWW Document]. URL <https://gba.org/resources/green-building-methods/site-solutions/permeable-pavement/> (accessed 3.15.23).
- Groundwater Foundation, 2022. What is a rain garden? [WWW Document]. URL <https://groundwater.org/rain-gardens/> (accessed 3.16.23).
- Guimarães, L.F., Teixeira, F.C., Pereira, J.N., Becker, B.R., Oliveira, A.K.B., Lima, A.F., Veról, A.P., Miguez, M.G., 2021. The challenges of urban river restoration and the proposition of a framework towards river restoration goals. *J. Clean. Prod.* 316. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128330>
- Haselbach, L., 2009. Pervious concrete and mitigation of the urban heat island effect. *Transp. Res. Board* 88th Annu. Meet. No. 09-0098.
- Helles, Z., Mogheir, Y., 2022. Factors Affecting the Infiltration Rate of Stormwater. *Tech. Int. J. Eng. Res.* 9.
- Hettiarachchi, P., 2011. Detention Reservoirs as a Flood Control Measure. *Eng. J. Inst. Eng. Sri Lanka* 44. <https://doi.org/10.4038/engineer.v44i2.7023>
- Huang, Y., Tian, Z., Ke, Q., Liu, J., Irannezhad, M., Fan, D., Hou, M., Sun, L., 2020. Nature-based solutions for urban pluvial flood risk management. *Wiley Interdiscip. Rev. Water.* <https://doi.org/10.1002/WAT2.1421>
- Hughes, A., 2023. A Guide to Inspecting Concrete and Masonry Dams [WWW Document]. URL <https://www.cedengineering.com/courses/a-guide-to-inspecting-concrete-and-masonry-dams> (accessed 3.14.23).
- International Rivers, 2007. Greenhouse Gas Emissions from Dams FAQ [WWW Document]. URL <https://archive.internationalrivers.org/resources/greenhouse-gas-emissions-from-dams-faq-4064#:~:text=Most of the global warming,much less powerful greenhouse gas.> (accessed 3.9.23).
- Izevbekhai, B.I., Schroeder, C., 2017. Seven Year Performance of City of Shoreview's Pervious Concrete Project.
- Jarošinska, E., Gołda, K., 2020. Increasing natural retention – Remedy for current climate change in urban area. *Urban Clim.* 34. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100695>
- Johnen, G., Sapač, K., Rusjan, S., Zupanc, V., Vidmar, A., Bezak, N., 2020. Modelling and Evaluation of the Effect of Afforestation on the Runoff Generation Within the Glinščica River Catchment (Central Slovenia), in: *Handbook of Environmental Chemistry*. https://doi.org/10.1007/698_2020_649
- Kádár, I., 2015. Mobile flood protection walls. *Pollack Period.* 10. <https://doi.org/10.1556/Pollack.10.2015.1.13>
- Karteris, M., Theodoridou, I., Mallinis, G., Tsiros, E., Karteris, A., 2016. Towards a green sustainable strategy for Mediterranean cities: Assessing the benefits of large-scale green roofs implementation in Thessaloniki, Northern Greece, using environmental modelling, GIS and very high spatial resolution remote sensing data. *Renew. Sustain. Energy Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.098>
- Kia, A., Wong, H.S., Cheeseman, C.R., 2017. Clogging in permeable concrete: A review. *J. Environ. Manage.* <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.018>
- King, D., Hagan, P., 2011. Costs of Stormwater Management Practices In Maryland Counties.
- Klun, M., Zupan, D., Kryžanowski, A., 2021. STRUCTURAL HEALTH MONITORING OF CONCRETE GRAVITY DAMS. *Acta Hydrotechnica* 34. <https://doi.org/10.15292/acta.hydro.2021.09>
- Kryeziu, D.R., Qafleshi, M., Kadiu, F., 2013. Pervious Concrete-New Solution for Sustainable Urban Street Construction Case: Prishtina and Tirana. <https://doi.org/10.33107/ubt-ic.2013.8>
- Kryžanowski, A., Brilly, M., Rusjan, S., Schnabl, S., 2014. Review Article: Structural flood-protection measures referring to several European case studies. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* <https://doi.org/10.5194/nhess-14-135-2014>

- Kuehler, E., Hathaway, J., Tirpak, A., 2017. Quantifying the benefits of urban forest systems as a component of the green infrastructure stormwater treatment network. *Ecohydrology*. <https://doi.org/10.1002/eco.1813>
- Lakesuperiorstreams, 2009. Underground Storage [WWW Document]. URL <https://www.lakesuperiorstreams.org/stormwater/toolkit/underground.html#:~:text=On-site%2C underground stormwater retention,interconnected storage pipes or chambers.> (accessed 3.23.23).
- Ma, Y., Jiang, Y., Swallow, S., 2020. China's sponge city development for urban water resilience and sustainability: A policy discussion. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139078>
- Majidi, A., 2020. Design of detention reservoir. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17345.02400>
- Malm, R., Nordström, E., Nilsson, C.-O., Tornberg, R., Blomdahl, J., 2016. ANALYSIS OF POTENTIAL FAILURE MODES AND RE- INSTRUMENTATION OF A CONCRETE DAM.
- Massmann, J., 2003. IMPLEMENTATION OF INFILTRATION PONDS RESEARCH. Washington, DC.
- McPherson, G., Simpson, J.R., Peper, P.J., Maco, S.E., Xiao, Q., 2005. Municipal forest benefits and costs in five US cities. *J. For.* 103.
- Mentens, J., Raes, D., Hermy, M., 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landsc. Urban Plan.* 77. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>
- Minnesota Pollution Control Agency, 2022. Green Infrastructure benefits of tree trenches and tree boxes [WWW Document]. URL https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=Green_Infrastructure_benefits_of_tree_trenches_and_tree_boxes (accessed 3.12.23).
- Mu, D., Luo, P., Lyu, J., Zhou, M., Huo, A., Duan, W., Nover, D., He, B., Zhao, X., 2021. Impact of temporal rainfall patterns on flash floods in Hue City, Vietnam. *J. Flood Risk Manag.* 14. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12668>
- Natural Water Retention Measures, 2013. Floodplain restoration and management.
- Network Nature, 2023. Case studies tagged with Urban Forests [WWW Document]. URL <https://networknature.eu/network-nature-case-study-keywords/2284> (accessed 3.15.23).
- Ngo, T.T., Yoo, D.G., Lee, Y.S., Kim, J.H., 2016. Optimization of upstream detention reservoir facilities for downstream flood mitigation in Urban areas. *Water (Switzerland)* 8. <https://doi.org/10.3390/W8070290>
- NOAA's Office for Coastal Management, 2015. Green Infrastructure Options to Reduce Flooding.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environ. Pollut.* 116, 381–389. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)
- NRC, 1982. A levee policy for the National Flood Insurance Program. <https://doi.org/10.17226/19600>
- Open Access Government, 2022. Afforestation in temperate rainforests could lessen climate change [WWW Document]. URL <https://www.openaccessgovernment.org/temperate-rainforests-climate-change/128532/>
- Pennsylvania Department of Environmental Protection, 2005. Case Studies: Innovative Stormwater Management Approaches and Practices.
- Portland Cement Association, 2023. CARBON FOOTPRINT. Washington, DC.
- PUB, 2021. ON-SITE STORMWATER DETENTION TANK SYSTEMS.
- Qin, H. peng, Li, Z. xi, Fu, G., 2013. The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. *J. Environ. Manage.* 129. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.026>
- Qin, Y., 2020. Urban flooding mitigation techniques: A systematic review and future studies. *Water (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/w12123579>
- Rahman, M.A., Pawijit, Y., Xu, C., Moser-Reischl, A., Pretzsch, H., Rötzer, T., Pauleit, S., 2023. A comparative analysis of urban forests for storm-water management. *Sci. Rep.* 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-023-28629-6>
- RECOFTC, 2012. Forests and Landslides: The Role of Forests and Forestry in the Prevention and Rehabilitation of Landslides in Asia [WWW Document]. URL <https://www.recoftc.org/publications/0000049> (accessed 3.8.23).
- RetainingWall Solutions, 2023. Flood wall costs [WWW Document]. URL <https://retainingwallsolutions.co.uk/flood-defence/flood-wall-costs/> (accessed 3.7.23).
- Rickard, C.E., 2009. Floodwalls and flood embankments, *Fluvial Design Guide*.
- Rollins, C., 2020. DETENTION PONDS: MAKING A CASE TO MAINTAIN YOUR POND REGULARLY [WWW Document]. *Constr. EcoServices*. URL <https://www.constructionecoservices.com/blog/detention-ponds-do-they-really-need-to-be-maintained/#:~:text=What type of maintenance is,in and around the pond.> (accessed 3.8.23).
- Safford, H., Larry, E., McPherson, E.G., Nowak, D.J., Westphal, L.M., 2013. Urban Forests and Climate Change.
- Sasidharan, S., Bradford, S.A., Šimůnek, J., DeJong, B., Kraemer, S.R., 2018. Evaluating drywells for stormwater management and enhanced aquifer recharge. *Adv. Water Resour.* 116. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.04.003>
- Sasidharan, S., Bradford, S.A., Šimůnek, J., Kraemer, S.R., 2021. Comparison of recharge from drywells and infiltration basins: A modeling study. *J. Hydrol.* 594. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125720>

- Shin, E.T., Lee, S., Lee, J., Song, C.G., 2022. Effectiveness of an adaptive flood management strategy using riparian risk assessment and a tolerability criterion. *J. Flood Risk Manag.* 15. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12756>
- Silva, C.M., Flores-Colen, I., Coelho, A., 2015. Green roofs in Mediterranean areas - Survey and maintenance planning. *Build. Environ.* 94. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.07.029>
- Soil Retention, 2023. Design Considerations for Vegetated Permeable Pavement. Creating open, multifunctional spaces and providing green benefits [WWW Document]. URL https://soilretention.com/wp-content/uploads/2015/06/0305151237SoilRetention_Final.pdf
- Sustainable Stormwater Management, 2009. Stormwater 101: Detention and Retention Basins [WWW Document]. URL <https://sustainablestormwater.org/2009/05/28/stormwater-101-detention-and-retention-basins/> (accessed 3.19.23).
- Szalkiewicz, E., Jusik, S., Grygoruk, M., 2018. Status of and perspectives on river restoration in Europe: 310,000 Euros per hectare of restored river. *Sustain.* 10. <https://doi.org/10.3390/su10010129>
- Takata, K., Hanasaki, N., 2020. The effects of afforestation as an adaptation option: A case study in the upper Chao Phraya River basin. *Environ. Res. Lett.* 15. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7462>
- Tiessen, K.H.D., Elliott, J.A., Stainton, M., Yarotski, J., Flaten, D.N., Lobb, D.A., 2011. The effectiveness of small-scale headwater storage dams and reservoirs on stream water quality and quantity in the Canadian Prairies. *J. Soil Water Conserv.* 66. <https://doi.org/10.2489/jswc.66.3.158>
- Torrent Resources, 2023. NEW DRYWELL INSTALLATION [WWW Document]. URL <https://torrentresources.com/services/drywell-installation/maxwell-type-iv-drywell/> (accessed 3.14.23).
- Upper Midwest Water Science Center, 2019. Evaluating the potential benefits of permeable pavement on the quantity and quality of stormwater runoff [WWW Document]. URL <https://www.usgs.gov/centers/upper-midwest-water-science-center/science/evaluating-potential-benefits-permeable-pavement#overview> (accessed 3.26.23).
- US EPA, 2021a. Stormwater Best Management Practice. Permeable Pavements.
- US EPA, 2021b. Stormwater Best Management Practice. Infiltration Basin.
- US EPA, 2020. Underground Storage Tank FLOOD GUIDE.
- US EPA, 2013. Stormwater to Street Trees. Washington, DC.
- US EPA, 1998. Method for Calculating Carbon Sequestration by Trees in Urban and Suburban Settings.
- Vega, O., 2018. Application of Stormwater Tree Trenches in the City of Vancouver. Vancouver.
- Verity Supply, 2023. Soil Retention, Inc - Drivable Grass® Permeable Pavement [WWW Document]. URL <https://veritysupply.net/products/soil-retention-inc-drivable-grass-permeable-pavement> (accessed 3.27.23).
- Vogt, J., Hauer, R.J., Fischer, B.C., 2015. The costs of maintaining and not maintaining the urban forest: A review of the urban forestry and arboriculture literature. *Arboric. Urban For.* <https://doi.org/10.48044/jauf.2015.027>
- Waligórski, B., Sojka, M., Jaskuła, J., Korytowski, M., 2019. Analysis of the use of selected reservoirs in the Wielkopolska province. *Ann. Warsaw Univ. Life Sci. – SGGW. L. Reclam.* 50. <https://doi.org/10.2478/ssggw-2018-0029>
- Wong, I., Baldwin, A.N., 2016. Investigating the potential of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region. *Build. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.11.028>
- World Landscape Architecture, 2017. Room for the River | Nijmegen, The Netherlands | H+N+S Landscape Architects [WWW Document]. URL <https://worldlandscapearchitect.com/room-for-the-river-nijmegen-the-netherlands-hns-landscape-architects/?v=ce774d9cab3a> (accessed 3.9.23).
- Zabret, K., Šraj, M., 2015. Can urban trees reduce the impact of climate change on storm runoff? *Urbani Izziv* 26. <https://doi.org/10.5379/urbani-izziv-en-2015-26-supplement-011>