

31.

**SIMPOZIJUM
O OPERACIONIM ISTRAŽIVANJIMA
SYMPOSIUM
ON OPERATIONS RESEARCH**

**Urednik / Editor
Slobodan Vujić**



CIP - Каталогизacija у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

**СИМПОЗИЈУМ о операционим истраживањима
(31; 2004; Иришки Венац, Фрушка Гора)**

Zbornik radova = Proceedings / XXXI Simpozijum
o operacionim istraživanjima = XXXI Symposium on
Operations Research, Iriški Venac, Fruška Gora, 14.-
17.09.2004.; [organizatori, organisers Rudarsko-geološki
fakultet, Beograd ... et. al.]; urednik, editor Slobodan
Vujić; prevod, translation Višnja Vukčević]. – Beograd:
Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu,
Katedra za primenu računara = University of Belgrade,
Faculty of Mining and Geology, Department of
Computer Application, 2004 (Beograd: Planeta print). -
XIII, 657 str. : ilustr.; 24 cm

Tekst na srp. i engl. jeziku. – Tekst štampan dvostubačno.
– Tiraž 250. – Bibliografija uz svaki rad. – Abstracts. –
Registar.

ISBN 86-7352-123-8

1. Рударско-геолошки факултет (Београд)
а) Операциона истраживања – Зборници

COBISS.SR-ID 116101388

XXXI SIMPOZIJUM O OPERACIONIM ISTRAŽIVANJIMA
XXXI SYMPOSIUM ON OPERATIONS RESEARCH

ZBORNİK RADOVA/PROCEEDINGS

Urednik / Editor:

Prof. dr Slobodan Vujić

Recenzenti / Reviewers:

Dr Janko Cvijanović, Prof. dr Dragoš Cvetković, redovni član SANU / full member of SASA, Prof. dr Mirjana Čangalović, Doc. dr Grozdana Gajić, Prof. dr Slobodan Guberinić, Prof. dr Verka Jovanović, Prof. dr Dušan Starčević, Prof. dr Jelena Kočović, Prof. dr Slobodan Krčevinac, Prof. dr Đuro Kutlača, Prof. dr Vlastimir Matejić, General-major Prof. dr Spasoje Mučibabić, Prof. dr Božidar Radenković, Dr Dragan Radojević, Prof. dr Radoslav Stanojević, Prof. dr Toma Tanasković, Prof. dr Jovan Todorović, redovni član AINSCG / full member of AEISSM, Prof. dr Branko Vasić, Prof. dr Mirko Vujošević, Prof. dr Vera Kovačević-Vujčić, Prof. dr Borislav Zajić, Prof. dr Tomislav Zečević

Izdavač / Publisher:



Rudarsko-geološki fakultet
Univerziteta u Beogradu,
Katedra za primenu računara
Faculty of Mining and Geology
University of Belgrade,
Department of Computer Application

Tehnički urednik / Technical editor:

Mr Igor Miljanović, dipl. ing.

Dizajn i priprema za štampu / Design, text capture and processing by:

Aleksandar Petrovski, dipl. ing., Milena Josipović, dipl. ing.

Prevod i lektorisanje / Translation and proof reading by:

Mr Višnja Vukčević, dipl. fil.

Štampa / Printed by: **Planeta print d.o.o., Beograd**

Godina izdanja / Issued in: **2004.**

Tiraž / Circulation: **250**

ISBN 86-7352-123-8

Radovi su štampani u izvornom obliku,
autori stoje iza podataka u radovima.

Copyright © 2004 Sva prava zadržana.

Nije dozvoljeno da nijedan deo ove knjige bude snimljen, emitovan ili reprodukovan na bilo koji način, uključujući, ali ne i ograničavajući se na fotokopiranje, fotografiju, magnetni upis ili bilo koji drugi vid zapisa, bez prethodne pismene dozvole autora i izdavača.

The papers are printed in their original form,
the authors are responsible for the data presented.

Copyright © 2004 All rights reserved.

No part of this publication may be recorded, transmitted or reproduced, in any form or by any means including photocopying, photographing, magnetic recording or otherwise, without the prior written permission of the authors and the publisher.



Mehanička i hidraulička pouzdanosti složenih vodoprivrednih sistema

Mechanical and hydraulic reliability of water distribution systems

Tina Dašić, Branislav Đorđević

Građevinski fakultet, 11000 Beograd, Bul. Kralja Aleksandra 73, e-mail: mtina@grf.bg.ac.yu

Sažetak: U radu je prikazana nova metodologija za određivanje pouzdanosti složenih vodoprivrednih sistema, koja pored pouzdanosti mehaničkih karakteristika elemenata, uzima u obzir i pouzdanost zadovoljenja hidrauličkih parametara u čvorovima i vezama sistema. Ova metodologija iskorišćena je za formiranje modela NETREL, koji omogućava određivanje pouzdanosti sistema različitih konfiguracija i nivoa složenosti, sa različitim ograničenjima u pogledu hidrauličkih parametara sistema i njihovih vrednosti.

KLJUČNE REČI: POUZDANOST, VODOPRIVREDNI SISTEMI, MREŽE POD PRITISKOM

Abstract: A new methodology for water resources systems reliability evaluation is presented. The proposed methodology considers both: mechanical reliability (probability of pipe failure) and reliability of hydraulic parameters in the nodes and links (pressure, velocity). On the basis of this methodology the model NETREL was developed. This model is useful for determining reliability of systems with different configurations and complexity, with different restrictions of hydraulic parameters and it's values.

KEY WORDS: RELIABILITY, WATER SUPPLY SYSTEMS, NETWORKS

1. Uvod

Pri projektovanju vodoprivrednih sistema, u našoj inženjerskoj praksi, po pravilu se zahteva zadovoljenje kvantitativne, ekonomske i vremenske efektivnosti, dok se elementi probabilističke efektivnosti razmatraju okvirno, koristeći uglavnom samo određena heuristička pravila. Za razliku od ostalih tehničkih sistema (kao što su automobili, avioni i sl.), kod kojih je pouzdanost važna karakteristika sistema, koja se rigorozno definiše i kritički analizira,

verovatnoća otkaza u vodoprivrednim sistemima oslanja se uglavnom na analizu mogućnosti zadovoljenja potreba pri nekim "najnepovoljnijim scenarijima". Kao rezultat ovakvog pristupa, određeni elementi sistema su predimenzionisani, dok je pouzdanost sistema kao celine uglavnom nezadovoljavajuća.

Analiza parametara probabilističke efektivnosti u fazama planiranja i projektovanja sistema posebno je značajna, s obzirom da upoređivanje varijanti različitih pouzdanosti,

bez uključivanja pouzdanosti, kao jednog od optimizacionih parametara, može dovesti do pogrešnih zaključaka i realizovanja možda ekonomski povoljnijih, ali nedovoljno pouzdanih sistema, koje je naknadno neophodno menjati u cilju povećavanja njihove pouzdanosti.

2. Netrel - model za određivanje pouzdanosti

Vodovodni distributivni sistemi imaju jednu specifičnost koja ih, sa gledišta pouzdanosti, čini složenijim od drugih tehničkih sistema. Da bi vodoprivredni (distributivni) sistemi uspešno obavljali svoju funkciju pored mehaničke pouzdanosti mora biti zadovoljena i hidraulika sistema. Drugim rečima, da bi u nekom potrošačkom čvoru bile zadovoljene potrebe (u pogledu zahtevanih količina vode i zahtevanog pritiska) neophodno je da taj čvor bude fizički povezan sa nekim izvorišnim čvorom (rezervoar, izvorište), kao i da pritisak u čvoru bude veći od nekog minimalnog zahtevanog pritiska. Ova verovatnoća izražena je pojmom "pouzdanost zadovoljenja hidrauličkih parametara" (koja bi se mogla nazvati i "pouzdanost protočnosti sistema").

Mehanička pouzdanost i pouzdanost zadovoljenja hidrauličkih parametara kombinuju se u ukupnu ili mehaničko - hidrauličku pouzdanost sistema, koja predstavlja verovatnoću da će u određenom čvoru distributivnog sistema biti obezbeđena potrebna količina vode zahtevanog pritiska, pod uslovom da u izvorišnim čvorovima postoje dovoljne količine vode.

Za složene distributivne sisteme u razmatranje se uvode dve mere pouzdanosti:

- pouzdanost mreže (sistema) - verovatnoća da će svaki potrošački čvor ispuniti zahtevanu funkciju u određenom vremenskom trenutku, i
- pouzdanost čvora - verovatnoća da će određeni potrošački čvor obavljati postavljeni zadatak u određenom vremenskom trenutku.

2.1. Mehanička pouzdanost

Mehanička pouzdanost distributivnih sistema određuje se korišćenjem osnovne teoreme dekompozicije binarnih funkcija, a proračun se sprovodi kroz nekoliko delova: 1. agregacioni model, 2. dekompozicija sistema i 3. određivanje međupouzdanosti

1. Agregacioni model

Agregacionim modelom se složeni sistem veza svodi na jednostavniji (čisto mrežni sistem ili granati sistem veza) sprovođenjem serijskih i paralelnih agregacija. Pod serijskom agregacijom podrazumeva se zamena dve veze ($u-v$ i $v-w$), sa pouzdanostima R_1 i R_2 , koje imaju jedan zajednički čvor (čvor v), jednom vezom ($u-w$) pouzdanosti $R_1 \cdot R_2$. Pod paralelnom agregacijom podrazumeva se zamena dve veze koje povezuju dva ista čvora jednom vezom čija je pouzdanost $1 - Q_1 \cdot Q_2$, gde su Q_1 i Q_2 nepouzdanosti razmatranih veza ($Q_1 = 1 - R_1$, $Q_2 = 1 - R_2$).

Pri određivanju pouzdanosti celog sistema navedene agregacije se ne mogu sprovesti na opisani način, jer ukidanje bilo kog čvora utiče na ukupnu pouzdanost sistema. U tom slučaju koristi se metod pouzdanosti K-čvora, prema kom se pod pojmom K-čvora podrazumeva čvor od značaja, a u sistemu mogu postojati i drugi "obični" čvorovi. Serijske agregacije se po ovom metodu, za veze $u-v$ i $v-w$, mogu sprovesti samo ako je zadovoljen jedan od sledeća dva uslova: čvor v je običan čvor ili sva tri čvora su K-čvorovi, a način agregacije prikazan je na slici 1. Korekcionim faktorom (Ω) uračunava se neophodnost povezanosti srednjeg K-čvora u serijskoj vezi, a množi sa ($1 - Q_1 \cdot Q_2$). Nakon sprovođenja svih serijsko-paralelnih agregacija u sistemu, dobijena pouzdanost sistema množi se sa korekcionim faktorom.

Pošto se paralelnim agregacijama ne ukidaju čvorovi, samo se dve ili više veza zamenjuju jednom vezom veće pouzdanosti, paralelne agregacije se po metodi K-čvorova računaju na isti način kao ranije opisanom metodom.

2. Dekompozicija sistema

Ako se kao rezultat serijsko - paralelnih agregacija dobije čisto mrežni sistem, znači da se sprovedenim agregacijama ne može izračunati pouzdanost, pa je neophodno "ukidanje" (redukcija) neke veze sistema. Prilikom redukcije neke veze i sistem se dekomponuje na dva podsistema: $(1_i, y)$ - podsistem u kome se pretpostavlja da je pouzdanost veze i jednaka jedinici i $(0_i, y)$ - podsistem za koji se pretpostavlja da je pouzdanost veze i jednaka nuli, tj. da veza ne postoji u sistemu. Za dobijena dva podsistema određuju se pouzdanosti koje se množe sa r_i i $(1 - r_i)$, respektivno:

$$R = r_i \psi(1_i, r) + (1 - r_i) \psi(0_i, r)$$

gde je:

$\psi(1_i, r)$ - strukturna funkcija pouzdanosti sistema $(1_i, y)$

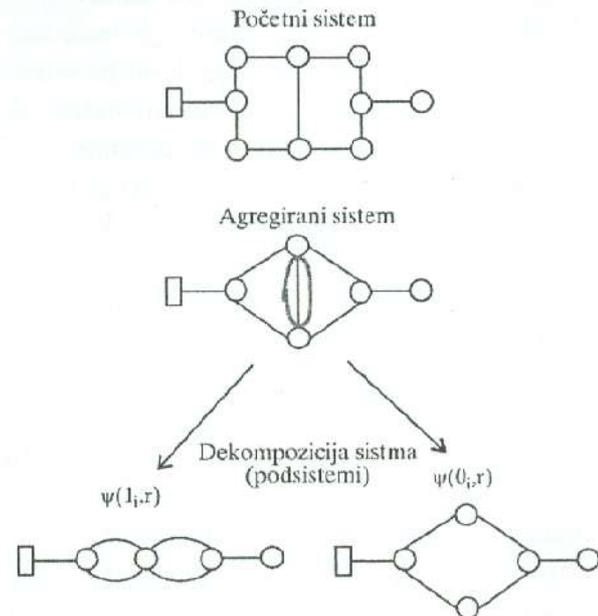
$\psi(0_i, r)$ - strukturna funkcija pouzdanosti sistema $(0_i, y)$

Ako su dobijeni podsistemi i dalje mrežne strukture, tj. dekompozicijom se ne mogu svesti na granatu strukturu, nastavlja se sa dekompozicijama podsistema.

Generalno, dekompozicija se može sprovoditi za bilo koju vezu u sistemu, ali pravilnim izborom veza koje se redukuju proračun se može znatno ubrzati. U ovom modelu za redukciju se bira neka veza sa putanje one veze agregiranog sistema koja ima najveći broj ponavljanja svojih čvorova.

3. Određivanje međupouzdanosti

Ako se kao rezultat serijsko - paralelnih agregacija dobije jedna veza ili sistem veza granate strukture, određuje se međupouzdanost, odnosno pouzdanost podsistema. Pouzdanost redukovanog sistema koga čini samo jedna veza jednaka je pouzdanosti te veze, jer je u nju već uračunat uticaj ostalih ukinutih čvorova i veza. Pouzdanost redukovanog sistema koji čini granatu strukturu zavisi od tipa proračuna, odnosno od pouzdanosti koja se računa.



Slika 2. Principi agregacije i dekompozicije sistema

Ako se računa pouzdanost jednog čvora, njegova pouzdanost jednaka je proizvodu pouzdanosti veza koje se nalaze na putanji od izvorišnog čvora do razmatranog čvora. U slučaju kada se računa pouzdanost sistema, ona je jednaka proizvodu pouzdanosti svih veza u redukovanom sistemu, jer otkaz bilo koje veze dovodi do otkaza (neispravnog funkcionisanja) sistema.

Vodoprivredni sistemi se veoma često oslanjaju na dva ili više izvorišta. To znači da postoji više izvorišnih čvorova u mreži. Takva mreža mora biti modifikovana za proračun mehaničke pouzdanosti. Problem se rešava dodavanjem imaginarnog izvorišnog čvora, koji se sa stvarnim izvorišnim čvorovima povezuje vezama čija je pouzdanost jednaka 1.

2.2. Pouzdanost zadovoljenja hidrauličkih parametara sistema

Zbog ranije istaknutih osobenosti vodoprivrednih sistema, u odnosu na druge tehničke sisteme, prilikom određivanja pouzdanosti zadatka - isporuke vode - neophodno je sprovesti hidraulički proračun za svaki sistem veza za koji je moguće izračunati mehaničku pouzdanost. Ako su u čvorovima ili vezama sistema zadovoljeni definisani

hidraulički parametri pouzdanost zadovoljenja hidrauličkih parametara jednaka je jedinici, a ukupna pouzdanost podsistema, koja je jednaka proizvodu mehaničke i pouzdanosti hidraulike, jednaka je mehaničkoj pouzdanosti. U suprotnom, ako definisani hidraulički parametri nisu zadovoljeni pouzdanost zadovoljenja hidrauličkih parametara jednaka je nuli, pa je i ukupna pouzdanost tog podsistema jednaka nuli. Hidraulički parametri mogu se definisati u čvorovima (npr. preko minimalnog pritiska u čvoru) i/ili vezama sistema (npr. definisanjem maksimalne dozvoljene brzine u cevima). Broj hidrauličkih proračuna smanjuje se računanjem pouzdanosti za svaki $(0, y)$ dekomponovani sistem. Ako za takav podsistem pouzdanost hidrauličkih parametara nije zadovoljena nije potrebno vršiti dalje dekompozicije tog podsistema, jer ni za jedan dekomponovani podsistem tog podsistema pouzdanost hidrauličkih parametara neće biti zadovoljena.

$$R = \sum_{i=1}^n R_{meh}(S_i) \cdot R_{hid}(S_i)$$

gde je S_i - razmatrani podsistema, a n - ukupan broj podsistema.

3. Zaključak

Razvijeni model (NETREL) za određivanje pouzdanosti efikasan je alat koji, pored odrađivanja mehaničke pouzdanosti omogućava i određivanje ukupne (mehaničko-hidrauličke) pouzdanosti sistema različitih konfiguracija (od regionalnih sistema pretežno

granate strukture, do gradskih distributivnih sistema sa velikim brojem zatvorenih struktura); određivanje pouzdanosti na nivou celog sistema, kao i pouzdanosti pojedinih potrošačkih čvorova sistema, što je veoma značajno i za regionalne sisteme, u kojima deficit vode potrošačkog čvora predstavlja ujedno i deficit vode čitavog konzumnog područja (umanjeno za moguće snabdevanje vodom iz gradskih rezervoara), i za distributivne sisteme, u kojima se potrošačkim čvorovima predstavljaju neki značajni korisnici kao što su bolnice, škole, značajni privredni objekti i sl.

4. Literatura

- [1] Dhillon B. S., Singh C., (1981) ENGINEERING RELIABILITY, NEW TECHNIQUES AND APPLICATIONS, A Wiley-Interscience
- [2] Gargano R., Pianese D., (2000) RELIABILITY AS TOOL FOR HIDRAULIC NETWORK PLANNING, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 126, No. 5
- [3] Henley E. J., Kumamoto H., (1981) RELIABILITY ENGINEERING AND RISK ASSESSMENT, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs
- [4] Nahman J. M., (2002) DEPENDABILITY OF ENGINEERING SYSTEMS - MODELING AND EVALUATION, Springer
- [5] Wagner, J., Shamir U., Marks D., (1988) WATER DISTRIBUTION RELIABILITY: ANALYTICAL METHODS, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 114