

MODERNIZACIJOM UPRAVLJANJA DO EFIKASNIJEG SNABDEVANJA VODOM

Dr Zoran Petrović, Branko Radičević, Mišo Bjelić,

Kategorizacija rada: STRUČNII RAD
Recenzent: Prof. dr Dragica Milenković
Rad primljen: 09. 05. 2006.

Adresa:
Mašinski fakultet
Kraljevo

Rezime: U ovom radu skladišta su tretirana kao sistemi za pružanje masovnih usluga. Korišćen je Little-ov zakon kao osnovni zakon u teoriji redova čekanja. Skladišta su pretstavljena kao sistemi linija za pružanje usluga u kome su MTJ potrošači, koji stižu u skladište gde bivaju skladišteni, i gde čekaju da budu usluženi (tj. prevezeni do određenog korisnika). Na ovaj način, objašnjena je primena zakona masovnog usluživanja pri otpremi/prijemu robe.

Ključne reči: skladište, lanac snabdevanja, protok proizvoda, MTJ-modulska transportna jedinica, sistem linija za uslugu, redovi čekanja, masovno usluživanje

1. Uvod

Na osnovu evidencije režima voda i rezultata eksploatacije bunara u priobalju reke Ibar, analizirana je mogućnost povećanja stepena efikasnosti postojećih izvorišta (bunara) u vodovodu Kraljevo. Permanentni problem snabdevanja Kraljeva pijaćom vodom je nedostatak dovoljnih količina vode u bunarima u letnjem periodu, odnosno pri niskom vodostaju Ibra i plavljenje bunara pri visokom vodostaju Ibra u prolećnim i jesenjim mesecima. Zbog ovoga je analizirana mogućnost upravljanja pumpama u bunarima sa aspekta povećanja energetske efikasnosti i eliminisanja gore navedenih problema.

Postojeći način upravljanja bunarskim postrojenjima zasnovan je na principu uključivanja i isključivanja bunarskih pumpi zavisno od trenutnih potreba u pumpnim stanicama, odnosno potrebama vodovoda. Količina vode koja se eksploatiše iz bunara je uvek konstantna, nezavisno od potrebe odnosno od izdašnosti bunara koja je direktno povezana sa vodostajem reke Ibar. Sistem zaštite od iscrpljivanja bunara je regulisan krajnjim isključivačima, što ne omogućava korišćenje maksimalne izdašnosti izvorišta.

Predloženi sistem upravljanja bunarskim postrojenjima treba da poveća energetske efikasnost bunarskih pumpi i optimizira eksploataciju vode iz bunara zavisno od trenutne izdašnosti.

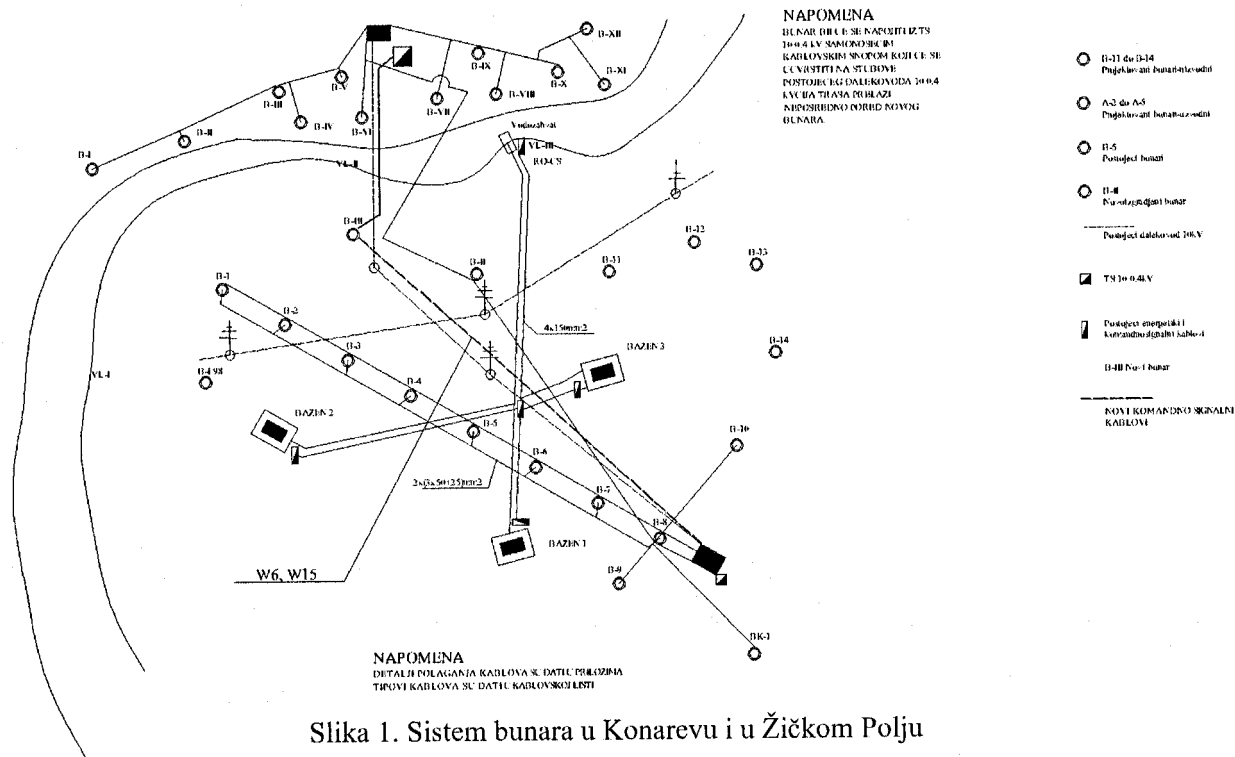
Korišćenje maksimalne izdašnosti bunara i povećanje energetske efikasnosti bunarskih pumpi, moguće je ostvariti primenom frekventnog regulatora, koji dobija strujni signal o nivou vode u bunaru preko hidrostatičkog davača nivoa. Ovo predstavlja osnovu za izgradnju dinamičkog sistema za daljinski nadzor i upravljanje bunarskim postrojenjima.

2. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA BUNARSKIH POSTROJENJA

2.1 Pregled stanja izvorišta u aluvionu reke Ibar

Snabdevanje vodom stanovništva, privrede, industrije i potreba javne potrošnje obezbeđuje se korišćenjem podzemnih voda sa četiri izvorišta formiranih u aluvionu reke Ibar uzvodno od centra grada.

Izvorište Đeriz sadašnjeg kapaciteta od oko 18 l/s, formirano je 1937. godine, izvorište Streljište (kapaciteta 10 l/s) 1942. godine, Konarevo (50 l/s) 1958. godine i najveće izvorište Žičko polje (kapaciteta 200 l/s) započeto sa korišćenjem 1977. godine. Sva izvorišta se oslanjaju na vodotok Ibra, te je kvalititet vode ovog vodotoka i zaštita kvaliteta vode (propisana II a klasa) od presudnog značaja za obezbeđenje kvaliteta vode na izvorištima. Analize mogućnosti racionalne zaštite i proširenja izvorišta (s



Slika 1. Sistem bunara u Konarevu i u Žičkom Polju

obzirom na potrebe gradskog područja) pokazale su da je od svih izvorišta najizvesnija i najracionalnija zaštita i rekonstrukcija izvorišta Žičko polje koje i danas predstavlja dominantan resurs snabdevanja Kraljeva pijaćom vodom.

Rekonstrukcija i nadgradnja izvorišta Žičko polje otpočeta je 1993. godine izgradnjom dela infiltracionog sistema, i ona se sporo, u skladu sa mogućnostima realizuje.

Izvorište Žičko polje danas zauzima prostor od 55 ha, na kojem su izgrađeni sledeći objekti:

- vodozahvat na Ibru (kapaciteta 220 - 250 l/s)
- tri infiltraciona bazena
- deset bušenih bunara
- tri bunara sa horizontalnim drenovima i jedan kopani bunar

Primena rešenja infiltracije realizovana je u cilju smanjenja problema sa već oborenim nivoima podzemnih voda u inače tankom vodonosnom

kompleksu, kao i zbog mogućnosti smanjenja uticaja okolnog prostora i što je najvažnije, kontrole kvaliteta nalivne vode (poboljšanja njenog kvaliteta u odnosu na ibarsku vodu po potrebnim parametrima). Izgrađeni infiltracioni sistem samo je deo projektovanog rešenja veštačke infiltracije.

2.2. Izdašnost postojećih izvorišta i prosečna potreba za vodom

Prema rezultatima Generalnog projekta Regionalnog vodovodnog sistema "Lopatnica" koji je izrađen od strane Instituta za vodoprivredu "Jaroslav Černi" iz Beograda u toku 1998. godine, čiji su naručioc i investitori bili Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivredne Republike Srbije i Direkcija za planiranje i izgradnju "Kraljevo" iz Kraljeva, procenjene su sledeće potrebne količine vode za vodosnabdevanje Kraljeva za period do 2051. godine.

Tab.1. Potrebne količine vode (l/s)

GODINA	2001.	2021.	2031.	2051.
Prosečna potrebna god. potrošnja [l/s]	560	850	1035	1180

Ove količine su određene na osnovu procene promena broja stanovnika, promena normi potrošnje vode i stepena priključenosti korisnika. U njima su sadržane potrebe gradskih i prigradskih korisnika, seoskih potrošača i potrebe industrije i turizma za kvalitetnom pijaćom vodom.

Navedene količine su prosečne godišnje vrednosti. Količine koje je potrebno obezbediti na

izvorištima (izvorišta u aluvionu Ibra i Lopatnica) zavise od koeficijenata mesečne neravnomernosti, koji se od 2001-2051. kreće od 1.4 - 1.33.

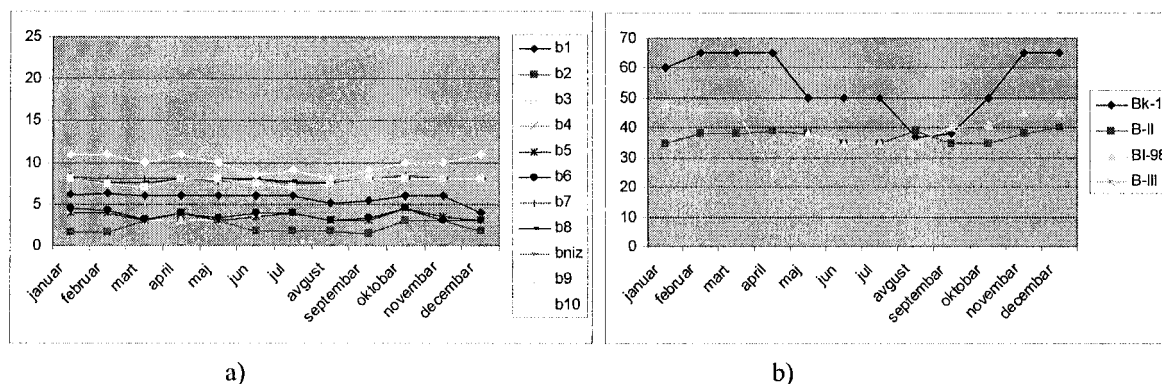
Prema ovim podacima, sa postojećih izvorišta i iz planiranog sistema Lopatnica potrebno je obezbediti sledeće količine kvalitetne pijaće vode (potrebni kapaciteti izvorišta):

Tab. 2. Kapaciteti izvorišta (Q_{max})

GODINA	2001.	2021.	2031.	2051.
Iz izvorišta pored Ibra [l/s]	300	350	350	350
Iz planiranog RVS "Lopatnica" [l/s]	430	800	1050	1220

Stanje snabdevanja je da se i sada koriste samo četiri izvorišta u aluvionu reke Ibar i da se trenutno radi na delu RVS Lopatnica koji se odnosi na izradu rezervoara u selu Drakčići i cevovoda prema gradu što bi omogućilo da se u ovoj fazi akumulira višak vode pri manjoj potrošnji.

Merenjem izdašnosti najvećeg izvorišta, Žičko polje, u toku 2003. godine, dobijeni su podaci koji su prikazani na dijagramima 1a), 1b).



Dijagram 1. a) Prosečna mesečna izdašnost bunara na izvorištu Žičko polje; b) Izdašnost četiri najveća bunara

3. PROJEKTOVANJE SISTEMA REGULACIJE PUMPI NA BUNARIMA I CRPNIM STANICAMA PRIMENOM UPRAVLJANJA PO NIVOU VODE

3.1 Uvodni podaci

Eksperiment je izveden na bunaru crpne stanice Đeriz. Izvorište Đeriz ima jedan bunar, odakle se voda direktno crpi i potiskuje ka potrošačima. U crpnoj stanici ovog izvorišta su instalirana dva pumpna agregata, od kojih je jedan rezervni, jer je izdašnost izvora mala.

Pumpni agregati moraju zadovoljiti ekstremne režime rada:

- režim rada kada je ispunjen bilans (redovni režimi rada)

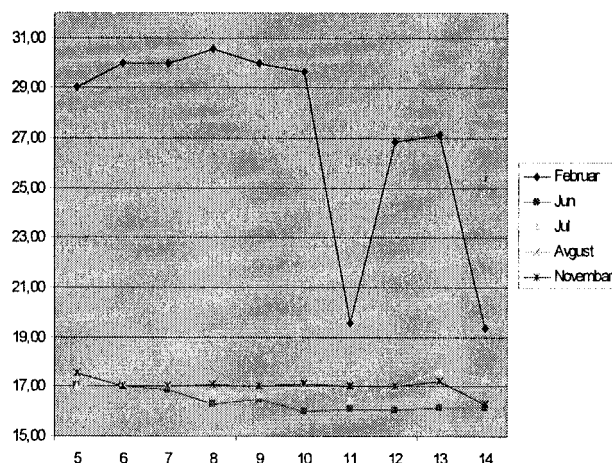
- režim kada nije ispunjen bilans (neredovni režim rada)

U režimu kada je ispunjen bilans i pumpni agregati rade na kotu rezervoara "Šumari", mogu se ostvariti sledeći kapaciteti

- oagregat snage 30 kW u pogonu cca 18 l/s
- oagregat snage 37 kW u pogonu cca 29 l/s

U sadašnjem režimu rada ova crpna stanica uslovno govoreći radi kao "komandna", tj. ona služi kao kontrolno merno mesto za utvrđivanje vrednosti pritiska u sistemu vodovoda, pošto se lokacijski nalazi u neposrednoj blizini centra grada. Sa stanovišta protoka ova crpna stanica ima manji značaj zbog relativno male izdašnosti izvora.

U mašinskoj zgradi se nalaze dva agregata, od kojih jedan služi kao rezervni.



Dijagram 2. Izdašnost bunara na crpnoj stanici Đeriz u toku karakterističnih meseci 2003. godine

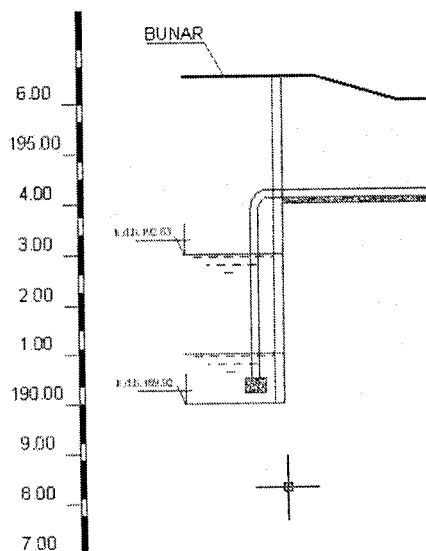
Proizvodnja pijaće vode u toku karakterističnih meseci (najmanja i najveća izdašnost izvorišta) u 2003. godini na ovoj crpnoj stanici data je na dijagramu 2. Sa dijagrama se jasno vidi da je skoro čitave godine, u pogonu bio samo manji agregat, sa prosečnom proizvodnjom vode od 17.33 (l/s).

Postavlja se pitanje, da li stepen iskorišćenja izdašnosti bunara može biti veći, tj. da li je u pojedinim periodima moguće koristiti veći agregat, ili pak i oba agregata u periodima visokog vodostaja reke Ibra?

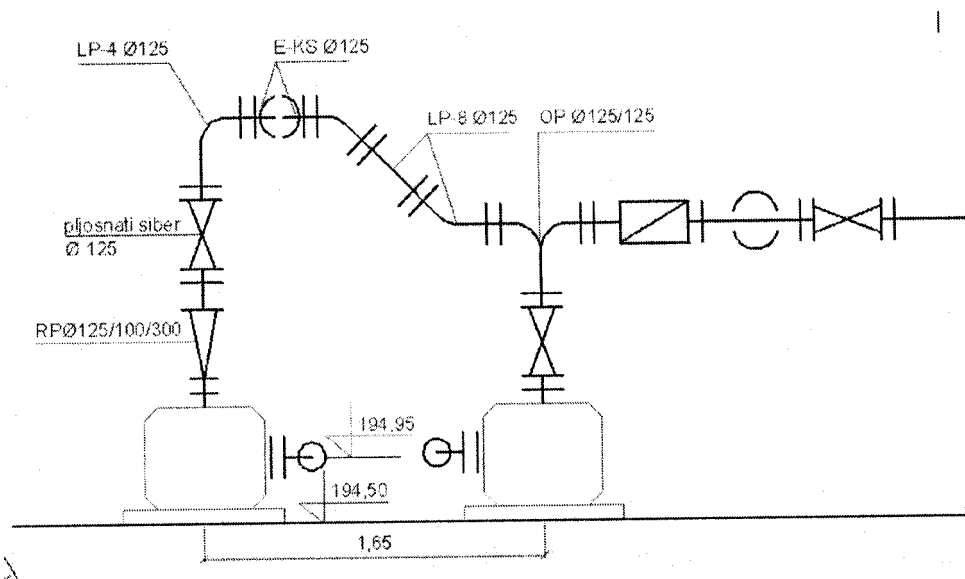
3.2 Eksperimentalni rezultati

U cilju utvrđivanja izdašnosti izvorišta “Đeriz”, u bunar je postavljen hidrostatički davač nivoa, koji je povezan sa frekventnim regulatorom. Hidrostatički davač je postavljen na rastojanju od 0.7 m od dna bunara., tj. 0.3 m iznad usisnih korpi oba agregata. Sve visine vodenog stuba u bunaru su merene iznad hidrostatičkog davača.

Uvidom u tehničku dokumentaciju, JP “Vodovod” Kraljevo kota dna bunara iznosi 189,92 mnv. Ova činjenica se naglašava iz razloga što, nivo vode u bunaru u najvećoj meri zavisi od nivoa vodostaja Ibra.



Slika 2. Bunar “Đeriz”



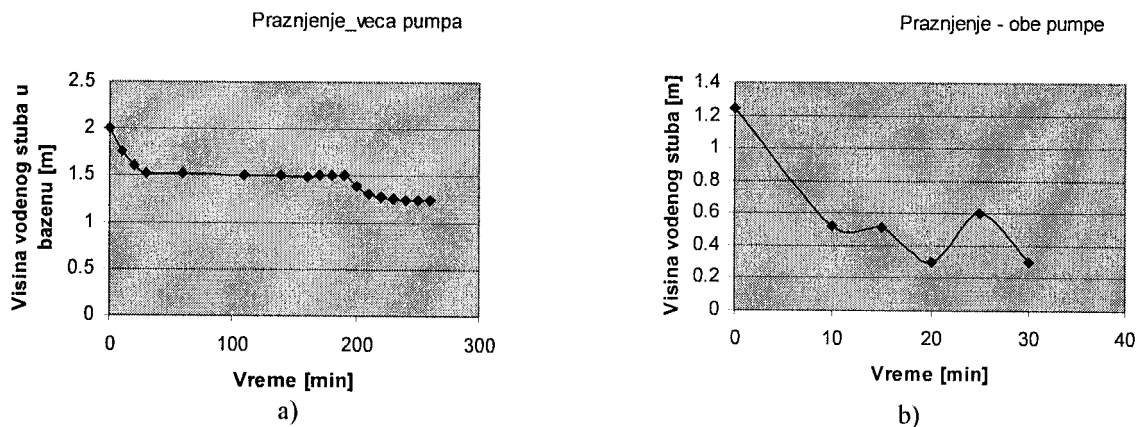
Slika 3. Crpna stanica “Đeriz”

Eksperimenti su izvođeni tako što je vršeno pražnjenje bunara pomoću jednog ili oba pumpna agregata u zavisnosti od nivoa vodenog stuba u bunaru i dotoka vode u bunar. Eksperiment je pokazao da je dotok vode u bunar u direktnoj zavisnosti sa nivoom vodostaja reke Ibra. Nakon pražnjenja bunara, ili postizanja ravnotežnog položaja dotok-pražnjenje, beležena je promena visine vodenog stuba u bazenu u toku vremena sve do postizanja njegove maksimalne vrednosti.

Na frekventnom regulatoru moguće je zadati visinu vodenog stuba u bunaru, do koje će se bunar prazniti. Na dijagramu 3., je prikazana situacija kada je visina vodenog stuba u bunaru iznosila 2.27 m, Pražnjenje bunara je vršeno

pomoću većeg pumpnog agregata (37 kW). Na ovaj pumpni agregat tokom svih eksperimenata bio je vezan frekventni regulator. Prvobitno zadat nivo vode u bunaru iznosio je 1.5 m. Pražnjenje je vršeno u trajanju od tri sata sa prosečnim protokom od 24.56 (l/s). Kota vodostaja Ibra je iznosila 7. Nakon toga zadata je nova vrednost nivoa u bazenu, koja je iznosila 0.5 m. Po isteku 60 minuta, nivo vodenog stuba u bunaru se ustalio na vrednosti od 1.24 m. Prosečan protok pumpe u toku poslednjeg časa iznosio je 29 (l/s).

Već posle prvog eksperimenta, izvodi se zaključak, da u toku većeg dela godine na ovoj crpnoj stanici može raditi veći pumpni agregat umesto što se sada uobičajeno koristi manji.

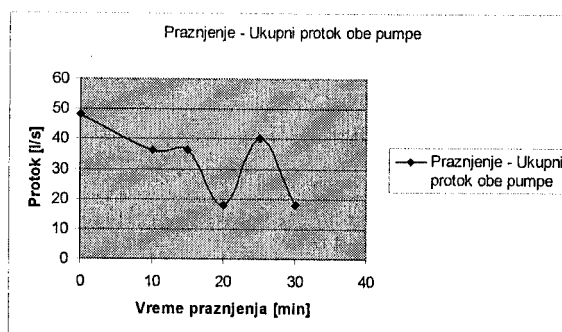


Dijagram 3. a) Pražnjenje bunara pomoću veće pumpe b) Pražnjenje bunara pomoću obe pumpe

Iz prethodnog eksperimenta proističe zaključak da se pražnjenje bunara može vršiti pomoću obe pumpe. Pražnjenje je otpočeto sa nivoa od 1.24 m. Za dvadeset minuta je postignuta zadata visina vodenog stuba od 0.3 m. Na tom zadatom nivou, dolazi do periodičnog uključivanja i isključivanja pumpe koja je upravljana pomoću frekventnog regulatora. Na visini od 0.3 m vodenog stuba u bazenu dotok je veći od kapaciteta manje pumpe, tako da nivo raste do vrednosti od 0.6 m, kada se ponovo uključuje veća pumpa. Nakon dostizanja zadatog nivoa, frekventni regulator ponovo isključuje pumpu, i to se ciklično ponavlja (dijagram 3.b).

Analiza pokazuje da se i u toj najnepovoljnijoj varijanti bunar može eksploatisati sa 25.33 (l/s), što je u odnosu na postojeću situaciju korišćenja izdašnosti od 17.33 (l/s), značajno povećanje.

U periodima najnižeg vodostaja, veći pumpni agregat (37kW), koji ima prosečni protok od oko 29 (l/s) može da iscrpi svu količinu vode iz bunara. Tada nastaju određeni tehnički problemi koji se ogledaju u usisavanju vazduha u cevovod što dovodi do prestanka rada pumpe. Nakon toga, potrebno je izvršiti ručno nalivanje vode u usisni vod pumpe, kako bi se odstranio vazduh. S obzirom da je dužina usisnog cevovoda velika, takva situacija predstavlja ogroman problem za radnika crpne stanice.



Dijagram 4. Promena protoka u toku vremena pri pražnjenju bunara sa obe pumpe

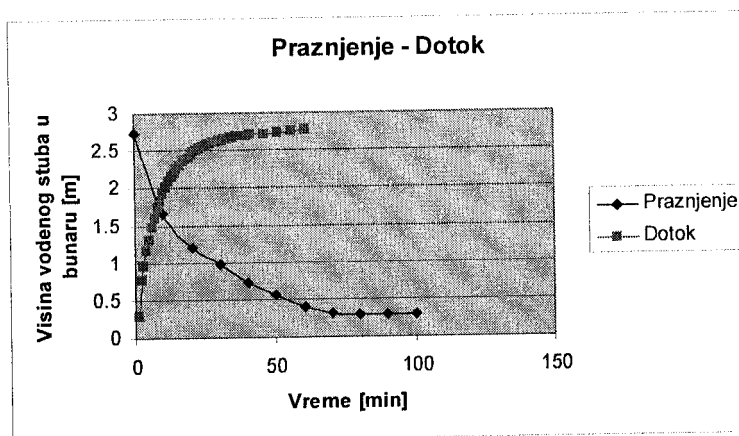
3.3 Ravnotežna količina vode u bunaru

Na dijagramu 5 prikazano je pražnjenje bunara, kada je kota vodostaja Ibra iznosila 8, a nivo vode u bunaru iznad hidrostatskog davača 2.76 m. Pražnjenje bunara se vrši pomoću obe pumpe. Nakon isteka 80 minuta nivo vode u bunaru se ustalio na vrednosti od 0.3 m, a protok se ustalio na vrednosti od 40 (l/s).

Manji pumpni agregat daje protok od oko 18 (l/s), u zavisnosti od promene pritiska u sistemu. Može se smatrati da je pritisak u sistemu približno

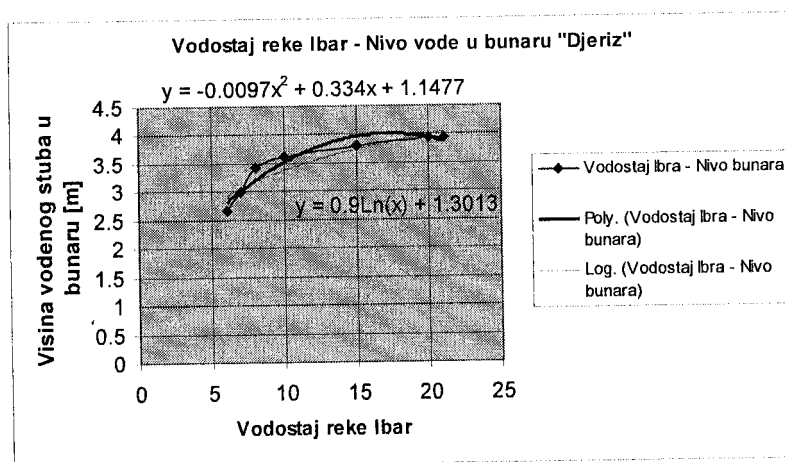
konstantan, jer je njegova promena u relativno uskim granicama. Promenu pritiska u sistemu registruju radnici na crnim stanicama, vizuelno na manometru, koji se nalazi u mašinskoj sobi. Najveći deo vodovodne mreže sačinjavaju stare cevi, kojima je zaštita od korozije oslabila, tako da povećani pritisak u sistemu dovodi do njihovog pucanja.

Nakon perioda od 80 minuta, protok pumpe koja je upravljana pomoću frekventnog regulatora se ustalio na vrednosti oko 22 (l/s). Protok od 40 (l/s) je veći za 2.31 puta u odnosu na prosečni godišnji prosek iz 2004. godine.



Dijagram 5. Vremenska slika pražnjenja i punjenja bunara

Na osnovu ovoga se zaključuje da se izdašnost postojećeg izvorišta ni približno ne koristi u punoj meri. Praćenjem nivoa vode u bunaru i vrednosti vodostaja Ibra dolazi se do zaključka da između ove dve veličine postoji zavisnost, koja se može okarakterisati kao funkcionalna. Visina vodenog stuba u bunaru je određena dotokom podzemnih voda i većim delom dotokom vode iz reke Ibar, koja prolazi kroz prirodni zemljani filter u dužini od oko 80 m mereno od sredine reke.

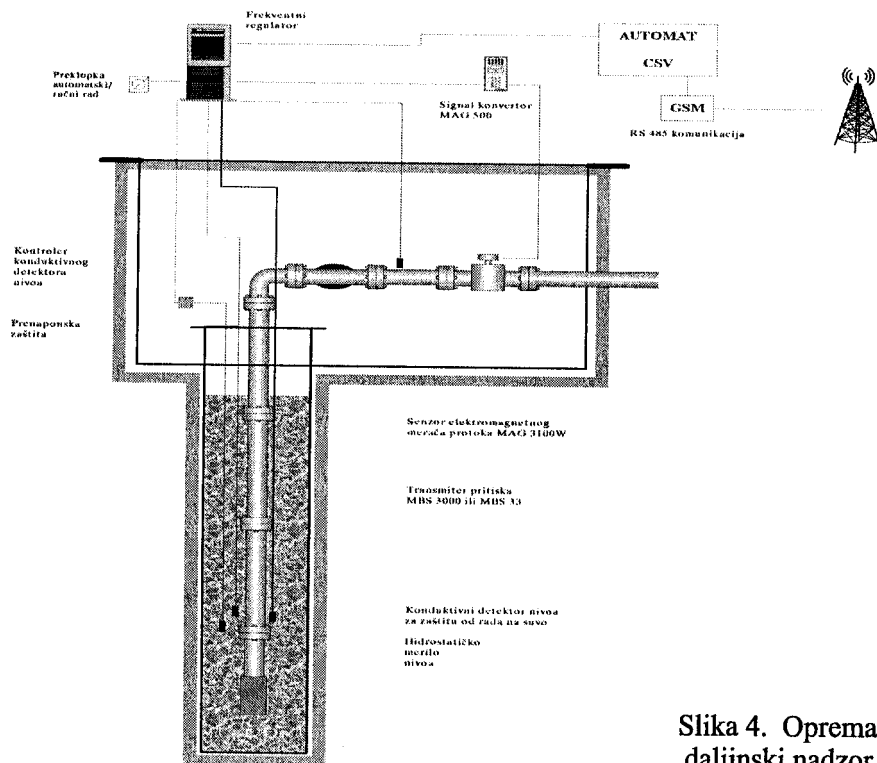


Dijagram 6. Zavisnost visine vodenog stuba u bunaru od vodostaja reke Ibra

S obzirom na ravnotežnu količinu vode u bunaru, nameće se zaključak da je crpljenje vode iz bunara bolje vršiti pomoću više potapajućih pumpi, a na jednu od njih je potrebno postaviti frekventni regulator kako bi se mogla crpiti maksimalna količina vode s obzirom na izdašnost bunara, uz povećanje energetske efikasnosti bunarskih pumpi.

4. SISTEM ZADALJINSKI NADZOR I UPRAVLJANJE BUNARIMA

Na relativno velikom prostoru na levoj i desnoj obali reke Ibra nalazi se više izvorišta i reni bunara, odakle se voda doprema u crpne stanice a odatle u vodovodnu mrežu. Brojne posade mašinista koje dežuraju u tri smene su zadužene za obilazak bunara i komunikaciju sa dispečerom, sa kojim u dogovoru pokreću ili zaustavljaju pojedinačne pumpe na crpnim stanicama i bunarima. Kao i obično, ljudski faktor je nedovoljno pouzdan, što prouzrokuje greške koje se ogledaju u netačnom i neblagovremenom izveštavanju.



Slika 4. Oprema na bunaru za daljinski nadzor i upravljanje

Poseban problem predstavlja zaštita pumpnih agregata. Prilikom uključivanja i isključivanja uređaja, dolazi do električnih, mehaničkih, pa i hidrauličkih udara. Ovaj problem je posebno izražen kod bunara kojima je smanjena izdašnost u periodima godine kada je potreba za vodom velika, a mogućnosti proizvodnje smanjene.

Problem svih zaštita i regulacija može se rešiti ugradnjom hidrostatičkih senzora nivoa, koji se povezuju direktno na frekventne regulatore, koji uz pomoć ugrađenog PID regulatora menjaju broj obrtaja pumpe, održavajući nivo vode u bunaru konstantnim. Na ovaj način motori pumpi su potpuno zaštićeni, izbegnuti su udari pri njihovom pokretanju i zaustavljanju, a istovremeno se vrši i čuvanje bunara (crpi se onoliko vode koliko je moguće).

Usled lokacije bunara i specifičnih potreba (količine podataka koje treba prenositi), željene brzine uvođenja sistema za daljinski nadzor i upravljanje, kao i potrebe za investiciona ulaganja budu što manja, predlaže se komunikacija sa KKC putem SMS poruka.

Na slici 4. šematski je prikazana oprema jednog bunara. Automat CSV komunicira preko RS-485 komunikacionog porta sa frekventnim regulatorom, prati trenutna stanja regulatora (rad, kvar, alarm),

pokreće, zaustavlja i resetuje ga po potrebi.

Automat CSV je tako koncipiran da je na njega moguće povezati i sve ostale signale bitne za praćenje i rad bunara, kao i opremu za detekciju ulaska u objekat, kao i alarmna sirena. To mogu biti sledeći signali: nivo vode u bunaru, temperatura statora motora, trenutni protok, kumulativni protok, trenutni pritisak, ulazak u objekat, zaštita transformatora, zaštita od rada na suvo, režim rada (lokalno/daljinski), i drugo.

Automati CSV iniciraju slanje poruka o stanju dva puta dnevno, dok se pri nastupanju alarma i događaja poruke šalju odmah po nastajanju takvog stanja.

U automat CSV je upisana tabela telefonskih brojeva, na čije poruke automat reaguje, kako bi se sprečilo neovlašćeno raspolaganje informacijama i upravljanje bunarima.

Iz komandnog centra se slanjem SMS poruke može inicirati da bunar pošalje poruku o stanju, može se pokrenuti ili zaustaviti motor pumpe, ili promeniti zadata vrednost nivoa vode u bunaru. Ovo može da se uradi i pomoću običnog GSM telefona, ali je radi lakšeg baratanja sa podacima i čuvanja svih primljenih i poslatih poruka na lokaciji KKC instaliran PC računar sa posebnim programskim paketom SMS server.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu napred sprovedene analize dolazi se do nekoliko važnih zaključaka:

1. Proizvodnja pijaće vode u vodovodu Kraljevo može se i u postojećim uslovima značajno povećati
2. Primenom frekventnog regulatora i hidrostatičkog davača nivoa, stepen iskorišćenja izdašnosti bunara može se povećati za 46 % u letnjem periodu
3. Stepen iskorišćenja izdašnosti bunara može se povećati za 130 % u periodu kada je vodostaj reke Ibar visok
4. Umesto postojeće centrifugalne pumpe na crpnoj stanici, bolje je postaviti nekoliko potapajućih bunarskih pumpi manje snage, a na jednu od njih vezati frekventni regulator
5. Izgradnjom jedne niske brane (ne više od 1 m) uzvodno od bunara, bitno bi se povećala izdašnost bunara, što bi posebno bilo značajno u letnjem periodu
6. S obzirom na velike neravnomernosti potrošnje vode u toku dana i noći, potrebno bi bilo napraviti još nekoliko rezervoara koji bi u periodima smanjene potrošnje prihvatili višak vode
7. Regulaciju pritiska u sistemu vršiti pomoću rezervoara, a ne uključivanjem i isključivanjem pojedinih pumpi u datim momentima, što smanjuje i onako malu količinu vode koju mogu dati pumpni agregati vodovoda Kraljevo.

6. LITERATURA

- [1] PetrovićZ., RadičevićB., BjelićM., Povešanje energetske efikasnosti pumpnih postrojenja u vodovodu Kraljevo, Industrijska energetika 2004, Donji Milanovac, 2004.
- [2] PetrovićZ. i drugi, Elaborat razvojnog projekta MNT br. 42b Optimizacija pumpnih sistema za vodosnabdevanje gradova, Mašinski fakultet Kraljevo, 2004.
- [3] PetrovićZ., RadičevićB., BjelićM., Povećanje energetske efikasnosti kod centrifugalnih pumpi, "IMK 14 Istraživanje i razvoj", br. 22-23, 3-4/2005., str. 183-190
- [4] Katalozi "INDAS" Novi Sad

BY MODERNIZATION OF CONTROLS TO MORE EFFICIENT WATER SUPPLY

Abstract: Use of maximal draw-well richness and increase of draw-well pumps energetic efficiency can be achieved by using system which basic elements are frequential regulator and hydrostatic level pick-up. By using such system, production of drink water at Kraljevo waterworks can be significantly increased even at existing condition.

Key words: draw-well richness, frequential regulator, hydrostatic pressure pick-up
