

Kanalizacijski sustav Split/Solin - od ideje do realizacije

Nenad Ravlić, Zlatko Čatlak

Ključne riječi

kanalizacijski sustav
Split/Solin,
otpadne vode,
uređaj za pročišćavanje,
podmorski ispušt,
tehnička rješenja,
projektiranje, izgradnja

Key words

Split/Solin sewerage
system,
waste water,
purification device,
offshore outfall,
technical solutions,
design, construction

Mots clés

système d'égouts
Split/Solin,
eaux usées,
dispositif de purification,
dispositif de
déchargement sous-marin,
solutions techniques,
études, construction

Ключевые слова

канализационная
система Сплит/Солин,
сточные воды,
очистительная
установка,
подводный водоспуск,
технические решения,
проектирование,
строительство

Schlüsselworte

Kanalisationssystem
Split/Solin,
Abwasser,
Reinigungsanlage,
Unterseeauslauf,
technische Lösungen,
Entwurf, Ausbau

N. Ravlić, Z. Čatlak

Pregledni rad

Kanalizacijski sustav Split/Solin – od ideje do realizacije

U članku se opisuju stručna uporišta ključnih odluka donesenih u fazi tehnoekonomske analize, projektiranja i izvedbe završnog dijela kanalizacijskog sustava Split/Solin – I. etapa, čije se puštanje u probni pogon uskoro očekuje. Istaknuta je važnost upoznavanje stručne javnosti s izvedbom glavnih objekata završnog dijela sustava, od kojih su neki u vrijeme projektiranja i izgradnje predstavljali veliki stručni izazov, bez presedana u Hrvatskoj za sve sudionike u tom poslu.

N. Ravlić, Z. Čatlak

Subject review

Split/Solin sewerage system - from idea to realization

The authors provide technical explanation of crucial decisions made during technical and economic analysis, design and realization of the final segment of the Split/Solin Sewerage system - Stage I, the trial operation of which is to start in the near future. The emphasis is placed on the need to inform professional community about realization of main structures forming part of the final portion of the system, particularly as the design and realization of some of these structures presented a major professional challenge, without precedent in the territory of Croatia.

N. Ravlić, Z. Čatlak

Ouvrage de syntèse

Système d'égouts entre Split et Solin - de l'idée à la réalisation

Les auteurs fournissent des explications techniques portant sur les décisions fondamentales faites pendant l'analyse technique-économique, les études et la réalisation du tronçon final du système d'égouts entre Split et Solin - Phase I, dont l'opération d'essai devrait commencer dans un proche avenir. L'accent est mis sur la nécessité d'informer la communauté professionnelle sur la réalisation des ouvrages principaux faisant partie du tronçon final du système, et cela surtout parce que les études et la réalisation de certains de ces ouvrages ont été un grand défi professionnel, sans précédent sur le territoire de la Croatie.

N. Ravlić, Z. Čatlak

Обзорная работа

Канализационная система Сплит/Солин – от идеи до реализации

В статье описываются специальные точки опоры ключевых решений, вынесенных в фазе техникоэкономического анализа, проектирования и выполнения заключительной части канализационной системы Сплит/Солин – I этапа, запуск которой в пробную эксплуатацию вскоре ожидается. Подчеркнуто важность ознакомления круга специалистов с выполнением главных объектов завершающей части системы, некоторые из которых во время проектирования и строительства представляли большой вызов специалистам, не имеющий прецедента в Хорватии для все, принимающих участие в той работе.

N. Ravlić, Z. Čatlak

Übersichtsarbeit

Kanalisationssystem Split/Solin - von der Idee bis zur Verwirklichung

Im Artikel beschreibt man die fachlichen Anhaltspunkte der grundlegenden Entscheidungen, getroffen in der Phase der technisch-wirtschaftlichen Analyse, des Entwurfs und der Ausführung des abschliessenden Teils des Kanalisationssystems Split/Solin - I. Etappe, dessen Einführung in den Probetrieb man demnächst erwartet. Hervorgehoben ist die Wichtigkeit der Vertrautmachung der fachlichen Öffentlichkeit mit der Ausführung der Hauptbauwerke des abschliessenden Teils des Systems, wovon Einige während der Entwurfsphase eine grosse fachliche Herausforderung darstellten, ohne Präzedenz in Kroatien für alle Teilnehmer an diesem Werk.

Autori: Dr. sc. **Nenad Ravlić**, dipl. ing. građ., IGH d.d. Zagreb, Poslovni centar Rijeka; **Zlatko Čatlak**, dipl. ing. građ., Agencija EKO-Kaštelanski zaljev, Ustanova Split

1 Uvod

Serijski članak [1],[2],[3],[4] i dugački niz ostalih objavljenih radova o problemu rješavanja odvodnje otpadnih voda u području Kaštelanskog zaljeva, omogućili su stručnoj javnosti detaljni uvid u znanstveno-stručnu pozadinu projekta MEIP Split/Solin – I. etapa, čija se realizacija ovih dana ubrzano privodi kraju.

Premda odvodnja urbanih otpadnih voda Splita i Solina pripada vjerojatno u najizlučenijim problemima te vrste na jadranskoj obali, sam čin približavanja izgradnje ključnih objekata kanalizacijskog sustava generirao je u (ne samo) stručnoj javnosti čitav niz dodatnih pitanja koje je prije realizacije objekata bilo potrebno analizirati u kontekstu nove zakonske regulative u području odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda, a da istodobno nisu u cijelosti sazreli uvjeti za nekritičnu trenutnu primjenu tih strogih standarda na prvu etapu izgradnje urbanog sustava odvodnje Splita i Solina.

U takvom se okruženju pred investitora i projektanta iznova postavilo temeljno pitanje odabira onih komponenta dugoročno optimalnog rješenja koje će se primijeniti u prvoj etapi izgradnje sustava. Budući su optimizacijska načela rješenja prve etape sustava već prikazana u radu [3], u nastavku ćemo prikazati neka od stručnih uporišta za ključne odluke koje su prethodile usvajanju rješenja primijenjenoga u okviru prve etape MEIP projekta Split/Solin.

2 Projektni koncept i izvedba završnog dijela sustava

2.1 Visinska konfiguracija UPOV-a Stupe

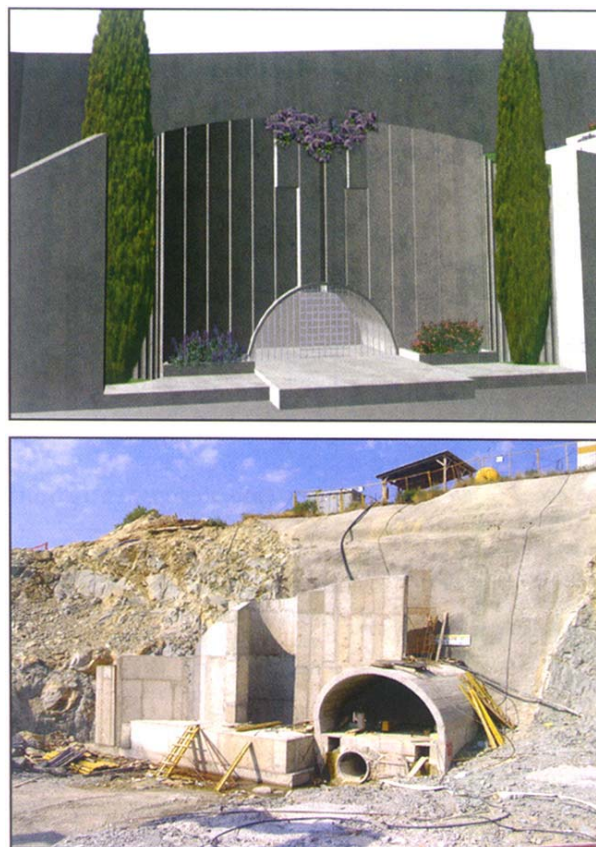
Usvojeni položaj završnog dijela kanalizacijskog sustava Split/Solin u odnosu na ostatak sustava prikazan je na slici 1., odakle si vidi da je za savladavanje morfološke barijere između sjevernog sliva i lokacije UPOV-a



Slika 1. Situacijski položaj završnog dijela kanalizacijskog sustava Split/Solin

Stupe potrebno predvidjeti transport otpadnih voda kolektorom smještenim u hidrotehničkom tunelu, čiji se

istočni portal nalazi na lokaciji UPOV-a Stupe (slika 2.). Moguće varijacije visinske dispozicije nivelete hidrotehničkog tunela Stupe detaljno su tehničko-ekonomski analizirane u [5] i [6], pri čemu je potvrđena pretpostavka da je s hidrauličkog stajališta, tj. osiguravanja mogućnosti gravitacijskog tečenja u preostalom nizvodnom dijelu sustava, optimalna visinska kota glavnoga dovodnog kolektora od +12,2 m.n.m. na ulazu u UPOV Stupe.



Slika 2. Istočni portal hidrotehničkog tunela Stupe: (vizualizacija projektiranog rješenja gore); izvedba građevine (dolje)

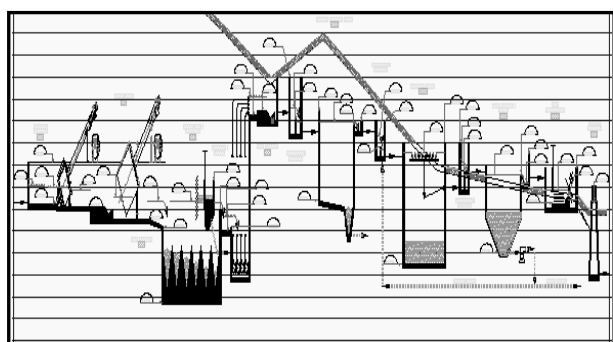
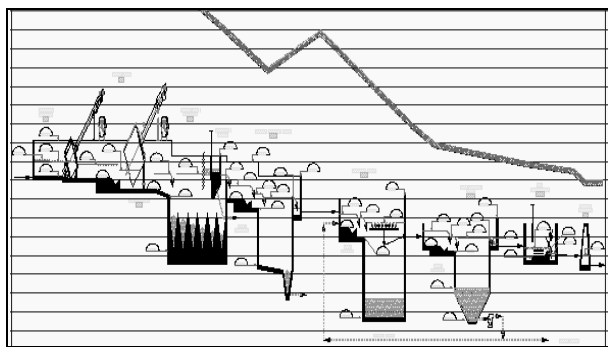
Povoljne implikacije eventualno više nivelete hidrotehničkog tunela očitovale bi se u manjim iskopima na lokaciji UPOV-a Stupe, ali bi se javio čitav niz nepovoljnih faktora: potreba izgradnje umjetnog tunela na određenim dionicama s manjim nadslojem tla lošijih geotehničkih karakteristika, povećanje dužine ionako dugačkih tlačnih cjevovoda svih glavnih crpkih stanica u slivu, smanjenje mogućnosti gravitacijskog priključivanja na završni dio sustava, povećano ulaganje u crpke i povećani pogonski troškovi rada crpki. S obzirom na navedeno, kao i na dugoročno planirani koncept priključenja južnog sliva na UPOV Stupe [8], nametnuo se zaključak da optimalnu visinsku konfiguraciju preostalog nizvodnog dijela sustava treba autonomno analizirati, ne mijenjajući pritom visinsku dispoziciju glavnoga dovodnog kolektora u hidrotehničkom tunelu.



Slika 3. Iskop na lokaciji UPOV-a Stupe u (I etapa): vizualizacija projektnog rješenja (lijevo), široki iskop (sredina i desno)

Prihvatanjem niže varijante hidrotehničkog tunela i potvrđeno je stajalište o prihvatljivosti povećanih iskopa na lokaciji UPOV-a Stupe u prvoj etapi izgradnje (slika 3.) koja zbog kompaktnosti rješenja iskazuje najmanje prostorne zahtjeve.

Konfiguracija terena na lokaciji UPOV-a Stupe omogućava daljnji razvoj dviju osnovnih varijanata visinske dispozicije tehnološke linije obrade otpadne vode: gravitacijsko tečenje kroz cijeli uređaj (slika 4. gore) ili precrpeljivanje nakon prolaska vode kroz dio uređaja prve etape (slika 4. dolje) radi smanjenja potrebnih iskopa u sljedećim, prostorno zahtjevnijim etapama razvoja uređaja.



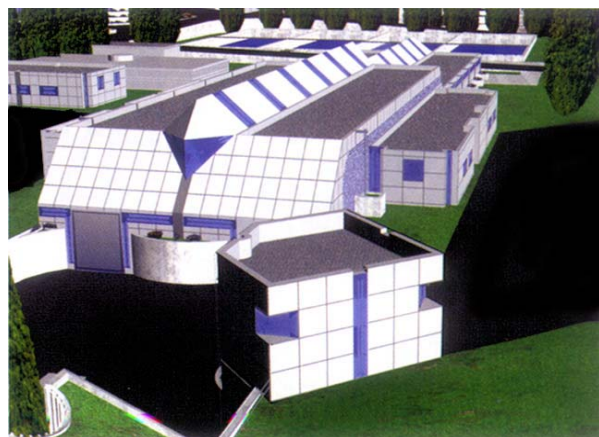
Slika 4. Osnovne varijante visinske dispozicije tehnološke linije obrade otpadne vode na UPOV Stupe; gravitacijsko tečenje (gore) i precrpeljivanje na uređaju (dolje)

Proračuni ekonomske efikasnosti sprovedeni u ([5] i [6]) potvrdili su superiornost varijante b) i isplativosti izgra-

dnje precrcpne stanice na uređaju već nakon objedinjavanja svih voda sjevernog sliva na uređaju Stupe (2010. godina), popraćenim planiranim podizanjem stupnja pročišćavanja. Ovdje valja istaknuti da su sve tehničko-ekonomske analize izvršene na temelju prostorno najzahtjevnije tehnologije II. stupnja čišćenja (prethodni taložnici i konvencionalni postupak s aktivnim muljem) te da će odluku o optimalnoj varijanti daljnjeg razvoja uređaja biti potrebno revidirati uzimajući u obzir i modernije tehnološke postupke koji su prostorno mnogo manje zahtjevni.

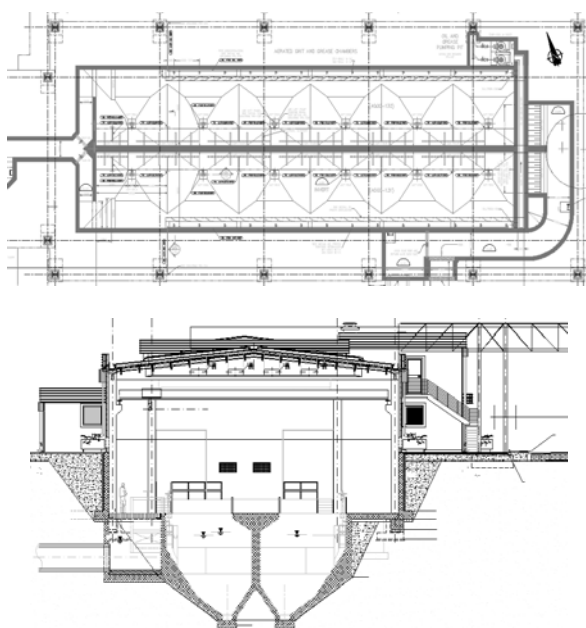
2.2 Tehnološka linija obrade otpadne vode na UPOV-u Stupe

Izbor optimalne tehnološke sheme pročišćavanja u I. etapi izgradnje UPOV-a Stupe detaljno je analiziran u [3], [5] i [9]. Projektno rješenje tehnološke linije obrade otpadne vode dano u glavnom projektu [10] predvidjelo je



Slika 5. Vizualizacija projektnog rješenja hale i tehnološke linije obrade otpadne vode u I. etapi izgradnje UPOV-a Stupe

zatvorenu izvedbu uređaja s grubim rešetkama (10 mm) i finim sitima (2 mm) te aeriranim pjeskolovom-mastolovom (slike 5. i 6.), nakon čega se pročišćena otpadna voda odvodi prema podmorskom ispustu u Stobreču.

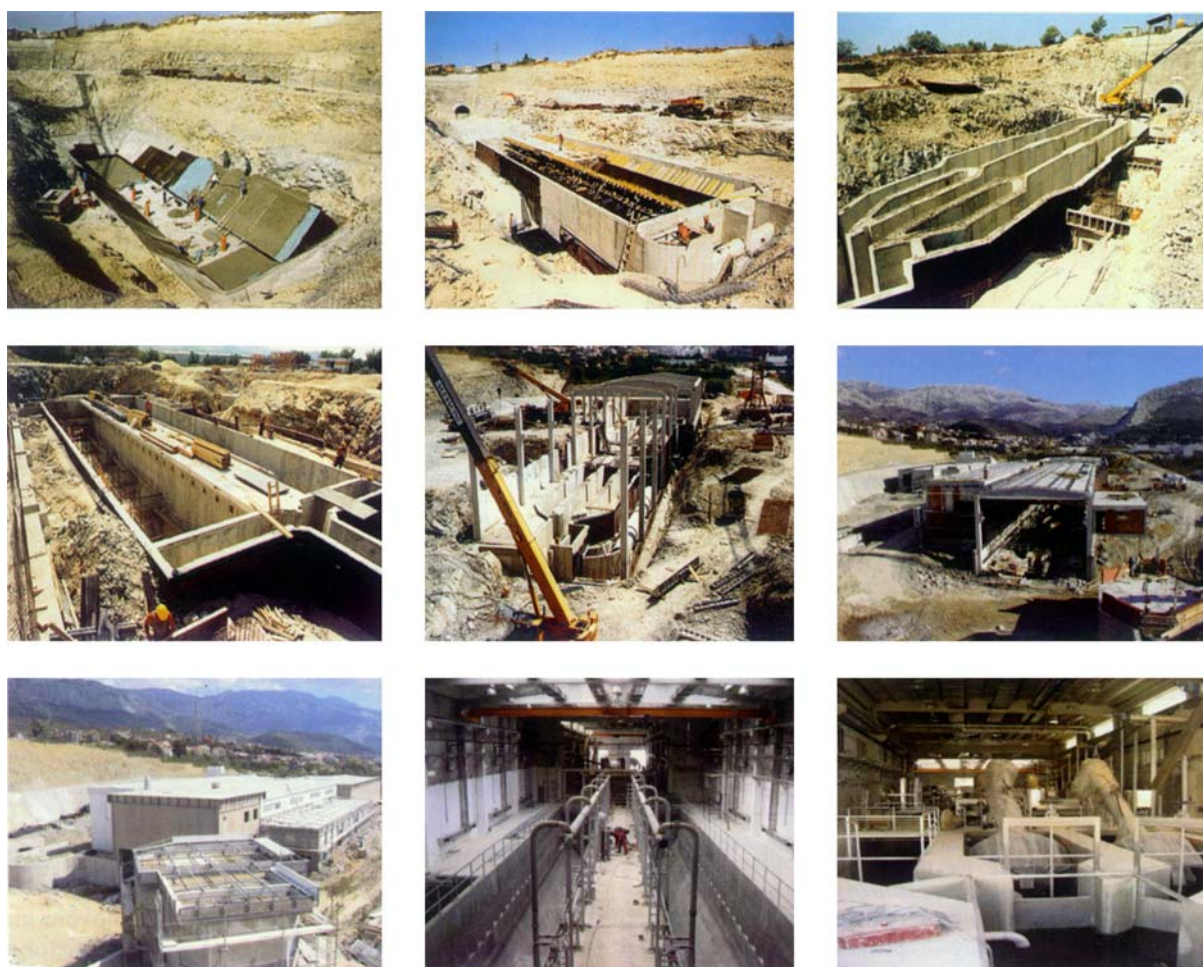


Slika 6. Tlocrt i presjek dijela hale s aeriranim pjeskolovom-mastolovom

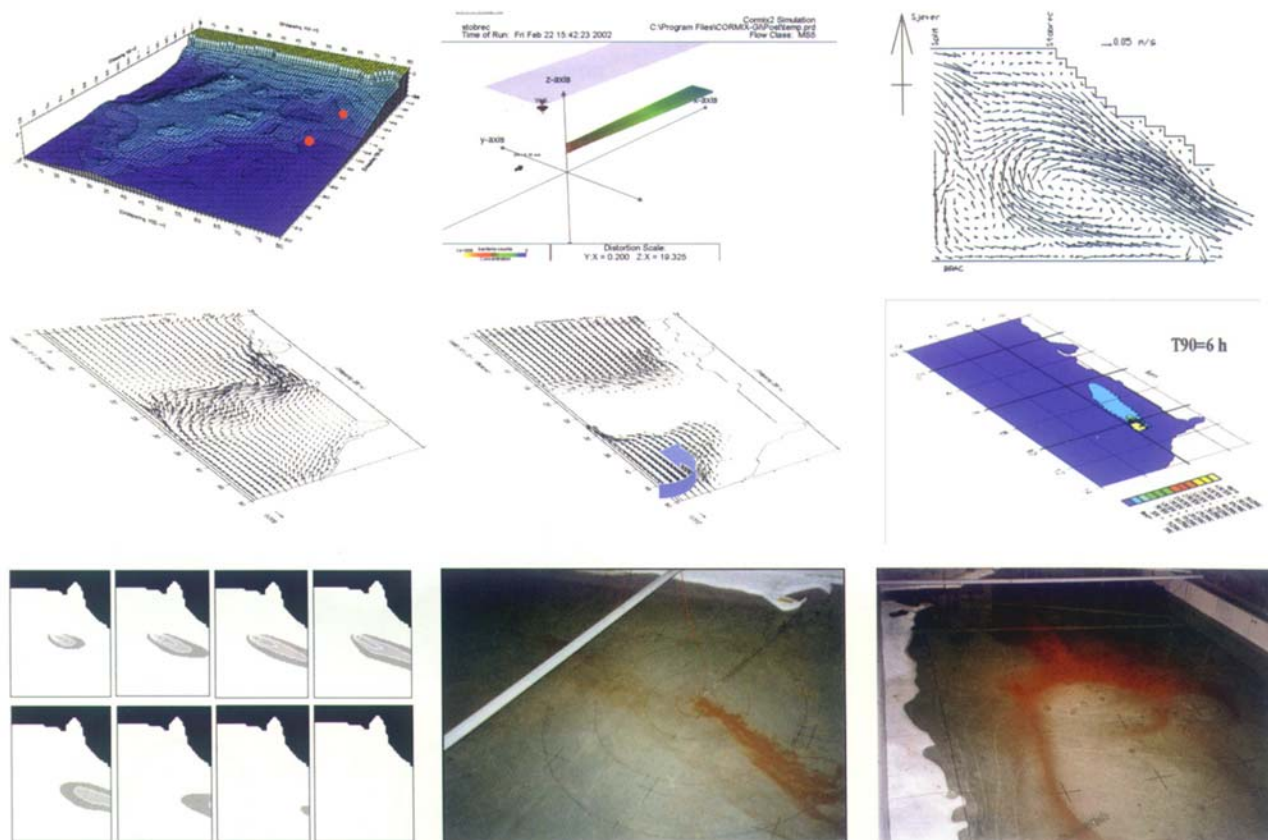
Dojam o veličini predmetnog zahvata, koji pripada u najvećim pothvatima domaćih graditelja u pročišćavanju otpadnih voda u posljednjih 20-ak godina u Hrvatskoj, može se steći iz fotografija prikazanih na slici 7.

2.3 Podmorski ispust Stobreč

Optimizacijska načela projektnog rješenja podmorskog ispusta Stobreč, kao i detalji njegove izvedbe, već su opisani u više radova i elaborata ([3],[5],[11],[12],[13]). Predmetni podmorski ispust poseban je s nekoliko osnova: u trenutku polaganja to je bio najveći i najduži podmorski ispust u Hrvatskoj; primijenjena je tehnika kontroliranog polaganja cjevovoda u cijeloj dužini; PEHD cijev ispusta sastoji se od svega 5 kontinuirano ekstrudiranih sekcija s minimalnim brojem potencijalno rizičnih prirubničkih spojeva; cijevi su od mjesta proizvodnje do mjesta ugradbe transportirane morskim putem; potapanje je izvršeno s konačnim opterećenjem cjevovoda, čime je izbjegnuta potreba naknadnog montiranja sekundarnih opteživača; pripremni radovi za polaganje popraćeni su



Slika 7. Faze izgradnje i opremanja UPOV-a Stupe – I. etapa



Slika 8. Odabrani rezultati 2D i 3D matematičkog te fizikalnog modeliranja rada podmorskog ispusta Stobreč te procjene mogućih utjecaja na recipijent

burnim i medijski pokrivenim protestima lokalnog stanovništva.

U ovome radu posebno ćemo naglasiti najvažnije stručne, odnosno projektantske osnove na kojima počiva navedeno tehničko rješenje ispusta. Aplicirane su sve raspoložive znanstveno-stručne metode provjere mogućih ekoloških utjecaja rada ispusta, i to s pomoću 2D i 3D matematičkog [14],[15] te fizikalnog [16] modeliranja rada ispusta u pogonskim uvjetima koji su znatno nepovoljniji od realno očekivanih (slika 8.).

Usvojivši načelo fizičkog ograničavanja propusne moći podmorskog ispusta u gravitacijskom režimu tečenja u I. etapi izgradnje (ugradnja samo jedne cijevi DN 1000 mm), zaključeno je da se postavljeni prioritetni ciljevi sanitarne zaštite priobalnoga rekreativnog pojasa mogu efikasno ostvariti podmorskim ispustom dužine 1.800 m (mjereno od najbliže obale), pri čemu su sva primijenjena tehnička rješenja usmjerena k strogom poštivanju sljedećeg:

- Sustav odzračno okno - podmorski ispust nije običan cjevovod kojim se otpadna voda transportira u more!
- Ispust je niskotlačni sustav koji ima za cilj postizanje dovoljno visokih razrjeđenja u moru Bračkog

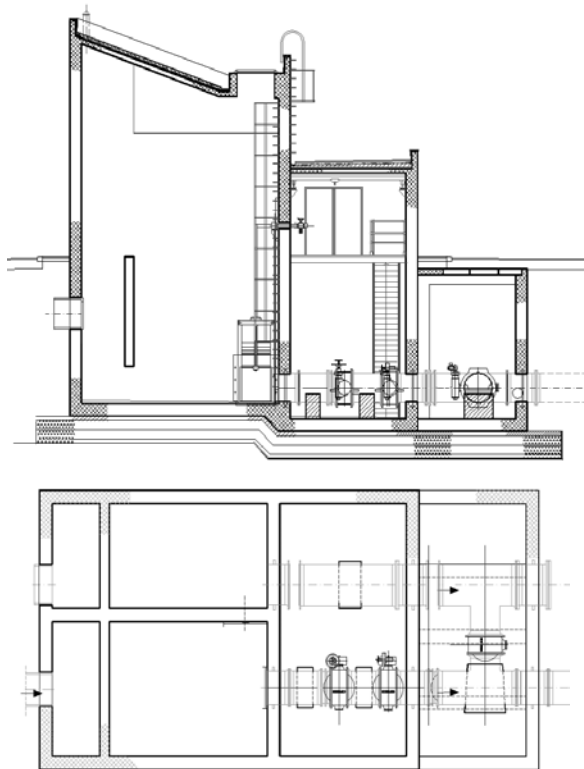
kanala, za što je potrebno osigurati dovoljno visoke brzine tečenja i u podmorskoj cijevi i na mlaznicama difuzorske sekcije. Svako odstupanje od ovih principa dugoročno može rezultirati postupnim začepljenjem cjevovoda, vidljivim sanitarno-ekološkim posljedicama u moru, a moguće i na cijevi ispusta koja može isplivati na površinu zbog uvlačenja zraka u cijev.

- Gravitacijsko istjecanje iz ispusta može se dopustiti samo za protoke koji su veći od približno 600 l/s. To znači da u početnom razdoblju rada sustava s tek djelomično priključenom kanalizacionom mrežom treba u sušnom razdoblju očekivati uglavnom *intermitentni* (obročni) režim istjecanja otpadne vode kroz podmorski ispust. Samo u oborinskom razdoblju s dovoljno velikim dotocima razrijeđene otpadne vode protjecanje kroz ispust bit će kontinuirano.
- Glavnu ulogu kontrole (prekida/uspostave) istjecanja otpadne vode iz odzračnog okna u podmorski ispust obavlja leptirasti zatvarač s pneumatskim pogonom, smješten u odzračnom oknu (slika 9.).
- Kopneni je dio ispusta akumulacijski prostor zadržavanja otpadne vode sve do dovoljno visoke razine u

odzračnom oknu kada započinje otvaranje leptirastog zatvarača s pneumatskim pogonom. Vrijeme potpunog otvaranja/zatvaranja ne smije biti duže od 10 s !

- U početnom razdoblju rada podmorskog ispusta kota početka otvaranja leptirastog zatvarača postaviti će se na +6,2 m, a kota početka zatvaranja na +4,0 m, što znači da će u jednom obroku ispuštanja biti ispražnjen dio kopnenog dijela ispusta u dužini od približno 290-300 m (oko 200-300 m³ otpadne vode u jednom obroku)
- Sljedeći ciklus ispuštanja ponovno će se aktivirati kada se razina vode u radnoj komori odzračnog okna podigne na projektiranu razinu otvaranja leptirastog zatvarača.

Opisani način funkcioniranja ispusta atribuiraju odzračnom oknu vitalnu funkciju regulatora dinamike ispuštanja otpadne vode pa je njegovu oblikovanju pridana osobita pažnja (slika 9.). Može se zaključiti da projektirano i izvedeno rješenje osigurava rad ispusta čak i za slučaj kvara/održavanja leptirastog zatvarača.

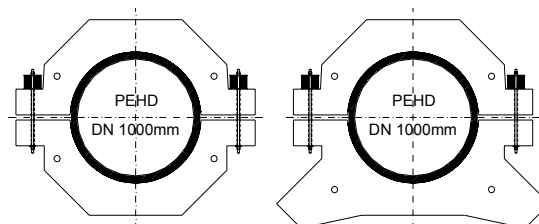


Slika 9. Presjek i tlocrt odzračnog okna ispusta Stobreč

Povećanju pogonske sigurnosti podmorskog ispusta pridonose i ostale karakteristike tehničkog rješenja ispusta i njegove izvedbe. Odabran je hidraulički najgladi, anti-abrazivni, elastični i seizmički visokootporni materijal s robusnom stijenkom cijevi ispusta (45 mm) i minimalnim brojem prirubničkih spojnica pod morem, montirani su posebno oblikovani betonski opteživači s gumenim

kompensatorima koji jednoliko distribuiraju priteznu silu i konačno, odabran je elegantni koncept kontroliranog potapanja s minimalnom mogućnošću oštećenja cijevi za vrijeme ugradbe.

Navedene *state-of-the-art* karakteristike tehničkog rješenja čine stobrečki ispušt maksimalno sigurnim u uvjetima normalnog rada u okvirima projektnog kapaciteta i režima ispuštanja. Manji hidraulički udari koji se javljaju pri obročnom načinu ispuštanja otpadne vode bit će dijelom amortizirani u samom materijalu cjevovoda, a preljevna komora odzračnog okna odigrat će ulogu vodne komore za zaštitu nizvodnoga podmorskog cjevovoda od uvlačenja zraka i hidrauličkog udara.



Slika 10. Proizvodnja kontinuirano ekstrudiranih PEHD cijevi ispusta Stobreč u tvornici u Norveškoj (gore lijevo); kontrolirano potapanje cjevovoda u jednom komadu (gore desno); projektirani oblik betonskih opteživača (dolje)

Odabrani detalji izvedbe podmorskog ispusta Stobreč prikazani su na slici 10.

3 Zaključak

Završni je dio kanalizacijskog sustava Split/Solin zasigurno ključ uspjeha čitavoga ekološkog projekta koji se primjenjuje u okviru prve etape MEIP Split/Solin. Stručni izazovi postavljeni pred projektanta, a kasnije i pred odabrane izvođače radova, zahtijevali su primjenu svih raspoloživih alata i znanja u fazi analize problema, a u fazi izvedbe istražilo se striktno poštovanje projektantovih i investitorovih zamisli.

Već i površni uvid u osjetljivost problema odvodnje otpadnih voda u Splitu i Solinu, koji čini glavnu prepreku boljoj turističkoj valorizaciji šireg područja, postavio je pred sve sudionike u procesu građenja vrlo visoke standarde rada. Može se konstatirati da su svi bitni zahtjevi koji su definirani specifikacijama u tehničkoj dokumentaciji zadovoljeni, a eventualne manje izmjene rješenja

iz Glavnog projekta rezultat su namjere da se uvedu poboljšanja i racionalizacije koje neće bitno utjecati na funkcionalnost sustava.

U idućem razdoblju valja usmjeriti pozornost na promatranje rada objedinjenog sustava, kako bi se stvorile bolje osnove za donošenje još jedne bitne odluke: s kojim stupnjem pročišćavanja treba nadograditi novoizgrađeni uređaj na Stupama, i što je još važnije, kada to treba učiniti.

Prvi, najteži, najvažniji i neizostavni korak je napravljen i to treba jasno istaknuti. Pritom su sve ključne tehničke odluke višestruko revidirane i transparentno donesene radi osiguranja optimalne efikasnosti sustava s minimumom

financijskih ulaganja. Svaka ušteda u završnom dijelu sustava usmjerena je k povećanju stupnja pokrivenosti sekundarnom kanalizacijom u područjima u kojima je njezin razvoj tek u začetima.

Nije sporno da tek slijedi prava "bitka" za sirovinu koja će se obrađivati na UPOV-u Stupe. Budući dijelovi sustava sekundarne kanalizacije bit će razdjelni, kakvoća objedinjene otpadne vode bit će sve ustaljenijih karakteristika, a samim time sve podobnija za više stupnjeve čišćenja. Vrijeme kada će doći na svoje oni koji već danas traže najviši stupanj pročišćavanja za otpadnu vodu iz pretežno mješovitoga kanalizacijskog sustava tek je pred nama !

ZAHVALA

Zahvaljujemo svim autorima fotografija koje su upotrijebljene u ovome radu i njihovim matičnim organizacijama ili tvrtkama (Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Konstruktor Inženjering d.d. Split, Montmontaža-Hidroinženjering d.o.o. Split, Agencija EKO-Kaštelanski zaljev, IGH PC Split).

LITERATURA

- [1] Andročec, V.; Ivančić, B.: *EKO-Kaštelanski zaljev*, Građevinar 55 (2003) 7, 377.-381.
- [2] Tedeschi, S.: *Zaštita priobalnog mora Splita, Solina, Kaštela i Trogira*, Građevinar 55(2003) 8, 443.-447.
- [3] Ravlić, N.: *Optimizacija projekta prve etape kanalizacijskog sustava Split/Solin*, Građevinar 55(2003) 12, 713.-722.
- [4] Čatlak, Z.: *Izgradnja prve etape kanalizacijskog sustava Split/Solin*, Građevinar 56(2004) 1, 1.-10.
- [5] *Tehno-ekonomska optimizacija I. etape kanalizacijskog sustava Split-Solin*, IGH PC Rijeka, GF Split, SNC Lavalin, Hidroing Split, Rijeka, 1999.
- [6] Ravlić, N.: *To pump or to excavate more ?*, Proc. Of the 17th Scientific Conf. On Energy and the Environment, ed. B. Franković, Croatian Solar Energy Association, Opatija, str. 197-205, 2000.
- [7] *Kanalizacijski sustav Split-Solin, Idejni projekt, Objekti dispozicije i analiza osnovnih ulaznih podataka E-I*, GI OOUR Fakultet građevinskih znanosti Split, 1990.
- [8] Margeta, J.: *Koncept realizacije kanalizacijskog sustava Split-Solin*, GF Split, 1991.
- [9] Čatlak, Z.; Ravlić, N.: *Izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda "Stupe" kao sastavnog dijela kanalizacijskog sustava Split-Solin*, Zbornik znanstveno-stručnog simpozija s međunarodnim sudjelovanjem "Voda u kršu slivova Cetine, Neretve i Trebišnjice, ur. M.Goluža, GF Mostar, str. 541.-551., 2003.
- [10] *Glavni projekt UPOV-a Stupe- I. međufaza I. etape sa pripadajućom infrastrukturom*, IGH PC Rijeka, 1999.
- [11] *Glavni projekt podmorskog ispusta Stobreč s pripadajućom infrastrukturom*, IGH PC Rijeka, 1999.
- [12] Ravlić, N.; Barbalić, I.; Musulin, N.; Ivančić-Aučina, A.: *Podmorski ispust u Stobreču*, Zbornik zlatnog sabora HDGK, ur. J.Radić, HDGK, str. 433.-440., 2003.
- [13] *Izvedbeni projekt podmorskog ispusta Stobreč s pripadajućom infrastrukturom*, MMH-Hidroinženjering Split, 2001.
- [14] Ravlić, 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, 17-22, 2001.
- [15] 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, 249-258, 2001.
- [16] *Podmorski ispust otpadnih voda Stobreč – Brački kanal - fizikalni model*, GF Zagreb, 2001.