

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:

Grajš, A., 2013. Sanacija jezua na mestni Ljubljani pri Ambroževem trgu. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kryžanowski, A.): 124 str.

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:

Grajš, A., 2013. Sanacija jezua na mestni Ljubljani pri Ambroževem trgu. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kryžanowski, A.): 124 pp.

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 ŠTUDIJ  
GRADBENIŠTVA  
HIDROTEHNIČNA SMER

Kandidat:

**ALJAŽ GRAJŠ**

**SANACIJA JEZU NA MESTNI LJUBLJANICI PRI  
AMBROŽEVEM TRGU**

Diplomska naloga št.: 3328/HS

**REHABILITATION OF THE DAM ON THE MESTNA  
LJUBLJANICA RIVER AT THE AMBROŽEV TRG  
SQUARE**

Graduation thesis No.: 3328/HS

**Mentor:**

doc. dr. Andrej Kryžanowski

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Član komisije:**

izr. prof. dr. Matjaž Dolšek

doc. dr. Matevž Dolenc

Ljubljana, 28. 10. 2013

**STRAN ZA POPRAVKE (Errata):**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

**IZJAVE**

Podpisani Aljaž Grajš izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom  
»Sanacija jezua na Mestni Ljublanici pri Ambroževem trgu«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Sodražica, 9. 10. 2013

Aljaž Grajš

---

(podpis)

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

<b>UDK:</b>	<b>626.4+626.882:627.8(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Aljaž Grajš</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Andrej Kryžanowski</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Sanacija jezua na Mestni Ljubljani pri Ambroževem trgu</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>diplomska naloga – univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>124 str., 7 pregl., 25 sl., 3 en., 5 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>regulacija Ljubljane, sanacija zapornic pri Ambroževem trgu, nova hidromehanska oprema, dvodelna tablasta zapornica, zaklopka, ribja steza, obratovalni pravilnik</b>

### **Izveček:**

Problem osuševanja Ljubljanskega barja in s tem povezanega urejanja vodnega režima Ljubljane je prisoten že vse od antike, ko so Rimljani lokalno osuševali Barje za gradnjo cest, domnevno pa naj bi posegli tudi v samo rečno strugo in jo delno zravnali. Različni, bolj ali manj uspešni melioracijski ukrepi, so se nato izvajali vse do leta 1908, ko so pričeli z uresničevanjem spremenjenega alternativnega projekta Podhagskýga, ki je dal Mestni Ljubljani današnjo podobo in se je zaključil leta 1955, z dokončanjem zapornice pri Ambroževem trgu.

Kmalu po začetku obratovanja zapornic so projektirano koto zaježitve znižali za 1,70 m, kar v kombinaciji z dotrajanostjo hidromehanske opreme zapornice, v zadnjem času povzroča vse več težav, povezanih z njenim obratovanjem. Zato je bilo v preteklih dveh desetletjih kar nekaj poskusov reševanja te problematike, pri čemer so vsi predvidevali zamenjavo obstoječih zapornic z novimi, razlikovali pa so se predvsem po vrsti predlaganih zapornic. Da bi lahko izbrali najustreznejšo, smo poiskali njihove prednosti in pomanjkljivosti ter jih primerjali med seboj. Ker se za manipulacijo z zapornicami lahko uporabijo različni tipi pogonskih mehanizmov, smo v nalogi primerjali tudi te in na koncu izbrali najprimernejšo kombinacijo, ki bi hkrati zahtevala najmanjše posege v zaščiten, arhitektonsko oblikovan del jezovne zgradbe. Z vgradnjo novih zapornic bi se spremenili tudi pogoji obratovanja zapornic, zato so v zaključnem delu naloge podane še modifikacije, ki bi jih bilo potrebno vnesti v obstoječi obratovalni pravilnik.

Da pa bi zagotovili celovitost ureditve razmer, smo v nalogi pripravili tudi predlog za sanacijo neučinkovite ribje steze.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDC:</b>	<b>626.4+626.882:627.8(043.2)</b>
<b>Author:</b>	<b>Aljaž Grajš</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>Assist. Prof. Andrej Kryžanowski, Ph.D.</b>
<b>Title:</b>	<b>Rehabilitation of the dam on the Mestna Ljubljana river at the Ambrožev trg square</b>
<b>Document type:</b>	<b>Graduation Thesis – University studies</b>
<b>Scope and tools:</b>	<b>124 p., 7 tab., 25 fig., 3 eq., 5 ann.</b>
<b>Keywords:</b>	<b>regulation of Ljubljana river, rehabilitation of water gate at the Ambrožev trg square, new hydromechanical equipment, two-leaf vertical lift gate, flap gate, fish ladder, operating rules</b>

**Abstract:**

Dewatering of the Ljubljansko barje moor and with this connected regulation of water regime of Ljubljana river has been an issue since the ancient times, as the Romans dewatered the Ljubljansko barje moor in the areas, where the road constructions were planned. Supposedly, they also influenced the course of river-bed with partial straightening. Different land amelioration measurements were performed till 1908, as the changed alternative project of engineer Podhagský was started. In 1955, as the project was completed with finishing the water gate at the Ambrožev trg square, the Mestna Ljubljana river got its present image.

Soon after the beginning of water gate operation, the planned water level was lowered for 1,70 m, what in combination with wear of hydromechanical equipment of the dam, lately causes more and more problems, related to its operation. Therefore, in the past two decades there were some attempts of solving these issues, where in all cases the replacement of the old water gates with the new ones was provided. However, the main differences were in the types of water gate. In order to find the best solution, their advantages and disadvantages were listed and compared. Since different kinds of operational mechanisms are used to manipulate the water gate, in the thesis they were also compared. At the end the most appropriate combination was chosen, which at the same time demands the minimum affect on architecturally protected cultural heritage. By installing the new water gate, also the conditions of its operation would change, therefore the last part of this thesis contains modifications, which should be introduced into current operating rules.

In order to ensure the integrity of regulation of circumstances, in thesis also the proposal for the rehabilitation of the inefficient fish ladder was prepared.

## **ZAHVALA**

Iskrena zahvala gre vsem, ki so mi kakorkoli pomagali pri pisanju diplomske naloge. Te tako ne bi bilo brez mentorja, doc. dr. Andreja Kryžanowskega, ki mi je aktualno in zanimivo temo, obravnavano v nalogi, predlagal, me usmerjal pri nastajanju naloge in mi posredoval številne kontakte, ki so mi pomagali do iskanih informacij.

Za posredovanje podatkov in dokumentov o zapornicah ter omogočenje ogleda le-teh se lepo zahvaljujem gospe Nini Humar iz Vodnogospodarskega podjetja Hidrotehnik. Prav tako pa bi se zahvalil tudi gospodu Janezu Ljubiču iz podjetja Montavar projekt Ljubljana, ki mi je posredoval projektno dokumentacijo v zvezi s preteklimi poskusi reševanja obravnavane problematike. Hvala tudi gospodu Andreju Vidmarju za nasvete in vrsto zanimivih informacij.

Posebna zahvala gre Špeli, Jaku in Eriku, s katerimi smo pred izpiti skupaj iskali rešitve problemov, se posvetovali pri izdelavi seminarjev in si medsebojno pomagali ter spodbujali pri študiju.

Mami, hvala za potrpljenje pri postavljanju vejic in odpravljanje pravopisnih napak v diplomski nalogi. Hvala tudi Anji, za pomoč pri prevodu. In ne nazadnje en velik HVALA staršem, sestri in svaku za vse spodbude, razumevanje in nov zagon v najtežjih trenutkih.

**KAZALO VSEBINE**

<b>BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....</b>	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT .....</b>	<b>IV</b>
<b>ZAHVALA .....</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO VSEBINE.....</b>	<b>VI</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	<b>IX</b>
<b>KAZALO SLIK .....</b>	<b>X</b>
<b>OKRAJŠAVE IN SIMBOLI.....</b>	<b>XII</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 O Ljubljani .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Ljubljana v preteklosti .....	2
1.1.2 Hidrologija Ljubljane.....	4
<b>1.2 Regulacije Ljubljane od antike do 19. stoletja.....</b>	<b>8</b>
1.2.1 Obdobje Rimljanov na naših tleh .....	8
1.2.2 Šestnajsto in sedemnajsto stoletje .....	8
1.2.3 Poskusi izboljšanja plovnosti Ljubljane v prvi polovici 18. stoletja.....	11
1.2.4 Druga polovica 18. stoletja in gradnja Gruberjevega prekopa .....	15
<b>2 REGULACIJE MESTNE LJUBLJANE OD IZGRADNJE GRUBERJEVEGA PREKOPA DO DANES .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Načrti gradbenega svetnika Schemerla .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Regulacijska dela po Dunajskem in Ljubljanskem kongresu .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Regulacijska dela v obdobju 1830–1857 .....</b>	<b>22</b>
2.3.1 Daljnosežne posledice izvedenih regulacijskih del .....	24
<b>2.4 Nadaljevanje regulacij po letu 1857.....</b>	<b>24</b>
2.4.1 Glavni odbor za obdelovanje Barja .....	25
<b>2.5 Strokovna konferenca 1880.....</b>	<b>26</b>
<b>2.6 Projekti inženirja Ivana Podhagškýga .....</b>	<b>27</b>
2.6.1 Prvi projekt .....	27
2.6.2 Drugi (alternativni) projekt .....	28
<b>2.7 Anketa 1910.....</b>	<b>29</b>
<b>2.8 Izvajanje spremenjenega alternativnega načrta Podhagškýga do začetka prve svetovne vojne .....</b>	<b>29</b>
<b>2.9 Regulacijska dela od konca prve svetovne vojne do izgradnje zapornice na Ambroževem trgu .....</b>	<b>31</b>



<b>3 ZAPORNICA NA AMBROŽEVEM TRGU .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Opis.....</b>	<b>35</b>
3.1.1 Splošno .....	35
3.1.2 Lokacija in z njo povezane razmere za temeljenje .....	35
3.1.3 Klasifikacija .....	37
3.1.4 Konstrukcija.....	37
3.1.4.1 Ribja steza .....	39
3.1.5 Hidromehanska oprema .....	41
3.1.5.1 Splošno.....	41
3.1.5.2 Obratovanje .....	41
3.1.5.3 Pogon .....	42
3.1.5.4 Upravljanje .....	43
<b>3.2 Pretekla sanacijska dela .....</b>	<b>44</b>
<b>3.3 Problematika .....</b>	<b>45</b>
3.3.1 Poskusi reševanja problematike v preteklosti .....	51
3.3.2 Ljubljana povezuje .....	54
<b>4 PRIMERJAVA MOŽNIH VARIANT NOVE HIDROMECHANSE OPREME.....</b>	<b>56</b>
<b>4.1 Dvodelna tablasta zapornica .....</b>	<b>56</b>
4.1.1 Opis .....	56
4.1.2 Dvodelna tablasta zapornica starejšega tipa (tip Eglisau).....	63
4.1.2.1 Prednosti .....	63
4.1.2.2 Pomanjkljivosti.....	64
4.1.3 Kljunasta dvodelna tablasta zapornica (tip Reckingen) .....	66
4.1.3.1 Prednosti .....	68
4.1.3.2 Pomanjkljivosti.....	70
4.1.4 Dvodelna tablasta zapornica z zaklopko .....	71
4.1.4.1 Prednosti .....	73
4.1.4.2 Pomanjkljivosti.....	75
<b>4.2 Zaklopka.....</b>	<b>76</b>
4.2.1 Opis .....	76
4.2.2 Prednosti .....	84
4.2.3 Pomanjkljivosti .....	87
<b>4.3 Pogon .....</b>	<b>91</b>
4.3.1 Pogon z verigo .....	92
4.3.2 Pogon z jekleno vrvjo .....	93
4.3.3 Pogon z zobatim drogom .....	94

---

4.3.4 Pogon z vretenom.....	95
4.3.5 Servomotorni/hidravlični pogon.....	96
<b>5 PREDVIDENI SANACIJSKI UKREPI.....</b>	<b>99</b>
<b>5.1 Splošno.....</b>	<b>99</b>
<b>5.2 Hidromehanska oprema.....</b>	<b>99</b>
5.2.1 Tehnični opis predlaganih dvodelnih tablastih zapornic z zaklopko .....	100
5.2.2 Vgradnja nove hidromehanske opreme .....	103
<b>5.3 Ribja steza .....</b>	<b>108</b>
5.3.1 Iztok iz ribje steze.....	108
5.3.2 Vtok v ribjo stezo .....	110
5.3.3 Stopnja tik dolvodno od nagibnega žleba .....	111
<b>5.4 Obratovalni pravilnik .....</b>	<b>112</b>
5.4.1 Komentar .....	112
<b>6 ZAKLJUČKI .....</b>	<b>114</b>
<b>VIRI.....</b>	<b>118</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Manipulacijske karakteristike zapornic (Humar, 2011, str. 5).....	42
Preglednica 2: Prednosti in pomanjkljivosti pogona z verigo .....	92
Preglednica 3: Prednosti in pomanjkljivosti pogona z jekleno vrvjo .....	93
Preglednica 4: Prednosti in pomanjkljivosti pogona z zobatim drogom .....	94
Preglednica 5: Prednosti in pomanjkljivosti pogona z vretenom.....	95
Preglednica 6: Prednosti in pomanjkljivosti servomotornega/hidravličnega pogona .....	96
Preglednica 7: Tehnični podatki o novih dvodelnih tablastih zapornicah z zaklopko .....	100

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Višinski potek kraškega dela Ljubljanice (Skoberne, 2004, str. 17) .....	2
Slika 2: Vodna mreža Ljubljanice (Skoberne, 2004, str. 18).....	2
Slika 3: Povprečne letne padavine na porečju Ljubljanice v mm (obdobje 1961–1990), (povzeto po: Kolbezen, Pristov, 1998).....	5
Slika 4: Specifični odtoki na porečju Ljubljanice [ $l/s/km^2$ ] na osnovi merjenih pretokov (obdobje 1961–1990), (povzeto po: Kolbezen, Pristov, 1998) .....	6
Slika 5: Odtočni količniki na porečju Ljubljanice [%] na osnovi izračunanih pretokov (obdobje 1961–1990), (povzeto po: Kolbezen, Pristov, 1998).....	7
Slika 6: Valvasorjeva študija Ljubljane z delom Prul znotraj obzidja z Žabješkimi ali Vodnim stolpom, Vodnimi vrati in grabljami (Jerovec, Zemljak, 2011, str. 33) .....	9
Slika 7: Načrt kanala pri Forstlechnerjevem mlinu na Ljubljanici iz leta 1738 (Umek, 1956, str. 83).14	
Slika 8: Floris Gruberjevega kanala iz knjige Briefe hydrographischen und physikalischen Inhalts, Tobije Gruberja, iz leta 1781 (Javornik (ur.), 1989, str. 401) .....	19
Slika 9: Razglednica z motivom regulacije Ljubljanice pri Frančiškanskem mostu iz leta 1913 (Giontini (zal.), 1913) .....	34
Slika 10: Digitalni ortofoto posnetek (DOF) zapornic na Mestni Ljubljanici pri Ambroževem trgu z označenimi parcelnimi mejami in parcelnimi številkami ter zapornico (povzeto po: Atlas okolja, 2013) .....	36
Slika 11: Elektroomarica s stikali za upravljanje ribje steze .....	40
Slika 12: Shema in fotografija stikalne omarice na zapornici (zgoraj) in pilotskega stikala za dvig/spust zapornic (spodaj), (shemi privzeti iz: Humar, 2011, str. 4, 5).....	43
Slika 13: Zastajanje plavja ob rešetki na vtoku v ribjo stezo .....	47
Slika 14: Zatkanje plavja na prelivnem robu zgornje table (bala sena) .....	49
Slika 15: Dispozicija nove hidromehanske opreme jezua na Ljubljanici pri Ambroževem trgu, kot je bila predvidena v PGD iz leta 2003 (Ljubič, Satler, 2003, risba 1, dispozicijski načrt št. 1-1-1609-014-10).....	54
Slika 16: Trije tipi dvodelnih tablastih zapornic: starejši tip (levo), kljunaste zapornice (na sredini) in zapornice z zaklopko (desno), (Kryžanowski, 2011, str. 22) .....	62
Slika 17: Elementi kljunaste dvodelne tablaste zapornice (povzeto po Lewin, 2001).....	68

Slika 18: Sestavni deli dvodelne tablaste zapornice z zaklopko (povzeto po: Lewin, 2001) .....	76
Slika 19: Elementi zaklopke (povzeto po: Lewin, 2001) .....	80
Slika 20: Detajl izvedbe tesnjenja na spodnjem robu zaklopke (povzeto po: Erbisti, 2004).....	81
Slika 21: Različne izvedbe zaklopk (od leve proti desni): enostavna zaklopka s hidravličnim pogonom pod zaklopko, zaklopka s protitorzijskim valjem in hidravličnim pogonom v stebru, protitorzijska zaklopka z obliko ribjega trebuha z gorvodnim enostranskim hidravličnim pogonom ter zaklopka s protiutežjo brez dodatnega pogona (Lewin, 2001, str. 25, 26) .....	84
Slika 22: Pogon obstoječih zapornic: Gallove verige spodnje table (spredaj) in pogonski drog zgornje table (zadaj).....	98
Slika 23: Strojnica obstoječih zapornic v stebrni kabini desnega obrežnega stebra.....	98
Slika 24: Tovarniška izdelava sodobne dvodelne tablaste zapornice z zaklopko (RADHUBER CONSULTING, 2007).....	107
Slika 25: Vgrajena dvodelna tablasta zapornica z zaklopko, pripravljena na obratovanje (RADHUBER CONSULTING, 2007).....	107

**OKRAJŠAVE IN SIMBOLI**

ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
CSN	Centralni sistem nadzora
DDV	Davek na dodano vrednost
DOF	Digitalni ortofoto
HMR	Hidravlična modelna raziskava
IMK	Inštitut za metalne konstrukcije
MKO	Ministrstvo za kmetijstvo in okolje
MOL	Mestna občina Ljubljana
MOP	Ministrstvo za okolje in prostor
PGD	Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja
PZI	Projekt za izvedbo
RD	Ribiška družina
RS	Republika Slovenija
SIT	Slovenski tolar
VGI	Vodnogospodarski inštitut
VGP	Vodnogospodarsko podjetje
VP	Vodomerna postaja
VS	Vodni stolpec
ZGO	Zakon o graditvi objektov
ZV	Zakon o vodah
ZVKD	Zakon o varstvu kulturne dediščine
ZVKDS	Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije
ZVO	Zakon o varovanju okolja
ZVO	Zavod za varstvo okolja

## 1 UVOD

### 1.1 O Ljubljani

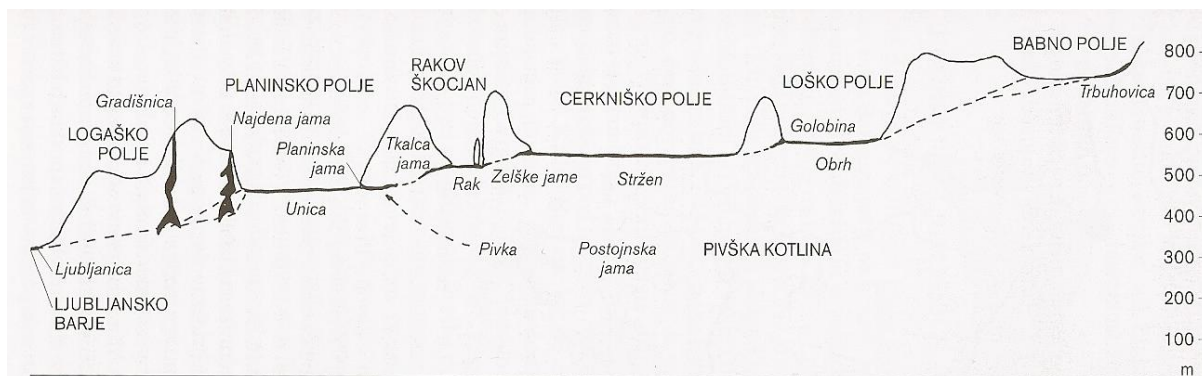
Ljubljana je 41 km dolga tipična kraška reka, ki izvira na več mestih v okolici Vrhnike, kjer se dinarski kras stika z neprepustnimi sedimenti Ljubljanskega barja, ki preprečujejo nadaljnji podzemni tok kraških voda. Izvire lahko glede na njihovo mikrolokacijo razdelimo v naslednje tri večje skupine:

- skupina izvirov Retovje, ki tvorijo Veliko Ljubljano (izvir Pod skalo, izvir Pod orehom, Veliko okence, Malo okence, Furlanove toplice),
- skupina izvirov Močilnik, ki tvorijo Malo Ljubljano (Mali Močilnik, Veliki Močilnik),
- izviri v Bistri, ki se združijo v istoimenski krak Bistra (Pasji studenec, Ribičev studenec, Zupanov izvir, Trebinja oz. Galetov izvir, trije povirni kraki reke v samostanskem območju (Grajski izvir)).

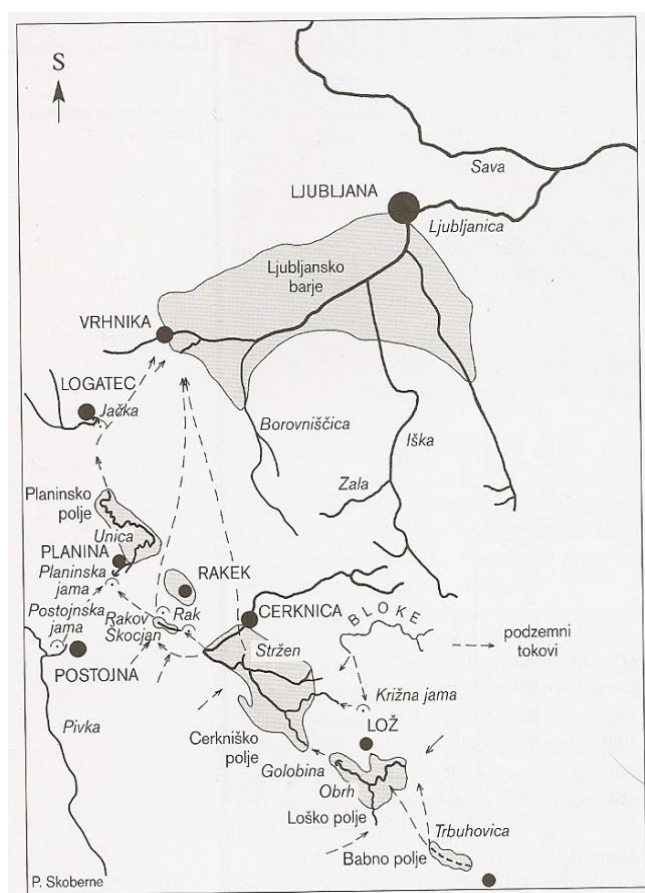
Poleg zgoraj naštetih obstaja še večje število manjših izvirov, studencev in zvirnikov (Ljubija, Lintvern,...), ki s svojo vodo napajajo Ljubljano (Draksler et al., 2005).

S počasnim površinskim tokom teče Ljubljana od izvirov preko Ljubljanskega barja, skozi Ljubljano in nato po južnem robu Ljubljanskega polja do naselja Podgrad pri Ljubljani (v bližini Zaloga), kjer se, kot desni pritok izliva v Savo (gre za sotočje treh rek, saj se na tem mestu kot levi pritok v Savo izliva tudi Kamniška Bistrica).

Celotno porečje Ljubljane še ni dokončno opredeljeno. Po uradnih podatkih meri 1779 km<sup>2</sup>, od tega je skoraj dve tretjini površja (1100 km<sup>2</sup>) kraškega (Javornik (ur.), 1992). Po najnovejših opravljenih meritvah pa je izmerjena površina porečja večja in znaša 1889,5 km<sup>2</sup>, kar predstavlja slabo desetino površja Slovenije (Kolbezen, Pristov, 1998). Porečje Ljubljane je sestavljeno iz visokih planot z vmesnimi podolji, v katerih so stopničasto razporejena polja s ponikalnicami: Trbuhovica na Babnem polju blizu Prezida, Obrh v Loški dolini, Cerknjščica in Stržen s pritoki na Cerknjškem polju ter Rak v Rakovem Škocjanu, ki skupaj tvorijo t.i. vzhodni krak Ljubljane, ki se v Planinski jami združi z zahodnim krakom, katerega predstavlja reka Pivka (blizu Postojne se ji pridruži še Nanoščica). Reki se nato pridruži še potok Malenščica, skupaj s katerim se na Planinskem polju razlijeta kot Unica, ki na tem kraškem polju tudi ponovno ponikne (Skoberne, 2004). V podzemnem toku se tem vodam priključijo še vode z območja Rovt in Logaškega polja ter Hotenjskega podolja, ki se delno stekajo v Ljubljano in delno v Idrijco (razvodnica Jadranskega in Črnomskega povodja). Podzemni tok Ljubljane se nato konča na jugozahodnem robu Ljubljanskega barja pri Vrhniki, kjer Ljubljana končno postane Ljubljana (Javornik (ur.), 1992).



Slika 1: Višinski potek kraškega dela Ljubljanice (Skoberne, 2004, str. 17)



Slika 2: Vodna mreža Ljubljanice (Skoberne, 2004, str. 18)

### 1.1.1 Ljubljana v preteklosti

Še v pliocenu (najmlajše obdobje terciarja) je bil tok Ljubljanice v celoti površinski, z nastopom poledenitev v pleistocenu (kvartar) pa je prišlo do zakrsevanja površja, zaradi katerega je voda na posameznih odsekih rečnega toka začela ponikati in si v milijonih let z erozijskim, predvsem pa s kemičnim delovanjem (raztapljanje apnenca) ustvarila nove (podzemne) vodne poti, ki jih danes lahko občudujemo kot svetovno znano in zaščiteno naravno dediščino, kot npr.: Križna jama, Tkalca jama,



Postojnska jama, Predjama in Planinska jama, ... Ker raztapljanje apnenca v vodi še vedno poteka, se tudi vodne poti počasi, a vztrajno spreminjajo. Tako je raziskovalec jam, Pavel Kunaver (1889–1988), na podlagi podatkov o trdoti vode in pretokih Unice na vhodu v Planinsko jamo izračunal, da bi iz vode, ki v enem letu priteče iz Planinske jame, lahko naredil kocko s stranico 49 m, če bi lahko uporabil ves raztopljeni apnenec (Skoberne, 2004).

Ljubljana je bila kot vodni vir in kot transportni medij zelo pomembna že v prazgodovinski dobi, na kar kažejo številne najdbe v sami strugi in ob njej. Tako so, od leta 1884, ko so potapljači opravili prvi potop z namenom raziskati rečno dno, pa do danes, samo iz struge Ljubljane potegnili okrog 6000 zgodovinskih predmetov. Pri tem prevladujejo najdbe iz novega veka, precej pogosti pa so tudi predmeti iz bakrene, bronaste in železne dobe. Najstarejše najdbe izvirajo iz obdobja srednje kamene dobe (M. K., 2009).

Poznana je legenda o Argonavtih, po kateri naj bi ti grški junaki, na čelu z Jazonom, med vračanjem iz Kolhide v Grčijo pripluli po Donavi in Savi do Ljubljane ter po njej do današnje Vrhnike, kjer so ladjo razstavili in jo prenesli do Vipave, od koder so nato po Sredozemskem morju odpluli v rodno Grčijo. Po legendi veljajo za ustanovitelje Vrhnike, zato njihovo ladjo *Argo* še danes najdemo v grbu občine Vrhnika (Skoberne, 2004). Kljub temu Ljubljana postane pomembna plovna pot šele s prihodom Rimljanov, ki so njeno strugo že začeli regulirati za potrebe transporta marmorja iz Podpeškega kamnoloma, katerega so uporabljali pri gradnji Emone (današnja Ljubljana). Vrhnika, ki je v tistem času veljala za pomembno пристanišče, se je imenovala *Nauportus*, Ljubljana pa *Nauportus fluvio*.

V ljubljanskih knjigah je tako že leta 1293 prvič omenjena vodna pravica (nem. *Wasserrecht*), ki je mestu dajala pravico do pobiranja davkov od intenzivnega rečnega prometa, ki se je vršil po Ljubljani. Vlogo pomembne prometnice pa je Ljubljana obdržala skozi celoten srednji vek in večji del novega veka, in sicer vse do izgradnje Južne železnice med Dunajem in Trstom leta 1857. V tem času je bila Ljubljana plovna vzdolž celotnega toka, razen pri Fužinah, kjer so naredili kanal z zapornicami za dviganje čolnov, ki so vozili od Donave po Savi navzgor do Vrhnike (Javornik (ur.), 1992).

Prav zaradi menjavanja površinskega in podzemnega toka kraškega dela Ljubljane je ta tako drugačna od drugih rek in zato tudi tako zelo privlačna, saj deluje skrivnostno, s čimer v raziskovalcih in okoliških prebivalcih že od 16. stoletja dalje vzbuja radovednost in buri domišljijo. Tako na primer besedno zvezo *luega palus* (močvirno jezero), ki se pripisuje Cerkniškemu jezeru (po nekaterih navedbah pa naj bi šlo za Ljubljansko barje), zasledimo že celo v zapisih rimskega pisca Straba, medtem ko je izstopajoče lastnosti kraške Ljubljane prvi temeljito opisal Janez Vajkard Valvasor v

svojem življenjskem delu Slava vojvodine Kranjske (1689). V njem je namreč posebno pozornost posvetil vzrokom presihanja Cerkniskega jezera, zaradi česar je postal član Kraljeve družbe v Londonu, poznal in opisal pa je tudi večino hidroloških povezav kraške Ljubljanice. Vedel je tudi, da vode Ljubljanice, kljub podobni kraški naravi, niso povezane z vodami Reke, saj slednja teče v Jadransko morje, medtem ko se Ljubljanica steka v Črno morje. Poleg Valvasorja sta za raziskovanje (predvsem kraškega dela) Ljubljanice pomembna tudi Viljem Putick (1856–1929) in Pavel Kunaver. Jamarji, znanstveniki in jamski potapljači so nato prihajali do vedno novih spoznanj, s pomočjo katerih so postopoma sestavljali celotno sliko sistema kraške Ljubljanice. Leta 1975 pa so z obsežnimi sočasnimi barvanji ponornih voda na različnih odsekih Ljubljanice dokončno rešili večino hidroloških ugank. Kljub temu, da so naravoslovci odgovorili že na mnogo vprašanj, ki se postavljajo v zvezi s to zanimivo reko, pa še vedno ostaja neodgovorjeno ključno vprašanje v zvezi z izvorom njenega imena, s katerim se ukvarjajo jezikoslovci. Razlikujejo se namreč mnenja o tem, ali se Ljubljanica imenuje po Ljubljani ali mogoče mesto po reki. Jezikoslovec Matjaž Kmecl o tem problemu zapiše: »Notranjske skrivnosti so pač za konec navrgle še eno uganko; vso svojo vodo so pognale na svetlo, prikrile pa so ime.« (Skoberne, 2004).

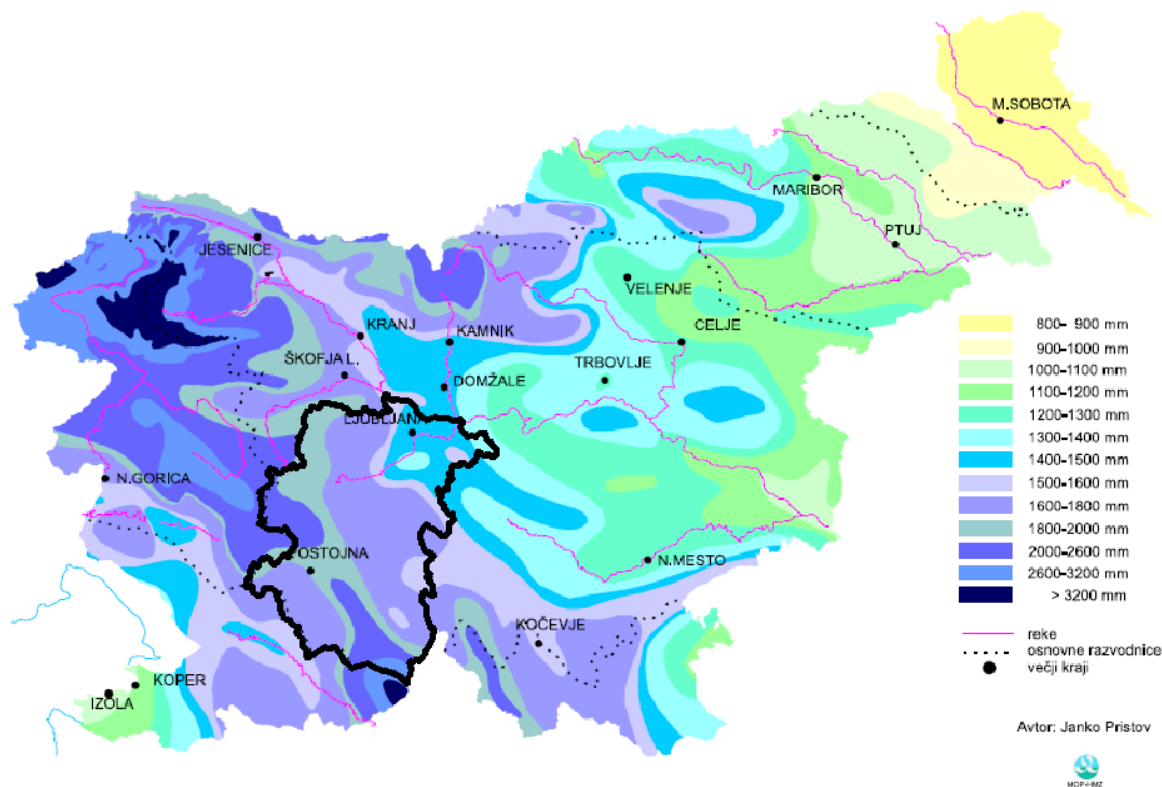
### 1.1.2 Hidrologija Ljubljanice

Po najnovejših pridobljenih podatkih meri površina porečja Ljubljanice 1889,5 km<sup>2</sup>, gostota njenega vodnega omrežja pa je zaradi zakraselosti večjega dela površja relativno majhna, saj znaša le 0,98 km/km<sup>2</sup>, kar je precej manj od slovenskega povprečja, ki znaša 1,33 km/km<sup>2</sup>. Še izraziteje se zakraselost površja kaže na porečju Pivke, kjer gostota znaša komaj 0,55 km/km<sup>2</sup>. Prav nasprotno pa velja za Nanoščico in Cerknjščico, ki tečeta po območjih prekritih z neprepustnimi kamninami. Tam je gostota vodnega omrežja znatno večja in znaša 1,52 km/km<sup>2</sup> za Nanoščico ter kar 2,27 km/km<sup>2</sup> za Cerknjščico (Kolbezen, Pristov, 1998).

Za Ljubljanico je vzdolž celotnega toka značilen mediteranski tip dežno-snežnega rečnega režima, pri katerem primarni višek nastopi aprila (včasih tudi že v marcu ali šele v maju), sekundarni pa vedno novembra. Slednji se pri mediteranskem tipu običajno kar združi s spomladanskim maksimumom in se mu po velikosti povsem približa, ali ga celo nekoliko preseže. Primarni minimum nastopi avgusta (redkeje v septembru), sekundarni pa se pojavi pozimi in je kratkotrajen, vendar večji od poletnega (Kolbezen, Pristov, 1998). Vse te značilnosti rečnega režima so dobro razvidne tudi iz grafikona v prilogi B, ki prikazuje spreminjanje srednjega pretoka Ljubljanice tekom leta, in je izdelan na podlagi podatkov o pretokih iz preglednice v prilogi A.

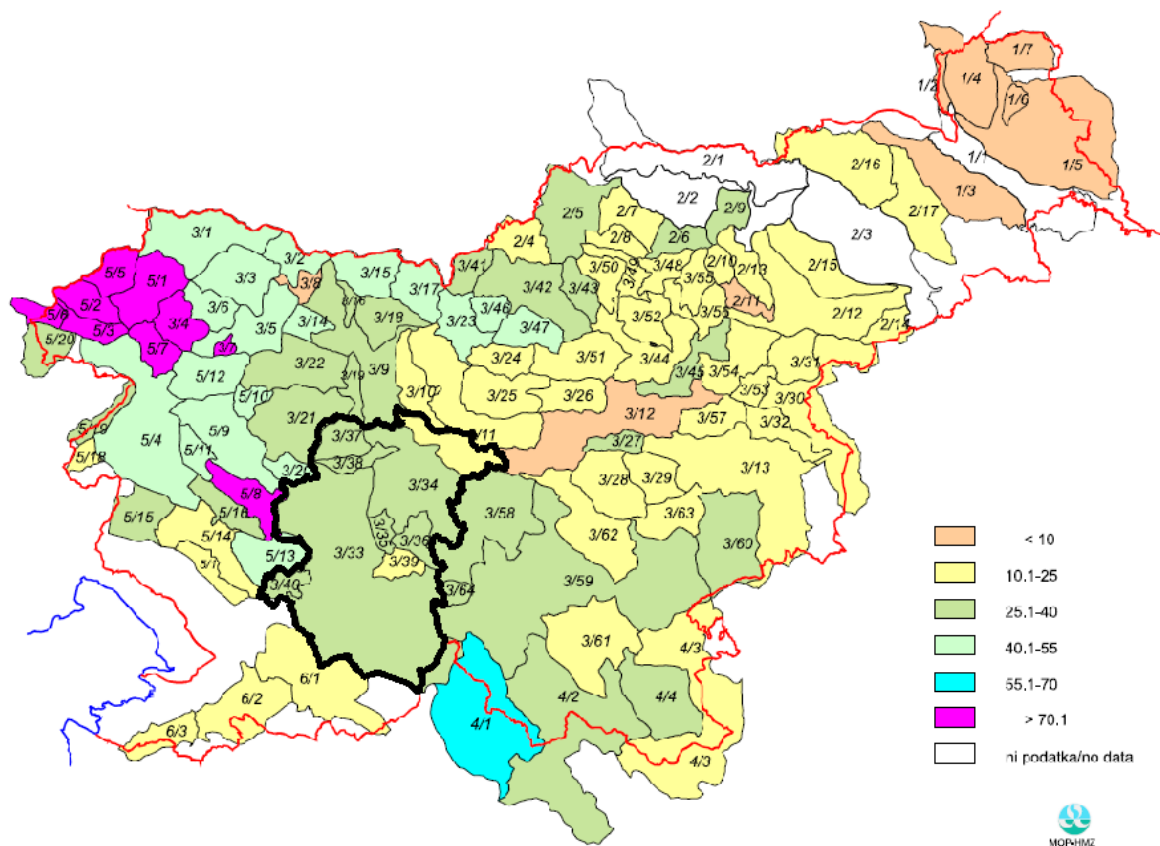
Povprečne letne količine padavin na porečju Ljubljanice so precej različne in se gibljejo med 1300 mm na Ljubljanskem barju (Ig, Škofljica) in 3200 mm na skrajnem jugu porečja, ob vznožju

Velikega Snežnika. Kljub velikim razlikam med posameznimi območji znotraj porečja pa lahko iz padavinske karte Slovenije (slika 3), izdelane na podlagi tridesetletnih opazovanj (1961–1990), razberemo, da ca. 45–50 % površine porečja letno prejme med 1600 in 1800 mm padavin (Kolbezen, Pristov, 1998).



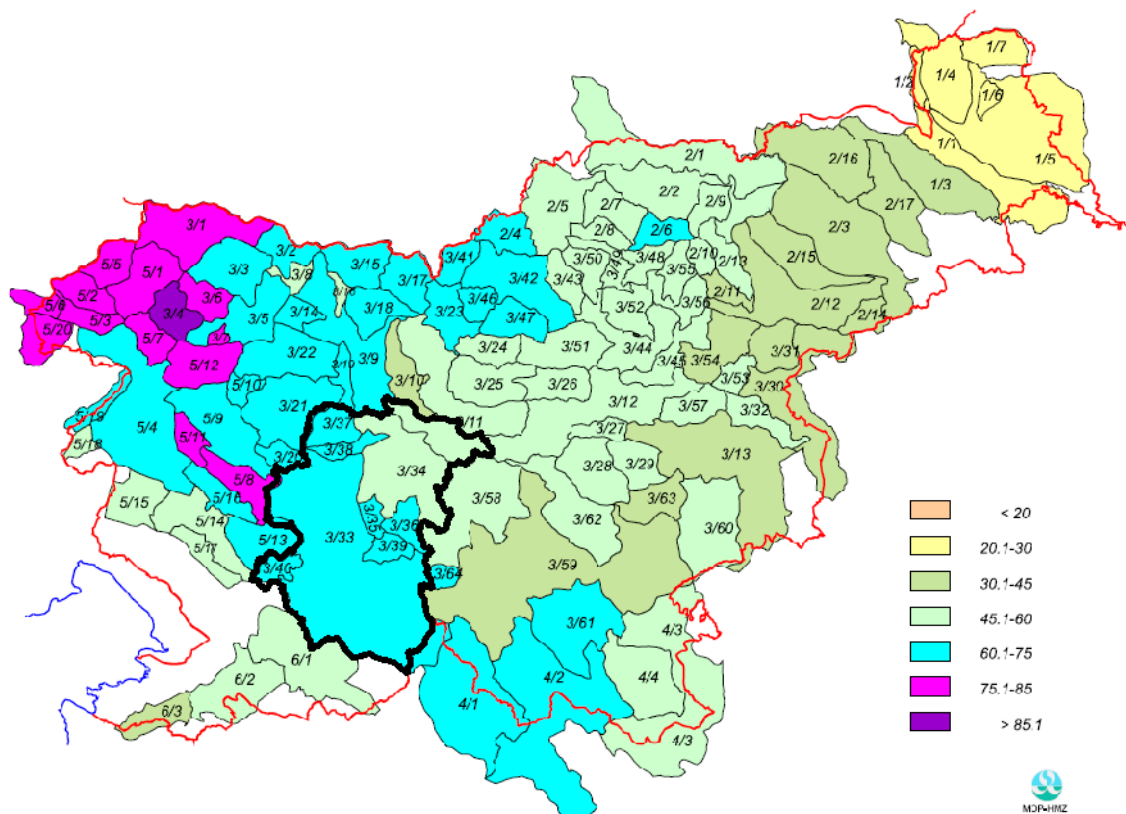
Slika 3: Povprečne letne padavine na porečju Ljubljanice v mm (obdobje 1961–1990), (povzeto po: Kolbezen, Pristov, 1998)

Specifični odtok, ki je definiran kot količina vode, ki v sekundi odteče z 1 km<sup>2</sup> površine, se na večjem delu porečja giblje med 25 in 40 l/s/km<sup>2</sup>, medtem ko na območjih v okolici Ponikev pri Begunjah ter severno in severovzhodno od Ljubljane njegova vrednost pade na 10–25 l/s/km<sup>2</sup> (slika 4). Za kraške vodotoke, med katere sodi tudi Ljubljanica, sta značilni kraška retinenca (sposobnost zadrževanja velikih količin padle vode) in omejena kapaciteta izvirov, zaradi česar so visoke vode pri teh vodotokih najnižje, vendar posledično dolgotrajnejše. Tako je bil na vodomerni postaji v Mostah med letoma 1961 in 1990 izmerjen maksimalni specifični odtok 230 l/s/km<sup>2</sup>, kar je mnogo manj kot 2000 l/s/km<sup>2</sup>, kolikor znašajo ekstremi, izmerjeni na območju Alp (Kolbezen, Pristov, 1998).



Slika 4: Specifični odtoki na porečju Ljubljanice [ $l/s/km^2$ ] na osnovi merjenih pretokov (obdobje 1961–1990), (povzeto po: Kolbezen, Pristov, 1998)

Odtočni količnik, ki podaja razmerje med padlo in odteklo vodo, oz. bruto in neto padavinami, je odvisen predvsem od oblike površja in rabe tal. Na območju kraške Ljubljanice se njegova vrednost tako giblje med 60 in 75 %, kar je nekoliko več od slovenskega povprečja, ki znaša 59 odstotkov. Na Ljubljanskem polju, kjer so tako geološke kot morfološke značilnosti površja in raba tal povsem drugačne od tistih na zakraselih območjih, pa se vrednost odtočnega koeficienta zmanjša na 45 do 60 % (slika 5), (Kolbezen, Pristov, 1998).



Slika 5: Odočni količniki na porečju Ljubljanice [%] na osnovi izračunanih pretokov (obdobje 1961–1990), (povzeto po: Kolbezen, Pristov, 1998)

Vsi zgoraj opisani hidrološki parametri se v končni fazi odražajo na pretokih vodotokov, ki predstavljajo ključen vhodni podatek za vsakršno urejanje in/ali gospodarjenje z vodotokom ter poseganje v obvodni svet. Na Ljubljanici je tako v različnih obdobjih do danes delovalo kar nekaj vodomernih postaj (Komin, Moste, Lipe, Špica, Vevče, Vrhnika in Zgornji kašelj), ki so bile sprva grajene kot vodomerne late, na katerih je bilo potrebno fizično odčitavati vodostaj, te pa so sčasoma nadomestili sodobnejši limnigrafi in danes predvsem avtomatske merilne postaje. Nekatere izmed postaj so bile ukinjene, spet druge modernizirane ali zgrajene na novo. Med njimi so pomembnejše predvsem Vrhnika, Špica, Moste in Komin, saj je merilno obdobje na teh postajah daljše od 30 let, kar pomeni, da so na njih pridobljeni podatki uporabni tudi pri izdelavi dolgoročnih načrtov za upravljanje z vodami. Podatki o karakterističnih pretokih Ljubljanice za obdobji med leti 1961–1990 in 1971–2000 so za vodomerni postaji Vrhnika II in Moste zbrani v preglednici v prilogi A. Iz preglednice je razvidno, da srednji pretok Ljubljanice na vodomerni postaji Vrhnika II znaša  $24,11 \text{ m}^3/\text{s}$ , na vodomerni postaji Moste pa  $55,64 \text{ m}^3/\text{s}$  (obdobje 1971–2000).

## 1.2 Regulacije Ljubljane od antike do 19. stoletja

### 1.2.1 Obdobje Rimljanov na naših tleh

Čeprav o tem ni nobenih pisnih ali drugih zanesljivih dokazov, je kar nekaj strokovnjakov mnenja, da so bili prav Rimljani tisti, ki so prvi znatneje posegli v naravno strugo Ljubljane in jo načrtno spremenili, oziroma regulirali. Arheološke najdbe namreč dokazujejo, da so Rimljani že začeli izsuševati Ljubljansko barje in na njem tudi gradili ceste, kljub temu pa naj bi njihov največji poseg v Barje predstavljala prestavitev struge reke Ljubljane na območju med Podpečjo in Notranjimi Goricami, za časa cesarja Avgusta. Stara Ljubljana oz. Stržen, kot jo imenujejo nekateri, meri okrog 6 km in poteka severozahodno od današnje struge ter približno vzporedno z njo. Strokovnjaki, ki zagovarjajo domnevno prestavitev struge in vlogo Rimljanov pri tem, pa so svojo trditev podkrepili z dejstvom, da je Ljubljana nižinska reka z majhnim padcem, zaradi česar naj bi bil njen naravni tok veliko bolj vijugast. Glavni razlog za prestavitev struge naj bi bil apnenec iz podpeškega kamnoloma (t.i. podpeški marmor), ki so ga po Ljubljani, s tovornimi ladjami z ravnim dnom, prevažali do Vrhnike in Ljubljane, kjer so ga uporabljali za gradnjo in okrasitev najpomembnejših javnih zgradb. Nova struga tako poteka bližje kamnolomu kot stara, katera pa naj bi bila, po mnenju geografa Antona Melika, prav tako izravnana in obdana z nasipi, saj naj bi bili za vodni promet sprva v uporabi obe strugi, kasneje pa se je stara zamočvirila, tako da se je do danes ohranila le nova (umetna) struga (Ciglič et al., 2005).

### 1.2.2 Šestnajsto in sedemnajsto stoletje

Še pred letom 1515, ko so pri cerkvi svetega Volbenka, ki je, po pričevanjih škofa Tomaža Hrena, stala na otočku sredi Ljubljane, pri Vodnih vratih, t.j. nasproti izliva Gradaščice v Ljubljano (Potočnik, 1927), v strugo zabili kole, naj bi na tem mestu že stale nekakšne zapornice, imenovane tudi grablje (najverjetneje še iz časov, ko so mesto utrjevali). To niso bile zapornice v pravem pomenu besede, pač pa je šlo za posebni tip jezua iz igličastih zapornic, sestavljen iz medsebojno povezanih kolov, ki so bili zabiti v dno struge Ljubljane in so v obliki iztegnjene črke S potekali od Vodnih vrat pa vse do današnjega Šentjakobskega mosta oz. Zoisove vile. Njihov osnovni namen ni bil reguliranje nivoja vodne gladine, ampak preprečevanje vstopa »tujim« ladjam v mesto, ne da bi te plačale davek. Pri Vodnih vratih je tako stal poseben čuvaj, ki je podnevi pobiral mitnino, ponoči pa z verigo zaprl rečno pot v mesto, o čemer pričajo tudi Hrenove besede, s katerimi opiše, kje je stala zgoraj omenjena cerkev: »sredi reke, tam, kjer se reka po navadi ponoči zapira.« Ker pa so koli segali nad nivo vodne gladine, so se na njih lovili les, odklenjeni čolni in drugi plavajoči predmeti (od tod tudi ime grablje). V času visokih voda je bila pretočnost rečnega profila zaradi fiksno postavljenih gabelj zmanjšana in posledično so se povišale gladine nad jezovno zgradbo. Skupaj s povišanjem jezua pri mlinu v Ljubljani

naj bi to v Bistri povzročalo povodnji. V zvezi s tem problemom je kranjski deželni odbor (po pritožbi bistriškega priorja Mihaela) na cesarja naslovil prošnjo za rešitev nastalih težav. Tako so sredi 16. stoletja iz struge odstranili otoček s cerkvijo ter s tem sprostili odtok Ljubljanice (Vrhovnik, 1934).



Slika 6: Valvasorjeva študija Ljubljane z delom Prul znotraj obzidja z Žabješkimi ali Vodnimi stolpom, Vodnimi vrati in grabljami (Jerovec, Zemljak, 2011, str. 33)

Leta 1534 je bila izvedena utrditev Cankarjevega nabrežja, leta 1552 pa popravilo grabelj (Butina et al., 2012).

Iz tega obdobja izvira tudi najstarejši znani projekt za osušitev Ljubljanskega barja, o katerem piše slovenski kronist Janez Vajkard Valvasor (1641–1693) v Slavi vojvodine Kranjske. Gre za projekt, ki sta ga, skupaj s predračunom, na pobudo cesarja Ferdinanda I., leta 1554 izdelala italijanska stavbenika in vodna mojstra Stefan de Grandi iz Bologne in Niklas Vendaholo iz Mantove. Ta je predvideval, da se v soteski za Ljubljanskim gradom (tam, kjer danes poteka Gruberjev prekop) zgradi 24 sežnjev (45,50 m) širok in 4 sežnje (7,58 m) globok odvodni kanal, katerega osnovni namen je bila utrditev mesta Ljubljane. Poleg tega bi se z izgradnjo kanala povečal tudi odtok vode z Barja, kar bi zmanjšalo pogostost in obseg poplav v Ljubljani, ki so bile, kot poroča Valvasor, v tistem času na dnevnem redu (posebno velike v letih 1190, 1537 in 1589), vzrok zanje pa je bil nezadosten odtočni profil mestne Ljubljanice, katerega so še dodatno zmanjšali s številnimi mlinskimi jezovi in obrambnimi objekti. Prav tako bi se znižala gladine vode na Ljubljanskem barju, ki je bilo takrat še vedno večji del leta pod vodo in zato dostopno zgolj s čolni ter primerno samo za lov in ribolov (Uhlir, 1956).

»Kako naj bi se Ljubljana speljala okoli Gradu in grad z mestom Ljubljano utrdil ter s tem izsušilo močvirje med Ljubljano in Igom, o tem sta dva skušena stavbenika in vodna mojstra sestavila poročilo v juliju leta 1554...« (Valvasor, 1977, str. 263).

O tem pa v Kroniki, časopisu za slovensko krajevno zgodovino piše tudi Ema Umek (1956), in sicer, da je 30. junija 1554 baron Janez Ungnad, štajerski deželni glavar in vrhovni poveljnik nad Kranjsko, Koroško, Štajersko in Vojno Krajino, skupaj s kranjskim deželnim glavarjem in vicedomom v Ljubljani sklical posvetovanje o gradnji kanala, na katerega sta prišla Stefan de Grandi in Niklas Vendaholo.

Skoraj sočasno z zgoraj omenjenima stavbenikoma je bila v Ljubljani nastanjena tudi skupina dveh ali treh Nizozemcev, ki naj bi kot izvedenci s področja gradnje hidromelioracijskih sistemov (že v tistem času je bil namreč precejšen del nizozemskega ozemlja umetno izsušen in je ležal v depresiji, t.j. pod nivojem morske gladine) s svojimi nasveti in predlogi pripomogli k iskanju najustreznejše variante predlagane gradnje kanala. Vendar pa je zamisel o kanalu pod gradom, tako kot številne druge, ki so ji še sledile, ostala le na papirju, in sicer predvsem iz finančnih razlogov. Več kot 100 let pozneje, leta 1658, so na primer kranjski deželni stanovi sprejeli sklep, da se Barje izsuši z izgradnjo odvodnih jarkov med Ljubljano in Igom, ki naj bi jih, po nasvetu italijanskega kapucina Jakoba Gaiole, v roku treh dni izkopal 1000 mož (projekt je bil sicer začet, vendar kmalu ustavljen kot nestrokovno in predrag). Valvasor nadalje omenja mnenje kranjskega deželnega pisarja Wolfgangusa Markoviča iz leta 1667, ki je za osušitev Barja prav tako predlagal izkop kanala v dolini pod gradom, vendar pa naj bi bil le-ta znatno manjši (le 4 sežnje ~ 7,6 m globok in 3 sežnje ~ 5,7 m širok) in zato bistveno cenejši od prvotno predlaganega. Še nekaj let pozneje je neka nizozemska družba podala ponudbo, da v zameno za 10-letno izkoriščanje izsušenega ozemlja, ki bi ga po preteku te dobe odkupila po običajnih cenah, na lastne stroške zgradi odvodni kanal za Ljubljanskim gradom in tako kultivira Barje. Kljub ugodni ponudbi, ki bi med drugim pripomogla k izboljšanju poplavne varnosti Ljubljane, je tudi ta možnost ostala neizkoriščena, Ljubljansko barje pa »popolnoma zamočvirjena ravan z docela neurejenimi posestnimi odnosi, ki je dajala užitke le drznim lovcem in spretnim ribičem« (Uhlíř, 1956, str. 6). Prav poplavna varnost Ljubljane s širšo okolico je v tistem času namreč predstavljala velik problem, kar se jasno kaže tudi v Uhlířjevem pisanju: »Tudi to ni pomagalo, da so se začeli celo oddaljenejši prebivalci Barja in planinske doline puntati zavoľjo večnih poplav. V svojem ogorčenju so celo pridrveli v Ljubljano ter podrli jez in mlin za škofijskim poslopjem, ki je bil po njihovem mnenju glavna ovira za odtok vode raz Barje. Seveda so bili v zmoti, in povodnji so trajale naprej« (Uhlíř, 1956, str. 6).

V enem izmed uporabljenih virov je mogoče zaslediti tudi letnico 1656, ko so se izvajala popravila brežin Ljubljaniice od mesnic (nekdaj mesarske lope na območju Centralne ljubljanske tržnice) do



Špitalskega mostu (današnji srednji most Tromostovja) ter popravilo mostu samega, vendar podrobnejših podatkov o tem ni moč najti (Butina et al., 2012).

### **1.2.3 Poskusi izboljšanja plovnosti Ljubljanice v prvi polovici 18. stoletja**

Obdobje merkantilizma, v katerem je avstrijska država utrjevala svoj vojaški in gospodarski položaj z načrtnim razvijanjem zunanje trgovine in gospodarstva, je privedlo do zahtev po gradnji novih in izboljšanju obstoječih prometnih povezav. Tako so se pojavile tudi težnje po gradnji kanalov na Ljubljani, ki bi omogočili neprekinjeno plovo od Vrhlike do Save in nato po njej v Donavo. Dotlej je bila namreč Ljubljana zaradi mlinskih jezov in slapu pod graščino Fužine plovna samo do Fužin, zato so v Ljubljani blago pretovorili na vozove, ga z njimi prepeljali do Kašlja, kjer so ga ponovno naložili na čolne, s katerimi so ga po Savi vozili naprej. Ker pa je pretovarjanje pomenilo tako podaljšanje časa kot povečanje stroškov transporta blaga, so poskušali v prvi polovici 18. stoletja te ovire obiti z gradnjo kanalov in zapornic (Umek, 1956).

Prve predloge za odstranitev ovir, ki so preprečevale plovo po Ljubljani dolvodno od Fužin, je leta 1719, po naročilu dvornega vojnega sveta, pripravil nizozemski čolnarski gradbeni mojster Facundus Gerald Focke-Gerson, da bi omogočil transport lesa, namenjenega izdelavi vojnih ladij, iz kameralnih gozdov Štange in Udnega boršta po Savi in nato po Ljubljani do Vrhlike, kjer bi les pretovorili na vozove ter ga z njimi prepeljali v Trst. Sočasno naj bi uredili tudi plovo Save do Beograda. Vendar pa omenjeni predlogi niso vsebovali natančnejših načrtov, na podlagi katerih bi se regulacije izvedle, kar je, poleg pomanjkanja denarja in nezainteresiranosti deželne oblasti, verjetno tudi eden izmed razlogov, da so zamisli ostale neuresničene. Prav tako so zgolj na papirju ostali tudi načrti za kanale na Ljubljani, ki so bili sestavni del veliko večjega načrta, komisarja za popravilo cest, Franca Antona pl. Stemberga, ki je leta 1723 pregledal in preučil savsko strugo, da bi določil mesta, kjer naj bi se v njej postavile zapornice, s čimer bi ta postala plovna, ter poiskal najugodnejšo lokacijo za izgradnjo plovnega kanala, s katerim bi povezali Savo in Dravo. Na ta način bi namreč nastala pomembna plovna pot, ki bi združevala plovo po Ljubljani, Savinji, Savi in Dravi ter s tem zagotavljala trgovino, varno pred Turki. Leto dni kasneje, t.j. leta 1724 je bila sestavljena komisija, ki je med drugim zopet obravnavala regulacijo Save. Član te komisije je bil tudi Seifried Bonaventura pl. Werthenthal, kateri je bil zadolžen za preučitev možnosti regulacije Ljubljanice. Predlagal je, da se s pomočjo deželne tlake zgradi dva kanala, in sicer pri Forstlechnerjevem mlinu, kjer je plovo preprečeval mlinski jez, ter pri graščini Fužine, kjer je poleg mlinskega jezua plovo onemogočal tudi 7,74 m visok slap. Projekt za ureditev plovnosti Ljubljanice s kanali je leta 1725 izdelal drugi član in predsednik omenjene tričlanske komisije, notranjeavstrijski deželni inženir Matija Weiss, vendar pa tudi tokrat dlje od načrtov ni šlo. Potrebni je bilo nadaljnjih 5 let in ukaz dvora, da so se kranjski deželni stanovi ponovno začeli ukvarjati z regulacijo Ljubljanice. Tako kot pred enajstimi leti, je bil

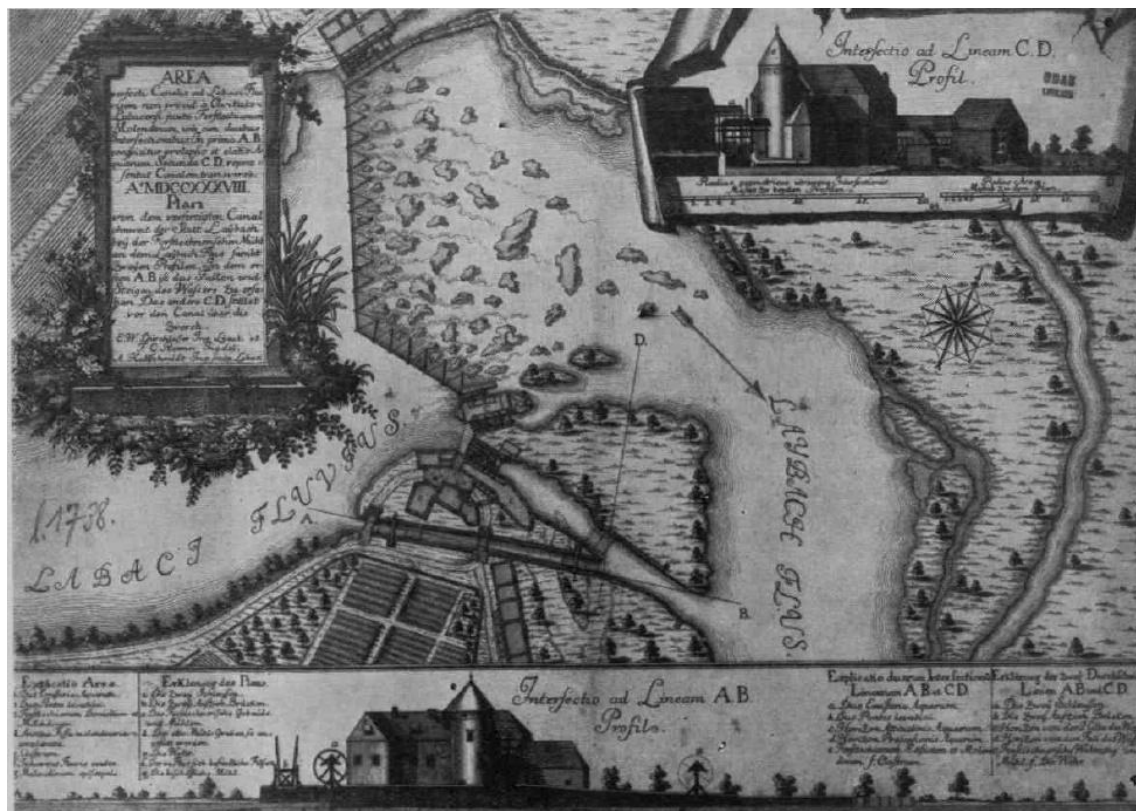
tudi sedaj vzrok les za gradnjo ladij, iz kameralnega gozda Štange. Izdelavo načrtov za regulacijo Ljubljane, da bi bila ta plovna vse do Ljubljane, so poverili gradbenemu mojstru Schmidtu. Ker pa je bil, v času, ko so pripravljali načrte, omenjeni gozd odprodan, do izvedbe ni prišlo. Dve leti kasneje, t.j. leta 1732 je bila ustanovljena Dvorna komisija za ureditev plovnosti Save in Ljubljane s sedežem v Ljubljani, katere glavna naloga je bila raziskati možnosti za doseg plovnosti Save, po kateri naj bi prevažali vojaške čete iz Neaplja in Sicilije pred Beograd in na Ogrsko. V Enciklopediji Slovenije zasledimo sicer drugačen podatek, da je bila Dvorna komisija za ureditev plovnosti Save in Ljubljane, pod vodstvom glavnega projektanta, E. W. Durchlasserja, ustanovljena pozneje, šele leta 1736 (Javornik (ur.), 1992). Poleg tega naj bi komisija prevzela tudi vodenje regulacijskih del, katerih vodstvo pa so želeli obdržati kranjski deželni stanovi, in to postavili kot pogoj za odobritev denarnih sredstev, kar jim je bilo tudi zagotovljeno. Leta 1736 je bil za višje vodstvo del na Savi in Ljubljani postavljen navigacijski kongres oz. navigacijska komisija, ki ji je predsedoval deželni glavar Kranjske, Korbinijan grof Saurau. V tistem času je zraslo tudi zanimanje kranjskih deželnih stanov za regulacijo struge Ljubljane, ki naj bi, po njihovem mnenju, prinesla veliko koristi samemu mestu. Zato so notranjeavstrijskemu tajnemu svetu predložili poročilo z načrti za ureditev Save in Ljubljane ter pozvali pl. Werthenthalla, naj pripravi predračun za predvidena dela. V poročilu, ki so ga predstavili cesarju, so zapisali, da so že v letih 1723 in 1724 naročili preplutje Save ter, da so na podlagi poročil, ki jih je takrat predložila komisija, ugotovili, da bi bilo za trgovino koristno, če bi bili tako Sava kot Ljubljana plovni od izvira do izliva. Zato so vladarja zaprosili, naj jim pošlje inženirje, ki bi bili sposobni voditi dela pri regulaciji. 6. junija 1735 je na pobudo dvora v Ljubljani potekala konferenca, na kateri je Benedikt pl. Neffzern, sekretar dvorne komore in svetnik temišvarske administracije, predstavil poročilo o tem, kako bi izvedli regulacijo Save od Hrvatske do Ljubljane. Rezultat te konference so bila regulacijska dela, s katerimi so v spodnjem toku Save začeli oktobra 1736, za vodjo del pa je bil postavljen svetnik srbske administracije in član navigacijske komisije, Ignac Kempf pl. Angret. Ta je istega leta od izvira do izliva pregledal Ljubljano in ugotovil, da je normalno plovna vse do Ljubljane, medtem ko od tod do Zaloga plovbo ovirajo jezovi, predvsem tisti pri fužinski graščini, ki ga ni moč prečkati niti z malimi čolni. Za rešitev tega problema je predlagal izgradnjo 2090m dolgega kanala, ki bi obšel jez in slap pri Fužinah, za vleko čolnov proti toku pa naj bi na bregovih Ljubljane zgradili še t.i. vlečne poti. Poleg omenjenega kanala bi bilo potrebno zgraditi še tri krajše. V skladu z načrtom naj bi bila vsa predvidena dela končana v dveh letih, in sicer naj bi leta 1736 zaključili z deli na Savi, leta 1737 pa naj bi pričeli z regulacijo Ljubljane, ki so jo povezovali z načrtom izsuševanja in kulture Ljubljanskega barja. V ta namen so predvideli odkup Škofijskega mлина in odstranitev pripadajočega jezua, s čimer bi omogočili plovbo s čolni. Opisane predloge so podprli tudi kranjski deželni stanovi, kar pomeni, da je bilo vse pripravljeno za tolikokrat preloženi oziroma preklicani pričetek izvajanja del (Umek, 1986).

Leta 1737 so tako res pričeli z deli na Ljubljani, vendar po nekoliko spremenjenih Kempfovih načrtih. Odločili so se za gradnjo štirih plovnih kanalov, s katerimi so naredili Ljubljano plovno od izvira do izliva.

- 1) **Kanal v Štepanji vasi** je potekal med cerkvijo svetega Štefana in deželno manufakturno sukna oz. sukarno nasproti dvorca Selo (danes Zaloška cesta). Dolg je bil 323 m, na njem pa so bile postavljene 3 zapornice. Padeč vodne gladine v kanalu je znašal 2,84 m. Gradnja je bila zaključena leta 1737, s kanalom pa so obšli jez omenjene manufakture.
- 2) **Kanal pri Forstlechnerjevem mlinu** so gradili med letoma 1737 in 1738. Speljan je bil za mlinom, s tem pa so presekali tudi meander Ljubljane. V dolžino je meril 106,4 m in je imel dve zapornici. Padeč vodne gladine v kanalu je znašal 3,25 m, oziroma, po podatkih Eme Umek (1956), 2 m.
- 3) **Kanal v Vevčah** so gradili leta 1737. Dolg je bil 218,5 m, na njem pa sta bili postavljeni dve zapornici. Padeč vodne gladine v kanalu je znašal 3,25 m, oziroma, po podatkih Eme Umek (1956), 2 m.
- 4) **Kanal pri graščini Fužine** je bil najdaljši in je v dolžino meril kar 912 m. Začel se je pred jezem Molendinijevega mlina, kjer je presekal meander in se nato končal pod fužinskim slapom. Gradili so ga med letoma 1738 in 1739 (tega leta je bil tudi odprt za promet), na njem pa je bilo kar devet zapornic, s katerimi so premagali 8,85 m vodnega padca.

Med samo gradnjo kanalov, t.j. leta 1738, je Ignac Kempf pl. Angret zapustil mesto vodje del, nasledila pa sta ga rudarski mojster Anton Hauptmann in inženir Ernest Vencelj Durchlasser, po katerem se kanali tudi imenujejo (Durchlasserjevi kanali). Prav pod vodstvom slednjega so leta 1738 začeli risati karte toka Ljubljane in njenih kanalov (rečne karte), ki so bile končane januarja, leta 1741. Leto poprej sta Durchlasser in Hauptmann opravila še ogled toka Save in Ljubljane ter med drugim predlagala popravila kanalov na Ljubljani, vendar zaradi pomanjkanja denarja in nasprotovanja deželnih stanov dlje od predlogov ni prišlo (Umek, 1986).

V Kroniki: Časopisu za slovensko krajevno zgodovino Ema Umek (1956, str. 84, 85) takole opiše zgrajene kanale in njihovo obratovanje: »Kanali so bili obloženi s kamnom. Zatvornice so bile široke 3,6 m. Kjer so stale zatvornice so zabili v zemljo pilote. Po dnu kanala so položili hrastova debla. Zatvornica je bila sestavljena iz zatvorničnih vrat, v katera sta se prilegali dve zatvornični loputi. Te sta se dvigali s pomočjo jeklene vrvi, ki je bila navita na vitlu; ta je imel kolo s premerom 7,6 m. Poleg loput sta bila še dva ploha, obešena na vitlu, tako da so lahko dvignili celo zatvornico. Pri tem je pomagala tudi utež, ki je visela na nasprotni strani kolesa. Zatvornice so tako-le delovale: najprej so dvignili loputi, da je stekla voda iz prvega v drugi kanal. Nato pa so dvignili celo zatvornico, da je lahko šel skozi čoln. Pri zatvornicah so bili v ta namen postavljeni posebni nadzorniki.«



Slika 7: Načrt kanala pri Forstlechnerjevem mlinu na Ljubljanici iz leta 1738 (Umek, 1956, str. 83)

Kmalu se je izkazalo, da kanali na Ljubljanici niso dosegli želenega učinka, saj so se jih, zaradi dolgotrajne plovbe, posluževali le redki čolnarji. Slednja je bila namreč posledica velikega števila zapornic, ki so močno upočasnile plovbo, saj je bilo polnjenje bazena med dvema zapornicama dolgotrajno, o čemer priča tudi podatek, da je plovba po kanalih trajala en dan, medtem ko so enako pot z vozom opravili v dveh urah. Tako so še vedno večji del tovara, ki je prišel po Savi in je bil namenjen v Ljubljano ali naprej na Vrhniko, pri Kašlju pretovorili na vozove in ga z njimi odpeljali v Ljubljano ter od tam zopet s čolni na Vrhniko. Dodaten problem pri uporabi kanalov je predstavljal tudi vodostaj, saj je bila plovba mogoča le pri običajnem pretoku, medtem ko so bili kanali pri visokih in nizkih vodostajih neuporabni. Septembra 1741 so bila zato vsa dela, ki so se še vršila na Savi, ustavljena, nadzor in popravila izvedenih regulacij pa so prevzeli posamezni podložniki. Dela so bila uradno prekinjena z izdajo dvorne resolucije 22. maja 1743, od takrat naprej pa so se vršila le še manjša popravila (Umek, 1986).

Ponovno ožvitev regulacijskih in vzdrževalnih del je prinesel šele приход grofa Haugwitz na Kranjsko. Tako je leta 1747 delo začasno prevzela reprezentanca in komora, nato pa je bila obnovljena Dvorna komisija za ureditev plovnosti Save in Ljubljanice. Ker so od leta 1742 izvajali zgolj manjša popravila, je večji del, med letoma 1735 in 1739 zgrajenih regulacij, propadel. Na kanalih so, kljub patentu, ki ga je 20. junija 1738 izdal grof Haugwitz in je določal hude kazni za poškodovanje in ropanje kanalov, pokradli jeklene vrvi, medtem ko je vlečne poti zaraslo grmovje. 19. decembra 1749

sta zato Ljubljano pregledala čolnarski nadzornik Štefan Silly in inženir Renner, kateri je predlagal obnovo fužinskega kanala, ki je bil izmed vseh najbolj poškodovan. Leta 1750 kanalov niso popravljali, kljub temu, da je reprezentanca in komora izdala patent, s katerim sta pozvali zemljiške gospode, da pošljejo podložnike na delo na kanalih. Avgusta naslednjega leta je Ljubljano ponovno pregledal baron Flachenfeld ter ugotovil, da je bil na kanalu pri Forstlechnerjevem mlinu porušen obrežni zid, uničen pa je bil tudi jez z zapornicami. Fužinski kanal je zasipal potok, porušen je bil obrežni zid, prav tako je bilo pokvarjenih sedem zapornic. Kanal v Štepanji vasi je bil skoraj v celoti podrt, medtem ko bi bila tudi na kanalu v Vevčah potrebna obsežnejša popravila. Tudi leta 1752 je bil opravljen pregled kanalov na Ljubljani, ki sta ga izvedla komerčni svetnik kneževine Hessen-Hanau, Jurij Danijel Rughk pl. Freistadt in artilerijski poročnik, inženir, pl. Gerhardt ter pripravila predračun za popravilo kanalov. Kljub vsemu do popravila kanalov na Ljubljani, predvsem zaradi velikih stroškov in posledične nezainteresiranosti tako dežele kot tudi države, ni prišlo. Zaradi spora, ki je nastal v zvezi s prevzemom odgovornosti za vzdrževanje plovbe, so med letoma 1753 in 1754 prenehali z vsemi deli, ki so takrat še potekala. Kmalu se je izkazalo, da uničene zapornice na ljubljaničinah kanalov povečujejo nevarnost poplav. Svetnik reprezentance in komore Reigersfeld je tako predlagal, da se kanali na Ljubljani zagradijo z jezovi ter se na ta način ohrani možnost za njihovo morebitno kasnejšo obnovitev, velik padec vodne gladine v njih pa naj bi izkoristili za pogon strojev v manufakturah. Na drugi strani je J.J. Hoffmann, svetnik reprezentance in komore na Kranjskem, predlagal zasutje kanalov, češ da je plovba po njih težka. Usodo kanalov je zapečatila dvorna resolucija z dne 21. decembra 1754, ki je potrdila Reigersfeldov predlog in jih s tem dokončno obsodila na propad. Plovbo po njih so namreč opustili takoj naslednje leto, medtem ko so kanala pri graščini Fužine in pri Štepanji vasi nekoliko kasneje zaprli z jezom. Kljub sprejetju resolucije so savski inšpektorji F. A. pl. Zierheim, Silly in gorenjski okrožni glavar baron pl. Taufferer še enkrat pregledali kanale. Prva dva sta predlagala njihovo obnovo, čemur pa je nasprotoval svetnik Hoffmann, zato je ogled opravila tudi posebna komisija reprezentance in komore, vendar do sprememb resolucije ni prišlo. Skoraj dve desetletji kasneje, leta 1772, se je dvor ponovno zanimal za obnovo propadajočih kanalov na Ljubljani. To je leta 1780 predlagal tudi takratni direktor navigacijske komisije, pater Gabrijel Gruber, vendar dvor predloga ni podprl, saj so bili kanali že v tako slabem stanju, da je manjši strošek predstavljala obnova ceste Zalog-Ljubljana, po kateri so vozili blago, ki je prispelo po Savi (Umek, 1986).

#### **1.2.4 Druga polovica 18. stoletja in gradnja Gruberjevega prekopa**

V drugi polovici 18. stoletja se je ponovno povečalo zanimanje za izsušitev in kultivacijo Ljubljanskega barja, poleg tega pa so pogoste poplave v Ljubljani in okolici še vedno povzročale veliko gmotno škodo in zato predstavljale resen problem, s katerim se je soočalo mesto. Tako je bil Zorn pl. Mildenheim, upravitelj tobačnega monopola v Ljubljani, prvi po 100 letih, ki se je odločil

zoperstaviti naravi in poskusil izsušiti del Ljubljanskega barja. Za razliko od prejšnjih poskusov tokrat ni vse ostalo zgolj pri načrtih. V začetku leta 1762 se je namreč Zorn na dunajski cesarski dvor obrnil s prošnjo po dodelitvi določene površine zemljišč južno od Tržaške ceste, ki bi jih na svoje stroške, z izkopom odvodnih kanalov osušil in kultiviral. Nalogo za preučitev in odobritev oz. zavrnitev Zornove prošnje je dvor naložil inženirju francoskega rodu, Maksimu Fremautu. Po vseh težavah, s katerimi se je soočal, je leta 1766 Zorn vložil dokončno izdelan predlog z desetimi točkami dogovora, na podlagi katerega so mu dodelili tako zemljišče kot dovoljenje za izsuševanje. Med letoma 1769 in 1781 je projekt tudi zaključil in uspešno izsušil 457,5 orala (260,78 ha) veliko območje, na katerem je prideloval oves in kosil seno. Ta uspeh je vzpodbudil tudi nekatere druge barjanske posestnike, ki so po vzoru Zorna tudi sami začeli z izsuševanjem manjših zemljišč, predvsem pa je bil pomemben dokaz, da se Barje da izsušiti. Tega ni spregledala niti cesarica Marija Terezija, ki je 23. februarja 1769 izdala dvorni dekret, s katerim je odredila izdelavo natančnega poročila o stanju Ljubljanskega barja in možnostih njegove izsušitve ter kulture. Barje so namreč želeli spremeniti v novo žitnico habsburške monarhije. Niveliranje Barja skupaj z Ljubljano in izdelavo načrtov za izsušitev so zaupali takratnemu profesorju mehanike v Ljubljani, jezuitu Gabrijelu Gruberju (1740–1805), (Uhlir, 1956).

Gruber je najprej izvedel nivelacijo Barja in izmeril dolžino Ljubljane od Vrhniko do Ljubljane ter ugotovil, da ta znaša 11.500 sežnjev (21.804 m), njen padec na tem odseku pa je vsega 90 cm. Njena širina do mesta je 50 sežnjev (94,8 m). Nato je istega leta (1769) pripravil dva predloga, kako izsušiti Barje in preprečiti nadaljnje poplave, in sicer (Kopatin, 1934):

- 1) struga Ljubljane naj se v mestu in pred njim poglobi;
- 2) med grajskim gričem in pobočjem Golovca naj se v smeri Codellijevega posestva izkoplje kanal, ki bi v primeru visokih voda z Barja odvajal vodo.

Cesarica Marija Terezija je z dekretoma, izdanima 10. marca in 9. junija 1770, ukazala ponovno izvedbo meritev Ljubljanskega barja, na podlagi katerih naj bi določili, katera izmed obeh predlaganih rešitev je boljša in cenejša. Za vodenje in izvajanje vseh nadaljnjih del je ustanovila posebno tričlansko komisijo, ki sta jo, poleg Gruberja, sestavljala še deželni inženir Lieber in milanski matematik Peter Lecchi. Komisija naj bi odločila tudi o tem, ali naj se z Ljubljane odstranijo mlini in jezovi ter se tako sprosti odtok visokih voda skozi mesto. Lecchi je pripravil svoj načrt za regulacijo, ki je predvideval odstranitev Garzarollijevega mлина z jezom ter odstranitev vseh ovir v strugi Ljubljane. Poleg tega naj bi strugo v mestu poglobili in jo tudi razširili, kar bi pomenilo rušenje hiš, ki so stale na bregu. Gruberjevega predloga o kanalu pod gradom sicer ni zavrnil, a ga je smatral kot predrago rešitev obravnavanega problema. Lecchijevemu načrtu sta nasprotovala Gruber in od deželne vlade poklicani inženirski stotnik Vincencij Struppi, ki sta, kot edino ustrezno rešitev, zagovarjala izgradnjo predlaganega razbremenilnega kanala. Zaradi teh nesoglasij je dvorna pisarna sklenila

posredovati in pridobiti tretje mnenje, za kar so v Ljubljano poklicali dvornega inženirja Sigmunda Hueberta, ki je sicer podprl Lecchijevo idejo o poglobitvi struge in odstranitvi mlina z jezom, nasprotoval pa je rušenju hiš za potrebe širitve struge. Odločno je podprl Gruberjevo zamisel o prekopu, poleg tega pa predlagal, da bi bil kanal na dolvodnem koncu ožji od načrtovanega (posledično tudi cenejši), saj naj bi ga voda sama razširila. Predlagal je tudi izgradnjo triločnega kamnitega mostu v Karlovškem predmestju in lesenega mostu nekoliko nižje od prvega. Dvorni dekret z dne 18. maja 1771 je odobril Huebertovo poročilo, medtem ko so, v sporazumu s kranjskimi deželnimi stanovi, že 9. marca tega leta izdali dekret o ustanovitvi posebnega sklada za gradnjo prekopa in mostu z zapornicami. Izgradnjo kanala so zaupali jezuitskemu patru Gruberju, medtem ko so, za določitev odškodnine lastnikom zemljišč, preko katerih je potekal načrtovani prekop, ustanovili posebno cenilno komisijo. Z deli so pričeli leta 1772, že kmalu po začetku gradnje pa se je izkazalo, da je bil predračun v potrjenem Huebertovem poročilu napačen, saj so zgolj za odkup zemljišč (ta so se, v okolici Ljubljane, ravno v času gradnje, močno podražila) in izgradnjo kamnitega enajstločnega mostu z zapornicami (prvotno je bil predviden most z vsega tremi loki) porabili vsa sredstva iz namenskega proračuna. Prav tako so se v tistem času znatno zvišale plače delavcev, kar je še dodatno podražilo gradnjo. Zagotovo največji problem, ki je močno podražil izvedbo kanala, pa je predstavljala mivka, na katero so naleteli kmalu po začetku kopanja. Zaradi nje so bile namreč brežine nestabilne (dodatno so jih destabilizirali tudi številni manjši studenci, ki so privreli na dan med kopanjem) in so pogosto razpokale ali se celo porušile, zato jih je bilo potrebno sanirati, kar pa je zahtevalo veliko dodatnega dela in denarja. Ker je bil proračun, namenjen projektu, izčrpan, kranjski deželni stanovi pa nezadovoljni z napredkom projekta, so le-ti zavrnilo nadaljnje predujme in se s prošnjo za zagotovitev nadaljnjih sredstev obrnili na dunajski cesarski dvor, kar se je ponavljalo vse do leta 1777, ko so porabljena denarna sredstva že za 100 % presešla prvotni Gruberjev predračun (ta je bil višji od Huebertovega), dovršena pa je bila le dobra polovica del, in sicer je bil izkopan kanal od vtoka na Špici, v skupni dolžini 245 klafter (464,5 m) ter zgrajen most z zapornicami, medtem ko s predvidenimi deli na Mestni Ljubljani (poglabljanje struge ter prestavitev jezov z mlini) niso niti začeli. Cesarica Marija Terezija je zato še istega leta zahtevala točne račune izvedenih del in porabljenega denarja ter v ta namen celo sestavila posebno preiskovalno komisijo, ki naj bi potrdila oz. ovrгла dvome v Gruberjevo poštenost. Ta si je namreč ravno v tistem času, kot sicer reven duhovnik, sezidal vilo na robu Levstikovega trga (danes Arhiv Slovenije) in kupil pristavo Viderčanov grad na Glincah v Ljubljani (danes vila Podrožnik). Gruber je svojo nedolžnost dokazoval s sklicevanjem na račune, ki jih je plačevala sama državna blagajna ter zahteval, da obseg in vrednost opravljenega dela ugotovi nepristranski inženir. Kljub temu mu je bilo 10. decembra 1777, z najvišjim dekretom odvzeto mesto vodje del, nekaj let kasneje pa je moral zaradi dolgov celo na skrivaj zapustiti državo in pobegniti v Rusijo (Uhlíř, 1956).

Leto pred tem, t.j. leta 1776, je moral magistrat, na Gruberjevo zahtevo iz struge Ljubljani odstraniti grablje, saj naj bi le-te ovirale odtok. Magistrat je sicer sprva nasprotoval tej zahtevi in se pri tem skliceval na nevarnost, ki naj bi pretila mostovoma zaradi velike količine, po Ljubljani plavljenega, lesa. Ker pa je bila v tistem času vsa pozornost, tako Gruberja kot tudi deželne gosposke, usmerjena na reševanje poplavne problematike in izsuševanje Ljubljanskega barja, so morali zahtevi ugoditi in iz struge populiti zabite kole (Vrhovec, 1895).

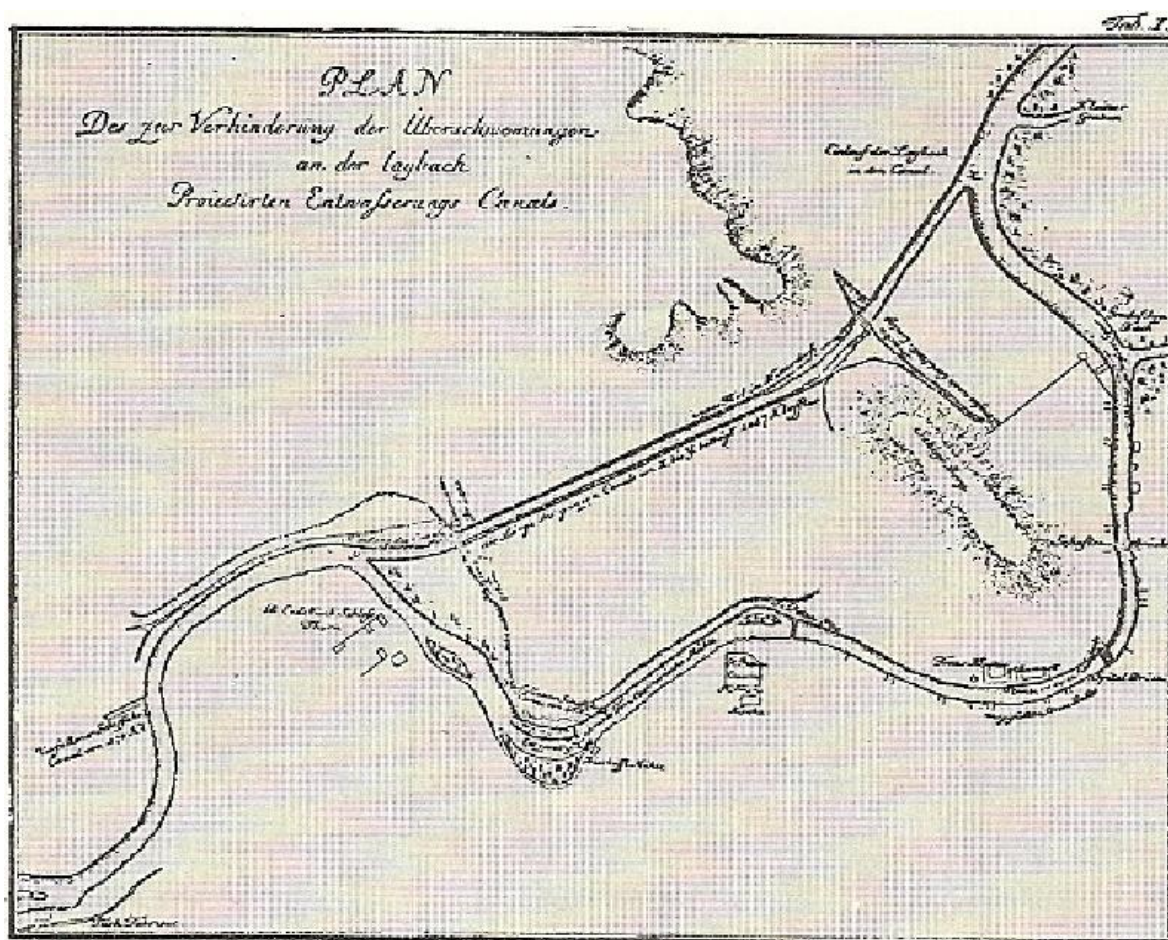
Na izpraznjeno mesto vodje del pri gradnji kanala so postavili podpolkovnika ženijskega inženirja Struppija in mu naročili, naj pripravi predračun za dokončanje prekopa. Ta je k izdelanemu predračunu tudi izrecno pripomnil, da osebno ne more prevzeti nobene odgovornosti za morebitne ovire, na katere bi naleteli med gradnjo in bi zahtevale dodaten čas in denar, ki pa v predračunu nista predvidena. Z dvornim dekretom, izdanim 15. maja 1779, je bilo tako, kljub negativnemu mnenju kranjskih deželnih stanov, ki so celo predlagali zasutje že zgrajenega dela kanala, ukazano nadaljevanje gradnje in dokončanje kanala. Ker je delo na najzahtevnejšem odseku med Golovcem in gradom opravil že Gruber, sta imela Struppi in njegov pomočnik, inženir Baraga, precej lažje delo, ki sta ga zaključila v dobrem letu in pol ter celo prihranila del proračunskega denarja namenjenega gradnji. Vodo v novozgrajeni kanal, imenovan Cesarski graben, so tako, po devetih letih gradnje, prvič spustili 25. novembra 1780. leta, kar je slovesno naznanil tudi topovski strel z ljubljanskega gradu. Dokončan prekop je bil dolg 1055 klafter (2000,3 m), pri dnu širok 17 klafter in 3 čevlje (32,96 m), medtem ko se je širina na vrhu bregov gibala med 25 in 35 klafteri (47,4 do 66,36 m)<sup>1</sup>. Ker se je, z izgradnjo kanala, odtok vode z Ljubljanskega barja znatno povečal, je na njem, za približno 70 cm, upadel nivo vodne gladine, s tem pa so se nekateri višje ležeči predeli osušili do te mere, da so jih lahko začeli obdelovati ali na njih vsaj kositi travo. Poleg tega so s prekopom povečali tudi pretočno sposobnost Ljubljani skozi mesto in s tem izboljšali poplavno varnost območja, saj reka ob povečanju pretoka ni prestopila bregov tako hitro kot v preteklih letih, česar pa so bili veseli predvsem prebivalci Ljubljane, ki so lahko tudi ob močnejših nalivih mirneje spali. Kljub navedenim uspehom, ki so jih dosegli z izgradnjo kanala, Ljubljansko barje še zdaleč ni bilo osušeno v celoti, kakor so si zamislili na Dunaju. Izkazalo se je namreč, da je izkopani kanal preplitev in preozek, tako da so se tudi povodnji, v primeru dalj časa trajajočih deževij, še vedno pojavljale. Zato so Struppiju, ki je med tem postal baron, naročili izdelavo geometrično posnetega, hidrotehnično niveliranega in politično ekonomsko obdelanega načrta in predračuna za popolno izsušitev. Ravno, ko so mu odobrili denar za izdelavo načrta in se je je želel lotiti, pa so ga odpoklicali drugam in osuševalna dela so ponovno zastala (Uhlir, 1956).

---

<sup>1</sup> Po poročanju časopisa Slovenec (Cenčič (ur.), 1942) je površina Gruberjevega prekopa znašala 11 oralov in 652 kvadratnih sežnjev (650,41 ara).



Vtok v Gruberjev kanal je bil, ob njegovi izgradnji, tako kot danes, na Špici, t.j. med Trnovskim pristanom in Botaničnim vrtom Univerze v Ljubljani, medtem ko je bil izliv nazaj v Ljubljanico, ki je v tistem času v velikem zavoju tekla od Most proti jugovzhodu ter pri Štepanji vasi (danes Kodeljevo) ponovno zavila proti severu, izveden na Kodeljevem, kot prikazuje spodnja risba (Javornik (ur.), 1989).



Slika 8: Tloris Gruberjevega kanala iz knjige Briefe hydrographischen und physikalischen Inhalts, Tobije Gruberja, iz leta 1781 (Javornik (ur.), 1989, str. 401)

## **2 REGULACIJE MESTNE LJUBLJANICE OD IZGRADNJE GRUBERJEVEGA PREKOPA DO DANES**

### **2.1 Načrti gradbenega svetnika Schemerla**

25. julija 1807 je v Ljubljani potekala konferenca, na kateri so predstavniki deželnih stanov in vlade obravnavali načrt za osušitev Ljubljanskega barja, ki ga je, v povezavi z obsežnim projektom za izgradnjo plovne poti od Dunaja do Trsta, pripravil Gruberjev učenec in član navigacijske direkcije, Josip Maria pl. Schemerl. Ta je, na podlagi izkušenj, ki jih je pridobil z ogledom podobnih melioracijskih ukrepov v Nemčiji in na Nizozemskem, ugotovil, da je pogosto poplavljanje Barja posledica premajhnega padca Mestne Ljubljance, glavni vzrok za to pa naj bi bilo, po njegovem mnenju, zasipanje struge pri številnih mlinskih jezovih. Zato je, v svojem načrtu za dokončno rešitev problema poplavne varnosti in izsušitve Barja, predlagal rušenje vseh jezov od Ljubljane do Fužin ter čiščenje, oziroma poglobitev struge. Tako Ljubljanica kot njeni pritoki naj bi si nato, zaradi povečanega padca, sami poglobili strugo do ustreznega nivoja, ki bi preprečeval nadaljnje povodnji. Poleg tega je načrt predvideval tudi izgradnjo kanalov, ki naj bi zbirali in odvajali vodo, katera z okoliških hribov priteka na Barje. Na izkopanih kanalih kot tudi na iztoku pritokov Ljubljance (Išce, Borovniščice in Bistre) pa naj bi postavili zapornice, s katerimi bi omogočili namakanje v sušnih poletnih mesecih, oz. nadaljnjo plovbo po pritokih. Pri tem naj bi plovba potekala po glavnem odvodniku od Vrhlike do Malega grabna in nato naprej po posebnem kanalu do Zaloga. Po Schemerlovem mnenju naj bi bil Gruberjev kanal, po končani poglobitvi Ljubljance, nepotreben, kljub temu pa bi morali poškodbe, ki so se v tem času v njem pojavile, nemudoma sanirati, saj bi vanj, za čas trajanja regulacijskih del, usmerili vso vodo Ljubljance. Zaradi različnih mnenj strokovnjakov se je konferenca končala brez konkretnih sklepov, vojne med in Avstrijo in Turčijo ter kmalu zatem še Francijo (Napoleonovo osvajanje Evrope) pa so v naslednjih letih ponovno prekinile vsa regulacijska in osuševalna dela, čeprav so tudi Francozi v času Ilirskih provinc spoznali pomen osušitve Barja (Uhlir, 1956).

### **2.2 Regulacijska dela po Dunajskem in Ljubljanskem kongresu**

S koncem vojne in vrnitvijo avstrijske oblasti se je v deželo ponovno vrnilo tudi zanimanje za nadaljevanje osuševalnih del. Tako je že leta 1819, po najvišjem nalogu, dvorni stavbni direktor Hermenegild Francesconi, izdelal načrt, v katerem je, tako kot pred njim Schemerl, predvidel rušenje vseh jezov na Ljubljanici ter čiščenje, uravnavanje in poglobljanje njene struge, s čimer bi povečali padec ter omogočili hitrejši odtok vode z Barja. Prav tako kot Schemerl je predvidel tudi izkop odvodnih jarkov na samem Barju. Po Ljubljanskem kongresu Svete alianse, ki je potekal med 27. januarjem in 12. majem 1821 in je v mesto pripeljal cesarja Franca I., ki je med obiskom sprevidel

potrebo po nadaljevanju regulacijskih del, je bila 20. maja istega leta, v Ljubljani, na to temo sklicana konferenca, na kateri so določili tehnični program dela, pripravili predračun ter zopet poudarili nujnost čiščenja in poglobljanja struge Ljubljanice. Na konferenci je dunajski dvor zastopal Schemerl, takratni dvorni stavbni ravnatelj, Ljubljano pa njen župan, Janez Nepomuk Hradecky. Žal se je, tako kot že mnogokrat dotlej, zgodilo, da so vsi sprejeti sklepi sprva ostali zgolj na papirju (Uhlř, 1956).

Po nekaj več kot treh letih je, 13. septembra 1824, dunajska vlada, z dvornim dekretom, potrdila na konferenci predlagan program oziroma načrt del, s čimer so zagotovili potrebna denarna sredstva za njegovo izvedbo (največji del denarja je namreč prispevala država). Z regulacijskimi deli, med katerimi je bilo najpomembnejše poglobljanje struge, pa so začeli že leto prej, t.j. 22. septembra 1823. Tako so padec vodne gladine, na odseku med vtokom Gradaščice in točko dolvodno od Ljubljane, kjer Ljubljanica priteče na kamnito dno ter zopet doseže običajno globino, povečali na 1,74 m. Leta 1825 je takratni guverner Ilirije, baron Jožef Kamilo Schmidburg, ki se je, vse od svojega prihoda v Ljubljano, 3. oktobra 1822, zavzemal za osušitev Ljubljanskega barja, na pobudo Josipa Wagnerja, pod svojim vodstvom sestavil komisijo, z namenom natančnega presojanja ter izvajanja predlogov gradbene direkcije (ta je bila nekakšna naslednica navigacijske komisije), vezanih na izsuševanje Barja. Med člani komisije sta bila tudi takratni ljubljanski župan Hradecky in gubernijski svetnik Wagner, ki je, naslednje leto, od Schmidburga prevzel položaj vodje sedemčlanske Lokalne komisije za osuševanje Barja (nem. Morastentsumpfung-Lokal-Kommission), kateri je bilo, z dekretom, izdanim s strani Schmidburga, 1. julija 1826, zaupano vodenje vseh del za osušitev in kultivacijo Barja. Prvi zapis v dnevnik del, ki ga je vodila komisija, je bil opravljen že 14 dni kasneje, t.j. 15. julija. Komisija je najprej izdala sklep o izgradnji zemeljskega jezua, s katerim so pri vtoku Gradaščice zajezili Ljubljanico in vso njeno vodo speljali v Gruberjev prekop ter tako skoraj povsem izsušili strugo skozi mesto, kar je znatno poenostavilo njeno poglobljanje. Slednje je bilo leta 1827, po štirih letih od pričetka regulacijskih del, tudi končano, kar je bil za tiste čase velik dosežek, saj je tako hitra dovršitev del, do takrat, veljala za nemogočo. 17. maja istega leta je bil sprejet tudi dvorni dekret, s katerim je bila potrjena gradnja prekopa v Mostah, ki je »presekala« velik zavoj Ljubljanice med Mostami in Kodeljevim ter tako znatno prispeval k povečanju vodnega padca. Gradnja prekopa je bila končana leta 1828 (Kleinmayr (zal.), 1841).

Regulacije Ljubljanice po letu 1823 natančno opisujeta tudi Uhlř (1956) in Melik (1927), vendar z nekoliko drugačnim časovnim zaporedjem dogodkov, zato iz njunih zapisov navajamo samo izvršena dela, ne pa tudi njihove časovnice. Kot poroča Uhlř, so regulacijo pričeli z odkupovanjem in odstranjevanjem jezov. Tako je bil kot drugi podrt jez pri škofijskem mlinu v Vodmatu, sledil pa mu je Maličev mlin na Selu. Sočasno z rušenjem jezov so po Melikovih besedah izvršili tudi poglobitev celotnega Gruberjevega kanala. Uhlř nadalje zapiše, da je visoka voda, ki je nastopila zaradi spomladanskega deževja, dvakrat porušila začasni zemeljski jez, ki je Ljubljanico preusmerjal v

Gruberjev prekop. Zato je hotela gradbena direkcija dela celo opustiti, vendar je Komisija, preko majorja pl. Contija, odredila ponovno izgradnjo jezua, da se je poglobljanje struge, med jezom na Žabjeku (pri izlivu Gradaščice) in Hrušico, lahko nadaljevalo. Nato so podrli tudi jez pri Janežičevi vodni napravi v Hruševju, po končanem poglobljanju struge pa so odstranili začasni zemeljski jez in sprostili ljubljaničin tok skozi mesto. Gradnja približno 1km dolgega kanala<sup>2</sup>, s katerim so »presekali« zavoj pri Kodeljevem in je potekal od mostu pri porodnišnici v Mostah do Sel, je bila precej zahtevna, saj je bilo potrebno razstreljevati skale, zaradi česar so dela trajala skoraj eno leto. Po podatkih Enciklopedije Slovenije (Javornik (ur.), 1989) so staro strugo med Mostami in Kodeljevim zasuli, tako da se je ime Gruberjev prekop uveljavilo tudi za del nekdanje struge Ljubljance med Kodeljevim in sedanjim sotočjem, s tem pa je bil prekop »podaljšan« iz prvotnih dveh kilometrov na sedanjih 3170 m. Kot zadnji je bil odstranjen jez v Hrušici, s čimer so se regulacijska dela na Ljubljani tudi uspešno zaključila. Učinek izvedenih del je bil takojšen in velik, saj je nivo običajne vodne gladine na Barju upadel za 1,60 m, nivo visoke vode pa za 1m. S tem so bile večje površine barjanske zemlje osušene do te mere, da so bile primerne za kmetijsko rabo (Uhlir, 1956).

Material, ki so ga, med letoma 1823 in 1827, izkopali pri poglobljanju struge Ljubljance, so uporabili za nasipavanje obrežij. Tako sta v tistem času nastala Krakovski in Poljanski nasip (Simoneti et al., 1997, cit. po Kolman et al., 2010).

### **2.3 Regulacijska dela v obdobju 1830–1857**

Med 2. in 7. junijem 1830, si je, do tedaj izvršena osuševalna dela na Ljubljanskem barju, ogledal cesar Franc I., ki je ukazal, naj posebna skupina strokovnjakov, skupaj z zainteresiranimi lastniki zemljišč, izdelava načrt za gradnjo potrebnih odvodnikov na Barju, saj so se Gruberjevi in Schemerlovi načrti med vojno izgubili. Izdelavo načrtov so zaupali inženirju Simonu Foikerju, komisija, v kateri so bili predstavniki državne uprave, Komisije za osuševanje Barja, Kmetijske družbe in mesta Ljubljane ter vseh barjanskih zemljiških gospostev in občin, pa je ogled stanja opravila 8. marca 1832. Komisija je v zapisniku ogleda, ki ga je predložila cesarju v odobritev, med drugim predlagala odstranitev tlaka pri zapornicah na mostu čez Gruberjev kanal ter razširitev slednjega, stroške del pa naj bi prevzela država, saj so, po njenem mnenju, prebivalci Barja že za prejšnja regulacijska dela prispevali veliko vsoto denarja. Poleg izdelave načrtov je cesar ukazal tudi odkup in odstranitev jezov na Ljubljani, pri Hrušici, kar je bilo izvršeno leta 1831. Po prejetju komisijskega zapisnika si je cesar, med 18. in 20. majem 1832, ponovno ogledal osuševalna dela, ki mu jih je, kot pomemben član Komisije za osuševanje Barja, predstavil ljubljanski župan Hradecky. Ker so bili uspehi izvedenih del očitni, so z

---

<sup>2</sup> Po navedbah časopisa Slovenec (Cenčič (ur.), 1942) je bil kanal dolg 894 sežnjev (1.695,45 m), njegova širina pa je spodaj znašala 13 sežnjev (24,65 m) in zgoraj 17 sežnjev (32,24 m).

dekretom, izdanim 20. marca 1834, v Ljubljano poslali dvornega stavbnega svetnika Francesconija, da bi, na podlagi komisijskega zapisnika iz leta 1832 in terenskega ogleda, pripravil program za nadaljevanje osuševalnih del. Takratni guverner Schmiedburg je pod svojim vodstvom sklical komisijo, ki je, v dogovoru s Francesconijem odločila, da se v strugi Ljubljanice zgradi 12 klafter (22,73 m) široka in 3 čevlje (0,95 m) globoka kineta, katere brežine naj bi bile tlakovane s kamnom, da se odstranijo 4 okna<sup>3</sup> pri zapornici na Gruberjevem kanalu, da je v Ljubljani pri Mostah potrebno razstreliti skale ter, da se Špitalski in Čevljarski most nadomestita z novima, ustrežnejšima konstrukcijama. Poleg tega je komisija tudi predvidela, da bi Gruberjev kanal odslej deloval le kot visokovodni razbremenilni kanal, kar pomeni, da bi vodo odvajal zgolj ob nastopu visokih voda. Vendar pa sta bili potrebni nadaljnji dve leti in nastop vladavine cesarja Ferdinanda I., da so bila, z dekretom, z dne 11. oktobra 1836, dela tudi odobrena. Poleg tega je bil z dekretom zahtevan nakup stroja, s katerim bo omogočeno poznejše bagranje poglobljene struge Ljubljanice, saj je bilo ugotovljeno, da Gradaščica in Mali graben vanjo prinašata velike količine plavin. Z deli na Gruberjevem kanalu so pričeli 29. aprila 1837 in jih pol leta kasneje (31. oktobra t.l.) tudi uspešno zaključili. Na Ljubljani pa so se dela pričela 1838. leta. Stroške je v celoti prevzela državna blagajna (Uhlir, 1956).

Kot poroča Slovenec (Cenčič (ur.), 1942), je, z namenom učinkovitega vodenja in hitrejše izvedbe del, deželni guverner sestavil posebno gubernijsko komisijo, na čelu z gubernijskim svetnikom Wagnerjem. V omenjenem časopisu je na kratko opisan tudi jez, s katerim so, za čas trajanja regulacijskih del, zaježili Ljubljani in osušili njeno strugo ter s tem omogočili poglobljanje. Le-ta je imel 12 zapornic (odprli so jih v primeru pojava visoke vode), ki jih je odpirala in zapirala lokomotiva, ki je vozila po ozkem tiru na nasipu in je bil, v nasprotju z jezom iz prejšnje etape regulacij, zadosti utrjen, da ga ni poškodovala nobena visoka voda.

K pospešitvi odтока Ljubljanice skozi mesto je prispevala tudi zamenjava obeh mostov. Tako so sredi maja 1841 začeli podirati lesen in nevaren Špitalski most (danes srednji most Tromostovja), ki ga je nadomestil varnejši most iz rezanega kamna, kot ga poznamo danes (Andrejka, 1938). Gradnja je potekala med julijem 1841 in oktobrom 1842, vodil pa jo je stavbni mojster Ivan Picco, ki je pred tem uravnal strugo Ljubljanice pri Kodeljevem tako, da je presekal vijugo in strugo speljal naravnost (Steska, 2009). Ker je bila v potrjenem načrtu predvidena tudi zamenjava dotrajanega lesenega Čevljarskega mostu, so se morali kramarji, ki so imeli svoje prodajalne v kolibah na obeh mostovih, tako kot s Špitalskega, dokončno umakniti tudi s Čevljarskega mostu spomladi, leta 1840. Istočasno so most, zaradi varnostnih razlogov, zaprli za vozovni promet. Vendar, v nasprotju s Špitalskim mostom,

---

<sup>3</sup> Glede na pisanje časopisa Slovenec (Cenčič (ur.), 1942) lahko sklepamo, da so z »okni« mišljeni zaporni elementi oz. sestavni deli zapornic na enajstločnem kamnitem mostu preko Gruberjevega kanala.

do rušenja in gradnje novega Čevljarskega mostu ni prišlo tako hitro (Andrejka, 1938). Šele 1867. leta je namreč stari most nadomestila, za tiste čase zelo sodobna, jeklena mostna konstrukcija, ki so jo, po načrtih dunajskega nadinženirja Johanna Hermanna, v celoti izdelali v livarni na Dvoru pri Žužemberku. Otvoritev, po, takrat že pokojnem, ljubljanskemu županu poimenovanega, Hradeckega mostu, je potekala 18. oktobra 1867 (Projekti MOL, 2011).

### **2.3.1 Daljnosežne posledice izvedenih regulacijskih del**

Sočasno z regulacijami Ljubljane in Gruberjevega kanala so potekala tudi intenzivna osuševalna dela na samem Barju, ki so zajemala kopanje odvodnih jarkov, gradnjo cest in kolovozov ter manjših mostov. Tako je bil končno izveden Francesconijev projekt, ki je povzročil, da je začela, povsod na Barju zastajajoča voda, upadati. Znižanje nivoja vodne gladine pa je, poleg kolonizacije in kulture Ljubljanskega barja, prineslo tudi negativne posledice. Obrežja Ljubljane so namreč začela pokati in se posedati, zaradi česar so morali posekati številne stare hraste, ki so bili zasajeni za zaščito čolnov pred vetrom in so grozili, da se bodo prevrnili v reko. Poleg tega so morali neposredno iz struge odstraniti tudi 489 hrastovih debel, ki so, zaradi znižanja gladine Ljubljane, ogrožala plovbo (Uhlir, 1956). Prav tako so se tekom let začele kazati številne druge pomanjkljivosti do sedaj izvedenih regulacij, predvsem pa posledice slabega vzdrževanja obstoječih kanalov in jarkov, katerih odvodna sposobnost se je močno zmanjšala zaradi goste zarasti. Kot poroča Uhlir (1956), je Hohenwart v knjigi *Die Entsumpfung des Laibacher Moores*, ki je izšla leta 1838, sicer predlagal naselitev posebnega državnega barjanskega inšpektorja in najetje stalnih delavcev, ki bi skrbeli za vzdrževanje in čiščenje obstoječih jarkov, vendar do tega ni prišlo. Med tem se je pretočnost neprestano zmanjševala tudi Ljubljani in Gruberjevemu prekopu, saj so njuni strugi, predvsem ob visokih vodah, zasipale večje količine naplavin Gradašnice in Malega grabna. Poleg tega se je v tistem času, skupaj s kolonizacijo, začelo intenzivno odstranjevanje šotne plasti, ki so jo, posušeno, uporabljali za kurjavo, ali pa so jo zažigali neposredno na mestu ter na ta način pridobivali gnojilo. Že tako ravna površina Barja, ki se je, zaradi znižanja nivoja vodne gladine in izsušitve sicer z vodo zasičene šotne plasti, sama po sebi stisnila in posedla, se je s tem še dodatno znižala. Vse to pa je povzročilo, da so se ponovno začele pojavljati obsežne poplave, kakršnih so bili na Barju vajeni iz obdobja pred regulacijskimi deli (Melik, 1927).

### **2.4 Nadaljevanje regulacij po letu 1857**

Če so bila nekatera regulacijska dela na Ljubljani, izvedena do leta 1857, namenjena predvsem izboljšanju njene plovnosti, pa od tega leta dalje govorimo izključno o delih namenjenih izboljšanju poplavne varnosti in osušitvi Ljubljanskega barja. Rečni promet na Ljubljani je namreč začel znatno upadati že leta 1848, ko je bila zgrajena železniška povezava med Dunajem in Ljubljano, medtem ko

je dograditev proge Dunaj–Ljubljana–Trst, leta 1857, pomenila konec čolnarjenja med Ljubljano in Vrhniko. Od tedaj so po Ljubljani prevažali le še manjše količine opeke, peska, kamenja in drv (Vrhovec, 1895).

Šest let po katastrofalni poplavi, ki je leta 1851 prizadela Ljubljansko barje, je bil sprejet regulacijski načrt ministrskega svetnika Antona Beyerja, ki je v prvi vrsti predvideval izdatno poglobitev struge Mestne Ljubljane in Gruberjevega kanala. Poleg tega je bilo potrebno izvesti tudi poglobitev glavnih prekopov in jarkov na samem Barju, s tem pa naj bi se nivo visoke vode znižal za 4 čevlje (1,26 m). Z glavnimi deli, ki jih je prevzelo in, brez večjih zapletov, tudi izvršilo graško gradbeno podjetje W. Wolheim, so pričeli leta 1860 in jih v celoti zaključili 1867. leta. V tem obdobju, natančneje leta 1864, je bil zgrajen tudi kamnit stari Karlovški most, kot ga poznamo danes. V načrtu je bila sicer predvidena še poglobitev Čurnovega kanala, ki pa so jo, kmalu po pričetku del opustili, saj so med kopanjem na dnu naleteli na, za kopanje problematično, mivko (Uhlir, 1956). Že leta 1857 naj bi potekala tudi ureditev Krakovskega nabrežja, vendar več podatkov o tem v viru ni zaslediti (Butina et al., 2012). Opravljeni posegi so seveda tudi tokrat ugodno vplivali na vodne razmere na Ljubljanskem barju. Nivo vodne gladine se je znižal, pospešil pa se je odtok vode v času visokih voda. To je posledično pomenilo tudi izboljšanje pogojev za nadaljnjo kultivacijo in kolonizacijo Barja, ki pa je bilo, tako kot že mnogokrat doslej (tudi vzroki za to so bili namreč enaki kot doslej), le kratkotrajno, saj so se kmalu ponovno začele pojavljati povodnji (Melik, 1927).

#### **2.4.1 Glavni odbor za obdelovanje Barja**

Poplave, ki so ponovno nastopile manj kot 10 let po zaključku regulacijskih del, so pokazale na nujnost novih osuševalnih del, s katerimi bi, enkrat za vselej, rešili problem Ljubljanskega barja in ga tudi dokončno osušili. Na pomembnost novih posegov je javnost opozoril stavbni svetnik, inženir Franc Potočnik, ki je predlagal natančne raziskave Barja in Ljubljane z vsemi barjanskimi pritoki, s katerimi bi pridobili vse podatke, potrebne za pripravo novega projekta dokončne osušitve Ljubljanskega barja. Slednjega naj bi izdelali strokovnjaki pod vodstvom ministerialnega svetnika Gustava Wexa, medtem ko Potočnik, za vodenje in izvajanje načrtovanih del, predlaga ustanovitev posebne komisije, ki bi tudi v nadaljevanju skrbela za osuševanje in obdelovanje Barja. Deželni zbor je tako, na predlog poslanca dr. Potokarja, 23. avgusta 1877, sprejel deželni Zakon o obdelovanju Ljubljanskega barja, ki je bil naslednje leto tudi potrjen, z njim pa ustanovljen Glavni odbor za obdelovanje Barja, katerega osnovna naloga je bila vzdrževanje, med letoma 1860 in 1880, izvedenih regulacijskih del. Do tedaj je namreč ta dela opravljala kranjska deželna vlada (Uhlir, 1956).

## 2.5 Strokovna konferenca 1880

Ker so pretekla osuševalna dela prinesla velike stroške, niso pa odpravila pomembnih napak, se je novoustanovljeni Glavni odbor za obdelovanje Barja hitro in odločno lotil problema popolne osušitve ter že leta 1880 (prva seja je potekala 26. aprila), z dovoljenjem poljedelskega ministrstva, sklical konferenco strokovnjakov, katere naloga je bila priprava predlogov za vse ureditve, ki bi bile potrebne za dokončno in popolno osušitev Ljubljanskega barja. Na konferenci, ki jo je vodil takratni načelnik Glavnega odbora, dr. Josip Kosler, so strokovnjaki, med katerimi je bil tudi hidrotehnični mojster, inženir Ivan Podhagský, na podlagi terenskih ogledov, prišli do naslednjih ugotovitev:

- 1) Ker Gradaščica in Mali graben prinašata v Ljubljano večje količine peska in proda in, ker naplavine iz Malega grabna prihajajo tudi v Gruberjev prekop, v katerega se dodatno vsiplje še zemlja z Golovca, se dni obeh strug dvigata, visoka voda pa se vedno bolj zajezuje in poplavlja Barje.
- 2) Zaradi odstranjevanja šote ter njenega posedanja, ki je posledica obdelovanja zemlje in znižanja visokih voda s preteklimi regulacijskimi deli, se je barjansko površje znižalo, zaradi česar se visoke vode zopet razlivajo in poplavlajo Ljubljansko barje.
- 3) Do ponovnega zamočvirjanja površja prihaja tudi zaradi sekanja obmejnih gozdov, zaradi česar prihajajo vedno večje količine vode vedno bolj neovirano na Barje.

Na podlagi zgornjih ugotovitev je konferenca sprejela naslednje sklepe, ki naj bi se upoštevali pri načrtovanju nadaljnjih melioracijskih del:

- 1) Znižajo naj se visoke vode pritokov Ljubljance in poglobijo obstoječi kanali.
- 2) Šote naj se ne reže in sežiga, saj bi se teren ponovno znižal in nastopile bi nove poplave.
- 3) Nivo talne vode naj se zniža 0,5 m pod površino mineralne plasti (gline polžarice), ki se nahaja pod plastjo šote, da bo tudi po izginotju ali odstranitvi šote možno obdelovanje.
- 4) Novi ukrepi naj bi visoko vodo na vodomeru v Ljubljani, pri odcepu Gruberjevega kanala, znižali za približno 1 m.
- 5) Pred pričetkom izdelave osuševalnih načrtov in poglobljanjem obeh strug, naj se na Barju izvedejo sondažne vrtine, na podlagi katerih bo mogoče določiti debelino šotne plasti oz. globino mineralnega sloja.
- 6) Obe strugi se morata poglobiti še za ca. 1 m, tako da bi pri vodostaju 0,948 m na vodomeru, Gruberjev prekop odvajal  $170 \text{ m}^3/\text{s}$ , Mestna Ljubljana pa  $196 \text{ m}^3/\text{s}$  (t.j. skupaj  $366 \text{ m}^3/\text{s}$ ).
- 7) Regulacija Barjanske Ljubljance ni potrebna, če pa bi, zaradi znižanja vodne gladine, prišlo do posedanja bregov, bi le-te zavarovali.
- 8) Regulirati bo potrebno tudi pritoke Ljubljance in jim, zaradi znižanja visokih in nizkih voda Ljubljance, poglobiti struge. Poleg tega bo potrebno izkopati tudi nekaj novih glavnih odvodnih jarkov.



- 9) Ker bosta obe glavni strugi poglobljeni, gradnja obrobnih jarkov, ki bi odvajali zaledno vodo z okoliških hribov, ni potrebna.
- 10) Tretji prekop oz. tretji odvodnik, ki naj bi potekal poleg Gruberjevega kanala in je bil, po mnenju Barjanov, edina ustrezna rešitev, ki bi zares preprečila nadaljnje povodnji na Barju, po ocenah strokovnjakov, ni nujno potreben.

Končni rezultat te konference je bil program del, po katerem naj se najprej natančno premerijo in raziščejo Barje, strugi Ljubljani in Gruberjevega prekopa ter ostali barjanski pritoki in odvodni jarki, šele nato pa naj se izdelajo načrti za potrebna melioracijska dela (Uhlíř, 1956).

## **2.6 Projekti inženirja Ivana Podhagskýga**

### **2.6.1 Prvi projekt**

Junija 1881 je bila, po razpisanem natečaju za pripravo melioracijskega projekta, izvedba pripravljanih del in izdelava načrtov zaupana inženirju Podhagskýmu. Ta je, v skladu s programom del, sprejetim na konferenci leta 1880, najprej podrobno premeril in raziskal Ljubljansko barje. V sklopu raziskav je dal izvrtati kar 749 sondažnih vrtin, na podlagi katerih je izdelal 7 profilov Barja, vanje pa vrisal šotno in mineralno (naplavljen ilovica in glina) plast ter tako prikazal debelino šote na različnih delih Barja. Poleg tega je izdelal tudi glavno pregledno karto Ljubljanskega barja v merilu 1:10000, na katero je vrisal izohipse po 25 cm (na bolj razgibanem terenu po 50 cm oz. 1 m) in karto Barja v merilu 1:2000, z natančno označenimi lokacijami vseh sondažnih vrtin, pri katerih je navedel nadmorsko višino površja mineralne plasti. Izdelal je tudi številne prečne profile glavnih strug, tehnične načrte za različne regulacijske objekte in natančen popis lege 163 fiksni točk. Vso projektno dokumentacijo je, skupaj s Tehničnim poročilom k objektu o izsuševanju Ljubljanskega barja. V Ljubljani 1882, maja istega leta (1882), izročil Glavnemu odboru za obdelovanje Barja (Uhlíř, 1956).

Projekt Podhagskýga je temeljil na zamisli, da bi, za 2 m znižana visoka voda (merjeno na vodomoru v Ljubljani), odtekala po Mestni Ljubljani in Gruberjevem prekoku. Slednji naj bi se poglobil do skrajnih mej, njegovo dno pa naj bi bilo 1,30 m nižje od dna regulirane Ljubljani, katere poglobitev je predvidena od izliva Malega grabna do Fužin, pri čemer je puščena možnost nadaljnega poglobljanja struge Ljubljani za primer potrebe po odvajanju večjih vodnih količin, kot so bile predvidene z načrtom. To pomeni, da bi prekop odvajal več visoke vode kot Mestna Ljubljana, in sicer 258 m<sup>3</sup>/s, slednja pa le 212 m<sup>3</sup>/s. Skupaj torej 470 m<sup>3</sup>/s, kar predstavlja za 25 % povečan pretok, ki ga je za merodajnega določilo poljedelsko ministrstvo. Ta visokovodni pretok Ljubljani znaša 378 m<sup>3</sup>/s in je bil, sicer napačno, določen ob poplavah leta 1851, ko je najvišja voda dosegla višino 2,213 m nad ničlo na ljubljanskem vodomoru. Ta isti pretok je, že leta 1857, za dimenzioniranje strug

Gruberjevega prekopa in Mestne Ljubljane, uporabil tudi Anton Beyer. Povečanje tega pretoka, ki se je v prihodnjih letih izkazalo za ustrezno, je Podhagský upravičil s predpostavko, da se bo, zaradi izsekavanja kraških gozdov, v prihodnosti količina na Barje dotekajoče vode še povečala. Nadalje je v začetnem delu Gruberjevega kanala predvidel izgradnjo zapornice, ki bi zagotavljala, da bi bilo, tudi v času srednjega in nizkega vodostaja, v strugi Mestne Ljubljane dovolj vode, hkrati pa bi preprečevala preveliko znižanje talne vode na Barju. Takoj po poglobitvi Gruberjevega prekopa naj bi se poglobili tudi vsi glavni pritoki Ljubljane, hkrati pa naj bi se na Gradaščici in Iški napravili dolinski pregradi, ki bi zadrževali prod in pesek ter s tem preprečevali zasipanje struge Ljubljane. Redki jezovi na Barju naj bi se odstranili, kjer pa so le-ti potrebni za zajezitev visoke vode, naj jih nadomestijo zapornice. Vsi ti ukrepi naj bi zagotovili, da se bo nivo visoke vode v obeh strugah znižal za  $2\text{ m}^4$ , kar bi posledično pomenilo, da naj tudi ob poplavih višina vode na vodomeru na Ljubljani ne bi preseгла kote, ki označuje  $287,042\text{ m}$  nadmorske višine (t.j. po mnenju Podhagskýga  $287,5\text{ m}$  pri vrhniškem mostu). Ker pa bi se talna voda na Ljubljanskem barju, po dokončanju vseh predvidenih del, spustila v mineralno plast, naj bi poglobitev Mestne Ljubljane izvedli šele po odstranitvi šote, da bi se Barjani lahko postopoma prilagajali temu znižanju gladine. Kljub vsemu naj bi okrog  $3000\text{ ha}$  barjanske zemlje še vedno ostalo neizsušene in bi ob povodnjih ta še vedno stala med  $1,7\text{ m}$  in  $2,5\text{ m}$  pod vodno gladino (Uhlíř, 1956).

## 2.6.2 Drugi (alternativni) projekt

Ker so imeli člani Glavnega odbora za obdelovanje Barja pomisleke glede predloga, da bi Gruberjev kanal postal glavni odvodnik, medtem ko naj bi bila Mestna Ljubljana le nekakšen razbremenilni kanal, so Podhagskýmu naročili izdelavo alternativnega projekta, po katerem naj bi se Ljubljana poglobila bolj kot Gruberjev prekop. Poleg tega naj bi novi projekt vseboval tudi načrte za izgradnjo obrežnih zidov v mestu, od Šentjakobskega do Zmajskega mostu. Alternativni projekt je bil končan leta 1883, v skladu z zgornjimi zahtevami pa se od prvotnega najbolj razlikuje v tem, da naj bi se najprej poglobila Mestna Ljubljana, ki bi prevajala pretok  $260\text{ m}^3/\text{s}$ , šele nato pa tudi Gruberjev kanal, ki bi po novem odvajal le  $210\text{ m}^3/\text{s}$  vode. Posledično to pomeni, da tudi gradnja prvotno predvidene zapornice na Gruberjevem prekopu ni potrebna. Vsa, s projektom predvidena dela, naj bi bila končana v petih letih, vendar je bilo potrebnih kar šest nadaljnjih let, da je poljedelsko ministrstvo, na priporočilo posebne ankete z dne, 25. aprila 1889, sploh odobrilo predlagani alternativni načrt. Kljub potrditvi projekta in določitvi ključa, po katerem naj bi se delili stroški del, pa se gradnja ni pričela po pričakovanjih, saj so se tudi tokrat pojavile pritožbe, katerih obravnave so se

---

<sup>4</sup> Po podatkih ing. Prelovška (1920) je za to znižanje vodne gladine Podhagský predvidel ca.  $3\text{ m}$  globok izkop v strugi pri prisilni delavnici (Poljanski nasip), pri Frančiškanskem mostu naj bi se struga poglobila za  $2,5\text{ m}$ , poglobitev Gruberjevega prekopa pa naj bi znašala okrog  $2\text{ m}$ .

vlekle vse do leta 1898, ko jih je ministrstvo dokončno zavrnilo. Oktobra 1901 je posebna komisija strokovnjakov znova pregledala odobreni alternativni načrt in zaradi višjih cen materiala, plač delavcev in nepredvidenih stroškov popravila (zvišala) prvotni predračun (Uhlíř, 1956).

## **2.7 Anketa 1910**

Ker se je v obdobju 1882–1909, še posebej pa v času hude suše leta 1908 pokazalo, da je za kultivacijo Barja, poleg zagotavljanja poplavne varnosti, pomembno tudi smotrno uravnavanje gladine talne vode, je Glavni odbor za obdelovanje Barja, po opozorilu ing. Hraskýja, 28. junija 1910 sklical anketo, ki sta se je udeležila tudi strokovnjaka za barjansko kultivacijo, dr. Viktor Zeiler in nadzornik Julij Koppens. Strinjala sta se, da odstranitev šotne plasti, ki jo je predvidel Podhagský, predstavlja zelo tvegan poskus, saj bi bilo potrebnih več let, da bi postala sterilna mineralna plast ilovice in gline rodovitna, medtem ko šota, minimalne debeline 1m, ob ustreznem uravnavanju nivoja talne vode, predstavlja kvalitetno kulturno plast, primerno za kmetijsko obdelavo. Ta bi se, v primeru predvidenega znižanja barjanske talne vode za 2 m, povsem izsušila in spremenila v prah, čemur pa bi se morali, po mnenju Koppensa in Zeilerja, nujno izogniti. Zato je Glavni odbor, na podlagi podanih mnenj, sklenil bistveno spremeniti alternativni načrt Podhagskýga in zagotoviti, da se nivo talne vode na Ljubljanskem barju, tudi v sušnem obdobju, ne bo spustil pod koto 287,3 m (srednja višina barjanske talne vode), kot je to predlagal Zeiler. Po pisanju Koppensa je namreč iz poročila stavbnega vodstva k alternativnemu projektu Podhagskýga razvidno, da je bila za določitev gladine nizke vode merodajna zgolj višina temeljne mineralne plasti. Ker je bila ta predvidena kot glavna obdelovalna plast, je bila maksimalna zaježitvena višina postavljena na koto 286 m. To je torej pomenilo dvig, z alternativnim načrtom predvidene gladine nizke vode, za 1,3 m. V ta namen so predvideli izgradnjo dveh zapornic, in sicer prve na Gruberjevem kanalu in druge na Ljubljani pri Šentpetrski vojašnici, s katerima bi ne le dvignili nivo nizke vode, pač pa omogočili tudi uravnavanje odtoka z Barja ter se tako stalno prilagajali potrebam barskih kultur (Uhlíř, 1956).

## **2.8 Izvajanje spremenjenega alternativnega načrta Podhagskýga do začetka prve svetovne vojne**

Z načrtovanimi regulacijskimi deli so pričeli 1908. leta, torej že pred zgoraj opisano anketo, vendar je bila do leta 1909 zgrajena le začasna zapornica na Špici, ki je zapirala dotok vode v Gruberjev kanal. Glavna gradbena dela, ki so bila preračuna na 6 let, so bila izvajalcu, gradbenemu podjetju Alpenländische Baugesellschaft, oddana šele proti koncu tega leta. Najprej so se lotili regulacijskih del na Gruberjevem kanalu, s katerimi naj bi zagotovili, da bo le-ta odvajal pretok  $210 \text{ m}^3/\text{s}$ . Skladno z alternativnim projektom Podhagskýga je bilo potrebno v ta namen dno prekopa na odcepu na Špici dvigniti na koto 283,534 m ter ga dolvodno od nastalega praga poglobiti tako, da se bo s povprečnim padcem 1 ‰ spuščalo do sotočja z Ljubljano, kjer bo izliv izveden na koti 280,244 m. Pri tem je bilo

dno kritičnega, t. j. najožjega profila prekopa (profil št. 33), ki je bil merodajen za dimenzioniranje, in je bil že v obdobju prejšnjih regulacij (1857–1867) zavarovan z obrežnimi zidovi, preračunano na koto 283,10 m. Dela na Gruberjevem kanalu so zaključili leta 1912 z izgradnjo zapornice, ki še danes uravna nivo talne vode na Ljubljanskem barju. Od ustja prekopa je oddaljena 878 m, saj so na tem mestu ugodne razmere za temeljenje, poleg tega pa obrežni zidovi, ki se na tej lokaciji končajo, tvorijo ugoden priključek jezua (Uhlíř, 1956). Gruberjev prekop je tako danes dolg 3170 m, povprečni naklon dna pa znaša 1,14 ‰. Prečni presek ima obliko trapeza, razen na okoli 215 m dolgem odseku gorvodno od zapornice, kjer so, predvsem na desnem bregu, brežine zavarovane s strmimi opornimi zidovi (Javornik (ur.), 1989).

Še istega leta, t. j. 1912, so pričeli tudi s poglobitvenimi deli na Mestni Ljubljani, in sicer na spodnjem koncu mesta, od sotočja z Gruberjevim kanalom navzgor. Tako kot pred tem na Gruberjevem kanalu, so pred začetkom del tudi v strugi Ljubljanice, pod izlivom Gradaščice, postavili začasno zapornico, ki je vso vodo Ljubljanice usmerjala v Gruberjev prekop. Po alternativnem projektu Podhagskýga naj bi se struga Ljubljanice poglobila tako, da bi dno na Špici ležalo na koti 283,132 m in se od tam, s povprečnim padcem med 0,5 ‰ in 1,0 ‰, spustilo na 280,097 m pri sotočju z Gruberjevim prekopom. Dno kritičnega profila, ki se je nahajal nasproti hiše številka 56, naj bi se poglobilo na koto 282,50 m, tako da bi ta, pri višini vode 1,70 m na vodomeru na Špici, prevajal pretok 260 m<sup>3</sup>/s. Načrtovana dela bi morala biti končana leta 1916, vendar jih je že dve leti pred tem skoraj povsem ustavil izbruh prve svetovne vojne. Do prekinitve del bi sicer prišlo v vsakem primeru, torej tudi če vojna ne bi nastopila, saj je podjetje, ki je regulacijska dela izvajalo, kmalu po začetku vojne, zaradi spora z vodstvom del, le-ta prekinilo in vložilo milijonsko odškodninsko tožbo. Tako sta bili, do leta 1914, izvršeni le regulacija Gruberjevega kanala in delna regulacija Mestne Ljubljanice, medtem ko regulacija barjanskega dela Ljubljanice s pritoki ni bila niti začeta (Uhlíř, 1956).

Sočasno z odstranjevanjem konglomerata iz struge na spodnjem koncu mesta so pričeli tudi z izgradnjo temeljev visokih opornih zidov med Šentjakobskim in Frančiškanskim mostom. Načrte zanje, oz. za njihove fasade, je leta 1913 izdelal dunajski arhitekt Alfred Keller, ki je predvidel, da se, sicer pusti betonski obrežni zidovi, v vodoravni smeri razdelijo tako, da se na levem bregu, med Filharmonijo in poslopjem Assicurazioni Generali ter na desnem bregu med Ribjo ulico in Pogačarjevim trgom, 70 cm nad bodočim nivojem vodne gladine, zgradi 2,5 m široka terasa, ki bo služila kot pristanišče čolnom. V ostalem zidovju naj bi se približno na sredini vidne višine postavila cvetlična korita, medtem ko naj bi se oporni zidovi po celotni dolžini, z 1,20 m–1,70 m širokimi kamnitimi stebri, razdelili na ca. 6,30 m široke odseke. Na te stebre naj bi se prav tako postavila cvetlična korita. Za dostop do vode je bilo predvidenih tudi 9 kamnitih stopnišč, ki so bila pomembna predvsem iz varnostnih razlogov. Ker je šlo za dela, ki so imela predvsem estetski pomen za samo mesto, je stroške izvedbe fasad obrežnih zidov krila mestna občina sama. Obrežni zidovi so bili

predvideni tudi med Pogačarjevim trgom in Šentpeterskim mostom. Ti naj bi bili znatno nižji, saj naj bi segali le 20 cm nad predvideno vodno gladino, brežine nad njimi pa naj bi bile ozelenjene (Prelovšek, 1920).

## 2.9 Regulacijska dela od konca prve svetovne vojne do izgradnje zapornice na Ambroževem trgu

Takoj po koncu prve svetovne vojne so se, kljub delovanju Glavnega odbora za obdelovanje Barja, ki se je kot koncesionar in vodja regulacijskih del trudil, da bi se ta obnovila in dokončala, v strugi Ljubljanice vršila le manjša vzdrževalna dela. Ker je na pol izvršena regulacija Ljubljanice v takem stanju tudi vse bolj propadala, so bili ključni dejavniki enotni, da je potrebno čim prej nadaljevati z začetim delom in ga, v skladu z načrti, tudi zaključiti, pri čemer pa ne gre pozabiti na dela, ki bi se morala izvršiti na Barju samem, vendar do tedaj niso bila niti začeta. Šele leta 1924 so pričeli s tako imenovanimi predhodnimi deli, v okviru katerih naj bi ugotovili kolikšen del alternativnega projekta Podhagskýga je že izveden in kaj vse je še potrebno izvršiti. Poleg tega je bilo potrebno pridobiti tudi nove kredite ter izdelati detajlne načrte in nove stroškovnike. S predhodnimi deli so zaključili konec proračunskega leta 1828/29, pri čemer je bila ugotovljena naslednja situacija izvedenih oz. neizvedenih del za obdobje 1920–1930:

- Gruberjev prekop z zapornico: dela so končana, potrebna so le še nekatera popravila,
- struga spodnjega toka Ljubljanice, med mostom na Kodeljevem in izlivom Gruberjevega prekopa (stac. 27,45 km–28,44 km): regulacija je zaključena, prečni prerez struge ima obliko trapeza, brežine so obložene s kamnom, dno pa je poglobljeno do načrtovane kote,
- struga med Šentpeterskim mostom in mostom na Kodeljevem (stac. 26,25 km–27,45 km): prečni prerez struge ima obliko trapeza, ureditev brežine in izkop dna sta dovršena samo na desnem bregu, levi breg je še povsem neurejen, dela povezana z izgradnjo zapornice, ki je predvidena pod Šentpeterskim mostom, vključno z betonskimi obrežnimi zidovi, se še niso pričela,
- struga med Frančiškanskim in Šentpeterskim mostom (stac. 25,405 km–26,25 km): profil struge je pravokoten z obojestranskimi betonskimi opornimi zidovi, potrebna je ureditev brežin do opornih zidov, izvedba ograj in poglobitev dna struge za okoli 2 m ter njegovo zavarovanje,
- struga med Šentjakobskim in Frančiškanskim mostom (stac. 24,74 km–25,405 km): prečni prerez struge je pravokoten, arhitektonsko okrašeni kamniti in betonski oporni zidovi so v stac. 24,74 km–24,98 km že izvršeni, manjkajo le še nekatere ograje in okraski, v preostalem delu struge so oporni zidovi še nedokončani, predvidena sta dva nova mostova, in sicer Frančiškanski in Čevljarski, potrebna je še poglobitev dna za okoli 2 m ter zavarovanje le-tega,

- struga od vtoka v Gruberjev kanal do Šentjakobskega mostu (stac. 23,47 km–24,74 km): regulacija tega odseka se še ni začela, predviden je prečni prerez struge v obliki trapeza, brežine pa naj bi bile obložene s kamenjem, potrebno je izvesti delno regulacijo Malega grabna in Gradaščice ter zgraditi pragove na njenih izlivih (zaradi znižanja dna struge Ljubljance),
- nujna je tudi obnova začasne zapornice na Špici.

Z zgoraj opisanimi regulacijskimi deli, ki jih je bilo potrebno še izvršiti, je bilo treba, po mnenju strokovnjakov, začeti v čim krajšem možnem času, saj so se zaradi nezavarovanega rečnega dna, tako stari kot novi obrežni zidovi začeli posedati, zaradi česar je bila vse bolj ogrožena njihova stabilnost kot tudi stabilnost objektov na obrežju. Poleg tega so bili leseni piloti, na katerih je bil temeljen Hradeckega most (Čevljarski most), že več let odkopani in so začeli trohneti. V tistem času sta se na obeh bregovih Ljubljance, skupaj z regulacijami, gradila tudi zbirna kanala mestne kanalizacije, katerih izliva sta bila načrtovana pod projektirano Šentpetsko zapornico. Ker se regulacijska dela niso izvajala, je stala tudi gradnja kanalizacije, medtem pa so se odplake iz hišnih in cestnih kanalov še vedno stekale v zajezeno in skoraj povsem suho strugo Ljubljance ter tako, predvsem v suhih poletnih mesecih, predstavljale veliko nevarnost okužb in epidemij (Uhlir, 1956). Kako pomembno je čim prej dokončanje načrtovanih del, se je jasno pokazalo tudi ob katastrofalni poplavi, ki je leta 1926 prizadela Ljubljano in povzročila veliko gmotne škode ter terjala 3 smrtne žrtve (R. D., 2012).

Vsled vseh zgoraj navedenih dejstev so sklenili, da je potrebno ponovno sestaviti komisijo, ki bo poskrbela za izvedbo regulacije Ljubljance ter ustanoviti tehnično pisarno (Terensko tehnično sekcijo), ki bo opravila revizijo sprememb in dopolnil projektov za neizvršena regulacijska dela ter izvedla nova merjenja, pripravila načrte za izvedbo in pripadajoče predračune, pripravila razpis del in preskrbela finančna sredstva ter prevzela vodenje regulacijskih del. Leta 1930 je bil tako sestavljen strokovni program tehničnih del, še istega leta pa je ljubljanska občina izdelala tudi projekt za delno regulacijo Gradaščice in Malega grabna, za dokončanje visokih obrežnih zidov v mestu ter za izgradnjo Tromostovja in začasne zapornice (Uhlir, 1956). K izdelavi projekta je inženir Matko Prelovšek pritegnil arhitekta Jožeta Plečnika, ki je s Tromostovjem in Čevljarskim mostom, kasneje pa tudi z ljubljansko tržnico in Šentpetsko zapornico, v okviru Terenske tehnične sekcije, nadaljeval Kellerjevo delo in si prizadeval omiliti pust izgled pred vojno zabetoniranega rečnega korita (Suhadolnik, Anžič, 2003). Po izvršitvi tega projekta (dela v okviru projekta so se začela že 1930) so pričeli z dokončno regulacijo Ljubljance, ki je, v skladu z zgoraj opisanimi načrti, potekala do leta 1938, ko so bila dela v mestnem odseku Ljubljance (stac. 23,754 km–27,510 km) v glavnem končana. V tem obdobju, natančneje med 21. in 26. decembrom 1931 je v Ljubljani potekala strokovna konferenca, na kateri so ponovno odločali o koti zaježitve, o lokaciji zapornice na Ljubljani ter o dolžini in načinu zavarovanja dna regulirane struge. Konferenca je sklenila, da kota zajezene vode

ostane na predvideni nadmorski višini, t. j. 287,30 m, medtem ko se zavarovanje dna struge z betonom izvede med izlivom Gradaščice in projektirano zapornico, kakor tudi dolvodno od zapornice, do lokacije, kjer se, kot temeljni sloj, pojavi konglomerat. Dno naj se zavaruje s 40 cm debelo kompaktno plastjo betona, brez posebnega ometa, kjer pa se pojavljata mokra glina in tekoči pesek, naj se izvede obloga iz drobnega lomljenega kamenja. Dno naj bo na sredini rečnega korita 15 cm nižje, vsakih 50 tekočih metrov struge pa je potrebno betonsko oblogo ojačiti z rebri kvadratnega prereza, dimenzij 50/50 cm. S sklepi konference, ki so jih navedli v zapisnik, je bil ponovno spremenjen alternativni projekt Podhagskýga. Regulacijska dela so v obdobju 1930–1938, po tem spremenjenem načrtu, izvajala različna gradbena podjetja (Tvrška Dukič, Tvrška Slograd, Ljubljanska gradbena družba,...) pod vodstvom terenske tehnične sekcije, ki ji je v tistem času predsedoval inženir Ivan Petrič in je številna dela opravila tudi v lastni režiji. Po letu 1938 je bilo potrebno izvesti le še zapornico na Ambroževem trgu, s katere izgradnjo je bila zaključena prva faza regulacije Ljubljanice po modificiranem projektu Podhagskýga (Uhlíř, 1956).

Po drugi svetovni vojni, leta 1946, je bil Glavni odbor za obdelovanje Barja reorganiziran in preimenovan v Vodno zadrugo za Ljubljansko barje, kasneje pa v Vodno skupnost za meliorizacijo Ljubljanskega barja (SI\_ZAL\_LJU/0144 Glavni odbor..., 2013).



Slika 9: Razglednica z motivom regulacije Ljubljanice pri Frančiškanskem mostu iz leta 1913 (Giontini (zal.), 1913)



### **3 ZAPORNICA NA AMBROŽEVEM TRGU**

Za vzdrževanje stalnega nivoja gladine talne vode na Ljubljanskem barju, ki preprečuje izsušitev šotne plasti in pospešeno posedanje barjanskih tal, bi sicer zadoščala ena sama zapornica, postavljena gorvodno od odcepa Gruberjevega kanala. Takšna rešitev problema bi bila enostavnejša in predvsem veliko cenejša od sedanje, zaradi česar se morda na prvi pogled zdi tudi primernejša. Ker pa bi en sam jez pomenil konec plovbe po Ljubljani do središča mesta, je stavbno vodstvo za osuševanje Barja že julija leta 1910 odredilo, da je potrebno zgraditi dva ločena jezova, t. j. enega na Gruberjevem prekopu (1912) in enega na Ljubljani (Uhlir, 1956).

#### **3.1 Opis**

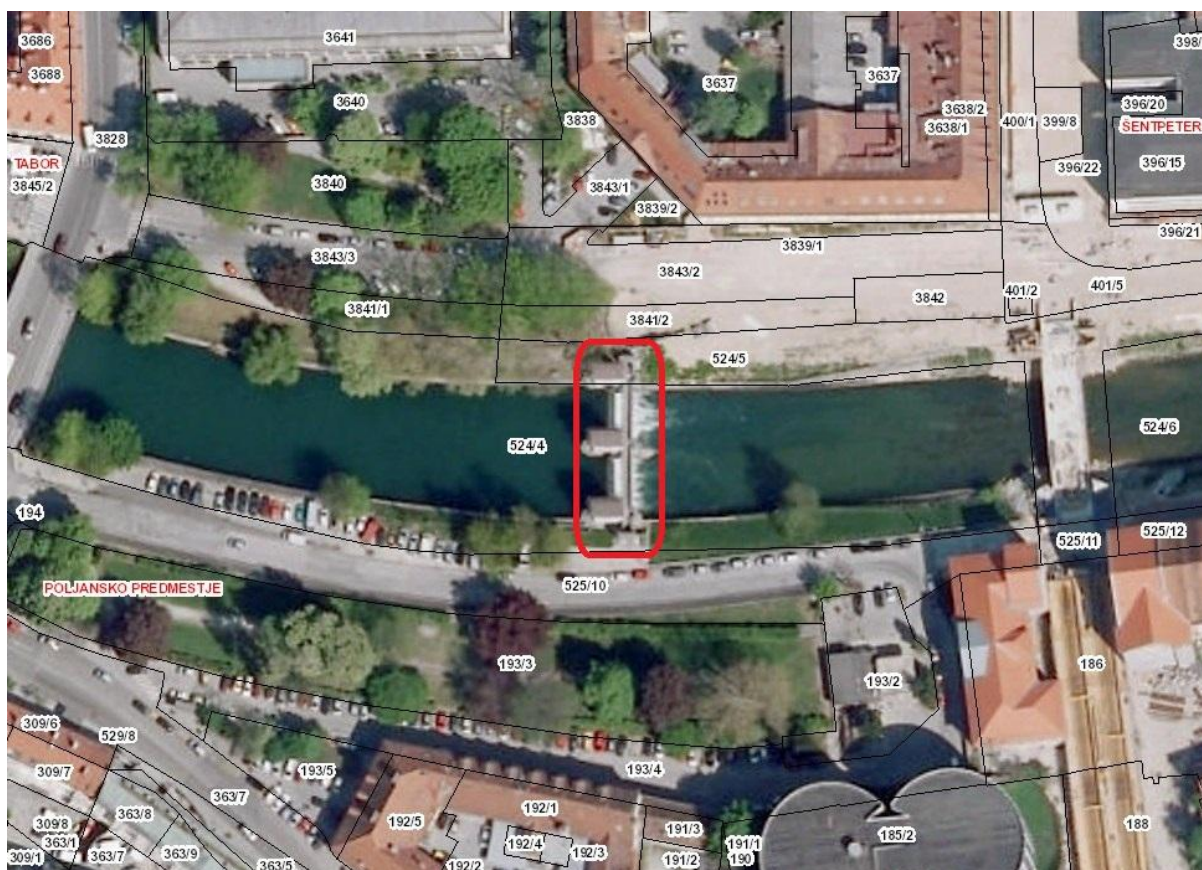
##### **3.1.1 Splošno**

Zapornica na Mestni Ljubljani pri Ambroževem trgu, pogosto imenovana tudi Plečnikova ali Šentpeterska zapornica, se nahaja približno 110 m dolvodno od Šentpeterskega mostu v stac. 15,425 km (po prvotni/stari stac. – merjeno od izvira: 26,380 km). Skupaj z zapornico na Gruberjevem prekopu omogoča vzdrževanje stalne kote zaježitve Ljubljane gorvodno od zapornic in s tem zagotavlja stabilnost brežin, obrežnih zidov in drugih objektov lociranih neposredno ob rečni strugi, vzdržuje ustrezen nivo talne vode na Barju, s čimer se preprečuje izsuševanje šotne plasti in ohranja biotsko raznolikost Barja, z reguliranjem odtoka visokih voda pa predvsem zagotavlja večjo poplavno varnost Ljubljanskega barja. Prve načrte zanjo je arhitekt Jože Plečnik izdelal že v zgodnjih tridesetih letih, vendar jih je nato večkrat spremenil in popravil, tako da so bili načrti za izvedbo končani leta 1939, ko so tudi pričeli z izgradnjo. Ta je potekala med drugo svetovno vojno, do leta 1944, ko je bil gradbeni del zapornice skoraj v celoti dokončan (po vojni so bila opravljena le še nekatera zaključna gradbena dela).

##### **3.1.2 Lokacija in z njo povezane razmere za temeljenje**

Zapornica je bila sprva predvidena okoli 800 m dolvodno od današnje lokacije (po stari stac.: 27,170 km), pod nekdanjo prisilno delavnico. Glavni razlog za to pa je bila plovba po Ljubljani, ki že v času projektiranja zapornice ni segala dlje od tega mesta. Na 12. seji komisije za osuševanje Barja, ki je potekala 22. oktobra 1912, so sklenili premestiti zapornico na njeno današnjo lokacijo, kar se je leta 1931 izkazalo kot pravilna odločitev. Tega leta je namreč dr. Marijan Salopek, profesor geologije na univerzi v Zagrebu, na podlagi sondažnih vrtanj (vrtine so bile globoke 14 m), ki jih je decembra opravil tako na načrtovani kot tudi na sedanji lokaciji zapornice, izdelal geološko poročilo, h kateremu je priložil izjavo, v kateri odločno odsvetuje gradnjo na prvotno predvidenem mestu. Kot

razlog za to je navedel dejstvo, da tam neprepustna siva glina prehaja v prepustni konglomerat in gramoz, kar pomeni, da so razmere za temeljenje zapornice na tisti lokaciji zelo neugodne. Nasprotno pa je kompaktna siva glina, ki predstavlja temeljni sloj na sedanji lokaciji zapornice, sorazmerno dobro nosilna in kar je najpomembnejše, za vodo neprepustna, kar so pokazale tudi terenske in laboratorijske preiskave temeljnih tal, ki so jih, približno 110 m gorvodno, opravili leta 1916 za potrebe projektiranja Šentpeterskega mostu. Tla so torej v stac. 26,380 km primerna za temeljenje zapornice, zato je komisija, decembra 1931, dokončno odločila, da se zapornica zgradi na tej lokaciji (Uhlir, 1956). Kot je razvidno iz spodnje slike, se danes zapornica nahaja na dveh parcelah, in sicer številka 524/4 in 524/5, ki obe spadata v katastrsko občino 1727 Poljansko predmestje in sta opredeljeni kot vodno zemljišče v lasti Mestne občine Ljubljana (MOL).



Slika 10: Digitalni ortofoto posnetek (DOF) zapornic na Mestni Ljubljanici pri Ambroževem trgu z označenimi parcelnimi mejami in parcelnimi številkami ter zapornico (povzeto po: Atlas okolja, 2013)

### 3.1.3 Klasifikacija

Zapornico na Mestni Ljubljani pri Ambroževem trgu v skladu z Zakonom o graditvi objektov (ZGO), (Ur. l. RS, št. 110/2002) in po Uredbi o razvrščanju objektov glede na zahtevnost gradnje (Ur. l. RS, št. 18/2013) razvrščamo med manj zahtevne gradbene inženirske objekte. Skladno z Uredbo o klasifikaciji vrst objektov in objektih državnega pomena (Ur. l. RS, št. 109/2011), ki predpisuje enotno klasifikacijo objektov (CC-SI), pa zapornice uvrščamo v skupino pristanišč, plovnih kanalov, jezov in vodnih pregrad ter drugih vodnih objektov (skupina 215), natančneje v podrazred pristanišč in plovnih kanalov (podrazred 21510). Ta ista uredba uvršča zapornice na Mestni Ljubljani tudi med vodne objekte državnega pomena, saj so med drugim namenjene zmanjševanju poplavne ogroženosti na območju pomembnega vpliva poplav, med katera sodi tudi Ljubljansko barje. Dodatno so zapornice skupaj z regulirano strugo Ljubljanice, Tromostovjem, Čevljarskim mostom in Trnovskim pristanom, z Odlokom o razglasitvi del arhitekta Jožeta Plečnika v Ljubljani za kulturne spomenike državnega pomena (Ur. l. RS, št. 51/2009), zaščitene kot kulturni spomenik državnega pomena.

Zapornica je torej objekt vodne infrastrukture, v lasti Republike Slovenije, s katerim, v imenu države oz. lastnika, preko Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO), Urada za upravljanje z vodami, Oddelka za povodje Srednje Save, upravlja Ministrstvo za kmetijstvo in okolje (Humar, 2011).

### 3.1.4 Konstrukcija

Podatki v tem poglavju so pridobljeni iz Pravilnika za obratovanje in vzdrževanje zapornic na Mestni Ljubljani (Ambrožev trg) in Gruberjevem kanalu (Roška cesta), (Humar, 2011) in Tehničnega poročila o novi zasnovi hidromehanske opreme jezua na Ljubljani pri Ambroževem trgu (Ljubič, Satler, 2003).

Gradbeni del jezua je bil torej izveden med letoma 1939 in 1944 po načrtih arhitekta Jožeta Plečnika, ki ga je oblikoval kot simbolni slavolok, posvečen vodi, ki zapuša mesto. Zapornica namreč predstavlja zaključek avtorjeve velikopotezne ureditve Mestne Ljubljanice in njenih nabrežij, zato je bila v sklopu jezua načrtovana tudi brv za pešce, s katero bi se zaključila obrežna promenada in se obrnila nazaj proti središču mesta. Prvotno so bila predvidena štiri pretočna polja širine 7 m, ki naj bi zagotavljala, da ob nastopu visokih voda, pri popolnoma odprtih zapornicah, jez ne bo povzročal zajeze gorvodno. To odločitev so podkrepili tudi z izračunom, ki so ga priložili poročilu stavbnega vodstva za osuševanje Barja iz julija 1910 in po katerem mora skupna širina odprtih na jezua znašati 27,70 m oz. 6,925 m za eno pretočno polje (Uhlir, 1956). Obstoječa zajezna zgradba je kombinacija armiranobetonske in zidane konstrukcije, ki je sestavljena iz talnega praga, dveh krajnih (obrežnih) opornikov in vmesnega stebra, ki strugo deli na dve enaki pretočni polji, širine 12,25 m. Širina regulirane struge, ki v odseku

gorvodno od zapornice znaša 24,5 m, in s tem pretočna sposobnost zaporničnega profila tako nista bili zmanjšani, hkrati pa dve prelivni polji zagotavljata tudi večjo obratovalno varnost objekta v primeru okvare dviznega mehanizma ene od zapornic. Padec dna struge Ljubljanice na območju zapornic ni spremenjen in enako kot v mestu znaša 0,7 ‰. Celotna konstrukcija je temeljena na 7 m dolgih lesenih pilotih z okovano konico. Njihova nosilnost je znašala 173,3 kN (po projektu je bila zahtevana nosilnost 137,5 kN) in je bila določena na treh pilotih iz smrekovega lesa, dolžine 7 m in premera 25 cm, ki so bili ravni, sveže olupljeni in povsem gladki ter okovani s štirikilogramskim štiriobim čevljem.

Obrežna opornika sta oblikovana simetrično, kar omogoča enakomeren odtok vode preko obeh pretočnih polj. Na višini praga sta široka 2,50 m in dolga 17,50 m. Njuna višina, kot tudi višina srednjega stebra, znaša od krone talnega praga do vrha opornikov 18,19 m. Vmesni steber, ki je obremenjen predvsem z lastno težo in vodnim pritiskom, meri v dolžino 14,70 m, v širino pa 2,40 m in je dimenzioniran na minimum, zato da ne bi bilo potrebno preveč razširiti profila rečne struge, saj bi to neugodno vplivalo na izgled jezua. Zaradi ugodnejših razmer pri obtekanju (ugodnejši potek tokovnic in s tem povezane manjše energijske izgube ter večja pretočna sposobnost) je gorvodna stran srednjega stebra oblikovana polkrožno, steber pa je tudi dodatno podaljšan, kar ustvarja boljše odtočne razmere v primeru neenakomerno dvignjenih zapornic. Nad obema opornikoma, kot tudi nad vmesnim stebrom, so postavljene zidane kabine, v katerih so nameščeni pogonski mehanizmi in ostale naprave za upravljanje z zapornicami. V stebru in obeh opornikih so izvedeni utori, v katerih so nameščena vodila glavnih zapornic, poleg tega pa so izvedeni tudi nasloni za namestitev dolvodnih pomožnih zapornic, ki se uporabijo v primeru popravil in remontov glavnih zapornic in zapirajo dotok spodnje vode, da se dela lahko opravijo v suhem. V prvotnih poročilih so sicer predvidena tudi vodila za namestitev gorvodnih pomožnih zapornic, ki so namenjene zapiranju dotoka zgornje vode, vendar pa jih niti v projektni dokumentaciji niti na samem objektu ni moč najti, kar predstavlja velik problem v primeru, ko je potrebno popravilo ali obnova glavnih zapornic. Steber je z obrežnima opornikoma povezan preko arhitektonsko oblikovanega mostu, ki služi oskrbi zapornic in spaja prekrите prostore, v katerih je nameščen mehanizem za dviganje in spuščanje zapornic. Most je s statičnega vidika obravnavan kot nosilec na dveh opornikih, dimenzioniran pa je na obtežbo  $3,4 \text{ kN/m}^2$ .

Talni prag je dolg 13 m in je, tako na gorvodnem kot tudi na dolvodnem robu, zavarovan z 12 cm debelo zagatno steno. Steber v strugi povezuje z obrežnima opornikoma in je temeljen na koti 279,65 m, razen na dolvodni strani, kjer skupaj z opornikoma in stebrom tvori enotno fundacijo na koti 278,70 m oziroma 2 m pod nivojem podslapja. Krona praga se nahaja na nadmorski višini 281,41 m. Za zaščito površine praga pred abrazijskim delovanjem vode, katere hitrost lahko na pragu naraste tudi do 6,7 m/s, je izvedena petcentimetrska zaščitna plast, ki jo tvorita sloj za izravnavo

debeline 2 cm in tricentimetrski zaščitni sloj iz diamant betona, znamke Spezial, kremenjaka in portland cementa.

Na odseku gorvodno od zapornice sta obrežji struge zavarovani z betonskimi obrežnimi zidovi, katerih lice se v naklonu 5:1 dviguje 20 cm nad projektirani nivo zaježitve, t.j. 287,30 m. Nad zidovi je izvedena 1m široka berma, na katero je priključena zatravljena brežina z naklonom 2:3. Tudi dno struge je gorvodno od zapornice zavarovano, in sicer s 40 cm debelim betonskim tlakom, katerega debelina se na 30-metrskem odseku gorvodno od zapornice, kjer se struga tudi razširi na 27,10 m oz. 26,60 m, poveča na 60 cm. Približno 77 m dolvodno od zapornice je izveden prehod na že regulirano strugo Ljubljance, katere dno je široko 20,5 m, naklon brežin, ki so do višine 4,10 m nad dnom zavarovane s 30 cm debelim tlakom (kamnito zložbo), ki ima oporo v nožici brežine, pa znaša 2:3. Podslapje, ki poskrbi za disipacijo energije s tvorbo ustreznih talnih vrtincev in katerega dno je, glede na dno ostale struge, 70 cm nižje, v dolžino meri 60 m, dno struge na tem odseku pa je zavarovano s 15 cm debelim betonskim tlakom. Po podatkih, ki so navedeni v Pravilniku za obratovanje in vzdrževanje zapornic na Mestni Ljubljani (Ambrožev trg) in Gruberjevem kanalu (Roška cesta), je, tako kot na gorvodni strani, tudi na 30-metrskem odseku dolvodno od zapornice, dno zavarovano z ojačenim betonskim tlakom, debeline 60 cm, kar se sklada tudi z načrti zapornice, ki so priloženi poročilu o izvedeni HMR. Zaključek podslapja je izveden v obliki zagatne stene s kamnometom. Prehod iz profila opornih zidov v profil normalne dolvodne brežine je izveden postopoma, s čimer se preprečuje tvorba vrtincev, ki bi z erozijskim delovanjem poškodovali brežine, s tem pa so tudi stroški vzdrževanja tega pomembnega odseka rečnega korita zmanjšani na minimum.

#### **3.1.4.1 Ribja steza**

Podatki v tem poglavju so pridobljeni iz Rojnik (2005) in Šveglj, Remec (2002).

Za obrežnim opornikom jezua se na desnem bregu struge nahaja ribja steza, ki je namenjena prehodu rib preko zaporničnega profila v času, ko so zapornice zaprte, in tako zagotavlja povezanost vodnega habitata, ki bi ga jez sicer razdelil. Sestavljena je iz dveh delov, pri čemer fiksni del predstavlja 1,0 m širok betonski kanal z bazeni, gibljivi del pa je izveden v obliki jeklenega nagibnega žleba širine 0,8 m in dolžine 8,0 m, ki se je prvotno dvigal in spuščal s pomočjo ročnega vretenskega gonila, medtem ko danes za to skrbi hidravlični pogon (ta je bil nameščen skupaj z novim nagibnim žlebom med sanacijo v obdobju 2003–2005). S prilagajanjem naklona jeklenega žleba se tako ročno uravnava višinska razlika med zgornjo in spodnjo vodo na zapornici. Na vtoku v ribjo stezo so nameščene tudi rešetke iz jeklenih palic, ki preprečujejo vnos plavja in s tem morebitno zamašitev ribje steze.

Že kmalu po začetku obratovanja zapornic, ko so projektirani nivo zaježitve spustili za 2,10 m, je postala ribja steza nefunkcionalna, pri čemer je ostalo več desetletij, v vsem tem času pa so ribe in drugi vodni organizmi lahko prehajali preko zaporničnega profila samo takrat, ko sta bili zapornici delno ali popolnoma odprti. V letih 2003–2005 je bil v sklopu sanacijskih del na zapornici izveden tudi projekt sanacije jaška gibljivega dela ribje steze, v okviru katerega so porušili deformirano betonsko steno na vodni strani jaška in jo nadomestili z novo (deformirana stena je namreč onemogočala montažo novo izdelanega jeklenega žleba ribje steze s hidravličnim pogonom). Prav tako so obnovili poškodovano zaledno steno jaška in dotrajani venec s preklado ter po končanih delih zgornji del jaška, ki skupaj s starim dvižnim mehanizmom sodi v sklop Plečnikovega kulturnega spomenika, vrnil na njegovo prvotno mesto. Ta projekt je ribjo stezo ponovno vrnil v njeno funkcijo, tako da je le-ta od leta 2005 funkcionalno sposobna in obratuje, kadar so zapornice spuščene oz. zaprte. Ribja steza s pripadajočo mehansko opremo, t.j. gibljivim delom steze s pogonom, se sicer od sanacije dalje tudi redno vzdržuje, vendar pa se, po besedah upravljavca objekta, postavlja vprašanje njene učinkovitosti. Po njegovih navedbah naj bi, po izkušnjah zaporničarjev, ribe preko zaporničnega profila namesto po ribji stezi, raje prehajale pod samo zapornico, kar je trenutno, zaradi slabega tesnjenja zapornice na pragu, možno, tudi kadar je ta zaprta. Ker pa študije, v zvezi s prehajanjem rib pod zapornico, niso bile izvedene, ni mogoče ugotoviti dejanske učinkovitosti ribje steze v obstoječem stanju (Humar, 2013). Razmere se bodo seveda spremenile, ko bo izvedena sanacija zapornice, s katero bo doseženo ustrezno tesnjenje tako na pragu kot tudi ob bokih in ribe ne bodo več mogle prehajati pod zapornico, ko bo ta zaprta. V tem primeru bo delujoča in učinkovita ribja steza nujna, saj bo predstavljala edino, za vodne organizme prehodno, povezavo med zgornjo in spodnjo vodo ter tako zagotavljala neprekinjenost (povezanost) naravnega rečnega habitata.



Slika 11: Elektroomarica s stikali za upravljanje ribje steze

### 3.1.5 Hidromehanska oprema

Podatki v tem poglavju so povzeti po Humar (2011) in Ljubič, Satler (2009).

#### 3.1.5.1 Splošno

Šele 11 let po zaključku gradbenih del, t.j. leta 1955, je zapornica na Mestni Ljubljani pri Ambroževem trgu dobila tudi hidromehansko opremo in začela opravljati svojo funkcijo. V vsako pretočno polje je bil vgrajen komplet zapornic, ki je sestavljen iz dveh zaporničnih tabel. Spodnja tabla, imenovana tudi »tabla II«, je kotalna zapornica, obešena na Gallovih verigah, medtem ko je zgornja tabla, imenovana »tabla I«, drsna zapornica, katere premik se izvaja preko jeklenih zobatih drogov. Tabli lahko premikamo skupaj ali ločeno. Obe zapornici, zgornja in spodnja, sta izdelani v jekleni kovičeni izvedbi, nekateri deli, ki so namenjeni predvsem tesnjenju, pa so leseni. Širina zapornic znaša 12,05 m.

#### 3.1.5.2 Obratovanje

Prvotno predvidena kota zaježitve je bila postavljena na nadmorsko višino 287,30 m (globina vode pred zapornico v tem primeru znaša 5,90 m), vendar so jo že kmalu po začetku obratovanja zapornic spustili za 2,10 m, t.j. na koto 285,20 m (dejanska višina bi morala raznašati 285,31 m, kar pa ni doseženo zaradi neizvedbe tesnilnega dela na nožu zapornice), ki predstavlja tudi najnižjo koto zaježitve, ki jo je z zapornicami še mogoče vzdrževati. Leta 1995 je bila, na podlagi študije: Študija možnih posledic kratkoročnih ukrepov pri sanaciji zapornic na Ambroževem trgu in Gruberjevem kanalu za izboljšanje vodnega režima Ljubljane (Globokar, Sušec-Šuker, 1994), ki jo je pripravilo vodnogospodarsko podjetje Hidrotehnik iz Ljubljane, ta kota zvišana za 40 cm, na koto 285,60 m, ki velja še danes. Pri tem je mogoče z dviganjem in spuščanjem zgornje drsne tablaste zapornice regulirati samo 40 cm prelivne višine, medtem ko je za večje regulacije pretoka že potrebno dvigati spodnjo kotalno zapornico, oz. celoten komplet zapornic v pretočnem polju.

V splošnem je torej z zapornicami mogoče regulirati pretoke večje od 4 m<sup>3</sup>/s in manjše od 125 m<sup>3</sup>/s. Če pretok naraste preko zgornje meje, se zapornice popolnoma odprejo, tako da več ne vplivajo na odtok vode in s tem na nivo vode gorvodno.

V sledeči preglednici so navedeni podatki o obratovalnih lastnostih zapornic.

Preglednica 1: Manipulacijske karakteristike zapornic (Humar, 2011, str. 5)

Spust zgornje table	1,99 m
Višina zapiranja	5,89 m
Višina skupaj pomaknjenih tabel	3,90 m
Gib obeh tabel	5,00 m
Vlečna sila spodnje table	2 x 363,0 kN
Vlečna sila zgornje table	2 x 205,0 kN
Hitrost gibanja spodnje table	0,20 m/min
Hitrost gibanja zgornje table	0,20 m/min

### 3.1.5.3 Pogon

Za komplet zapornic v vsakem pretočnem polju se elektromotorji s pripadajočimi pogonskimi mehanizmi nahajajo v zidanih stebrnih kabinah nad obrežnima opornikoma, dvizni mehanizem, nameščen v kabini nad srednjim stebrom, pa poganjajo isti motorji preko prestavnih gonil in transmisijskih gredi. Gre za elektromotorje z dvojnimi kratkostičnimi kletkami, ki se vklapljujejo z zaščitnimi motorskimi stikali in tripolnimi daljinskimi stikali (dve tripolni daljinski stikali za posamezen motor). Pogon se z elektromotorja prenaša na električno sklopko in od tam preko zaprtega zobniškega reduktorja ter stožčastih in čelnih zobnikov na pogonski kolot, ki vprijetje Gallove verige pri spodnji, oziroma zobati vlečni drog pri zgornji tabli. Čas, ki je potreben za dvig zapornice iz skrajne spodnje v skrajno zgornjo lego, znaša približno pol ure. Med dviganjem spodnje kotalne zapornice se Gallove verige nabirajo v posebnih lovilih, kar preprečuje morebitne poškodbe le-teh ob ploščah.

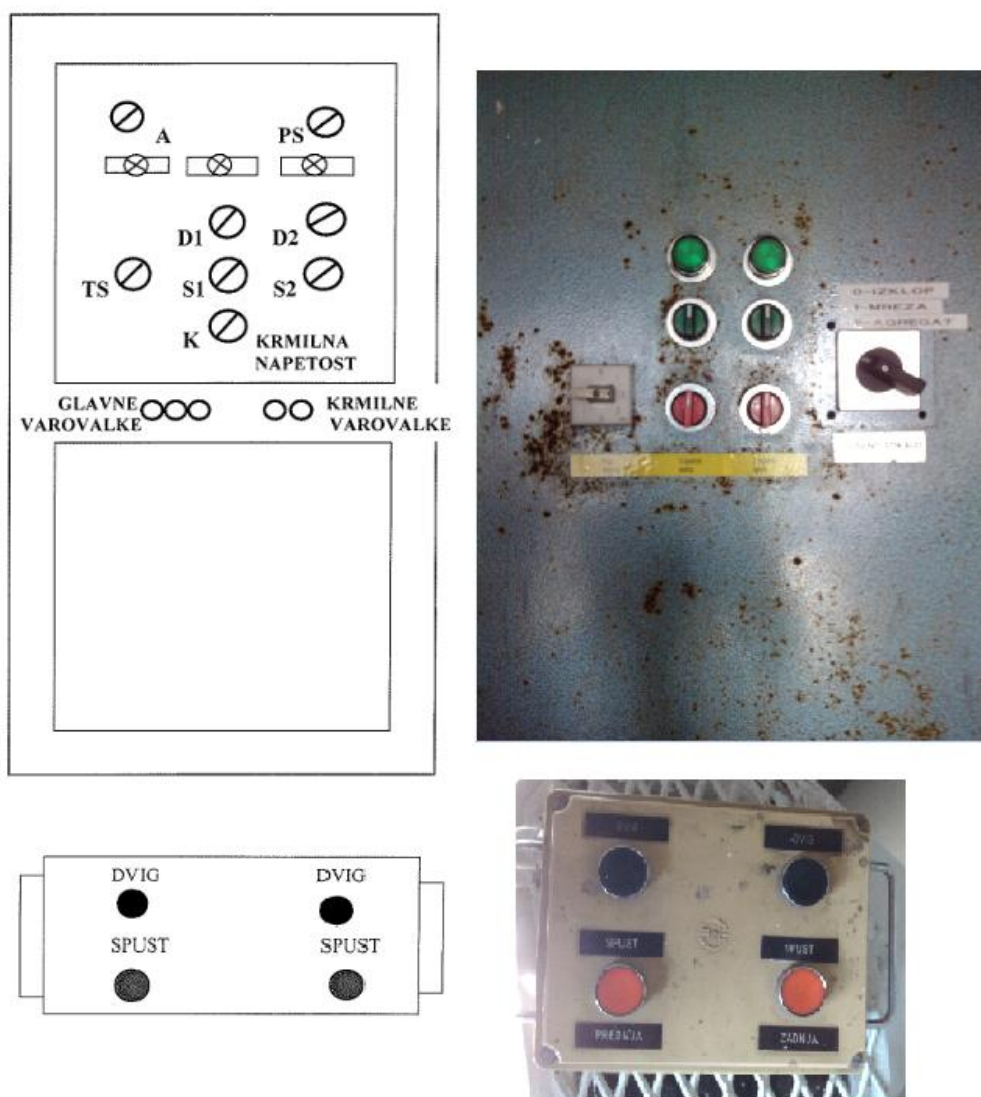
Za primer izpada električnega omrežja, na katero je priključena zapornica, je v strojnici nameščen dizelski električni agregat, ki skrbi, da je tudi v takšni situaciji možno dviganje in spuščanje zaporničnih tabel z elektromotorjem.

Za primer okvare elektromotorja obstaja tudi možnost preklopa na povsem ročni pogon zapornic. V ta namen je pred motorjem vgrajen poseben zaprt zobniški reduktor, ki ga po potrebi, preko posebne sklopke, lahko priključimo na os motorja. To naredimo z vzvodi, s katerimi hkrati preko stikala tudi izklopimo elektromotor in razpremo čeljusti elektromagnetne zavore, ki skrbi za ustavitev table v poljubni legi in se aktivira takoj, ko ustavimo motor. Zaradi varnosti motorja ni mogoče vključiti, vse dokler je priključen ročni pogon. Pri ročnem pogonu premikamo zapornično tablo z vrtenjem ustrezne ročice (za vsako tablo po ena ročica), pri čemer, v primeru, da to izvajata dve osebi, ročni pritisk znaša v povprečju 175 N/osebo.



### 3.1.5.4 Upravljanje

Upravljanje zapornic je ročno in se, za vsako pretočno polje posebej, izvaja iz strojnice, v kabini nad obrežnim opornikom. V ta namen je v vsaki strojnici nameščena pločevinasta elektroomarica s stikalno (krmilno) ploščo na sprednji strani (po ena elektroomarica za obe zapornični tabli). Dviganje in spuščanje zaporničnih tabel pa se lahko izvaja tudi z mostu zapornice, in sicer preko pilotskih stikal, priključenih na elektroomarice. Pri tem je potrebno paziti, da sta zgornja in spodnja zapornična tabla ves čas vodoravno poravnani. Prav tako je pri dviganju in spuščanju zapornic vedno potrebno sočasno pritisniti na obe tipki »dvig« oz. »spust« posameznega pilotskega stikala (vsako zapornično tablo namreč upravljamo s svojim pilotskim stikalom, ki ima 2 tipki za dvig in 2 tipki za spust table). Odpiranje zapornic je končano, ko sta le-ti 20 cm pred koncem vodil, medtem ko je spuščanje zaporničnih tabel končano, ko se razbremenijo verige zadnje table.



Slika 12: Shema in fotografija stikalne omarice na zapornici (zgoraj) in pilotskega stikala za dvig/spust zapornic (spodaj), (shemi privzeti iz: Humar, 2011, str. 4, 5)

Za preprečitev hoda zaporničnih tabel preko skrajnih leg in, da tabli pri dvigovanju oz. spuščanju ne zapustita druga druge (med obema tablama bi se namreč v tem primeru pojavila odprtina), so nameščena končna stikala, ki samodejno izključijo motorje in aktivirajo zavoro.

Za vsako manipulacijo z zapornicami, ki se odraža na spremembi pretoka dolvodno in vpliva na hidrološke razmere pred zapornico oz. na razmere na celotnem Ljubljanskem Barju, je torej nujna prisotnost strokovno usposobljene osebe – zaporničarja, katerega odločitev, o dviganju ali spuščanju zapornic, temelji izključno na opazovanju nivoja gladine Ljubljani pri zapornici, v Lipah ter na mostu čez Iščico pri Mokarju. Zato je stalna kota zajezitve (285,60 m n. v.), ki jo je potrebno vzdrževati, z barvo označena na obeh obrežnih zidovih tik gorvodno od zapornice ter na vodomernih latah pri samih zapornicah.

### 3.2 Pretekla sanacijska dela

Podatki v poglavju so povzeti po Ljubič, Satler (2009) in Pirc, Križanič, Kovačič (2000).

Že 1956. leta, torej samo leto po pričetku obratovanja, so bila izvedena sanacijska dela na gradbeni konstrukciji zapornice, ki je bila izdelana precej nekvalitetno. V sklopu teh del so popravili dostopni stopnišči na obeh bregovih in glave stebrov ter izvedli tesnitev vseh dilatacijskih stikov in reg, ki so nastale kot posledica posedanja portalov. Nato je bil leta 1984, v okviru sanacije obrežnih zidov Mestne Ljubljani, izveden pregled betonskih in kamnitih delov zapornic, pri katerem je bilo ugotovljeno, da so slednji v zadovoljivem stanju, medtem ko so betonske dele konstrukcije, glede na vrsto betona in obseg poškodb, razdelili v tri skupine:

- 1) dekorativni betoni v vencih in okrasnih delih opornikov ter oken na njih, ki so, razen redkih lasnih razpok, praktično nepoškodovani,
- 2) betoni, vgrajeni v mostno konstrukcijo, so nekoliko bolj poškodovani, vendar še vedno v zadovoljivem stanju,
- 3) najbolj pa so poškodovani betoni, vgrajeni v okrasne stebre pred oporniki, njihove podpore in podstavke korietide ter arhitektonsko oblikovane elemente podpornih stebrov mostne konstrukcije, na katerih so se v polni meri izrazili zmrzovalni učinki in so zato nujno potrebni obnove.

Razen kamnitih delov zapornice, ki so bili obnovljeni v okviru priprav na Plečnikovo razstavo in betonske konstrukcije ribje steze, ki je bila obnovljena v letih 2003–2005, po letu 1956 na gradbenem delu jezua niso bila izvajana večja sanacijska ali rekonstrukcijska dela, kar pomeni, da zgornji opis stanja betonskih delov konstrukcije skoraj v celoti velja še danes.

Remont zaporničnih tabel kot tudi dvižnih mehanizmov je bil izveden v letih 1982 in 1991, medtem ko je bil zadnji večji poseg v hidromehansko opremo zapornice opravljen v obdobju med letoma 2003 in 2005, ko so bile zamenjane vse 4 pogonske Gallove verige, dograjen pa je bil tudi nagibni žleb ribje steze, dimenzij 0,8 x 8,0 m s hidravličnim pogonom. Izvajalec teh del je bilo mariborsko podjetje Montavar Metalna nova d.o.o..

V vmesnem obdobju in po letu 2005 so se izvajala le manjša vzdrževalna dela, pa še ta predvsem na hidromehanski opremi, medtem ko je gradbeni del zapornic skorajda nevzdrževan.

### 3.3 Problematika

Predvsem zaradi dotrajanosti in obrabljenosti hidromehanske opreme zapornice ter njene zastarele in posledično, za današnje razmere neustrezne konstrukcijske zasnove, se pri obratovanju zapornic pojavlja vse več težav. Rešitve za te težave se praviloma poiščejo šele ob njihovem pojavu, pa še te so zgolj kratkoročne narave, medtem ko predlogi in projekti oz. načrti, ki bi resnično odpravili napake in dolgoročno rešili to problematiko ter uredili področje upravljanja zapornic na Mestni Ljubljani, ostajajo zgolj na papirju.

Težave pri obratovanju zapornic so sledeče:

- Ker so vsi leseni deli, tako na spodnji kot tudi na zgornji tabli, horizontalna in vertikalna tesnila ter prelivni rob zgornje zapornice, močno poškodovani ali pa jih sploh več ni, zapornica ne zagotavlja ustreznega tesnjenja. Tako na primer manjka nož na spodnjem robu spodnje kotalne zapornice, kar onemogoča tesnjenje na prelivnem pragu, zato je tudi pri povsem zaprti zapornici puščanje (pretok preko prelivnega polja) večje od 3 m<sup>3</sup>/s. Danes se ta problem rešuje tako, da se po zaprtju zapornice, na njeno gorvodno stran, tik ob zapornično tablo, namečejo vreče napolnjene s peskom, ki vsaj delno zatesnijo odprtino in zmanjšajo puščanje. To pa je zgolj slaba začasna rešitev, saj je potrebno postopek tesnjenja po vsakem odpiranju zapornice ponoviti. Pri odpiranju zapornice namreč vreče s peskom vodni tok odnese (Ljubič, Satler, 2009). Dobro tesnjenje zapornic je še posebej pomembno v času nizkih pretokov, ko lahko prekomerno puščanje povzroči, da voda več ne preliva zapornic (puščanje  $\geq$  dotok) in zato vodni tok ni ozračen, zaradi česar se že tako nizka koncentracija v vodi raztopljenega kisika, dolvodno od zapornic še dodatno zmanjša. Namreč, v poletnem času, ko so pretoki običajno najmanjši, je temperatura vode najvišja, zato je vsebnost raztopljenega kisika, ki je med drugim odvisna tudi od temperature vode, v tem času najmanjša (nasičena koncentracija v vodi raztopljenega kisika je večja pri nižjih in manjša pri višjih T). Koncentracijo kisika v vodi pa v tem obdobju leta še dodatno zmanjšujejo alge in druge vodne rastline, ki se, v toplejši in s hranili bogatejši vodi, hitro množijo in, predvsem v

nočnem času, ko fotosinteza ne poteka, porabljajo velike količine kisika. To pa pomeni poslabšanje življenjskih pogojev za ribe in nekatere druge rečne organizme, kar lahko v skrajnem primeru privede tudi do množičnih poginov in postopne degradacije vodnega biotopa. Če je puščanje zapornic večje od dotoka, to pomeni tudi znižanje vodostaja Ljubljani gorvodno od zapornic, t.j. v mestu in na Barju, kar pa je tako z ekološkega kot z estetskega vidika nesprejemljivo, zato je v tem primeru nujno ukrepanje in izvedba zasilne tesnitve zapornice.

- Ko je zapornica odprta, se na prelivnem pragu pogosto zatakne deblo ali pa se nabere vejevje, kar onemogoči spust in popolno zaprtje zapornice. Tako se zopet pojavi problem tesnjenja zapornice na pragu in posledično prekomernega odtekanja vode preko zaporničnega profila. Ko vodne razmere to dopuščajo, je potrebno mehansko odstraniti zataknelo plavje in zapreti zapornico ter jo zatesniti (Ljubič, Satler, 2009).
- Popravljanje in vzdrževanje zaporničnih tabel, jeklenega praga s horizontalnim tesnilom ter vodil zapornic z vertikalnimi tesnili v nišah stebrov je praktično nemogoče, saj pomožne zapornice, ki bi omogočale opravljanje naštetih del v suhem, niso bile izdelane. Prav tako niso bili izvedeni utori v opornikih, ki bi omogočali namestitev tovrstnih zapornic. To predstavlja velik problem, saj so zapornice, zaradi nezmožnosti rednega vzdrževanja, zapisane propadanju. Po podatkih Šveglja in Remca (2002) je bila tako že leta 2001, ko je bil s strani Inštituta za metalne konstrukcije izveden pregled stanja hidromehanske opreme zapornice, njena jeklena konstrukcija močno korodirana, medtem ko so bili jekleni profili, ki tvorijo ogrodje zaporničnih tabel, na nekaterih predelih, predvsem pri nožu, zviti. Poleg tega je bilo ugotovljeno, da popravljanje kovičene jeklene konstrukcije zapornice z zamenjavo delov in varjenjem ne pride v poštev, pač pa bi bilo potrebno celotno konstrukcijo izdelati na novo (Ljubič, Satler, 2009).
- Na odseku dolvodno od zapornice prihaja v času majhnih pretokov in ob nenadnih dvigih zapornice do erozije, izpiranja in razkrajanja mulja ter posledično do zmanjšanja vsebnosti v vodi raztopljenega kisika, kar poslabšuje življenjske razmere za organizme v vodotoku. Tako je na primer nenadzorovano odprtje zapornic po dolgotrajni suši, pri katerem je prišlo do splakovanja ogromnih količin nagnitega sadja in zelenjave, ki so jih v Ljubljani odvrkli s centralne ljubljanske tržnice (kar je sedaj prepovedano) ter večjih količin mulja s struge gorvodno od zapornice, povzročilo zadušitev več ton rib. Zaradi tega je moralo, po sklepu sodišča, podjetje Hidrotehnik, kot nosilec koncesije za upravljanje z zapornicami na Mestni Ljubljani, ki je dvig le-teh tudi izvedlo, Ribiški družini Vevče plačati kar sto tisoč evrov odškodnine (Petkovšek, 2012). Po navedbah Jerneja Šegatina iz Ribiške družine Barje prihaja občasno do pogina rib tudi v spomladanskem času, in sicer zaradi prehitrega odprtja zapornic in posledičnega prezgodnjega znižanja nivoja vodne gladine gorvodno od zapornic, zaradi česar lahko ribe, ki se v tem času ravno drstijo in se zato nahajajo v strugah pritokov

Ljubljanice, ostanejo na suhem. Poleg pogina rib pa v tem primeru pride tudi do pogina morebitnega zaroda. Prav tako naj bi se, po pričevanju ribičev, večkrat zgodilo, da so zaporničarji ob nalivih v poletnih mesecih prehitro dvignili zapornice in s tem povzročili dvig večje količine mulja, ki je ribam zamašil škrge ter jih zadušil. Tudi v obdobju običajnih pretokov (20–60 m<sup>3</sup>/s) naj bi, zaradi občasnega odpiranja in zapiranja zapornic, predvsem v jutranjem, redkeje pa tudi v popoldanskem času, prihajalo do škodljivega ekstremnega nihanja gladine Ljubljanice v spodnjem toku, kar naj bi, po besedah ribičev, močno vplivalo na ribolov (Gjura, T., 2008).

- Neučinkovitost ribje steze v obstoječem stanju ni ovira prehodu vodnih organizmov, saj ribe in drugi vodni organizmi lahko prehajajo preko zaporničnega profila, četudi kar pod zapornico in ne po ribji stezi. Še največji problem obstoječe ribje steze, ki ga opazimo že med sprehodom mimo jezua po levem bregu Ljubljanice, trenutno predstavljajo neustrezno nameščene rešetke na vtoku v ribjo stezo, katerih kovinske palice so postavljene vertikalno, t.j. pravokotno na smer vodnega toka, zaradi česar se na in ob njih nabira listje, trava, veje in drugo plavje, ki ga s seboj nosi vodni tok in ribam zapira dostop v kanal ter ga maši. To pa pomeni, da je doseženi učinek rešetak ravno nasproten od želenega, saj je njihova osnovna naloga prav preprečevanje vtoka plavajočih predmetov v kanal ribje steze ter njegovega posledičnega mašenja. Temu problemu bo vsekakor potrebno posvetiti pozornost po oz. ob sanaciji hidromehanske opreme jezua, ko bo puščanje zapornic odpravljeno in prehod organizmov pod zaporničnimi tablami, ko bodo te spuščene, ne bo več mogoč. Takrat bo potrebno opraviti tudi študijo učinkovitosti ribje steze ter izvesti avtomatizacijo njenega delovanja, ki bo zagotavljala, da se bo steza samodejno prilagajala koti zgornje vode, s čimer bo zagotovljena stalna povezanost oziroma celovitost vodnega habitata. V primeru, da se bo tudi po sanaciji zapornic obstoječa ribja steza izkazala za neučinkovito, bo potrebno tudi za ta problem poiskati ustrezno rešitev.



Slika 13: Zastajanje plavja ob rešetki na vtoku v ribjo stezo

- Ker je bila kota zajezitve s prvotnih 287,30 m znižana na sedanjih 285,60 m, lahko z dviganjem in spuščanjem zgornje drsne table uravnavamo zgolj 40 cm prelivne višine (najnižja kota zajezitve, ki jo z obstoječimi zapornicami še lahko vzdržujemo, znaša namreč 285,20 m). To pomeni, da je potrebno za ohranjanje dogovorjene kote zajezitve, že pri relativno majhnem povečanju pretoka Ljubljance, odpirati spodnjo kotalno zapornico oz. komplet obeh tabel, kar za seboj povleče številne težave, kot so dvigovanje in izpiranje mulja (posledično poslabšanje življenjskih pogojev za vodne organizme), nenadno in znatno povečanje pretočnih hitrosti v profilih neposredno pod zapornico, odnašanje s peskom napolnjenih vreč, ki so namenjene tesnjenju zapornice in jih je potrebno po njenem zaprtju nadomestiti ter možnost zatikanja oz. zastajanja plavja na območju prelivnega praga, kar onemogoča zapiranje in tesnjenje zapornice in ga je zato potrebno pred spuščanjem le-te mehansko odstraniti. Dodatna prednost prelivanja zapornic v primerjavi s podlivanjem je tudi ozračevanje ali aeracija vodnega curka, pri čemer v vodo prihajajo večje količine kisika, ki je na voljo ribam in drugim vodnim organizmom in tako ugodno vpliva na življenjske razmere v vodotoku. Pri toku vode pod zapornicami učinek aeracije namreč ni prisoten.
- Ker je upravljanje z zapornicami ročno in je zato za vsako manipulacijo nujna prisotnost zaporničarja na samem objektu, se postavlja vprašanje varnosti in zanesljivosti obratovanja. Tako bi lahko prepozna reakcija zaporničarja, ki ne bi pravočasno odprl zapornic, predvsem v primeru izrednih naravnih pojavov, kot je na primer pojav ekstremnih padavin nad območjem gorvodno od zapornice, privedla do poplav na Ljubljanskem barju in v mestu, katerih obseg in jakost bi bila znatno večja kot v primeru, če bi bile zapornice odprte pravočasno. Po drugi strani bi imela tudi napačna presoja zaporničarja, ki bi prehitro ali celo po nepotrebnem dvignil zapornice, neugodne posledice, kot so prekomerno znižanje gladine gorvodno od zapornice, nepotrebno dviganje mulja in poslabševanje življenjskih pogojev v reki nizvodno od zapornice ter nepotrebni stroški, povezani s tesnjenjem zapornice z vrečami peska. Vse to pa je seveda neposredno povezano z merjenjem in spremljanjem pretokov Ljubljance gorvodno od zapornice. Sedaj je namreč manipulacija z zapornicami odvisna izključno od odločitev zaporničarja, ki temeljijo predvsem na opazovanju kote vodne gladine tik pred zapornico. Meritve pretoka Ljubljance z avtomatsko merilno postajo se izvajajo le na vodomerni postaji Moste I, ki pa se nahaja dolvodno od sotočja Mestne Ljubljance z Gruberjevim prekopom, kar pomeni, da je merjen zgolj celokupni pretok Ljubljance, na podlagi katerega je praktično nemogoče natančno uravnavanje zapornic. Prav pomanjkanje natančnih in ažurnih podatkov o vodostaju oz. pretoku vzvodno od zapornic, v kombinaciji z ročnim upravljanjem le-teh, tako predstavlja eno največjih težav, ki onemogočajo natančno in hitro ter posledično zanesljivo manipulacijo.
- Kljub rednemu vzdrževanju je električna oprema zapornic, vključno z agregatom, elektromotorji in ostalimi pogonskimi mehanizmi, dotrajana in zastarela ter zato potrebna

zamenjave (Ljubič, Satler, 2009). Zaradi dotrajanosti naprav je namreč verjetnost okvare le-teh velika, s staranjem pa se iz leta v leto le še povečuje. S tem se seveda povečuje tudi nevarnost poplav v Ljubljani in na Barju, ki bi, v primeru, da bi zapornice zaradi okvare ostale zaprte ali le delno odprte, nastopile pri manjših pretokih od poplavnih, oziroma bi bila njihov obseg in jakost pri istem pretoku večja.

- Precejšen problem pri obratovanju zapornic predstavlja tudi plavje, ki se nabira neposredno pred zapornico. Ker namreč gorvodno od zapornice ni bila izvedena t.i. lovilna zavesa, ki bi zadrževala plavje in preprečevala, da bi to prišlo prav do zapornice, je odstranjevanje plavja zelo oteženo, zato se na vodni gladini pred zapornico pogosto zadržujejo veje, manjša debela in drugi večji plavajoči predmeti, ki jih, prelivajoča se voda, ne odnese preko zaporničnega profila. Plavljenje oziroma splakovanje takšnih večjih kosov plavja preko prelivnega roba zgornje zapornice (t.j. kadar je spodnja tabla spuščena) skorajda ni mogoče, saj so prelivne višine tudi pri povsem spuščeni zgornji zapornični tabli praviloma premajhne. Zato je v takšnem primeru plavje potrebno bodisi odstraniti mehansko ali pa dvigniti komplet obeh zapornic (spodnjo in zgornjo) in ga odplakniti dolvodno. Zaradi odsotnosti lovilne zavesa poleg plavja predstavljajo težavo, ali celo potencialno nevarnost za zapornico, tudi morebitni čolni, ki bi se odvezali oz. odtrgali s sidrišča in trčili v zapornico ter jo poškodovali. Ker ni lovilne zavesa, pa sedaj obstaja tudi nevarnost, da v primeru odpovedi pogona, čoln, ki po Ljubljani prevažata potnike, vodni tok odnese do zapornice, kjer bi trk lahko privedel do resnejših poškodb oseb na krovu ali v najslabšem primeru celo do smrtnih žrtev.



Slika 14: Zatkanje plavja na prelivnem robu zgornje table (bala sena)

- Kot v ugotovitvah poročila o Obnovi zapornic na Ljubljani (vzdrževalna dela) navaja Pirc (2000), je iz splošnega opisa stanja zapornic razvidno, da so določeni betonski deli na stebrih in podporah jezua tako močno poškodovani, da so že v kritičnem stanju in zato nujno potrebni obnove. Ker je od nastanka navedenega poročila minilo že 13 let, medtem pa na betonskem delu jezovne zgradbe niso bila izvajana nikakršna sanacijska dela, lahko upravičeno sklepamo, da se je stanje teh betonskih delov konstrukcije še poslabšalo. Če to pomeni, da je atmosferskim vplivom (predvsem vodi in zraku) in s tem procesu korozije izpostavljena armatura v teh betonskih elementih, lahko to, v primeru, da gre za nosilne elemente konstrukcije, privede do velikega zmanjšanja njihove trdnosti oz. nosilnosti, kar bi v najslabšem primeru lahko pripeljalo celo do porušitve dela ali celotne konstrukcije. To pa bi pomenilo katastrofo tako za Ljubljano kot za celotno Ljubljansko barje.
- Zapornice v sedanjem stanju ne omogočajo prehoda obvodnim živalim, kot so vidre, nutrije in pižmovke, preko zaporničnega profila, saj so obrežni zidovi na obeh straneh zapornice previsoki, da bi živali lahko zapustile reko ter po kopnem obšle oviro, ki jo predstavlja jezovna zgradba. Čeprav vidre, ki so še posebej pomembne, saj gre za domorodno in mednarodno zaščiteno živalsko vrsto pod posebnim varstvom države, pa tudi druge obvodne živali, kot povezovalni koridor med Ljubljanskim barjem in Savo uporabljajo Gruberjev prekop (Mestna Ljubljana ni primerna zaradi visokega obrežnega zidovja in odsotnosti obvodne vegetacije), je bil, v okviru projekta Z vidro skozi prestolnico, tudi za zapornice pri Ambroževem trgu pripravljen predlog rešitve, ki bi omogočila prehod živali, ki bi po naključju zašle v Mestno Ljubljano, mimo jezua in tako zagotavljala povezanost obvodnega habitata (Hönigsfeld Adamič et al., 2011).
- Dodaten problem, ki je prav tako povezan z zastarelostjo hidromehanske opreme, predstavljajo rezervni in nadomestni deli za zapornice. Teh namreč, prav zaradi zastarelosti opreme, ni mogoče kupiti na tržišču, pač pa jih je potrebno izdelati po naročilu, kar poleg velikih stroškov pomeni tudi znatno daljše dobavne roke. To pa v primeru okvare pogonskega mehanizma pomeni dolgotrajnejšo neoperativnost zapornic v enem ali celo obeh pretočnih poljih, kar lahko, v kombinaciji s pojavom visokih voda (če pride do okvare v času, ko so zapornice spuščene), privede do katastrofalnih poplav na območju mesta in Ljubljanskega barja. Nasprotno bi preveliko znižanje vodne gladine Ljubljanske gorvodno od zapornic, do katerega bi prišlo zaradi daljše nezmožnosti zaprtja zapornic zaradi okvare le-teh v odprtem stanju, pomenilo znatno poslabšanje življenjskih pogojev za ves vodni živelj, hkrati pa bi se znižala tudi gladina talne vode na Barju, kar bi povzročilo pospešeno posedanje tal in s tem povezane morebitne poškodbe objektov in druge infrastrukture ter poslabšanje razmer za kmetijsko proizvodnjo.



### 3.3.1 Poskusi reševanja problematike v preteklosti

Kot je razvidno, se pri obratovanju zapornic pojavljajo številni problemi, ki bi jih bilo potrebno čim prej odpraviti, saj bo le tako lahko zapornični objekt ustrezno deloval in v celoti služil svojemu namenu. To pa je mogoče zgolj s temeljito sanacijo gradbenega dela jezua ter zamenjavo celotne hidromehanske opreme s sodobnejšo in primernejšo. Prav za slednjo je bilo v preteklosti izdelanih že kar nekaj projektov, ki pa so do danes ostali neuresničeni. Tako je podjetje VGP Hidrotehnik iz Ljubljane že leta 1994 izdelalo Študijo možnih posledic kratkoročnih ukrepov pri sanaciji zapornic na Ambroževem trgu in Gruberjevem kanalu za izboljšanje vodnega režima Ljubljane (R/284), v kateri je bila med drugim podana ocena stanja zapornic, določena nova kota zaježitve (285,60 m, prej 285,20 m) ter preučena možnost za vzpostavitev informacijskega merilnega sistema in avtomatizacijo zapornic. Štiri leta kasneje je Vodnogospodarski inštitut (VGI) Ljubljana izdelal Študijo možnosti izboljšanja stanja vodnega režima Ljubljane (C-692). Nato je leta 1999 Ministrstvo za okolje in prostor (MOP), Uprava RS za varstvo narave, v sodelovanju z Mestno občino Ljubljana pripravilo projektno nalogo z naslovom Obnova zapornice na Ljubljani, PGD, PZI (5.15/1), ki sta jo MOL in MOP sofinancirala v razmerju 70 % : 30 %, njen cilj pa je bila izdelava projektne dokumentacije, in sicer projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD) in projekta za izvedbo del (PZI) za celovito sanacijo zapornice. Ta naj bi obsegala zamenjavo dotrajanih Gallovihi verigi, ureditev nedelujoče ribje steze, izvedbo zaščitne zavese za lovljenje plavja in avtomatizacijo upravljanja z zapornicami. Avgusta leta 2000 je tako Vodnogospodarski inštitut izdelal projekt za Obnovo zapornic na Ljubljani, vzdrževalna dela (C-976), v katerem je podal predloge oz. rešitve za vsa, v nalogi zahtevana sanacijska dela, skupaj z okvirno oceno stroškov, ki naj bi znašali okrog 40 milijonov takratnih slovenskih tolarjev (SIT) oziroma okoli 167.000 EUR. Čeprav projektna naloga tega ni zahtevala, so elaboratu priložili tudi predlog nove hidromehanske opreme, ki je predvideval zamenjavo obstoječih dvodelnih tablastih zapornic s kombiniranimi zapornicama s hidravličnim pogonom, ki bi bili sestavljeni iz spodnje kotalne tablaste zapornice in zaklopke za fino regulacijo kote zaježitve. Dodatno je bila dokumentaciji priložena tudi zasnova pomožnih zapornic, s katerimi bi zaprli dotok vode do posameznega pretočnega polja in tako omogočili izvajanje remontov in morebitnih sanacijskih del na glavnih zapornicah v suhem. V ta namen je bila predvidena izdelava kompleta dveh varjenih zapornih elementov, ki bi skupaj tvorila pomožno zapornico za zapiranje enega pretočnega polja, zapiranje in odpiranje te zapornice pa bi se vršilo v mirni vodi s pomočjo avtodvigala, ki bi imelo nameščene posebne dvižne klešče. Vrednost nove hidromehanske opreme je bila ocenjena na 137 milijonov SIT (572.000 EUR), medtem ko bi vrednost obnovitvenih in sanacijskih del, ki bi jih bilo potrebno izvesti na betonskem delu konstrukcije pred montažo nove opreme, po ocenah znašala okrog 150 milijonov SIT (625.000 EUR). To torej pomeni, da bi celovita sanacija zapornice skupno znašala okrog 287 milijonov SIT (1,2 milijona EUR). Oktobra leta 2001 je VGI izdelal dopolnitev zgornjega projekta (C-976/1), v kateri pa so bila obravnavana zgolj sanacijska

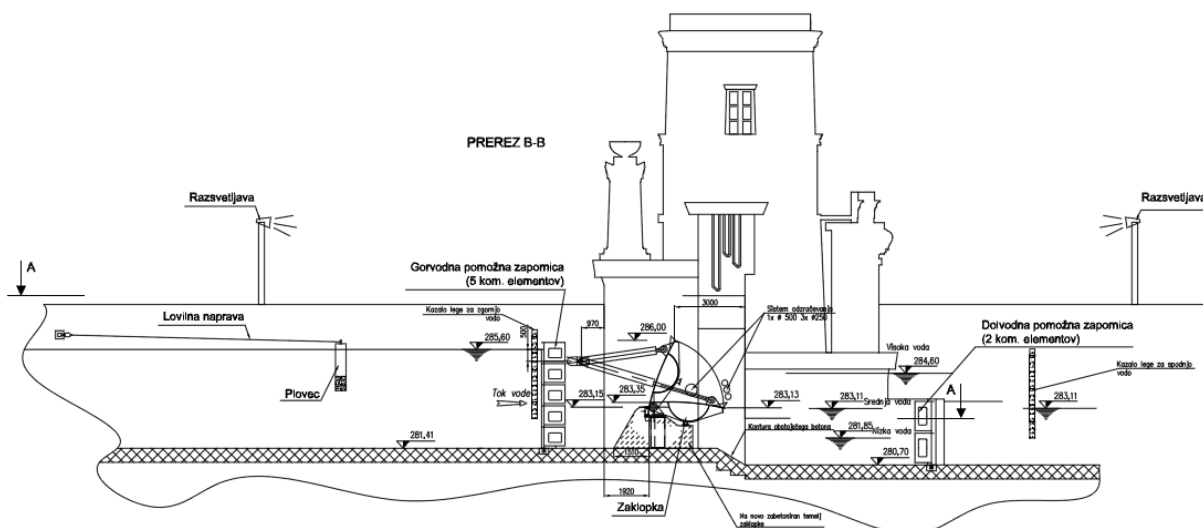
dela, ki so bila s projektno nalogo tudi zahtevana. V dopolnitvi so bile predlagane določene spremembe prvotnega projekta in podani natančnejši opisi nekaterih elementov, ki jih bo potrebno sanirati. Tako je bil prvotno predlagan elektromotorni pogon gibljivega dela ribje steze, medtem ko dopolnjena različica projekta predvideva hidravlični pogon. Ostalih večjih sprememb v dopolnitvi ni zaslediti. Leta 2002 je Inštitut za metalne konstrukcije (IMK) Ljubljana izdelal Strokovno mnenje o stanju hidromehanske opreme na jezua na Ljubljani pri Ambroževem trgu s predlogom ureditve (P-25338), ki ga je financiral Zavod za varstvo okolja (ZVO) mestne občine Ljubljana. V poročilu je opisano slabo stanje hidromehanske opreme jezua, skupaj z večino problemov, navedenih v prejšnjem odstavku. Sanacija, oziroma popravilo obstoječe opreme se zato v elaboratu niti več ne omenja, pač pa je za ureditev razmer predlagana zamenjava celotne zastarele hidromehanske opreme z novo. Dvodelne tablaste zapornice naj bi tako nadomestili zaklopki z obojestranskim hidravličnim pogonom, njihovo upravljanje pa bi bilo avtomatizirano. Poleg avtomatskega upravljanja bi bilo možno še ročno upravljanje na samem objektu in daljinsko upravljanje iz nadzornega centra, iz katerega bi se preko videokamer vršil tudi nadzor celotnega objekta. V poročilu je podano tudi mnenje v zvezi z ribjo stezo, in sicer, da je le-to potrebno v celoti obnoviti, bodisi v fiksni betonski ali gibljivi jekleni izvedbi. Poleg tega je predlagana izgradnja zaščitne lovilne naprave za čolne, barke in plavajoče pomole, da ti ne bi mogli poškodovati zapornic v primeru, da se odvežejo ali odtrgajo s sidrišča. Poročilo navaja, da bi bila za vgradnjo nove hidromehanske opreme potrebna tudi sanacija betonske konstrukcije jezua (tako prelivnega praga kot bočnih delov), pri čemer naj bi se izvedle niše za naslonitev gorvodnih in dolvodnih pomožnih zapornic, vsa ta dela pa bi se izvedla brez kakršnihkoli posegov v zaščitni arhitektonski del Plečnikovega spomenika. Avtorji strokovnega mnenja predlagajo, da se za namene projektiranja in avtomatizacije predlaganih novih zapornic izvedejo hidravlične modelne raziskave, ki bodo priskrbele vse potrebne podatke za optimizacijo njihove izdelave in kasnejšega obratovanja. Na podlagi poročila IMK Ljubljana je MOL-ZVO še istega leta izdelal projektno nalogo z naslovom Idejni projekt (IP) in Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD) za novo zasnovano hidromehanske opreme (zapornice) na jezua na Ljubljani pri Ambroževem trgu (P. N. št. 3547-3/02), katere namen je bil, kot pove že sam naslov naloge, izdelava IP in PGD za zamenjavo obstoječe hidromehanske opreme jezua z novo. Tehnična dokumentacija (IP in PGD) naj bi torej predstavljala nadgradnjo dokumentacije glede na nivo obstoječe, ki je bila namenjena zgolj obnovi zapornic. Decembra 2002 je tako podjetje Hytep iz Ljubljane, v skladu s predlogi IMK Ljubljana, v prvi fazi izdelalo idejni projekt nove zasnove hidromehanske opreme (HMO-1609-014), v katerem so bile obdelane 4 variante možnih rešitev. Naslednje leto je konstrukcijske rešitve, izbrane variante iz idejnega projekta, hidravlično preveril in ustrezno dopolnil Inštitut za hidravlične raziskave Ljubljana (Hidroinštitut), ki je po naročilu MOL-ZVO opravil hidravlično modelno raziskavo (HMR) jezua in nove zapornice na Ljubljani pri Ambroževem trgu (interna št. 849). Poleg preverjanja ustreznosti predlaganih rešitev so bili cilji HMR tudi:

- določitev hidravličnih razmer in njih ustreznosti ob zapornici za razne hidrološke razmere,

- določitev hidrostatičnih in hidrodinamičnih obremenitev na zapornice in dvižne mehanizme,
- hidravlično optimiziranje celotnega sklopa jezua in zapornic z namenom zmanjšanja investicijskih stroškov celotnega obsega del in sočasno povečanje zanesljivosti in varnosti obratovanja (Rodič et al., 2003).

Podjetje Hytep je nato oktobra 2003, ob upoštevanju rezultatov HMR, izdelalo tehnični del projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja (HMO-1609-014), ki je v vsakem pretočnem polju predvideval vgradnjo zaklopke z enostranskim, gorvodno nameščenim in potopljenim hidravličnim pogonskim cilindrom, ki bi bila vležajena z dvema ležajema na zgornjem robu novega betonskega praga (Ljubič, Satler, 2009). V PGD so poleg projekta nove hidromehanske opreme zapornice podani tudi projekti za pomožne gorvodne in dolvodne zapornice, zaščitno lovilno napravo ter video nadzorni sistem jezovne zgradbe. V tej fazi so bile tako že natančno določene dimenzije in položaj betonskega praga, dimenzije zaklopke, oblika in število rezalcev vodnega curka, sistem odzračevanja prostora pod zaklopko, oblika prelivnega roba zaklopke,..., skratka vse, kar je potrebno za izdelavo PZI ter nato za pripravo razpisa za oddajo del in končno za samo izvedbo. Investicija je bila ocenjena na skupno 338 milijonov SIT (1,41 milijona EUR), vendar pa do danes, kljub vloženim finančnim sredstvom in izdelani projektni dokumentaciji, do realizacije projekta še ni prišlo.

Februarja 2009 je podjetje Montavar projekt LJ, po naročilu Vodnogospodarskega podjetja (VGP) Hidrotehnik, ki je imetnik koncesije za upravljanje in vzdrževanje zapornic na Ljubljani, izdelalo poročilo o stanju zapornic (HMO-0102-09), ki je nekakšen povzetek PGD iz leta 2003 (avtorja poročila sta namreč tudi avtorja PGD). Poročilo vsebuje tudi novo projektantsko oceno rekonstrukcije, ki je bila izdelana na podlagi tega PGD in naj bi brez davka na dodano vrednost (DDV) znašala 2 milijona evrov. V zaključku poročila je podan sklep, da je kakršnokoli popraviljanje obstoječih zapornic nesmiselno, pač pa bo potrebno pristopiti k izgradnji novih, in sicer na podlagi že izdelane tehnične dokumentacije, ki jo bo potrebno dopolniti, oz. popraviti v skladu z veljavno zakonodajo (ZGO, Zakon o vodah (ZV), Zakon o varovanju okolja (ZVO),...) ter tako, ob upoštevanju preostalih zahtev glede Mestne Ljubljane, pripraviti enoten projekt za rekonstrukcijo zapornic (Ljubič, Satler, 2009).



Slika 15: Dispozicija nove hidromehanske opreme jezua na Ljubljanici pri Ambroževem trgu, kot je bila predvidena v PGD iz leta 2003 (Ljubič, Satler, 2003, risba 1, dispozicijski načrt št. 1-1-1609-014-10)

### 3.3.2 Ljubljana povezuje

S prvim januarjem 2012 se je začel izvajati projekt Ljubljana povezuje (angl. Ljubljana connects), ki ga v okviru programa LIFE+ Nature & Biodiversity 2010 sofinancira Evropska komisija, njegov cilj pa je izboljšanje življenjskih pogojev ogroženih vrst rib (sulec, platnica in blistavec) v Ljubljanici. Nosilec projekta je Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (Katedra za splošno hidrotehniko), kot partnerja pa pri projektu sodelujeta še podjetji Geateh in Purgator. Ker je vodni režim Ljubljanice, ki predstavlja enega osnovnih dejavnikov, kateri vplivajo na življenjske pogoje v reki, odvisen skoraj izključno od delovanja oz. upravljanja zapornic pri Ambroževem trgu, so bistveni ukrepi, ki naj bi bili izvedeni v okviru projekta, predvideni prav na zapornici. Tako naj bi se prenovila ribja steza in kar je najpomembnejše, sanirala naj bi se hidromehanska oprema zapornice, pri čemer je predvidena odstranitev zgornje zapornične table ter zamenjava le-te z regulacijsko zaklopko, kot je že leta 2000 v projektu za Obnovo zapornic na Ljubljanici predlagal VGI. Poleg tega je v okviru projekta predvidena izdelava hidrološkega in hidravličnega modela, ki bosta pomembno prispevala k razumevanju razmer na porečju Ljubljanice, kar pa je bistvenega pomena za natančno in učinkovito upravljanje z zapornicami. Šele s tem bo namreč izpolnjen temeljni pogoj za izdelavo ustreznega algoritma za manipulacijo z zapornicami, ki bo, ne nazadnje, omogočil tudi njihovo avtomatizacijo. Projekt naj bi bil zaključen do 31. decembra 2015, njegova skupna vrednost pa znaša 1.188.015 EUR (Vidmar, 2012).

Kot vidimo, je za sanacijo jezua na Ljubljanici pri Ambroževem trgu na izbiro več možnih rešitev, pri čemer pa vse temeljijo na zamenjavi celotne hidromehanske opreme zapornice. Obstoječi dvodelni tablasti zapornici tako lahko nadomestimo z/s:

- 1) novima dvodelnima tablastima zapornicama starega tipa (tip Eglisau),

- 2) kljunastima dvodelnima tablastima zapornicama (tip Reckingen),
- 3) dvodelnima tablastima zapornicama z zaklopko,
- 4) zaklopkama (glede na vrsto in položaj pogona je možnih več različic).

Vsaka izmed zgoraj naštetih variant nove hidromehanske opreme ima svoje prednosti kot tudi svoje slabosti oziroma pomanjkljivosti. Kljub temu je potrebno izmed možnih rešitev izbrati najustreznejšo, ki jo bo nato v fazi projektiranja potrebno ustrezno prilagodili obstoječi arhitektonsko zaščiteni betonski konstrukciji jezua. Če želimo torej izmed množice možnih rešitev izbrati najprimernejšo, moramo med seboj primerjati posamezne variante. To pa je mogoče le, če določimo primerjalne kriterije. Ti so pri različnih rečnih zapornicah, med katere sodi zapornica na Ljubljani, lahko zelo različni in odvisni predvsem od lastnosti oz. značilnosti vodotoka ter specifik, povezanih z mikrolokacijo, človekovimi dejavnostmi na in ob vodi, urbanizmom,.... Prav pri vodotokih kot je Ljubljana, ki teče skozi urbano okolje prestolnice, so kriteriji vezani na takšne specifikke pogosto celo odločilni pri izbiri vrste zapornic in pri določanju algoritma za njihovo upravljanje. Kljub temu je v vsakem primeru potrebno izbrati takšno hidromehansko opremo, ki izpolnjuje tudi kriterije, vezane na značilnosti vodotoka, saj so ti, ne glede na vse, še vedno bistveni za pravilno delovanje zapornic in vključevanje jezovne zgradbe v okolje. Kriteriji, vezani na lastnosti vodotoka, so pri zapornici na Ljubljani sledeči: neovirano prevajanje visokovodnih pretokov ter hkrati možnost natančne regulacije odtoka v sušnih obdobjih, sposobnost izpiranja mulja z odseka gorvodno od zapornice ter sposobnost prevajanja plavja preko zaporničnega profila. Vendar natančno uravnavanje odtoka in kote zajezone vode ni vezano le na karakteristike vodotoka, pač pa so od njega odvisne številne človekove dejavnosti od kmetijstva, plovbe, ribištva in turizma, do odvodnjavanja kanalizacijskega sistema Ljubljane in ne nazadnje vzdrževanja celotne grajene infrastrukture Ljubljanskega barja. Pomembna kriterija pri izbiri vrste hidromehanske opreme sta seveda tudi cena, vezana na obseg (gradbenih) del, ki bi jih bilo potrebno opraviti pred vgradnjo nove opreme in življenjski pogoji v vodotoku.

## 4 PRIMERJAVA MOŽNIH VARIANT NOVE HIDROMECHANSE OPREME

### 4.1 Dvodelna tablasta zapornica

#### 4.1.1 Opis

Tablaste zapornice so najstarejša (najpreprostejša) vrsta zapornic in se lahko uporabljajo kot površinske (na površinskih vodotokih – pomični jezovi) ali kot globinske (talni izpusti, dovodi na turbine HE) zapornice. Njihova osnovna naloga je regulacija pretoka, v primeru, da gre za globinske zapornice, pa lahko prevzamejo tudi vlogo varnostnih ali pomožnih zapornic. Lahko rečemo, da gre za najbolj vsestransko uporaben tip zapornic. Glede na način gibanja jih uvrščamo med translacijske zapornice (odpiranje in zapiranje poteka po ravni črti), sile (vodni pritisk), ki nanje delujejo, pa se z zaporničnih tabel prenašajo na stebre med prelivnimi polji. V odvisnosti od vrste trenja pri dviganju in spuščanju zapornice ločimo drsno in kotalno izvedbo. Med vsemi zapornicami omogočajo pri danem razponu največjo zajezno višino, in sicer do 20 m pri razponu  $\leq 20$  m oz. do 8 m pri razponu  $\leq 40$  m.

Osnovno nosilno konstrukcijo zapornice sestavljajo jekleni elementi, ki so praviloma (razen pri redkih starejših izvedbah zapornic) nameščeni horizontalno, saj tak način izvedbe, v primerjavi z vertikalnimi nosilnimi sistemi, zagotavlja učinkovitejši prenos obtežbe in hkrati omogoča lažjo namestitve kolesnih mehanizmov pri kotalnih izvedbah zapornic. Uporabljajo se tri vrste glavnih nosilnih elementov, in sicer: polnostenski nosilci, paličja in loki z zatego. Vertikalne razdalje med njimi so lahko enake ali se spreminjajo z globino, odvisne pa so od razpona, hidrostatičnega tlaka in višine zapiranja. Odločitev o enakih ali spremenljivih razdaljah med horizontalnimi nosilci temelji predvsem na ekonomiki izvedbe, saj prva možnost pomeni manjši izkoristek materiala zaradi »predimenzioniranja« posameznih delov zapornice, medtem ko druga možnost pomeni zahtevnejše in zato dolgotrajnejše ter dražje projektiranje. Tako se predvsem pri višjih zapornicah, kjer je razlika tlakov med zgornjim in spodnjim delom zapornice večja, poslužujemo spremenljivih razdalj med nosilci, medtem ko so pri nižjih zapornicah razdalje med nosilci načeloma enake. Izbira med posameznimi tipi horizontalnih nosilcev je povezana predvsem s pogoji obratovanja zapornice, njenimi dimenzijami in ekonomskimi vidiki. Medtem ko so palični nosilci običajno lažji od polnostenskih, pa je njihova izdelava precej zahtevnejša in posledično dražja. Nosilci, oblikovani kot lok z natego, so s konstrukcijskega oz. statičnega stališča učinkovitejši od polnostenskih nosilcev, vendar so v primerjavi s slednjimi precej dražji in bolj podvrženi učinkom utrujanja, s čimer je povezana tudi življenjska doba hidromehanske opreme. Za izbiro najprimernejšega in ekonomsko najsprejemljivejšega nosilnega sistema za konkreten problem je torej potrebno primerjati vse možne variante in izmed njih izbrati najustreznejšo. Horizontalni nosilci so pritrjeni (v preteklosti kovičeni, danes bodisi vijačeni bodisi varjeni) na vertikalna stranska nosilca, preko katerih se horizontalna obtežba prenaša na ležaje koles in preko njih na vodila v stebrih nišah,

oziroma neposredno na steber, če gre za drsne tablaste zapornice. Zaporno ploskev predstavlja jeklena pločevina, pritrjena na gorvodno ali na dolvodno stran okvirja (odvisno od mesta vgradnje), tako da s statičnega vidika govorimo o ploskovnih konstrukcijah, ki jih praviloma dimenzioniramo na obremenitev, ki nanje deluje v spuščnem (zaprt) stanju, ko so hidrostatični tlaki največji. Če se razdalje med horizontalnimi nosilci z globino zmanjšujejo, je zaradi enakomerne razporeditve obtežbe mogoče uporabiti pločevino konstantne debeline, kar je tudi z ekonomskega vidika najustreznejše. V nasprotnem primeru je namreč potrebno z globino povečevati debelino pločevine, stiki zaporne ploskve pa se v tem primeru izvedejo s polno penetriranimi zvari na mestih najmanjših napetosti oz. obremenitev. Pločevina zaporne ploskve je na nizvodni strani med horizontalnimi nosilci ojačena z varjenimi vertikalnimi rebri, za katera se uporabljajo jeklene palice, plošče ali kotniki z različno dolgima stranicama. Na precej večjih medsebojnih razdaljah kot rebra so med horizontalnimi nosilci nameščene tudi t.i. diafragme (plošče jeklene pločevine), ki potekajo po celotni debelini zapornične table in obtežbo z zaporne ploskve prenašajo na glavne nosilce ter tako zagotavljajo enakomernije deformacije table, hkrati pa sodelujejo tudi pri prevzemu vertikalne obtežbe. Tako diafragme kot tudi horizontalni nosilci (če gre za polnostenske nosilce) morajo biti izvedeni z odprtini, ki omogočajo izhajanje zraka in dotekanje vode pri spuščanju zapornice oz. iztekanje vode ter morebitnega peska in mulja pri dviganju zapornice. Predvsem pri zaporničnih tablah s polnostenskimi nosilci, kjer je površina, na kateri se lahko nabirata mulj in pesek, največja, je potrebno pri dimenzioniranju dvižnih mehanizmov upoštevati tudi obtežbo s sedimenti. Razdalje med nosilnimi elementi zapornice in luknje, ki omogočajo dostop do zaprtih delov table, morajo biti dovolj velike, da je omogočeno izvajanje popravil in vzdrževalnih del ter redno pregledovanje stanja opreme.

Obtežba se torej z zapornične table na fiksni (betonski) del konstrukcije lahko prenaša neposredno s stranskega nosilca zapornice (drsna izvedba) ali posredno preko koles (kotalna izvedba). Glede na število, medsebojno povezanost in način pritrditve koles ločimo 4 vrste kotalnih zapornic, in sicer: zapornice s fiksnimi kolesi (fixed wheel gate), zapornice z gibljivimi kolesi (wheel-mounted gate), verižne zapornice (tractor/caterpillar gate) ter Stoney zapornice (Stoney gate). Izbira optimalnega tipa zapornic tudi v tem primeru temelji na ekonomiki, dimenzijah zapornice, velikosti hidrostatičnega tlaka in obratovalnih zahtevah. Drsne zapornice se tako uporabljajo predvsem pri globinskih odvzemih in talnih izpustih, kjer operaciji odpiranja in zapiranja zapornic potekata pod polnim pretokom in velikim tlakom. Glavna prednost te vrste zapornic je vsekakor odsotnost tesnil, saj je tesnjenje zagotovljeno s trenjem med površino natančno obdelane drsne kovinske (aluminij, nerjaveče jeklo ali bron) plošče na zapornični tabli in površino takšne plošče pritrjene na vodila. Hkrati predstavlja veliko drsno trenje tudi težavo, saj zahteva velike pogonske agregate, ki služijo ne le odpiranju zapornic, pač pa morajo omogočiti tudi potisk v smeri zapiranja, saj lastna teža zapornic načeloma ne zadošča za premagovanje velikih trenjskih sil pri njihovem spuščanju. Poleg tega je izdelava in montaža drsni plošč zahtevna in draga, saj se morajo te, za dobro tesnjenje zapornice, natančno prilegati druga drugi.

Po drugi strani natančno prilagajajo se torni ploskvi poskrbita za enakomerno porazdelitev obtežbe po celotni stični površini, kar pomeni, da ni neugodnega pojava konic napetosti, obenem pa je, zaradi odsotnosti koles in ostalih pripadajočih mehanizmov, konstrukcija same table drsne zapornice najpreprostejša izmed vseh vrst tablastih zapornic. Med kotalnimi zapornicami so zapornice s fiksnimi ali gibljivimi kolesi, zaradi enostavne konstrukcijske zasnove, najcenejše, vendar primerne predvsem kot površinske zapornice, saj so hidrostatični tlaki, ki nanje delujejo, majhni in ne povzročajo prevelikih obremenitev ležajev in osi koles. V primeru globinskih zapornic, na katere deluje mnogo večji vodni pritisk, se zato praviloma uporabljajo verižne ali Stoney zapornice, pri katerih se horizontalna obtežba enakomerno porazdeli na večje število manjših medsebojno povezanih koles (npr. »neskončna« veriga koles v primeru verižne valjčne zapornice), ki so pritrjena na robni nosilec zapornične table. Ker se pri tem obtežba z zapornice prenaša neposredno na površino koles (preko stika tabla-plašč kolesa) in ne na njihove osi, je nosilna konstrukcija zapornice veliko manj obremenjena, zaradi enakomernejše porazdelitve obtežbe pa je tudi obremenitev vodil mnogo manjša. Pri teh tipih zapornic je kotalno trenje v primerjavi z zapornicami s fiksnimi ali gibljivimi kolesi prav tako znatno manjše, kar pomeni manjšo silo potrebno za dvig in spust table ter posledično manjši in cenejši pogonski agregat. Glavno razliko med verižnimi in Stoney zapornicami predstavlja način pritrditve koles. Pri Stoney zapornicah namreč veriga koles (kotalke) ni pritrjena na zapornično tablo, tako da je gibanje kolesnega mehanizma neodvisno od gibanja table in od vodil. Kljub temu se pogosto uporablja žična vrv, ki vzdržuje ustrezen vertikalni položaj verige koles s tem, da je na enem koncu pritrjena na zapornično tablo, nato je preko škripca povezana s kotalkami ter na drugem koncu fiksirana v betonsko konstrukcijo stebra. Gibanje kotalk v prečni smeri preprečujejo stranska vodila nameščena v nišah stebra. Prednosti Stoney zapornic so enake kot pri verižnih zapornicah, saj se tudi v tem primeru obtežba s table ne prenaša na osi koles pač pa na njihovo površino, kar se kaže v majhnih trenjskih silah pri dviganju in spuščanju zapornic.

Vodila, na katera se naslanjajo zapornične table, preprečujejo prekomerne horizontalne pomike zapornice (bodisi v gorvodni bodisi v prečni smeri) in prenašajo obtežbo s table na betonsko konstrukcijo jezua. Nahajajo se v utorih (nišah) v stebrih med prelivnimi polji in so zaradi velikih obremenitev ojačena z jeklom. Medtem ko se pri drsnih zapornicah v ta namen uporablja natančno obdelana drsna kovinska plošča, so pri kotalnih izvedbah nameščene posebne tirnice. V primeru koles z ravnim oziroma rahlo eliptičnim plaščem (zaradi statičnih razlogov pri prenosu zunanjih obtežb na vodila) ali v primeru kotalk so tirnice izdelane iz plošč nerjavečega jekla s povečano površinsko trdoto, predvsem pri zapornicah s fiksnimi in gibljivimi kolesi, kjer se običajno uporabljajo kolesa z utori, pa so tirnice oblikovane podobno kot železniške tirnice in prav tako izdelane iz nerjavečega jekla s povečano površinsko trdoto. Tako pri drsnih kot pri kotalnih zapornicah so tirnice fiksirane na polnostenski nosilec, ki je sidran v betonski steber, kar omogoča enakomerno razporeditev obtežbe in ustrezen prenos le-te s table na steber. Poleg tega takšen način montaže omogoča zelo natančno



namestitev vodil, ki je ključnega pomena za delovanje zapornic, saj bi v nasprotnem primeru mestoma lahko prišlo do pojava konic napetosti in posledično do prekomernih deformacij vodil, ki bi v končni fazi privedle do ustavitve zapornic in onemogočile njihovo nadaljnje obratovanje. Pri oblikovanju in vgradnji tirnic je potrebno paziti, da so kljub majhnim tolerancam pri izdelavi vodil omogočeni pomiki, ki so posledica deformacij zapornične table (rotacija okrog osi tirnice, do katere pride zaradi upogiba table v smeri toka), saj bi v nasprotnem primeru prav tako prišlo do večjih plastičnih deformacij bodisi table bodisi tirnic, ki bi onemogočile nadaljnje odpiranje in zapiranje zapornice. Pri izdelavi niš v betonskih stebrih je posebno pozornost potrebno posvetiti tudi oblikovanju njihovih robov. Zagotoviti je namreč potrebno stalno točko odlepljanja vodnega toka, s čimer preprečimo vibracije zapornice zaradi vrtincev in pulzacij, ki se v primeru nepravilnega oblikovanja pojavijo v utorih. Gorvodni konveksni rob niše mora biti zato pravokoten (običajno je betonski rob dodatno zavarovan z jeklenim kotnikom, da plavajoči predmeti ne poškodujejo ostrega roba), da je omogočeno pravilno odlepljanje tokovnic, medtem ko mora biti dolvodni rob oblikovan krožno, eliptično ali poševno (iz istega razloga kot gorvodni rob je tudi ta običajno zavarovan z jekleno oblogo), da je omogočen postopen in gladek prehod tokovnic v smer glavnega toka.

Za tesnjenje tablastih zapornic se v zadnjem času največ uporabljajo hidrodinamično oblikovana gumasta notna tesnila, vse redkejša pa je uporaba pravokotnih (ploščatih) ali klinastih gumastih tesnil, ki se uporabljajo le še za tesnjenje pri nožu, t.j. na spodnjem robu zapornične table. Tesnila so, odvisno od konstrukcije zapornice, nameščena bodisi na gorvodni bodisi na dolvodni strani table. Glava notnega tesnila je lahko polna ali votla, lahko je ojačena s fluorokarbonsko prevleko, celotno tesnilo pa je lahko ojačeno z vlakni. Ker je torej na trgu na razpolago več različic notnih tesnil, je izbira odvisna predvsem od ekonomike in dostopnosti. Posebno pozornost je pri izdelavi in namestitvi tesnil potrebno posvetiti prehodu iz vertikalnega v horizontalni del, ki se ga izvede z namensko izdelanimi vogalnimi kosi, ki so po naročilu izdelani za vsako zapornico posebej in spojeni z ostalimi deli tesnila. Vogalni deli tesnil naj bodo čim manjši, saj večji kos pomeni večji kalup za ulitje tesnila, to pa seveda pomeni višjo ceno izdelave. Notno tesnilo je lahko nameščeno na stransko ploskev tesnilne pločevine zapornične table ali na stransko ploskev pasnice nosilca, orientirano pa mora biti tako, da glava notnega tesnila pod vplivom vodnega pritiska nalega na tesnilno ploskev, ki je izdelana iz nerjaveče jeklene pločevine in nameščena v stebri niši poleg vodil. Glavna prednost notnih tesnil je namreč prav ta, da stik med tablo in okvirjem zatesnijo šele, ko nanje deluje vodni pritisk, ki pritisne glavo tesnila na tesnilno ploskev. Zato predvsem pri zapiranju, ko je vodni pritisk na obeh straneh zapornice izenačen, delno pa tudi pri odpiranju (del tesnila ki je nad nivojem vodne gladine) zapornice, tesnilo ni v stiku s tesnilno pločevino in tako ne povečuje trenjskih sil, ki jih je potrebno premagovati pri dviganju in spuščanju zapornice. Za tesnjenje stika med zgornjo in spodnjo tablo dvodelne tablaste zapornice se uporabljajo drsna gumasta tesnila, ki pa so pogosto problematična, saj so podvržena veliki obrabi.

Ločimo pet osnovnih vrst pogonskih mehanizmov tablastih zapornic, in sicer: dvižni mehanizem z jeklenimi vrvmi, verižni dvižni mehanizem, hidravlični dvižni mehanizem, dvižni mehanizem z zobatim drogom in dvižni mehanizem z vretenom. Izbira vrste pogonskega mehanizma je odvisna od številnih dejavnikov kot so: dimenzije zapornice, vrsta oz. tip zapornice, mesto vgradnje (velikost hidrostatičnega tlaka), funkcija zapornice in ekonomika, v primeru, ko gre za obnovo ali zamenjavo obstoječe hidromehanske opreme, pa tudi oblika betonskega dela jezovne zgradbe, zahteve povezane z ohranjanjem izgleda objekta (spomeniško varstvo) ter ne nazadnje vrsta obstoječega pogonskega mehanizma. Slednja je namreč odvisna predvsem od starosti opreme. Tako pri novejših izvedbah zapornic prevladuje hidravlični pogon, pri starejših objektih pa sta najpogosteje uporabljena verižni pogon in pogon z jeklenimi vrvmi. Medtem ko so za kotalne izvedbe zapornic primerni vsi naštetni tipi pogona, saj majhne trenjske sile (kotalno trenje) omogočajo spuščanje oz. zapiranje zapornice z njeno lastno težo, pa pri drsnih zapornicah prevladujejo pogoni, ki poleg dvigovanja omogočajo tudi potiskanje zapornice v njeno spodnjo lego. Lastna teža zapornice namreč pogosto ne zadostuje za premagovanje velikih trenjskih sil (drsko trenje). Verižni pogonski mehanizem in pogonski mehanizem z jeklenimi vrvmi imata v osnovi enak princip delovanja. Vrv/veriga je na enem koncu pritrjena na zapornično tablo in preko sistema koles (pri verižnem pogonu zobniki, pri vrvnem pogonu sistem škripcev in koles z utorom) speljana do pogonskega kolesa, ki ga preko pogonskih osi in prestavnih gonil poganja elektromotor ali servomotor. Od pogonskega kolesa teče veriga do posebnih lovil, na katerih se pri dviganju zapornice »nabira odvečna veriga«, medtem ko se »odvečna« jeklena vrv pri dviganju table običajno navija na poseben boben. Predvsem pri zapornicah večjih dimenzij se pri obeh vrstah pogonskega mehanizma pogosto uporablja protiutež, ki je pritrjena na nasprotni konec jeklenice/verige in nameščena v poseben jašek v betonskem delu jezovne zgradbe, po katerem se giblje v nasprotni smeri gibanja zapornice ter skrbi za uravnoteženje sistema, zaradi česar so sile, potrebne za dvig zapornice, minimalne, kar pomeni manjše in posledično cenejše pogonske agregate. Kljub temu je praviloma utež nekoliko lažja od zapornične table, tako da je v primeru okvare pogonskega mehanizma možno spuščanje zapornice zgolj z njeno lastno težo. Pri sistemu s hidravličnim pogonskim mehanizmom je zapornična tabla preko kardanskega zgloba pritrjena na batnico hidravličnega cilindra (največkrat se uporablja pogon z enim hidravličnim cilindrom, možna pa je tudi uporaba dveh sinhroniziranih cilindrov), ki je fiksiran na betonski del konstrukcije. Cilindri so nato preko cevi in regulacijskih ventilov priključeni na eno ali več črpalk, ki hidravlično olje iz rezervoarja črpajo v cilindre in tako zagotavljajo ustrezen tlak, ki drži batnico v želenem položaju. Ko se tlak v hidravličnem cilindru povečuje, se batnica pomika iz cilindra in spušča zapornično tablo, ko pa se tlak v cilindru zmanjšuje, se batnica pomika nazaj v cilindru in odpira zapornico. Prevladujejo zapornice z enim pogonskim cilindrom, število le-teh pa je odvisno od ekonomike, obtežbe zapornice in obratovalnih zahtev zapornice (prevajanje plavja). V zadnjem času se vse pogosteje uporabljajo tudi teleskopski hidravlični cilindri, ki poleg tega, da omogočajo večji hod batnice, zavzamejo tudi manj prostora (manjša, predvsem nižja strojnica), kar omogoča namestitve hidravličnih sistemov tudi

na že obstoječe zapornične objekte in s tem posodobitev njihovega obratovanja. Dvižni mehanizem z zobatim drogom in dvižni mehanizem z vretenom delujeta praktično po enakem principu in se razlikujeta le po elementu, na katerega je obešena zapornična tabla (drog oz. vreteno). Elektromotor ali servomotor, nameščen v stebru med prelivnima poljema preko pogonskih osi in prestavnih gonil, poganja vijačni mehanizem, ki dviguje vreteno, oziroma v primeru zobatega droga, poganja zobnik, ki dviguje drog skupaj z zapornico. Možni sta dve varianti izvedbe, in sicer z enim drogom/vretenom, montiranim na sredini zapornične table, ali z dvema drogovoma/vretenoma, t.j. na vsaki strani zapornice po enim. Odločitev o sistemu z enim oz. dvema drogovoma/vretenoma je tudi v tem primeru odvisna od velikosti zapornice in obtežbe, ki nanjo deluje. Tako pri manjših zapornicah zadostuje en sam drog/vreteno, pri večjih razponih in večjih zajeznih višinah pa je na vsakem koncu table nameščen svoj dvižni mehanizem, kar ne zmanjša zgolj obremenitve samega mehanizma, pač pa tudi obremenitev nosilne konstrukcije table. Pogonski mehanizem z vretenom se najpogosteje uporablja za ročno dviganje in spuščanje zapornic na manjših objektih vodne infrastrukture.

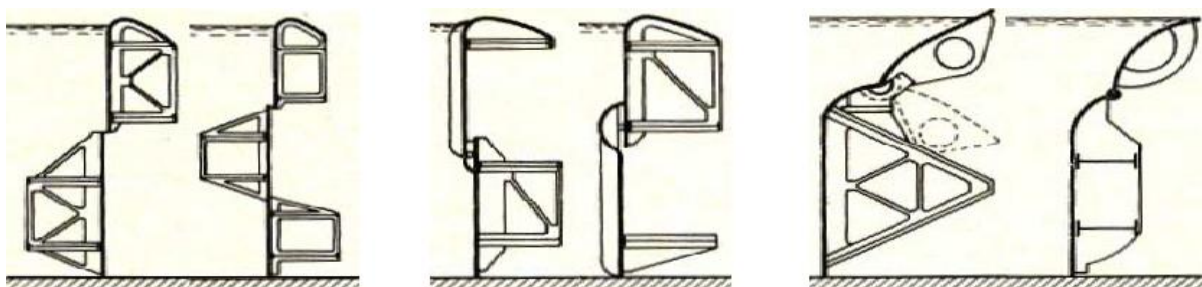
Za zagotavljanje projektirane življenjske dobe zapornice je nujna ustrezna protikorozijska zaščita in njeno vzdrževanje. Osnovna in najpogostejša oblika protikorozijske zaščite so zaščitni premazi, ki vsebujejo vinil ter alkidni in epoksi premazi. Ker je potrebno protikorozijsko zaščito v amortizacijski dobi zapornice redno obnavljati, je potrebno že pri projektiranju paziti na dostopnost posameznih delov zapornice. Deli, katerih pregled, vzdrževanje in morebitna zamenjava po vgradnji hidromehanske opreme ne bodo več mogoči, morajo biti zato izdelani iz korozijsko odpornih materialov. Poleg zaščitnih premazov obstajajo tudi druge oblike protikorozijske zaščite, kot na primer metalizacija in katodna zaščita, ki pa so dražje od klasičnih premazov, zato njihova uporaba ni tako razširjena, oz. se takšne oblike zaščite uporabljajo predvsem v agresivnejših okoljih (morska voda, abrazija), kjer običajni protikorozijski premazi ne bi bili učinkoviti. Ker lahko korozija znatno poveča stroške vzdrževanja zapornic ali skrajša njihovo življenjsko dobo, je zelo pomembno, da pri projektiranju zadostno pozornost posvetimo protikorozijski zaščiti in oblikovanju ustreznih detajlov, ki omogočajo njeno kakovostno izvedbo.

Pomemben del vzdrževanja tablastih zapornic predstavlja tudi redno mazanje gibljivih delov hidromehanske opreme. Mazati je potrebno ležaje koles kotalnih zapornic, zglobe, ki povezujejo zapornično tablo z jeklenico, verigo, hidravličnim cilindrom, ..., pogonske verige, pogonska in druga kolesa, osi ter druge gibljive komponente zapornice. Mazanje mora biti pogosto in izdatno, saj je le na ta način možno preprečiti poškodbe zaradi prevelikega trenja, s tem pa se hkrati preprečuje tudi morebitni vdor vode in mulja v notranjost ležajev. Deli zapornice, ki jih je potrebno mazati in so večji del časa pod vodo ali so zaradi drugih razlogov nedostopni, morajo imeti prigrajene posebne cevi za dovajanje olja oz. masti. Novejše zapornice imajo zato na nedostopnih mestih namesto klasičnih vgrajene t.i. samomazalne ležaje, ki jih po vgradnji ni potrebno mazati. Za namen mazanja opreme in

drugih vzdrževalnih del ter popravil so v stebrih nišah pogosto vgrajeni posebni varovalni elementi, ki omogočajo fiksiranje zapornične table v povsem dvignjenem položaju. V tem položaju namreč elementi dvižnega mehanizma (veriga, jeklenica, hidravlični cilinder,...) niso obremenjeni, zato je njihovo vzdrževanje ne le enostavnejše, ampak tudi mnogo bolj varno.

Na manjših in enostavnejših objektih se uporabljajo tudi lesene tablaste zapornice, pri katerih je zaporna ploskev, ki je pritrjena na jeklen okvir, sestavljena iz lesenih plohov. Dviganje in spuščanje takšnih zapornic se običajno vrši preko ročnega vretenskega gonila, redkeje pa je uporabljen elektromotorni pogon. Izvedba lesenih tablastih zapornic je enostavnejša in posledično cenejša od jeklenih zapornic, vendar pa so te primerne le za manjše razpone in manjše zajezne višine. Poleg tega je tudi njihova življenjska doba krajša od življenjske dobe jeklenih zapornic, katerih predpostavljena (projektirana) amortizacijska doba znaša 50 let.

Posebna oblika tablastih zapornic so tako imenovane dvodelne tablaste zapornice, med katere sodita tudi zapornici na Ljubljani pri Ambroževem trgu. Z namestitvijo manjše – dodatne (zgornje) table h glavni (spodnji) zapornični tabli, je bila omogočena natančnejša regulacija gladine zgornje vode in s tem prelivne višine, zaradi česar so se zmanjšale izgube vode pri prelivanju zapornice. Prav tako so se zmanjšale sile potrebne za dvig zapornice, medtem ko se je svetla odprtina zaporničnega profila lahko povečala. Z možnostjo regulacije prelivne višine je bilo omogočeno tudi boljše odvajanje (večjih kosov) plavja brez odpiranja spodnje table in nepotrebnega velikega zniževanja kote zgornje vode ter posledičnega izpiranja peska, proda oz. mulja iz struge gorvodno. Pri tem ločimo tri tipe zapornic, in sicer: dvodelne tablaste zapornice starejšega tipa (obstoječe zapornice), kljunaste dvodelne tablaste zapornice in dvodelne tablaste zapornice z zaklopko. Za zamenjavo obstoječe hidromehanske opreme jezua pri Ambroževem trgu so načeloma primerni vsi trije tipi zapornic, ki se med seboj razlikujejo predvsem po konstrukciji, manj pa po načinu obratovanja. Tako so za primerjavo med posameznimi tipi zapornic pomembne prav konstrukcijske razlike, ki na koncu tudi odločajo o tem, katera izmed dvodelnih tablastih zapornic je v konkretnem primeru najustreznejša.



Slika 16: Trije tipi dvodelnih tablastih zapornic: starejši tip (levo), kljunaste zapornice (na sredini) in zapornice z zaklopko (desno), (Kryžanowski, 2011, str. 22)

## 4.1.2 Dvodelna tablasta zapornica starejšega tipa (tip Eglisau)

### 4.1.2.1 Prednosti

Zamenjava obstoječih dvodelnih tablastih zapornic starejšega tipa z novima se morda na prvi pogled zdi najprimernejša, oziroma najbolj logična rešitev. Betonske konstrukcije jezua namreč ne bi bilo potrebno spreminjati in prilagajati, pač pa bi se ta le sanirala. Poleg tega tudi ne bi bilo težav z lociranjem in namestitvijo pogonskih agregatov in elektroopreme, saj bi vsi ti elementi zgolj nadomestili staro opremo na njenih sedanjih mestih. Novi zapornici bi bili opremljeni s sodobnimi gumastimi tesnili, in sicer: gumastimi notnimi tesnili na bokih in pri nožu zaporničnih tabel ter drsnima horizontalnima gumastima tesniloma na stiku zgornje in spodnje table. Za tesnjenje na pragu se lahko uporabita tudi ploščati ali klinasti gumasti tesnili, kar pa je odvisno predvsem od konstrukcijske zasnove nove zapornice, oz. od odločitve projektanta. V okviru sanacije zapornic bi bilo potrebno tako v stebrne niše kot tudi v talni prag vgraditi nove tesnilne pločevine (nerjaveče jeklo), na katere naleže glava notnega oz. ploščatega tesnila in zatesni profil. Takšna izvedba tesnil bi v celoti rešila problematiko tesnjenja, ki se na zapornicah pojavlja sedaj. Višini novih zaporničnih tabel, tako zgornje kot tudi spodnje, bi bili manjši v primerjavi z obstoječimi zapornicami. Tako bi maksimalna kota zaježitve znašala 286 m, medtem ko bi bila minimalna kota zaježitve, ki bi jo bilo mogoče z zapornicami še vzdrževati, postavljena na 284,51 m, s čimer bi bile zapornice prilagojene obstoječi nižini kot zaježitve, t.j. 285,60 m. Višina skupaj pomaknjenih tabel bi v tem primeru znašala 3,10 m, maksimalni spust zgornje table pa 1,49 m. Pri obstoječi koti zaježitve bi bilo torej z dviganjem in spuščanjem zgornje table možno regulirati kar 109 cm prelivanja (sedaj le 40 cm), zato ob manjših spremembah pretoka ne bi bilo potrebno dvigovati spodnje kotalne zapornice oz. kompleta obeh tabel. To pomeni, da bi voda večji del obratovalnega časa prelivala zapornici, kar je predvsem pomembno za vodni živelj, ki je odvisen od v vodi raztopljenega kisika, ki prav pri prelivanju zapornic izdatno prehaja iz zraka v vodotok. Prav tako ne bi prihajalo do izpiranja mulja in poslabševanja življenjskih pogojev dolvodno od zapornice v času nizkih pretokov, saj bi se komplet obeh zaporničnih tabel odpiral le v času visokih voda, ko zaradi velikega razredčenja mulja ta ne bi vplival na življenjske razmere v reki. Poleg tega bi večji hod zgornje table<sup>5</sup> omogočal tudi plavljenje večjih kosov plavja preko zaporničnega profila, kar bi se izvajalo z občasnim odpiranjem zgornje table v času običajnih ali nekoliko povečanih pretokov. Manjše in posledično lažje zapornične table pa pomenijo tudi manjše dvižne sile, ki zahtevajo manjše oz. šibkejšje ter zato cenejše pogonske agregate. Z zmanjšanjem višine zaporničnih tabel bi torej hkrati rešili večje število težav, ki se trenutno pojavljajo pri obratovanju zapornic. Robustna konstrukcijska zasnova dvodelnih tablastih zapornic starejšega tipa

---

<sup>5</sup> Absolutni hod zgornje table bi bil v primerjavi s sedanjim sicer 50 cm manjši, vendar pa bi bil njen relativni spust glede na obstoječi nivo zaježitve, večji za kar 69 cm.

pomeni predvsem manjšo verjetnost poškodb oz. večjo obratovalno varnost v primeru trka večjih kosov plavja (večje veje, debela,...) in ledu ter morebitnih odvezanih čolnov ali splavov v zapornični objekt. Prednost tega tipa zapornic pred ostalimi vsekakor predstavlja tudi dejstvo, da je takšna hidromehanska oprema že sedaj vgrajena v jezovno zgradbo in je v preteklosti delovala brez večjih težav, ki bi bile povezane z njeno konstrukcijo. Glavnina težav, ki so se, oziroma se še pojavljajo pri obratovanju obstoječih zapornic, je namreč povezana predvsem z velikim znižanjem projektirane kote zajezitve in dotrajanostjo (starostjo) opreme. Tako tudi rezervni in nadomestni deli za nove zapornice ne bi bili več problematični, saj bi bile le-te sestavljene iz novih komponent sodobne izdelave, ki so na tržišču dostopne hitro in, kar je najpomembnejše, po primerni (konkurenčni) ceni. Prednost vseh tipov dvodelnih tablastih zapornic pred ostalimi izvedbami je tudi ugodna disipacija kinetične energije pri sočasnem iztekanju vode pod spodnjo tablo in prelivanju preko zgornje table oziroma zaklopke. S tem se, v kombinaciji z disipacijo energije vodnega toka v podslapju, zmanjšajo škodljivi erozijski vplivi toka vode na dno in brežine struge dolvodno od zapornice. Pomembna prednost, ki je prav tako skupna vsem tipom tablastih zapornic, je tudi preprosta konstrukcijska zasnova v primerjavi z ostalimi vrstami zapornic. Ta namreč pomeni enostavnejšo in hitrejšo izdelavo zapornic in ne nazadnje tudi enostavnejšo in hitrejšo vgradnjo. Še eno prednost, ki je skupna vsem tablastim zapornicam, vendar v našem primeru ni merodajna, saj je betonska jezovna zgradba že izvedena in se ne sme bistveno spremeniti, pa predstavljajo krajši stebri med prelivnimi polji, ki zagotavljajo boljše vključevanje zaporničnega objekta v prostor. Poleg tega enostaven prenos obtežbe s table zapornice na betonsko konstrukcijo, ki poteka v samo eni smeri, poenostavlja projektiranje in izgradnjo celotnega objekta.

#### **4.1.2.2 Pomanjkljivosti**

Ena izmed večjih pomanjkljivosti vseh vrst tablastih zapornic so utorji oz. niše v stebrih med prelivnimi polji, v katerih so nameščena vodila zapornic. Ti so, zaradi namestitve kolesnega mehanizma, še posebej veliki prav pri kotalnih zapornicah, med katere sodita spodnji tabli zapornice na Ljubljani, kjer dolžina niše znaša 230 cm in širina 80 cm. Problemi, ki se lahko pojavljajo zaradi velikih utorov, so različni, od hidrodinamičnih procesov, kot so vrtinčenje, spreminjanje poteka tokovnic in nestalna točka odlepljanja, ki vplivajo ne le na stabilnost zapornic (vibracije pri odpiranju in zapiranju), ampak tudi na pretočnost profila (velike energijske izgube in s tem povezana manjša pretočna sposobnost pri neki prelivni višini), do zastajanja plavja (to lahko povzroča težave pri zapiranju zapornic) in možnosti pojava kavitacije, ki povzroča erozijo betonskih in jeklenih delov zapornice. Poleg tega velike niše pomenijo tudi znatno oslabitev betonskega prereza stebra, katera pa v obravnavanem primeru ni merodajna, saj gre za obstoječo betonsko konstrukcijo, ki je statično ustrezna. V primeru, da je betonska konstrukcija obstoječih utorov poškodovana, ali če bi bilo potrebno zamenjati obstoječa vodila zapornic, ki so vgrajena v nišah, to predstavlja še dodatno pomanjkljivost, saj je izvedba utorov in vgradnja vodil zaradi majhnih dopustnih toleranc zelo

zahtevna, kar pa seveda vpliva predvsem na ceno del. Drugo pomanjkljivost, ki je prisotna pri vseh vrstah dvodelnih tablastih zapornic, predstavlja stik med zgornjo in spodnjo zapornično tablo. Tesnjenje slednjega je namreč težavno, saj med obratovanjem prihaja do pogoste obrabe drsnih tesnil, kar poleg stroškov za njihovo zamenjavo pomeni tudi pogostejšo neoperativnost zapornice zaradi del. To seveda pomeni povečano nevarnost poplav, saj je evakuacija visokih voda v času remontnih del možna samo preko enega prelivnega polja, medtem ko drugo polje zapirajo pomožne zapornice. Problemi, povezani s težavnim in slabim tesnjenjem zapornic se še posebej izrazito kažejo v zimskem času, ko voda, ki prehaja mimo tesnil, zaradi nizkih temperatur zmrzuje, kar lahko privede celo do blokade zapornic (zaledenitev stika med spodnjo in zgornjo tablo, zaledenitev kolesja kotalnih zapornic,...). Prav zato so tesnila oz. tesnilne površine (poleg vodoravnega tesnila na stiku tabel so problematična tudi bočna tesnila) pri novejših izvedbah zapornic, v krajih, kjer obstaja nevarnost zamrzovanja, ogrevane z električnimi grelci. Poleg tega je potrebno preprečiti tudi zamrzovanje vode na odseku vzvodno od zapornice, za kar se uporablja sistem, ki omogoča vpihavanje stisnjene zraka v vodo, tik gorvodno od zapornice. Ta poskrbi za kroženje vode, ki onemogoči tvorjenje ledu na tem odseku. Da pa ne bi prišlo do nabiranja ledu na gorvodni strani zaporne ploskve, ki bi med drugim povečal težo zapornične table in v najslabšem primeru lahko celo onemogočil njen dvig, se pri novejših izvedbah zapornic na dolvodno stran zaporne ploskve namesti toplotna izolacija. Ker se v zimskem času temperature v Ljubljani lahko spustijo krepko pod ledišče, bi bilo potrebno tudi na zapornici na Ljubljani vgraditi sisteme za preprečevanje zamrzovanja (vsaj sistem električnega ogrevanja tesnilnih površin), kar poleg višje začetne cene hidromehanske opreme pomeni tudi višje stroške obratovanja in vzdrževanja. Glavna pomanjkljivost starejšega tipa zapornic v primerjavi z ostalima tipoma dvodelnih tablastih zapornic je zagotovo hidravlično manj ustrezna oblikovanost prelivnega dela. Najpomembnejša posledica tega je namreč manjša pretočna sposobnost preliava, kar pomeni, da je za prevajanje enakega pretoka preko prelivnega dela zapornice potrebna večja prelivna višina. To posledično pomeni, da je, v primerjavi s kljunasto zapornico ali z zapornico z zaklopko, potrebno prej (t.j. pri manjših pretokih) pričeti z dviganjem kompleta obeh tabel. Prav to pa je ena izmed večjih težav, ki jih želimo, z zamenjavo hidromehanske opreme jezua, odpraviti. Pomembna pomanjkljivost tega tipa zapornic, ki se pojavlja pri sedanjem obratovanju in je prav tako povezana s slabo hidravlično oblikovanim prelivnim delom zgornje table, je tudi slabše prevajanje plavja pri prelivanju preko zapornice. Ne le, da se večji plavajoči predmeti (predvsem pri manjših pretokih) zatikajo ob slabo oblikovan zgornji rob gornje table in tam zastajajo, ampak prepadajoči vodni curek in s tem plavje, ki ga ta nosi s seboj, pri prelivanju tudi zadeva ob dolvodno nameščeno spodnjo zapornično tablo, kar povzroča dodatne obremenitve in vibracije celotne konstrukcije, lahko pa privede tudi do resnejših poškodb spodnje table. Problematično je tudi močno pršenje vode, ki je posledica padanja curka na spodnjo tablo, saj neprestano moči komponente pogonskega mehanizma v stebrih nišah, kar lahko v zimskem času privede do zaledenitve le-teh in do blokade zapornice. Tudi v poletnem času ima to pršenje negativne učinke, saj povečuje verjetnost pojava korozije na

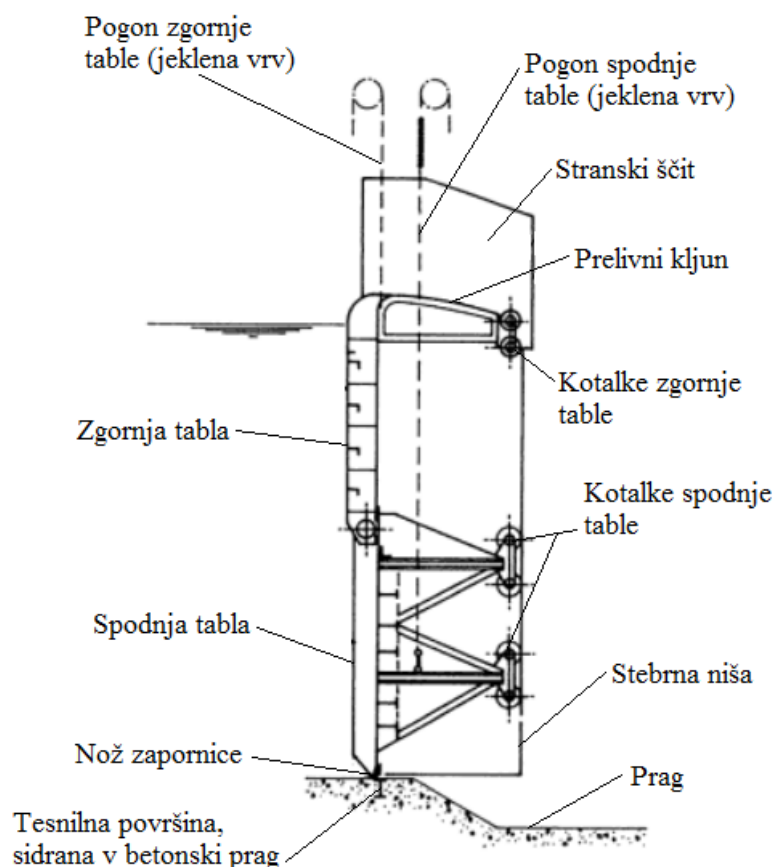
omenjenih komponentah, ki so ves čas izpostavljene vodi. Zamenjava obstoječih zapornic z novimi zapornicami istega tipa prav tako ne bo rešila problematike zatikanja plavajočih predmetov med spodnjo tablo in krono talnega praga, kar pomeni, da bo kljub novi hidromehanski opremi še vedno lahko prihajalo do situacij, ko zaradi večje zataknjene veje ne bo mogoče spustiti zapornice na talni prag in zatesniti zaporničnega profila. V tem primeru bo še vedno lahko prihajalo tudi do poškodb (deformacij) noža, tesnilne površine in samega tesnila, ki jih povzroči zataknjeni predmet, ko zapornica med spuščanjem pritisne nanj s celotno težo. Posledica teh deformacij je netesnost zaporničnega profila, njeno odpravljanje pa je drago in razmeroma dolgotrajno, saj zahteva zapiranje pretočnega polja in popravilo noža ter v najslabšem primeru tudi zamenjavo spodnjega tesnila zapornice. Ker so kolesa kotalnih zapornic potopljena, obstaja možnost zatikanja plavja v kolesni mehanizem zapornice, kar lahko povzroči njeno blokado, plavje pa se lahko zatika tudi v okvir nosilne konstrukcije spodnje table, kar povečuje njeno težo in s tem silo potrebno za dvig zapornice. Vse vrste tablastih zapornic zahtevajo redno in pogosto vzdrževanje, ki obsega predvsem mazanje številnih gibljivih delov (kolesa kotalnih zapornic, dvižne verige/jeklenice/.../), komponente motornega pogona), kar povečuje stroške vzdrževanja, poleg tega pa olje ali mast s potopljenih delov zapornice prehaja v vodotok in ga onesnažuje. Nasprotno lahko neredna vzdrževalna dela hitro privedejo do poškodb in nefunkcionalnosti zapornice. Pomanjkljivost, ki je prav tako značilna za vse tipe tablastih zapornic, predstavljajo velike dvižne sile (še posebej pri sistemih brez protiuteži), ki zahtevajo velike in drage pogonske agregate, ki se poleg tega tudi podvajajo. Največja pomanjkljivost tablastih zapornic, ki pa za zamenjavo obstoječe hidromehanske opreme ni merodajna, so visoki stebri med prelivnimi polji, ki morajo omogočiti polni dvig zaporničnih tabel, nad nivo prelivajoče se visoke vode. Visoki stebri, ki naj bi bili čim bolj vitki, da zavzamejo minimalni del prelivne širine, poleg tega pa je njihov prerez zmanjšan še zaradi niš z vodili, morajo biti sposobni prenašati velike (horizontalne kot vertikalne) obremenitve, zaradi česar sta tako projektiranje kot gradnja le-teh zahtevna in draga, zato so tablaste zapornice znatno dražje od ostalih, npr. segmentnih zapornic. Poleg tega visoki stebri kvarijo izgled jezovne zgradbe in s tem otežujejo njeno vključevanje v prostor.

#### **4.1.3 Kljunasta dvodelna tablasta zapornica (tip Reckingen)**

Kljunaste oziroma kljukaste dvodelne tablaste zapornice (ang. double-leaf hook type gates) so zelo podobne kotalnim dvodelnim tablastim zapornicam starejšega tipa. Konstrukcijska zasnova spodnje zapornične table je namreč skoraj povsem enaka, medtem ko je razlika le v konstrukciji zgornje table, katera ima pri kljunasti zapornici en sam glavni horizontalni nosilec, ki se nahaja na vrhu table in nosi zaporno ploskev, prelivni kljun ter bočna ščita. Slednja sta namenjena zaščiti komponent pogonskega mehanizma v stebrnih nišah pred vodnim tokom, ko voda preliva zapornico. Tako kot spodnja, je tudi zgornja zapornična tabla kotalne izvedbe, pri čemer so kolesa pritrjena na glavni horizontalni nosilec in se gibljejo po tirnicah, ki so skupne za obe tabli. Na spodnjem robu zgornje table se obtežba prenaša



na spodnjo tablo preko manjših valjev, ki se pri dviganju in spuščanju zgornje table gibljejo po tirnicah, na gorvodni strani spodnje table, tako da sta tabli medsebojno povezani v skupnem gibanju. Kljub temu imata zapornični tabli praviloma ločena pogona, vendar pa je možna tudi izvedba s skupnim pogonskim mehanizmom. Zaporna ploskev zgornje table je na gorvodni strani ojačena z vertikalnimi rebri, stik med obema tablama pa tudi v tem primeru tesni horizontalno drsno tesnilo. Na zgornjem robu zgornje zapornične table vertikalna zaporna ploskev preide v prelivni kljun, ki odvaja vodo preko konstrukcije spodnje table in jo tako ščiti pred prepadajočim vodnim curkom. Prelivni kljun je, zaradi zmanjšanja potrebne dvizne sile, smiselno oblikovati kot vakuumski profil, prirejen največji predvideni prelivni višini, pri čemer naj podtlaki na gorvodnem koncu ne bi presežali vrednosti 0,15 oz. 0,20 bar (1,5 oz. 2,0 m vodnega stolpca), na dolvodnem koncu kljuna pa naj bi bil vzpostavljen nadtlak, ki onemogoča vsesavanje zraka v območje podtlakov ter posledično odlepljanje vodnega curka pred dolvodnim robom kljuna, saj to povzroča nestabilnost curka in vibracije zapornice. Prelivne višine zgornje table klunaste dvodelne tablaste zapornice se gibljejo okrog 40 % celotne zaježitvene višine, pri čemer obtežba prelivnega kljuna pri dviganju zgornje table iz spodnjega (spuščenega) položaja narašča in doseže maksimalno vrednost približno na polovici dviga (ko prelivna višina znaša ca. 20 % zaježitvene višine), pri nadaljevanju dviganja nad to točko pa se sile na kljun zmanjšujejo. Ker prepadajoči vodni curek, ki se preliva preko zapornice, izsesava zrak iz prostora pod prelivnim kljunom, se tam lahko pojavijo podtlaki, ki zaradi vdiranja zraka skozi curek, povzročajo njegovo periodično nihanje, česar posledica so vibracije zapornice. Nastanek podtlakov preprečujeta stranska ščita, ki omogočata nemoten dotok zraka po stebrih nišah v prostor pod kljunom, pri večjih zapornicah pa so v ta namen, v stebrih med prelivnimi polji, dodatno izvedeni posebni ozračevalni kanali oz. jaški, ki zagotavljajo dotok zadostnih količin zraka. Za preprečevanje oscilacij tankih prelivajočih se vodnih curkov sta pri kljunastih zapornicah na voljo dva tehnična ukrepa, in sicer: deflektorji, ki so pod kotom 30° do 40° nameščeni na nizvodnem robu prelivnega kljuna ter poševno nameščena bočna ščita, ki postopno zmanjšujeta prelivno širino kljuna. S tem je preprečena enotna frekvenca oscilacij vodnega curka.



Slika 17: Elementi kljunaste dvodelne tablaste zapornice (povzeto po: Lewin, 2001)

#### 4.1.3.1 Prednosti

Ker je konstrukcija kljunaste zapornice zelo podobna konstrukciji dvodelne tablaste zapornice starejšega tipa, so tudi njene prednosti večinoma enake (glej 4.1.2.1 Prednosti), zato jih v tem poglavju ponovno ne navajamo, pač pa podajamo zgolj tiste prednosti, ki so značilne samo za ta tip zapornic.

Najpomembnejša in tudi najbolj očitna izboljšava tega tipa zapornic v primerjavi z dvodelnimi tablastimi zapornicami starejšega tipa je zagotovo prelivni kljun, ki prinaša veliko prednosti. Hidravlično ustrežnejša oblikovanost prelivnega dela zgornje zapornične table namreč pomeni večjo pretočno sposobnost, saj se z ustreznim oblikovanjem le-tega poveča pretočni koeficient preliva  $\mu$ . Kot je razvidno iz enačbe (1) za izračun pretoka čez pravokotni preliv, to pomeni, da je pretok preko preliva  $Q$  pri dani prelivni višini  $h_{pr}$  večji. Pri tem oznaki v enačbi (1) pomenita še:  $b$ ...dolžino preliva in  $g$ ...gravitacijski pospešek ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h_{pr}^{\frac{3}{2}} = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h_{pr}^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

To torej pomeni, da bi bil dvig gladine gorvodno od zapornice pri enakem povečanju pretoka v primeru kljunastih zapornic manjši kot v primeru zapornic starejšega tipa, zato bi bilo pri hitrih/nenadnih spremembah pretoka na voljo več časa za spuščanje zgornje table, prav tako pa bi se komplet obeh tabel začel dvigati kasneje, oz. pri večjem pretoku. Tako bi se izpiranje mulja, ki se nabira v strugi gorvodno od zapornice, izvajalo pri še večjih pretokih, kar pomeni, da bi bilo njegovo razredčenje večje, vpliv na poslabšanje življenjskih razmer v Ljubljani dolvodno od zapornice pa manjši. Kasnejše dviganje in podlivanje spodnje table pomeni tudi dolgotrajnejše bogatenje vode s kisikom, ki ugodno vpliva na življenjske razmere nizvodno od zapornice in se odvija samo pri prelivanju preko nje. Ker se s tem zmanjša pogostost obratovanja spodnje table, je manjša tudi obraba gumastih tesnil. Tudi v tem primeru bi morali biti za učinkovito obratovanje objekta obe zapornični tabli nižji kot sedaj. Če tako kot v prejšnjem primeru privzamemo maksimalno koto zaježitve 286 m in upoštevamo, da prelivna višina zgornje table praviloma znaša okrog 40 % zaježitvene višine, bi, pri obstoječi koti praga 281,41 m, višina skupaj pomaknjenih tabel znašala 2,75 m, maksimalni spust zgornje table pa 1,84 m. Tako bi bilo pri obstoječi koti zaježitve (285,60 m) možno regulirati kar 1,44 m prelivne višine, oz. 35 cm več kot v prejšnjem primeru, kar poleg možnosti dolgotrajnejšega prelivanja zapornice pri naraščajočem pretoku in posledično kasnejšega odpiranja kompleta obeh tabel (vpliv na življenjske pogoje v reki dolvodno), pomeni tudi lažje plavljenje večjih kosov plavja preko zaporničnega profila s spuščanjem zgornje table. Zaradi hidravlično ugodnejšega poteka tokovnic ob zaokroženem prehodu iz vertikalnega dela zgornje table v prelivni kljun tudi ne bi več prihajalo do zatikanja in zastajanja plavja na zgornjem robu gornje table, kar se sedaj dogaja predvsem pri manjših pretokih. Tretja prednost, ki jo prinaša prelivni kljun, je zaščita nosilne konstrukcije spodnje table pred prepadajočim vodnim curkom in plavajočimi predmeti, ki jih ta nosi s seboj. Prelivni kljun je namreč zadosti dolg, da prelivajoča se voda ne zadeva ob spodnjo tablo in pada neposredno v podslapje, kjer se izvrši disipacija odvečne energije. S tem so preprečene tako vibracije kot morebitne poškodbe spodnje table zaradi udarcev plavajočih predmetov, ki jih tok nosi preko preliva. Ker vodni curek ne zadeva ob spodnjo tablo, je zmanjšan tudi vpliv pršenja vode po komponentah pogonskih mehanizmov, ki je tako omejen samo na spodnji del mehanizmov, v bližini vodne gladine (pršenje zaradi toka vode v podslapje). To pomeni manjšo verjetnost blokade zapornic zaradi zamrzovanja in manjše vzdrževalne stroške, povezane z mazanjem dvižnih mehanizmov in vzdrževanjem protikorozijske zaščite. Če je kljun zapornice poleg tega oblikovan kot vakuumski profil, se zmanjšajo tudi sile, potrebne za dvig zapornice, hkrati pa se, zaradi pojava podtlakov, še nekoliko poveča pretočna sposobnost preliva. Manjše dvižne sile seveda zahtevajo manjše oz. šibkejše pogonske agregate, ki pa so tudi cenejši. Ker so tirnice z vodili skupne za obe tabli, je vgradnja kljunastih zapornic, v primerjavi z zapornicami starejšega tipa, pri katerih ima vsaka tabla svoje tirnice, znatno cenejša. Vgradnja tirnic z vodili, ki morajo biti natančno poravnane, da ne prihaja do lokalnih preobremenitev bodisi zapornice bodisi samih tirnic, je namreč zahtevna, kar vpliva predvsem na končno ceno izvedbe. Poleg tega enojne oz. skupne tirnice zahtevajo krajše (gledano v smeri vodnega

toka) stebrne niše, kar zmanjšuje njihove negativne vplive. Verjetnost zastajanja plavja v manjših nišah je namreč manjša, manjše so energijske izgube in s tem vpliv na pretočno sposobnost, krajši utori pomenijo manjšo oslabitev prečnih prereзов stebrov med prelivnimi polji, zmanjšana pa je tudi verjetnost pojava kavitacije in drugih hidrodinamičnih procesov. Še eno pomembno prednost kljunastih dvodelnih tablastih zapornic predstavljata bočna ščita, ki varujeta komponente dvižnega mehanizma v stebrnih nišah pred vodnim tokom in ledom oz. plavjem, ki ju ta nosi s seboj. S tem so pogonski mehanizmi pri prelivanju zapornice zaščiteni pred udarci plavja in abrazijo zaradi lebdečih plavin kot tudi pred morebitnim zamrzovanjem. Vzdrževalni stroški so zato manjši, saj je zmanjšan vpliv korozije na pogonske mehanizme, prav tako pa je manjše izpiranje masti oz. olja z gibljivih delov mehanizmov, zaradi česar se mazanje le-teh lahko izvaja nekoliko redkeje. S tem je hkrati zmanjšano tudi onesnaževanje vodotoka, ki ga povzročajo izprana olja in masti, ki se uporabljajo za mazanje zapornice. Ker bočna ščita zapirata stebrne niše nad prelivnim kljunom, te pri prelivanju zapornice ne vplivajo na vodni tok, kar pomeni, da so vsi negativni vplivi, ki jih povzročajo utori (zastajanje plavja, kavitacija, vibracije, energijske izgube,...), v tem primeru odpravljeni. Tako je negativni vpliv utorov na vodni tok prisoten le še pri podlivanju zapornice oziroma, ko je dvignjen komplet obeh tabel. Konstrukcija zgornje table z enim samim glavnim horizontalnim nosilcem je sicer s statičnega vidika nekoliko bolj kompleksna in zahteva uporabo kakovostnejšega materiala z večjo nosilnostjo, vendar pa je poraba materiala precej manjša, saj ni potrebno izdelati celotne podkonstrukcije zaporne ploskve, ki je zgolj ojačena z vertikalnimi rebri. Zaradi podobne zasnove zapornic, zaščitenega betonskega dela konstrukcije tudi v tem primeru praktično ne bi bilo potrebno spreminjati. Manjšo oviro za polni dvig zapornice bi sicer lahko predstavljala stranska ščita, ki segata precej nad krono prelivnega kljuna, a ker bi bili novi zaporni tabli nižji od sedanjih in, ker je pri odprtih obstoječih zapornicah nad prelivnim robom zgornje table še kar nekaj proste višine, bi bilo spodnji rob spodnje table novih zapornic, tudi z vgrajenima bočnima ščitoma, možno dvigniti na sedanji nivo, ki ne ovira odtoka visokih voda pri povsem odprtih zapornicah. Zaradi sorazmerno majhnih dimenzij zapornice bi za ozračevanje prostora pod prelivnim kljunom zadoščala količina zraka, ki bi dotekal skozi stebrne niše, zato izvedba dodatnih ozračevalnih jaškov ne bi bila potrebna. To seveda pomeni predvsem manjše stroške izvedbe del, hkrati pa omogoča vgradnjo tovrstnih zapornic brez posegov v zaščiten arhitektonski del.

#### **4.1.3.2 Pomanjkljivosti**

Tako kot prednosti so tudi pomanjkljivosti kljunastih dvodelnih tablastih zapornic večinoma enake pomanjkljivostim dvodelnih tablastih zapornic starejšega tipa (glej 4.1.2.2 Pomanjkljivosti), zato jih ne navajamo ponovno, ampak podajamo zgolj pomanjkljivosti karakteristične za ta tip zapornic. Pri tem je potrebno poudariti, da so bile, kot je razvidno iz prejšnjega poglavja, z oblikovanjem kljunaste

zapornice, odpravljene številne pomanjkljivosti dvodelnih tablastih zapornic starejšega tipa, navedene v poglavju 4.1.2.2 in jih zato v tem poglavju ne moremo več upoštevati.

Manjšo pomanjkljivost kljunastih dvodelnih tablastih zapornic predstavlja njihov način obratovanja. Pred dvigom spodnje table je namreč potrebno povsem spustiti zgornjo tablo, kar sicer praviloma ni problematično, razen v primeru, ko bi bilo potrebno zaradi nenadnega velikega povečanja pretoka takoj pričeti z dvigovanjem kompleta obeh tabel, oz. podlivanjem zapornice. Še eno pomanjkljivost predstavlja oblikovanje prelivnega kljuna zgornje zapornične table, ki je, tako z vidika projektiranja kot z vidika izdelave, zahtevno in drago. To še posebej velja v primeru, ko se, z namenom zmanjšanja dvižnih sil, odločimo za vakuumski obris prelivnega kljuna, ki ga je mogoče določiti bodisi na podlagi teorije potencialnega toka bodisi eksperimentalno. Ker so valji, preko katerih se obežba z zgornje zapornične table prenaša na spodnjo tablo, med dviganjem in spuščanjem zgornje table, potopljeni in se gibljejo po gorvodni strani zaporne ploskve spodnje table, obstaja nevarnost zatikanja plavja in plavin ter posledične blokade zgornje table. Kljub prednostim, ki jih prinašata bočna ščita, pa imata le-ta tudi manjšo pomanjkljivost, saj nekoliko zožita svetlo odprtino prelivnega polja in tako zmanjšata njegovo pretočno sposobnost. Čeprav gre za majhno zoženje, se mora za prelivanje enakega pretoka prelivna višina, s tem pa tudi nivo vode gorvodno od zapornice, malenkostno dvigniti, kar je neugodno predvsem v primeru hitrega, oz. nenadnega povečanja pretoka (npr. zaradi pojava ekstremnih padavin nad območjem gorvodno), ko je potrebno preko zapornice, v čim krajšem času, odvesti čim večjo količino vode. V primeru, da bi bila stranska ščita, zaradi preprečevanja oscilacij tankega vodnega curka, nameščena poševno, bi bilo zoženje prelivne širine večje, s tem pa bi bil večji tudi vpliv na pretočno sposobnost preлива oz. na dvig prelivne višine ter kote zgornje vode. Če bi se, namesto zožitve prelivne širine za preprečevanje enotne frekvence oscilacij vodnega curka, uporabili deflektorji na prelivnem kljunu, pa bi to pomenilo večje stroške projektiranja in izdelave zgornje table, kar zopet predstavlja pomanjkljivost. Dodaten strošek vgradnje novih zapornic bi predstavljala tudi odstranitev vodil zgornje zapornične table. Najpomembnejši dejavnik, zaradi katerega kljunasti tip dvodelnih tablastih zapornic v konkretnem primeru ni ustrezen za vgradnjo v obstoječi objekt, predstavlja ekonomičnost. Gospodarna uporaba tega tipa zapornic se namreč giblje v razponu zaježitvenih višin od 8 m do 16 m in razponov do 40 m. Ker bi zaježitvena višina nove zapornice na Ljubljani pri Ambroževem trgu pri predpostavljeni maksimalni koti zaježitve 286 m znašala le 4,59 m (t.j. pri obstoječi koti krone talnega praga 281,41 m), pri čemer svetli razpon znaša 12,25 m, bi bila uporaba kljunastih zapornic ekonomsko neutemeljena.

#### **4.1.4 Dvodelna tablasta zapornica z zaklopko**

Dvodelne tablaste zapornice z zaklopko so namensko in funkcionalno zelo podobne kljunastim dvodelnim tablastim zapornicam in predstavljajo njihovo alternativo za zapiranje prelivnih polj

manjših dimenzij. Tako so pri zaježitvenih višinah do 10 m in razponih do 30 m ne le obratovale, ampak tudi ekonomsko ustrežnejše od kljunastih zapornic.

Gre za kotalno zapornico, katere spodnja tabla je konstrukcijsko skoraj povsem enaka spodnji tabli kljunaste zapornice oz. dvodelne tablaste zapornice starejšega tipa. Tako je razlika ponovno samo v zgornji tabli, katero v tem primeru nadomešča zaklopka, ki je členkasto pritrjena na zgornji rob spodnje table. Pri tem je zaklopka, tako kot zgornja tabla preostalih dveh tipov dvodelnih tablastih zapornic, namenjena natančni regulaciji kote zgornje vode ter odvajanju plavja in ledu preko zaporničnega profila. Tečaj, ki povezuje zaklopko s spodnjo tablo, je lahko zvezen in poteka po celotni dolžini zapornice, ali pa so uporabljeni točkovni tečaji, vgrajeni na enakih medsebojnih razdaljah. To pomeni, da se obtežba z zaklopke, preko tečajev, prenaša na spodnjo tablo in na elemente dviznega mehanizma, ki drži zaklopko v želenem položaju. Pogonska agregata zaklopke in spodnje table sta ločena, pri čemer je v preteklosti prevladoval mehanski pogon zaklopke (veriga, jeklena vrv ali zobati drog), medtem ko pri sodobnejših izvedbah prevladuje hidravlični pogon, oprt na spodnjo tablo. Pri tem je hidravlični cilindar preko kardanskega zgloba pritrjen na nosilno konstrukcijo spodnje table, batnica pa preko sferičnega ležaja na glavni nosilec zaklopke, kar omogoča neovirano gibanje cilindra. Pri dvodelnih tablastih zapornicah z zaklopko se običajno uporabljajo protitorzijsko oblikovane zaklopke (z obliko ribjega trebuha), ki imajo veliko torzijsko togost, kar omogoča večje prelivne višine in razpone ter uporabo enostranskega pogona (hidravlični cilindar je običajno nameščen na sredini zapornice). Z dviganjem zaklopke tako prelivno polje zapiramo (dvigamo nivo zgornje vode), s spuščanjem pa ga odpiramo. Pri tem se prelivne višine zaklopke gibljejo med 1,3 m in 3,5 m, omejitveni dejavniki pa so: pogonski mehanizem, prenos sil na spodnjo tablo in izvedljivost. Kljub temu, da je prelivni obris zaklopke oblikovan podobno kot obris prelivnega kljuna pri kljunastih zapornicah, je namreč zaklopka v primerjavi s kljunom pri istih prelivnih višinah bistveno bolj obremenjena, saj je količina vode, ki nanjo deluje s svojo težo, predvsem ko je zaklopka zaprta ali samo delno odprta, mnogo večja. Dodatno obtežbo, ki jo moramo prav tako upoštevati pri projektiranju zaklopke, predstavljajo tudi deformacije spodnje table, ki se zaradi obremenitev pojavijo med obratovanjem zapornice in jim mora zaklopka skupaj s tečajem slediti. Tesnjenje med spodnjo tablo in zaklopko je izvedeno pri tečaju, kjer je lahko nameščeno fleksibilno tesnilo v obliki gumastega traku, ki je pritrjen na tablo in na zaklopko, druga možnost pa je uporaba notnega tesnila, ki je privijačeno na spodnjo tablo in nalega na krožno oblikovano nerjavno tesnilno ploskev na spodnjem robu zaklopke. Pri tem obe izvedbi omogočata poljubno relativno gibanje zaklopke glede na tablo, tesnila pa morajo biti ustrezno zaščitena pred poškodbami. Stransko in talno tesnjenje spodnje table je izvedeno enako kot pri ostalih tipih tablastih zapornic, medtem ko za stransko tesnjenje zaklopke poskrbita drsni notni tesnili, ki nalegata na nerjavni tesnilni površini stranskih ščitov. Slednja sta nameščena na spodnjo tablo in tako kot pri kljunastih zapornicah, zapirata stebrne niše, v katerih so nameščene tirnice z vodili spodnje table. Ker je, zaradi preprečevanja podtlakov in posledičnih

vibracij zapornice, tako kot pri kljunastih zapornicah, tudi v tem primeru potrebno zagotoviti zadostno ozračevanje prostora pod zaklopko, morata bočna ščita segati nad nivo maksimalne prelivne višine, tako da prelivajoča se voda ne more dotekati v stebrne niše in ovirati dotoka zraka. Enako, kot pri kljunastih zapornicah, se tudi pri večjih dvodelnih tablastih zapornicah z zaklopko kapaciteta dovoda zraka poveča z izgradnjo ozračevalnih jaškov v stebrih med prelivnimi polji. Kljub zadostni količini zraka, ki doteka v prostor pod zaklopko skozi ure v stebrih, pa se tudi pri manjših zapornicah pogosto izvedejo ozračevalni kanali, ki zagotavljajo večjo obratovalno varnost zapornice proti vibracijam. Poleg tega se za preprečevanje vzbujanja vibracij zapornice na dolvodni rob zaklopke (tako kot pri prelivnem kljunu deflektorji) namestijo posebni rezalci vodnega curka, ki le-tega razdelijo, s čimer ne le omogočijo dodaten dotok zraka skozi prepadajoči curek, ampak tudi motijo enotno frekvenco ter na ta način preprečujejo njegovo osciliranje.

Natančnejši opis konstrukcije same zaklopke in njenih komponent je podan v poglavju 4.2.1 v nadaljevanju.

#### **4.1.4.1 Prednosti**

Tako kot pri kljunastih dvodelnih tablastih zapornicah, tudi v tem primeru podajamo samo tiste prednosti, po katerih se dvodelna tablasta zapornica z zaklopko razlikuje od preostalih dveh tipov dvodelnih tablastih zapornic. Njihovih prednosti, ki so navedene v poglavjih 4.1.2.1 in 4.1.3.1 in so večinoma tudi prednosti dvodelnih tablastih zapornic z zaklopko, ponovno ne navajamo.

Prilagajanje višine prelivnega roba z odpiranjem in zapiranjem zaklopke omogoča izredno natančno regulacijo pretoka preko zapornice in s tem tudi kote zgornje vode, kar je zagotovo ena najpomembnejših prednosti tega tipa zapornic. Pomen natančne regulacije pretoka preko zaklopke pride še posebej do izraza v sušnih poletnih mesecih, ko poleg gladine zajezone vode poskušamo zagotavljati tudi ekološko sprejemljiv pretok dolvodno od zapornic na Gruberjevem kanalu in Mestni Ljubljani ter tako vodnim organizmom še omogočiti preživetje. V primerjavi s prelivnim kljunom omogoča zaklopka tudi učinkovitejše prevajanje plavja preko zapornice. To je posledica načina delovanja zaklopke, katera se pri odpiranju nagiba in spušča v smeri vodnega toka ter na ta način ustvarja ugodne pogoje za plavljenje večjih plavajočih predmetov preko preliva (brez zatikanja) že pri sorazmerno majhnih prelivnih višinah in manjših pretokih ter brez izrazitejših izgub višine zajezone vode. Zato je možnost zastajanja plavja pred zapornico znatno manjša, oz. se manever splakovanja večjih plavajočih predmetov preko zapornice lahko izvaja pri manjših pretokih in zato pogosteje, kar ugodno vpliva tako na izgled kot tudi na življenjske pogoje v reki. Zaradi ugodnega načina namestitve zaklopke na spodnjo tablo pri tem tipu zapornic tudi ni nevarnosti zatikanja plavja in plavin na stiku med spodnjo tablo in zaklopko, saj ni prisotno vertikalno relativno gibanje zgornje zapornice glede na

spodnjo, kakor pri kljunastih dvodelnih tablastih zapornicah in dvodelnih tablastih zapornicah starejšega tipa. Še eno prednost členkaste pritrditve zaklopke na spodnjo tablo predstavlja enostavna in zanesljiva izvedba vmesnega tesnjenja, pri kateri so tesnila izpostavljena manjši obrabi kot pri ostalih dveh tipih dvodelnih tablastih zapornic in imajo zato, v primerjavi z njimi, daljšo življenjsko dobo, kar seveda zmanjšuje tudi stroške vzdrževanja zapornic. Pomembna prednost tega tipa zapornic je vsekakor tudi zaščitenost hidravličnega dviznega mehanizma zaklopke pred vplivi vodnega toka. S tem, ko je pogon zaklopke umaknjen pod njo, namreč ni več nevarnosti trkov plavja in ledu, ki lahko povzročijo deformacije pogonskih komponent, ni nevarnosti zatikanja predmetov, ki bi lahko povzročili blokado zapornice, prav tako pa je odpravljena nevarnost abrazije pogonskih sredstev zaradi vpliva suspendiranih plavin. Poleg tega umik dviznega mehanizma pod zaklopko močno zmanjšuje nevarnost korozije in zamrzovanja, omogočen pa je tudi neoviran odtok vode preko zaklopke (ni motenj vodnega toka zaradi hidrodinamičnih procesov pri obtekanju pogonskih mehanizmov). Vse to pa v končni fazi zmanjšuje obratovalne stroške in stroške vzdrževanja ter tudi onesnaženost vodotoka zaradi manjšega izpiranja olj in masti z gibljivih delov zapornice (potrebno je manj pogosto mazanje). Rotacijsko gibanje zaklopke v kombinaciji s hidravličnim pogonom omogoča hitro in enostavno zasilno odpiranje zaklopke pod vplivom vodnih pritiskov. V primeru izpada pogona je tako potrebno samo odpreti obvodni ventil, ki omogoči iztekanje hidravlične tekočine iz tlačne komore cilindra, s čimer se v cilindru zmanjša tlak in zaklopka se spusti. Podoben, vendar avtomatiziran varnostni sistem je v sodobne izvedbe dvodelnih tablastih zapornic z zaklopko pogosto vgrajen tudi sistem za preprečevanje preobremenitve zaklopke zaradi kopičenja plavja ali ledu tik pred zaklopko. V hidravličnem cilindru je v ta namen nameščen merilec tlaka (tipala), ki v primeru, da ta preseže določeno vrednost, ki pri običajnem obratovanju zaklopke ne more biti dosežena, preko elektronskega krmiljenja aktivira in odpre obvodni ventil na hidravličnem cilindru, tako da se zaklopka samodejno odpre in tlak v cilindru pade na običajno (nastavljeno) vrednost. Možnost odpiranja zaklopke pod vplivom vodnega pritiska ima še eno dobro lastnost, in sicer omogoča uporabo cenejših in manjših hidravličnih cilindrov z enostranskim delovanjem<sup>6</sup>. Naslednjo prednost tega tipa zapornic predstavlja dejstvo, da led ne ovira njihovega delovanja. Z izmeničnim dviganjem in spuščanjem zaklopke je namreč mogoče razbiti led tik gorvodno od zapornice in ga nato enostavno odplakniti preko preлива. Ker gre za sorazmerno majhno zapornico, bi odprtini za stranska ščitoma (obstoječe stebrne niše) in rezalci vodnega toka zadoščali za ozračevanje prelivajočega se vodnega curka, zato ne bi bilo potrebno vgrajevati dodatnih cevi oz. kanalov za dovod zraka pod zaklopko, kar seveda zmanjšuje stroške celotne investicije. Tako kot pri ostalih dveh tipih dvodelnih tablastih

---

<sup>6</sup> Gre za cilindre, ki jih je mogoče krmiliti samo enostransko, medtem ko se pomik v prvotni položaj izvede z vzmetjo oz. v našem primeru s silo, ki deluje na zapornico. Nasprotno hidravlični cilindri z dvostranskim delovanjem omogočajo obojestransko krmiljenje, kar pomeni, da jih je mogoče aktivno pomikati v obe smeri (MAPRO d.o.o., 2013).



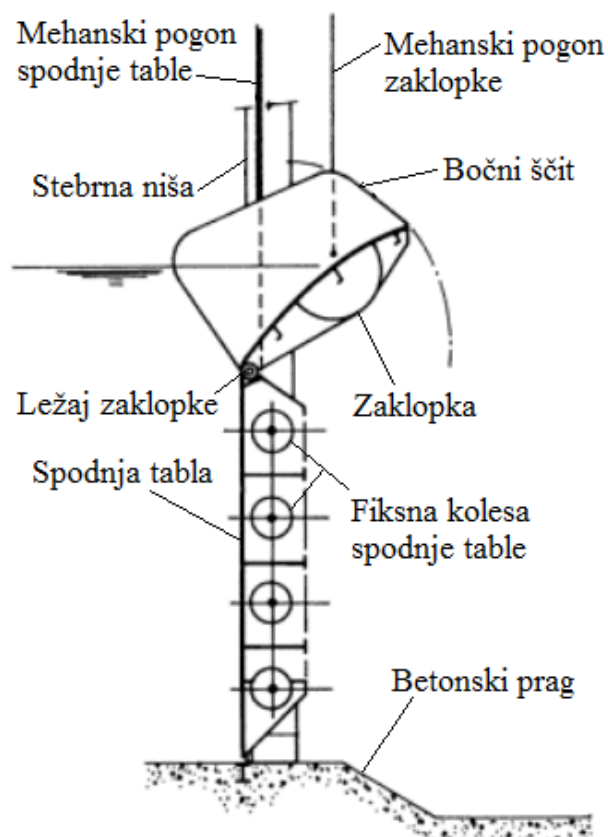
zapornic tudi v tem primeru betonske konstrukcije jezua praktično ne bi bilo potrebno spreminjati, kar je zagotovo ena najpomembnejših, če ne celo najpomembnejša prednost v primerjavi z drugimi vrstami zapornic. Vsekakor pa je potrebno za normalno obratovanje nove hidromehanske opreme, tako kot pri ostalih vrstah zapornic, maksimalno višino zaježitve prilagoditi obstoječi koti 285,60 m. Če torej privzamemo višino 4,59 m kot maksimalno zaježitveno višino (t.j. pri koti prelivnega roba zaklopke 286,0 m) in upoštevamo omejitveni pogoj uporabe zaklopk:  $1,3 \text{ m} \leq h_p \leq 3,5 \text{ m}$  vidimo, da je smiselno uporabiti zaklopko s prelivno višino blizu spodnje meje, t.j. okrog 1,4 m–1,6 m. Takšna zaklopka namreč zahteva manjše (cenejše) pogonske agregate, hkrati pa pri obstoječi koti zaježitve še vedno omogoča 1,0 m (1,20 m) prelivanja, kar glede na višino celotne zapornice pomeni ca. 22 % (26 %). Višina spodnje table bi v tem primeru znašala med 3,19 m in 3,39 m, tako da bi bilo večino časa omogočeno prostopadno prelivanje zapornice, medtem ko bi bil dvig spodnje table potreben le ob nastopu visokih voda.

#### 4.1.4.2 Pomanjkljivosti

Tudi v tem poglavju navajamo samo pomanjkljivosti, karakteristične za dvodelne tablaste zapornice z zaklopko. Iz prejšnjega poglavja pa je razvidno, da so bile z razvojem tega tipa zapornic odpravljene številne pomanjkljivosti tako dvodelnih tablastih zapornic starejšega tipa, kot tudi kljunastih dvodelnih tablastih zapornic in zato v tem primeru niso več merodajne. Preostale pomanjkljivosti, ki niso bile odpravljene in zaznamujejo tudi ta tip zapornic pa so navedene v poglavjih 4.1.2.2 in 4.1.3.2.

Pomembno pomanjkljivost dvodelnih tablastih zapornic z zaklopko predstavljajo velike obremenitve, ki delujejo na zaklopko pri prelivanju. Kot je navedeno že v opisu zapornice, so te sile v primerjavi s prelivnim kljunom mnogo večje, kar seveda zahteva večje dvizne sile in posledično dražje pogonske agregate. Te obremenitve pa še dodatno povečuje obtežba, ki se na zaklopko prenaša s spodnje table in je posledica deformiranja le-te zaradi delovanja hidrostatičnega pritiska. Vendar deformacije spodnje table niso problematične zgolj zaradi povečanja obtežbe na zaklopko, ampak tudi zato, ker je potrebno s konstrukcijskimi rešitvami zagotoviti, da zaklopka s tečaji tem deformacijam lahko sledi brez nevarnosti trajnih deformacij, ki bi lahko onemogočile njeno obratovanje. Manjšo pomanjkljivost tega tipa zapornic predstavlja »dvojno« stransko tesnjenje na delu zapornice nad ležaji zaklopke. Ker sta stranska ščita nameščena na spodnjo tablo, je potrebno njeni vertikalni tesnili podaljšati vse do vrha ščitov, s čimer je preprečen tok vode mimo zapornice po stebrih nišah. Sočasno pa je potrebno zatesniti tudi stik med tesnilno ploskvijo stranskega ščita in zaklopko, kar pomeni večjo skupno dolžino tesnil in večjo možnost puščanja ter s tem večje začetne stroške in stroške vzdrževanja. Stroške projektiranja tega tipa zapornic pogosto povečujejo tudi hidravlične modelne raziskave, s katerimi se običajno določajo razdalje med rezalci vodnega toka in njihova oblika. Zaradi velikih tesnilnih površin na vodni strani bočnih ščitov, na katere nalegata stranski tesnili zaklopke, so pri

dvodelnih tablastih zapornicah z zaklopko višji tudi obratovalni stroški, saj je v zimskem času zaradi nevarnosti zamrzovanja namreč potrebno ogrevati večje površine. V predlogu izvedbe nove hidromehanske opreme, ki ga je leta 2000 pripravil VGI in je predvideval zamenjavo obstoječih zapornic z novima dvodelnima tablastima zapornicama z zaklopko (glej poglavje 3.3.1 Poskusi...), je bila predlagana višina zaklopke le 1,1 m, kar pa, niti s stališča pogona niti s stališča izvedbe, ni primerno ( $h_p \geq 1,3$  m).



Slika 18: Sestavni deli dvodelne tablaste zapornice z zaklopko (povzeto po: Lewin, 2001)

## 4.2 Zaklopka

### 4.2.1 Opis

Zaklopke so tipične površinske regulacijske zapornice, ki po načinu gibanja pri obratovanju sodijo med rotacijske zapornice. Skupaj s sektorskimi zapornicami in strehastimi jezovi jih uvrščamo v skupino zapornic s kontinuirnimi ležaji, lahko pa se uporabljajo kot samostojne zapornice na pragovih in fiksnih jezovih ali kot regulacijske zapornice na pomičnih jezovih (v kombinaciji s tablastimi ali segmentnimi zapornicami), kot je to prikazano v poglavju 4.1.4, v katerem je opisana dvodelna tablasta zapornica z zaklopko. Del obtežbe se tako preko ležajev v prvem primeru prenaša na betonsko konstrukcijo talnega praga ali jezua, v drugem primeru pa na spodnjo zapornico, medtem ko drugi del

obtežbe prevzamejo pogonski mehanizmi, ki držijo zaklopko v določenem položaju. Prevajanje vode preko zaporničnega profila je možno samo s prelivanjem, zato zaklopka omogoča natančno regulacijo nivoja zgornje vode ter učinkovito plavljenje plavajočih predmetov in ledu preko zapornice.

Kot samostojne zapornice se zaklopke uporabljajo za zapiranje zaježitvenih višin do 6 m, pri čemer maksimalni razpon ne presega 20 m pri hidravličnih in 15 m pri mehanskih (veriga, drog,...) pogonih. Največji razponi zaklopk se gibljejo okrog 60 m, pri čemer pa prelivna višina ni večja od 2 m. Že pri višini 2,5 m se namreč dopustni razpon zmanjša na 40 m (hidravlični pogon). Iz konstrukcijskih razlogov (problem izdelave in montaže) se zaklopke ne uporabljajo za zapiranje višin manjših od 1,30 m.

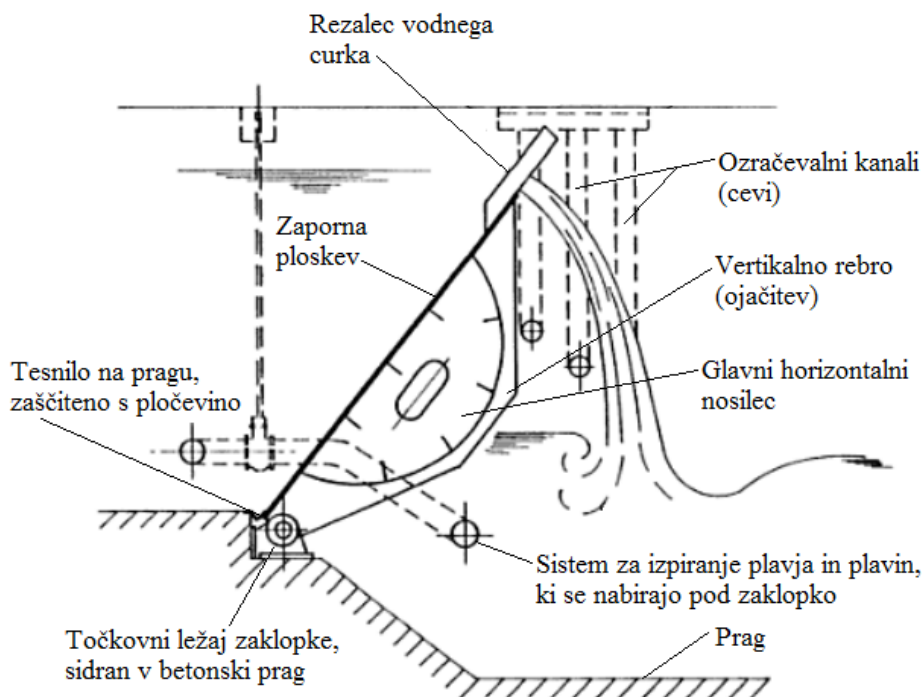
Glede na konstrukcijsko zasnovo ločimo tri osnovne tipe zaklopk, in sicer: zaklopke s protitorzijskim valjem (bascule gate), protitorzijske zaklopke oz. zaklopke z obliko ribjega trebuha (pelican gate) ter enostavne oz. navadne zaklopke (tilting gate oz. flap gate). V vseh treh primerih gre za statično določeno jekleno konstrukcijo, ki je tesnjena na bokih in na spodnjem robu pri ležajih. Zaporna ploskev prvega, nekoliko starejšega tipa zaklopk, je izdelana iz jeklene pločevine in je običajno ravna (na zgornjem robu mora biti zagotovljen ustrezen potek tokovnic, ki omogoča pravilno odlepljanje prelivajočega se curka), lahko pa je tudi ukrivljena, tako da se v spuščnem (odprtem) položaju prilega obrisu prelivnega praga oz. jezua. Na dolvodni strani je ojačena z glavnimi vertikalnimi nosilci (rebri) in pomožnimi horizontalnimi nosilci, ki zagotavljajo ustrezno torzijsko togost zaklopke. Slednjo je mogoče dodatno povečati z namestitvijo dolvodne zaporne ploskve, ki je običajno pritrjena tako, da onemogoča vstop vode v notranjost zaklopke (t.j. med obe zaporni ploskvi), saj je v nasprotnem primeru potrebno zagotoviti dovolj velike dostopne odprtine, ki omogočajo vzdrževanje protikorozijske zaščite, poleg tega pa se na nosilcih v zaklopki lahko nabira tudi melj in druge plavine, ki povečujejo težo zapornice in sile, potrebne za njen dvig. Dodaten problem pa lahko pri tem predstavlja tudi zrak, ki se pri spuščanju zapornice ujame v telo zaklopke in otežuje njeno odpiranje (vpliv spodnje vode in težave z vzgonom). Zaklopke z obojestransko zaporno ploskvijo se tako uporabljajo predvsem za zapiranje večjih prelivnih širin, kjer je potrebna povečana togost zapornice. Spodnji rob zaporne ploskve je skupaj z vertikalnimi nosilci privarjen na protitorzijski valj, ki poteka po celotni dolžini zapornice in je na enakih medsebojnih razdaljah vpet v (samomazalne) ležaje, ki so fiksirani v sedlaste podpore, sidrane v betonsko konstrukcijo praga. Na konec protitorzijskega valja je pritrjena pogonska os, ki skozi tesnjeno odprtino v steni, poteka v prostor v obrežnem stebru ali stebru med prelivnima poljema, v katerem se nahaja pogonski mehanizem zapornice. Ta je sestavljen iz ročice oz. vzvoda, ki je na enem koncu pritrjen na pogonsko gred, na drugem pa na hidravlični cilindar ali, v primeru da gre za starejšo izvedbo zaklopke, na vreteno oz. zobati drog. Z dviganjem oz. spuščanjem vretena, droga ali batnice hidravličnega cilindra tako premikamo ročico, ki obrača pogonsko gred zaklopke in s tem, preko protitorzijskega valja, odpira in zapira zapornico. Pri tem

morajo biti hidravlični cilindri, zobati drog in vreteno v sidrišče pritrjeni preko kardanskega sklopa, ki pri operacijah dviganja in spuščanja zapornice omogoča gibanje cilindra oz. vretena ali droga v poljubni smeri (sicer lahko pride do zvijanja in pojava plastičnih deformacij pogonskih komponent). V odvisnosti od dimenzij in konstrukcije zapornice je pogon lahko enostranski ali dvostranski. Možna je tudi izvedba, pri kateri je pogonska os zaklopke nameščena na sredini zapornice oz. na sredini protitorzijskega valja. V tem primeru mora biti strojnica s pogonskimi mehanizmi locirana pod prelivnim pragom, v katerem je izvedena tesnjena odprtina, skozi katero poteka ročica, ki povezuje os s hidravličnim cilindrom. Ker bi bila pri zaklopkah na pragovih in nizkih jezovih takšna izvedba neekonomična, saj zahteva izgradnjo podzemne strojnice neposredno v strugi vodotoka, se tovrstne ureditve uporabljajo predvsem na prelivnih poljih višjih jezovnih zgradb, kjer vključitev strojnice v telo jezua ni problematična, ali na pragovih na vodotokih, kjer zaradi vključevanja objekta v prostor, visoki obrežni stebri in stebri med prelivnimi polji niso zaželeni. Takšne izvedbe zaklopk namreč potrebujejo nizke stebre, ki so namenjeni le tesnjenju na bokih, medtem ko so pri zmernih zaježitvenih višinah možne celo izvedbe brez vmesnih stebrov, saj lahko zaklopke v tem primeru dosežejo velike razpone (na mestu vgradnje se izvede montažni stik dveh ali več zaklopk s sinhroniziranim pogonom). Drugi, novejši tip zaklopk predstavljajo protitorzijsko oblikovane zaklopke, katerih ukrivljena zaporna ploskev iz jeklene pločevine, je na dolvodni strani ojačena z glavnim vzdolžnim nosilcem, ki je prav tako izdelan iz jeklene pločevine in ima obliko ribjega trebuha (polkrožna oblika). Za dodatno povečanje torzijske togosti poskrbijo sekundarni vertikalni nosilci oz. rebra, ki skupaj s primarnim nosilcem in zaporno ploskvijo tako tvorijo dobro nosilno, zaprto lupinasto konstrukcijo. Protitorzijski valj pri tem tipu zaklopk nadomeščajo posamezni (samomazalni) ležaji, ki so enakomerno razporejeni vzdolž celotne dolžine zapornice, razmik med njimi pa znaša od 2,5 m do 4,0 m. Na spodnjem robu zaklopke so tako na vertikalna rebra privarjena ležišča ležajev, medtem ko so ujemajoča se ležišča sidrana v betonsko konstrukcijo prelivnega praga. Pri montaži zaklopke se ta spusti na predvideno mesto, nato pa se v poravnana ležajna ležišča namestijo osi iz nerjavečega jekla, ki fiksirajo zapornico na njenem položaju in omogočajo rotacijsko gibanje pri dviganju in spuščanju. Uporabiti je mogoče različne mehanske dvižne mehanizme (veriga, jeklena vrv, zobati drog, vreteno), vendar pa se v zadnjem obdobju vgrajujejo skoraj izključno hidravlični pogonski mehanizmi. Glede na položaj in način vgradnje hidravličnih cilindrov je na voljo več možnih rešitev. Najenostavnejša izmed njih, ki se tudi najpogosteje uporablja v praksi, je zagotovo varianta z enostranskim hidravličnim pogonom, pri kateri je hidravlični cilindri gibljivo (preko kardanskega sklopa) nameščen na vodni strani obrežnega stebra, batnica pa je preko sferičnega ležaja členkasto pritrjena na zgornji rob zaklopke. Ko se batnica hidravličnega cilindra pomika v cev cilindra, se zaklopka dviguje in zapira pretočni profil, kar pomeni, da kota vodne gladine gorvodno od zapornice narašča. Ko pa se batnica pomika iz cevi cilindra, se zaklopka spušča in voda s prostopadnim prelivanjem odteka preko jezua ali talnega praga, zato se nivo zgornje vode zmanjšuje. V primeru večjih zaježitvenih višin oziroma večjih razponov se uporabi obojestranski pogon, pri čemer je drugi cilindri nameščen na steber med prelivnima poljema (oz. na

nasprotni obrežni steber, v primeru enega samega pretočnega polja). Druga izmed možnosti je, tako kot v prejšnjem primeru, namestitev hidravličnih cilindrov pod zaklopko. Razlika v primerjavi z zaklopko s protitorzijskim valjem je v tem, da so tokrat batnice preko sferičnih ležajev pritrjene neposredno na glavni vzdolžni nosilec zaklopke, cilindri pa so preko kardanskih zglobov pritrjeni na ležiščne pločevine, ki so sidrane v betonsko konstrukcijo jezua oz. praga. Takšna izvedba se, tako kot pri zaklopkah s protitorzijskim valjem, uporablja predvsem na višjih jezovih, kjer izgradnja prostorov (niš) pod zaklopko, za namestitev hidravličnih cilindrov, ne predstavlja problema, hkrati pa je tudi naklon prelivnega hrpta zadosten, da omogoča polno odpiranje zaklopke, tako da se njen prelivni obris vključi v prelivni obris objekta. Drugi primer uporabe takšne izvedbe zaklopke je zapiranje velikih prelivnih širin brez vmesnih stebrov, ki pa se uporablja predvsem na nizkih jezovih in pragovih. Takšne zapornice so sestavljene iz večjega števila manjših zaklopk z lastnim pogonom, ki so na mestu vgradnje spojene (zvarjene), njihovi pogoni pa sinhronizirani. Tovrstne zaklopke dosegajo razpone tudi do 60 m, vendar so z ekonomskega vidika nekoliko manj primerne, saj zahtevajo izgradnjo prostorov za namestitev cilindrov v prelivni prag. Poleg tega so hidravlični cilindri v tem primeru ves čas pod vplivom spodnje vode, kot tudi plavja in plavin, ki jih ta nosi s seboj, zato takšna izvedba tudi z obratovalnega vidika in vidika vzdrževanja ni najboljša. Tretji, najstarejši in konstrukcijsko najenostavnejši tip zaklopk, je nekakšna kombinacija zaklopke s protitorzijskim valjem in protitorzijsko oblikovane zaklopke. Konstrukcija takšnih zaklopk je namreč enaka konstrukciji zaklopke s protitorzijskim valjem, le da so namesto valja uporabljeni točkovni ležaji, značilni za protitorzijsko oblikovane zaklopke. Ker ni protitorzijskega valja, so (praviloma hidravlični) pogonski mehanizmi nameščeni enako kot pri protitorzijsko oblikovanih zaklopkah, le da je v tem primeru, zaradi znatno manjše torzijske togosti zapornice, običajno uporabljen dvostranski pogon, medtem ko so razdalje med hidravličnimi cilindri, nameščenimi pod zaklopko, precej manjše. Zaradi manjše torzijske togosti pa so manjše tudi dimenzije same zaklopke. V zadnjem času se vse pogosteje uporabljajo zaklopke, ki v svoji konstrukciji združujejo dobre lastnosti protitorzijskih zaklopk in zaklopk s protitorzijskim valjem. Gre namreč za zaklopke z obliko ribjega trebuha, ki imajo nameščen protitorzijski valj. Njihova prednost v primerjavi z ostalimi tipi zaklopk je velika torzijska togost, ki omogoča večje razpone in zaježitvene višine, združena s pogonom, ki je pomaknjen v prostore (galerije) v stebrih, tako da dvižni mehanizmi ne ovirajo odtoka vode preko zapornice, hkrati pa tudi niso izpostavljeni zunanjim vplivom, kot sta korozija in zamrzovanje. Za vse opisane tipe zaklopk velja, da v povsem zaprtem (dvignjenem) položaju tangenta na tesnilno površino zaklopke z vodoravnico oklepa kot med  $60^\circ$  in  $70^\circ$ , medtem ko je tik dolvodno od zapornice običajno izvedena niša, v katero se spusti zaklopka, ki tako v popolnoma odprtem položaju, skupaj s prelivnim hrptom jezua oz. praga, tvori neprekinjen prelivni obris, s čimer je zagotovljen neoviran odtok visokih voda. Pri tem so v niši nameščeni po višini prilagodljivi nasloni zapornice z vgrajenimi blažilci, ki podpirajo zaklopko, ko je ta v povsem spuščnem položaju in blažijo morebitne vibracije, ter preprečujejo, da bi zaklopka udarila ob betonsko konstrukcijo praga in se poškodovala. Poleg tega je potrebno na zračni

strani zaklopke zagotoviti tudi mesta za pritrnitev začasnih podpor, ki v času pregledov, remontov in popravil zapornice, le-to držijo v popolnoma dvignjenem položaju, tako da pogonski mehanizmi niso obremenjeni in jih je mogoče zamenjati. V ta namen so na dolvodni strani zaklopke običajno privarjene manjše jeklene plošče z luknjo (t.i. ušesa), na katere se z zatičem ali vijakom členkasto pritrđi tlačna palica, ki je na drugi strani prav tako členkasto fiksirana na ploščo, sidrano v konstrukcijo praga. Pri zaklopkah s protitorzijskim valjem je sicer tovrstno blokado zapornic možno izvesti tudi v strojnici, kjer se s posebno napravo, sidrano v betonsko konstrukcijo, onemogoči gibanje vzvoda oz. ročice, vendar pa zgolj takšna naprava ne zadošča, saj ne omogoča popravil in menjave ročice, zato so tudi v tem primeru potrebne pomožne podpore na sami zakloпки.

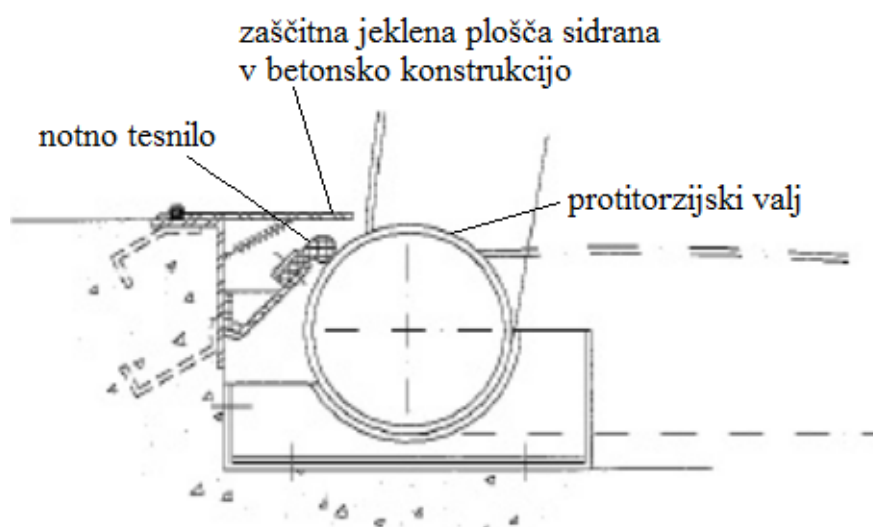
Za zmanjšanje hidrodinamičnih obremenitev zaklopke pri prelivanju in posledično zmanjšanje dvižnih sil (pogonskih agregatov) je ugodno, da obris popolnoma spuščene zaklopke pri odločilnem pretoku približno ustreza brezvakuumskemu obrisu (npr. Creager ali WES), pri čemer so na zgornjem koncu zaklopke sprejemljivi tudi manjši podtlaki. Povsem ravne zaklopke se tako uporabljajo predvsem pri manjših prelivnih višinah.



Slika 19: Elementi zaklopke (povzeto po: Lewin, 2001)

Tesnjenje je pri vseh opisanih tipih zaklopk izvedeno na podoben način. Na stenah obrežnih stebrov, oziroma stebrov med prelivnimi polji, so vgrajene tesnilne plošče, ki so izdelane iz nerjavečega jekla. Na njih nalegata bočni gumasti notni tesnili, ki sta pritrjeni na stranski plošči zaklopke in se skupaj z njo gibljeta med odprtim in zaprtim položajem, tako da je tesnjenje zagotovljeno v vsakem položaju zaklopke. Ker pri dviganju in spuščanju zaklopke tesnilo drsi po tesnilni površini, se za zmanjšanje

obrade najpogosteje uporabljajo tesnila iz neoprenske gume, katerih glava je ojačena s fluoroogljikovo oblogo. V primeru, da je tesnjenje zahtevano samo, ko je zaklopka v povsem zaprtem položaju, kar se uporablja pri zaklopkah, katerih robova se pri dviganju in spuščanju zapornice gibljeta v stebrih nišah, v katere so za zaščito pred vodnim tokom umaknjeni gorvodno nameščeni hidravlični cilindri, se stranski tesnili lahko namestita tudi na gorvodno steno stebrih niše, na katero nalega zaporna ploskev zaklopke v povsem dvignjenem stanju in zatesni pretočni profil. Vendar pa je takšna izvedba tesnjenja zelo redka, saj velike težave povzročata plavje, ki se pri zapiranju zaklopke, zaradi vodnega toka usmerjenega na boka zapornice, zatika v režo med robom zaklopke in steno, kar lahko hitro privede do blokade zapornice. Poleg tega se z uporabo zaklopk poskušamo izogniti prav stebrih nišam, ki so hidravlično, kot tudi izvedbeno, zelo neugodne. Tesnjenje na spodnjem robu zaklopke se lahko izvede na dva načina. Pri prvem tesnost zagotavlja tesnilo v obliki gumastega traku, ki poteka vzdolž celotne dolžine zaklopke in je privijačeno na zaporno ploskev zaklopke na eni, ter na jekleno ploščevino, sidrano v betonsko konstrukcijo praga oz. jezua, na drugi strani. Pri drugem načinu je tesnjenje izvedeno z gumastim notnim tesnilom, ki prav tako poteka vzdolž celotne dolžine zaklopke in je pritrjeno na jeklen nosilec, sidran v betonsko konstrukcijo preliva. Glava notnega tesnila pri tem nalega na protitorzijski valj oz. na krožno oblikovan spodnji konec zaporne ploskve (pri zaklopkah brez protitorzijskega valja) in s tem, tako kot gumasti trak v prvem primeru, zagotavlja tesnost zapornice v poljubnem položaju zaklopke. Del zaklopke, na katerega nalega tesnilo, mora biti izdelan iz nerjavečega jekla, ki zagotavlja ustrezno tesnjenje skozi celotno amortizacijsko dobo zapornice. Ne glede na vrsto uporabljenega tesnila, je to, pred poškodbami in škodljivimi vplivi plavin, praviloma zaščiteno z jekleno ploščo, ki je nameščena nad tesnilom in sidrana v betonsko konstrukcijo, kot prikazuje spodnja slika.



Slika 20: Detajl izvedbe tesnjenja na spodnjem robu zaklopke (povzeto po: Erbisti, 2004)

Tako kot pri dvodelnih tablastih zapornicah z zaklopko in kljunastih dvodelnih tablastih zapornicah prepadajoča voda izsesava zrak tudi iz prostora pod zaklopko. Ker pri zaklopkah ni stebrih niš, po katerih bi zrak dotekal v omenjeni prostor, je nevarnost pojava podtlakov in osciliranja vodnega curka zaradi vdiranja zraka v območje podtlakov, še toliko večja. Ker torej ti pojavi povzročajo nestabilnost prelivajočega se vodnega curka in vibracije zapornice, jih je nujno potrebno preprečiti. V ta namen sta na voljo dva ukrepa, in sicer: vgradnja rezalcev vodnega toka na dolvodni (zgornji) rob zaklopke ter izvedba ozračevanja prostora pod zaklopko. Vedno se izvedeta oba ukrepa, saj rezalci pri večjih prelivnih višinah, oz. večjih debelinah vodnega curka, le-tega ne razdelijo, zato vnos zraka v območje podtlakov skozi curek v tem primeru ni mogoč in je zračenje možno le skozi ozračevalne jaške v stebrih, ki so speljani v območje pod zaklopko. Pri zaklopkah, ki imajo nameščene stranske ščite (podobno kot zaklopke pri dvodelnih tablastih zapornicah z zaklopko), je dovod zraka v prostor pod zaklopko možen tudi skozi odprtino med bočno tesnilno ploščo in ščitom, vendar pa so te odprtine praviloma premajhne, da bi lahko zagotavljale zadostne količine zraka. Kljub temu, da je v različnih priročnikih mogoče najti kar nekaj standardnih oblik rezalcev vodnega toka, se tako oblika kot tudi razdalja med njimi (praviloma med 1,5 in 2,0 m) običajno še vedno določata eksperimentalno, v okviru hidravličnih modelnih raziskav. Pri tem velja poudariti, da morajo biti rezalci toka ne le zadosti široki, ampak morajo tudi segati preko prelivnega roba zaklopke, saj se prelivajoči se curek razširi takoj, ko ni več v stiku s površino rezalca in nastale rege se začnejo zopet zapirati. Potrebne prečne prereze ozračevalnih jaškov (cevi) je mogoče določiti računsko, vendar se zaradi kompleksnosti natančnega določanja parametrov, ki nastopajo v enačbah, dobljene vrednosti pogosto preverijo še na hidravličnem modelu. To še posebej velja v primeru, ko se za izvedbo ozračevanja v stebre vgradi večje število manjših cevi. V tem primeru se na modelu namreč določi najbolj optimalna razporeditev cevi, ki omogoča, da je vodni curek, ne glede na položaj zaklopke, dobro ozračen. S temi ukrepi je potrebno zagotoviti, da podtlak v prostoru pod zaklopko ne presega enega do dveh promilov atmosferskega tlaka (t.j.  $1-2 \cdot 10^{-2}$  m VS). Zaradi velikih hitrosti zraka v ozračevalnih kanalih, ki pri maksimalnem dopustnem podtlaku že znašajo 16,5 m/s, je potrebno zagotoviti tudi ustrezne obloge sten jaškov, katere preprečujejo morebitne poškodbe le-teh, ki bi se lahko pojavile kot posledica velikih trenjskih sil.

Kljub številnim različicam zaklopke, ki zagotavljajo njihovo prilagodljivost na različne lokalne razmere in pogoje obratovanja, njihovo uporabo omejuje kar nekaj dejavnikov. Najpomembnejši izmed njih je zagotovo prelivna višina, od katere so odvisne hidrodinamične obremenitve, ki na zaklopko delujejo pri prelivanju in določajo sile, potrebne za dvig zapornice (velikost pogonskih agregatov). Te so, tako kot pri dvodelni tablasti zapornici z zaklopko, največje, ko je zaklopka odprta približno do polovice.

$$R_x = p \cdot A = p \cdot L \cdot 1 = \rho \cdot g \cdot k_1 \cdot h_p \cdot k_2 \cdot h_p \cdot 1 = \rho \cdot g \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot h_p^2 = konst_{.1} \cdot h_p^2 \quad (2)$$

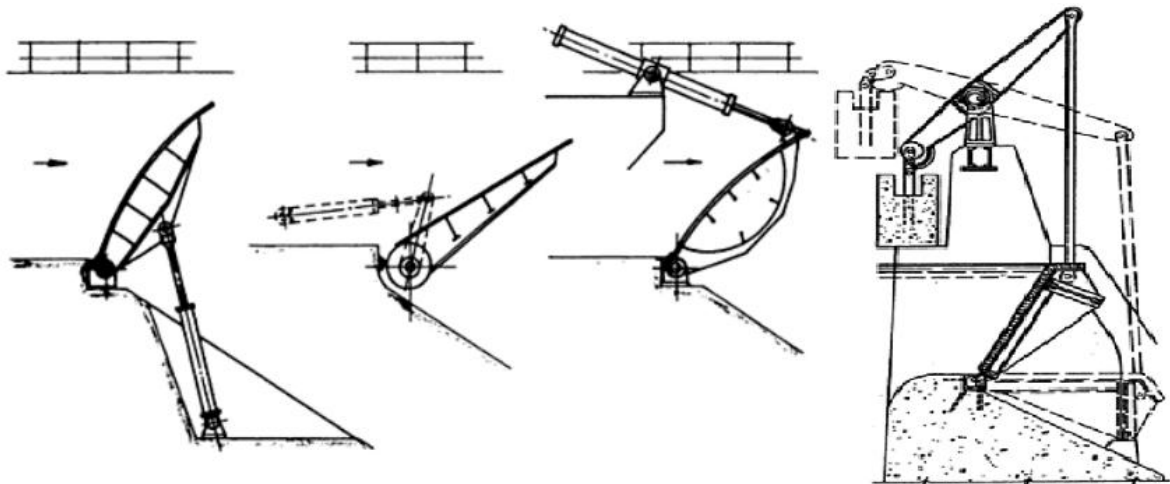


$$M_x = r_x \cdot R_x = k_3 \cdot h_p \cdot \rho \cdot g \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot h_p^2 = \rho \cdot g \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot h_p^3 = konst. \cdot h_p^3 \quad (3)$$

Kot je razvidno iz zgornjih enačb, se rezultanta hidrodinamičnih sil na enoto širine zaklopke ( $R_x$ ) spreminja s kvadratom prelivne višine ( $h_p$ ), medtem ko je moment te sile ( $M_x$ ) sorazmeren tretji potenci prelivne višine. To torej pomeni, da se z naraščanjem prelivne višine zaklopke zelo hitro povečujejo tudi obremenitve, ki nanjo delujejo in s tem omejujejo njeno uporabnost. Oznake v enačbah pomenijo še:  $\rho$ ...gostoto vode ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ),  $g$ ...gravitacijski pospešek ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ),  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ...koeficienti, odvisni od prelivnega obrisa zaklopke ter  $L$ ...ločna dolžina zaklopke. Naslednji faktor, ki prav tako omejuje uporabnost zaklopk (predvsem na pragovih in nizkih jezovih), predstavlja transport plavin preko zaporničnega profila. Vodna stran zaporne ploskve je namreč izpostavljena obrusu zaradi plavin, ki jih s seboj nosi prelivajoča se voda, kar pa predstavlja precejšen problem predvsem za tanko plast protikorozijske zaščite zapornice, ki jo lahko večji trdni delci, ki z veliko hitrostjo trkajo v zaklopko, poškodujejo. Na poškodbe zaradi obrusa so sicer precej občutljiva tudi gumasta tesnila zapornice, vendar so ta običajno zaščitena z jekleno pločevino, kakor prikazuje slika 15. Tretji dejavnik, ki omejuje uporabnost zaklopk kot samostojnih zapornic in je pomemben na pragovih in nizkih jezovih, predstavlja gladina spodnje vode. Če ta pri najvišjih vodostajih sega do osi oz. ležajev zaklopke in s tem otežuje ali celo onemogoča dotekanje zraka v prostor pod zaklopko, se tam pojavijo podtlaki, ki poleg vibracij zapornice povzročajo tudi valovit odtok dolvodno, katerega posledica je velika obremenitev odseka struge pod zapornico (poškodbe obrežnih zavarovanj, erozija dna in brežin struge, poškodbe podslapja,...). Tudi zato je pravilno izvedeno in zadostno ozračevanje prostora pod zaklopko bistvenega pomena, saj ustrezna razporeditev cevi ali kanalov omogoča dovajanje zraka tudi po tem, ko spodnja voda zalije tečaj zaklopke, in tako zagotavlja nemoteno obratovanje zapornice, ne glede na njen položaj in višino spodnje vode.

Za zmanjšanje potrebnih dvižnih sil in pogonskih mehanizmov zaklopke se lahko v dvižni sistem namestijo protiuteži, ki pa se v posebnih primerih lahko uporabijo celo kot samostojni in avtomatizirani dvižni mehanizmi. Pri tovrstnih izvedbah dodaten pogon zapornice ni potreben, saj sistem deluje izključno na podlagi ravnotežja med težo uteži in vodnim pritiskom, ki deluje na zaklopko. Dokler je moment, ki odpira zaklopko in je posledica vodnih pritiskov, manjši od momenta, ki ga povzroča teža uteži, zaklopka ostaja zaprta. Ko pa gladina zgornje vode naraste na določeno koto, pri kateri moment, ki ga povzročajo vodni pritiski, preseže moment zaradi teže uteži, se zaklopka odpre in nivo zgornje vode začne upadati. Zaklopka se ponovno zapre, ko gladina zgornje vode upade pod nivo, pri katerem je moment, ki ga povzroča utež, večji od momenta, ki ga povzroča zajezena voda. To pomeni, da koto zgornje vode uravnavamo zgolj s spreminjanjem mase uteži. Kljub enostavnosti obratovanja in neodvisnosti od pogonskih virov so tovrstni sistemi redki, saj ne omogočajo natančne regulacije zgornje vode, narasla spodnja voda lahko pri nizkih jezovih in pragovih prepreči odpiranje zaklopke (hidrostatični pritiski na dolvodno stran zapornice), poleg tega

pa težave povzročata tudi nestabilnost, ki je posledica valovanja zajezone vode. Ker je v tovrstnih sistemih drsno trenje stranskih tesnil edina sila, ki zavira gibanje zaklopke, je za zmanjšanje neželenih hitrih nihanj zapornice potrebno vgraditi tudi posebne hidravlične blažilce. Druga, redkeje uporabljena vrsta zaklopk, pa so lesene zaklopke, ki se uporabljajo samo za začasno zapiranje pretočnih profilov (z namenom dviga nivoja zgornje vode pri nizkih pretokih) in tako kot zaklopke s protiutežjo, zagotavljajo avtomatsko odpiranje, ko gladina zgornje vode naraste na določeno višino.



Slika 21: Različne izvedbe zaklopk (od leve proti desni): enostavna zaklopka s hidravličnim pogonom pod zaklopko, zaklopka s protitorzijskim valjem in hidravličnim pogonom v stebri, protitorzijska zaklopka z obliko ribjega trebuha z gorvodnim enostranskim hidravličnim pogonom ter zaklopka s protiutežjo brez dodatnega pogona (Lewin, 2001, str. 25, 26)

#### 4.2.2 Prednosti

Ena najpomembnejših prednosti zaklopk v primerjavi z vsemi (dvodelnimi) tablastimi zapornicami je zagotovo odsotnost stebrnih niš, ki so pri tablastih zapornicah vzrok številnih težav (zatikanje plavja, nezaželeni hidrodinamični procesi, slabitev prereza,...), katere smo opisali že v prejšnjih poglavjih. Kljub temu, da je sicer možna izvedba, pri kateri se robova zaklopke gibljeta po utorih v stebrih, v katerih so, zaradi zaščite pred vodnim tokom in plavjem, nameščeni dvižni mehanizmi, pa se takšni sistemi, prav zaradi težav povezanih z utori, skorajda ne uporabljajo. Na bokih zapornice sta tako v stene stebrov sidrani zgolj tesnilni plošči, ki omogočata stransko tesnjenje zaklopke in sta pomaknjena v betonsko steno, skupaj s katero tvorita enotno lice (površina tesnilne plošče leži v isti ravnini kot površina betonske stene). S tem so torej odpravljeni vsi problemi, ki jih povzročajo utori v stebrih, ko je zapornica bodisi odprta, zaprta ali v gibanju. Pri vgradnji nove hidromehanske opreme bi odprava utorov zmanjšala tudi stroške izvedbe, saj majhne dopustne tolerance, pri vgradnji tirnic z vodili za dvodelne tablaste zapornice, pomenijo zahtevno in drago gradnjo, kateri pa bi se z uporabo zaklopk izognili. Stebri med prelivnimi polji so namenjeni predvsem bočnemu tesnjenju zaklopk, v določenih primerih pa so na njih nameščeni še pogonski mehanizmi. Če stebri zagotavljajo zgolj tesnjenje

zapornice, so ti lahko ozki (ni velikih obremenitev in utorov) in nizki, kar v primerjavi s tablastimi zapornicami, ki za polni dvig zahtevajo visoke in široke stebre, omogoča veliko boljše in lažje vključevanje objekta v prostor. Ožji stebri med prelivnimi polji poleg tega tudi manj ovirajo odtok visokih voda, saj so pri dani širini zajezne zgradbe svetli razponi prelivnih polj večji, kar pomeni večjo prelivno kapaciteto pri isti prelivni višini oz. pri isti koti zgornje vode. Ko so na stebrih nameščeni hidravlični cilindri za pogon zapornic, so širine stebrov zaradi zagotavljanja nosilnosti (prenos obtežbe z zapornice na cilindar in preko tega na steber) sicer nekoliko večje, vendar kljub temu manjše, kot pri tablastih zapornicah. Enako pa velja tudi za višine stebrov. V primeru namestitve hidravličnih cilindrov na dolvodno stran, t.j. pod zaklopko, je pri zaježitvenih višinah do 2 m in ob uporabi protitorzijsko oblikovanih zaklopk, brez vmesnih stebrov mogoče zapiranje razponov vse do 60 m, kar pomeni, da se z uporabo zaklopk pogosto lahko celo izognemo gradnji stebrov in tako omogočimo povsem neoviran odtok visokovodnih pretokov preko zajeznega profila. Ne nazadnje odsotnost stebrov med prelivnimi polji pomembno vpliva tudi na končno ceno gradbenih del. Poleg tega je na istem prelivu, prav tako brez vmesnih stebrov, mogoče celo obratovanje dveh ločenih zaklopk z vmesnim tesnilnim ščitom, kar je ugodno predvsem pri velikih zaježitvenih širinah, saj je na ta način mogoče odpiranje oz. zapiranje tudi samo polovice prelivnega polja. To pa pomeni manjše obratovalne stroške in večjo obratovalno varnost zapornic. A ker gre pri zapornici na Ljubljani pri Ambroževem trgu za zamenjavo hidromehanske opreme na obstoječi zajezni zgradbi, katere konstrukcija se iz spomeniškovarstvenih razlogov ne sme bistveno spreminjati, niti širine stebrov niti zaježitvene širine zapornic niso merodajne pri odločanju o najprimernejšem tipu zapornic. V konkretnem primeru pomembno prednost zaklopk predstavlja predvsem možnost zelo natančnega uravnavanja kote zgornje vode, ki je posledica dejstva, da voda ves čas preliva zaklopko, katere prelivni rob je mogoče držati v poljubnem položaju med povsem odprto in povsem zaprto lego ter tako vseskozi natančno uravnati količino pretoka preko zapornice. To je na Ljubljani še posebej pomembno v obdobju nizkih pretokov, ko je potrebno v mestu in na Barju vzdrževati dogovorjeno koto zaježitve, hkrati pa se poskuša dolvodno od zapornice in na Gruberjevem kanalu zagotavljati tudi predpisan ekološko sprejemljiv pretok. V sušnem obdobju, ko so temperature vode običajno visoke in je zato vsebnost kisika, raztopljenega v vodi, nizka, je v našem primeru zelo pomembna še ena prednost, ki je skupna vsem tipom zaklopk, in sicer prevajanje vode preko zapornice s stalnim prostopadnim prelivanjem, ki zagotavlja vnos večjih količin, za obstoj vodnega življa bistvenega kisika, v vodno telo. Možnost natančnega uravnavanja pretoka preko zapornice, v kombinaciji s hidravlično ugodnimi razmerami pri prelivanju in ugodnim načinom obratovanja zaklopke (odpiranje s spuščanjem v smeri vodnega toka), zagotavlja učinkovito prevajanje plavja preko zaporničnega profila, brez večjega upada gladine zgornje vode. To pomeni, da je možnost zastajanja plavja pred zapornico dosti manjša, oz. da je postopek splakovanja (predvsem večjih kosov) plavja z odseka pred zapornico, mogoče izvajati tudi pri manjših pretokih in se zato lahko izvaja pogosteje, t.j. še preden se tam naberejo večje količine smeti in drugih plavajočih predmetov, ki kazijo zapornični objekt in

njegovo okolico. Da bi našteje prednosti zaklopk sploh lahko izkoristili, bi morala biti seveda tudi v tem primeru, tako kot pri dvodelnih tablastih zapornicah, maksimalna kota zaježitve postavljena na 286,0 m, kar pri obstoječi koti praga 281,41 m pomeni zaježitveno višino 4,59 m oz., ob upoštevanju 60° kota med tangento na zaklopko in horizontalo, ravno dolžino zaklopke okoli 5,30 m. Naslednjo prednost zaklopk predstavlja možnost hitrega in enostavnega zasilnega odpiranja zapornice ob izpadu pogona, saj se zaklopka lahko odpre pod vplivom vodnega tlaka. Če je uporabljen hidravlični dvizni mehanizem, se namreč v primeru okvare, zgolj ročno, odpre poseben obvodni ventil in iz cilindra postopoma izpusti hidravlično tekočino, s čimer v cilindru zmanjšamo tlak in zaklopka se odpre. Podoben, vendar avtomatiziran varnostni sistem, je v sodobne izvedbe zaklopk s hidravličnim pogonom, vgrajen tudi za preprečevanje preobremenitve zapornice, bodisi zaradi kopičenja plavja ali ledu tik pred zaklopko ali pa zaradi trka plovila v zapornico. V hidravličnih cilindrih so v ta namen nameščeni merilci tlaka, ki v primeru, da ta preseže določeno vrednost, ki pri običajnem obratovanju zaklopke ne more biti dosežena, preko elektronskega krmiljenja aktivirajo in odprejo obvodne ventile na hidravličnih cilindrih, tako da se zapornica samodejno odpre in tlak v cilindrih pade na običajno (določeno) vrednost. Polno varnostno odpiranje pa je nekoliko problematično pri zaklopkah z obliko ribjega trebuha, ki delujejo na nizkih jezovih in pragovih, saj lahko visoka spodnja voda onemogoči spust zapornice v povsem odprto lego. Zrak, ujet v zaprti lupinasti konstrukciji zapornice, namreč povzroča vzgonske sile, ki so lahko večje od vodnih pritiskov, ki zaklopko odpirajo, zato se zaklopka ne more spustiti v skrajno spodnjo lego, pri tem pa dodatno težavo predstavljajo tudi vibracije zapornice, do katerih pride v takšni situaciji (ker v cilindru ni tlaka, ki bi potiskal batnico in zaklopko v odprti položaj, lahko hidrodinamični tokovi v okolici zaklopke vzbujejo njeno nihanje). V primeru, da je zaklopka vgrajena na objektu, kjer vpliv spodnje vode ni prisoten oz. ne povzroča težav, ima odpiranje zaklopk z vodnim pritiskom še eno prednost, in sicer omogoča uporabo precej cenejših in manjših hidravličnih cilindrov z enostranskim delovanjem. Številne različice zaklopk, tako v smislu konstrukcijske zasnove kot tudi v smislu pogona, zagotavljajo fleksibilnost in prilagodljivost zaklopk lokalnim razmeram, kar je še posebej pomembno v primeru rekonstrukcij objektov kot je zapornica pri Ambroževem trgu, kjer hidromehansko opremo prilagajamo obstoječi betonski konstrukciji jezua. Še eno pomembno prednost zaklopk predstavljajo ugodne hidravlične razmere na prelivnem polju pri odvajanju visokovodnih pretokov, ki so posledica ne le velikih prelivnih širin in odsotnosti stebrih niš (možna celo izvedba brez vmesnih stebrov), ampak tudi kontinuiranega obrisa prelivnega hrpta ter izločitve komponent pogonskega mehanizma iz vodnega toka. Zaklopka je namreč v povsem spuščnem položaju praviloma pomaknjena v nišo, tako da je njena nosilna konstrukcija umaknjena iz vodnega toka, medtem ko se zaporna ploskev prilega prelivnemu hrptu betonske konstrukcije praga ali jezua, s katerim tvori neprekinjen prelivni obris. Poleg tega so pogonski mehanizmi pri zaklopkah s protitorzijskim valjem umaknjeni v obrežne stebre oz. stebre med prelivnimi polji, medtem ko so hidravlični cilindri, ki se najpogosteje uporabljajo za pogon protitorzijsko oblikovanih in enostavnih zaklopk, lahko nameščeni na nizvodno stran, t.j. pod zaklopko. S tem je torej vpliv zajezne zgradbe na

odtok visokih voda zmanjšan na minimum, saj so iz vodnega toka umaknjene vse ovire, ki bi lahko vplivale na odtok in zmanjševale pretočno sposobnost prelivnega polja oz. celotnega (rečnega) pretočnega profila. Seveda ima umik dvižnih mehanizmov iz vodnega toka v stebre ali pod zaklopko tudi številne druge prednosti. Tako je med drugim preprečeno zatikanje in zaustavljanje plavja, ki lahko povzroči blokado zapornice, odstranjena je nevarnost poškodb pogona zaradi trkov večjih plavajočih predmetov, prav tako pa komponente pogonskih mehanizmov niso izpostavljene vplivom korozije, zamrzovanja in abrazije zaradi suspendiranih plavin. Vse to ugodno vpliva predvsem na stroške, in sicer same izvedbe (uporabljeni so lahko cenejši materiali) kot tudi kasnejšega vzdrževanja (mazanje, protikorozijska zaščita, odstranjevanje plavja,...) ter podaljšuje amortizacijsko dobo dvižnih mehanizmov. Če dimenzije zapornice to dopuščajo, je možno stroške izvedbe, vzdrževanja in obratovanja dodatno zmanjšati z uporabo zaklopk s protitorzijskim valjem ali protitorzijsko oblikovanih zaklopk z enostranskim pogonom. Še posebej v primerjavi z dvodelnimi tablastimi zapornicami z ločenima obojestranskima pogonoma zgornje in spodnje table, so ti stroški znatno manjši. Poleg tega manjše število pogonskih naprav in njihovih komponent pomeni tudi manjšo možnost okvare katere izmed njih in posledično večjo obratovalno varnost zapornice. Slednjo pa dodatno povečuje dejstvo, da tako kot plavje, tudi led ne ovira obratovanja zaklopk, saj ga je mogoče z izmeničnim dviganjem in spuščanjem zaklopke enostavno razbiti ter »odplakniti« z zaporne ploskve. Poleg učinkovitega odvajanja plavja in ledu, je v primeru zapornice na Ljubljani, z namestitvijo zaklopke ugodno rešen tudi problem hitrega in nenadnega splakovanja mulja ob dvigu spodnje table, ki se pojavlja pri obratovanju obstoječih zapornic in poslabšuje življenjske razmere dolvodno. Takšen »scenarij« po namestitvi zaklopk ne bi bil več mogoč, saj bi izpiranje mulja iz struge gorvodno od zapornice potekalo postopoma ter sorazmerno z naraščanjem pretoka in odpiranjem zaklopke. Tako bi bilo razredčenje mulja vedno dovolj veliko, da ne bi ogrozilo vodnega živilja dolvodno. Kot kažejo izsledki HMR, s katero je bil preverjen IP iz leta 2003, pa tudi predvideni betonski prag, na katerega naj bi se namestili novi zaklopki, ne bi vplival na sposobnost splakovanja mulja. Še eno prednost zaklopk v primerjavi z dvodelnimi tablastimi zapornicami predstavlja enostavna izvedba tesnjenja (enostaven prehod iz horizontalnega v vertikalno tesnilo, ni problematičnega stika med zgornjo in spodnjo tablo, enostavnejša vgradnja tesnilnih površin, tesnjenje pa je zagotovljeno v vseh položajih zaklopke), ki je, ne le finančno, ampak tudi obratovalno, učinkovitejša in omogoča zamenjavo brez odstranjevanja zapornice z njenih ležišč oz. tečajev.

#### **4.2.3 Pomanjkljivosti**

Glavno pomanjkljivost pri zamenjavi obstoječe hidromehanske opreme z zaklopkama predstavlja potrebno spreminjanje oz. prilagajanje obstoječe betonske konstrukcije. Čeprav se maksimalne zajezitvene višine zaklopk gibljejo okoli 6 m, naj te iz ekonomskih razlogov ne bi presegle vrednosti okrog 4,5 m. Zato je bila že v projektu iz leta 2003 (glej poglavje 3.3.1), ki je predvideval

nadomestitev obstoječih dvodelnih tablastih zapornic s protitorzijsko oblikovanima zaklopkama (oblika ribjega trebuha) z enostranskim hidravličnim pogonom, predlagana izvedba betonskega praga višine 1,75 m, ki bi omogočil sidranje zaklopk in hkrati zmanjšal njune dimenzije ter posredno tudi dimenzije in ceno dvižnih mehanizmov. Vendar pa je izvedba takšnega praga v konkretnem primeru lahko precej problematična, saj se nanj prenaša večji del obtežbe z zaklopke, hkrati pa je obremenjen tudi s hidrostatičnim tlakom. To pomeni, da na prag med obratovanjem zaklopke delujejo velike sile, zato mora biti ta dobro nosilen kot tudi ustrezno sidran v podlago, ki pa je, ne le zaradi starosti in dotrajanosti, ampak tudi zaradi pomanjkanja podatkov o njeni izvedbi (način vgradnje, uporabljeni material), vprašljive kvalitete. V ta namen bi bilo potrebno izvesti dodatne raziskave, ki bi pokazale, ali je sidranje praga v obstoječo podlago sploh izvedljivo (armatura, raznos obtežbe,...), ali pa bi bilo potrebno le-to dodatno utrditi, oz. jo celo delno zamenjati. Poleg tega je vprašljiva tudi nosilnost temeljnih tal na območju predvidenega praga, t.j. med srednjim in obrežnima stebroma, saj glede na razpoložljive načrte, pilotiranje tam ni bilo izvedeno, kar pomeni, da bi bilo v primeru, da se izkažejo tla pod betonsko oblogo dna struge za premalo nosilna, potrebno izvesti tudi pilotiranje, oz. uporabiti kak drug postopek za utrditev temeljnih tal (npr. Jet-grouting), kar pa seveda znatno vpliva na stroške izvedbe. Problem predlaganega betonskega praga predstavlja tudi ustavljanje in akumuliranje plavin (mulja) gorvodno od zapornice. Izvedena HMR je sicer pokazala, da bi že pri pretokih, nekoliko večjih od srednjega pretoka, prišlo do izpiranja mulja, ki bi se pri manjših pretokih nalagal pred zapornico, vendar pa problem predstavljajo predvsem večja zrna rinjenih plavin, ki jih vodni tok ne bi mogel odnesti preko zaklopke in bi se zato nabirala pred pragom. Nadaljnje prilagajanje obstoječe betonske konstrukcije zapornice bi zahtevala namestitev pogonskih mehanizmov zaklopke. Ne glede na vrsto uporabljenega pogona bi bilo namreč potrebno zaradi spremembe načina gibanja zapornic (translatorno gibanje obstoječih dvodelnih tablastih zapornic → rotacijsko gibanje novih zaklopk) vsaj deloma prilagoditi betonsko konstrukcijo. V omenjenem projektu je bil predlagan enostranski hidravlični pogon s potopljenim gorvodno nameščenim cilindrom, ki bi bil pritrjen na obrežni steber, katerega pa bi bilo potrebno v ta namen dodatno podaljšati. Namestitev ležajev servomotorjev bi pomenila delno ali celo popolno rušenje obrežnih zidov na 4–5 m dolgem odseku gorvodno od stebra, nato pa bi bilo potrebno na novo zabetonirati podaljšek obstoječega stebra ter vanj ustrezno sidrati in vbetonirati nosilec servomotorja. V primeru, da bi raziskave temeljnih tal pokazale potrebo po izboljšanju njihove nosilnosti, bi bilo potrebno tudi pod podaljškoma stebrov izvesti pilotiranje ali Jet-grouting ter tako zagotoviti ustrezen prenos obtežbe zaklopke, ki odpade na hidravlični cilindri, v temeljna tla. Kljub vsemu pa takšna izvedba pogona zahteva še najmanj prilagajanja jezovne zgradbe. Če bi na primer želeli namestiti hidravlični cilindri pod zaklopko, bi bilo potrebno v dnu izvesti niše za vgradnjo pogonske opreme in cilindrov, še večje posege v betonsko konstrukcijo pa bi zahtevala namestitev zaklopk s protitorzijskim valjem, saj bi bilo na bregovih potrebno zgraditi galeriji, v kateri bi se namestil pogonski mehanizem, v obstoječem stebru pa bi bilo potrebno izdelati odprtino, skozi katero bi potekala pogonska os zaklopke. Dodatne ureditve obstoječe konstrukcije za prilagoditev novi

hidromehanski opremi bi zahtevala tudi stransko tesnjenje in izvedba ozračevanja prostora pod zaklopko. Tako bi bilo, za tesnjenje na bokih zaklopke, v območju njenega gibanja potrebno zapreti obstoječe stebrne niše in namestiti tesnilne plošče iz nerjavečega jekla, poleg tega pa bi se morale vgraditi še cevi za dotok zraka. V obravnavanem projektu je v ta namen predvidena vgradnja treh cevi  $\Phi$  250 mm in ene cevi  $\Phi$  500 mm v vsako izmed stebrnih niš, ki bi se nato do določene višine zabetonirale, preko pa bi se namestile tesnilne plošče, ki bi bile sidrane v stebre. Ker bi tesnilne plošče pri tem segale preko območja stebrnih utorov, bi bilo potrebno izravnati tudi del stene stebrov gorvodno od utorov, kar bi zahtevalo rušenje tanjše plasti betona, ponovno betoniranje ter po potrebi tudi injektiranje nastalih odprtih za ploščo. Kot je torej razvidno iz napisanega, bi bil za prilagoditev zapornice na Ljubljani novima zaklopkama, kljub dejstvu, da so bile v projektu iz leta 2003 izbrane rešitve, ki zahtevajo najmanjše možne posege v gradbeni del zapornice, še vedno potreben precejšen obseg gradbenih del, ki bi spremenila konstrukcijo obstoječega objekta. Vse te spremembe naj bi bile sicer po zaključku del skrite pod vodno gladino, s čimer bi bil izpolnjen pogoj ohranitve Plečnikove arhitekturne dediščine, vendar pa tovrstne prilagoditve konstrukcije, ki pri dvodelnih tablastih zapornicah niso potrebne, pomembno vplivajo na končno ceno izvedbe. Ta vpliv pa bi bil seveda lahko še mnogo večji, če bi se uporabil kak drugi tip zaklopke, druga vrsta pogona,.... Čeprav je predlagani enostranski hidravlični pogon z gorvodno nameščenim valjem v konkretnem primeru najustreznejši, pa ima tudi kar nekaj pomanjkljivosti. Pri zaklopkah, ki imajo cevi cilindrov nameščene na obrežnih stebrih oz. stebrih med prelivnimi polji, je namreč pri spuščeni zaklopki dovršen del batnice potopljen v vodni tok, kar poleg motenj toka, ki so posledica hidrodinamičnih procesov pri obtokanju batnice in posledičnega zmanjšanja pretočne sposobnosti, predstavlja tudi nevarnost zatikanja in zaustavljanja plavja ter večjih zrn rinjenih plavin med batnico in steno stebra, kar lahko v najslabšem primeru povzroči celo blokado zaklopke. Nadalje potopljenost batnice povečuje nevarnost korozije oz. zahteva uporabo kvalitetnejših in dražjih materialov (nerjaveče jeklo), problem pa predstavljata tudi abrazija (suspendirane plavine) in zamrzovanje. Velik problem potopljenosti komponent pogonskih mehanizmov (še posebej ker cilindri ni umaknjen v utor v stebri, pač pa je izpostavljen neposrednemu vodnemu toku) predstavlja tudi nevarnost trkov večjih kosov plavja, ki lahko povzročijo deformacije batnice in tako onemogočijo nadaljnje obratovanje zaklopke. Te nevarnosti so v primeru Plečnikove zapornice še toliko večje, ker naj se njen izgled iz spomeniškovarstvenih razlogov ne bi spreminjal, zato je bila v projektu predlagana namestitev celotnega hidravličnega cilindra pod vodno gladino (to je v tem primeru pravzaprav edina možnost), tako da ta ne bi bil viden. To seveda pomeni, da bi bila poleg batnice potopljena tudi cev cilindra in nosilec z ležajem in to ne le, ko bi bila zaklopka odprta, pač pa ves čas obratovanja zapornice, kar poleg že naštetih težav, ki jih prinaša potopitev, pomeni tudi nedostopnost dviznega mehanizma. Pregledi, vzdrževanje (mazanje) in popravila slednjega bi se namreč v tem primeru lahko izvajali samo, ko bi bile nameščene pomožne zapornice, kar pa je drago in hkrati povečuje nevarnost poplav gorvodno od zapornice, saj zaprto pretočno polje pomeni, da mora celotna vodna količina odtekati

preko enega prelivnega polja. Alternativna možnost za izvajanje rednih pregledov in morebitnih manjših vzdrževalnih del ali popravil je uporaba potapljača, ki pa je ne le draga, ampak tudi ne omogoča izvajanja nekoliko zahtevnejših del, ki jih je pri cilindru, nameščenem na stebru nad vodno gladino, mogoče opraviti s stebra ali posebnega pontona. Naslednjo pomanjkljivost zaklopk, ki je prisotna pri zapornicah na pragovih, predstavlja obrabo vodne strani zaporne ploskve zaradi prelivanja suspendiranih plavin in, pri velikih pretokih, tudi večjih zrn rinjenih plavin. Poškodbe jeklene zaporne ploskve so sicer redke, precej večji problem pa predstavljajo poškodbe protikorozijske zaščite, ki jo je potrebno pogosteje obnavljati, kar vpliva predvsem na stroške vzdrževanja oz., če protikorozijska zaščita ni ustrezno obnovljena, na življenjsko dobo zaklopke. Ker se tako oblika in razmik rezalcev vodnega toka kot tudi presek cevi za dovod zraka in njihova razporeditev običajno določajo s hidravličnimi modelnimi raziskavami, to pomeni, poleg zahtevnejšega in dražjega projektiranja, tudi zahtevnejšo in dražjo izdelavo zapornice. Pri zaklopkah na pragovih in nizkih jezovih predstavlja problem stalen vpliv spodnje vode, oziroma stalna potopljenost ležajev, ki onemogoča dostop do ležajev ter s tem njihovo mazanje in redne preglede, prav tako pa ni mogoče niti pregledovanje horizontalnega tesnila zaklopke. Še večjo težavo predstavlja vpliv spodnje vode, za zaklopke s hidravličnimi cilindri, nameščenimi pod zapornico, saj njihovo vzdrževanje, tako kot pri zaklopkah s povsem potopljenimi gorvodnimi cilindri, ni mogoče brez namestitve pomožnih zapornic, prav tako pa so izpostavljeni tudi koroziji in zamrzovanju. Dodatne težave pri zaklopkah s stalnim vplivom spodnje vode povzročajo tudi niše, v katere se v spuščnem stanju pomaknejo zaklopke, saj se zaradi vrtničnih tokov, ki se pojavljajo pri prelivanju vode v podslapje, v njih nabirajo plavine in plavje, ki ovirajo, ali v najslabšem primeru celo onemogočijo polno odprtje zapornice. Za odstranjevanje plavja in plavin iz niš se sicer uporabljajo posebni splakovalni sistemi (več možnih različic: splakovanje z vodnim curkom, stisnjnim zrakom ali vodo iz akumulacije), ki pa so dragi in pogosto neučinkoviti. Četrta pomanjkljivost, ki je povezana z visokim nivojem spodnje vode in se pojavlja samo pri zaklopkah z obliko ribjega trebuha, je nezmožnost polnega zasilnega odpiranja zaklopke pod vplivom vodnih pritiskov v primeru izpada pogona. Gre za pomanjkljivost, ki je posledica delovanja vzgonskih sil na zaklopko in je nekoliko podrobneje opisana v prejšnjem poglavju. Naslednjo pomanjkljivost, ki pa je skupna vsem zaklopkam, predstavlja izpostavljenost nizkim temperaturam. Ker je spodnja stran zaklopke ozračena, se lahko v zimskem času, zaradi zadrževanja mrzlega zraka pod zaklopko, ki ohlaja zaporno ploskev, na njeni vodni strani začne nabirati led. To povečuje njeno težo in povzroča dodatne obremenitve pogonskih mehanizmov. Dodatne težave, povezane z nizkimi temperaturami, se pojavljajo pri zaklopkah, kjer je stalno prisoten vpliv spodnje vode, saj pršeča voda, ki je posledica prelivanja vodnega curka v podslapje, zmrzuje na ležajih, tesnilih in na zračni strani zaporne ploskve, če so hidravlični cilindri nameščeni pod zaklopko, pa tudi na njihovih cevih in batnicah. Tako kot pri tablastih zapornicah je seveda tudi pri zaklopkah, izpostavljenih nizkim temperaturam, potrebno zagotoviti ogrevanje tesnilnih površin (električni uporovni grelci), ki preprečuje nabiranje ledu, ki bi lahko povzročil poškodbe tesnil in posledično netesnost zaporničnega profila. Izvedba ozračevanja



prostora pod zaklopko ni problematična le z vidika spreminjanja obstoječe konstrukcije zapornice, ampak tudi zaradi velikih hitrosti zraka v ceveh, ki zahtevajo uporabo sorazmerno dragega galvaniziranega jekla ali podobnega materiala (problem abrazije). Predvsem pri zaklopkah, kjer spodnja voda v času večjih pretokov zalije ozračevalne kanale, je potrebno na izstopne odprtine namestiti zaščitno mrežo, ki preprečuje morebitno zatikanje plavja in vnos večjih zrn plavin, ki bi lahko zamašili cevi. Zaščitna mreža se praviloma namesti tudi na vstopne odprtine kanalov, saj lahko tujek, ki zaide v kanal, povzroči zmanjšanje preseka, kar lahko privede do pojava podtlakov in nevarnih vibracij zaklopke. Manjšo pomanjkljivost, ki se nanaša na vse tipe zaklopk, pa predstavlja tudi stalna obremenjenost pogonskega mehanizma. Slednji mora namreč ves čas obratovanja zapornice, razen ko je ta v povsem spuščnem stanju, držati zaklopko v določeni poziciji med polno odprtim in polno zaprtim položajem. Zaklopka je pri tem ves čas obremenjena s polno vodno obtežbo, ki je v primerjavi z zgornjo tablo ali zaklopko na dvodelni tablasti zapornici, na katero deluje le del zaježitvene višine, mnogo večja.

### 4.3 Pogon

Za odpiranje in zapiranje zapornic so danes v uporabi številni različni dvižni mehanizmi, ki se razlikujejo tako po načinu delovanja in prenosa sil kot tudi po prilagodljivosti lokalnim razmeram, uporabnosti za posamezen tip zapornic in ne nazadnje po mestu vgradnje. Pri tem je zelo pomemben dejavnik tudi čas vgradnje, saj so se z razvojem strojništva začele uporabljati nove in nove vrste pogonov, medtem ko se je na drugi strani uporaba nekaterih začela opuščati. Tako je na primer na enakih zapornicah podobnih dimenzij moč zaslediti različne vrste pogonskih mehanizmov. Vendar pa je to še bolj kot z obdobjem, povezano z lokacijo vgradnje hidromehanske opreme, saj je projektiranje pregrad, jezov in zapornic (še vedno) precej konservativno in temelji na načelu »dobre prakse« oz. na načelu: »Zakaj spreminjati tisto, kar pri nas deluje dobro?«, pri čemer se je »dobra praksa« zaradi specifičnih lokalnih razmer razlikovala od regije do regije. Tako je bil pogosto, kljub poznejši izgradnji objekta in možnosti uporabe drugačnega oz. novejšega pogona, še vedno izbran in uporabljen starejši tip pogona, ki se je na podobni zapornici starejše izvedbe izkazal za učinkovitega.

Za manipulacijo s (dvodelnimi) tablastimi zapornicami in zaklopkami se uporabljata dve vrsti pogonskih mehanizmov, in sicer: servomotorni oz. hidravlični pogon ter mehanski pogoni. Slednji prevladujejo predvsem pri starejših izvedbah zapornic, mednje pa prištevamo: pogon z verigo (valjčna veriga, okrogla oz. navadna veriga), pogon z jekleno vrvjo, pogon z zobatim drogom in pogon z vretenom. Pri novejših zapornicah in rekonstrukcijah obstoječih zaporničnih objektov prevladuje servomotorni pogon, ki je v osnovi enak za vse vrste zapornic, ne glede na mesto in način vgradnje. Vsak izmed naštetih dvižnih mehanizmov ima seveda svoje prednosti kot tudi svoje slabosti oziroma pomanjkljivosti in, medtem ko so določene izmed njih neodvisne od drugih dejavnikov, oz. so vezane

le na lastnosti mehanizma samega, pa so druge odvisne tudi od vrste/tipa zapornice ter lokalnih razmer, v katerih zapornica obratuje. V nadaljevanju tako podajamo tabelarni pregled prednosti in slabosti posameznih vrst pogonskih mehanizmov, ki bo služil kot pomoč pri končni izbiri nove hidromehanske opreme zapornice.

#### 4.3.1 Pogon z verigo

Preglednica 2: Prednosti in pomanjkljivosti pogona z verigo

	Prednosti	Pomanjkljivosti
<b>Pogon z verigo</b>	Takšen pogon je že vgrajen v obstoječi objekt, zato ne bi bilo težav z namestitvijo opreme in prilagajanjem betonskega dela konstrukcije.	Valjčne (Gallove) verige so običajno izdelane po naročilu in zato drage, poleg tega pa zahtevajo redno mazanje in vzdrževanje, kar pomeni tudi večje stroške obratovanja in vzdrževanja zapornice.
	V primeru poškodbe verige ni potrebno zamenjati celotne verige, ampak samo njene poškodovane člene.	Pogosto mazanje starejših tipov (kotalnih) verig povečuje onesnaževanje vodotoka z mastjo oz. oljem, ki ga voda izpira z verig.
	Sodobne izvedbe pogonskih verig ne vsebujejo puš in valjčkov, pač pa so izdelane iz materialov, ki med seboj delujejo kot puše, zato mazanje ni potrebno.	Potrebna so velika prestavna razmerja (redukcije hitrosti) med elektromotorjem in navijalnim bobnom oz. dviznim zobatim kolesom (1500:1–2200:1).
	Namesto obstoječih Gallovih verig, ki so drage in zahtevne za vzdrževanje, je mogoče z manjšimi prilagoditvami sistema uporabiti običajne verige, ki so cenejše in jih ni potrebno mazati.	Lastna teža zapornice (tablasta zapornica) oz. vodni pritisk, ki nanjo deluje (zaklopka), morata biti dovolj velika, da zagotovita spust zapornice v njeno skrajno lego, ne glede na vpliv vzgonskih sil in hidrodinamičnih obremenitev.
	Možnost namestitve sekundarnega motorja, ki ga uporabimo v primeru okvare glavnega pogona.	Pogon ni primeren za zaklopke, pri katerih spodnja voda onemogoča polno odpiranje zapornice (vzgon).
	Enostavna izvedba in obratovanje oz. upravljanje.	Ker pogonski mehanizem ni tog, so mogoče velike vibracije zapornic.
	Možnost povsem ročnega pogona, in sicer tako dviganja kot spuščanja zapornice.	Če je le mogoče, se izogibamo potopitvi verige (abrazija, zatikanje plavja in plavin, izpiranje olja/masti, korozija,...).
	Višina dviga je praktično neomejena.	Natančna medsebojna poravnost zobatih koles je ključnega pomena za pravilno delovanje zapornice.
	Protiuteži zmanjšujejo potrebne dvizne sile in velikost ter ceno dviznih mehanizmov.	Valjčne verige (starejšega tipa) so izpostavljene veliki stopnji obrabe.

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 2

	Navijalni bobn, ki pri pogonu z jekleno vrvjo zavzame veliko prostora, ni potreben, saj se veriga nabira in "shranjuje" na posebnih lovilcih.	V primeru, da se za dvig zapornice uporablja običajna veriga v kombinaciji z navijalnim bobnom, mora biti le-ta dovolj velik, da omogoča navitje celotne dolžine verige v eni sami plasti, poleg tega pa problem povzroča tudi upogib členov verige, ki se lahko deformirajo in poškodujejo.
		Kazala lege zapornice so izvedena s prenosi in elektroaparati in jih je zato potrebno zaščititi pred zaledenitvijo, poleg tega pa omogočajo manjšo natančnost kot kazala pri servomotornem pogonu.

#### 4.3.2 Pogon z jekleno vrvjo

Preglednica 3: Prednosti in pomanjkljivosti pogona z jekleno vrvjo

	Prednosti	Pomanjkljivosti
<b>Pogon z jekleno vrvjo</b>	Enostavna izvedba in obratovanje oz. upravljanje.	V primeru poškodbe jeklene vrvi je potrebno zamenjati celotno vrv.
	Možnost namestitve sekundarnega motorja, ki ga uporabimo v primeru okvare glavnega pogona.	Potrebna so velika prestavna razmerja (redukcije hitrosti) med elektromotorjem in navijalnim bobnom (1500:1–2200:1).
	Možnost povsem ročnega pogona, in sicer tako dviganja kot spuščanja zapornice.	Lastna teža zapornice (tablata zapornica) oz. vodni pritisk, ki nanjo deluje (zaklopka), morata biti dovolj velika, da zagotovita spust zapornice v njeno skrajno lego, ne glede na vpliv vzgonskih sil in hidrodinamičnih obremenitev.
	Višina dviga zapornice je praktično neomejena.	Potrebno je pogosto mazanje jeklene vrvi, kar povečuje vzdrževalne stroške in onesnaževanje vodotoka z mastjo (oljem), ki jo voda izpira z jeklenice.
	Omogoča zelo velike dvižne sile, ki bi sicer zahtevale velike hidravlične cilindre, katerih uporaba pa bi bila neekonomična.	V primerjavi z verigo zahteva jeklena vrv pogostejše vzdrževanje.
	Protiteži zmanjšujejo potrebne dvižne sile in velikost ter ceno dvižnih mehanizmov.	Ker pogonski mehanizem ni tog, so mogoče velike vibracije zapornic.

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 3

Potrebne bi bile zgolj minimalne prilagoditve obstoječega dvižnega mehanizma, medtem ko betonske konstrukcije zaporničnega objekta ne bi bilo potrebno spreminjati.	Pri zapornicah, pri katerih se na isti boben navijata dve ali več vrvi, je kritična enakomerna razporeditev obtežbe med vse vrvi, da ne pride do nagibanja zapornice izven horizontalne lege, ki lahko povzroči njeno blokado (zataknitev).
Protiuteži zmanjšujejo potrebne dvižne sile in velikost ter ceno dvižnih mehanizmov.	Potrebni so veliki navijalni bobni, ki omogočajo navitje celotne dolžine jeklenice (v več plasteh).
	Če je le mogoče se izogibamo potopitvi jeklene vrvi (abrazija, zatikanje plavja in plavin, izpiranje olja/masti, korozija,...).
	Pogon ni primeren za zaklopke, pri katerih spodnja voda onemogoča polno odpiranje zapornice (vzgon).
	Raztezanje jeklenice (vpliv temperature in velikih obremenitev) in plastične deformacije, ki so posledica lezenja, lahko povzročijo neenakomerno obremenjenost vrvi in posledično nagibanje zapornice, ki zahteva ponovno prilagajanje in nastavljanje pogona.
	Kazala lege zapornice so izvedena s prenosi in elektroaparati in jih je zato potrebno zaščititi pred zaledenitvijo, poleg tega pa omogočajo manjšo natančnost kot kazala pri servomotornem pogonu.

#### 4.3.3 Pogon z zobatim drogom

Preglednica 4: Prednosti in pomanjkljivosti pogona z zobatim drogom

Prednosti	Pomanjkljivosti
Omogoča dviganje in spuščanje zapornice, ne glede na lastno težo in vodne pritiske.	Potrebno je pogosto mazanje, kar povečuje vzdrževalne stroške in onesnaževanje vodotoka z mastjo (oljem), ki jo voda izpira z droga.
Enostavna izvedba in obratovanje oz. upravljanje.	Omejena višina dviga zapornice.
Možnost namestitve sekundarnega motorja, ki ga uporabimo v primeru okvare glavnega pogona.	Na dobro namazan zobati drog se lepijo nečistoče in drugi trdi delci, ki lahko povzročijo blokado ali poškodbe pogona oz. zob.

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 4

<b>Pogon z zobatim drogom</b>	Možnost povsem ročnega pogona, in sicer tako dviganja kot spuščanja zapornice.	V primeru okvare končnih stikal ali preobremenilne naprave motorja, obstaja velika nevarnost preobremenitve pogona ter poškodb droga in/ali motorja.
	Natančna in enostavna indikacija lege zapornice brez dodatnih prenosov in elektroopreme.	Potrebna je zadostna svetla višina nad pogonskim sklopom, ki omogoča popoln dvig droga oz. zapornice (če je pogon nameščen v zaporničnem objektu, mora biti ta ustreno visok).
	Tog pogonski mehanizem zmanjšuje vibracije zapornice oz. njihove amplitude.	
	Majhna poraba energije (nizki obratovalni stroški).	

#### 4.3.4 Pogon z vretenom

Preglednica 5: Prednosti in pomanjkljivosti pogona z vretenom

	<b>Prednosti</b>	<b>Pomanjkljivosti</b>
<b>Pogon z vretenom</b>	V primeru izpada pogona zapornica ostane na istem mestu (brez vpliva zavor).	V primeru okvare končnih stikal ali preobremenilne naprave motorja, obstaja velika nevarnost preobremenitve pogona ter poškodb vretena in/ali motorja.
	Omogoča dviganje in spuščanje zapornice, ne glede na lastno težo in vodne pritiske.	Potrebno je pogosto mazanje vretena, kar povečuje vzdrževalne stroške in onesnaževanje vodotoka z mastjo (oljem), ki jo voda izpira z vretena.
	Enostavna izvedba in zanesljivo obratovanje.	Na dobro namazano vreteno se lepijo nečistoče in drugi trdi delci, ki lahko povzročijo blokado ali poškodbe pogona oz. navojev, zato je potrebno vreteno zaščititi pred zunanjimi vplivi.
	Možnost namestitve sekundarnega motorja, ki ga uporabimo v primeru okvare glavnega pogona.	V primerjavi s pogonom z jekleno vrvjo je izkoristek majhen (nizka učinkovitost), stroški obratovanja pa so znatno večji.
	Možnost povsem ročnega pogona, in sicer tako dviganja kot spuščanja zapornice.	Zaradi velike vitkosti vretena je ključnega pomena dimenzioniranje le-tega na uklon, do katerega lahko pride pri spuščanju zapornice, ko je vreteno tlačno obremenjeno.

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 5

Tog pogonski mehanizem zmanjšuje vibracije zapornice oz. njihove amplitude.	Potrebna je zadostna svetla višina nad pogonskim sklopom, ki omogoča popoln dvig vretena oz. zapornice (če je pogon nameščen v zaporničnem objektu, mora biti ta ustreno visok).
Natančna in enostavna indikacija lege zapornice brez dodatnih prenosov in elektroopreme.	V primeru izpada pogona spuščanje zapornice pod vplivom lastne teže ni mogoče.

#### 4.3.5 Servomotorni/hidravlični pogon

Preglednica 6: Prednosti in pomanjkljivosti servomotornega/hidravličnega pogona

Servomotorni/hidravlični pogon	Prednosti	Pomanjkljivosti
	Omogoča nadzorovano dviganje in spuščanje zapornice, ne glede na lastno težo in vodne pritiske.	Hidravlične cevi morajo biti ustrezno izolirane, da v zimskem času ne pride do poškodb zaradi zmrzovanja.
	Merilci tlaka, ki so vgrajeni v hidravlične cilindre, omogočajo hitro indikacijo zatikanja zapornice (horizontalno neporavnana tabla) in drugih težav, ki lahko povzročijo njeno blokado (led, plavje, plavine), ter preko elektronskega sistema samodejno poravnajo zapornico ali prekinejo njeno dviganje/spuščanje.	Prisotna je nevarnost pokanja hidravličnih cevi (dotrajanost, preobremenjenost) in onesnaženja vodotoka s hidravlično tekočino. V zadnjem času se zato uporabljajo biološko razgradljive in okolju prijazne hidravlične tekočine, poleg tega pa mora biti prigraven poseben ventil, ki v takšnem primeru zaustavi iztekanje.
	Namestitev obojestranskega pogona je bistveno enostavnejša kot pri mehanskem pogonu, saj za prenos niso potrebne osi in zobniki, pač pa se prenos enostavno izvede s (fleksibilnimi) hidravličnimi cevmi (ni podvajanja pogonov).	Obstoječo jezovno zgradbo bi bilo potrebno vsaj deloma prilagoditi, da se omogoči namestitev hidravličnih cilindrov in ostalih komponent hidravličnega sistema, kar povečuje zahtevnost izvedbe in vpliva predvsem na ceno investicije.
	Ni prenosov pogona, redukcij hitrosti, zavor in bobnov za navitje jeklenice oz. zobatih koles in lovilcev za verigo.	V primeru premajhne višine stebrne kabine (tablaste zapornice), bi bilo potrebno uporabiti dražje teleskopske cilindre.
	Omogoča zelo natančno regulacijo položaja zapornice, kazala lege pa so izdelana brez prenosov in številnih elektroaparatur - batnica s keramično PK zaščito (zato ni nevarnosti zaledenitve mehanskih delov kazal).	Velike koncentracije napetosti, ki se na konstrukcijo prenašajo preko nosilca (ležaja) servomotorja, zahtevajo ustrezno sidranje in izvedbo armature.

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 6

Pri rotacijskih zapornicah pogona ni potrebno namestiti na stebre nad zapornico, kar zmanjšuje potrebno višino jezovne zgradbe in olajšuje njeno vključevanje v prostor.	Obraba tesnil v hidravličnem cilindru povzroča netesnost in posledično puščanje cilindra, kar vodi do upada tlaka v cilindru in postopnega samodejnega spuščanja zapornice.
Omogoča dobro dušenje vibracij zapornice.	Višina dviga zapornice je omejena.
Prigradeni hidravlični blažilci (dušilke) zmanjšajo hitrost gibanja zapornice, ko se ta približuje skrajni legi, s čimer so preprečene morebitne poškodbe noža zapornice zaradi udarca ob prag.	Potrebno je zagotoviti ogrevanje rezervoarja s hidravlično tekočino, ki v zimskem času drži temperaturo tekočine nad 0°C (s tem je preprečeno tudi nastajanje kondenza v rezervoarju).
Občutljivejše komponente pogonskega mehanizma (črpalke, ventili,...) so umaknjene v zapornični objekt, kjer so zaščitene pred zunanjimi vplivi in vplivi vodnega toka (plavje, plavine, led,...).	Batnice so v večini primerov izpostavljene vodnemu toku in s tem poškodbam oz. deformacijam, ki lahko povzročijo netesnost cilindra ali celo njegovo blokado.
Zaradi zelo razširjene uporabe hidravličnih sistemov, so rezervni deli na tržišču dostopni po konkurenčnih cenah.	
Kljub enostavni zasnovi dopušča pogon zelo velike obremenitve, poleg tega pa zagotavlja zanesljivo obratovanje in enostavno upravljanje.	
Pri zapornicah, ki omogočajo spuščanje pod vplivom lastne teže ali vodnih pritiskov, je mogoče uporabiti cenejše enostranske hidravlične cilindre.	
Z uporabo teleskopskih cilindrov lahko zmanjšamo potrebno višino objekta oz. omogočimo večjo višino dviga zapornice.	
Velik izkoristek sistema ter enostavna in natančna regulacija hitrosti dviganja oz. spuščanja zapornice.	
Velika prilagodljivost omogoča različne načine vgradnje (hidravlični cilinder je tako lahko potopljen/nepotopljen, obešen/podprt).	



Slika 22: Pogon obstoječih zapornic: Gallove verige spodnje table (spredaj) in pogonski drog zgornje table (zadaj)



Slika 23: Strojnica obstoječih zapornic v stebni kabini desnega obrežnega stebra



## 5 PREDVIDENI SANACIJSKI UKREPI

### 5.1 Splošno

Da bi se rešile vse težave, opisane v poglavju 3.3, bo v bližnji prihodnosti potrebna celovita sanacija jezua na Mestni Ljubljani pri Ambroževem trgu. V ta namen smo v okviru naloge pripravili predloge rešitev, na podlagi katerih bi se nato izdelala potrebna tehnična dokumentacija za izvedbo sanacijskih del.

Glede na del jezovne zgradbe, na katerega se posamezen ukrep nanaša, smo predloge razdelili v dve skupini, in sicer:

- 1) predlog za rešitev težav, vezanih na obratovanje obstoječe hidromehanske opreme,
- 2) predlog za rešitev težav, vezanih na obratovanje ribje steze.

V prvem delu (poglavje 5.2) je tako podan predlog za zamenjavo celotne obstoječe hidromehanske opreme jezua (t. j. zapornic s pogonom, sistema za upravljanje z zapornicami, pomožnih zapornic in lovilne zaves), medtem ko v drugem delu (poglavje 5.3) podajamo predlog za izboljšanje učinkovitosti delovanja ribje steze (t. j. ureditev vtoka v ribjo stezo in njenega iztoka ter prehoda pri iztoku nagibnega žleba).

Ker bi se z izvedbo predlaganih sanacijskih ukrepov spremenil tudi način obratovanja jezovne zgradbe, v zadnjem delu podajamo spremembe in dopolnitve, ki bi jih, za optimalno delovanje objekta, morali vnesti v obstoječi obratovalni pravilnik, s čimer bi bila zagotovljena celovitost projekta sanacije.

### 5.2 Hidromehanska oprema

Kot je mogoče razbrati iz 3. oziroma 4. poglavja, je za zamenjavo obstoječe hidromehanske opreme zapornice na Ljubljani pri Ambroževem trgu na razpolago kar nekaj različnih rešitev, pri čemer ima vsaka izmed njih določene prednosti in pomanjkljivosti. Tako ne izbiramo zgolj med različnimi vrstami in tipi zapornic, ampak tudi med različnimi vrstami pogonskih mehanizmov, kar seveda močno poveča število možnih kombinacij, med katerimi izbiramo najprimernejšo. In čeprav večji izbor možnih rešitev pomeni lažje prilagajanje zapornice lokalnim razmeram in obratovalnim zahtevam, ki se spreminjajo od primera do primera, pa po drugi strani povečuje zahtevnost projektantskega dela, saj je število parametrov, ki jih mora projektant poznati in med seboj primerjati, dosti večje. To še posebej velja za nove objekte, oz. objekte v fazi načrtovanja, kjer je število možnih rešitev še večje, saj izbor tako vrste zapornice (segmentna zapornica, sektorska zapornica, strehasti jez, valjčna zapornica,...) kot tudi vrste pogona (vzgon, vodni pritisk, zrak pod tlakom,...), ni omejen

s pogoji obstoječega objekta. Kljub temu pri rekonstrukcijah objektov, ne glede na zmanjšanje obsega možnih rešitev, pogosto prav ti pogoji dodatno otežujejo načrtovanje, saj je celotno hidromehansko opremo potrebno prilagoditi obliki, dimenzijam in izgledu obstoječe jezovne zgradbe. Te zahteve so pri objektih, kot je Plečnikova zapornica na Ljubljani, še toliko večje oz. natančnejše, ker so vezane na predpise o ohranjanju kulturne dediščine, kar pomeni, da so celo zakonsko določene (Zakon o varstvu kulturne dediščine (ZVKD-1), Ur. l. RS, št. 16/2008). In prav zaradi usklajevanja vseh zahtev in interesov je iskanje najustreznejše kombinacije, ki bo nadomestila obstoječo hidromehansko opremo, v primeru zapornice pri Ambroževem trgu, tako zahtevno.

Glede na vsa dejstva, navedena v prejšnjih poglavjih, se zdita dvodelni tablasti zapornici z zaklopko najprimernejši za zamenjavo obstoječe hidromehanske opreme jezua na Ljubljani. Glavno prednost tega tipa zapornic v primerjavi z zaklopko, ki bi bila sicer funkcionalno prav tako ustrezna, predstavlja dejstvo, da za vgradnjo ni potrebno spreminjati in prilagajati betonske konstrukcije jezovne zgradbe. Poleg tega gre za zapornico, ki pravzaprav predstavlja kombinacijo kotalne tablaste zapornice in zaklopke ter tako v eni zapornici združuje večino dobrih lastnosti obeh vrst zapornic. Pri manjših pretokih namreč deluje kot zaklopka in omogoča neovirano prevajanje vode s prostopadnim prelivanjem ter učinkovito odvajanje plavja in ledu, medtem ko pri večjih pretokih obratuje kot tablasta zapornica, ki je dvignjena nad vodno gladino, s čimer sta omogočena povsem neoviran odtok visokih voda in odvajanje rinjenih plavin preko zaporničnega profila.

### 5.2.1 Tehnični opis predlaganih dvodelnih tablastih zapornic z zaklopko

Preglednica 7: Tehnični podatki o novih dvodelnih tablastih zapornicah z zaklopko

<b>Tehnični podatki: dvodelna tablasta zapornica z zaklopko (2 kompl.)</b>	
Kota krone betonskega praga	281,41 m
Max. kota prelivnega roba zaklopke	286,00 m
Predvidena kota zaježitve	285,60 m
Svetli razpon	12,25 m
Višina zapiranja	4,59 m
Višina spodnje table	3,20 m
Prelivna višina zaklopke	1,39 m
Kot zaprte zaklopke glede na horizontalo	60°
Ravna dolžina zaklopke	~ 1,80 m
Širina zaklopke	11,11 m
Pogon spodnje table	hidravlični, obojestranski
Pogon zaklopke	hidravlični enojni
Hitrost gibanja spodnje table	0,3–0,4 m/min
Hitrost gibanja zaklopke	0,3–0,4 m/min

Kotalna zapornica bi bila varjena in vijačena jeklena konstrukcija z zaporno ploskvijo, nameščeno na gorvodni strani okvirne nosilne konstrukcije. Na vsakem izmed bokov zapornice bi bila nameščena 4 kovana tekalna kolesa z osmi iz nerjavečega jekla in samomazalnimi ležaji. Tesnjenje ob straneh bi bilo izvedeno z gumastima kotnima tesniloma (L tesniloma), za tesnjenje pri nožu pa bi bilo nameščeno ploščato gumasto tesnilo. Stik med kotalno zapornico in zaklopko bi bil tesnjen z gumastim notnim tesnilom, katerega glava bi nalegala na krožno oblikovano tesnilno ploskev iz nerjavečega jekla, ki bi bila nameščena na spodnji rob zaklopke in bi omogočala tesnjenje v vseh njenih položajih. Tesnilo in ležaji zaklopke bi bili pred poškodbami zaščiteni s pločevinastim ščitom, privijačenim na spodnjo tablo. Na vsaki strani table bi bil na vrhu privarjen bočni ščit iz nerjavečega jekla, ki bi služil stranskemu tesnjenju zaklopke in omogočal dovod zraka v prostor pod zaklopko skozi stebrne niše.

Nasajena zaklopka bi bila protitorzijsko oblikovana (oblika ribjega trebuha) varjena jeklena konstrukcija, ki bi bila dodatno ojačena z vertikalnimi rebri, na katera bi bila privarjena ležišča dveh samomazalnih ležajev. Ujemajoča se ležišča bi bila privarjena tudi na gornji rob kotalne zapornice, s katero bi bila zaklopka povezana preko osi iz nerjavnega jekla. Tesnjenje na bokih zaklopke bi zagotavljali notni tesnili, katerih glavi bi nalegali na stranska ščita. Tudi ti tesnili bi bili pred poškodbami zaščiteni s pločevinastim ščitom, privijačenim na tesnilno ploskev zaklopke, ki bi bila ustrezno hidrodinamično oblikovana, tako da bi bila prelivna sposobnost zapornice čim večja. Vse tesnilne površine, tako kotalne zapornice kot zaklopke, bi bile opremljene s sistemom električnega uporabnega gretja, ki bi v zimskem času preprečevalo zaledenitev in morebitne poškodbe tesnil. Za dodatno zračenje prelivnega curka in preprečevanje podtlakov oz. vibracij bi bili na prelivnem robu zaklopke nameščeni tudi rezalci vodnega curka, katerih oblika in medsebojna razdalja bi bili določeni s hidravlično modelno raziskavo, oz. bi se v ta namen uporabili izsledki HMR iz leta 2003.

Vsi elementi zapornic, ki ne bi bili izdelani iz nerjavečih materialov, bi bili protikorozijsko zaščiteni z ustreznimi, okolju prijaznimi zaščitnimi premazi.

Dviganje in spuščanje zapornic bi potekalo preko hidravličnih cilindrov. Kotalni zapornici bi imeli tako na vsakem boku nameščen po en cilinder, ki bi bil na nosilno konstrukcijo table pritrjen preko sferičnega drsnega ležaja, ki omogoča deformacije zapornice brez dodatnega obremenjevanja pogonskega mehanizma. Cilindri bi bili pomaknjeni v obstoječe stebrne niše, v katerih se sedaj nahajajo dvizžne verige in zobati drogovi, njihove cevi (v katere se pri odpiranju zapornice pomaknejo batnice) pa bi bile nameščene v stebrnih kabinah, kjer bi bile sidrane v betonsko konstrukcijo jezua. V primeru premajhne svetle višine stebrnih kabin bi se uporabili teleskopski hidravlični cilindri. Najprimerneje bi bilo uporabiti precej cenejše cilindre z enostranskim delovanjem, ki so tudi manjši od dvostranskih cilindrov. To pomeni, da bi se nadzorovano zapiranje zapornice tako kot pri verižnem

ali vravnem pogonu vršilo pod vplivom lastne teže zapornice, medtem ko bi se odpiranje izvajalo s povečevanjem tlaka v hidravličnih cilindrih. Pri tem bi imeli vsi cilindri prigradjene hidravlične dušilke, ki preprečujejo, da bi zapornica pri spuščanju udarila ob prag, kar bi lahko povzročilo poškodbe oz. deformacije noža in posledično netesnost zaporničnega profila. Hidravlični agregat (rezervoar za hidravlično tekočino z grelcem, črpalke, ventili, filtri, stikala,...), ki zagotavlja ustrezen tlak v vseh 4 cilindrih, bi bil, skupaj z elektrooomaro, preko katere bi bil celoten sistem krmiljen, nameščen v stebri kabini v srednjem stebru. Cilindra v obrežnih stebrih bi bila z agregatom povezana preko toplotno izoliranih (preprečeno zmrzovanje v zimskem času) hidravličnih vodov, ki bi potekali po posebnih kinetah nameščenih na mostni konstrukciji jezua. Preko iste elektrooomare bi potekalo tudi krmiljenje hidravličnih cilindrov, ki bi omogočala dviganje in spuščanje zaklopk. Vsaka zapornica bi imela v ta namen na dolvodni strani nameščen svoj vodotesen hidravlični agregat, ki bi poganjal cilindar, nameščen na sredini zapornice, pod zaklopko. Cev hidravličnega cilindra bi bila pri tem členkasto pritrjena na nosilno konstrukcijo spodnje table, medtem ko bi bila batnica, prav tako členkasto, pritrjena na srednje vertikalno rebro zaklopke. Električno napajanje celotnega sistema bi bilo, tako kot do sedaj, izvedeno preko priključka na javno elektroenergetsko omrežje, za primer izpada pa bi bil v stebri kabini v levem obrežnem stebru vgrajen dizelski električni agregat. Za primer izpada primarne črpalke, bi bila nameščena tudi sekundarna črpalka, ki bi se ob izpadu samodejno vključila in zagotovila nemoteno delovanje sistema. Kot tretja varovalka bi bila prigradjena ročna črpalka, ki bi se uporabila, če bi odpovedali prvi dve oz., če ob izpadu napajanja zagon dizelskega generatorja ne bi bil mogoč. Takšna namestitvev komponent novega pogonskega mehanizma torej ne bi znatneje vplivala na izgled zaporničnega objekta, kar pomeni, da je izpolnjena ena bistvenih zahtev, ki jim moramo zadostiti pri izbiri nove hidromehanske opreme zapornice.

Upravljanje zapornic bi potekalo avtomatsko in ročno, pri čemer bi bilo ročno krmiljenje možno izvajati lokalno, t.j. na samem objektu ter daljinsko, iz nadzornega centra. Pri tem se preklapljanje med ročnim in avtomatskim načinom obratovanja izvaja samo ročno. Za vzpostavitev sistema avtomatskega obratovanja, bi bilo potrebno gorvodno in dolvodno (ca. 50 m) od zapornice namestiti tlačni sondi za merjenje nivoja vodne gladine, sami zapornici pa bi bili opremljeni z merilci in dajalniki položaja kotalne zapornice in zaklopke ter končnimi stikali. Poleg tega bi tlačni sondi, ki bi bili nameščeni v zaščitnih jaških na levem bregu, zajemali tudi podatke o temperaturi vode in zraka, vse zajete podatke, vključno s tistimi, pridobljenimi na vodomerni postaji (VP) Moste, pa bi obdeloval PLC krmilnik, ki bi bil vgrajen v glavni elektrooomari v srednjem stebru. Ta bi nato na podlagi algoritma, ki bi bil izdelan na osnovi novega obratovalnega pravilnika (poglavje 5.4), samodejno prilagajal položaj zaklopk oz., pri povečanem pretoku, položaj kotalnih zapornic tako, da bi bili izpolnjeni cilji obratovalnega pravilnika in s tem dosežen namen zapornic. Na podlagi izmerjenih temperatur zraka in vode pa bi algoritem samodejno prilagajal tudi grelni sistem tesnilnih površin. Lokalno ročno upravljanje zapornic bi se vršilo preko krmilne plošče in interaktivnega zaslona na

glavni elektroarmari, v kabini srednjega stebra, kjer bi bili prikazani tudi vsi, s sondami izmerjeni, parametri ter položaj zaklopk. V primeru okvare katere izmed sond bi bilo mogoče kot zgornje in spodnje vode tudi fizično odčitati na vodomernih laticah, ki bi bili nameščeni na levem obrežnem zidu, okrog 10 m gorvodno in dolvodno od zapornice. Daljinsko ročno upravljanje iz nadzornega centra (če bi bil ta vzpostavljen), kamor bi bili posredovani vsi podatki o stanju zapornic in podatki zajeti s sondami, bi potekalo preko telefonske linije ISDN, poleg tega pa bi bila povezava v sistem možna tudi preko signala UMTS ali HSDPA.

Grafični prikaz predloga nove hidromehanske opreme zapornice je podan v prilogah E12 in E13.

### **5.2.2 Vgradnja nove hidromehanske opreme**

Vgradnja novih zapornic bi bila razdeljena na več faz, pri čemer bi dela potekala ločeno za vsako pretočno polje. Tako bi se celoten postopek najprej izvedel v prvem (desnem) pretočnem polju, po končanih delih pa še v drugem (levem) pretočnem polju. Pri tem mora biti ves čas trajanja del v prvem pretočnem polju, obstoječa zapornica v drugem polju v operativnem stanju, s čimer je zagotovljeno vzdrževanje predpisane kote zajezitve, hkrati pa je omogočeno tudi odvajanje povišanih pretokov. Kljub temu v času del obstaja nevarnost preplavitve gradbene jame, saj bi bilo pretočno polje, v katerem bi potekala dela, zaprto, kar seveda pomeni za polovico manjšo prevodno sposobnost profila, katera bi v primeru nastopa visokih voda, pomenila tudi zajezitev odtoka in posledično poplavitvev območij gorvodno od zapornice pri pretokih, ki so sicer manjši od poplavnih. Zato je pomembno, da je trajanje del čim krajše in da se, če je to le mogoče, dela (v posameznem pretočnem polju) izvedejo v času sušnega obdobja, ko je možnost za nastop visokih voda najmanjša. V prvi fazi del bi bilo tako potrebno zapreti in osušiti gradbeno jamo, za kar bi bilo najprimerneje uporabiti pomožne zapornice, ki bi se lahko za zapiranje pretočnega polja uporabile tudi pri kasnejših pregledih, popravilih in remontih zapornic. V ta namen bi se najprej izdelal projekt za izvedbo gorvodnih in dolvodnih pomožnih zapornic, ki bi poleg načrtov za njihovo izdelavo vseboval tudi vse potrebne načrte za ureditev njihovih ležišč oz. utorov v sami strugi ter načrte za vgradnjo. Ta naj bi se izvajala z avtodvigalom, na katerega bi bile pritrjene posebne klešče, s katerimi bi se posamezni elementi zapornic spuščali v pripravljena ležišča. Ker bi bilo odpiranje in zapiranje profila s pomožnimi zapornicami možno samo v mirnem toku (mirni vodi), bi bili na gorvodnih zapornicah nameščeni posebni ventili, ki bi omogočali nadzorovano poplavitvev gradbene jame in s tem izenačitev tlakov na obeh straneh zapornice, tako da bi se tudi odstranitev pomožnih zapornic izvedla v mirni vodi. Po zaprtju prelivnega polja bi se voda, ki bi ostala ujeta med gorvodnimi in dolvodnimi zapornicami, izčrpala, tako bi bila gradbena jama suha. V naslednji, drugi fazi, bi se iz prelivnega polja odstranila obstoječa zapornica, skupaj s tirnicami in vodili ter vsemi pripadajočimi pogonskimi mehanizmi. V tretji fazi bi se vgradili novi vbetonirani deli, na katere bi se nato pritrdile nove tirnice z vodili in nove

tesnilne površine (stransko tesnjenje in tesnjenje na pragu). Pri tem bi bile vse komponente, ki bi bile podvržene obrabi in bi bile v stiku z vodo, izdelane iz nerjavečega jekla. V tej fazi bi se izvedla tudi popravila poškodovanih betonskih in kamnitih delov jezovne zgradbe, ki pa bi morala biti izvedena v skladu z navodili Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije (ZVKDS). Prav tako bi se, skladno s temi navodili, v tej fazi izvedle tudi prilagoditve objekta, ki bi bile potrebne za namestitev nove hidromehanske opreme. Temu bi sledila četrta faza del, v okviru katere bi se namestila nova zapornica skupaj z vsemi pogonskimi mehanizmi, merilnimi napravami in pripadajočo elektroopremo (glavna elektroomara s PLC krmilnikom, sistem za ogrevanje tesnilnih površin, dizelski električni agregat, merilne sonde,...). Pri tem naj bi bile komponente v čim večji možni meri sestavljene v prostorih proizvajalca opreme in pripeljane na gradbišče, kjer bi bile vgrajene na predvideno mesto, hkrati pa morajo njihove dimenzije omogočati transport do gradbišča po obstoječih javnih cestah. Glede na to, da se predvideva vzpostavitev osrednjega nadzornega centra, bi bilo priporočljivo vzpostaviti tudi sistem video nadzora zapornic in zaporničnega objekta, ki bi se prav tako namestil v četrti fazi. Zadnja, peta faza del bi obsegala suho testiranje nove opreme, odstranitev gorvodnih in dolvodnih pomožnih zapornic in poskusno mokro obratovanje z opazovanjem odziva zapornice v različnih situacijah. Po zaključku del v prvem pretočnem polju, ko bi bile zapornice v tem polju v polnem operativnem stanju, bi se s pomožnimi zapornicami zaprlo še drugo pretočno polje in celoten postopek (vse faze, razen vgradnje tistih komponent, ki so skupne za obe zapornici, t.j. predvsem elektrooprema), bi se ponovil.

Z vgradnjo zgoraj opisanih dvodelnih tablastih zapornic z zaklopko bi torej rešili večino težav, ki se pojavljajo pri obratovanju obstoječe hidromehanske opreme in so navedene v poglavju 3.3. Ker bi bili, tako zapornice kot njihovi pogonski mehanizmi, povsem novi, ne bi bilo več nevarnosti okvare zaradi dotrajanosti opreme. Prav tako ne bi bilo težav z iskanjem nadomestnih delov, saj bi bila hidromehanska oprema sestavljena iz komponent sodobne izdelave, ki jih je mogoče po konkurenčnih cenah kupiti na tržišču. Z novimi zapornicami, ki bi imele vgrajena sodobna gumasta tesnila, katera bi nalegala na nove, nerjavne tesnilne površine, bi bil tako odpravljen problem tesnjenja oziroma prekomernega puščanja zapornic. Ker je s predstavljenim projektom, za zapiranje gradbene jame, predvidena vgradnja naslonov in izdelava gorvodnih in dolvodnih pomožnih zapornic, bi bil s tem rešen tudi problem pregledovanja in vzdrževanja zapornic v suhem, saj bi se nove pomožne zapornice tudi po končanih delih uporabljale za zapiranje pretočnih polj. Ko pomožne zapornice ne bi bile v rabi, bi morali biti njihovi elementi ustrezno skladiščeni na za to predvideni lokaciji, ki bi jo zagotovil bodisi lastnik zapornic oz. tisti, ki bi z zapornicami upravljal v njegovem imenu, bodisi koncesionar (določeno s koncesijsko pogodbo), ki bi vzdrževal in upravljal zapornice. S projektom je prav tako predvidena sanacija poškodovanih betonskih in kamnitih delov same jezovne zgradbe, s čimer bi bila seveda odpravljena nevarnost nadaljnje korozije vgrajene armature in posledično tudi nevarnost večjih poškodb objekta, ki bi v skrajnem primeru (potresna obtežba, ekstremno visoke vode,...) lahko

privedle celo do porušitve. Z znižanjem spodnjih tabel in namestitvijo zaklopk bi se minimalna kota zaježitve, ki bi jo bilo mogoče vzdrževati z novimi zapornicami, znižala s sedanjih 285,20 m na 284,61 m, kar pomeni, da bi bilo, pri obstoječi koti zaježitve, po novem mogoče uravnati kar 99 cm prelivanja, t.j. 59 cm več kot sedaj. Prevajanje vode preko zapornice s prostopadnim prelivanjem bi se tako izvajalo pri mnogo večjih pretokih, kot je to mogoče z obstoječo hidromehansko opremo, oziroma pri pretokih, pri katerih je danes že potrebno dvigati komplet obeh tabel. To pomeni dolgotrajnejše navzemanje kisika, ki poteka samo pri prelivanju zapornice ter redkejšo izpiranje mulja iz struge gorvodno od zapornice, ki je prisotno le pri odpiranju spodnje table in bi se po novem odvijalo pri mnogo večjih pretokih, kar pomeni večjo stopnjo razredčenja in zato manjši negativen vpliv na življenjske pogoje dolvodno od zapornice. Nadalje bi z namestitvijo zaklopke vzdrževanje stalne kote zgornje vode postalo enostavnejše, saj način obratovanja zaklopke omogoča izredno natančno regulacijo višine njenega prelivnega roba in s tem pretoka preko zapornice. Tako bi bilo preprečeno tudi morebitno prehitro in prekomerno znižanje vodne gladine v sušnih obdobjih, ki je danes problematično predvsem z vidika ohranjanja vodnih in obvodnih ekosistemov, saj zaradi hitrega upada gladine, ribe v pritokih Ljubljanice lahko ostanejo na suhem, prav tako pa tudi njihov zarod. Ti dogodki so namreč najpogostejši ravno med drstno sezono, ko intenzivni poletni nalivi zahtevajo hitro odpiranje zapornic. Seveda bi k rešitvi tega problema veliko pripomogla tudi predvidena avtomatizacija obratovanja, ki bi iz procesa upravljanja zapornic povsem izključila človeški faktor in s tem subjektivno odločanje zaporničarja o dviganju oz. spuščanju zapornic. Z namestitvijo merilnih sond pred in za zapornico, bi bili namreč ves čas na razpolago ažurni podatki o vodostaju, na podlagi katerih bi PLC krmilnik, preko vnesenega algoritma, uravnaval pretok in koto zaježene vode. Da bi bilo upravljanje z zapornicami optimalno, bi bilo potrebno vzpostaviti mrežo merilnih mest tudi na Ljubljanskem barju, kar bi poleg zagotavljanja ustrezne kote talne vode omogočalo tudi zgodnje zaznavanje visokovodnih valov gorvodno od mesta (močni lokalni nalivi) in posledično pravočasno odpiranje zapornic (zaklopk). Ne le hitro, zanesljivo in učinkovito upravljanje zapornic, prednosti avtomatizacije bi bili tudi odsotnost zaporničarja in nepotrebnost vzpostavljanja dežurne službe pri večjih spremembah pretokov, kar pomeni predvsem znatno manjše obratovalne stroške. Vgradnja dvodelnih tablastih zapornic z zaklopko bi zaradi ugodnega načina obratovanja zaklopke omogočila tudi veliko učinkovitejše odvajanje plavja preko zaporničnega profila z minimalnimi izgubami kote zgornje vode. To pomeni, da ne bi več prihajalo do zastajanja in nabiranja plavajočih predmetov pred zapornico, saj bi se plavljenje lahko izvajalo tudi pri majhnih pretokih, torej tudi v sušnih mesecih, ko je ta problem najizrazitejši.

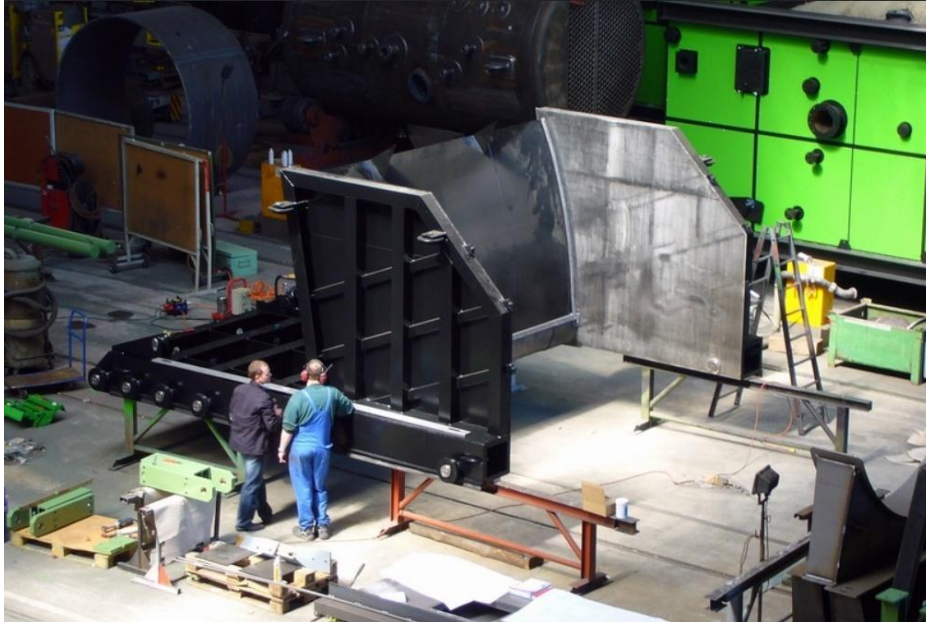
Ostale težave, ki se še pojavljajo pri obratovanju obstoječih zapornic, niso vezane neposredno na hidromehansko opremo, zato bi jih bilo potrebno reševati na nivoju njih samih. Med drugim bi bilo potrebno skupaj z avtomatizacijo zapornic izvesti tudi avtomatizacijo ribje steze, tako da bi se višina vtoka (nagib žleba) samodejno prilagajala koti zgornje vode. Glede na to, da je bila ribja steza pred

desetimi leti že obnovljena in ima že vgrajen hidravlični pogon, njena avtomatizacija ne bi bila tehnično zahtevna, prav tako pa ne bi zahtevala večjih finančnih vložkov, saj bi se upravljanje izvajalo z istim PLC krmilnikom, kot dviganje in spuščanje zapornic. Poleg tega izdelava algoritma za upravljanje ribje steze ne bi bila problematična, saj bi ta le sledila koti zgornje vode, t.j. višini prelivnega roba nasajene zaklopke oziroma njenemu nagibu. Tako, kot problematiko ribje steze, bi bilo potrebno ločeno obravnavati tudi omogočanje prehoda obvodnih živali mimo jezovne zgradbe. V ta namen so bili v projektu Z vidro skozi prestolnico že predlagani določeni omilitveni ukrepi, ki bi takšen prehod omogočali. Predlagani prehod naj bi tako potekal po desnem bregu, kjer bi bila od Fabianijevega mostu, kjer živali zaradi položnih brežin oz. obrežnih zidov lahko zapustijo strugo, do ca. 20 m nad zapornico, kjer bi se te ponovno vrstile v strugo, postavljena zaščitna ograja, ki bi živalim preprečevala dostop do ceste in jih usmerjala. Ker je gorvodno od zapornice struga obzidana z za živali neprehodnimi obrežnimi zidovi, naj bi se tam namestila posebna pontonska rampa, po kateri bi živali lahko prehajale nazaj v strugo. Rampa bi bila gibljivo pritrjena na desni obrežni zid in bi se samodejno prilagajala nivoju vodne gladine nad zapornico. Pred dejansko izvedbo takšnih ukrepov bi bilo, v dogovoru s strokovnjaki, potrebno izdelati ustrezne načrte, na podlagi katerih bi se dela tudi izpeljala, saj so v navedenem projektu rešitve podane zgolj na idejnem nivoju. Tretji problem, ki bi ga bilo prav tako potrebno obravnavati ločeno, saj ni vezan na hidromehansko opremo, pa predstavlja nevarnost trka plovil in velikih kosov plavja v zapornico. Ta se dodatno poveča v času visokih voda, ko je verjetnost odtrganja plovil s sidrišča, zaradi povečanih obremenitev, precej večja. Prav tako se z naraščanjem pretoka povečuje tudi nevarnost plavljenja velikih vej in debel, ki jih narasle vode prinesejo s poplavljenih gorvodno ležečih območij. Zato naj bi se v ta namen gorvodno od zapornice (pod Šentpeterskim mostom) v levi in desni obrežni zid na primerni višini sidrali posebni vodili, med katerima bi bila napeta jeklena vrv s plavači in lovilci, ki bi sledila nihanju vodne gladine in preprečevala dostop pobeglih plovil do zapornice. Lovilna zavesa bi morala biti izvedena tako, da bi zahtevala čim manjše vzdrževalne stroške, poleg tega pa bi morala omogočati tudi nemoten pretok manjšega plavja in druge plavajoče nesnage, ki bi se prevajala preko zapornice, kakor je opisano zgoraj.

Med problemi, naštetimi v poglavju 3.3, z vgradnjo dvodelnih tablastih zapornic z zaklopko, torej ostaja nerešen le eden, t.j. zatikanje plavja v stebrnih nišah, ki lahko onemogoči popolno zaprtje in s tem ustrezno tesnjenje kotalne zapornice, poleg tega pa lahko povzroči tudi poškodbe njenega noža. Ta težava bi bila z vgradnjo nove hidromehanske opreme sicer nekoliko manjša kot doslej, saj bi bile dolžine utorov manjše (potrebna so enojna in ne več dvojna vodila zapornic), zaradi dolgotrajnejšega prelivanja zaklopke bi se pomembno zmanjšala pogostost odpiranja spodnje table, konstrukcija nove zapornice pa bi bila izvedena tako, da bi bila možnost zatikanja plavja čim manjša (čim bolj zaprta nosilna konstrukcija zapornice). Vse to seveda pomeni manjšo verjetnost pojava opisanega problema. Poleg tega bi bile preprečene tudi poškodbe noža, saj bi varnostno stikalo, v primeru, da bi tlak v



hidravličnih cilindrih narasel preko vrednosti, običajne za neovirano spuščanje zapornice, ustavilo njeno zapiranje. Tako bi, ne glede na vse, problemi, ki jih povzročajo utori v stebrih, ostali prisotni tudi po vgradnji novih zapornic. Z njimi seveda ostaja tudi določena stopnja tveganja pri obratovanju, kateri pa se, ne glede na vrsto in tip vgrajenih zapornic, ni mogoče povsem izogniti.



Slika 24: Tovarniška izdelava sodobne dvodelne tablaste zapornice z zaklopko (RADHUBER CONSULTING, 2007)



Slika 25: Vgrajena dvodelna tablasta zapornica z zaklopko, pripravljena na obratovanje (RADHUBER CONSULTING, 2007)

### 5.3 Ribja steza

Pri pripravi načrtov v sklopu projekta Ljubljana povezuje, katerega namen in cilji so že opisani v poglavju 3.3.2, so bile, poleg zastarelosti in dotrajanosti hidromehanske opreme zapornice, prepoznane še nekatere težave, ki pa so vezane predvsem na obratovanje obstoječe ribje steze, in sicer:

- 1) V sušnih obdobjih, ko je, zaradi majhnih pretokov preko zapornice, vodostaj na dolvodnem odseku struge nizek, ribe ne morejo prehajati v ribjo stezo, saj vodna gladina ne sega do spodnjega roba iztočne odprtine steze (vhoda v stezo).
- 2) V primeru vzdrževalnih in remontnih del ter rednih periodičnih pregledov ribje steze, le-teh ni mogoče opraviti v suhem, saj vtoka vanjo ni mogoče zapreti.
- 3) Potrebno je redno čiščenje rešetk na vtoku v ribjo stezo, saj v nasprotnem primeru lahko pride do zamašitve s plavjem, ki ovira ali celo onemogoča prehajanje rib v oz. iz ribje steze. Trenutno se odstranjevanje plavja z rešetk izvaja ročno (zaporničar z grabljami odstranjuje zataknjeno plavje), kar seveda zahteva prisotnost tehničnega osebja, poleg tega pa obstaja nevarnost, da, v primeru nenadnega pojava večje količine plavja v Ljubljani, ki bi zaprlo vtok v ribjo stezo, ta ostane neprehodna za ribe dalj časa, t. j. vse do naslednjega rednega pregleda zaporničnega objekta.
- 4) Neposredno za iztokom iz nagibnega žleba, ki je namenjen prilagajanju višine vtoka v ribjo stezo koti zgornje vode, je v konstrukciji talne plošče steze izvedena 45-centimetrska stopnja, ki pa je za (predvsem manjše) ribe neprehodna.

V nadaljevanju zato podajamo možne rešitve, ki so prikazane na risbah v prilogi E.

#### 5.3.1 Iztok iz ribje steze

Za premostitev višinske razlike med koto spodnje vode pri nizkem vodnem stanju in koto spodnjega roba iztoka iz ribje steze je predvidena izgradnja armiranobetonskega žleba (tip slot pass), ki predstavlja nekakšen podaljšek obstoječe ribje steze in tako zagotavlja stalno povezanost iztoka steze s spodnjo vodo. V ta namen bi se v prvi fazi izvedbe del gradbena jama zaprla z začasnim nasipom in se zaprl vtok v ribjo stezo. Iz jame bi se nato s potopno črpalko izčrpala voda, tako da bi gradnja potekala v suhem. Pri tem je pomembno, da se dela izvedejo v sušnem, poletnem obdobju, ko je verjetnost pojava visokih voda in s tem verjetnost zalitja gradbene jame, najmanjša, hkrati pa je možno celoten pretok odvesti preko levega pretočnega polja ter na ta način zmanjšati vpliv vodnega toka na stabilnost zajezitvenega nasipa. Nato bi bilo potrebno na območju novega žleba odstraniti obstoječi betonski tlak, s katerim je zavarovano dno struge, ter izvesti globoko temeljenje žleba z zabijanjem mikropilotov iz železniških tirnic. Medtem ko bi bil iztočni del žleba (vodoravna talna plošča) temeljen na pasovnih temeljih, pa je temeljenje poševnega dela žleba skupaj z deflektorjem vodnega

toka, predvideno na skupnem ploskovnem temelju oz. temeljni plošči. Morebitno izpiranje materiala izpod temeljev konstrukcije bi bilo preprečeno z izvedbo zob temeljev (Priloga E6) na gorvodnem in dolvodnem koncu konstrukcije. Med pasovnimi temelji bi se nato na obstoječe utrjeno nasutje, ki se nahaja pod betonskim tlakom, izvedlo tamponsko nasutje, katerega bi se z vibracijskim valjarjem komprimiralo do ustrezne zbitosti. Temu bi sledila izvedba armiranobetonske talne plošče žleba, v kateri bi se na ustreznih enakih medsebojnih razdaljah izvedli utori za kasnejšo namestitev zajeznih sten. Utori za vgradnjo zajeznih sten bi bili izvedeni tudi v desni (gledano v smeri vodnega toka) steni žleba, kjer pa bi bili dodatno ojačeni z jeklenimi vročevaljanimi U-profilmi, sidranimi v steno žleba. V tako pripravljene naslone bi se v naslednji fazi gradnje namestile prefabricirane armiranobetonske zajezne stene, ki bi imele na gorvodni strani izvedene usmerjevalce vodnega toka. Zajezne stene bi bile demontažne, njihovo nameščanje oz. odstranjevanje pa bi se izvajalo z avtodvigalom. Prav tako bi se v tej fazi gradnje na levo steno žleba, s sidrnimi vijaki pritrdili leseni morali, ki bi, skupaj z usmerjevalci vodnega toka, le-tega usmerili proti sredini bazenov, kateri bi se ustvarili med zajeznimi stenami. S tem bi bila zagotovljena ustrezna disipacija energije vodnega toka in postopno zmanjševanje kote vodne gladine, tako, da bi ribe v obstoječo ribjo stezo lahko nemoteno prehajale tudi pri minimalnih pretokih. Na iztočnem delu žleba bi se v stenah izvedli tudi reži za namestitev lesenih prekladnih zapornic (leseni plohi), ki bi omogočale dolvodno zapiranje ribje steze. Ker bi bilo dno iztoka iz novega žleba nižje od dna obstoječe struge (žleb bi bil namreč izveden na območju poglobljenega podslapja zapornic) bi bilo potrebno obstoječi betonski tlak odstraniti tudi na predelu okrog iztoka, ter izvesti postopen prehod med dnom novega žleba in obstoječim dnom struge, katerega zaščita bi se izvedla z mikroarmiranim betonom. Celotno dno žleba bi se, skupaj z novim prehodom, prekrilo z dvajsetimi centimetri substrata, katerega srednje zrno ( $d_{50}$ ) ne bi smelo biti manjše od 60 mm. Dodatno bi bilo izpiranje substrata preprečeno s posameznimi večjimi kamni, ki bi bili vbetonirani v talno ploščo žleba.

Da se izboljšajo pretočne razmere ob novem žlebu (izgradnja le-tega bi namreč pomenila zožitev struge tik dolvodno od zapornice) oz., da se zagotovi ustrežnejše obtakanje tega, je tik gorvodno od njega predvidena izgradnja konveksnega ločnega deflektorja vodnega toka. S tem bi bile ne le dosežene boljše hidravlične razmere v podslapju, ampak bi bila zmanjšana tudi obremenitev same konstrukcije žleba. Deflektor bi bil armiranobetonski, njegova vodna stran pa bi bila zaščiten z jekleno pločevino, ki bi bila sidrana v telo deflektorja (pri vgradnji betona bi pločevina delovala kot opaz deflektorja). Za dodatno ojačitev bi se deflektor vodnega toka z jeklenimi sidri vezal na obstoječi obrežni zid. Na gorvodnem robu deflektorja bi se, prav tako z jeklenimi sidri, v obrežni zid pritrdil tudi nož deflektorja, ki bi poskrbel za ustrezno odlepljanje vodnega curka od stene obrežnega zidu in preprečeval nastanek vrtničnih tokov ter hkrati ščitil betonski rob deflektorja pred poškodbami. Nad deflektor vodnega toka bi se namestila tudi dostopna lestev iz nerjavnega jekla, ki bi bila s sidrnimi

vijaki pritrjena na obrežni zid, in bi omogočala dostop do elementov nove ureditve ter s tem njihovo pregledovanje in vzdrževanje.

V zadnji fazi izvedbe del bi se iz struge odstranil začasni nasip in omogočil nemoten odtok vode ter vrnil ribjo stezo v funkcijo.

Tloris in vzdolžni prerez predlagane ureditve sta prikazana na prilogah E5 oziroma E6.

### **5.3.2 Vtok v ribjo stezo**

Da se omogoči zapiranje dotoka v ribjo stezo in s tem izvajanje popravil, remontnih del ter rednih pregledov steze v suhem, je na vtoku vanjo predvidena vgradnja naslona in vodil za namestitev prekladnih zapornic ter izdelava le-teh. Naslon zapornic bi bil tako izveden kot jeklen plato, zvarjen iz varjenih kvadratnih cevi standardnih dimenzij in pločevine ter z jeklenimi sidri pritrjen na konstrukcijo obstoječega obrežnega zidu. Prav tako kot plato bi bila z jeklenimi sidri na obrežni zid pritrjena tudi vodila zapornic, ki bi bila zvarjena iz standardnih vročevaljanih U- in L-profilov. Tlorisne dimenzije platoja bi bile tolikšne, da bi bilo po namestitvi zapornic na območju vtoka mogoče opravljati remonta dela in popravila. Na platoju bi bila nameščena obroba iz nerjavečega jekla, ki bi služila kot tesnilna površina, na katero bi naleglo ploščato tesnilo pri nožu zapornice. Komplet prekladnih zapornic bi bil sestavljen iz dveh elementov, pri čemer bi šlo za varjeni jekleni konstrukciji škatlastega prereza, z nosilno konstrukcijo na zračni strani zapornic. Zapornici bi imeli nameščena kovana tekalna kolesa (kotalni zapornici). Za tesnjenje pri nožu zapornic bi bila nameščena ploščata gumasta tesnila, medtem ko bi bilo tesnjenje na bokih zagotovljeno z notnimi tesnili, ki bi nalegala na nerjavno tesnilno površino na vodilih zapornic. Za poravnost zapornic v horizontalni smeri med nameščanjem bi bila v notranjosti jeklenih vodil pritrjena bočna vodila iz visokomolekularnega polietilena (PE-HMW). Nameščanje in odstranjevanje (t. j. zapiranje in odpiranje) prekladnih zapornic bi se vršilo z avtodvigalom, na katerega bi bile nameščene posebne klešče. V času, ko zapornice ne bi bile v rabi, bi bile ustrezno skladiščene (preprečevanje izpostavljenosti direktni sončni svetlobi, ki zmanjšuje kakovost in trajnost tesnil in drugih elementov zapornice).

V sklopu ureditve vtoka v ribjo stezo bi se izdelala tudi nova rešetka, ki bi preprečevala vnašanje plavja v ribjo stezo in s tem zmanjševanje njene prehodnosti za ribe. Rešetka bi bila izdelana iz jeklenega okvirja, na katerega bi bile v vertikalni smeri privarjene palice, premera 20 mm, na obrežni zid pa bi bila pritrjena s sidrnimi vijaki. Za čiščenje rešetk je predvidena namestitev čistilnega stroja, ki deluje povsem avtomatsko in tako zagotavlja ohranjanje ustrezne pretočnosti. Tirnice, po katerih bi se gibal čistilni stroj, bi bile sidrane v krono obstoječega obrežnega zidu oziroma v novi temelj poleg nje. V ta namen bi bilo na zaledni strani izvesti manjši AB oporni zid, ki bi preprečeval morebitno

nanašanje materiala z brežine na delovno območje stroja. Na obeh koncih tirnic bi bila nameščena tudi optična senzorja, ki bi odčitavala trenutni položaj čistilnega stroja ter prekinila njegovo delovanje v primeru, ko bi bila v delovnem območju zaznana ovira (varnostno stikalo). Da pa se preprečijo morebitne poškodbe obrežnega zidu zaradi udarcev čistilnih grabelj ali teleskopske roke, do katerih lahko pride med delovanjem čistilnega stroja, je na celotnem območju med vodili zapornic, in sicer od platoja do krone obrežnega zidu, predvidena namestitev zaščitne pločevine, ki bi bila s sidrnimi vijaki pritrjena na obrežni zid.

Grafični prikaz predlagane ureditve je podan v prilogah E7, E8 in E9.

### **5.3.3 Stopnja tik dolvodno od nagibnega žleba**

Podobno kot v primeru ureditve iztočnega dela ribje steze, je tudi za prehod preko stopnje za iztokom iz nagibnega žleba, predvideno postopno zmanjšanje višinske razlike med koto zgornje in spodnje vode, z izvedbo dodatnih bazenov (tip pool pass). V ta namen bi bilo potrebno vgraditi dodatne zajezne stene (žleb je namreč že izveden, saj se omenjena stopnja nahaja v notranjosti obstoječe steze), ki bi zagotovile povezanost zgornje in spodnje vode ter tako omogočile nemoteno prehajanje rib v nagibni žleb. Ker je potrebno zagotoviti enostavno vgrajevanje novih zajeznih sten (pomanjkanje prostora na mestu vgradnje), bi bile te izvedene povsem montažno, in sicer bi bile sestavljene iz jeklenega okvirja, ki bi bil s sidrnimi vijaki pritrjen na stene ribje steze (izdelava celotnega okvirja v delavnici proizvajalca) in lesenih plohov, ki bi tvorili zaporno ploskev stene in bi se namestili v ta okvir. Okvir bi bil zvarjen iz standardnih vročevaljanih U- in L-profilov ter ploščatega jekla, po vložitvi plohov v okvir pa bi se le-ti fiksirali z varjenim Z-profilom, ki bi se privijačil na okvir. Takšna izvedba zajeznih sten, ob nizkih stroških izdelave, omogoča tudi hitro in enostavno montažo oz. demontažo zaporne ploskve stene, kar je pomembno predvsem pri izvajanju popravil, čiščenja in kontrolnih pregledov notranjosti ribje steze ter v primeru zamenjave poškodovanih ali dotrajanih lesenih plohov same zaporne ploskve. Odprtine za prehod rib in drugih vodnih organizmov se nahajajo na spodnjem robu zajeznih sten, in sicer izmenično v levem oz. desnem kotu, s čimer se ustrezno zmanjša hitrost vodnega toka skozi bazene.

Montaža dodatnih zajeznih sten bi se izvajala z dostopom preko jaška, v katerem je nameščen nagibni žleb, in sicer od iztočnega proti vtočnemu delu steze. Pri tem bi bilo potrebno začasno zapreti vtok v ribjo stezo, tako da bi se montaža lahko opravila v suhem.

Grafični prikaz predlagane ureditve je podan v prilogah E10 in E11.

Po zamenjavi hidromehanske opreme in izvedenih ukrepov na ribji stezi, ki bi zaradi zatesnitve zaporničnega profila predstavljala edino pot za prehod vodnih organizmov mimo jezua, bi bilo potrebno izvesti še študijo učinkovitosti, katera bi pokazala, ali ribja steza služi svojemu namenu.

## 5.4 Obratovalni pravilnik

Z namestitvijo nove hidromehanske opreme zapornice bi se seveda spremenili tudi pogoji obratovanja, katero sedaj ureja obstoječi Pravilnik za obratovanje in vzdrževanje zapornic na Mestni Ljubljani (Ambrožev trg) in Gruberjevem kanalu (Roška cesta), (Humar, 2011). Ker bi obratovalni pravilnik predstavljal temelj za izdelavo algoritma, ki bi preko PLC krmilnika avtomatsko dvigal in spuščal zapornice, je pred pisanjem algoritma potrebno popraviti obstoječi pravilnik ter vanj vnesti ustrezne spremembe, tako da bo ta primeren za upravljanje novih dvodelnih tablastih zapornic z zaklopko.

Ker nam je od upravljavca zapornic na Ljubljani pri Ambroževem trgu, vodnogospodarskega podjetja Hidrotehnik, ki upravlja tudi z zapornicami na reki Rinži v Kočevju, kjer sta v pretočnih poljih že vgrajeni dvodelni tablasti zapornici z zaklopko (rekonstrukcija zapornice je bila izvedena leta 2007), uspelo pridobiti tudi obratovalni pravilnik teh zapornic<sup>7</sup>, lahko na podlagi le-tega izdelamo ustrezne popravke in dopolnitve. V prilogi C tako podajamo samo spremembe in dopolnitve, ki bi jih bilo, v primeru dejanske izvedbe sanacije in vgradnje predlagane hidromehanske opreme, potrebno vnesti v obstoječi obratovalni pravilnik zapornic na Ljubljani, ki se nahaja na sedežu upravljavca zapornic.

### 5.4.1 Komentar

Prilaganje oz. posodabljanje obstoječega obratovalnega pravilnika, da bi ta ustrezal predlagani hidromehanski opremi, je precej problematično, saj na vodni režim Ljubljane in na koto vodne gladine nad zapornicami, poleg zapornic pri Ambroževem trgu, vplivajo tudi zapornice na Gruberjevem prekopu, ki pa so še starejše (leto izgradnje: 1912) in obratovalno še manj primerne. Gre namreč za enodelne tablaste zapornice, katerih prelivni rob (vrh table), je bil projektiran na prvotno koto zaježitve (287,30 m n. v.), zato prelivanje vode preko zapornic, po znižanju te kote, ni več mogoče. Tako je edini način prevajanja vode preko zaporničnega profila podlivanje, kar pomeni, da morajo biti zapornice ves čas nekoliko dvignjene, prav to dejstvo pa še dodatno otežuje natančno regulacijo kote zgornje vode in izpolnjevanje ključnih ciljev, navedenih v 6. členu pravilnika.

---

<sup>7</sup> Pravilnik za obratovanje in vzdrževanje zapornic na Rinži v Kočevju (Humar, 2013).

Tako bi bilo, v primeru, da se izvede le obnova in avtomatizacija zapornic na Mestni Ljubljani, medtem ko bi zapornice na Gruberjevem kanalu ostale nespremenjene, težko natančno definirati povsem natančen algoritem upravljanja. A ker zapornice na Gruberjevem kanalu niso bile predmet obravnave te diplomske naloge, so popravki obratovalnega pravilnika napisani ravno za ta primer. Členi pravilnika, ki so vezani izključno na zapornice na Gruberjevem prekopu, so zato ostali nespremenjeni (npr. 9. člen), prav tako tudi členi, ki niso odvisni od vrste hidromehanske opreme, saj ti ostanejo enaki tudi v prenovljenem pravilniku (npr. 1. člen). Posodobljeni členi pravilnika so tako usmerjeni predvsem na zagotavljanje čim dolgotrajnejšega prelivanja novih zapornic oz. na čim kasnejše dviganje kotalnih zapornic na Mestni Ljubljani (t.j. na dviganje pri čim večjih pretokih), medtem ko bi se zapornice na Gruberjevem kanalu temu ročno prilagajale. To je posledica dejstva, da ima prelivanje zapornic veliko prednosti v primerjavi s podlivanjem (prevajanje plavja in ledu, navzemanje kisika, ni vpliva utorov v stebrih...) kot tudi dejstva, da je na ta način upravljanje z zapornicami enostavnejše, saj bi se, pri običajnih pretokih, zapornice na Gruberjevem prekopu držale na določeni višini, medtem ko bi zaklopki na Mestni Ljubljani samodejno uravnavali koto zgornje vode (manjši obratovalni stroški, saj ni zahtevana prisotnost zaporniçarja). Tako bi bilo, v primerjavi s sedanjim stanjem, veliko lažje zagotavljati biološki minimum (pri pretokih manjših od 13,70 m<sup>3</sup>/s), saj bi bilo potrebno zgolj ustrezno pripraviti zapornice na Gruberjevem kanalu, splakovanje mulja in drugih rinjenih plavin pa bi se na Mestni Ljubljani izvajalo le pri velikih pretokih, ki zagotavljajo ustrezno razredčenje in zato znatno manjši vpliv na življenjske pogoje dolvodno.

Za popolno avtomatizacijo upravljanja vodnega režima Ljubljane bi bilo potrebno izvesti tudi obnovo in avtomatizacijo zapornic na Gruberjevem kanalu. Šele v tem primeru bi bilo namreč mogoče pripraviti natančen algoritem, ki bi pri vsakem pretoku omogočal vzpostavitev optimalnih pogojev za vse dejavnike, s katerimi se srečujemo pri upravljanju z vodotokom, kot so: kota zajezitve, plavljenje plavja in sedimentov, zagotavljanje ustreznih življenjskih pogojev,....

## 6 ZAKLJUČKI

Urejanje vodnega režima vodotokov je zahtevna naloga, ki združuje sodelovanje strokovnjakov z različnih področij in usklajevanje številnih interesov, kot so: zagotavljanje poplavne varnosti, izraba vodnih moči, turizem, šport in rekreacija, ribištvo, ekologija, plovba in drugi. Tovrstno usklajevanje je še posebej zahtevno na vodotokih v urbanem okolju, kjer je število različnih interesov še večje kot v naravnem okolju (urbana odvodnja, izgled ureditev, dostopanje do vode), prostora za umestitev regulacijskih objektov in drugih ureditev pa je malo. Odličen primer takšnega vodotoka je prav reka Ljubljana, ki teče skozi sam center prestolnice, poleg tega pa ima tudi kar nekaj karakteristik, ki urejanje vodnega režima dodatno otežujejo. Ena izmed njih je zagotovo precejšnje nihanje pretokov. Po podatkih Kolbezna in Pristova (1998) namreč, kljub temu, da gre za kraško reko, za katere je značilna visoka stopnja retinence, maksimalno razmerje med nizkim, srednjim in velikim pretokom, izmerjenim na VP Moste, znaša kar 1:14:99. Drugo, vsekakor najpomembnejšo specifično Ljubljane pa predstavlja njen vpliv na Ljubljansko barje, ki je povezan ne le s sestavo tal, ampak tudi z minimalnim padcem vodne gladine. Kombinacija naštetih dejavnikov je tako v preteklosti povzročala številne težave prebivalcem ob reki in v njeni širi okolici (poplave, suše, pogrezanje tal, ...), zato so se ukrepi za ureditev in izboljšanje njenega vodnega režima začeli izvajati že zelo zgodaj. Sprva so bili namenjeni izboljšanju plovnosti, kasneje pa osuševanju Ljubljanskega barja. Prvi mejnik na tem področju tako predstavlja dokončanje Gruberjevega prekopa leta 1780, drugega, s katerim se je dolgoletno iskanje primerne rešitve in izvajanje številnih regulacijskih del tudi zaključilo, pa dokončanje zapornic na Gruberjevem kanalu (1912) in na Mestni Ljubljani (1955).

Že pred pretekom predvidene 50-letne življenjske dobe zapornic so se pričele pojavljati težave pri obratovanju, povezane z zastarelostjo in dotrajanostjo hidromehanske opreme. Kmalu po pričetku obratovanja pa je bila poleg tega tudi občutno (za 2,10 m) znižana projektirana kota zaježitve, kar je seveda povzročilo precej težav pri izpolnjevanju obratovalnih zahtev zapornic. Vse to je v zadnjem času bolj in bolj oteževalo upravljanje z zapornicami, z vsakim letom pa narašča tudi verjetnost večje okvare zapornic, ki bi lahko vodila do obsežnih poplav ali do prav tako nevarnega prekomernega znižanja gladine gorvodno od zapornic. Zato je bilo v zadnjih dvajsetih letih pripravljenih že kar nekaj predlogov za ureditev razmer, ki so predvidevali zamenjavo obstoječe hidromehanske opreme s sodobnejšo in ustrežnejšo. Kljub vsemu je do danes vse ostalo zgolj pri načrtih in nobeden izmed predlogov ni bil uresničen, na zapornicah pa se še naprej izvajajo le manjša vzdrževalna dela in nujna popravila, s katerimi se poskuša ohranjati njihovo trenutno stanje in obstoječe obratovalne zmožnosti.

V diplomski nalogi smo izbrali najprimernejšo hidromehansko opremo za zapornice na Mestni Ljubljani pri Ambroževem trgu, ki bi nadomestila obstoječo opremo in odpravila težave, s katerimi se srečujemo pri sedanjem obratovanju. V ta namen so bili v prvi fazi identificirani obstoječi



obratovalni problemi in njihovi vzroki, ki so služili kot izhodišče za iskanje možnih rešitev, v nadaljevanju postopka pa tudi kot kriteriji za primerjavo med posameznimi tipi zapornic. Na podlagi teh izhodišč smo, ob upoštevanju dimenzij in drugih karakteristik (material, dispozicija, konstrukcijska zasnova) obstoječe jezovne zgradbe ter obratovalnih pogojev, ki jih morata zapornici izpolnjevati, izbrali 4 tipe zapornic: dvodelna tablasta zapornica starejšega tipa, kljunasta dvodelna tablasta zapornica, tablasta zapornica z zaklopko in zaklopka.

Da bi lahko med podanimi tipi zapornic izbrali najustreznjšega, je bilo potrebno določiti njihove prednosti in pomanjkljivosti. Zato smo natančneje preučili konstrukcijske in obratovalne lastnosti posameznih tipov ter jih poskušali prenesti na obstoječi zapornični objekt. Izkazalo se je, da sta med naštetimi možnostmi dve, katerih vgradnja bi rešila večino obratovalnih problemov, pri čemer sta bili obe tudi že predlagani s preteklimi projekti. Gre za dvodelno tablasto zapornico z zaklopko, ki je bila predlagana s projektom Vodnogospodarskega inštituta iz leta 2000, in zaklopko, katere namestitev je leta 2003 predlagalo podjetje Hytep. In ker so, pri izbiri vrste hidromehanske opreme, v končni fazi ključnega pomena tudi investicijski stroški, kot najustreznjšo zamenjavo obstoječih zapornic, predlagamo dvodelni tablasti zapornici z zaklopko. V primerjavi z zaklopkama namreč ti zahtevata bistveno manjše posege v obstoječo jezovno zgradbo, s čimer so povezani ustrezno manjši stroški gradbenih del. Poleg tega pa je zapornični objekt zavarovan kot kulturni spomenik državnega pomena (Plečnikova arhitekturna dediščina), zato so kakršnikoli večji posegi v objekt nad nivojem vodne gladine, ki bi znatno vplivali na izgled objekta, nedopustni, kar seveda otežuje vgradnjo zaklopk in tako zmanjšuje njuno uporabnost pri konkretnem projektu. Ne nazadnje predlagani tip zapornic predstavlja kombinacijo tablaste zapornice in zaklopke ter tako združuje večino prednosti obeh v eni sami zapornici.

V sklopu hidromehanske opreme bi bilo potrebno, poleg samih zapornic, zamenjati tudi njihove pogonske mehanizme. V ta namen je v nalogi podana tudi analiza prednosti in pomanjkljivosti posameznih vrst mehanizmov, na podlagi katere predlagamo, da se obstoječi dvizni mehanizem (spodnja tabla – veriga, zgornja tabla – zobati drog), nadomesti s sodobnejšim hidravličnim mehanizmom, ki je ne le zanesljivejši, ampak omogoča tudi natančnejše uravnavanje položaja zapornic. Spodnji, kotalni tablasti zapornici bi tako imeli dvostranski pogon, hidravlični cilindri pa bi bili pomaknjeni v obstoječe stebrne niše, medtem ko bi bile cevi cilindrov nameščene v stebrnih kabinah. Za dviganje in spuščanje zaklopk bi skrbel cilindri, ki bi bil nameščen na sredini zapornice, pod zaklopko (t.j. na dolvodni strani zapornice). S takšno izvedbo pogona bi bil vpliv na izgled objekta minimalen, poleg tega pa se izognemo tudi podvajanju pogonskih agregatov, ki je sicer značilno za tablaste zapornice.

Da bi bilo obratovanje zapornic kar se da učinkovito ter, da bi bili obratovalni stroški pri tem čim manjši, nadalje predlagamo vgradnjo sistema, ki bi omogočil avtomatizacijo zapornic. S tem bi se namreč iz obratovalnega procesa izključil človeški vpliv. V ta namen bi bilo potrebno vzpostaviti sistem merilnih mest, ki bi neprekinjeno zagotavljal podatke o nivoju vodne gladine oz. pretoku, na podlagi katerih bi se zapornice samodejno odpirale in zapirale. Zagotoviti je potrebno najmanj eno merilno mesto gorvodno od zapornice, za natančnejšo regulacijo pa smo v nalogi predvideli tudi vgradnjo merilne sonde dolvodno od zapornice. Ta bi bila pomembna predvsem v sušnih poletnih mesecih, ko pretok Ljubljani pade pod  $13,70 \text{ m}^3/\text{s}$  in je dolvodno od zapornic potrebno zagotavljati minimalni ekološko sprejemljiv pretok. Takrat je namreč ključnega pomena natančno uravnavanje pretoka vode preko zapornic in delitev pretoka med Gruberjevim kanalom in Mestno Ljubljano.

Poleg posegov, ki se nanašajo neposredno na zamenjavo hidromehanske opreme zapornice, predlagamo še izvedbo nekaterih drugih ukrepov, ki bi izboljšali njeno celovito delovanje in vključitev v prostor: avtomatizacija ribje steze, izdelava lovilne zaves za pobegle čolne ter namestitev pontonske rampe, ki bi omogočala prehod obvodnih živali mimo zaporničnega objekta.

Ob ugotovitvah, da bi celovita sanacija jezua zahtevala tudi preureditev neučinkovite obstoječe ribje steze, smo pripravili tudi predlog za njeno sanacijo. Ta predvideva:

- ureditev iztoka iz steze, v okviru katere bi se izvedel armiranobetonski žleb, ki bi tudi v času nizkih pretokov omogočal prehajanje rib v ribjo stezo,
- ureditev vtoka v ribjo stezo, pri čemer bi se izdelale prekladne zapornice, ki bi omogočale zapiranje vtoka v stezo in s tem opravljanje del v suhem,
- namestitev čistilnega stroja za odstranjevanje plavja z rešetk na vtoku v ribjo stezo,
- ureditev prehoda pri stopnji na iztoku iz nagibnega žleba, z namestitvijo montažnih zajeznih sten.

Grafični prikaz obstoječega stanja jezua in stanja po izvedbi predvidenih sanacijskih del je razviden iz prilog E1–E4.

Pri posodabljanju obstoječega obratovalnega pravilnika zapornic, ki smo ga izvedli v zadnjem delu diplomske naloge, se je izkazalo, da gre za kompleksno problematiko, katere ni mogoče reševati zgolj na nivoju Mestne Ljubljani, t.j. z obnovo in avtomatizacijo zapornic pri Ambroževem trgu, pač pa je potrebno izvesti celostno analizo, ki bi vključevala tudi zapornice na Gruberjevem prekopu. Samo tako bi bilo namreč mogoče dokončno urediti področje upravljanja z vodnim režimom Ljubljani in sistem upravljanja tudi povsem avtomatizirati. Za nadaljnje delo tako predlagamo, da se enaka analiza, kot je bila v nalogi izdelana za zapornice na Mestni Ljubljani, izvede tudi za zapornice na Gruberjevem prekopu, nato pa naj se, na podlagi rezultatov obeh analiz, pripravi nov obratovalni

pravilnik, ki bi služil kot osnova za izdelavo algoritma za avtomatsko obratovanje obeh zapornic. Dodatno tudi predlagamo, da se na Ljubljanskem Barju vzpostavi mreža merilnih mest, ki bi zagotavljala podatke o nivoju talne vode ter s tem omogočala še boljše oz. ustrežnejše obratovanje zapornic.

Zamenjava obstoječe hidromehanske opreme zapornic na Mestni Ljubljani in Gruberjevem prekopu ter ureditev ribje steze je torej neizbežna, saj so zapornice dotrajane in le težka služijo svojemu namenu, kar velja tudi za ribjo stezo. Zato je potrebno čim prej pričeti s pripravo potrebne projektne dokumentacije, na podlagi katere se bodo opravili ustrezni razpisi in se nato tudi izvedla dela, s katerimi bo zagotovljeno učinkovito, natančno ter zanesljivo nadaljnje obratovanje zapornic in urejanje vodnega režima Ljubljanice.

## VIRI

Andrejka, R. 1938. Zgodovina kramarskih hišic v Prešernovi ulici. Kronika slovenskih mest, letnik 5, številka 1: 203–208.

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-Q3WAW5LG> (Pridobljeno 2. 4. 2013.)

Atlas okolja. 2013.

[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso) (Pridobljeno 24. 4. 2013.)

Butina, V., Kus, R., Gajšek, M., Razpotnik, I., Loose, A., Mlakar, K., Fazarinc, R., Plut, M., Fatur, M. 2012. Pregled ukrepov za povečanje poplavne varnosti v Mestni občini Ljubljana. Študija ukrepov za izboljšanje poplavne varnosti. Ljubljana, Mestna uprava Mestne občine Ljubljana, Strokovna komisija za pripravo ukrepov za povečanje poplavne varnosti v MOL: 35 f.

<http://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ljubljana.si%2Ffile%2F1145395%2F5.-toka---poplavna-varnost-mol.pdf&ei=BgX4UaP5N4iq4AS1qYGYBw&usq=AFQjCNElZ7SCyNtXCwv1MAWkd7ECyMUHp&sig2=WRP688JUntwLrI91SmZWOW&bvm=bv.49967636,d.bGE> (Pridobljeno 19. 2. 2013.)

Cenčič, V. (ur.) 1942. Ljubljansko barje v preteklosti. Slovenec: političen list za slovenski narod 70, 259: 5, 260: 4, 261: 5.

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-EU3MAMR1>

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-2DZUS8O7>

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-YG9U80TP> (Pridobljeno 1. 4. 2013.)

Ciglič, R., Debevc, K., Perhaj, N., Peterca, S., Strmšnik, K. 2005. Stara struga Ljubljani. V: Ilc, H. (ur.), Košutnik, J. (ur.), Strmšnik, K. (ur.), Trobec, T. (ur.). Oaza narave na pragu mesta : rezultati 9. Geografskega raziskovalnega tabora DMGS, Ljubljansko barje, Slovenija, 5.–14. julij 2005. Društvo mladih geografov Slovenije: 11–12.

[http://www.ljubljanskobarje.si/uploads/datoteke/geoloske\\_poti%281%29.pdf](http://www.ljubljanskobarje.si/uploads/datoteke/geoloske_poti%281%29.pdf)

(Pridobljeno 3. 12. 2012.)

Draksler, K., Gostinčar, P., Komel, T., Plantan, M., Premelč, M., Strmšnik, K. 2005. Izviri Ljubljani. V: Ilc, H. (ur.), Košutnik, J. (ur.), Strmšnik, K. (ur.), Trobec, T. (ur.). Oaza narave na pragu mesta : rezultati 9. Geografskega raziskovalnega tabora DMGS, Ljubljansko barje, Slovenija, 5.–14. julij 2005. Društvo mladih geografov Slovenije: 5–6.

[http://www.ljubljanskobarje.si/uploads/datoteke/geoloske\\_poti%281%29.pdf](http://www.ljubljanskobarje.si/uploads/datoteke/geoloske_poti%281%29.pdf)

(Pridobljeno 3. 12. 2012.)

Enotna klasifikacija vrst objektov (CC-SI) 2012 s pojasnili. 2012. Ljubljana, Statistični urad Republike Slovenije.

<http://www.stat.si/klasje/klasje.asp> (Pridobljeno 23. 4. 2013.)

Erbisti, P. C. F. 2004. Design of Hydraulic Gates. Lisee, A.A. Balkema Publishers, a member of Swets & Zeitlinger Publishers: 351 str.

Giontini, J. (zal.) 1913. Ljubljana (Gradbena dela v strugi Ljubljanice).

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:IMG-345MB43B> (Pridobljeno 21. 4. 2013.)

Gjura, N., T., T. 2008. Brez prave višine Ljubljanice se začne propadanje. Barje.net (30. jul. 2008).

<http://www.barje.net/arhiv.php?id=3898> (Pridobljeno 26. 5. 2013.)

Globokar, T., Sušec-Šuker, V., 1994. R/284-Študija možnih posledic kratkoročnih ukrepov pri sanaciji zapornic na Ambroževem trgu in Gruberjevem kanalu za izboljšanje vodnega režima Ljubljanice. Študija. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Republiška direkcija za varstvo okolja in urejanje voda: 40 f.

Hönigsfeld Adamič, M., Gregorc, T., Nekrep, I., Šemrl, M., Berce, T. 2011. Z vidro skozi prestolnico – zaključno poročilo projekta. Zaključno poročilo projekta. Ljubljana, Mestna občina Ljubljana: 35 f.

[http://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ljubljana.si%2Ffile%2F1060855%2Futra\\_koncno\\_porocilo.pdf&ei=8Y-jUYywHs73O4WTgMAG&usg=AFQjCNER4x1XfNyI\\_ijV2EWoPnCdV0Ob5g&sig2=Q8VQ81AWftRt-Pz05CVllw&bvm=bv.47008514.d.ZWU](http://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ljubljana.si%2Ffile%2F1060855%2Futra_koncno_porocilo.pdf&ei=8Y-jUYywHs73O4WTgMAG&usg=AFQjCNER4x1XfNyI_ijV2EWoPnCdV0Ob5g&sig2=Q8VQ81AWftRt-Pz05CVllw&bvm=bv.47008514.d.ZWU) (Pridobljeno 27. 5. 2013.)

Humar, N. 2011. Pravilnik za obratovanje in vzdrževanje zapornic na Mestni Ljubljani (Ambrožev trg) in Gruberjevem kanalu (Roška cesta). Obratovalni pravilnik zapornic. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za upravljanje z vodami, Sektor za porečje reke Save, Oddelek za vodno območje Srednje Save: 12 f.

Humar, N. 2013a. Obratovanje ribje steze na zapornicah pri Ambroževem trgu. Osebna komunikacija. (15. 5. 2013.)

Humar, N. 2013b. Pravilnik za obratovanje in vzdrževanje zapornic na Rinži v Kočevju. Obratovalni pravilnik zapornic. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija republike Slovenije za okolje, Urad za upravljanje z vodami, Sektor za porečje reke Save, Oddelek za vodno območje Srednje Save: 12 f.

Javornik, M. (ur.), Dermastia, A. (ur.) 1989. Enciklopedija Slovenije. 3, Eg–Hab. Ljubljana, Mladinska knjiga: 416 str.

Javornik, M. (ur.), Dermastia, A. (ur.) 1992. Enciklopedija Slovenije. 6, Krek–Marij. Ljubljana, Mladinska knjiga: 416 str.

Jerovec, L., Zemljak, M. 2011. Podobe Valvasorjeve Ljubljane = Images of Valvasor's Ljubljana. Ljubljana, Cankarjeva založba: 111 str.

<http://www.emka.si/podobe-valvasorjeve-ljubljane/PR/161496,11124> (Pridobljeno 6. 12. 2012.)

Kleinmayr 1841. Vaterländisches. Die Entsumpfung des Laibacher Morastes. Illyrisches Blatt 1841, 37: 161–163, 38: 165–167, 39: 173–175, 40: 177–178, 41: 181–182.

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-0W5RKW92>

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-JO0TSYBN>

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-WVJB0EXG>

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-FNEC7HZ0>

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-51R6OFC2> (Pridobljeno 25. 3. 2013.)

Kolbezen, M., Pristov, J. 1998. Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije = Surface streams and water balance of Slovenia. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije: 29 str.

[http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/vodotoki\\_bilanca.html](http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/vodotoki_bilanca.html)

(Pridobljeno 4. 12. 2012.)

Kolman, G., Bizjak, A., Mikoš, M., Kregar, M. 2010. Stanje vodotokov v Mestni občini Ljubljana. Slovenski vodar 21-22: 45–51.

[http://www.drustvo-vodarjev.si/SLIKE/04\\_SLOVENSKI\\_VODAR/SV21\\_22.pdf](http://www.drustvo-vodarjev.si/SLIKE/04_SLOVENSKI_VODAR/SV21_22.pdf)

(Pridobljeno 5. 11. 2012.)

Kopatin, V. 1934. Gabrijel Gruber S. J. In njegov prekop. Kronika slovenskih mest, letnik 1, številka 1: 8–14.

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-3L7GHAO6> (Pridobljeno 19. 2. 2013.)

Kryžanowski, A. 2011. Hidrotehnični objekti. Študijsko gradivo.

Lewin, J. 2001. Hydraulic gates and valves in free surface flow and submerged outlets : Second Edition. London, Thomas Telford Publishing, Thomas Telford Ltd: 300 str.

Ljubič, J., Satler, B. 2003. Jez na Ljubljani pri Ambroževem trgu. Nova zasnova hidromehanske opreme. Tehnično poročilo – Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja. Ljubljana, Mestna občina Ljubljana, Mestna uprava, Zavod za varstvo okolja: 50 f.

Ljubič, J., Satler, B. 2009. Jez na Ljubljani pri Ambroževem trgu. Poročilo o stanju zapornic. Tehnično poročilo. Ljubljana, Hidrotehnik Vodnogospodarsko podjetje d.d.: 14 f.

M. K. 2009. Zakladi, ki so se skrivali pod gladino Ljubljanice. Ljubljana, MMC RTV SLO (26. feb. 2009).

<http://www.rtv slo.si/kultura/razstave/zakladi-ki-so-se-skrivali-pod-gladino-ljubljanice/158305>

(Pridobljeno 4. 12. 2012.)

MAPRO d.o.o.. 2013.

<http://www.mapro.si/slo/proizvodno-prodajni-program/hidravlicni-cilindri/enostranski-hidravlicni-cilindri/> (Pridobljeno 8. 7. 2013.)

Melik, A. 1927. Kolonizacija Ljubljanskega barja. Ljubljana, Tiskovna zadruga: 65 str.

<http://www.ljubljanskobarje.si/uploads/datoteke/Kolonizacija-ljubljanskega-barja.pdf>

(Pridobljeno 14. 3. 2013.)

Odlok o razglasitvi del arhitekta Jožeta Plečnika v Ljubljani za kulturne spomenike državnega pomena. Uradni list RS št. 51–2500/2009: 6945.

Petkovšek, J. 2012. Fekalije v Vevčah reko onesnažujejo že 44 let. Delo.si (24. mar. 2012).

<http://www.delo.si/novice/slovenija/fekalije-v-vevcah-reko-onesnazujejo-ze-44-let.html>

(Pridobljeno 25. 5. 2013.)

Potočnik, A. 1927. Ljubljana. Zvonček, letnik 28, številka 5: 103–106.

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-9JSGOV28> (Pridobljeno 18. 2. 2013.)

Prelovšek, M. 1920. Regulacijska dela na Ljubljani. V: Šebenik, D., Prelovšek, M., Badiura, R.. Ilustrovani kažipot Ljubljana, Gorenjsko z načrtom Ljubljane in zemljevidnim obriskom. Ljubljana, Generalni komisariat za tujski promet v Sloveniji: str. 50–57.

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-IJDMPMNB> (Pridobljeno 9. 4. 2013.)

Projekti MOL. Oživitev nabrežij Ljubljane – Hradskega most pri Gradaščici. 2011.

<http://ljublanski.projekti.si/ozivitev-nabrezij-ljubljane-hradskega-most-pri-gradascici.aspx>

(Pridobljeno 3. 4. 2013.)

R. D. 2012. Najhujše poplave: leta 1926 valovi butali na Tržaški. Delo.si (6. nov. 2012).

<http://www.delo.si/novice/slovenija/najhujse-poplave-leta-1926-valovi-butali-na-trzaski.html>

(Pridobljeno 19. 4. 2013.)

RADHUBER CONSULTING. 2007.

[http://www.radhuber.com/stwb\\_murau01.htm](http://www.radhuber.com/stwb_murau01.htm) (Pridobljeno 10. 7. 2013.)

Rodič, P., Vošnjak, S., Buh, M., Jocič, M., Kores, J., Škvorc, S. 2003. Hidravlična modelna raziskava (HMR) jezua in nove zapornice na Ljubljani pri Ambroževem trgu–poročilo. Hidravlična modelna raziskava. Ljubljana, Mestna občina Ljubljana: 18 f.

Rojnik, F. 2005. Sanacija jaška gibljivega dela ribje steze pri zapornici na reki Ljubljani na Ambroževem trgu v Ljubljani. Projekt izvedenih del. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor: 13 f.

Serše, A., Juričič Čargo, D., Južnič, S., Košir, M. 2005. Gabrijel Gruber S. J. : 1740–1805 : 200 let. Ljubljana, Arhiv Republike Slovenije: 106 str.

<http://www.arhiv.gov.si/fileadmin/arhiv.gov.si/pageuploads/publikacije/gruber/Katalogo.pdf>

(Pridobljeno 15. 3. 2013.)

SI\_ZAL\_LJU/0144 Glavni odbor za obdelovanje Ljubljanskega barja, 1843–1948 (Fond/[zbirka]). 2013.

<http://www.siranet.si/detail.aspx?ID=86011> (Pridobljeno 21. 4. 2013.)

Skoberne, P. 2004. Ljubljana: od izvira do izliva. Ljubljana, Mladinska knjiga: 104 str.

Steska, V. 2009. Picco Ivan. Slovenski biografski leksikon.

<http://nl.ijs.si/fedora/get/sbl:2062/VIEW/> (Pridobljeno 2. 4. 2013.)



Suhadolnik, J., Anžič, S. 2003. Stari trg, Gornji trg in Levstikov trg. Arhitekturni in zgodovinski oris mestnih predelov in objektov, lastniki hiš ter arhivsko gradivo Zgodovinskega arhiva Ljubljana. Ljubljana, Zgodovinski arhiv Ljubljana: 271 str.

<http://www.sistory.si/publikacije/prenos/?target=pdf&urn=SISTORY:ID:8936>

(Pridobljeno 4. 4. 2013.)

Švegelj, R., Remec, Č. 2002. Jez na Ljubljani – Ambrožev trg. Poročilo o stanju hidromehanske opreme s predlogom ureditve. Strokovno mnenje. Ljubljana, Mestna občina Ljubljana, Mestna uprava, Zavod za varstvo okolja: 10 f.

[http://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CD0QFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ljubljana.si%2Ffile%2F243499%2Fpov\\_2002\\_jez\\_na\\_ljubljani\\_porocilo\\_o\\_stanju.pdf&ei=DGiGUe7eH6eF4gS6rYAw&usg=AFQjCNFgKxDEQYgNKwPmPxDRYIYHdpttCg&sig2=ZalP7npMPD2EGUdFCNMu2A](http://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CD0QFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ljubljana.si%2Ffile%2F243499%2Fpov_2002_jez_na_ljubljani_porocilo_o_stanju.pdf&ei=DGiGUe7eH6eF4gS6rYAw&usg=AFQjCNFgKxDEQYgNKwPmPxDRYIYHdpttCg&sig2=ZalP7npMPD2EGUdFCNMu2A) (Pridobljeno 29. 9. 2012.)

Uhlir, H. 1956. Historiat osuševalnih del na Ljubljanskem barju. Knj. 1. Ljubljana, Uprava za vodno gospodarstvo Ljudske republike Slovenije: 113 str.

Umek, E. 1956. Gradnja kanalov na Ljubljani v prvi polovici XVIII. stoletja. Kronika (Ljubljana), letnik 4, številka 2: 82–86.

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-8WMSP9IU> (Pridobljeno 7. 3. 2013.)

Umek, E. 1986. Plovba po Savi v 18. stoletju. Zgodovinski časopis, letnik 40, številka 3: 233–268.

<http://www.sistory.si/SISTORY:ID:121> (Pridobljeno 7. 3. 2013.)

Uredba o klasifikaciji vrst objektov in objektih državnega pomena. Uradni list RS št. 109–4992/2011: 14974.

Valvasor, J. V. 1977. Slava vojvodine Kranjske. Ljubljana, Mladinska knjiga: 365 str.

Vidmar, A. 2012. Ljubljana povezuje. V: Dolenc, D. (ur.), Lebez Lozej, J. (ur.), Miklavžin, A. (ur.). Projekti v Sloveniji – 20 let evropskega finančnega programa LIFE. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje: str. 16.

[http://www.mko.gov.si/fileadmin/mko.gov.si/pageuploads/podrocja/life/life20\\_brosura.pdf](http://www.mko.gov.si/fileadmin/mko.gov.si/pageuploads/podrocja/life/life20_brosura.pdf)

(Pridobljeno 3. 6. 2013.)

Vrhovec, I. 1895. Čolnarji in brodniki na Ljubljani in Savi. Ljubljana, Slovenska matica: 47 str.

[http://nl.ijs.si/imp/wikivir/dl/WIKI00159-1895.html#wv-I..C4.8Colnarji\\_na\\_Ljubljani](http://nl.ijs.si/imp/wikivir/dl/WIKI00159-1895.html#wv-I..C4.8Colnarji_na_Ljubljani).

(Pridobljeno 19. 3. 2013.)

Vrhovnik, I. 1934. Nekaj pozabljenih ljubljanskih svetišč. Kronika slovenskih mest, letnik 1, številka 2: 139–140.

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-HOLCZG8T> (Pridobljeno 6. 12. 2012.)

Zakon o graditvi objektov (ZGO-1). Uradni list RS št. 110–5387/2002: 13084.

Zakon o varstvu kulturne dediščine (ZVKD-1). Uradni list RS št. 16–485/2008: 1121.

Zakon o vodah (ZV-1). Uradni list RS št. 67–3237/2002:7648.

## SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: KARAKTERISTIČNI PRETOKI LJUBLJANICE, MERJENI NA VP VRHNIKA II IN VP MOSTE ZA OBDOBJI 1961–1990 IN 1971–2000.....	A1
PRILOGA B: HIDROGRAM SREDNJEGA PRETOKA LJUBLJANICE NA VP VRHNIKA II IN VP MOSTE ZA OBDOBJI 1961–1990 IN 1971–2000.....	B1
PRILOGA C: SPREMEMBE IN DOPOLNITVE PRAVILNIKA ZA OBRATOVANJE IN VZDRŽEVANJE ZAPORNIC NA MESTNI LJUBLJANICI (AMBROŽEV TRG) IN GRUBERJEVEM PREKOPU (ROŠKA CESTA).....	C1
PRILOGA D: VZDOLŽNI PROFIL LJUBLJANICE.....	D1
PRILOGA E: GRAFIČNI PRIKAZ OBSTOJEČEGA STANJA JEZU IN PREDLAGANIH SANACIJSKIH UKREPOV.....	E1

**»TA STRAN JE NAMENOMA PRAZNA«**

**PRILOGA A: KARAKTERISTIČNI PRETOKI LJUBLJANICE, MERJENI NA VP VRHNIKA II IN VP MOSTE ZA OBDOBJI 1961–1990 IN 1971–2000**

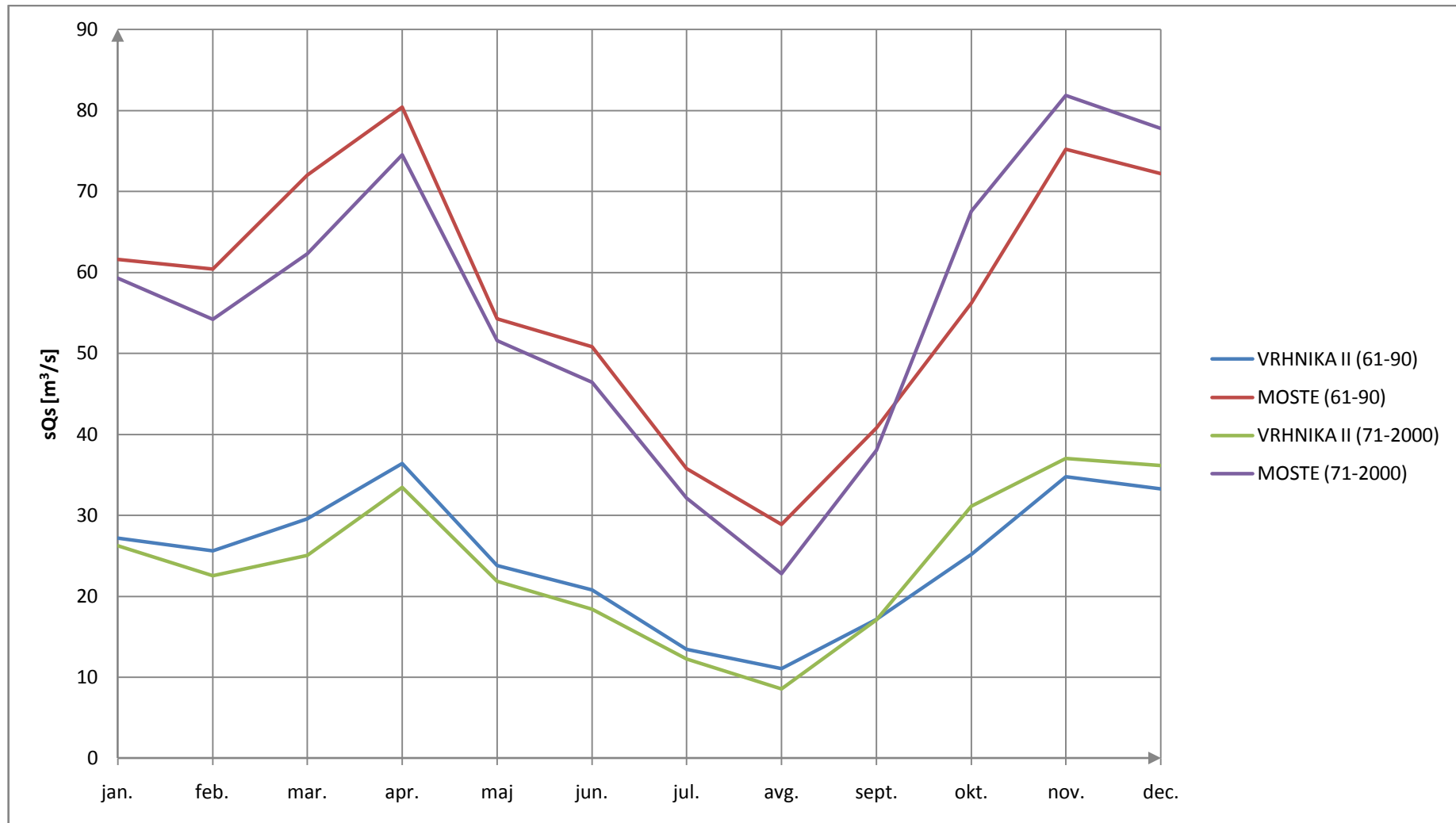
OBDOBJE	VODOMERNA POSTAJA	KARAKTERISTIČNI PRETOK	MESEC												LETO
			jan.	feb.	mar.	apr.	maj	jun.	jul.	avg.	sept.	okt.	nov.	dec.	
1961 - 1990	VRHNIKA II	nQnk [m <sup>3</sup> /s]	2,09	1,76	2,59	3,78	3,78	2,22	1,5	1,19	0,98	1,35	1,87	2,31	0,98
		sQs [m <sup>3</sup> /s]	27,2	25,6	29,6	36,4	23,8	20,8	13,5	11,1	17,2	25,2	34,8	33,3	24,8
		vQvk [m <sup>3</sup> /s]	95,9	91	94,2	94,9	93,8	88,7	93,1	93,9	96,9	98,1	97,1	93,7	98,1
	MOSTE	nQnk [m <sup>3</sup> /s]	4,07	4,76	7,68	9,34	9,14	9,24	5,99	3,8	3,41	3,72	3,76	5,86	3,41
		sQs [m <sup>3</sup> /s]	61,6	60,4	72	80,4	54,3	50,8	35,8	28,9	40,8	56,2	75,2	72,2	57,3
		vQvk [m <sup>3</sup> /s]	355	259	405	273	344	296	289	240	352	377	297	320	405
1971 - 2000	VRHNIKA II	nQnk [m <sup>3</sup> /s]	0,95	1,34	1,55	2,48	3,5	2,22	1,5	1,36	1,26	1,35	1,87	2,31	0,954
		sQs [m <sup>3</sup> /s]	26,2	22,5	25	33,4	21,8	18,4	12,3	8,56	17,1	31,1	37,00	36,1	24,11
		vQvk [m <sup>3</sup> /s]	95,9	90,1	93,5	94,9	93,8	88,7	88,1	96	96,9	102	103	97,2	103
	MOSTE	nQnk [m <sup>3</sup> /s]	4,07	4,76	6,58	8,55	4,54	7,54	2,66	3,8	3,41	3,76	3,76	5,86	2,66
		sQs [m <sup>3</sup> /s]	59,2	54,2	62,3	74,5	51,6	46,4	32,2	22,8	38	67,5	81,8	77,7	55,64
		vQvk [m <sup>3</sup> /s]	293	242	405	273	344	296	289	240	352	377	332	285	405

Oznake v tabeli pomenijo:

- nQnk: najmanjši nizek pretok v obdobju (konica)
- sQs: srednji pretok obdobja
- vQvk: največji visok pretok v obdobju (konica)

**»TA STRAN JE NAMENOMA PRAZNA«**

**PRILOGA B: HIDROGRAM SREDNJEGA PRETOKA LJUBLJANICE NA VP VRHNIKA II IN VP MOSTE ZA OBDOBJI 1961–1990 IN 1971–2000**



**»TA STRAN JE NAMENOMA PRAZNA«**



## **PRILOGA C: SPREMEMBE IN DOPOLNITVE PRAVILNIKA ZA OBRATOVANJE IN VZDRŽEVANJE ZAPORNIC NA MESTNI LJUBLJANICI (AMBROŽEV TRG) IN GRUBERJEVEM KANALU (ROŠKA CESTA)**

### **7. člen**

(Objekti in naprave za vzdrževanje stalne gladine vodotoka nad zapornicama)

Objekti za vzdrževanje stalne kote vodne gladine:

- **Zapornica na Mestni Ljubljani pri Ambroževem trgu**
  - zapornični objekt
    - dve prelivni polji
    - tri stebrne kabine
    - mostišče za oskrbo zapornic
    - prag
    - ribja steza – prehod za vodni živelj
    - žleb na iztoku iz ribje steze
    - plato za namestitev prekladnih zapornic na vtoku v ribjo stezo
  - hidromehanska oprema
    - kombinirani zapornici, ki ju sestavljata zaklopka (zgornja) in kotalna zapornica (spodnja)
    - nagibni žleb ribje steze
    - čistilni stroj
    - pripadajoča hidravlična, elektro- in merilna oprema
  - centralni nadzorni sistem (v nadaljevanju CSN)
  - lovilna zavesa
  - pontonska rampa za prehod obvodnih živali
- **Zapornica na Gruberjevem kanalu na Roški cesti**
  - zapornični objekt z dvema prelivnima poljema
  - prag
  - tablasti zapornici

### **8. člen**

(Zapornice na Mestni Ljubljani – Ambrožev trg)

V tem členu so natančneje opisane vse komponente zapornice, našete v 7. členu tega pravilnika. Ker se betonska konstrukcija jezovne zgradbe praktično ne bi spremenila, bi tudi njen opis ostal nespremenjen. Seveda pa bi bilo potrebno spremeniti opis hidromehanske opreme ter dodati opis novo vgrajenih komponent, t.j. centralnega nadzornega sistema, lovilne zaves in pontonske rampe za

prehod obvodnih živali ter novih elementov ribje steze (žleb, deflektor, prekladne zapornice z naslonskim platojem, čistilni stroj). A ker so vse omenjene komponente natančneje opisane že v prejšnjih poglavjih, njihovega opisa ponovno ne navajamo.

Natančna navodila za upravljanje in vzdrževanje nove hidromehanske opreme bi se, skupaj z natančnejšim opisom posameznih komponent, izdelala po vgradnji zapornic in bi bila priložena prenovljenemu pravilniku, tako kot so obstoječemu pravilniku priložena Navodila za obratovanje in vzdrževanje zapornic na Mestni Ljubljani ter Navodilo za upravljanje z zapornicami na Gruberjevem kanalu.

## 10. člen

(Odgovorna oseba za manipulacijo z zapornicami)

Prva dva odstavka tega člena bi ostala enaka, medtem ko bi se zadnji odstavek spremenil kakor sledi: Pred manipulacijo z zapornicami mora upravljavec pridobiti podatke o pretoku oz. vodostaju z vodomernih postaj, ki se nahajata ca. 50 m gorvodno in dolvodno od zapornice ter vodomerne postaje Moste (TETOL). Podatki so dosegljivi na prikazovalniku CSN. Če podatki niso na voljo (okvara vodomerne sonde, okvara vodomerne postaje, problemi s povezavo), mora gladini odčitati fizično – na vodomerni lati, podatki VP Moste pa so dosegljivi na spletnih straneh Agencije RS za okolje ali direktno pri prognostični službi Agencije RS za okolje.

OPOMBA: Če bi bila vzpostavljena mreža merilnih mest na Ljubljanskem barju, kot je predlagano z opisanim projektom, bi bili na prikazovalniku CSN dosegljivi tudi ti podatki, do katerih pa v primeru okvare sond ali težav s povezavo ne bi mogli dostopati, zato bi jih v tem primeru izločili iz postopka odločanja o manipulaciji z zapornicami.

## 11. člen

(Obratovalni pogoji)

Obratovanje z zapornicami je lahko avtomatsko ali polavtomatsko (preklapljanje med funkcijami poteka ročno).

Obratovanje z zapornicami obsega naslednje pogoje:

- normalna stanja Mestne Ljubljane in Gruberjevega kanala – vzdrževanje stalne gladine vodotoka nad zapornicami na koti 285,60 m n. v., pogojev za obratovanje vodosilnih naprav in vzdrževanje pogojev za plovbo nad zapornicami
- ukrepanje ob povišanih vodostajih – zagotavljanje poplavne varnosti pri pretokih od 57 m<sup>3</sup>/s do 125 m<sup>3</sup>/s, oz. ko se kota vode nad zapornico dvigne nad 285,60 m n. v.
- prenehanje visokih voda – ko pretoki upadejo do take mere, da se z zapornicami v »0« poziciji vzdržuje koto vode 285,60 m n. v. gorvodno od zapornice

- ukrepanje v izrednih razmerah, pri pretokih, ki presežejo  $125 \text{ m}^3/\text{s}$
- delovanje zapornic po daljših sušnih obdobjih in pri pretokih nižjih od  $13,70 \text{ m}^3/\text{s}$  – zagotavljanje pogojev za obratovanje vodosilnih naprav imetnikom vodnih pravic
- zagotavljanje ekološko sprejemljivega pretoka (skupno  $8,0 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- remont zapornic
- redni pregled delovanja zapornic

Pred manipulacijo z zapornicami mora upravljavec pridobiti podatke o pretoku oz. vodostaju z vodomernih postaj, ki se nahajata ca. 50 m gorvodno in dolvodno od zapornice ter vodomerne postaje Moste (TETOL). Podatki so dosegljivi na prikazovalniku CSN. Če podatki niso na voljo (okvara vodomerne sonde, okvara vodomerne postaje, problemi s povezavo), mora gladini odčitati fizično – na vodomerni lati, podatki VP Moste pa so dosegljivi na spletnih straneh Agencije RS za okolje ali direktno pri prognostični službi Agencije RS za okolje.

V kolikor vodomerne postaje ne delujejo, ali podatki niso dostopni, upravljavec z zapornicami upravlja po svoji presoji, v skladu s cilji, navedenimi v 6. členu tega pravilnika, oziroma po navodilih odgovorne osebe koncudenta.

V primeru, da se pokaže potreba po dodatnih navodilih za obratovanje in vzdrževanje zapornic za zagotavljanje normalnega in varnega delovanja zapornic, navodila izda pisno koncudent. V kolikor koncudent navodil pisno ne izda, upravljavec z zapornicami upravlja po lastni presoji, v skladu s cilji, navedenimi v 6. členu tega pravilnika, vendar za to ne nosi odgovornosti.

## **12. člen**

(Normalna stanja)

Spremeni se le 4. odstavek tega člena, kakor sledi.

### **AMBROŽEV TRG – MESTNA LJUBLJANICA**

Na zapornici pri Ambroževem trgu je stalna kota 285,60 m n. v. označena na vodomerni lati ca. 50 m gorvodno od zapornice (poleg merilne sonde), na obeh obrežnih zidovih Mestne Ljubljane, neposredno nad zapornico in na vodomernih latic pri zapornicah.

OPOMBA: V tem členu se popravita tudi prvi povedi 1. in 2. odstavka, v katerih se 7. člen nadomesti s 6. členom.

### 13. člen

(Ukrepanje ob povišanih vodostajih)

Ukrepanje v primeru povišanega vodostaja obsega pretoke, ko pretočne količine, merjene na vodomerni postaji Moste, presežejo  $57 \text{ m}^3/\text{s}$ , vendar so manjše od  $125 \text{ m}^3/\text{s}$  oz., ko kota vode, merjena ca. 50 m gorvodno od zaporničnega objekta na Mestni Ljubljani, preseže 285,60 m n. v..

V kolikor pretok skozi Mestno Ljubljano in Gruberjev kanal začne z nizkih pretokov naraščati in se dvigne nad  $57 \text{ m}^3/\text{s}$ , je potrebno stanje na zapornicah na Gruberjevem kanalu kontrolirati najmanj trikrat dnevno, na zapornicah na Mestni Ljubljani pa najmanj enkrat dnevno. V primeru, da je potrebno preiti na ročno upravljanje zapornic na Mestni Ljubljani, je tudi stanje teh zapornic potrebno kontrolirati najmanj trikrat dnevno.

Z obratovanjem zapornic je potrebno zagotavljati izpolnjevanje ciljev iz 6. člena tega pravilnika, kakor si sledijo po navedenem prednostnem vrstnem redu.

#### Avtomatsko upravljanje

Delovanje zapornic na Mestni Ljubljani je avtomatizirano in se vrši na podlagi zaznave kote vodne gladine gorvodno in dolvodno od zapornice ter na podlagi pretokov, merjenih na VP Moste. Sondi, ki omogočata zaznavo kote vode, temperature vode in temperature zraka, sta nameščeni približno 50 m gorvodno oz. dolvodno od zaporničnega objekta. Prav tako pa se ves čas spremlja tudi položaj zapornic.

Ko se vodostaj gorvodno od zapornic dvigne, se prične zaklopka avtomatsko odpirati (spuščati v horizontalno lego). Ko zaklopka doseže najnižji možni položaj, se prične manipulirati s kotalno zapornico. V tem primeru se zaklopka najprej dvigne v pokončni (zaprti) položaj, šele nato pa se prične z dviganjem kompleta zapornic (zaklopke in kotalne zapornice).

Medtem ko zapornici na Mestni Ljubljani avtomatsko vzdržujeta ustrezen zajezev (se samodejno odpirata), je postopek ročnega upravljanja z zapornicama na Gruberjevem prekopu, pri pretokih med  $57 \text{ m}^3/\text{s}$  in  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ , merjenih na vodomerni postaji Moste, sledeč (delitev pretokov na Mestno Ljubljano in Gruberjev kanal v ustreznem razmerju v tem primeru ni več zahtevana):

1. najprej se postopoma, koračno odpre celotna leva zapornična tabla
2. nato se postopoma, koračno odpre desna zapornična tabla, vendar samo do polovice

Šele ko pretok, merjen na vodomerni postaji Moste, preseže ca.  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ , se postopoma, koračno nadaljuje z odpiranjem desne zapornične table, o odpiranju pa je potrebno obvestiti koncedenta, ki določi nadaljnje ukrepe.

Ročna manipulacija z zapornicami na Gruberjevem kanalu se pri tem ves čas prilagaja avtomatskemu obratovanju zapornic na Mestni Ljubljani oz. se z njim usklajuje.

Pri pretokih, merjenih na vodomerni postaji Moste, ki so večji od  $125 \text{ m}^3/\text{s}$ , so vse zapornice (na Mestni Ljubljani in Gruberjevem prekopu) polno odprte in na koto vodne gladine ter na pretok dolvodno od zapornic, z manipulacijo le-teh ni več mogoče vplivati v smislu doseganja ciljev iz 6. člena tega pravilnika.

### Ročno upravljanje

V primeru ročnega upravljanja zapornic na Mestni Ljubljani je potrebno o tem obvestiti koncudenta, ki odredi potrebo po vzpostavitvi dežurne službe.

V kolikor je potrebno, iz različnih razlogov (okvara sistema, poškodba optičnih vlaken, poškodba sond,...), pristopiti k ročnemu upravljanju z zapornicami, je pri preseženem vodostaju  $285,60 \text{ m n. v.}$  oz. pri pretokih večjih od  $57 \text{ m}^3/\text{s}$ , potrebno postopati kot sledi:

1. najprej se postopoma, koračno (velikost koraka  $3\text{cm}-5\text{cm}$ ) odpre leva zaklopka na zapornici na Mestni Ljubljani
2. nato se postopoma, koračno (velikost koraka  $3\text{cm}-5\text{cm}$ ) odpre desna zaklopka na zapornici na Mestni Ljubljani

Izmenično koračno odpiranje se vrši preko interaktivnega zaslona in stikal krmilne plošče, ki se nahajata na glavni elektroarni v stebri kabini srednjega stebra. Pri tem je potrebno ves čas kontrolirati vodostaj na zaporničnem objektu ter na kontrolni točki (vodomerna lata) približno  $50 \text{ m}$  gorvodno. Zaklopki se odpirata izmenično, vse dokler ni dosežen najnižji možni položaj. V kolikor gladina gorvodno od zapornic še vedno narašča, začnemo z odpiranjem zapornic na Gruberjevem kanalu:

3. postopno, koračno se odpre celotna leva zapornična tabla na Gruberjevem kanalu
4. nato se postopoma, koračno odpre desna zapornična tabla na Gruberjevem kanalu, vendar le do polovice

Pri tem je potrebno ves čas kontrolirati koto vodne gladine ( $285,60 \text{ m n. v.}$ ), ki je na Gruberjevem kanalu označena na desnem obrežnem zidu, tik nad zapornicami. V kolikor gladina gorvodno od zapornic, kljub izvedenima korakoma 3 in 4, še vedno narašča, pristopimo k odpiranju kotalnih zapornic na Mestni Ljubljani, kot sledi:

5. popolnoma se zapre leva zaklopka, nato pa se prične postopno, koračno dviganje leve kotalne zapornice, vendar le do polovice
6. sledi popoln dvig (zaprtje) desne zaklopke, nato pa se prične postopno, koračno dviganje desne kotalne zapornice, vendar le do polovice

7. ko pretok, merjen na VP Moste, preseže ca. 80 m<sup>3</sup>/s, se postopoma, koračno prične z odpiranjem vseh zaporničnih tabel na obeh lokacijah, v smislu doseganja ciljev iz 6. člena tega pravilnika, o odprtju pa je potrebno obvestiti koncudenta, ki določi nadaljnje ukrepe

Pri pretokih, merjenih na vodomerni postaji Moste, ki so večji od 125 m<sup>3</sup>/s, so vse zapornice (na Mestni Ljubljani in Gruberjevem prekopu) polno odprte in na koto vodne gladine ter na pretok dolvodno od zapornic, z manipulacijo le-teh ni več mogoče vplivati v smislu doseganja ciljev iz 6. člena tega pravilnika.

#### **14. člen**

(Ukrepanje ob minimalnih in izjemno nizkih pretokih)

Spremeni se le 2. odstavek 1. odseka (Minimalni pretoki), kot sledi:

Ko pretok Ljubljane, izmerjen na vodomerni postaji v Mostah, pade pod 13,70 m<sup>3</sup>/s, je potrebno stanje na zapornicah na Gruberjevem kanalu kontrolirati najmanj trikrat dnevno, na Mestni Ljubljani pa najmanj enkrat dnevno. V primeru ročnega upravljanja zapornic na Mestni Ljubljani, je tudi te potrebno kontrolirati najmanj trikrat dnevno.

OPOMBA: Zaradi avtomatizacije in vgrajenega sistema video nadzora zapornic pri Ambroževem trgu, bi bilo njihovo obratovanje mogoče spremljati iz nadzornega centra, oz. preko podatkovne povezave UMTS oz. HSDPA, kar pomeni, da zadostuje fizična kontrola zapornic, ki se opravi na njihovi lokaciji, samo enkrat dnevno.

#### **15. člen**

(Delovanje zapornic po daljših sušnih obdobjih)

Popraviti je potrebno le 2. odstavek tega člena, kakor sledi:

Odpiranje zapornic (na Mestni Ljubljani) se v takem primeru izvaja postopoma (koračno). To pomeni, da se najprej odpre leva zaklopka za 6 cm, pri čemer se počaka 5 minut, nato se za 6 cm odpre desna zaklopka, da se voda z obeh zaporničnih polj meša. Leva zaklopka se odpre za nadaljnjih 6 cm in zopet se počaka 5 minut. Nato pa se prične s postopnim, koračnim odpiranjem leve zapornične table na Gruberjevem kanalu.

V poglavje **IV. OBRATOVANJE** tega pravilnika bi bilo potrebno dodati še sledeče 3 člene:

### **\_\_ . člen**

(Ukrepanje po prenehanju visokih voda)

#### Avtomatsko upravljanje

Delovanje zapornic na Mestni Ljubljani je avtomatizirano in se vrši na podlagi zaznave kote vodne gladine gorvodno in dolvodno od zapornice ter na podlagi pretokov, merjenih na VP Moste. Sondi, ki omogočata zaznavo kote vode, temperature vode in temperature zraka, sta nameščeni približno 50 m gorvodno oz. dolvodno od zaporničnega objekta. Prav tako pa se ves čas spremlja tudi položaj zapornic.

Ko začne vodna gladina gorvodno od zapornic upadati, se prične kotalna zapornica avtomatsko zapirati. Ko ta doseže najnižji možni položaj, se prične manipulirati z zaklopko.

Medtem ko se na Mestni Ljubljani vodna gladina uravnava avtomatično, je na Gruberjevem kanalu z zapornicama potrebno manipulirati ročno. Zapiranje zapornic po prenehanju visokih voda tako poteka po naslednjem postopku:

1. najprej se postopoma, koračno zapre leva zapornična tabla, vendar le do polovice
2. nato se postopoma, koračno zapre desna zapornična tabla, prav tako samo do polovice
3. ko se na Mestni Ljubljani popolnoma zapre leva kotalna zapornica in se voda preliva preko leve zaklopke, se postopoma, koračno spusti leva zapornična tabla, in sicer na višino, na kateri se ta nahaja pri običajnih pretokih
4. ko se nato na Mestni Ljubljani popolnoma zapre tudi desna kotalna zapornica in se voda preliva tudi preko desne zaklopke, pa se prične še s postopnim, koračnim spuščanjem desne zapornične table, pri čemer se tudi ta spusti na višino, na kateri se nahaja pri običajnih pretokih

Vse operacije spuščanja zapornic se izvajajo v smislu doseganja ciljev iz 6. člena tega pravilnika, kakor so navedeni, po prednostnem vrstnem redu.

#### Ročno upravljanje

Ko začne gladina gorvodno od zapornic upadati, se ročno zapiranje zapornic izvede po naslednjem postopku:

1. najprej se postopoma, koračno zapre leva zapornična tabla na Gruberjevem kanalu, vendar samo do polovice
2. sledi postopno, koračno zapiranje leve kotalne zapornice na Mestni Ljubljani (kotalna zapornica se zapre v celoti)

3. nato se postopoma, koračno odpira leva zaklopka na Mestni Ljubljani, dokler ta ne zavzame položaja, ki ga ima pri običajnih pretokih (voda preliva zaklopko)
4. sledi postopno, koračno zapiranje desne zapornične table na Gruberjevem kanalu, vendar samo do polovice
5. nato se postopoma, koračno zapre desna kotalna zapornica na Mestni Ljubljani, vendar samo do polovice
6. sledi postopno, koračno zapiranje leve zapornične table na Gruberjevem kanalu, tako da se ta spusti v položaj, ki ga zavzema pri običajnih pretokih
7. nato se postopoma, koračno zapre desna kotalna zapornica na Mestni Ljubljani (do konca)
8. sledi postopno, koračno odpiranje desne zaklopke na Mestni Ljubljani, dokler ta ne zavzame položaja, ki ga ima pri običajnih pretokih (voda preliva zaklopko)
9. nato pa se postopoma, koračno, v položaj, ki ga zavzema pri običajnih pretokih, spusti še desna zapornična tabla na Gruberjevem kanalu

Vsi navedeni koraki pri zapiranju zapornic se izvajajo v smislu doseganja ciljev iz 6. člena tega pravilnika, kakor so navedeni, po prednostnem vrstnem redu.

#### **\_\_ . člen**

(Remont zapornic)

Za primere potrebe po generalnem remontu zapornic in primere nastanka takšnih poškodb zapornic, ki onemogočajo normalno in varno opravljanje funkcije zaporničnega objekta, so gorvodno in dolvodno od zapornic na Mestni Ljubljani vgrajena vodila za namestitev pomožnih zapornic. Te se, z namenskimi kleščami, pritrjenimi na avtodvigalo, namestijo v pripravljena ležišča, pri čemer se operaciji zapiranja in odpiranja pomožnih zapornic lahko izvajata izključno v mirni vodi. Voda se iz prostora med zapornicami izčrpa s potopno črpalko, odvede pa se v strugo dolvodno od zapornic. Sočasno je dovoljeno zapreti samo eno pretočno polje, medtem ko morajo biti zapornice v drugem pretočnem polju v dobrem operativnem stanju.

Utori za namestitev pomožnih zapornic so izvedeni tudi na gorvodni strani zapornic na Gruberjevem kanalu, vendar same zapornice tam niso bile izdelane, zato bi bilo potrebno, pred pričetkom generalnega remonta, izdelati projekt, ki bi opredelil karakteristike pomožnih zapornic (dimenzije, zasnovu, material,...) ter predvidel vse potrebno za namestitev zapornic, v za to predvidene naslone.

Sočasno izvajanje remontnih del in zapiranje pretočnih polj s pomožnimi zapornicami na Mestni Ljubljani in Gruberjevem kanalu ni dopustno.



## **\_\_ . člen**

(Pregled delovanja hidromehanske opreme)

Redni pregled delovanja hidromehanske opreme zapornice na Mestni Ljubljani se izvede po večjih deževjih, ko pretoki vodotoka, v smislu zagotavljanja ciljev iz 6. člena tega pravilnika, to dovoljujejo. Pri kontroli delovanja hidromehanske opreme se preveri delovanje obeh kotalnih zapornic in obeh zaklopk, pri čemer se ročno izvede manever opisan v 13. členu tega pravilnika. Pri tem se ves čas spremlja koto vodne gladine gorvodno od zapornic (Mestna Ljubljana in Gruberjev kanal) ter stanje v strugi gorvodno in dolvodno od objekta.

O izvedbi pregleda je potrebno pisno obvestiti:

- RS Ministrstvo za kmetijstvo in okolje (MKO) ARSO, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, inženir porečja HS Ljubljana
- Ribiško družino (RD) Vevče

Pri dvigu zapornic mora biti prisoten najmanj en predstavnik koncudenta, ki dvig spremlja in podaja dodatne usmeritve, v koliko so le-te potrebne.

O pregledu se vodi zapisnik, ki ga podpišejo vsi prisotni in je priloga vpisu v Dnevnik obratovanja in vzdrževanja zapornic.

Na zapornicah na Gruberjevem kanalu tovrstni pregledi niso potrebni, saj se z zapornicami upravlja ročno in je morebitne težave oz. napake pri obratovanju mogoče zaznati pri rednem obratovanju zapornic (redno izvajanje manevra opisanega v 13. členu tega pravilnika).

## **17. člen**

(Obveščanje v primeru manipulacije z zapornicami)

OPOMBA: V prvem odstavku tega člena je potrebno 7. člen nadomestiti s 6. členom.

## **19. člen**

(Redni pregledi)

Redni pregledi zapornic se opravljajo enkrat tedensko. V primeru izjemnih stanj (pretoki manjši od 13,7 m<sup>3</sup>/s in večji od 57 m<sup>3</sup>/s) in, ko se pokaže potreba po dodatni kontroli z namenom zagotavljanja izpolnjevanja ciljev, navedenih v 6. členu tega pravilnika, enkrat dnevno na Mestni Ljubljani in trikrat dnevno na Gruberjevem kanalu. V primeru ročnega upravljanja zapornic na Mestni Ljubljani, se tudi kontrola teh zapornic opravlja trikrat dnevno.

Enkrat mesečno zaporničar opravi pregled zaporničnega objekta, ribje steze, obrežnih zavarovanj in funkcionalnosti mehanske opreme (npr. agregatov, vodil, tesnil, čistilnega stroja,...).

## 21. člen

(Dežurna služba)

Zapornice na Mestni Ljubljani delujejo avtomatsko in so opremljene s sistemom za video nadzor. Kljub temu mora upravljavec, v primeru izjemnega slučaja (okvara avtomatike, izjemne razmere), zaradi zagotavljanja normalnega obratovanja zapornic, organizirati 24-urno dežurno službo in zagotoviti vsakodnevno kontrolo stanja zapornic.

Za zapornice na Gruberjevem kanalu, ki se upravljajo ročno, mora upravljavec, za zagotavljanje normalnega obratovanja zapornic, organizirati 24-urno dežurno službo ter zagotoviti vsakodnevno kontrolo stanja zapornic.

24. in 25. člen obstoječega obratovalnega pravilnika se združita v novem 24. členu, ki opisuje redno vzdrževanje zapornic:

## 24. člen

(Redno vzdrževanje)

V sklopu vzdrževalnih del mora koncesionar redno opravljati naslednja dela:

- odstranjevanje plavja pred zaporničnima objektoma
- vzdrževanje hidromehanske opreme, skladno z Navodilom za upravljanje z zapornicami na Gruberjevem kanalu oz. Projektom obratovanja in vzdrževanja zapornic na Mestni Ljubljani<sup>8</sup>
- vzdrževanje strešne kritine, strešnih odtokov in lesenih delov obeh zaporničnih objektov
- vzdrževanje elektroopreme, skladno z Navodilom za upravljanje z zapornicami na Gruberjevem kanalu oz. Projektom obratovanja in vzdrževanja zapornic na Mestni Ljubljani
- vzdrževanje dostopa do zaporničnih objektov
- vzdrževanje lovilne zavesa na Mestni Ljubljani ter odstranjevanje morebitnega plavja, ki bi se na njej zadrževalo
- redno pregledovanje in vzdrževanje ter čiščenje ribje steze pri zapornici na Mestni Ljubljani ter po potrebi ročno čiščenje rešetk na vtoku v stezo
- redno pregledovanje in vzdrževanje čistilnega stroja za čiščenje rešetk na vtoku v ribjo stezo
- redno pregledovanje in vzdrževanje pontonske rampe za prehod obvodnih živali pri zapornici na Mestni Ljubljani ter po potrebi, odstranjevanje plavja, ki bi se nabralo pred njo

---

<sup>8</sup> Projekt obratovanja in vzdrževanja zapornic na Mestni Ljubljani se pripravi ob rekonstrukciji zapornice oz. ob gradnji nove hidromehanske opreme, predvidene s to nalogo.

Izplakovanje mulja in drugih rinjenih plavin, ki se nabirajo gorvodno od zapornic, se na Mestni Ljubljani izvaja izjemoma, ob visokih vodah in ob predhodnem obvestilu RD Vevče. Pri tem se zapornice odpirajo koračno, v skladu s protokolom ukrepanja ob povišanih vodostajih, ki je opredeljen v 13. členu tega pravilnika.

Na zapornicah na Gruberjevem kanalu do večjega nabiranja mulja in rinjenih plavin praviloma ne prihaja, saj so zapornice ves čas trajanja normalnih pretokov delno odprte, zato tudi izplakovanje, ki se odvija ob visokih vodah, ni tako izrazito. Tudi v tem primeru se zapornice odpirajo koračno in skladno s protokolom ukrepanja, navedenim v 13. členu tega pravilnika.

V poglavje **VI. VZDRŽEVANJE IN OPAZOVANJE OBJEKTOV IN NAPRAV** tega pravilnika bi bilo potrebno dodati še sledeči člen:

**\_\_ . člen**

(Pregledi po visokih vodah)

Po vsakih visokih vodah zaporniçar opravi pregled zaporničnih objektov, obrežnih zavarovanj, ribje steze in funkcionalnosti mehanske opreme (npr. agregatov, vodil, tesnil,...).

**»TA STRAN JE NAMENOMA PRAZNA«**

## **PRILOGA D: VZDOLŽNI PROFIL LJUBLJANICE**

V žepu na hrbtni platnici je priložen vzdolžni profil reke Ljubljanice z vrisanimi položaji mostov, zapornic in vodomernih mest.

**»TA STRAN JE NAMENOMA PRAZNA«**

## **PRILOGA E: GRAFIČNI PRIKAZ OBSTOJEČEGA STANJA JEZU IN PREDLAGANIH SANACIJSKIH UKREPOV**

Na priloženih risbah je prikazana obstoječa situacija jezua in dispozicija predlaganih sanacijskih ukrepov, skupaj z natančnejšim prikazom posameznih predlogov in njihovimi opisi oziroma pojasnili.

### **OBSTOJEČA DISPOZICIJA JEZU**

Risba E1: Dispozicija (obstoječa) – tloris

Risba E2: Dispozicija (obstoječa) – prerez

### **PREDLAGANA DISPOZICIJA JEZU**

Risba E3: Dispozicija (nova) – tloris

Risba E4: Dispozicija (nova) – prerez

### **UREDITEV IZTOKA IZ RIBJE STEZE**

Risba E5: Iztok iz ribje steze (tloris)

Risba E6: Iztok iz ribje steze (prerez A – A)

### **UREDITEV VTOKA V RIBJO STEZO**

Risba E7: Vtok v ribjo stezo (prerez A – A)

Risba E8: Vtok v ribjo stezo (prerez B – B)

Risba E9: Vtok v ribjo stezo (pogled)

### **SANACIJA STOPNJE NA IZTOKU IZ RIBJEGA ŽLEBA**

Risba E10: Stopnja pri nagibnem žlebu (nova dispozicija)

Risba E11: Stopnja pri nagibnem žlebu (montažne zajezne stene)

### **PREDLOG NOVE HIDROMECHANKE OPREME**

Risba E12: Nova hidromehanska oprema (tloris)

Risba E13: Nova hidromehanska oprema (prerez)

**»TA STRAN JE NAMENOMA PRAZNA«**