

Održivo upravljanje sustavom odvodnje otpadnih upotrijebljenih voda

Željko Rozić

Sveučilište u Mostaru, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, prof. dr. sc.
zeljko.rozic@fgag.sum.ba

Sažetak: U radu je prikazan jedna mogućnost primjene Objektno orijentiranog modeliranja (OOM) u funkciji održivog upravljanja sustavom odvodnje upotrijebljenih otpadnih voda. Primijenjena tehnika (alat) za provedbu sustavne analize, modeliranje, simulaciju i analizu dobivenih rezultata je objektno orijentirano modeliranje (OOM) i programski paket STELLA, koji je prilagođen složenim i dinamičkim sustavima, kakav je sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda. U radu je korišten već izrađeni i primijenjeni model koji se sastoji od fizičkih komponenti sustava, modela količine vode i kakvoće vode sustava odvodnje, a zatim i nadograđenim i dijelom socio-ekonomskog sustava – sustav troškova rada i održavanja sustava. Ovakav metodološki pristup modeliranja (korištenjem modela) i oponašanjem realnog sustava (simulacijom), te analizom dobivenih rezultata simulacijskog toka, primjenom OOM-a, pokazao se kao koristan i učinkovit alat za upravljanje i analizu održivog upravljanja sustava odvodnje urbanih područja. Model i metodologija je predložena za analizu i širu primjenu složenih urbanih vodnih sustava.

Ključne riječi: odvodnja, pročišćavanje otpadnih voda, objektno orijentirano modeliranje, održivi razvoj

Sustainable management of the wastewater disposal system

Abstract: The paper presents one possibility of applying Object Oriented Modeling in the function of sustainable management of the wastewater drainage system. The applied technique (tool) for the implementation of systematic analysis, modeling, simulation and analysis of the obtained results is object-oriented modeling (OOM) and software package STELLA, which is adapted to complex and dynamic systems, such as wastewater drainage and treatment. The paper uses an already developed and applied model consisting of physical components of the system, the model of water quantity and water quality of the drainage system, and then also upgraded with part of the socio-economic system - the system of operating and maintenance costs. This methodological approach to modeling (using models) and imitating the real system (simulation), and analysis of the obtained results of the simulation flow, using OOM, proved to be a useful and effective tool for managing and analyzing sustainable management of urban drainage systems. A model and methodology is proposed for the analysis and wider application of complex urban water systems.

Key words: drainage, wastewater treatment, object oriented modeling, sustainable development

1. UVOD

Odvodnja i kanalizacijski sustav otpadnih voda je podsustav složenog urbanog vodnog sustava. Upravljanje ovim infrastrukturnim komponentama je veoma zahtjevan i kompleksan zadatak, jer treba zadovoljiti sve zahtjeve vezane za odvodnju svih korisnika vodnih usluga (vodoopskrba), odnosno odvesti sve upotrijebljene vode do prijemnika otpadnih voda – recipijenta. Pri tome treba ispuniti niz uvjeta i ograničenja u pogledu, kapaciteta, transporta, društveno-ekonomskih i socijalnih kategorija, ne ugrožavajući opće prirodne ambijentalne karakteristike vodnog režima kao ni prirodni ekosustav.

Cilj je postizanje što boljih i održivih razina odgovornosti sustava odvodnje u odnosu na sve osnovne parametre sustava, što podrazumijeva sljedeće:

- prikupiti i sakupiti sve otpadne upotrijebljene vode,
- transportirati ih do uređaja za pročišćavanje,
- pročistiti iste i
- ispustiti u prijemnik

U radu će se prezentirati simulacija rada i upravljanja sustavom odvodnje u urbanim sredinama primjenom Objektno orijentiranog modeliranja (OOM), odnosno korištenjem već izgrađenog objektno orijentiranog modela [3], koji je izrađen u svrhu upravljanja cijelog urbanog vodnog sustava. Za ovaj slučaj primjene samo dijela urbanih voda urađen je podmodel – modificirani model urbanog vodnog sustava, nazvan ODRZIVA_ODVODNJA, koji je prilagođen samo za simulaciju i prezentaciju rada kanalizacijskog podsustava odvodnje otpadnih voda, uvažavajući sve komponente održivosti sustava. Za izradu modela korišten je programski paket STELLA, koji je prilagođen složenim i dinamičkim sustavima. Kao primjer primjene simulacije rada i upravljanja uzet je kanalizacijski sustav odvodnje otpadnih voda grada Mostara (BiH). Dakle, cilj je prikazati simulaciju rada i upravljanja složenim sustavom odvodnje otpadnih voda urbane sredine – integralni prikaz i prezentirati i objasniti rezultate simulacije uz smjernice i preporuke za poboljšanje rada sustava u kontekstu održivog razvoja.

1.1 Dosadašnja iskustva primjene OOM-a i drugih alata za simulaciju rada sustava odvodnje

U radu „Financijski održive strategije upravljanja infrastrukturom za prikupljanje gradskih otpadnih voda – razvoj modela dinamike sustava“ [8] su prikazani dijagrami toka i uzročne petlje razvijeni su za mreže prikupljanja otpadnih voda kako bi se identificirale složene interakcije i povratne sprege između fizičkih, financijskih i društvenih sektora. Dijagrami uzročne petlje se zatim ugrađuju u novi alat za podršku odlučivanju koji se temelji na dinamici sustava koji se može koristiti za financijski održivo upravljanje mrežama za prikupljanje otpadnih voda. Zahtjevi za podacima za razvoj alata za podršku odlučivanju raspravljaju se zajedno s načinom na koji se alat za podršku odlučivanju može koristiti za upravljanje uslužnim programom.

Rad „Kombinirani model za procjenu tehničkih i ekonomskih posljedica promjenjivih uvjeta i opcija upravljanja za komunalna poduzeća za otpadne vode“ [9] prezentira i prikazuje pojednostavljeni model koji kvantificira ekonomske i tehničke posljedice promjena uvjeta u sustavima otpadnih voda na komunalnoj razini. Razvijen je na temelju podataka dionika i ministarstava, prikupljenih anketom koja je utvrdila rezultirajuće učinke i prilagođene mjere. Model obuhvaća svu značajnu imovinu relevantnu za troškove i aktivnosti tipičnog njemačkog komunalnog poduzeća za otpadne vode. Sastoji se od tri modula: i) Kanalizacija za opisivanje stanja razvoja kanalizacijskih sustava, ii) UPOV za razmatranje procesnih

parametara uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (PPOV) i iii) Računovodstvo troškova za obračun troškova u kategorijama troškova i rezultirajućih naknada.

Još jedan rad koji ilustrira dobar alat za optimalizaciju složenih sustava: „Integrirani alat za simulaciju orijentiran na kontroli za Optimiziranje rada sustava gradske odvodnje“ [10]. U radu se prezentira i uvodi inovativni softver za modeliranje, Simuwater, koji spaja više principa, simulira više komponenti sustava i kombinira optimizirane upravljačke funkcije. Softver je korišten za kontrolu slučajeva u stvarnom vremenu u jednom gradu u Kini, te je dobio značajne optimizirane operativne rezultate za smanjenje kombiniranih kanalizacijskih preljeva (CSO) potpunim korištenjem skladišnih objekata.

Rad „Prostorni višeciljni model optimizacije za održivo planiranje rasporeda sustava gradskih otpadnih voda“ ilustrira projekt održivog grada koji je promijenio tradicionalni centralizirani urbani sustav otpadnih voda prema decentraliziranom ili klasteriziranom sustavu. Brojne su potencijalne opcije za planiranje rasporeda urbanog sustava otpadnih voda koje su povezane s različitim troškovima i lokalnim utjecajima na okoliš. Stoga postoji potreba za razvojem pristupa za pronalaženje optimalnog prostornog rasporeda za prikupljanje, pročišćavanje, ponovnu upotrebu i ispuštanje komunalnih otpadnih voda grada. U ovom radu razvijen je prostorni višeciljni model optimizacije, nazvan „Urban wastewaterR system Layout model (URL)“. Rješava se genetskim algoritmom koji uključuje Monte Carlo uzorkovanje i niz algoritama i grafova. Ovaj model je ilustriran studijom slučaja u novom urbanom području u Pekingu u Kini.

Dosadašnja istraživanja u pogledu održivosti i modeliranja rada sustava odvodnje su u većini slučajeva ograničena na primjenu određenog modela ili već postojećih softvera za simulaciju rada sustava i vezana su isključivo za simulaciju jednog ili samo dio komponenti sustava održivosti. Radi se ili samo tehničko – fizički sustav odvodnje – sustav količine i kakvoće otpadnih voda ili samo financijski i ekonomski sustav ili samo pročišćavanja voda – ekološki podsustav. Problem je dosta složeniji jer se radi o simulaciji složenih i kompleksnih sustava gdje treba problem sagledati integralno u kontekstu povezanosti sustava odvodnje sa društveno ekonomskim sustavom, ekosustavom i sve to ukomponirati u pravne okvire i zakonsku regulativu. Primjena OOM-a i predloženog modela upravo omogućuje primjenu za složene i kompleksne sustave uključujući sve strukturne i ne-strukturne komponente održivosti sustava odvodnje otpadnih voda u urbanim sredinama.

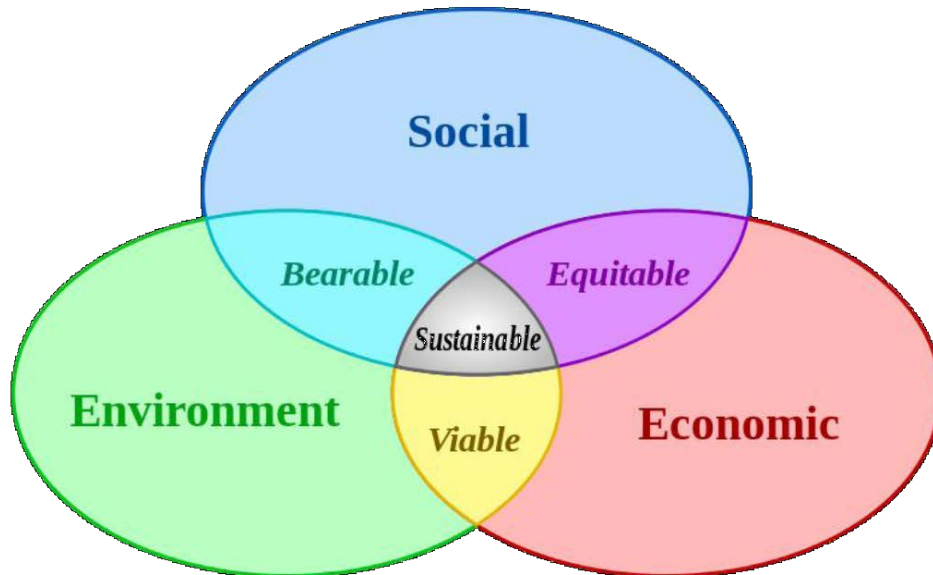
2. ODRŽIVOST SUSTAVA ODVDNJE

Održivost je sposobnost održavanja ravnoteže određenih procesa ili stanja u nekom sustavu. Danas se najčešće koristi u vezi s biološkim i ljudskim sustavima, ali vrijedi i za urbane sustave i njihovu infrastrukturu. Za ljude je ekološka održivost osnova za dugoročno održavanje blagostanja koje pak ovisi o blagostanju prirodnog svijeta i odgovornoj uporabi prirodnih resursa. Grad je sustav koji u značajnoj mjeri troši prirodne resurse za život ljudi i proizvodnju te je jedan od dominantnih pokretača negativnih ekoloških promjena u prostoru. Elementi pokretača negativnih utjecaja su između ostalog tekući i kruti otpad kojeg naseljena mjesta generiraju i zbog čega je iste nužno zbrinuti na način da se ne ugrozi održivost okoliša i čovjeka. Stoga je važno razumjeti ciljeve i kriterije održivosti, kao i čimbenike kojima se održivost definira. Održivost je postao širok termin koji se može primijeniti na gotovo sve oblike života na Zemlji, od lokalne do globalne razine i kroz različite vremenske periode. Definicije održivosti često se odnose na „tri stupa/čimbenika“, odnosno na socijalnu, okolišnu i ekonomsku održivost u kojoj svaki čimbenik ima jednaku važnost za održivost čovjeka i društva u cjelini. [1] Održivost se od 1980-ih koristi u smislu čovjekove održivosti na planetu Zemlji, pa je to rezultiralo najčešće citiranom definicijom održivosti i održivog razvoja koju je donijela Brundtlandska komisija Ujedinjenih naroda: „održivi razvoj je razvoj koji zadovoljava

Rozić, Ž.

Održivo upravljanje sustavom odvodnje otpadnih upotrijebljenih voda

potrebe sadašnjosti bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje vlastite potrebe“. Može se zamijetiti kako to zahtijeva pomirbu okolišnih, socijalnih i ekonomskih potreba – „tri stupa“ održivosti. Ovo shvaćanje prikazuje se slikom s tri preklapajuće elipse koje označavaju tri stupa održivosti koja nisu uzajamno isključiva te mogu biti uzajamno učvršćujuća (slika 1).



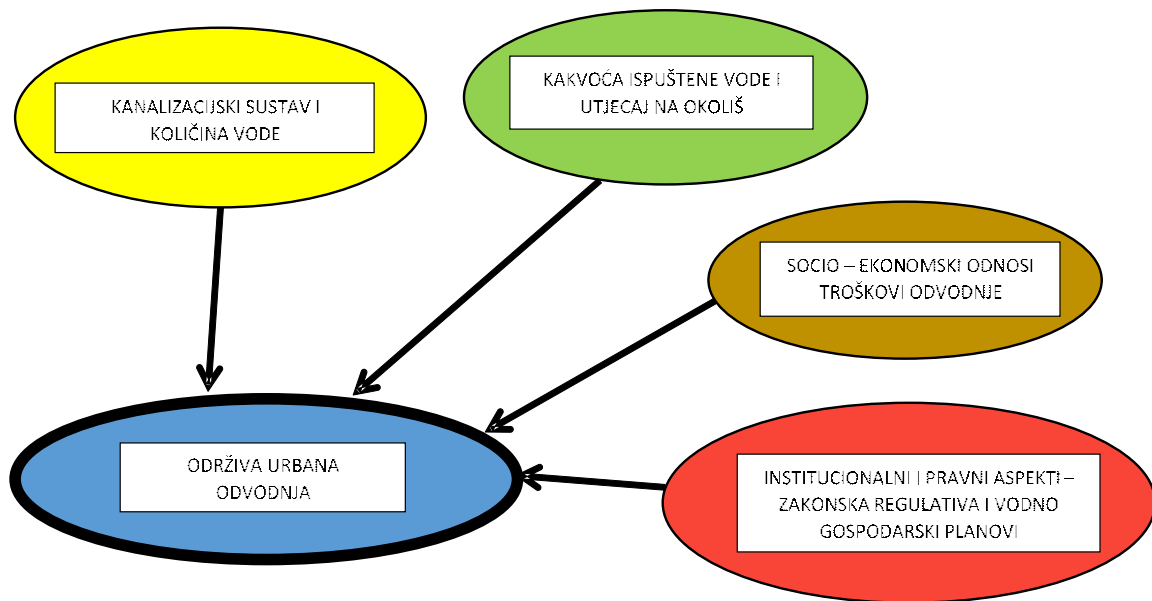
Slika 1. Osnovni elementi održivosti i njihova mjerila [12]

Primarni cilj je smanjenje količine tvari koje zagađuju upotrijebljenu vodu i koja se mora ispustiti u okoliš na takvoj razini da je prihvatljiva za javno zdravlje i okoliš. Sustav obuhvaća prikupljanje otpadnih voda, pročišćavanje i ispuštanje.

Klasično upravljanje je uključivalo osiguravanje mreže (sustav kolektora) za prikupljanje otpadne vode s ispuštom u prijemnik (rijeka, more). Problem ekološkog zagađenja rješavano je osiguravanjem centraliziranih postrojenja za pročišćavanje otpadne vode. U takvom modelu sustava odvodnje upotrijebljenih voda postoji niz ograničenja [2]:

- postrojenja za tretman otpadnih voda su jako zahtjevna i traže velika ulaganja i kadrove te ih je teško izgraditi i rukovati u manjim siromašnijim urbanim područjima;
- sekundarni, pa čak i tercijarni tretman, ostavljaju neprerađene neke hranjive tvari i mikro-zagađivače koji još uvijek mogu zagađiti okoliš;
- problemi se s zagađenjem povećavaju ako se industrijski otpad ispušta u mrežu bez prethodnog tretmana, jer postrojenja za tretman otpadne vode ne mogu tretirati neke posebne - specijalne industrijske tvari koji su jaki zagađivači (npr. teški metali);
- povećana potrošnja vode zahtijeva povećanje mreže i kapaciteta postrojenja za tretman otpadne vode ali je to često nemoguće zbog nedostatka financijskih sredstava (jako je skupo);
- odlaganje značajnih količina krutog otpada i mulja koji nastaje u procesu tretmana otpadnih voda, stvara nove ekološke probleme.

Ova pitanja pomjeraju težište upravljanja vodnog sustava hijerarhijski na više nivoe tj. prema politici i odabiru strategije upravljanja, uključujući vladajuće strukture i javnost grada, regije ili države.



Slika 2. Utjecajni parametri održivosti i funkcionalnosti sustava odvodnje

Moguće rješenje problema odvodnje urbanih sredina (gradovi, naselja) može sagledati kroz sustavnu analizu svih otpadnih voda koje treba sakupiti i odvesti do uređaja, odnosno do ispusta u recipijent. Na funkcionalnu i održivu odvodnju otpadnih voda utječu cijeli niz parametara, ali za prezentaciju simulacije sustava uzeti su samo osnovni i bitni parametri, mjerodavni za ilustraciju održivog rada i upravljanja sustavom odvodnje. Dakle, radi se o simulacijskom modelu količine i kakvoće otpadnih voda (tehnička i ekološka održivost), kao i segmentu društveno- ekonomskog sustava odvodnje (socio-ekonomska održivost), uokvirenim u zakonski i pravni okvir (zakonska i pravna održivost). U tu svrhu možemo izdvojiti sljedeće optimizacijske funkcije cilja, kojima se može osigurati održivost sustava (slika 2):

a) Tehnička – tehnološka održivost podrazumijeva:

- maksimalne moguće količine otpadne vode u kanalizacijskom sustavu, što podrazumijeva sljedeće:
 - stupanj priključenosti na kanalizacijski sustav (funkcija cilja: $Q_{kan} \rightarrow \max$)
 - kapacitet kanalizacijskog sustava
 - kapacitet UPOV-a
 - kvaliteta izvedbe i cijevni materijal

} (funkcija cilja: $KK_{kan} \rightarrow \max$)

b) Ekološka održivost

- kakvoća vode koja se ispušta u prijemnik (funkcija cilja: $K_v \rightarrow \max$),
- održavanje kapaciteta okoliša;
- održivu uporabu obnovljivih resursa;
- minimalnu uporabu neobnovljivih resursa.

} funkcija cilja: $U_{ok} \rightarrow \min$

c) Društveno ekonomska održivost:

- minimalni troškovi odvodnje (funkcija cilja: $T_{kan} \rightarrow \min$);
- ekonomsko – financijska sigurnost (funkcija cilja: $EF \rightarrow \max$);
- društvena i socijalna pravičnost (funkcija cilja: $DS \rightarrow \max$),
- cijena usluga odvodnje (preko cijene vode za vodoopskrbu) – socijalna kategorija pa funkcija cilja: $C_{Jv} \rightarrow \min$

d) Zakonska i pravna održivost - uvjet za sve prethodne održivosti sustava:

- zadovoljenje zakonske i pravne regulative (funkcija cilja: $ZR \rightarrow \max$)

3. SIMULACIJA RADA SUSTAVA ODVODNJE OTPADNIH VODA

Primjenom **objektno orijentiranog modeliranja** [6] i prilagođenog programa **Stella**, te na temelju cjelokupne sprovedene analize funkcioniranja i održivog razvoja odvodnje otpadnih voda izrađen je početni fizički – osnovni podmodel količine i kakvoće vode kanalizacijskog sustava (tehnička i tehnološka održivost sustava). U daljoj strukturnoj nadogradnji model je dopunjen - nadograđen pojedinim komponentama i elementima upravljačkog i planskog – strateškog sustava [7], koji čini skup potrebnih i svrsishodnih parametara sustava bitnih za funkcioniranje simulacije realnog sustava odvodnje, kao i za prezentaciju dobivenih rezultata.

Unošenjem određenih ulaznih podataka i parametara, kao i određenih ograničenja vezanih za funkcioniranje modela, uključujući i vrijeme, odnosno pretpostavljeni ili zahtijevani vremenski interval i vremenski korak, pomoću modela moguće je pratiti sadašnje stanje sustava, kao i funkcionalnu ovisnost kroz tijek vremenskog intervala pojedinih komponenti sustava. Kroz fizički model i opis sadašnjeg stanja sustava moguće je model kalibrirati i verificirati. Stoga će u radu biti korišten primjer urbanog vodnog sustava grada Mostara, koji je izabran isključivo zbog poznavanja trenutnog stanja, kao i ulaznih i izlaznih parametara, gdje će se pokušati provjeriti rad modela, kao i verificiranje i analiza dobivenih rezultata.

Još jedna bitna napomena vezana je za primjenu programskog paketa Stella kojim je istovremeno moguće sagledati sadašnje stanje (za $t = 0$) i buduće stanja (za određeni vremenski interval, primjer za 20 godina). Svi parametri (ulazni i izlazni) mogu se grafički i tabelarno predstaviti kao funkcionalna ovisnost o vremenu i vremenskom intervalu, kao i vremenskom koraku koji se unaprijed treba odrediti.

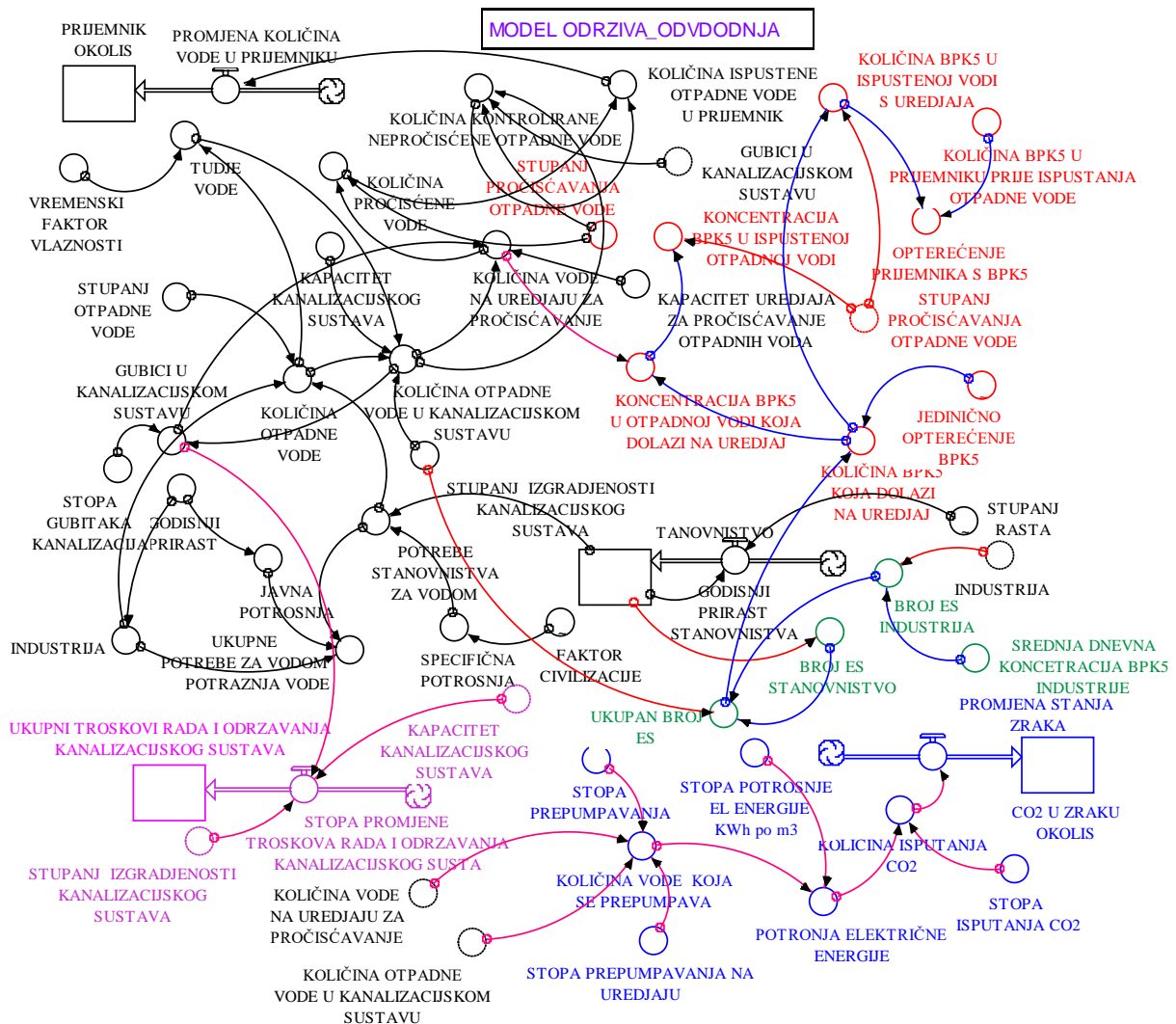
Pretpostavka je da se radi o razdjelnom kanalizacijskom sustavu, pa se upravljanje i optimalizacije radi zasebno za otpadne upotrijebljene vode, a posebno za oborinski kanalizacijski sustav. Predmet ovog rada su simulacija i rad kanalizacijskog sustava otpadnih upotrijebljenih voda.

Stanje kakvoće ispuštene vode u prijemnik (ekološka održivost) je odraz upravo veličine stupnja pročišćavanja otpadnih voda na uređaju, te se time izravno može utjecati na taj parametar, odnosno na stanje okoliša općenito (minimalan utjecaj na okoliš). Svi utjecajni elementi i parametri sustava, kao i izlazni rezultati simulacije trebaju biti usuglašeni i u skladu sa postojećom zakonskom regulativom [5].

Drugi bitan segment zaštite okoliša je maksimalna moguća korištenja obnovljivih izvora energije, pa se može sagledati stanje smanjenja ispuštanja CO₂ u okoliša, ako se mjesto trošenja električne energije za crpne stanice i rad uređaja koriste obnovljivi izvori energije (primjer solarna energija).

Ekonomski parametri koji djeluju na sustav upravljanja (društveno ekonomska održivost) mogu se podijeliti u više grupa i skupina u ovisnosti od karaktera i tipa kanalizacijskog sustava i sustava za pročišćavanje otpadnih voda. Minimalizacija troškova bila bi funkcija cilja u jednom ovako složenom sustavu, pa se temeljem toga mogu definirati i skupine parametara koje utječu na troškove investicije i troškove održavanja i rada sustava.

Da bi mogli imati troškove sustava i uspostaviti neki siguran i transparentan financijski sustav upravljanja, potrebno je ostvariti i značajne prihode od prodaje vode i vodnih usluga, računajući i odvodnju i pročišćavanje otpadne vode kao dio tarife u cijeni vode. Sve to treba biti dio ukomponiranog pravnog, zakonskog i socijalnog sustava, koji čine društveno ekonomsku održivost sustava odvodnje otpadnih voda [4].



Slika 3. Shematski prikaz modela ODRZIVA_ODVODNJA [3]

Kod izrade koncepta podmodela upravljanja kanalizacijskim sustavom nameće se jedno suštinsko pitanje: kako izraditi jedan takav model za upravljanje sustavom odvodnje otpadnih voda, koji će zadovoljiti sve postavljene ciljeve, uvjete, ograničenja i zadatke koje su definirani u prethodnim poglavljima uključujući i dva glavna koncepta:

- princip cjelovitosti (integralan sustav) i
- princip održivosti i funkcionalnosti sustava [2].

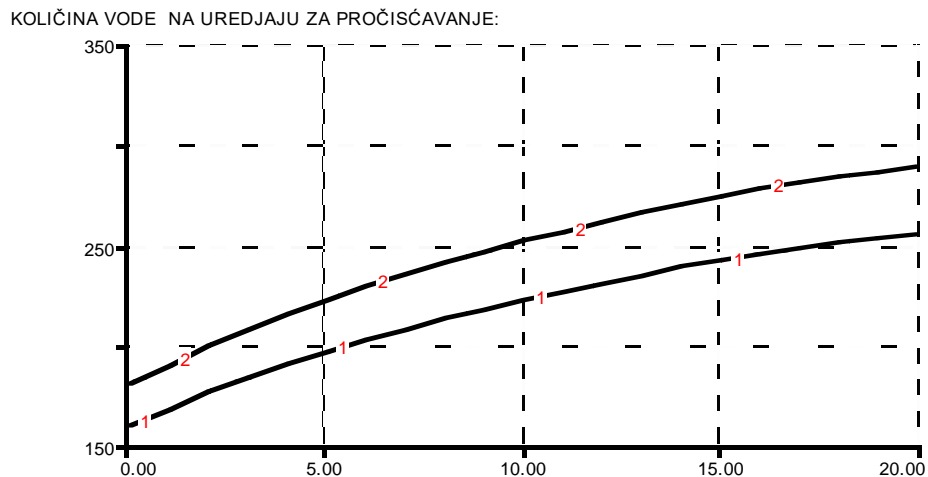
Na slici 3 prikazan je opći model (nazvan: ODRZIVA_ODVODNJA) kanalizacijskog sustava i sustava pročišćavanje otpadnih voda (upotrijebljene vode iz domaćinstava i industrije), uz prikaz i analizu troškova investiranja, rada i održavanja sustava. Generalna **funkcija cilja** je funkcionalnost i održivost sustava, koji se ogleda u sljedećem:

- maksimalno funkcionalan u tehničkom i tehnološkom smislu,
- minimalan utjecaj na okoliš, što znači prikupljanje maksimalnih količina otpadnih voda uz maksimalno pročišćavanje, uz to i mogućnost korištenja obnovljivih izvora energije,
- minimalno mogući troškovi uz zadovoljenje svih bitnih socijalnih, društvenih i pravnih aspekata rada i upravljanja sustavom.

4. REZULTATI SIMULACIJE I ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

Rezultati proračuna i analize pojedinih utjecajnih parametara mogu se prikazati grafički i tabelarno. Izdvojeni su samo par grafičkih prikaza, značajnih utjecaja, koji ilustriraju promjene sustava u smislu održivosti i poboljšanja rada sustava – analiza osjetljivosti.

Primjerice, ako se želi prikazati količina otpadnih voda u kanalizacijskom sustavu, odnosno količinu otpadnih voda koja dolazi na uređaj za pročišćavanje i smanjimo gubitke otpadnih voda iz kanalizacijskog sustava sa 30% na 20% (slika 4), uočavaju se promjene stanja u količini otpadnih voda za odabrano razdoblje (Primjer: Grad Mostar).



Slika 4. Grafikon količine otpadne vode koja dolazi na uređaj za planirano vremensko razdoblje i za dva različita slučaja, kada je stopa gubitaka: (1) – 30%, (2) - 20%

Slično se mogu prikazati i grafikoni za kakvoću ispuštenih voda u recipient, odnosno za ilustraciju je prikazana promjena kakvoće otpadne vode za tri slučaja: a.) bez pročišćavanja, b.) sa mehaničkim pročišćavanjem (BPK5 do 30%) i c.) sa II stupnjem pročišćavanja (BPK% do 90%), slika 5.

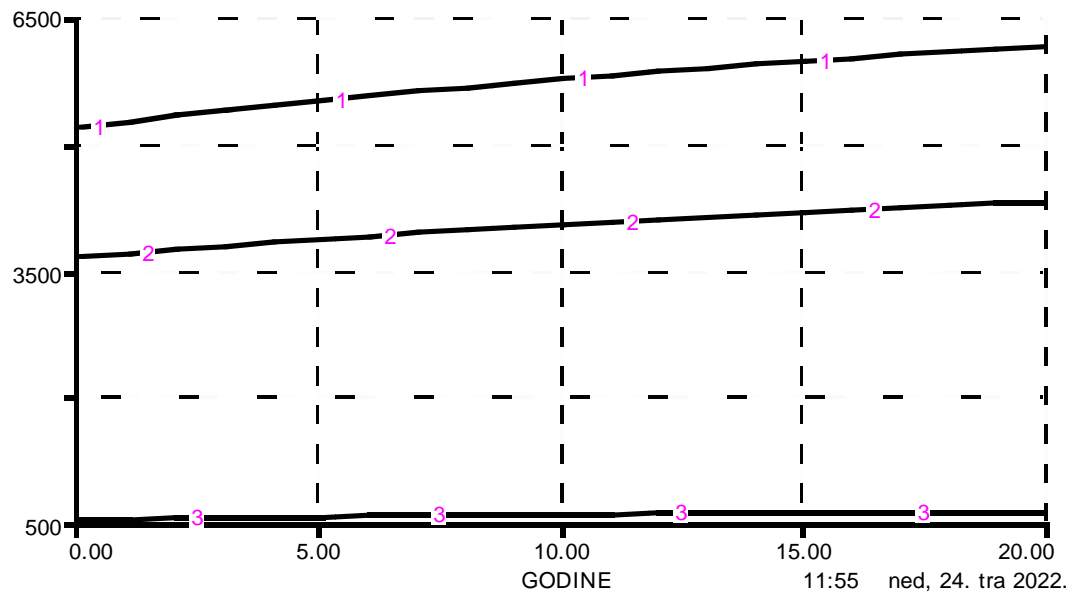
Međutim, ako želimo smanjiti gubitke ili povećati izgrađenost kanalizacijskog sustava ili povećati stupanj pročišćavanja, potrebne su nove investicije u izgradnji i održavanju kanalizacijskog sustava i uređaja. To znači da se time povećavaju troškovi. Na sljedećoj slici (slika 6.) dani su usporedni dijagrami koji ilustriraju povećanje troškova ako se smanje gubici i poveća izgrađenost sustava.

Dakle, ako želimo kvalitetan i funkcionalan kanalizacijski sustav treba ulagati određena financijska sredstva, kako u izgradnju tako isto u održavanje i rad tog sustava. Pitanje je kako naći optimalan balans između troškova i kvalitete sustava, koja je u izravnoj vezi sa utjecajem na okoliš, odnosno na ekološku održivost sustava koja se može prikazati sa promjenom stanja kakvoće vode koja se ispušta u prijemnik ili primjerice sa smanjenjem ispuštanjem CO₂ u okoliš, ako se koriste obnovljivi izvori energije (slika 7.). U održavanje i rad sustava koristi se često električna energija (crpke za tlačnu odvodnju i električna energija za crpke i rad UPOV-a. Ako se mjesto električne energije koriste solarni generatori i solarna energija (obnovljivi izvor energije), mogu se smanjiti negativni efekti stakleničkih plinova (13).

Rozić, Ž.

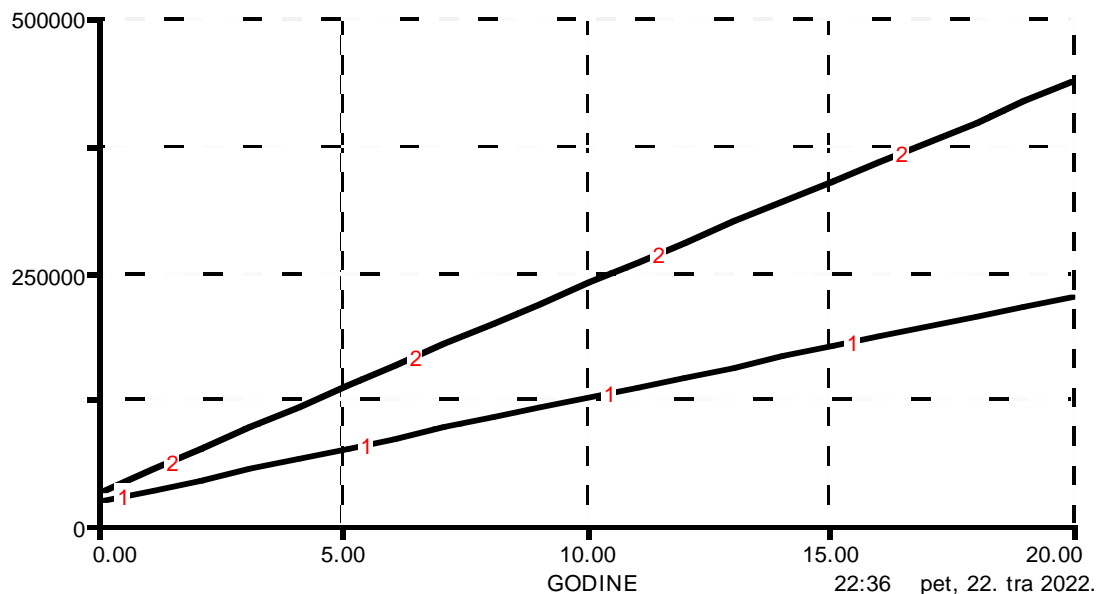
Održivo upravljanje sustavom odvodnje otpadnih upotrijebljenih voda

KOLIČINA BPK5 U ISPUSTENOJ VODI S UREDJAJA:

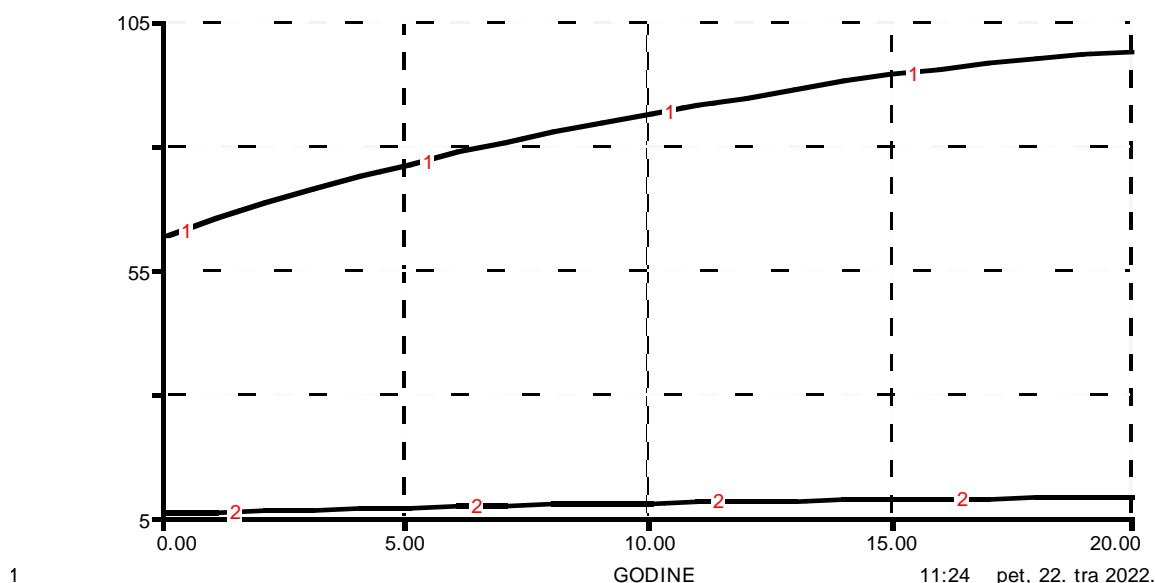


Slika 5. Grafikon smanjenja ispuštanja BPK5 za tri slučaja: (1) stanje bez pročišćavanja, (2) samo mehaničko pročišćavanje – smanjenje BPK5 30%, (3) II. stupanj pročišćavanja – biološko – smanjenje BPK5 do 90%

UKUPNI TROSKOVI RADA I ODRZAVANJA KANALIZACIJSKOG SUSTAVA:



Slika 6. Grafikon povećanja troškova izgradnje i održavanja kanalizacijskog sustava za planirano vremensko razdoblje i za dva različita slučaja: (1) sadašnje stanje, (2) poboljšano stanje (smanjenje gubitaka i povećana izgrađenost kanalizacijskog sustava)

KOLICINA ISPUTANJA CO₂: 1 - 2 -

Slika 7. Grafikon usporedbe emisije kg CO₂ ispuštenog u zrak (kg CO₂) za rad crpnih stanica i rad UPOV-a za slučaj: (1) – korištena elektro energija od dizel ili termoelektrana – uglj i (2) – korištena energija – obnovljivi izvori energije – solarni generatori

Kvalitetan, funkcionalan i održiv kanalizacijski sustav moguće je postići sa sustavnom i kontinuiranom analizom i integralnim upravljanjem sustavom, vodeći računa o svim komponentama sustava i utjecajnim parametrima kojim se može poboljšati rad sustava i stvoriti realne uvjete za održivost tog sustava. Upravo je dana jedna mogućnost simulacije rada sustava odvodnje i traženja održive varijante rada sustava u kontekstu optimalnog balansa između društveno ekonomske koristi dobivene radom sustava i utjecaja na okoliš.

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U radu je analiziran i prikazan način izgradnje i mogućnost primjene OOM-a za modeliranje i simulaciju rada sustava odvodnje. Za ilustraciju i prezentiranje gore opisanih radnji korišten je podmodel ODRZIVA_ODVODNJA koji predstavlja dio složenog modela UVS-a (3). Izradom simulacijskog modela, analizom i simulacijom, na temelju sustavnog postupka i metodologijom kako je prikazano u ovom radu, dobiveni su određeni rezultati istraživanja i nova saznanja vezana za kvalitetno i učinkovito održivo poboljšanje rada kanalizacijskog sustava. Temeljem tih rezultata može se zaključiti:

- Upravljanje kanalizacijskim sustavom je zahtjevan, složen i težak zadatak, jer pored tehničke, tehnološke, ekološke i ekonomske održivosti „upravljanje“ podrazumijeva i održivost razvoja urbanog vodnog sustava, kao i urbane sredine i društva u cjelini;
- Sustavnim pristupom problemu, uz primjenu odgovarajuće tehnike modeliranja moguće je analizirati cjeloviti sustav, planirati budući rad sustava, ali i unaprijediti (poboljšati) rad i održivost kako kanalizacijskog sustava tako i sustava za pročišćavanje otpadnih voda, i sve uz kontrolu i minimiziranje troškova izgradnje i održavanja i rada sustava;
- Korištenje OOM-a se pokazalo vrlo uspješno i korisno u provedbi sustavne analize, modeliranja i analizi dobivenih rezultata, odnosno pokazana je mogućnost njegove primjene za simulaciju rada sustava odvodnje;

Rozić, Ž.

Održivo upravljanje sustavom odvodnje otpadnih upotrijebljenih voda

- Korišteni model je fleksibilni, dinamični i lako se prilagođava stvarnom (realnom) stanju i procesima u sustavu;
- Korištenje modela, ODRZIVA_ODVODNJA i primjena OOM-a može pomoći kod iznalaženja optimalne strategije razvoja i upravljanja sličnih sustava u gradovima u kontekstu integralnog sagledavanja rada i funkcioniranja sustava odvodnje;
 - održivost,
 - klimatske promjene,
 - kružno gospodarstvo,
 - zelena strategija, što može biti predmet daljnjih istraživanja.

LITERATURA

1. Margeta, J.: Promjene u svijetu i gospodarenje urbanim vodnim sustavom, Građevinar 63, 12, 1069-1077, Zagreb, 2001.
2. Rozić, Ž.: Optimalizacija rada urbanog vodnog sustava, Doktorska disertacija, Mostar, Građevinski fakultet, 24. 02. 2009, 255 str., Voditelj: Margeta, J., 2009.
3. Rozić, Ž.: Upravljanje UVS-om primjenom OOM-a, magistarski rad, Split: Građevinsko-arhitektonski fakultet, 15. 03. 2006., 181 str., Voditelj: Margeta, J., Knezić, S., 2006.
4. Hrelja, H.: Optimizacija vodoprivrednih sistema, Sarajevo, 1997.
5. Margeta, J.: Osnove gospodarenja vodama, Split, 1992.
6. Milićev: Objektno orijentisano programiranje na jeziku C++, Skripta s praktikumom, Beograd, 2001.
7. Mornar, V., Vanjak Z.: Objektno orijentirano programiranje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet Elektrotehnike i računarstva, Predavanja, Zagreb, 2002.
8. Rehan, R., Knight, M. A., Unger, A. J. A., Haas, C. T.: Financially sustainable management strategies for urban wastewater collection infrastructure – development of a system dynamics model, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 39, January 2014, pages 116-129
9. Giessler, M., Tränckner, J.: A combined model to assess technical and economic consequences of changing conditions and management options for wastewater utilities, Journal of Environmental Management, Volume 207, 1 February 2018, Pages 51-59.
10. Haozheng, W., Guanyu, H., Lei, Z., Yiting Q., Juntao L., Haifeng J.: Integrated and Control-Oriented Simulation Tool for Optimizing Urban Drainage System Operation, Water 2022, 14(1), 25
11. Dong, X., Zeng, S., Chen, J.: A spatial multi-objective optimization model for sustainable urban wastewater system layout planning, Water Science and Technology 66 (2): 267–274, 2018.
12. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Odr%C5%BEivost>
13. Đurin, B.: Održivost rada urbanog vodoopskrbnog sustava, Doktorska disertacija, Sveučilište u Splitu, Građevinski fakultet, 126 str., 2014.