

## ARHITEKTURA NADZORNO-UPRAVLJAČKOG SISTEMA VODOVODNIH SISTEMA VEĆIH NASELJA

Srđan Vukmirović, Imre Lendak, Slobodan Zarić *Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu*

**Sadržaj** – U radu je prikazan predlog arhitekture softverskog sistema za nadzor i upravljanje vodovodnim sistemima većih naselja. S obzirom da sistem treba da upravlja velikim brojem udaljenih podsistema, uz potrebu da se omogući pristup preko više vrsta protokola i tehnologija, u radu je akcentat stavljen na definisanje podsistema i njihovih međusobnih odnosa. Iz analize potreba za podacima iz nadzornog sistema došlo se do skupa softverskih podsistema (analitičkih funkcija) koje su potrebno implementirati. U radu je dat pregled analitičkih funkcija kao i osnovni pravci njihovog razvoju. Takođe su opisani početni rezultati razvoja jednog ovakvog sistema, kao i smernice daljeg razvoja i implementacije.

### 1. UVOD

Nadzor i upravljanje proizvodnjom i distribucijom vode predstavlja ozbiljan problem zato što je čiste pijaće vode sve manje, a potrebe za njom rastu iz dana u dan sa povećanjem broja stanovnika. Pored problema obezbeđivanja dovoljne količine hemijski i bakteriološki ispravne vode, potrebno je rešiti i problem distribucije te vode do krajnjih korisnika u velikim gradskim sredinama čija se struktura ubrzano menja. To je sve potrebno postići uz minimalne investicije i izmene na postojećoj infrastrukturi.

Realno je pretpostaviti da u većini velikih naselja u Srbiji ne postoji sveobuhvatni nadzorno upravljački sistemi u vodovodnim sistemima. Takođe se ne vrši simulacija rada sistema u realnom vremenu koja bi pomogla kontrolu ispravnosti sistema na osnovu poređenja merenih i simuliranih vrednosti.

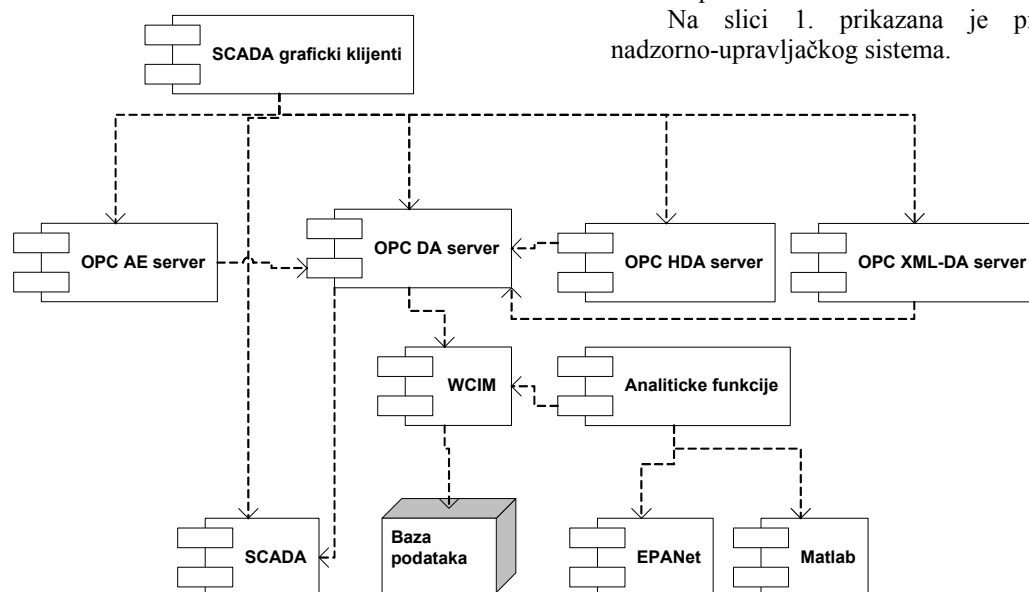
U ovom radu je predstavljen predlog arhitekture sistema koji bi omogućio prikupljanje podataka i upravljanje u sistemima za distribuciju vode. Arhitektura je osmišljena da bude slojevita, uz upotrebu najnovijih jezika i tehnologija što obezbeđuje lako održavanje i proširivost sistema. Komunikacija između komponenti se zasniva na široko prihvaćenim specifikacijama propisanim od strane OPC (OLE for Process Control) fondacije. OPC fondacija je neprofitabilna organizacija koja za cilj ima standardizaciju komunikacije u oblasti nadzorno-upravljačkih sistema.

### 2. ARHITEKTURA SISTEMA

Arhitektura sistema je osmišljena sa ciljem da omogući univerzalan i otvoren način pristupa veličinama dobijenim kako iz mernih stanica tako i iz softverskih alata za simulaciju (Matlab i EPANET).

Okosnicu sistema čini OPC server veličina razvijen po široko prihvaćenom OPC DA 2.0 standardu. Ovaj server ima ulogu da omogući prikupljanje i čuvanje vrednosti veličina kao i njihovu distribuciju velikom broju klijenata na optimalan način. Podaci o merenjima, kao i podaci dobijeni iz simulacionih alata čuvaju se u posebnoj komponenti u okviru servera nazvanoj ItemCash. Ova komponenta ima ulogu da čuva veliki broj raznorodnih podataka o veličinama vezanim za raznovrsne objekte: prenosna opremu (cevi, ventili, pumpe..), stacionarna oprema (izvorišta, "fabrike vode"). Stoga je za potrebe ove komponente razvijen poseban objektni model WCIM (*Water System Common Information Model*) koji se zasniva na široko prihvaćenom CIM modelu preporučenom od strane IEC-a. Do sada razvijeni WCIM model omogućuje perzistenciju podataka u XML formatu, a u razvoju je proširenje koje omogućuje čuvanje u relacionim bazama podataka.

Na slici 1. prikazana je predložena arhitektura nadzorno-upravljačkog sistema.



Sl. 1. Arhitektura nadzorno upravljačkog sistema

Kako je stanje sistema neophodno prikazati krajnjem korisniku (najčešće dispečeru) neophodno je podatke prilagoditi prikazu u grafičkom modu. Procenjeno je da je razvoj univerzalnog grafičkog okruženja za crtanje modela vodovodnog sistema izlazi iz okvira ovog istraživanja. Odlučeno je da se iskoristi neki od komercijalnih sistema. Pošto svi dostupni SCADA sistemi podržavaju prikupljanje podataka po OPC DA specifikaciji bilo koji od njih može biti iskorišćen za grafički sistem za prikaz podataka iz predstavljenog sistema. Testiranje sistema obavljeno je pomoću Siemens WinCC sistema, a planirano je i korišćenje: Omron Supervisor CX, Rockwell RSView32 i Intellution IFix.

Svi navedeni komercijalni SCADA sistemi mogu se koristiti i kao serveri (izvori podataka) zato što su razvijeni po OPC DA specifikaciji. To umnogome olakšava očitavanje merenih veličina iz realnog sistema i njihovo korišćenje u opisanom nadzorno upravljačkom sistemu. Softverska kompanija "3S Smart Software Solutions" je proizvođač kod nas široko prihvaćenog CoDeSys programa. On omogućuje razvoj programa za PLC-ove po standardu IEC 61131-3. Utvrđeno je da i ovaj program podržava OPC DA specifikaciju što će olakšati integraciju postojećih SCADA sistema sa opisanim sistemom. [3]

Uobičajen problem u nadzorno upravljačkim sistemima predstavlja potreba da se pojedine promene vrednosti veličina na poseban način obrade i prikažu korisniku. To je moguće uraditi upotrebom OPC specifikacije za server za alarme i događaje (*Alarms and Events*) [4]. Specifikacija ne precizira da li je ovakav server neophodno implementirati kao odvojeni podsistem ili je kao proširenje postojeće arhitekture. U predloženoj arhitekturi OPC AE server podatke dobija od OPC DA servera.

OPC fondacija je ponudila i specifikaciju po kojoj je moguće razviti server koji će klijentima omogućiti pregled promene vrednosti veličina u nekom prošlom vremenskom intervalu. To je specifikacija za server istorijskih veličina (*OPC History Data Access*) [5]. Kao i OPC AE server i OPC HDA server, u opisanoj arhitekturi, do podataka dolazi preko OPC DA servera. Potrebne podatke HDA server čuva u relacionoj bazi podataka. Pošto je implementiran upotrebom Microsoft ADO.Net tehnologije moguće je čuvanje podataka u bilo kojoj relacionoj bazi podataka: Microsoft SQL server, Oracle itd.

Problem koji se javlja zbog činjenice da je OPC DA specifikacija zasnovana na *Microsoft* DCOM tehnologiji, što dovodi do problema u komunikaciji preko Interneta, moguće je rešiti upotrebom OPC XML-DA servera. Komunikacija između XML DA Servera i klijenata se vrši preko SOAP (*Simple Object Access Protocol*) protokola koji se oslanja na HTTP protokol. Time je omogućeno da podacima iz sistema pristupaju korisnici sa različitih računarskih platformi uz korišćenje različitih programskih jezika i tehnologija.

Ovakvo osmišljen sistem pored prikupljanja informacija treba da omogući i simulaciju ponašanja sistema. Za simulaciju rada sistema iskorišćeni su postojeći alati, pre svega Matlab i EPANET. Ovi alati su razvijeni od strane eminentnih stručnjaka iz ove oblasti i dobro su dokumentovani i testirani. Za potrebe komunikacije sa ovim programima razvijeni su posebni moduli u DA serveru.

### 3. ANALITIČKE FUNKCIJE

Analitičke funkcije su podsistemi koji služe za analizu podataka iz nadzorno-upravljačkog sistema ali i podataka iz ostalih poslovnih podsistema kao što su podsistem za naplatu i podsistema za prijem korisničkih poziva. Na osnovu tih podataka vrši se proračun trenutnog stanja sistema. Iz analize potreba sistema za distribuciju vode izdvojene su sledeće analitičke funkcije:

Analitička funkcija za **analizu topologije** služi za pronalaženje topologije mreže na osnovu modela konektivnosti. Ona na osnovu poznavanja cele mreže i trenutnog stanja ventila i zatvarača daje informaciju o trenutnoj povezanosti mreže.

**Kalibracija opterećenja** je analitička funkcija koja na osnovu malog broja merenja procenjuje trenutno stanje potrošnje u svim tačkama mreže. To je moguće učiniti na osnovu postojećih krivih potrošnje za pojedine vrste potrošača. Krive potrošnje se formiraju na osnovu pretpostavke da se potrošnja određene vrste potrošača ponavlja u toku dužih vremenskih perioda. Postoje krive potrošnje za stambene, poslovne ili industrijske objekte.

Analitička funkcija za **proračun tokova** služi za procenu svih nepoznatih veličina u sistemu (protoka, pritiska, kvaliteta vode...) na osnovu malog broja poznatih merenja i poznatog matematičkog modela sistema (ili dela sistema).

Funkcija za **indekse performansi** služi za određivanje kvaliteta distributivne mreže na osnovu specifičnih kriterijuma (indeksa). Indeksi mogu biti vezani za tehničke karakteristike (snabdevenost potrošača, opterećenost prenosne opreme), ekonomske karakteristike (isplativost pojedinih delova mreže, gubici u transportu) i sigurnost mreže (verovatnoća otkaza u mreži, stabilnost snabdevanja).

**Lokacija kvarova** je analitička funkcija koja se koristi za brzo pronalaženje skupa međusobno povezanih čvorova u kojima se desio kvar. Zarad brže izolacije i popravke kvarova veoma je važno naći tačnu lokaciju i tip kvara.

**Izolacija kvarova** je analitička funkcija koja omogućuje pronalaženje izolovanih područja sa kvarom. Rezultat ove funkcije je niz operacija koje je potrebno izvršiti kao i niz aktivnosti dispečara u cilju pronalaženja i izolacije područja sa kvarom. Kriterijum optimalnosti za ovu funkciju je minimalno vreme izvršavanja funkcije i minimizacija vremena pod kvarom za prioritete potrošače.

**Restauracija snabdevanja** služi za određivanje plana za uključivanje ventila i zatvarača kako bi se na optimalan način omogućilo snabdevanje u područjima u kojima je došlo do prestanka snabdevanja (nakon što je kvar uklonjen). Ova funkcija je jedna od najbitnijih funkcija u run-time modu pošto je jedna od osnovnih uloga celog nadzorno upravljačkog sistema da se obezbedi da svi potrošači budu snabdeveni u optimalnom roku.

Analitička funkcija za **restauraciju velikih područja** ima za cilj da predloži optimalan način uključivanja velikog broja potrošača (iz velikog područja snabdevanja) koji su izgubili snabdevanje nakon prestanka rada prenosne opreme.

**Centar za prijavu kvarova** je funkcija koja služi za praćenje prijave kvarova od strane korisnika, kao i njihovu obradu i prosleđivanje odgovarajućim operaterima. Ova funkcija prikuplja informacije o kvarovima, obrađuje ih i sortira (trajno čuva za buduće obrade) a zatim prosleđuje podatke funkciji za obradu kvarova. Ova funkcija, takođe pomaže uočavanju slabih tačaka u distributivnoj mreži.

Funkcija za **upravljanje kvarovima** predstavlja skup alata koje dispečer koristi za detekciju, lociranje i izolaciju kvara kao i organizaciju povratka snabdevanja u zone koje su ostale bez snabdevanja. U okviru ove funkcije vodi se računa o iskorišćenosti terenskih ekipa i vozila, kao i evidenciji i analizi kvarova u sistemu. Sve izvršene operacije potrebno je dokumentovati u bazi podataka.

Kako je ponekad neophodno voditi računa o tačnom redosledu uključivanja pojedinih potrošača razvijena je posebna funkcija za **upravljanje redosledom uključivanja**.

Pri tome je potrebno voditi računa o prioritetu potrošača (prvo se uključuju prioritetni potrošači) kao i o stabilnosti mreže pošto se pri uključanju potrošača može pojaviti payback efekat (potrošač koji se ponovo priključi na mrežu upočetku troši više nego što bi trošio da nije došlo do prestanka snabdevanja).

Pri analizi podataka iz sistema moguće je koristiti funkciju za **optimalnu rekonfiguraciju sistema**. Ona na osnovu stanja sistema u nekom trenutku predlaže optimalnu rekonfiguraciju kako bi što veći broj prioriternih potrošača bio snabdeven vodom. Tako je moguće simulirati i analizirati ponašanje sistema kada bi došlo do nekih kvarova, uvideti moguća rešenja takvog stanja i snimiti ga, tako da ako dođe do tog kvara u realnom vremenu dispečer može blagovremeno da reaguje.

Funkcija za **analizu gubitaka** se koristi u simulacionom režimu. Ona daje globalan uvid u gubitke u celokupnoj distribuciji ili u njenim delovima kao totalni gubitak između proizvedene i prodane količine vode. Ova funkcija predstavlja osnov za unapredjenje konfiguracije mreže. Pojava velikih gubitaka (van nekih dozvoljenih granica) znaci da je verovatno došlo do nekog poremećaja.

#### 4. OPC DA SERVER

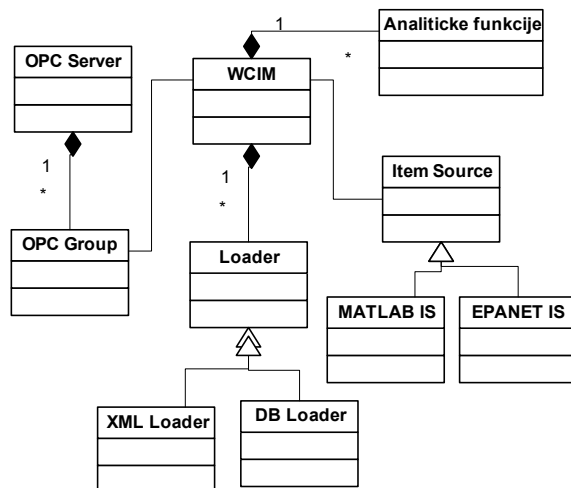
Centralno mesto u nadzorno upravljačkom sistemu zauzima DA server. Njegova uloga je da omogući prikupljanje veličina i njihovo čuvanje i ažuriranje. Sa druge strane treba da omogući i konkurenti pristup veličinama od strane više klijenata uz očuvanje konzistentnosti podataka sa naglaskom na optimalnost iskorišćena resursa.

Grupa autora ovog rada se i ranije bavila razvojem nadzorno-upravljačkih sistema na osnovu OPC DA specifikacije [6-9]. Ova rešenja su bila razvijena u C++ programskom jeziku sa naglaskom na univerzalnosti rešenja. Prilagođenje ovih rešenja konkretnoj primeni u distributivnim mrežama dovelo je do promene u arhitekturi servera, ali su osnovni koncepti i predložena rešenja zadržana. Takođe, razvoj novih alata (pre svih Microsoft Visual Studio .Net) i novih programskih jezika (XML i C#) uslovilo je da se deo komponenti razvije uz korišćenje novih tehnologija. To je dovelo do novih problema, pošto je Microsoft odlučio da potpuno napusti svoju tehnologiju za međuprocensnu komunikaciju (DCOM) i da je zameni novijim .Net kompatibilnim tehnologijama (*Remoting i Web services*).

Centralni deo servera čini objektni model nazvan WCIM. On je modeliran tako da omogući čuvanje konstrukcionih i mernih podataka iz vodovodnih sistema. Detaljnija analiza ovog modela izlazi iz okvira razmatranja ovog rada. Perzistencija vrednosti iz modela omogućena je preko XML i DB Loadera koji omogućuju snimanje i očitavanje podataka iz XML datoteke, odnosno relacione baze podataka.

Za svakog klijenta koji se poveže sa serverom formira se po jedan objekat OPCServer klase, a pri formiranju grupe od strane klijenta kreira se objekat klase OPCGroup. Veličine koje se koriste u okviru grupe čuvaju se u WCIM-u.

Komunikacija sa izvorima podataka vrši se preko komponente ItemSource koja je osmišljena da omogući lak način povezivanja sa raznovrsnim izvorima podataka. Konkretno realizacije te komponente su MatlabIS in EpanetIS koje omogućuju komunikaciju sa Matlabom odnosno EPANet-om. Na slici 2. prikazana je opisana aritektura OPC DA servera i međusobni odnos njegovih komponenti.



Sl. 2. Arhitektura OPC DA servera

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan jedan predlog arhitekture sistema za nadzor i upravljanje vodovodnim sistemima većih naselja. Opisana arhitektura je slojevito organizovana sa jasno definisanim ulogom svakog sloja kao i načinom komunikacije između slojeva. Sistem pored otvorenog i proširivog načina skladištenja podataka u WCIM modelu omogućuje čuvanje tih podataka u standardnim formatima (XML i relacione baze podataka). Takođe je omogućeno sprovođenje simulacija u široko prihvaćenim alatima (Matlab i EPANET) uz mogućnost lakog proširenja ka drugim izvorima podataka, pre svega SCADA sistemima.

Sa druge strane sistem omogućuje da se podacima pristupi na standardan način preko široko prihvaćene OPC DA specifikacije. U razvoju sistema su korišćene najmodernije tehnologije i objektno orijentisani jezici što bi trebalo da omogući lako održavanje i proširenje sistema, a sa druge strane omogućuje lakše prilagođavanje sistema širem spektru PC platformi i mobilnim uređajima.

Dalji razvoj bi trebao da pokaže performanse ovakvog sistema, pre svega brzne komunikacije i obrade velikog broja veličina. Sa druge strane potrebno je posebnu pažnju posvetiti sigurnosti komunikacije kako bi ovaj sistem mogao dobiti svoju punu industrijsku primenu.

#### LITERATURA:

1. "OPC Data Access Custom Interface Specification 2.0", OPC Foundation, 1998
2. "OPC XML-DA Specification Version 1.0", OPC Foundation 2003

3. "CoDeSys OPC-Server 2.0", 3s-Software, <http://www.3s-software.com>
4. "OPC Alarms and Events Custom Interface Specification 1.10", OPC Foundation, 2002
5. "OPC History Data Access Custom Interface Specification 2.0", OPC Foundation, 1998
6. "Izvor podataka OPC servera veličina", Siniša Malinović, Srđan Vukmirović, Aleksandar Erdeljan, XLV Konferencija ETRAN, Bukovička Banja, Srbija i Crna Gora, Jun 2001.
7. "Jedno rešenje arhitekture OPC XML-DA servera", Srđan Vukmirović, Aleksandar Erdeljan, XLVII Konferencija ETRAN, Igalo, Srbija i Crna Gora, Jun 2003.
8. "Realizacija OPC XML-DA mosta za povezivanje postojećih OPC DA servera i klijenata preko interneta", Srđan Vukmirović, Aleksandar Erdeljan, XLVIII Konferencija ETRAN, Čačak, Srbija i Crna Gora, Jun 2004.
9. "Povezivanje postojećih nadzorno-upravljačkih sistema zasnovanih na OPC DA specifikaciji preko Interneta", Srđan Vukmirović, Aleksandar Erdeljan, Imre Lendak, XLIX Konferencija ETRAN, Budva, Srbija i Crna Gora, Jun 2005

Ovaj rad je realizovan u okviru delatnosti na nacionalnom projektu "Informaciono-upravljački sistem vodovodnih sistema većih naselja", ugovor broj NP19B finansiranom od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije.

**Abstract** – This paper proposes architecture of software system for control of water distribution systems in larger settlements. This system have to control large number of distributed subsystems, with consideration that they have to communicate with different kinds of protocols and technologies. Architecture of system in this paper aims to define subsystems and relations between them. Group of software subsystems (analytic functions), and the plan for development, have been proposed based on analyses of data required in water distribution systems. First results of implementation of such system and plan of future implementation and development are also described.

#### **ARCHITECTURE OF SCADA SOFTWARE FOR WATER DISTRIBUTION SYSTEMS**

Srđan Vukmirović, Imre Lendak, Slobodan Zarić