



## PREGLED ISKUSTAVA NA PLANU PRIMENE INTELIGENTNIH SENZORA I BEŽIČNIH SENZORSKIH MREŽA U POLJOPRIVREDI

Tokom poslednje decenije, u okviru istraživanja u Laboratoriji za računarsku tehniku, Fakulteta tehničkih nauka u Čačku značajno mesto zauzima istraživanje na planu inteligentnih senzora i senzorskih mreža. Pri tome je posebna pažnja posvećena primeni ovakvih sistema u poljoprivredi i zaštiti životne sredine. Kao rezultat istraživanja razvijeno je nekoliko uređaja i sistema čije su mogućnosti primenjene u praksi. U ovom dokumentu daće se pregled rezultata koji su na planu inteligentnih senzora i senzorskih mreža ostvareni u Laboratoriji za računarsku tehniku.

### Bežična agrometeorološka stanica

Bežična agrometeorološka stanica je sistem namenjen za praćenje meteoroloških i nekih parametara od interesa za zaštitu bilja u zasadima povrća, voća i vinogradima. Prihvaćeni podaci mogu se sa stanice bežično preneti do centralnog računara na kome se mogu pamtiti, analizirati i po potrebi obrađivati. Povezivanjem centralnog računara na Internet u funkciji WEB servera moguće je prihvaćene i obrađene podatke distribuirati do svih zainteresovanih.

Sistem je realizovan na principu samoinicijalizacije po uključanju, automatskom uspostavljanju GPRS veze sa WEB serverom, samoindikacijom položaja putem GPS prijemnika i uspostavljanjem sinhronizacije sa satom realnog vremena na serveru. Baterijsko napajanje sistema uz mogućnost dopunjavanja baterije pomoću fotonaponskog panela obezbeđuju uređaju autonoman rad. U slučaju napajanja samo iz baterije moguć je autonoman rad u periodu do 3 dana. Watchdog tajmer obezbeđuje restartovanje uređaja ukoliko dođe do blokiranja programa.

Uređaj periodično prikuplja podatke sa senzora temperature, relativne vlažnosti kao i sliku sa CMOS kamere i obezbeđuje njihovo prenošenje do WEB servera gde se vrši njihovo pamćenje. Sistem se lako može nadgraditi dodatnim sensorima za praćenje i drugih meteoroloških parametara odnosno fizičko – hemijskih parametara vazduha i zemljišta.

Uređaj za svoj rad zahteva pokrivenost prostora u kome se koristi signalom mobilne telefonije. S obzirom da je pokrivenost teritorije Republike Srbije mrežom mobilne telefonije relativno visoka obezbeđeni su dobri uslovi za korišćenje bežične agrometeorološke stanice.

U inicijalnoj verziji sistem je realizovan kao samostalni senzorski čvor na bazi modula Telit GM862GPS, koji pored GPS prijemnika poseduje mogućnost GSM/GPRS komunikacije sa okruženjem. Inicijalno, korišćeni senzori su priključivani direktno na mikrokontroler modula GM862GPS preko UART serijske veze (slika 1).



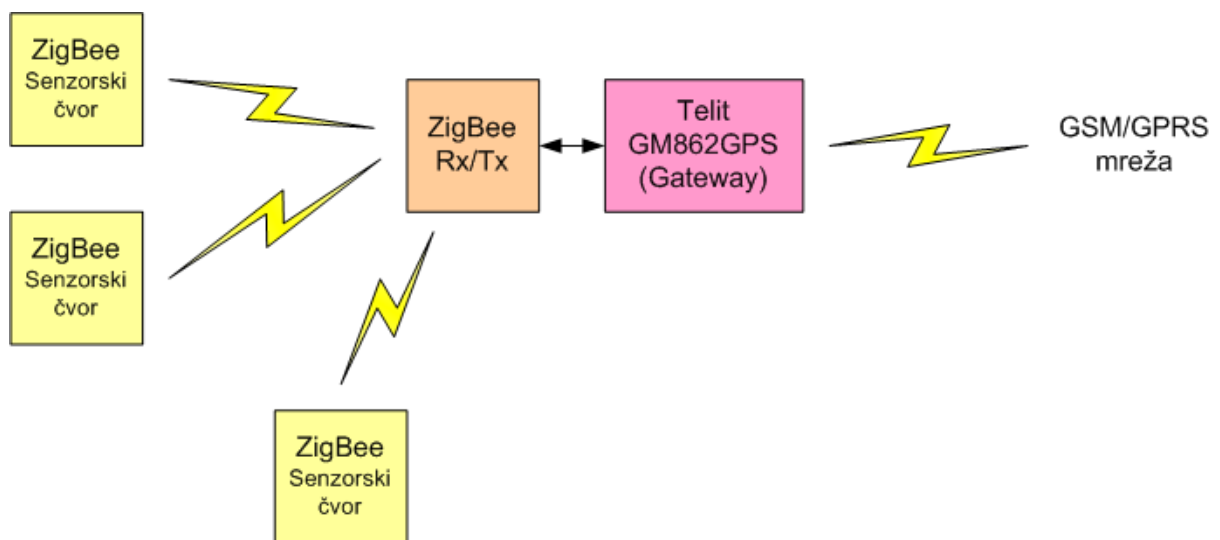
Slika 1. Blok šema agrometeorološke stanice

U daljem razvoju ovog tipa senzorskog čvora razmatrana je mogućnost dodavanja posebnog mikrokontrolera kao ulaznog uređaja, čime bi se omogućilo priključivanje i drugih senzora uz istovremeno oslobađanje mikrokontrolera modula GM862GPS i njegovo korišćenje isključivo za realizaciju komunikacionih funkcija (slika 2).



Slika 2. Blok šema modifikovane agrometeorološke stanice

Pored korišćenja modula GM862GPS kao izolovanog senzorskog čvora sa mogućnošću GSM/GPRS komunikacije sa WEB serverom, ovaj čvor se može, dodavanjem ZigBee primopredajnika koristiti i kao mrežni prenosnik (gateway) između ZigBee mreže i Interneta (slika 3).



Slika 3. Struktura agrometeorološke stanice na bazi ZigBee senzorske mreže

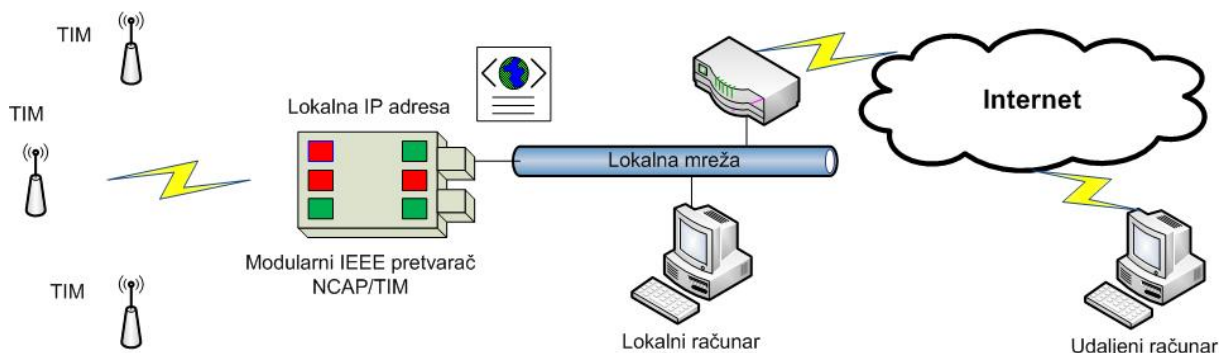
Varijacije u realizaciji agrometeorološke stanice pružaju mogućnosti za istraživanja na planu razvoja senzorskih čvorova i mrežnog prenosnika.

### Modularni IEEE 1451 pametni pretvarač – mrežni distributer

Modularni IEEE 1451 pametni pretvarač/mrežni distributer predstavlja gradivni element mreža pametnih pretvarača koji na zahtev klijenta po IEEE 1451 standardu distribuira izmerene vrednosti sa priključenih senzora. Modularnost uređaja ogleda se u mogućnosti dodavanja različitih senzora na uređaj bez potrebe za hardversko – softverskim intervencijama od strane korisnika.

Uređaj je projektovan kao modularna platforma, kod koje se izborom senzora, tipa mikrokontrolera i izvora napajanja uređaj vrlo lako može prilagoditi željenoj aplikaciji, bez potrebe reprogramiranja uređaja od strane korisnika. Uređaj poseduje mogućnost

komunikacije preko više digitalnih magistrala na koje se mogu priključiti različiti senzori i aktuatori. Takođe, na uređaj se mogu priključiti i analogni senzori i aktuatori preko odgovarajućih analognih ulaza/izlaza. Uređaj može imati dve uloge u mreži pametnih pretvarača, kao mrežni posrednik NCAP (Network Capable Application Processor) ili pametni pretvarač TIM (Tranducer Intelligent Module). Komunikacija između pametnih pretvarača i mrežnog posrednika odvija se preko radio primopredajnika kompatibilnog sa IEEE 802.15.4 standardom, koji se odlikuje malom potrošnjom energije i velikom otpornošću na interferencije od drugih bežičnih mreža. Mrežni posrednik je predviđen za povezivanje mreže pametnih pretvarača sa korisnikom putem Ethernet mreže (slika 3).



Slika 3. Blok šema upotrebe modularnog IEEE 1451 pretvarača

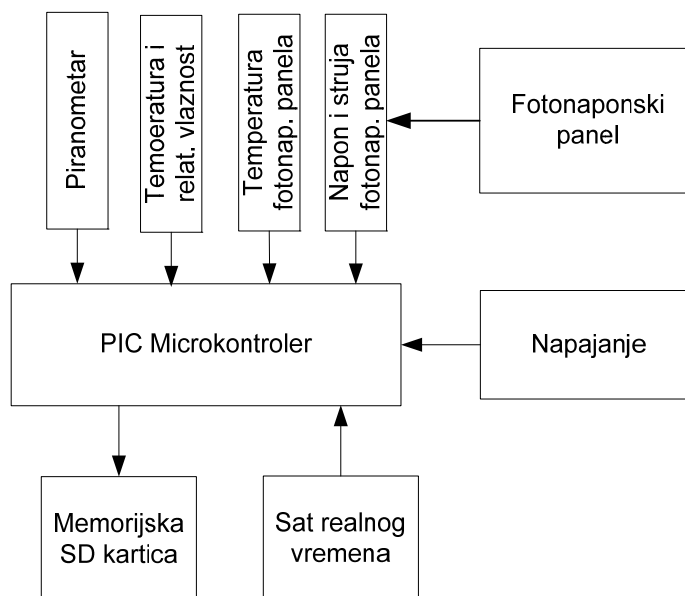
Uređaj se može napajati preko punjive baterije koja se puni preko fotonaponskog panela ili iz distributivne mreže preko odgovarajućeg adaptera ili preko USB konektora računara. Pravilnim dimenzionisanjem fotonaponskog panela prema lokaciji na kojoj će uređaj biti postavljen može se postići praktično neograničena autonomija rada. Uređaj poseduje i sigurnosni „watchdog tajmer“ koji omogućuje da uređaj u havarijskim uslovima sam povрати potpunu funkcionalnost.

Softver je realizovan da podrži modularnost hardvera sa mogućnošću proširenja prihvatljivih senzora kroz dopunjene verzije softvera.

### Sistem za praćenje meteoroloških i električnih parametara u fotonaponskim sistemima za napajanje bežičnih senzorskih uređaja

Radi se o uređaju za praćenje meteoroloških i električnih parametara u fotonaponskim sistemima namenjenim za napajanje bežičnih senzorskih uređaja. Realizovani sistem sastoji se od mikrokontrolera koji upravlja procesom merenja, piranometra za merenje intenziteta sunčevog zračenja, senzora za merenje temperature i vlažnosti vazduha i podsistema za merenje električnih parametara u fotonaponskom sistemu (slika 4).

Pored pomenutih deo sistema čini sat realnog vremena i memorijska kartica za čuvanje podataka. Praćenjem rezultata merenja dobijaju se vrednosti potencijala sunčevog zračenja na odgovarajućim lokacijama koje mogu biti iskorišćene u projektovanju sistema koji se napajaju solarnom energijom. Takođe, praćenjem električnih parametara u fotonaponskom sistemu omogućava optimizaciju komponenti fotonaponskog sistema, kako bi se povećala efikasnost i autonomija sistema. Uređaj je realizovan tako da može samostalno vršiti proces merenja i rezultate čuvati u tekstualnim fajlovima na memorijskoj kartici. Proces merenja se periodično ponavlja u predefinisanim vremenskim intervalima i nizovi izmerenih vrednosti se dodaju kao novi redovi u tekst fajlove.



Slika 4. Blok šema uređaja

Prikupljeni podaci se prenose jednostavno prebacivanjem memorijske kartice iz uređaja u čitač kartica personalnog računara. Formiranje podataka za dalju upotrebu i naprednu analizu ostvareno je preko korisničke aplikacije koja je data kao podrška uređaju, a namenjena je za korišćenje na računaru. Data aplikacija podrazumeva učitavanje tekstualnih fajlova u kojima se nalaze podaci, sortiranje podataka po datumu merenja i predstavljanje istih u tabelarnoj formi Excel dokumenta.

### SMS pastir

SMS Pastir je uređaj namenjen za lociranje objekata u otvorenom prostoru. Uređaj je prvenstveno namenjen za lociranje domaćih i divljih životinja, ali se može koristiti i za lociranje ljudi, prevoznih sredstava, modela na daljinsko upravljanje i drugih objekata koji u mogu menjati svoj položaj. Uređaj je mobilan, malih dimenzija i poseduje baterijsko napajanje koje mu pruža višednevnu autonomiju (slika 5). Uređaj se može koristiti u više režima rada: za lociranje objekata koji napuste definisan prostor ili lociranje objekata u slobodnom prostoru u odnosu na predefinisane referentne tačke. Uređaj za interakciju sa korisnikom koristi SMS poruke čime se od korisnika ne zahteva poznavanje rada na računaru, pristup Internetu ili sl. Uređaj za svoj rad zahteva pokrivenost prostora, u kome se koristi, signalom mobilne telefonije. S obzirom da je pokrivenost teritorije Republike Srbije mrežom mobilne telefonije relativno visoka obezbeđeni su dobri preduslovi za korišćenje ovakvog uređaja u praksi.

Centralni deo uređaja **SMS pastir** čini TELIT GM-862GPS modul. Ovaj modul predstavlja GSM/GPRS modem, koji radi u sva četiri opsega mobilne mreže (850/900/1800/1900 MHz). Pored prenosa audio signala i SMS poruka, ovaj modem poseduje TCP/IP stek koji mu omogućava prenos podataka preko GPRS servisa. Takođe, uređaj je opremljen i dvadeseto – kanalnim SiRFstarIII™ GPS prijemnikom koji mu omogućava tačnost pozicioniranja od 2.5 metara. TELIT GM-862GPS modul sadrži 13 digitalnih ulazno/izlaznih pinova opšte namene, kao i jedan analogni ulaz. Komunikacija sa TELIT GM-862GPS modulom odvija se preko UART serijske veze brzinama do 115200 bps. Modul za svoj rad zahteva napajanje u opsegu od 3.2 do 4.5V i najčešće je napajan preko punjivih

litijumskih – jonskih baterija (Lithium – Ion или Lithium – Polymer). TELIT GM-862GPS modul može raditi u dva režima rada, kao AT modem kojim se komanduje preko eksternog mikrokontrolera ili računara putem UART serijske veze ili kao nezavisan mikrokontroler kojim se upravlja pomoću programskog skripta napisanog u Python programskom jeziku.



*Slika 5. Unutrašnjost uređaja SMS pastira*

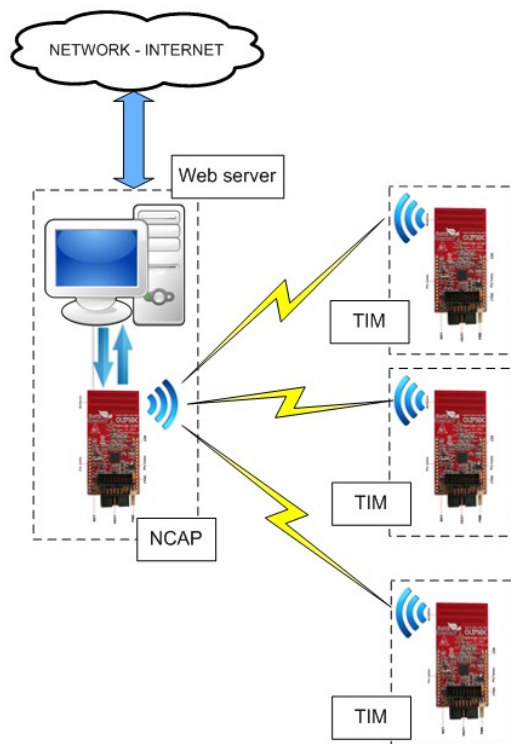
Softver uređaja SMS pastira napisan je u skript jeziku Python, koji kontroliše interne delove Telit GM-862GPS modula. Python skript poseduje nizak prioritet u odnosu na osnovne poslove Telit GM-862GPS modula vezane za GSM prenos. Po uključanju, nakon inicijalacije, GSM-a Telit GM-862GPS modul pokreće skript.

Uređaj može biti programiran da radi u jednom od dva načina rada. Može se koristiti za lokalizaciju životinja koje se nalaze u ograđenim pašnjacima ili za lokalizaciju životinja koje su slobodno kreću po pašnjacima, šumama i proplancima. U oba načina rada uređaj obaveštava korisnika SMS porukom kada se baterija isprazni, pri čemu korisniku javlja GPS lokaciju uređaja kako bi što locirao uređaj i priključio ga na punjač.

### **Bežična senzoraska mreža za praćenje mikroklimatskih parametara u plastenicima**

Ovim tehničkim rešenjem predstavljena je bežična senzorska mreža zasnovana na uređajima male potrošnje energije za praćenje mikroklimatskih parametara. Pod njima se podrazumevaju parametri okruženja u različitim varijantama zatvorenih prostora kao što su npr. plastenici za povrtarsku proizvodnju. Prikupljeni podaci se prenose sa senzorskog uređaja bežičnim putem do centralnog uređaja koji igra ulogu posrednika između mreže i računara. Centralni uređaj je povezan sa računarom na koji se prenose podaci koji mogu biti preuzeti od strane korisnika. Na računaru, koji bi bio sastavni deo celokupnog rešenja, može se pokrenuti WEB server čime bi se omogućio pristup podacima iz eksterne mreže odnosno Interneta. Sistem je realizovan tako da se bežični moduli po uključivanju samoinicijalizuju i odmah prijave centralnom modulu – posredniku. Uređaj posrednik u svakom trenutku može da prozove ostale module bežičnim putem i da zahteva izvršenje određenih zadataka kao što je merenje izabranih parametara. Pošto je na senzorski uređaj priključen senzor za merenje temperature i relativne vlažnosti vazduha upravo ovi parametri se mogu prikupljati i predstavljaju osnov za praćenje uslova u razmatranom zatvorenom prostoru kao što je

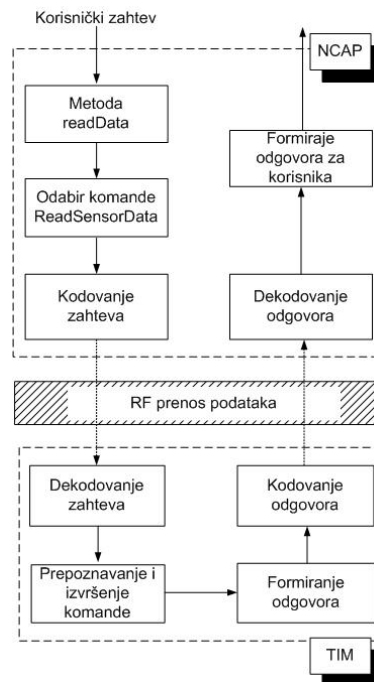
plastenik. Uređaj posrednik je povezan sa računarem serijskom žičnom vezom i na taj način se ostvaruje prenos podataka, pri čemu softver na pokrenutom WEB serveru može preuzimati ove podatke i koristiti ih za dalju distribuciju za korisnike na Internetu (slika 6).



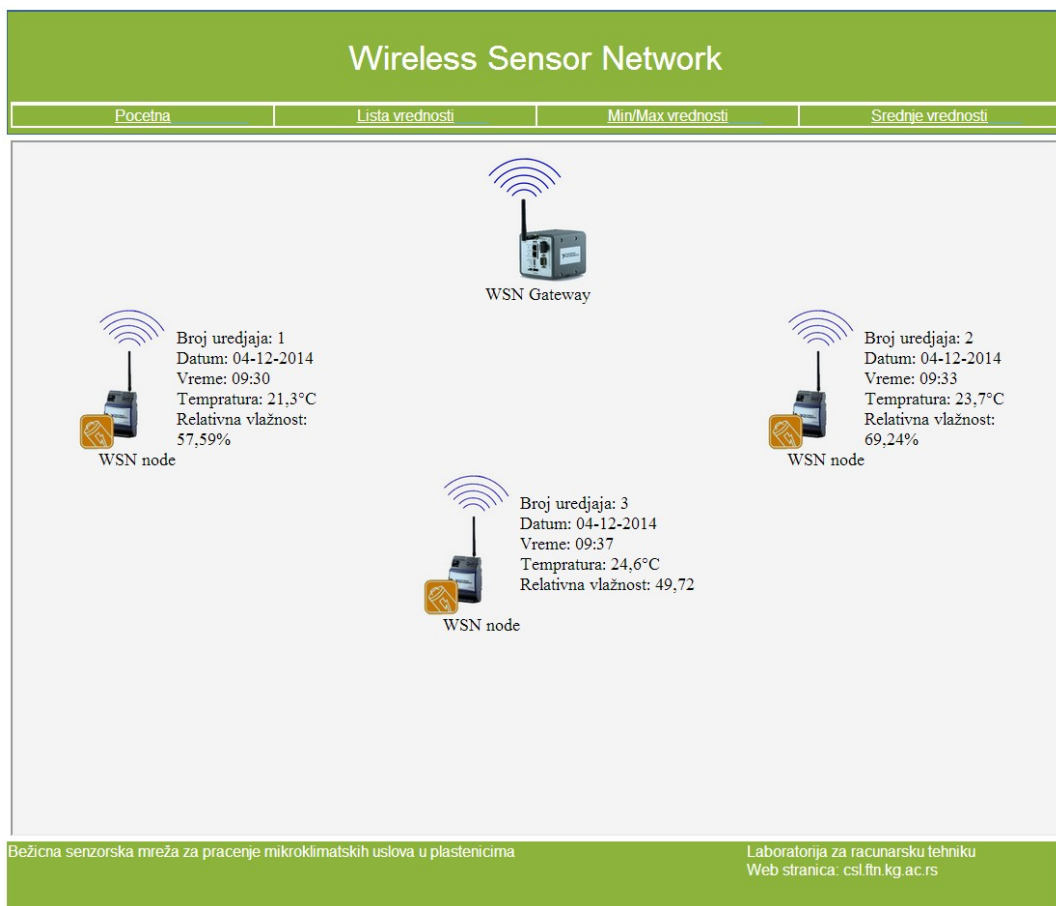
*Slika 6. Prikaz sistema bežične senzorske mreže za praćenje mikroklimatskih uslova*

Bežični uređaji se napajaju uz pomoć baterija od 1.5V uz dopunjavanje preko solarnih panela što im omogućava nezavisan rad. Sistem prikuplja podatke sa lokacija gde su postavljeni bežični senzorski uređaji prema zahtevima definisanim na centralnom modulu dobijenih preko računara od korisnika koji mogu pristupiti WEB serveru. Sistem se može nadograditi sa drugim sensorima mikroklimatskih uslova ili dodatnim hardverom za kontrolu aktuatora sa kojima se mogu kontrolisati uslovi u objektu (provetravanje, zagrevanje, odvetljavanje i sl.).

WEB server koji je pokrenut na računaru je relizovan uz pomoć Apache HTTP servera. Pri tome je korišćen PHP script jezik za kreiranje serverskog dela softvera kao i MySQL za bazu podataka. Korisnički zahtev u vidu HTTP GET zahteva stiže do WEB servera gde se isti procesira i analizira se njegov sadržaj. Na osnovu zahteva proziva se odgovarajuća metoda NCAP interfejsa što je na slici 5. predstavljeno preko readData metode za čitanje podataka sa senzora. Nakon toga odabira se standardom definisana komanda za čitanje senzorskih podataka i celokupni zahtev se koduje u niz bajtova koji će biti prosleđeni bežičnim putem do senzorskih modula. Na strani odabranog senzorskog modula kome se zahtev prosleđuje isti se dekoduje, identifikuje se zadata komanda koja se zatim izvršava i dobijaju se rezultati merenja u ovom slučaju. Dalje, formira se odgovor za centralni modul koji se isto koduje i sprema za prenos bežičnim putem. Kada se dobije odgovor sa rezultatima vrši se njihovo dekodovanje na serveru, preuzima se rezultat koji se smešta u bazu podataka i formira se HTTP odgovor za krajnjeg korisnika.



Slika 7. Blok šema softvera za prenos podataka od mesta merenja do korisnika  
 Na slici 7 je prikazan izgled prikaza podataka na WEB stranici.



Slika 6. Prikaz podataka sa senzorskih modula na WEB stranici