

Integralni sustav za podršku odlučivanju u razvoju obalnog kanalizacijskog sustava

Snježana Knezić, Jure Margeta

Ključne riječi

upravljanje obalnim morem, zaštita mora, zagađenje, kakvoća obalnog mora, upravljanje kakvoćom, održivi razvitak

S. Knezić, J. Margeta

Pregledni rad

Integralni sustav za podršku upravljanju kvalitetom obalnog mora

U radu se polazi od činjenice da je upravljanje obalnim morem zajedno s odgovarajućom strategijom njegove zaštite vrlo složen problem. To se posebno odnosi na kanalizacijsku infrastrukturu. Opisuju se odgovarajući postupci koje treba primijeniti kako bi se poboljšalo upravljanje kakvoćom obalnih mora u skladu s načelom održivog razvitka. Prikazana je metodologija upravljanja kakvoćom obalnog mora šireg područja Kaštelanskog zaljeva koja se temelji na načelima sustava za podršku odlučivanja.

Key words

reinforcement, reinforced-concrete pier, design, Ehlers procedure, Eurocode 2, Eurocode 8, interaction diagram

S. Knezić, J. Margeta

Subject review

Interaction diagrams for pier reinforcement design

The analysis of the area in which pier design according to Ehlers can be applied is presented, and the resulting interaction diagrams are compared with the so called traditional diagrams. Eurocode 2 requirements concerning minimum and maximum reinforcement are applied. The attention is drawn to the bending moment and compressive force action in cases when Ehlers procedure results in an inadequate reinforcement. Allowable interaction diagram areas are defined according to Eurocode 8, taking into account limitations with respect to the value of compressive force.

Mots clés

gestion de la mer côtière, protection de la mer, pollution, qualité des eaux côtières, gestion de la qualité, développement viable

S. Knezić, J. Margeta

Ouvrage de synthèse

Un système intégral d'aide à la gestion de la qualité de la mer côtière

L'article part du principe que la gestion et une stratégie appropriée de sa protection présentent un problème très complexe. Ceci concerne en particulier l'infrastructure de canalisation. On décrit des procédés à appliquer en vue d'améliorer la qualité des eaux côtières conformément au principe de développement viable. On présente une méthodologie de la gestion de la qualité des eaux côtières dans la région de la baie de Kastel, qui se fonde sur les principes du système d'aide à la décision (Decision Support System).

Ключевые слова:

управление прибрежным морем, защита моря, загрязнение, качество прибрежного моря, управление качеством

С. Кнежич, Й. Маргета

Обзорная работа

Интегральная система для поддержки управления качеством прибрежного моря

В работе исходит из факта, что управление прибрежным морем, совместно с соответствующей стратегией его защиты, является очень сложной проблемой. Это особенно касается канализационной инфраструктуры. В работе описываются соответствующие способы, которые необходимо применить с целью улучшения качества прибрежного моря, в соответствии с принципом развития о состоянии поддержания развития. Показана методология управления качеством прибрежного моря более широкого пояса Каштеланского залива, основанная на принципах системы по поддержке решения.

Schlüsselworte:

Verwaltung des Küstenmeers, Meeresschutz, Verschmutzung, Küstenmeerqualität, Qualitätsverwaltung, erhaltbare Entwicklung

S. Knezić, J. Margeta

Übersichtsarbeit

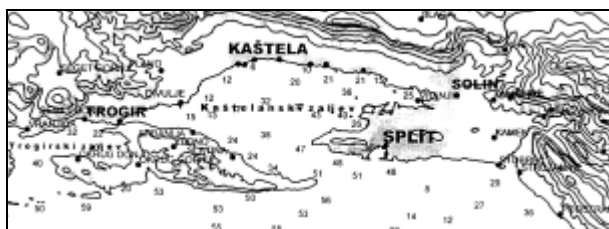
Integralsystem für die Unterstützung der Verwaltung der Küstenmeerqualität

Im Artikel geht man von der Tatsache aus dass die Verwaltung zusammen mit der entsprechenden Schutzstrategie ein sehr kompliziertes Problem ist. Das bezieht sich besonders auf die Kanalisationsinfrastruktur. Man beschreibt entsprechende Verfahren die angewendet werden sollen um die Verwaltung der Küstenmeerqualität im Einklang mit dem Prinzip der erhaltbaren Entwicklung zu verbessern. Dargestellt ist die Methodologie der Verwaltung des Küstenmeers im weiteren Gebiet der Kaštela-Bucht, die auf den Prinzipien des Systems für die Unterstützung der Entscheidung begründet ist.

Autori: Doc. dr. sc. **Snježana Knezić**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Jure Margeta**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Matica hrvatske 15

1 Uvod

Šire se područje Splita (slika 1.), koje obuhvaća gradove: Split, Solin, Kaštela i Trogir, u posljednjih 50 godina intenzivno razvijalo i urbaniziralo, tako da je 1953. na ovom području živjelo oko 109.000, a danas oko 280.000 stanovnika, što je uzrokovalo značajne infrastrukturne probleme, posebno kanalizacijskog sustava.



Slika 1. Položaj promatranog područja

Izgradnja i širenje kanalizacijskog sustava na ovome su se prostoru dugo vremena zanemarivali tako da je kanalizacijski sustav uglavnom izgrađen u užim gradskim jezgrama. Postojeća kanalizacija sastoji se od većeg broja samostalnih podsustava koji skupljaju vodu s određenog manjeg područja i disponiraju je u more bez pročišćavanja, pa na obalnom pojasu duljine oko 30 km postoji više od stotinu manjih ili većih ispusta.

Ukupna količina otpadnih voda na području gradova Splita, Solina, Kaštela i Trogira procjenjuje se na oko 30 milijuna m³, od čega oko 60% dospjeva u Kaštelanski zaljev, a ostatak u Brački i Splitski kanal. Osim komunalnih otpadnih voda obalno je more opterećeno i otpadom iz drugih točkastih i difuznih izvora zagađenja [5].

Analiza razvojnih procesa u zaljevu i okolici pokazala je da je dosadašnji razvoj područja bio zasnovan na praksi iskorištavanja prirodnih bogatstava kao da su ona neograničenog kapaciteta [5]. Osnovni kriterij vrednovanja rasta bio je rast pojedinačnih razvojnih varijabli (stanovništvo, dohodak, proizvodnja itd.), a ne razvitak u integralnom smislu (kvaliteta življenja, zaštita okoliša, zaštita kulturnih bogatstava itd.). Takav razvitak doveo je do niza konflikata. Za manje od četiri desetljeća ovaj se atraktivan i lijep za turizam vrlo vrijedni prostor, pretvorio u krajnje degradirani okoliš s vrlo zagađenim obalnim morem, neodgovarajućom ekonomskom strukturom te s brojnim demografskim i socijalnim problemima. Takvo stanje natjeralo je odgovorne da se konačno počnu baviti ovim problemom kako bi se stanje popravilo. U rješavanje nastalog problema uključile su se i međunarodne institucije; *UNEP-Mediterranean Action Plan*, *World Bank - METAP* i *EU*.

Da bi se ubuduće izbjegle neželjene posljedice, potrebno je uvesti integralno upravljanje prostorom (tлом, vodom, morem i zrakom). Integralni pristup gospodarenju obal-

nim morem i vodnim resursima u razmatranom slučaju zahtijeva jasno određivanje ciljeva, mjera i kriterija te uspostavljanje odgovarajućeg mehanizma koji povezuje i sijedi međuodnose između svih elemenata okoliša i društveno-ekonomskog sustava i njegova razvoja. Integralnim upravljanjem osigurat će se održivi razvoj Kaštelanskog zaljeva i šireg prostora. Prvenstvo je u rješavanju nastalih problema kontrola točkastih izvora zagađivanja, odnosno rješavanje problema skupljanja, pročišćavanja i dispozicije industrijskih i komunalnih otpadnih voda. Kao rezultat predložen je integralni projekt razvoja kanalizacije koji se realizira od 1996.

Zbog svog šireg značenja i regionalnog obuhvata, jer obuhvaća više lokalnih zajednica koje u odnosu prema rješavanju problema imaju svoje lokalne interese (horizontalna struktura), a rješavanje problema je u nadležnosti više nadležnih institucija i ministarstava (vertikalna struktura), te ekoloških ali i socio-ekonomskih značajki, problem uključuje permanentno donošenje raznovrsnih odluka na različitim razinama (multidecision problem) i stoga zahtijeva odgovarajuću neovisnu organizaciju i sustav za podršku u odlučivanju (SPO). SPO, osim svoje temeljne funkcije - održavanje procesa odlučivanja, ima ulogu integratora svih funkcija koje obnaša sustav, od operativne do strateške razine, geografsku integraciju promatranog prostora te gospodarenje prirodnim i kanalizacijskim sustavom.

2 Predložena strategija rješavanja problema otpadnih voda

2.1 Osnovni pristup rješavanju problema

Problem je više godina analiziran - izvršena su opsežna istraživanja mora i karakteristika sustava, analiziran je asimilativni kapacitet obalnog mora te više alternativnih rješenja. Da bi se problem cjelovito i sustavno riješio utvrđena je dugotrajna strategija zaštite obalnog mora šireg područja Splita koja obuhvaća Kaštelanski zaljev i Bračko-Splitski kanal.

Radi osiguranja dugoročne zaštite Kaštelanskog i Trogirskog zaljeva od otpadnih voda, ocijenjen kao "osjetljivo područje" mora, potrebno je [7]:

- eliminirati sve ispuste komunalnih otpadnih voda u zaljeve
- eliminirati sve ispuste industrijskih otpadnih voda u zaljeve
- smanjiti ispuštanje otpada difuznim izvorima zagađenja (oborinske vode, talog iz zraka i drugo)
- uspostaviti trajnu kontrolu izvora zagađivanja i stanja kakvoće mora.

Dugoročnu zaštitu Bračkog i Splitskog kanala, koji su ocijenjeni kao "manje osjetljivo područje" mora, treba postići primjenom sljedećeg [7]:

- ispuštanjem otpadnih voda dugim podzemnim ispuštima
- odgovarajućim pročišćavanjem otpadnih voda prije ispuštanja u more
- prethodnim pročišćavanjem svih industrijskih otpadnih voda prije njihova ispuštanja u gradski kanalizacijski sustav
- eliminacijom svih sadašnjih nekontroliranih ispusta;
- odgovarajućim pročišćavanjem oborinskih i preljevnih voda iz postojećeg mješovitog sustava
- kontrolom svih difuznih izvora zagađivanja.

Osnovni uvjet uspješnog rješavanja problema, osim dobrog planiranja, jest kvalitetna i cjelovita primjena rješenja koja podjednaku važnost daje izgradnji, upravljanju i održavanju sustava te prilagođivanju rada sustava stvarnim potrebama koje će se javiti u budućnosti, kao što su:

- izgradnja pouzdanoga regionalnog kanalizacijskog sustava
- efikasno upravljanjem i dobro održavanje izgrađenoga kanalizacijskog sustava
- aktivno sudjelovanje javnosti
- odgovarajući *monitoring* i informiranje
- primjena sustava za podršku u odlučivanju (SPO) u gospodarenju obalnim vodnim resursima.

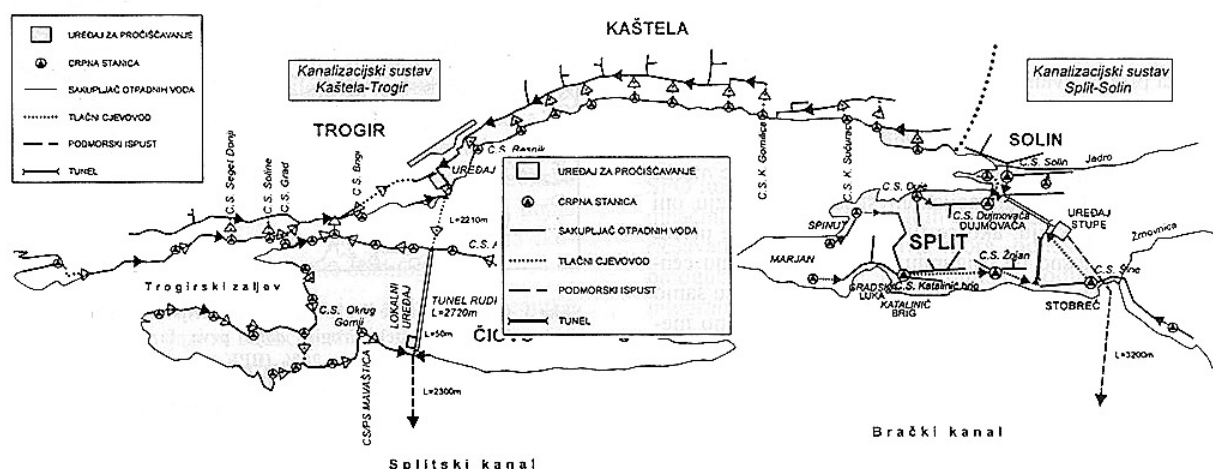
Ovu strategiju rješavanja problema usvojile su sve nadležne institucije i sve lokalne zajednice koje su obuhvaćene projektom. Osim toga ova strategija je dobila i podršku UNEP-MAP-a i METAP-a. Projekt je dobio i podršku World Bank-Washington i EBRD-London koje su osigurale zajam za realizaciju I etape izgradnje kanalizacijskog sustava.

2.1 Koncept izgradnje kanalizacijskog sustava i uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

Dugoročno rješenje kanalizacijskog sustava područja Splita, Solina, Kaštela i Trogira predviđa izgradnju dvaju regionalnih kanalizacijskih sustava, Split-Solin i Kaštela-Trogir, (slika 2.). Ovi sustavi su razdjelnog tipa kanalizacije. Svaki sustav bi imao svoje središnje postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda i pripadajući podzemski ispušt. Uređaji su planirani u više paralelnih tehnoloških linija, a svaka linija u više tehnoloških etapa, odnosno razina pročišćavanja. Predviđeno je: potpuno mehaničko pročišćavanje otpadnih voda (rešetke, taložnik), djelomično biološko pročišćavanje, potpuno biološko pročišćavanje, denitrifikacija, defosfatizacija i dezinfekcija. Uz svaku razinu pročišćavanja gradi se pripadajući podzemski ispušt koji s uređajem sačinjava jedinstvenu tehničko-tehnološku cjelinu u pročišćavanju i dispoziciji otpadnih voda u more. Osnovni elementi i etape izgradnje uređaja prilagođeni su dugoročnim potrebama sustava. Takva etapnost izgradnje uređaja omogućava optimalno prilagođivanje stupnja pročišćavanja stvarnim potrebama i mogućnostima tijekom vremena (količini otpadnih voda i traženom stupnju pročišćavanja), tj. mogućoj izgradnji kanalizacijske mreže.

Dugoročno rješenje kanalizacijskih sustava Split-Solin i Kaštela-Trogir vrlo je skupo za izvedbu ali i za održavanje i pogon, tako da će proći dosta vremena prije nego što se potpuno realizira. Stanovništvo ovog područja, odnosno njegov standard, još dugo neće biti u mogućnosti financirati izgradnju i funkcioniranje kanalizacijskog sustava u skladu s predviđenim konačnim rješenjem. Stoga je etapni razvoj sustava potreban, ali i moguć, iz više drugih razloga kao što su:

1. Asimilativni kapacitet Bračkog i Splitskog kanala koji su recipijenti otpadnih voda je još uvijek velik i



Slika 2. Koncept dugoročnog rješenja kanalizacijskih sustava

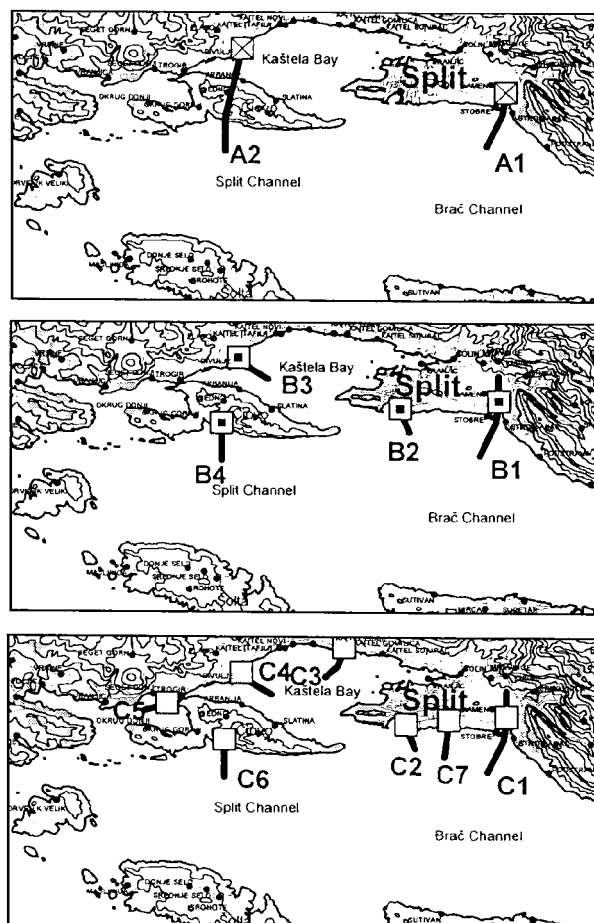
omogućava da se otpadna voda bez biološkog pročišćavanja može ispuštati u otvoreno more putem dugih podmorskih ispusta bez ekoloških posljedica.

2. Raspoloživa količina i kvaliteta podataka o karakteristikama otpadnih voda i prijemnika te razvojnim potrebama nisu dovoljni da bi se sa zadovoljavajućom sigurnošću i ekonomičnošću problem realizirao. To se, prije svega, odnosi na veliku nesigurnost u industrijskom razvoju odnosno u procjeni količina i karakteristika industrijskih otpadnih voda s obzirom na to da znatan dio postojeće industrije ne radi te da se industrijska djelatnost nalazi u procesu restrukturiranja s nepredvidivim ishodom.
3. Velika sezonska fluktuacija količine otpadnih voda i zagađenja zbog utjecaja klimatskih karakteristika i turističke djelatnosti komplicira i poskupljuje rješenje pročišćavanja otpadnih voda što u sadašnjem trenutku nije ekonomski i tehnološki prihvatljivo i održivo. Zbog toga su jednostavnija rješenja s dugim podmorskim ispustima pouzdanija i ekonomičnija, a ujedno dobra osnova za buduću nadogradnju sustava zaštite obalnih voda.
4. U najvećem dijelu ovog prostora nema izgrađene kanalizacijske mreže za čiju će izgradnju osim velikih financijskih sredstava trebati i dosta vremena. To praktički znači da će proći dosta vremena dok se ne izgradi potpuni i jedinstveni kanalizacijski sustav (više od 20 godina). Stoga se vremenom izgrađeni dijelovi sustava moraju ispravno funkcionirati i činiti zadovoljavajuću tehničko-tehnološku cjelinu koja je u skladu sa zakonskim i drugim ograničenjima i ujedno biti jedna od etapa izgradnje cjelovitoga jedinstvenoga kanalizacijskog sustava.

Kako se zahtijeva da svaka etapa izgradnje daje poboljšanja u zaštiti okoliša, bilo je predviđeno je da se za svaku etapu izgradnje kanalizacijske mreže gradi i pripadajući uređaj za pročišćavanje i podmorski ispust. To znači da će se uz pojedine etape izgradnje mreže graditi i uređaji za pročišćavanje i ispust. Međutim, kako dugoročni koncept predviđa jedinstveni uređaj za pročišćavanje ovi, nazovimo ih, "etapni uređaji" imaju privremeni karakter jer napredovanjem izgradnje kanalizacijske mreže k jedinstvenom kanalizacijskom sustavu i uređaju oni gube svoju funkciju, ako se tijekom vremena ne utvrdi drugačije, odnosno ne osiguraju sredstva za gradnju centralnih uređaja. Zbog ekonomičnosti predviđene su samo dvije moguće razine privremenih uređaja: potpuno mehaničko pročišćavanje i djelomično biološko pročišćavanje te izgradnja uređaja za pročišćavanje mulja isključivo na konačnoj lokaciji.

Polazeći od prostornih, urbanističkih, ekoloških i drugih karakteristika ove regije, te postojećeg stanja izgrađe-

nosti kanalizacijske mreže i ispusta, došlo se do tri moguće tehnološke etape realizacije kanalizacijskog sustava (slika 3.) unutar kojih postoji više cjelovitih manjih kanalizacijskih sustava. To su: tehnološka etapa A, konačno rješenje sa dva zasebna sustava; tehnološka etapa B s četiri zasebna sustava i razinom nepotpunoga biološkog procesa pročišćavanja otpadnih voda na svakom od njih; i tehnološka etapa C sa šest privremenih kanalizacijskih sustava i pripadajućim mehaničkim uređajima za pročišćavanje. Što se kanalizacijski sustav više ujedinjava razina se pročišćavanja povećava jer se jedino na takav način omogućava poboljšanje zaštite okoliša, odnosno smanjuje unošenje zagađenja u more. Tehnološki prihvatljiv prijelaz s jedne na drugu etapu realizacije sustava osigurava se izgradnjom privremenih uređaja na lokalitetima glavnih regionalnih crpnih stanica koje se, u skladu s dugoročnim konceptom, trebaju graditi.



Slika 3. Osnovne etape izgradnje kanalizacijskih sustava Split-Solin i Kaštela-Trogir: *dolje* prva faza - mehaničko pročišćavanje razina 20% (BPK₅); *sredina* druga faza - biološko pročišćavanje razina 50% (BPK₅); *gore* treća faza - biološko pročišćavanje razina 90% (BPK₅)

Prijelaz iz jedne etape izgradnje kanalizacijskih sustava u drugu zahtijeva i izgradnju kapitalnih objekata kojima

se osigurava povezivanje manjih sustava u veće (C u B, a B u A). Na taj se način dobilo 15 mogućnosti moguće etapne izgradnje kanalizacijskih sustava šire regije Splita (slika 3.). Svaka je mogućnost karakteristična, s jedne strane sa svojim troškovima izgradnje, pogona i održavanja, a s druge strane sa svojim utjecajem na poboljšanje stanja okoliša odnosno unapređenje zaštite okoliša. Pred donositelje odluke postavlja se trajna dilema: što i kada graditi u okviru raspoloživih financijskih sredstava uz istodobno osiguranje pozitivnih pomaka u zaštiti okoliša. Jedino je sigurno da se sustav u cjelini ne može odmah graditi. Svaki se novi korak gradi:

- na rezultatima prethodnog
- na novim podacima
- na lokalnim, nacionalnim i međunarodnim zahtjevima i potrebama
- na primjeni novih razvijenih tehnologija
- na ekonomskim mogućnostima
- na organizacijskim i drugim mogućnostima lokalnih zajednica i organizacija koje upravljaju kanalizacijskim sustavom.

Sve se to može postići primjenom predloženoga integralnog pristupa. Planirani razvoj kanalizacijskog sustava prema principu "korak po korak" pridonijet će:

- "ozdravljenju" Kaštelanskog zaljeva
- zaštiti mora na širem području
- unapređenju urbane infrastrukture
- povećanju kakvoće življenja lokalnog stanovništva
- poboljšanju ekonomskih i društvenih vrijednosti šireg područja, a posebno
- razvoju turizma.

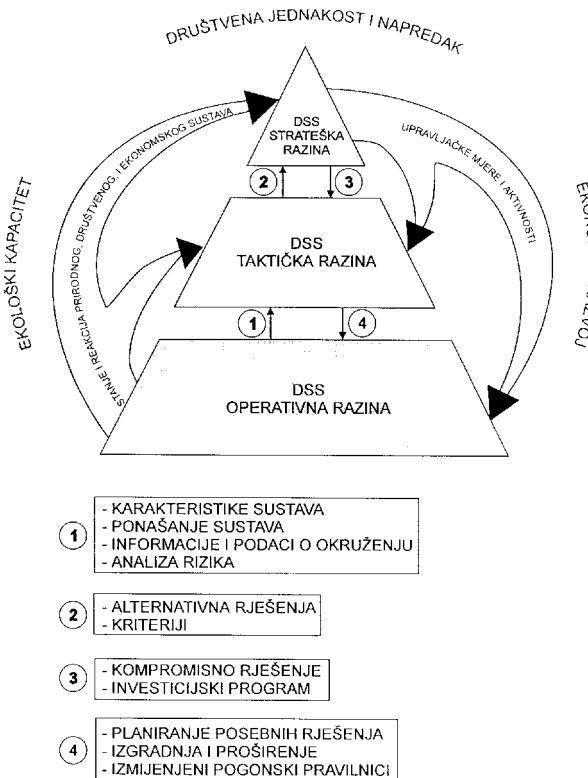
3 Uloga i koncept integralnog sustava za podršku odlučivanju

U navedenim okolnostima bilo je potrebno uspostaviti sustav za podršku odlučivanju (SPO) koji će trajno pomoći u planiranju i upravljanju kanalizacijskim sustavom, te pratiti dugotrajnu i složenu izgradnju novog regionalnog kanalizacijskog sustava, utjecaj sustava na kakvoću obalnog mora, kao i ostale njegove učinke. Cilj je omogućiti sustavni razvoj cjelokupne kanalizacijske mreže ka konačnom održivom rješenju. SPO mora trajno pomagati donositeljima odluka prilikom donošenja ekološki prihvatljivih rješenja zaštite obalnog mora.

Za ovako složene projekte teško je u sadašnjem trenutku utvrditi održivu razinu budućeg stanja koja će zadovoljiti korisnike sustava. Stoga je sada vrlo složeno ali i nepotrebno odgovoriti na sva pitanja koja se odnose na održivost rješenja sustava, pa je stoga realno problem rješavati etapno i organizirano u čemu glavnu ulogu ima SPO. SPO će pomoći da se na znanstvenim osnovama utvrdi:

- razina zagađenja mora na širem području,
- mjere zaštite mora,
- mjere i redoslijed širenja kanalizacijskog sustava,
- sve realno moguće strukturne i administrativne mjere za zaštitu mora, i drugo.

Temeljni cilj je omogućiti trajnu izgradnju sustava zaštite mora od dna ka vrhu (integralno), odnosno od operativne ka strateškoj razini sustava, uz istovremeni razvoj svih razina upravljačkog mehanizma kako se u dugom, višegodišnjem periodu izgradnje ne bi gubilo na cjelovitosti razvoja sustava te istodobno osigurala potrebna fleksibilnost i prilagodba etapnog razvoja sustava očekivanim tehničko-tehnološkim, zakonskim, ekološkim, financijskim, društvenim i drugim promjenama u budućnosti.



Slika 4. Koncept integralnog Sustava za podršku odlučivanja

SPO ima ključnu ulogu u ostvarenju zajedničkih i pojedinačnih ciljeva više lokalnih zajednica koje sudjeluju u rješavanju problema zaštite mora, odnosno SPO treba omogućiti donošenje kompromisnih odluka. Koncept integralnog SPO-a koji odgovara potrebama izgradnje opisanog regionalnog kanalizacijskog sustava prikazan je na slici 4. sastoji se od tri glavna elementa, to jest razine rješavanja/odlučivanja: operativna, taktička i strateška. Svaka razina odlučivanja podržana je podsustavom koji tvori neovisan SPO prilagođen njenim potrebama. Komunikacija u vertikalnom smjeru "prema gore"

ostvorena je informacijskim tokovima koji predstavljaju agregirane informacije i podatke u formi standardnih izvještaja ili posebne procedure izvještavanja u incidentnim situacijama, odnosno na višim razinama, u obliku rješenja i ideja koje se odnose na unaprjeđenje kanalizacijskog sustava i strategije razvoja zaštite mora. Od vrha ka dnu informacijskim tokovima se prenose pravne procedure i ostale smjernice djelovanja koje su proizišle iz usvojene strategije gospodarenja zaštitom obalnog mora.

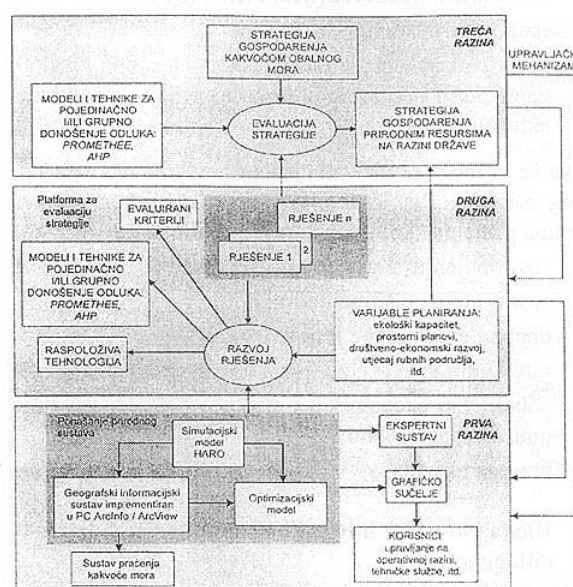
Proces donošenja odluka od operativne do strateške razine izgradnje regionalnog kanalizacijskog sustava zaštite obalnog mora je stalan tijekom cijelog procesa implementacije, a po karakteru višekriterijalan i odvija se na više razina zbog svog regionalnog obuhvata i značaja. Naime, rješavanje problema zaštite obalnog mora šireg područja Splita obuhvaća više gradova koji, iako imaju isti globalni cilj, u njegovu ostvarenju polaze od različitih lokalnih interesa koji značajno utječu na ostvarenje regionalne zaštite obalnog mora. Ciljevi i interesi su, na žalost, promjenjivi shodno rezultatima izbora, odnosno politici koju provode lokalni političari tijekom vremena.

Zbog neizvjesnosti i rizika koji prate dugotrajni razvoj i izgradnju sustava potrebno je već u početku sustavno razvijati alate i metodologiju koji će pratiti takav razvoj. Naime, proces razvoja kanalizacijskog sustava i sustava zaštite mora zahtijeva neagregirane podatke iz baze podataka te rezultate simulacijskih i optimizacijskih modela za dobro strukturirane zadatke koji se razvijaju tijekom implementacija ali i podatke kontrolnog mehanizma (upravljanja) već implementiranog dijela kanalizacijskog sustava. Baza podataka i modela, te kontrolni mehanizmi po svojoj organizacijskim osobinama pripadaju operativnoj razini sustava. Stoga sustav za podršku odlučivanju mora integralno obuhvatiti sve tri razine kako bi što djelotvornije i učinkovitije podržao proces odlučivanja na svim razinama rada i razvoja sustava. Ovakva organizacija može poslužiti kao trajan i sustavan oblik zaštite obalnog mora cijele regije, jer i nakon implementacije, baze podataka i modela, iskustva, organizacijske formacije i informacijski tijekovi ostaju u funkciji u smislu prevencije ali i neprekidnog razvoja i unaprjeđenja kanalizacijskog sustava kao i ostalih regionalnih sustava zaštite okoliša.

4 Integralni sustav za podršku odlučivanju u zaštiti obalnog mora šireg područja Kaštelanskog zaljeva

Sustav za podršku odlučivanju za razvoj obalnog regionalnog kanalizacijskog sustava je jedinstveni sustav organiziran na tri hijerarhijske razine (Slika 5). Prva razina daje podršku donositeljima odluka na najnižoj (operativnoj-tehničkoj) razini i uključuje monitoring, bazu podataka, bazu modela, bazu znanja i korisničko sučelje. Druga,

taktička i još uvijek znanstveno - tehnička razina odlučivanja i upravljanja razrađuje pojedine etape izgradnje kanalizacijskog sustava ali i sudjeluje u izradi varijantnih kompromisnih opcija integralnog rješenja na kojem će se temeljiti strategija razvoja sustava. Posljednja, strateška i dominantno politička razina donosi odluke najšireg značenja, odnosno definira dugoročnu strategiju razvoja zaštite obalnog mora kroz razvoj odgovarajućeg kanalizacijskog sustava i ostalih mjera zaštite uključujući i sve dugoročne obveze sudionika/lokalnih zajednica. Razine upravljanja, odnosno odlučivanja su međusobno povezane informacijskim tijekovima koji od dna ka vrhu agregiraju relevantne informacije, i obrnuto, od vrha ka dnu informacijski tijekovi predstavljaju upravljački mehanizam koji implementira usvojenu globalnu strategiju gospodarenja sustavom.



Slika 5. Sustav za podršku odlučivanju u izgradnji regionalnog obalnog kanalizacijskog sustava područja Kaštelanskog i Trogirskog zaljeva, te Splitskog i Bračkog kanala

4.1 Prva razina

Osnovni elementi prve razine sustava su korisničko sučelje, baza podataka, te baza fizikalnih, ekonomskih i ostalih upravljačkih modela niže razine, objedinjenih u podsustav koji, uz bazu znanja, daju sliku ponašanja ekosustava i kakvoće obalnog mora, te učinkovitost regionalnih kanalizacijskih sustava.

Na prvoj razini odlučivanja sustavnom analizom šireg područja promatranja prepoznate su tri glavne funkcije koje podržava SPO:

- praćenje ponašanja već izgrađenog kanalizacijskog sustava i ostalih mjera zaštite mora,

- kontrola stanja/standarda kakvoće mora,
- istraživanje i daljnji razvoj sustava zaštite mora.

Cilj implementacije prve razine sustava za podršku odlučivanju je uključiti čim više modela koji podržavaju aktivnosti vezane uz simulaciju, optimizaciju i analizu sustava i relevantnih procesa. Podržavanje svih prepoznatih aktivnosti unutar ovih funkcija nekim od modela je osebujan posao koji uključuje različite stručnjake. U početnom razdoblju implementacije sustava za područje obalnog mora Splita, Kaštela i Trogira primjena složenijih modela je ograničena zbog malog skupa podataka i nepovezanosti sustava za podršku odlučivanju s ostalim podsustavima prostora (javna poduzeća, županijske i gradske službe) iz kojih se crpe dodatne informacije, bitne za donošenje odluka. Postupnim daljnjim razvojem sustava zaštite obalnog mora, složenost i broj modela će rasti, a na taj način učinkovitost i djelotvornost cijelog sustava za podršku odlučivanju. Neki od modela su na operativnoj razini SPO-a već sada objedinjeni u funkcionalnu cjelinu kao što je to prikazano na slici 5. To su baza podataka (geografski informacijski sustav), simulacijski i optimizacijski model.

4.1.1 Baza podataka

Razvoj i implementacija strategije upravljanja obalnim područjima na svim razinama ovisi o djelotvornom prepoznavanju, prikupljanju i korištenju informacija. Osim procesa donošenja odluka, pristup informacijama je u izravnoj vezi s potrebom osiguravanja jednakosti sudjelovanja svih sudionika u procesu odlučivanja, kao i javnosti koja je ključni korektivni mehanizam i pokretač akcija. Stoga se ovom modulu posvetila velika pažnja kako bi se uistinu obuhvatili svi pokazatelji koji će sudjelovati u zatvorenom tijeku podataka "odluka - akcija - povratna informacija". Karakteristika varijabli tehničko-tehnološkog i prirodnog sustava je promjena u vremenu, te se uspostavljanjem organiziranog neposrednog prikupljanja podataka (monitoring) postiže mogućnost njihovog kontinuiranog praćenja i analiziranja. Planirana je uspostava automatizirane mreže postaja za praćenje kakvoće mora na mjestima koja najbolje odražavaju strukturu tražene kategorije mora, te neposredno kod ispusta. Sustav praćenja bi bio neprekidno povezan s bazom podataka. Ovakva izravna veza, u realnom vremenu, jest bitan čimbenik naročito pri gospodarenju u incidentnim situacijama, kako bi se moglo pravodobno reagirati.

U razvoju ovakve integralne baze podataka veliki značaj ima geografski informacijski sustav (GIS). Prednost primjene geografskih informacijskih sustava, u odnosu na klasične, u području upravljanja vodnim resursima obalnih mora, vidljiva je kroz: mogućnost vizualnog sagledavanja konfliktnosti cjelokupnog prostora, uspostav-

ljanju prostornih odnosa između korisnika prostora i sudionika u aktivnostima na području promatranja, mogućnost prostornog prikazivanja rezultata analiza i modela, vizualizaciju "što ako" analiza, mogućnost boljeg i bržeg djelovanja u incidentnim situacijama pri operativnoj razini upravljanja kroz izravno povezivanje geografskog informacijskog sustava i sustava praćenja stanja akvatorija, uspostavu prostorne koreliranosti i ustanovljavanja trenda među svojstvima sustava. Cjelokupno područje Kaštelskog i Trogirskog zaljeva, te Splitskog i Bračkog kanala sa svojim geografskim, topološkim, prirodnim, ekonomskim i društvenim karakteristikama implementirano je u PC ArcInfo/ArcView programskoj podršci.

4.1.2 Simulacijski model

Za simulaciju zagađenja i promatranja osobina mora, korištena je poboljšana inačica modela HARO3 (United States Environmental Protection Agency - New York, 1974). To je trodimenzionalni model kojim se simulira širenje varijabli zagađenja. Model se bazira na zakonu održanja mase i simuliranju dvostupanjske reakcije naprijednim pristupom "feed forward fashion". Za simulaciju bakteriološkog zagađenja upotrebljava se "jet" model. Predložena konfiguracija SPO-a može prihvatiti bilo koji drugi simulacijski model koji se bude razvijao shodno stupnju razvoja SPO-a i novčanih mogućnosti za izradu novih simulacijskih modela i razvoja baze podataka.

Unutar predloženog SPO-a simulacijski model se koristi i u sprezi s optimizacijskim modelom preko ukupne matrice odgovora sustava za kontrolu zagađenja mora organskom tvari. Nakon primjene metode konačnih razlika na konvektivno-difuzijsku jednadžbu za prijenos mase, te uzimajući u obzir odnos, nedostatak kisika i BPK u simulacijskom modelu, dobivena je slijedeća globalna jednadžba simuliranog sustava obalnog mora:

$$(b) = [C]^{-1}(W_c) + [B]^{-1}(W_b) \quad (1)$$

gdje b predstavlja deficit kisika, W_b uvjete okoliša, i W_c veličinu BPK₅ otpadnih voda. Elementi matrica $[C]^{-1}$ i $[B]^{-1}$ u sebi uključuju geometriju prirodnog sustava, koeficijente disperzije, koeficijente reakcije i advektivni tok mase vode i tvari za svaki element diskretiziranog šireg morskog prostora (Bračko-Splitski kanal i Kaštelski zaljev). Matrica $[C]^{-1}$ je vrlo korisna za analizu sustava jer iskazuje izravnu vezu između parametra deficita kisika u moru na pojedinim točkama/dijelovima mora i BPK opterećenja otpadnim vodama putem obalnih i podmorskih ispusta na pojedinim točkama mora. U konkretnom slučaju ona je korištena u optimizacijskom modelu za kontrolu i upravljanje ispuštanjem otpadnih voda u more, odnosno kontrolu i izbor razine pročišćavanja.

4.1.3. Optimizacijski model

Druga funkcija "kontrola stanja/standarda kakvoće mora" nastavlja se na funkciju praćenja rada sustava, a obuhvaća tri osnovne zadaće:

- uspostavu zadanog standarda regulacijom razine pročišćavanja otpadnih voda na uređajima;
- djelovanje pri incidentnim situacijama kada je odstupanje od standarda značajno;
- određivanje mjesta na kojima je trend pogoršanja kakvoće mora stalan.

Za rješavanje navedenih zadaća koristi se navedena sprega optimizacijskog i simulacijskog modela preko ukupne matrica odgovora sustava iz simulacijskog modela koja postaje matrica koeficijenata nejednadžbi optimizacijskog modela.

Prekoračenje dozvoljene koncentracije, ili uspostava zadanog standarda kakvoće mora u kontrolnom elementu (prostoru) mora i , može se riješiti smanjenjem opterećenja na mjestima ispusta, odnosno odgovarajućim radom uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Koristeći izrađeni simulacijski model širenja zagađenja moguće je uspostaviti odnos između elemenata diskretizacije prostora (konačnim volumenima), odnosno koncentracije parametra θ_i u elementu:

$$\theta_i = a_{i1}w_1 + a_{i2}w_2 + \dots + a_{in}w_n, \quad (2)$$

gdje je w_k opterećenje u elementu k , a a_{ik} jedinični utjecaj k -tog elementa na element i . Varijable stanja sustava izražene su preko koeficijenata utjecaja a_{ik} , a varijabla odlučivanja jest količina opterećenja, odnosno stupanj pročišćavanja. Ukoliko θ_i označava željenu koncentraciju u elementu i , a μ_k stupanj pročišćavanja u elementu k gdje se nalazi uređaj, te w_k koncentraciju na uređaju prije pročišćavanja vrijedi odnos:

$$\theta_i = (1 - \mu_1)a_{i1}w_1 + (1 - \mu_2)a_{i2}w_2 + \dots + (1 - \mu_k)a_{ik}w_k. \quad (3)$$

Na ovaj način uspostavljen je sustav jednadžbi optimizacijskog modela kojim se rješava problem uz korištenje određene funkcije cilja. Ukoliko je cilj uspostaviti potrebni standard mora uz minimalne troškove pročišćavanja tada treba minimizirati funkciju troška na uređajima za pročišćavanje. Neka $G_k(\mu_k)$ predstavlja funkciju troška uređaja za pročišćavanje smještenog u element k , tada, u skladu sa zadanim ciljem treba minimizirati ukupnu funkciju troška:

$$\min \rightarrow F(x) = \sum_{j=1}^n G_j(\mu_j), \quad (4)$$

uz uvjete:

$$\sum_{j=1}^n \mu_j a_{ij} w_j = \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j - \Delta \theta_i \quad (5)$$

$$0 \leq \mu_k \leq \mu_{k_max}. \quad (6)$$

Međutim, ukoliko se radi o prekoračenju dozvoljene koncentracije parametra na kontrolnoj (kritičnoj) postaji, tada se optimizacijski model može oblikovati tako da se razlika koncentracije u elementu θ_i , i prihvatljive koncentracije $\tilde{\theta}_i$ u elementu i , $\Delta \theta_i = \theta_i - \tilde{\theta}_i$, "raspodijeli" na uređaje za pročišćavanje, ali tako da se minimiziraju dodatni troškovi pročišćavanja:

$$\min \rightarrow F(x) = \sum_{k=1}^n G_k(\mu_k + \Delta \mu_k), \quad (8)$$

uz uvjete:

$$\sum_{k=1}^n \Delta \mu_k a_{ik} w_k = \Delta \theta_i, \quad (9)$$

$$0 \leq \Delta \mu_k \leq \mu_{k_max} - \mu_k. \quad (10)$$

Kombinacijom simulacijskog i optimizacijskog modela moguće je definirati i druge funkcije cilja shodno potrebama koje se javljaju kod upravljanja kakvoćom mora. Korisnost ukupne matrice odgovora sustava simulacijskog modela je mnogostruka na operativnoj razini upravljanja sustavom zaštite obalnog mora, ali i kod izrade novih etapa i razvoja kanalizacijskog sustava i postaje značajni alat za utvrđivanje racionalne i efikasne zaštite obalnog mora.

4.2 Druga razina

Zadatak ove hijerarhijske razine je iznalaženje novih unaprijeđenih rješenja zbrinjavanja otpadnih voda, odnosno novih etapa razvoja regionalnog kanalizacijskog sustava i ostalih mjera zaštite mora, na osnovi podataka stanja, analiza rezultata prve razine upravljanja sustavom zaštite mora te naraslih potreba vezanih uz širenje kanalizacijske mreže i povećanje otpadnih voda i drugih relevantnih varijabli u procesu planiranja (stanje kakvoće mora, asimilativni kapacitet prijelnika, planiranje korištenja prostora, novih tehnologija, socio-ekonomski razvoj regije, utjecaj rubnih područja, itd.).

Na ovoj razini se sagledavaju konflikti koji se pojavljuju među korisnicima prostora te kontrola i ispunjavanje zakonskih i međunarodnih obaveza vezanih uz zaštitu mora. Rezultat analiza su prijedlozi, jedan ili više mogućih slijedećih scenarija razvoja sustava zaštite kakvoće mora i kanalizacijskog sustava koji su temelj za izradu strategije gospodarenja za slijedeći period.

S obzirom na karakteristike koncepta dugotrajnog rješenja kanalizacijskog sustava Split - Solin i Kaštela – Trogir i njegovu etapnu izgradnju, na ovoj su razini prepoznate slijedeće funkcije integralnog SPO:

- Prilagodba postojećeg rješenja sustava trenutačnim potrebama u skladu sa usvojenom dugoročnom strategijom ili,
- Izrada nove etape razvoja kanalizacijskog sustava i sustava zaštite mora u svrhu stvaranja nove dugoročne strategije gospodarenja kakvoćom mora.

Dakle, donositelji odluka, na temelju informacija o neodrživosti postojećeg stanja sustava zaštite mora i predloženog većeg broja novih rješenja odabiru novo kompromisno rješenje.

Problemi koji se rješavaju na ovoj razini su zadaće višekriterijalne analize. Donositeljima odluka SPO pruža podršku kroz modele i tehnike za pojedinačno, ali i grupno odlučivanje. U našem slučaju koriste se kombinacija AHP (Analytic Hierarchy Process) [2,4] i PROMETHEE [6, 8] metoda. Postupak odabira kriterija temeljni zadatak u procesu višekriterijalne analize i o njemu ovisi kakvoća donesene odluke. Da bi se obuhvatili svi kriteriji i izbjeglo njihovo semantičko podudaranje, za potrebe ovako složenog sustava obalnog mora, kontinuirano se provodi analiza ciljeva ostalih podsustava prostora, te sustavna analiza kojom se definiraju funkcije podsustava, integritet kojih se ne smije ugroziti novim rješenjem kanalizacijskog sustava.

4.3 Treća razina

Za regionalne kanalizacijske sustave koji se nalaze na prostoru više lokalnih zajednica donošenje konkretne odluke o novim etapama razvoja kanalizacijskih sustava je složeno i teško zbog izrazito sukobljenih interesa oko lokacije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, crpnih stanica, podmorskih ispusta i drugih objekata, te razine financijskih i drugih obveza pri implementaciji mogućih rješenja. Treća razina je izrazito politička razina upravljanja i donošenja odluka gdje donositelji odluka, na detaljno pripremljenoj podlozi mogućih rješenja (scenarija razvoja) o zbrinjavanju otpadnih voda i drugih mjera zaštite obalnog mora, unose nove kriterije u proces odlučivanja i donose odluku o kompromisnoj strategiji gospodarenja područjem Kaštelanskog i Trogirskog zaljeva, te Bračkog i Splitskog kanala koja se najviše približila zahtjevima korisnika, a istovremeno odgovara dugoročnom cilju - održivi razvitak. U konačnu su strategiju, koja u narednom razdoblju definira politiku upravljanja ovim područjem, odnosno kanalizacijskim sustavom i obvezama koje iz toga proizlaze, kroz složenu hijerarhijsku strukturu, ugrađena sva ograničenja postavljena nad raspoloživim resursima u skladu sa stvarnim

stanjem koje obrađuje prva razina SPO. Na ovoj su razini odlučivanja, zahvaljujući integralnoj hijerarhijskoj strukturi sustava za podršku odlučivanju, donositelji odluka "zaštićeni" od svih nepotrebnih tehničkih i njima nerazumljivih detalja.

Ovdje je predložena podrška nekim modelima i tehnikama za grupno i pojedinačno odlučivanje kako bi se potakao proces donošenja odluka, otklonile eventualne komunikacijske prepreke, i strukturirao proces odlučivanja. Implementacija strategije prenosi se mehanizmom upravljanja na niže razine i time osigurava neprekidnost procesa planiranja i gospodarenja svih razina.

Za sada se ovaj problem rješava kroz dobru pripremu donositelja odluke, odnosno rukovoditelja i političara, te zajednički rad na sastancima na kojima se prezentira problem i varijantna rješenja te se kroz neformalni proces razmijene mišljenja donose odluke. Ovakvim se načinom rada, odnosno podržavanjem procesa donošenja odluka, smanjuje uložena energija i mogućnost donošenja "loše" odluke.

Ključnu ulogu u ovom procesu imaju alati implementirani na prvoj operativnoj razini integralnog SPO, a posebno GIS vezan uz monitoring i vizualizaciju učinka pojedinih alternativa razvoja kanalizacijskog sustava na stanje kakvoće mora korištenjem simulacijskog modela. Pored toga baza kriterija kao i višekriterijalna analiza na drugoj razini imaju značajnu ulogu. Na ovaj način se učinkovito integriraju sve tri razine SPO.

Izrada koncepta strategije razvoja kanalizacijskog sustava Split – Solin i Kaštela - Trogir traži rješavanje horizontalnih i vertikalnih konflikata područja. Rješavanjem horizontalnih konflikata postiže se održivost sustava u smislu zajedničkog korištenja područja obalnog mora, odnosno traži se usklađivanje aktivnosti među korisnicima sustava koristeći slijedeće kriterije: ekološki, ekonomski, politički, društveni, zakonski, uklapanje u postojeće planove strategijskog razvoja, uklapanje u međunarodne obveze, itd. Vertikalni konflikti, odnosno mogućnost primjene buduće strategije kroz operativno upravljanje na najnižoj razini, rješavaju se uspostavom odgovarajućeg mehanizma upravljanja.

5 Diskusija i zaključak

U radu je prezentiran integralni SPO za gospodarenje kakvoćom obalnog mora izgradnjom regionalnih kanalizacijskih sustava na širem području Kaštelanskog zaljeva. Predstavljene su tri razine problema integralnog koncepta gospodarenja kakvoćom obalnog mora i tri razine SPO-a: operativna, taktička i strateška. Prednost ovakvog pristupa u praćenju dugotrajne izgradnje kanalizacijskog sustava i mjera zaštite mora na području Kaštelanskog i Trogirskog zaljeva, i Bračkog i Splitskog kanala, te u upravlja-

nju sustavom, je u pravodobnom uključivanju glavnih procesa i varijabli u modele, ovisno o učestalosti njihove promjene u vremenu. Budući da je učestalost promjene procesa i varijabli kroz koje se promatra prirodni sustav (onečišćenje, okoliš, razvoj, mjere zaštite) različita, procesi i varijable koji se često mijenjaju uključeni su u model na najnižoj operativnoj razini, kao npr. zabrana ribarenja, kupanja, zabrane aktivnosti pri ekscenim situacijama, informiranje javnosti i nadležnih institucija, itd. Proces i varijable koji utječu na ekosustav, a sporije se mijenjaju tijekom vremena, promatraju se tek na drugoj razini rješavanja problema gdje se donose zaključci i definiraju alternative mogućih rješenja koja predstavljaju podloge za donošenje dugoročnijih odluka utjecajnih na cjelokupni razvoj regije. Donositelji odluke na strateškoj razini svojim odlukama usmjeravaju i ograničavaju razvojne varijable, a sve u cilju ostvarenja održivog razvoja regije, te posebno zaštite mora kao važnog prirodnog resursa za cjelokupni regionalni razvoj.

Dosadašnja petogodišnja iskustva autora u razvoju i primjeni integralnog SPO na rješavanju problema zaštite mora šireg područja Kaštelanskog zaljeva i izgradnje regionalnog kanalizacijskog sustava bila je uspješna i značajno je olakšala donošenje odluka ili rješenja. SPO je tijekom vremena sustavno razvijan i dograđivan kako se širio i analizirao regionalni sustav zaštite obalnog mora, te aktivnosti vezane uz izmjenu pojedinog regionalnog kanalizacijskog sustava. Iako je SPO namijenjen lokalnim institucijama zaduženim za izgradnju i upravljanje regionalnim sustavima zaštite obalnog mora, on se do sada, uglavnom, razvijao i koristio na Građevinskom

fakultetu Sveučilišta u Splitu za potrebe projekta "EKO Kaštelanski zaljev", koje je fakultet obavljao u zadnjih šest godina za različite naručitelje (WB, EBRD, EKO - agencija, grad Split, Solin, Kaštela i Trogir, UNEP - MAP/PAP, i druge).

Tijekom vremena izgrađeni SPO i njegovi elementi su korisno poslužili, ne samo za donošenje odluka, već i za uspješno planiranje, izgradnju i upravljanje elementima regionalnog kanalizacijskog sustava zaštite obalnog mora. Primjenom SPO-a odabrana je I etapa rješenja kanalizacijskih sustava kojima se u okviru raspoloživih financijskih sredstava kao najpovoljnije rješenje usvaja tehnološko rješenje razine C, ali s ispuštima izvan Kaštelanskog zaljeva. Dosadašnji rezultati su pokazali da je korisnost prikazanog SPO-a vrlo velika i da omogućava efikasnu i trajnu pomoć svim stručnjacima i disciplinama uključenim u rješavanje problema, a posebno nevladine organizacije i javnosti koja je sve više zainteresirana i osjetljiva na ekološke projekte. Modularna struktura SPO omogućava da se jednostavno i brzo unaprjeđuje sustav, shodno razvoju nove programske podrške i kompjuterskih alata, te stanja i razvoja kanalizacijskog i ostalog sustava zaštite mora. Ključno je, da SPO omogućava kontinuiranu i organiziranu dopunu baze podataka, informacija i znanja neophodnih za razumijevanje procesa koji se odvijaju u moru, na kopnu i kanalizacijskom sustavu, kao i stanja koja u njima nastaju tijekom vremena. Na ovaj način se na jednom mjestu sakupljaju sva znanja i informacije potrebne za dugoročno održivo gospodarenje obalnim morem.

LITERATURA

- [1] Futagami, T.; Tamai, N.; Yatsuzuka, M.: *FEM Coupled with LP for Water Pollution Control*, ASCE - Journal of the Hydraulics Division, 102 (1976) HY7
- [2] Saaty, T. L.: *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill, New York, 1980.
- [3] Sprague, R. H.; Carlson, E. D.: *Building Effective Decision Support System*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1982.
- [4] Saaty, T., L.: *Group Decision Making i the AHP*, 1987.
- [5] Barić, A.; Gačić, M.; Margeta, J.: *Environmental capacity of the Kastela bay - general methodology and plan of analysis*, UNEP, MAP- PAP, Split, 1988.
- [6] Brans, J. P.; Marechal, B.: *THE PROMCALC & GAIA Decision Support System for Multicriteria Decision Aid*, Centrum voor Statistiek en Operationeel Onderzoek, Vrije Universitet Brussel, Belgium, 1991.
- [7] Margeta, J.; Barić, A.: *Environmental impact assessment study of the sewerage systems Split-Solin and Kaštela-Trogir*, UNEP, MAP- PAP, Split, 1996.
- [8] Brans, J. P.; Macharis, C.; Mareschal, B.: *The GDSS PROMETHEE Procedure*, Centrum voor statistiek en operationeel onderzoek, Vrije Universitet Brussel, Belgium, 1997.
- [9] Knezić, S.: *Model gospodarenja kakvoćom obalnog mora*, Doktorska disertacija, Sveučilište u Splitu, 1998.
- [10] Knezić S.; Margeta J.: *Decision Support System: A concept for success in coastal sea quality management?*, Water Pollution V - Modelling, Measuring and Prediction/P. Anagnostopoulos; C.A. Brebbia (ed.), Wessex Institute of Technology Press, Southampton, UK, 1999.