

Integrirani senzorski čvor za preventivnu kontrolu i mjerenje kota odbrane od poplava i visine poplavnih talasa

Božidar Popović, Nataša Popović
 Studijski program automatika i elektronika
 Elektrotehnički fakultet
 Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina
bozidar.popovic@etf.unssa.rs.ba,
natasa.popovic@etf.unssa.rs.ba

Saša Avakumović
 JU „Vode Srpske“
 Bijeljina, Bosna i Hercegovina
savakumovic@gmail.com

Sadržaj — U ovom radu je opisana jedna konfiguracija integriranog senzorskog čvora za kontrolu i mjerenje kota odbrane od poplava, kao i mjerenje nivoa poplavnih talasa. Konfiguracija senzorskog čvora je modularna i fleksibilna tako da je moguće predvidjeti i relizovati mjerenja za dodatne kote u cilju detaljnijeg prikaza vodostaja na rijekama, rječicama i potocima u riječnim slivovima kako bi se dobio ukupan bilans voda u slivu, kao i dodatna mjerenja atmosferskih pojava na mikro lokaciji senzorskog čvora. Ovakvo rješenje pruža mogućnost praćenja trendova rasta i opadanja nivoa i protoka u zavisnosti od vremenskih prilika. Senzorski čvor je realizovan na Arduino MEGA2560 platformi.

Ključne riječi – senzorski čvor, kote odbrane od poplava, vodostaj

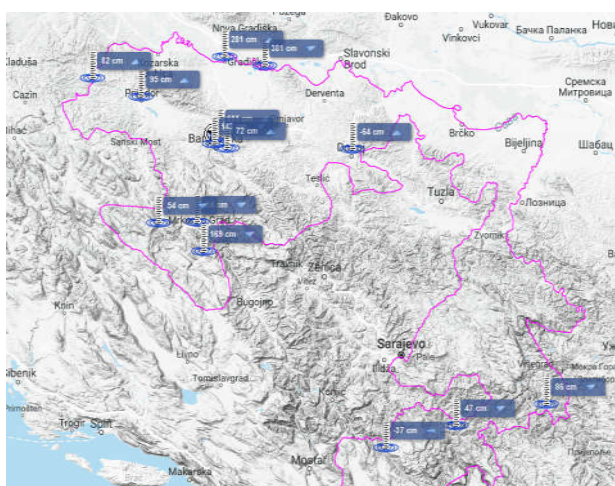
I. UVOD

U današnje vrijeme na prostoru Republike Srpske, Bosne i Hercegovine kao i u okruženju postoji organizovano praćenje hidroloških promjena kroz redovna mjerenja vodostaja velikih rijeka na više lokacija od kojih je danas samo nekoliko funkcionalno, Slika 1. Iako postoji organizovano praćenje hidroloških promjena, postoje problemi koji nisu adekvatno

riješeni što se pokazalo u maju 2014. godine kada je ovo područje zajedno sa zemljama u okruženju zahvaćeno poplavama velikih razmjera u riječnom slivu rijeke Save. Obim ovih poplava je prikazan sa Slici 2.

U Republici Srpskoj postoji veliki broj malih bujičnih tokova sa relativno velikim uzdužnim padom korita koje su uzročnici bujičnih poplava koje često imaju destruktivni uticaj na okolinu za razliku od poplava izazvanih u većim riječnim tokovima. Pod pojmom bujičnog toka obično se podrazumijeva tok koji ima površinu sliva manju od 100 km² [1]. U ovim riječnim tokovima nije implementirano automatsko mjerenje vodostaja. Mjerenjem nivoa vode (vodostaja) i trenda promjene, te atmosferskih prilika, može se preventivno djelovati kroz sistem uzbunjivanja i upozoravanja. Integrirani senzorski čvor predložen u ovom radu je predviđen za ranu detekciju promjene vodostaja koji je povezan s protokom i trenda promjene kako u velikim, tako i u manjim rijekama i njihovim pripadajućim slivovima, i predstavlja efikasno niskobudžetno rješenje.

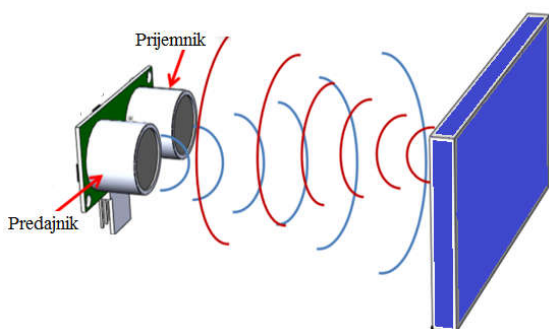
Rad je organizovan na sljedeći način. U drugom poglavlju opisano je mjerenje vodostaja u riječnim slivovima, dok je u trećem poglavlju opisana priroda poplava i konfiguracija senzorskog čvora. U četvrtom poglavlju prikazana je integracija senzorskih čvorova u jedinstvenu akvizicionu mrežu i prikazana je njena arhitektura. Na kraju su dati zaključci rada.



Slika 1. Prikaz vodostaja u Republici Srpskoj [2]



Slika 2. Obim poplava iz 2014. godine [5]



Slika 3. Princip rada na kome je zasnovano mjerenje nivoa vode

II. MJERENJE VODOSTAJA U RIJEČNIM SLIVOVIMA

Mjerenje nivoa vode se može posmatrati kroz mjerenje nivoa stajaćih voda (u rezervoarima, bunarima, jezerima, površinama sa stajaćom vodom) i mjerenje nivoa tekućih voda na otvorenim tokovima u pripadajućim riječnim slivovima. Tehnike mjerenja su različite s tim da se mogu izdvojiti dvije koje su upotrebljive za oba slučaja, a koje su bazirane na principu odbijanja emitovanih talasa od kontrolisanu površinu:

- mjerenje nivoa ultrazvučnim sensorom,
- mjerenje nivoa radarskim sensorom.

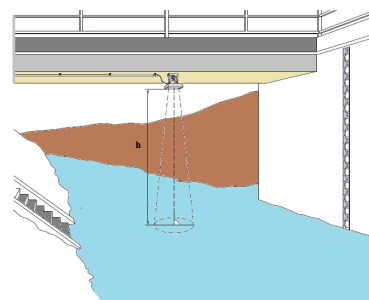
Za mjerenje nivoa površinskih voda namijenjeni su ultrazvučni i radarski senzori za mjerenje nivoa bez kontakta sa vodom.

Ultrazvučni senzori (US - *Ultrasonic Sensor*) emituju zvučne talase visoke frekvencije koji se odbijaju od površinu vode i vraćaju nazad senzoru. Na odgovor senzora utiču razne pojave, kao što su turbulencija, pjena formirana na površini vode, vodena para i promjene u koncentraciji vode [3]. Za ispravan prijem odbijenog zvučnog talasa neophodno je pravilno postaviti sensor u prostoru, pri čemu treba izbjegavati objekte u njegovoj okolini koji mogu dovesti do distorzije eho signala. Ultrazvučni senzori nivoa su jeftini i visoko funkcionalni.

Radarski senzori (RLS - *Radar Level Sensor*) koriste impulsnu radarsku tehnologiju za određivanje nivoa, odnosno koriste elektromagnetne talase umjesto molekula vazduha za prenos energije koji prodiru u zagrijane slojeve vazduha i slojeve vodene pare, a mogu se koristiti i u vakuumu. Elektromagnetni talasi se odbijaju od površine sa visokim stepenom provodnosti kao što je voda [4]. Za svoj rad koriste različite frekvencije. Što je veća frekvencija, senzor je precizniji i skuplji. Senzori ove vrste su otporni na promjenu temperaturnih uslova okruženja, zagađenosti vode, zamućenosti, koncentraciju sedimentnih naslaga, itd.

Talas koji emituje senzor za mjerenje vodostaja se odbija od površinu vode i kao eho signal vraća se senzoru, Slika 3. Nivo vode h proporcionalan je vremenu t za koje talas pređe put predajnik-kontrolisana površina-prijemnik krećući se brzinom v :

$$h = v \frac{t}{2} \quad (1)$$



Slika 4. Montaža senzora na postojeći infrastrukturni objekat i senzorski čvor sa alternativnim izvorom napajanja

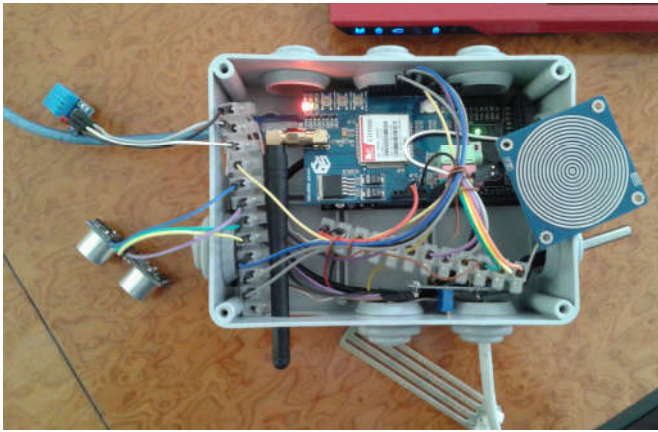
Mjerenjem nivoa vode u vodotoku može se dobiti informacija o protoku ako je poznat i definisan poprečni profil riječnog korita gdje se izvodi mjerenje. Informacija o protoku je bitna za dalje analize poplavnih događaja.

Zavisno od konfiguracije obala, utvrda, propusta i slično, senzori se mogu montirati na postojeće građevine ili na nosive stubove ako se mjesto nalazi u ruralnim oblastima u kojima nema infrastrukturnih objekata u vodozaštitnoj zoni, Slika 4. U ovom drugom slučaju senzoru je potrebno obezbijediti alternativni izvor napajanja.

III. KONFIGURACIJA INTEGRISANOG SENZORSKOG ČVORA

Poplava kao prirodna nepogoda je posljedica određenih prirodnih pojava ili posljedica izazvana djelovanjem ljudskog faktora. U grupu prirodnih pojava koje mogu izazvati poplave ubrajaju se padavine u obliku kiše, snijega ili kombinacija ove dvije meteorološke pojave. Ljudski faktor utiče posljedično kroz aktivnosti koje se u vodozaštitnoj zoni, odnosno riječnom koritu, obavljaju legalno ili nelegalno (nelegalnom gradnjom poslovno-stambenih objekata, mijenjanjem strukture riječnog korita, krčenjem rastinja, oblikovanjem sprudova, bazena i slično). Poplava kao nepogoda nema ograničen period trajanja. On se može posmatrati kroz segment poplava izazvanih bujičnim rijekama, kada ima relativno kratak i destruktivan period trajanja od nekoliko sati, i kroz segment poplava izazvanih izlivanjem velikih rijeka, kod kojih se poplave generišu i traju danima pa i sedmicama [1], [6], [7], [15].

Uopšteno govoreći, mjerenje vode u riječnim koritima u periodu bujične poplave je skoro neizvodljivo jer za vrijeme ove prirodne nepogode u korito uz vodu dopijeva i znatna količina muljnog nanosa, kao i drugi predmeti koji su isprani iz riječnog korita i vodoutvrđnih nasipa (PVC ambalaža,



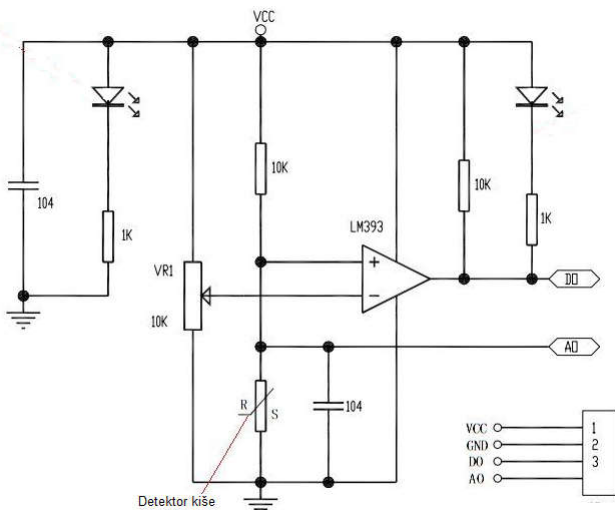
Slika 5. Senzorski čvor

dijelovi drveća, industrijski otpad). Zbog toga su razvijene procedure i metode za analizu karakteristika riječnih slivova uzimajući u obzir klimatske, zemljišno-florne, erozione, reljefne, geološke i hidro-pedološke karakteristike.

Imajući u vidu teškoće koje se javljaju pri mjerenju nivoa vode u riječnim slivovima razvijen je integrisani senzorski čvor na Arduino platformi, čije su komponente date na Slici 5.

Senzorski čvor treba da mjeri četiri fizičke veličine: nivo vodostaja, temperaturu, relativnu vlažnost i intezitet svjetlosti. Nivo vodostaja se mjeri na klasičan način sa dva (tri u toku testa) *on/off* senzora nivoa postavljena na poznate kote za redovnu i vanrednu odbranu od polava. Na ovaj način su obezbijedene informacije o kotama za redovnu i vanrednu odbranu od poplava, koje je odredio Republički hidrometeorološki zavod za veće vodotoke i koje su definisane u Naredbi o glavnom operativnom planu odbrane od poplava za 2016. godinu [8].

Kontinualno mjerenje nivoa ostvareno je ultrazvučnim senzorom HC-SR04 (mjerni opseg 2cm ÷ 450cm, rezolucija 0.3cm) tako da je dobijena i informacija o trendovima promjene vodostaja. U senzorski čvor je integrisan sensor

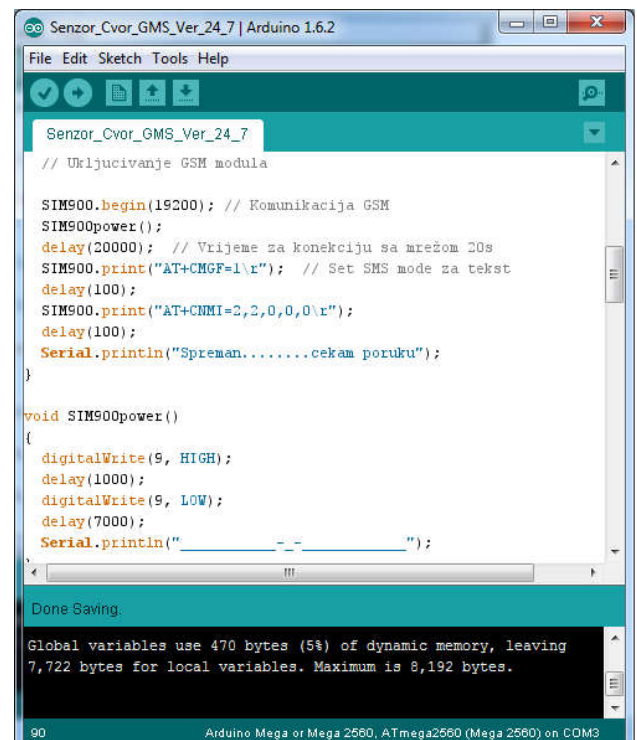


Slika 6. Šema vezivanja senzora za detekciju padavina

padavina (Slika 6), foto otpornik, senzori temperature DS18B20 i vlage AM2302 DHT22.

Pored toga, senzorski čvor treba da ima informaciju o funkcionalnosti senzora, tj. da li senzori funkcionišu na odgovarajući način ili su iz nekog razloga van funkcije. Drugim riječima, senzorski čvor treba da ima informaciju o ispravnosti senzora i validnosti informacija koje obezbjeđuje. Očitavanje stanja o mjenjenim veličinama se obavlja u jednakim vremenskim intervalima. Pri pojavi prve vanredne situacije vezane za kotu redovne odbrane od poplava, senzorski čvor počinje samoinicijativno da šalje informacije u nadzorni centar, kao i osobama za koje je to od interesa na personalni mobilni uređaj.

Za realizaciju senzorskog čvora korišćen je mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 Board ATmega2560 sljedećih karakteristika: radni napon 5VDC, 54 digitalna I/O ulaza od kojih su 15 PWM izlazi, 16 analognih ulaza, 256KB fleš memorije (od koje je 8KB zauzeto bootloader-om), 8KB SRAM, 4KB EEPROM, klok 16MHz [9]-[12]. Za komunikaciju je korišćen SIM900 Quad-band GSM/GPRS Shield koji je kompatibilan sa Arduino okruženjem [13], [14]. Koristi se za slanje poruka o stanju senzorskog čvora i mjerenjima pri pojavi prekida (promjene stanja) samostalno ili na prozivku iz nadzornog centra. Korisnik može odabrati SIM karticu operatera koji mu pruža najbolju ponudu sagledanu kao kompromisno rješenje pokrivenosti i cijene usluge. U akvizicionom sistemu se mogu koristiti i usluge (mreže) više mobilnih operatera. Napajanje senzorskog čvora je obezbijedeno baterijom 12VDC, 7.2Ah, a održavanje (punjenje) baterije se ostvaruje solarnim panelom snage od



Slika 7. Konfiguracija GSM/GPRS modula

100W. Senzorski čvor je vezan na bateriju preko DC/DC konvertora.

Razvijeni senzorski čvor je realizovan kao niskobudžetno, fleksibilno, nadogradivo i funkcionalno rješenje. Korišćenjem GSM mreže (za slanje podataka) raspoloživih mobilnih operatera, te baterijskog napajanja, senzorski čvor se može postaviti gotovo u sve riječne tokove gdje postoji pokrivenost signalom GSM mreže. Konfigurisanje GSM/GPRS modula prikazano je u dijelu koda interpretiranog u softverskom okruženju za programiranje Arduino mikrokontrolera, Slika 7.

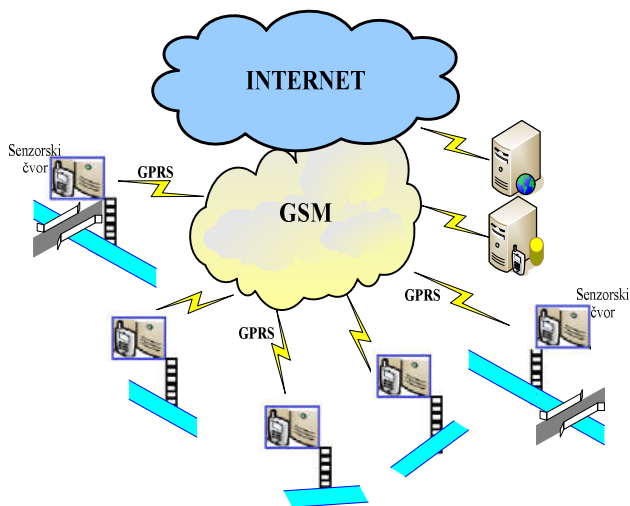
Senzorski čvor je nadogradiv, kao što je rečeno, tako da se u nedostatku komunikacije, odnosno prekida komunikacije, mjerenja mogu pohraniti na mikro SD karticu, integriranjem Micro SD Storage Board modula.

Predviđeno je i izvedeno labaratorijsko testiranje senzorskog čvora sa tri alarmna nivoa vezana za kote iako su zakonom definisana samo dva. Pored kota za redovnu i vanrednu odbranu od poplava, može se definisati i kota evakuacije, sa sistemima sirena i bljeskalica za uzbuđivanje i obavješćavanje stanovništva. Za sve alarmne nivoe mogu se definisati različiti oblici poruka koje će se proslijediti u nadzorni centar. Takođe, moguće je definisati i odrediti na koliko destinacija i u kom obimu se prosljeđuju poruke i kojih su prioriteta.

IV. INTEGRISANJE SISTEMA

Imajući u vidu brdsko-planinski reljef Republike Srpske i Bosne i Hercegovine i uzimajući u obzir veliki broj malih tokova koji imaju izrazito bujični karakter u kojima ne postoji automatsko mjerenje vodostaja, koji akumulativno dovode po povećanja vodostaja u velikim rijekama, potrebno je postaviti senzorske čvorove koji se trebaju povezati u jedinstvenu akvizicionu mrežu čija je arhitektura prikazana na Slici 8. Na ovakav način akvizicioni sistem senzorskih čvorova postaje dio globalnog sistema IoT (*Internet of Things*) [16].

Povezivanje senzorskih čvorova u jedinstvenu mrežu ostvareno je korišćenjem GSM/GPRS [17]-[19]. GSM modul



Slika 8. Integracija sistema

se softverski podešava tako što se definišu svi telefonski brojevi SIM kartica koje su ugrađene u senzorski čvor, kao i brojevi SIM kartica na koje će se proslijediti poruka iz senzorskog čvora sa sadržajem koji predstavlja izmjereno stanje mjerenih veličina na senzorskom čvoru. Primjer koda za slanje stanja vodostaja je dat u Listingu 1.

LISTING 1. KOD ZA SLANJE STANJA VODOSTAJA

```
{
  SIM900.print("AT+CMGF=1\r");
  delay(100);
  SIM900.println("AT + CMGS = \"+38765694438\"");
  delay(100);
  SIM900.println("Trenutni vodostaj u cm je:");
  delay(100);
  SIM900.println(vodostaj);
  delay(100);
  SIM900.println((char)26);
  delay(100);
  SIM900.println();
  delay(5000);
}
```

Mjerenja sa svih lokacija se mogu integristai u jedinstvenu bazu podataka. Serverom povezanim na Internet mjerenja se mogu prikazati na Google mapama, čime se povećava transparentnost i preglednost stanja trenutnih vodostaja. GPRS je odabran jer se koristi postojeća razvijena GSM mreža na cijeloj teritoriji Republike Srpske, koja komunikaciju čini sigurnom i pouzdanom i obezbjeđuje adekvatnu pokrivenost.

Komunikacija u zatvorenom sistemu radio mreže je takođe moguća ali se mora voditi računa da se radi o ruralnom području i da bi se u tom slučaju morali koristiti primopredajnici sa značajnom snagom koja je neophodna da bi se pokrio prostor svih riječnih slivova. Za ovakavu radio mrežu su potrebne dozvole za korišćenje koje bi se trebale dobiti od nadležnih institucija.

Učestanost mjerenja se može softverski definisati, tako da je, u periodu kada je stanje vodostaja redovno, dovoljno vršiti mjerenje jednom dnevno. Pojavom prve promjene stanja mjerenja se mogu intenzivirati na satni ili minutni interval. Količina poslatih podataka je mala, tako da njihov prenos ne iziskuje značajnije finansijske troškove.

V. ZAKLJUČAK

Predloženo rješenje pruža mogućnost jednostavnog širenja mreže i na manje riječne tokove u cilju sveobuhvatne hidrološke slike. Senzorski čvor je realizovan modularno tako da se po potrebi može uraditi i nadogradnja sistema, prvenstveno sredstvima za upozoravanje i uzbuđivanje, integracijom svjetlosnih bljeskalica i zvučnih sirena u senzorski čvor. Ovako realizovan senzorski čvor može poslati informaciju i na više adresa, tako da pored sveobuhvatnog pregleda i integraciji u postojeće rješenje Republičkog hidrometeorološkog zavoda, informacija može biti poslata i u druge institucije (lokalne zajednice, centre civilne zaštite, itd.)

Ovaj rad predstavlja početak istraživanja autora u oblasti razvoja njenih uređaja iz oblasti hidrometeorologije. U budućem radu je planiran razvoj Web orijentisane aplikacije, koja će pored informacija o vodostaju imati dostupne informacije o temperaturi, relativnoj vlažnosti, stanju prirodnih padavina, intezitetu svjetlosti i temperaturi vode u riječnom toku. Drugi pravac u nastavku istraživanja autora predstavlja realizacija senzorskog čvora proširenjem funkcionalnosti postojećeg kroz njegovu nadogradnju tako da se senzorski čvor može koristiti za mjerenje parametara kvaliteta vode u riječnim tokovima.

LITERATURA

- [1] Metodologija za izradu planova za odbranu od bujičnih poplava na vodotocima na kojima nema objekata za zaštitu od štetnog dejstva voda, Beograd, 1998.
- [2] Republički hidrometeorološki zavod Republike Srpske, <http://rhmzrs.com>
- [3] M. Popović, Senzori i mjerenja, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Srpsko Sarajevo, 2014.
- [4] Operating instructions Radar Level Sensor, OTT Hydromet GmbH, 2015, www.ott.com
- [5] Savjet ministara BiH, Akcioni plan za zaštitu od poplava i upravljanje rijekama u BiH 2014-2017, Sarajevo, novembar 2014.
- [6] Z. Đuroković, D. Biondić, S. Sitar, Poplave i zaštita od poplava u republici Hrvatskoj i uloga i značenje glavnog centra odbrane od poplava, Hrvatske vode, 2012.
- [7] http://www.cci.ba/dokumenti/Analiza_B5.pdf
- [8] Službeni glasnik Republike Srpske broj 7 od 5.2.2016.
- [9] <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>
- [10] http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf
- [11] <http://www.inhaos.com/uploadfile/otherpic/DS-Mega2560-CORE-V01-EN.pdf>
- [12] <https://dSPACE.CVUT.CZ/bitstream/handle/10467/65602/F2-BP-2016-Lexmann-Robert-priloha-4-ArduinoMega2560.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [13] <http://www.tinyosshop.com/datasheet/GSM%20Shield%20Datasheet.pdf>

- [14] <http://www.robotshop.com/media/files/PDF/gprs-shield-sld33149p.pdf>
- [15] A. Milanović, M. Urošev, D. Milijašević, Poplave u Srbiji u periodu 1999-2009. godine – hidrološka analiza i mere zaštite od poplava, Glasnik srpskog geografskog društva, sv. XC, br. 1. 2010.
- [16] Internet of Things: Wireless Sensor Networks, White Paper, IEC
- [17] M.Xu, L. Ma, F. Xia, T. Yuan, J.Qian, M. Shao, Design and implementation of wireless sensor network for smart homes, DOI: 10.1109/UIC-ATC.2010
- [18] W. Ning, Q.Z. Nai, H.W. Mao, Wireless sensors in agriculture and food industry - Recent development and future perspective, Computers and Electronics in Agriculture, vol. 50, pp. 1–14, 2006
- [19] M.Mafuta, M. Zennaro, A. Bagula, et al, Successful deployment of wireless sensor network for precision agriculture in Malawi, International Journal of Distributed Sensor Networks, Volume 2013, Article ID 150703, 2013

ABSTRACT

This paper describes an integrated sensor node configuration for controlling and measuring the flood protection elevation, as well as the height of the flood wave. Configured sensor node is modular and flexible so it is possible to predict and implement measurements for additional elevations in order to display more detailed water level values in the river basin and to obtain total water balance in basin, as well as additional measurements of atmospheric phenomena at the micro location of the sensor node. This solution provides the ability to track trends in water level and flow increase and decrease depending on the weather conditions and the measured elevations in the belonging river basin area. The sensor node is realized with Arduino MEGA2560 platform.

INTEGRATED SENSOR NODE FOR PREVENTIVE CONTROL AND MEASUREMENT OF FLOOD ELEVATION AND HEIGHT OF THE FLOOD WAVE

Božidar Popović, Nataša Popović, Saša Avakumović