

СЕГМЕНТИЗАЦИЈА ВОДОВОДНЕ ДИСТРИБУТИВНЕ МРЕЖЕ

Дамјан Иветић¹
Милош Станић²
Жељко Василић³
Душан Продановић⁴

УДК: 628.144

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.086

Резиме: Водоводне дистрибутивне мреже су сложени системи чији је задатак да допреме до потрошача довољне количине воде, задовољавајућег квалитета. Анализа поузданости у функционисању је битна ставка у планирању даљег развоја као и у одржавању постојећег система. Поузданост се разматра са више становишта будући да сем снабдевања потрошача, у овај домен спада и заштита потрошача од потенцијалних опасности. У том контексту неопходно је размотрити систем изолационих затварача постављених у дистрибутивној мрежи чији је задатак да искључе поједине делове мреже. Дефинишу се сегменти дистрибутивне мреже који представљају делове мреже који се могу изоловати од остатка система затварањем одређених изолационих затварача. Како су водоводне мреже сложене структуре, потребно је применити алгоритам за дефинисање сегмената. Представљени алгоритам има за задатак да на основу хидрауличких модела водоводних мрежа унетих преко стандардних софтвера (EPANET, 3Dnet) дефинише сегменте мреже, ненамерна искључења у мрежи као последицу изоловања одређеног сегмента, као и дефицит у водоснабдевању који ће се изоловањем одређеног сегмента јавити. Користи се тополошке матрице повезаности које се користе у хидрауличким моделима водоводних мрежа. Примењена методологија за сегментизацију је описана кроз једноставан пример.

Кључне речи: Сегменти, водоводне мреже, тополошке матрице повезаности

1. УВОД

За проучавање, пројектовање и управљање водоводним дистрибутивним

¹ Дамјан Иветић, дипл.инж. грађ., асистент, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, Србија, тел: 011 3370 206, е – mail: divetic@hikom.grf.bg.ac.rs

² др, Милош Станић, дипл. инж. грађ., доцент, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, Србија, тел: 011 3370 206, е – mail: mstanic@grf.bg.ac.rs

³ Жељко Василић, дипл. инж. грађ., асистент, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, Србија, тел: 011 3370 206, е – mail: vasiliczeljko@hikom.grf.bg.ac.rs

⁴ др, Душан Продановић, дипл. инж. грађ., редовни професор, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, Србија, тел: 011 3370 206, е – mail: eprodano@hikom.grf.bg.ac.rs

системима, поред стандардне економске анализе, битно је испитати аспект поузданости. Циљ је до потрошача доставити довољне количине воде које су притом задовољавајућег квалитета. Поузданост се разматра са више становишта, јер није једино питање довести воду до потрошача већ и сачувати потрошаче од потенцијалних опасности. Предмет разматрања у овом раду су системи изолационих затварача постављених у дистрибутивној мрежи. Улога изолационих затварача је да изолују делове водоводне дистрибутивне мреже. Разлога може бити много за изоловање неких делова мрежа као што су нпр планиране или хаваријске интервенције на санацији мреже. Такође разматрајући тренутну гео-политичку ситуацију у свету, поготово у западним земљама, постоји реална опасност за саботажу водоводних система на више начина [1]. Није тешко закључити какве катастрофалне последице може такав неки чин имати. Бројне студије су се дотакле ове теме, чија је основа у суштини изоловање угрожене зоне, затварањем изолационих затварача [2].

Да би се манипулисало оваквим системима у оквиру водоводне мреже неопходно је дефинисати сегменте мреже, који су ништа друго него делови мреже који се могу изоловати од остатка дистрибутивне мреже, затварањем изолационих затварача. Познавањем свих сегмената и активним управљањем у реалном времену могу се ефикасно изоловати угрожени делови. Неколико метода је дефинисано за детектовање сегмената мреже, које на крају практично дају исти резултат. Неки истраживачи су користили алгоритме из теорије графова [3], [4] док су други користили тополошке матрице повезаности [5], [6]. Методологија презентована у овом раду припада приступу који користи тополошке матрице повезаности мреже које се користе у хидрауличким моделима водоводних мрежа, као и модификовану оригиналну топологију мреже. Резултати примене овог метода су исти као и у случају коришћења теорије графова, али пружа одређене потенцијалне предности. На пример корисници овог метода нису обавезни да буду упознати са теоријом графова и извесним алгоритмима за претраживање, већ на основу матричне структуре која се појављује у хидрауличким моделима, могу дефинисати сегменте мреже као и ненамерно искључене делове мреже.

2. МЕТОДОЛОГИЈА СЕГМЕНТИЗАЦИЈЕ

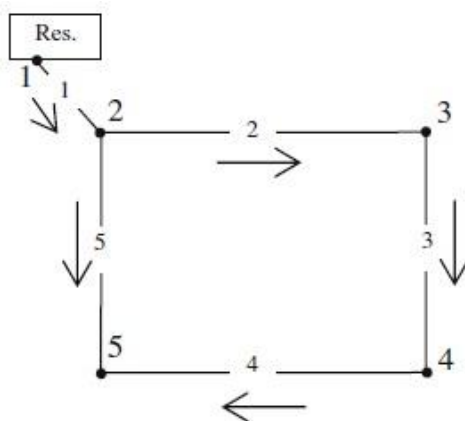
Претходно је наговештено да ће се методологија за сегментизацију водоводних дистрибутивних мрежа која је примењена преко програмског кода написаног у *MatLab* окружењу, описати користећи једноставан пример. Идеја је да се кроз одговарајући пример употпуњен са сликама које описују различите кораке, прође кроз алгоритам како би се уочили сви битни аспекти. Схема овог примера је приказана на слици 1. Мрежа се састоји од $n_0 = 1$ резервоара, $n_u = 4$ чвора са непознатом пијезометарском котом и $n_n = 5$ цеви.

Циљеви примене овог алгоритма се могу представити на следећи начин:

1. Идентификација сегмената водоводне дистрибутивне мреже,

2. Идентификација ненамерних искључења делова водоводне мреже као секундарна последица затварање изолационих затварача на одређеном сегменту,
3. Прорачун дефицита у водоснабдевању при затварању изолационих затварача на одређеном сегменту.

Имајући у виду сложеност реалних водоводних мрежа, може се закључити да овај обим посла превазилази могућности људске интуиције, због чега је неопходно дефинисати алгоритам и користити рачунарске програме.



Слика 1. Схема једноставног примера; стрелицама су обележени претпостављени смерови течења у цевима

Аутор је користио мреже које се унете или преко бесплатног софтвера за анализу водоводних система, *EPANET*-а, или преко програма који је развијен у *MatLAB* окружењу за потребе одржавања наставе на курсу Хидроинформатика на мастер студијама, *gui_hydroinf*. Софтверски пакет *EPANET* је у широкој употреби, управо због слободне лиценце, па је било циљано омогућити примену алгоритма за мреже формиране у овом програмском окружењу. На овај начин и сам алгоритам добија на општости у примени.

Идентификација и описивање сегмената формираних као последица затварања изолационих затварача у презентованом алгоритму се састоји од четири корака, која ће бити детаљније описана у наставку.

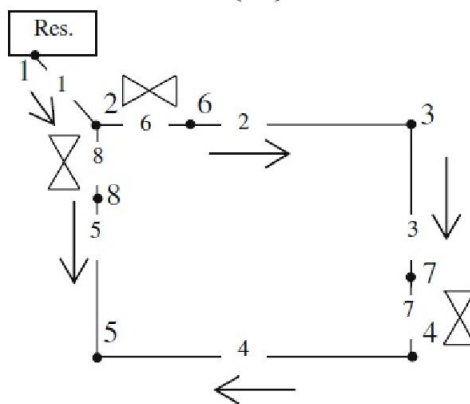
2.1. ИДЕНТИФИКАЦИЈА ЧВОРОВА И ЦЕВИ ПОВЕЗАНИХ СА ИЗВОРНИМ ЧВОРОВИМА

Анализира се полазна поставка мреже приказана на слици 1. За почетак морају се позиционирати изолациони затварачи у цевима који ће диктирати услове за формирање сегмената мреже. Постављају се три изолациона затварача у цевима обележеним са бројевима 2, 3 и 5. При позиционирању изолационих затварача

води се рачуна да се они постављају на крајевима цеви како би њихово затварање прекинуло водоснабдевање у узводном делу цеви. Затварачи који се постављају у мрежу са примерима су аналогно са написаним постављени на крајевима цеви 2, 3 и 5 односно респективно у близини чворова 2, 4 и 2. На овај начин добија се диспозиција мреже приказана на слици 2.

На новоформираној диспозицији мреже са примећује да се дефинисани сада и нови чворови 6, 7 и 8. То је последица третирања затварача као цеви фиктивне дужине која повезује два чвора мрежа. Овај начин дефинисања одговара приказу који се користи у софтверском пакету *EPANET*. Мрежа се сходно променама сада састоји од $n_0 = 1$ резервоара са фиксном пијезометарском котом, $n_i = 7$ чворова са непознатом пијезометарском котом и $n_p = 8$ цеви.

Са модификованом мрежом може се кренути даље у анализу, односно формирати раније споменутој тополошку матрицу повезаности A [7]. Она даје увид о везама између чворова у мрежи узимајући притом у обзир и полазну претпоставку о смеровима течења. Димензије ове матрице су $n_p * (n_0 + n_i)$. Елемент ове матрице $A(i,j)$ може узети три вредности: 0, -1 и 1. Конкретно $A(i,j) = 0$ ако i -та цев нема j -ти чвор на једном њеном крају. Уколико i -та цев има j -ти чвор на једном крају, онда ће $A(i,j)$ добити вредности или 1 или -1, у зависности од почетне претпоставке смера протока у i -тој цеви. Вредност $A(u,j) = 1$ одговара случају када протицај улази у чвор j , док вредност -1 важи за чвор из којег излази протицај. За мрежу са слике 2, добија се облик тополошке матрице повезаности A приказан у ј-ни (1). На даље тополошка матрица повезаности A се може поделити на две матрице, A_{10} и A_{12} , обележене у оквиру ј-не (1). Матрица A_{10} обухвата само колоне које се односе на чворове са фиксном пијезометарском котом, док је матрица A_{12} састављена од колоне које се односе на чворове са непознатом пијезометарском котом. Уз A_{10} и A_{12} , формира се и матрица A_{11} , димензија $n_p * n_p$. A_{11} је дијагонална матрица, где чланови на дијагонали представљају проводности (проточности) цеви у мрежи.



Слика 2. Схема мреже са дефинисаним позицијама изолационих затварача; стрелицама су обележени претпостављени смерови течења у цевима

$$\mathbf{A} = \begin{matrix} & \mathbf{A}_{10}: & & & \mathbf{A}_{12} & & & & \\ & n1: & n2 & n3 & n4 & n5 & n6 & n7 & n8 \\ p1 & \left(\begin{matrix} -1: & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p2 & 0: & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ p3 & 0: & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ p4 & 0: & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ p5 & 0: & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ p6 & 0: & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ p7 & 0: & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ p8 & 0: & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix} \right) & \end{matrix} \quad (1)$$

p_i : i -та цев; n_j : j -ти чвор

Коначно дефинишу се и вектори H , Q и q , који респективно представљају вектор непознатих пијезометарских кота, вектор непознатих протицаја у цевима мреже и вектор чворних потрошњи који су везани за чворове са непознатом пијезометарском котом. Прорачун вектора H и Q , захтева решавање нелинеарног система једначина ког чине једначина континуитета и енергетска једначина (2) [7]:

$$A_{11} \cdot Q + A_{12} \cdot H = -A_{10} \cdot H_0 \quad (2)$$

$$A_{21} \cdot Q = -q$$

Где је H_0 вектор фиксних пијезометарских кота.

Представљени систем једначина се може написати користећи матричну нотацију, како би се добио компактнији израз:

$$M \cdot X = N \quad (3)$$

где су написани чланови уствари једнаки:

$$M = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$X = \begin{pmatrix} Q \\ H \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$N = \begin{pmatrix} -A_{10} \cdot H_0 \\ -q \end{pmatrix} \quad (6)$$

Циљ ове анализе је идентификација чворова и цеви који су повезани са изворним чворовима, успостављајући услове у мрежи, такви да је чворна потрошња у свим чворовима са непознатом π котом једнака нули или $q = 0$, а π кота у чворима са фиксном π котом једнака јединици. Матрица проводности цеви постаје матрица $A_{11} = I$, где је I уствари матрица идентитета. Под наведеним условима, друга

једначина система (2) једноставно води до $Q = 0$. Када се $Q = 0$ замени у прву једначину добија се образац у следећој форми:

$$A_{12} \cdot H = -A_{10} \cdot I_0 \quad (7)$$

На овај начин добијен је линеарни систем једначина, који се може директно решити, користећи матричну нотацију, на следећи начин:

$$X = \text{inv}(M) \cdot N \quad (8)$$

где $\text{inv}(M)$ представља инверзну матрицу, матрице M .

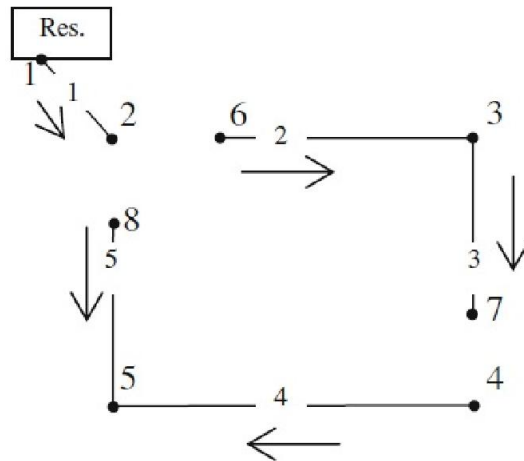
Решавањем система ј-на користећи образац (8) даје решења која одговарају случају да су сви изолациони затварачи отворени, односно да кроз све цеви струји вода. Конкретно добија се да су протоци кроз све цеви једнаки нули а пијезометарска кота у свим чворовима у којима је претходно била непозната, да је једнака јединици:

$$Q^T = (Q_1 \ Q_2 \ Q_3 \ Q_4 \ Q_5 \ Q_6 \ Q_7 \ Q_8) = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0) \quad (9)$$

$$H^T = (H_2 \ H_3 \ H_4 \ H_5 \ H_6 \ H_7 \ H_8) = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1) \quad (10)$$

Из добијених пијезометарских кота у чворовима где је она била непозната, које су једнаке фиксној пијезометарској коти у изворном чвору, закључује се да не постоје прекиди у мрежи. Уколико се добије за неки чвор да је π кота једнака 0, за њега се може констатовати да није повезан са изворним чворовима.

Затварање изолационих затварача у дистрибутивној мрежи се може представити отклањањем фиктивних цеви које представљају затвараче чиме се добија диспозиција са слике 3.



Слика 3. Схема мреже са уклоњеним изолационим затварачима; стрелицама су обележени претпостављени смерови течења у цевима

Уклањање затварача са диспозиције мреже, захтева да се сходно томе трансформише и матрица M . Редови и колоне које су везане за уклоњене затвараче се такође избацују из ове матрице па се добија редукована матрица $M_{ред}$, а исти принцип важи и за векторе X и H из којих се добијају редуковани вектори $X_{ред}$ и $H_{ред}$.

Нови систем једначина је неодређен (има више од једног решења), будући да матрица $M_{ред}$ димензија $12 * 12$ није пуног ранга (због унетих прекида у мрежи). Конкретно у овом случају матрица $M_{ред}$ има ранг 10. Giustolisi [5] је предложио једно решење, међу бесконачно могућих, које се добија коришћењем псеудо-инверзне (p-inverse) матрице од матрице $M_{ред}$:

$$X_{ред} = p-inverse(M_{ред}) \cdot N_{ред} \quad (1113)$$

Решење које се добија из једначине (11) коришћењем псеудо-инверзне матрице, $X_{ред} = (Q_{ред}, H_{ред})^T$, карактерише то да има минималну нормализовану вредност

односно $\sqrt{\sum_{j=1}^{n_p+n_t} (X_{ред,j})^2}$. Минимална нормализована вредност даље имплицира

да ће се у чворовима са непознатом π котом који нису повезани са изворним чворовима добити π кота једнака нули, а у чворовима који су повезани са извором π кота ће бити једнака оној вредности која је задата изворном чвору. Решавањем ј-не (11) добијају се следеће вредности за векторе са непознатим величинама:

$$Q_{ред}^T = (Q_1 \ Q_2 \ Q_3 \ Q_4 \ Q_5) = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0) \quad 12(14)$$

$$H_{ред}^T = (H_2 \ H_3 \ H_4 \ H_5 \ H_6 \ H_7 \ H_8) = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0) \quad 13(15)$$

Према претходно написаном објашњењу, чворови за које се добила π кота једнака јединици су повезани са резервоаром у случају затварања свих изолационих затварача, односно то су чворови 1 и 2 (1 је уствари изворни чвор = сам резервоар). Насупрот томе чворови са π котом једнаком нули нису повезани са извором, а то су чворови 3, 4, 5, 6, 7 и 8. Како би се дошло податка о неповезаним цевима, потребно је анализирати тополошку матрицу повезаности $A_{ред}$, мреже у којој су фиктивне цеви (затварачи) уклоњене (слика 3). Ова матрица се може извести из тополошке матрице повезаности A мреже са слике 2, дате j-ном (1), елиминисањем врста које одговарају уклоњеним затварачима односно фиктивним цевима. Следећи корак је, брисање из матрице $A_{ред}$ свих колона које се односе на претходно идентификоване чворове који су неповезани са изворним чвором. Колоне које одговарају чворовима 3, 4, 5, 6, 7 и 8 се елиминишу па се добија матрица $A_{ред-mod}$:

$$A_{ред-mod} = \begin{matrix} p1 \\ p2 \\ p3 \\ p4 \\ p5 \end{matrix} \begin{pmatrix} n1 & n2 \\ -1 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad 14(17)$$

Посматрају се колоне које су асоциране са чворовима у којима је била непозната пијезометарска кота, у j-ни (14) то је колона за n_2 . Уколико нека цев има у било којој од наведених колона бар један коефицијент различит од нуле, она је повезана са изворним чвором, насупрот томе ако су сви коефицијенти у колонама једнаки нули, та цев није повезана. Из j-не (14), на основу тога следи да је цев 1 остала

повезана са изворним чвором након затварања свих изолационих затварача, док су цеви 2, 3, 4 и 5 постале неповезане.

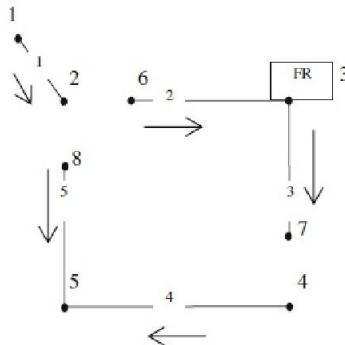
На основу информација о неповезаним деловима мреже, тачније неповезаним чворовима, формира се вектор V_{dn} који се састоји од индекса ових чворова:

$$V_{dn}^T = (3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8) \quad 15(18)$$

2.2. САСТАВЉАЊЕ И ДЕФИНИСАЊЕ СЕГМЕНАТА МРЕЖЕ

У оквиру овог корака алгоритма, потребно је дефинисати сегменте водовodne дистрибутивне мреже који се састоје од груписаних веза и чворова мреже, који се могу изоловати од остатка мреже затварањем одређених изолационих затварача.

Како би се дефинисали ови сегменти мреже, алгоритам користи V_{dn} , вектор чворова који су неповезани са изворним чворовима у случају затварања свих изолационих затварача. Овај вектор је приказан j-ном (15) за диспозицију са слике 2. Анализира се први члан вектора V_{dn} , и на место тог чвора се поставља фиктивни резервоар са фиксном пијезометарском котом једнаком јединици. За вектор из (15), на позицији чвора обележеног са индексом 3, поставља се фиктивни резервоар па се добија диспозиција представљена сликом 5.



Слика 4. Идентификација сегмента $S = 1$: фиктивни резервоар постављен на место чвора 3.

Чворови и везе које припадају сегменту $S = 1$ су повезани са фиктивним резервоаром позиционираном на месту чвора 3. Они се могу одредити на исти начин као што је рађено у претходном кораку алгоритма за чворове и везе које су повезане са правим изворним чворовима коришћењем j-на (11) и (14). За диспозицију са слике 4, добија се да се сегмент $S = 1$ састоји од чворова 3, 6 и 7 и цеви 2 и 3.

Чворови који припадају сегменту $S = 1$, се бришу из вектора V_{dn} , који је сада редукован на:

$$V_{dn}^T = (4 \ 5 \ 8) \quad (19)$$

На даље понавља се претходно описана процедура док вектор V_{dn} не остане без чланова односно док се не доделе сви чворови неком сегменту. То би значило да се у односу на пример, сада фиктивни резервоар поставља на место првог члана

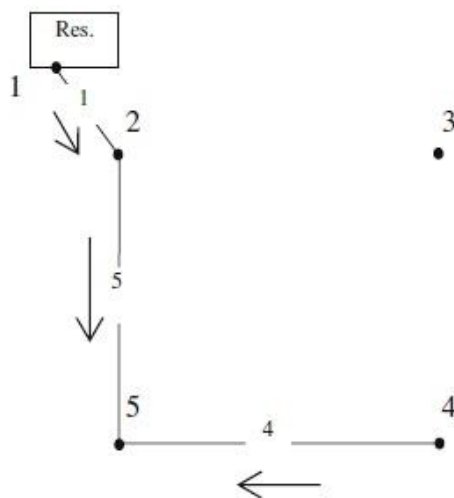
редукованог вектора V_{dn} , тј. на место чвора 4. Сегмент $S = 2$, чине чворови 4, 5 и 8, ако и цеви 4 и 5.

2.3. ДЕФИНИСАЊЕ НЕНАМЕРНИХ ИСКЉУЧЕЊА

У уводном делу овог рада споменута су ненамерна искључења у мрежи као секундарна последица затварања изолационих затварача на одређеном сегменту. Конкретно то значи да уколико би изоловали одређени сегмент водоводне мреже, низводни делови мреже уколико су се снабдевали *једино* путем веза које припадају изолованом сегменту, ће такође бити одсечени од изворних чворова. Као последица јавиће се прекид у водоснабдевању и у изолованом сегменту и у ненамерно искљученом делу дистрибутивне мреже.

Конкретан поступак за одређивање ненаменских искључења се ослања на први корак целокупног алгоритма. Тачније референцира се на почетну диспозицију мреже без постављених изолационих затварача (слика 1), са којом се спроведи поступак сличан као у првом кораку.

Сада се уместо уклањања изолационих затварача (којих уопште нема на овој диспозицији), уклањају везе и чворови који припадају одређеном сегменту. Конкретно на примеру ће се за сегмент $S = 1$, након уклањања припадајућих елемената добити диспозиција приказана на слици 5.



Слика 5. Одређивање ненаменски искључених делова мреже за сегмент $S = 1$

Понавља се поступак који је описан у првом кораку алгоритма за дефинисање чворова и веза повезаних са изворним чвором, базиран на једначинама (11) и (14), с тим што се сада користи модификована матрица M_{mod} уместо матрице M . Ова модификована матрица се разликује од оригиналне по томе што: не садржи врсте и колоне које се односе на фиктивне цеви које представљају затвараче (пошто их нема), као ни врсте и колоне које одговарају везама које припадају сегменту за који се анализирају ненамерна искључења.

На овај начин је представљено изоловање одређеног сегмента на диспозицији без изолационих затварача. Ненамерно изоловани чворови ће имати као и у претходним случајевима π коту блиску нули, док ће везе које су на овај начин искључене имати у одговарајућој врсти матрице *Ared-mod*, j -на (14) све чланове једнаке нули (изузев колоне које одговара изворном чвору). Конкретно за диспозицију са слика 5. неће се добити делови мреже који ће бити ненамерно искључени, будући да се ради о једноставној схеми мреже.

2.4. ПРОРАЧУН ДЕФИЦИТА У ВОДОСНАБДЕВАЊУ

У оквиру последњег корака алгоритма, потребно је срачунати дефицит у водоснабдевању, који ће се јавити при изоловању одређеног сегмента водоводне дистрибутивне мреже. Овај дефицит представља количину воде коју дистрибутивни систем није у стању да испоручи, што је последица затварања приступа потрошачима. Овде се провлачи аналогија са претходним кораком алгоритма, на основу ког се може закључити да се потрошачи који су искључени од остатка дистрибутивног система, налазе и у самом сегменту који је изолован операцијом затварања изолационих затварача и у делу дистрибутивне мреже који је ненамерно искључен. Сума количине воде коју систем није у стању да испоручи овим потрошачима представља споменути дефицит у водоснабдевању и означава се са D_{wds-i} (*wds* – скр.енг. *Water Demand Shortfall*), где индекс i обележева сегмент који је изолован. Поступак који се спроводи у оквиру ове анализе је карактеристичан по томе што се захтевана количина воде за потрошаче, не изражава као чворна потрошња (карактеристично за софтверски пакет *EPANET*), већ као потрошња распоређена дуж цеви.

За рачунање дефицита услед изоловања неког сегмента потребно је уклонити елементе који припадају том сегменту на исти начин како је то описано у претходном поглављу. На основу података о неповезаним цевима (будући да је сад потрошња распоређена дуж цеви), сумирањем њихових потрошњи добија се дефицит у водоснабдевању D_{wds-i} . Поступак се понавља за све сегменте дистрибутивне мреже како би се за сваки добио податак о одговарајућем дефициту у водоснабдевању.

3. ЗАКЉУЧАК

Кроз рад је описан алгоритам кроз четири корака који га чине, користећи једноставан пример за сликовит приказ. Мењајући почетну диспозицију мреже, алгоритам користи различите облике тополошке матрице повезаности како би одредио податке који су потребни. Систем једначина који се решава базира се на једначини континуитета и енергетској једначини, и карактеристично је што је у већини случајева неодређен. Због тога се за његово решавање користи псеудо-инверзна матрица која представља једно од безброј решења система, карактеристично по томе што има минималну нормализовану вредност.

Будући да се ова тематика интензивно истражује тек претходних неколико година, постоји значајан број праваца у којима би могло истраживање да се настави. Различите групе аутора су последње три године предложили неколико оптимизационих модела који се ослањају на ову анализу. Оптимизација у овом случају може имати различите циљеве или критеријуме, нпр као што је одређивање оптималног броја и положаја самих изолационих затварача у зависности од цене уградње, средњег дефицита у водоснабдевању итд.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Giustolisi, O., Savić, D.: Identification of Segments and Optimal Isolation Valve System Design in Water Distribution Networks, *Urban Water Journal*, 2010., 7:1, стр. 1-15.
- [2] Ostfeld, A., Salomon, E.: Optimal layout of early warning detection stations for water distribution systems security. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2004., 130 (5), 377-385.
- [3] Jun, H., Loganathan, G.V.: Valve-Controlled Segments in Water Distribution Systems, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2007., vol. 133, No. 2.
- [4] Kao, J.J., Li, P.H.: A Segment-based Optimization model for water pipeline replacement, *American Water Works Association Journal*, 2007., vol. 99, No. 7, стр. 83-95.
- [5] Giustolisi, O., Kapelan, Z., Savić, D.: An algorithm for automatic detection of topological changes in water distribution networks. *Journal of Hydraulic Eng* 134 (4), 2008., стр. 435-446.
- [6] Craeco, E., Franchini, M., Alvisi, S.: Optimal Placement of Isolation Valves in Water Distribution Systems Based on Valve Cost and Weighted Average Demand Shortfall, *Water Resource Management*, 2010., стр. 4317-4338.
- [7] Todini, E., Pilati, S.: A gradient algorithm for the analysis of pipe networks. In: Coulbeck B, Choun-Hou (eds) *Computer application in water supply, vol I-system analysis and simulation*. Wiley, London, 1988., стр. 1-20.

SEGMENTATION OF WATER DISTRIBUTION NETWORK

Summary: *Water distribution networks are complex systems whose task is to deliver to the consumer a sufficient amount of water, of satisfactory quality. Reliability analysis of the operation is an important issue in the planning of further development and maintenance of the existing system. Reliability is considered from multiple standpoints, because besides a task to supply consumers, this domain includes the protection of consumers from potential danger. In this context it is necessary to consider isolation valve system installed in the distribution network whose mission is to exclude certain parts of the network. Segments of the distribution network are defined as parts of the*

network that can be isolated from the rest by closure of certain isolation valves. As water distribution systems have complex structures, it is necessary to apply the algorithm for defining segments. Presented algorithm has the task to, using the hydraulic models of water networks entered via standard software (EPANET, 3Dnet), define the network segments, accidental disconnection of the network as a result of the isolation of a segment, as well as a shortfall in water supply. Topological incidence matrices are utilized, which are used also in hydraulic models of water supply networks. Methodology used for segmentation is described through a simple example.

Keywords: *Segments, water networks, topological incidence matrix*