

ДИЈАГНОСТИКА ДИСТРИБУТИВНИХ СИСТЕМА РАДИ ОБЕЗБЕЂЕЊА ОДРЖИВОСТИ

DIAGNOSIS OF WATER DISTRIBUTION SYSTEM FOR IMPROVEMENT OF SUSTAINABILITY

Душан Продановић, Драгутин Павловић, Ненад Јаћимовић
Грађевински факултет Београд

Dušan Prodanović, Dragutin Pavlović, Nenad Jaćimović
Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Yugoslavia

Резиме - У овом раду се сумирају искуства сачењена вишегодишњим бављењем аутора на дијагностичким мерењима и анализама на више водоводних дистрибутивних система. У раду се наглашава потреба за овом врстом мерења, као и за обавезном анализом тачности на сваком кораку обављених мерења. Кроз низ примера из праксе, указује се на различите врсте дијагностичких мерења: за потребе калибрације математичких модела, ради одређивања параметара јединичних дејала система, динамичко понашање сиређнутог система ценовод-резервоар, анализа хаваријских ситуација, као и мерења ради утврђивања губитака на систему. Поред начина организације ових мерења и препоручене опреме са којом би Водоводни Систем требало да располаже, у раду се анализира и економска оправданост често скупух и компликованих дијагностичких мерења.

1. УВОД

Водоводни системи, као и многи други технички системи, пролазе кроз фазу убрзаног техничког и технолошког развоја. Од класичних организација чији је задатак био да без обзира на цену и квалитет услуга испоручи воду ка потрошачима, трансформишу се у предузећа високе технологије и информатике, где је један од доминантних критеријума и остварени профит (Обрадовић, 1999). У таквим условима, *свјарни* подаци о произведеној и дистрибуираној води, као и *тачни* подаци о квалитету воде постају императив, јер се на основу њих доносе одлуке о *ујрављању радом* система као и *оцене економске исплативости*. Проблем готово свих водоводних система на подручју бивше Југославије је потпуно *одсуство културе мерења*. Данас практично ни један водоводни систем нема квалитетне податке о укупном билансу, а да се не помиње

Abstract – The authors long experience in diagnostic measurements on the number of Water Supply Systems are summarized in this paper. The need for this kind of measurement is emphasized, same as the need for thorough and compulsory data accuracy assessment for each work step. Using a number of examples from practice, a different kind of diagnostic measurements are shown: for numerical simulation model calibration, properties determination for certain system details like pumps, valves etc, dynamic behavior of a pipe-reservoir system, analysis of a system during pipe brakes, same as measurement for leakage detection. Besides the measurement management and suggested set of equipment that Water Supply Company should have, the paper will analyze the economical issues regarding the expensive and demanding diagnostic measurements.

1. INTRODUCTION

Water Supply Systems, as well as many other technical systems, are passing through an accelerated technical and technological development phase. From the obsolete organizations, whose only task was to deliver a certain quantity of water, regardless to the economical or quality issues, they are transforming to high-tech Companies, where one of the most important criteria is a realized profit (Obradovic, 1999). In such environment, *real* information about produced and delivered water, as well as *accurate* data regarding water quality issues are becoming significant, mostly because the system control is based on that information, as well as the evaluation of economical sustainability. The main problem of almost all Water Supply Systems on Ex Yugoslavia area is a total *lack of measurement culture*. Currently, there is no Water Supply System with reliable data about water balance, neither with data about the actual water supply network state (position, diameter, pipe type, etc.) and hydraulic quantities (pressure, flow, estimated losses).

не постојање података о тренутним стањима дистрибутивне мреже. Увођење квалитетног мониторинга на таквим системима је веома скуп подухват, који углавном нема подршку ни градских финансијера ни унутар водовода.

У условима потпуног одсуства квалитетних информација о дистрибутивном систему водовода, свака детаљнија хидрауличка анализа водоводног система захтева обављање **дијагностичка мерења**. Аутори овог рада су имали прилике да у последњих десетак година раде на више оваквих послова, како на водоводним тако и на другим сложеним системима (ТЕ Обреновац А и Б, ХЕ Ђердап - преводница, итд). На основу стеченог искуства, у овом раду аутори указују на проблеме у дијагностичким мерењима, врсте мерења као и начине њихове организације. Основни циљ овог рада је, међутим, да се **укаже на неопходност враћања културе мерења и рада са тачним подацима, као основног елемента обезбеђења одрживости сложених водоводних система.**

2. ДИЈАГНОСТИКА = МЕРЕЊА+АНАЛИЗА

У "животу" једног водоводног система, у свакој од фаза реализације се обављају (или би требало) одређена мерења и њихова анализа (Максимовић, 1993). Дијагностика система треба да се обавља у редовним радним условима, **ради добијања квалитетних дојунских података о раду** појединих елемената система, и она се комбинује са сталним мерењима која се користе за управљање радом система. **На основу дијагностичких мерења обављају се хидрауличке анализе** којима се или решава одређени актуелни проблем (удар при гашењу пумпе, на пример) или се спроводе симулације рада водовода у планираним фазама проширења система.

На жалост, постојећа ситуација је таква да су дијагностичка мерења практично **једина мерења** и да се **обављају само када је то неопходно**: у случају великих несташица воде (Продановић и Максимовић, 1995.), честих хаварија (Продановић, Иветић и Павловић, 1994) или када се очекују стране донације па се жури са израдом мастер плана. По правилу, водоводи престају да се интересују за даље праћење рада система чим се отклоне уочени проблеми.

Дијагностика водоводног система се мора спровести са прецизно **дефинисаним захтевима** и са тачно планираним крајњим циљем који треба испунити. У зависности од постављеног крајњег циља, врши се **избор мерних метода и опреме, као и начина обраде** добијених резултата. Често се, потпуно нереално, очекује да се на основу испитивања једног детаља на систему (на пример,

Introduction of the high-tech monitoring systems in such cases can be very expensive adventure, which usually neither has support from municipal authorities, nor from the Water Supply Company.

In conditions of a complete absence of reliable information about a water supply system, the *diagnostic measurements* are the only solution when the detailed hydraulic analysis of system is needed. In last 10 years, authors were conducted a number of such measurements on water supply systems as well as on other complex systems (TPP Obrenovac A and B, HE Djerdap – a ship lock, etc.) Based on the accumulated experience, authors emphasize problems in diagnostic measurements, types of measurements as well as their organization issues in this paper. Nevertheless, the main objective of this paper is to *stress the need of reestablishment of a measurement culture and the work with accurate data, as the basic element of complex Water Supply System sustainability improvement.*

2. DIAGNOSTIC = MEASUREMENTS+ANALYSIS

Through the "life" of a Water Supply System, there are (or should be) some kind of measurements and analysis of their results in every realisation phase (Maksimovic, 1993). The system diagnosis should be performed in regular working conditions, to *obtain the valuable additional data about the behavior* of individual system elements, and it has to be combined with continuous measurements used for the system process management. The *hydraulic system analysis are based on the diagnostic measurements*, and they are used either for solving the certain actual problem (water hammer at a pump switch-off, for example), or for simulations of the Water Supply System behavior in planned future system extension phases.

Unfortunately, existing situation is such that diagnostic measurements are the *only measurements*, and they are *performed only when it is necessary*: in the case of significant water shortage (Prodanovic and Maksimovic, 1995), often pipe breaks (Prodanovic, Iveyic and Pavlovic, 1994) or when a foreign donations are expected, and a master plan completing is urgent. As a rule, when the problem is solved, there is no further interest for the system monitoring.

The diagnostic of a Water Supply System must be accomplished with precisely *defined requirements* and with precisely planned objectives, which are to be achieved. Depending on the final objective, *a suitable choice of measuring methods and equipment is done, as well as the data processing tools*. It is expected oftenly (but completely unrealistic) that based on the examination of one system detail (for example, the pump characteristic in the wellhead), to get the answer on the hot question: where are the main water losses and how big they are?

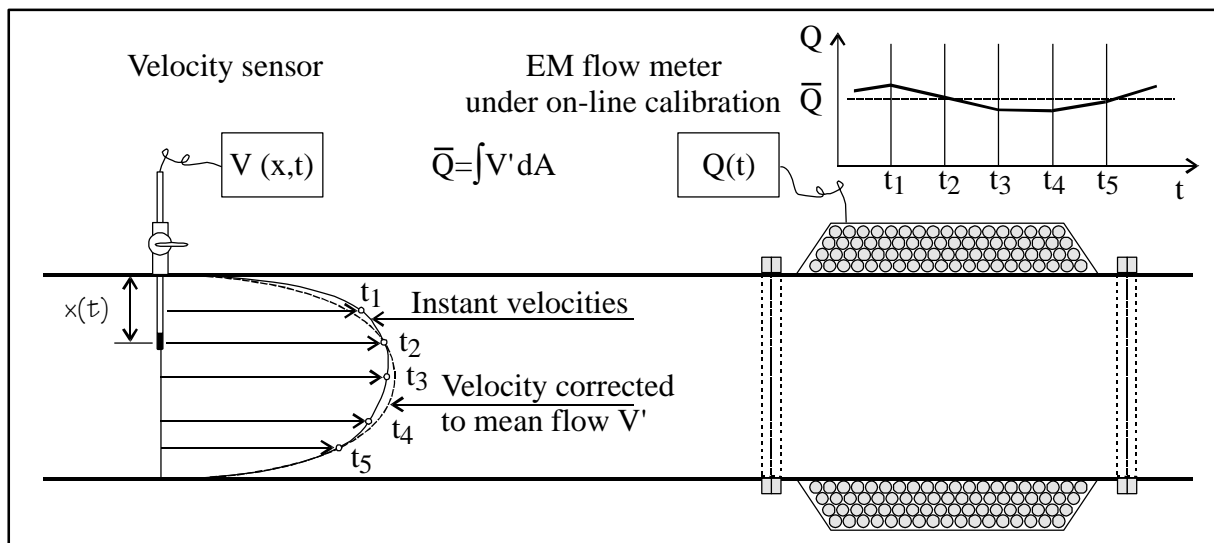
карактеристика пумпи на изворишту) добије одговор на горуће питање: где су главни губици воде и колики су?

2.1. Мерења

На једном водоводном систему постоји читав низ величина које се могу пратити: притисци, протоци, брзине, нивои у резервоарима и у бунарима/пијезометрима, снага пумпи, параметри квалитета воде Максимовић, 1993). Све ове величине су **променљиве у времену** (неустаљене) тако да се у току мерења о томе мора водити рачуна (Симић, 1994).

2.1. Measurements

There is a number of quantities at a water supply system that can be measured: pressures, flows, velocities, water levels in reservoirs and wells/piezometers, a pump power, water quality parameters etc (Maksimovic, 1993). It has to be taken into account that all those quantities are *variable in time* (unsteady) (Simic, 1994).



Слика 1. Рекалибрација фиксног мерила протока снимањем поља брзина у неустаљеним условима
Figure 1. Recalibration of the fixed flow meter by velocity profiling in unsteady conditions

На пример, на слици 1. је приказан поступак провере уграђеног фиксног мерила протока путем снимања профила брзина. Како поступак траје и преко 1 сат, није реално претпоставити да је проток у цеви константан, већ треба коришћењем друге сонде (или испитиваног мерила) пратити промене протока и то кориговати у анализи добијених брзина. Такође, брзина промене једне исте величине се може разликовати за ред величине (ниво воде у црпном базену у периоду кретања пумпе и у устаљеном режиму рада) у току самог мерења, па алгоритам рада система за прикупљање података треба са тиме усагласити.

Избор мерне опреме углавном зависи од проблема који се истражује. Ако треба снимити поједине величине кроз дужи период (више дана, недеља), тада је неопходно користити савремене уређаје са логерима - специјалним рачунарима који могу да обаве мерења, примарну обраду измерене величине и њено меморисање у реалном времену. За мерења у трајању до једног дана, могуће је и "ручно" записивање података, с тиме што је тада

For example, the figure 1. presents the procedure of checking the built-in fixed flow meter by measurement of the velocity profile in the pipe. As the procedure lasts often more than an hour, it is not reasonable to assume that the flow in the pipe is constant during that time. Because of that, the another flow/velocity sensor (or the flow gauge under the test, as shown on figure 1.), has to be used in order to record the flow changes, those data are then used in off-line velocity profile processing to correct the flow field to mean flow. Rate of particular quantity change can also differ for an order of magnitude (water level in a pumping reservoir during a pump start period, and in a stationary work regime) throughout the measurement, so data acquisition algorithm has to match it.

The choice of measurement equipment mostly depends on the explored problem. If there is a need for long time recording of certain quantities (for several days or weeks), it is necessary to use modern, computer based devices (loggers) that are able to measure data, preprocess measured values and store them in real time. For measurements that lasts for up to one day, the "manual" data storing can be done, but it is usually less reliable (for example, if there is a need to observed pressure gauge on every hour, most of us will

њихова поузданост нешто нижа (на пример, ако треба читавати манометар на сваки сат, већина људи ће уредно исписивати на папир времена на цео сат, 14:00, 15:00, ... мада су у ствари манометар читавали у 14:16, 15:03, чиме уносе велике проблеме у фази анализе резултата).

Често се дијагностичка мерења могу обавити и једноставним, приручним методама. На пример, аутори су имали прилике да у једном мањем месту прате рад водовода који "пати" од хроничне несташице воде. Утврђивање протока на изворишту није био предмет посла, али када се посумљало у добијени податак, једноставним мерењем висине преливног млаза на каптажи као и протока воде која се прелива и одлази малим потоком (мерењем површинске брзине помоћу папирића и попречног пресека), установљено је да су губици у доводном цевоводу већи од 50%.

Сам избор мерне методе, као и уређаја за мерења је лакши део посла. Аутори рада су се у већини обављених дијагностичких мерења, углавном највише "борили" са самим људима из водовода, који су та мерења и наручивали и плаћали. Мада су сви начелно свесни да су мерења неопходна, када дође до тога да на цеви треба поставити неки прикључак, предихтовати вентил да не цури или заменити неисправан водомер, ентузијазам нагло спласне, јер тај конкретан радник није *моћивисан на додаћни рад*.

2.2. Анализа

Податке добијене дијагностичким мерењима треба прво кроз процес *предипроцесирања* довести на стандардни систем величина и мера (ако се притисак мери сензорима, мерна величина је струја или напон - то треба превести прво у притисак а затим у Пијезометарску коту). Након тога, креће се у анализирање добијених величина, у зависности од проблема који се истражује. То могу да буду релативно просте анализе, као на пример одређивање карактеристика пумпе у водоводу Лакташи (Продановић, Павловић и Јаћимовић, 2001) на основу мерења нивоа у резервоару (посредно одређен проток), нивоа у црпном бунару и притиска низводно од пумпе, али и комплетне анализе применом одговарајућег математичког модела.

Посебну пажњу у анализи резултата мерења треба посветити динамичким појавама. На слици 2. је дат пример осцилације протока на водоводу Шабац услед неусаглашености пумпи, казана са спречавање удара и аутоматике на резервоару. Анализом у временском и фреквентном домену одређена је сопствена учесталост осцилација док су на математичком моделу проверене могућности бољег

write the time as the whole hour, eg. 14:00, 15:00, ... although the readings were done at 14:15, 15:03; that causes significant problems during the result analysis phase).

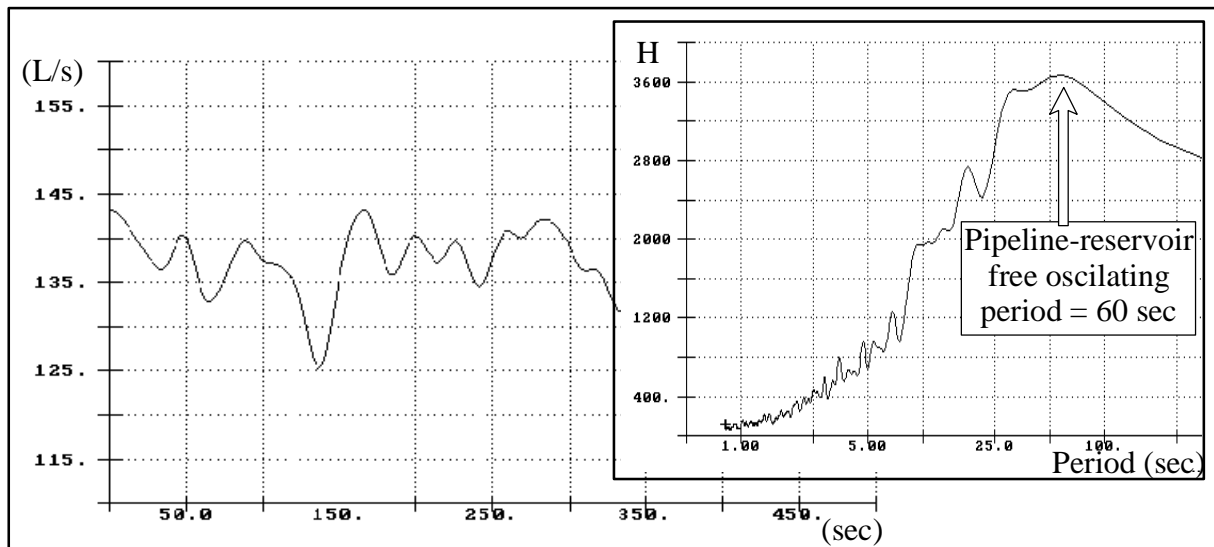
Simple, handy methods could often be used in diagnostic measurements. For example, the authors had opportunity to monitor a water supply system in a small municipality with a constant water shortage. Measurements of a flow rate at the wellhead were not a part of planned activities. But when some unexpected measurement results were obtained, it was enough to do a simple measurement of an overflow depth at the water intake structure, as well as a measurement of a water flow that overflows to a small creek (by measuring a superficial velocity with a small piece of a paper and a cross section) to found that the water loss rates in the main pipe were over 50 %.

A choice of a measurement method, as well as measurement equipment, is an easier part of the job. The authors of the paper, in most of the conducted diagnostic measurements, had the biggest organizational problems with the people from the local Water Supply company. Although everybody is generally aware of the measurement necessity, when the sensor connection has to be installed, the leaking valve repaired or malfunctioning flow meter replaced, the enthusiasm rapidly vanishes because of the worker's *lack of motivation for additional engagement*.

2.2. The Analysis

Diagnostic measurement data should be first translated to the standard system of measurement units through a *preprocessing* phase (if a pressure is measured by sensors, a measured quantity is electricity or voltage – it should be translated first to pressure, and then to Piezometric level). After that, the measured data processing can be done, mostly off-line, depending on the explored problem. It could be relatively simple analysis, assessment of pump characteristics in the water supply system in Laktasi (Prodanovic, Pavlovic and Jacimovic, 2001), for example, based on water levels measured in the upstream reservoir (indirectly determinate flow rate), water levels in the well and pressures downstream the pump, but also a complex network analysis based on the appropriate mathematical model.

Special attention in measured data analysis should be made to dynamic system behavior. As an example, the flow instability in the Water Supply System of Sabac is presented on the figure 2. The flow fluctuations are induced by the incompatibility of the systems: pumps, the surge trunk and flow regulating device at the reservoir inlet. Based on the time and frequency domain analysis, the frequency of an oscillation were determined, while possibilities of better adjustment of the surge trunk were checked on the simulation model.



Слика 2 . Осцилације протока на водоводном дистрибуционом систему Табановић - Шабац
Figure 2. Flow fluctuations on water distribution system Tabanovic - Sabac

прилагођавања казана са спречавање удара. Резултати анализа дијагностичких мерења су често улазни параметар за комплексније моделе целих водоводних система. За њихову коректну примену, **неопходно је располагати и са прејроцесираним величинама као и начином њихове обраде.** У својој пракси, међутим, аутори рада су се често сретали са пројектима дијагностичких мерења у којима су дати само готови резултати без икаквог увида у полазне податке као и у начин како су обрађивани.

2.3. Анализа тачности резултата

Систем контроле квалитета, на сваком нивоу и у свакој области, је опште прихваћени светски тренд. У области дијагностике, неопходно је на сваком кораку испоштовати то правило: у фази мерења, сви коришћени уређаји морају бити коректно и редовно калибрисани, а у фази анализе морају се користити ваљани и проверени подаци. Да би се неизвесност смањила, неопходно је мерења тако планирати да постоје **редундантни подаци.** На пример, довољно је мерити доток воде у резервоар и ниво воде у резервоару да би се знао излазни проток. Али, истовременим мерењем и излазног протока, може се проверити добијени податак о површини резервоара - а тај податак је веома важан за математички модел водовода. Анализом грешака се добија опсег вредности у којој се одређена величина може налазити. Ако се жели одредити хрпаовост цеви на основу мерења притиска на две међусобно удаљене локације, при чему све мерење величине носе одређену грешку (мерења притиска манометрима, одређивање геодетског кота манометара, мерење протока, процена унутрашњег пречника - која носи често највећу

The results of analysis are often used as an input parameter for more complex models of a whole Water Supply Systems. In order to use correctly those values, *it is necessary to save all preprocessed quantities, as well as method of their analysis.* However, the authors of this paper were often in position to see the results of some diagnostic measurement projects, where only final results were presented, without any insight information about raw data same as about numerical method used.

2.3. Accuracy assessment

The commonly accepted worldwide trend is the introduction of quality control system, on every level and in every field. In the field of diagnostics the rule is applied on each step: in the phase of measurement the equipment has to be regularly calibrated, and in the phase of analysis, only reliable data can be used. In order to minimize the uncertainty, the measurements should be planned in that way to have some *redundant data.* For example, it is enough to measure the inflow of the water into a reservoir and a water level to know an outflow from the reservoir. But, if the outflow is also measured at the same time, there is a way of checking the preliminary record of a reservoir surface area – and that value is very important for the mathematical model of a water supply system. Error analysis gives the scope of the measured quantity. If one wants to calculate the pipe roughness based on the pressure measurements at two distant locations, assuming that all measured quantities have certain errors (the pressure measurement using manometers, determination of manometer geodetic heights, flow measurements, estimation of interior pipe diameter - that is often significant), the roughness values scope can be $\lambda = 0.005 \sim 0.1$. And if there is also a problem with unsteadiness of water flow, as

тежину), може се добити опсег могућих вредности за храпавост $\lambda = 0.005 \sim 0.1$. Ако се на то дода још и проблем неустаљености протока као и могућност постојања неког локалног поремећаја који није идентификован, следи да је овакав прорачун коефицијента храпавости неупотребљив.

2.4. Примена добијених резултата

Саставни део дијагностичког пакета (мерења - анализа - анализа грешака) је и примена добијених резултата. Наиме, није ретка ситуација да се након извршених анализа укаже на одговарајући проблем, али да водовод не крене у његово решавање. На пример, у току мерења карактеристика пумпи, установљено је да је уграђена пумпа више него дупло јача. Предложена је уградња тиристорске регулације снаге, уз обрачун да се уложена инвестиција исплаћује већ после 6 месеци само кроз смањени рачун за струју. У тој рачуници је, међутим, занемарен један важан податак, а то је да дотични водовод и онако већ годинама не плаћа струју!

3. ВРСТЕ ДИЈАГНОСТИКЕ СИСТЕМА

3.1. Стандардно мерење протока и притисака

За сагледавање функционисања водоводног система користе се математички модели (Gotoh, Jacobs, Hosoda i Gerstberg, 1993). Креирање модела подразумева дигитализацију свих података о објектима водовода (цеви, резервоари, затварачи, пумпе, потрошачи итд.) њихове карактеристике и међусобне релације. По завршеном креирању модела, неопходно га је **калибрисати** тако да верно симулира рад постојећег система. Поступак калибрације подразумева фино подешавање параметара појединих делова система (распоред потрошње, губици у цеви, итд.) тако да се **резултат симулације њихових са резултатима дијагностичких мерења**.

За потребе калибрације модела, обично се врше континуална вишедневна мерења протока и притиска на изабраним деловима система. На слици 3 је дат резултат континуалног мерења на водоводу Лакташи, и то нивои у резервоару и проток и притисак на месту код хотела "Милка". У току мерења је дошло до хаварије на цевоводу у Јакуповцима, тако да је затваран излаз из резервоара и прстен који снабдева тај део водом. Коришћењем овог и других резултата мерења, треба обавити калибрацију математичког модела водовода Лакташи. Тест верификације модела би био симулација услова који су се одиграли на терену 05.07.2001. (слика 3).

well as a possibility of existence of some unidentified local disturbance, the conclusion is that such calculation of friction coefficient is useless.

2.4. Application of obtained results

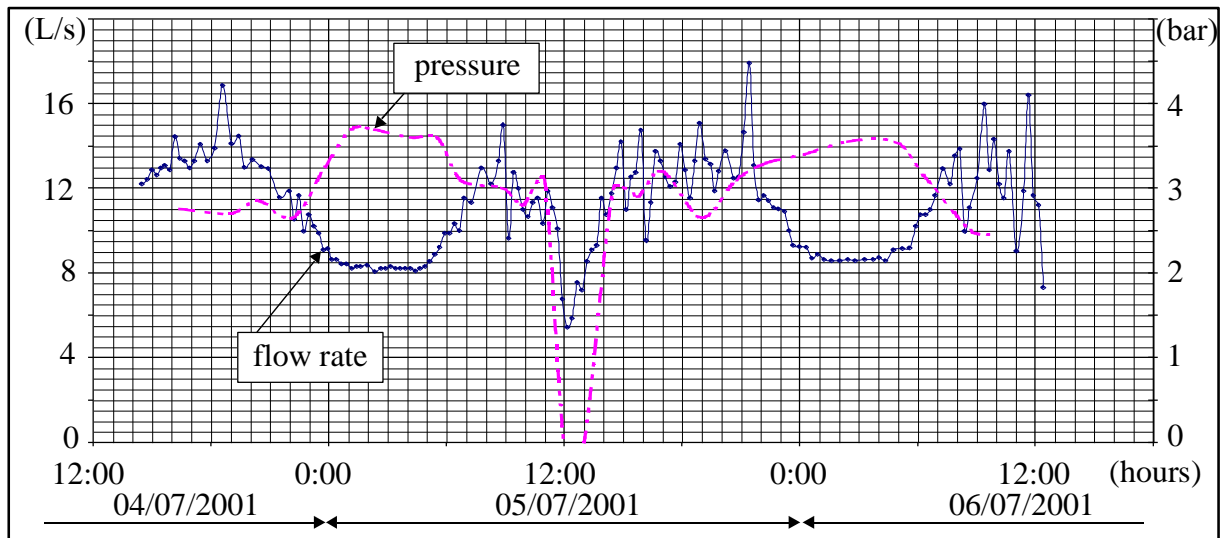
An important part of the diagnostic package (measurements – analysis – error analysis) is also the application of obtained results. It often happens that suggestions regarding some problems in system are made, but there is no action from the Water Supply company to apply it. For example, during the pump characteristics measurement, it was notified that the installed pump is more than twice stronger than it should be. Installing the frequency-thyristor power regulator was proposed, with estimation that the investment will repay within 6 months only through a lowered electricity bill. Nevertheless, that calculation didn't take into consideration one important fact: the Water Supply company doesn't pay for years the electricity at all!

3. TYPES OF A SYSTEM DIAGNOSIS

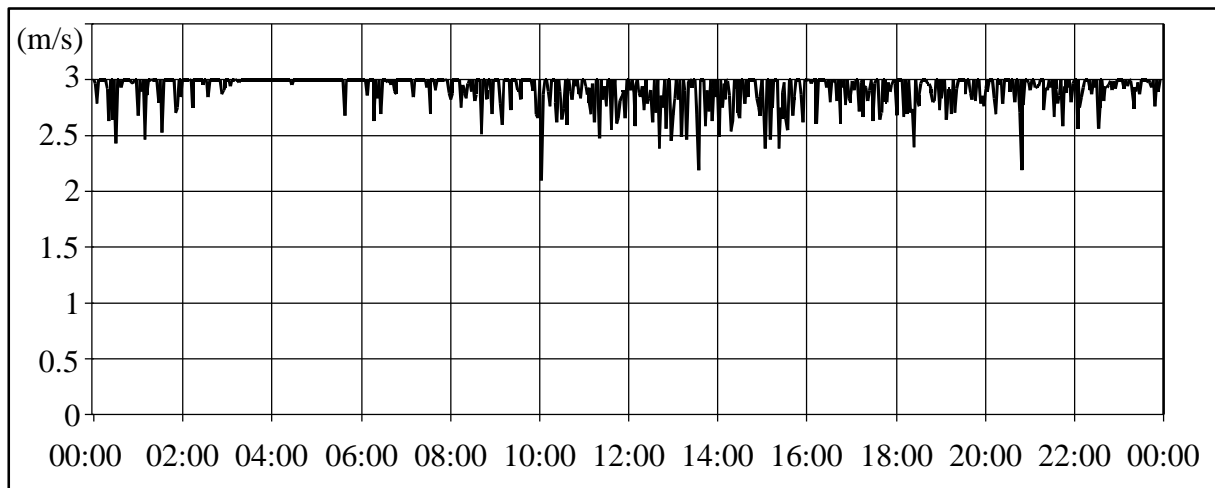
3.1. Standard flow and pressure measurements

Mathematical models are used for better in depth understanding of Water Supply System functioning (Gotoh, Jacobs, Hosoda and Gerstberg, 1993). Creation of the model implies digitalization of all water supply system elements data (pipes, reservoirs, valves, pumps, consumers etc.), their characteristics and interrelations. After finishing the model creation, its *calibration* is necessary to achieve the reliable simulation of the existing system. A calibration procedure is done by fine adjustment of certain system element parameters (consumption disposition, water losses, etc.) so that *simulation results and diagnostic measurement results fit well*.

A model calibration usually requires continuous, a few day long measurements of flow and pressure at selected system locations. The figure 3 presents the results of a continuous measurement on the water supply system Laktasi – water levels in the reservoir, flow and pressure at the location near the "Milka" hotel. Pipe break occurred at the location in Jakupovci during the measurements, so the outlet from the reservoir was closed, same as the distribution pipe ring that supplies that area. Using this, and other measurement results, numerical model calibration of water supply system Laktasi can be performed. The model will pass the verification if it can reliably simulate conditions that occurred at the site on the date 05.07.2001. (Figure 3).



Слика 3 - Мерења из Лакташа за 5.7.2001 - Проток и притисак за време квара на цеви
 Figure 3. Measurements from Laktasi, for 5.7.2001 - Flow and pressure during pipe brake



Слика 4. Сиров (не обрађен) податак о брзини у цеви
 Figure 4. Raw (unprocessed) velocity data in pipe

Сам **избор броја локација** на којима ће се мерити као и **пошребно време мерења** је директно повезано са расположивим ресурсима (време и новац). Правило је да на водоводним системима на којима не постоје претходна мерења и на којима нема довољно поузданих информације о очекиваним вредностима мерених величина, **пошребно је урадити две серије** континуалних мерења: првом серијом се добијају општи подаци о систему, на основу тих података се грубо калибрише математички модел и на моделу се проверавају могућа уска грла. У другој серији мерења се врши нови избор мерних локација, концентришући се на већ уочене проблеме. На слици 4. је дат пример мерења протока на систему где нису постојале претходне информације о могућим радним режимима. Мерење су брзине у цеви електромагнетном сондом, која у принципу може да мери брзине до 10 м/с али је у току процесања сигнала максимална брзина лимитирана на 3 м/с. Међутим, испоставило се

Selection of the number of measurement locations, same as the measurement duration is in direct relation with available resources (time and money). The rule is: on water supply systems where there is no previous measurement results and enough reliable information about expected values of measured quantities, *two series of continuous measurements are needed*. The first one will give the general information about the system. Rough calibration of the numerical model should be performed based on that information. Using model and site visiting, the possible critical parts of Water Supply System are detected. In the second series of measurements, some new measurement locations should be selected, focusing on already noticed problems. The figure 4 presents an example of flow measurement, where there was no previous information about the measured quantities. Velocities were measured with the electromagnetic probe, which is generally able to measure velocities up to 10 mps, but during the signal conditioning procedure they were limited on 3 mps. However, it came out later that two level zones were directly connected (!) through that

касније, да је цев у којој су мерене брзине директна веза између две висинске зоне (!) па су и брзине у цеви знатно изван очекиваних. Континуалним мерењима (најчешће) протока и притисака, у току калибрације модела, често се установи **постојање неких већих локалних проблема** (велики пад притиска дуж неке деонице као резултат неког притвореног вентила, већи губици воде на неким правцима) или **знајнијеј одсјуйања карактеристика** од очекиваних (пречник цеви није као у пројекту, знатан пад карактеристике пумпе итд.). На основу тих запажања, неопходно је планирати и обавити дијагностику таквих детаља.

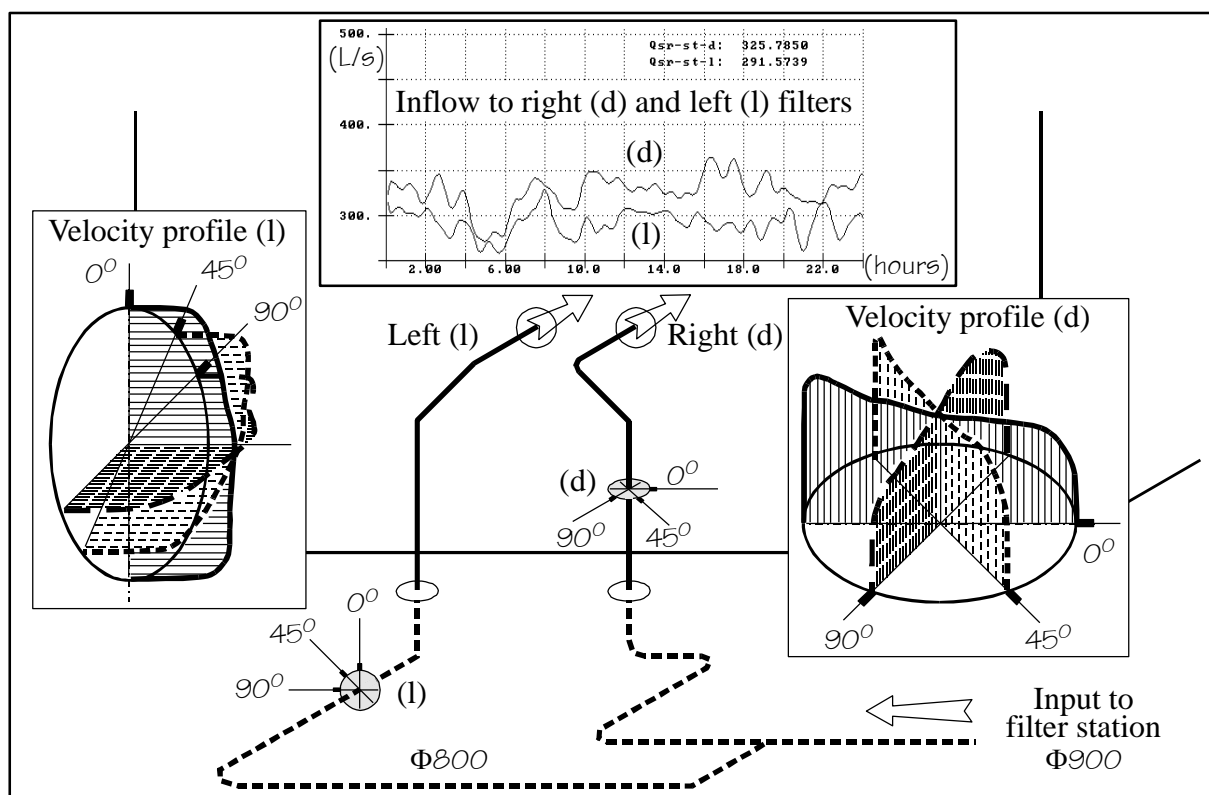
3.2. Дијагностика детаља система

Дугачак је списак могућих дијагностичких мерења за потребе одређивања карактеристика појединих детаља водоводних система. Нека од могућих мерења су: одређивање карактеристике пумпе, калибрација уграђених мерила протока у нестандартним условима, анализа рада филтерских поља у редовним условима и при преоптерећењу, флукуације притисака при испаду пумпе (хидраулички удар), одређивање положаја притвореног затварача који је негде затрпан на основу простирања поремећаја, итд.

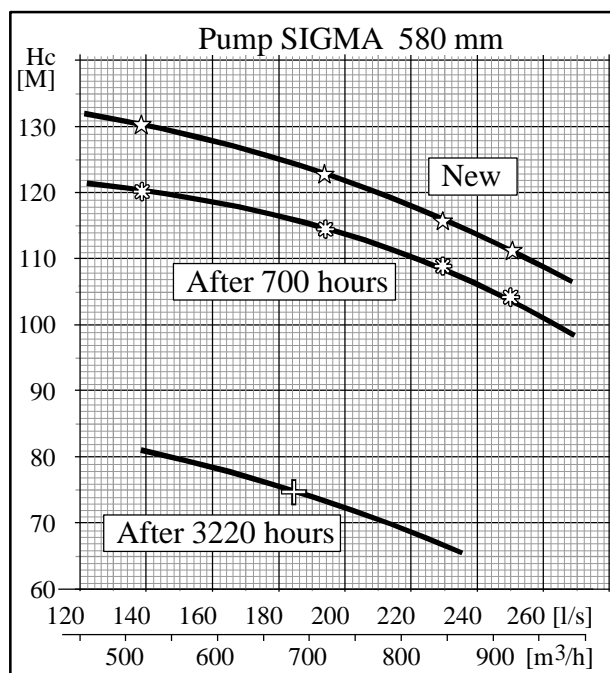
pipe, so velocities were significantly beyond expected. Based on continuous measurements (most often) of flow and pressure rates, the *existence of some significant local problems* can be observed during a model calibration (significant grade of pressure along a pipe as a result of certain half-opened valve, significant leakages along pipelines) or *significant variation of characteristics from expected* (a pipe diameter is not as designed, a significant degradation of a pump characteristics etc.). With such notices, planning and performing diagnosis of those details is necessary.

3.2. System details diagnosis

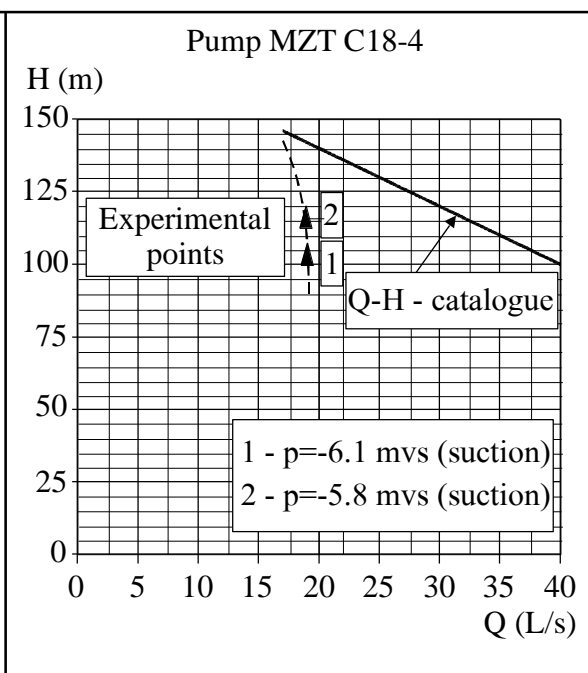
There is a long list of possible diagnostic measurements regarding assessment of particular detail characteristics of water supply systems. Some of them are: pump characteristic assessment, calibration of installed flow meters in nonstandard conditions, filter fields performance analysis in regular and overload conditions, pressure fluctuation after a pump failure (water hammer), the location determination of half-opened valve that is somewhere buried, based on a disturbance wave propagation, etc.



Слика 5. Одређивање расподеле протока по филтерима у нестандартним мерним условима
Figure 5. Flow distribution measurement in unsuitable conditions



Слика 6. Дијаграм старења пумпе
Figure 6. Pump aging diagram



Слика 7. Крива бустер пумпе која ради у кавитацији
Figure 7. Buster pump working in cavitations regime

На сликама 5, 6 и 7. су дати неки од примера дијагностичких мерења. На старом филтерском постројењу "Штранд" у Новом Саду (слика 5) долазило је до осцилација у раду аутоматске опреме за управљање, те је требало установити у којим режимима постројење ради. Као основни податак са којим водовод уопште није располагао је каква је расподела воде на леву и десну половину постројења. Како су услови на терену били далеко од идеалних за мерење протока, извршено је детаљно снимање поља брзина и њиховом интеграцијом је добијен проток (Продановић и Иветић, 2000). На изабраној локацији у профилу цеви одређена је веза између тренутне брзине и протока, те су се сва даља мерења протока свела на мерење једне брзине (индекс брзине).

Као други интересантан пример, на сликама 6 и 7. су дати резултати снимања карактеристика пумпи. На већини водоводних система на којима су аутори радили мерења, одређивани су протоци и рађен биланс водовода на основу броја сати рада пумпи, уз претпоставку да су карактеристике пумпи истоветне фабричким. Тек када се изврши мерење стварних карактеристика пумпи може се установити колике се грешке чине таквом рачуницом. На слици 6. је приказан пад карактеристика пумпе кроз време (ради се о муљним пумпама, Продановић, Иветић и Павловић, 1996) а на слици 7. карактеристика пумпе која ради у кавитационом режиму, па су остварени протоци знатно нижи од очекиваних (Продановић, Павловић и Јаћимовић, 2001).

Избор мерних метода и мерне опреме зависи од проблема који се истражује као и услова који

Figures 5, 6 and 7 present some diagnostic measurement examples. At the old filter plant "Strand" in Novi Sad (Figure 5) some instability in control equipment performance was detected, and the task was to determine a working conditions of the plant. The fundamental information about the water distribution between the left and the right half of the plant the Water Supply company didn't possess at all. As conditions for flow rate measurement were bad, detailed recording of velocities profile in unsteady conditions was performed. The flow field was integrated to give the flow rate (Prodanovic and Ivetic, 2000). At the established profile location, a relation between an instant flow rate an velocity was determined, so afterwards the flow rate measurement was reduced to a single velocity measurement (velocity index).

As other interesting example, figures 6 and 7 present results of a pump characteristic recording. At most of Water Supply Systems, where the authors took measurements, a flow rate and a water balance in the system was estimated based on number of hours that pumps were running, with assumption that characteristics are the same as in the pump catalogue. Only true pump characteristic measurement can show how big error is done with that kind of water balance calculation. Figure 6. presents the deteriorate of pump characteristics during the time (or pump aging) for sludge pump (Prodanovic, Ivetic and Pavlovic, 1996), and the figure 7 presents characteristics of pump running in a cavitations regime, producing significantly lowered flow rates than expected (Prodanovic, Pavlovic and Jacimovic, 2001).

A choice of measurement methods and measurement equipment is directly related to a problem that is to be explored, as well as to conditions at the site. It could be taken as a rule that it is *necessary to obtain*

владају на терену. Може се узети као правило да је **пошребно пошћићи шачношћ мерења за ред величине већу него код коншинуалних мерења**, те и тај фактор треба имати у виду. На пример, приликом калибрације постојећих фиксних мерила протока (који су класе тачности 0.5 или 1%), није могуће користити ултразвучне мерне уређаје, који су веома елегантни за коришћење, али чија је тачност реда величине 5%.

3.3. Дијагностика губитака

Утврђивање колики су стварни губици воде на неком водоводном систему је изузетно тежак задатак. Пошто скоро ни један водоводни систем код нас нема поуздана мерења производње и расподеле воде по секторима, **подачи о изгубљеној води су више полишћичка кошћегорија а мање резулшћаш аналшћичких мешода**. Водоводи се углавном баве локалним санирањем система у случајевима када је дошло до потпуног лома цеви или уколико вода у већој мери избије на површину терена. Неки водоводи су опремљени уређајима за детекцију губитака који им у тим случајевима доста помажу.

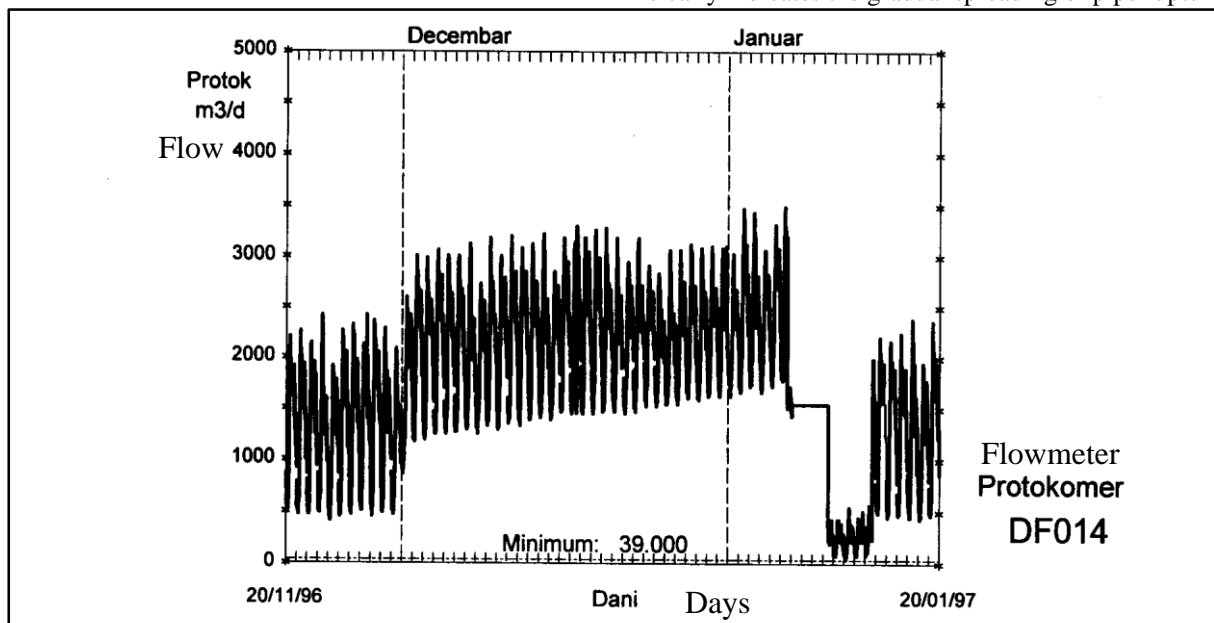
Да би се водила бишћка са гүбицима на нивоу целог водовода, пошребна су коншинуална мерења протока на свим кључним шравцима. На слици 8. је дат пример, преузет из литературе (Обрадовић, 1999.), континуалног записа протока на једном секторском водомеру. Види се да је првих 10-так дана дневни дијаграм неравномерности протока у границама нормале (однос између дневног максимума и минимума је 5:1) да би у децембру ноћни проток нагло

accuracy of measurements in the order of the scale higher than for continuous measurements, so that factor has to be considered. For example, during a calibration process of existing flow meters (which are in accuracy category of 0.5 or 1%), it is not possible to use echo flow meter equipment, which is very handy, but with accuracy of 5 % or even worse.

3.3 Diagnosis of leakage losses

Estimation of real water losses on a water supply system is very difficult task. Since almost no Water Supply System in this region has reliable measurement results regarding water production and water distribution, *information about water leakage is more political category and the result of analytical methods*. Water Supply companies are mostly occupied with local urgent retirements in the case of a pipe break or if water appears at the surface in significant quantity. Some of WS companies are supplied with equipment for detection of water losses that is very helpful.

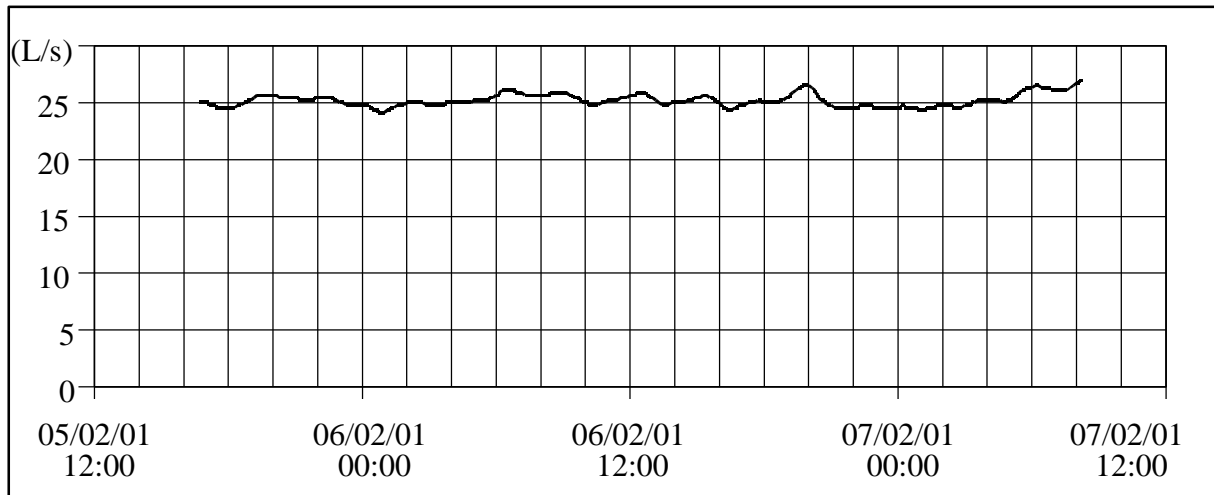
In order to keep the water losses as minimal as possible on the whole Water Supply System level, continuous measurements of flow rate on all main directions are necessary. The figure 8 presents an example, taken from the literature (Obradovic, 1999.), of continuous flow rate recorded on a sector flowmeter. It can be seen that in first 10 days daily diagram of flow nonuniformity is quite normal (ratio between daily maximum and minimum is aprox. 5:1), but afterwards in December, night flow rate has suddenly started to rise with decrease of daily maximum and minimum ratio. Such continuous record clearly indicates the gradual spreading of pipe rupture.



Слика 8. Проток на секцијском водомеру у периоду од два месеца
Figure 8. Two month flow rate record from section flowmeter

почео да расте уз опадање односа између дневног максимума и минимума. Овакв континуални запис јасно указује на постепен развој пукотине на цеви. Након санирања квара, средином јануара, дневни дијаграм протока се вратио у првобитне границе. На основу оваквих података, могуће је обрачунати стварну количину изгубљене воде, проценити потребна улагања за санирање квара, па чак направити и анализу када кренути у санирање квара.

After defect repairment, in the middle of January, daily flow diagram is restored to a primary shape. Based on this kind of recordings, it is possible to estimate real quantity of water losses, to estimate required investments for rehabilitation, and also to make an cost benefit analysis when to start with pipe rehabilitation.



Слика 9. Проток без дневне неравномерности указује на велике губитке

Figure 9. Flow without daily irregularities shows that losses are substantial

На слици 9. је приказан нешто другачији резултат - проток у периоду од два дана снимљен на пречнику цеви 300 мм на улазу у приморско насеље, у зимском периоду, без туриста и без привреде која ради. Колики су губици на тој цеви када нема дневних неравномерности протока? 90% или 95%? Како проценити колики је нормалан проток кроз цев када је приказани резултат јединог икад направљеног мерења на систему. И да ли су губици воде када се намерно отвори неки од вентила и вода пушта у море само да би се обарањем пијезометраске коте постигло да суседно место не добије воду? Наравно, приказани пример је екстреман случај (али не редак), чешће се добија дневни дијаграм протока са односом максимума и минимума од 2:1 до 3:1, што указује на постојање губитака у низводним деловима мреже, али не омогућава њихову прецизнију процену.

Тренутно углавном влада мишљење да је довољно да водовод уговори са неком фирмом пар дана дијагностичких мерења и да ће самим тим да се смање губици. Истина је нешто другачија: оваква мерења су најкомплекснија, захтевају **сталан ангажовање водовода** и њихов рад како на мониторингу тако и на **ујорном одржавању** свих потенцијалних места за губитке (вентили који не држе, оваздушења, повратне клапне, итд.).

The figure 9 presents a somewhat different result – a flow rate during two days period is recorded in pipe with 300 mm diameter at the entrance of a small coastal settlement, during a winter period, without tourists and commercial working. What are water losses on that pipe when there is almost perfect daily uniformity of flow rate? 90 % or 95 %? How to estimate what is normal flow rate through a pipe, if this was the only, ever made measurement in the system? And can we call it "the water losses" when some of the valves are purposely left opened and water runs into the sea, just to reduce the piezometer level so that the next village doesn't get the water? Naturally, illustrated example is an extreme case (but not unusual). More often the result of diagnostic measurement is the daily flow rate diagram with maximum/minimum rate of 2:1 up to 3:1 that indicates the existence of water losses at downstream part of a water supply network, but doesn't allows their better estimation.

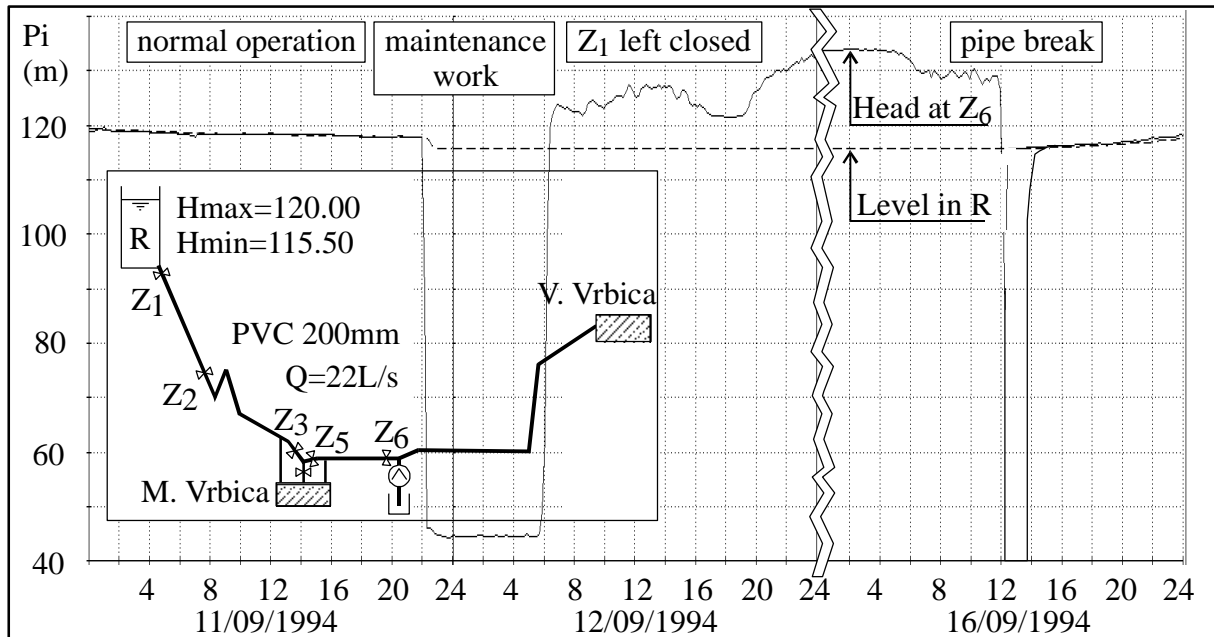
Currently, there is principally opinion that it is enough to engage someone to make a few diagnostics measurements in order to reduce water losses. The truth is somewhat different: that kind of measurements are extremely complex, they require *permanently Water Supply Company engagement* and effort on monitoring, as well as on a *persistence maintenance* of all potential locations for water losses (bad valves, air relief valves, by-pass valves, etc.).

3.4. Дијагностика у хаваријском режиму

Дијагностика у току хаварије по правилу доноси пуно вредних информација. Код система који имају континуалан мониторинг, дијагностика се своди на анализу прикупљених података у периоду пре и после квара, при чему податке о мерењима треба допунити подацима о манипулацијама на систему (који вентили и када су затворени/отворени, режим рада пумпи итд.).

3.4. Diagnosis in accidental regime

Diagnosis of accidental regimes in Water Supply Systems, in general, obtains a lot of significant information about real system conditions. At the systems with continuous monitoring, diagnosis is reduced to analysis of collected information before and after accident, where measurement data should be linked with data about system manipulation (which valves and when they are closed/opened, pump work regimes, etc.)



Слика 10. Пуцање цевовода услед погрешне манипулације затварачима
Figure 10. Pipe brake due to misuse of section valve

На системима који немају континуално мерење, оваква врста дијагностике је могућа само ако се у периоду намеских континуалним мерења или симулира квар, или се квар случајно догоди (као у случају мерења на водоводном систему Лакташи, приказано на слици 3.).

На слици 10. је приказана још једна снимљена хаварија цевовода (Продановић, Иветић и Павловић, 1994) у месту Мала Врбика, код Кладова. На делу цевовода који је ишао долином долазило је до честих хаварија. Обављена је једна серија мерења од 10-так дана, као и низ брзих мерења хидрауличког удара, али сви показатељи су били у границама нормале. Онда је "симулирано" одношење опреме али је остављен дата логер за притиске који је наставио да прати притисак код бунарске пумпе. Након пар дана се догодила хаварија, прскање цевовода (види се као нагли пад притиска на слици 10.). Анализом дијаграма са слике, међутим, уочава се да је пре хаварије, дошло до повећања притиска у систему. Након разговора са људима на терену откривен је и разлог: локални мајстор када поправља бојлере по селу, у случају када нема или не ради вентил на кућном прикључку, затвара вентиле на

On the systems without continuous measurements, this kind of diagnosis is possible only if during the specific continuous measurements either accident is simulated, or it randomly happens (as happened in the case of measurements in the water supply system Laktasi, showed on the figure 3).

The figure 10 presents another recorded pipe break (Prodanovic, Ivetic and Pavlovic, 1994) in Mala Vrbica, nearby Kladovo. On the pipeline segment that has been positioned along the valley, failures were occurred rather often. One 10 days measurement series, as well as series of fast measurements of water hammer, showed that all parameters were normal. After that, a "simulation" of equipment removal was done, but with one data logger left to record the pressure at the well pump. A few days later, pipe was broken (presented as a rapidly pressure drop on the figure 10). The recorded diagram on the figure 10 presents a pressure increase, starting from 12/09 till the pipe failure on 16/09. After contacting local people at the site, the reason was found: some local serviceman was keen on closing the valves on pipeline (Z1 and Z2 on the figure) when doing some home repairs. When a repair is over, sometimes he forgets to open valve Z2, and afterwards a pump is running without the reservoir that limits the pump pressures.

дистрибуционом цевоводу (на слици 31 и 32). Када заврши поправку, повремено заборави да отвори 32, те пумпа ради без резервоара, који јој ограничава притиске.

4. ОРГАНИЗАЦИЈА ДИЈАГНОСТИКЕ

Дијагностичка мерења би требала да буду **саставни део активности сваког водовода**. Организационо треба предвидети групу људи чији ће посао бити:

- да води рачуна о уграђеној мерној опреми
- врши редовну калибрацију
- води дневник свих радова и читавања (ручног или аутоматског)
- обавља примарну обраду резултата
- проверава валидност (да ли је неки уређај почео да показује знатно веће/мање вредности)
- трајно архивира резултате са коментарима
- формира редовне извештаје у форми недељних/месечних/сезонских дијаграма, формира извештаје о ванредним ситуацијама, итд.

Опрема за дијагностику би требала да буде **савремена електронска мерна опрема** са могућношћу вишедневног или вишенедељног **континуалног записа** притисака и протока или само притисака, као и нивоа у резервоарима. Међутим, и обични манометри и водомери ако се редовно калибришу и ручно читавају, могу да се искористе. На слици 11. су дати резултати редовног читавања једног од два водомера на излазу из резервоара Лакташи, које је спроводио водовод од тренутка његове уградње. Добијени подаци су од суштинског значаја у анализама рада система, плановима за наредни период, анализи сезонских утицаја итд.

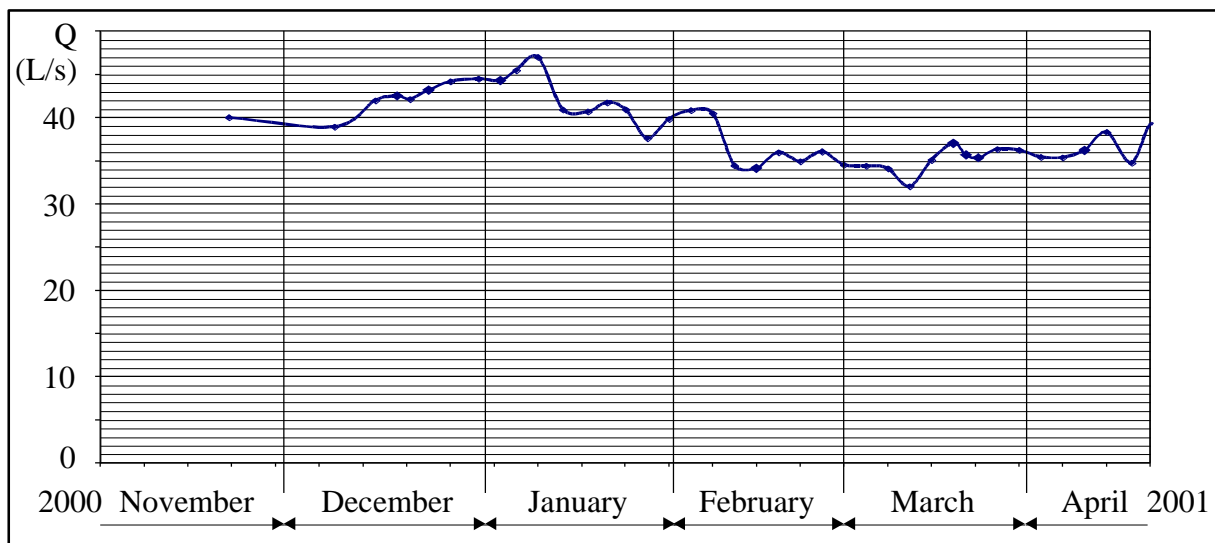
4. DIAGNOSIS ORGANIZATION

Diagnostic measurements should be *the integral part of every water supply system activities*. A special team should be established with following obligations:

- installed measurement equipment maintenance;
- regularly equipment calibration;
- keeping of logbook of all measurement works and readings (manual or automatic);
- primary results processing;
- reliability control (if any of devices shows significantly increased / decreased values);
- permanently store the results with comments;
- making regular reports in form of weekly/monthly/seasonally diagrams;
- making reports about exceptional events, etc.

Diagnosis equipment should be modern *electronic measurement equipment* with a possibility for several days or weeks of *continuous recording* of pressure and flow rate, as well as water levels in reservoirs. However, ordinary manometers and flowmeters could be useful also, if regularly calibrated and manually recorded. The figure 11 presents results of a regular readings from one of two flowmeters at the reservoir Laktasi outlet that was performed by Water Supply Company from the moment of its installing. Obtained information is of substantially importance for system performance analysis, further planning, season effect analysis, etc.

A situation in majority of companies in this region is such that there is no organized diagnosis approach. On demand, another company is involved for measuring campaign, and only if it is necessary. Fundamental system parameters are usually unknown,



Слика 11. Пример употребљивих података за симулационе моделе: сезонска промена протока на основу вишемесечних читања водомера

Figure 11. The example of valuable set of data for simulation models: seasonal variations in flow based on several months of flowmeter readings

Ситуација у већини наших водовода је таква да не постоји организован приступ дијагностици. По потреби се посао препушта спољним фирмама и то само уколико мора. Основни показатељи система су често непознати, па чак и сам положај и пречници цеви и затварача. Било какав захтев за откопавањем цеви и изградњом шахта на некој правој деоници, ради поузданијег мерења протока, сматра се за непотребан луксуз (иделно би било уколико би могла мерења да се обаве у канцеларији).

У таквим условима, веома је тешко обавити квалитетна дијагностичка мерења. На непознатом систему, неопходно је прво детаљно сагледати дистрибуциону мрежу. Детаљи превезивања појединих чворова, (небитни за редовно функционисање све док има довољно воде) су од кључног значаја у фази обраде измерених резултата. Уколико постоји математички модел система, потребно је на моделу прво проверити планирану стратегију дијагностичких мерења (отварање/затварање појединих комора резервоара, рад у различитим режимима пумпања, искључивање појединих деоница система итд.) како би се **максимизирао квалитет измерених података уз минимизирање последица на редовно снабдевање** потрошача. На моделу, такође, треба одабрати потребна мерна места како би се са што мање мерења добило што више информација о систему.

У ситуацији када не постоје ни претходна мерења ни математички модел система, по правилу треба **предвидети дијагностичка мерења у две кампање**. Са првим мерењима се добијају основни подаци о систему, на основу њих се анализом уочавају проблеми и дефинишу нова мерна места помоћу којих се уочени проблеми могу боље изучити. У другој кампањи мерења фокус се ставља на поједине детаље система а затим на континуално функционисање система у неком изабраном периоду (минимално је за 24 сата, а препоручљиво је мерити континуално бар 7 дана).

5. ДА ЛИ ЈЕ ДИЈАГНОСТИКА СКУПА?

Као одговор на питање: Да ли су скупа дијагностичка мерења, дају се два најсвежија примера из праксе аутора овог рада.

Почетком ове године, обављена су дијагностичка мерења на једном приморском водоводном систему (неки резултати су већ дати у овом раду на сликама 4 и 9). На систему нису располагали са мерном опремом, као ни са претходним мерењима. Мерења су спроведена за потребе калибрације математичког модела, при чему није била уговорена детаљнија дијагностика и процена губитака воде. На

even location of pipes, pipe diameters and valve locations. Every requirement for a pipe excavation and a manhole construction on a straight pipeline section, in order to establish a reliable flow rate measurement location, is considered as wasteful luxury (it would be perfect if measurements could be accomplished in the office).

In such conditions, it is difficult to obtain reliable diagnostic measurements. When presented with an unknown system, it is necessary first to identify a distribution network. Details of node connections (not important for a regular system performance as long as there is enough water) are essential in measurement and data analysis. If a numerical model exists, it is necessary first to check a planned measurement strategy (opening/closing of some reservoir chambers, system performance in various pumping regimes, exclusion of particularly network sections etc.) in order to *maximize the measured data reliability with minimal effects on a regular consumption*. Using simulation model, measurement locations also should be selected, in order to obtain more system information with a less measurement.

In situation where there are no previous measurements and nor the numerical model, as the rule of thumb, *two campaigns of diagnostic measurements should be planned*. The first measurement campaign will obtain the fundamental system information as the base for a system problem identification. Then, a selection of a new measurement location and sampling criteria can be done, in order to better enlighten the noticed system problems. The second campaign can be focused on specific system details, same as on continuous system performance monitoring during longer period of time (24 hours at least, but 7 days is recommendable).

5. IS THE DIAGNOSIS EXPENSIVE?

As the answer on that question, there are two novel examples from the authors practice:

In the beginning of this year, diagnostic measurements were performed on a water supply system in a small seaboard town (some of results were already presented on figures 4. and 9.). The system had no measurement equipment and any previous measurement results. Measurements were accomplished in order to obtain data for a numerical simulation model calibration, and no detailed diagnostic measurements of water losses were contracted. However, based on obtained data, a rough estimation showed that water losses were about 400 L/s, and with water price of 0.5 DM/m³ made

основу добијених резултата, међутим, могло се грубо проценити да су губици око 400 Л/с, што са ценом воде која се плаћа на улазу у систем од 0.5 КМ/м³ износи дневно 17000 КМ губитака (просечна цена једног компактнoг лoгера за проток је 12000-15000 КМ а за притисак 2000-3000 КМ).

Почетком лета ове године, на водоводу Лакташи су обављена дијагностичка мерења, прво пумпи на изворишту и бустер пумпе за Слатину, а затим 24-ворочасовно мерење протока и притисака по систему. Анализом добијених карактеристика бунарских пумпи, уочена је знатна разлика између пумпе у првом и другом бунару: прва пумпа ради са 27 Л/с а друга 40 Л/с при чему прва пумпа има скоро 10 м већу висину дизања (прва пумпа добијена из програма донације у мају 2001. године). Очигледна неусаглашеност пумпи резултује прво пригушењем радом прве пумпе, као и неискоришћавањем капацитета бунара. Да су приликом избора прве бунарске пумпе обављена дијагностичка мерења на старим пумпама, заједно са анализом динамичког нивоа воде у бунарима као и спрегнутим радом обе пумпе, изабрала би се пумпа која више одговара систему, а већи проток би могао да се пласира у мрежу Лакташа.

Из изложена два примера, може се закључити да се **дијагностичка мерења сигурно исплаћују на дужи период**. Међутим, наслеђен проблем код свих наших водовода је текућа неликвидност и навика да се штедња у било којем облику, поготову она која захтева њихово директно инвестирање, не исплати (треба бити довољно богат да би штедео).

6. ЗАКЉУЧАК

Сврха овог рада није убеђивање читаоца, и расправа, да ли је дијагностика водоводних дистрибутивних система потребна или није. Дијагностика је неопходна уколико се жели домаћинско пословање, пословање системом које ће му обезбедити пуну одрживост. Идеја аутора је више била да уз помоћ објашњења шта све обухвата дијагностика, илустрованих бројним примерима из праксе, направи едукативни рад. Директори и власници водовода треба што пре да сагледају важност систематског и педантног праћења рада свог система. У организацији рада треба предвидети важно место формирању службе која ће бити задужена за континуална мерења и њихову обраду. У почетку ће се вероватно један део послова поверавати спољним фирмама, али је неопходно да водовод активно "краде знање" и постепено преузима већи део активности. Често се чини грешка да се набавка скупocene мерне опреме ставља испред образовања радника: и обични манометри и водомери могу

17000 DM of losses per day (the price of an compact flow rate and pressure logger is about 12000-15000 DM, and only for pressure 2000-3000 DM).

At the beginning of summer this year, at Water Supply System Laktasi, extensive diagnostic measurements were done. Firstly, the two well pumps and one buster pump for Slatina settlement were analyzed, and then, 24 hours continuous flow rate and pressure measurements in the system was performed using the built in flowmeters, pressure loggers and manometers. Analysis of well pumps characteristics showed a significant difference between the pumps at the first and the second well: the first pump gives 27 L/s. and the second one 40 L/s, where the first pump has almost 10m higher head than the second one (the first pump was from donation program in May 2001.) Obvious incompatibility between pumps results in reduction of performance of the first pump and an insufficient well utilization. If there were diagnostic measurements on the old pump before it was changed in May 2001, along with analysis of a dynamic water levels in both wells, as well as coupled pump performance, the pump with better system conformation would be chosen, and higher flow rate could be distributed in the network of the Laktasi settlement.

These two examples undoubtedly show that *diagnostic measurements are a good investment for a longer period*. However, a heritable problem in all our Water Supply Systems is the lack of money and a habit that any kind of saving, especially if it requires some direct investments, doesn't pay off (one must be rich enough to be able to save).

6. CONCLUSION

The paper objective was not to convince or persuade a reader if a water distribution system diagnosis is required or not. Diagnosis is necessary if the economic performance and the performance with full reliability are required. Using explanations what all diagnosis comprises, illustrated with lots of practice examples, the idea of the authors was to write down the educational paper. Managers and Water Supply System owners as soon as possible have to realize the importance of a systematical and a precise system performance monitoring. In the work management a service should be provided that would be responsible for continuous measurements and data analysis. In the beginning, probably one part of the work will have to be contracted with other specialized companies. It will allow the active "knowledge transfer" and fast learning curve. A usual mistake that is made in our Water Supply companies is to buy expensive equipment rather than to educate workers: even ordinary manometers and flowmeters will do a significant part of the work if a diagnosis team is quality educated and motivated for the work.

да обаве велики део посла ако је екипа за дијагностику квалитетно обучена и мотивисана за рад.

7. ЛИТЕРАТУРА

Gotoh, K., J. K. Jacobs, S. Hosoda and R. L. Gerstberg (1993). Instrumentation and Computer Integration of Water Utility Operations. American Water Works Association Research Foundation and Japan Water Works Association. Denver, USA and Tokyo, Japan

Максимовић, Ч. (1993). Мерења у хидротехници. Грађевински факултет Београд.

Обрадовић, Д. (1999). Савремени водоводи. Информатика и оперативно управљање. Удружење за технологију воде и санитарно инжењерство.

Продановић, Д., М. Иветић и Д. Павловић (1994) Устаљено и неустаљено течење на водоводном систему Мала и Велика Врбика, мерења и анализа на математичком моделу

Продановић, Д. и Ч. Максимовић (1995) Дијагностика рада постројења за пречишћавање воде града Смедеревска Паланка

Продановић, Д., М. Иветић и Д. Павловић (1996) Мерења и примарна анализа карактеристика багер пумпе и транспортног ценовода ТЕНТ Обреновац А

Продановић, Д. и М. Иветић (2000). Континуално мерење расподеле протицаја и анализа рада постројења за пречишћавање чисте воде Штранд - Нови Сад

Продановић, Д., Д. Павловић и Н. Јаћимовић (2001). Извештај о мерењима на систему за водоснабдевање општине Лакташи - Република Српска.

Симић М. (1994) Електроника и мерења у грађевинарству и геодезији. Грађевински факултет Београд

7. BIBLIOGRAPHY

Gotoh, K., J. K. Jacobs, S. Hosoda and R. L. Gerstberg (1993). Instrumentation and Computer Integration of Water Utility Operations. American Water Works Association Research Foundation and Japan Water Works Association. Denver, USA and Tokyo, Japan

Maksimovic, C. (1993). Measurements in Hydraulic. Faculty of Civil Engineering, Belgrade (in Serbian)

Obradovic, D. (1999). Contemporary Water Works. Informatics and operational management. Yugoslav Association for Water Technology and Sanitation (in Serbian)

Prodanovic, D., M. Ivetic i D. Pavlovic (1994) Steady and unsteady flow in water supply system of Mala and Velika Vrbica, measurements and numerical model analysis (in Serbian)

Prodanovic, D., C. Maksimovic (1995) Diagnostic measurements on water purification station of Smederevska Palanka city (in Serbian)

Prodanovic, D., M. Ivetic i D. Pavlovic (1996) Measurements and analysis of sludge pump and hydraulic transport system characteristics at Thermal Power Plant TENT Obrenovac A (in Serbian)

Prodanovic, D. i M. Ivetic (2000). Continual measurements of flow distribution on filter plant Strand, Novi Sad with system performance evaluation (in Serbian)

Prodanovic, D., D. Pavlovic i N. Jacimovic (2001). The report on diagnostic measurements on Water Supply System Laktasi - Republika Srpska (in Serbian)

Simic M. (1994) Electronics and Measurements in Civil Engineering and Geodesy. Faculty of Civil Engineering, Belgrade (in Serbian)