

**UNIVERZITET "UNION"**

**RAČUNARSKI FAKULTET  
BEOGRAD**

**RAČUNARSKO INŽINJERSTVO**

## **DIPLOMSKI RAD**

# **Bežične senzorske mreže u poljoprivredi**

Kandidat:

Aleksandar Višnjički

Mentor rada:

Petar Bojović

Članovi komisije:

Goran Martić

## Sadržaj:

<b>Uvod u diplomski rad .....</b>	<b>3</b>
<b>1.Uvod u senzorske mreže .....</b>	<b>4</b>
1.1. Šta su senzorske mreže .....	4
1.2. Kratak istorijat.....	5
1.3. Razlog nastajanja .....	7
1.4. Primena .....	7
1.5. Iz čega se sastoji jedna senzorska mreža .....	8
1.6. Ad-hoc.....	11
1.7. Arhitektura senzorskih mreža .....	12
<b>2. Senzori .....</b>	<b>14</b>
2.1. Uvod u senzore .....	14
2.2. Pojam i osnovni principi .....	15
2.3. Izbor senzorskog modula .....	17
<b>3. Bežične senzorske mreže.....</b>	<b>19</b>
3.1. OSI model prilagođen bežičnim senzorskim mrežama .....	19
3.1.1. Referentni modeli .....	19
3.1.2. Fizički nivo i potrošnja električne energije.....	20
3.1.3. Nivo veze.....	20
3.1.4. Mrežni nivo .....	21
3.1.5. Transportni nivo .....	21
3.1.6. Nivo srednjeg sloja .....	21
3.1.7. Nivo aplikacije .....	22
3.1.8. Povezanost između nivoa .....	23
3.2. Pregled mrežnih topologija i standarda koji se koriste u bežičnim senzorskim mrežama .....	23
3.2.1.Topologija bežičnih senzorskih mreža .....	23
3.2.2. Standard Bluetooth.....	24
3.2.3. Bluetooth 4.0 Low Energy (BLE).....	25
3.2.4. ZigBee standard .....	26
3.3. Obnovljivi izvori energije.....	30
3.4. Razvoj bežičnih senzorskih mreža u svetu .....	31

## BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE U POLJOPRIVREDI

3.5. Osnovni izazovi u daljem razvoju bežičnih senzorskih mreža.....	33
3.6. Prednosti i nedostaci bežičnih sistema u odnosu na žične .....	34
3.6.1. Instalacija .....	34
3.6.2. Cena inicijalnog ulaganja.....	35
3.6.3. Održavanje .....	35
3.6.4. Povezivost i sigurnost.....	36
3.6.5. Fleksibilnost i skalabilnost.....	37
<b>4. Bežične senzorske mreže u poljoprivredi.....</b>	<b>38</b>
4.1. Meterološka mobilna stanica.....	38
4.2. Senzori.....	40
4.2.1. Vlažnost zemljišta i temperatura zemljišta: .....	40
4.2.2. Vlažnost vazduha i temperatura vazduha:.....	42
4.3. Mikrokontroler .....	45
4.4. I2C protokol.....	46
4.5. Konekcija sa internetom .....	50
4.6. Napajanje .....	51
4.7 TCP/IP komunikacija servera i sistema .....	51
4.8 Serveri i klijenti.....	52
<b>5. Zaključak.....</b>	<b>57</b>
<b>6. Reference.....</b>	<b>58</b>

## Uvod u diplomski rad

U radu je predstavljen celokupni koncept senzorskih mreža. Detaljno ćemo proći kroz osnove senzorskih mreža, potom ćemo govoriti opširnije o sensorima koji se koriste u ovim mrežama, nakon toga ćemo detaljnije obraditi temu bežičnih senzorskih mreža. Na samom kraju ćemo prikazati primer korišćenja bežičnih senzorskih mreža u poljoprivredi i prikazati praktično kako jedan takav sistem funkcioniše. Prilikom navodnjavanja useva, poljoprivrednici moraju znati kako i koliko zalivati određenu vrstu biljke. To nije jednostavno postići jer količina vode koja mora da se utroši u tom procesu varira u zavisnosti od temperature vazduha i zemljišta, kao i od vlažnosti vazduha i zemljišta. Sa sistemom koji ćemo koristiti, moći ćemo sve te parametre detaljno pratiti. U zavisnosti od njih znaćemo koliko je potrebno koristiti vode pri zalivanju kako bi dobili što bolje i kvalitetnije proizvode.

Diplomski rad sadrži sledeća poglavlja:

Prvo poglavlje obrađuje osnovu senzorskih mreža, govori o njihovom istorijatu, o razlozima nastajanja i opisuje njihovu primenu. Opisane su Ad-hoc mreže, objašnjen je kompletan sastav jedne takve mreže i opisana je detaljno arhitektura jednog sistema.

Drugo poglavlje se bavi sensorima. U njemu je objašnjen uvod u senzore, govori se uopšteno o sensorima i načinu rada. Na kraju druge oblasti je opisan izbor senzorskih modula koje ćemo koristiti u našim senzorskim mrežama.

U trećem poglavlju predstavljene su detaljno bežične senzorske mreže. Obradićemo OSI model, i objasniti pojedinačno ulogu svake stavke u njemu, objašnjene su topologije koje se koriste za povezivanje unutar bežičnih senzorskih mreža, govori se o obnovljivim izvorima energije i njihovom razvoju u svetu. Takođe su opisani izazovi u njihovom budućem razvoju i na kraju se govori o prednostima i manama bežičnih senzorskih mreža.

Četvrto poglavlje opisuje projekat praktične primene sistema za merenje i kontrolu vlažnosti i temperature vazduha i zemljišta. Objasnićemo benefite jednog takvog sistema, navešćemo komponente koje smo koristiti i detaljno opisati kako jedan takav sistem funkcioniše. Na kraju su prikazane slike rezultata merenja, kao i slike celokupnog sistema.

U petom poglavlju je napisan zaključak diplomskog rada.

## 1.Uvod u senzorske mreže

Prvo poglavlje obrađuje osnovu senzorskih mreža, govori o njihovom istorijatu, o razlozima nastajanja i opisuje njihovu primenu. Opisane su Ad-hoc mreže, objašnjen je kompletan sastav jedne takve mreže i opisana je detaljno arhitektura jednog sistema.

### 1.1. Šta su senzorske mreže

Bežične senzorske mreže smatraju se jednom od najvažnijih tehnologija u 21. [2] veku, i u poslednje vreme doživele veliku ekspanziju i razvoj na raznim poljima ljudskih delatnosti. Tehnološkim razvojem postalo je tehnički moguće proizvesti veliki broj senzora za prikupljanje i obradu podataka. Svoju primenu imaju u istraživanju svemira, velikim i malim građevinskih projektima, kontroli i nadgledanju životne sredine, a primenu imaju i u vojnim, medicinskim, i mnogim drugim oblastima. Njihove mogućnosti su izuzetno velike - od nadgledanja šumskih požara, do praćenja nivoa šećera u krvi čoveka, pa do upotrebe u umetnosti ili poljoprivredi. Niz scenarija gde mogu naći primenu je izuzetno veliki. Sa svojim delovanjem na čoveka i njegovu okolinu, može se reći da su senzorske mreže napravile revoluciju [2] u tome kako i na koji način posmatramo i delujemo na svet oko sebe. Senzorske mreže svakako predstavljaju veliko dostignuće čovečanstva, i otvaraju neslućene mogućnosti upotrebe.

Bežične senzorske mreže predstavljaju jedno od najvećih dostignuća na prelazu iz XX u XXI vek. Godine 2003., MITs (Magazine of Inovation) objavio je studiju prema kojoj su bežične senzorske mreže jedna od deset tehnoloških inovacija koje će promeniti svet. Na slici ispod (slika 1) možemo videti koliko su zapravo senzorske mreže u našoj okolini postale prostrane.



Slika 1 – Rasprostranjenost senzorskih mreža

## 1.2. Kratak istorijat

Postoje nekoliko tehnologija koje su značajno uticale na razvoj bežičnih senzorskih mreža, i to su:

- MEMS tehnologija (*Micro-Electro-Mechanical systems*) tj. mikro-elektro-mehanički sistemi, i ova tehnologija je omogućila da se u minijaturne čipove smeste senzori.
- Digitalna elektronika – ova tehnologija je otvorila prostor da mikrokontroleri dobiju dovoljno resursa i mogućnosti kako bi mogli da obrade informacije koje im senzori šalju.

-Komunikacione i informacione tehnologije su dale bitan doprinos razvoju bežičnih senzorskih mreža [25]. Ove tehnologije su pružile rešenja kako bi senzori mogli da šalju informacije drugim bežičnim senzorskim modulima i glavnoj upravljačkoj aplikaciji i glavnom senzorskom modulu u okviru sistema. Dalja istraživanja idu ka tome da se smanje dimenzije senzorskih modula kroz dodatni razvoj materijala, senzorske tehnologije itd. a cilj je da se poveća preciznost vremenskog odziva senzorskog modula što će na kraju omogućiti sve veću prisutnost senzorskih rešenja u okviru različitih sistema. Uopšteno gledano, cilj je i da se poveća trajanje korišćenja senzora i senzorskih modula i da se unaprede njihove performanse, a kruna tog uspeha bi trebala da bude smanjenje troškova proizvodnje. Bežične senzorske mreže su prvu primenu našli u vojnoj industriji. Jedan od najranijih bežičnih senzorskih sistema je SOSUS (*Sound Surveillance System*) [25] tj. sistem za nadzor zvuka. Ovaj sistem je razvila vojska SAD 1950 godina, i sastojao se od zvučnih senzora koji su bili locirani na strateškim mestima na dnu Atlanskog i Tihog okeana, a služio je za pronalaženje i nadzor SSSR podmornica. Ovaj sistem je postavio temelje razvoja tehnologija koje su bile ključne za moderne senzorske mreže, nezavisno od prvobitne vojne namene. Međutim tek je sa pojavom programa distribuiranih senzorskih mreža (*Distributed sensor networks* – DSN koji je pokrenula agencija DARPA – *Defence Advanced Research Project Agency*) tj. agencija za napredne odbrambene istraživačke projekte tokom 1980 godina, su zvanično započeta ispitivanja i istraživanja sa ciljem primene distribuiranih bežičnih senzorskih mreža [25].

Ideja za funkcionisanje distribuiranih senzorskih mreža se zasnivala na tome da to budu mreže velikog broja malih senzorskih uređaja, koji funkcionišu nezavisno, ali koji i dalje vrše razmenu informacija između sebe, gde svaki senzor koji primi informaciju može da je upotrebi na najkorisniji način. Međutim za potpunu realizaciju ovakve zamisli nisu postojale adekvatne tehnologije, zbog toga što su senzori u tom periodu bili veoma veliki (veličine kutije za alat), a nisu bile dostupne ni adekvatne tehnologije za bežičnu razmenu informacija.

Kako je vreme prolazilo napravljeni su adekvatni senzori, bežični komunikacioni protokoli, potrebni algoritmi, pojedivosti u vezi obrade podataka, stvoren je adekvatan softver i veštačka inteligencija, a pojavile su se i potrebne tehnike za rešavanje distributivnih problema. Daljim razvojem distributivnih senzorskih mreža, postala su sva češća istraživanja senzorskih mreža u akademskim i civilnim krugovima. Značajni napretci na polju komunikacionih, računarskih i MEMS tehnologija, zajedno sa nižim cenama senzora

## BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE U POLJOPRIVREDI

i njihovom mogućnošću korišćenja bežičnog načina razmene podataka, dodatno su omogućili razvoj bežičnih senzorskih mreža, i otvorili su vrata za ostvarenje prvobitnih zamisli koju je postavila DARPA za distribuirane senzorske mreže.

Nakon toga, DARPA je nastavila rad na ovom polju i u okviru SensIT (engl. *Sensor Information Technology*) programa, omogućene su nove tehnike umrežavanja za dinamična ad-hoc okruženja i obrade informacija sa mreže u cilju dobijanja korisnih, pravovremenih i pouzdanih informacija [25].

Današnji senzori i senzorski moduli su veoma unapređeni i imaju značajno više mogućnosti u odnosu na senzore od pre 20-30 godina. Senzorski uređaji su danas sposobni da mere različite pojave iz našeg okruženja (kvaliteta vazduha, požara, zdravstvenih detalja pojedinca, nadzora u fabričkoj proizvodnji, daljinskog upravljanja pametnih prostorija itd.), a spektar primena je sve veći.

### 1.3. Razlog nastajanja

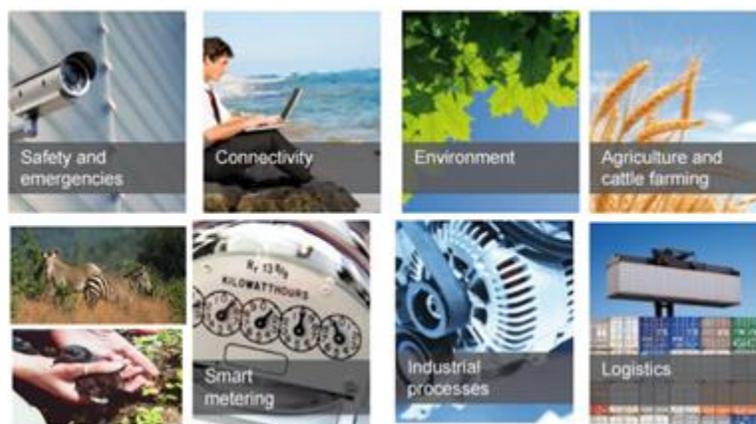
Osnovni preduslovi nastanka bežičnih senzorskih mreža su [6]:

- Povećani zahtevi u pogledu informacija
- Veliki razvoj mikro elektro-mehaničkih sistema (Micro Electro-Mechanical Systems – MEMS)
- Veliki napredak senzorske tehnologije
- Ubrzani razvoj bežičnih komunikacionih tehnologija
- Smanjivanje veličine i cene a povećanje računarske snage u Senzorskim čvorovima (memorija, CPU)
- Jednostavna primena i održavanje
- Velike mogućnosti u rešavanju problema

### 1.4. Primena

U današnje vreme, primena senzorskih mreža se javlja u mnogobrojnim oblastima kao što su:

- Vojne potrebe
- Praćenje životne sredine
- Medicinska i zdravstvena kontrola
- Industrijske primene
- Primena u saobraćaju
- Naučne, biološke i ekološke primene
- Nadgledanje objekata od važnosti
- Precizna lokacija ljudi i objekata
- Inteligentne zgrade (smart house)



Slika 2 - Primena

Neke od navedenih oblasti u kojima se primenjuju ove mreže možete videti na slici 2.

## BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE U POLJOPRIVREDI

- Praćenje životne sredine
- Praćenje prirodnih uslova, temperature, pritiska i vlažnosti.
- Sistemi za upozoravanje na prirodne katastrofe: seizmičku aktivnost, vulkan, cunami, tornado itd.
- Detekcija požara, poplava, hemijskih i bioloških otrova.
- Nadgledanje oblasti nesreće.
- Praćenje nivoa opasnih supstanci i gasova u vazduhu.
- Praćenje zagađenja vazduha
- Praćenje kvaliteta vode
- Nadgledanje zemljišta (vlaga, pesticidi, herbicidi, pH, ..)
- Akustična detekcija buke
- Kontrola uslova u voćarstvu, poljoprivredi i stočarstvu
- Određivanje mikro-klimatskih uslova
- Senzori kontrolišu nedostupna mesta ili je opasno ljudsko prisustvo
- Svaki čvor meri temperaturu i na osnovu toga se pravi “temperaturna mapa” na osnovu koje se predviđa kako se požar širi [6]

### 1.5. Iz čega se sastoji jedna senzorska mreža

Senzorska mreža (Sensor Network- Snet) je distribuirani sistem (*Distributed system*) koga čini polje senzora različitog tipa međusobno povezanih komunikacionom mrežom. Podaci sa izlaza senzora se šalju, a dovode se na ulaz Dsis-a radi njihovo procesiranje. Zadatak Dsis-a je da na osnovu dostupnih podataka sa senzora izdvoji najverovatniju informaciju o fenomenu koji se nadgleda.

Osnovne operativno-ekonomske karakteristike senzorske mreže su [3]:

- visoka pouzdanost u radu
- relativno visoka tačnost

## BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE U POLJOPRIVREDI

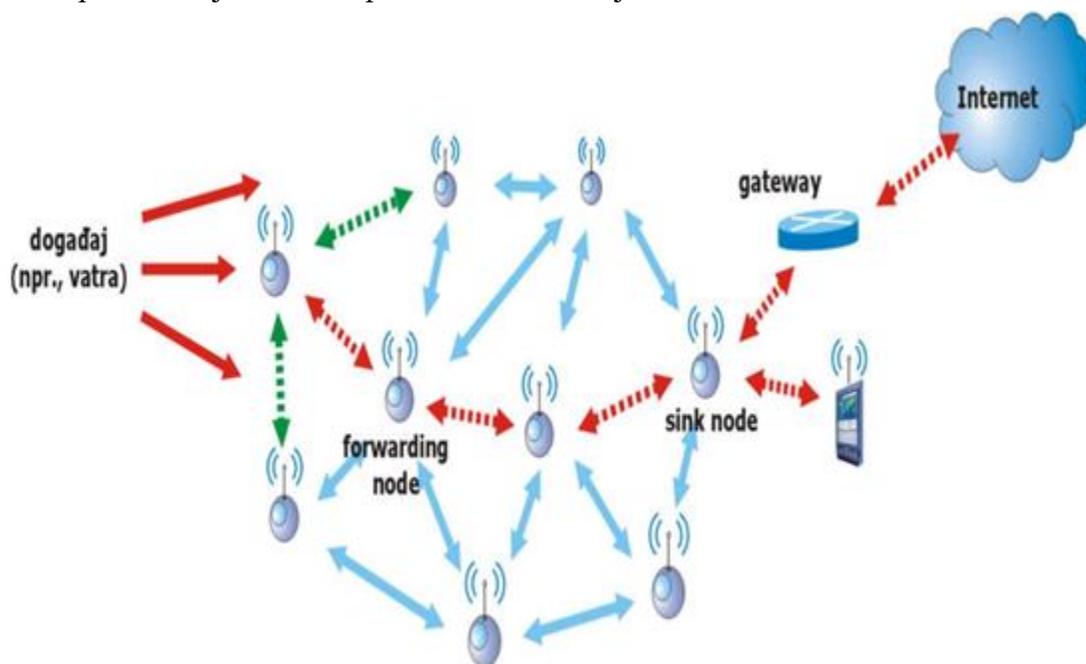
- fleksibilnost
- niska cena
- lako raspoređivanje senzora u prostoru

Senzorska mreža se formira od individualnih multifunkcionalnih senzorskih čvorova (*Sensor Node*). Uglavnom Snod-ovi se bežičnim putem povezuju u komunikacionu mrežu formirajući na taj način bežičnu senzorsku mrežu u kojoj podaci putuju od čvora do čvora i procesiraju se.

Bežična senzorska mreža se sastoji od baterijsko napajanih modula koji su u suštini Snod-ovi [3].

Gradivni blokovi ovih modula su:

- senzor: generator podataka
- radio primo-predajnik: predaje svoje ili prosleđuje kroz mrežu podatke koje je primio od svojih suseda (rutira podatke)
- jedan ili više procesora: kontrolišu rad senzora i primo-prednika, procesiraju podatke, i implementiraju mrežne i protokole za rutiranje



Slika 3

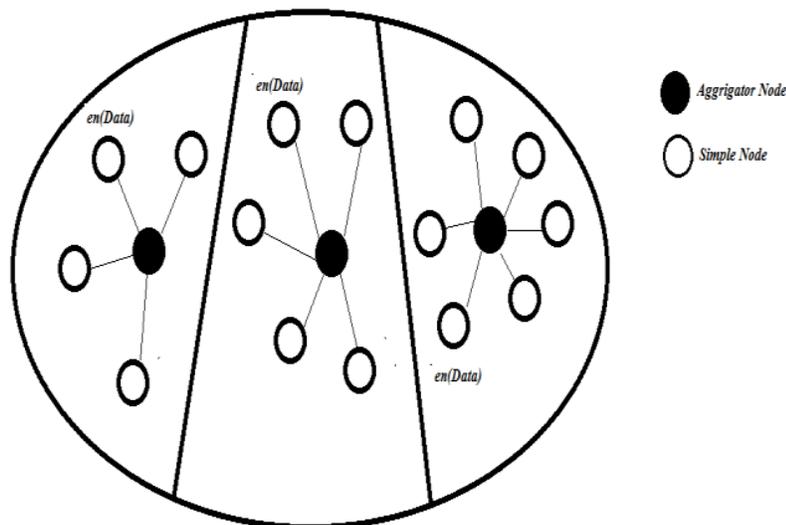
U najvećem broju slučajeva senzorske mreže se realizuju kao data-centric, a ne kao address centric sistemi [3]. To znači da se upiti (queries) upućuju regionu koga čini topološki uređena grupa (cluster) senzora, a ne specifičnoj adresi senzora. U okviru jednog cluster-a postoji jedan agregator čvor, koji sakuplja podatke od Snod-ova pridruženi tom cluster-u, analizira ih,

## BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE U POLJOPRIVREDI

agregatora, i nakon prozivke predaje (slika 4). U suštini zbirna analiza lokalnih podataka se obavlja od strane agregatora čvora u okviru cluster-a. Time se u značajnoj meri redukuju zahtevi koji se odnose na komunikacionu propusnost. Agregacijom podataka povećava se nivo tačnosti merenja senzora, a istovremeno inkorporira redundantnost podataka čime se kompenziraju kvarovi u čvorovima.

Imajući u vidu da su senzorski moduli baterijsko napajani uređaji, i da je dostupna energija od baterije ograničena, energetska efikasnost modula ima direktan uticaj na vremensko trajanje rada senzora.

Kada modul prestane sa radom, ne prestaje samo njegovo prikupljanje podataka, nego mreža gubi raspoloživost modula da dalje prosleđuje (rutira) podatke. Zbog prethodno pomenutog, energetska efikasnost ima direktan uticaj na to koliko dugo će ne samo individualni senzori nego i cela mreža uspešno funkcionisati. S toga je od izuzetne važnosti sagledati problem energetske efikasnosti sa tačke gledišta svih detalja koji se tiču kako projektovanja modula tako i rada cele mreže [3].



Slika 4

Analizirajući rad senzorske mreže uočavamo da se koriste brojne informaciono procesne tehnike namenjene za:

- manipulaciju i analizu senzorskih podataka
- ekstrakciju značajnih osobina ambijenta koji se nadgleda
- efikasno memorisanje i prenos važnih informacija

Protokoli i algoritmi koji su predloženi za tradicionalne bežične ad-hoc mreže ne ispunjavaju sve zahteve koji se postavljaju od strane senzorskih mreža. Specifičnosti karakteristika senzorskih mreža su sledeće:

## BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE U POLJOPRIVREDI

- broj Snod-ova je mnogo veći u odnosu na broj čvorova kao kod nekih drugih mreža (npr ad-hoc)
- Snod-ovi su gusto raspoređeni
- Snod-ovi koriste broadcast komunikacionu paradigmu u odnosu na ad-hoc čvorove koji koriste point-to-point komunikacije
- Snod-ovi nemaju globalno jedinstvenu identifikaciju zbog velikog broja senzora

Postoje dva tipa Snod-ova koji se uglavnom razlikuju po tome u koji se tip senzorskih mreža ugrađuju [3]:

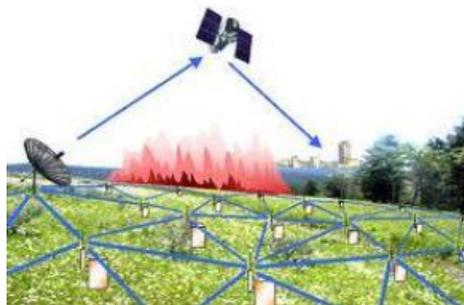
1. Proaktivna mreža (*Proactive Networks*): čvorovi u mreži periodično uključuju senzore, izmere veličinu od okruženja, i predaju podatke koji su od interesa
2. Raktivna mreža (*Reactive Networks*): su mreže kod kojih su čvorovi celo vreme budni i trenutno reaguju na nagle promene u mreži. Ovi tipovi čvorova su pogodni za aplikacije sistema koji rade u realnom vremenu.

### 1.6. Ad-hoc

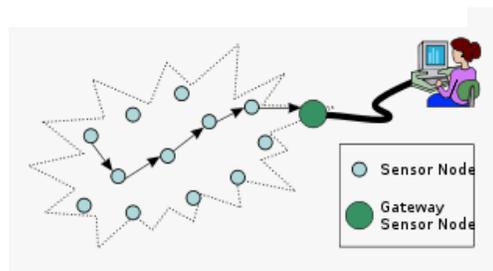
Ad-hoc bežična mreža je decentralizovana bežična mreža koja je uspostavljena za neku specifičnu svrhu. Bez centralizovane infrastrukture organizacija protoka podataka i same mreže postaje puno zahtevnija. (slika 5)

Prednosti Ad-hoc mreža:

- Mreža visokih performansi
- Nepostojanje skupe infrastructure
- Upotreba nelicenciranog frekvencijskog spectra
- Brza distribucija informacija oko pošiljaoca
- Nijedna tačka neuspeha.



Slika 5



Slika 6 – Multi-hop umrežavanje čvorova

Kod ad-hoc mreža javljaju se sledeći problemi:

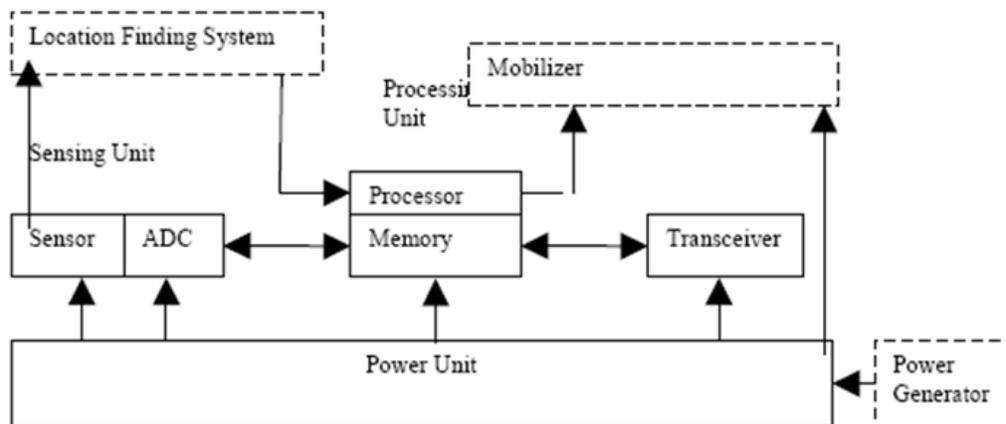
1. Organizacija mreže bez centralne infrastrukture. Dakle, bez bazne stanice mrežni uređaji moraju se sami organizovati u mrežu sposobnu za rad;
2. Ograničen komunikacijski domet. Ovde je reč o tome da je u mnogim scenarijima neophodna komunikacija sa udaljenim uređajima odnosno sa uređajima koji se nalaze van komunikacionog dometa. Rešenje ovog problema nalazi se u multi-hop umrežavanju (slika 6);
3. Mobilnost mrežnih uređaja. U mnogim primerima sa ad-hoc mrežama korisnici su u pokretu. Kod celularnih mreža ovaj problem rešen je tako što najbliža bazna stanica preuzima korisnika. S druge strane, kod mobilnih ad-hoc mreža mobilnost menja odnose između suseda tj. uređaj gubi stare a dobija nove susede ;
4. Uređaji se napajaju putem baterija. Cilj napajanja putem baterija je ostvariti dug vek trajanja mreže u celini ali i individualnih mrežnih uređaja [5].

Bežične senzorske mreže ili Wireless Sensor Network spadaju u kategoriju ovih ad-hoc mreža.

### 1.7. Arhitektura senzorskih mreža

*SNod*-ovi su razučeno raspoređeni u senzorskom polju. Svaki *SNod* u stanju je da prikuplja podatke i usmerava ih ka odredištu. Strukturu pametnog senzorskog čvora (*smart sensor node*) čine sledeća četiri osnovna gradivna bloka (slika 7):

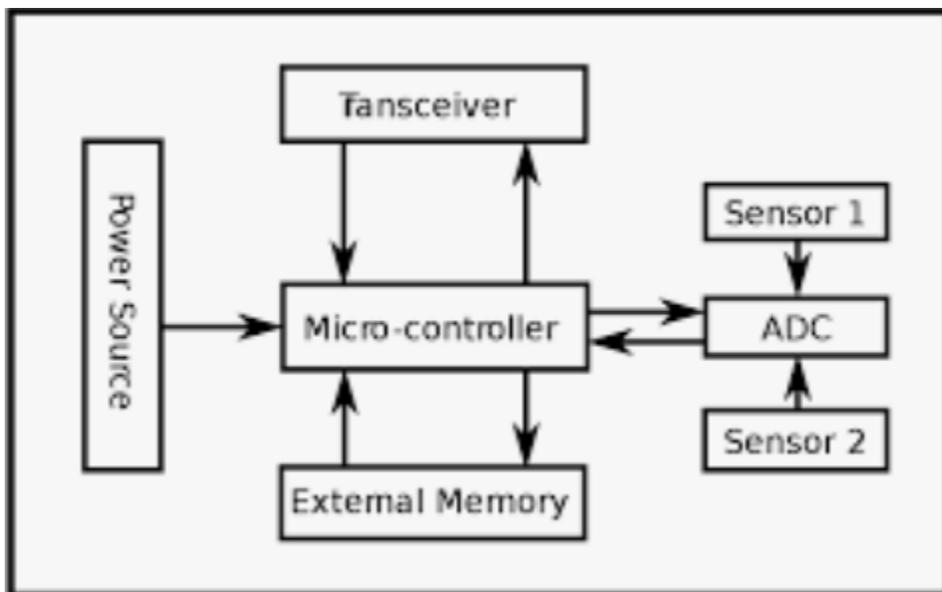
- senzorska jedinica (*sensing unit*) - Zadužena za prikupljanje podataka sa senzora
- primopredajna jedinica (*transceiver unit*) - Zadužena za prosleđivanje podataka
- procesna jedinica (*processing unit*) - Zadužena za obradu prikupljenih podataka
- jedinica za napajanje (*power unit*) - Zadužena za napajanje celog sistema



Slika 7 - Arhitektura

Opcione komponente *SNod*-a su:

- jedinica za određivanje lokacije senzora- kakav je recimo *GPS* prijemnik
- mobilizator- blok za pokretanje *SNod*-a, koristi se kada senzor treba da postane mobilan
- generator energije- blok koji vrši konverziju energije, recimo solarna baterija



Slika 8

Na slici 8 je prikazan postupak rada jednog sistema. Senzor prihvata na ulazu merenu veličinu i konvertuje je u električni signal. Nakon kondicioniranja signal se dovodi na ulaz *ADC*-a, pa se po obavljenoj konverziji prihvata od strane procesora. Procesor, nad podacima, obavlja neki tip signal procesiranja, i u zavisnosti od toga kako je programiran, predaće rezultatnu informaciju prema mreži uz pomoć primopredajnika. Blok za napajanje može biti neka baterijska jedinica.

## 2. Senzori

Drugo poglavlje se bavi sensorima. U njemu je objašnjen uvod u senzore, govori se uopšteno o sensorima i načinu rada. Na kraju druge oblasti je opisan izbor senzorskih modula koje ćemo koristiti u našim senzorskim mrežama.

### 2.1. Uvod u senzore

Tokom istorije čovek je na razne načine pokušavao da meri stvari koje ga okružuju, dužinu pređenog puta, temperaturu vode, brzinu kretanja tela, pritisak, vlažnost i sl. Pronalaskom senzora olakšano je merenje fizičkih veličina i povećana raznovrsnost veličina koje mogu biti izmerene. Senzor je uređaj koji meri fizičke veličine i konvertuje ih u signal koji je čitljiv posmatraču ili instrumentu.

Prikupljanje podataka (sensing) predstavlja tehniku kojom se vrši prikupljanje informacija o nekom fizičkom objektu ili procesu tj. promene u stanju kao što je pad temperature, pritiska, vlažnosti vazduha ili brzine vetra.

Objekat koji ima mogućnost da detektuje tu promenu naziva se senzor.

Na primer, ljudsko telo je opremljeno sensorima koji su sposobni za detektovanje optičkih informacija iz okoline (oči), akustične informacije kao što su zvuci (uši) i mirisi (nos).

Gledano sa tehničke strane, senzori predstavljaju uređaje koji mere fizičke veličine ili detektuje događaje iz fizičkog sveta, pretvaraju ih u signale koji su prepoznatljivi ljudima, instrumentima ili računarima [7]. Sve te veličine sada se mogu pamtit, meriti, analizirati ili proslediti nekim drugim uređajima.

Zadatak senzora je da skuplja različite informacije vezane za pojedine procese i to pre, u toku i posle određenih procesa. Oni detektuju veličine koje se mere i konvertuju ih u neku prihvatljivu formu, generalno u električne signale. Najčešće senzor prihvata neku vrstu energije iz fizičkog sveta i pretvara je u električnu energiju koja se transformiše u formu koja se može preneti na računarski sistem ili kontroler. Senzori mogu da detektuju različite događaje ili pojave iz prirode

Rezultujući električni signali koje nam oni generišu najčešće nisu pogodni za dalju obradu ili slanje drugim uređajima. Ili su oni suviše slabi (nekoliko  $\mu\text{V}$  ili  $\text{pA}$ ) ili sadrže šum ili sadrže neželjene komponente (DC nivo) ili nisu u odgovarajućoj formi koju zahteva sistem za prikupljanje podataka (acquisition system). Zato je neophodno izvršiti prilagođavanje rezultujućeg signala.

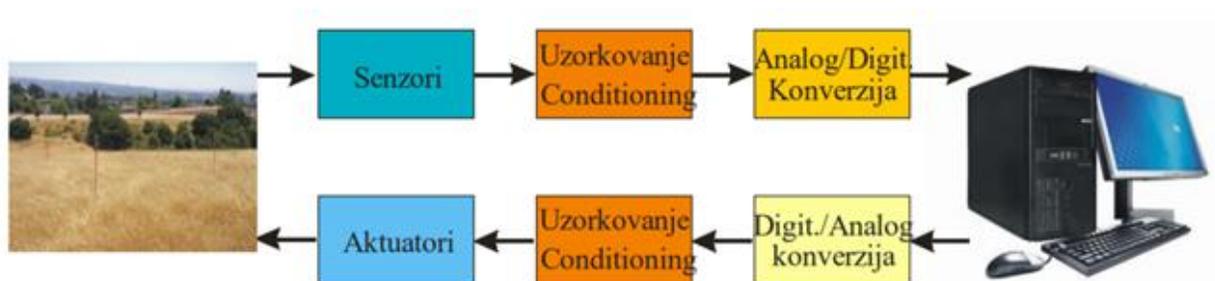
Ta operacija poznata je kao procesiranje ili uzorkovanje signala (signal processing/conditioning) i ona podrazumeva da se na signal senzora- primene različite operacije kako bi ga pripremili za dalju upotrebu.

Nakon izlaska iz kola za uzorkovanje (procesiranje) dobijeni analogni signal se šalje na

analogno/digitalni pretvarač (Converter).

Aktuatori predstavljaju elektromehaničke pretvarače koji električnu energiju pretvaraju u mehanički rad. Na osnovu primljenih digitalnih podataka oni izvršavaju neku radnju

Kada se organizuju zajedno (slika 9) sa sensorima predstavljaju jedinstvenu mrežu senzora i aktuatora (Wireless Sensor/Actuator Network)



Slika 9 – Mreža koja poseduje aktuatore

## 2.2. Pojam i osnovni principi

Postoji veoma veliki broj različitih senzora, od vrlo jednostavnih pa do veoma složenih konstrukcija, koji se mogu podeliti prema različitim kriterijumima: načinu detekcije, tipu pretvaranja, materijalu izrade, području primene, na osnovu nivoa izlaznog signala, vrste napajanja, operativnog moda, dimenzija ili veličina koje se mere.

Osim fizičkih osobina, klasifikacija senzora može se zasnivati i na drugim metodama, na primer, kako se napajaju (aktivni i pasivni).

Ako senzori ne zahtevaju napajanje nazivamo ih pasivnim sensorima za razliku od aktivnih senzora koji za svoj rad zahtevaju napajanje. Pasivni senzori preuzimaju energiju iz neposrednog okruženja i koriste je kako bi dali izlazni električni signal (napon ili struja).

To mogu biti otpornički senzori, kapacitivni senzori, induktivni senzori ili pasivni infracrveni (PIR) senzori

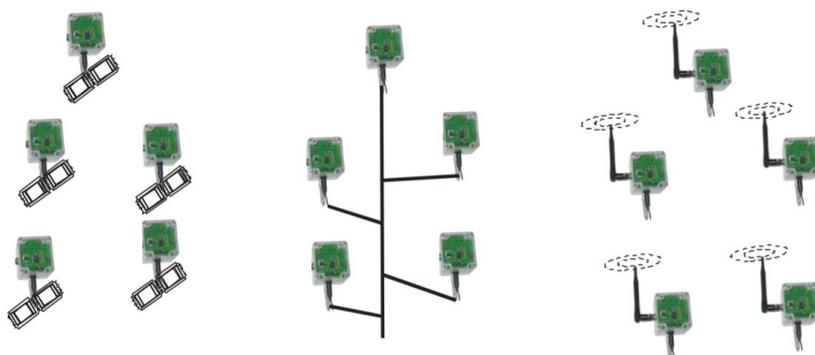
Klasifikacija senzora može takođe biti zasnovana i na metodama koje oni primenjuju i na zakonima elektrotehnike i mehanike koji se koriste za pretvaranje fizičkih osobina u električne signale (otpornost, kapacitet, piezoelektrični efekat).

Obično ih čine specijalizovane ćelije koje su osetljive na:



Prema načinu organizovanja jednu senzorsku mrežu možemo podeliti (slika 11):

1. na senzore bez mogućnosti komunikacije
2. senzore koji mogu da komuniciraju putem žičane strukture
3. senzore koji su potpuno nezavisni u pogledu očitavanja, obrade I slanja detektovanih podataka. [7]



Slika 11 – Primer organizacije jedne senzorske mreže

### 2.3. Izbor senzorskog modula

Jako je važno izabrati odgovarajuće senzore/pretvarače (Converter) ili aktuatora jer njih karakteriše i niz parametara, kao što su osetljivost, selektivnost, opseg, rezolucija, ofset, linearnost, šum i reverzibilnost.

Konačan izbor senzora/pretvarača ili aktuatora za određenu aplikaciju ne zavisi samo od fizičke veličine koja se meri (temperatura, pritisak, svetlost ili vlažnost) već i od potrebne preciznosti, osetljivosti, cene, veličine i načina upotrebe.

Na pouzdanost i preciznost neke aplikacije znatno utiče tačnosti pojedinih senzora kao i interno generisani šum od samog senzora.

Kod svakog senzora možemo da primetimo više osnovnih elemenata ili modula:

1. Modul za detektovanje: prima signal iz merene sredine (kao što su pritisak, temperatura, zračenje, magnetno polje itd.) i na osnovu njih generiše izlazni signal koji zavisi od izmerene vrednosti.
2. Modul za konverziju: konvertuje signal koji dobijamo na izlazu modula za detekciju u odgovarajući signal drugog oblika. Ovaj modul se često naziva i pretvarački modul. Često se pretvaranje ulaznog signala odvija u više etapa.

3. Modul za obradu: vrši uobličavanje signala. Uglavnom su signali koji se dobijaju suviše mali pa ih je potrebno uobličiti i pojačati. Ovaj modul prima mali ulazni signal i generiše mnogo veći izlazni signal.

4. Modul za A/D ili D/A konverziju (A/D or D/A conversion)

5. Modul za prenos podataka: prenosi signal od mesta na kome se vrši merenje do mesta gde će rezultati merenja biti prikazani.

6. Modul za prikaz podataka: daje informaciju o merenim veličinama u formi koja će biti prepoznata od strane korisnika. Ovaj modul može biti jednostavna skazaljka koja skreće u zavisnosti od izmerene veličine ili neki komplikovaniji uređej koji će obuhvatiti odgovarajući displej ili PC računar. [18]

### 3. Bežične senzorske mreže

U trećem poglavlju predstavljene su detaljno bežične senzorske mreže. Obradićemo OSI model, i objasniti pojedinačno ulogu svake stavke u njemu, objašnjene su topologije koje se koriste za povezivanje unutar bežičnih senzorskih mreža, govori se o obnovljivim izvorima energije i njihovom razvoju u svetu. Takođe su opisani izazovi u njihovom budućem razvoju i na kraju se govori o prednostima i manama bežičnih senzorskih mreža.

#### 3.1. OSI model prilagođen bežičnim senzorskim mrežama

U narednih nekoliko poglavlja ćemo objasniti iz čega se sastoji jedan takav referentni model i proći ćemo detaljnije kroz svaku od tih stavki

##### 3.1.1. Referentni modeli

Bazična komunikacija je sastavljena od transmisije informacija od nekog izvora do cilja. U ovom slučaju funkcionišu dve aplikacije od kojim svaka radi na po jednom računaru, a međusobno su povezane i vrše razmenu informacija. Aplikacija koja šalje informacije ih priprema (kodira, kompresuje, štiti) i šalje medijumu kroz koji je povezana sa drugom aplikacijom. Druga aplikacija informacije preuzima, dešifruje ih i prikazuje. Proces je deljiv na nekoliko nivoa koji se ponavljaju na strani slanja i na strani prijema. Model koji se najčešće koristi za opisivanje procesa komuniciranja je OSI (Open Systems Interconnection). Njega čini sedam nivoa u međusobnoj vezi zajedno čineći celinu. Sada je OSI u upotrebi kao referenca kada se porede procesi komunikacije. Na slici 12. se nalazi prikaz poređenja slojeva OSI, TCP/IP i WSN (Wireless Sensor Network) modela.

Nivo aplikacije	Nivo aplikacije	Nivo aplikacije
Nivo prezentacije	Socket povezivanje	Nivo srednjeg sloja Operativni sistem
Nivo sesije		
Transportni nivo	Transportni nivo TCP      UDP	Transportni nivo
Mrežni nivo	Mrežni nivo IP      ICMP	Mrežni nivo
Nivo veze	Nivo veze ARP, RARP, NDIS	Nivo veze
Fizički nivo	Fizički nivo	Fizički nivo
a. OSI ref. model	b. TCP/IP model	c. WSN model

Slika 12 – Slika referentnih modela

### 3.1.2. Fizički nivo i potrošnja električne energije

Pravi izbor komponenata koji čine senzorski čvor se rešava na ovom nivou. Tu su bitni sledeći elementi: potrebno je odabirati komponente koje pokazuju malu potrošnju, mogućnost rada u više različitih statusa (active, idle, sleep itd), mogućnost neposredne dinamičke kontrole rada. Došlo je do razvoja efikasnije upotrebe energije i smanjenje njenog suvišnog gubljenja u senzorskom čvoru. Ovaj nivo, za razliku od svih ostalih, omogućava da pored potrošnje dođe i do stvaranja dodatne energije o kojoj ćemo govoriti više u nastavku. [19]

Baterija koja daje energiju senzorskom čvoru ima limitiranu količinu koju može da skladišti. Tako i svaka bežična senzorska mreža ima limitirano trajanje, jer baterija često nije zamenljiva. To dovodi do veće eksploatacije prirodnih izvora energije. Ova tehnika je označena izrazom „energy harvesting“ (Prikupljanje energije korišćenjem obnovljive izvore energije kao što su solarni paneli, vetrogeneratori itd..) [28] ili „power scavenging“. Najbolje funkcioniše na aplikacijama koje troše veoma malo energije u kontinuitetu ili troše punu snagu u kratkim periodima. Ovako i rade senzorski čvorovi, čineći „energy harvesting“ pogodnom tehnikom dolaženja do dodatne energije. Izvori energije iz spoljašnjih izvora mogu biti kretanje vazduha ili vode, sunčeva energija, energija toplote, ljudskog kretanja, toplote tela i toka krvi, energija elektromagneta iz induktora, kalema i transformatora itd.

### 3.1.3. Nivo veze

Problemi koji se obrađuju kod ovog nivoa su osluškivanje medijuma, ponovljena slanja zbog nastalih kolizija, udvostručeni prijem kao i slanje podataka za kontrolu koji nisu neophodni. Sve ovo se rešava da bi se smanjila potrošnja energije koju oni izazivaju. Rešenja zavise od podnivoa gde se problemi dešavaju. Za LLC podnivo koriste se ARQ (Automatic Repeat Request), FEC (Forward Error Correction), kao i „scheduling“ protokoli gde senzorski čvorovi komuniciraju u izdvojenim virtuelnim kanalima koji se razlikuju ili po vremenu (TDMATime Division Multiple Access), frekvenciji (FDMA-Frequency Division Multiple Access) ili posebno kodiranim podacima (CDMA-Code Division Multiple Access).

Druga grupa vrši se na MAC podnivou, gde su bitni „sleep scheduling“ protokoli. Ovi protokoli prema rasporedu vrše uključenje i isključenje delova senzorskog čvora u cilju štednje energije. Imaju veliku efikasnost, mada zahtevaju vrlo precizno vremensko sinhronizovanje među umreženim čvorovima.

### 3.1.4. Mrežni nivo

Na mrežnom nivou bazična operacija koju treba izvesti je ispravno uvezivanje paketa informacija između dva umrežena uređaja. Kod bežičnih senzorskih mreža ovaj sloj može biti od značaja pri čuvanju energije jer je u pitanju „multihop“ mreža u kojoj više od jednog čvora prenosi informaciju [19]. Dobrim izborom putanja za slanje paketa podataka se pored čuvanja energije ujednačenije koriste svi senzorski čvorovi u mreži. Ovo se rešava na dva načina: kreiranjem okosnice rute (backbone) i kontrolisanjem topologije u mreži. Oba pristupa deluju između sloja podataka i sloja mreže, zato što su u sloju sa podacima sve informacije potrebne za definisanje odluke o usmeravanju. Te informacije omogućuju protokolima usmeravanja da saznaju detalje o okolnim čvorovima i gde su pozicionirani. One su osnova za određivanje najpovoljnije rute za slanje podataka, kao i koliko je energije potrebno bi podatak stigao do ciljnog čvora.

### 3.1.5. Transportni nivo

Ovaj nivo je odgovoran za sigurnu isporuku informacija što se obezbeđuje sa najmanjom mogućom količinom kontrolnih poruka. Protokol transport je od važnosti jer može da redukuje količinu ponovljenih slanja već poslatih poruka. Energija se čuva tako što se paketi kreiraju tako da header bude mnogo manji od upotrebljivih informacija.

Ovi protokoli obavezno imaju i načine kontrole obima saobraćaja da ne bi došlo do preopterećenja čvorova i prekida u vezi. Svi čvorovi moraju biti tretirani jednako i izloženi ravnomernom opterećenju. U ovom sloju protokoli nisu bili previše istraživani do pojave multimedije i rasta količina informacija koje se šalju, tada je čuvanje energije počelo da se značajnije istražuje i u ovom sloju.

### 3.1.6. Nivo srednjeg sloja

Rezultati rada bežične senzorske mreže zavise i od toga koji je operativni sistem u upotrebi na svakom od čvorova. OS utiče na potrošnju, responsivnost, kvalitet, bezbednost, brzinu razmene podataka itd. Neki OS su posebno kreirani za bežične senzorske mreže a najzastupljeniji su TinyOS, Contiki, Mantis, LiteOS itd. Oni rade da omoguće siguran i pouzdan rad i da prilagođavaju potrošnju potrebama aplikacija. Optimizacija potrošnje je zadatak OS-a i on to čini

kroz duty cycling (vremena rada i isključenosti) senzorskog čvora. U radnom modu čvorovi pokazuju više potrošnje (>100mW) nego u modovima idle, sleep itd, tako da samo uključenosť ili samo isključenosť nije dovoljna metoda za najbolje raspolaganje energijom. „Dynamic Power Management“ (DPM) je jedna od metoda u upotrebi [19]. Kod DPM-a, OS sve vreme prilagođava potrošnju trenutnim potrebama aplikacije ili procesa. OS to radi uključivanjem ili isključivanjem delova senzorskog čvora, menja frekvenciju sistemskog sata ili prati upisivanje ili čitanje iz i u memoriju.

### 3.1.7. Nivo aplikacije

Čuvanje energije se značajno poboljšava ako se smanji količina podataka koji bivaju poslati. Sa aspekta štednje, manje energije se potroši da se poruka koja se šalje smanji za 1 bit, nego da se taj bit pošalje. To se radi na dva načina: formiranjem grupa od dobijenih podataka i kompresijom informacija za slanje. Grupisanje i brisanje pojedinačnih grupa podataka je najjednostavnije jer više senzorskih čvorova u bežičnoj senzorskoj mreži mogu imati slične podatke i time opterećivati razmenu informacija u mreži. Slične informacije se isključuju ovakvim funkcijama: brisanjem dvostrukih informacija, min, max ili određivanjem srednje vrednosti od dobijenih informacija. Ovo se vrši potpuno ili delom na svakom čvoru, čime se u okviru multihop topologije mnogostruko smanjuje količina nepotrebnih podataka. Kompresijom informacija za slanje se saobraćaj svodi na minimum i ujedno one bivaju zaštićene.

Na nivou aplikacije postoji najviše metoda, među kojima su i:

-Load Partitioning: mogućnosť da se energetski zahtevne operacije prebace čvorovima koji nemaju ograničene energetske potencijale

-Data Aggregation/Fusion: sazimanje velike količine sličnih informacija u jednom čvoru i prosleđivanje drugim čvorovima

-Kompresija informacija: tehnika od posebnog značaja za prenos multimedije

-Kontrola potrošnje: zasebni moduli se bave potrošnjom u svakom čvoru kao i informacijom koliko je energije preostalo u njemu. Ako se zaključi da nije ostalo dovoljno energije, aplikacija prelazi u mod izvođenja samo vitalnih zahteva radi produženja trajanja rada čvora.

### 3.1.8. Povezanost između nivoa

Uzevši u obzir obrađene tehnologije može se zaključiti da nijednu tehniku ne možemo izolovati samo na jednom nivou. Većina je jako zavisna jedna od druge, te je u poslednje vreme pažnja usmerena na protokole koji obuhvataju više nivoa (Cross Layer Design). Moguće je prepoznati tri bazične tehnike koje imaju primenu u energetski efikasnim aplikacijama za bežične senzorske mreže:

„Duty Cycling“ - zadržavanje komponenti što je duže moguće u modu minimalne potrošnje (idle, sleep). Ovaj mod zahteva još neke tehnike da bi rad svih senzorskih čvorova bio pouzdan. To je najpre vremenska sinhronizacija čvorova u mreži.

“Data- driven Approach“: ova tehnika eliminiše nepotrebne i dvostruke informacije i kontroliše potrošnju svih čvorova pomoću umanjavanja saobraćaja između čvorova ako je potrošnja uvećana.

“Mobility“: Saobraćaj je intenzivniji oko centralnog čvora (sinka), pa čvorovi u blizini brže gube energiju od onih na perifernim delovima mreže, čime je moguće ugrozavanje rada mreže. Ovom tehnikom se bez prekida rada menja odrednica koji će čvor biti glavni i time ujednačava potrošnja na svim čvorovima. [19]

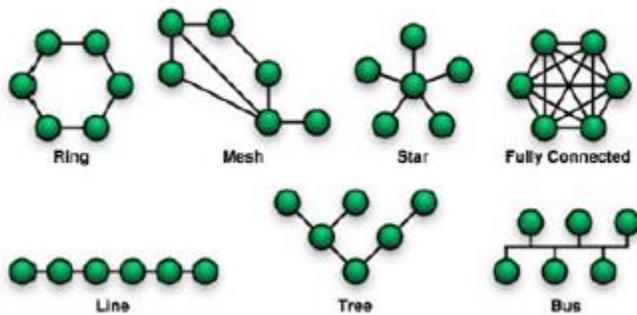
## 3.2. Pregled mrežnih topologija i standarda koji se koriste u bežičnim senzorskim mrežama

### 3.2.1. Topologija bežičnih senzorskih mreža

Topologija mreže je raspored uređaja i veze između njih. Logička topologija određuje načine i puteve komuniciranja. Fizička topologija rešava fizički aspekt mreže - fizičke pozicije uređaja. Ove dve topologije nisu obavezno iste, ali logička i njeno kreiranje je vezana za fizičku. Topologija zvezde, magistrale i mrezasta su najviše u upotrebi. Zvezdasta je ona u kojoj su svi uređaji spojeni na centralnu stanicu kroz sopstveni medijum (fizičku zicu ili određenu sopstvenu frekvenciju u bežičnoj mreži).

U topologiji zvezde centralna stanica zahteva veću procesorsku moć zbog istovremene komunikacije sa više uređaja. Ako je mreža zičana, uvećani su troškovi. Topologija magistrale (glavnog busa) ima sve uređaje vezane na centralnu stanicu kroz jedan zajednički medijum-magistralu. Centralna stanica može komunicirati sa samo jednim uređajem u datom trenutku. Protokol mora biti pouzdaniji, a ako je zičana mreža troškovi su manji. Kod mrežaste (web, mesh) topologije svi uređaji su spojeni na najmanje još dva uređaja (ili svi međusobno) a ako postoji - i glavnu stanicu. Ovako funkcioniše Internet. Zbog promenljive prirode skupa mogućih veza, mnoge bežične mreže koriste donekle ovaj princip. Postoje i druge topologije, kao što su point-to- point i multidrop.

Kod point-to-point topologije ne postoji grananje veza (izuzev centralne stanice). Ovakva mreža ima centranu stanicu vezanu na prvi uređaj, on sa drugim itd. i to su primeri topologije zvezde ili linije. Kod multidrop mreže svi uređaji imaju više konekcija sa drugim uređajima, a „web“ pripada ovoj topologiji. Mreža je single-hop ili multi-hop u zavisnosti od toga da li podatak stiže iz uređaja pravo u centralnu stanicu ili ide u više koraka kroz druge uređaje. Zbog ograničenja u dometu radio



Slika 13

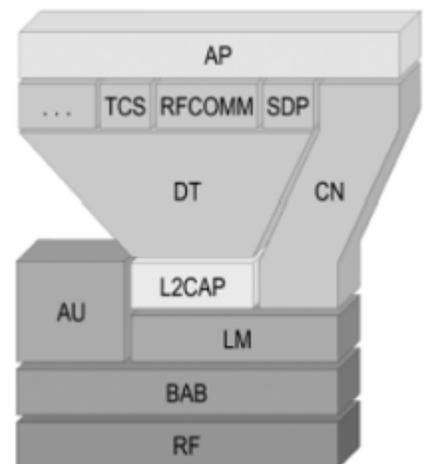
sekundarnih zvezda. To je multihop mreža. Najbolja konfiguracija mreže je uslovljena sredinom, kao i funkcijom i položajem uređaja. Kod bežičnih senzorskih mreža nema fizičkih veza među uređajima pa se topologija donekle može određivati i tokom rada. Ovo je važno za mreže koje imaju mnogo uređaja ili one kreirane da bi bile mobilne. Mreža se konfigurira prilikom postavke ili povremeno, tokom korišćenja. Primere topologije bežičnih senzorskih mreža možemo videti na slici 13.

uređaja, u bežičnim mrežama je često u upotrebi multi-hop. Topologija jedne mreže često ne pripada strogo jednom tipu navedenih mreža. Često se dešava da mreža bude zvezda koja se grana, gde su neki uređaji čvorovi (hubovi)

### 3.2.2. Standard Bluetooth

Ericsson 1994. uvodi „Bluetooth“ standard za upotrebu u bežičnim vezama. U prvom momentu je imao namenu u bežičnom povezivanju mobilnih uređaja, naprimer PDA, a kasnije da bi se povezivali računari.

“Bluetooth SIG“ je ime organizacije proizvođača za razvoj i unapređenje ove tehnologije. Tradicionalni Bluetooth sistem za osnovnu jedinicu ima piconet (piconet) mrežu. Ona je sastavljena od dva ili više uređaja na istom fizičkom kanalu. Takt u piconet mreži je isti kao i onaj u glavnoj stanici (masteru). Ostali uređaji u sinhronizaciji sa glavnim uređajem su prateći uređaji (slave). Kada prateći uređaj nije u radu (u piconet kanalu) a i dalje je u sinhronizaciji, ulazi u stanje neaktivnosti (standby). Prateći uređaji u kanalu piconeta ne mogu direktno da komuniciraju među sobom. Opseg frekvencije od 2,4GHz je podeljen na 79 kanala od po 1MHz, i modulacija koja se koristi je GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)



Slika 14

U tradicionalnom vremenskom multipleksu glavni uređaj upotrebljava neparnu vremensku jedinicu (625 ms) a prateći (slave) parnu u komunikaciji. U Bluetooth standardu nije definisana razbacana (scatternet vrsta ad-hoc računarske mreže koja se sastoji od više manjih "Piconet" mreža) mreža. U jezgru Bluetooth sistema nalaze se četiri najniža sloja i prateći protokoli sadržani u Bluetooth specifikaciji, protokol za detektovanje usluga (Service Discovery Protokol - SDP) kao i generički profil pristupa (Generic Access GAP). Definisani protokoli viših slojeva i dodatnih usluga su potrebni za potpunu Bluetooth aplikaciju i primenu.

Dijagram Bluetooth sistema predstavljen je na slici 14., a obeleženi su slojevi i odgovarajući protokoli:

- Niži slojevi i odgovarajući protokoli: radio (Radio Frequency-RF), osnovni opseg (Baseband-BAB), audio (AU), nadziranje veze (Link Manger-LM), kontrola i adaptacija veze (Logical Link Control and Adaptation Layer Protocol-L2CAP)
- Viši slojevi: podaci (Data-DT), sloj protokola vezanih za razne interfejse (Telephony Control Protocol Spec-TCS, Serial cable emulation protocol-RFCOMM, Service Discovery Protocol-SDP) i aplikacije (Application -AP), i
- Kontrola (Control -CN).

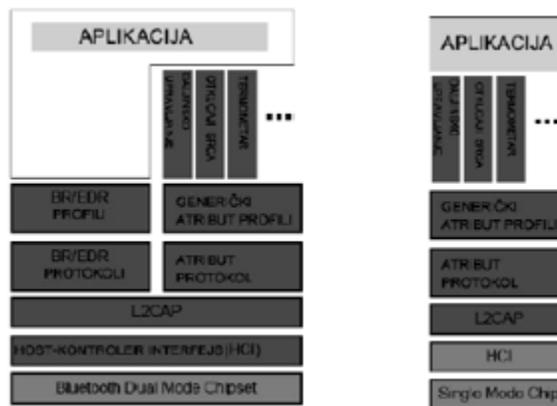
Da bi uređaj mogao da koristi Bluetooth mrežu mora da bude sposoban za interpretaciju definisanih profila. Profili su aplikacije kod kojih je svaka sposobna za podršku različitom skupu protokola. Postoji mogućnost uspostavljanja sinhronne veze orijentisane na konekciju ili asinhronne, gde se konekcija ne uspostavlja. U "Sniff" režimu uređaj smanjuje potrošnju energije i time baterija može da traje 30 dana, pa čak i duže. Potrošnja iznosi oko 40-50mA u stanju aktivnosti, a u "Sniff" režimu 1-5% od toga.

### 3.2.3. Bluetooth 4.0 Low Energy (BLE)

Verzija 2 i verzija 3 Bluetooth standarda su imale teznju ka što većim brzinama audio i video protoka. Kod Bluetooth 4.0 standarda ovo nije ključni parametar. Podaci se šalju brzinom do 1Mb/s i nije predviđen za strimovanje nego za slanje podataka u malim delovima. Potrošnja kod ovog protokola je umanjena na ~15mA i na ~1μA u standby režimu. Značajno je smanjeno i kašenje (3ms) [24]. Opseg frekvencije u upotrebi je 2,4GHz, a modulacija signala je GFSK. Ima podršku za topologiju zvezde kao i komunikaciju zasnovanu na događajima (event based). Bateriji se produžava trajnost sa meseci na godine. Stek protokola je pojednostavljen i lak. Bluetooth uređaj koji koristi dva steka protokola (slika 15 - levo) i Bluetooth uređaj sa BLE stekom protokola (slika 15 - desno). Na fizičkom sloju u upotrebi je 40 kanala od po 2MHz. Za oglašavanje (advertising) odvojena su tri kanala i ostalih 37 za prenos podataka. Kanale za oglašavanje (advertising) glavni uređaj može upotrebiti da komunicira svoje prisustvo pratećima, ali i oni kroz ovaj režim mogu opet da kontaktiraju mrežu ako dođe do promena. Implementirani su i generički profili zasnovani na atributima da bi se postiglo pojednostavljanje uređaja i programa koje koriste. Za bezbednost informacija u upotrebi je 128/bit AES simetrični šifrat. Određuje generičke gateway

lokacije koji podatke sa senzora šalju na željenu IP adresu.

Ovi uređaji imaju standardni „Bluetooth“ stek protokola (Basic Rate/Enhanced Data Rate) kao i stek za BLE(slika. 15.)



Slika 15

Protokol koji se zasniva na atributima je asinhrona klijent/server arhitektura gde klijent koristi atribute koje server ponudi. Svi atributi imaju 16-bitne adrese ukoliko je definisan od strane „Bluetooth SIG“. Ako proizvođač određuje atribute adresa je 128-bitna. Prema njima se donosi definicija generičkih profila a profili posebnih namena su iznad njih.

Pomoću BLE možemo: povezati aparate koje nosimo (satove), locirati ili pratiti objekte, koristiti senzore iz oblasti zdravlja i fitnesa, automatizovati domove i kancelarije, ostvariti M2M i komunikaciju u sistemu (kao točkovi i gume na vozilima), ili povezati sve što se može identifikovati sa „Internetom stvari“ (Internet of Things). U aplikacijama vezanim za zdravstvo, otklonjeni su različite manjkavosti tradicionalnog „Bluetooth“ standarda.

### 3.2.4. ZigBee standard

Kako su se bežične senzorske mreže razvijale i postajala sve više prisutne u našem okruženju, postojala je potreba da se definišu protokoli za rad u okviru ovih mreža. Jedan od ovih standarda je i 802.15.4 koji je definisala IEEE. Nakon objave 802.15.4 standarda, ZigBee alijansa objavljuje ZigBee standard kome je osnova 802.15.4. standard, a koji definiše gornje slojeve OSI modela koji se koristi u bežičnim senzorskim mrežama. Iako je ZigBee standardu osnova IEEE 802.15.4 standard, ova dva pojma se smatraju za istu „stvar“. Danas se „Zigbee“ često koristi kod bežičnih senzorskih modula za komunikaciju (IRIS, Telos/Tmote, MicaZ itd.) [23].

ZigBee alijansa je savez (skupina) sa više od 285 kompanija. Cilj saveza jeste razvoj bežičnih mreža koje mogu imati veliki broj uređaja, koje poseduju mogućnost malog prenosa podataka (ciljani prenos je 250 kb/s), koje su jeftine i jednostavne, pouzdane i koje troše malo energije. Pored toga, još jedna od osobina koju ZigBee mreža treba da ima jeste mogućnost samoprilagođavanja i preusmeravanja poruka, i mogućnost rada u

nelicenciranim slobodnim frekvencijskim opsezima.

Takođe, ZigBee savez sprovodi kontrolu proizvoda tj. program sertifikovanja uređaja koji su proizvedeni po ovom standardu, nakon čega (u slučaju uspešne sertifikacije) proizvod može da dobije logotip ZigBee alijanse. ZigBee stek protokola možemo videti na slici 16.

Najviši nivo ZigBee protokola je „APL“ tj. aplikacioni sloj. Aplikacioni sloj čine: Aplikacioni okvir (Application Framework)

- Obezbeđivanje specifikacije preko koje je moguće kreirati profil na ZigBee steku predstavlja osnovnu funkciju aplikacionog okvira, a sve u cilju postojanog i održivog načina generisanja profila.

ZigBee objekt uređaja (ZDO – ZigBee Device object)

- ovde se određuje koju ulogu uređaj ima u okviru ZigBee mreže. Dodatno, startuje se i/ili odgovara na zahteve za povezivanje ili za otkrivanje rute, a uspostavljaju se i sigurne veze između mrežnih uređaja.

Aplikacioni podsloj za podršku (APS – Application Support sublayer),

- ovde vidimo sličnost sa TCP/IP protokolom. Sličnost se ogleda po pitanju pružanja podrške aplikacionim uslugama, međutim, za razliku od TCP/IP protokola, aplikacioni podsloj za podršku ne obezbeđuje kontrolu toka podataka.

Aplikacioni objekat (AP – Application Support object)

- "end point" softver koji upravlja operacijama i funkcijama uređaja.



Slika 16

Sledeća posebna oblast predstavlja ZDO upravljačka ravan (ZDO Management Plane) Ona čini mogućom razmenu informacija između mrežnog i aplikacionog sloja sa ZigBee objektom uređaja (ZDO).

Sigurnosni sloj (SSP Security Service Provider) pruža sigurnosne mehanizme za mrežni i aplikacioni sloj (slojevi koji koriste enkripciju).

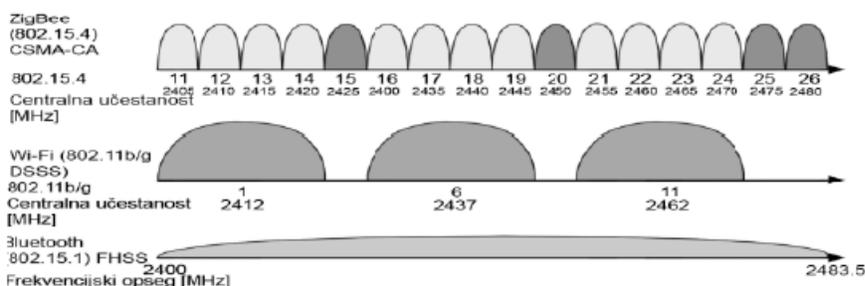
Mrežni sloj služi za ispravno adresiranje, dostavljanje, primanje i slanje i usmeravanje poruka u okviru ZigBee mreže.

Preko mrežnog sloja se takođe vrši konfigurisanje uređaja, kao i priključivanje i uklanjanje čvorova ili uređaja sa ZigBee mreže. Preko ovog sloja se startuje i mrežni koordinatork, a određuje se i vrsta ZigBee uređaja i opisuje se topologija bežične mreže koja će biti korišćena. Kod ZigBee mreža često se mogu naći topologije zvezde (najjednostavnija struktura, u centru je koordinatork, preko njega se obavlja komunikacija u mreži), onda topologije stabla i mrežasta topologija mreže ("mesh" topologija, omogućava se komunikacija preko više tačaka tj. multi-hop komunikacija, a komunikacija se uglavnom odvija preko rutera, preko kojih ide najveći deo komunikacije). Na ovom sloju su implementirane i sigurnosne mere zarad bezbednog protoka podataka.

IEEE 802.15.4 MAC podsloj obavlja zadatak komunikacije sa fizičkim slojem. Kroz korišćenje CSMA/CA (Carrier sense multiple access with collision avoidance - algoritam sa višestrukim pristupom sa osluškivanjem nosioca i izbegavanjem kolizije) protokola, vodi računa i omogućava pouzdanu komunikaciju između uređaja na mreži i njegovog neposrednog suseda, omogućava povezivanje uređaja u ZigBee mrežu, i šalje poruke u vezi potvrđivanja prijema (ACK - Acknowledged frame delivery) . Na ovom sloju se vrši i sastavljanje i rastavljanje ramova podataka.

IEEE 802.15.4 fizički sloj služi za definisanje hardverske strukture i prenosne frekvencije bežične komunikacije. Kroz ovaj sloj, definišu se tri slobodna frekvencijska opsega:

- 1.868.0–868.6 MHz: Frekventni opseg za Evropu - sadrži jedan kanal, prenos podataka od 20 Kb/s
- 2.902–928 MHz: Severna Amerika, sadrži do 10 kanala, kasnije prošireno na 30 kanala, brzina prenosa do 40 Kb/s +
- 3.2400–2483.5 MHz: upotreba u celom svetu, do 16 kanala, brzina prenosa do 250 Kb/s



Slika 17

Kako može doći do preklapanja između ZigBee i WiFi komunikacije, smetnje se

izbegavaju biranjem različitih radnih kanala (primer se može videti na slici 17.).

Funkcije koje obavlja fizički sloj su:

- uključivanje/isključivanje radio transivera
- slanje/primanje paketa podataka
- merenje parametara kvaliteta prenosa ili otkrivanje snage signala (ED - Energy Detection)
- indikacija kvaliteta linka (LQI - Link Quality Indication), koji mrežni sloj koristi za odabir slobodnih frekvencijskih kanala

Fizički sloj je veza između sredstva (uređaja) za prenos podataka i MAC sloja.

U okviru ZigBee mreže nalaze se tri vrste ZigBee uređaja (slika 18):

- ZigBee koordinator

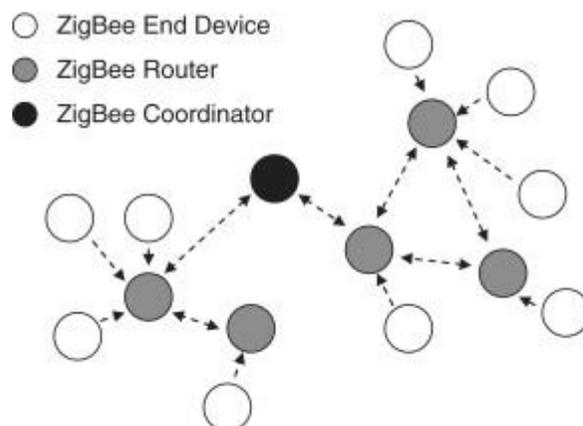
U okviru ZigBee mreže, koordinator predstavlja koren mrežnog stabla. Ovo je uređaj sa najviše sposobnosti koji ima funkciju startovanja i kontrole mreže. Preko koordinatora se ostvaruje veza sa drugim mrežama. U okviru svake ZigBee mreže postoji samo jedan koordinator (postoje ZigBee specifikacije koje dozvoljavaju rad i bez koordinatora). ZigBee koordinator je sposoban da čuva sigurnosne ključeve i ostale informacije omreži.

- ZigBee ruter

Preko rutera se ostvaruje komunikaciona veza, vrši se dodela adresa i koordinacija komunikacije u okviru mreže. Ruter uglavnom vrši funkciju povećanja dometa ( tj. pokrivenosti) mreže. Uz ruter je moguće ostvariti dinamičke rute oko prepreka, a u slučaju opterećenosti mreže ili prekida rada uređaja, omogućavaju ostvarivanje rezervne rute. Ruteri su sposobni da ostvaruju vezu sa drugim ruterima, kordinatorom, a takođe su sposobni da obezbede podršku uređajima koje nadgledaju. Ruter nije obavezan deo mreže, i njegovo prisustvo zavisi od mrežne topologije koja se koristi.

- ZigBee End Device (ZigBee krajnji uređaj)

Ovi uređaji mogu da prenose ili da primaju poruke, i neophodno je da budu povezani na ZigBee koordinator ili ZigBee ruter uređaj. Energetski su manje zahtevni od koordinatora ili rutera. Nisu osposobljeni da vrše rutiranje, i ne mogu obezbeđivati podršku drugom, podređenom uređaju. Funkcije koje ZigBee krajnji uređaj poseduje su srazmerne potrebama za komunikaciju sa koordinatorom ili ruterom. Ovaj uređaj omogućava da čvor (koordinator, ruter) uđe u "sleep" mod rada, što omogućava duže trajanje baterije. [23]



Slika 18 – Primer Zigbee uređaja

### 3.3. Obnovljivi izvori energije

Posle bližeg upoznavanja sa bežičnim senzorskim mrežama, u nastavku pažnju ćemo posvetiti obnovljivim izvorima energije, koji doprinose održivosti i smanjenju emisija staklene bašte. U najznačajnije obnovljive izvore energije spadaju energija vetra, energija vode, energija sunca, energija talasa i energija biomase [21]. Važno je naznačiti da su obnovljivi izvori energije oni čije korišćenje ne utiče na smanjenje enegetskih rezervi na zemlji.

**Energija vetra** predstavlja čist izvor energije. Stvaranje vetra je složen proces. Kako sunce neravnomerno greje zemlju polovi primaju manje sunčeve energije nego ekvator. Ono što predstavlja problem kod energije vetra jeste to što je vazduh fluid male gustine i što nameće potrebu za izgradnjom velikih i skupih uređaja za njegovo korišćenje. Električna energija dobijena iz energije vetra varira iz sata u sat, dnevno i sezonski. Kao i drugi izvori energije i energija vetra mora biti prema određenom rasporedu potrošnje. Stoga se koriste metode prognoziranja snage vetra, međutim, predviđanje iznosa dobijene energije vetra nije uvek najpouzdanija metoda.

**Energija vode** je najznačajniji obnovljivi izvor energije. Ona je ujedno i jedini izvor energije koji je ekonomski konkurentan fosilnim gorivima i nuklearnoj energiji. Vodenice i vodene turbine imale su ali i imaju značajnu ulogu za dobijanje energije. Pod energijom vode se najčešće misli na energiju reka ili manjih vodotokova (potoka), iako u ovu kategoriju spada i energija morskih struja, glečera, plime i oseke.

**Energija sunca** potiče od nuklearnih reakcija u njegovom središtu gde temperatura doseže 15 miliona stepeni. Ovde se radi o fuziji kod koje spajanjem vodonikovih atoma nastaje helj uz oslobađanje velike količine energije. Energija sunca predstavlja ogroman energetske izvor kojim se mogu zadovoljiti energetske potrebe za veoma dugo vreme. Snaga zračenja koja dođe na površinu znatno se menja tokom dana a njegove promene zavise od godišnjeg doba. Važno je naznačiti da je sunčevo zračenje povoljnije od vetra s obzirom na predvidivost pojave ali je nepovoljnije jer zračenja nema tokom noći.

**Energija talasa** je oblik transformisane sunčeve energije koja stvara stalne vetrove na nekim delovima zemlje. Ti vetrovi uzrokuju stalnu valovitost na određenim područjima i to su mesta na kojima je moguće iskorišćavanje njihove energije. Veliki problem kod takvog iskorišćavanja energije je da elektrane treba graditi na pučini jer u blizini obale talasi slabe. Međutim, to znatno povećava cenu gradnje ali nastaju i problemi prenosa te energije do korisnika.

**Energija biomase.** Biomasa je obnovljiv izvor energije a čine je brojni proizvodi biljnog i životinjskog sveta. Zapravo reč je o energiji koja se dobija sagorevanjem materijala biljnog i životinjskog sveta.

Kako su energetska efikasnost jako popularna tema poslednjih godina mnoge velike svetske kompanije razvile su široku ponudu proizvoda i servisa baziranih na inovativnim tehnologijama s ciljem uštede energije i povećanja produktivnosti. Jedna od takvih je i ABB sa sedištem u Cirihi. ABB u svojoj ponudi nudi niz rešenja za smanjenje potrošnje i povećanje energetske efikasnosti. Ovakva rešenja osim što omogućavaju veću energetska efikasnost utiču i na uštedu novca i smanjenje globalnog zagrevanja, koje je zadnjih godina u naglom porastu. Nekim od rešenja ABB-a za velike industrijske potrošače postižu se velike uštede energije čak i do 30%. Takođe, velika ušteda energije (do 60%) postiže se u rešenjima razvijenim za smanjenje potrošnje u stambenim i poslovnim zgradama velikih i ekonomski razvijenih gradova. [21]

### 3.4. Razvoj bežičnih senzorskih mreža u svetu

Kao što smo imali prilike da spomenemo u uvodu, bežične senzorske mreže postale su jedna od najinteresantnijih oblasti istraživanja u poslednjih nekoliko godina. Najnovija dostignuća u bežičnim i elektronskim tehnologijama omogućili su širok spektar primene bežičnih senzorskih mreža u zdravstvu, vojsci, oblasti životne sredine i mnogim drugim. Ovde ćemo opisati napredke koji su ostvareni u ovim oblastima kada su u pitanju bežične senzorske mreže [20].

U narednih nekoliko stavki, nabrojaćemo neke od najčešćih oblasti razvoja bežičnih senzorskih mreža:

#### - **Topologija i pokrivenost kontrole** (Topology and Coverage Control)

Topologija kontrole je jedan od fundamentalnih problema u oblasti bežičnih senzorskih mreža. Ona ima veliki značaj za produženje veka trajanja, smanjenje radio smetnji i rutiranje protokola. Takođe, ona obezbeđuje kvalitet veze i pokrivenosti mreže. Značajan napredak u istraživanju može se videti u topologiji kontrola kod bežičnih senzorskih mreža. Mnogi algoritmi (topology control algorithms) razvijeni su do tačno određenog datuma ali problem predstavlja nedostatak definitivnih i praktičnih algoritama ali i idealizovanje mnogih matematičkih modela.

#### - **Mobilnost menadžmenta**

Mobilnost predstavlja jedno od najvažnijih pitanja u narednoj generaciji mreža. Kada govorimo o pokretljivosti bežičnih senzorskih mreža prema spolja, reći ćemo da je to najčešći scenario u okviru arhitekture bežičnih senzorskih mreža. Tu svaki senzorski čvor ima sposobnost da izlazi iz svog lokalnog položaja i da krećući se ne gubi vezu sa ruterom senzora. Kada govorimo o kretanju unutar bežičnih senzorskih mreža reći ćemo da se tu senzorski čvorovi kreću između različitih senzorskih mreža i svaki sa svojim senzorskim ruterom.

### - **Bezbednost i privatnost**

Polje na koje se posvećuje manja pažnja kada su u pitanju bežične senzorske mreže jeste briga o informacijama koje se prikupljaju, prenose i analiziraju u bežičnim senzorskim mrežama. Zaštitu privatnosti u različitim oblastima vezanim za bežične senzorske mreže, kao što su žične i bežične mreže, ali i baze podataka, detaljno su proučavali Li i Das 2009. godine.

### - **Vojska**

Najnovije mrežne tehnologije pružaju podršku vojnim operacijama tako što kritične informacije šalju brzo i efikasno tačno određenim licima/organizacijama i to u pravo vreme, što dosta poboljšava efikasnost borbenih operacija. Važno je naglasiti da nove tehnologije moraju biti brzo integrisane u sveobuhvatnu arhitekturu kako bi ispunili zahteve sadašnjeg vremena. Od istraživačkih radova koji su rađeni u ovoj oblasti spomenućemo Doumita i Agravala koji su 2002. godine opisali važne aplikacije u otkrivanju neprijateljskih jedinica. Isto tako spomenućemo i Akildiza (Akyildiz) koji je 2002. godine dobro opisao komandu, kontrolu, računarstvo, nadzor i ciljne sisteme.

### - **Biomedicina/medicina**

Kao što smo spomenuli, upotreba bežičnih senzorskih mreža u oblasti medicine je velika. Biomedicinske bežične senzorske mreže pokazuju buduće prilike kada je reč o praćenju vitalnosti tela. One se takođe koriste da prošire mobilnost van hirurške sobe, kao i za istovremeno praćenje nekoliko pacijenata.

U nastavku navešćemo nekoliko projekata iz zdravstva koji su koristili bežične senzorske mreže[20]:

- **CodeBlue** (Lorincz *et al.*, 2004): predložen za praćenje i nadzor pacijenata[20];

- **ALARMNET** (2006): bežične senzorske mreže korišćene za asistiranje[20];

### - **Poljoprivreda**

Godine 2006. Vang i Vang (Wang and Wang) istakli su da poljoprivreda može imati dosta koristi od bežičnih senzorskih mreža u smislu dobijanja informacija u vezi degradacije zemljišta i nedostatka vode[20]. Uz pomoć bežičnih senzorskih mreža moguće je upravljati čistom vodom koja se koristi za navodnjavanje. U Španiji su još 2001. godine razvijeni automatski sistemi za navodnjavanje radi kontrole nekoliko hiljada hektara oblasti za navodnjavanje. Svaka oblast je bila podeljena u sedam podregiona sa oko 2000 instaliranih hidranata. Svaki podregion je praćen i kontrolisan od strane kontrole tog sektora. Sedam kontrola svakog sektora je komuniciralo međusobno preko centralne kontrole putem WLAN mreže. Ovi testovi su pokazali da je 30 do 60% uštedeno u potrošnji vode upotrebljenje za navodnjavanje. U Americi Evans i Bergman su vodeći u istraživačkoj grupi koja proučava sisteme navodnjavanja. Ovde su bežični senzori korišćeni u sistemu za podršku rasporedu navodnjavanja kombinujući podatke o vremenskim

prilikama, daljinskom korišćenju podataka i želji korisnika [20].

U okviru istraživanja u poljoprivredi spomenućemo i sistem distribucije podataka farmerima. Godine 2000. Dženson je razvio Web server koji omogućava dobijanje informacija o štetočinama, biljnim bolestima i vremenskoj prognozi[20]. Tu farmeri mogu da dobiju informacije direktno preko Interneta i tako te informacije upotrebe za svoje dalje planiranje i raspoređivanje poljoprivrednih poslova.

### 3.5. Osnovni izazovi u daljem razvoju bežičnih senzorskih mreža

Pored gore navedenih dostignuća u razvoju bežičnih senzorskih mreža ali i oblasti u kojima će se bežične senzorske tek razvijati, mi ćemo pokušati da navedemo osnovne izazove na koje ćemo nailaziti u budućnosti prilikom istraživanja bežičnih senzorskih mreža, bez obzira na to gde će se istraživanja vršiti.

Ključni izazovi za razvoj bežičnih senzorskih mreža su:

1. **Snaga uređaja (potrošnja)** - Ona je oduvek predstavljala izazov za bežične senzorske mreže. Jedan od načina kako bi se produžio životni vek mreže nalazi se u dizajniranju energetski efikasnih algoritama i algoritama koji koriste snagu na inteligentan način.

2. **Cena hardvera** – jedan od najvećih izazova jeste da se proizvede niska cena i mali senzorski čvorovi. Niski troškovi senzorskih čvorova mogu biti postignuti nedavnim ali budućim napredkom u oblasti MEMS (MicroElectroMechanical Systems);

3. **Bezbednost** – predstavlja jedan od najvećih izazova u bežičnih senzorskih mreža. Većina napada koji se vrše na bežične senzorske mreže sastoji se u ubacivanju lažnih informacija od strane kompromitovanih čvorova unutar mreže.

4. **Arhitektura sistema** – istraživanja u oblasti bežičnih senzorskih mreža vrše se širom sveta ali još uvek ne postoji jedinstven sistem i jedinstvena mrežna arhitektura koja bi mogla da objedini različite primene.

5. **Protokoli** – ideja protokola je standardizacija radi inter operabilnosti, time bi se izbegla nekompatibilnost između uređaja i protokola

6. **Analitički i praktični rezultati** – do sada postoji jako malo analitičkih rezultata u okviru bežičnih senzorskih mreža. Svim novim aplikacijama ukazano je poverenje onda kada su testirane i analizirane u praksi, a rezultati poređeni sa postojećim šemama.

Pored već predstavljenih osnovnih izazova u daljem razvoju bežičnih senzorskih mreža, u nastavku ćemo navesti i još neke probleme senzorskih bežičnih tehnologija. Iako su potencijali ove tehnologije prepoznati širom svetu i u velikom broju država, prepreke u razvoju ove vrste

bežičnih mreža i dalje su prisutne [26]:

- Standardizacija još nije završena;
- Velika količina podataka generisanih od strane bežičnih senzora može da dovede do preopterećenja;
- Problem kompatibilnosti. Kompatibilnost sa postojećim sistemima nije prilagođena tako da postojeći sistemi sprečavaju uvođenje bežične tehnologije;
- Rani usvajači ove tehnologije još ispravljaju neke greške dok ostali čekaju dokaz o uspešnosti toga;
- Kompleksnost i visoki troškovi pokrivanja velikih prostora sprečavaju brzo usvajanje;
- Obezbeđivanje električne energije veliki je problem kod bežičnih sistema;
- Pouzdanost bežičnih sistema ostaje nedokazana i smatraju se previše rizičnim za kontrolu procesa;
- Nedostatak iskusnog osoblja za popravku kvarova. [26]

### **3.6. Prednosti i nedostaci bežičnih sistema u odnosu na žične**

Postoji jak argument za instalaciju senzora i automatizaciju kontrola zgrade da su mnoge organizacije sa kojima razgovaramo već uverene da je to put napred [9]. Međutim, ono što ljudi žele da znaju je da li bi trebalo da se odluče za žičani ili bežični sistem.

Odabrali smo pet glavnih faktora koje biste trebali uzeti u obzir pri odabiru pametnih senzora i proći kroz prednosti i nedostatke žičnih i bežičnih sistema senzora.

#### **3.6.1. Instalacija**

Brza, direktna instalacija jedna je od glavnih prednosti bežičnih senzorskih sistema. Kad uzmete u obzir da će velika većina onih koji usvajaju tehnologiju to činiti u postojećoj zgradi, nije teško

shvatiti zašto je ovo lako rešenje za naknadnu obradu steklo toliku popularnost.

Bežični sistemi mogu biti vaša jedina održiva opcija kada je teško ožičenje teško ili nepraktično, kao što su zgrade starih zgrada, staklene sale za sastanke i druge situacije u kojima postoje građevinska ograničenja. Na primer, dok bi provod žica između zgrada mogao biti zabranjen, susednu zgradu možete lako povezati na mrežu bežičnim uređajima.

Instaliranje bežičnih senzorskih sistema ne zahteva bušenje, ožičenje ili strukturne promene zgrade. To znači smanjene troškove instalacije, minimalne smetnje u radnoj snazi i enterijeru i sistem koji možete pokrenuti mnogo ranije.

Nasuprot tome, žičani senzorski sistem znači da ćete morati da unajmite električara i više nego verovatno platiti satnicu. To može biti dugotrajan proces uz neki neophodni zastoje, a bušenje rupa znači da će nekim područjima biti potrebno ponovno popunjavanje i farbanje. Međutim, dok je instalacija bežičnog sistema moguća uz samo jedan klik ili lepljenje senzora na svoje mesto, morate pažljivo planirati postavljanje senzora i prijemnika kako biste bili sigurni da je sistem što otporniji i nudi što veću pokrivenost.

### **3.6.2. Cena inicijalnog ulaganja**

Ovde treba razmotriti dva faktora - trošak komponenata i instalacije i tekući troškovi održavanja. Suprotno onome što mnogi ljudi očekuju, bežični sistem nije nužno skuplja opcija. To čak zvuči tačno ako instalirate nov sistem, a ne tražite rešenje za naknadnu ugradnju sistema.

Iako početni troškovi mogu biti malo veći za bežični sistem, sve izmene koje napravite u budućnosti biće mnogo jeftinije. Ako planirate da proširite mrežu u budućnosti ili vam je potreban određeni stepen fleksibilnosti - na primer, ako ponekad premestite kancelarijske particije da biste promenili konfiguraciju prostora - bežični sistem je daleko prilagodljiviji.

### **3.6.3. Održavanje**

Postoje dve vrste bežičnih uređaja - sa napajanjem i sa vlastitim napajanjem. U bežičnim

sistemima koji se napajaju, svi senzori i aktuatori će se napajati baterijom. Pre nego što odlučite da li je to izvodljivo, razmislite o veličini zgrade i broju uređaja. Ako imate manju zgradu, možda bi to bio pravi izbor, ali velika zgrada mogla bi se pokazati nepraktičnom. Ne samo da baterije treba menjati, već ih treba i skladištiti da budu spremne za upotrebu, a zatim ih sigurno odložiti kada se isprazne.

Bežični uređaji sa vlastitim napajanjem su idalje u prototip fazama i oni sakupljaju energiju potrebnu za pravilno funkcionisanje. Sitne promene u kretanju, pritisku, svetlosti, temperaturi ili vibracijama su sve što je potrebno za napajanje svakog uređaja, čineći ih praktično bez potrebe za održavanjem. Iako je ova tehnologija u početku možda nešto skuplja od uređaja na baterije i još nema široku praktičnu primenu, dugoročno gledano, sistem će zapravo biti daleko ekonomičniji, kao i mnogo održiviji izbor za našu planetu.

### **3.6.4. Povezivost i sigurnost**

Nažalost, još uvek postoji nekoliko zabluda oko bežične tehnologije - da ona nije sigurna, da je nepouzdana, da će vas zauvek mučiti smetnje i problemi sa dosegom signala. Zapravo, ova verovanja potiču iz ranih iskustava sa kućnim sistemima bezbednosti, zabave i upravljanja, kada su poteškoće sa signalom bile uobičajene.

S obzirom da se bežične senzorske mreže koriste u mnogim oblastima postoji opasnost od ometanja procesa prikupljanja i obrade podataka, procesa komunikacije u mreži, kao i ugrožavanja integriteta prenošenih podataka.

Iz navedenih razloga neophodno je uvesti sigurnosne mehanizme u okviru svih procesa koji se odvijaju u bežičnim senzorskim mrežama. Pri razvoju sigurnosnih mehanizama i protokola, mora se imati u vidu da elemente bežičnih senzorskih mreža karakterišu mnoga hardverska i softverska ograničenja. Osim toga, za potrebe komunikacije u bežičnim senzorskim mrežama, najčešće se koristi radio prenos, koji se može presretati. Osnovni sigurnosni mehanizmi koji se mogu primeniti u okviru bežičnih senzorskih mreža su kriptografija, upravljanje distribucijom ključeva, razvoj protokola za sigurno rutiranje i agregaciju podataka, tehnika sigurne sinhronizacije, kao i tehnika za detekciju napada na sigurnost mreže [27].

### 3.6.5. Fleksibilnost i skalabilnost

Kao što je spomenuto, jedna od najvećih prednosti bežične mreže je ta što ih je zaista lako dodati ili izmeniti. To znači da možete lako premestiti senzore da biste dobili jači signal ili ako se promeni raspored sobe. Možda imate modularni maloprodajni ili kancelarijski prostor sa pregradnim zidovima koji se menjaju u zavisnosti od upotrebe, ili možda privremenu instalaciju u iznajmljenoj zgradi ili isprobavate tehnologiju pre nego što odlučite da li da je uvedete.

Takođe nije komplikovano povećati bežični sistem tokom vremena - bilo kako vaša radna snaga ili posao raste ili tako da možete posnuti u početnu investiciju. Bežična tehnologija se tome veoma dobro pridaje, jer se novi senzori i prijemnici mogu jednostavno dodati postojećoj mreži. Neke zgrade započinju automatizacijom kontrole u jednoj zoni - kao dokaz koncepta, merenjem rezultata pre nego što nastave ili uklapanjem u budžetska ograničenja - a zatim se šire odatle.

Bežična tehnologija takođe omogućava lako korišćenje nadogradnji i novih tehnologija čim postanu dostupne, omogućavajući zgradama da postanu efikasnije i uštede više energije tokom vremena. Ovo može značajno povećati životnu vrednost objekta. [9]

## 4. Bežične senzorske mreže u poljoprivredi

Poslednjih godina bežične senzorske mreže se sve više koriste u raznim delatnostima. U oblasti kao što je poljoprivreda su dosta zapostavljene na našim prostorima, a trebale bi da budu neizostavne. U nastavku rada opisaćemo projekat koji je direktno vezan za bežične senzorske mreže u toj poljoprivredi.

### 4.1. Meterološka mobilna stanica

Inteligentne prakse u navodnjavanju su deo moderne poljoprivrede već nekoliko godina [17]. Moderna irigacija štedi vodu, pomaže očuvanju rezervi hranljivih materija i ekosistema tla - kvaliteta zemljišta. Osim toga, pored prirodnih šteti i podjednako važne ekonomske resurse.

Plasiranjem sonde za merenje vlage zemljišta na različite dubine(10,20,30,40cm)dobijamo veoma preciznu sliku distribucije vlage korenovom sistemu i omogućavamo optimalnu vlažnost uz minimalni utrošak energenata zalivnog sistema,kao i kontrolu prekomernog ispiranja zemljišta usled prekomernog zalivanja. Tom merom sprečavamo i zagađenje zemljišta i voda.

Uz upotrebu ovog sistema, kako elektronskih komponenti, kao i analitičkog softvera, lako se postižu rezultati – od 20% do 30% smanjenja [22] potrošnje vode i poboljšanje kvaliteta useva.

Precizne i adekvatne mere navodnjavanja dovode i do poboljšanja zdravlja biljke tako što dovode do jačanja i pravilnog razvoja korena. Jak i dubok koren karakteriše zdravu biljku, koja je otpornija na loše vremenske prilike.

Pored toga što ispunjava svoju osnovnu funkciju – uštedu u potrošnji vode, ovaj informacioni sistem omogućava pravilno planiranje i sprovođenje argotehničkih mera. Sada se zna tačno kada je adekvatna temperatura vode za navodnjavanje, kada je tlo dovoljno toplo ili hladno, koliko je palo kiše, kakva je temperatura vazduha, koliko su biljke dobile sunčeve svetlosti i još mnogo toga..

Prednosti koje ostvarujemo korišćenjem sistema:

1. Sačuvajte vodu

Upotrebom sistema za navodnjavanja možete smanjiti potrošnju vode 20 - 70% [20], u zavisnosti od vrste useva i vremenskih prilika

2. Poboljšajte kvalitet i prinos

Ovaj sistem je nezamenjiv alat u planiranju agrotehničkih mera.

### 3. Uštedite na energentima I amortizaciji opreme

Optimizacija navodnjavanja kao posledica upotrebe sistema, koja dovodi do smanjenja potrošnje vode, ima za rezultat smanjenje potrošnje energenata za pumpe. Smanjena potreba za navodnjavanjem znači smanjenje habanja opreme.

### 4. Uštedite na đubrivu

Optimizacija navodnjavanja, koju vam omogućava sistem smanjuje spiranje đubriva van zone korena.

### 5. Uštedite na preparatima

Sistem vam omogućava da odaberete pravi trenutak I optimalne uslove za primenu agrotehničkih mera.

Rešenja se projektuju i implementiraju specifično za svaku primenu – sistem se gradi u skladu sa potrebama i mogućnostima klijenta.

Svaki sistem se gradi od istih osnovnih elemenata kao što su uređaji u polju i servera.

Uređaj u polju se sastoji od:

- Senzora
- Upravljačkog uređaja (mikrokontrolera)
- Uređaja za komunikaciju sa serverom
- Napajanja

## 4.2. Senzori

Kako bi sistem pružao precizne podatke merenja potrebno je da izvršimo odabir senzora koje ćemo koristiti.

Potrebni su nam senzori koji mogu da mere:

1. Vlažnost zemljišta
2. Temperaturu zemljišta
3. Vlažnost vazduha
4. Temperaturu vazduha

### 4.2.1. Vlažnost zemljišta i temperatura zemljišta:

Kako bi izmerili vlažnost i temperaturu zemljišta, potrebni su nam senzori koji će nam to i omogućiti.

Pošto je tehnologija napredovala, to nam omogućava sve jedan senzor.

Senzor koji ćemo koristiti je "SHT20" koji je prikazan na slici 19.

Specifikacije koje poseduje SHT20:

- Napon rada: 3.3/5V
- Komunikacioni interfejs: I2C
- Vodootporan
- RH Vreme odziva: 8s (tau63%)
- Preciznost:  $\pm 3\%$  RH /  $\pm 0.3$  °C
- Opseg merenja: 0-100% RH / -40-125 °C
- Dimenzije: 73mm \* 17mm / 2.87 \* 0.67 inches
- Težina: 44g



Ovaj senzor temperature i vlažnosti SHT20 I2C opremljen je vodootpornom sondom [12]. Dolazi sa 4C CMOSens® SHT20 čipom senzora temperature i vlažnosti, a sonda je prošla dvostruki test vodootporne zaštite.

Osim senzora vlažnosti kapacitivnog tipa i senzora temperature opsega, SHT20 sadrži pojačalo, A / D pretvarač (Converter), OTP memoriju i jedinicu za digitalnu obradu. U poređenju sa ranim serijama SHT1x i SHT7x, SHT20 pokazuje snažnu pouzdanost i dugoročnu stabilnost. Može precizno izmeriti temperaturu okoline i relativnu vlažnost vazduha.

## BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE U POLJOPRIVREDI

Tu je i ugrađeni otpor za povlačenje od 10 k i kondenzator filtera od 0,1 uf. Omogućava direktnu upotrebu senzora sa mikrokontrolerom kao što je Arduino.

Interfejs senzora:

Crveni VCC

Zeleni GND

Plava (crna) SDA

Žuta (bela) SCL

### Kako koristiti SHT20 senzor

Priključnice:

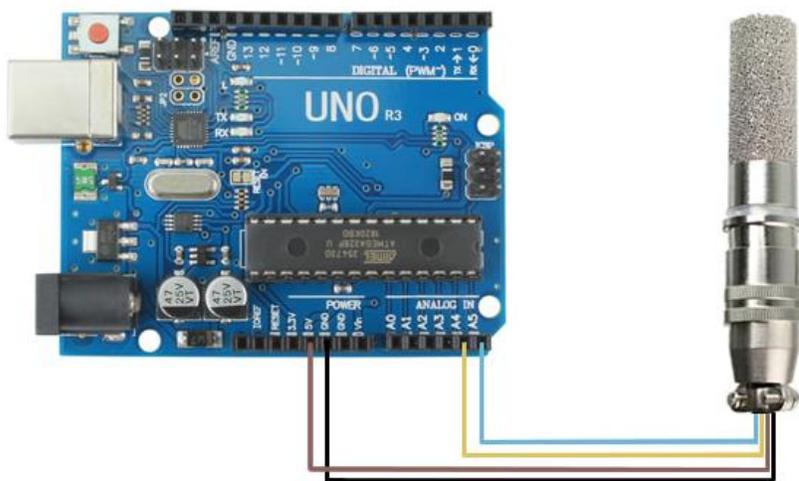
gnd: ground

VCC: napajanje 3.3V - 5.5V

SDA: serial data I2C

SCL: serial clock

Na sledećoj slici prikazano je kako spojiti novi breakout sa Arduino mikrokontrolerom. Povezivanje je vrlo jednostavno i potrebne su samo četiri žice od čega dve za napajanje i dve za komunikaciju. Napajanje pločice ostvaruje se povezivanjem priključka od +5V i gnd na istoimene priključke na Arduino. Preostaje spojiti komunikacione priključke SDA i SCL sa A4 i A5 priključcima na Arduino UNO.



Slika 20

### Način rada

Senzor radi kao slave u I2C komunikaciji (koju ćemo opisati kasnije u radu). Na zahtev mikrokontrolera, senzor se pali i započinje proces merenja temperature i vlažnosti. Kada senzor završi sa merenjem, šalje izmerene podatke mikrokontroleru i odlazi u idle način rada kako bi se osigurala niska potrošnja energije. Vreme koje je potrebno senzoru za očitavanje temperature i vlažnosti varira između 5 i 30 sekundi što zavisi o toplotnoj provodljivosti materijala s kojima je senzor u kontaktu. Primera radi, senzor će pre očitati promenu temperature ako je u kontaktu sa dobrim toplotnim provodnikom poput metala nego ako je u kontaktu sa toplotnim izolatorom. [12]

#### **4.2.2. Vlažnost vazduha i temperatura vazduha:**

Kako bi izmerili vlažnost i temperaturu vazduha, potrebni su nam senzori koji će nam to i omogućiti.

Pošto je tehnologija napredovala, to nam omogućava sve jedan senzor.

Senzor koji ćemo koristiti je "DHT22" koji se nalazi na slici 21.

Specifikacije koje poseduje DHT22:

-Od 3 do 5V snaga i I/O

-2.5mA max maksimalna potrosnja tokom "komuniciranja" (dok zahteva podatke)

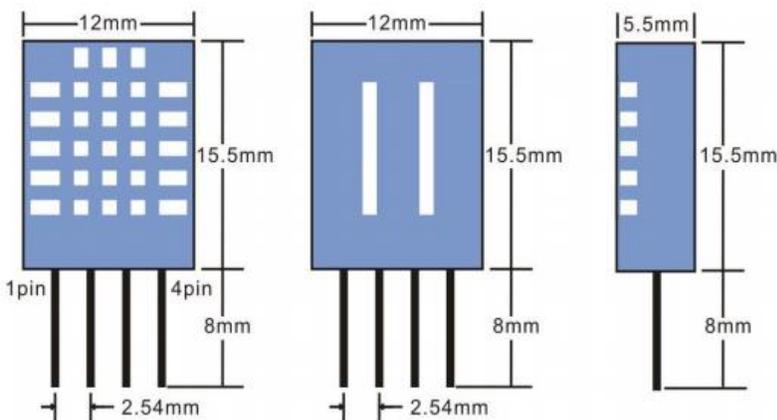
-Pogodan za 0-100% čitanje vlažnosti sa 2-5% mogućnosti greške

-Pogodan za čitanje temperature od -40 80°C ( ±0.5°Cpreciznost )

-Ne više od 0.5 Hz odabiranja (jednom na svake 2 sekunde)

-Veličina senzora 15.1mm x 25mm x 7.7mm

-4 pina sa 2,5mm razmakom



Slika 21

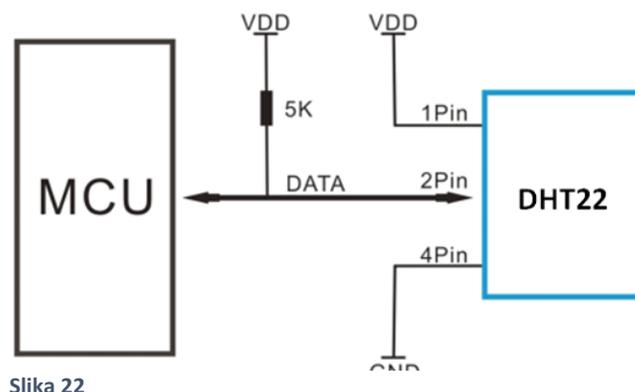
### Gde se DHT22 senzor koristi

- DHT22 je uobičajeni senzor temperature i vlažnosti. Senzor se isporučuje sa namenskim NTC za merenje temperature i 8-bitnim mikrokontrolerom za izlaz vrednosti temperature i vlažnosti kao serijskih podataka. Senzor je takođe fabrički kalibrisan i samim tim je jednostavan za povezivanje sa drugim mikrokontrolerima. Senzor je male dimenzije, male potrošnje i prenosi podatke na velike udaljenosti (veće od 20m) što ga čini primjenjivim mnoštvu uređaja. U odnosu na DHT11 ovaj senzor je precizniji, radi u većem rasponu temperature i vlage (zbog čega smo i odabrali ovaj senzor pre nego DHT11), ali je veći i skuplji.

- Senzor može meriti temperaturu od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $80^{\circ}\text{C}$  i vlažnost od 0% do 100% sa tačnošću od  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  i  $\pm 1\%$ . Dakle, ako želite da merite u ovom opsegu, ovaj senzor je možda pravi izbor za vas. [4]

### Kako koristiti DHT22 senzor

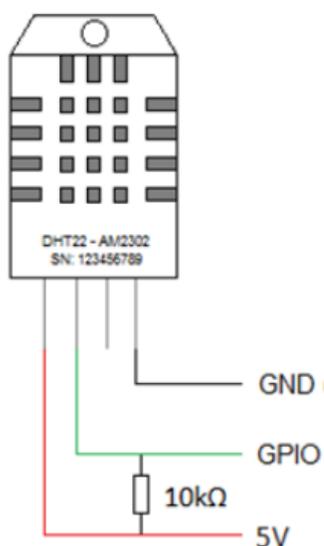
DHT22 senzor je fabrički kalibriran i daje serijske podatke i stoga ga je vrlo jednostavno podesiti. Dijagram povezivanja za ovaj senzor prikazan je ispod.



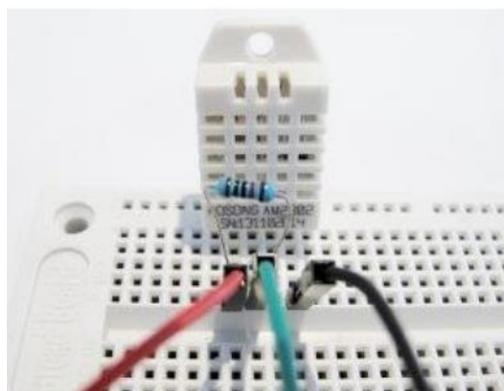
Slika 22

## BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE U POLJOPRIVREDI

Prvi pin sa leve strane spaja se na napajanje (Vcc 3.3 - 5V), drugi pin (serial data) služi za prenos podataka između senzora i mikrokontrolera, treći pin je NC (not connected), četvrti pin spaja se na masu (ground), kako je prikazano na slikama ispod [10]. Zbog svoje master/slave strukture, SDA pinu je potreban spoljni pull-up otpornik. Vrednost otpornika zavisi o dužini kabla između mikrokontrolera i senzora. Preporuka je koristiti 10k oma otpornike za 5V napon, dok za dužine kabla veće od 20m nije potreban otpornik. Ukoliko se koristiti 3.3V napon dužina kabla može biti do 1m maksimalno. Ako pokušavate da povežete DHT22 sa Arduino Uno, za to postoje gotove biblioteke koje će vam pružiti brz početak.



Slika 23

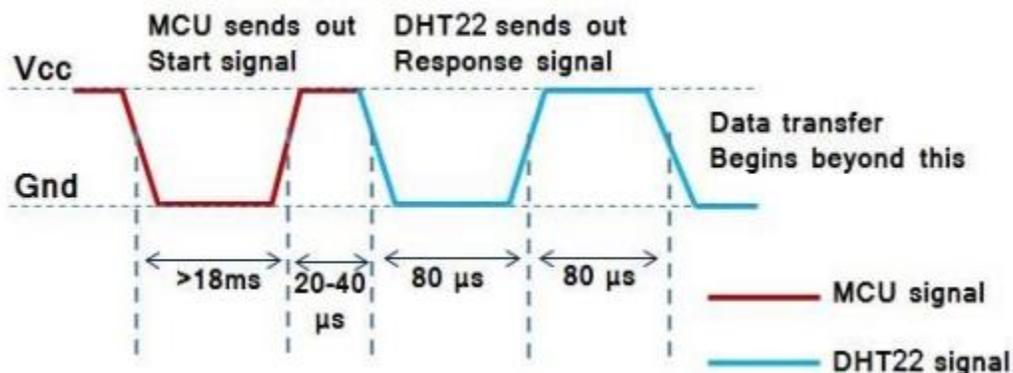


Slika 24

### Način rada

MSP430G2553 i DHT22 komuniciraju preko SDA (serial data) pina na DHTu i I/O pina na mikrokontroleru, te tako čine pojednostavljenu single-bus (one-wire) komunikaciju. Zbog slanja podataka samo preko jednog pina DHT22 se razlikuje od uobičajenih senzora. Umesto pull low za slanje '0' i pull high za slanje '1', senzor šalje impulse različitih vremenskih perioda za bitove 1 i 0. Za slanje bita '0', senzor šalje impulse trajanja od 28us, a za bit '1', šalje impulse od 70us.. Prema tome je potrebno detektovati bitove 1 i 0 na liniji. Sledeći vremenski dijagram opisuje protokol prenosa podataka između mikrokontrolera i senzora DHT22. Mikrokontroler pokreće prenos podataka slanjem signala "Start". Pin mikrokontrolera mora biti konfigurisan kao izlaz za tu svrhu. Najpre se podatkovnu liniju postavlja nisko najmanje 18 ms, a zatim se postavlja visoko sljedećih 20 do 40 us. Zatim senzor reaguje na signal "Start" postavljanjem linije nisko za 80 us, nakon čega sledi visoki signal koji takođe traje 80us. Pin mikrokontrolera mora biti konfigurisan za ulaz nakon završetka signala "Start". Nakon što primi "Response" signal senzora, mikrokontroler mora biti spreman za primanje podataka iz senzora. Senzor zatim 12

šalje 40 bita (5 bajtova) podataka kontinualno u liniji podataka. Tokom prenosa bajtova senzor najprije šalje najznačajniji bit. [10]



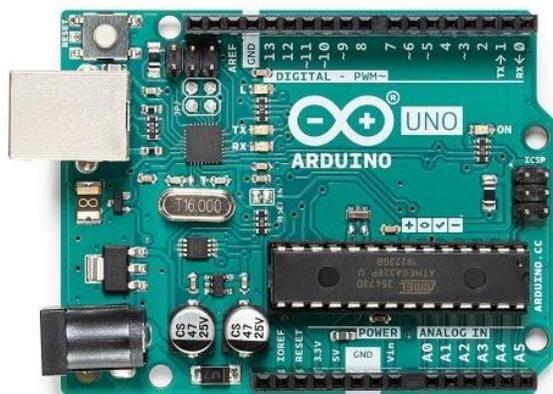
Slika 25

### 4.3. Mikrokontroler

Uloga mikrokontrolera u našem sistemu jeste da podatke sa senzora obradi i pošalje ka serveru. Preko njega ide sva komunikacija koja se desava unutar našeg sistema. Mikrokontroler koji smo koristili u našem sistemu jeste Arduino UNO (slika 26).

Arduino je kompanija za hardver i softver otvorenog koda, projektna i korisnička zajednica koja dizajnira i proizvodi mikrokontrolere sa jednom pločom i setove za mikrokontrolere za izgradnju digitalnih uređaja. Svi kodovi za arduino su open source tipa, što znači da su besplatni i lako dostupni na internetu.

Arduino je direktno povezan sa sensorima i sa gsm modulom (koji ćemo opisati kasnije u radu) i komunicira sa njima preko I2C protokola.

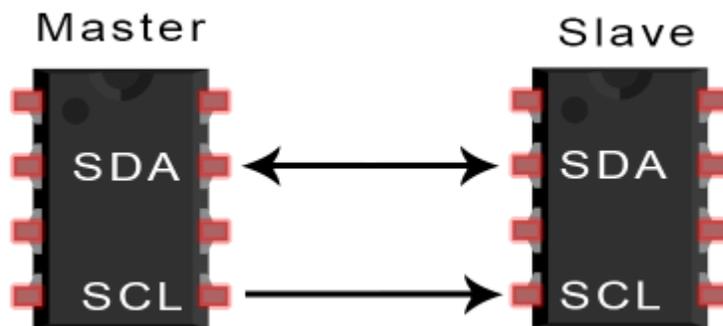


Slika 26

## 4.4. I2C protokol

I2C protocol je sinhroni, multi-master, multi-slave, single-ended, serial communication bus

I2C se koristi u manjim elektricnim uređajima (elektronici) jer se jednostavno može implementirati u različitim situacijama koje mogu posedovati više master ili više slave uređaja.



Slika 27

SDA (serijski podaci) - linija za master i slave jedinicu za slanje i primanje podataka.

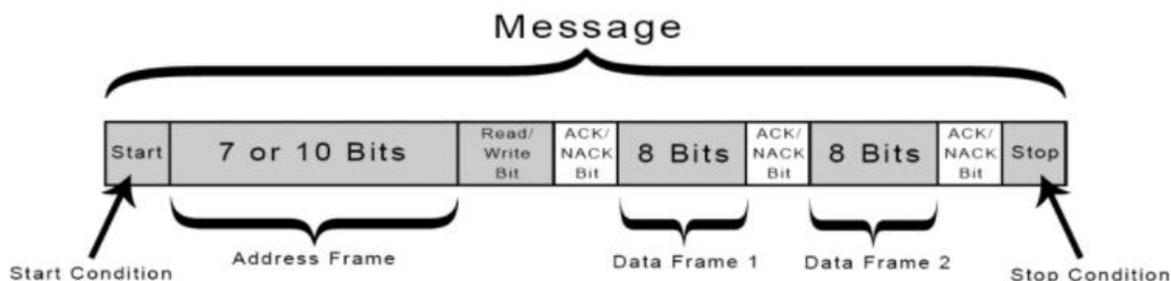
SCL (serijski sat) - linija koja prenosi signal sata.

I2C je serijski komunikacijski protokol, pa se podaci prenose bit po bit duž jedne žice (SDA linija).

Kao i SPI, I2C je sinhroni, tako da se izlaz bitova sinhronizuje sa uzorkovanjem bitova signalom takta koji se deli između master i slave uređaja. Signalom sata uvek upravlja master.

Koristi se za priključivanje perifernih integrisanih kola sa mikrokontrolerom (u našem slučaju senzora) nižih brzina na malim udaljenostima od oko 1 metra.

Sa I2C, podaci se prenose u porukama. Poruke su podeljene u okvire podataka. Svaka poruka ima okvir adrese koji sadrži binarnu adresu slave uređaja i jedan ili više okvira podataka koji sadrže podatke koji se prenose. Poruka takođe uključuje uslove pokretanja i zaustavljanja, bitove za čitanje / pisanje i ACK / NACK bitove između svakog okvira podataka:



Slika 28 – Primer I2C poruke

Uslov pokretanja: SDA linija se prebacuje sa visokog napona na nivo niskog napona pre nego što se SCL linija prebacuje sa visokog na niski.

Stanje zaustavljanja: SDA linija se prebacuje sa niskog napona na nivo visokog napona nakon što SCL linija pređe sa niskog na visoki.

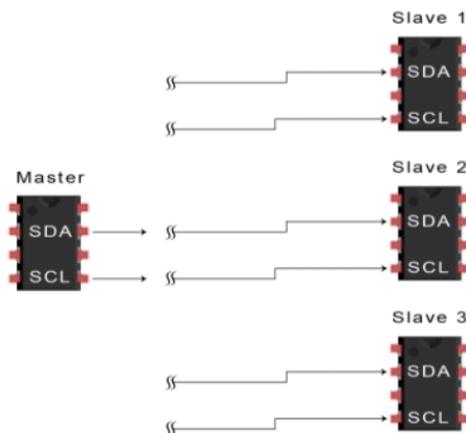
Adresni okvir: 7 ili 10-bitna sekvenca jedinstvena za svaki slave koji identifikuje slave kada master želi da razgovara s njim.

Čitanje / pisanje bita: Jedan bit koji određuje da li master šalje podatke slave uređaju (nivo niskog napona) ili zahteva podatke od njega (nivo visokog napona).

ACK / NACK Bit: Nakon svakog okvira u poruci sledi bit potvrde / neprihvatanja. Ako su okvir za adresu ili okvir podataka uspešno primljeni, ACK bit se vraća pošiljaocu sa uređaja koji prima.

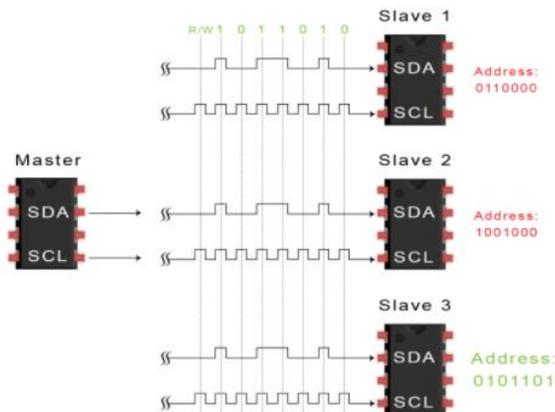
## Koraci prenosa I2C podataka

1. Master šalje početni uslov svakom povezanom pomoćnom uređaju prebacivanjem SDA linije sa visokog napona na nivo niskog napona pre prebacivanja SCL linije sa visokog na niži:



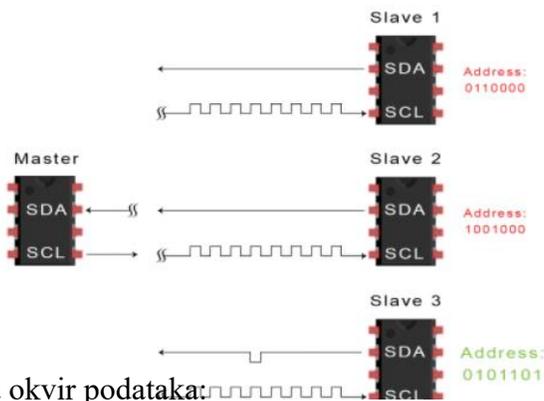
Slika 29

2. Master šalje svakom slave 7 ili 10-bitnu adresu slave-a sa kojim želi da komunicira, zajedno sa bitom za čitanje / pisanje:



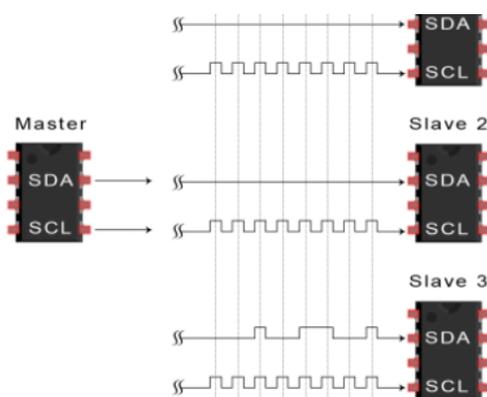
Slika 30

3. Svaki slave upoređuje adresu poslatu sa glavnog računara sa svojom adresom. Ako se adresa podudara, slave vraća ACK bit povlačenjem linije SDA za jedan bit. Ako se adresa glavnog (master) ne podudara sa sopstvenom adresom slave, slave ostavlja SDA liniju visoko



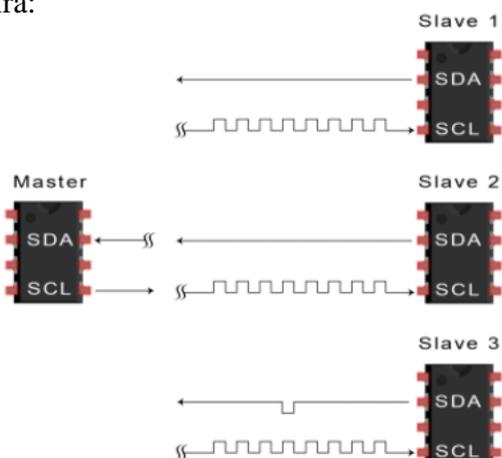
4. Master šalje ili prima okvir podataka:

Slika 31



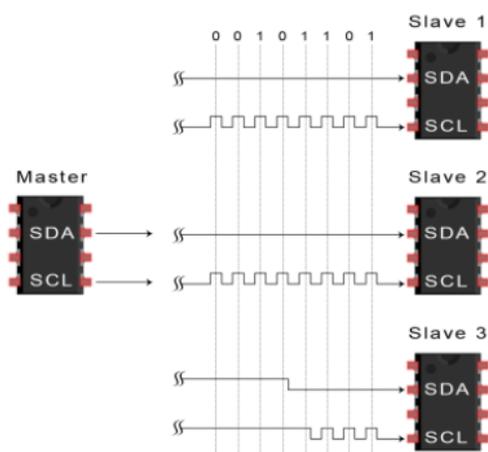
Slika 32

5. Nakon prenosa svakog okvira podataka, prijemni uređaj vraća još jedan ACK bit pošiljaocu da potvrdi uspešan prijem okvira:



Slika 33

6. Da bi zaustavio prenos podataka, master šalje uslov zaustavljanja slave uređaju tako što će prebaciti SCL visoko pre prebacivanja SDA visoko:



Slika 34

Unutar arduino koda, I2C protokol primenjujemo pozivom <Wire.h> biblioteke.

Razdaljine između senzora i mikrokontrolera u projektu koji radimo nisu veće od jednog metra i zbog toga koristimo I2C protokol. Ukoliko bi te razdaljine bile veće, koristili bi druge tehnologije namenjene većim udaljenostima kao što su Modbus ili 485 protokoli. [14]

## 4.5. Konekcija sa internetom

Senzorski deo našeg sistema komunicira preko interneta sa serverom na koji se šalju sva merenja koje su senori izmerili. Njihova komunikacija se zasniva na tome da server šalje upite mikrokontroleru koji pojedinačno proziva jedan po jedan senzor, preuzima njegove podatke merenja i šalje ih na server. Kako bi se to omogućilo potrebno je obezbediti mikrokontroleru pristup internetu putem GSM modula.

-Arduino GSM Shield v2

Arduino GSM Shield V2 (slika 35) povezuje Arduino sa Internetom koristeći GPRS bežičnu mrežu. Potrebno je priključiti modul na Arduino ploču, zatim ubaciti SIM karticu od operatera koji nudi GPRS pokrivenost i slediti nekoliko jednostavnih uputstava kako bi povezali naš sistem sa internetom.

Kako bi obezbedili internet na našem sistemu, koristimo GSM modul u koji ubacujemo našu SIM karticu. Potrebno je napraviti postpaid ugovor sa onim mobilnim operaterom, koji ima dobru pokrivenost gprs mreže na području na kom se naš sistem nalazi. Količina interneta koja nam je potrebna zavisi od toga koliko uređaja ima naš sistem. Potrošnja jednog uređaja nije velika, ali sa povećanjem broja istih, raste i potreba za većom količinom internet saobraćaja. [15]



Slika 35

## 4.6. Napajanje

Napajanje našeg sistema je moguće realizovati na više načina. Moguće je koristiti baterije, napajanje iz mreže, solarni generator ili vetrogenerator. Zbog velike udaljenosti od mrežnog priključka odabrano je da se za napajanje koristi solarni sistem koji se sastoji od solarnog generatora, kontrole punjenja i akumulatora.

Solarni panel koji je korišćen u našem sistemu je Solarni Panel JYC-20P 20W.

Kontrola punjenja se vrši uređajem koji brine o punjenju i zaštiti akumulatora.

Akumulator koji je postavljen u sistem daje napon od 12v i kapaciteta 7Ah

## 4.7 TCP/IP komunikacija servera i sistema

Software komunicira sa sistemom koji smo postavili, preuzima skupljene podatke od senzora, arhivira ih i priprema izveštaje.

Uređaj u polju mora da ima unapred zadatu ip adresu servera gde će slati pakete sa podacima i da javlja svoju ip adresu u određenom vremenskom periodu. Kada se uređaj javi serveru sa svoje nove ip adrese, server potvrđuje da je prihvatio zahtev za komunikaciju. Nakon toga uređaj potvrđuje da je pokrenuo sesiju sa serverom i njihova komunikacija može da počne.

Senzor se javlja serveru sa porukom koja sadrži:

- Redni broj merenja
- Vreme kada je senzor poslao rezultate merenja
- Rezultate merenja

Nakon toga se na serveru integrišu svi ti podaci i dodaju u bazu podataka

Ukoliko provajder promeni ip adresu uređaja u polju, uređaj se po unapred zadatoj proceduri javlja sa svoje nove ip adrese i nastavlja komunikaciju sa serverom

Software generise izveštaje po traženom vremenskom parametru ili određenoj grupi senzora

## 4.8 Serveri i klijenti

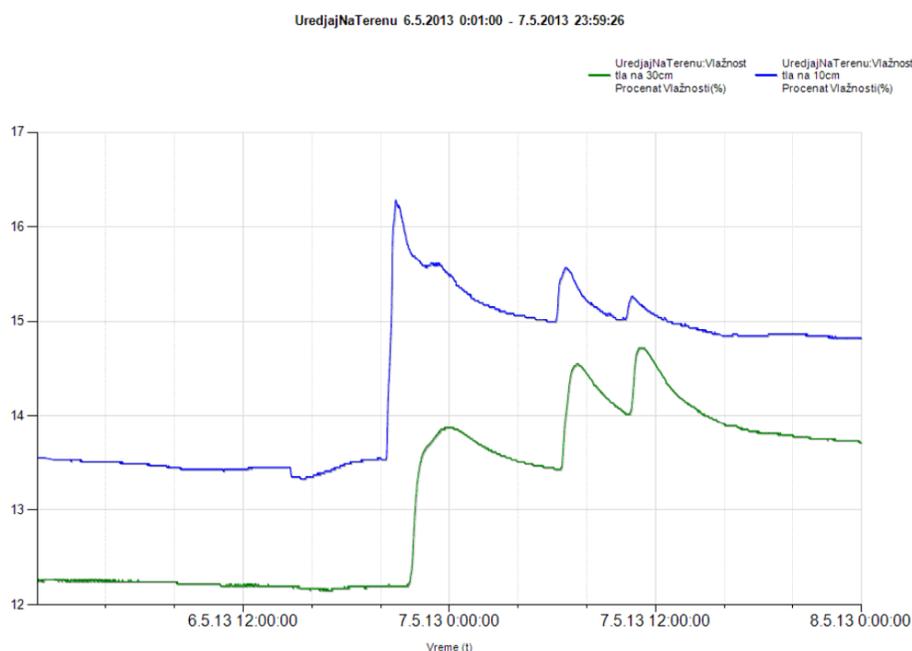
Serveri standardno omogućavaju skladištenje i generisanje izveštaja svih prikupljenih rezultata merenja.

Put svakog prikupljenog podatka u ovom sistemu je uvek isti – svi se prikupljaju u skladište podataka, odakle se zatim dostavljaju aplikacijama za obradu/analizu podataka, da bi se zatim stavili korisniku na raspolaganje.

Svaki korisnik ovog sistema ima na raspolaganju širok spektar mogućnosti da komunicira sa serverima direktno sa svog računara.

Prilikom implementacije sistema ili kad god se za tim pojavi potreba, pored trenutnih prikaza podataka i njihove analize – pružamo mogućnost razvoja specifičnih analitičkih alati izradom specijalizovanih aplikacija. Takođe, svi podaci iz sistemskog skladišta su uvek dostupni u izvornom obliku u nekom od standardnih formata za elektronsku razmenu podataka u vidu datoteka (PDF, MS Excel, XML, CSV i ost) ili kao web-servisi (SOAP).

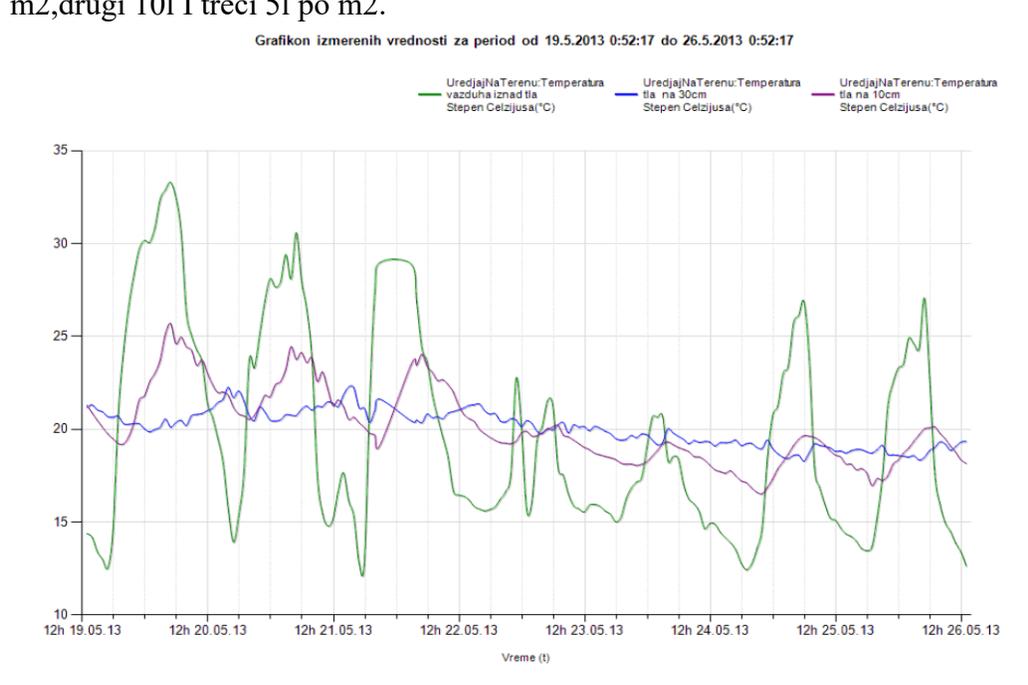
U narednih nekoliko slika, prikazani su grafikoni i rezultati merenja ovog sistema.



Slika 36

## BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE U POLJOPRIVREDI

Prikaz vlažnosti zemljišta u procentima, na dubini 10cm(plava) i 30cm (zeleni). Prvi vrh je 20l po m<sup>2</sup>, drugi 10l i treći 5l po m<sup>2</sup>.



Slika 37

## Izvršena Merenja

Uredaj	chan ID	Kanal	Redni broj merenja	Vreme merenja	Vrednost	Jedinica	Akcije
3UredjajNaTerenu	19	Temperatura vazduha iznad tla	65127	od:6.6.2013 16:53:50 do:6.6.2013 16:53:50	22,16	°C	graf tabela
	20	Vlažnost vazduha iznad tla	65127	od:6.6.2013 16:53:50 do:6.6.2013 16:53:50	70,84	%	graf tabela
	21	Temperatura tla na 30cm	65127	od:6.6.2013 16:53:50 do:6.6.2013 16:53:50	17,52	°C	graf tabela
	22	Vlažnost unutar sonde na 30cm	65127	od:6.6.2013 16:53:50 do:6.6.2013 16:53:50	99,65	%	graf tabela
	23	Temperatura tla na 10cm	65127	od:6.6.2013 16:53:50 do:6.6.2013 16:53:50	19,15	°C	graf tabela
	24	Vlažnost unutar sonde na 10cm	65127	od:6.6.2013 16:53:50 do:6.6.2013 16:53:50	98,12	%	graf tabela
	25	Vlažnost tla na 30cm	65127	od:6.6.2013 16:53:50 do:6.6.2013 16:53:50	12,9787	%	graf tabela
	26	Vlažnost tla na 10cm	65127	od:6.6.2013 16:53:50 do:6.6.2013 16:53:50	14,8237	%	graf tabela
	27	Napon napajanja	60949	od:6.6.2013 16:53:50 do:6.6.2013 16:53:50	13,05	V	graf tabela

Slika 38

## BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE U POLJOPRIVREDI

Temperatura vazduha iznad tla

rbr	vreme	vrednost(LSB)	vrednost (Stepen Celzijusa)
65128	6.6.2013 16:55:53	2198	21,98
65127	6.6.2013 16:53:50	2216	22,16
65126	6.6.2013 16:51:48	2241	22,41
65125	6.6.2013 16:49:48	2261	22,61
65124	6.6.2013 16:47:49	2279	22,79
65123	6.6.2013 16:45:49	2290	22,9
65122	6.6.2013 16:43:50	2300	23
65121	6.6.2013 16:41:47	2306	23,06
65120	6.6.2013 16:39:47	2319	23,19
65119	6.6.2013 16:37:48	2321	23,21
65118	6.6.2013 16:35:49	2318	23,18
65117	6.6.2013 16:33:47	2318	23,18
65116	6.6.2013 16:31:46	2311	23,11
65115	6.6.2013 16:29:44	2292	22,92
65114	6.6.2013 16:27:44	2274	22,74
65113	6.6.2013 16:25:44	2265	22,65
65112	6.6.2013 16:23:43	2260	22,6
65111	6.6.2013 16:21:43	2254	22,54
65110	6.6.2013 16:19:43	2255	22,55
65109	6.6.2013 16:17:41	2264	22,64
65108	6.6.2013 16:15:42	2271	22,71
65107	6.6.2013 16:13:42	2270	22,7
65106	6.6.2013 16:11:42	2281	22,81
65105	6.6.2013 16:09:43	2290	22,9
65104	6.6.2013 16:07:42	2295	22,95
65103	6.6.2013 16:05:40	2303	23,03

Slika 39

## BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE U POLJOPRIVREDI

Sva merenja se mogu kontrolisati i pojedinačno.



Slika 40

Prikaz instrumenata pojedinačno sa min-max vrednostima

## BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE U POLJOPRIVREDI



Instalacija sistema na terenu traje do 10 minuta

Slika 41



Slika 42

## 5. Zaključak

Na osnovu činjenica i podataka navedenih u ovom radu, dolazi se do zaključka da je primena senzora i senzorskih mreža u poljoprivredi raste iz dana u dan. Vremenom se razvio veliki broj senzora koji nam omogućavaju da pratimo razne parametre u oblasti poljoprivrede. S obzirom da u poslednje vreme senzorske mreže postaju sve više energetske efikasne, počinju sve više da se koriste u našoj poljoprivredi. Pošto su senzorske mreže materijalno isplative i pružaju odlične rezultate, sigurno će naći svoje mesto u razvoju poljoprivrede u Srbiji.

Opisan istraživanjima možemo zaključiti da je potrebno ispuniti sledeće parametre kako bi sistem bio funkcionalan:

1. Posedovati senzore koji će meriti temperaturu i vlažnost (SHT20 i DHT22)
2. Obezbediti Arduino UNO mikrokontroler
3. Omogućiti I2C komunikaciju između senzora i mikrokontrolera
4. Obezbediti GSM modul (Arduino GSM Shield v2)
5. Postaviti GSM modul na mikrokontroler i ubaciti SIM karticu sa internetom
6. Povezati ceo sistem sa napajanjem (12v, 7Ah) i postaviti solarni panel (JYC-20P 20W)
7. Uspostavili internet komunikaciju između GSM modula i servera preko TCP/IP komunikacije
8. Na kraju svega preko software-a komuniciramo sa sistemom i upravljamo podacima dobijenim sa senzora.

Ispunjavanjem svih tih zahteva dobijamo potpuno funkcionalan sistem za nadgledanje vlažnosti zemljišta i vazduha

## 6. Reference

- [1] Dimitrije Nikolić, “Analiza rada bežičnih senzorskih mreža sa pregledom primene istih u pojedinim medicinskim rešenjima”, Master rad, Univerzitet Singidunum, 2016. Godina <https://singipedia.singidunum.ac.rs/izdanje/42378-analiza-rada-bezicnih-senzorskih-mreza-sa-pregledom-primene-istih-u-projedinim-medicinskih-resenjima>
- [2] Ivana Stolica, “Primena bežičnih senzorskih mreža kod vetroturbina”, Master rad, Univerzitet Singidunum, 2014. Godina <https://singipedia.singidunum.ac.rs/preuzmi/41148-primena-bezicnih-senzorskih-mreza-kod-vetroturbina/1227>
- [3] <http://es.elfak.ni.ac.rs/rmif/Materijal/Novo%20Materijal/Pogl-22%20Wireless%20Sensor%20Networks-ekstenzija8.doc>
- [4] Components101, “DHT22 – Te,temperature and Humidity Sensor” <https://components101.com/sensors/dht22-pinout-specs-datasheet>
- [5] Wikipedia, “Bežična ad-hok mreža” [https://sr.wikipedia.org/wiki/Be%C5%BEi%C4%8Dna\\_ad-hok\\_mre%C5%BEa](https://sr.wikipedia.org/wiki/Be%C5%BEi%C4%8Dna_ad-hok_mre%C5%BEa)
- [6] Mirko R. Kosanović, „Bežične senzorske mreže – Prvo predavanje“ <http://vtsnis.edu.rs/wp-content/plugins/vts-predmeti/uploads/BSM%20Predavanje%201%202018.pdf>
- [7] Mirko R. Kosanović, „Bežične senzorske mreže – Drugo predavanje“ <http://vtsnis.edu.rs/wp-content/plugins/vts-predmeti/uploads/BSM%20Predavanje%202%202018.pdf>
- [8] [https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile\\_wireless\\_sensor\\_network#:~:text=A%20mobile%20wireless%20sensor%20network,the%20sensor%20nodes%20are%20mobile.&text=Commonly%2C%20the%20nodes%20consist%20of,%2C%20humidity%2C%20temperature%2C%20etc.](https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_wireless_sensor_network#:~:text=A%20mobile%20wireless%20sensor%20network,the%20sensor%20nodes%20are%20mobile.&text=Commonly%2C%20the%20nodes%20consist%20of,%2C%20humidity%2C%20temperature%2C%20etc.)
- [9] Pressac, “Wired or wireless sensors? The advantages and disadvantages of wired and wireless systems” <https://www.pressac.com/insights/wired-or-wireless-sensors/>
- [10] Ksenija Marković, „UGRADBENI RAČUNALNI SUSTAV ZA MJERENJE TEMPERATURE I RELATIVNE VLAŽNOSTI“, Diplomski rad, 2017. godina [https://bib.irb.hr/datoteka/922256.Final\\_0036475749\\_35.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/922256.Final_0036475749_35.pdf)
- [11] Arduino, “Wire Library” <https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire>

[12] E-radionica.com. "KKM: SHT21 / SHT20 SENZOR TEMPERATURE I VLAGE"

<https://e-radionica.com/hr/blog/2018/01/22/kkm-sht21-senzor-temperature-i-vlage/>

[13] Ksenija Marković, „UGRADBENI RAČUNALNI SUSTAV ZA MJERENJE TEMPERATURE I RELATIVNE VLAŽNOSTI“, Diplomski rad, 2017. godina

[https://bib.irb.hr/datoteka/922256.Final\\_0036475749\\_35.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/922256.Final_0036475749_35.pdf)

[14] Circuit Basics , "BASICS OF THE I2C COMMUNICATION PROTOCOL"  
<https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/#:~:text=I2C%20is%20a%20serial%20communication,always%20controlled%20by%20the%20master.>

[15] Arduino.cc. "Arduino GSM Shield V2"

<https://www.arduino.cc/en/Main.ArduinoGSMShield>

[16] Wikipedia, "Arduino"

<https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>

[17] "Qsense3 sistem"

[18] <http://www.otpornik.com/elektronika/senzor/uvod-u-senzore.html>

[19] Marković Goran, Miroslav L. Dukić, "Bežične senzorske mreže II deo: pregled komunikacione arhitekture",  
[http://www.telekomunikacije.rs/arhiva\\_brojeva/sedmi\\_broj/mr\\_goran\\_b\\_markovic\\_prof\\_dr\\_miroslav\\_l\\_dukic\\_bedjicne\\_senzorske\\_mredje\\_ii\\_deo\\_pregled\\_komunikacione\\_arhitekture\\_384.html](http://www.telekomunikacije.rs/arhiva_brojeva/sedmi_broj/mr_goran_b_markovic_prof_dr_miroslav_l_dukic_bedjicne_senzorske_mredje_ii_deo_pregled_komunikacione_arhitekture_384.html)

[20] Vivek Katiyar, Narottam Chand, Naveen Chauhan, Recent advances and future trends in Wireless Sensor Networks, Department of Computer Science and Engineering, National Institute of Technology Hamirpur, Hamirpur (H.P.), INDIA,  
<http://www.ipublishing.co.in/jarvol1no12010/EIJAER2005.pdf>

[21] Ivan Bošnjak "OIE – Energija budućnosti"

<https://www.industrija.rs/vesti/clanak/oie-energija-buducnosti>

[22] Mićo V. Oljača, Đukan Vukić, Đuro Ercegović, Dušan Radivojević, Nebojša Momirović, Goran Topisirović, Kosta Gligorević, Branko Radičević, \*\*Vladimir M. Oljača "BEŽIČNI SENZORI U POLJOPRIVREDI DANAS, I BUDUĆE PERSPEKTIVE PRIMENE"

[https://arhiva.nara.ac.rs/bitstream/handle/123456789/120/PT\\_01-2008-Oljaca.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://arhiva.nara.ac.rs/bitstream/handle/123456789/120/PT_01-2008-Oljaca.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[23] Marko Trnavac "ZigBee protokol za beine senzorske mreže i PicdemZ razvojno okruženje" [http://2007.telfor.rs/files/radovi/10\\_10.pdf](http://2007.telfor.rs/files/radovi/10_10.pdf)

[24] Dalibor Dobrilović, Borislav Odadžić, Vladimir Šinik "PRISTUP ANALIZI POTROŠNJE ENERGIJE BEŽIČNIH SENZORSKIH STANICA"

<http://postel.sf.bg.ac.rs/simpozijumi/POSTEL2015/RADOVI%20PDF/Telekomunikacioni%20saobračaj%20i%20mreže/5.%20Dobrilovic-Odadzic-Sinik.pdf>

[25] Mukund Kumar, D. Udaya, "A SURVEY ON SENSOR NETWORKS"  
<https://pdfs.semanticscholar.org/fee1/8a75ecdf51b427cf901d306792679768ea49.pdf>

[26] Mićo V. Oljača, Đukan Vukić, Đuro Ercegović, Dušan Radivojević, Nebojša Momirović, Goran Topisirović, Kosta Gligorević, Branko Radičević, Vladimir M. Oljača, "BEŽIČNI SENZORI U POLJOPRIVREDI DANAS, I BUDUĆE PERSPEKTIVE PRIMENE"  
<http://www.agrif.bg.ac.rs/files/publications/33/POLJOPRIVREDNA%20TEHNIKA%2001-2008.pdf>

[27] Goran B. Marković, Miroslav L. Dukić, "Bežične senzorske mreže, I deo: Osnovna arhitektura, karakteristike i primene"  
[http://www.telekomunikacije.rs/arhiva\\_brojeva/treci\\_broj/mr\\_goran\\_b\\_markovic\\_prof\\_dr\\_miroslav\\_l\\_dukic\\_bedjicne\\_senzorske\\_mreze\\_i\\_deo\\_osnovna\\_arhitektura\\_karakteristike\\_i\\_primene.169.html](http://www.telekomunikacije.rs/arhiva_brojeva/treci_broj/mr_goran_b_markovic_prof_dr_miroslav_l_dukic_bedjicne_senzorske_mreze_i_deo_osnovna_arhitektura_karakteristike_i_primene.169.html)

[28] Loreto Materu, Francesc Moll, "Review of energy harvesting techniques and applications for microelectronics (Keynote Address)"

<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/5837/0000/Review-of-energy-harvesting-techniques-and-applications-for-microelectronics/10.1117/12.613046.full?SSO=1>