

# Prenosni avtonomni registrator z lokalno obdelavo podatkov in brezžičnim prenosom

Miha Horvat, Boštjan Vlaovič

Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru

Koroška cesta 46, 2000 Maribor

E-pošta: miha.horvat3@student.um.si, bostjan.vlaovic@um.si

## Portable autonomous data logger with local data processing and wireless transmission

*This paper presents a student project where a data logger was developed for measuring pressure in the water distribution system "Vodovod sistema B". The aim was to provide prompt notifications of quick pressure changes that might cause various problems and damage the distribution infrastructure. Most of the existing data loggers log only raw data without any processing, and report to the central system with time intervals that are inadequate to detect quick momentary changes of pressure. To avoid water hammer and similar problems, the developed data logger collects changes of pressure every second and logs data locally. Next, the minimum, maximum, and average values for the selected time period are sent to remote servers. The device is fitted in a watertight case and controlled by the Atmega328P microcontroller, which is programmed in C. Data are collected at control servers and visualised with graphs, Tables, and dynamic graphics. The initial tests show that the proposed solution will enable operators to optimise the water distribution system in the region. Some challenges remain, e.g., the power consumption should be decreased to improve the autonomy of the system*

## 1 Uvod

Za optimalno delovanje vodovodnih sistemov je potrebno podatke beležiti, obdelovati, ustrezno interpretirati ter ob zaznanih odstopanjih kvalitete distribucije vode tudi pravočasno ukrepati. Upravljalci vodovodnih sistemov spremljajo pretok, količino klora v vodi, temperaturo vode, nivo podtalnice in tlak. Slednji je še posebno pomemben, saj je ob prenizkih vrednostih prekinjena distribucija vode do porabnikov, pri previsokih vrednostih pa lahko pride do poškodb na cevovodih. Tehnični pravilnik na Vodovodu sistema B v 11. členu opisuje, da je obratovalni tlak v omrežju odvisen od hidravličnega stanja in porabe vode. Kadar ni pretoka je na mestu obračunskega vodomera lahko tlak najmanj 1,5 bara, v izrednih razmerah, ko pride do požara ali večje okvare, pa je tlak lahko tudi nižji [1]. Zaznavanje hipnih sprememb tlaka je ključnega pomena predvsem na transportnih cevovodih, saj tam ni objektov z merilno in krmilno tehnologijo. Na take lokacije je potrebno namestiti baterijsko napajane naprave, ki omogočajo beleženje in brezžični prenos

podatkov. Tovrstni merilniki morajo biti avtonomni in primerne velikosti za namestitev v neprostorne betonske jaške.

V tem članku je predstavljen registrator podatkov, ki omogoča zaznavanje hipnih sprememb. Registrator pridobljene merilne podatke obdelava in na strežnik brezžično pošlje zgolj mejne in srednje vrednosti, s čimer se optimizira količina hranjenih in prenesenih podatkov. Registrator lokalno hrani podatke na podatkovni kartici, zato ne potrebujemo namenskih kablov za prenos podatkov na računalnik, kot je to praksa pri tržno dobavljivih napravah. Modul GSM/GPRS omogoča prenos podatkov na oddaljeni strežnik za potrebe arhiviranja in vizualizacije podatkov. Ob odstopanjih od normalnih vrednosti se lahko pošlje tudi SMS sporočilo na izbrano telefonsko številko. Registrator je baterijsko napajen in dovolj majhnih dimenzij, da se ga lahko namesti v poljubni jašek. Napravo lahko klasificiramo kot nizkocenovni registrator, ki je funkcionalno primerljiv s trenutno ponudbo na trgu, a hkrati optimiziran za spremljanje hipnih sprememb tlaka na vodovodnem omrežju. Prototip smo testirali vzporedno z obstoječim komercialnim registratorjem. Izkazal se je s preprostim prenosom lokalno beleženih podatkov in zaznavanju hipnih sprememb tlaka, ima pa krajši čas avtonomnosti, zato bi bilo potrebno porabo električne energije še nekoliko zmanjšati.

V drugem poglavju predstavimo gradnike prototipa ter programsko opremo za arhiviranje in vizualizacijo podatkov na strežniku. V tretjem poglavju opišemo testiranje prototipa registratorja. V sklepu povzamemo opravljeno delo in podamo predloge za izboljšave.

## 2 Razvoj prototipa registratorja

Izbira komponent za prototip registratorja je bila odvisna od kompatibilnosti, funkcionalnih specifikacij, dobavljivosti gradnikov in cene.

### 2.1 Mikrokrmilnik

Osrednja komponenta registratorja je mikrokrmilnik, ki izvaja vse funkcionalnosti registratorja. Odločili smo se za namestitev v podnožje, ki omogoča preprosto odstranitev in zamenjavo tekom razvoja prototipa. Izbrali smo ATMEL ATmega328P z 8-bitno centralno procesno enoto. Glavne lastnosti mikrokrmilnika so [2]:

- zmogljivost: 20 MIPS (Millions of instructions per second) pri 20 MHz,
- Bliskovni pomnilnik: 32 kB,
- SRAM (Static Random-Access Memory) pomnilnik: 2 kB,
- EEPROM (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory) pomnilnik: 1 kB,
- najvišja frekvenca delovanja: 20 MHz,
- 32 splošno-namenskih registrov,
- 3 prilagodljivi časovniki z več načini delovanja,
- notranje in zunanje prekinitve,
- serijsko programirljiv USART (Universal Synchronous and Asynchronous Receiver-Transmitter),
- 10-bitni analogno-digitalni pretvornik,
- 5 programsko določljivih načinov delovanja za varčevanje z energijo,
- napajanje: 1,8-5,5 V.

Za delovanje mikrokrmilnika uporabljamo zunanji 16 MHz kristalni oscilator, ki v povezavi z vezjem uporablja dva 22 pF kondenzatorja.

## 2.2 Senzor tlaka

Senzor tlaka Eltratec PPI 110 lahko meri tlak korozivnih in agresivnih medijev (tekočin) in se lahko uporablja za meritev tlaka v cevovodih ali rezervoarjih (slika 1). Senzor PPI 110 pretvarja tlak agresivnih in korozivnih medijev v tok 4–20 mA. Ohišje merilnika in senzor sta izdelana iz nerjavčnega jekla, elektronika v ohišju pa je zalita s posebno smolo, kar povečuje robustnost in zanesljivost merilnika [4]. Tehnične lastnosti senzorja tlaka so:

- napajanje: 9-27 VDC (Voltage Direct Current – dvožični priključek),
- merilno območje: 0-16 bara,
- izhodni signal: 4-20 mA,
- temperatura medija: -30 do 120°C,
- temperatura okolice: -30 do 80°C,
- merilna napaka: 0,1 % merilnega območja.

## 2.3 Modul za hrambo podatkov

Za lokalno hrambo podatkov smo izbrali pomnilniško kartico tipa microSD. Glede na to smo izbrali primerni podatkovni modul, ki za delovanje potrebuje 4,5–5 V napetosti, pomnilniške kartice pa lahko imajo od 2 GB do 32 GB spomina. Bralnik je z mikrokrmilnikom povezan preko vmesnika SPI (Serial Peripheral Interface). SPI uporablja sinhrono dvosmerno serijsko povezavo med mikrokrmilnikom in perifernimi napravami. Deluje na principu gospodar/suženj. Ponavadi je mikrokrmilnik gospodar in upravlja periferne naprave ali module. Bralnik je

z mikrokrmilnikom povezan s štirimi povezavami: MISO (Master Input Slave Output), MOSI (Master Output Slave Input), SCK (Serial Clock) ter SS (Slave Select). MISO in MOSI sta uporabljena za pošiljanje podatkov ali ukazov od gospodarja k sužnju ali obratno, po SCK se pošiljajo sinhronizacijski impulzi. SS je uporabljen za izbiro aktivnega modula s strani gospodarja, kadar je na mikrokrmilnik povezanih več sužnjev [3].



Slika 1: Senzor tlaka Eltratec PPI110.

## 2.4 Modul za uro realnega časa

Časovna značka se izmerjenim podatkom doda z uporabo modula RTC DS3231 za uro realnega časa. Slednji ima dodatno 3 V baterijsko napajanje (CR 2032), kar zagotavlja nemoteno delovanje tudi ob izpadu primarnega napajanja. Modul je z mikrokrmilnikom povezan preko vodila I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit). Uporablja se za povezavo počasnejših perifernih naprav z mikrokrmilniki na kratkih razdaljah. Deluje na principu gospodar/suženj [5]. Tudi v tem primeru je mikrokrmilnik gospodar. Modul je z mikrokrmilnikom povezan preko dveh povezav: SCK (Serial Clock) in SDA (Serial Data). SCK je uporabljena za sinhronizacijo prenosa podatkov med napravami, SDA pa za prenos podatkov.

## 2.5 Komunikacijski modul GSM/GPRS

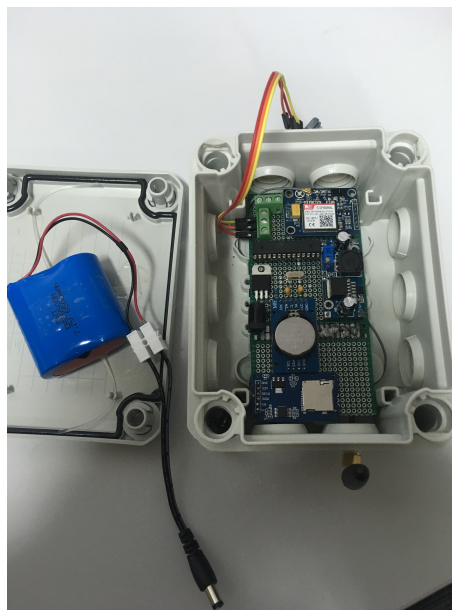
Z uporabo modula GSM, model EVB SIM800L v2.2, registrator pošilja podatke preko GPRS omrežja v centralni nadzorni sistem ter v primeru alarma SMS sporočilo preko omrežja GSM. Modul vsebuje regulatorje napetosti, saj so moduli SimCom serije 800 zelo občutljivi na vhodno napetost, ki mora biti v ozko določenem obsegu. Za uporabljeni modul zadostuje vhodna napetost 5 V. Največjo porabo ima modul v fazi vzpostavljanja povezave, vse do 2 A. Med testiranjem smo imeli nekaj težav zaradi premalo zmogljivega napajalnega vira, kar je povzročalo pogoste ponovne zagone modula in izpad delovanja. Težavo smo odpravili z zamenjavo baterije. Standardno alkalno 9 V baterijo smo zamenjali z baterijami EWT ER26500M, ki zagotavljajo dovolj zmogljiv vir. V modul lahko vstavimo micro SIM kartico. SIM800L upravljamo z ukazi AT, ki jih z uporabo mikrokrmilnika pošiljamo preko serijske povezave. Slednja zaseda dve povezavi: RX (rece-

ive) in TX (transmit). Na mikrokrmilniku Atmega328P lahko za RX in TX določimo različne priključke.

Na komunikacijski modul smo priključili paličasto anteno proizvajalca Taoglas, tip TG.22.0112 za frekvenčno območje 824–2170 MHz. Deluje v GSM, GPRS, CDMA, HSPA, UMTS in EDGE omrežjih. Uporabljeni GSM/GPRS modul za prototip podpira 2G omrežje (GSM), ki deluje na frekvencah 900 in 1800 MHz. Lastnosti te antene v določenih frekvenčnih pasovih opisuje tabela 1.

Tabela 1: Lastnosti antene TG.22.0112

Lastnost	GSM frekvenčni pas	
	880–960	1710–1880
frekvenca delovanja (MHz)	880–960	1710–1880
polarizacija	linearna	
impedanca	50 Ω	
VSWR	<3.5	
prilagoditveno slabljenje (dB)	<-5dB	
izkoristek (%)	70,86	70,47
najvišji dobitek (dBi)	1,93	2,37
povprečni dobitek (dBi)	-1,50	-1,52



Slika 2: Prototip registratorja

## 2.6 Napajalni modul in baterija

Za vir napajanja smo se odločili uporabiti baterijo EWT ER26500M. Baterija je sestavljena iz dveh litijevih 3,6 V celic. Skupna napetost baterije je 7,2 V, kapaciteta baterije je 6500 mAh. Izhodno napetost, potrebno za delovanje prototipa registratorja, reguliramo s stabilizatorji napetosti ali s stikalnim pretvornikom navzgor. Uporabljeni stabilizator je tipa LM7805CV, ki sprejema 7–35 V vhodne napetosti, izhodno napetost pa stabilizira na 5 V, z najvišjim tokom 1 A. Sikalni pretvornik DC-DC navzgor je tipa LM2577. Vhodna napetost je lahko 5–32 V, izhodna pa 6–35 V. Maksimalni izhodni tok je 2 A. Izhodna napetost se regulira s pomočjo vijačnega regulatorja na modulu. Stabilizator uporabljamo za reguliranje napetosti na mikrokrmilniku ter ostalih modulih, stikalni pretvornik navzgor pa za napajanje senzorja tlaka, ki za delovanje potrebuje 14 V napetosti.

## 2.7 Ohišje za vezje in baterijo

Vse komponente smo ustrezno povezali ter pricinili na prototipno vezje. Končno PCB vezje še ni bilo izdelano, saj je pričakovati manjše spremembe in popravke tudi na vezju. Po testiranju bo izdelano končno vezje PCB. Skupno vezje smo namestili v ohišje z zaščito IP67. Baterija je nameščena fiksno na spodnji strani pokrova. Registrator je dovolj kompakten za namestitev v vse tipe obstoječih jaškov. Končni prototip registratorja z vsemi moduli na prototipnem vezju je prikazan na sliki 2.

## 2.8 Programska oprema

Glavni program mikrokrmilnika zajema merjenje analogne vrednosti tlaka, obdelavo merjenih vrednosti, beleženje podatkov na SD kartico in upravljanje GSM/GPRS modula z ukazi AT za prenos podatkov v centralni nadzorni sistem ter pošiljanje sporočila SMS v primeru preseženih vrednosti.

Uporabljen mikrokrmilnik ATmega328P, vsebuje 10-bitni analogno-digitalni pretvornik na šestih različnih vho-  
dih (priključki od 23 do 28). Vhodni signal na tovrstnem priključku lahko predstavimo s 1024 različnimi vrednostmi. Merilnik tlaka PPI 110 deluje na podlagi tokovne zanke v območju 4–20 mA, območje merjenja dejanske vrednosti tlaka pa je od 0 do 16 barov. Enačba 1 predstavlja pretvorbo izmerjene vrednosti na merilnem uporu v bare.

$$p = \frac{(U_{in} - U_{min})(p_{max} - p_{min})}{(U_{max} - U_{min})} + p_{min} \quad (1)$$

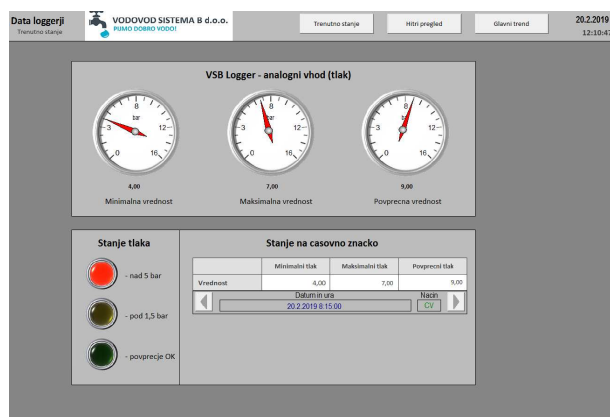
$U_{in}$  predstavlja napetost na analognem vhodu mikrokrmilnika in je med 1 in 5 V.  $U_{min}$  predstavlja najnižjo vrednost vhodne napetosti, torej 1 V,  $U_{max}$  pa najvišjo vrednost vhodne napetosti, torej 5 V. Najnižjo željeno vrednost podaja  $p_{min}$  (0), najvišjo pa  $p_{max}$  (16).

Zaradi večje preglednosti in optimalnejše porabe delovnega pomnilnika smo posamezne dele algoritma zapisali v več funkcij. Kjer je bilo to mogoče, smo uporabili lokalne spremenljivke.

## 2.9 Vključitev v centralni sistem nadzora

Komunikacija med registratorjem in strežnikom v centralnem sistemu poteka preko protokolnega sklada TCP/IP. Javno podjetje Vodovod sistema B ima vzpostavljen zasebni APN (Access Point Name), na katerega se povezujejo vsi uporabniki kartic SIM, ki so uporabljene za telemetrijo. V nadzornem centru se na RADIUS strežnikih za vsako kartico določi uporabniško ime in pripadajoče geslo za dostop do omrežja. Oddaljene merilne naprave imajo dodeljen statični naslov IP, ki omogoča enostavno upravljanje naprav na daljavo. Uporaba privatnega APN je dodaten vidik varnosti, saj se promet med merilnimi napravami in strežniki loči od javnega medmrežja. Dostop do intraneta podjetja je dodatno zaščiten z več ukrepi.

Na strežniku je nameščena storitev za poslušanje na vratih TCP. Storitve smo razvili v programskem jeziku C#, v prostodostopnem razvojnem okolju IDE Visual Studio Community 2017. Razviti servis teče v ozadju operacijskega sistema Windows. Storitve ob prejeti zahtevi za komunikacijo prebere prejete podatke in jih v formatu CSV (Comma Separated Values) zapiše v datoteko. Iz te datoteke program GE Proficy Historian prebere vrednosti ter jih, skladno z nastavitvami, pripiše izbranim spremenljivkam. Za vizualizacijo podatkov z dinamičnimi grafičnimi prikazovalniki in izrisi trendov smo, v okviru sistema SCADA, uporabili program GE Proficy iFix (slika 3).



Slika 3: Trenutno stanje merjenih podatkov.

### 3 Testiranje prototipa regulatorja

Prototip regulatorja smo testirali v nadzorovanem okolju s prilagojenimi komponentami glede na zmožnosti podjetja, v sodelovanju s katerim je prototip nastal. Testiranje je potekalo v pisarnah javnega podjetja Vodovod sistema B. Za merjenje tlaka smo uporabili tlačno posodo, v kateri je bil stisnjen zrak. Senzor smo namestili med dva ventila, s katerima smo nadzorovali izpust zraka ter simulirali padec tlaka v cevovodu. Med testiranjem smo preverili delovanje vseh funkcionalnosti prototipa. Preverili smo lokalno beleženje podatkov na spominsko kartico. Podatki so bili z ustrezno časovno značko pravilno zapisani brez odstopanj. Na strežniku smo preverili pošiljanje oz. prejemanje podatkov. Ti so bili relevantni in enakih vrednosti kot podatki, zapisani na pomnilniški kartici. S simulacijo padca tlaka pod mejno vrednost smo preverili pošiljanje SMS sporočila na izbrano telefonsko številko. Sporočilo je bilo uspešno poslano. Prav tako je bila uspešna lokalna obdelava podatkov na samem regulatorju. Vse funkcionalnosti prototipa so bile potrjene kot delujoče.

### 4 Zaključek

V prispevku smo predstavili prototip avtonomnega regulatorja podatkov, ki lokalno beleži meritve analognega sensorja tlaka, jih obdeluje in brezžično pošilja na oddaljeni strežnik. Funkcionalnosti prototipa so primerljive

s komercialno dobavljivimi regulatorji. Osnovni izziv sta predstavljal dovolj pogosto izvajanje meritev tlaka in obdelava podatkov, ki omogoča zaznavanje hipnih sprememb na vodovodnem omrežju. Z izdelavo regulatorjev po vzoru prototipa in namestitvijo teh na vodovodni sistem bi omogočili optimizacijo delovanja vodovodnega sistema B. Hitrejše zaznavanje sprememb tlaka v vodovodnih ceveh bi omogočilo pravočasno ukrepanje upravljavcev ter preprečilo finančne posledice poškodb sistema.

Prototip bi lahko izboljšali z uporabo mikrokrmilnika, ki bi imel več pomnilnika, kar bi omogočalo zahtevnejšo obdelavo podatkov in daljši interval komunikacije, saj bi se več podatkov lahko hranilo v delovnem pomnilniku. Optimizirati bi bilo potrebno tudi porabo električne energije, kar bi omogočilo avtonomno delovanje regulatorja za daljše časovno obdobje. Trenutna različica hrani podatke na pomnilniški kartici, zato je potreben fizični dostop do bralnika. S podporo tehnologiji Bluetooth bi se lahko popolnoma izognili poseganju v jaške in regulatorje. Ob primernem razvoju omrežja LoRa in NB-IoT bi veljalo nadgraditi tudi komunikacijski modul.

### Literatura

- [1] Tehnični pravilnik na Vodovodu sistema B. Ur. l. RS, 14/2018, str. 2214.
- [2] Atmel Corporation. ATmega328P Datasheet. 2009. Dostopno na: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/ATMega328.pdf>  
Dostopano: [14. 1. 2019]
- [3] Wikipedia. SPI. 2013. Dostopno na: <https://sl.wikipedia.org/wiki/SPI>  
Dostopano: [26. 6. 2019]
- [4] Eltratec d.o.o. Tehnični list Merilnik tlaka PPI 110. Sveti Jurij ob Ščavnici: Eltratec, trgovina, proizvodnja in storitve d.o.o., 2010. Dostopno na: [http://www.eltratec.com/datoteke/tehni%C4%8Dni%20listi/PPI110\(P01-01-01-002\).pdf](http://www.eltratec.com/datoteke/tehni%C4%8Dni%20listi/PPI110(P01-01-01-002).pdf)  
Dostopano: [21. 12. 2018]
- [5] Wikipedia. I2C. 2019. Dostopno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>  
Dostopano: [26. 6. 2019]