



R 2.39.

HIDRAULIČKA ANALIZA RIBLJIH STAZA DENILOVOG TIPA

Gordon Gilja, Matea Marić, Damjan Bujak, Eva Ocirk

SAŽETAK: U ovom radu su pomoću trodimenzionalnog hidrodinamičkog modela tečenja OpenFOAM proučavane hidrauličke karakteristike Denilove riblje staze s ciljem istraživanja mogućnosti njihove primjene na vodotocima u Hrvatskoj. Kao domena hidrodinamičkog modela definiran je segment riblje staze s 10 polja, dok su promjenjive varijable bile protok i nagib riblje staze. Provedeno je 17 numeričkih simulacija u kojem su ispitivane kombinacije različitih nagiba dna riblje staze (od 10 % do 20 %) i protoka (od 0,15 m³/s do 0,40 m³/s). Trodimenzionalnim poljem tečenja u ribljoj stazi pokazano je kako se najveće brzine javljaju pri površini, dok u pridnom sloju koji ribe koriste za prolazak u većini simulacija postoji područje malih brzina. Analizama provedenim u ovom radu potvrđeno je da se riblje staze Denilovog tipa mogu koristiti i pri manjim nagibima od uobičajenih uz zadovoljenje tražene brzine tečenja.

KLJUČNE RIJEČI: riblje staze Denilovog tipa, numerički model, OpenFOAM

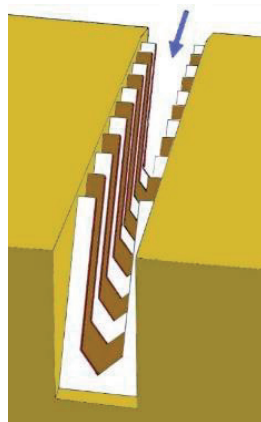
ANALYSIS OF HYDRAULIC FLOW CONDITIONS IN DENIL FISH PASSES

ABSTRACT: The paper presents an analysis of hydraulic characteristics of Denil fish passes using the 3D OpenFOAM numerical model in order to assess their applicability to the watercourses in Croatia. A fish pass segment with 10 baffles was defined as a domain of the hydraulic model, with discharge and fish pass slope as variables. A total of 17 numerical simulations were performed using selected combinations of varying slope (from 10% to 20%) and discharges (from 0.15m³/s to 0.40m³/s). The results for a 3D flow velocity field in the fish pass indicate that the highest velocities occur in the surface layer and the lowest in the bottom layer, which is dominantly used by migrating fish, for the majority of simulations. The analyses performed in this research confirm that Denil fish passes can be used even with gentler slopes than the conventional ones provided that the required flow velocities are maintained.

KEYWORDS: Denil fish passes, numerical model, OpenFOAM

1. UVOD

Gradnjom pragova u vodotoku narušava se prirodna uzvodna i nizvodna migracija ribljih vrsta što posljedično dovodi do smanjenja biološke raznolikosti. U Hrvatskoj postoji velik broj pragova koje je potrebno obnoviti na način da se omoguće prirodni obrasci uzdužne povezivosti vodotoka čime se omogućava režim voda dostatan za održavanje funkcionalnosti i strukture riječnih ekosustava (Hrvatske vode, 2013). Da bi se osigurala povezanost vodenih ekosustava potrebno je na pragovima izgraditi riblje staze koje omogućuju slobodan prolazak migratornih ribljih vrsta uzvodno i nizvodno kroz, oko i preko prepreka u vodotoku (Armstrong i drugi, 2010). Osnovna podjela ribljih staza je na tehničke i prirodne. Denilove riblje staze su tehničkog tipa, a izvode se u pravokutnom kanalu relativno strmog nagiba dna u koji su smještene inklinatorne pregrade u pravilnim i kratkim razmacima. Često se koriste kod gradnje ribljih staza na postojećim branama s obzirom da su to riblje staze koje podnose najstrmije nagibe. Trenutno se najviše upotrebljava modifikacija Denilovog izvornog oblikovanja u kojoj su spojene pridnene i bočne pregrade u jednu ravnu pregradu s otvorom oblika „U” (Rajaratnam i drugi, 1983), ponajviše zbog jednostavnosti i funkcionalnosti (slika 1) (Katopodis i drugi, 2012). U pravilu pregrade se postavljaju pod kutom 45° u odnosu na dno kanala (FAO, 2002).



Slika 1. Prag na vodotoku (lijevo) i Denilova riblja staza (desno); prilagođeno prema (Armstrong i drugi, 2010)

Prilikom projektiranja ribljih staza potrebno je definirati protok, brzinu i dubinu toka te povoljan smještaj ulaza i izlaza. Brzina toka jedan je od najbitnijih parametara jer mora biti dovoljno velika da na ulazu/izlazu u riblju stazu privuče ribe, ali istovremeno dovoljno mala tako da i najslabiji organizmi mogu plivanjem svladati tok vode. Maksimalna brzina toka ne smije biti premašena kako ne bi došlo do iscrpljivanja i ozljeđa riba prilikom prolaska, a što se najčešće regulira dozvoljenim nagibom. Upravo nagib predstavlja jednu od glavnih prednosti Denilovih ribljih staza jer oblik pregrada omogućuje veliku disipaciju energije, stvaranje uspora u području između pregrada te propuštanje protoka koji privlači ribe i olakšava usmjeravanje riba u riblju stazu.

Prema dostupnim istraživanjima primjetno je da preporučeni nagibi dna Denilove riblje

staze znatno variraju. Jedno od prvih istraživanja na 15 fizičkih modela sugerira korištenje nagiba ne većeg od 25 % i visinsku razliku do 2 m bez odmarajućeg bazena (McLeod i drugi, 1942). Larinier za sve dotad isprobane modele Denilovih ribljih staza preporuča uzimanje najmanjih mogućih dimenzija pregrada koje su u hidrauličkom radnom rasponu te daje preporuku za korištenje nagiba od 12 % do 20 % (Larinier, 2002). Mallen-Cooper i Stuart 2007. g. istražuju način poboljšanja Denilovih ribljih staza za prolazak malih i velikih riba na modelu u stvarnom mjerilu, smještenom na brani (Mallen-Cooper i drugi, 2007). Ispitivan je standardni nagib od 20 %, srednji od 14,3 % i rijetko korišteni 8,3 % koji je bio namijenjen manjih ribama te su dokazali da Denilove riblje staze mogu biti namijenjene i malim ribama. Sličan zaključak može se izvesti na temelju monitoringa prolaska riba kroz dvije slične Denilove riblje staze smještene na istoj lokaciji na rijeci Grand, s različitim nagibom (10 % i 20 %) (Katopodis, 1992). Pokazano je da je 82,5 % riba koje su prošle preko brane koristilo riblju stazu blažeg nagiba.

Istraživanje Lariniera i Mirallesa na modelima ribljih staza u prirodnoj veličini s promjenljivim nagibom dna do 20 % pokazalo je da se najmanje brzine javljaju pri dnu i da ribe preferiraju zonu manjih brzina (Larinier i drugi, 1981). Rajaratnam i Katopodis analiziraju profil brzine pri različitim protocima za nagibe od 10 % do 31,5 %. Uočavaju da se pri malom protoku ($< 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$) javlja područje malih brzina pri dnu staze ($< 0,3 \text{ m/s}$), koje se s povećanjem protoka (do $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) postupno smanjuje te u konačnici potpuno iščezava (Rajaratnam i drugi, 1984), što ograničava visinu izvedbe Denilovih ribljih staza. Ispitivanjima na fizičkom modelu 2000. g. Kamula i Barthel (Kamula i drugi, 2000) su zaključili da je disipacija energije najveća za vrijednost odnosa širine riblje staze i širine otvora na pregradi $B/b < 2$, što potvrđuju i drugi (Krüger, 1994; Mallen-Cooper i drugi, 2007). Kut između pregrada i dna staze α je optimalan u malom rasponu vrijednosti: za $\alpha = 40^\circ$ primijećeno je da je potreban veći protok da se postigne jednaka dubina vode u ribljjoj stazi, a kod $\alpha = 50^\circ$ primijećena je ujednačenija raspodjela brzine bez izraženih sporijih slojeva (Kamula i drugi, 2000).

Pregledom stanja znanja pokazano je da Denilove riblje staze mogu biti namijenjene i malim ribama, suprotno uvriježenom mišljenju da su uvjeti u njima primjereniji velikim ribama, čemu osim blažeg nagiba doprinose i manja širina pregrada i B/b omjer te kratka duljina staze.

Uzevši u obzir da je broj ribljih staza u odnosu na broj pragova na vodotocima u Hrvatskoj zanemariv, ne zna se mnogo o učinkovitosti, prednostima i manama pojedinog tipa riblje staze u uvjetima hrvatskih vodotoka i njihovih ribljih vrsta (Ocvirk i drugi, 2018). Cilj ovog rada je detaljno istraživanje uvjeta tečenja u Denilovim ribljim stazama kako bi se pokazala mogućnost njihove primjene u Hrvatskoj, a predstavlja nadogradnju istraživanja u tijeku (Marić i drugi, 2018; Ocvirk i drugi, 2017). Za istraživanje je odabran Denilov tip riblje staze iz razloga što su one, u usporedbi s vertikalnim i bazenskim ribljim stazama, otpornije na promjene razine vode, imaju veću disipaciju energije i omogućuju veći protok. Kako je brzina najvažniji parametar pri projektiranju ribljih staza, cilj istraživanja je za određenu geometriju prikazati raspodjelu brzina u njoj te na više različitih modela pokazati koji je nagib i protok Denilove riblje staze pogodniji za postizanje traženih hidrauličkih uvjeta.

2. METODOLOGIJA

U ovom radu su pomoću trodimenzionalnog hidrodinamičkog modela tečenja OpenFOAM proučavane hidrauličke karakteristike Denilove riblje staze s ciljem istraživanja mogućnosti njihove primjene za raspon nagiba i protoka. Kao domena hidrodinamičkog modela definiran je segment riblje staze s 10 polja na kojem je ispitivano polje tečenja. Donja voda i ulaz u riblju stazu su fiksirani na konstantnoj koti, dok su promjenjive varijable bile protok i nagib riblje staze. Provedeno je 17 numeričkih simulacija u kojem su ispitivane kombinacije pet različitih nagiba dna kanala (od 10 % do 20 %) i raspon protoka (od 0,15 m³/s do 0,40 m³/s) u skladu s pregledom stanja znanja (Katopodis, 1992; Larinier i drugi, 1981; Larinier, 2002), navedene u tablici 1. Geometrija modela je odabrana na temelju analize stanja područja, te je usvojena širina staze $B = 0,8$ m, širina pregrade $b = 0,44$ m, udaljenost pregrada $a = 0,53$ m te visina $h^* = 0,66$ m. Duljina modela je odabrana 6 m iz razloga što bi za veće duljine od te bilo potrebno napraviti i odmarajući bazen, omjer $B/b < 2$, te nagib pregrada $\alpha = 45^\circ$ (FAO, 2002; Kamula i drugi, 2000; Krüger, 1994; Mallen-Cooper i drugi, 2007).

Kako je brzina najvažniji parametar pri projektiranju ribljih staza, cilj istraživanja je za određenu geometriju prikazati raspodjelu brzina u njoj te prema uvjetu maksimalne brzine na više različitih modela pokazati koji je nagib i protok Denilove riblje staze pogodniji za postizanje traženih hidrauličkih uvjeta. Brzina naleta je ona brzina koju riba može podnijeti samo do 20 s i zatim joj je potrebno dugo vrijeme oporavka, a iznosi otprilike 10 do 20 duljina tijela u sekundi. Budući da Denilovu riblju stazu riba treba prijeći u jednom naletu, dobiva se prosječna brzina naleta od 2 m/s. Ta brzina uzimat će se kao ograničavajuća vrijednost i maksimalna brzina koju riba prosječne duljine može održavati, u skladu s *Priručnikom za inventarizaciju i praćenje stanja slatkovodnih riba* (Duplić, 2008), gdje se navodi zonacija rijeka pri čemu svaka od karakterističnih riba u navedenim zonama (pastrva, ljipljen, deverika) može naletom svladati brzinu od 2 m/s.

Cilj numeričkog proračuna je dobiti raspodjelu brzine kao ograničavajućeg parametra po ribljim stazi za različite kombinacije nagiba dna i protoka te ocijeniti rezultirajuće hidrauličke uvjete u stazi. Za svaki od nagiba napravljeno je više varijanti proračuna s različitim protokom (tablica 1). Odabrana nomenklatura varijanti koje će se spominjati u daljnjem tekstu je „nagib-protok“. Kako bi se rezultati modela različitih protoka i nagiba mogli uspoređivati odabrana je konstantna razina donje vode $DV = 0,65$ m uz variranje protoka kroz riblju stazu.

Tablica 1. Program numeričkih simulacija

nagib I [%]	protok Q [m ³ /s]	GV [m]	Δh [m]	naziv varijante
10	0,20	0,67	0,57	10-0,20
10	0,22	0,71	0,66	10-0,22
10	0,31	0,85	0,80	10-0,31
10	0,36	0,91	0,86	10-0,36
10	0,40	0,96	0,91	10-0,40
12,5	0,20	0,65	0,74	12,5-0,20
12,5	0,25	0,78	0,87	12,5-0,25
12,5	0,30	0,80	0,90	12,5-0,30
15	0,20	0,60	0,85	15-0,20
15	0,24	0,67	0,91	15-0,24
15	0,28	0,72	0,97	15-0,28
15	0,40	0,84	1,24	15-0,40
17,5	0,17	0,55	0,93	17,5-0,17
17,5	0,20	0,60	0,98	17,5-0,20
20	0,15	0,52	1,05	20-0,15
20	0,17	0,56	1,09	20-0,17
20	0,22	0,63	1,16	20-0,22

2.1. Pokusi na numeričkom modelu

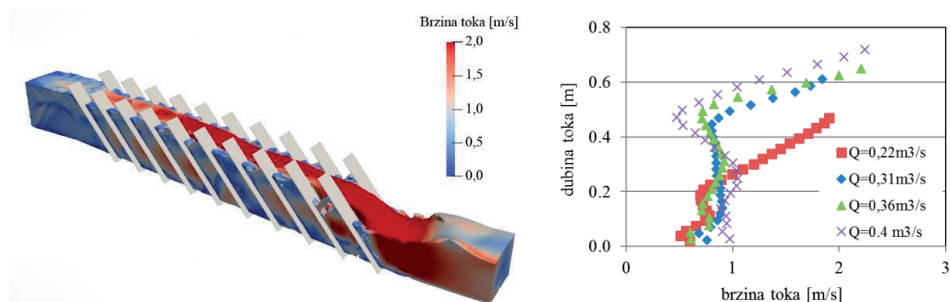
Razvojem numeričkih modela oni su postali pouzdana alternativna mjerenjima u prirodi i/ili na fizičkim modelima u laboratorijima. Numerički modeli imaju mogućnost promatranja i simulacije velikog broja ulaznih parametara što im daje veliku prednost u uvjetima ograničenog vremena i sredstava za izradu fizičkih modela. Za ovo istraživanje napravljeni su 3D modeli na kojima se u okviru OpenFOAM programa simuliralo tečenje. Neke već provedene analize osjetljivosti modela u svrhu proračuna ribljih staza su pokazala zadovoljavajuću točnost modela (Fuentes-Pérez i drugi, 2018). Dvofazni VOF (*engl.* Volume Of Fluid) interFoam model se oslanja na definiciju indikatorske funkcije. Indikator ukazuje na udio volumena vode unutar pojedine ćelije diskretizirane mreže unutar koje se vrši proračun (označena s α). Primjena indikatora temelji se na Eulerovom opisu svake tekućine (vode, zraka ili dr.) na nepokretnoj mreži i opisu vodnog lica između dvije tekućine pomoću jednadžbe transporta indikatorske funkciju. U svrhu implicitnog rješavanje vladajućih jednadžbi se koristi PIMPLE algoritam. Model interFoam se sastoji od jednadžbe kontinuiteta jednadžbe, nestacionarne Navier-Stokes jednadžbe i jednadžbe za pronos indikator funkcije. Diskretizirana mreža je uspostavljena pomoću open source alata blockMesh (formira osnovnu mrežu preko cijele domene) i snappyHexMesh (iterativno usitnjuje diskretizirane mreže na potrebnim mjestima i prilagođava oblik mreže s obzirom na veličinu otvora pregrada). S obzirom na dostupne računalne resurse i analize osjetljivosti, odlučilo se nadalje koristiti diskretiziranu mrežu s ćelijom veličine $\Delta x = 2$ cm, te u blizini pregrada ona se smanjuje na $\Delta x = 1$ cm. Na uzvodnom rubnom uvjetu se održavao fiksni protok, a na nizvodnom konstantna razina vodnog lica. Tek nakon

dostizanja stacionarnog stanja je otpočelo bilježenje vektora brzine unutar numeričkog modela na pozicijama interesa.

3. REZULTATI I RASPRAVA

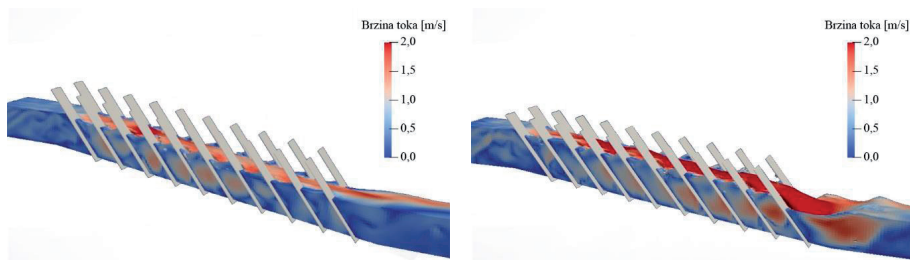
Za svaki su model rezultati dobiveni na isti način i shodno tome biti će prikazani na isti način, kao 3D polje brzine i vertikalni profil brzine u smjeru okomitom na dno riblje staze i u centru uzdužne simetrije. Odabrano je da se mjerna linija postavlja na pregradu na koju najmanje utječu uvjeti ulaza i izlaza riblje staze (Katopodis i drugi, 2012). Na nekim je varijantama modela protok bio prevelik za odabranu razinu donje vode zbog čega se javljaju prevelike brzine na ulazu u uzvodnom smjeru. Pri takvim uvjetima malih dubina i velikih brzina povoljni su uvjeti za stvaranje hidrauličkog skoka te istovremeno nepovoljni za migraciju riba, a uočeni su za varijante 10-0,36; 10-0,4; 125-0,3; 15-0,28; 175-0,17; 175-0,2; 20-0,15; 20-0,17 i 20-0,22. Sve takve varijante modela su ocijenjene neuspješnim jer su takvi hidraulički uvjeti na ulazu za ribe nepovoljni i ribe ih ne mogu svladati. Premda su ispitivani nagibi Denilovih ribljih staza u rasponu od 10 % do 20%, u rezultatima je naglasak stavljen na rezultate modela nagiba manjih od 15 % zbog njihove neizkušenosti i moguće primjene u Hrvatskoj. Iz tog razloga ispitivalo se više varijanti za modele manjih nagiba.

Svaka od analiziranih varijanti nagiba 10 % zadovoljava uvjet minimalne dubine $h^* > 0,35$ m koja je potrebna ribama da mogu neometano plivati kroz stazu. U varijanti 10-0,22 postoje brzine veće od dopuštene (2 m/s), ali su one lokalizirane u površinskom sloju gdje se odvija najveći dio disipacije energije. Srednja brzina na pregradi je manja od 2 m/s što ovu varijantu Denilove riblje staze čini povoljnom, iako je najmanje dubine. Povećanjem protoka uz zadržavanje nagiba (varijanta 10-0,31) zadržavanju se slični uvjeti u pogledu raspodjele brzina manjih od 2 m/s, ali zbog povećanja dubine za 20 cm srednja brzina na pregradi je manja. Veća dubina ribama daje više prostora što im svakako olakšava prolazak i ovu varijantu čini povoljnijom s tog aspekta. Ukoliko se protok dodatno poveća, na 0,36 m³/s, uočava se da su uvjeti brzina na pregradi zadovoljavajući, no zbog velike razlike potencijala na ulazu u riblju stazu dolazi do prekoračenja dozvoljene brzine (slika 2). Na tom području brzine su veće od 2 m/s i dolazi do turbulencija što je svakako nepovoljno za ribe i želi se izbjeći. Iz navedenog razloga do istih nepovoljnih pojava i još većih brzina dolazi i kod varijante 10-0,40 s većim protokom te ona nije detaljnije analizirana. Na slici 2 (desno) može se vidjeti grafički prikaz vertikalne raspodjele brzina svih 25 točaka mjerne linije za sve protoke ispitane za nagib 10 %. Raspodjela odgovara prethodno opisanim karakterističnim raspodjelama brzina i može se potvrditi pojava najveće brzine na površini, da je područje brzina < 2 m/s veliko, a područje brzine < 1 m/s obuhvaća pridnjeni sloj čak 30 cm debljine. Budući da su uvjeti brzina u samoj stazi povoljni za sve ispitane protoke, prilikom praktične upotrebe ovog nagiba moguće je korištenje raspona protoka do 0,31 m³/s uz pažljiv odabir odgovarajuće razine donje vode kako ne bi dolazilo do velikih brzina na ulazu.



Slika 2. 3D polje brzine za 10-0,36 (lijevo) i vertikalni profil brzine (desno)

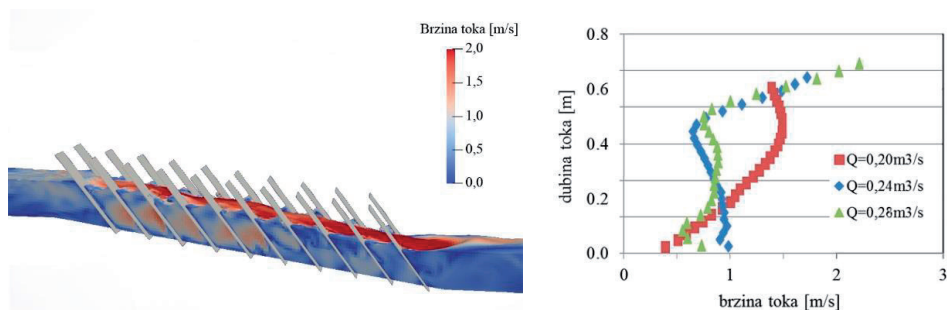
Za nagib od 12,5 % ispitani su protoci 0,20, 0,25 i 0,30 m^3/s pri čemu je primjetan značajan porast brzine s protokom: gotovo 50 % koliko je i povećanje protoka. Sve varijante zadovoljavaju po kriteriju dozvoljene brzine i dubine unutar same staze, dok se na njenom ulazu za varijante 12,5-0,30 i 12,5-0,40 javljaju brzine veće od dopuštenih (slika 3). Pretpostavljena donja voda je preniska za protok veći od 0,3 m^3/s , što je evidentirano izmjenjenim $h^* = 0,25 \text{ m}$ na ulazu. Dubina manja od potrebnih 0,35 m može predstavljati problem pojedinim ribama da uđu u stazu zbog čega se ove varijante ne smatraju uspješnom. Navedeni rezultati ukazuju na potrebu analiziranja i manjeg protoka za ovakvu konfiguraciju uz povećanje razine donje vode, što predstavlja potencijalnu temu za istraživanje. Varijanta 12,5-0,20 zbog iste dubine donje i gornje vode ima najmanje brzine i najujednačeniji tok u stazi na njenom ulazu i izlazu (slika 3 lijevo), a najveće brzine se pojavljuju u površinskom sloju kao i pri nagibu 10 %.



Slika 3. 3D polje brzine za 12,5-0,20 (lijevo), 12,5-0,30 (desno)

Sve tri varijante protoka na stazi s nagibom od 15 % zadovoljavaju uvjete brzinom i dubinom u stazi, od kojih varijanta s najvećim protokom 15-0,28 ne zadovoljava kriterij brzine na ulazu. Za nagibe strmije od 15 % (17,5 % i 20 %) je uočeno je da dubina vode h^* poprima granične vrijednosti od 0,35 m. Kada se eliminiira površinski sloj s najvećom brzinom dubina sloja s brzinom manjim od 2 m/s postaje manjom od 0,35 m što ne zadovoljava uvjete za uspješan prolazak riba. Za velike nagibe poput 20 % potreban je puno veći protok kako bi dubina u stazi bila veća i viša razina donje vode kako ne bi dolazilo do burnog tečenja i hidrauličkog skoka nizvodno. Karakterističan oblik vertikalnog profila brzina na pregradi uvelike ovisi o dubini toka. Iz vertikalnog

profila brzine (slika 4 desno) je vidljivo da on pri većim protocima ne prati logaritamski profil već dolazi do naglog ubrzanja u površinskom sloju. Zona površinskog sloja na ovaj način postaje neupotrebljiva za migraciju te ovaj tip riblje staze postaje nepovoljan pri relativno malom odstupanju od projektnog protoka, što ograničava njegovu primjenu.



Slika 4. 3D polje brzine za 15-0,24 (lijevo) i vertikalni profil brzine (desno)

Ovim istraživanjem se nastojao obuhvatiti raspon protoka i padova u skladu literaturom kako bi rezultati bili usporedivi te je fokus postavljen na manjim padovima prikladnim za vodotoke s malim i kratkim pragovima. Trodimenzionalnim poljem tečenja u ribljoj stazi pokazano je kako se najveća brzina javlja u površinskom sloju za sve varijante, dok u pridnenom sloju koji ribe koriste za prolazak u većini simulacija postoji područje malih brzina. Iz rezultata je izdvojen karakteristični profil brzine po dubini na mjestu pregrade u ribljoj stazi gdje se javljaju najveće brzine te su oni uspoređeni za svaku varijantu za koju je provedena numerička simulacija. Debljina pridnenog sloja s manjim brzinama ovisi o ukupnoj dubini vode u ribljoj stazi uvjetovanoj protokom, nagibom dna i lokalnim gubitcima. Karakteristične brzine i pripadne dubine toka mogu se koristiti kao smjernice pri primjeni pojedine varijante na pragovima u sklopu revitalizacije hrvatskih vodotoka.

ZAKLJUČAK

Denilove riblje staze mogu svladati najveće nagibe dna kanala među tehničkim vrstama ribljih staza, kao i propustiti usporedivo najveći protok. Međutim, analizama provedenim u ovom radu pokazano je da se Denilove riblje staze mogu koristiti i pri manjim nagibima pri čemu zadržavaju funkcionalnost te primjenu za manje ribe i ribe slabih plivačkih sposobnosti. Neke od ispitanih varijanti geometrije i rubnih uvjeta su zadovoljile kriterije brzine i dubine na pregradi, pri čemu se istovremeno dubina i/ili brzina na ulazu u riblju stazu pokazala ograničavajućom. Iz navedenog razloga potrebno je prilikom projektiranja ovakvih hidrotehničkih građevina koristiti trodimenzionalne numeričke modele u svrhu ostvarivanja funkcionalnosti riblje staze pri oscilaciji vodnog režima te optimizacije geometrije predloženog rješenja.

ZAHVALA

Autori žele zahvaliti Hrvatskim vodama za financijsku potporu istraživanju prikazanom u ovom radu kroz projekt „Planiranje i projektiranje ribljih staza“.

LITERATURA

- [1] Armstrong, G.S., Aprahamian, M.W., Fewings, G.A., Gough, P.J., Reader, N.A. & Varallo, P.V., (2010): *Environment Agency Fish Pass Manual: Guidance Notes On The Legislation, Selection and Approval Of Fish Passes In England And Wales*, Almondsbury, Bristol, United Kingdom
- [2] Duplić, A., (2008): *Slatkovodne ribe - Priručnik za inventarizaciju i praćenje stanja*, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, Hrvatska
- [3] FAO, (2002): *Fish passes – Design, dimensions and monitoring*, Rome, Italy
- [4] Fuentes-Pérez, J.F., Silva, A.T., Tuhtan, J.A., García-Vega, A., Carbonell-Baeza, R., Musall, M. & Kruusmaa, M., (2018): *3D modelling of non-uniform and turbulent flow in vertical slot fishways*, *Environmental Modelling & Software*, Environmental Modelling and Software, 99 156-169
- [5] Hrvatske vode, (2013): *Vodič za izradu Planova revitalizacije vodotoka u Hrvatskoj*, Zagreb, Croatia
- [6] Kamula, R. & Barthel, J., (2000): *Effects of modifications on the hydraulics of Denil fishways*, *Boreal environment research*, 5 67-79
- [7] Katopodis, C., (1992): *Introduction to fishway design*, Winnipeg, Manitoba, Canada
- [8] Katopodis, C. & Williams, J.G., (2012): *The development of fish passage research in a historical context*, *Ecological Engineering*, 48 8-18
- [9] Krüger, F., (1994): *Denil-Fischpässe*, *Wasserwirtschaft/Wassertechnik*, 3 24-32
- [10] Larinier, M. & Miralles, A., (1981): *The hydraulic characteristics of baffle-equipped fishways* Canada Institute for Scientific and Technical Information National Research Council Ottawa, Ontario, Canada K1A 0S2, Castanet Tolosan CE-DEX, France
- [11] Larinier, M., (2002): *Baffle fishways*, 83-101
- [12] Mallen-Cooper, M. & Stuart, I.G., (2007): *Optimising Denil fishways for passage of small and large fishes*, *Fisheries Management and Ecology*, 14 61-71
- [13] Marić, M., Ocvirk, E., Gilja, G. & Bujak, D., (2018): *Analysis of hydraulic flow conditions in Denil fish passes*, 10th Eastern European Young Water Professionals Conference - New Technologies in Water Sector (M. Feierabend, O. Novytska, D. Vouk & M. Šabić), University of Zagreb, 75-76
- [14] McLeod, A.M. & Nemenyi, P., (1942): *An Investigation of Fishways*, Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa, USA
- [15] Ocvirk, E., Gilja, G. & Bujak, D., (2017): *Pool fishway hydraulic analysis*, 15th International Symposium Water Management and Hydraulics Engineering (D. Bekić, D. Carević & D. Vouk), Faculty of Civil Engineering Zagreb, Croatia, University of Zagreb, 184-192
- [16] Ocvirk, E. & Gilja, G., (2018): *Planiranje i projektiranje ribljih staza*, Građevinski fakultet Zagreb, Zagreb, Croatia

- [17] Rajaratnam, N. & Katapodis, C., (1983): *A Review and Laboratory Study of the Hydraulics of Denil Fishways*, Canada Department of Fisheries and Oceans Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences,
- [18] Rajaratnam, N. & Katapodis, C., (1984): *Hydraulics of Denil Fishways*, 110 (9), 1219-1233

AUTORI

doc. dr. sc. Gordon Gilja, dipl. ing. građ. ^a

Matea Marić, mag. ing. aedif. ^b

Damjan Bujak, mag. ing. aedif. ^c

izv. prof. dr. sc. Eva Ocvirk, dipl. ing. građ., dipl. ing. mat. ^d

^a Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, ggilja@grad.hr

^b Hidroplan d.o.o., Horvaćanska 17a, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, maric.matea195@gmail.com

^c Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, dbujak@grad.hr

^d Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, ocvirk@grad.hr