

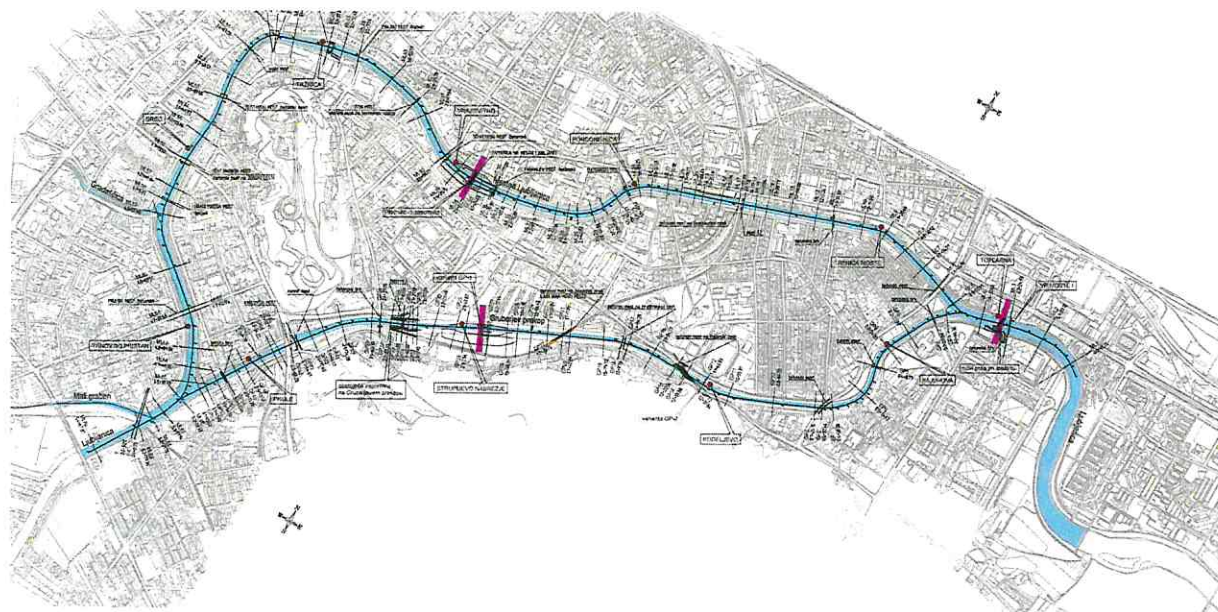
Hidravlična modelna raziskava (HMR) za lokacijo Sotočje - Fužine/Toplarna

Projektna naloga za izdelavo strokovne podlage za potrebe izdelave OPPN plovnosti in energetske izrabe Ljubljanice

Večnamenski projekt Vzpostavitve krožne plovne poti, energetske izrabe in zagotovitve prehodnosti pregrad na Ljubljanici obravnava odsek Ljubljanice od cestnega mostu pri Livadi do peš mostu preko Ljubljanice gorvodno od Fužinskega jezua. Osnova zanj je dogovor Energetike Ljubljana in njenega lastnika MOL, Direkcije za vodo RS ter Elektro Ljubljana, da se zagotovi sklenjena plovna pot po Ljubljanici in Gruberjevem prekopu okrog Grajskega hriba, ustrezno uredi vodna infrastruktura ter sočasno izkoristi razpoložljiv energetski potencial. Vsi posegi in ureditve morajo zagotavljati čim manj vplivov na vodno okolje. S projektom se tudi izboljšuje funkcionalnost obeh obstoječih jezov na Ljubljanici z vidika zagotavljanja poplavne varnosti Barja in jugozahodnega dela Ljubljane ter z vidika prehodnosti za ribe. Prav tako se pričakuje, da se bodo z ureditvijo in rednim vzdrževanjem plovnih poti izboljšale tudi odtočne razmere ob visokih vodah. Navedene rešitve so bile obdelane v strokovni podlagi (1).

Opis projekta

Trije osnovni elementi večnamenskega projekta so zagotavljanje krožne plovne poti okrog Grajskega hriba na območju med Livado in Fužinami, energetska izraba ter izboljšanje vodne infrastrukture, vključno z zagotovitvijo prehodnosti pregrad za vodne organizme.

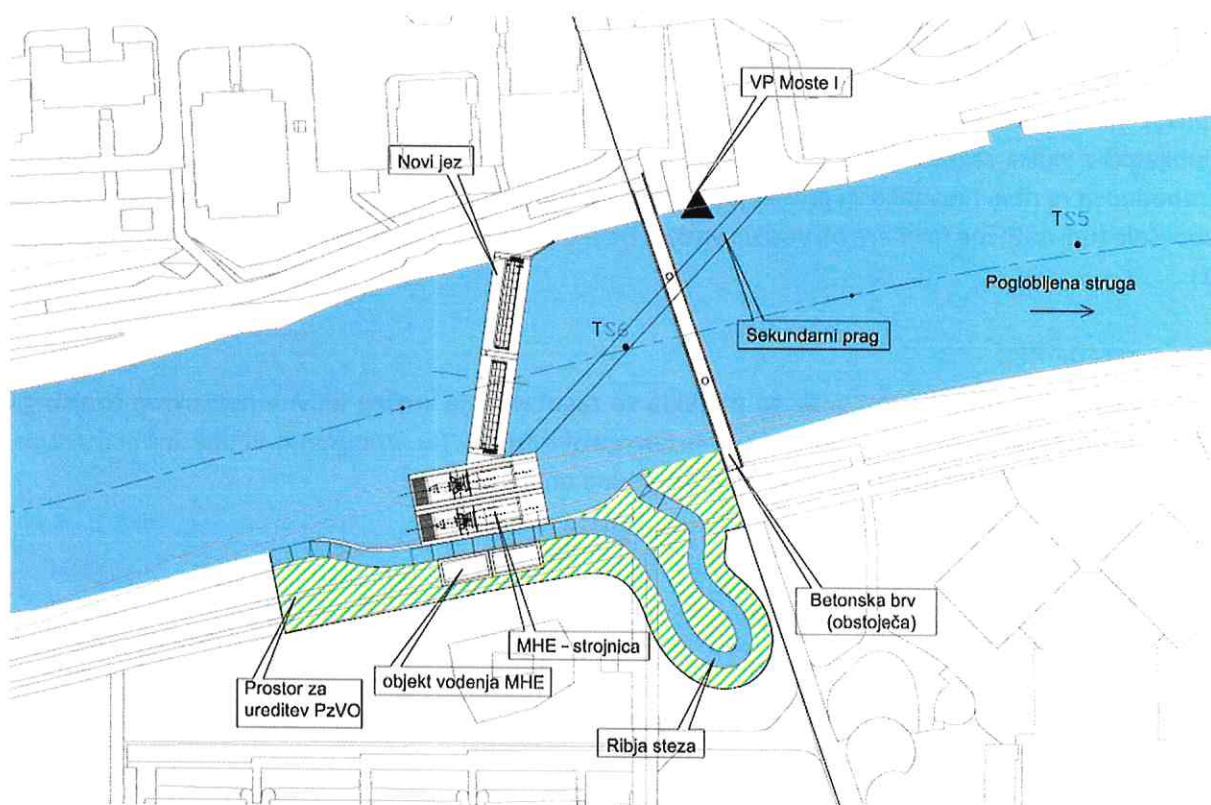


Slika 1: Območje projekta in posegov.

Pri Plečnikovi zapornici je na desnem bregu predlagana izgradnja male hidroelektrarne (MHE) z enim klasičnim agregatom inštaliranega pretoka $25 \text{ m}^3/\text{s}$, splavnice za plovila do 10 m dolžine in prehoda za ribe v tehnični obliki. Na pregradi je predvidena tudi zamenjava zapornic. Navedeni objekti in naprave se bodo vključili v predvideno ureditev Ambroževega trga in že obnovljene Cukrarne.

Na Gruberjevem prekopu je predlagana izgradnja jezusa z visokovodnim prelivom, sodobna MHE z gibljivo strojnico z inštaliranim pretokom $20 \text{ m}^3/\text{s}$, splavnica za plovila do 10 m dolžine, prehod za ribe v sonaravni izvedbi ter premostitev za peš in kolesarski promet. Širšo okolico tega večnamenskega objekta se uredi kot zeleno območje za rekreacijo z izobraževalnimi vsebinami.

Na lokaciji pri Toplarni je predvidena izgradnja nizkega jezusa za potrebe krožne plovbe in energetske izrabe, namestitve dveh gibljivih strojnic s skupnim inštaliranim pretokom $41 \text{ m}^3/\text{s}$ ter poglobitev dolvodne struge v dolžini približno 1800 m (vzdolž celotne soseske Nove Fužine). Enako kot v Gruberjevem prekopu sta tudi tukaj predlagana sodobna pretočna agregata z velikimi izkoristki in majhnim vplivom na okolje, razvita v okviru programa LIFE06, projekt ENV/D/000485.



Slika 2: Situacija ureditev pri novem jez pri Toplarni.

Plovba

Glavni poseg za zagotovitev krožne plovne poti okrog Grajskega hriba bo izvedba dodatnega jezusa pri Toplarni, ki bo zagotavljal plovnost spodnje (vzhodne) zanke tudi ob minimalnih pretokih Ljubljance. Za prehodnost jezovnih zgradb v mestni Ljubljani in Gruberjevem prekopu bodo na teh lokacijah izvedene splavnice. Tako za plovno pot kot objekte splavnic je predpisano plovilo največje dolžine 10 m, širine 5 m in največjega ugreza trupa 0.6 m. Hitrost plovila ne sme presegati 8 km/h.

Energetika

Energetska izraba Ljubljance je predvidena na treh lokacijah.

V profilu obstoječe Plečnikove zapornice (lokacija ML) se na desnem bregu vgradi klasični agregat s Kaplan turbino in inštaliranim pretokom $25 \text{ m}^3/\text{s}$. Nominalni padec znaša 2,37 m, najmanjši izkoristljiv pa 1,5 m. Moč agregata je 510 kW in srednja letna proizvodnja 2,228 GWh.

Na Gruberjevem prekopu se 300 m dolvodno od obstoječe zapornice zgradi nov večnamenski objekt, ki vključuje tudi MHE s t.im. *gibljivo strojnico*, v kateri je nameščena Kaplanova turbina z generatorjem v hruški ter nazivnim pretokom 20,6 m³/s. Nominalni padec znaša 2,31 m, najmanjši izkoristljiv pa 1,5 m. Moč agregata je 410 kW in srednja letna proizvodnja 1,412 GWh.

Pod sotočjem mestne Ljubljanice in Gruberjevega prekopa se v profilu 50 m gorvodno od obstoječe brvi za pešce izvede novo jezovno zgradbo, ki vključuje tudi dve gibljivi strojnici s Kaplanovima agregatoma in generatorjema v hruški in skupnim nazivnim pretokom 39,2 m³/s. Nazivni padec znaša 2,07 m, skupna največja moč obeh turbin 700 kW (2 x 350 kW) in srednja letna proizvodnja 3,056 GWh. V primeru obratovanja samo ene turbine je njena največja moč 440 kW.

Okoljski ukrepi

Izbrana varianta energetske izrabe predvideva obratovalno gladino Ljubljanice 286,00 na obeh gorvodnih zapornicah, kar sočasno pomeni dodatno ekološko funkcijo, saj se s tem ohranja boljša in trajna omočenost barja na daljšem odseku. Ta gladina je nekoliko višja od sedanje konservativne prakse, ko se obratuje okrog kote 285,60 m n.m.

Opis predvidenih ureditev na lokaciji Toplarna/Fužine

Jez za zagotavljanje zadostne plovne globine s spremljevalnimi objekti (PzR in MHE) na lokaciji pri Toplarni je v sklopu projekta energetske izrabe Ljubljanice in krožne plovnosti edini, ki do sedaj še ni bil tehnično obdelan. Geološke raziskave zanj ne obstajajo, vendar zaradi podatka o obstoječi konglomeratni podlagi na nivoju dna Ljubljanice (cca kota 280,00 v profilu predvidenega praga) sklepamo, da je matična konglomeratna hribina razmeroma plitvo pod površjem.

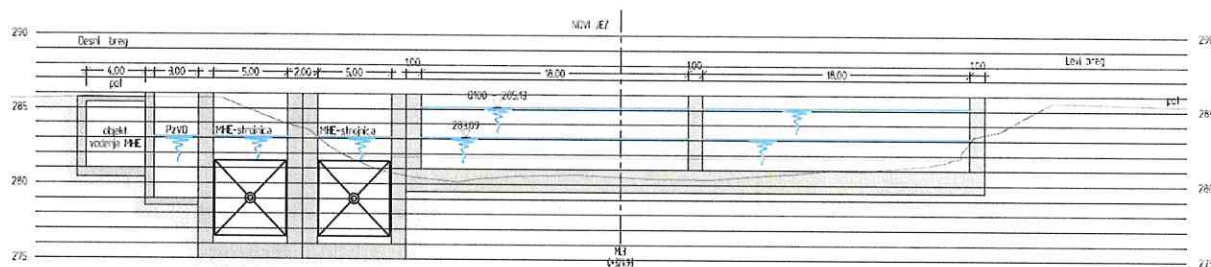
V predlaganem profilu si z levega proti desnemu bregu sledijo prelivni objekt z dvema poljema širine po 18 m, ki sta zaprti z zaklopkama enake dolžine, dve vzporedno nameščeni gibljivi strojnici, prehod za ribe in objekt za vodenje MHE s stikališčem.

Prelivni objekt bo s pomožnimi stebri in po potrebi permanentno dodatno premostitvijo razdeljen v dvakrat po dva dela v gabaritih, ki omogočajo uporabo unificiranih remontnih zapor z objektom v Gruberjevem prekopu. Predlagan je tip iglastih zapor tako na zgornji kot spodnji strani, ki je izbran zaradi razmeroma redkih remontov zaklopk oz. dolgih intervalov med njimi. Dolvodno od preliva je potrebno izvesti dodaten sekundarni prag, ki bo zagotovil ustrezen nivo gladine za oskrbo Toplarne s hladilno vodo. Sekundarni prag nima opreme in nima prehoda za ribe.

Mala HE je predlagana v obliki dveh gibljivih strojnic, ki se za potrebe optimizacije obratovanja z naklonom prilagajata razpoložljivemu padcu, hkrati pa s tem izpolnjujeta tudi ekološke pogoje (prepuščanje plavin in vodnih organizmov v dolvodni smeri) in ob visokih vodah zagotavljata tudi precejšnjo prelivno kapaciteto. Gibljiva strojnica nima posebne dodatne opreme razen zgornje in spodnje remontne zapornice, ki sta načeloma dimenzijsko usklajeni na vseh obravnavanih HE objektih in uskladiščeni na primerni lokaciji.

Prehod za ribe bo na tej lokaciji izveden po najsodobnejših principih za kombinirane prehode in bo predstavljal še dodatno nadgradnjo uspešno izvedenih prehodov na HE Arto-Blanca in HE Brežice. PzR je namenoma prikazan v bližini varstvenega (vrtec) in šolskega objekta, saj predstavlja izredno priložnost za promocijo uporabe sodobnih, naravi prijaznih tehnologij.

Objekt vodenja MHE je podzemen.



Slika 3: Prerez nove pregrade na Gruberjevem prekopu (pogled od spodaj).

Izvedba objektov je nujna v dveh ali celo treh gradbenih jamah. Glavna tehnologija za zagotovitev vodotesnosti gradbene jame bodo jeklene zagatnice v kombinaciji z skalometnimi nasutji (gravitacijskimi pregradami). Prostor za začasno ureditev gradbišča je predvsem na desnem bregu. Iz spodnje struge je potrebno odstraniti cca 100.000 m³ kompaktne konglomeratne hribine, kar se predvidoma lahko izvaja z rezkanjem in lokalnim razbijanjem. V nadaljnjih fazah izdelave dokumentacije je treba preveriti temeljenje obstoječe brvi, ki zaradi plitve konglomeratne podlage predvidoma ne bo problematično.

Vsebina projektne naloge in območje obdelave

Zaradi hidravlične kompleksnosti objekta, ki izhaja iz omejitev razpoložljivega prostora ter večnamenske rabe objekta jezovne zgradbe, je treba v okviru Idejnega projekta (IDP) izvesti hidravlične modelne raziskave (HMR) na fizičnem modelu. Fizični model obsega najmanj odsek od sotočja Ljubljanice in Gruberjevega prekopa do profila 500 m dolvodno od novega objekta.

Obseg dela

Na lokaciji novega jezua Toplarna/Fužine je konfiguracija objektov načeloma fiksirana v zaporedju od levega proti desnemu bregu, kot je razvidno iz slik 2 in 3 (prelivi – MHE – PZVO). Hidravlične raziskave morajo upoštevati vse merodajne hidrološke scenarije za navedeno lokacijo.

Raziskave se izvedejo za naslednje hidrološke pogoje, pri čemer je treba upoštevati predhodno ugotovljeno delitev pretokov po mestni Ljubljani in Gruberjevem prekopu:

1. Stanje pretokov do 100 m³/s oz. do tistega mejnega pretoka, ko je še dopustna plovba po krožni poti. Pri tem se upoštevajo do 4 karakteristični pretoki: Q_{sr}, sQ_n in mejni visoki pretok za prekinitev plovbe (+ en pretok rezerve za ponudbo)
2. Stanje visokih pretokov nad 100 m³/s oz. nad mejnim pretokom, ko ni več plovbe. Obravnava se pretoke do Q₁₀₀.

Potrebne so naslednje podrobne modelne raziskave:

1. analiza disipacije energije v podslapjih s predlogom optimalne zaščite dolvodne struge,
2. raziskave za določitev najugodnejših natočnih razmer na strojnico
3. raziskava za določitev najprimernejšega načina obvladovanja plavja, npr. plavajoča zavesa, ipd.
4. analiza oblik in določitev pretočne sposobnosti prelivnih polj
5. preverjanje oblike in določitev pretočne sposobnosti zapornic
6. raziskava obtekanja gradbene jame oz. gradbenih jam

Opomba: Glede na zaporedje izvedbe raziskav in gradnje objektov je možno, da se bo pred raziskavo lokacije Toplarne/Fužine izvedla raziskava za lokacijo Gruberjev prekop. V tem primeru je možno in potrebno upoštevati relevantne izsledke predhodnih modelov.

Podslapja

Cilji raziskav podslapij so:

- i. ugotoviti primernost predlagane projektne oblike in dimenzij podslapij ter določiti optimalno obliko podslapij z vsemi karakteristikami, potrebnimi za konstrukcijsko dimenzioniranje,
- ii. določiti potrebne gabarite podslapij, ki zagotavljajo zadostno disipacijo energije vodnega toka v vseh hidravličnih pogojih,
- iii. s pomočjo najprimernejših disipacijskih organov je potrebno optimizirati dimenzije podslapij (razbijači zaradi vpliva na ribe niso zaželeni in se jih uporabi le v skrajni sili),
- iv. določiti območje stabilnega obratovanja podslapij glede na pretok, odprtje zapornic in višino spodnje vode,
- v. zagotoviti stabilnost dna in brežin struge za podslapji ter
- vi. določiti najprimernejšo lokacijo vodomera za stalno merjenje kote spodnje vode HE.

Natočne razmere na strojnico

Natočne razmere na strojnico so vedno pomemben faktor zagotavljanja primerne izkoristka turbine, zato mora Izvajalec to področje raziskati v danih geometrijskih in hidravličnih ter hidroloških robnih pogojih objekta. Pri tem morajo biti upoštevane najmanj naslednje usmeritve:

- i. Zagotovitev čim boljše (optimalne) tokovne slike na vtoku v MHE
- ii. Zagotovitev čim večje (ne)občutljivosti na transport plavin in plavja,

Obvladovanje plavja

Odstranjevanje plavja je med obratovanjem HE predvideno z mehanskimi sredstvi (kontinuirano delujoč čistilni stroj na MHE), vendar mora izvajalec preveriti predlagane projektne rešitve in podati predlog konkretnih izboljšav na osnovi izsledkov na modelu (npr. plavajoča zavesa, oblikovanje detajlov natoka in vtoka, optimalna lokacija čiščenja, zaščita pred vlečenim plavjem po dnu, ipd), kar mora biti primerno in tehnično korektno predstavljeno.

Prelivna polja

Objekt je načrtovan v strugi Ljubljanice, ki nudi zelo malo razpoložljivega prostora za izvedbo vseh potrebnih objektov načrtovanih HE in ostale infrastrukture. Zato je pomembna optimizacija oblike in dimenzij evakuacijskih organov pregrade. Izvajalec mora določiti potrebno širino prelivnih polj (v aktualni tehnični rešitvi je predvidena širina 2 x 18 m) ter višino in obliko prelivnih pragov tako, da bo pri najmanjši možni porabi prostora in z upoštevanjem izvedbenih omejitev (npr. globine izkopov in zaščit) zagotovljeno prevajanje potrebnega pretoka v vseh merodajnih hidroloških pogojih. Izvajalec mora določiti pretočne krivulje prelivnih polj in sposobnost prevajanja visokih vod preko pregrade tako pri odprtih vseh prelivnih poljih, kot za primer blokade ene zapornice v skladu s projektnimi zahtevami. Zaradi predvidenega terminskega načrta mora Izvajalec najprej določiti oz. potrditi širino prelivnih polj ter višino (koto) prelivnega praga.

Zapornice – zaklopke

Predvidena je uporaba zapornic – zaklopk (klapen), ki zagotavljajo dobro regulacijo in možnost učinkovitega odplavljanja plavja. Izvajalec mora za celotno območje delovanja zapornic določiti

pretočne krivulje (pretok v odvisnosti od odprtja in višine vode v pretočni akumulaciji HE). Pri tem je treba upoštevati tudi naslednje robne pogoje:

- i. obratovanje brez vpliva spodnje vode in
- ii. obratovanje pri zvišani spodnji vodi (vpliv na pretočno sposobnost zapornic).

Izvajalec mora določiti pretočne krivulje zaklopk glede na položaj noža/roba zaklopk (odprtje – projicirano na vertikalno ravnino) in kote vode v gorvodni strugi. Določiti mora območje delovanja, ko nastopi nevarnost pojava vibracij zaklopke med prelivanjem in po potrebi predlagati in na modelu predstaviti ustrezne zaščitne ukrepe proti vibracijam. Izvajalec mora predstaviti tudi druge relevantne parametre za dimenzioniranje zaklopke in njenih pogonov (n.pr.: tlaki na zaklopko, ipd.).

Za vse pretočne krivulje mora Izvajalec predstaviti zahtevane odvisnosti v grafični, tabelarični in matematični obliki (funkcionalna odvisnost), pri čemer mora biti največja razširjena rezultatska negotovost pri 95-odstotni meji zaupanja manjša ali enaka 3,0 %.

Gradbena jama

Način gradnje še ni dokončno določen, zaenkrat je predvidena gradnja jezovne zgradbe v najmanj dveh gradbenih jamah z obtočnim kanalom na desnem bregu, ki se po izvedbi konstrukcije prelivov zasuje in se na njegovem mestu nadaljuje gradnja MHE in PzR. Obtočni kanal mora zagotoviti nemoten potek gradnje prelivov in sočasno prevajanje visokih vod brez škode za gradbišče, kot tudi brez prevelikih vplivov na tok vodotoka gorvodno in dolvodno od gradbišča. Zato mora Izvajalec raziskati pretočno sposobnost obtočnega kanala in zgrajenih prelivnih polj v času gradbenih del v drugi fazi, če bo gradnja potekala fazno. Potrebno je določiti višino potrebnih sten (nasipov, ipd.), ki ščitijo gradbeno jamo in predlagati njihovo obliko, da ne pride do prelitja v pogojih, ki jih narekuje projekt, običajno Q5% (Q20) ali manj verjetno Q2% (Q50). Izvajalec mora določiti način zaščite gradbene jame pred erozijo in predlagati način preusmerjanja toka iz obtočnega kanala na zgrajena prelivna polja.

Podatki

Vhodni podatek za HMR je izdelana Idejna zasnova (IDZ) s celotno situacijsko zasnovo ter gabariti objektov. Pričakuje se, da bo projekt obdelan v BIM tehnologiji, v nasprotnem primeru je treba zagotoviti toliko ustreznih prerezov, da je možna izdelava laboratorijskega modela v ustreznem pomanjšanem merilu.

Za izvedbo raziskave je potrebnih več hidravličnih podatkov za določitev robnih pogojev za modela ter geometrijski podatki o objektih in strugi. Potrebni bodo tudi podatki o zabeleženih gladinah Ljubljance na območju modeliranja. Obstaja možnost, da bo potrebno del podatkov o gladinah pridobiti tudi v času trajanja raziskave. Podatki, ki jih zagotovi Naročnik, so:

- i. batimetrični geodetski posnetek celotne struge na območju modela, geodetsko kontrolirano združen s posnetkom terena,
- ii. hidrološki podatki o merodajnih pretokih in višinah vode v profilu pregrade ter na obravnavanem odseku gorvodno in dolvodno od pregrade, predvsem:
 - a. padci gladine vode na modeliranem odseku struge v razpoložljivih hidroloških pogojih
 - b. hidrološki podatki o višinah spodnje vode pri različnih pretokih v času razpoložljivih hidroloških pogojev,

- iii. predviden način obratovanja prelivov pri prevajanju visokih vod (Naročnik bo posredoval Izvajalcu preliminarne predloge, ki morajo biti tudi predmet nadaljnjega raziskovanja v času izvedbe teh raziskovalnih del)

Roki izdelave

	Obseg vsebin	Rok
1	Priprava modela	T0 + 2 meseca
2	Gradbene jame	T0 + 4 mesece
3	Prelivna polja	T0 + 6 mesecev
4	Podslapja	T0 + 7 mesecev
5	Zapornice - zaklopke	T0 + 8 mesecev
6	Natočne razmere na strojnico	T0 + 8 mesecev
7	Obvladovanje plavja	T0 + 8 mesecev
8	Končno poročilo	T0 + 9 mesecev

T0 = datum podpisa pogodbe

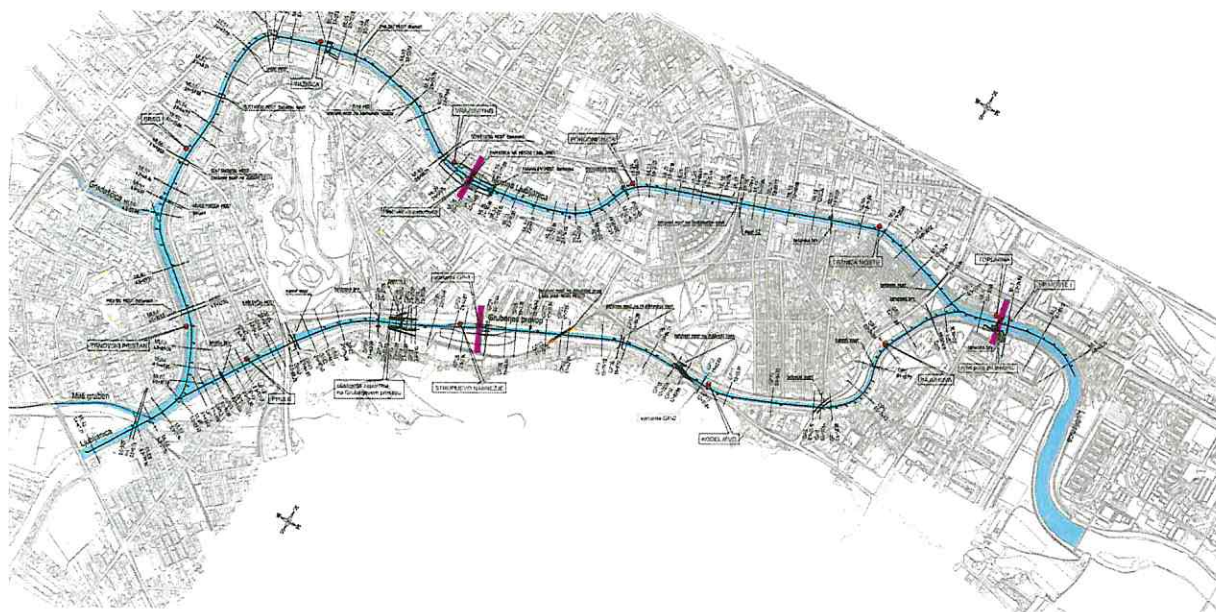
Hidravlična modelna raziskava (HMR) za lokacijo Gruberjev prekop

Projektna naloga za izdelavo strokovne podlage za potrebe izdelave OPPN plovnosti in energetske izrabe Ljubljanice

Večnamenski projekt Vzpostavitve krožne plovne poti, energetske izrabe in zagotovitve prehodnosti pregrad na Ljubljanici obravnava odsek Ljubljanice od cestnega mostu pri Livadi do peš mostu preko Ljubljanice gorvodno od Fužinskega jezua. Osnova zanj je dogovor Energetike Ljubljana in njenega lastnika MOL, Direkcije za vodo RS ter Elektro Ljubljana, da se zagotovi sklenjena plovna pot po Ljubljanici in Gruberjevem prekopu okrog Grajskega hriba, ustrezno uredi vodna infrastruktura ter sočasno izkoristi razpoložljiv energetski potencial. Vsi posegi in ureditve morajo zagotavljati čim manj vplivov na vodno okolje. S projektom se tudi izboljšuje funkcionalnost obeh obstoječih jezov na Ljubljanici z vidika zagotavljanja poplavne varnosti Barja in jugozahodnega dela Ljubljane ter z vidika prehodnosti za ribe. Prav tako se pričakuje, da se bodo z ureditvijo in rednim vzdrževanjem plovnih poti izboljšale tudi odtočne razmere ob visokih vodah. Navedene rešitve so bile obdelane v strokovni podlagi (1).

Opis projekta

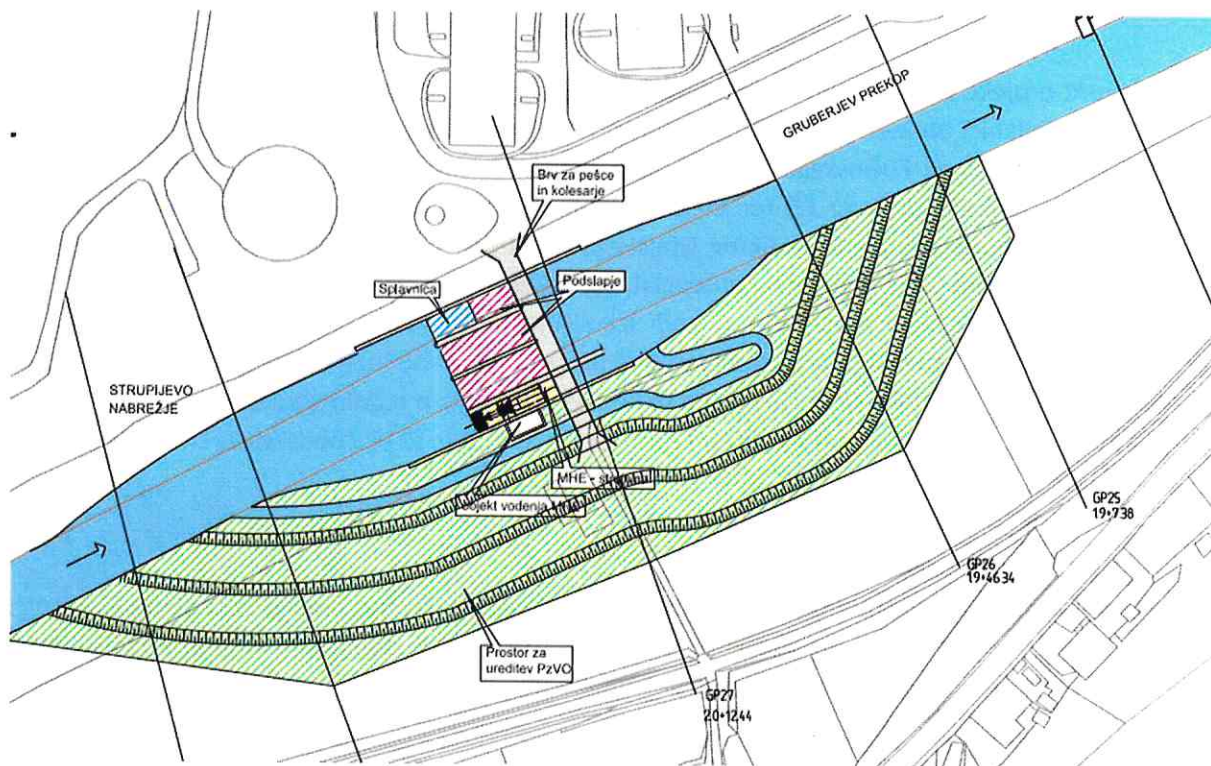
Trije osnovni elementi večnamenskega projekta so zagotavljanje krožne plovne poti okrog Grajskega hriba na območju med Livado in Fužinami, energetska izraba ter izboljšanje vodne infrastrukture, vključno z zagotovitvijo prehodnosti pregrad za vodne organizme.



Slika 1: Območje projekta in posegov.

Pri **Plečnikovi zapornici** je na desnem bregu predlagana izgradnja male hidroelektrarne (MHE) z enim klasičnim agregatom inštaliranega pretoka $25 \text{ m}^3/\text{s}$, splavnice za plovila do 10 m dolžine in prehoda za ribe v tehnični obliki. Na pregradi je predvidena tudi zamenjava zapornic. Navedeni objekti in naprave se bodo vključili v predvideno ureditev Ambroževega trga in že obnovljene Cukrarne.

Na Gruberjevem prekopu je predlagana izgradnja jezusa z visokovodnim prelivom, sodobna MHE z gibljivo strojnico z inštaliranim pretokom $20 \text{ m}^3/\text{s}$, splavnica za plovila do 10 m dolžine, prehod za ribe v sonaravni izvedbi ter premostitev za peš in kolesarski promet. Širšo okolico tega večnamenskega objekta se uredi kot zeleno območje za rekreacijo z izobraževalnimi vsebinami.



Slika 2: Situacija ureditev pri novem jezusa v Gruberjevem prekopu.

Na lokaciji pri Toplarni je predvidena izgradnja nizkega jezusa za potrebe krožne plovbe in energetske izrabe, namestitve dveh gibljivih strojnic s skupnim inštaliranim pretokom $41 \text{ m}^3/\text{s}$ ter poglobitev dolvodne struge v dolžini približno 1800 m (vzdolž celotne soseske Nove Fužine). Enako kot v Gruberjevem prekopu sta tudi tukaj predlagana sodobna pretočna agregata z velikimi izkoristki in majhnim vplivom na okolje, razvita v okviru programa LIFE06, projekt ENV/D/000485.

Plovba

Glavni poseg za zagotovitev krožne plovne poti okrog Grajskega hriba bo izvedba z dodatnega jezusa pri Toplarni, ki bo zagotavljal plovnost spodnje (vzhodne) zanke tudi ob minimalnih pretokih Ljubljanice. Za prehodnost jezovnih zgradb v mestni Ljubljani in Gruberjevem prekopu bodo na teh lokacijah izvedene splavnice. Tako za plovno pot kot objekte splavnic je predpisano plovilo največje dolžine 10 m, širine 5 m in največjega ugreza trupa 0.6 m. Hitrost plovila ne sme presegati 8 km/h.

Energetika

Energetska izraba Ljubljanice je predvidena na treh lokacijah.

V profilu obstoječe Plečnikove zapornice (lokacija ML) se na desnem bregu vgradi klasični agregat s Kaplan turbinami in inštaliranim pretokom $25 \text{ m}^3/\text{s}$. Nominalni padec znaša 2,37 m, najmanjši izkoristljiv pa 1,5 m. Moč agregata je 510 kW in srednja letna proizvodnja 2,228 GWh.

Na Gruberjevem prekopu se 300 m dolvodno od obstoječe zapornice zgradi nov večnamenski objekt, ki vključuje tudi MHE s t.im. *gibljivo strojnico*, v kateri je nameščena Kaplanova turbina z generatorjem

Pod sotočjem mestne Ljubljance in Gruberjevega prekopa se v profilu 50 m gorvodno od obstoječe brvi za pešce izvede novo jezovno zgradbo, ki vključuje tudi dve gibljivi strojnici s Kaplanovima agregatoma in generatorjema v hruški in skupnim nazivnim pretokom 39,2 m³/s. Nazivni padec znaša 2,07 m, skupna največja moč obeh turbin 700 kW (2 x 350 kW) in srednja letna proizvodnja 3,056 GWh. V primeru obratovanja samo ene turbine je njena največja moč 440 kW.

Izbrana varianta energetske izrabe predvideva obratovalno gladino Ljubljani 286,00 na obeh gorvodnih zapornicah, kar sočasno pomeni dodatno ekološko funkcijo, saj se s tem ohranja boljša in trajna omočenost barja na daljšem odseku. Ta gladina je nekoliko višja od sedanje konservativne prakse, ko se obratuje okrog kote 285,60 m n.m.

Architectural site plan of the 'Stranjsko obznanje' area in Ljubljana. The plan shows a blue river (Savinjska) flowing through the site. Key features include a central pedestrian bridge, a playground area (prostor za otroško igranje), a sports field (športna površina), and a parking area (parking). The plan is divided into two main sections, GP26 and GP27, with dimensions 1.9+16.34 and 2.0+12.44 respectively. Various annotations describe the layout, including 'ureditev znanstvene poti' (scientific path layout), 'ureditev znanstvene poti' (scientific path layout), and 'ureditev znanstvene poti' (scientific path layout).

Slika 3: Predlog krajinske ureditve lokacije Gruberjev prekop.

Izvedba objektov je predvidena v eni gradbeni jami. Glavna tehnologija za zagotovitev vodotesnosti gradbene jame bodo jeklene zagatnice v kombinaciji z skalometnimi nasutji (gravitacijskimi pregradami). Zaradi velikih dimenzij izkopa in bližine bivalnih objektov (Mesarska ulica) je potrebno fazi izkopa posvetiti posebno pozornost. Gradbišče se uredi na desnem bregu na terenu z današnjo niveleto, poglobljeni del profila pa se uporabi kot začasni obtočni kanal, tudi za evakuacijo velikih pretokov.

Vsebina projektne naloge in območje obdelave

Zaradi hidravlične kompleksnosti objekta, ki izhaja iz omejitev razpoložljivega prostora ter večnamenske rabe objekta jezovne zgradbe v Gruberjevem prekopu, je treba v okviru Idejnega projekta (IDP) izvesti hidravlične modelne raziskave (HMR) na fizičnem modelu. Fizični model obsega odsek prekopa od najmanj obstoječe Gruberjeve zapornice do profila 500 m dolvodno od novega objekta.

Obseg del

Na lokaciji nove Gruberjeve zapornice je konfiguracija objektov načeloma fiksirana v zaporedju od levega proti desnemu bregu, kot je razvidno iz slik 2 in 4 (splavnica – preliv – MHE – PZVO). Hidravlične raziskave morajo upoštevati vse merodajne hidrološke scenarije za navedeno lokacijo.

Raziskave se izvedejo za naslednje hidrološke pogoje, pri čemer je treba upoštevati predhodno ugotovljeno delitev pretokov po mestni Ljubljani in Gruberjevem prekopu:

1. Stanje pretokov do $100 \text{ m}^3/\text{s}$ oz. do tistega mejnega pretoka, ko je še dopustna plovba po krožni poti. Pri tem se upoštevajo do 4 karakteristični pretoki: Q_{sr} , sQ_n in mejni visoki pretok za prekinitev plovbe (+ en pretok rezerve za ponudbo)
2. Stanje visokih pretokov nad $100 \text{ m}^3/\text{s}$ oz. nad mejnim pretokom, ko ni več plovbe. Obravnava se pretoke do Q_{100} .

Potrebne so naslednje podrobne modelne raziskave:

1. analiza disipacije energije v podslapjih s predlogom optimalne zaščite dolvodne struge,
2. raziskave za določitev najugodnejših natočnih razmer na strojnico, v kombinaciji s sočasnim obratovanjem splavnic (vplutje in izplutje plovil)
3. raziskava za določitev najprimernejšega načina obvladovanja plavja, npr. plavajoča zavesa, ipd.
4. analiza oblik in določitev pretočne sposobnosti prelivnih polj
5. preverjanje oblike in določitev pretočne sposobnosti zapornic
6. raziskava obtekanja gradbene jame

Opomba: Glede na zaporedje izvedbe raziskav in gradnje objektov je možno, da se bo pred raziskavo lokacije Gruberjev prekop izvedla raziskava za lokacijo Toplarna/Fužine. V tem primeru je možno in potrebno upoštevati relevantne izsledke predhodnih modelov.

Podslapja

Cilji raziskav podslapij so:

- i. ugotoviti primernost predlagane projektne oblike in dimenzij podslapij ter določiti optimalno obliko podslapij z vsemi karakteristikami, potrebnimi za konstrukcijsko dimenzioniranje,
- ii. določiti potrebne gabarite podslapij, ki zagotavljajo zadostno disipacijo energije vodnega toka v vseh hidravličnih pogojih,
- iii. s pomočjo najprimernejših disipacijskih organov je potrebno optimizirati dimenzije podslapij (razbijači zaradi vpliva na ribe niso zaželeni in se jih uporabi le v skrajni sili),
- iv. določiti območje stabilnega obratovanja podslapij glede na pretok, odprtje zapornic in višino spodnje vode,
- v. zagotoviti stabilnost dna in brežin struge za podslapji ter
- vi. določiti najprimernejšo lokacijo vodomera za stalno merjenje kote spodnje vode HE.

Natočne razmere na strojnico in splavnico

Natočne razmere na strojnico so vedno pomemben faktor zagotavljanja primerne izkoristka turbine, natočne razmere na splavnico pa morajo zagotavljati varno plovbo v vseh pogojih. Zato mora Izvajalec to področje raziskati v danih geometrijskih in hidravličnih ter hidroloških robnih pogojih objekta. Pri tem morajo biti upoštevane najmanj naslednje usmeritve:

- i. Zagotovitev čim boljše (optimalne) tokovne slike na vtoku v MHE in splavnico
- ii. Zagotovitev čim večje (ne)občutljivosti na transport plavin in plavja,
- iii. Zagotovitev primernih tokovnih razmer za varno plovbo v bližini pregrade ter manevriranja pred splavno komoro v okviru hidroloških omejitev (do skupnega pretoka Ljubljanice 100 m³/s oz. pretoka po Gruberjevem prekopu 45 m³/s)

Obvladovanje plavja

Odstranjevanje plavja je med obratovanjem HE predvideno z mehanskimi sredstvi (kontinuirano delujoč čistilni stroj), vendar mora izvajalec preveriti predlagane projektne rešitve in podati predlog konkretnih izboljšav na osnovi izsledkov na modelu (npr. plavajoča zavesa, oblikovanje detajlov natoka in vtoka, optimalna lokacija čiščenja, zaščita pred vlečenim plavjem po dnu, ipd), kar mora biti primerno in tehnično korektno predstavljeno.

Prelivna polja

Objekt je načrtovan v strugi Gruberjevega prekopa, ki nudi zelo malo razpoložljivega prostora za izvedbo vseh potrebnih objektov načrtovanih HE in ostale infrastrukture. Zato je pomembna optimizacija oblike in dimenzij evakuacijskih organov pregrade. Izvajalec mora določiti potrebno širino prelivnih polj (v aktualni tehnični rešitvi je predvidena širina 2 x 8,5 m) ter višino in obliko prelivnih pragov tako, da bo pri najmanjši možni porabi prostora in z upoštevanjem izvedbenih omejitev (npr. globine izkopov in zaščit) zagotovljeno prevajanje potrebnega pretoka v vseh merodajnih hidroloških pogojih. Izvajalec mora določiti pretočne krivulje prelivnih polj in sposobnost prevajanja visokih vod preko pregrade tako pri odprtih vseh prelivnih poljih, kot za primer blokade ene zapornice v skladu s projektnimi zahtevami. Zaradi predvidenega terminskega načrta mora Izvajalec najprej določiti oz. potrditi širino prelivnih polj ter višino (koto) prelivnega praga.

Zapornice – zaklopke

Predvidena je uporaba zapornic – zaklopk (klapen), ki zagotavljajo dobro regulacijo in možnost učinkovitega odplavljanja plavja. Izvajalec mora za celotno območje delovanja zapornic določiti pretočne krivulje (pretok v odvisnosti od odprtja in višine vode v pretočni akumulaciji HE). Pri tem je treba upoštevati tudi naslednje robne pogoje:

- i. obratovanje brez vpliva spodnje vode in
- ii. obratovanje pri zvišani spodnji vodi (vpliv na pretočno sposobnost zapornic).

Izvajalec mora določiti pretočne krivulje zaklopk glede na položaj noža/roba zaklopk (odprtje – projicirano na vertikalno ravnino) in kote vode v akumulaciji. Določiti mora območje delovanja, ko nastopi nevarnost pojava vibracij zaklopke med prelivanjem in po potrebi predlagati in na modelu predstaviti ustrezne zaščitne ukrepe proti vibracijam. Izvajalec mora predstaviti tudi druge relevantne parametre za dimenzioniranje zaklopke in njenih pogonov (n.pr.: tlaki na zaklopko, ipd.).

Za vse pretočne krivulje mora Izvajalec predstaviti zahtevane odvisnosti v grafični, tabelarični in matematični obliki (funkcionalna odvisnost), pri čemer mora biti največja razširjena rezultatska negotovost pri 95-odstotni meji zaupanja manjša ali enaka 3,0 %.

Gradbena jama

Način gradnje še ni dokončno določen, zaenkrat je predvidena gradnja jezovne zgradbe (oz. najmanj splavnice in obeh prelivnih polj) v eni gradbeni jami z obtočnim kanalom na desnem bregu, ki se po izvedbi betonske konstrukcije zasuje in na njegovem mestu uredi prehod za ribe. Obtočni kanal mora zagotoviti nemoten potek gradnje prelivnega in strojničnega dela HE in pri tem prevajanje visokih vod brez škode za gradbišče, kot tudi brez prevelikih vplivov na tok vodotoka gorvodno in dolvodno od gradbišča. Zato mora Izvajalec raziskati pretočno sposobnost obtočnega kanala in zgrajenih prelivnih polj v času gradbenih del v drugi fazi, če bo gradnja potekala fazno. Potrebno je določiti višino potrebnih sten (nasipov, ipd.), ki ščitijo gradbeno jamo in predlagati njihovo obliko, da ne pride do prelitja v pogojih, ki jih narekuje projekt, običajno $Q_{5\%}$ (Q_{20}) ali manj verjetno $Q_{2\%}$ (Q_{50}). Izvajalec mora določiti način zaščite gradbene jame pred erozijo in predlagati način preusmerjanja toka iz obtočnega kanala na zgrajena prelivna polja.

Podatki

Vhodni podatek za HMR je izdelana Idejna zasnova (IDZ) s celotno situacijsko zasnovo ter gabariti objektov. Pričakuje se, da bo projekt obdelan v BIM tehnologiji, v nasprotnem primeru je treba zagotoviti toliko ustreznih prerezov, da je možna izdelava laboratorijskega modela v ustreznem pomanjšanem merilu.

Za izvedbo raziskave je potrebnih več hidravličnih podatkov za določitev robnih pogojev za modela ter geometrijski podatki o objektih in strugi. Potrebni bodo tudi podatki o zabeleženih gladinah Ljubljane na območju modeliranja. Obstaja možnost, da bo potrebno del podatkov o gladinah pridobiti tudi v času trajanja raziskave. Podatki, ki jih zagotovi Naročnik, so:

- i. batimetrični geodetski posnetek celotne struge na območju modela, geodetsko kontrolirano združen s posnetkom terena,
- ii. hidrološki podatki o merodajnih pretokih in višinah vode v profilu pregrade ter na obravnavanem odseku gorvodno in dolvodno od pregrade, predvsem:
 - a. padci gladine vode na modeliranem odseku struge v razpoložljivih hidroloških pogojih
 - b. hidrološki podatki o višinah spodnje vode pri različnih pretokih v času razpoložljivih hidroloških pogojev,
- iii. predviden način obratovanja prelivov pri prevajanju visokih vod (Naročnik bo posredoval Izvajalcu preliminarne predloge, ki morajo biti tudi predmet nadaljnjega raziskovanja v času izvedbe teh raziskovalnih del)

Roki izdelave

	Obseg vsebin	Rok
1	Priprava modela	T0 + 2 meseca
2	Gradbena jama	T0 + 3 mesece
3	Prelivna polja	T0 + 5 mesecev
4	Podslapja	T0 + 6 mesecev
5	Zapornice – zaklopke	T0 + 7 mesecev
6	Natočne razmere na strojnico	T0 + 7 mesecev
7	Tokovne razmere v splavnici	T0 + 7 mesecev
8	Visokovodni pretoki skozi splavnico	T0 + 8 mesecev
9	Obvladovanje plavja	T0 + 8 mesecev
10	Končno poročilo	T0 + 9 mesecev

T0 = datum podpisa pogodbe

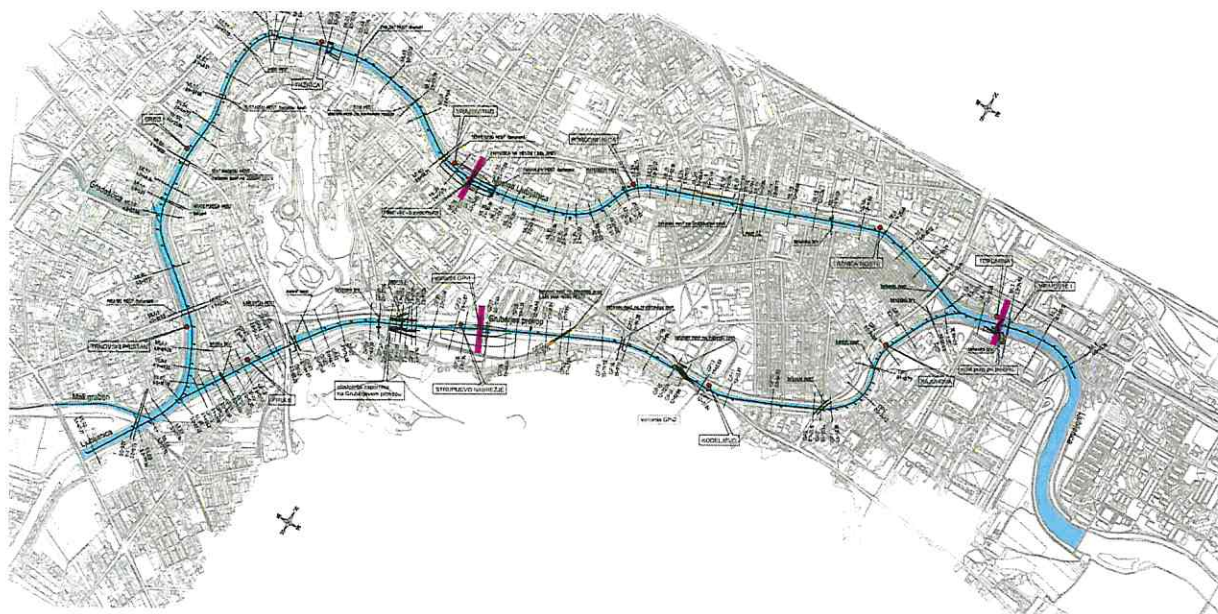
Hidravlična modelna raziskava (HMR) za lokacijo Ambrožev trg

Projektna naloga za izdelavo strokovne podlage za potrebe izdelave OPPN plovnosti in energetske izrabe Ljubljanice

Večnamenski projekt Vzpostavitve krožne plovne poti, energetske izrabe in zagotovitve prehodnosti pregrad na Ljubljanici obravnava odsek Ljubljanice od cestnega mostu pri Livadi do peš mostu preko Ljubljanice gorvodno od Fužinskega jezua. Osnova zanj je dogovor Energetike Ljubljana in njenega lastnika MOL, Direkcije za vodo RS ter Elektro Ljubljana, da se zagotovi sklenjena plovna pot po Ljubljanici in Gruberjevem prekoku okrog Grajskega hriba, ustrezno uredi vodna infrastruktura ter sočasno izkoristi razpoložljiv energetski potencial. Vsi posegi in ureditve morajo zagotavljati čim manj vplivov na vodno okolje. S projektom se tudi izboljšuje funkcionalnost obeh obstoječih jezov na Ljubljanici z vidika zagotavljanja poplavalne varnosti Barja in jugozahodnega dela Ljubljane ter z vidika prehodnosti za ribe. Prav tako se pričakuje, da se bodo z ureditvijo in rednim vzdrževanjem plovnih poti izboljšale tudi odtočne razmere ob visokih vodah. Navedene rešitve so bile obdelane v strokovni podlagi (1).

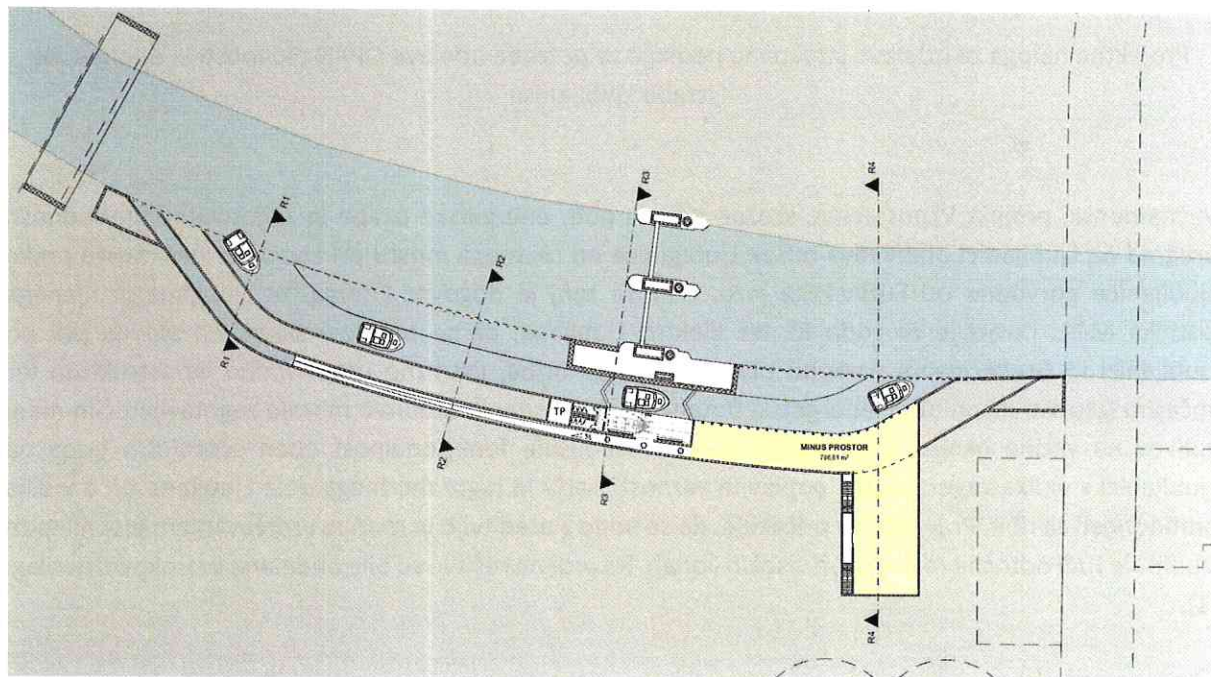
Opis projekta

Trije osnovni elementi večnamenskega projekta so zagotavljanje krožne plovne poti okrog Grajskega hriba na območju med Livado in Fužinami, energetska izraba ter izboljšanje vodne infrastrukture, vključno z zagotovitvijo prehodnosti pregrad za vodne organizme.



Slika 1: Območje projekta in posegov.

Pri Plečnikovi zapornici je na desnem bregu predlagana izgradnja male hidroelektrarne (MHE) z enim klasičnim agregatom inštaliranega pretoka $25 \text{ m}^3/\text{s}$, splavnice za plovila do 10 m dolžine in prehoda za ribe v tehnični obliki. Na pregradi je predvidena tudi zamenjava zapornic. Navedeni objekti in naprave se bodo vključili v predvideno ureditev Ambroževega trga in že obnovljene Cukrarne.



Slika 2: Situacija ureditev na Ambroževem trgu (Scapelab, 2023).

Na Gruberjevem prekopu je predlagana izgradnja jezusa z visokovodnim prelivom, sodobna MHE z gibljivo strojnico z inštaliranim pretokom $20 \text{ m}^3/\text{s}$, splavnica za plovila do 10 m dolžine, prehod za ribe v sonaravni izvedbi ter premostitev za peš in kolesarski promet. Širšo okolico tega večnamenskega objekta se uredi kot zeleno območje za rekreacijo z izobraževalnimi vsebinami.

Na lokaciji pri Toplarni je predvidena izgradnja nizkega jezusa za potrebe krožne plovbe in energetske izrabe, namestitve dveh gibljivih strojnic s skupnim inštaliranim pretokom $41 \text{ m}^3/\text{s}$ ter poglobitev dolvodne struge v dolžini približno 1800 m (vzdolž celotne soseske Nove Fužine). Enako kot v Gruberjevem prekopu sta tudi tukaj predlagana sodobna pretočna agregata z velikimi izkoristki in majhnim vplivom na okolje, razvita v okviru programa LIFE06, projekt ENV/D/000485.

Plovba

Glavni poseg za zagotovitev krožne plovne poti okrog Grajskega hriba bo izvedba z dodatnega jezusa pri Toplarni, ki bo zagotavljal plovnost spodnje (vzhodne) zanke tudi ob minimalnih pretokih Ljubljanice. Za prehodnost jezovnih zgradb v mestni Ljubljani in Gruberjevem prekopu bodo na teh lokacijah izvedene splavnice. Tako za plovno pot kot objekte splavnic je predpisano plovilo največje dolžine 10 m, širine 5 m in največjega ugreza trupa 0.6 m. Hitrost plovila ne sme presegati 8 km/h.

Energetika

Energetska izraba Ljubljanice je predvidena na treh lokacijah.

V profilu obstoječe Plečnikove zapornice (lokacija ML) se na desnem bregu vgradi klasični agregat s Kaplan turbino in inštaliranim pretokom $25 \text{ m}^3/\text{s}$. Nominalni padec znaša 2,37 m, najmanjši izkoristljiv pa 1,5 m. Moč agregata je 510 kW in srednja letna proizvodnja 2,228 GWh.

Na Gruberjevem prekopu se 300 m dolvodno od obstoječe zapornice zgradi nov večnamenski objekt, ki vključuje tudi MHE s t.im. *gibljivo strojnico*, v kateri je nameščena Kaplanova turbina z generatorjem

v hruški ter nazivnim pretokom 20,6 m³/s. Nominalni padec znaša 2,31 m, najmanjši izkoristljiv pa 1,5 m. Moč agregata je 410 kW in srednja letna proizvodnja 1,412 GWh.

Pod sotočjem mestne Ljubljanice in Gruberjevega prekopa se v profilu 50 m gorvodno od obstoječe brvi za pešce izvede novo jezovno zgradbo, ki vključuje tudi dve gibljivi strojnici s Kaplanovima agregatoma in generatorjema v hruški in skupnim nazivnim pretokom 39,2 m³/s. Nazivni padec znaša 2,07 m, skupna največja moč obeh turbin 700 kW (2 x 350 kW) in srednja letna proizvodnja 3,056 GWh. V primeru obratovanja samo ene turbine je njena največja moč 440 kW.

Okoljski ukrepi

Izbrana varianta energetske izrabe predvideva obratovalno gladino Ljubljanice 286,00 na obeh gorvodnih zapornicah, kar sočasno pomeni dodatno ekološko funkcijo, saj se s tem ohranja boljša in trajna omočenost barja na daljšem odseku. Ta gladina je nekoliko višja od sedanje konservativne prakse, ko se obratuje okrog kote 285,60 m n.m.

Zapornica na Gruberjevem prekopu ni prehodna za ribe, na Ambroževem trgu pa je prehodnost zelo omejena oz. ni dokazana. Ob izvedbi predvidenih posegov so zato predlagani omilitveni ukrepi, kot so ureditev prehodov za ribe, ukrepi za vzpodbujanje gorvodnega in dolvodnega ter prečnega prehajanja vodnih organizmov, zasaditev tipične obrežne vegetacije in obogatitev vegetacije na obrežnem pasu, ki bo predstavljala tudi zaščito pred erozijo. Takšna ureditev zagotavlja habitat za različne razvojne stopnje in velikosti ter vrste rib, dopušča nihanje vode zaradi energetske izrabe in je hkrati prilagojena naravnemu sezonskemu pretočnemu režimu s spremenljivimi hitrostmi toka, pretoki in vodnimi količinami.

Opis predvidenih ureditev na lokaciji Ambrožev trg

Na desnem bregu Ljubljanice se na območju, ki ga na jugu tlorisno omejuje dvignjen teren Ambroževega trga, izvedejo tehnološki objekti za proizvodnjo električne energije, prevajanje plovil med dvema nivojema Ljubljanice (splavnica) in prehod za vodne organizme. Skupna dolžina teh ureditev znaša vzdolž Ljubljanice 196 m. Vsi navedeni objekti so umeščeni pod nivo terena in pokriti s konstrukcijo v obliki galerije.

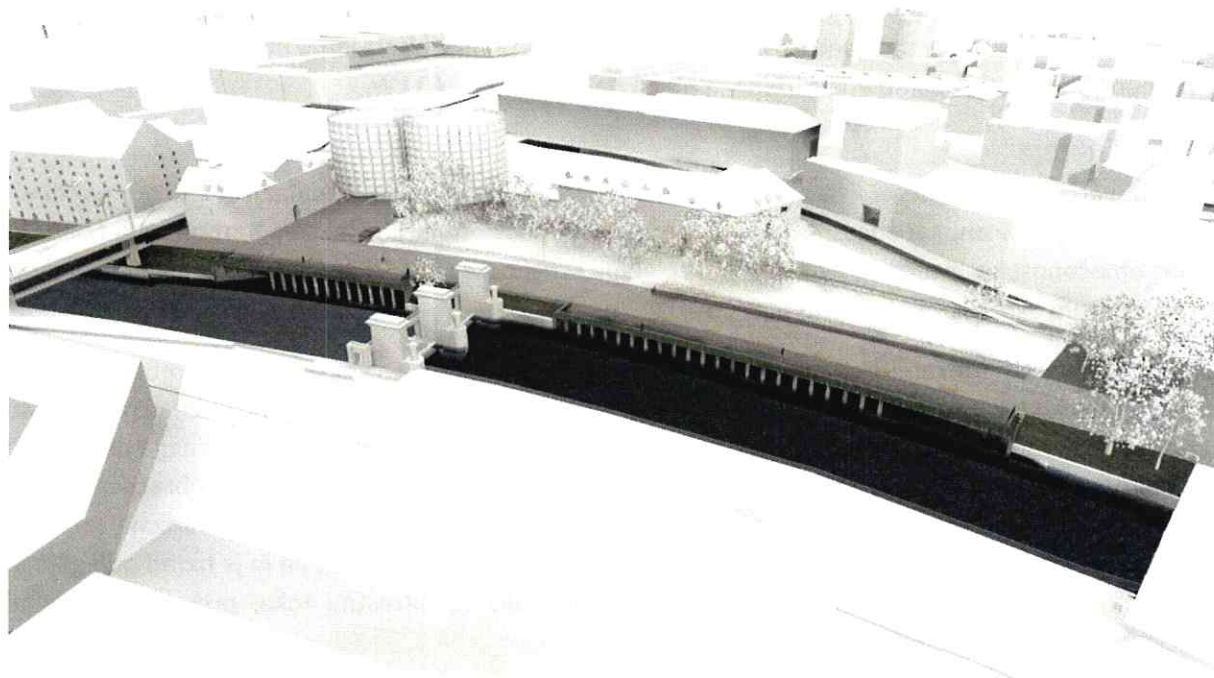
Najbližja Ljubljani je ureditev ladijske prevodnice z gorvodnim dostopnim kanalom, splavnico in dolvodnim dostopnim kanalom. Sledi pretočni trakt MHE, katerega vtočni del je deloma umeščen pod gorvodni del ladijske prevodnice, sledita mu strojnica s pripadajočimi servisnimi prostori in razmeroma dolg odtočni kanal MHE. V tretji, od Ljubljane najbolj oddaljeni liniji, je umeščen prehod za vodne organizme. Tlorisno največja objekta splavnice in strojnice MHE sta zaradi pomanjkanja prostora vzdolžno zamaknjena. Ob bregu Ljubljane si na gorvodnem koncu ureditve sledijo vtok v prehod za vodne organizme, vstop v kanal splavnice in vtok v dovodni kanal MHE. Nad gladino vode je viden le vstop v plovni kanal splavnice, medtem ko sta vtoka v MHE in prehod za vodne organizme potopljena pod gladino. Za vse navedene objekte je potrebno zagotoviti ustrezno čiščenje plavja, kar bo predmet podrobnejše obdelave v višjih fazah projekta.

Vsebina projektne naloge in območje obdelave

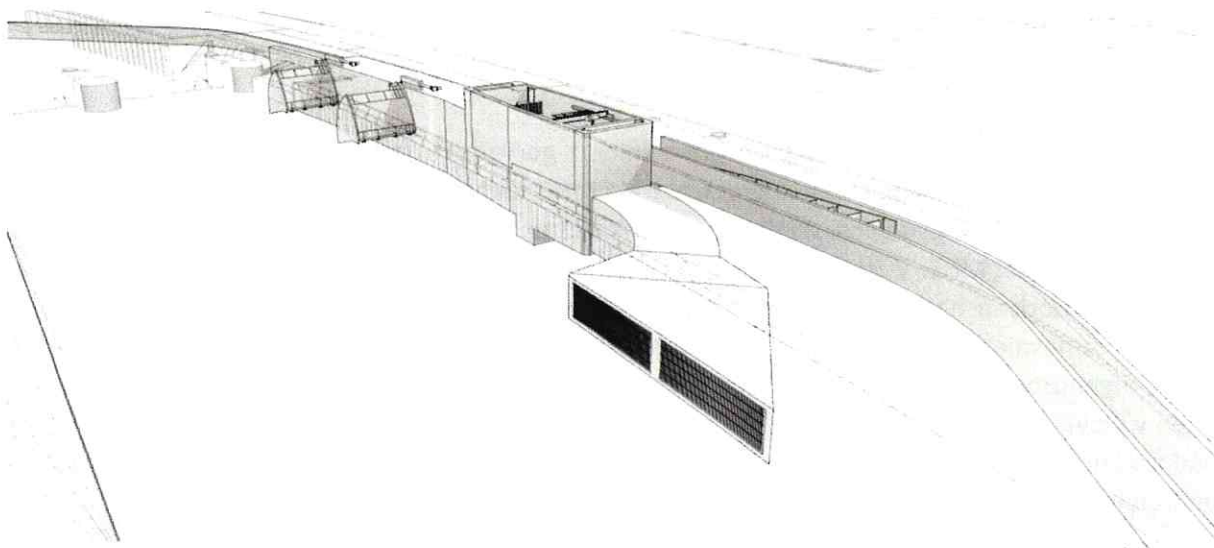
Zaradi velike hidravlične kompleksnosti objekta, ki izhaja iz omejitev razpoložljivega prostora ter večnamenske rabe objekta jezovne zgradbe na Ambroževem trgu, je treba v okviru Idejnega projekta (IDP) izvesti hidravlične modelne raziskave (HMR) na fizičnem modelu. Fizični model obsega odsek Ljubljane od Šempetrskega mostu do konca objekta Cukrarne. Obstoječa Plečnikova zapornica predstavlja znan objekt v prostoru, ki ga ni treba raziskovati, razen v obsegu, kot bi lahko vplival na obratovanje MHE in splavnice.

Obseg del

Na lokaciji Ambrožev trg je konfiguracija objektov z vidika hidravlike posebej zahtevna, ker so vse novogradnje (splavnica, MHE in PZVO) locirane na istem, desnem bregu. Hidravlične raziskave morajo upoštevati vse merodajne hidrološke scenarije za navedeno lokacijo.



Slika 3: Vizualizacija ureditev na Ambroževem trgu (Scapelab, 2023).



Slika 4: 3D model splavnice, MHE in PZVO.

Raziskave se izvedejo za naslednje hidrološke pogoje, pri čemer je treba upoštevati predhodno ugotovljeno delitev pretokov po mestni Ljubljanici in Gruberjevem prekopu:

1. Stanje pretokov do 100 m³/s oz. do tistega mejnega pretoka, ko je še dopustna plovba po krožni poti. Pri tem se upoštevajo do 4 karakteristični pretoki: Q_sr, sQ_n in mejni visoki pretok za prekinitev plovbe (+ en pretok rezerve za ponudbo)
2. Stanje visokih pretokov nad 100 m³/s oz. nad mejnim pretokom, ko ni več plovbe. Obravnava se pretoke do Q₁₀₀.

Potrebne so naslednje podrobne modelne raziskave:

1. raziskave obtekanja gradbene jame (pretočna sposobnost Ljubljanice ob zmanjšanju pretočnega profila)
2. raziskave prelivnih polj in zapornic (pretočne krivulje za stanje po izgradnji jezua pri Toplarni)
3. podslapja (tokovne razmere pri režimu plovbe ob hkratnem prevajanju dela prelivnih polj)
4. raziskave natočnih razmer na strojnico v kombinaciji s sočasnim obratovanjem splavnic, optimizacija oblike natoka
5. raziskave tokovnih razmer v splavnici (pri polnjenju)
6. raziskave prevajanja visokih vod skozi splavnico (pretočna krivulja, disipacija energije)
7. raziskave obvladovanja plavja.

Natočne razmere na strojnico in splavnico

Natočne razmere na strojnico so vedno pomemben faktor zagotavljanja primerne izkoristka turbine, v primeru lokacije Ambrožev trg pa je še pomembnejši vidik varnosti plovbe, saj se obe funkciji izvajata v minimalni medsebojni oddaljenosti. Zato mora Izvajalec to področje raziskati v danih geometrijskih in hidravličnih ter hidroloških robnih pogojih objekta. Pri tem morajo biti upoštevane najmanj naslednje usmeritve:

- i. Zagotovitev čim boljše (optimalne) tokovne slike na vtoku
- ii. Zagotovitev čim večje (ne)občutljivosti na transport plavin in plavja, ki bo zaradi posebne oblike ureditve še posebej zahtevno - predvideno je namreč stebrišče ob rečnem bregu in zaledno vodenje pretoka na turbino ter sočasno v splavnice
- iii. Zagotovitev primernih tokovnih razmer za varno plovbo v bližini pregrade ter manevriranja pred splavno komoro v okviru hidroloških omejitev (do skupnega pretoka Ljubljanice 100 m³/s oz. pretoka po mestni Ljubljanici 55 m³/s)

Natočna rampa

Izvajalec mora pri tej raziskavi upoštevati projektno predvideno obliko, ki jo mora preveriti s stališča optimalne tokovne slike na vtoku, kar pomeni tudi najmanj usedanja sedimentov v vtočnem profilu in neposredno pred njim. To raziskavo je potrebno in smiselno povezati z raziskavo natočnih razmer na strojnico, da se določi takšna oblika natočne rampe, ki bo kompromisna rešitev med optimalno tokovno sliko in obliko, ki bi v največji meri zmanjšala transport in usedanje večjih (kotalečih in rinjenih) plavin pred čistilnimi rešetkami in v vtočnih komorah.

Obvladovanje plavja

Odstranjevanje plavja je med obratovanjem HE predvideno z mehanskimi sredstvi (čistilni stroj), vendar mora izvajalec preveriti predlagane projektne rešitve in podati predlog konkretnih izboljšav na osnovi

izsledkov na modelu (npr. oblikovanje detajlov natoka in vtoka, optimalna lokacija čiščenja, ipd), kar mora biti primerno in tehnično korektno predstavljeno.

Prelivna polja in zapornice

Zaradi zaščite kulturne dediščine projekt ne posega v gabarite obstoječih prelivnih polj. Kljub temu pa mora biti tako med gradnjo kot v kasnejši uporabi skladen z zaporničnim objektom, kar pomeni, da mora biti raziskan tako vpliv projekta na objekt, kot tudi vpliv prelivov in zapornic na projektirane ureditve. Pri tem je predvsem pomemben odnos med plovbo, energetske izrabo in poplavno varnostjo, na katere obstoječi objekt vpliva. Ker obstoječe zapornice na Ambroževem trgu obratujejo brez pretočnih krivulj, je v okviru raziskave potrebno določiti pretočne krivulje (pretok v odvisnosti od odprtja in višine vode v pretočni akumulaciji). Pri tem je treba upoštevati tudi vpliv spodnje vode na pretočno sposobnost zapornic. Izvajalec mora določiti pretočne krivulje prelivnih polj in sposobnost prevajanja visokih vod preko pregrade tako pri odprtih obeh prelivnih poljih, kot za primer blokade ene zapornice v skladu s projektnimi zahtevami. Za vse pretočne krivulje mora Izvajalec predstaviti zahtevane odvisnosti v grafični, tabelarni in matematični obliki (funkcionalna odvisnost), pri čemer mora biti največja razširjena rezultatska negotovost pri 95-odstotni meji zaupanja manjša ali enaka 3%.

Podslapja

Cilji raziskav podslapij so:

1. ugotoviti primernost obstoječe oblike in dimenzij podslapij ter določiti optimalno obliko podslapij z vsemi karakteristikami, potrebnimi za omogočanje plovbe do dovoljenega pretoka,
2. po potrebi določiti nove potrebne gabarite podslapij, ki zagotavljajo zadostno disipacijo energije vodnega toka v vseh hidravličnih pogojih,
3. s pomočjo najprimernejših disipacijskih organov je potrebno optimizirati dimenzije podslapij (razbijači tako zaradi vpliva na ribe, kot tudi zaradi varnosti plovbe niso zaželeni in se jih uporabi le v skrajni sili),
4. določiti območje stabilnega obratovanja podslapij glede na pretok, odprtje zapornic in višino spodnje vode,
5. zagotoviti stabilnost dna in brežin struge za podslapji ter
6. določiti najprimernejšo lokacijo vodomera za stalno merjenje kote spodnje vode.

Gradbena jama

Način gradnje je predviden v eni gradbeni jami, ki pa bo zaradi zagotavljanja zadostnega manevrskega prostora za gradnjo objektov splavnice in male elektrarne, segala v območje aktivnega pretočnega profila desnega prelivnega polja. S tem bo vplivala na pretočnost zaporničnega objekta, kar mora biti ustrezno modelirano in analizirano, da se zagotovi zadostna prevodnost zapornic v času gradnje, da ne bo prišlo do povečanja poplavne ogroženosti središča Ljubljane. Preostali pretočni profil Ljubljanice mora zagotoviti nemoten potek gradnje in sočasno prevajanje visokih vod brez škode za gradbišče, kot tudi brez prevelikih vplivov na tok vodotoka gorvodno in dolvodno od gradbišča. Zato mora Izvajalec raziskati pretočno sposobnost zaporničnega objekta v času gradbenih del. Potrebno je določiti višino potrebnih zagatnih sten ki ščitijo gradbeno jamo in predlagati njihovo obliko, da ne pride do prelitja v pogojih, ki jih narekuje projekt, običajno Q5% (Q_{20}) ali manj verjetno Q2% (Q_{50}).

Podatki

Vhodni podatek za HMR je izdelana Idejna zasnova (IDZ) s celotno situacijsko zasnovo ter gabariti objektov. Zaradi lege vtočnih in iztočnih objektov na različnih višinah (eden nad drugim) in njihove kompleksne geometrije se pričakuje, da bo projekt obdelan v BIM tehnologiji, v nasprotnem primeru

je treba zagotoviti toliko ustreznih prerezov, da je možna izdelava laboratorijskega modela v pomanjšanem merilu.

Kot podlaga se uporabi tudi rezultate morebitnih že izvedenih HMR na lokaciji Plečnikove zapornice, pri čemer naročnik zagotovi dovoljenje za njihovo uporabo, v kolikor pretekli naročnik ni eden od aktualnih investitorjev oz. njihovih pravnih predhodnikov.

Za izvedbo raziskave je potrebnih več hidravličnih podatkov za določitev robnih pogojev za modela ter geometrijski podatki o objektih in strugi. Potrebni bodo tudi podatki o zabeleženih gladinah Ljubljane na območju modeliranja. Obstaja možnost, da bo potrebno del podatkov o gladinah pridobiti tudi v času trajanja raziskave. Podatki, ki jih zagotovi Naročnik, so:

- i. geometrijski podatki obstoječega jezua in zapornic (geodetski posnetek obstoječega objekta ter dokumentacija o obstoječih ali predvidenih rekonstruiranih zapornicah),
- ii. batimetrični geodetski posnetek celotne struge na območju modela ter 100 m gorvodno od šempetrskega mostu, kontrolirano združen s posnetkom terena oz. betonskih brežin Ljubljane,
- iii. hidrološki podatki o merodajnih pretokih in višinah vode v profilu Plečnikove zapornice ter na obravnavanem odseku gorvodno in dolvodno od pregrade, predvsem:
 - a. padci gladine vode na modeliranem odseku struge v razpoložljivih hidroloških pogojih
 - b. hidrološki podatki o višinah spodnje vode pri različnih pretokih v času razpoložljivih hidroloških pogojev,
- iv. predviden način obratovanja prelivov pri prevajanju visokih vod (Naročnik bo posredoval Izvajalcu preliminarne predloge, ki morajo biti tudi predmet nadaljnjega raziskovanja v času izvedbe teh raziskovalnih del)

Roki izdelave

Obseg vsebin	Rok
1 Priprava modela	T0 + 2 meseca
2 Gradbena jama	T0 + 3 mesece
3 Prelivna polja + zapornice	T0 + 5 mesecev
4 Podslapja	T0 + 6 mesecev
5 Določitev najugodnejših natočnih razmer na strojnico v kombinaciji s sočasnim obratovanjem splavnic, optimizacija oblike natoka	T0 + 7 mesecev
6 tokovne razmere v splavnici	T0 + 7 mesecev
7 Obvladovanje plavja	T0 + 8 mesecev
8 Končno poročilo	T0 + 9 mesecev

T0 = datum podpisa pogodbe

