

Primeri dijagnostičkih merenja na hidrotehničkim objektima

Dušan Prodanović

Marko Ivetić

Dragutin Pavlović

Gradjevinski fakultet Beograd

APSTRAKT: U radu se prikazuju rezultati dijagnostičkih merenja obavljenih na tri hidrotehnička sistema: prvi je PPV Zabran, Šabac, gde je obavljeno baždarenje postojećeg merača protoka merenjem polja brzine u blagopromenljivim neustaljenim uslovima; drugi je PPV Tabanović, Šabac, gde je prvo određen protok na sistemu pri radu jedne pumpe, a zatim su merene dinamičke karakteristike sistema: pumpa – vazdušni kazan – cevovod – vodotoranj; i treće, najslženije merenje na sistemu za hidraulički transport pepela na TE Nikola Tesla A, Obrenovac, gde su određene karakteristike pumpi i cevovoda u cilju analiziranja rada sistema pri planiranom povišenju kote na deponiji. U zaključku se naglašava neophodnost raspolaganja kvalitetnim podacima sa stvarnih sistema, kako bi se povećala pouzdanost matematičkih modela kojima se mogu uspešno simulirati ustaljeni i neustaljeni režimi rada.

Ključne reči: dijagnostička merenja, baždarenje merača protoka, hidraulički transport pepela

ABSTRACT: The paper presents results of diagnostic measurements on three water conveyance systems: the first one is WTP Zabran, Šabac, where the calibration of process control flow meter was done by measurement of flow field using miniature electromagnetic velocity probe in gradually varied flow conditions; the second is WTP Tabanović, Šabac, where the discharge and dynamic behavior of the system consisting of pump – air chamber – pipeline – water-tower is determined; and the third one is the system for hydraulic transport of flying ash on power plant Nikola Tesla A, Obrenovac, where the system characteristics were measured in order to analyse the effects of impoundment enlargement. The necessity for such diagnostic measurements are underlined in conclusions, as a primary way for calibration and verification of modern sophisticated numerical models.

Key words: diagnostic measurements, flow device calibration, hydraulic transport of flying ash

1 UVOD

Dijagnostička merenja spadaju u grupu merenja koja se obavljaju na izgradjenim objektima, u periodima njihovog normalnog funkcionisanja. Ova merenja treba da

obezbede podatke o trenutnom stanju objekta u redovnom radnom režimu. Ukoliko se dijagnostička merenja sprovode sistematski, sa periodičnim ponavljanjem, dobijeni podaci omogućuju praćenje “starenja” objekta.

Jasno je da se na osnovu organizovanih i dobro planiranih dijagnostičkih merenja, može doći do izuzetno vrednih podataka. Neke od primena tih podataka su:

1. Praćenje rada pojedinih delova sistema i uređaja, kalibracija stalnih mernih uređaja, detekcija kvarova na opremi itd.
2. Praćenje starenja pojedinih uređaja (promena Q/H karakteristike pumpe kroz vreme, povećanje gubitka energije na delovima cevovoda, itd.).
3. Kalibracija i verifikacija matematičkih modela koji opisuju pojedine procese u objektu ili ceo sistem, odnosno rekalkulacija modela koji je korišćen u fazi projektovanja sistema.
4. Formiranje baze podataka koja će biti konsultovana pri projektovanju sličnih objekata, ili kada se bude odlučivalo o potrebama rekonstrukcije (ili gašenja) postojećeg objekta.

Zbog niza aktuelnih problema u našoj zemlji (ekonomski, vlasnički, organizacioni), dijagnostičkim merenjima na hidrotehničkim objektima nije poklonjena dužna pažnja. Zakonom je predviđena obaveza kontinualnog praćenja rada objekata, ali ta materija nije precizirana podzakonskim aktima. Dijagnostička merenja se uglavnom svode na jednokratna kampanjska merenja i to najčešće u havarijskom režimu rada.

2 O SPROVEDENIM DIJAGNOSTIČKIM MERENJIMA

U poslednjih par godina, Institut za hidrotehniku na Gradjevinskom fakultetu u Beogradu je učestvovao u nekoliko dijagnostičkih merenja na većim vodoprivrednim sistemima. Za ovaj rad su izdvojeni rezultati merenja na tri sistema, dva postrojenja za prečišćavanje vode za piće i jedan sistem za hidraulički transport pepela.

Zajedničko za sva tri merenja je da su organizovana sa ciljem namenskog prikupljanja podataka o stanju pojedinih delova sistema i to isključivo radi otklanjanja uočenog problema, odnosno radi provere rada sistema u promenjenim uslovima. Sva merenja su izvodjena uz korišćenje savremene merne opreme, koja omogućava kontinualno praćenje više mernih veličina, čime se dobija uvid u statičke (lokalni gubici energije, raspored brzina u profilu) i dinamičke (sopstvene periode sistema, brzina prostiranja talasa) karakteristike sistema.

Korišćenje računara i data logger-a u procesu merenja znatno pojednostavljuje samu organizaciju merenja. Da bi se snimile karakteristike sistema, nije neophodno sistem veštački držati u određenom radnom režimu (na primer, održavanje konstantnog protoka u cevovodu) i kada se postigne taj režim, obavljati planirana merenja pritiska, brzina ili nivoa vode. S obzirom da sistem u svom redovnom radu sâm prolazi kroz sve svoje radne režime, potrebno je na određenom broju mesta postaviti logger-e koji sinhronizovano i dovoljno brzo kontinualno prikupljaju podatke o željenim veličinama. Korišćenjem matematičkog modela sistema, u fazi

obrade podataka, može se doći do potrebnih parametara sistema. Da bi se dobio maksimum informacija o sistemu, potrebno je nekada izazvati i neki manji ili veći planski poremećaj i pustiti da sistem odreaguje¹.

U nastavku rada, daje se kratak opis svakog od hidrotehničkih sistema na kojima su obavljena merenja, procedura merenja, kao i neki dobijeni rezultati. U radu se neće detaljnije objašnjavati koji su merni uređaji i postupci korišćeni, zbog ograničenosti prostora.

3 PPV ZABRAN - ŠABAC

Na ulazu na PPV Zabran, Šabac, protok se meri korišćenjem oštroičnog preliva i sonde za nivo, nakon prolaska vode kroz aerator. Da bi poboljšali merenje ulaznog protoka, postavljena je LOG sonda² na glavnu dovodnu cev. Kako LOG sonda zahteva dugačke prave deonice ispred i iza mernog profila, a što nije moglo da bude ispoštovano, obavljeno je detaljno snimanje stvarnog polja brzina i određivanje tačke u kojoj treba da se montira sonda.

Na slici 1 je prikazana lokacija mernog profila. Na donjoj slici je prikazan presek kroz cevovod, sa ucrtana dva profila pod uglom od 90° duž kojih je snimljen raspored brzina merenjem u 12 tačaka. Korišćena je elektromagnetna sonda za brzine, sa sistemom za precizno pozicioniranje sonde pod pritiskom.

S obzirom da se snimanje profila brzina radilo u redovnim uslovima eksploatacije, varijacije protoka (odnosno brzine) su bile veće od 5%. Da bi se smanjila greška usled neustaljenog toka, za sve vreme snimanja je korišćena druga elektromagnetna sonda, koja je stajala u jednoj tački. Uz pretpostavku da se sâm profil brzina ne menja mnogo sa malim varijacijama protoka, brzina u toj tački je korišćena za korekcije neustaljenosti protoka.

Ceo postupak merenja je obuhvatio snimanje profila brzina u dva međusobno ortogonalna pravca i to za dva protoka. Obradom dobijenih podataka, određeni su protoci, profili brzine (na slici 1, donja slika, prikazan u formi izotaha za protok $Q = 212$ l/s), kao i odnos između srednje profilske brzine i brzine u tački u kojoj je montirana stalna LOG sonda.

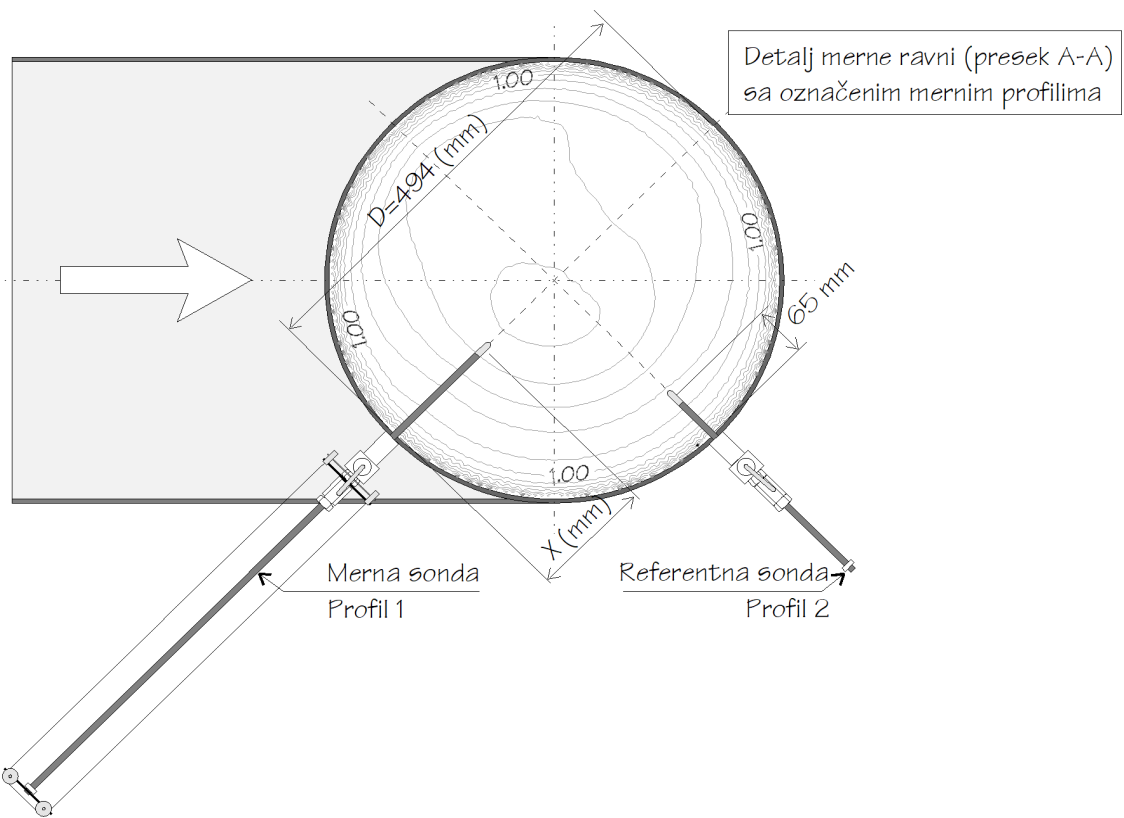
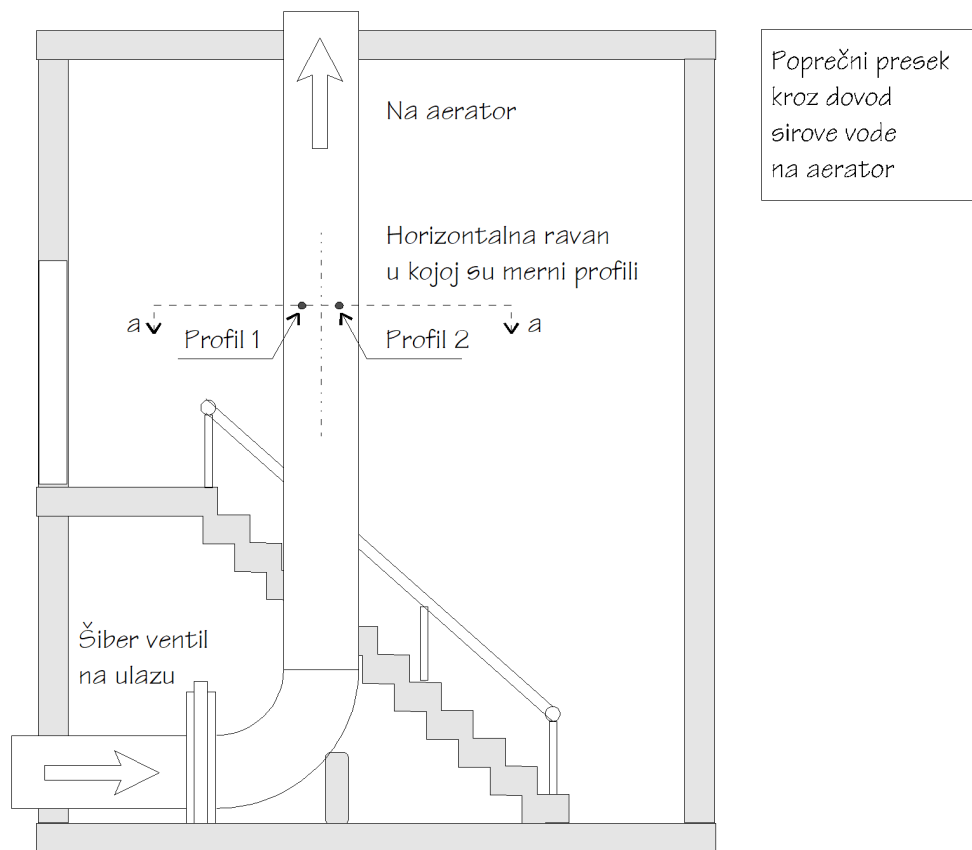
4 PPV TABANOVIĆ - ŠABAC

U fazi probnog rada postrojenja PPV Tabanović, Šabac, signalizirano je da ugrađena LOG sonda na izlazu iz postrojenja verovatno ne radi korektno, jer pokazuje velike fluktuacije protoka. Sprovedena su merenja koja su obuhvatila prvo snimanje profila brzine na mestu ugradnje LOG sonde, a zatim dinamičko snimanje protoka i pritisaka u različitim režimima rada sistema.

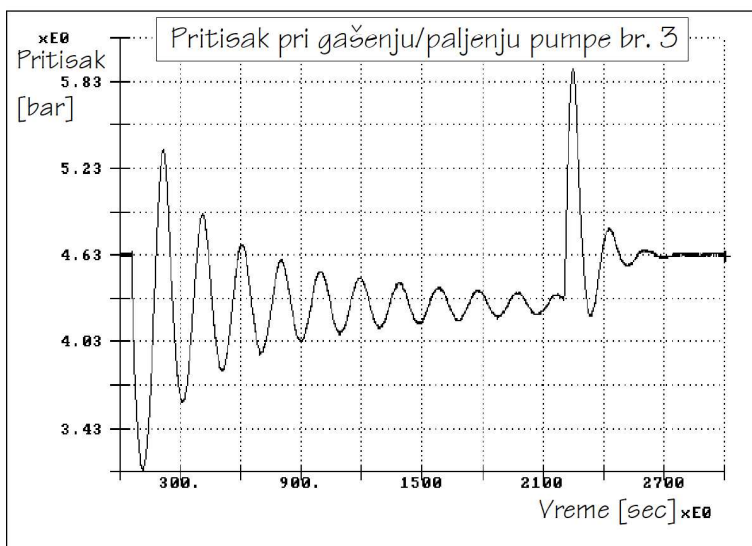
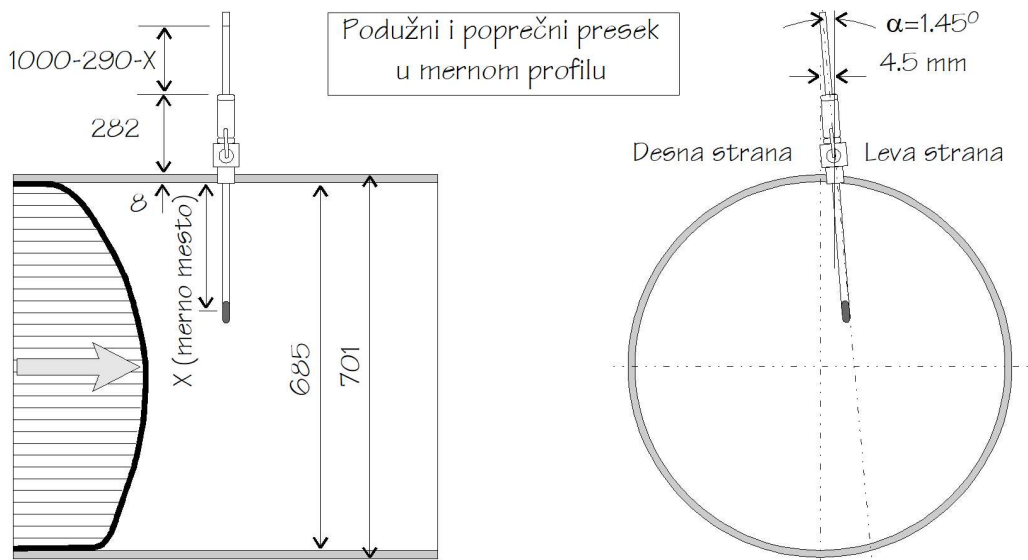
Merni profil ispunjava potrebne uslove o dugačkim pravim deonicama, tako da

¹Problem određivanja parametara sistema (identifikacija sistema) korišćenjem matematičkog modela i rezultata merenja, u literaturi se naziva "Inverzni problem". Da bi se postigla što bolja tačnost, potrebno je planirati broj i vrstu merenja, kao i stanja kroz koje sistem mora da prodje.

²LOG sonda je minijturna elektromagnetna sonda koja meri brzinu u tački. Pretpostavljajući da je logaritamski raspored brzine u preseku, na osnovu jedne brzine se određuje protok.

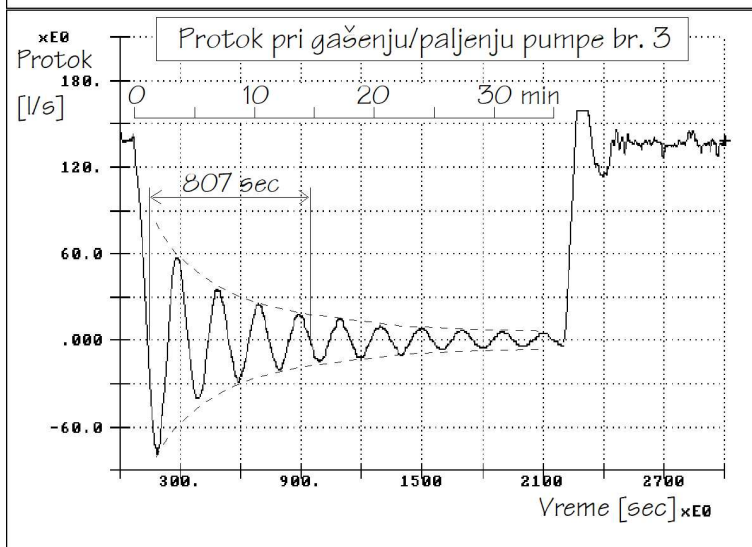


Slika 1: PPV Zabran - Šabac: lokacija mernog profila (gornja slika) i izotahe u mernom profilu (donja slika)



Sonda za pritisak: DRUCK
 Serijski broj: 36965
 Opseg: 6 bar-a
 Osetljivost: 59.57 bar/Volt
 Pojačivač za sondu: M. Pupin
 Pojačanje: 12.05 puta
 Nula: 0 Volti = 0 bar-a
 Osetljivost: $\frac{59.57}{12.05} = 4.94 \text{ bar/V}$

Akvizicija podataka: ED1000
 Brzina uzorkovanja: 1 sec
 Nefiltriran signal pritiska
 Datum akvizicije: 16. 12. 1997.



Sistem za merenje protoka pomoću jedne fikсне sonde za brzinu. Sonda je montirana na 180 mm od zida cevi.

Akvizicija podataka: MAP
 Brzina uzorkovanja: 1 sec
 Filtrirane brzine: 15 sec
 Datum akvizicije: 13. 12. 1997.

Perioda prigušenih oscilacija:
 $T = \frac{807}{4} = 201.8 \text{ sec}$
 Anvelopa oscilacija:
 $f(x) = 45 \cos(x) e^{-0.04x}$

Slika 2: PPV Tabanović - Šabac: detalj montaže merne sonde u mernom profilu (gornja slika) i rezultati merenja pritiska i protoka prilikom gašenja i paljenja jedne pumpe (srednja i donja slika)

je dobijen profil brzina blizak "idealnom" (slika 2, gornja slika). Zbog nemarnosti u postavljanju priključka za sondu, nije postignuta dobra osnosimetričnost, te je u obradi podataka to trebalo uzeti u obzir.

U toku dinamičkih merenja pritisaka (slika 2, srednja slika) i protoka (donja slika), praćen je rad postrojenja prilikom ispada iz pogona jedne pumpe i njenog ponovog starta nakon 35 minuta. Takodje, detaljnije je snimljen kontinualni rad sistema (nije prikazano u ovom radu) kao i ispad rada jedne pumpe, uzimanjem prvo 10 uzoraka u jednoj sekundi a kasnije i 500 uzoraka u sekundi (da bi se odredile sopstvene periode cevovoda i krupnijih vrtloga u mernom profilu).

S obzirom da je postrojenje bilo u probnom radu, nije bilo moguće napraviti eksperiment sa radom i ispadom dve pumpe. Analizirajući dobijene rezultate, došlo se do zaključka da je postojeći merni uređaj korektno pokazivao postojanje fluktuacije protoka u sistemu (na slici 2, donja slika, vidi se da je sistem "slabo" prigušen i da je podložan oscilacijama sa periodom od $T = 202$ sekundi). Zbog loše postavljene uvodnice za sondu, data je i korekcija između pokazivanja ugrađjene LOG sonde i tačnog protoka.

5 TE NIKOLA TESLA A - OBRENOVAC

Termoelektrana Nikola Tesla A, Obrenovac, koristi hidraulički transport pepela na deponiju udaljenu do 5.6 km. U transportu se koristi mešavina vode i pepela u projektovanom odnosu 10:1 (mada se taj odnos uglavnom održava na 20:1).

Postojeći sistem za transport, prikazan na slici 3 (gornja slika), zadovoljava potrebe TENT A. Međutim, planirano je da se u narednom periodu maksimalna kota deponije podigne za 10 m. Da bi se analizirale mere koje treba preduzeti da se nastavi nesmetani transport pepela, sprovedena su opsežna merenja. Na osnovu rezultata merenja, određeni su parametri postojećeg sistema. Sa tako određenim parametrima, napravljen je matematički model na kome su analizirani neki scenariji za buduće, planirano stanje.

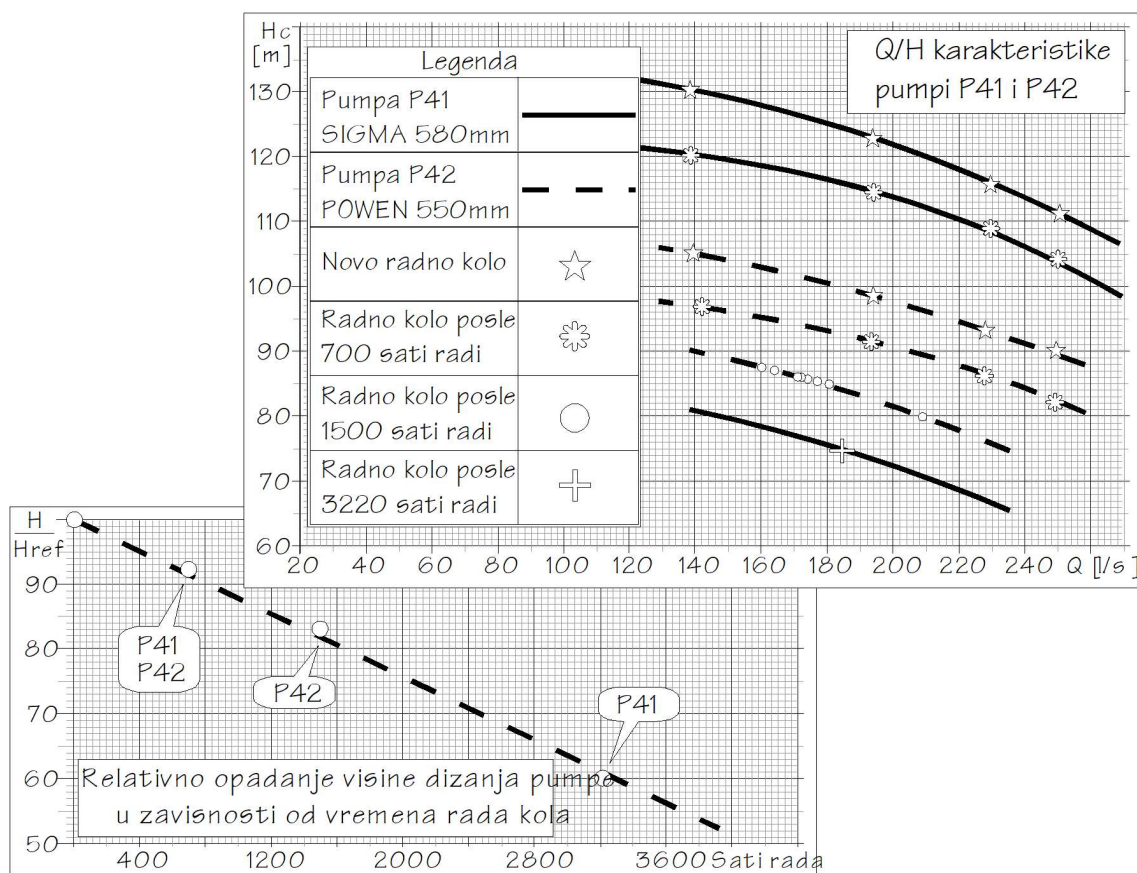
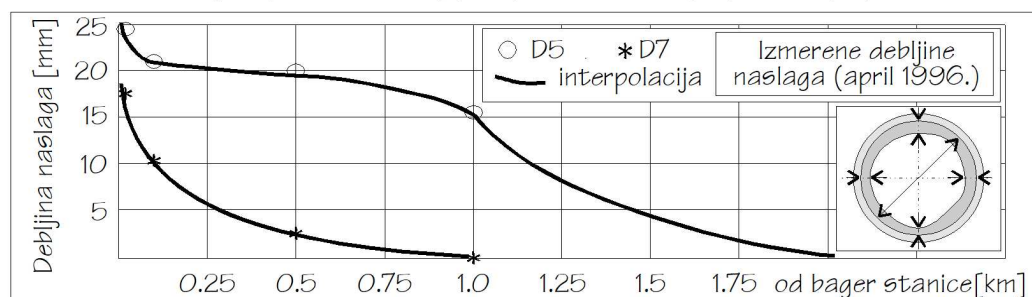
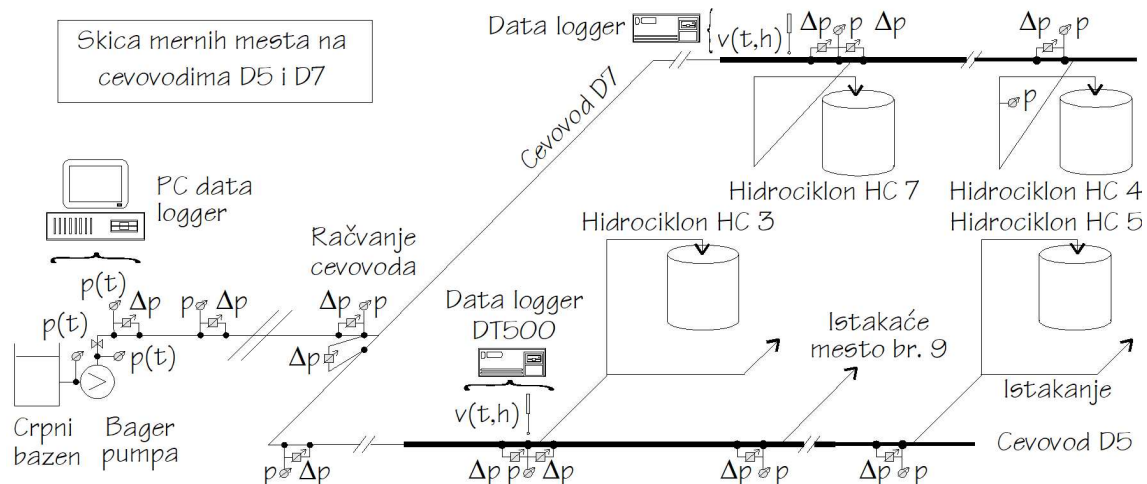
Na slici 3, gornja slika, prikazane su sve veličine koje su istovremeno merene na cevovodu. Korišćenjem sekcijских zatvarača, menjan je protok na sistemu. Merenjem pritisaka u više tačaka, kao i razlike pritisaka na deonicama od 20 m, određivani su gubici energije duž cevovoda.

Na slici 3, srednja slika, prikazani su rezultati merenja debljine naslaga duž cevovoda. Treba uočiti da je cevovod D5 bio "prljav" (cevovod se čisti svakih 1.5 do 2 godine) a cevovod D7 "čist" (radio je 6 meseci).

Najopterećeniji deo sistema za hidraulički transport je svakako bager pumpa. Na slici 3, donja slika, prikazane su Q/H karakteristike bager pumpi, za dva najčešće korišćena tipa. Na dijagramu su ucrtane karakteristike za različite starosti radnog kola (radno kolo treba da se menja na 2000 sati rada). Na drugom dijagramu je odvojeno prikazan proces starenja kola pumpe³, kroz relativno opadanje visine dizanja pumpe u funkciji od broja radnih sati.

Na osnovu obavljenih merenja i sprovedenih analiza na matematičkom modelu,

³Da bi se pratile karakteristike pumpe kroz vreme, potrebno je sistematski obavljati dijagnostička merenja. Zahvaljujući ranijim merenjima na TENT A, kao i obavljenim merenjima, bilo je moguće analizirati proces starenja kola bager pumpe.



Slika 3: TENT A - Obrenovac: Skica mernih mesta na transportnom cevovodu (gornja slika); Izmerena debljina naslaga duž cevovoda (srednja slika); Q/H karakteristika pumpi i relativno starenje pumpi (donja slika)

došlo se do sledećih zaključaka: na dve lokacije na cevovodu je došlo do lokalnog znatnog smanjenja proticajnog profila (čest slučaj, jer se povremeno odvaljuju veliki paketi naslaga); za buduću, planiranu kotu pepelišta, nije neophodno ugradjivati dodatne buster stanice (kao što je bila jedna od varijanti) već treba kvalitetnije regulisati odnos mešavine (smanjiti učešće vode na projektovani nivo, čime se smanjuje količina prepumpane mešavine uz smanjenje problema sa drenažom pepelišta), menjati kola bager pumpi na predvidjenih 2000 sati i češće čistiti cevovode. S obzirom da se povremeno menjaju deonice cevovoda zbog starosti, treba ići na postepeno povećanje prečnika cevovoda na prvih 2 km dužine.

6 ZAKLJUČAK

Prikazana tri primera dijagnostičkih merenja se u znatnoj meri razlikuju po svom obimu i kompleksnosti. Prvo merenje je obuhvatalo samo detaljno izučavanje profila brzina u jednom preseku, drugo merenje je, pored istraživanja profila brzina analiziralo i dinamiku rada sistema, dok je treće merenje uključilo i određivanje gubitaka energije duž cevovoda kao i karakteristike pumpe.

Medjutim, zajedničko za sva tri merenja je upotreba kompleksne merne opreme kojom se dolazi do kvalitetnih pokazatelja trenutnog stanja hidrotehničkog sistema. Sprovedenim dijagnostičkim merenjima se dolazi do stvarnih vrednosti protoka, linijskih gubitaka energije ili Q/H karakteristike pumpe. Na osnovu tih stvarnih pokazatelja, moguće je znatno pouzdanije na matematičkom modelu simulirati buduća ili havarijska stanja, a samim tim doneti i kvalitetnije odluke.

Mada je potpuno jasno da su dijagnostička merenja neophodna i da su rezultati tih merenja od neprocenjivog značaja u fazama analize rada sistema, kod nas još nije zaživela praksa sistematskih merenja. Jedan od najvažnijih razloga za to su nerešeni vlasnički odnosi i materijalni položaj hidrotehničkih objekata. Ne retko se ulazi u velike investicije koje su bazirane na nekvalitetnim i hipotetičkim podacima. A kvalitetni i realni podaci su svuda oko nas, na dohvat ruke

Literatura

- [1] ELEKTRO (1997), *Tehnička dokumentacija za mikroprocesorski akviziter MAP*.
- [2] Maksimović, Č. (1993), *Merenja u hidrotehnici*, Gradjevinski fakultet Beograd.
- [3] Prodanović, D., Ivetić, M., Pavlović, D. (1996), *Merenja i primarna analiza karakteristika bager pumpe i transportnog cevovoda TENT Obrenovac A*, Gradjevinski fakultet Beograd.
- [4] Prodanović, D., Pavlović, D. (1997), *Baždarenje EM sonde na izlazu iz postrojenja Tabanović - Šabac*, Gradjevinski fakultet Beograd.
- [5] Prodanović, D., Pavlović, D. (1997), *Baždarenje LOG sonde na ulazu postrojenja Zabran - Šabac*, Gradjevinski fakultet Beograd.
- [6] Svet Instrumentata (1996), *Tehnička dokumentacija za elektromagnetnu jed-nokomponentnu sondu*.