

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Zalokar, M., 2015. Prečni objekti na hudournikih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Rusjan, S., somentor Sodnik, J.): 68 str.

Datum arhiviranja: 18-09-2015

University  
of Ljubljana

Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Zalokar, M., 2015. Prečni objekti na hudournikih. B.Sc Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Rusjan, S., co-supervisor Sodnik, J.): 68 p.

Archiving Date: 18-09-2015

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*

Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si



UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
VODARSTVO IN OKOLJSKO  
INŽENIRSTVO

Kandidat:

**MATJAŽ ZALOKAR**

**PREČNI OBJEKTI NA HUDOURNIKIH**

Diplomska naloga št.: 45/B-VOI

**CONTROL STRUCTURES IN TORRENTIAL STREAMS**

Graduation thesis No.: 45/B-VOI

**Mentor:**

doc. dr. Simon Rusjan

**Predsednik komisije:**

**Somentor:**

viš. pred. mag. Jošt Sodnik

Ljubljana, 14. 07. 2015

### STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

## IZJAVE

Spodaj podpisani **Matjaž Zalokar** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »**Prečni objekti na hudournikih**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, julij 2015

Matjaž Zalokar

»Ta stran je namenoma prazna.«

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>627.152.3:627.82(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Matjaž Zalokar</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Simon Rusjan, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.</b>
<b>Somentor:</b>	<b>viš. pred. mag. Jošt Sodnik, univ. dipl. inž. grad</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Prečni objekti na hudournikih</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>diplomska naloga – univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>68 str., 45 sl., 8 pregl., 4 graf.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>hudournik, urejanje hudournikov, prečni objekti, hudourniške pregrade, pregradno inženirstvo, drobirski tok</b>

### **IZVLEČEK**

Slovenijo gradi izjemna pokrajinska pestrost. Veliki nakloni in neenakomerna porazdelitev padavin sta glavna razloga za erozijska in hudourniška območja. Razmerja med minimalnimi in maksimalnimi pretoki vodotokov kažejo na hudourniški značaj. Za varstvo pred škodnim vplivom hudourniških voda se v Sloveniji uporabljajo različni prečni objekti, za katere ne obstaja celovita in enotna klasifikacija, prav tako še ni izdelan kataster s pregledom vseh objektov.

V diplomski nalogi je opravljen pregled prečnih objektov na hudournikih z vidika namembnosti, konstrukcijskega materiala ter primerov uporabe v Sloveniji. Najprej so opisane značilnosti in razlogi za pojav hudourniških voda v Sloveniji. Nadalje so predstavljene prednosti in slabosti posameznih tipov prečnih objektov ter morebitne izboljšave, ki jih najdemo v literaturi. Predstavljeni so pristopi k analizi delovanja prečnih objektov z enačbami za enostaven preračun hidravlike. V zadnjem delu je opisano še stanje hudourničarske dejavnosti na slovenskem in rešitve oz. predlogi za izboljšanje ustreznega varstva pred hudourniški pojavi ter erozijskimi procesi.

Diplomsko delo bo lahko uporabljeno kot osnova, za izoblikovanje klasifikacije hudourniških prečnih objektov v Sloveniji. Sistematičen pregled delovanja prečnih objektov in preventivnih ukrepov oz. izboljšav v hudournikih je mogoče uporabiti za izboljšanje varstva pred hudourniški poplavi.

»Ta stran je namenoma prazna.«



## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDC:</b>	<b>627.152.3:627.82(043.2)</b>
<b>Author:</b>	<b>Matjaž Zalokar</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>Prof. Simon Rusjan, Ph.D.</b>
<b>Co supervisor:</b>	<b>Assist. Jošt Sodnik, M.Sc.</b>
<b>Title:</b>	<b>Control structures in torrential streams</b>
<b>Document type:</b>	<b>Graduation Thesis – University studies</b>
<b>Scope and tools:</b>	<b>68 p., 45 fig., 8 tab., 4 graph.</b>
<b>Keywords:</b>	<b>Torrent, Torrent control, Control structures, Torrential barrier, Dam engineering, Debris flow</b>

### **ABSTRACT**

Slovenian landscape is exceptionally diverse. Steep slopes and uneven rainfall distribution cause areas of erosion and torrents. Ratios between minimum and maximum flow of streams indicate torrential characteristics. Different transverse structures were being used in Slovenia to control the torrential waters damage; however there is no unified classification of such structures.

A review of transverse (control) structures in torrential streams with focus on function, construction materials and examples of use in Slovenia was made. In first part, the hydrological and hydraulic characteristics of torrents in Slovenia are presented. After, we present different types of control structures with their strengths and weaknesses and possibilities for improvements found in literature. Also an analysis of functioning of transverse structures has been made with added equations for simplified hydraulic analysis. In the final part there is a description of current state on torrential activities in Slovenia and solutions i.e. guidelines for improved safety from torrential occurrences and erosion processes.

The thesis of transverse structures on torrents can be used as a foundation for future development of classification of torrential barriers in Slovenia. Systematic overview of preventive measures and improvements can be used to reduce the risk of torrential damage.

»Ta stran je namenoma prazna.«

## **ZAHVALA**

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Simonu Rusjanu in somentorju viš. pred. mag. Joštu Sodniku za vso strokovno pomoč in vodenje pri diplomski nalogi.

Posebna zahvala pa velja mojim staršem, ki so mi omogočili študij in me pri tem podpirali.

»Ta stran je namenoma prazna.«

## KAZALO VSEBINE

<b>BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK .....</b>	<b>VII</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT .....</b>	<b>IX</b>
<b>KAZALO SLIK.....</b>	<b>XV</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	<b>XVII</b>
<b>KAZALO GRAFIKONOV.....</b>	<b>XIX</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 HUDOURNIŠTVO.....</b>	<b>2</b>
2.1 Relief .....	3
2.2 Padavine .....	4
2.3 Hidrološke lastnosti hudournikov .....	6
2.4 Hidravlične lastnosti.....	10
2.5 Hudourniške poplave .....	12
<b>3 PREČNI OBJEKTI NA HUDOURNIKIH .....</b>	<b>14</b>
3.1 Protierozijska vloga hudourniških objektov .....	17
3.2 Objekti glede na funkcionalnost .....	18
3.2.1 Stabilizacijski objekti .....	21
3.2.1.1 Pragovi .....	21
3.2.1.1.1 Talni pragovi .....	21
3.2.1.1.2 Pragovi s stopnjo.....	23
3.2.1.2 Drče .....	24
3.2.1.3 Kaskade.....	25
3.2.1.4 Stabilizacijske oz. konsolidacijske pregrade .....	26
3.2.2 Zadrževalni oz. zaplavni objekti.....	27
3.2.2.1 Zadrževalne oz. zaplavne pregrade .....	28
3.2.2.2 Prebiralne pregrade .....	30
3.2.2.3 Dozirne oz. filtrirne pregrade .....	31
3.2.3 Disipacijski objekti .....	32
3.2.3.1 Disipacijske pregrade.....	32
3.2.3.2 Razbijač drobirskega toka .....	33
3.3 Objekti glede na gradivo .....	33
3.3.1 Zidane kamnite pregrade.....	34
3.3.2 Lesene pregrade .....	35

3.3.2.1 Enostenska lesena hudourniška pregrada.....	36
3.3.2.2 Dvostenska lesena hudourniška pregrada.....	36
3.3.3 Jeklene oz. žične pregrade .....	38
3.3.4 Pregrade iz žičnih košar .....	38
3.3.5 Betonske in AB pregrade .....	39
3.4 Priporočila za dimenzioniranje .....	40
<b>4 ANALIZA DELOVANJA PREČNIH OBJEKTOV .....</b>	<b>43</b>
4.1 Hidravlična vloga in obravnavanje prečnih objektov .....	43
4.1.1 Hidravlika precednic .....	43
4.1.2 Hidravlika prelivov oz. prepadanje vode.....	44
4.2 Strižne napetosti .....	47
4.3 Erozija v zaledju prečnih objektov .....	49
4.4 Odlaganje sedimentov .....	49
<b>5 STANJE V SLOVENIJI.....</b>	<b>51</b>
5.1 Prečni hudourniški objekti v Sloveniji .....	53
5.2 Poškodbe objektov .....	54
5.3 Porušitve objektov .....	56
5.4 VODPREG klasifikacija.....	56
5.5 Rešitve .....	59
<b>6 SKLEP.....</b>	<b>61</b>
<b>VIRI.....</b>	<b>63</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1: Relief Slovenije s prikazom višin (KSH, 2005).....	3
Slika 2: Erozijska in hudourniška območja v Sloveniji leta 1994 (Jesenovec, 1995).....	4
Slika 3: Povprečna letna količina korigiranih padavin za obdobje 1971–2000 (ARSO, 2006). 5	
Slika 4: Vpliv naklona terena na koncentracijo površinskega odtoka (prirejeno po AlleghenyGeoQuest, 2015, citat po Gregory and Walling, 1973).....	7
Slika 5: Bernoullijeva enačba za strme struge s podanima pretočnima globinama: v navpični smeri $z_w$ in v smeri pravokotno na vodno gladino $y$ (Mikoš, 2008).....	11
Slika 6: Erozijski drobir, kot posledica večdnevnega deževja (Geosociety, 2015). ....	13
Slika 7: Več kakor sto let stara hudourniška pregrada, zidana v cementni malti (hudournik Šijak), (UJMA, 2008).....	16
Slika 8: Kombinacije strukturnih zaščit v hudournikih, (A niz pragov za stabilizacijo struge, B kombinacija večfunkcijskih pregrad v nizu, C niz pregrad), (Suda s sod., 2008). ....	18
Slika 9: Leseni prag z dvojno stopnjo (Suhadolnik, 2007). ....	21
Slika 10: Prag s podaljšanim prelivom (ANTIENSEN, 2013).....	22
Slika 11: Hotoveljščica, zaporedje pragov iz grobo zloženega kamenja v suho in nižje ležeči prag iz lesenih oblic podprt z zloženim kamenjem v suho (avtor, terenski ogled, 1.6.2015). 22	
Slika 12: Prag na Hotoveljščici (avtor, terenski ogled, 1.6.2015). ....	23
Slika 13: Drča na Hotoveljščici v spodnjem delu (avtor, terenski ogled, 1.6.2015). ....	24
Slika 14: Prečni prerez kaskad s tolmunom (Markič, 2008).....	25
Slika 15: Umetne kaskade (Marko Feist, 2013).....	25
Slika 16: Prikaz delovanja konsolidacijske pregrade (SedAlp WP6, 2015).....	26
Slika 17: Niz konsolidacijskih pregrad za stabilizacijo hudourniškega območja (IRSTEA, 2011). ....	26
Slika 18: Primer zapolnjene filtrirno zadrževalne pregrade na hudourniku Suhelj (SedAlp WP6, 2015).....	27
Slika 19: Prikaz delovanja zadrževalne pregrade (SedAlp WP6, 2015).....	28
Slika 20: Hudourniška zadrževalna pregrada v Avstriji (SedAlp WP6, 2015).....	28
Slika 21: Zaplavljanje pregrad z rinjenimi plavinami; originalni naklon dna struge $I_V$ in mejni naklon $I_N$ (Mikoš, 2008).....	28
Slika 22: Uporabnost zaplavnih oz. zadrževalnih pregrad za (A) zmanjšanje pojava izpiranja brežin in (B) zmanjševanja padca struge (prirejeno po Deymier s sod., 1994 in VanDine, 1996, citat po Remaitre & Malet, 2010).....	29
Slika 23: Vrste prebiralnih pregrad (Steinman, Banovec, 2008). ....	30
Slika 24: Masivna prebiralna pregrada na Radoljni (Društvo vodarjev Slovenije, 2004). ....	30

Slika 25: Prikaz delovanja dozirne oz. filtrirne pregrade (SedAlp WP6, 2015).	31
Slika 26: Hudourniška filtrirna pregrada v Avstriji (SedAlp WP6, 2015).	31
Slika 27: Prikaz delovanja disipacijskih pregrad (SedAlp WP6, 2015).	32
Slika 28: Niz disipacijskih pregrad v Avstriji (SedAlp WP6, 2015).	32
Slika 29: Prikaz delovanja razbijača drobirskega toka (SedAlp WP6, 2015).	33
Slika 30: Disipacijski objekt z rebri kot razbijač drobirskega toku v Avstriji (SedAlp WP6, 2015).	33
Slika 31: Izpustni del Brusovih ali Belčnih klavž z odprtinama za odvajanje vode in plavljenega lesa (Kladnik, 2010).	34
Slika 32: Enostenski in dvostenski ozelenjeni podporni objekt za stabilizacijo pobočij (po Kounenu, 1983), (Mikoš, 2009).	35
Slika 33: Enostenska lesena hudourniška pregrada s prelivno sekcijo iz ene ali dveh okroglih lesenih oblic. Ob ustrezni razmestitvi lesenih pilotov je prelivna sekcija tudi trapezne oblike (Mikoš, 2009).	36
Slika 34: Kaštni jez na Pšati v Zalogu pri Cerkljah (Repnik Mah, P., et al., 2013).	37
Slika 35: Največja podajna hudourniška pregrada na svetu v Švici (Rejda, 2014).	38
Slika 36: Žične košare za ureditev struge (IWTC/Cargo-Guard, 2012).	39
Slika 37: Hudourniška pregrada kot betonski težnostni zid (Mikoš, 2008).	44
Slika 38: Oznake preliva (odgnani vodni skok), (Markič, 2008).	45
Slika 39: Ravnotežje prostorninskega elementa $A \Delta l$ pri enakomernem toku, kjer je reakcijska sila v strugi enaka $\tau R P \Delta l$ (Mikoš, 2009).	47
Slika 40: Nadomestni pretočni prerez za določitev minimalnega mejnega naklona $IN$ (Mikoš, 2009).	48
Slika 41: Poglobljanje hudourniške struge in stabilnost pobočij (Mikoš, 2008).	49
Slika 42: Novo zgrajen talni prag s krilnim lesom na potoku Hotoveljščica (avtor, terenski ogled, 1.6.2015).	55
Slika 43: Zadrževalnik hudourniških plavin na hudourniku Hotoveljščica (avtor, terenski ogled, 1.6.2015).	55
Slika 44: Hudourniška pregrada na Belci v km 2,48 (Martinčič, 2012).	56
Slika 45: Ocena tveganja po VODPREG klasifikaciji (Kryžanowski s sod., 2013).	58



**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Klasifikacija in lastnosti hudourniških procesov po ONR 24800 (Torkar, 2013). .....	17
Preglednica 2: Funkcionalni tipi hudourniških pregrad po ONR 24800 (Torkar, 2013).....	19
Preglednica 3: Osnovna razdelitev zaščitnih konstrukcij po ONR 24800 v odvisnosti od funkcije, tipa konstrukcije ter statičnega sistema (Torkar, 2013). ....	20
Preglednica 4: Postopek dimenzioniranja tehnične zaščite pred hudourniški procesi po ONR 24802, ki opisuje naloge, poglavja in pristojnosti za posamezni korak (Torkar, 2013). 40	
Preglednica 5: Funkcionalno-konstrukcijska matrika za izbiro primernega prečnega objekta za zaščito pred hudourniki (Torkar, 2013). ....	41
Preglednica 6: Statično-konstrukcijska matrika za izbiro primernega prečnega objekta za zaščito pred hudourniki (Torkar, 2013).....	42
Preglednica 7: Število žrtev naravnih nesreč v Sloveniji (obdobje 1870 – 1990) (PUH, 1995). .....	52
Preglednica 8: Hudourničaska in protierozijska dela, opravljena od leta 1884 do 2006 (Horvat s sod., 2008). ....	53

»Ta stran je namenoma prazna.«

## KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Hidrogram površinskega in baznega odtoka (Brilly, Šraj, 2005). .....	8
Grafikon 2: Primerjava med potrebnimi in zagotovljenimi letnimi sredstvi za vzdrževanje posameznih območij (Horvat, 2000).....	51
Grafikon 3: Padec deleža BDP, namenjenega rednemu vzdrževanju vodne infrastrukture, v obdobju 1998–2012 (prirejeno po Kogovšek, 2013, citat po Sodnik s sod., 2014a).....	53
Grafikon 4: Stanje prečnih hudourniških varovalnih objektov na hudourniških območjih Slovenije (Horvat s sod., 2008). .....	54

»Ta stran je namenoma prazna.«

## 1 UVOD

Slovenijo gradi izjemna pokrajinska pestrost. Je gorata in gričevnata dežela, saj ima le 8,6 % območij naklon nižji od 4 % (STAT, 2013). V povprečju pade letno približno 1.500 mm padavin, v gorskem svetu tudi več kot 3.000 mm. Veliki nakloni, odtočni koeficienti in neenakomerna porazdelitev padavin so glavni razlogi za hudourniški odziv vodotokov in razvoj erozijskih žarišč. Razmerja med minimalnimi in maksimalnimi pretoki vodotokov kažejo na hudourniški značaj. Več kot 4.000 km<sup>2</sup> (petina Slovenije) tvorijo prispevne površine 400 hudourniških območij (Mikoš, 1995). Za varstvo pred škodnim vplivom hudourniških voda se v Sloveniji uporabljajo različni prečni objekti, za katere ne obstaja celovita in enotna klasifikacija.

Celotna hidrografska mreža vodotokov je v Sloveniji ocenjena na 26.989 km vodotokov, od tega na 400 hudourniških območjih poteka odvodnjavanje približno 8.000 km hudournikov (Mikoš, 2004). Hidrografska mreža pomembnejših hudournikov v Sloveniji meri 2.312 km, na katerih je večina hudourniških pregrad (več kot 3.500) (Horvat s sod., 2008).

V Sloveniji še nastaja državni sistem upravljanja vseh pregradnih objektov, ki bo zagotavljal pregledno in realno oceno sedanjih objektov. Trenutno nimamo realnih ocen ampak približke o številu prečnih objektov na hudourniških območjih. Velik delež prečnih elementov ni v registru, posledica je vprašljivo upravljanje in vzdrževanje s temi objekti (Sodnik s sod., 2014a). Cilj rednega vzdrževanja ni zagotavljanje poplavne varnosti, lahko pa dobro vzdrževan vodotok in objekti vodne infrastrukture močno zmanjšajo škodljiv vpliv in gmotno škodo pri poplavnih dogodkih.

Od začetka organizirane hudourničarske dejavnosti, ki se bori za vzdrževanje in urejanje vodnega režima v Sloveniji, je bilo izvedeno mnogo protierozijskega dela. Večina dela je bila opravljenega zaradi posledic številnih hudourniških izbruhov, kar govori o tem, da je bilo premalo storjenega na področju preventive – preventivnih ukrepov (Horvat, 2000).

Cilj naloge je predstavitev oz. opis prečnih objektov, ki se uporabljajo za preprečitev oz. omilitev škodljivega vpliva hudourniških vodotokov. V diplomski nalogi je opravljen pregled prečnih objektov na hudournikih z vidika namembnosti, konstrukcijskega materiala ter primerov uporabe v Sloveniji. Predstavljene so prednosti in slabosti posameznih tipov objektov in podani predlogi za morebitne izboljšave, ki jih najdemo v literaturi. Opravljena je analiza delovanja prečnih objektov, s podanimi enačbami za enostaven preračun hidravlike. Po opisu stanja hudourničarske dejavnosti na slovenskem so predstavljene še rešitve oz. napotki za izboljšanje ustreznega varstva pred hudourniški pojavi ter erozijskimi procesi.

## 2 HUDOURNIŠTVO

Hudourništvo je ime za strokovno dejavnost, ki na hudourniških območjih tradicionalno krepi hidrološko vlogo gozda, vzpostavlja urejene pretočne razmere in zagotavlja varstvo pred hudourniki, erozijo ter plazovi. Hudourničarstvo obsega vse ukrepe, ki se izvajajo v strugi hudournika, v njeni bližini ali na hudourniškem območju s ciljem hkrati utrditi strugo hudournika in bližnjih pobočij ter zvišati hudourniško prevodnost visokih voda, hudourniških plavin in lesnega plavja s čim manjšo gmotno škodo. Hudourništvo si tudi prizadeva za zmanjšanje delovanja hudourniških poplav na sprejemljivo raven. Leto 1884 beležimo kot začetek organizirane hudourniške dejavnosti na Slovenskem (Mikoš, 2012).

V hudourničarstvu poznamo aktivne in pasivne varstvene ukrepe (Mikoš, 2012). Aktivni ukrepi so tisti, ki delujejo na nevarni naravni dogodek, z zmanjšanjem nevarnosti ali vplivom na potek dogodka ali z bistvenim zmanjšanjem verjetnosti njegovega pojava. Pri vsem tem ločimo še ukrepe, ki vplivajo na proženje dogodkov in take, ki neposredno vplivajo na naravni proces. Pasivni ukrepi dopolnjujejo aktivne varstvene ukrepe. Pasivni so tisti ukrepi, ki so usmerjeni v zmanjševanje morebitne škode, ne da bi pri vsem tem vplivali na potek nevarnega naravnega dogodka. Med pasivne ukrepe uvršamo tudi prostorsko načrtovanje, s slednjim opredelimo rabo prostora, preprečimo postavitve objektov in zmanjšamo morebitno škodo. Varstveni ukrepi vplivajo na občutljivost dobrin, katere varujejo pred škodo in vsebujejo tudi vse nujne protiukrepe v primeru ko se zgodi škodni dogodek. Na čas trajanja delimo ukrepe na stalne, ki so prisotni v vsakem trenutku in daljšem časovnem obdobju ter na začasne, v kolikor je delovanje prehodno in bo obstajalo le kratek čas.

Na ozemlju Slovenije prvi zapisi o sistematičnih hudourniških delih segajo v leto 1875, prva dela so bila izvedena na hudourniku Šljak v zahodnem delu države, manjši varovalni ukrepi proti hudournimi vodami so se že pred tem izvajali vzdolž železniške proge Dunaj–Ljubljana–Trst. Od začetka organizirane hudourniške dejavnosti v Sloveniji do leta 2006, je bilo odpravljenih veliko posledic in vzrokov hudourniških izbruhov (Horvat s sod., 2008). V skoraj 150 let trajajočem obdobju je bilo zgrajenih približno 3.500 različnih stabilizacijskih in zaplavnih pregrad, gradnja pregrad se je nadaljevala tudi kasneje, ko so se po poplavih septembra 2007 začeli izvajati sanacijski programi.

V Sloveniji nimamo posebnega zakona o hudourništvu, ampak je področje urejanja hudournikov delno pokrito z ostalimi zakoni. Upravljanje z vodami je v pristojnosti države, izbrana z zakonom določena opravila pa so v pristojnosti lokalnih skupnosti. Natančnejša organiziranost z vodami je zapisana v III. delu Zakona o vodah iz leta 2002.

V nadaljevanju so podane topografske, hidrogeološke in meteorološke karakteristike Slovenije, ki vplivajo na hudourniški značaj vodotokov.

## 2.1 Relief

Slovenija je gorata in gričevnata dežela, saj ima le 8,6 % območij naklon nižji od 4 % (STAT, 2013). Reliefna in geološka raznolikost se kaže v gorskem in hribovitem svetu, katerega je v RS kar 69 %, iz teh predelov vodotoki sprejemajo večino vode. Več kot tretjina ozemlja je plazljiva, gradijo ga glinasti skrilavci glinene usedline in fliš. Področje gorskih Alp in Karavank gradijo tla menjajoče se vodoprepustne ter neprepustne plasti (Martinčič, 2014).

Pomembna hidrogeološka značilnost države je, da ima 44 % površja kraški značaj (LMTe, 1987), katerega značilnosti se kažejo v posebnih oblikah površja in neznanih podzemnih vodnih tokovih, ki se kasneje pojavijo kot močni kraški izviri. Kraška območja imajo nizko gostoto rečnih mrež, posledice se kažejo v občasnih sušah. Izjema so kraška polja, le-ta so ena izmed redkih območij, ki imajo ustrezne razmere za človekov življenjski prostor. Visoki kras se pojavlja v strmih apneniških gorah alpskega sveta, kjer najdemo tudi povečan površinski odtok ob intenzivnih padavinah. Na obrobju Alp pa izdatne kraške izvire, ki kažejo značilnosti hudournikov (Mikoš s sod., 2004).

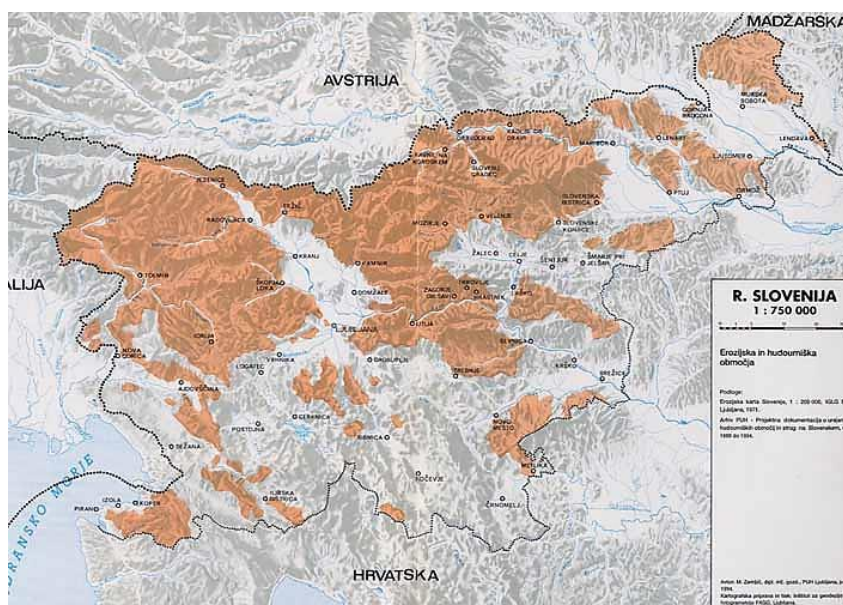
Primer reke Hubelj s srednjim pretokom  $3,03 \text{ m}^3/\text{s}$  v obdobju 1961–1990, v času močnih padavin ima značilnosti hudournika s pretokom več kot  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  (Kolbezen, Pristov, 1998).



Slika 1: Relief Slovenije s prikazom višin (KSH, 2005).

Izjemno pokrajinsko pestrost Slovenije lahko opazimo tudi v veliki raznolikosti poplav in poplavnih območij (Karel, 2005).

Rezultati preteklih raziskav na tem področju prikazujejo, da se vidni erozijski pojavi v Sloveniji razprostirajo na skoraj 9.000 km<sup>2</sup>, to predstavlja kar 44 % ozemlja RS. Prepređa ga 8.000 km hudournikov, več kot 4.000 km<sup>2</sup> (petina Slovenije) tvorijo prispevne površine 400 hudourniških območij (Mikoš, 1995). Na teh območjih se vršijo erozijski procesi, ki imajo večjo sposobnost spiranja in odplavljanja erozijskega detritusa kot je obnova rodovitnih tal (Horvat, 2000).



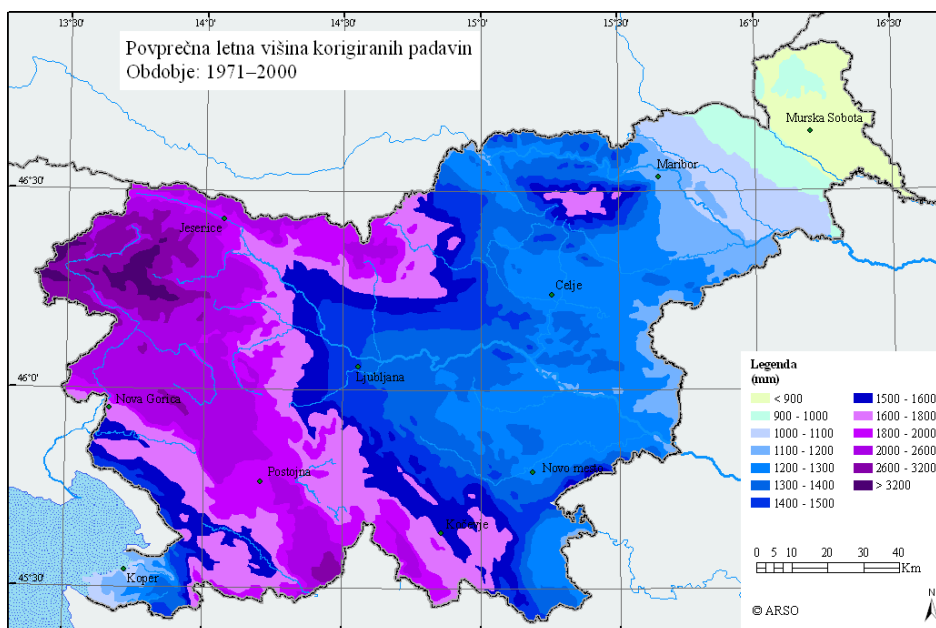
Slika 2: Erozijska in hudourniška območja v Sloveniji leta 1994 (Jesenovec, 1995).

## 2.2 Padavine

Slovenije spada na področju Evrope med območja z največjo količino padavin. Porazdelitev padavin ima veliko korelacijo z razgibanostjo terena, orografske pregrade količino padavin povečujejo, proti notranjosti celine se le-ta količina zmanjša. V Sloveniji so največje padavine ob prehodu toplih zračnih mas preko države, ki se gibljejo z jugozahodnim vetrom. Območje največjih letnih količin padavin zajema Dinarsko-Alpsko gorovje, to je območje nad Bohinjem in v povirju Soče, kjer pade letno več kot 3.000 mm. Skrajni severovzhod države (Prekmurje) ima močan vpliv celinskega podnebja, letna količina padavin je manjša od 900 mm. Na jugozahodu države, ob obali se letna količina padavin giblje med 1.100 in 1.200 mm (Brilly, Šraj, 2005). Merjenje padavin se je v državi začelo sredi 19. stoletja, danes meritve potekajo na 290 ombrometrih in 49 ombrografih. V uporabi je tudi meteorološki radar v srednjem delu Slovenije (Lisca), na katerem se med drugim izvaja tudi merjenje padavin (ARSO, 2005).

Za Slovenijo so značilna tri različna podnebja: celinsko, sredozemsko in alpsko. Za obdobje 1961–1990 so povprečne letne padavine na tem območju znašale 1.567 mm, povprečni letni odtok 917 mm ter povprečno letno izhlapevanje 650 mm (Kolbezen, Pristov, 1998).





Slika 3: Povprečna letna količina korigiranih padavin za obdobje 1971–2000 (ARSO, 2006).

Iz poročila Agencije Republike Slovenije za Okolje (2006) razberemo, da za razporejenost in količino padavin v Sloveniji ni splošnih pravil, vidne so razlike med meseci oz. letnimi časi, med območji in vodotoki. Glavno vlogo za letni padavinski cikel, zaradi največjega vpliva v obravnavanem območju, ima podnebni tip. Največja količina padavin v alpskem podnebjju (Rateče, Kredarica) se sprosti jeseni in pozno pomladi oz. v začetku poletja. Submediteransko podnebje (Bilje) ima značilnost, da največ padavin pade konec pomladi in v jeseni. Vpliv celinskega podnebjja (Murska Sobota, Novo mesto) se kaže v zmanjšani količini padavin s padavinskim maksimumom med poletnimi plohami in nevihtami.

V višje ležečih predelih pade pozimi večina padavin v obliki snega, le-ta se za daljše časovno obdobje lahko nalaga kot snežna odeja. Delne otoplitve topijo sneg in sproščajo nadpovprečno količino vode, ki odteka v dolino. Hipne spomladanske otoplitve združene z močnim deževjem lahko vodijo v katastrofo, debelina snežne podlage v visokogorju lahko meri več kot 500 cm in traja do 150 dni (Brilly, Šraj, 2005).

Pri oblikovanju odtoka imajo padavinske razmere odločilno vlogo. Pri tem so pomembne tako količine padavine [ $mm$ ], kakor tudi intenziteta padavin (količina v časovni enoti) [ $\frac{mm}{h}$ ], obe padavinski karakteristiki vplivajo na hudourniški značaj vodotokov (Mikoš, 2009). Najvišje letne padavine v državi so na območju porečja zgornje Soče, tik ob meji z Italijo. Statistična analiza daljšega časovnega obdobja meritev intenzivnejših padavin na tem območju, je pripeljala do zaključka, da vsako leto v povprečju tukaj zgodi približno 40 močnih neviht. V zgodovini so bile tu izmerjene padavine z jakostjo več kot 100 mm/h oz. več kot 400 mm/dan (HMZ, 1995).

### 2.3 Hidrološke lastnosti hudournikov

Hudournik je gorski ali hribinski potok z relativno velikim naklonom struge pa tudi z naglimi in močno spreminjajočimi se pretočnimi razmerami (Mikoš, 2012). Naravni stalni ali presihajoči vodotoki zaradi kratkotrajnih obilnih padavinskih dogodkov (neurja, nalivi, nevihte) ali intenzivnega taljenja snežne odeje nastanejo naglo in v nižinskih predelih lahko vodijo v poplave. V svojem kratko trajajočem času naraslega odtoka intenzivno erodirajo (spirajo in odnašajo) trdne snovi (plavine, sedimente) iz svoje struge in trgajo iz svojega vodozbirnega območja plavje (les, vejevje) ter jih premeščajo in odlagajo v strugi ali zunaj nje oziroma v dolinskem vodotoku. Njihova značilnost je tudi velika razlika med pretoki visokih in nizkih voda, lahko se pojavljajo hipne spremembe pretoka, posledično je povečana prodonosnost. Po navedbah Jesenovca (1995) je največja nevarnost takšnih vodotokov hudourniška poplava, blatni in drobirski tok, intenzivno premeščanje kamnin, proda, blata (drobir) in lesa (lesni drobir). V strmih strugah lahko mešanica rinjenih plavin in plavja povzroči pojav imenovan blatni ter drobirski tok.

Mikoš (2000) hudournike opisuje kot strme struge z veliko prodonosnostjo oz. s pojavljajočim se drobirskim tokom. Drobirski tokovi so vmesna oblika med zemeljskimi plazovi ter blatnimi tokovi z veliko vsebnostjo drobnih plavin. V kolikor se drobirski tokovi pojavljajo v vodotokih, ti zahtevajo posebno tehniko urejanja.

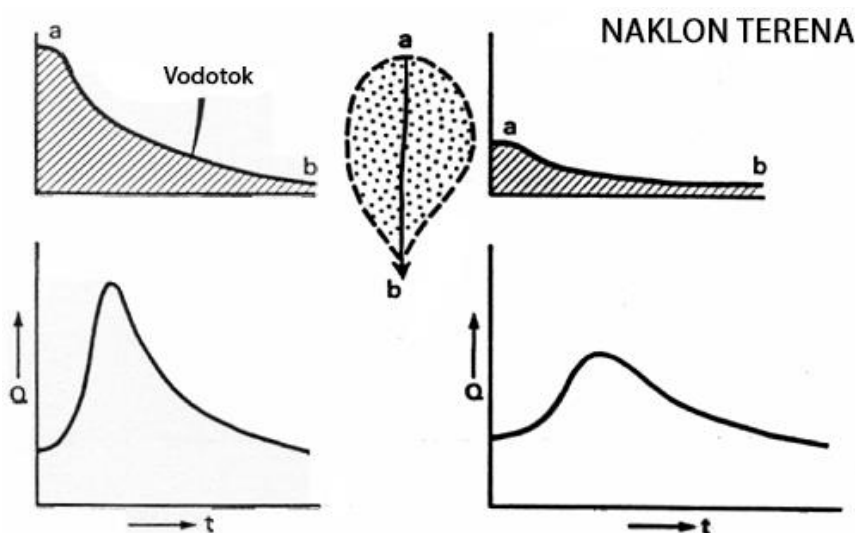
Pojav hudourniških voda je najbolj pogost spomladi, jeseni ali ob močnih padavinah, kot kombinacija frontalnih padavin z orografsko pogojenimi konvekcijskimi padavinami. Njihova značilnost je, da nekajkrat letno močno dvignejo gladino vodotokov, v teh stanjih močno presegajo povprečne večletne vrednosti pretokov. Pomanjkljivo vzdrževan vodotok prestopi brežine in posledično poplavlja, stanje se običajno po nekaj dneh, v primeru hudournikov lahko že po nekaj urah umiri.

Spomladi se zgodi večina hudourniških voda, saj se čez zimo v goratem svetu kopičijo snežne padavine, voda se v snežni obliki zadržuje in zaradi zamrznjenosti ne more odteči. Pomladne otoplitve odtajajo sneg, ki se v kratkem času sprosti kot večja količina vode, le-ta se kot nadpovprečen pretok kaže v odtekajočih se vodotokih. Pojav se še dodatno poveča, če je združen z dežjem, takšna hudourniški odtok ima za nekajkrat presežen letni pretok gorskih potokov, njegova rušilna moč spodjeda brežine, ceste ter morebiti celo poplavlja (Hlatan, 2000). Pri tem je potrebno opozoriti, da v primeru tajanja snega običajno naraščanje pretoka vode v hudourniku ni tako hitro kot v primeru intenzivnih padavinskih dogodkov (npr. poletne nevihte), izjema so lahko hitre odjuge.

Jeseni tudi prihaja do hudourniških voda, le-ti pojavi se zgodijo kot posledica močnih otoplitev, ki z dežjem stopijo jesenske snežne padavine višje ležečih predelov. V dolino se

sprostijo dodatne vodne količine. Jesenski pojav je podoben spomladanskim otoplitvam, čeprav so praviloma jeseni snežne zaloge manjše. Velikost hudourniškega pojava je odvisna od jakosti otoplitve, višja temperatura hitreje in v krajšem času sprosti vodne zaloge iz snega ter od datuma pojava otoplitve, pozneje kot nastopi otoplitev, večje so možnosti za povečane količine snežnih zalog v višje ležečih območjih (Hlatan, 2000).

Močan padavinski dogodek, kot posledica večje intenzivnosti padavin v večdnevnem obdobju lahko vodi v hudourniške vode tudi v preostalih koledarskih dneh, ki so brez snežnih zalog. Med obilne kratkotrajne padavinske dogodke uvrščamo poletne nevihte, takrat večja padavinska intenziteta nadomešča pomanjkanje snega.



Slika 4: Vpliv naklona terena na koncentracijo površinskega odtoka (prirejeno po AlleghenyGeoQuest, 2015, citat po Gregory and Walling, 1973).

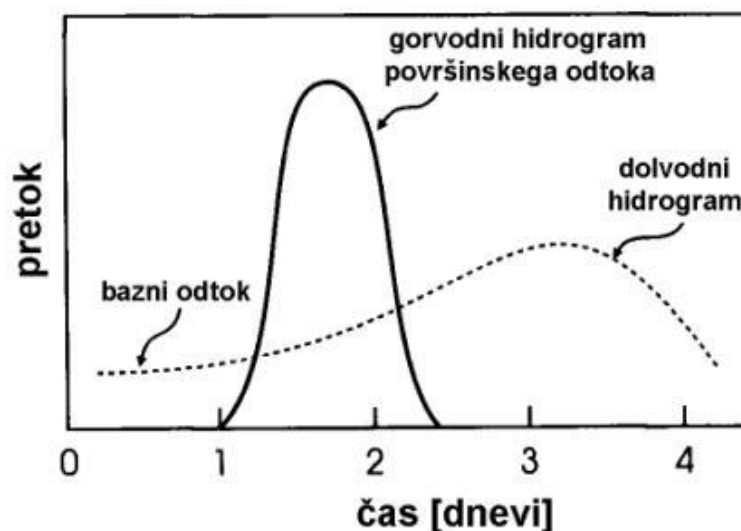
Na hitrost koncentracije imata velik vpliv tudi padec površine in oblika povodja. Vpliv padca povodja nam kaže poglavitno vlogo predvsem v krajšem času koncentracije pri povodjih z večjim naklonom površine. Nasproten vpliv ima tudi oblika povodja, kjer imajo dolga in bolj ožja prispevna območja zakasneli čas koncentracije (Brilly, Šraj, 2005). Pri hudournikih ima bolj kot sama oblika porečja glavno vlogo naklon terena, večji kot je naklon, višja je konica in krajši je čas koncentracije površinskega odtoka.

Izjemno vlogo v hudourništvu predstavlja tudi hidrologija kot znanstvena veda. Zaradi pomanjkanja oz. prekratkega intervala uporabe merilnih naprav na hudourniških prispevnih površinah nimamo dovolj kvalitetnih podatkov o padavinskih dogodkih. V povezavi s statističnimi metodami se lahko približamo naravnemu stanju z modeli za sintetični histogram padavin, ključna je izbira modela opisovanja razporejenosti padavin čez padavinski dogodek za posamezno območje oz. študijo uporabe. Del tako določenih padavin prestreže vegetacija ali pa poniknejo, tako odštete padavinske izgube nam predstavljajo površinski odtok.

Določimo lahko še konico in volumen odtekle vode, ki jih potrebujemo za študije na hudourniških območjih glede spremembe pretoka, erozije in pri morebitnih projektiranih objektov.

Hidrološke analize podajo podatke o bilanci vode, ki je na voljo v rekah, jezerih in podtalnici. Poda nam odgovor na vprašanje koliko te vode lahko uporabimo za različne namene, od oskrbe prebivalstva, industrije, kmetijstva do potreb žive narave v vodnem in obvodnem habitatu (Brilly, Šraj, 2005). Na oblikovanje odtoka poleg padavin pomembno vplivajo tudi lastnosti tal, vegetacija in oblikovnost površja (relief). S pomočjo hidrologije za potrebe varstva pred hudourniki so določene hidrološke karakteristike hudournikov: hitra tvorba padavinskega odtoka, zelo majhen bazni odtok, hiter površinski odtok ter slaba prostorska pokritost s podatki o padavinah, saj gre večinoma za majhna prispevna območja.

Odtok površinskih voda je del hidrološkega kroga, ki ves čas poteka na Zemljinem površju. Površinski odtok imenujemo padavine, ki padejo na Zemljino površino ter neposredno odtečejo površinsko in podpovršinsko v fluvialno mrežo. Temu odtoku ne prištevamo padavin, ki se zadržijo na rastlinah ali v tleh ali izhlapijo. Voda se giblje pod vplivom gravitacijske sile proti najnižji točki obravnavane prispevne površine ali padavinskega območja. Najmanjši bazni odtok se oblikuje kot posledica izcejanja podpovršinskih voda, v strugi vodotoka je zaznan, ko na prispevnem območju dalj časa ni bilo padavin ter odtoka površinskih voda. V primeru večjih padavin, začne gladina vode v vodotoku naraščati, hitro doseže maksimum in v nadaljevanju postopoma upada. Diagram časovnih sprememb pretoka v vodotoku imenujemo hidrogram (Brilly, Šraj, 2005).



Grafikon 1: Hidrogram površinskega in baznega odtoka (Brilly, Šraj, 2005).

Študija v kateri sta Dirnbek in Šraj (2010) preučevala vpliv histograma padavin na hidrogram površinskega odtoka, govori o tem, da je proces padavinskega odtoka kompleksen pojav, ki ga je težko simulirati. Osnovne lastnosti hidrograma odtoka zahtevajo razumno točnost, predvsem volumen odtoka in konice. Izredno težavo predstavljajo vhodni podatki za povodja brez meritev ter določanje padavinskih konic z izbrano povratno dobo – projektnih pretokov. Le-ti projektni pretoki se večinoma določajo na podlagi natančnih statističnih analiz padavinskih dogodkov za čim daljše časovno vrsto meritev s pomočjo sintetičnih histogramov padavin z izbrano povratno dobo (intenziteto padavin) ter časom trajanja padavin. Iz tega dobimo korelacijo med intenziteto, trajanjem in povratno dobo. Določitev sintetičnih padavin je bistvenega pomena za primerljive modele padavinskega odtoka s katerimi se poskušamo približati naravnemu stanju.

Pogosto uporabljeni modeli padavinskih izgub nam dajo uporabne in primerljive rezultate. Vse izbrane metode so imele zanemarljiv vpliv na konico hidrograma, čas pojava konice ali volumen odtoka (Dirnbek, 2009).

Projektne padavine so ključni podatek za določanje projektnih pretokov. Razporeditev, trajanje in položaj konice padavin lahko ima bistven vpliv na konico hidrograma, čas pojava konice ter volumen odtoka. Na konico in čas pojava ima največji vpliv časovna razporeditev sintetičnega histograma padavin, le-ta vpliv smemo zanemariti v primeru kratkotrajnih padavinskih dogodkov na relativno majhnih območjih povodij s kratkim časom koncentracije (Dirnbek, Šraj, 2010). V primeru hudournikov lahko torej ta vpliv zanemarimo, saj se konica hidrograma odtoka tvori zelo hitro.

Sintetični histogram padavin, ki smo ga dobili iz statistične analize padavinskih dogodkov za čim daljši časovni interval meritev, nam služi za hidrološko modeliranje, iz katerega izračunamo: projektne pretoke z želeno povratno dobo, analizo poplav, načrtovanje ali določanje poplavnih linij. Tako določen histogram padavin uporabljamo tudi v primeru prekratkega obdobja meritev ali pa ko meritve sploh niso bile izvajane. Posledično lahko govorimo, da je sintetični histogram padavin eden izmed najpomembnejših vhodnih podatkov za določanje projektnih pretokov ter da je izredno pomembno na kakšen način ga izračunamo (Ball, 1994).

## 2.4 Hidravlične lastnosti

Pri hidravlični analizi hudournikov je zelo pomembna velikost vlečne sile vode. Kadar imamo v strugi ravnovesne oz. ustaljene razmere, je vlečna sila vode v ravnovesju z odporom plavin proti premikanju, to je v času nizkih in srednjih pretokov voda. V času visokih pretokov se poveča vlečna sila, kar spremeni stanje v strugi. Porušitev ravnovesja lahko privede do škodljivega delovanja hudournika. Vlečna sila je odvisna od naklona nivelete, zaraščenosti in oblike struge, globine oz. količine vode ter njene zasičenosti s plavinami (Suhadolnik, 2007).

V primeru vodotokov, še posebej hudournikov, pretok vode  $Q$  ni konstanten in vnaprej določen, izračune je potrebno nekoliko korigirati, prav tako moramo upoštevati preostale posebnosti toka v strugah z velikim padcem dna. V hudourniku pretok niha v odvisnosti od izbranega časovnega intervala opazovanja, velik vpliv ima tudi dolžina časovnega intervala.

Za številne hidravlične preračune ima odločilno vlogo maksimalni pretok vode  $Q_{max}$  v opazovanem časovnem intervalu, ta maksimalni pretok se uporabi kot pretok visokih voda v enačbi, s katero dimenzioniramo npr. prelivno sekcijo hudourniške pregrade (Mikoš, 2008). Določevanje maksimalnega pretoka visokih voda  $Q_{max}$  je pogosto zelo težavno.

Pomemben podatek za urejanje hudourniških strug ni le pretok vode, ampak so tudi plavine in drobirski (masni) tokovi (Mikoš, 2009). Pretočne globine v toku čiste (hudourniške) vode so precej manjše kakor v toku mešanice vode in drobirja (plavin). V dnu hudourniških strug se odvijajo erozijski in sedimentacijski procesi poglobljanja ter odlaganja, le-ti so lahko vzrok za spreminjanje nagiba dna hudourniške struge v odvisnosti od pretoka vode in lastnosti struge.

V strmih strugah za vrednotenje pretočnih vrednosti uporabljamo postopke s pomočjo empiričnih, semi-empiričnih (poleksperimentalne) ter teoretičnih računskih obrazcev. Teoretični pristopi so običajno računsko zelo zapleteni in dolgotrajni zaradi velikega vpliva tridimenzionalnosti in večfaznosti toka. Empirične in semi-empirične enačbe še vedno uporabljamo v veliki meri zaradi svoje preprostosti in zadovoljivih rezultatov. Poznamo mnogo empirično pridobljenih enačb različnih avtorjev. Pri uporabi moramo biti pazljivi, saj vsaka enačba ustreza le določenemu intervalu uporabe, ki so pogosto lokacijsko pogojene, saj so vezane na območje, kjer so bile razvite (Mohorič, 2012).

Manningova in De Chézy-jeva enačba, ki nam za odprte vodotoke blažjih naklonov podata dokaj točne vrednosti pretočnih hitrosti, pri obravnavanju vodnih tokov v strmih strugah odpovesta. V hudourniku posamezni parametri toka niso enostavno določljivi, zato je Rickenmann (1994) predlagal določitev pretočne hitrosti s pomočjo empirične enačbe, ki za vhodne parametre upošteva vzdolžni nagib struge, pretok vode in značilno zrnavost plavin v dnu hudourniške struge.

Dovolj preprosta za uporabo je tudi Jarrett-ova režimska enačba, ki je primerna za račun strmih enakomernih naravnih vodotokov, z minimalno vegetacijo na brežinah, stabilnim dnom iz proda, brez vpliva zajezb in z malo lebdečimi plavinami.

Jarrett-ova enačba:

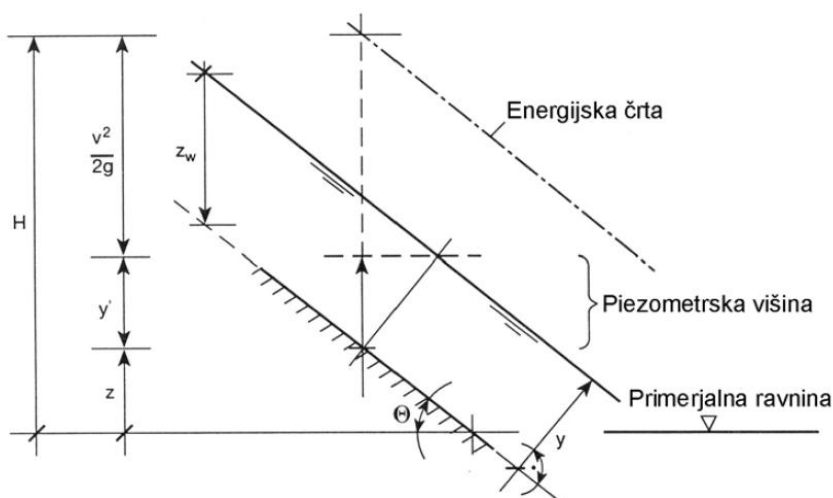
$$v = 3,11R^{0,83} I_0^{0,12} \quad (1)$$

$v$  hitrost po prerezu

$R$  hidravlični radij

$I_0$  vzdolžni padec(naklon) kanala

»V strmih strugah je potrebno prilagoditi tudi Bernoullijevo enačbo. Na spodnji sliki 5 so prikazane razmere za stalni enakomerni tok. Tokovnice so vzporedne in porazdelitev tlakov je hidrostatična. Piezometrična meritev, da za točko na dnu struge odčitek za višino tlaka  $y'$ « (Mikoš, 2008).



Slika 5: Bernoullijeva enačba za strme struge s podanima pretočnima globinama:  $v$  navpični smeri  $z_w$  in  $v$  smeri pravokotno na vodno gladino  $y$  (Mikoš, 2008).

Če upoštevamo izraz  $y' = y \cos \theta$ , se zapiše hidrostatični tlak  $p_w$  na točko dna struge kot:

$$p_w = p_w g y' = p_w g y \cos \theta = p_w g \cos^2 \theta \quad (2)$$

Zapisani izraz ima svoj pomen tudi pri toku podzemne vode na pobočjih.

Energijska višina  $H$  se na koncu zapiše kot:

$$H = z + y' + \frac{v^2}{2g} = z + y \cos \theta + \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

## 2.5 Hudourniške poplave

Naravne nesreče se od naravnih pojavov, ki so »le« zanimivi (severni sij), ločijo zaradi človeških žrtev in materialne škode. Za našo državo je značilno, da ima v naravnih nezdah razmeroma malo žrtev, na drugi strani je materialna škoda velika (Orožen, 2005).

V Sloveniji so glavni vzroki za nastanek hudournikov in težav z njim neugodne geološke razmere, razgibana morfologija in obilne padavine, ki se kažejo predvsem v obliki dežja. Slovenija leži v povirnih delih večjih rek, zato so pogoste hudourniške poplave. Iz tega lahko izvzamemo le reki Drava in Mura, ki se v Slovenijo stekata iz Avstrije (Mikoš s sod., 2004). Hudourniške poplave je Natek (2005) opisal kot kratkotrajne in izjemno silovite. Vode in pretoki hitro narastejo, s seboj prenašajo velike količine plavin in plavja, ki ga nasipajo na vršajih ali v ravninah, po nekaj urah divjanja pa že upadejo in se umirijo. Poplave se zgodijo ob vznožju na stotinah manjših hudournikov v gorskem svetu, hribovju in gričevju, prav tako pa tudi ob nekaterih večjih rekah, na primer Savinji, Mislinji, Kamniški Bistrici, Sori.

Površine v Sloveniji se intenzivno in obsežno naravno zaraščanje zaradi opuščanja pašnikov, travnikov in preostalih kmetijskih površin (Mikoš s sod., 2004). Z gozdom je porasle 58,4 % površine Slovenije (ZGS, 2012), ta gosta poraščenost na eni strani uspešno zmanjšuje erozijo prsti, na drugi strani zmanjšuje bazni odtok vodotokov. V preteklih vročih poletjih zadnjega desetletja je hidrološko sušo v vodotokih in kmetijsko sušo na nenamakah kmetijskih površinah povzročilo prav zmanjšanje nizkih pretokov.

Plazenje poleg ogrožanja zgradb in ostale infrastrukture tudi dodatno skrbi za morfološke spremembe terena. Plazovi lahko premaknejo izdatno količino sedimentov, ki ne ostane na pobočjih, ampak doseže rečno mrežo. V katastrofalnih pogojih je zaradi porušitev naravnih pregrad možnost izbruha hudournikov, drobirskih tokov ali porušitvenih valov (Mikoš s sod., 2004).

Iz Slovenskega vodarja (2000) razberemo, da hudourniški procesi vsakoletno povzročajo 30.000 ha močnejše erodiranih površin, izmed njih se na 10.000 ha pojavljajo odprta žarišča globinske ali bočne erozije, usadi in udori. Letno delovanje vseh erozijskih procesov na območju Republike Slovenije, povzroča erozijski dentritus drobnejšega materiala od 0,6 mm v skupni izmeri ploščine 1.300 ha, debeline 20 cm, ki ga lahko obravnavamo kot izgubljena rodovitna zemljišča. S hudourniških prispevnih območij, se vsako leto sprosti približno 2,5 mio m<sup>3</sup> erozijskega drobirja, kar je 47 % od skupnega celoletnega sproščene erozijskega drobirja. Pri tem je potrebno dodati, da vse sproščene količine niso odplavljene neposredno v sprejemne reke (Sočo, Savo, Dravo ali njihove večje pritoke), ampak jih približno 60 % zastane in začasno obleži v erozijskih in hudourniških strugah. Zastani dentritus na hudourniških grapah, pobočjih, meliščih, hudourniških vršajih in sipinah ob



vznožju gorskih ostenj je lahko vzrok, da se v primeru nenadnih višjih vodah sproži hudourniški izbruh, ki povzroči tisočkratno povečanje letne škode na posameznem območju.



Slika 6: Erozijski drobir, kot posledica večdnevnega deževja (Geosociety, 2015).

Izredno veliko težavo predstavljajo površine, kjer se pojavlja razmakanje, plazenje in trganje zemeljskih plazov, kot posledica hidromorfološkega izvora. Do sedaj zbrani podatki nas vodijo do zaključka, da cca. 30% območja Republike Slovenije obsegajo zemljišča, ki ob neugodnih vremenskih razmerah plazijo. Hudourniški izbruhi pa lahko povzročijo katastrofalne posledice v primeru splazitve, ki zajezi hudourniško strugo in posledično ustvari pogoje za masovni prenos plavin. Ti zavzamejo največjo intenziteto s hudourniškim koničnim odtokom, skupno kot drobirski tok, na svoji poti rušijo vse ovire (Horvat, 2000).

Primarna naloga urejanja hudournikov je zmanjšati in umiriti dinamiko vlečne sile vode (tj. akcijske sile) ter povečati odpor dna struge in brežin (tj. reakcijske sile). Kontroliramo tiste dejavnike, ki zmanjšujejo vlečno silo vode ali s posegi, ki večajo odpornost na hidrodinamične obremenitve. Prvi izmed ukrepov je zmanjšanje padca niveleta struge, kar se doseže s stopničenjem struge z gradnjo prečnih hudourniških objektov. Istočasno se s tem ukrepom doseže tudi zaustavitev oz. prebiranje plavin, efekt se poveča v kolikor je prečni objekt grajen tako, da ima za seboj zaplavni prostor. Drugi ukrep je oblikovati dovolj širok pretočni profil, ki bo omogočal maksimalne pretoke vode (Suhadolnik, 2007).

Čeprav je naša naloga zavarovati ogrožene odseke hudourniških območij, moramo vedeti, da je za stabilen ekološki sistem še vedno potrebna zadostna dinamika hudournika.

Dinamika se izraža predvsem kot proces kontroliranega erodiranja in odlaganja materiala. Vsako urejanje prispevnega območja hudournika se kaže kot sprememba in zmanjšanje te dinamike. Vsak poseg v hudourniško območje, z namenom ustalitve hudournika, ne pomeni nujno tudi ustalitve ekološkega sistema, posledično moramo toku hudournika pustiti dovolj prostora za ohranitev njegove lastne dinamike (Horvat, 2002).

### 3 PREČNI OBJEKTI NA HUDOURNIKIH

Za blaženje škod, ki jih povzročajo vodotoki s hudourniškimi lastnostmi se običajno izvedejo številne krajevne regulacije, objekti ter protipoplavni nasipi. S številom regulacij se poveča poplavna varnost, zaščita naselij, industrijskih objektov in prometnih povezav.

Zaščitni hudourniški objekti so vse konstrukcije, ki so postavljene v telo hudournika z namenom stabilizacije posteljice, zaščiti brežin in pobočij, za reguliran izpust visokih voda, filtracijo, odplavljanje in transport plavin ali plavja (kamenje, skale, les,...), za disipacijo energije drobirskih tokov ter preusmeritev nevarnih vod stran od objektov ali območij, ki so v nevarnosti (Martinčič, 2014).

Prečni objekti so tisti izvedeni tehnični ukrepi v hudourniški strugi, ki preprečujejo poglobljanje dna struge (preprečujejo globinsko erozijo) oz. stabilizirajo niveleto struge, zadržujejo in prebirajo plavje ter plavine, podpirajo narušene bregove (podpiranje pete usada ali zemeljskega plazju ob vodotoku), razpršujejo vodne tokove ter prekinjajo premeščanje plavin ob neurjih. Prečne objekte je priporočljivo izvesti na ustrezno širokem delu struge, kjer se lokalno lahko vzpostavijo območja mirnega vodnega toka, le-ta so ekološko zelo dragocena, saj se tvorijo različne oblike dna strug in brežin, poleg tega je tudi učinkovito zmanjšana pretočna hitrost. Zaradi splošnega pregleda poznamo delitve na podlagi konstrukcije, funkcije in uporabljenega materiala v pregradi (prečnem objektu).

»Osnovne vrste prečnih zgradb, ki se uporabljajo pri regulaciji hudourniških strug, so pregrade in pragovi. Pregrade so prečne zgradbe, katerih koristna višina je večja od 2,00 m. Namen pregrade je zaščita prečnega profila struge pred nadaljnjimi erozijskimi procesi, saj zagotovijo zmanjšanje vzdolžnega padca struge in posledično manjše hitrosti in vlečne sile, zadrževanje plavin na gorvodnih odsekih hudourniških strug, zadrževanje plavin v zaplavnih objektih in konsolidacija erozijskih procesov na gorvodnih delih brežin in struge. Glede na funkcijo razlikujemo zadrževalne, ustalitvene in zaplavne pregrade« (Gavrilovič, S., 1972, cit. po Markič, T., 2008).

»Hudourniške pregrade so manjše od velikih pregrad, a so lahko kljub temu visoke več metrov. Na mestu, kjer je postavljena pregrada, se struga umetno zviša in utrdi ter tako predstavlja fiksno točko v vzdolžnem rečnem profilu. Pregrade vplivajo na maksimalni pretok ob ekstremnih pretokih in ga zaradi zmanjšanega strmca nekoliko ublažijo. Za pregrado se zaradi dotoka erozijskega gradiva sčasoma nabere zaplavec iz proda, peska, grušča in drugih naplavin« (Martinčič, 2014).

»Pragovi za seboj nimajo zaplavka ali pa je ta zelo majhen. Poznamo dve vrsti pragov, in sicer s stopnjami ali brez stopenj, t. i. talne pragove. Pragovi so primerna in obenem odlična rešitev v spodnjem in srednjem teku hudournika. Pragove in niveleto naj bi oblikovali tako, da hitrost vodnega toka ne presega mej, ki še omogočajo obstanek živih organizmov v vodi. Mejna hitrost, ki še omogoča življenje v vodi, je 3,5 m/s, pri večjih hitrostih začne voda odplavljati organizme« (Horvat, 1993, cit. po Tratnik, 1988).

Uporaba drč je primerna v srednjih in spodnjih delih (odsekih) hudournikov, kadar moramo še vedno premestiti precejšnje višinske razlike. Objekt mora imeti pravilno obliko, uvrščenost ter ustrezno stabilnost. Prav tako kot pri pragovih, moramo utrditi in zavarovati podslapni tolmun (Suhadolnik, 2007).

»Pregrade običajno postavljamo le v zgornjih delih hudournikov, ker je delovanje hudournika običajno tam intenzivnejše in morajo biti tudi naši ukrepi temu primerno intenzivnejši. Z izgradnjo pregrad zmanjšamo vzdolžni naklon dna in s tem vlečno silo vode. Glavni vzrok je dejstvo, da je v zgornjih povirnih delih padec dna struge največji in samo z višjim objektom (pregrado) ga lahko zmanjšujemo. Potencialna energija, ki zaradi zmanjšanja vzdolžnega naklona preostaja, se lokalno porabi pri padcu vode s krone preliva oz. vrha pregrade v podslapju tolmuna. Pri tem padcu se potencialna energija v podslapju porabi za intenzivno vrtinčenje vode oz. za erozijske procese. Kjer pogoji to omogočajo, zgradimo več (serijo) manjših pregrad« (Horvat, 1993, cit. po Tratnik, 1988).

Za vsak večji poseg v okolje (tudi za pregrade) je v Sloveniji potrebno izvesti študijo vpliva objekta na okolje. Pri izvedbi te presoje vplivov je nujno pomembno sodelovanje strokovnjakov različnih strok, čimprej je potrebno vključiti laično javnost (lokalne prebivalce), saj bo objekt trajno vključen v njihovo krajino. Rezultat sodelovanja in presoje vplivov na okolje je zmanjšanje negativnih vplivov objekta na okolje in predvideti nadomestne ukrepe za zmanjšanje negativnih vplivov (Steinman, F., Banovec, P., 2008). Izgradnja prečnih hudourniških pregrad izjemno spreminja pretočne razmere, predvsem vzdolžni nagib hudourniške struge (Mikoš, 2009).



Slika 7: Več kakor sto let stara hudourniška pregrada, zidana v cementni malti (hudournik Šijak), (UJMA, 2008).

Stanje v Avstriji je povzel Torkar (2013), njihov sistem za zagotavljanje varnosti pregrad je zasnovan na dolgoletnih izkušnjah ter hkrati ustrezno zakonsko in organizacijsko podprt. Pregradno inženirstvo je urejeno vse od osnovnih definicij, zasnove, projektiranja, obratovanja, nadzorovanja ter do vzdrževanja. Na Avstrijskem inštitutu za standarde je interdisciplinarna delovna skupina ON-K-256 razvila nove celovite tehnične smernice za zaščitne konstrukcije. Za hudourniške zaščitne konstrukcije so predpisane posebne tehnične smernice (ON-Regel) in vsebujejo obtežbo, zasnovo, dimenzioniranje in oceno nadzornih del za celotno obdobje uporabe pregrade:

- ONR 24800 zaščitne konstrukcije na hudournikih (izrazi, definicije, klasifikacija);
- ONR 24801 zaščitne konstrukcije na hudournikih (statične in dinamične obremenitve);
- ONR 24802 zaščitne konstrukcije na hudournikih (projektiranje, zasnova, konstruiranje);
- ONR 24803 zaščitne konstrukcije na hudournikih (obratovanje, nadzor, vzdrževanje).

V naslednji preglednici je prikazana klasifikacija hudourniških procesov po ONR 24800 (Bergmeister s sod., 2009), katera vsebuje poplave, rečni sedimentni transport, drobirski sedimentni transport ter drobirski tok.

Preglednica 1: Klasifikacija in lastnosti hudourniških procesov po ONR 24800 (Torkar, 2013).

Tip premika	Poplave			Drobirski tok	
Način premika	rečni			drobirski	
Izraz	poplave	rečni sedimentni transport		drobirski sedimentni transport	drobirski tok
Tip procesa	odtok vode	rahel	sedimentni transport	močan	drobirski tok
Tip tekočine	newtonska	newtonska		skoraj newtonska	nenevtonska
Volumen sedimentov na enoto prostornine	0,10%	0-20 %		20-40%	>40%
Najvišja velikost zrn	mm-cm	-dm		-m	-m
Gostota	1000 kg/m <sup>3</sup>	<1300 kg/m <sup>3</sup>		1300-1700 kg/m <sup>3</sup>	>1700 kg/m <sup>3</sup>
Pomembne sile	turbulenca, strižne napetosti	turbulenca, strižne napetosti		vzgon, turbulenca, strižne napetosti, razpršen tlak	vzgon, razpršen tlak, viskozne in trenjske sile
Porazdelitev snovi v prečnem prerezu	Trdni delci na dnu in suspenzija	Trdni delci na dnu in suspenzija		Trdne snovi in suspenzija	Trdne snovi
Škoda povzročena z	Vodo in suspenzijo	Vodo, suspenzijo in plavinami		Trdno snovjo in vodo	Trdno snovjo in vodo

### 3.1 Protierozijska vloga hudourniških objektov

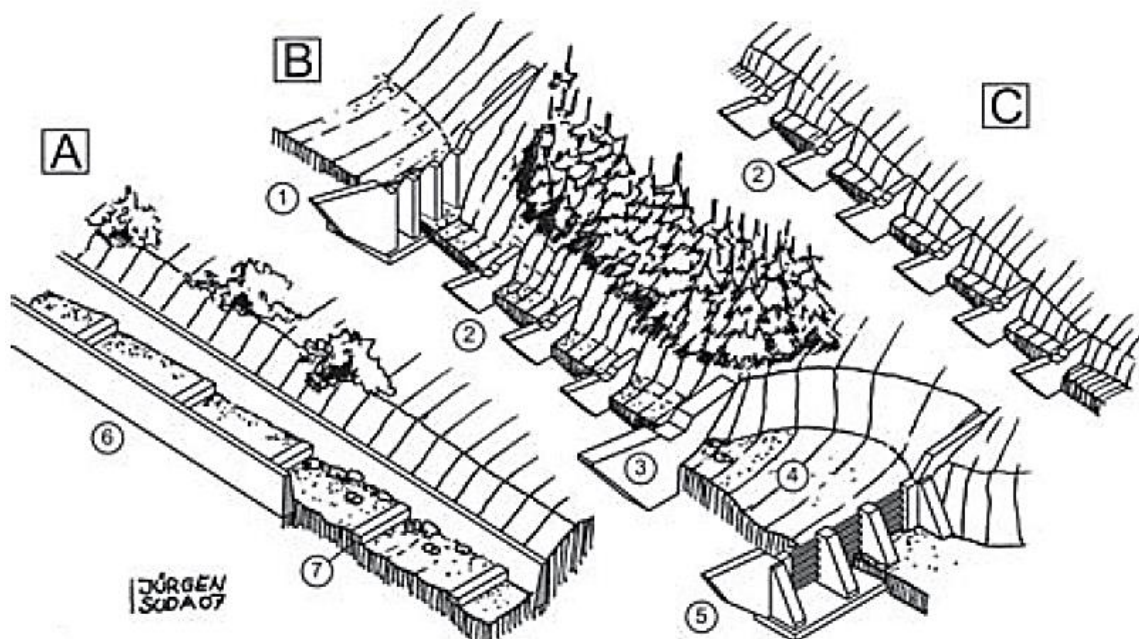
Protierozijska vloga je neposredno odvisna od hitrosti oz. vlečne sile, manjši kot je vzdolžni naklon dna, manjša je vlečna sila vode, kar predstavlja manj razpoložljive energije za erozijske procese.

Hudourniški objekti preprečujejo poglobljanje struge, zadržujejo, prebirajo ter prekinjajo nanose plavin in plavja ob neurjih. Prečni objekti na hudournikih poleg tega stabilizirajo dno in ustavijo globinsko erozijo, pregrade pa predstavljajo dodatno stabilno peto plazljivega pobočja. Namen hudourniške pregrade je zaščita prečnega profila pred nadaljnjim erozijskimi procesi, saj zagotovijo zmanjšanje vzdolžnega padca struge, kar ima za posledice manjšo hitrost in vlečno silo (Markič, 2008).

### 3.2 Objekti glede na funkcionalnost

Za varstvo pred hudourniki poznamo strukturne zaščitne objekte (slika 8), to so tehnične zaščitne enote v nizu, ki jih razdelimo na:

- A) regulacijska enota (niz pragov za stabilizacijo struge);
- B) funkcionalna veriga (kombinacija večfunkcijskih pregrad v zaporedju);
- C) stopenjska enota (niz pregrad).



Slika 8: Kombinacije strukturnih zaščit v hudournikih, (A niz pragov za stabilizacijo struge, B kombinacija večfunkcijskih pregrad v nizu, C niz pregrad), (Suda s sod., 2008).

Vedno moramo biti najprej pozorni na funkcionalnost objekta in šele nato na ostale vidike. Na procese proženja, transporta in odlaganja, lahko vplivamo s specialnimi pregradami. Pred hudourniškim delovanjem nas varujejo pragovi, drče, pregrade, poznamo pa še tudi rampe in razbijače drobirskega toku.

Na sliki 8 vidimo kombinacije strukturnih zaščitnih objektov v hudourniku.

Niz elementov (A) predstavlja pragove s katerimi stabiliziramo strugo, to je zaprta konstrukcija, ki je kombinirana s prečnimi in vzdolžnimi elementi za zaščito struge in brežin. Vodni tok se regulira s pragovi. Namen je zaščititi brežine in dno struge pred vplivom erozije. Niz večfunkcijskih pregrad (B) je kombinacija zaščitnih konstrukcij v zaporedju z različnimi oblikami in funkcijami. Ta regulacija nas lahko zaščiti pred več hudourniški procesi. Niz pregrad (C) je serija zaporednih pregrad, ki imajo podobno funkcijo in obliko. Namen takšne postavitve je konsolidacija struge potoka, zadrževanje sedimentov in disipacija energije (Torkar, 2013).

Na izgled oz. zunanjo obliko pregrade ima največji vpliv funkcija pregrade, ki je določena v skladu s cilji zaščite ter procesi v hudourniku (Suda s sod., 2008). Poznamo odprte in zaprte objekte. Odprte pregrade so objekti z odprtiniami in režami (precednicami), ki so namenjeni celovitim rešitvam, uporabljajo se za zadrževanje (podporo), doziranje vode in sedimentov ter za zaustavitev drobirskega toka. Optimalen tip pregrade je izbran na podlagi problematike procesa, ki jo hočemo omiliti v hudourniku.

Preglednica 2: Funkcionalni tipi hudourniških pregrad po ONR 24800 (Torkar, 2013).

Funkcija pregrade	Vplivni procesi	Področje uporabe	Princip ukrepanja	Obseg učinka
Stabilizacija	Odtok vode Rečni sedimenti transport	Celotni tok	Preventivni učinek	polni učinek za poplave, delni učinek za stabilnost pobočij
Konsolidacija	Odtok vode Rečni sedimenti transport Drobirski sedimentni tok Drobirski tok	Zgornji in srednji tok	Preventivni učinek	polni učinek za poplave, brez predhodnih vplivov
Zadrževanje	Odtok vode zaradi dežja Rečni sedimenti transport (Občasno drobirski tok)	Srednji in spodnji tok	Direktni učinek	polni učinek za poplave, brez predhodnih vplivov
Doziranje	Odtok vode zaradi dežja Rečni sedimenti transport	Srednji in spodnji tok	Direktni učinek	delni do polni učinek za poplave, brez predhodnih vplivov
Filtriranje	Rečni sedimenti transport Drobirski sedimentni tok Drobirski tok Naplavljen les	Srednji in spodnji tok	Direktni učinek	delni do polni učinek za poplave, brez predhodnih vplivov
Disipacija energije	Drobirski sedimentni tok Drobirski tok	Srednji in spodnji tok	Direktni učinek	delni do polni učinek za poplave, brez predhodnih vplivov

ONR 24800 deli zaščitne objekte v odvisnosti od funkcije, tipa konstrukcije ter statičnega sistema. Iz preglednice 3 vidimo, da poznamo objekte za zaščito pred hudourniki z različnimi funkcijami:

- pragove (talni, visok),
- drče,
- rampe,
- pregrade (stabilizacijska, konsolidacijska, zadrževalna, dozirna, filtrirna, ustavitvena, sedimentna,...),
- razbijače drobirskega toka.

Največja razlika pri hudourniških pregradah je ali je pregrada odprta (odprtine v telesu pregrade) ali zaprta (polna). V kolikor je pregrada odprta, jo lahko ločimo še na odprte oz. zaprte krone (Bergmeister s sod., 2009).

Preglednica 3: Osnovna razdelitev zaščitnih konstrukcij po ONR 24800 v odvisnosti od funkcije, tipa konstrukcije ter statičnega sistema (Torkar, 2013).

Funkcija	Stabilizacija Konsolidacija	Zadrževanje (podpiranje)	Doziranje		Filtriranje		Disipacija energije			
	Konsolidacijska pregrada Prag Nizka pregrada Rampe	Zadrževalna pregrada Vodna - Sedimentna - Drobirska - zadrževalna pregrada	Dozirna pregrada Vodna - Sedimentna - dozirna pregrada	Filtrirna pregrada Grobo sedimentna - Lesena - filtrirna pregrada		Razbijač drobirskega toka Disipacijska pregrada Ustavitvena pregrada				
Tip konstrukcije	Stenaste (zaprte) pregrade		Enostavne stenaste pregrade			Večkratne stenaste pregrade (kaskadne pregrade)				
	Odperte pregrade		Pregrade z zaprto krono			Pregrade z odprto krono				
			Pregrade z majhnimi odprtinami Pregrade z velikimi odprtinami			Pregrada z režami	Razčlenjene pregrade		Rešetasta pregrada Mrežasta pregrada Vrvna pregrada	
Statični sistem	Težnostna pregrada	Obočna (ločna) pregrada	Ravne pregrade			Razčlenjene strukture				
			Enostavna pregrada	Stebrasta pregrada	Kotna pregrada	Težnostne		Okvirne		
						Razbijač drobirskega toka	Rešetasta pregrada (toga)	Mrežna pregrada (deformabilna)		



### 3.2.1 Stabilizacijski objekti

Stabilizacijski oz. ustalitveni objekti so zgrajeni s ciljem utrditve pretočnega profila, zmanjšanjem vzdolžnega padca struge in varne oz. trdne opore zadržanim sedimentom za pregrado. Vključujejo ukrepe, ki zaščitijo brežino in dno struge hudournika pred erozijo. Poznamo številne objekte, ki zadostijo tem zahtevam.

#### 3.2.1.1 Pragovi

Pragovi so prečni objekti v hudourniški strugi, ki stabilizirajo erozijske procese, utrdijo vzdolžni padec in prečni profil struge. Delimo jih na talne pragove in pragove s stopnjami. V kolikor moramo zgraditi prag z višjo stopnjo, lahko ta objekt nadomestimo s postavitvijo več zaporednih pragov z manjšo stopnjo.

##### 3.2.1.1.1 Talni pragovi

»Talni pragovi – rečna rebra so prečne zgradbe koristne višine 0,00 m, ki utrdijo vzdolžni padec in prečni profil struge« (Gavrilović, S., 1972, cit. po Markič, T., 2008). Talni pragovi s stopnjami so najpogostejši prečni objekti v srednjih in spodnjih delih hudournikov. Gradimo jih iz okolja primernih naravnih oz. sonaravnih materialov, kot so les, kamen in kamen v betonu.

Potrebno je dodati, da v zasnovi poznamo tri vrste talnih pragov, ki v naravi praktično ne obstajajo. Za talnimi pragovi vedno nastane majhen tolmun in z njim stopnja, posledično vsi objekti zasnovani kot talni prag dobijo lastnost praga s stopnjo. Na slikah so pragovi s stopnjami, ki so bili zasnovani kot talni pragovi.

Prvi primer je, da na talni prag dodamo krilne lesove, kateri zberejo večji curek nizke vode in s tem ugodno vplivajo na tvorbo manjšega podslapnega tolmana. S tem talni prag pridobi lastnost praga s stopnjo, katera ima za posledico bogatenje vode s kisikom. Ob visokih vodah krilni les še dodatno podpira brežine (Horvat, 1993, cit. po Bertok, 1989).



Slika 9: Leseni prag z dvojno stopnjo (Suhadolnik, 2007).

Druga vrsta je talni prag s podaljšanim prelivom. Ta prag ima na prečne lesove dodane poloblince, ki ustvarijo 30–50 cm dolg nadstrešek, katerega uporabijo ribe za skrivališče. Poloblince morajo biti daljše od 30cm, vse skupaj pa mora biti dovolj trdno, da je zagotovljena stabilnost tudi ob visokih vodah (Horvat, 1993, cit. po Bertok, 1989).



Slika 10: Prag s podaljšanim prelivom (ANTIENSEN, 2013).

Tretji so talni pragovi iz grobo zloženega kamenja v suho. Objekt mora biti dovolj masiven, da zdrži obremenitve tudi ob velikih vodah. Iz konstrukcijskega vidika jih lahko konstruiramo tako, da ob nizkih vodah skoncentriramo tok, ob visokih vodah ga razpršimo. V primeru želje po ustreznemu podslapnem tolmunu, dna ne utrjujemo. Brežine in prag morata biti ustrezno globoko temeljena, da ne pride zaradi erozije do porušitve (Suhadolnik, 2007).



Slika 11: Hotoveljščica, zaporedje pragov iz grobo zloženega kamenja v suho in nižje ležeči prag iz lesenih oblic podprt z zloženim kamenjem v suho (avtor, terenski ogled, 1.6.2015).

»Kadar moramo zgraditi pragove z višjimi stopnjami od želenih, lahko uporabimo serijo več zaporednih pragov manjših stopenj. To je tudi bolj primerna rešitev kot pa gradnja enega praga z višjo stopnjo. Lahko jih nadomestimo tudi z drčami. Pri seriji pragov manjših stopenj jih moramo načrtovati v taki medsebojni razdalji, da zgornji vodni skok ne doseže preliva spodnjega« (Suhadolnik, 2007).

### 3.2.1.1.2 Pragovi s stopnjo

»Pragovi so prečne zgradbe v hudourniškem koritu majhnih koristnih višin od 0,20 m do 2,00 m. Pragovi utrdijo prečni profil hudourniške struge in stabilizirajo gorvodne nanose in erozijske procese« (Gavrilović, S., 1972, cit. po Markič, T., 2008).

Gradimo jih iz okolja primernih naravnih oz. sonaravnih gradiv, kot so les, kamen, kamen v betonu in beton. Zaradi višje stopnje je ključnega pomena stabilnost, ki je zagotovljena z uporabo betona. Oblikujemo jih lahko tudi iz kamna, takšna daje videz kamnite zložbe, kamni morajo biti zaradi zagotavljanja trdnosti na zakrit način povezani z betonom. Pragove iz betona in kamna v betonu lahko gradimo tudi tam, kjer je potreba po vodotesnosti.

V primeru da se želimo izogniti ostrorobnemu betonskemu prelivu, lahko vgradimo leseno okroglico v krono preliva ali oblikujemo krovni preliv z obdelanim kamnom (Suhadolnik, 2007).



Slika 12: Prag na Hotoveljščici (avtor, terenski ogled, 1.6.2015).

### 3.2.1.2 Drče

Drče postavljamo v srednjih in spodnjih delih hudournikov, ko moramo premostiti velike niveletne razlike. Z ekološkega stališča so primerne, saj omogočajo tudi migracijo ribjega živeža. Tako kot pragove, drče razvrščamo v dve vrsti, ločimo jih glede na gradivo v izvedbi. Poznamo kamnite in lesene drče oz. lesene drče s kamnitim polnilom. Potrebno je zagotoviti primerno obliko, uvrščenost in dovolj veliko stabilnost objekta. Objekt lahko učvrstimo s pomočjo lesenih pilotov ali železnih I profilov. V strugah ki so širše, moramo čez drčo zagotoviti minimalni pretok, kar omogoča prehod ribjega življa ob nizkih vodostajih. Minimalno višino pretoka zagotovimo s kotanjasto obliko drče, ta zagotovi vodo v sredino drče in dovolj dolg ter globok podslapni tolmun (Suhadolnik, 2007).

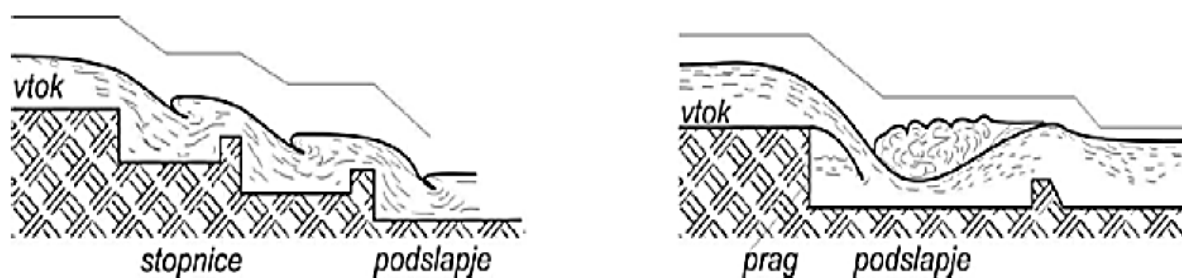
Objekt drče se deli na vtočni del, žleb ter iztočni del. Po večini so zgrajene z običajno ali s povečano (umetno) hrapavostjo. Drča z običajno hrapavostjo (drča) je struga kanal s pravilnimi oblikami stalne ali spremenljive višine, kjer je hidravlični padec večji od kritičnega padca za računski pretok. Drča z običajno hrapavostjo tvori deroči tok, ki ga moramo na stiku s spodnjo vodo umiriti (Markič, 2008).



Slika 13: Drča na Hotoveljščici v spodnjem delu  
(avtor, terenski ogled, 1.6.2015).

### 3.2.1.3 Kaskade

Kaskade oz. stopnje so prečne zgradbe-pregrade v urejenih strugah in kanalih, ki povezujejo gladino zgornje in spodnje vode. Razlika med gladinama pogojuje izgradnjo ene ali več stopnic. Pri umirjanju hudournikov lahko kaskade privzamemo kot samostojni sistem regulacije ali kot element s katerim dopolnimo celotno ureditev. Gradijo se z namenom zmanjšanja vzdolžnega padca struge ter minimaliziranja viška energije toka v območju pretoka preko preliva. Dotočni del kaskade se gradi kot preliv s širokim pragom. Prag preliva je lahko na dnu struge ali pa je privzdignjen (Gavrilović, S., 1972, cit. po Markič, T., 2008).



Slika 14: Prečni prevez kaskad s tolmunom (Markič, 2008).

Kaskado sestavlja struga s stopničastim dnom. S stopnjami, z več manjšimi slapovi in vmesnimi krajšimi vodoravnimi strugami zmanjšamo vzdolžni padec struge. Za zaščito vmesnih strug moramo predvideti tolmane.

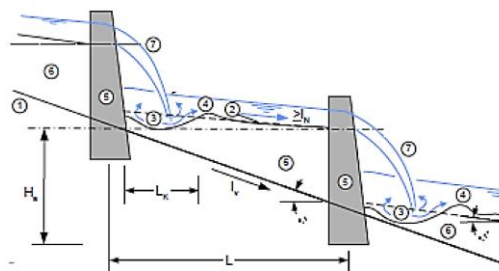


Slika 15: Umetne kaskade (Marko Feist, 2013).

### 3.2.1.4 Stabilizacijske oz. konsolidacijske pregrade

Stabilizacijske oz. konsolidacijske pregrade imenujemo tudi ustalitvene pregrade.

Naravno destruktivno delovanje vode na odsekih, kjer se pojavljajo erozijska žarišča v strugi, lahko omejimo z gradnjo tehničnih objektov. Pri konsolidacijskih pregradah z gradnjo tehničnih elementov ne stabiliziramo samo dna struge ampak celoten prečni prerez (potencialno nestabilne brežine). Objekti in umetno ustvarjena erozijska žarišča vzdolž struge zaustavijo dolgotrajno poglobljanje struge v smeri vzpostavljanja stalne in stabilne linije padca dna za celoten odsek. Zgrajene ojačitve za konsolidacijo dna in brežin struge, tvorijo dinamično ravnovesje med vodnim tokom razdiralnih sil vode ter odpornimi silami struge (Markič, 2008). Strugo stabiliziramo s konsolidacijo materiala za pregrado. Kjer moramo premostiti večjo višinsko razliko in nam okoliščine ne dopuščajo izgradnje večjega števila nizkih pragov, lahko naredimo višji prag ali konsolidacijsko pregrado.



Slika 16: Prikaz delovanja konsolidacijske pregrade (SedAlp WP6, 2015).

Konsolidacijske pregrade zavirajo erozijske procese. Vključujejo ukrepe, ki ščitijo brežine nad konstrukcijo, z zvišanjem dna kanala. Zaradi zmanjševanja kinetične energije je zmanjšana sposobnost erozijske moči hudournika. Zaporedje dveh konsolidacijskih pregrad ima ugoden medsebojen vpliv, saj je omogočen pritek naplavin, katere se preko krone odlagajo pred pregrado oz. za naslednjo pregrado. Takšno odlaganje naplavin zmanjšuje vzdolžni naklon med pregradami, prav tako se stabilizirajo bočna pobočja in noga nižje ležeči pregradi (Suda s sod., 2008, cit. po Torkar, V., 2013).



Slika 17: Niz konsolidacijskih pregrad za stabilizacijo hudourniškega območja (IRSTEA, 2011).

### 3.2.2 Zadrževalni oz. zaplavni objekti

Zadrževalni objekti so zgrajeni s ciljem, da gorvodno zadržijo čim večjo količino plavin. V primeru nizkega vodotoka ter zmanjšane pretočnosti je pretok odvisen od velikosti pretočne sposobnosti izpusta iz pregrade (dušilka) (Gavrilovič, 1972, cit. po Markič, T., 2008).

Za zaustavitev plavja (les, drevesni ostanki,...), se uporabljajo predvsem odprte pregrade, razčlenjenega, mrežastega in rešetastega tipa. Zadržane naplavine, ki se naberejo za objekti je potrebno redno in sproti odstranjevati, le tako lahko objekt ohrani svojo primarno nalogo. Ti objekti so primerni in učinkoviti na mestu, kjer hudournik nima več zadostne transportne zmogljivosti. Za neučinkovite objekte se izkažejo pri neposredni izpostavljenosti drobirskim tokovom (Suda s sod., 2008, citat po Torkar, 2013).



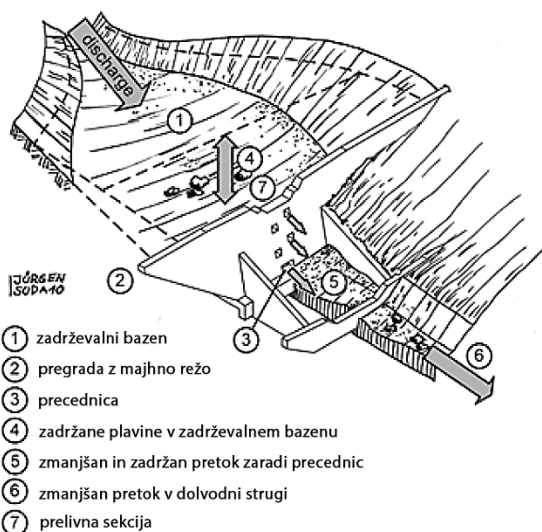
Slika 18: Primer zapolnjene filtrirno zadrževalne pregrade na hudorniku Suhelj (SedAlp WP6, 2015).

Zaradi varovanja prostornine akumulacije je treba z gradbenimi in negradbenimi ukrepi urejati povirja in zmanjševati transport sedimentov v hudourniku (Steinman, Banovec, 2008). Izjemnega pomena je tudi, da se zaplavne prostore takšnih objektov redno prazni (čisti).

### 3.2.2.1 Zadrževalne oz. zaplavne pregrade

Zadrževalne oz. zaplavne pregrade se gradijo z namenom, da bi med hudourniškim izbruhom zadržale dotok plavin, kar bi razbremenilo strugo nižje od pregrade. Uporabimo jih še za zmanjševanje pojava izpiranja brežin in zmanjševanja padca struge.

Za zadrževanje se uporabljajo pregrade z majhnimi režami, ki naplavine zadržujejo v naravnih ali umetnih zbiralnikih (Torkar, 2013). Zadrževalne pregrade na hudourniških vodah, se gradijo predvsem v zgornjem delu hudournikov, kjer so vzdolžni nakloni še vedno veliki in je transport erozijskega gradiva velik, gradi se jih tudi kjer hudournik prehaja na vršaj. Te pregrade niso dovolj učinkovite pri neposredni izpostavljenosti droborskemu toku. Pri izbiri gradiv za objekt, je priporočljivo v odvisnosti od lokacije izbrati kombinacijo naravnih in umetnih materialov (kamenje, les in kamen v betonu), ki so primerni za okolje. Še več pozornosti moramo nameniti stabilnosti objekta (Suhadolnik, 2007).

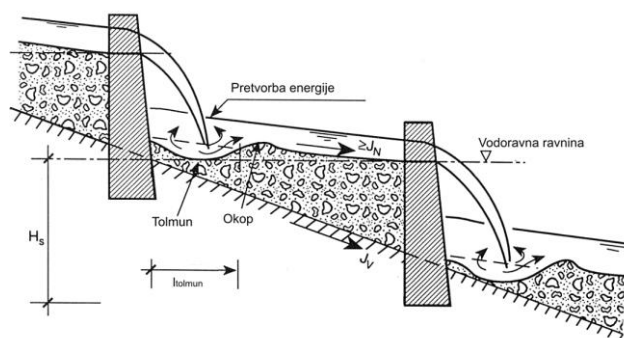


Slika 19: Prikaz delovanja zadrževalne pregrade (SedAlp WP6, 2015).



Slika 20: Hudourniška zadrževalna pregrada v Avstriji (SedAlp WP6, 2015).

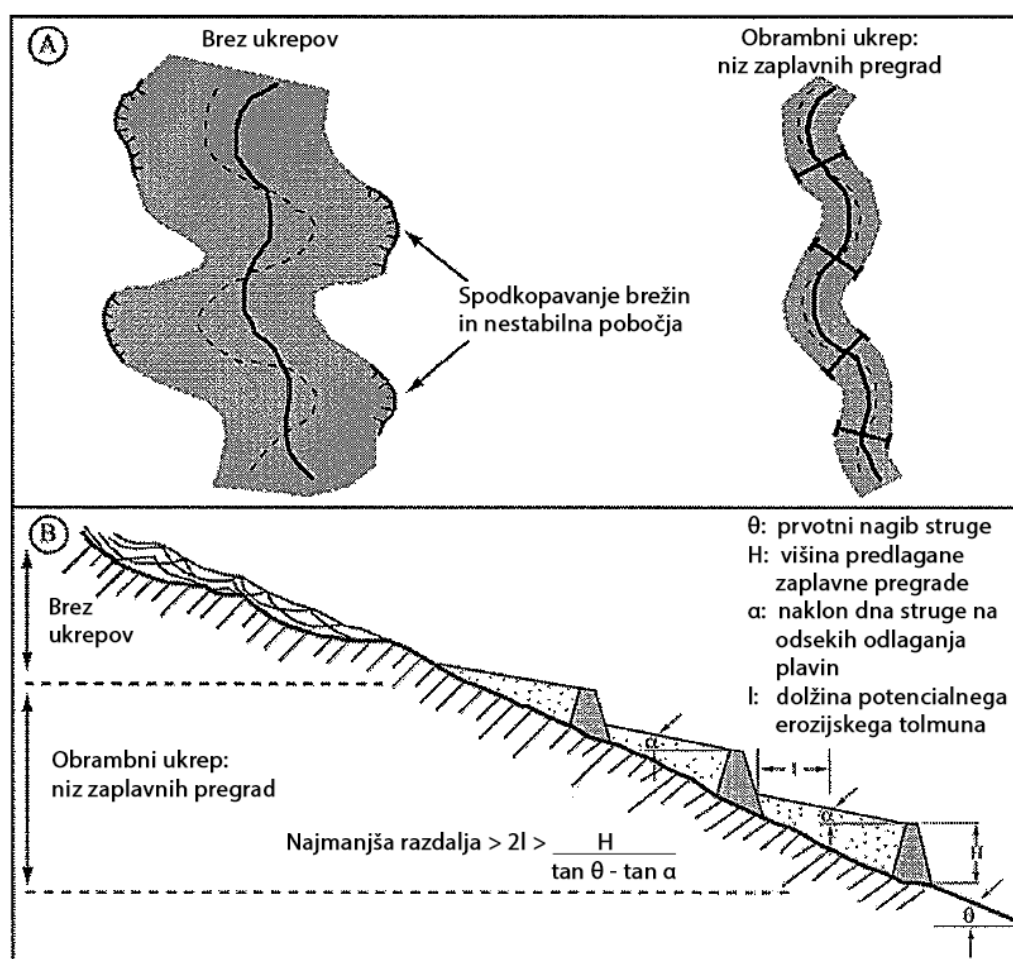
Zadrževanje trdnih snovi s časom vodi do bolj ali manj trajnega odlaganja naplavin.



Slika 21: Zaplavljanje pregrad z rinjenimi plavinami; originalni naklon dna struge  $I_v$  in mejni naklon  $I_N$  (Mikoš, 2008).



Njihov namen je zmanjšati naklon gorvodno od pregrade, rezultat se kaže kot počasnejši tok vode ter zmanjšana transportna moč hudournika. Za pregradami se nabira zaplavec, ki ga je potrebno izkopati na tistih delih hudournika, kjer vode nimajo zadostne transportne moči ter da objekt ohrani svojo prvotno nalogo. Takšni objekti tudi zmanjšujejo globinsko in bočno erozijo vodotoka gorvodno od pregrade. Zmanjšano je spodkopavanje pobočij, posledično se v vodotoke prožijo manjše količine pobočnega materiala, kar še dodatno umirja dotok in transport plavin. Zadrževalne pregrade se uporabljajo za stabilizacijo hudournikov na območju pogozdovanja in kjer se sanirajo erozijska žarišča (Mikoš, 2009).

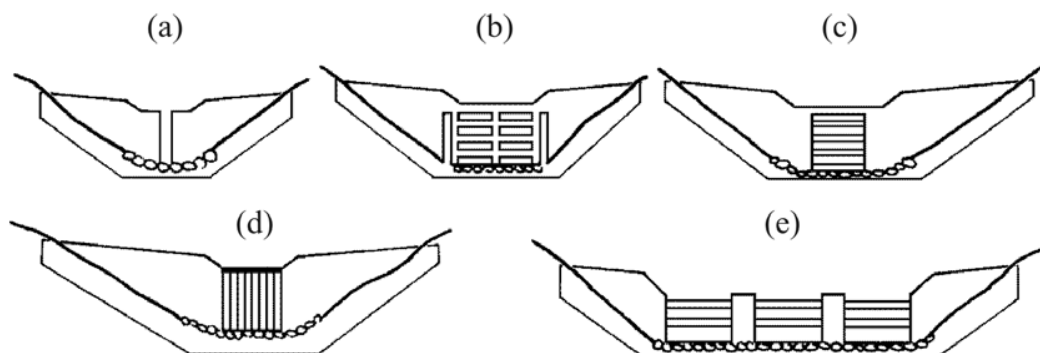


Slika 22: Uporabnost zaplavnih oz. zadrževalnih pregrad za (A) zmanjšanje pojava izpiranja brežin in (B) zmanjševanja padca struge (prirejeno po Deymier s sod., 1994 in VanDine, 1996, citat po Remaitre & Malet, 2010).

Zaplavna pregrada je podvržena velikim hidrostatičnim tlakom, tudi takrat ko še ni zaplavljen. Hidrostatični pritiski se lahko še povečajo, če je voda zasičena z muljem. Pritiski po zaplavitvi se občutno zmanjšajo v kolikor se površinski sloj ostenja vodotoka zamulji, voda iz nižjih slojev pa izcedi, posledično pregrada deluje samo še kot oporni zid. Prehodne kritične pritiske lahko omilimo s postopno izgradnjo ali zasipavanjem, ves čas moramo upoštevati strukturo zaplavljenega materiala (Pintar, 1969).

### 3.2.2.2 Prebiralne pregrade

Prebiralne pregrade se v glavnem načrtujejo kot zadrževalniki plavin. Njihova naloga oz. cilj je poleg zadrževanja plavin tudi kontrolirano prebiranje in spuščanje določenih manjših frakcij sedimentov dolvodno po strugi.



Slika 23: Vrste prebiralnih pregrad (Steinman, Banovec, 2008).

Prebiralne pregrade so pregrade z vertikalno odprtino (odprtini določene velikosti), med te spadajo zagatne pregrade iz armiranega betona z jeklenimi zagatnimi nosilci, rešaste ali rešetkaste pregrade iz armiranega betona in mrežaste pregrade iz jekla (Mikoš, 2009). Izvedene so tako, da zadržujejo grobe plavine, drobnejše, ki ne povzročajo težav nizvodno, pa prepuščajo. S tem je zagotovljeno obnavljanje posteljice struge.

Velikost rež je določena z upadanjem visokih voda, kjer se istočasno zniža tudi gladina vode v zadrževalniku, hkrati poteka delno spiranje odloženih plavin (manjših od rež) skozi odprtine pregrade. V zadrževalnem prostoru se posledično odložijo grobe plavine, ki so večjih dimenzij od odprtin. Delovanje takšnih objektov otežuje plavje (drevesa, veje, grmovje,...), saj lahko zajezijo odprtine in s tem spremenijo prebiralno pregrado v polno pregrado (Senič, 2010).

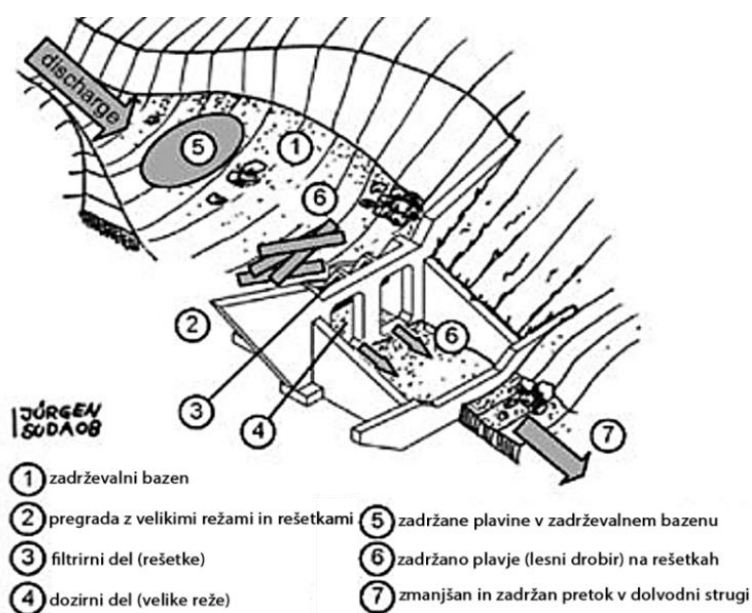
Prebiralne pregrade je potrebno na hudournikih umeščati v prostor nad drevesno mejo. Uporabimo lahko tudi posebne lovilne mreže nad vtokom v prodni zadrževalnik in s tem preprečimo dotok plavja do prebiralnega objekta.



Slika 24: Masivna prebiralna pregrada na Radoljni (Društvo vodarjev Slovenije, 2004).

### 3.2.2.3 Dozirne oz. filtrirne pregrade

Doziranje oz. filtriranje plavja vključuje množico pregrad, katerih glavni namen je začasno zadrževanje grobega plavja (les in drevesni ostanki, ki jih nosi vodni tok) v času visokih voda in nato kontrolirano razlivanje vode z zmanjšano energijo. Za uravnoteženje nevarnosti in zdravega vodnega okolja je zasnovano vmesno shranjevanje materiala (Suda s sod., 2008, citat po Torkar, 2013). V primeru takšnih objektov gre predvsem za kontrolirano doziranje plavin v strugo, ki se potem ob povečanih pretokih lahko premestijo dolvodno.



Slika 25: Prikaz delovanja dozirne oz. filtrirne pregrade (SedAlp WP6, 2015).

Pregrada, katere glavni cilj je filtriranje, mora biti zasnovana tako, da prepušča drobnozrnate plavine (sedimenti oz. material, ki ga vodni tok nosi s sabo) brez zadrževanja. Večji predmeti (lesni ostanki), ki lahko v spodnjem toku hudournika povzročijo zastoje pri mostovih ali zožitvi struge, ne smejo biti filtrirani, ampak morajo biti zadržani (Suda s sod., 2008, citat po Torkar, 2013). Za dozirne oz. filtrirne objekte se v veliki meri uporabljajo pregrade z velikimi režami, takšne pregrade nadzorujejo postopek transporta in odlaganja plavja (Torkar, 2013).



Slika 26: Hudourniška filtrirna pregrada v Avstriji (SedAlp WP6, 2015).

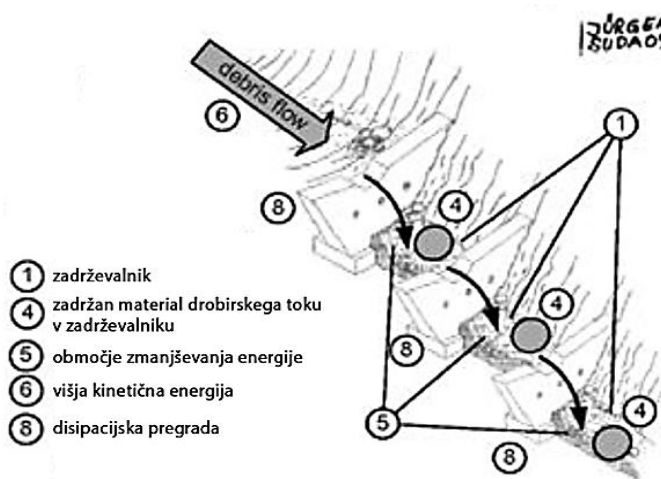
### 3.2.3 Disipacijski objekti

Za disipacijske objekte se mnogokrat uporabljajo zaprte pregrade ter pregrade z zaprto krono. Takšne pregrade mnogokrat sortiramo v niz objektov, kot serija stopnic. Kinetična energija hudournika se zmanjšuje s prelivom preko krone pregrade (disipacijske pregrade) (Torkar, 2013). Ti objekti so v uporabi predvsem na tistih območjih, kjer je večja verjetnost pojava drobirskega toka. S takšnim elementom toku odvzamemo energijo, zmanjšamo erozijske oz. dinamične vplive ter povečamo varnost.

Pojav, pri katerem se odvzema energija imenujemo disipacija energije drobirskega toka, le-ta se lahko doseže na dva načina s transformiranjem procesa premikanja ali zaviranjem toka (blokiranjem čela). Disipacijska pregrada povzroči padec toka in neposredno izgubo energije v razlivnem bazenu, na drugi strani masivna konstrukcija vpliva direktno na drobirski tok (razbijač drobirskega toku) (SedAlp WP6, 2015).

#### 3.2.3.1 Disipacijske pregrade

Pregrade s ciljem oz. namenom zmanjševanja energije drobirskih tokov imenujemo disipacijske pregrade. Takšne pregrade lahko postavimo v stopničast niz objektov, kjer se funkcija upočasnitve in deponiranja čela vala drobirskega toku porazdeli med več zaporednih pregrad. Rezultat se kaže v dolvodni strugi in poselitvenem območju, ki sta sedaj izpostavljena manjšim erozijskim oz. dinamičnim vplivom (Suda s sod., 2008, citat po Torkar, 2013).



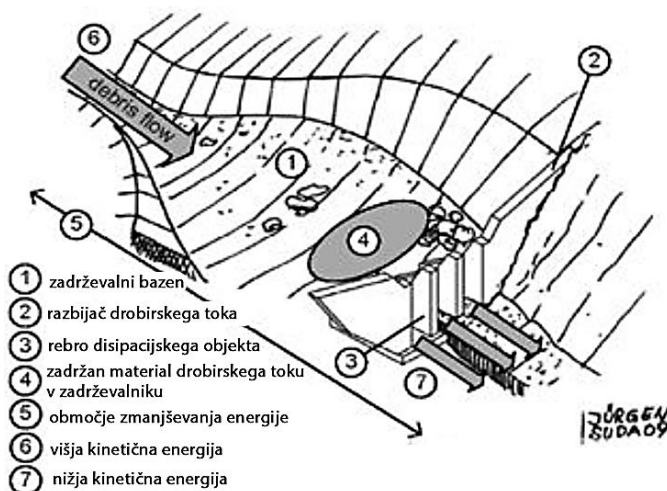
Slika 27: Prikaz delovanja disipacijskih pregrad (SedAlp WP6, 2015).

Slika 28: Niz disipacijskih pregrad v Avstriji (SedAlp WP6, 2015).

### 3.2.3.2 Razbijač drobirskega toka

Razbijač drobirskega toka je najbolj učinkovit v kombinaciji z zadrževalnim bazenom, ki se nahaja za disipacijskim objektom. Razbijači so grajeni iz armiranega betona, saj morajo prenesti velikanske obremenitve. Postavljamo jih najvišje v sklopu varovalnih prečnih konstrukcij na hudourniku. V primeru, da ena konstrukcija ne vpliva v zadovoljivi meri na drobirski tok, postavimo več konstrukcij v nizu, tako se funkcija porazdeli med več zaporednih razbijačev.

Blatni ali drobirski tok po strugi vstopi v zadrževalnik, tam se del drobirskega toku zadrži za pregrado, preostali fluvialni del z zmanjšano kinetično energijo potuje dolvodno po hudourniški strugi. Zaradi zmanjšane naklona v zadrževalnem bazenu in omejene pretočnosti skozi pregrado, se zmanjša kinetična energija, kar v nižjih predelih zmanjša posledice visokih voda in drobirskega toka. V kolikor je na hudourniku zgrajen prečni objekt v obliki razbijača drobirskega toka, se moramo izogibati postavitvi naslednje pregrade z drugačno funkcijo (Suda s sod., 2008, citat po Torkar, 2013).



Slika 29: Prikaz delovanja razbijača drobirskega toka (SedAlp WP6, 2015).



Slika 30: Disipacijski objekt z rebri kot razbijač drobirskega toka v Avstriji (SedAlp WP6, 2015).

### 3.3 Objekti glede na gradivo

Za zagotovitev mehanske odpornosti, stabilnosti in trdnosti prečnega objekta je nujno potrebna pravilna izbira gradbenega materiala iz katerega bo objekt. Funkcionalni vidik prečnega objekta je najpomembnejši element za izbiro materialov, poleg nosilnosti pa moremo poskrbeti tudi za vizualno in estetsko podobo prečnih objektov. Zakon o graditvi objektov (2002) z 9. členom predpisuje šest zahtev, ki jih more izpolnjevati vsak objekt, prvi in najpomembnejši pogoj zahteva mehansko odpornost in stabilnost objekta. Mehanska odpornost na obremenitve je zagotovljena s pravilno izbiro gradbenega materiala in geometrijo objekta. Stabilnost je zagotovljena, kadar je faktor varnosti pri vseh treh ravnovesnih pogojih (posedanje, zdrs in prevrnitev) v skladu s predpisi.

Priporočljiva je uporaba (kombinacija) naravnih in umetnih materialov (gradiv) kot so, kamenje, les in kamen v betonu. Pomembne so tudi zahteve naravovarstvenikov po sonaravnih rešitvah, s čimer pogojujejo izbiro materialov. Uporabimo lahko betonske objekte, a se jim rajši izogibamo. Za utrjevanje struge in brežine skušamo uporabiti materiale, ki so v neposredni okolici, v ta namen se uporablja predvsem kamen z vizualnega kot tudi ekonomskega vidika. Vsako uporabljeno gradivo mora zadostiti zahtevam trdnosti, odpornosti na zmrzal, ipd. Pri gradnji iz lesa, mora biti ta zdrav in posekan v zimski sečnji, uporabimo čim bolj obstojne vrste, kot so kostanj, hrast, macesen in bor. Z ekonomskega vidika je izbira in vgradnja sonaravnih materialov primernejša kot uporaba armiranega betona, kljub njegovi daljši življenjski dobi (Horvat, A., 2006, cit. po Suhadolnik, P., 2007).

### 3.3.1 Zidane kamnite pregrade

Vodne pregrade za katerimi se je akumulirala voda, so bile prvotno izdelane iz lesa in kamnja v obliki kašt. Visoke vode so jih pogosto podirale, zato so jih po načrtih Jožefa Mraka v 18. stoletju nadomestile zidane kamnite klavže. Danes v Sloveniji prevladujejo pregrade tipa kamnite zložbe z armiranobetonsko ploščo na vodni strani katera prevzema natezne napetosti in kot opaž pri gradnji zložbe na zračni strani.

Klavže so visoke vodne pregrade zgrajene na reki Idrijci in pritokih Belci, Zali in Klavžarci. Njihov namen je bilo zbiranje vode (zajezitev) in občasno plavljenje (splavljanje) lesa do rudnika živega srebra v Idriji. So eden najpomembnejših slovenskih tehniških spomenikov. Klavže na Idrijci so bile po zmogljivosti in dimenzijah največja vodna pregrada (klavže) na Idrijskem. To je zidana pregrada široka 41,4 m, visoka 11,3 m, pri temelju so zidovi debeli 18 m, pri vrhu pa 10,8 m. Skozi telo vodita dva kanala, široka 3,8 m in visoka 5,6 m. Kanala sta bila zaprta z masivnimi vrati, za katerimi se je v 785 m dolgem zbiralniku kopičilo tudi do 210.000 m<sup>3</sup> vode (Kladnik, D., 2010).



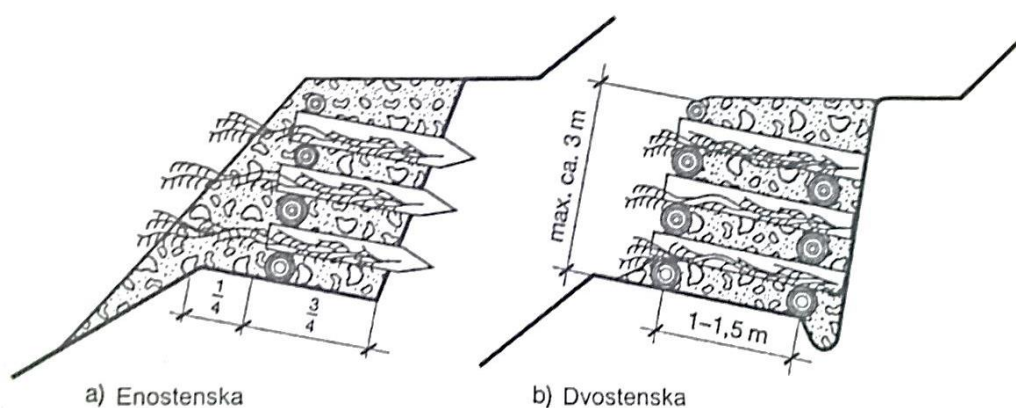
Slika 31: Izpustni del Brusovih ali Belčnih klavž z odprtinama za odvajanje vode in plavljenega lesa (Kladnik, 2010).

### 3.3.2 Lesene pregrade

Hudourniške pregrade in podporni objekti za stabilizacijo pobočij iz lesa oz. lesa in kamna so bili grajeni predvsem v preteklosti (še malo po 2. svetovni vojni), saj so zahtevali usposobljene delavce in ročno gradnjo. Prednost konstrukcij iz zaobljenega lesa (oblice) je predvsem ta, da je material na voljo neposredno oz. v bližini gradnje. Za naše razmere sta kot leseno gradivo najbolj uporabna macesen in bor, potencialno kostanj. Smreka in jelka sta manj uporabna v našem okolju.

Pri lesenih pregradah računamo na življenjsko dobo približno 50 let, v kolikor imamo ugodne lokalne konstruktivne pogoje (kakovostna gradnja, osenčenost, stalna in enakomerna vlažnost) ima takšen objekt podaljšano uporabno dobo na okoli 80 let. Nasprotno, neugodni terenski pogoji (slabša kakovost gradnje, močna osenčenost in spremenljiva vlaga) vplivajo na leseni objekt tako, da je po 20 do 30 letih močno poškodovan (Mikoš, 2009).

Lesene pregrade razlikujemo med enostenskimi in med večstenskimi lesenimi kaštami, v njih vgrajujemo lokalna gradiva. Veliki prednosti lesenih kašnih pregrad sta precejnost (zmanjšanje zalednih hidrostatskih pritiskov) ter podajnost (dobro prenašanje diferenčnih posedkov temeljev). Takšna pregrada je posledično bolj primerna za temeljenje na območjih, kjer ni pričakovati dobrih pogojev temelje zemljine (prod, grušč,...). V kolikor imamo lesene kašte je potrebno lesene oblice razvrščati tako, da jih po potrebi enostavno zamenjamo. Lesene oblice v hudourniških strugah dajemo v smeri največje dimenzije objekta torej pravokotno na smer toka. Pregrade iz lesenih kašt in iz žičnih košar ni priporočljivo uporabljati v močno prodonosnih in drobirskih hudournikih.



Slika 32: Enostenski in dvostenski ozelenjeni podporni objekt za stabilizacijo pobočij (po Kounenu, 1983), (Mikoš, 2009).

V kolikor uporabljamo lesene objekte kot podporni objekt brežin, takšne ozelenjene zgradbe izvedemo s čim večjim možnim protisklonom temelja proti pobočju (najmanjša vrednost je okoli 5:1). Če je le možno, take objekte zasujemo z zemljino (prekrijemo).

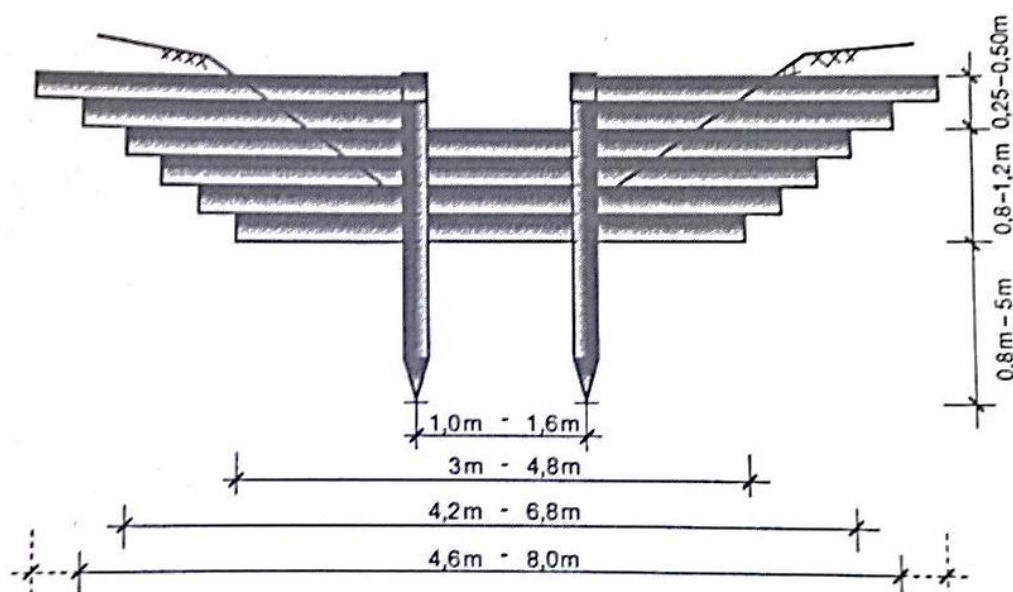
### 3.3.2.1 Enostenska lesena hudourniška pregrada

Enostenska lesena pregrada je manj uporaben objekt na hudournikih. V večji meri se uporablja kot podporna konstrukcija na plazovih in nestabilnih brežinah.

Enostensko leseno pregrado lahko uporabljamo za stabilizacijo, v pretežni meri jo sestavljajo prečno na obtežbo postavljene vzdolžne lesene oblice, katere prevzamejo obtežbo.

Vzdolžne lesene oblice moramo dobro vpeti v stranske brežine, saj prevzamejo obtežbo kot vodoravni nosilci. Takšno konstrukcijo je potrebno zaščititi pred udarci. Enostenske pregrade enostavno dimenzioniramo po statičnem modelu prostoležečega nosilca.

Kot prenos obtežbe v nosilna tla in kot podporo za krila pregrade potrebujemo pilote, te zabijemo pred pregrado na zračno stran. Maksimalna višina pregrade pri enostenskih hudourniških pregradah znaša približno 2 m. V kolikor poskrbimo za s kleščami sidrane konstrukcije na stabilnih pobočjih, lahko ob kakovostni gradnji izvedemo tudi višje ali se raje odločimo za dvostenske objekte (Mikoš, 2009).



Slika 33: Enostenska lesena hudourniška pregrada s prelivno sekcijo iz ene ali dveh okroglih lesenih oblic. Ob ustrezni razmestitvi lesenih pilotov je prelivna sekcija tudi trapezne oblike (Mikoš, 2009).

### 3.3.2.2 Dvostenska lesena hudourniška pregrada

Dvostenska lesena hudourniška pregrada oz. lesena kašta ali kranjska stena prepušča, filtrira in drenira vodo. Uporabljajo se lahko kot prodne pregrade ali pragovi. Namenjene so tudi za mesta brežin, kjer drugi ukrepi pred erozijo niso dovolj učinkoviti. Lesena kašta prevzema obtežbo kot težnostni zid v navpični smeri, vodoravni prevzem obtežbe je možen tudi pri hudourniških pregradah, ki so kakovostno vpete v stranske brežine.



Izvedena je iz dveh vzporednih sten iz vzdolžnikov, ki sta med seboj povezani s prečniki (kleščami). Zgrajene kombinirajo s plastjo oguljena debela in kamniti material, zelo droben zemljinski material (zemljina), ki se lahko utekočini in je neprimerno gradivo za polnitev. Nezapolnjena (prazna) lesena kašta je zelo gibka, togost pregrade je dosežena kadar jo zapolnimo s kamnitim materialom. Najbolj primerno je grobo kamenje, katerega moramo ob steni zlagati poravnano, da kamenje pritiska na stene (kot silos). Stene lesene kašte se zaradi tlaka razmikajo, prečniki (klešče) delujejo proti tem premikom, saj povezujejo obe strani in jih fiksirajo. V kolikor imamo dobro prepustno leseno kašto, lahko gorvodno stran lesene kašte tesnimo z geotekstilom. Stike med seboj vedno dodatno povežemo z žebli ali sponkami. Način temeljenja je odvisen od podlage, v kolikor imamo trdnejšo osnovno dno, temeljimo z rebrasto armaturo, v nasprotnem primeru uporabimo lesene pilote. Pilete ali armaturo strojno zabijamo v podlago, globina temeljenja je odvisna od strukture tal in višine dvostenske lesene hudourniške pregrade (Mikoš, 2009).

Prednost lesenih kašt je v večji nosilnosti, uporabi pri večjih vodnih silah in hitrosti, možno jih je enostavno razgraditi in material uporabiti za druge namene, poleg tega so lahko habitat ribjemu živežu. Ob skrbni izvedbi in ugodnih terenskih razmerah je maksimalna višina 5 m. Slabost takšne gradnje je višja cena, uporaba težke mehanizacije, tehnično zahtevnejše projektiranje in izvedba (Repnik Mah, P., et al., 2013).



Slika 34: Kašni jez na Pšati v Zalogu pri Cerkljah (Repnik Mah, P., et al., 2013).

### 3.3.3 Jeklene oz. žične pregrade

Jeklene oz. žične pregrade se lahko uporabljajo kot podajne hudourniške pregrade za zadrževanje plavin in drobirskih tokov. Podajna hudourniška pregrada je viseča mreža, obešena na fiksnih jeklenicah v kombinaciji s standardnim objektom za zadrževanje drobirskih tokov. Iz jekla je glavni element podajne hudourniške pregrade obročasta mreža, ki je sestavljena iz dvojne plasti obročev. Gradijo se v navezavi, kot niz več podajnih jeklenih hudourniških pregrad (Rejda, 2014).

Prednost takšne pregrade je velik volumen zadržanega plavja in plavin. Dosegajo lahko velike razpone v širino in višino. Največja podajna hudourniška pregrada na svetu je široka 40 m in visoka 14 m. Uporabne so za zadrževanje drobirskih tokov, kljub vsemu prepuščajo fluvialni del (maksimalni pretoki so lahko večji od  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Zaplavni prostor za pregrado lahko dosega volumen  $13.000 \text{ m}^3$ . Jeklene oz. žičnate pregrade so bolj primerne za težje dostopen teren. Velika prednost je tudi enostavno čiščenje teh pregrad na nedostopnih mestih, saj lahko s tremi prevozi helikopterja odpeljemo ves odložen material.



Slika 35: Največja podajna hudourniška pregrada na svetu v Švici (Rejda, 2014).

### 3.3.4 Pregrade iz žičnih košar

Pregrado iz žičnih košar sestavljata plašč iz žice in polnilo iz kamenja. Uporaba žičnih košar na hudournikih je primerna, kjer so transportni stroški drugih gradiv preveliki in ni možen dostop mehanizacije. Gradijo se na mestu, kar predstavlja naporno delo. Najprej pripravimo niz pilotov (leseni, jekleni), ki jih zabijemo v podlago. V nadaljevanju razgrnemo žično mrežo, ki jo napolnimo z manjšim oz. srednje velikim kamenjem. Na koncu žično mrežo povežemo skupaj, kar predstavlja žično košaro. Pozorni moramo biti, da so premiki žični košare zelo majhni, sicer hitro nastanejo v njih velike reže, skozi katere tekoča voda spira temeljna tla. V hidrobiološkem vidiku nastane težava ob posedanju polnila, s čimer lahko žično pletivo postane nevarna past za ribe.



Slika 36: Žične košare za ureditev struge (IWTC/Cargo-Guard, 2012).

Prelive žičnih košar vedno zaščitimo pred mehanskih obrusom. V ta namen uporabimo usmerjene oblaste (okrogle oblice), ki jih usmerimo v smeri toka. Iz žičnih košar lahko izvedemo tudi krila lesenih kašt, ki se uporabljajo za hudourniške pregrade

### 3.3.5 Betonske in AB pregrade

Uporaba mehanizacije in prepričanje, da so betonske in armiranobetonske konstrukcije trajnejše od lesenih konstrukcij je razlog, da je bil les kot gradivo izpodrinjen. Prednost betonskih in AB konstrukcij se je pokazala v vzdrževanju in trajnosti objektov. Predvidena življenjska doba trajanja betonskih in AB objektov je 100 let, zaradi tega so najbolj varne pregrade iz armiranega betona.

Iz betona načrtujemo večje hudourniške pregrade, pri katerih velja pravilo, da v telesu pregrade naredimo manjše odprtine (precednice), ki služijo dreniranju zaplavka za pregrado in s tem zmanjšujejo vodne tlake na objekt. Prelivno polje za drobirdske tokove je možno oblikovati le pri zidanih kamnitih in betonskih pregradah. Pri betonskih pregradah je pogosta izvedba kamnite obloge preliva, ki je iz odpornega kamna (granit ali druge magmatske kamnine), obloga prelivne sekcije je možna tudi z vbetoniranimi jeklenimi profili (jekleni I profil). Hudourniške pregrade iz armiranega betona armiramo na zračni strani kjer glavna armatura poteka vodoravno (Mikoš, 2009).

### 3.4 Priporočila za dimenzioniranje

V Sloveniji ni predpisov na področju dimenzioniranja prečnih objektov. Trenutno projektiranje temelji na kombinaciji različnih pristopov in metod, pomembne so tudi izkušnje.

Kot primer podajam priporočila za projektiranje pregrade v Avstriji (preglednica 4).

Preglednica 4: Postopek dimenzioniranja tehnične zaščite pred hudourniški procesi po ONR 24802, ki opisuje naloge, poglavja in pristojnosti za posamezni korak (Torkar, 2013).

Korak	Naloga	Poglavje/sklic	Pristojnost
1	Določitev nevarnosti in možnosti poškodb	Načrt območja nevarnosti ali drugo poročilo	Hidrotehnik
2a	Določitev ciljev varovanja	ONR 24800:2009, poglavje 4.5.1.3	Investitor v dogovoru s hidrotehnikom
2b	Določitev projektnih stanj	Načrt območja nevarnosti ali drugo poročilo, ONR 24800:2009, poglavje 4.5.3.4, ONR 24800:2009, poglavje 4.7.1 in ONR 24802:2011, tabela 5.	Hidrotehnik v dogovoru z investitorjem
2c	Določitev koncepta varovanja s primerjavo potencialnih variant	ONR 24800:2009, poglavje 4.5.2.6	Hidrotehnik
3	Določitev funkcije pregrade	ONR 24800:2009, poglavje 4.6.3	Hidrotehnik
4	Določitev procesa dimenzioniranja in drugih posebnih vplivov (posebni primeri obremenitev)	Načrt območja nevarnosti ali drugo poročilo, ONR 24800:2009, tabela 3, ONR 24802:2011, poglavje 16.5 (posebni primeri obremenitev)	Hidrotehnik
5	Določitev kategorije objekta	ONR 24802:2011, poglavje 10	Hidrotehnik
6	Raziskave podlage (topografija, hidrologija, geologija, morfologija, gozdarstvo)		Hidrotehnik
7	Zasnova konstrukcije: umeščanje, opredelitev tipa, izbira dimenzij konstrukcije, določitev ključnih komponent.	ONR 24800:2009, poglavje 4.6, ONR 24800:2009, poglavje 5, ONR 24802:2011, poglavje 11.3 in 22.	Hidrotehnik
8	Hidravlični izračun	ONR 24802:2011, poglavje 12	Hidrotehnik
9	Določitev ustrezne geotehnične kategorije (GK)	ONR 24802:2011, poglavje 13	Hidrotehnik v dogovoru z geotehnikom
10	Določitev projektnih obremenitev in projektnih kombinacij (višina in porazdelitev obremenitev)	ONR 24802:2011, poglavje 16	Hidrotehnik v dogovoru z geotehnikom in statikom
11	Izvajanje geotehničnih preiskav glede na geotehnično kategorijo (GK), izdelava geotehničnega poročila	ÖNORM B 4402	Geotehnik
12	Določitev preostalih vplivov na podlagi geotehničnega poročila		Hidrotehnik
13	Določitev ustreznih obtežnih kombinacij	ONR 24802:2011, poglavje 16	Hidrotehnik v dogovoru z geotehnikom in statikom
14	Določitev ustreznih mejnih stanj in projektnih kombinacij	ONR 24802:2011, poglavji 14 in 17	Hidrotehnik v dogovoru s statikom
15	Dokaz nosilnosti in odpornosti	ONR 24802:2011, poglavji 20 in 21	Statik
16	Konstrukcijsko detajliranje	ONR 24802:2011, poglavji 20.5 in 22.	Hidrotehnik
17	Priprava načrtov		Hidrotehnik
18	Preverjanje skladnosti z zahtevami v zaključku projektiranja		Hidrotehnik
19	Revizija projekta		Investitor

V Avstriji je področje dimenzioniranja zgledno urejeno in predpisano v tehnični smernici ONR 24802, katera priporoča naslednje korake projektiranja (preglednica 4), ki se morajo prilagoditi za vsak primer dimenzioniranja posebej. Tehnična smernica vsebuje za vsak korak v projektiranju poglavje v katerih so opisani postopki ter kdo je za ta del postopka zadolžen oz. pristojen (Torkar, 2013).

Določitev primernosti posameznega tipa konstrukcije je odvisna od razmerij med vrsto funkcije, tipa konstrukcije in statičnim sistemom.

Pri izbiri primerne vrste prečnega objekta si projektant lahko pomaga z uporabo funkcionalno-konstrukcijske matrike (Bergmeister s sod., 2009). Spodaj priložena preglednica 5 prikazuje, da so za konsolidacijo in zadrževanje primerne pregrade z zaprto krono in pregrade z manjšimi odprtini. Za doziranje in filtriranje moramo povečati delež odprtini na pregradi.

Preglednica 5: Funkcionalno-konstrukcijska matrika za izbiro primerne pregrade za zaščito pred hudourniki (Torkar, 2013).

		Tip konstrukcije				
		Zaprte pregrade	Odperte pregrade			
			Pregrada z odprtini		Pregrada z režami	Razčlenjena pregrada
majhne	velike					
Funkcija	Konsolidacija	Konsolidacijske pregrade				
	Zadrževanje	Sedimentno zadrževalna pregrada (Vodno zadrževalna pregrada)				
	Doziranje			Sedimentno dozirna pregrada		
	Filtriranje			Grobo sedimentna filtrirna pregrada Lesena filtrirna pregrada		
	Disipacija energije	Disipacijska pregrada			Razbijač drobirskega toka	

V drugem koraku se preveri primernost statičnega sistema. Projektant si lahko pomaga z uporabo konstrukcijsko-strukturne matrike (Bergmeister s sod., 2009).

Spodaj priložena preglednica 6 prikazuje optimalno izbiro statičnega sistema glede na potrebovni tip konstrukcije in primerne hudourniške pregrade za zaščito pred hudourniki.

Preglednica 6: Statično-konstrukcijska matrika za izbiro primerne pregrade za zaščito pred hudourniki (Torkar, 2013).

		Tip konstrukcije				
		Zaprte pregrade	Odperte pregrade			
			Pregrada z odprtinami		Pregrada z režami	Razčlenjena pregrada
majhne	velike					
Statični sistem	Težnostna pregrada	Konsolidacijske pregrade	Sedimentno dozirna pregrada		Sedimentno filtrirna pregrada Lesena filtrirna pregrada	
		Sedimentno zadrževalna pregrada			Razbijač drobirskega toka	
	Obočna (ločna) pregrada	Disipacijska pregrada	Sedimentno dozirna pregrada			
	Ravne pregrade					
	Enostavne pregrade	Konsolidacijske pregrade				
	Stebraste pregrade		Sedimentno dozirna pregrada			
	Kotna pregrada	Sedimentno zadrževalna pregrada			Sedimentno filtrirna pregrada Lesena filtrirna pregrada Razbijač drobirskega toka	
		Disipacijska pregrada				
	Razčlenjena struktura					
	Težnostne				Sedimentno filtrirna pregrada Lesena filtrirna pregrada	
	Zalogovne				Sedimentno filtrirna pregrada Lesena filtrirna pregrada	

## **4 ANALIZA DELOVANJA PREČNIH OBJEKTOV**

Z uporabo različnih prečnih zgradb (objektov) kakor so jezovi, pragovi, drče in pregrade, pri običajnih pretokih zmanjšujemo energijski potencial vodnega toka, kontroliramo erozijske procese in premestitveno sposobnost. Cilj postavitve izbranih prečnih objektov na odseku med posameznimi zgradbami je lokalno zmanjšati padec dna, s čimer se zmanjša hitrost in premestitvena sposobnost vodnega toka. Oblika in izvedba objektov dimenzionirana na projektni pretok (pretok, na katerega je dimenzioniran v projektu), omogoča disipacijo viška energije pri prelivanju vode preko njih. Za zadostitev številnih potreb obstajajo zelo različni hidrotehnični objekti (Rak s sod., 2008).

V nadaljevanju bodo na kratko opisane vloge prečnih objektov, hidravlično obravnavanje in interakcija prečnih zgradb z erozijo oz. sedimenti.

### **4.1 Hidravlična vloga in obravnavanje prečnih objektov**

S stopničenjem struge, ki je posledica gradnje prečnih objektov, je zmanjšan padec nivelete struge hudournika. Z zmanjšanjem naklona se do določene stopnje umiri tudi tok (zmanjša se hitrost toka), kar zmanjšuje možnosti za nastanek uničujočih drobirskih ali blatnih tokov in zmanjšuje hidravlične obremenitve objektov v strugi. Potencialna energija, ki ostane zaradi zmanjšane naklona, se lokalno porabi pri padcu vode s prelivne sekcije v podslapni tolmun za erozijske procese oz. intenzivno vrtinčenje vode (Martinčič, 2014).

V zvezi s hudourniško problematiko moramo obravnavati pretočne razmere v nezagrajenem (neurejenem) hudourniku. Pretok ni konstanten, ampak niha v času izbranega časovnega intervala (Mikoš, 2009).

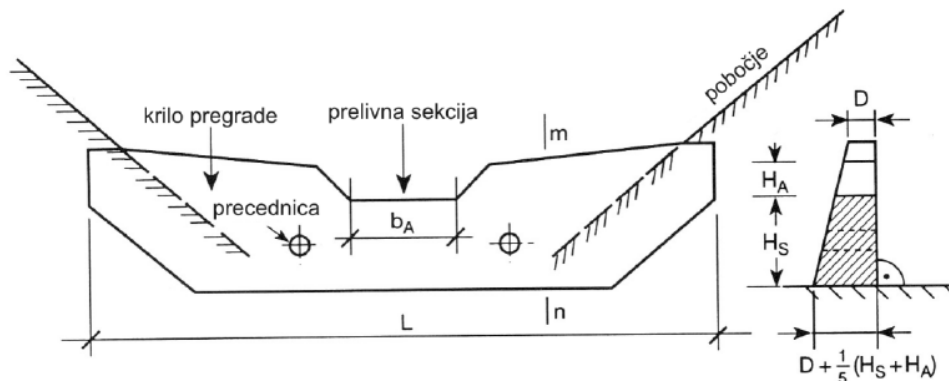
Hidravlične lastnosti in pretočne razmere v nereguliranem hudourniku so bile opisane v poglavju 2.3 in 2.4 (Hidravlične lastnosti). V nadaljevanju sledi kratek opis hidravlike cevnih prepustov (precednic) in prepadanja vode preko preliva, zaradi prečnih objektov.

#### **4.1.1 Hidravlika precednic**

Cevni prepusti oz. precednice so dober primer rešitve problematike, ko je potrebno prevajati manjše vodne količine. Pri močnih padavinah se velikokrat pojavljajo težave, saj so prepusti lahko zamašeni s plavjem (vejevjem) in plavinami, ali pa premalo dimenzionirani prepusti ne morejo prepuščati dotekajoče vode (Mikoš, 2008).

Voda lahko drenira skozi precednice, če je dotekajoče vode manj kot je pretočna sposobnost precednic, takrat obravnavamo cevni prepust kot kratko delno zacevitev, po kateri voda odteka s prosto gladino. V kolikor je dotekajoče vode preveliko in precednice niso zamašene,

takrat voda hkrati preliva preko prelivne sekcije ter drenira skozi precednice. Drenirani tok je v tem primeru pod tlakom v cevi, uvrščamo ga v področje cevne hidravlike, kot iztok iz odprtine.



Slika 37: Hudourniška pregrada kot betonski težnostni zid (Mikoš, 2008).

Iztok iz precednice v vertikalni steni na globini  $z$ , je odvisen od velikosti odprtine  $S_0$ , dejanske energije, ki jo ima masna točka v curku  $E = z + \frac{v_{dot}^2}{2g}$  ter od koeficienta iztoka  $\mu = \frac{Q_{real}}{Q_{ideal}}$ .

V kolikor imamo iztok iz odprtine pri stalnem toku ( $Q_{dot} = Q_{izt}$ ), je enačba za pretok sledeča:

$$Q = \mu S_0 \sqrt{2g h_T} \quad (4)$$

V nasprotnem primeru, opravimo izračun za iztok iz odprtine pri spremenljivem toku.

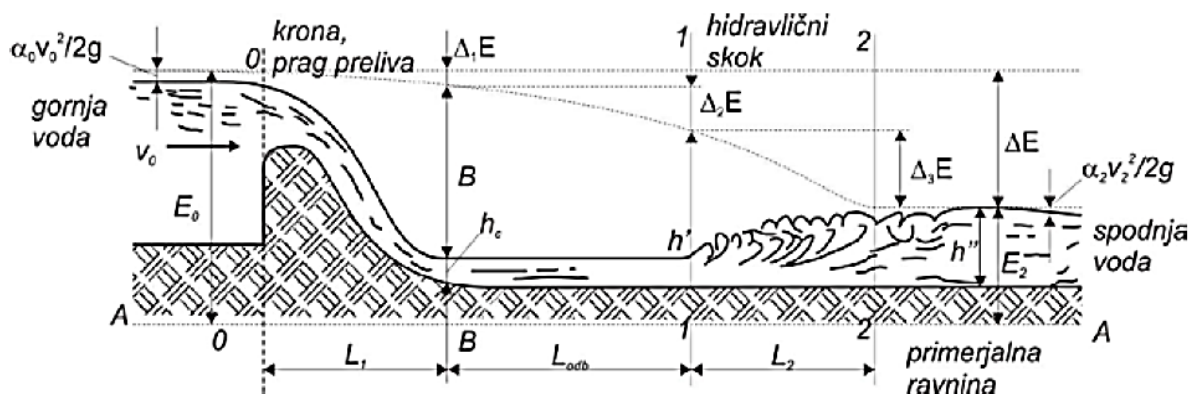
Sčasoma se vodni del prečnega objekta (pregrade) zapolni s hudourniškim nanosom do višine preliva, posledično so zamašene precednice. Voda nato preliva samo preko prelivne sekcije in prepada na zračno stran pregrade preko prelivne krone. Pri vsem skupaj krila pregrade nikoli ne smejo biti preplavljena. Pregrado moramo stransko vpeti v pobočje, da voda ne obide hudourniške pregrade ob strani (Mikoš, 2008).

#### 4.1.2 Hidravlika prelivov oz. prepadanje vode

V kolikor so cevni prepusti na hudourniški pregradi zapolnjeni (zamašene precednice), voda preliva samo preko prelivne sekcije. Med gradbene objekte, ki jih voda stalno ali občasno preliva uvrščamo pragove, drče, kaskade, pregrade. Prelivi so lahko z ostrim robom, praktičnega pravokotnega preliva, s širokim pragom in praktičnega zaobljenega profila. Prav tako jih delimo na geometrijo prelivnega prečnega prereza kot so trikotni, pravokotni, trapezni, sestavljeni prerez in na ozračenje spodnje konture prelivnega curka kateri so ozračeni, neodračeni ter prisesani preliv. Slap oz. curek je najpomembnejši element preliva, saj se v njegovih mejah zmanjšuje energija vodotoka (Markič, 2008).



Specifična energija za slapom se označi z  $E_2$ . Tako je razlika energije ( $\Delta E = E_0 - E_2$ ) tisti del, ki se porabi pri toku vode čez objekt.



Slika 38: Oznake preliva (odgnani vodni skok), (Markič, 2008).

Del energije  $\Delta_1 E$  se porabi, kadar teče pretok čez pregrado do zoženega (kontrakcija) prereza, drugi del energije  $\Delta_2 E$  se potroši v odbojnem delu vodnega skoka ter del energije  $\Delta_3 E$  se porabi v samem vodnem skoku.

$$E_0 = \Delta_1 E + \Delta_2 E + \Delta_3 E = E_2 + \Delta E \quad (5)$$

kjer je:

- $E_0$      specifična energija pred slapom,
- $\Delta E$      porabljen energija,
- $E_2$      specifična energija za slapom.

Oblika vodnega skoka, ki se zgodi v podslapju, je odvisna od gibanja vode dolvodno od preliva. Popolni hidravlični skok porabi veliko energije, valovit skok pa malo energije. V kolikor se na območju preliva ne porabi celotna energija  $\Delta E$ , se povezuje spodnje vode in slapu (curka) izvrši kot odgnani vodni skok, s čimer se del energije potroši za premagovanje trenja vzdolž odbojne dolžine (med B in 1) (Markič, 2008).

Pretok  $Q$  na prelivni sekciji je odvisen od širine preliva, prelivne višine  $H$  vode nad krono preliva (gornje vode), dotočne hitrosti  $v$  ter od zemeljskega gravitacijskega pospeška  $g$ . Energijski potencial, ki ga s seboj prinaša dotok, lahko izračunamo kot prelivno višino z upoštevanjem hitrosti dotoka na objekt:

$$H_0 = H + \alpha \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

Poenostavimo, da je pretok linearno odvisen od širine prelivne sekcije  $b$ . Pri izpeljevanju enačbe za pretok imamo še dodaten vpliv zaradi geometrije prečnega prereza.

Za pravokotni preliv, je enačba pretoka naslednja:

$$Q = \frac{c}{\sqrt{2}} b \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

kjer je:

$c$  brezdimenzijski koeficient proporcionalnosti, ki prikazuje lastnosti konstrukcije samega preлива (ostri rob, zaobljen rob, širok rob).

V kolikor nam spodnji nivo vode zmanjšuje pretok vode preko prelivne sekcije, dodatno v enačbo pretoka uvedemo popravni koeficient  $\mu$  (manjši od 1) (Markič, 2008).

Posledično je enačba pretoka z upoštevanjem višine vode na prelivu in ( $m = \frac{c}{\sqrt{2}}$ ):

$$Q = \mu m b \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}} \quad (8)$$

Sedaj lahko upoštevamo še višino vode za pregrado, ki se meri v oddaljenosti  $2,5 H$  do  $3 H$ :

$$Q = \mu m_0 b \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}} \quad (9)$$

Hitrost dotekajoče vode [ $m/s$ ] na pregrado določimo s:

$$v = \frac{Q}{b (H_1 + H)} \quad (10)$$

kjer je:

$Q$  pretok vode v [ $m^3/s$ ],

$H$  globina vode [ $m$ ],

$H_1$  višina objekta [ $m$ ],

$b$  srednja širina korita pred pragom [ $m$ ],

$g$  pospešek sile težnosti [ $9,81 \frac{m}{s^2}$ ].

V kolikor je dotočna hitrost  $v \approx 0$  [ $m/s$ ], je hitrost prelivanja vode na pragu:

$$v = \sqrt{2gH} \quad (11)$$

V primeru dotočne hitrosti večje od nič ( $v > 0,4 \frac{m}{s}$ ), se hitrost prelivanja poveča:

$$v = \sqrt{2gH + 2gK} = \sqrt{2g (H + K)} \quad (12)$$

kjer je:

$K$  energijska višina dotekajoče vode pred prelivom [ $m$ ],

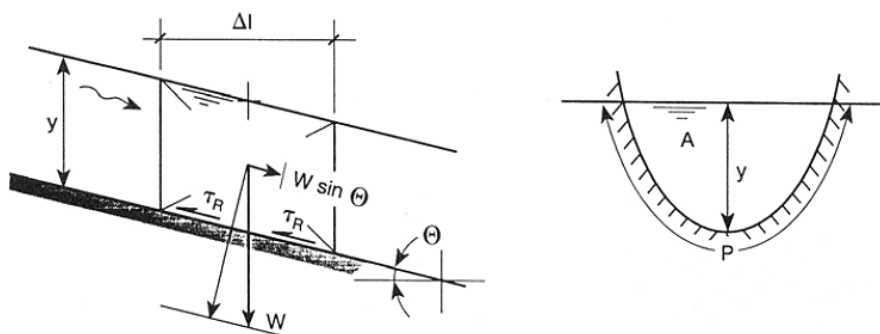
$H$  globina vode pred prelivom [ $m$ ].

## 4.2 Strižne napetosti

Pri toku vode v strugi, vlečna sila deluje v smeri vodnega toka na dno in brežine struge.

Strižna napetost  $\tau_R$  je izračunana kot razmerje med vlečno silo in omočenim obodom.

Obremenitev, ki deluje na strugo in povzroča prodonosnost (dejanski pretok rinjenih plavin) je vlečna sila (Mikoš, 2009).



Slika 39: Ravnotežje prostorninskega elementa  $A \Delta l$  pri enakomernem toku, kjer je reakcijska sila v strugi enaka  $\tau_R P \Delta l$  (Mikoš, 2009).

S pomočjo teorije Meyer-Petra določimo  $I_N$ , ki predstavlja minimalni padec zaplavke za pregrado pri visokih vodah. Teorija je bila razvita za hidravlične razmere v vodotokih (rekah) in velja za širše vodotoke z manjšimi nakloni ( $< 1 \%$ ). Za hudournike lahko to teorijo uporabimo v kolikor imamo izpolnjene pogoje za enakomerni tok in želimo izvesti preračun načrtovanega stanja (Mikoš, 2009).

Iz ravnotežnega pogoja za prostorninski element izrazimo:

$$\tau_R P \Delta l = W \sin \theta = p_w g A \Delta l \sin \theta \quad (13)$$

kjer je:

$p_w$  gostota vode  $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$ ,

$g$  pospešek sile težnosti  $\left[ 9,81 \frac{m}{s^2} \right]$ ,

$W$  teža elementa prostornine z dolžino  $\Delta l$   $[kg]$ ,

$A$  površina pretočnega (prečnega) prereza  $[m^2]$ ,

$P$  omočeni obod  $[m]$ ,

$R$  hidravlični radij  $[m]$ ,  $R = \frac{A}{P}$ ,

$y$  pretočna globina vode  $[m]$ ,

$I$  vzdolžni padec (naklon) struge  $[-]$ ,  $I_0 = \sin \theta \cong \tan \theta$ .

$$\tau_R = p_w g R I \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad (14)$$

Za široke pravokotne pretočne prereze velja  $R \approx y$ , posledično je:

$$\tau_R = p_w g y I \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad (15)$$

Mejna strižna napetost  $\tau_m$ , ki jo je vpeljal Meyer-Peter, predstavlja vrednost pri kateri se začne prodonosnost. Lastnosti hudourniške struge in predvsem zrnastostna sestava hudourniških plavin v strugi določata njeno vrednost. Prodonosnost se začne, če v strugi del strižne napetosti  $\tau_R$ , ki deluje na zrna plavin, prekorači  $\tau_m$  (mejno strižno napetost).

Iz izraza za strižno napetost v strugi  $\tau_R$ , vidimo odvisnost strižnih napetosti od naklona dna struge  $I$  ter od pretočne globine vode  $y$ , ki je odvisna od pretoka vode  $Q$ . Iz slednjega sledi, da za vsak pretok vode  $Q$  obstoja mejni naklon struge  $I_m$ , kjer se še ne zgodita prodonosnost in poglobljanje dna struge (globinska erozija) (Mikoš, 2009).

Mejni minimalni naklon  $I_N$ , kjer je dno struge za hudourniškim objektom (pregrado) stabilno izhaja iz naklona zaplavka pri visokovodnem pretoku  $Q_{MAX}$ , kar lahko izrazimo kot:

$$I_N \cong \frac{0,4 d_{90}^{9/7}}{q_{max}^{6/7}} [-] \quad (16)$$

kjer je:

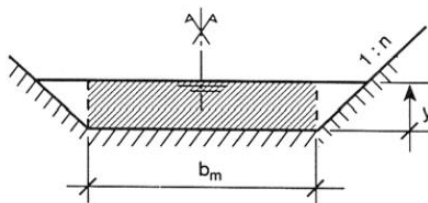
$d_{90}$  premer značilnega zrna iz krivulje zrnastosti hudourniških plavin, za katerega je 90 % zrn po težnosti manjših[m],

$q_{max}$  maksimalni specifični pretok na širinski meter hudourniške struge  $\left[ \frac{m^3}{s m} \right]$ .

Zgoraj zapisani izraz velja za široke pravokotne pretočne prereze. Struga na zaplavku za hudourniško pregrado, kjer so značilni trapezni pretočni prerezi ima sledeči približek:

$$q_{max} \cong \frac{Q_{max}}{b_m} \quad (17)$$

pri čemer mora veljati, da je  $\frac{b_m}{y} > 8$ .

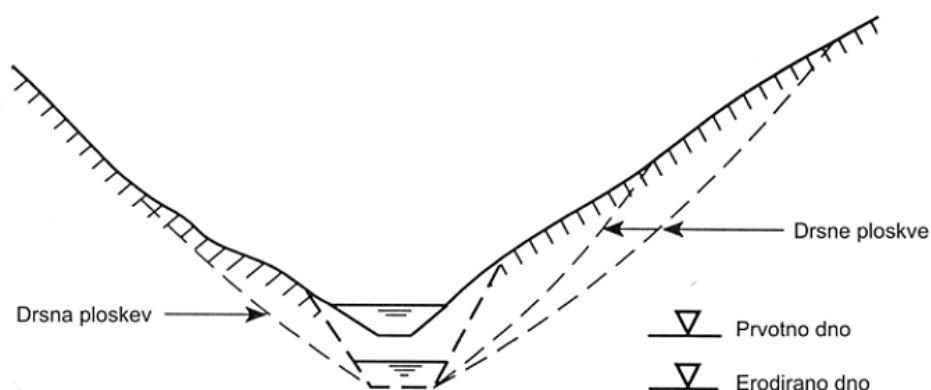


Slika 40: Nadomestni pretočni prerez za določitev minimalnega mejnega naklona  $I_N$  (Mikoš, 2009).

### 4.3 Erozijski procesi v zaledju prečnih objektov

Erozija se pojavi, kadar je intenzivnost padavin večja od infiltracijske sposobnosti prsti ter se zgodi površinski odtok. Moč erozije je odvisna od erozivnosti padavin, vodnega toka in odpornosti podlage. Poteka v treh stopnjah, najprej se ločijo delci prsti od podlage, katere voda ali drugi agensi prenesejo drugam in jih na koncu odložijo (Martiničič, 2014).

Na območjih hudournikov je velika korelacija med erozijskimi procesi v strugi hudournika in stabilnostjo hudourniških brežin oz. stranskih pobočij. Strme hudourniške struge v nevezanih zemljinah (sedimentih) imajo naravno težnjo v poglabljanju (globinska erozija) in širjenju (bočna erozija) lastne struge. Kor rezultat tega erozijskega delovanja v strugi hudournika, so nevezane zemljine (sedimenti) odplavljene in premeščene kot rinjene plavine, kar povzroči spreminjanje položaja struge hudournika. Takšno erozijsko delovanje hudournika spodkopava spodnje dele pobočij, s čimer se poveča nevarnost plazjenja stranskih pobočij oz. brežin. V kolikor pride do splazitve pobočij, se ta dodatni material v hudourniku prav tako lahko premešča kot rinjene plavine. V hudourniku stranska plazljiva pobočja povečujejo potencial rinjenih plavin v strugi (Mikoš, 2008).



Slika 41: Poglabljanje hudourniške struge in stabilnost pobočij (Mikoš, 2008).

### 4.4 Odlaganje sedimentov

»Hudourniški vodotoki imajo zaradi razmeroma velikih padcev že pri običajnih pretokih, posebej pa še pri visokih vodah, velik energijski potencial in posledično veliko sposobnost prenosa plavin in plavja. Ta se odlaga na delih, kjer se lokalno sposobnost prenosa zmanjša ali pretočni prerez onemogoča nadaljevanje poti. Zaradi odlaganja plavin prihaja do zasipanja rečne struge in zviševanja vodne gladine ter tako do povečane poplavne nevarnosti. Enake posledice ima tudi zmanjševanje ali celo popolno blokiranje pretočnega prereza zaradi »ujetega« plavja na mostovih, prepustih in drugih »ozkih grlih« rečnih korit. V takšnih primerih so zaradi preusmerjanja vodnega toka izpostavljena tudi območja, kjer sicer ni poplavne nevarnosti« (Rak s sod., 2008).

Rinjene plavine so plavine v bližini dna vodotoka, ki se premikajo. Način njihovega premeščanja je lahko drsenje, kotaljenje ali poskakovanje po dnu struge (Mikoš, 2000). Tok v vodotoku vsebuje poleg čiste vode tudi različne raztopljene in neraztopljene snovi. Med neraztopljene snovi uvrščamo plavje (les in drevesni ostanki), lebdeče plavine (suspendirane snovi), rinjene plavine in plavajoči led.

V hudourništvu posvečamo pozornost predvsem premeščanju (rinjenih) plavin, kakor tudi grobem plavju (plavajoča debela in koreninski panji) (Mikoš, 2008). Pri prečnih objektih na hudournikih so z vidika premeščanja plavin najpomembnejše rinjene plavine.

»Rinjene plavine so sestavljene iz peska, proda, grušča in v odvisnosti od razmer tudi posameznih večjih skalnatih blokov, ki se premeščajo po strugi. Zrna rinjenih plavin se z razbijanjem, krušenjem in obrusom zmanjšujejo. Pri premeščanju rinjenih plavin uporabljamo naslednje izraze:

- specifična prodonosnost v  $\frac{kg}{m\ s}$  ali  $\frac{m^3}{m\ s}$  je masni ali prostorninski pretok rinjenih plavin na širinski meter hudourniške struge in časovno enoto;
- prodonosnost  $\frac{kg}{s}$  ali  $\frac{m^3}{s}$  je masni ali prostorninski pretok;
- letna prodonosnost v  $kg$  ali  $m^3$  je masa ali prostornina rinjenih plavin, ki se premestiti skozi izbrani prerez v času enega leta« (Mikoš, 2008).

Potek premeščanja plavin lahko enostavno predstavimo na naslednji način:

- dokler vodni tok ni v stanju zasičenosti z nanosom, le-ta spodkopava svoje korito;
- kadar vodni tok doseže maksimalno zasičenost, preneha z erodiranjem in spodkopavanjem svojega korita;
- v primeru zmanjšanja hitrosti, se zmanjša transportna zmogljivost vodnega toka, posledično pride do odlaganja dela nanosa, katerega tok prenaša, zaradi tega se dno korita viša (Pemič, Mikoš, 2008).

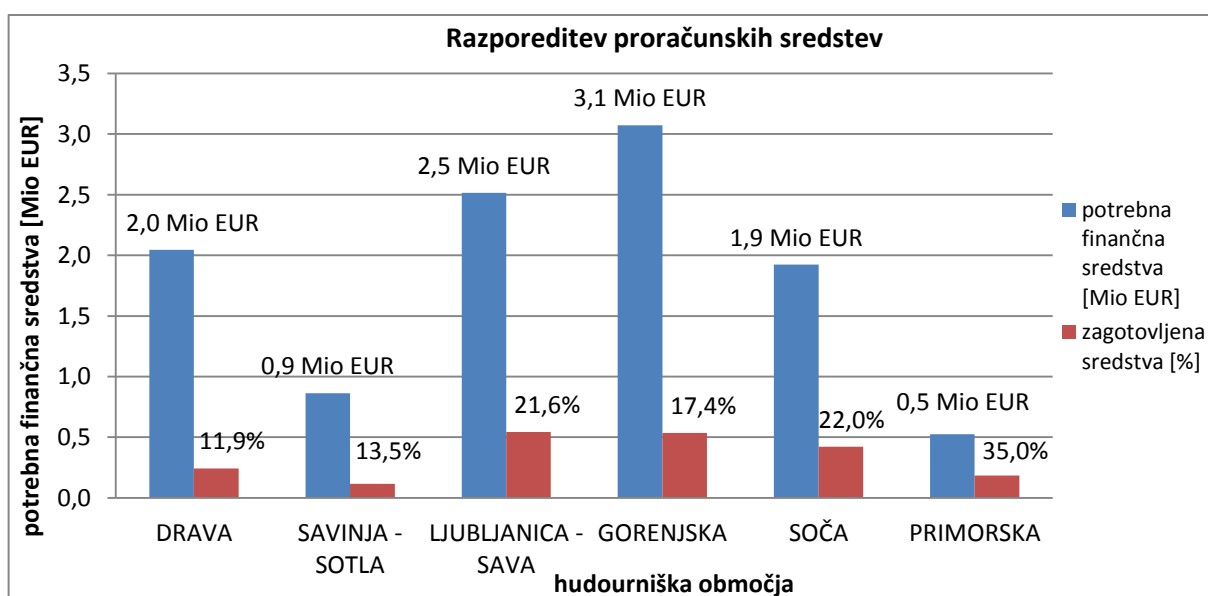
Vzroki za zastajanje (odlaganje) rinjenih plavin v naravnih vodotokih so lahko naravnega ali antropogenega izvora. Hidravlični pogoji, zaradi katerih se vrši zastajanje oz. odlaganje sedimentov so nezvezna bilanca prodonosnosti, sprememba prečnega prereza, hidravličnega padca in vodnega pretoka (odvzem vode).

## 5 STANJE V SLOVENIJI

Od začetka organizirane hudourničarske dejavnosti, ki skrbi za vzdrževanje in urejanje vodnega režima v Sloveniji, je bilo izvedeno mnogo del na hudournikih. Večina dela je bila opravljenega zaradi posledic številnih hudourniških izbruhov (sanacijska dela), kar govori o tem, da je bilo premalo storjenega na področju preventive – preventivnih ukrepov (Horvat, 2000). Novejše stanje v Sloveniji sta povzela Sodnik in Mikoš (2013), trenutno je izvajanje vzdrževalnih del na vodotokih urejeno s koncesijami. Redna dela in sanacijski programi se financirajo iz proračuna RS, posledično so mnogokrat podvržena zmanjšanju sredstev. Redno vzdrževanje poleg pomanjkanja sredstev ovirajo tudi administrativne težave.

»Da neko območje označimo za poplavno ogroženo, mora na njem obstajati objektivna nevarnost poplav kot tudi škodni potencial, ki ga predstavlja človek s svojimi najrazličnejšimi dejavnostmi v prostoru (poselitev, gospodarske dejavnosti, infrastruktura, itd.). Dejanska ogroženost nekega območja je zato odvisna tako od frekvenca, intenzitete in narave poplavljanja, kot tudi od ranljivosti oziroma občutljivosti in vrednosti človekovih dejavnosti na tem območju. Ogroženost ob poplavah se nanaša na posameznika (izguba življenja, poslabšanje zdravstvenega stanja) in njegovo imetje, različne dejavnosti (kmetijske površine, trgovina, industrija), infrastrukturo (promet, infrastrukturna omrežja) ter na okolje (onesnaženje, kontaminacija, razlitja nevarnih snovi)« (FLOODsite, 2009, citat po Trobec, 2011).

Zbornik Slovenski vodar (2000) je izvedel študijo zagotovljenih in potrebnih letnih sredstev za vzdrževanje posameznih vodnih območij.



Grafikon 2: Primerjava med potrebnimi in zagotovljenimi letnimi sredstvi za vzdrževanje posameznih območij (Horvat, 2000).

Iz raziskave ugotovimo, da je zagotovljenih povprečno le 18,7 % zahtevanih oz. potrebnih sredstev, pa še ta so neenakomerno razporejena med posameznimi območji za varstvo pred hudourniki. Posledično prebivalcem različnih predelov Slovenije ni zagotovljena primerljiva stopnja varnosti pred hudourniškimi vodami in trdnimi snovmi, ki jih le-ta nosi s sabo, tudi najbolj »privilegirani« imajo zmanjšano stopnjo varnosti od zelene oz. od pred desetletji že dosežene (Horvat, 2000).

Novejši podatki o razporeditvi proračunskih sredstev preteklih let za vzdrževanje in urejanje vodne infrastrukture v Sloveniji, kažejo na podoben trend zmanjševanja sredstev, z izjemo nekaterih let v času rasti BDP. Za sprotno obnavljanje objektov, urejanje hudourniških območij in erozijskih žarišč je še manj denarja (Sodnik s sod., 2014a).

V popisu nesreč in varstvu pred njim (2002) je preglednica, ki prikazuje število nesreč kot posledico erozije na slovenskem območju. Žrtve v obdobju 1. Svetovne vojne, zaradi snežnih plazov, so izpuščene. Število smrtnih ponesrečencev v Sloveniji je manjše kot v primerljivih alpskih državah, kar je posledica predvsem ugodnejših naravnih danosti Slovenije. Na drugi strani, pa je takšno število žrtev še vedno preveliko.

Preglednica 7: Število žrtev naravnih nesreč v Sloveniji (obdobje 1870 – 1990) (PUH, 1995).

Vzrok	Število žrtev	Št. smrti na leto
Snežni plazovi	168	1,5 / leto
Poplave	50	0,5 / leto
Hudourniški izbruhi	30	0,25 / leto

Ekonomske analize opravljene leta 2000 (Horvat) so razkrile, da naravne nesreče oškodujejo državni proračun za 4,5 % bruto domačega proizvoda. Največ škode pa gre na račun hudourniških izbruhov, poplav ter zemeljskih plazov. Saniranih poškodb je bilo v povprečju samo 15 %, ker se je za vzdrževanje in urejanje vodnega režima (sem spada tudi urejanje hudourniških območij in erozijskih žarišč) v proračunu še zmanjšal obseg sredstev, lahko ob naslednjih večjih padavinah ponovno pričakujemo poškodbe in škodo, ki bo nekajkrat višja kot bi lahko bila.

Prikaz škode na vodni infrastrukturi in priobalnih zemljiščih v letih od 2007 do 2012 zaradi poplav, potrjuje stopnjevanje škode (v deležu na BDP), ki ga povzročajo hudourniške poplave, zaradi nezadostnega vzdrževanja obstoječe infrastrukture (Sodnik s sod., 2014b).

Takšne posledice bi lahko preprečili z vzdrževanjem zgrajenih zavarovanj in naravnih strug. Potrebno je še pripomniti, da prevladujoče mnenje svetovnih klimatologov govori v tej smeri, da lahko v prihodnosti pričakujemo večje število neugodnih lokalnih klimatskih sprememb, ki se bodo kazali tudi kot ekstremnejši padavinski dogodki po obsegu, trajanju in intenziteti.



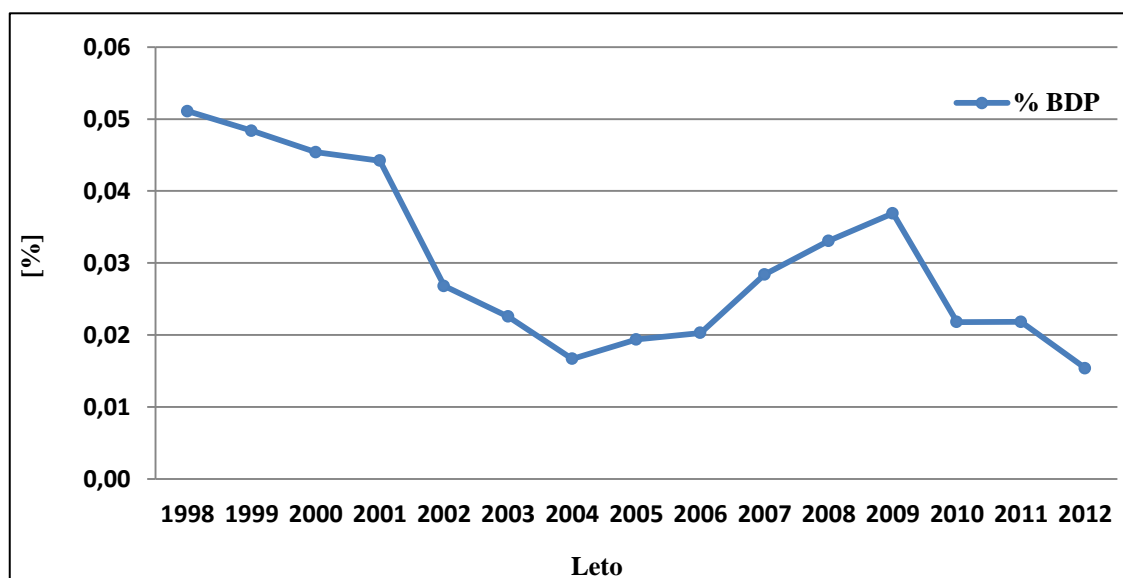
## 5.1 Prečni hudourniški objekti v Sloveniji

Od začetka organizirane hudourničarske dejavnosti v Sloveniji, je bilo na mestih kjer bi lahko hudournik povzročil večjo škodo s poglobljanjem, zajedanjem, prenosom plavin, sprožanjem zemeljskih plazov, do leta 2008 zgrajenih več kot 3.500 različnih ustalitvenih in zaplavnih pregrad, več kot 3.100 pragov, več kakor 57 km vegetacijskih in več kakor 148 km drugih obrežnih zavarovanj (Horvat s sod., 2008).

Preglednica 8: Hudourničarska in protierozijska dela, opravljena od leta 1884 do 2006 (Horvat s sod., 2008).

Vrsta objekta	Količina
Ustalitvene in zaplavne pregrade	3494 kosov
Ustalitveni pragovi	3124 kosov
Vegetacijska obrežna zavarovanja	57 km
Druga obrežna zavarovanja	148 km

Z izvedbo omenjenih del se je varnost pred eroziji in hudourniki bistveno izboljšala. Žal pa dolgoročno vsa hudourniška območja v Sloveniji niso bila enakomerno obravnavana, po posameznih večjih ujmah so bila sanacijska in preventivna dela zgoščena na prizadetih predelih. Ostala območja so bila zaradi pomanjkanja sredstev v večini primerov zapostavljena. S časovno oddaljenostjo od naravnih nesreč so se zelo hitro znižala razpoložljiva finančna sredstva, zato načrtovana dela pogosto niso bila opravljena v predvidenem obsegu in časovnih rokih (Horvat s sod., 2008).



Grafikon 3: Padec deleža BDP, namenjenega rednemu vzdrževanju vodne infrastrukture, v obdobju 1998–2012 (prirejeno po Kogovšek, 2013, citat po Sodnik s sod., 2014a).

Grafikon predstavlja padec deleža BDP v Republiki Sloveniji, ki je bil namenjen za letno redno vzdrževanje vodne infrastrukture (krčenje sredstev) v letih od 1998 do 2012.

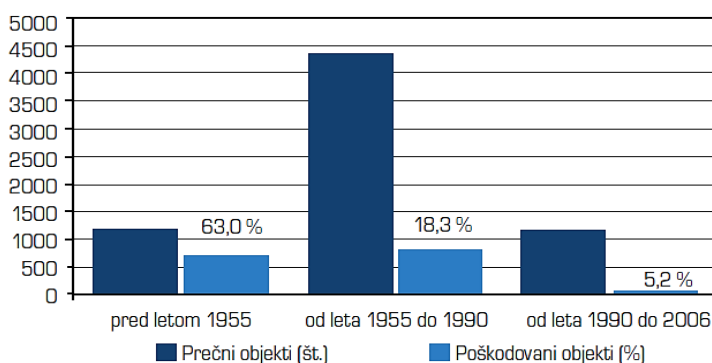
V zadnjem času so težave s hudourniki vedno pogostejše, območje Slovenije je prizadelo več hudourniških poplav, v letih 1990, 1998, 2007, 2010 in 2014. Terjale so veliko materialne škode, prizanesle pa niso niti človeškim življenjem. Del težave predstavlja tudi pomanjkljiva evidenca prečnih objektov, v registru namreč niso zavedeni vsi prečni objekti, zaradi lastniških težav takšni objekti niso zadovoljivo vzdrževani.

Cilj rednega vzdrževanja ni zagotavljanje poplavne varnosti, lahko pa dobro vzdrževan vodotok in objekti vodne infrastrukture močno zmanjšajo škodljiv vpliv in gmotno škodo pri poplavnih dogodkih. Težavo za redno zadostno vzdrževanje predstavlja pomanjkanje pregleda nad tipi objektov, kakor ni urejena terminologija na tem področju, tako ni niti urejena klasifikacija hudourniških pregrad po namembnosti in gradivu.

## 5.2 Poškodbe objektov

»Za vse neustrezno vzdrževane varovalne sisteme za zaščito pred naravnimi nevarnostmi velja, da je ob napovedanih vse večjih vremenskih ekstremih njihova dejanska funkcionalnost negotova. Zato je nujno, da se z ustreznim vzdrževanjem zagotovi vsaj prvotno načrtovano ali predvideno funkcionalnost objektov in varovalnih sistemov in po možnostih dopolni njihovo varovalno vlogo. Neustrezno vzdrževani objekti lahko zavajajo z lažnim občutkom varnosti in otežujejo sicer vse bolj nujen konstruktiven dialog o preostalem tveganju« (Horvat s sod., 2008).

Opravljen je bila analiza stanja vseh varovalnih objektov na hudourniških območjih v Sloveniji, po starosti so bili za potrebe analize razvrščeni v tri skupine (objekte zgrajene pred letom 1995, med leti 1995 in 1990, ter objekte zgrajene po letu 1990). Objekti so bili v analizi uvrščeni v dve kategoriji, v nepoškodovane in poškodovane. Za potrebe analize so poškodovani tisti objekti, pri katerih je zaradi poškodb in nezadostnega vzdrževanja ogrožena stabilnost in funkcija objektov. Objekti, pri katerih stabilnost in funkcija nista ogroženi, so bili uvrščeni med nepoškodovane objekte (Horvat s sod., 2008).



Grafikon 4: Stanje prečnih hudourniških varovalnih objektov na hudourniških območjih Slovenije (Horvat s sod., 2008).

Analiza je pokazala, da so v najslabšem stanju objekti, zgrajeni pred letom 1955 (delež poškodovanih objektov dosega kar 63 %), ki so že amortizirani in bi jih bilo potrebno obnoviti.

Opazimo lahko močno neskladnost uradnih podatkov o vodni infrastrukturi s stanjem na terenu. Trenutno na razpolago nimamo vpogleda v dejansko stanje oz. so uradni podatki o številu objektov v Sloveniji pomanjkljivi (še ne popoln popis vodne infrastrukture), posledično vsi objekti niso deležni zadostnih sredstev za redno vzdrževanje. Število objektov in njihova vrednost, določata višino sredstev za vsakoletno vzdrževanje (Sodnik s sod., 2014).



Slika 42: Novo zgrajen talni prag s krilnim lesom na potoku Hotoveljščica (avtor, terenski ogled, 1.6.2015).

Na podlagi terenskega ogleda smo lahko ugotovili, da so novo zgrajeni objekti kakovostno in skrbno zgrajeni, medtem pa starejše in manjše pregrade (objekti) niso vzdrževane. Takšni objekti imajo zapolnjen odlagalni prostor, ki se ne čisti. Posledično takšen objekt ne nudi potrebne zaščite pred škodljivim delovanjem voda.



Slika 43: Zadrževalnik hudourniških plavin na hudourniku Hotoveljščica (avtor, terenski ogled, 1.6.2015).

### 5.3 Porušitve objektov

Porušitve objektov se v večini primerov zgodijo na zapuščenih hudourniških pregradah, kjer ima na tveganje porušitve največji vpliv vzdrževanje. Podan je primer hudourniške pregrade, ki ni bila vzdrževana (Belca v km 2,48). Po osnovnih parametrih hudourniške pregrade ter osnovnih parametrih hudourniškega območja objekt ne predstavlja velikega tveganja. Skupna ocena hudourniške pregrade uvršča objekt v kategorijo velikega tveganja predvsem zaradi vzdrževanja, upravljanja in samega stanja hudourniške pregrade (Martinčič, 2014).



Slika 44: Hudourniška pregrada na Belci v km 2,48 (Martinčič, 2012).

V kolikor je tveganje hudourniške pregrade veliko in ga ne moremo zmanjšati z nobenim ukrepom za znižanje ocene (celotna dokumentacija je na voljo, vzdrževanje je urejeno in redno, stanje hudourniške pregrade je dobro), moramo hudourniško pregrade (objekt) še nadalje redno vzdrževati. Varnost hudourniške pregrade je najbolj odvisna od rednega vzdrževanja samega objekta. Potrebno je vzdrževati okolico (vplivno območje) hudourniške pregrade ter hudourniško strugo dolvodno (Martinčič, 2014).

### 5.4 VODPREG klasifikacija

VODPREG klasifikacija (stanje slovenskih vodnogospodarskih pregrad) je bila izvedena zaradi (ne)varnosti tistih objektov, kjer lastništvo in raba nista popolnoma urejena, prav tako obstajajo manjše vodnogospodarske pregrade, ki niso uradno evidentirane. Cilj klasifikacije je pregledna karta z evidenco stanja vseh pomembnih vodnih pregrad in zadrževalnikov, ki so namenjene varstvu pred škodljivim delovanjem voda, namakanju ali drugim rabam vode. Klasifikacija ni bila ciljno izdelana za prečne objekte na hudournikih, ugotovitve klasifikacije pa lahko v veliki meri uporabimo tudi za ugotavljanje obstoječega stanja na področju prečnih hudourniških objektov.

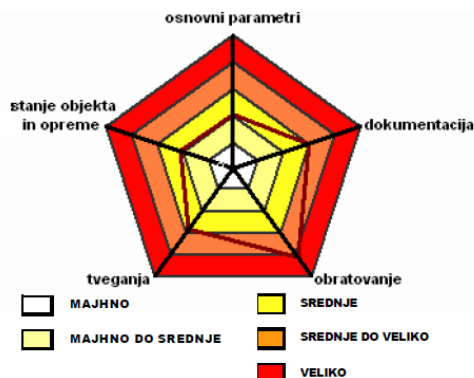
V Sloveniji imamo na uradnem nivoju obravnavane samo velike pregrade, za katere je bila ta metodologija uporabljena, hudourniške pregrade nimajo uradne klasifikacije.

Opravljen je bil arhivski pregled dokumentacije o objektih. Prav tako je sledil vizualni pregled objektov vključno s strojno in elektro opremo, na koncu so bili opravljeni še podvodni potapljaški pregledi. Na podlagi ogledov je bila izdelana sinteza poročila z ugotovitvami in presojo stopnje tveganja, ki ga objekti predstavljajo za okolico (Kryžanowski s sod., 2013).

Na podlagi pregledov dokumentacije in stanja objektov, so ključne naslednje ugotovitve:

- »Arhiviranje dokumentacije o pregradah ni sistematično, predvsem pri starejših objektih je dokumentacija večkrat pomanjkljiva.
- Kondicijsko stanje objektov je močno odvisno od upravljavca objektov in za to namenjenih sredstev za njihovo vzdrževanje.
- Praviloma so objekti, kategorizirani kot velike pregrade v boljšem kondicijskem stanju kot male pregrade, kar izhaja iz strožjih zahtev zakonodaje, ki pokriva področje velikih pregrad.
- Monitoring stanja pregrad in zadrževalnikov se praviloma izvaja v omejenem obsegu in obsega le meritev posameznih parametrov ali izvedbo meritev geotehničnih parametrov brez kompleksne analize rezultatov.
- Stanje pregrad in zadrževalnikov se ne preverja na nacionalnem nivoju.
- Analize porušitve pregrad so narejene za vse velike pregrade, vendar bi jih bilo potrebno zaradi zastarelosti metod računa in sprememb v prostoru aktualizirati, tako z novelacijo analiz porušitve, kot novelacijo predpisov, ki urejajo to področje« (Kryžanowski s sod., 2013).

Po parametrih pregrad, ki so bili vrednoteni kvalitativno (osnovni parametri pregrad, stanje razpoložljivosti dokumentacije, obratovalni parametri, tveganje pri obratovanju, stanje objektov in opreme), je bila izvedena ocena stopnje tveganja. Končno tveganje je bilo razvrščeno na petstopenjsko lestvico, ki je segala od malega do velikega tveganja. Analiza rezultatov ocene tveganja je pokazala, da se v zgornje tri razrede (med objekte srednjega, srednjega do velike in velikega tveganja) razvršča 98 % vseh analiziranih objektov. Kritični so obratovalni parametri, ki zajemajo ustrezno obratovanje in nadzor nad objektom.



Slika 45: Ocena tveganja po VODPREG klasifikaciji (Kryžanowski s sod., 2013).

Slabša ocena večine objektov je zaradi neurejenosti projektne in obratovalne dokumentacije, nerednega vzdrževanja objektov ter neizvajanja rednega monitoringa. Pomanjkljivosti so predvsem posledica neurejenih lastniško-pravnih razmerij med lastniki (državo) in upravljavci objektov (koncesionarji). Iz rezultatov sledi, da bi za zagotovitev varnega obratovanja bilo potrebno izvesti ustrezne sanacijske posege in ukrepe, ki so sledeči:

- ureditev projektnih podlag (hidroloških, statičnih in dimaničnih analiz, analiz porušitve in namembnosti);
- ureditev dokumentacije (arhiv, obratovalni pravilnik, načrt zaščite in reševanja, mapa pregrade);
- monitornig (operativni, tehnični in seizmološki);
- ukrepi na telesu pregrade (sanacije drenaž, tesnitve, površinski ukrepi,...);
- ukrepi na pripadajočih objektih (prelivi, izpusti, zajetja);
- ukrepi v akumulaciji (vzdrževanje brežin in akumulacijskega prostora, čiščenje naplavin).

Več kot polovico denarne vsote za vse sanacijske posege in ukrepe bi se moralo nameniti za posege na konstrukcijah pregrad. Pomemben del na varnost pregrade ima tudi alarmiranje in obveščanje prebivalcev v kolikor pride do porušitve pregrade. Pregled je pokazal da tretjina objektov (v večini manjši pregrade, saj zakonsko ne potrebujejo načrtov zaščite in reševanja) nima na voljo ustrezne obratovalne dokumentacije ali načrtov zaščite in reševanja. Izkazalo se je, da srednje in manjše pregrade predstavljajo večje tveganje kot velike pregrade, katere zakonsko potrebujejo načrt zaščite in reševanja.

Tveganje lahko omejimo v relativno kratkem času z dopolnitvijo obratovalne dokumentacije, s čimer vplivamo na obratovalno varnost. Na območjih, kjer bi bila v primeru porušitve ogrožena naselja, je potrebno vzpostaviti sistem alarmiranja in obveščanja, prav tako bi bilo potrebno za vse pregrade v Sloveniji nameniti sredstva za letna redna vzdrževanja (Kryžanowski s sod., 2013).

## 5.5 Rešitve

Na področju hudourništva je potrebno urediti enotno terminologijo ter klasifikacijo. Vsekakor je potrebno storiti korak naprej tudi pri hudourniških prečnih objektih (pregrade, pragovi, drče, kaskade,...), kjer je pri dimenzioniranju prečnih elementov nujno sprejeti standarde.

Orožen (2005) je v Geografskem obzorniku podal napotke glede naravnih nesreč, ki jih ne moremo preprečiti, lahko pa omilimo njihove posledice z dobrim poznavanjem, organiziranostjo in preventivo. Prav v preventivo bomo v bodočnosti morali vložiti precejšna sredstva, le-ta dejavnost je mnogo uspešnejša kot odpravljanje posledic naravnih katastrof, da niti ne omenjamo nenadomestljivosti človeških življenj. Naš cilj je preprečiti, odstraniti ali zmanjšati stopnjo tveganja, to dosežemo z usmerjanjem predvsem v vire ogrožanja. Obstoječe nevarnosti odstraniti trajno ali vsaj zmanjšati njihovo ogrožanje.

Ukrepe za zagotavljanje ustreznega varstva pred hudourniški pojavi in erozijskimi procesi, bi bilo potrebno izvajati pogosteje in z večjo intenzivnostjo, v tem primeru bi bili varnejši ob malce močnejšemu nalivu. Zagotovo bi morali pri tej dejavnosti preiti od nujnih sanacijskih del k preventivnemu ukrepanju. Žal je takšno razmišljanje prisotno v manjšem številu občin s strokovno podučeni posamezniki. Na državnem nivoju pa z večletno zamudo sprejemamo intervencijske zakone za izvedbo nujno potrebnih sanacijskih del za zaščito ogroženih stanovanjskih poslopij, gospodarskih objektov in pomembnih prometnih poti (Horvat, 2000).

Kot predlaga Orožen (2005) bi temeljne preventivne ukrepe izvajala pristojna ministrstva, kot tudi lokalne skupnosti, gospodarske družbe, zavodi in še druge organizacije. Izvajanje temeljnih preventivnih ukrepov bi moralo temeljiti na ocenah nevarnosti, podkrepjenih s strokovnimi podlagami. Nesreče, ki bi predstavljale največjo stopnjo tveganja, bi potrebovale izdelano celovito strategijo varstva, ta bi vsebovala kratkoročne, dolgoročne cilje varstva, dejanske preventivne ukrepe, ki jih je potrebno opraviti na območju ter ukrepe oz. smernice za ukrepanje ob nesrečah. Potrebno je poudariti tudi pomen vzdrževalnih del, ki prvotno niso namenjena zagotavljanju poplavne varnosti, a s temi deli lahko ključno vplivamo na stanje v vodotoku ob povečanih pretokih in s tem povečamo varnost (Sodnik, Mikoš, 2013).

Za varovanje pred hudourniški vodotoki, se lahko poslužujemo objektov, ki so bili opisani v poglavju 3 (prečni objekti na hudournikih). Hidrotehnični protipoplavni ukrepi predstavljajo pomemben del obvladovanja poplavnega tveganja. Njihov osnovni namen je zmanjševanje poplavne nevarnosti na poplavnih območjih.

Sodoben koncept varstva pred hudourniškimi poplavami (zmanjševanje poplavne nevarnosti in škodnega potenciala) je izrazito večplastno in vključuje različne mehanizme za obvladovanje tveganja, kot npr.:

- »ustrezno in premišljeno prostorsko planiranje in rabo tal;
- pogozdovanje z namenom zmanjševanja odtočnega koeficienta in erozije;
- zadrževanje padavin na mestu nastanka;
- ohranjanje in obnavljanje površin za nadzorovano razlivanje presežkov vode;
- preprečevanje ali omejevanje razlivanja vode na pozidanih poplavnih območjih;
- napovedovanje poplav;
- pravočasno opozarjanje na bližajočo nevarnost s pomočjo medijev in alarmiranja;
- pripravljenost in ustrezen odziv v sili;
- ozaveščanje prebivalcev o poplavni nevarnosti;
- informiranje o možnostih samozaščite in samopomoči ob nastopu poplave;
- protipoplavna gradnja;
- prepoved gradnje na poplavnih območjih ali preselitev določenih dejavnosti s poplavnih območij;
- razprševanje tveganja v obliki zavarovalništva;
- hitra in učinkovita popoplavna obnova, itd.« (Guidance ..., 2007; Brilly, 2001; FLOODsite, 2009; Mikoš, 2010; World Meteorological Organization, 2009, citat po Trobec, 2011).

V največji meri k preventivni varnosti prispeva ustrezno in premišljeno prostorsko načrtovanje, s slednjim opredelimo rabo prostora, preprečimo postavitve objektov in zmanjšamo morebitno škodo. Z omejitvijo rabe prostora preprečimo širjenje naselij, infrastrukture in gospodarskih dejavnosti na območja, ki so pod škodljivim vplivom hudournikov.



## 6 SKLEP

Slovenijo zaradi raznolikih naravnih danosti prepredajo številni hudourniški vodotoki, kateri ob intenzivnih in obilnih padavinah pogosto povzročajo hudourniške poplave ter z njimi povezano škodo. V kolikor tovrstnim naravnim burnim dogodkom stojimo na poti, smo zaradi njihove moči v veliki nevarnosti.

Z naravnimi katastrofami (nesrečami) se človeštvo sooča že od ranega začetka, nam narava na ta način sporoča in dokazuje, da smo minljivi ter da je ona še vedno pravi in edini Gospodar? Kaj lahko v tem primeru stori človeška družba? Pametno ravna, se prilagodi, uči na lastnih napakah, prelisiči naravo, neprestano razvija nove načine medsebojnega sobivanja in posluša modrosti prejšnjih generacij.

Kot je pisal že Orožen (2005) je preprečevanje in varstvo pred naravnimi nesrečami pomembna tema našega razvoja in s tem naše prihodnosti. Tej problematiki so Združeni narodi namenili desetletje (1990–2000), kasneje pa so jo uvrstili v trajno nalogo človeštva.

Pogosto se pojavlja vprašanje, ali so naravne nesreče danes pogostejše kot nekoč? Zaradi boljše in vedno večje osveščenosti bi temu morda lahko pritrdili, a narava se bistveno ne spreminja, spreminja se le človeštvo in njegove dejavnosti. Nedvomno pa drži, da smo danes bolj občutljivi ali ranljivi za njihove posledice kot v preteklosti (Orožen, 2005).

V preteklosti so se za zmanjševanje nevarnosti uporabljali predvsem hidrotehnični protipoplavni ukrepi (nasipi, zadrževalniki, regulacije in pregradni objekti). Pregradni objekti so se ponekod pokazali za bolj ali manj uspešne, vsekakor pa vodogradbeni ukrepi v celoti niso upravičili svojega cilja, saj hudourniške poplave še vedno ogrožajo številna območja. Za varovanje pred hudourniški poplavami, v zadnjem času prihajajo v ospredje številni in raznoliki negradbeni ukrepi, ki poleg zmanjševanja nevarnosti vplivajo tudi na zmanjševanje ranljivosti (preventivni ukrepi).

Varstvo pred škodljivim vplivom hudournikov je postalo izrazito interdisciplinarno.

»Gradbeno-tehnični protipoplavni ukrepi, kot del sodobnega varstva pred poplavami, ohranjajo svojo dosedanja vloga, njihova izvedba pa bi morala biti bolj prilagojena sodobnim spoznanjem. Obnova starejših ureditev mora biti čim bolj sonaravno zasnovana, nove ureditve pa omejene zgolj na najbolj kritična območja. Usklajene morajo biti na ravni celotnega porečja in tudi ne smejo bistveno vplivati na dolvodni režim« (Trobec, 2011).

Slovenska zakonodaja je na področju projektiranja, vzdrževanja in spremljanja stanja za velike in male pregrade pomanjkljiva, saj za to področje ni veljavnih tehničnih smernic.

Poleg pomanjkljivega poznavanja objektov je velika težava slovenske zakonodaje na področju pregradnega inženirstva tudi v pomanjkanju odgovornega organa, ki bi neodvisno nadzoroval pregrade v celotni uporabni dobi. Država (vlada), bi morala postaviti celovit sistem s katerim bi se upravljalo in zagotavljalo varnost pregradnih objektov in prebivalstva, ki je v njihovem vplivnem območju (Martinčič, 2014).

Pregrade na hudourniških vodotokih se lahko poškodujejo ali porušijo v kolikor so dotrajane, neprimerno vzdrževane ali se zgodi izredni dogodek (drobirski tok). Posledice v primeru porušitve prečnega objekta so v takšnem primeru še bolj katastrofalne, kot v primeru brez pregradnega objekta. Prečni objekt (pregrada) ugodno vpliva na razvoj različnih dejavnosti na hudourniškem območju, s čimer se poveča ranljivost in posledično večja škoda v primeru porušitve takšnega objekta v primeru izrednega dogodka.

Varnost pregrad lahko znatno izboljšamo z zagotavljanjem kakovosti že pri načrtovanju in umeščanju v prostor, gradnji, obratovanju, obnavljanju ter vse do opustitve objekta.

»Pri hudourniških poplavah je najbolj kritičen zelo kratek čas za umik na varno, zaradi česar bo v prihodnje potrebno nameniti še večji poudarek napovedovanju in zgodnjemu opozarjanju na nevarnost. Za zmanjšanje škode ob hudih urah na družbeno sprejemljivo raven bo potrebno postopno zmanjšati predvsem ranljivost, in sicer s preprečitvijo širjenja naselij, infrastrukture in gospodarskih dejavnosti na poplavna območja ter z različnimi negradbenimi in tudi gradbenimi protipoplavnimi ukrepi« (Trobec, 2011).

Zaradi naše povečane ranljivosti in spreminjanja podnebja, se bo obseg poplav pri nas povečal, rezultat bodo izrazitejše pretočne konice, hudourniške poplave bodo lahko občasno prizadela območja, kjer se še do sedaj niso pojavljale. Takšne spremembe bo pri bodočih posegih in obvladovanju hudourniških škodnih vplivov potrebno upoštevati.

Diplomsko delo bo lahko uporabljeno kot pobuda za izoblikovanje klasifikacije hudourniških pregrad v Sloveniji. Sistematičen pregled delovanja prečnih objektov in preventivnih ukrepov oz. izboljšav v hudournikih je mogoče uporabiti za izboljšanje varstva pred hudourniški poplavami.

## VIRI

AlleghenyGeoQuest. 2015. The General Integrative Watershed Model (GIW). Fluvial geomorphology.

[http://alleghenygeoquest.com/watershed\\_management.htm](http://alleghenygeoquest.com/watershed_management.htm)

(Pridobljeno 16. 6. 2015.)

ANTIESEN. 2013. Sanierung 8 Abstürze Aurolzmünster. WV Antiesen.

<http://www.wv-antiesen.at/projekte/aurolzmunster/sanierung-8-absturze-aurolzmunster/>

(Pridobljeno 8. 5. 2015.)

ARSO. 2005. Državna meteorološka služba - predstavitev področja dela. ARSO

<http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/dr%C5%BEavna%20slu%C5%BEba/dms.html>

(Pridobljeno 28. 2. 2015.)

ARSO. 2006. Podnebne razmere v Sloveniji. Obdobje 1971–2000. ARSO: 28 str.

[http://www.arso.gov.si/vreme/podnebnje/podnebnje\\_razmere\\_Slo71\\_00.pdf](http://www.arso.gov.si/vreme/podnebnje/podnebnje_razmere_Slo71_00.pdf)

(Pridobljeno 28. 2. 2015.)

Ball, J. E., 1994. The influence of storm temporal patterns on catchment response. Journal of Hydrology, 158, 3–4: 285–303.

Bergmeister, K., Suda, J., Hübl, J., Miklau, F. R. 2009. Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren. Berlin, Wilhelm Ernest & Sohn: 211 str.

Brilly, M., Rismal, M. 1987. Vodnogospodarska urejenost posameznih OVS. Elaborat d-268. Ljubljana, Laboratorij za mehaniko tekočin, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani: 84 str.

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.

Dirnbek, L. 2009. Vpliv histograma efektivnih padavin na hidrogram odtoka. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba L. Dirnbek): 86 str.

Dirnbek, L., Šraj, M. 2010. Hidrološko modeliranje: Vpliv histograma padavin na hidrogram površinskega odtoka. Gradbeni vestnik, 59, 3: 48–56.

Društvo vodarjev Slovenije. 2004. Hudourniška pregrada na Radoljni.

<http://www.drustvo-vodarjev.si/N5.html>

(Pridobljeno 23. 5. 2015.)

Giles, K. 2015. Before and After LiDAR Studies of the Sept. 2013 Colorado Front Range Flooding and Debris Flows. The Geological Society of America.

<http://www.geosociety.org/news/pr/2015/15-23.htm>

(Pridobljeno 3. 4. 2015.)

Hlatan, T. 2008. Hudourniški jez. Ljubljana, Samozaložba: 18 str.

HMZ. 1995. Klimatografija Slovenije 1961–1990 – padavine. Ljubljana, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije: 366 str.

Horvat A. 1993. Ekološke osnove urejanja erozijskih območij. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 41, 2: 5–49.

Horvat, A. 2000. Erozijska in hudourniška območja. Slovenski vodar, 10: 44–50.

Horvat, A. 2002. Varstvo pred erozijo. Nesreče in varstvo pred njimi. Ljubljana, Uprava RS za zaščito in reševanje Ministrstva za obrambo, 533–541.

Horvat, A., Jeršič, T., Papež, J. 2008. Varstvo pred hudourniki in erozijo ob vse intenzivnejših vremenskih ekstremih. Ujma, 22, 1: 200–208.

IRSTEA. 2011. ETGR - Torrent erosion, snow and avalanches. National Research Institute of Science and Technology for Environment and Agriculture.

<http://www.irstea.fr/en/research/research-units/etgr/adret>

(Pridobljeno 16. 5. 2015.)

IWTC/Cargo-Guard. 2012. Gabion Baskets and Reno Mattresses.

<http://iwtcargoguard.com/products/gabion-baskets-reno-mattresses>

(Pridobljeno 30. 5. 2015.)

Jesenovec, S. 1995. Pogubna razigranost: 110 let organiziranega hudourničarstva na Slovenskem: 1884–1994. Ljubljana, PUH - Podjetje za urejanje hudournikov: 276 str.

Jovanović, S., Bonacci, O., Anđelić, M. 1980. Hidrometrija. Beograd, Univerza Beograd, Građevinski fakultet: 80 str.

Kladnik, D. 2010. Brusove klavže. DEDI - digitalna enciklopedija naravne in kulturne dediščine na Slovenskem.

<http://www.dedi.si/dediscina/271-brusove-klavze>

(Pridobljeno 23. 5. 2015.)

Kolbezen, M., Pristov, J. 1998. Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. Ljubljana, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije: 45 str.

Kryžanowski, A., Širca, A., Ravnikar-Turk, M., Humar, N. 2013. Predstavitev projekta VODPREG. Aktualni projekti s področja upravljanja z vodami in urejanje voda. Mišičev vodarski dan, 24, 1: 233–238.

KSH. 2005. 3D Teren. Digitalne informacije o vodah. Katedra za splošno hidrotehniko.

<http://ksh.fgg.uni-lj.si/ewnsi/>

(Pridobljeno 6. 3. 2015.)

Markič, T. 2008. Stabilizacijski objekti v vodotokih. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba T. Markič): 243 str.

Martinčič, M. 2014. Metodologija za ocenjevanje tveganja porušitve hudourniških pregrad. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Martinčič): 70 str.

Mikoš, M. 1995. Soodvisnost erozijskih pojavov v prostoru. Gozdarski vestnik 53, 9: 342–351.

Mikoš, M. 2000. Urejanje vodotokov – skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 182 str.

Mikoš, M., Brilly, M., Ribičič, M. 2004. Poplave in zemeljski plazovi v Sloveniji. Acta hydrotechnica, 22, 37: 113–133.

Mikoš, M. 2008. Osnove hudourništva, skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 52 str.

Mikoš, M. 2009. Osnove hudourništva – varstvo pred hudourniki in zemeljskimi plazovi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 217 str.

Mikoš, M. 2012. Prispevek k zgodovinskemu pregledu razvoja hudourništva in hudourničarstva v Sloveniji. Gozdarski vestnik 70, 10: 429–439.

Mohorič, N. 2012. Pretočne hitrosti vode v hudournikih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba N. Mohorič): 32 str.

Natek, K. 2005. Poplavna območja v Sloveniji. Geografski obzornik, 52, 1: 13–12.

Orožen Adamič, M. 2005. Geografija in naravne nesreče. Geografski obzornik, 52, 1: 4–12.

Pemič, A., Mikoš, M. 2008. Inženirska hidrotehnika – skripta verzija 2008, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 400 str.

Pintar, J. 1969. Erozija tal – hudournik – plazovi. Začasne smernica za sestavo vodnogospodarskih podlog. Ljubljana, Projektivni biro za urejanje hudournikov: 79 str.

Pravni red RS. 2002. Zakon o graditvi objektov (ZGO-1). Uradni list RS št. 110/2002.

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?sop=2002-01-5387>

(Pridobljeno 21. 3. 2015.)

PUH. 1995. Poročilo o varstvu pred erozijo in hudourniki v Sloveniji. Ljubljana, Podjetje za urejanje hudournikov: 22 str.

Rak, G., Steinman, F., Gosar, L. 2008. Pomen nizkih pragov ob visokih vodah. Ujma, 22, 1: 31–36.

Rejda okoljske rešitve. 2014. Največja podajna hudourniška pregrada.

<http://www.rejda.si/index.php/si/clanki/77-najvecja-podajna-hudourniska-pregrada>

(Pridobljeno 30. 5. 2015.)

Remaitre, A., Malet, J.-P. 2010. The Effectiveness of Torrent Check Dams to Control Channel Instability: Example of Debris-Flow Events in Clay Shale. Morphological Adjustments and Erosion Control in Torrential Streams. Nova Science Publishers, Chapter 10: 211–237.

Repnik Mah, P., Bricelj, M., Muck, P., Papež J. 2013. Lesena kašta ali kranjska stena: dobra praksa urejanja alpskih in predalpskih vodotokov. Gorenjska v obdobju globalizacije, 307–319.

[www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/podrocja/naravne\\_nesrece/Kasta\\_barvno.pdf](http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/podrocja/naravne_nesrece/Kasta_barvno.pdf)

(Pridobljeno 16. 5. 2015.)

Rickenmann, D. 1994. An alternative equation for the mean velocity in gravel-bed rivers and mountain torrents. V: Cotroneo, G.V., Rumer, R.R. (ur.). ASCE 1994 National Conference of Hydraulic Engineering, 1: 672–676.

SedAlp WP6. 2015. Interactions with structures. Sediment management in Alpine basins.

<http://www.sedalp.eu/project/wp6.shtml>

(Pridobljeno 8. 5. 2015.)

SedAlp WP7. 2015. Sediment management (including large wood). Sediment management in Alpine basins.

<http://www.sedalp.eu/project/wp7.shtml>

(Pridobljeno 8. 5. 2015.)

Senič, K. 2010. Ureditev dela vodotoka Tesnica pri kraju Stranice. Diplomaska naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo (samozaložba K. Senič): 46 str.

Sodnik, J., Mikoš, M. 2013. Vodarstvo in vzdrževanje vodne infrastrukture v Sloveniji. Gradbeni vestnik, 62, 8: 166–173.

Sodnik, J., Kogovšek, B., Mikoš, M. 2014a. Vodna infrastruktura v Sloveniji: Ali vemo kaj moramo vzdrževati? Strategija upravljanja z vodami. Mišičev vodarski dan, 25, 1: 24–31.

Sodnik, J., Kogovšek, B., Mikoš, M. 2014b. Vodna infrastruktura v Sloveniji: kako do ocene realnega stanja? V: Zorn, M. (ur.), Komac, B. (ur.), Ciglič, R. (ur.), Pavšek, M. (ur.). (Ne)prilagojeni. Naravne nesreče 3, knj. 1. Ljubljana: Založba ZRC: str: 29–39.

STAT. 2013. Višinski pasovi in nakloni terena - Statistični letopis 2013. Statistični urad RS.

[http://www.stat.si/StatWeb/doc/letopis/2013/01\\_13/01-03-13.html](http://www.stat.si/StatWeb/doc/letopis/2013/01_13/01-03-13.html)

(Pridobljeno 6. 3. 2015.)

Steinman, F., Banovec, P. 2004. Hidrotehnika, Vodne zgradbe I. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 117 str.

Steinman, F., Banovec, P. 2008. Hidrotehnika, Vodne zgradbe I. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 147 str.

Suda, J., Skolaut, C., Bergmeister, K., Miklau, F. R., Hübl, J. 2008. Einsatz von Beton für Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren. Zement und Beton 3/ 8: 6–16.

[http://www.zement.at/Service/literatur/fileupl/03\\_08schutzbauwerke.pdf](http://www.zement.at/Service/literatur/fileupl/03_08schutzbauwerke.pdf)

(Pridobljeno 4. 4. 2015.)

Suhadolnik, P. 2007. Urejanje hudournikov in varstvo okolja na primeru Podlipščice. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta (samozaložba P. Suhadolnik): 66 str.

Torkar, V. 2013. Primerjava 2D in 3D analize hudourniške pregrade s programom Midas GTS. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba V. Torkar): 95 str.

Trobec, T. 2011. Vodogradbeni protipoplavni ukrepi za varstvo pred škodljivim delovanjem hudourniških poplav kot sestavni del obvladovanja poplavnega tveganja.

Dela, 2011, 35: 103–124.

Ušeničnik, B., Maček, J., Žabkar, A. 2002. Nesreče in varstvo pred njimi. Ljubljana, Uprava RS za zaščito in reševanje Ministrstva za obrambo: 569 str.

ZGS. 2012. Poročilo o gozdovih. Zavod za gozdove Slovenije: 133 str.

[www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/PDF/LETNA\\_POROCILA/Por\\_ZGS\\_gozd2012.pdf](http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/PDF/LETNA_POROCILA/Por_ZGS_gozd2012.pdf)

(Pridobljeno 1. 3. 2015.)