

HIDRAULIČKA ANALIZA ZA SMANJENJE GUBITAKA VODE U SISTEMU VODOSNABDEVANJA BEZ REZERVOARA

HYDRAULIC ANALYSIS TO REDUCE WATER LOSSES IN A WATER SUPPLY SYSTEM WITHOUT TANK

GOCE TASESKI¹

DOI: 10.5937/GV24005T

Rezime: Sistem vodosnabdevanja bez rezervoara gotovo da ne postoji, jer je osnovna namena rezervoara balansiranje potrošnje sa prilivom vode. U izuzetnim slučajevima, prema teorijskim postavkama, kada je kapacitet izvorišta veći od maksimalnih časova potrošnje vode, nije potrebno graditi/predviđati rezervoar. Međutim, u ovakvim sistemima granični uslov koji obezbeđuje potrošnju vode je izvor koji gravitaciono snabdeva stanovništvo vodom, budući da takvi izvori imaju znatno veći kapacitet od potrošnje vode, pa su korisnici zajedno sa rukovodiocima sistema u zabludi da ne treba brinuti o potrošnji vode, sve dok potrošnja vode ne pređe kapacitet izvora, šta je realno očekivati u budućnosti zbog sve većih uticaja klimatskih promena na kapacitete izvora.

Cilj ovog rada je da se kroz hidrauličku analizu sistema vodosnabdevanja bez rezervoara analizira ukupna potrošnja vode, sa posebnom pažnjom na ukupne gubitke vode u vodovodnoj mreži, dok je sistem vodosnabdevanja grada Gostivara u Makedoniji analiziran kao studija slučaja.

Ključne reči: hidraulička analiza, gubici vode, sistem vodosnabdevanja bez rezervoara

Abstract: Water supply system without tank is almost non-existent, because the main purpose of the tank is to balance the consumption with the inflow of water. In exceptional cases, according to the theoretical settings, when the capacity of the water spring is greater than the maximum pick hour consumption of water, it is not necessary to build/predict a tank. However, in such systems, the boundary condition that ensures water consumption is a water spring that supplies the population with water by gravity, while these springs have a significantly higher capacity than water consumption so the users together with the managers of the system are misled that there is no need to worry about water consumption, all this is so until the consumption of water does not exceed the capacity of the source, what is realistic to expect in the future due to the increasing impacts of climate change on the capacities of the water springs.

The aim of this paper is to analyze the total water consumption with special attention to the total water losses in the water supply network through a hydraulic analysis of a water supply

¹Goce Taseski, Univerzitet „Sv. Kiril i Metodije“, Građevinski fakultet, Bulevar Partizanskih odreda 24, Skoplje, Makedonija, ORCID: 0000-0002-4415-0321

system without a tank whereby, as a Case study, the water supply system of the city of Gostivar in Macedonia is analyzed

Key Words: hydraulic analysis, water losses, water supply system without tank

1. Uvod

Prema teorijskim postulatima, ako kapacitet izvorišta pokriva 100% potrošnje vode, nema potrebe za rezervoarom u sistemu vodosnabdevanja, što je matematički ispravna postavka, međutim, u fazi rada ovakvi sistemi se suočavaju sa prilično nekontrolisanom i evidentiranom potrošnjom vode, što je samo po sebi vrlo logično jer svi korisnici, kada bi raspoloživa vodu smanjila, što je sa sadašnjeg stanovišta realna situacija s obzirom na sve izraženiji uticaj klimatskih promena koji se uočava smanjenim kapacitetom već postojećih izvora vode. Jedan takav slučaj je analizirana studija slučaja za vodovod grada Gostivara, gde trenutno postoji vodovod bez rezervoara i do pre nekoliko godina ni u jednom trenutku nije bilo nestašica vode među krajnjim korisnicima. U prethodnih nekoliko godina je sve češće, posebno u letnjem periodu, dolazilo do nedostatka vode za vodosnabdevanje.

Cilj ovog istraživanja je da se sagledaju nedostaci – veliki ukupni gubici vode i da se predlože optimalne – realne mere za smanjenje gubitaka vode, kako bi se svi korisnici obezbedili vodom tokom cele godine. Gubici vode se mogu posmatrati samo kao razlika između količine isporučene vode i količine vode koja se obračunava. Deo gubitaka vode – tehničkih gubitaka nastaje u distributivnoj mreži usled: habanja sistema, visokih pritisaka vode, korozije cevovoda, nepravilno projektovane i izgrađene mreže, dok veliki deo gubitaka predstavlja administrativne gubitke: greške u merenju utrošene vode, nezakonito priključenje i lošu praksu rada i održavanja javnih preduzeća.

Tabela 1. Prednosti upravljanja pritiskom

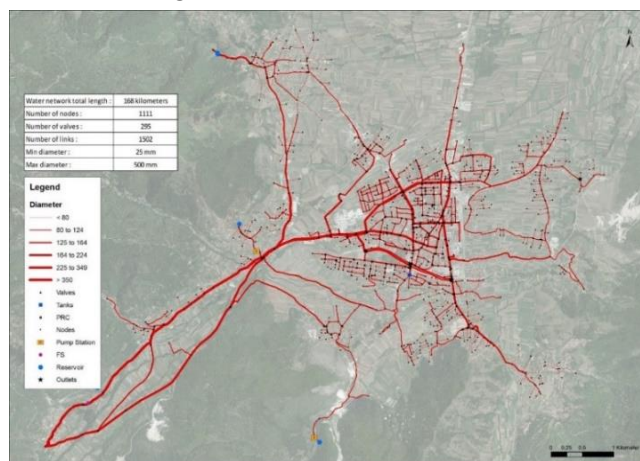
Upravljanje pritiskom: Smanjenje dodatnog prosečnog i maksimalnog pritiska		
Prednosti uštede količine vode	Smanjuje curenje po potezu	Smanjuje prekomernu ili neželjenu potrošnju vode
Prednosti sistema vodosnabdevanja	Smanjuje učestalost kvarova i gubitaka	Smanjuje curenje u slučaju gubitaka i kvarova
		Smanjuje troškove popravke i restauracije
		Smanjene godišnje intervencije
		Odloženi oporavak mreže i produžen životni vek
		Smanjeni troškovi za proveru prijavljenih nedostataka
Potrošačke koristi		Smanjuje troškove aktivne kontrole gubitaka
		Manje pritužbi potrošača
		Manje problema sa vodovodom

Od svih prethodno navedenih gubitaka vode u sistemima sa velikim gubicima vode, najveći uticaj ima visok pritisak u vodovodnoj mreži [1]. Stoga se danas smatra da upravljanje pritiskom ima širok spektar prednosti i da je jedna od najvažnijih intervencija upravljanja vodama koju vodoprivredna kompanija može sprovesti. Prednosti upravljanja pritiskom u distributivnim sistemima mogu se videti u tabeli 1 [2].

S obzirom na to da studija slučaja za vodosnabdevanje grada Gostivara predstavlja postojeći vodovod, za uspešnu procenu performansi sistema potrebno je izraditi konkretan hidraulički simulacioni model za sistem vodosnabdevanja bez rezervoara, što praktično predstavlja polaznu osnovu za analizu gubitaka vode.

2. Studija slučaja vodovoda u Gostivaru

Vodovod za grad Gostivar i okolna naselja pokrenut je 1978. godine i radi se o specifičnom vodovodu bez rezervoara, jer je vodosnabdevanje grada i okolnih naselja planirano sa izvorišta „Vrutok“, koje se nalazi na nadmorskoj visini od 684 m i u fazi projektovanja imalo je kapacitet od 600 – 1.200 l/s, što je mnogo više od predviđene potrošnje vode. Apsolutni minimum je zabeležen u zimskim mesecima, dok je u ostalim mesecima, posebno u letnjem periodu, prinos izvora bio 70 % od maksimalnog prinosa. Dakle, prema projektnoj dokumentaciji za ekvivalentni broj stanovnika od 50.000 i specifičnu potrošnju vode $Q_0=400$ l/d/PE, predviđena potrošnja vode bila je $q_{mak}/h=420$ l/s [3]. Na sledećoj slici je prikazan izgled postojeće vodovodne mreže grada Gostivara.



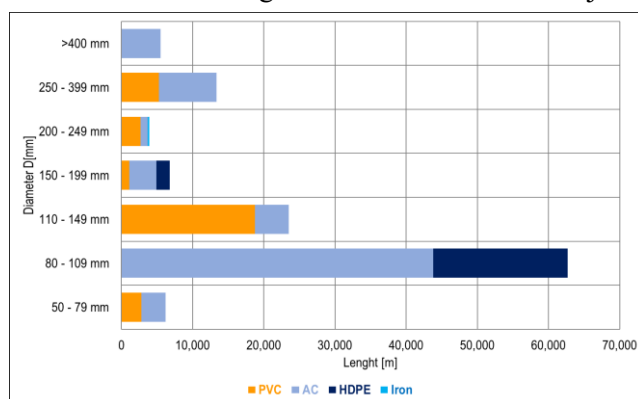
Slika 1. Vodovod grada Gostivara

Od izvorišta „Vrutok“ distribucija vode do grada Gostivara (500-580 mnv) i okolnih naselja odvija se preko dva magistralna gravitaciona dovodna cjevovoda i to:

- Desni glavni dovodni cevovod: izveden od azbestno-cementnih cevi, unutrašnjeg prečnika AC DN 250 mm. Ovaj cevovod ima komoru za rasterećenje pritiska na 644 m nadmorske visine.

- Levi glavni dovodni cevovod: izvodi se od leve strane reke Vardar, gde praktično postoje dva cevovoda, jedan sa AC DN 350 mm, a drugi PVC DN 380 mm. Na 1000 m od početka levog magistralnog cevovoda nalazi se komora za rasterećenje na 647 m nadmorske visine u kojoj su dva cevovoda povezana u jedan cevovod koji predstavlja levi magistralni cevovod, gde je ovaj cevovod AC DN 500 mm.

Karakteristike vodovodne mreže za grad Gostivar i okolna naselja date su na slici 2.



Slika 2. Grafički prikaz dužina i prečnika cevovoda u zavisnosti od materijala

S obzirom da u trenutku analize nisu bili dostupni relevantni podaci o potrošnji vode, već samo podaci o broju i gustini naseljenosti prema detaljnim urbanističkim planovima za grad Gostivar i okolna naselja, potrebe za vodom su analizirane kroz urbanističke planove, gde ukupne neto potrebe za vodom obuhvataju potrebe za vodom za:

- stanovništvo koje živi u zgradama (110 l/d/PE) i kućama (130 l/d/PE),
- komercijalni i kolektivni objekti $10\% \cdot Q_{\text{aver}}/d$
- Industrija 10,000 l/d/ha (samo u delovima gde postoji industrija)

prikazani su u tabeli 2 i predstavljaju neto potrebe za vodom bez uključenih gubitaka vode.

Tabela 2. Neto potrebe za vodom za izradu hidrauličkog modela

Naseljeno mesto	Tip na potrošač				
	Domaćinstva [m ³ /d]		Komercija [m ³ /d]	Industrija [m ³ /d]	Ukupno [m ³ /d]
	Kuće	Zgrade			
Grad	1,776.0	3,649.0	1,085.0	554.0	11,364.0
Selo	3,909.0	0.0	391.0	0.0	
UKUPNO	5,685.0	3,649.0	1,476.0	554.0	

S obzirom da ne postoje detaljniji podaci o tome koliko su ukupni gubici vode tehnički, a koliko administrativni, oni se predviđaju prema situaciji sa sličnim sistemima u Makedoniji, gde su ukupni gubici podeljeni podjednako, odnosno 50%

vode. ukupni gubici su tehnički, a 50% su administrativni. Ovde treba napomenuti da se tehnički gubici vode predviđaju odnosom pritisak-curenje korišćenjem jednostavne eksponencijalne jednačine [4] gde eksponent curenja prema izvoru iz literature [5] zavisi od vrste materijala cevi.

3. Hidraulični model

Za izradu hidrauličkog modela korišćen je savremeni softverski paket WaterGEMS koji je namenjen za analizu sistema pod pritiskom, kao što su sistemi vodosnabdevanja.

Geometrija mreže uneta iz baze podataka sastoji se od sledećih elemenata:

- Cevi (početna i krajnja tačka, materijal, dužina i prečnik)
- Čvorovi (Ks-I koordinate, nadmorska visina i potrošnja vode)
- Ventili (Ks-I koordinate, nadmorska visina, tip, materijal, prečnik i veza sa cevima) cevi (početna i krajnja tačka, materijal, dužina i dijametar)

Da bi se dobio model koji će biti blizak realnom sistemu, korišćene su sledeće hipoteze prilikom izrade modela sistema vodosnabdevanja bez rezervoara:

- Modelovane su sve cevi prečnika većeg od 80 mm,
- Cevi prečnika manjeg od 80 mm se takođe modeluju samo na delovima gde je ovaj potez između cevi prečnika većeg od 80 mm. Ovo se radi kako bi se očuvao koncept tog dela mreže.
- Za raspodelu potrebnih količina vode po potezima korišćena je automatska funkcija softverskog paketa WaterGEMS – proporcionalna raspodela po čvorovima, posebno za stanovništvo, kolektivne objekte i industriju.
- „Veliki potrošači“ vode se upisuju kao koncentrisani potrošači u najbližoj čvornoj tački.

Kao „veliki potrošači“ su postojeći ispusti u reci Vardar sa kojima tehnička služba javnog preduzeća ispušta vodu u cilju otklanjanja visokih pritisaka u niskim delovima grada Gostivara, slika 3.



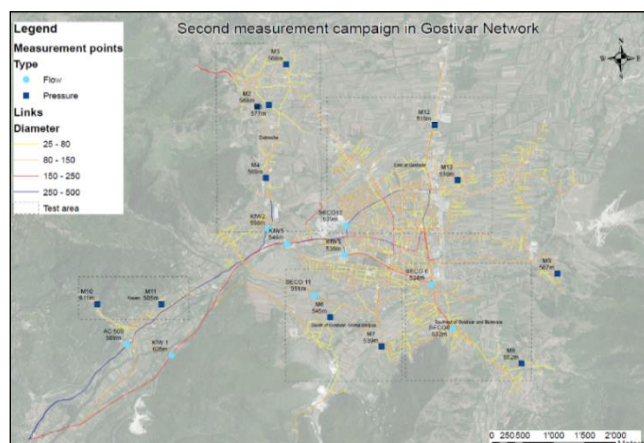
Slika 3. Ispusti vode u reku Vardar u cilju smanjenja pritiska u vodovodnoj mreži

4. Kalibracija i verifikacija hidrauličkog modela

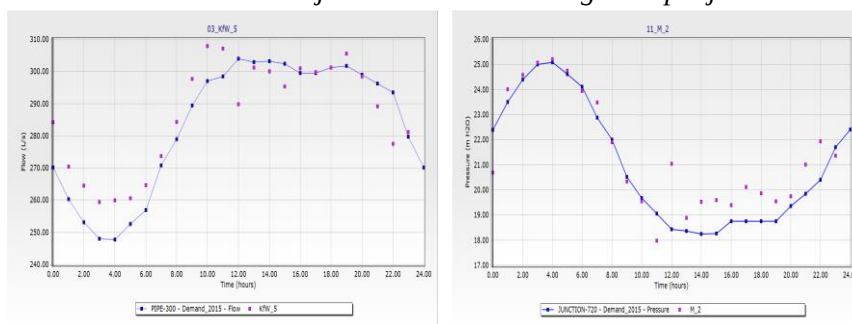
Da bi se napravio hidraulični model koji je najbliži realnom sistemu vodosnabdevanja, napravljene su određene pretpostavke i to:

- Pritisak na mernim mestima je promenljiv tokom dana.
- Za grad Gostivar i za seoska naselja primenjene su različite vrste varijacija potrošnje vode.
- Nije bilo relevantnih podataka o koeficijentu hrapavosti cevi, koji prema podacima iz literature zavisi od: vrste materijala, starosti i prečnika cevi.
- EkspONENT u odnosu pritisak-curenje je različit za grad Gostivar i za seoska naselja.

Sa ovim pretpostavkama usvojene su i napravljene dve kampanje merenja, gde je u prvoj kampanji meren samo protok u ukupno 12 tačaka - cevi, dok je u drugoj kampanji vršeno je paralelno merenje protoka i pritiska u ukupno 13 tačke, slika 4. Rezultati prve kampanje korišćeni su samo za sagledavanje početne potrošnje vode u sistemu, dok su rezultati druge kampanje dalje korišćeni za verifikaciju modela i na slici 5 prikazuje se deo rezultata verifikacije hidrauličkog modela.



Slika 4. Lokacija mernih mesta iz druge kampanje



Slika 5. Prikaz rezultata kalibracije i verifikacije modela (protok levo, pritisak desno)

Prema prikazanim grafikovima za verifikaciju hidrauličkog modela, može se zaključiti da je izrađeni hidraulični model dovoljno blizak realnom sistemu vodo-snažbevanja.

5. Analiza rezultata hidrauličkog modela

Iz dobijenih rezultata za trenutno stanje vodovoda grada Gostivara i okolnih naselja može se zaključiti da:

- pretpostavka da hidrodinamičke linije ne počinju od prelomne komore u oba magistralna cevovoda.
- Delovi vodovoda nemaju dovoljan pritisak za optimalno snabdevanje vodom.
- U niskim delovima grada Gostivara uočeni su visoki pritisci >6 bara, što za posledicu otvaranje ispusnih ventila i stvaranje velikih gubitaka vode.

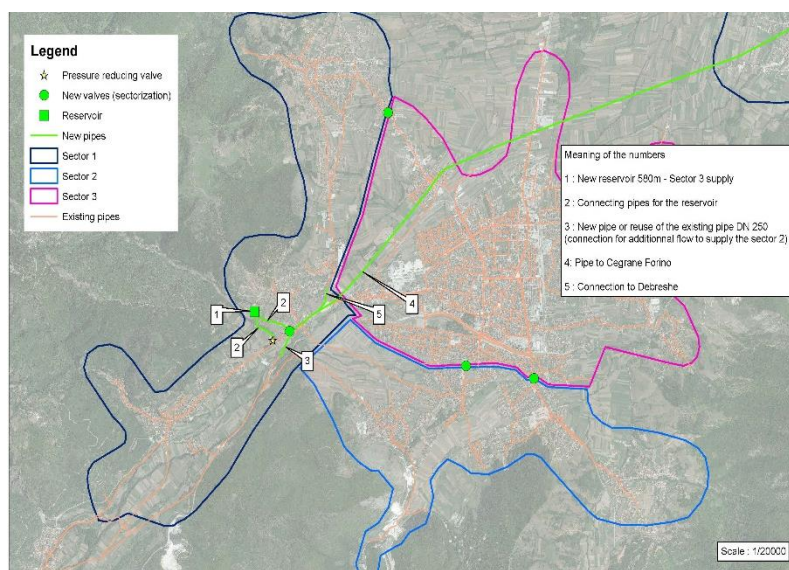
Prethodno urađena analiza rezultata odnosi se samo na uzroke velikih gubitaka vode koji su osnovna svrha ovog rada i iste kao procentualne vrednosti date su u tabeli 3. Modelom su identifikovani i drugi nedostaci na vodovodnoj mreži, kao što su uska grla na vodovodnoj mreži sa velikim padovima hidrodinamičke linije, koja u početnom stanju nemaju veći uticaj na funkcionisanje sistema, ali za buduću modernizaciju sistema treba ih uzeti u obzir.

Tabela 3. Rezultati hidrauličkog modela

Područje	Ukupno prosečan protok (l/s)	Prosek potrošnja na vodi (l/s)	Gubici vode (l/s)	Potrošnja na vodi (%)	Gubici vode (%)
Gostivar	280	81	199	29	71
s. Raven	19.9	2.5	17.4	15	85
s. Debrese	20.6	11.5	9.1	56	44
s. Calje	20	7.5	12.5	35	65
s. Balin Dol	6.2	4.5	1.7	72	28
s. Beloviste	3.9	2.6	1.3	37	23
s. G. Banjica	13.9	5.4	8.5	38	62
s. D. Bajnica	17.7	7.6	11.1	42	58

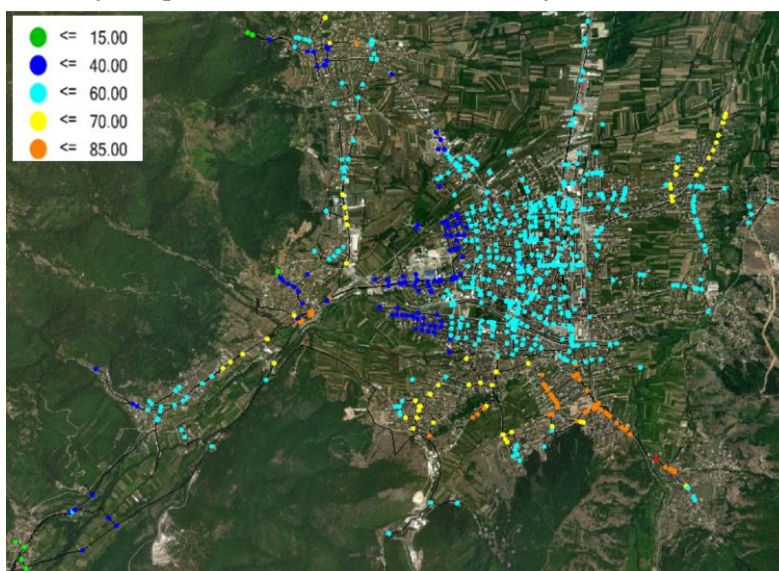
6. Hidraulički model budućeg stanja

Prema svemu dosadašnjem, može se zaključiti da su najveći razlog za velike gubitke vode, koji samo za grad Gostivar iznose 71%, a u proseku za ostatak mreže 63%, visoki pritisci u mreži. S obzirom da je najveća potrošnja vode u gradu Gostivaru, a da bi se sagledao uticaj smanjenja pritiska gubitaka vode u vodovodnom sistemu, urađen je hidraulički model budućeg stanja u kome je planirano da se zonira vodovoda mreža za Gostivar na tri nezavisne zone sa izvođenjem po tri rezervoara za svaku zonu posebno, slika 5.



Slika 5. Plansko zoniranje vodovoda Gostivara

Na sledećoj slici 6 prikazani su očekivani maksimalni pritisci u čvorovima vodovoda grada Gostivara nakon zoniranja mreže, gde se očekuje značajno smanjenje pritiska u vodovodnoj mreži grada Gostivara, od prosečan pritisak od 6,2 bara pre zoniranja do prosečno 4,1 bara nakon zoniranja vodovodne mreže



Slika 6. Maksimalni pritisci u vodovodu Gostivara

Najznačajnije kod budućeg upravljanja pritiskom u vodovodnom sistemu Gostivara je da se samo zoniranjem vodovodne mreže u gradu Gostivaru bez primene bilo koje druge mere za smanjenje gubitaka vode, ukupni gubici vode smanjuju sa 71%

na 53%. Ovde je takođe važno napomenuti da planirani rezervoari imaju kapacitet od:

- Rezervoar za zonu 1 zapremine $V=2,000\text{m}^3$
- Rezervoar za zonu 2 zapremine $V=1,300\text{m}^3$
- Rezervoar za zonu 2 zapremine $V=5,600\text{m}^3$

Praktično, uvođenjem rezervoara za vodu izvršiće se izravnavanje snabdevanja sa potrošnjom vode i obezbediće se dovoljna količina vode za nesmetano vodosnabdevanje svih naselja, a obezbediće se i dodatna količina vode za dodatnih 16.500 stanovnika iz susednih naselja koja još nisu priključena na postojeći vodovod iz grada Gostivara.

7. Zaključak

Kao opšti zaključak iz svega navedenog, može se reći da su sistemi vodosnabdevanja bez rezervoara imali vrlo malo prednosti u odnosu na sisteme sa rezervoarima. Iako vodovod Gostivara radi bez rezervoara, ovaj rad je pokazao da ima velike nedostatke koji utiču na neadekvatno vodosnabdevanje grada i okolnih naselja, niske pritiske u visokim zonama i visoke pritiske u niskim delovima grada, što dovodi do velikih gubitaka vode i neminovne potrebe za izgradnjom rezervoara koja bi u početku regulisala pritisak u mreži a kasnije izjednačila snabdevanje sa potrošnjom vode.

8. Literatura

- [1] Macatula R, E.G. Pineda, Computation of Real & Apparent Losses through Pressure-Leakage Relationship Analysis.
- [2] Thornton J, Lambert A, The relationships between pressure and bursts – a ‘state of the art’ update. *IWA Water 21 Journal*, April, 2011.
- [3] Основен проект за водоснабдување на Градот Гостивар, 1976.
- [4] Thornton J and Lambert A Progress in Practical Prediction of Pressure:Leakage, Pressure:Burst Frequency and Pressure:Consumption Relationships. Proceedings of *IWA Special Conferences 'Leakage 2005'* , Halifax, Nova Scotia, Canada, September 12-14, 2005
- [5] Greyvenstein B. and Van Zyl J. E, An Experimental Investigation into the Pressure Leakage Relationship of some Failed Water Pipes, *Water Institute of Southern Africa Biennial Conference*, Durban, South Africa, 22–24 May 2006