

Optimizacija projekta prve etape kanalizacijskog sustava Split/Solin

Nenad Ravlić

Ključne riječi

kanalizacijski sustav
Split/Solin,
projektno rješenje,
optimizacija projekta,
odvodnja,
otpadne vode,
podmorski ispust

Key words

Split - Solin Sewerage
System,
design solution,
project optimization,
evacuation,
waste water,
undersea discharge

Mots clés

système de canalisation
Split/Solin,
solution de projet,
optimisation du projet,
évacuation des eaux,
eaux usées,
exutoire sous-marin

Ключевые слова

канализационная
система Сплит-Солин,
проектное решение,
оптимизация проекта,
отведение вод,
сточные воды,
подводный водоспуск

Schlüsselworte

Abwassersystem
Split/Solin,
Entwurfslösung,
Optimierung des
Projekts, Abfuhr,
Abwasser,
Unterseeauslauf

N. Ravlić

Pregledni rad

Optimizacija projekta prve etape kanalizacijskog sustava Split/Solin

U radu se opisuje metodološki pristup i načela optimalnog projektog rješenja ključnih dijelova kanalizacijskog sustava Split/Solin. Posebno je istaknuta optimizacija prve etape izgradnje završnog dijela kanalizacijskog sustava te potreba afirmacije principa odgovarajućeg pročišćavanja i načina ispuštanja otpadne vode, kao neizbježnog koraka u postupnom rješavanju dugo zanemaranog problema odvodnje, pročišćavanja i podmorske dispozicije otpadnih voda u gradovima Split i Solin.

N. Ravlić

Subject review

Project Optimization for the First Stage of the Split - Solin Sewerage System

The methodological approach and main principles used in finding an optimum design solution to key portions of the Split - Solin Sewerage System are described in the paper. A special emphasis is placed on optimization of the first stage of construction of the final portion of the sewerage system, and it is stressed that an adequate weight must be placed on the imperative need for appropriate waste water treatment and discharge, as it is an unavoidable step in the direction of solving the problem of evacuation, treatment and undersea disposal of waste water in Split and Solin, which has been unjustly neglected for a very long time.

N. Ravlić

Ouvrage de syntèse

Optimisation du projet de la première phase du système de canalisation Split/Solin

L'article décrit l'approche méthodologique et les principes de la solution a mieux adaptée aux points clés du système de canalisation Split/Solin. Un accent particulier est mis sur l'optimisation de la première phase de la construction de la partie terminale du système de canalisation, ainsi que sur la nécessité du principe d'une épuration et d'une méthode adéquates d'évacuation des eaux usées, qui représente un pas incontournable pour résoudre progressivement le problème longtemps d'évacuation, d'épuration et de disposition sous-marine des eaux usées dans les villes de Split et Solin

Н. Равлич

Обзорная работа

Оптимизация проекта первого этапа канализационной системы Сплит-Солин

В работе описывается методологический подход и принципы оптимального проектного решения ключевых частей канализационной системы Сплит-Солин. Особо подчеркнута оптимизация первого этапа строительства заключительной части канализационной системы, а также потребность аффирмации принципа соответствующего прочищения и способа выпуска сточных вод, как неизбежного шага в постепенном решении долго остающейся без внимания проблемы отведения воды, прочищения и подводного размещения сточных вод в городах Сплит и Солин.

N. Ravlić

Übersichtsarbeit

Optimierung des Projekts der ersten Etappe des Abwassersystems Split/Solin

Im Artikel beschreibt man den methodologischen Zutritt und die Grundsätze der optimalen Entwurfslösung der grundlegenden Teile des Abwassersystems Split/Solin. Besonders hervorgehoben ist die Optimierung der ersten Etappe des Ausbaus des Abschlussteils des Systems, sowie die Notwendigkeit der Affirmation des Prinzips der entsprechenden Reinigung und der Weise der Auslassung der Abwässer, als unvermeidlichen Schrittes in der stufenweisen Lösung des lang vernachlässigten Problems der Abfuhr, Reinigung und Underseedisponierung der Abwässer in den Städten Split und Solin.

Autor: Dr. sc. Nenad Ravlić, dipl. ing. građ., Institut građevinarstva Hrvatske d.d., PC Rijeka

1 Uvod

Gradovi Split i Solin u ovome trenutku čine veliki iskorak prema trajnom rješavanju dugo zanemarivanog problema odvodnje i pročišćavanja gradskih otpadnih voda, koji se javio kao posljedica stihijskog i nekontroliranog razvoja u nekoliko posljednjih desetljeća.

Realizacija prve etape MEIP (*Municipal Environmental Infrastructure Programme*) projekta izgradnje kanalizacijskog sustava Split/Solin jest kruna višegodišnjih napora domaćih stručnjaka na iznalaženju racionalnog i dugoročno održivog rješenja utemeljenog na čvrstoj znanstvenoj podlozi i spoznajama o stanju okoliša u širem prostoru.

Prema opsegu planiranih, započetih i dijelom već izvršenih radova, projekt prve etape izgradnje kanalizacijskog sustava Split/Solin jedan je od najvećih sanitarno-hidrotehničkih zahvata u zemlji, pa stoga nije čudno što privlači znatnu pažnju stručne i šire javnosti.

U ovome radu taj se projekt promatra s projektantskog stajališta, pri čemu je u središtu interesa metodološki pristup te zaključci do kojih se je došlo pri definiranju optimalnoga projektnog rješenja prve etape izgradnje pojedinih bitnih funkcionalnih dijelova kanalizacijskog

sustava Split/Solin. Posebno je istaknut završni dio kanalizacijskog ustava (uređaj za pročišćavanje i podmorski ispušt), čijom se izgradnjom trajno definira okosnica budućeg centraliziranog sustava prikupljanja, pročišćavanja i podmorske dispozicije otpadnih voda u gradovima Split i Solin.

2 Koncept rješenja odvodnje u Splitu i Solinu

Krajem osamdesetih i početkom devedesetih godina prošlog stoljeća, u okviru projekta [1], postavljene su osnove konceptijskog rješenja problema otpadnih voda u širem prostoru Kaštelanskog zaljeva.

Tada usvojeni koncept rješenja za gradove Split i Solin počiva na sljedećim osnovama:

- Kaštelanski zaljev, kao poluzatvoreni akvatorij, ne može biti trajni prijemnik otpadnih voda gradova koji ga okružuju
- Akvatorij Splitskog i Bračkog kanala osjetno je većeg prihvatnog kapaciteta sa stajališta ispuštanja pročišćenih gradskih otpadnih voda [2], [3]
- Dugoročno rješenje kanalizacijskog sustava područja Splita i Solina sastoji se u izgradnji centraliziranoga kanalizacijskog sustava, sa središnjim uređajem za



Slika 1. Generalni koncept rješenja prve etape izgradnje kanalizacijskog sustava Split/Solin

pročišćavanje otpadnih voda (CUPOV) *Stupe* i pripadajućim podmorskim ispustom u Stobreču.

Navedene polazne osnove definirale su okvir idejnoga tehničkog rješenja [4] za glavne objekte kanalizacijskog sustava koji trebaju osigurati centralizirano skupljanje otpadne vode, odvođenje iz sliva koji gravitira Kaštelanskom zaljevu, pročišćavanje i konačnu dispoziciju u more Bračkog kanala.

Radi stvaranja pretpostavki za postupno rješavanje problema, u prvoj etapi izgradnje predviđena je izgradnja sljedećih komponenata kanalizacijskog sustava Split/Solin (slika 1.):

- dijela glavne kanalizacijske mreže, crpnih stanica i preljevnih građevina kanalizacijskog podsustava Dujmovača te kanalizacijske mreže i crpnih stanica podsustava Solin i Stobreč, s pripadajućom komunalnom infrastrukturom
- hidrotehničkog tunela s glavnim dovodnim kolektorima i pripadajućom komunalnom infrastrukturom
- uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (prva etapa izgradnje) s pripadajućom komunalnom infrastrukturom
- podmorskog ispusta (prva etapa izgradnje) s pripadajućom komunalnom infrastrukturom
- energetskog sustava objekata kanalizacijskog sustava
- daljinskog sustava za upravljanje i nadzor objektima kanalizacijskog sustava.

3 Postupnost rješavanja problema skupljanja, obrade i pročišćavanja otpadnih voda u Splitu/Solinu

Kao što je već istaknuto izgradnja glavnih objekata prve etape MEIP projekta Split/Solin samo je prvi korak k uspostavi centraliziranog sustava skupljanja, obrade i pročišćavanja otpadnih voda u Splitu i Solinu. I na razini čitavog kanalizacijskog sustava Split/Solin, tako i na nižim razinama, koncept etapnosti izgradnje i postupnosti rješavanja problema otpadnih voda opravdan je iz sljedećih razloga:

- sekundarna kanalizacijska mreža nije dovoljno razvijena u većem dijelu sliva koji gravitira objektima prve etape izgradnje (naročito u Stobreču i Solinu)
- kompozitni sastav objedinjenih otpadnih voda za koje je potrebno definirati optimalnu tehnologiju pročišćavanja nije moguće pouzdano predvidjeti, a postojeći podaci dugogodišnjeg praćenja kakvoće otpadne vode [5] pokazuju njezinu nepodobnost za zahtjevnije postupke čišćenja
- u današnjim uvjetima (ne)uređenosti sustava odlaganja krutog otpada u širem području, nije moguće odabrati ekološki sigurno rješenje odlaganja mulja s

uređaja za pročišćavanje, a da se pritom ne generiraju novi konflikti u prostoru.

Navedeni faktori utjecali su na prijedlog sljedeće dinamike etapne izgradnje glavnih objekata kanalizacijskog sustava Split/Solin:

- kanalizacijska mreža, crpne stanice, preljevne građevine i drugi objekti na mreži grade se u skladu s potrebama na kraju planskog razdoblja (2025. godina), a ugradnja crpki i prateće hidromehaničke opreme prilagodit će se potrebama etapne izgradnje sustava
- hidrotehnički tunel *Stupe* gradi se u skladu s potrebama na kraju planskog razdoblja (2025. godina)
- uređaj za pročišćavanje *Stupe* gradi se u (najmanje) dvije etape, pri čemu se u svakoj etapi moraju primijeniti najmanje dvije tehnološke linije
- podmorski se ispust gradi u skladu s dinamikom izgradnje uređaja za pročišćavanje.

Koncept postupnosti izgradnje uređaja i ispusta predstavlja mjeru opreza kojom se kompenziraju sve nepoznanice i nepredvidivi čimbenici koji mogu bitno utjecati na pogonske karakteristike i efikasnost tog dijela sustava koji ima ključnu ekološku funkciju.

Pritom, naravno, valja poštovati princip da svaka etapa izgradnje uređaja i ispusta mora rezultirati poboljšanjem kakvoće mora u Kaštelanskom zaljevu i čitavom priobalnom pojasu Bračkog i Splitskog kanala koji je namijenjen kupanju i rekreaciji.

Zahvaljujući konfiguraciji kanalizacijskog sliva koji gravitira objektima prve etape izgradnje, gdje tek mali dio otpadne vode (oko 15 %) gravitacijski dotječe na uređaj i ispust, tehnički je moguće u prijelaznom razdoblju između dvije etape izgradnje uvesti *fizičko ograničenje* količina otpadne vode koja se prebacuje iz sliva Kaštelanskog zaljeva u sliv Bračkog kanala.

Ograničavanjem i međusobnim usklađivanjem kapaciteta crpki i propusne moći podmorskog ispusta u prvoj etapi izgradnje, projektnim se rješenjem može uspostaviti *fizička* barijera nekontroliranom povećavanju emisije zagađenja u more Bračkog kanala prije izgradnje uređaja s *potrebnim* (konačnim) stupnjem pročišćavanja. Sve količine otpadne vode koje nadmašuju instalirane kapacitete crpenja u mješovitom dijelu kanalizacijskog sustava mogu se rasteretiti u najbliži recipijent (istočni dio Kaštelanskog zaljeva). S obzirom na to da se kanalizacijska mreža i sabirni zdenci svih crpnih stanica dimenzioniraju na konačno plansko razdoblje, veliki retencijski kapacitet kanalizacijskog sustava praktično implicira da će se rasterećivanje razrijeđene otpadne vode događati samo u kišnom razdoblju, s ograničenim štetnim utjecajem na istočni dio akvatorija Kaštelanskog zaljeva u kojem je današnje stanje ionako kronično nezadovoljavajuće.

4 Tehničko-ekonomska optimizacija sustava

4.1 Ciljevi i okviri optimizacije

S obzirom na ograničene financijske mogućnosti MEIP projekta Split/Solin, posebna pozornost posvećena je optimizaciji tehničko-tehnoloških karakteristika glavnih objekata u prvoj etapi izgradnje sustava [6].

Iako su optimizacijske analize bile usmjerene k mogućim racionalizacijama u prvoj etapi izgradnje (s projektним razdobljem do 2010. godine), one nisu smjele rezultirati u ograničenjima koja se u dugoročnom projektном razdoblju (2025. godina) mogu pokazati tehnički neopravdanima, a samim time i ekonomski neefikasnim.

Osim navedenih kriterija, optimizacijske analize trebale su voditi računa o ograničenjima i uvjetima definiranim u brojnoj postojećoj dokumentaciji, posebno Studiji o utjecaju na okoliš [7] [8], Studiji izvedivosti [9], Idejnom rješenju objedinjavanja tehničkih parametara sustava [10] te Lokacijskoj dozvoli [11].

U tom kontekstu, projektни zadatak tehničko-ekonomske optimizacije je u središte interesa stavio optimizaciju elemenata sustava uređaj-ispust (razina pročišćavanja, duljina i dimenzije podmorskog ispusta), analizu optimalnih visinskih odnosa u sustavu te usporednog rada glavnih crpnih stanica, uređaja i ispusta.

4.2 Metodološki pristup optimizaciji sustava

Optimalno rješenje (lat. *optimus* – najbolji, najpovoljniji, koji najbolje odgovara) kanalizacijskog sustava u cjelini i pojedinih njegovih dijelova ovisi o kriterijima vrednovanja koji se općenito mogu podijeliti u tri osnovne grupe: tehnički, ekonomski i društveni.

Tehnički optimalno rješenje je ono koje osigurava fleksibilnost i koje ispravno funkcionira u najvećem broju očekivanih pogonskih uvjeta u planskom razdoblju projekta. Ekonomski optimalno rješenje je ono koje je ukupno ekonomski najefikasnije u promatranom planskom razdoblju. S društvenog stajališta, optimalno je ono rješenje koje u ekonomske analize osim tzv. *commercial discounting rate* uključuje i tzv. *social discounting rate* (stopa koja je osjetno niža kada je riječ o dugoročnom rješavanju pitanja odvodnje i dispozicije otpadnih voda), čime se paramaterizira stav o stimulatívnoj i razvojnoj komponenti izgradnje kanalizacijskog sustava kao bitne civilizacijske odrednice.

Dakle, okruženje u kojem je potrebno definirati optimalno rješenje glavnih objekata prve etape izgradnje kanalizacijskog sustava Splita i Solina uvjetuje brojna ograničenja, pri čemu se pojam optimalnosti često može poistovjetiti s pojmom provedivosti, a optimalna opcija često biva *najbolja provediva opcija*.

Općenito, iznalaženje *optimalne* opcije jest iterativni proces koji je u konkretnom slučaju sproveden u dva osnovna koraka:

U prvoj iteraciji sprovedena je klasična tehničko-ekonomska analiza rješenja za dugoročno plansko razdoblje projekta (2025. godina), pri čemu se tražilo tehničko rješenje koje omogućava faznu izgradnju u racionalnom broju etapa, fleksibilnost rada u redovnom pogonu i za vrijeme održavanja te koje iskazuje najveću ukupnu ekonomsku efikasnost.

U drugoj iteraciji, zbog objektivno niskog stupnja izgrađenosti nekih dijelova kanalizacijskog sustava Splita i Solina, dugoročno optimalno rješenje dodatno se provjeravalo sa stajališta osiguravanja minimuma funkcionalnosti u početnim (“nultim”) fazama rada sustava. U onim slučajevima u kojima nije bilo moguće ostvariti operativnost i pogonsku sigurnost dijelova sustava neposredno nakon puštanja u pogon, nužno je bilo korigirati dugoročno optimalno rješenje radi osiguravanja funkcionalnosti sustava u kraćem planskom razdoblju.

Takav pristup optimizacijskoj analizi omogućio je ispunjavanje bitnog projektного kriterija (koji osim tehničke ima i socijalno-psihološku komponentu) kojim se traži da bilo koja etapa izgradnje sustava treba rezultirati poboljšanjem stanja u prostoru, što je moguće postići samo punom funkcionalnišću izgrađenih objekata neposredno nakon puštanja u pogon.

4.3 Procjena i optimizacija hidrauličkog opterećenja u kanalizacijskom sustavu Split/Solin

Jedan od najvažnijih čimbenika sprovedenih optimizacijskih analiza bila je procjena dinamike povećanja te konačnih planskih veličina hidrauličkog opterećenja u kanalizacijskom sustavu. Pritom se pošlo od sljedećih polaznih osnova:

- priključenje Južnog sliva grada Splita na centralizirani sustav s uređajem i podmorskim ispustom u Stobreću ostaje i dalje valjano konačno rješenje koje se, međutim, neće realizirati u planskom razdoblju MEIP projekta (do 2025. godine)
- specifična potrošnja, prognozirani broj i prostorna distribucija potrošača te oscilacije u potrošnji vode različitih kategorija potrošača trebaju biti usklađeni s noveliranim veličinama iz MEIP projekta poboljšanja vodoopskrbe [12], koji prihvaća opći trend smanjenja potrošnje vode i realnije uočava ukupne potrebe za vodom u području Kaštelanskog zaljeva
- sva postojeća (mješovita i razdjelna) kanalizacija u gradovima Splitu i Solinu mora biti u cijelosti priključena na novoizgrađene glavne objekte sustava, a svi novi kanalizacijski podsustavi graditi će se kao razdjelni

- otpadnu vodu treba zadržavati u mješovitom kanalizacijskom sustavu do dovoljno visokih razrjeđenja, nakon čega se može dozvoliti prelijevanje u akvatorij Kaštelanskog zaljeva [13].

U skladu s usvojenom općom metodologijom optimizacijskih analiza, revizija projektnih veličina hidrauličkog opterećenja za pojedine dijelove kanalizacijskog sustava izvršena je u nekoliko koraka.

U prvom koraku, radi dobivanja mjerodavnih veličina za dimezioniranje završnog dijela kanalizacijskog sustava, izvršena je procjena hidrauličkog opterećenja za dva planska razdoblja (2010. i 2025.), pri čemu se čitavo slivno područje promatralo kao jedinstveni sustav s gravitacijskim dotokom na uređaj za pročišćavanje.

U drugom koraku, radi dobivanja mjerodavnih veličina za dimenzioniranje crpnih stanica i preljevni građevina, detaljno je analizirano hidrauličko opterećenje na razini pod-slivova pojedinih objekata (2010. i 2025.).

Konačno, u svrhu usvajanja mjerodavnih vrijednosti te dinamičkog spoznavanja rada sustava u sušnom i kišnom razdoblju, sprovedena je dinamička analiza rada sustava na matematičkom modelu, čime su uzeti u obzir razvedena visinska i tlocrtna geometrija sustava, različiti režimi crpenja otpadne vode, neistodobnost dotoka i crpenja iz različitih pravaca, retardacijski efekt te retencijski kapacitet sustava. Rezultati modeliranja imali su kontrolnu svrhu, odnosno omogućili su završno optimiziranje mjerodavnih veličina hidrauličkog opterećenja koje su bile "statički" analizirane u prvom i drugom koraku.

U skladu s opisanom metodologijom, dobivene su sljedeće mjerodavne projektne veličine hidrauličkog opterećenja za završni dio kanalizacijskog sustava, tj. uređaj i ispust (tablica 1.).

Tablica 1. Mjerodavne projektne veličine hidrauličkog opterećenja u završnom dijelu kanalizacijskog sustava (bez priključenja južnog sliva)

	2010.	2025.
Srednja dnevna (m ³ /dan)	29.500	37.500
Maksimalna ljetna (m ³ /dan)	37.000	47.500
Maksimalna satna, sušni razdoblje (l/s)	700	860
Maksimalna satna kišni razdoblje (l/s)	1.600	1.900

Detaljna analiza hidrauličkog opterećenja na razini manjih pod-slivova rezultirala je u usvajanju konačnih projektnih kapaciteta crpenja u crpnim stanicama kanalizacijskog sustava Split/Solin (tablica 2.):

Tablica 2. Projektne kapacitete crpenja u crpnim stanicama kanalizacijskog sustava Split/Solin (projektno razdoblje 2025.)

	Q _{instalirano}	
	Q _{inst} ^{sušno} (l/s)	Q _{inst} ^{kišno} (l/s)
CS Duje	150	420
CS Dujmovača	405	840
CS Vranjic 3	110	
CS Solin	320	
CS Šine	310	

Projektne veličine iz tablica 1. i 2. podrazumijevaju 100%-tnu izgrađenost kanalizacijskog sustava na čitavom gravitirajućem prostoru crpnih stanica i puno ostvarivanje planiranog porasta broja stanovnika, turista te industrijske i javne potrošnje vode prema procjenama iz projekta poboljšanja vodoopskrbe [12].

Može se primijetiti da zadržavanje oborinskog vala u mješovitom kanalizacijskom sustavu do kritičnoga oborinskoga protoka kada započinje prelijevanje u recipijent rezultira velikim razlikama u sušnim i kišnim dotocima na crpne stanice u mješovitom dijelu sustava. Ova činjenica uputila je na odabir dvojnog režima crpenja sa dva različita tipa crpki (tzv. "sušne" i "kišne") u mješovitom dijelu sustava, čime su se postigli sljedeći pozitivni optimizacijski efekti: elastičnost režima crpenja, elastičnost u odabiru i faznoj ugradbi crpki ("kišne" crpke moguće je ugraditi tek nakon dostizanja punog kapaciteta crpenja "sušnih" crpki u paralelnom radu) te zadržavanje (najzagađenijeg) početka oborinskog vala u kanalizacijskom sustavu bez izgradnje dopunskih retencijskih kapaciteta.

Navedena razmatranja rezultirala su usvajanjem sljedećih principa projektiranja crpnih stanica mješovitog kanalizacijskog sustava:

- oblik crpnog zdenca u crpnim stanicama mješovitog kanalizacijskog sustava treba osigurati potreban broj uključivanja crpki u svim očekivanim pogonskim uvjetima dvojnog režima crpenja u sušnom i kišnom razdoblju
- dotok otpadne vode u sušnom razdoblju potrebno je crpiti tzv. "sušnim" crpkama iz "sušnog" dijela crpnog zdenca, a u uvjetima porasta vodostaja u "kišnom" dijelu crpnog zdenca potrebno je aktivirati tzv "kišne" crpke, čiji je režim rada potrebno odvojiti od režima rada "sušnih" crpki
- broj i jedinični kapacitet crpki potrebno je odrediti na temelju hidrauličkih kriterija koji vrijede za sustav crpna stanica-tlačni cjevovod, geometrije crpnog zdenca te kriterija osiguravanja pogonske sigurnosti rada u slučaju ispada jedne crpke iz pogona

- radi sprječavanja anaerobnih procesa u “sušnom” dijelu crpnog zdenca u uvjetima malih dotoka, potrebno je osigurati tehničko rješenje za aeriranje otpadne vode te pročišćavanje neugodnih mirisa.

U razdjelnom kanalizacijskom sustavu usvojen je princip projektiranja crpnih stanica:

- broj i jedinični kapacitet crpki potrebno je odrediti na temelju očekivanih dotoka u sušnom razdoblju, povećanih za dotok tzv. “tuđih” voda u kišnom razdoblju (40 % srednjih dnevnih količina).

S obzirom na to da se crpne stanice razdjelnoga kanalizacijskog sustava nalaze u području s najnižim stupnjem pokrivenosti kanalizacijskim sustavom, u drugom koraku optimizacijske analize bila je nužna dopunska provjera uvjeta “nultog” hidrauličkog opterećenja. U onim slučajevima kada “nulta” hidraulička opterećenja znatno odstupaju od procijenjenih količina na kraju planskog razdoblja, bilo je potrebno izvršiti reviziju dugoročno optimalnih karakteristika crpnih stanica (dimenzije crpnog zdenca, broj cijevi i dimenzije tlačnog cjevovoda, broj crpki) te provjeriti utjecaje na dimenzije završnog dijela sustava (uređaj i ispušt).

Analiza mogućnosti priključivanja potrošača u “nultoj” etapi rada sustava upozorila je na posebno kritičnu situaciju na području sliva CS Šine, gdje je današnji stupanj pokrivenosti područja kanalizacijom na daleko najnižoj razini. U tim uvjetima dugoročno optimalna etapnost izgradnje crpne stanice i tlačnog cjevovoda ne omogućava tehnički ispravno rješenje u “nultoj” etapi rada, pa je nužno povećati startni stupanj pokrivenosti područja kanalizacijom, a karakteristike crpne stanice i tlačnog cjevovoda prilagoditi revidiranim količinama u kraćem projektnom razdoblju.

Navedene optimizacijske analize rezultirale su odabirom sljedećim crpki u glavnim crpnim stanicama kanalizacijskog sustava Split/Solin u prvoj etapi izgradnje (tablica 3.):

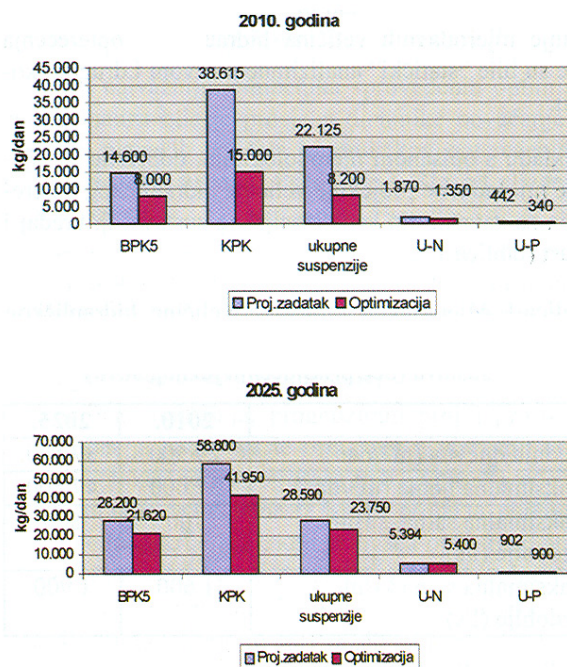
Završna provjera ispravnosti usvojenih projektnih veličina te dinamička kontrola režima crpenja i ukupnih dotoka na završni dio kanalizacijskog sustava sprovedena je s pomoću matematičkog modela [14]. Dinamičke simulacije dnevnih dotoka na uređaj i ispušt za različite režime crpenja u sušnom i kišnom razdoblju potvrdile su pretpostavku o smanjivanju dnevnih maksimuma (15% u sušnom i 8% u kišnom razdoblju), kao posljedice razvedenosti sustava, dugačkog transporta i neistodobnosti crpenja otpadne vode iz različitih smjerova. Niži postotak smanjivanja dnevnih maksimuma dotoka u kišnom razdoblju očekivan je zbog veće vjerojatnosti istodobnog crpenja iz različitih pravaca, kada su aktivirani svi crpni potencijali.

Tablica 3. Karakteristike crpki u crpnim stanicama kanalizacijskog sustava Split/Solin (prva etapa izgradnje)

Karakteristika	CS Šine	CS Vranjic 3	CS Duje	CS Dujmovača
instalirani kapacitet sušnih crpki (l/s)	65	70	150	405
ukupni broj sušnih crpki	2	2	3	3
režim rada sušnih crpki	1+1	1+1	2+1	2+1
ukupni broj kišnih crpki	-	-	sušne = kišne	sušne = kišne
režim rada kišnih crpki	-	-	3+0	3+0
maks. količina crpenja u kišnom razdoblju (l/s)	65	70	220	595

4.4 Procjena tereta zagađenja na uređaju za pročišćavanje

S obzirom na to da podaci *monitoringa* kakvoće komunalnih otpadnih voda u Splitu [5] pokazuju visok stupanj razrijeđenosti i procese samopročišćavanja za transporta kanalizacijskim sustavom, procjena tereta zagađenja u otpadnim vodama domaćinstava i turizma izvršena je (radi sigurnosti) na temelju parametara srednjeg dnevnog



Slika 2. Procijenjeni teret zagađenja na uređaju za pročišćavanje za dva planska razdoblja (2010. i 2025.) te usporedba s veličinama iz Projektne zadatka

nog opterećenja otpadnom tvari: $BPK_5 = 60$ mg/st. dan, $KPK = 120$ mg/st. dan, ukupne suspenzije $= 70$ mg/st. dan.

Procjena tereta zagađenja u otpadnim vodama industrije za različita planska razdoblja izvršena je na temelju stvarnih (izmjerenih) koncentracija pojedinih indikatora zagađenja na izvoru [15], budući da je pouzdanost tih podataka zadovoljavajuća.

Rezultati procjene tereta zagađenja za dva planska razdoblja prikazani su na slici 2. Radi usporedbe, prikazane su i veličine iz Projektnog zadatka koje su dobivene na temelju podataka o industrijskim otpadnim vodama u razdoblju koji je prethodio krizi i gašenju većeg broja industrijskih pogona u gravitirajućem području.

Dakle, procijenjeni ukupni teret zagađenja na uređaju za pročišćavanje odgovara opterećenju od 135.000 ES-a u 2010. godini te 360.000 ES-a u 2025.

5 Optimizacija sustava uređaj-ispust

U tehnološkom smislu, projektno rješenje uređaja za pročišćavanje u prvoj etapi izgradnje i u konačnom stanju izgrađenosti bazirano je na zaključcima studije izvedivosti [9], koja je utvrdila da na lokaciji Stupe postoji dovoljno prostora za razvijanje svih poznatih tehnologija II. stupnja čišćenja, uključivo i onih prostorno najzahtjevnijih. Sa stajališta pouzdanosti optimalnom je ocijenjena konvencionalna tehnologija s aktivnim muljem, koja se sastoji od sljedećih funkcionalnih cjelina, prostorno optimiziranih u skladu s postojećom konfiguracijom terena na lokaciji Stupe kod Stobreča (slika 3.):

- prihvati i obrada sadržaja septičkih jama
- mehaničko pročišćavanje (gruba rešetka i sito)
- uklanjanje pijeska i masti (aerirani pjeskolov/mastolov)
- taloženje (primarni taložnici)
- konvencionalni postupak s aktivnim muljem i taloženjem u naknadnim taložnicama
- dezinfekcija
- zgušnjavanje mulja
- stabilizacija mulja (anaerobna digestija)
- ocjeđivanje mulja
- transport i odlaganje stabiliziranog mulja na pogodnim lokacijama

I u ovom je slučaju, metodologija tehničko-ekonomske optimizacije sustava uređaj-ispust sprovedena u više koraka. U prvom su koraku izvršene odvojene analize radi utvrđivanja optimalne tlocrtne i visinske konfiguracije uređaja na zadanoj lokaciji (za konačno stanje izgrađenosti) te elemenata (profil i broj cijevi, elementi difuzorske sekcije, mogućnost gravitacijskog ispuštanja) podmorskog ispusta s definiranom trasom i različitim (konačnim) lokacijama podmorske dispozicije.



Slika 3. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Stupe – konvencionalni postupak s aktivnim muljem (kompjutorska vizualizacija)

U drugom koraku, s obzirom na usvojeni koncept fizičkog ograničavanja količina otpadnih voda u prvoj etapi rada uređaja i ispusta, provjereni su utjecaji na kakvoću mora za različite kombinacije razvijenosti uređaja i dužine podmorskog ispusta, radi iznalaženja one varijante koja osigurava postizanje zadanog cilja (tj. zakonski definiranih standarda kakvoće mora u obalnom rekreativnom pojasu te redukcije relevantnih indikatora zagađenja u zoni ispuštanja) s minimumom ulaganja, tehnoloških rizika te nepoznanica u prvoj etapi izgradnje sustava.

Zahvaljujući konfiguraciji kanalizacijskog sustava koji se priključuje na uređaj u prvoj etapi izgradnje, u optimizacijskim analizama otvorena je i iskorištena mogućnost potpune kontrole i upravljanja uvjetima “najgoreg mogućeg scenarija”, odnosno maksimalnoga hidrauličkog opterećenja i tereta zagađenja koje se prebacuje iz sliva Kaštelanskog zaljeva u sliv Bračkog kanala.

“Najgori mogući scenarij” u prvoj etapi izgradnje karakteriziraju maksimalne protoke otpadne vode na uređaju i ispustu (tablica 4.).

Tablica 4. Mjerodavni (maksimalni) protoci za dimenzioniranje uređaja i ispusta u prvoj etapi izgradnje

Uređaj i ispust	
maksimalni satni protok za sušno razdoblje (l/s)	maksimalni satni protok za kišno razdoblje (l/s)
510	820

Osim što je izborom crpki u crpnim stanicama prve etape izgradnje uveden gornji limit crpenja na uređaj i ispust, postavljena je još jedna fizička barijera nekontroliranom povećanju količine otpadnih voda na uređaju i ispustu. Naime, izborom profila cijevi podmorskog ispusta koji gravitacijski odvodi otpadnu vodu (DN 1000), uvedena je i druga fizička barijera za sprječavanje nekontroliranog povećanja količina ispuštanja u podmorje Bračkog

kanala, budući da se s odabranim profilom cijevi *ne mogu* gravitacijski ispuštati količine veće od veličina iz tablice 4.

Logičnost i tehničko-ekonomska opravdanost takvog pristupa može se opravdati s nekoliko ključnih argumenata:

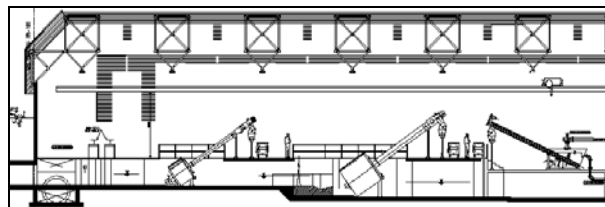
- šira (društvena) korist, a osobito ekološka korist, ne postiže se pukim prebacivanjem zagađenja s jednog mjesta na drugo. U tom kontekstu, ograničavanje crpenja otpadne vode iz jednog sliva u drugi određuje ujedno i maksimum tereta zagađenja koje se prebacuje iz Kaštelanskog zaljeva u Brački kanal, koji se s tim zagađenjem može dokazano uspješno nositi ako se otpadna voda podvrgne barem mehaničkom pročišćavanju i uklanjanju zagađivala lakših od vode [3]
- poštivanje gornjih ograničenja nameće se uspostavom *fizičkih* barijera, pri čemu *privremeno rješenje* (s obzirom na svoju ograničenu propusnu moć) *ne može ni u kom slučaju postati trajno i konačno*
- vrijeme u kojem privremeno rješenje mora zadovoljavajuće funkcionirati mora se iskoristiti za povećanje postotka pokrivenosti kanalizacijom (do veličine koja će jamčiti ujednačenost i stabilnost kakvoće prikupljene otpadne vode) te za praćenje efikasnosti rada različitih tehnologija viših stupnjeva pročišćavanja na odgovarajućim "pilot" postrojenjima. Istodobno, intenzivni *monitoring* obalnog mora i mora u zoni podmorske dispozicije mora dati odgovor na pitanje o potrebnoj razini konačnog stupnja pročišćavanja i pravom trenutku (potrebi) njegova uvođenja.

5.1 Izbor sheme pročišćavanja u prvoj etapi izgradnje

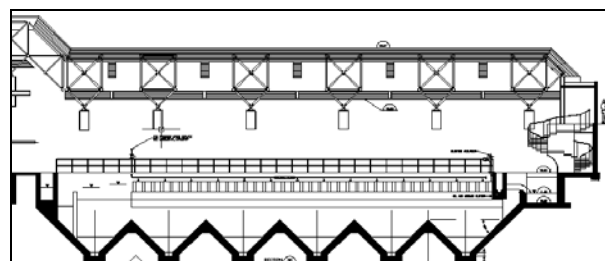
Zakonska kategorija "odgovarajućeg stupnja pročišćavanja", koja predstavlja primjenu bilo kojeg postupka čišćenja ili načina ispuštanja voda kojim se u ispuštenim vodama i u prirodnom prijamniku postižu propisane dopuštene vrijednosti za utvrđene pokazatelje, pretpostavljena je u prvoj etapi izgradnje uređaja *Stupe* kategoriji "potrebnog stupnja pročišćavanja" iz razloga koji su objašnjeni u prethodnom paragrafu. Ovakav stav ni u kom slučaju ne dezavuiraju kategoriju potrebnog (konačnog) stupnja pročišćavanja, kojeg je međutim, potrebno izgraditi tek onda kada se ispune svi tehničko-tehnološki uvjeti i obave istraživačke pregradnje koje osiguravaju njegovu punu efikasnost.

U međuvremenu se niža razina pročišćavanja kompenzira odgovarajućim načinom ispuštanja, kojim se (u skladu s propisima) u sanitarnom smislu čuva obalni pojas širine 300 m, a moru u okolici difuzora prepušta da svojim autopurifikacijskim sposobnostima odigra ulogu prirodnog pročišćivača, čija "imitacija" na uređaju (osim znatnih ulaganja s upitnom efikasnošću) rezultira novim utjecajima na okoliš (mulj).

Eventualni viši (prvi) stupanj pročišćavanja u prvoj etapi izgradnje (s prvenstvenom svrhom u smanjivanju sadržaja suspendiranih tvari na maks. 150 mg/l), nema solidne tehničke opravdanosti s obzirom na današnji sastav sirove otpadne vode, kojeg u dužem razdoblju praćenja karakteriziraju izmjerene vrijednosti ukupnih suspenzija ispod te granične vrijednosti [5].



(a) presjek kroz kanal s rešetkom (10 mm) i finom rešetkom-sitom (2 mm)



(b) presjek kroz aerirani pjeskolov-mastolov

Slika 4. Prva etapa razvoja CUPOV-a Stupe - uređaj s prethodnim stupnjem pročišćavanja

Imajući na umu navedeno, shema prethodnog pročišćavanja s grubim (10 mm), finim (2 mm) rešetkama/sitima i aeriranim pjeskolovom/mastolovom (slika 4.) može se smatrati optimalnom za prvu etapu izgradnje, budući da sigurno zadovoljava uvjete sprječavanja pojave vidljivog zagađenja u moru, omogućava realno uklanjanje suspendiranih tvari u rasponu od 15-25%, te je ujedno i najneutralnija u odnosu na hidrauličke parametre i oscilacije kakvoće sirove otpadne vode.

S obzirom na to da su maksimalne količine dotoka otpadnih voda na uređaj u prvoj etapi izgradnje fizički ograničene na 820 l/s, potrebno je opremiti najmanje dvije tehnološke linije istog kapaciteta (radna + rezervna). Treća linija će ostati neopremljena u prvoj etapi izgradnje, a može se aktivirati u trenutku kada se poveća količina crpenja na uređaj ili kada se pojavi potreba za povećanom pogonskom sigurnošću i fleksibilnošću rada dijela uređaja s prethodnim stupnjem pročišćavanja.

5.2 Izbor dužine podmorskog ispusta u prvoj etapi izgradnje

Dnevne i sezonske neravnomjernosti u dotoku otpadnih voda na uređaj i ispus u prvoj etapi izgradnje rezultirat će intermitentnom (isprekidanom, obročnom) ispuštanjem otpadne vode putem podmorskog ispusta. Naime, svi dotoci u ispus koji su niži od 700 l/s ne zadovoljavaju

kriteriju potrebnih brzina tečenja u cijevi ispusta, ni kriterij potrebnih izlaznih brzina na mlaznicama difuzorske sekcije. Stoga je za sve projektne protoke sušnog razdoblja potrebno osigurati sredstvo regulacije ispuštanja, koje mora otpadnu vodu zadržavati u kopnenom dijelu ispusta sve do dovoljno visokih vodostaja koji osiguravaju gravitacijski tok u zahtjevanom hidrauličkom (tlačnom) režimu tečenja u podmorskom dijelu ispusta i na difuzorskoj sekciji.

Zona podmorske dispozicije u akvatoriju ispred Stobreča bila je predmetom oceanografskih istraživanja u više navrata [16], [17], a u tijeku su i istraživanja "nultog" stanja mora na široj lokaciji buduće podmorske dispozicije. Sva dosadašnja istraživanja i studije potvrdili su povoljni režim izmjene vodenih masa te visok potencijal mora u Bračkom kanalu za prijam svih planiranih količina odgovarajuće pročišćene otpadne vode, uključivo i onih koje se očekuju u prvoj etapi izgradnje kanalizacijskog sustava Split/Solin. Prema [3], Brački kanal može prihvatiti čak i količine odgovarajuće pročišćene otpadne vode koje višestruko nadmašuju planirane, bez neprihvatljivih posljedica na recipijent (eutrofikacija). Ova tvrdnja, koja vrijedi za Brački kanal u cjelini, otvorila je prostor i učinila racionalnim optimizacijsko opredjeljenje o *odgovarajućem* a ne *potrebnom* stupnju pročišćavanja u prvoj etapi izgradnje, budući da jedino ta zakonska kategorija uvažava *način ispuštanja otpadnih voda* kao ravnopravni dio sustava koji, uz pomoć prirode, postiže željeni cilj: postizanje propisanih dopuštenih vrijednosti za utvrđene pokazatelje na poznatim kontrolnim presjecima (bakteriološki pokazatelji 300 m od obale, fizikalno-kemijski, režim kisika, hranjive tvari i biološki pokazatelji 300 m od difuzora, opasne tvari približno 100 m od difuzora).

Ovakav pristup, dakako, zahtijeva promjenu u shvaćanju uloge dugoga podmorskog ispusta, koji time i praktično postaje dio sheme pročišćavanja, a ne puko sredstvo za transport zagađenja s jednog mjesta na drugo. Način ispuštanja otpadne vode potrebno je kontrolirati i njime upravljati, a nekontrolirano otjecanje spriječiti odgovarajućim automatiziranim tehničkim rješenjima.

Već je istaknuto da će u pretežnom dijelu godine (tj. u sušnom razdoblju) dominantni režim istjecanja otpadne vode na ispustu u Stobreču biti intermitentan (isprekidan, obročan). Sredstvo regulacije dotoka otpadne vode u ispušt (automatski zatvarač) prekinuti će istjecanje koje ne osigurava dovoljno visoke izlazne brzine na mlaznicama difuzora. Ako se pri svakom obroku ispuštanja osiguraju zadovoljavajuće izlazne brzine mlaza na difuzoru (2-3 m/s), mogu se sa sigurnošću zadovoljiti standardi mora za sve relevantne grupe pokazatelja i to već u zoni miješanja oko difuzorske sekcije. Mikrobiološki

pokazatelji, koji moraju biti postignuti na vanjskom rubu obalnog pojasa širine 300 m, postižu se izborom odgovarajuće udaljenosti difuzora od obale.

Rješenje ispusta koje je tehničko-ekonomskim analizama ocijenjeno optimalnim za prvu etapu izgradnje karakteriziraju ovi projektни parametri: profil cijevi DN 1000, dužina ispusta 1600 m od najistaknutije točke na obali + difuzorska sekcija dužine 200 m.

Ovo rješenje, provjereno i potvrđeno kao ispravno u *Studiji o utjecaju na okoliš prve etape rješenja podmorskog ispusta Stobreč* [18] čak i za slučaj kontinuiranog ispuštanja količina koje nadmašuju maksimalne (moguće) količine prve etape izgradnje, dodatno je provjeravano s pomoću nekoliko komplementarnih alata: trodimenzionalnog matematičkog modela [19] i fizikalnog modela [20].

Razlog je takve predostrožnosti leži u nedoumicama vezanim za postojanje plitkog podmorskog grebena zapadno od predviđene lokacije ispusta, koje su rezultirale u dvjema hipotezama: prvoj, o zatvorenom vrtložnom strujanju (odvojenom od glavne struje u kanalu) i mogućnosti akumulacije zagađenja i rezultirajuće anoksije u zoni ispuštanja te drugoj, o usmjeravanju polja otpadne vode k površini gdje postoji opasnost bržeg transporta zagađenja prema obali. Rezultati analize obiju hipoteza objavljeni su u nekoliko radova [21], [22], [23], pri čemu je prevladavajuće mišljenje da se znatnim produžavanjem ispusta nebitno poboljšavaju oceanografski i hidrografske uvjeti ispuštanja, a bitno remete pogonske karakteristike ispusta (propusna moć, gubici energije, vrijeme zadržavanja vode u cijevi) koje su osobito važne u prvoj etapi rada sustava. Obročni način ispuštanja ograničenih količina otpadne vode (iz koje je odstranjena vidljiva tvar, sve čestice promjera većeg od 2 mm te sve čestice lakše od vode – pjena, ulja i masti) pruža povoljnu mogućnost moru da pri svakom ispuštanju angažira novi raspoloživi volumen čiste morske vode u kojoj teku procesi miješanja s djelomično pročišćenom otpadnom vodom. Optimizacijski princip *ispravnog načina ispuštanja*, dakle, pretpostavljen je principu *što dalje-to bolje*, koji u sebi krije opasnosti od pogonskih problema u radu ispusta na kojem "visi" čitav kanalizacijski sustav.

6 Zaključak

Optimizacija elemenata kanalizacijskog sustava Splita i Solina predstavljala je proces u kojem su se usuglašavali tehnički, ekonomski i prostorni čimbenici, pri čemu je, u uvjetima nepoznavanja dinamike razvoja kanalizacijske mreže i neizvjesnog objedinjavanja svih pod-slivova u jedan centralizirani sustav, početni stav o potrebi sagledavanja dugoročne optimalnosti rješenja glavnih obje-

kata evoluirao u (ispravni) stav o nužnosti prilagođavanja rješenja realnoj situaciji na terenu i stvarnim mogućnostima ulaganja u kanalizacijski sustav. Ovaj se stav dosljedno primjenjivao u svim fazama optimizacije, bilo da je riječ o reviziji količina otpadne vode i tereta zagađenja, dimenzioniranju elemenata crpnih stanica ili odabiru odgovarajuće kombinacije uređaj-ispust u prvoj etapi izgradnje.

U velikoj većini primorskih naselja i gradova na istočnoj obali Jadrana, s projektantskog stajališta "optimalnima" se mogu nazvati samo oni kanalizacijski sustavi koji afirmiraju princip *odgovarajućeg* pročišćavanja i *odgovarajućeg* načina ispuštanja otpadne vode, jer iskorištavaju (ali ne zloupotrebljavaju) prirodne potencijale samo-pročišćavanja u moru, a istodobno ne priječe realizaciju

ambicioznijih ciljeva primjerenih sredinama s višim stupnjem uređenosti komunalne infrastrukture.

U našim pak uvjetima, neizbježan je koncept postupnosti u izgradnji glavnih objekata kanalizacijskog sustava, a u pojedinim slučajevima (kao što je to u Splitu/Solinu) moguće je taj koncept nametnuti ne samo deklarativno, već i uvođenjem fizičkih barijera koje će u određenom trenutku nametnuti potrebu nadogradnje sustava, ako ona već nije bila signalizirana (intenzivnim) monitoringom stanja i promjena u moru.

Valja se nadati da će u Splitu to razdoblje biti iskorišten za praćenje stvarne kakvoće otpadne vode i iznalaženje rješenja za odlaganje nusproizvoda rada uređaja za pročišćavanje (stabilizirani ili djelomično stabilizirani mulj).

LITERATURA

- [1] *Gospodarenje prostorom Kaštelanskog zaljeva – sinteza prvog ciklusa rada 1988-1993.*, Sveučilište u Splitu u suradnji s HAZU, Cimis Split 1993.
- [2] *Environmental Impact Assessment for the Split-Stobreč Wastewater Discharge System*, PAP-RAC Split, Split 1991.
- [3] *Selection of the Optimum Tlevel for Urban Waste Waters at the Central Treatment Plant - VOL. I, II, III*, Mediterranean Action Plan - Priority Actions Programme, in co-operation with the World Bank and METAP Kaštela Bay Environmental Project, Split 1992.
- [4] *Kanalizacijski sustav Split - Solin -- Idejni projekt, Objekti dispozicije i analiza osnovnih ulaznih podataka e-I*, GI OOUR Fakultet građevinskih znanosti – Split, 1990.
- [5] *Podaci o monitoringu kakvoće otpadnih voda u gradu Splitu*, Zavod za javno zdravstvo Splitsko-dalmatinske županije, Split
- [6] *Tehno-ekonomska optimizacija I etape kanalizacijskog sustava Split/Solin*, IGH PC Rijeka, GF Split, SNC-Lavalin, Hidro-ing Split, Rijeka, 1999.
- [7] *Studija utjecaja na okoliš kanalizacijskih sustava Split/Solin i Kaštela/Trogir*, J. Margeta i A. Barić, Split, 1996.
- [8] *Kanalizacijski sustav Split - Solin – studija utjecaja na okolinu koncepta kanalizacijskog sustava Split-Solin*, GI OOUR Fakultet građevinskih znanosti – Split, 1991. (s dopunama)
- [9] *Studija izvedivosti - odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda gradova Split-Solin*: Southern Water Global, DHV Consultant, IGH P.C. Rijeka, 1996.
- [10] *Idejno rješenje objedinjavanja tehničkih parametara kanalizacijskog sustava Split-Solin; "Hidroing"* i Građevinski fakultet Split, 1998.
- [11] *Lokacijska dozvola za kanalizacijski sustav Split/Solin – I etapa*, Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i stanovanja, uprava za prostorno uređenje, Klasa: UP/I – 350 – 05/99 – 02/0039; Ur. br.: 531 – 02 – 99 – 19 GR
- [12] *Elaborat verifikacije i objedinjavanja tehničkih parametara objekata poboljšanja i dogradnje vodoopskrbnog sustava Split-Solin-Kaštela-Trogir*, Hidroing-Hidroekspert Split, 1998. godina.
- [13] *Smjernice za oblikovanje kišnih rasterećenja u sustavu javne odvodnje područja Dujmovača – Split*, GF Zagreb, 1998.
- [14] *Programski paket "SEWERCAT"*, Reith & Crowther Inc., Seattle, USA, 1998.
- [15] *Hrvatske vode, OVJ Split, Služba zaštite voda od zagađivanja: podaci o industrijskoj potrošnji vode i kakvoći industrijskih otpadnih voda*, Split, 1998.
- [16] *Oceanografska svojstva Bračkog i Splitskog kanala kao prijemnika otpadnih voda*, Institut za oceanografiju i ribarstvo Split, 1991.
- [17] *Rezultati istraživanja mora za potrebe projektiranja podmorskog ispusta Split-Stobreč*, Institut za oceanografiju i ribarstvo Split, 1998.
- [18] *Kanalizacijski sustav Split/Solin – Studija utjecaja na okolinu prve etape rješenja podmorskog ispusta Stobreč*, GI OOUR Fakultet građevinskih znanosti – Split, 1991.
- [19] *Modelska studija strujanja i difuzije na području podmorskog ispusta Split-Stobreč*, Institut za oceanografiju i ribarstvo Split, 2000.
- [20] *Hidrauličko modelsko istraživanje zajedničkog rada podmorskih ispusta otpadnih voda grada Splita*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2002.
- [21] Ravlić, N., Gjetvaj, G., Andročec, V., *Split Submarine Outfall Impact Assessment and Pollutant Transport Modelling*. Proc. of the 6th Int. Conf. On Water Pollution, ed. C.A. Brebbia, WIT Press: Boston, str. 249-258, 2001.
- [22] Ravlic, N., *Impact of Bottom Topography on Split Outfall Discharge Zone Hydrodynamics*. Proc. of the 2001 International Symposium On Environmental Hydraulics ISEH 2001, eds. D. Boyer, R. Rankin, Arizona State University, Phoenix, pp. 17-22, 2001.
- [23] Ravlić, N., Gjetvaj, G., *Modelling of stratified flow over topography in semi-deep coastal channels*. Proc. of the 6th Int. Conf. On Water Pollution, ed. C.A. Brebbia, WIT Press: Boston, 2003. (u tisku)