

UNIVERZITET SINGIDUNUM

**DEPARTMAN ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE I MEĐUNARODNU
SARADNJU**

Studijski program: Savremene informacione tehnologije

MASTER RAD

Primena bežičnih senzorskih mreža kod vetroturbina

Mentor:

Prof. dr Dragan S. Marković

Student:

Ivana Stolica 410048/2011

Beograd, 2014. godine

Sadržaj:

1. Uvod.....	4
1.1 Predmet istraživanja.....	4
1.2 Cilj istraživanja.....	4
1.3. Metode i tehnike istraživanja.....	5
1.4. Struktura rada.....	5
2. Uvod u bežične senzorske mreže.....	5
2.1 Senzorske bežične mreže i njihova arhitektura.....	8
2.1.1 Pojam senzorskog čvora.....	10
2.1.2 Arhitektura senzorskog čvora.....	11
2.1.3 Komunikacioni protokoli.....	12
2.2 Obnovljivi izvori energije.....	15
2.3 Bežične senzorske mreže u 21. Veku.....	17
2.4 Razvoj WSN u svetu.....	17
2.5 Budućnost WSN.....	19
2.6 Neki primeri primene bežičnih senzorskih mreža u Srbiji.....	21
2.7 Pregled radova i projekata bežične senzorske mreže u svetu.....	23
2.8 Osnovni izazovi u daljem razvoju WSN.....	24
3. Vetrenjače.....	25
3.1 Princip rada i struktura vetrenjače (vetroturbine).....	27
3.1.1 Arhitektura vetroturbine.....	27
3.1.2 Princip rada vetroturbine.....	29
3.1.3 Snaga vetra.....	29
3.2 Senzorske bežične mreže i vetroturbine.....	30

3.2.1 Princip rada senzora u vetroturbinama.....	31
3.2.2 Senzori za kontrolu.....	31
3.2.3 Senzori za detekciju limita.....	32
3.2.4 Senzori za praćenje/nadglednje stanja.....	32
3.3 Strukturalno nadglednje/monitoring vetroturbina pomoću bežičnih senzorskih mreža.....	33
3.3.1 Bežični monitoring.....	33
3.3.2 Senzori korišćeni u nekim delovima vetroturbina.....	35
3.3.2.1 Senzori u glavčini.....	35
3.3.2.2 Senzori u menjaču.....	36
3.3.2.3 Senzori u glavnom ležaju.....	37
3.3.2.4 Ostali senzori.....	38
4. Pristupanje senzorskoj mreži.....	38
4.1 Definicija optimalne senzorske mreže.....	39
4.2 QDM kao alat za procenu senzorske mreže.....	39
4.3 Budućnost razvoja vetro parkova u svetu i kod nas.....	40
5. Simulator snage vetrogeneratora (Wind power simulator).....	40
5.1 O programskom jeziku Java.....	41
5.2 Prednosti i mane programskog jezika Java.....	43
5.3 Uvod u objektno orijentisano programiranje.....	44
5.4 NetBeans 8 – Razvojno okruženje nove generacije.....	46
5.5 Realizacija simulatora snage vetrogeneratora.....	49
6. Zaključak.....	52
7. Kod aplikacije.....	53
8. Literatura.....	67

1. Uvod

Bežične senzorske mreže smatraju se jednom od najvažnijih tehnologija u 21. veku. U poslednje vreme bežične komunikacije doživele su veliki razvoj. Bežično umrežavanje pratilo je sličan trend zbog povećanja razmene podataka u uslugama kao što je na primer Internet. Tehnološkim razvojem postalo je tehnički moguće proizvesti veliki broj senzora za prikupljanje i obradu podataka. Bežične senzorske mreže imaju jedinstvene karakteristike koje postavljaju nove standarde u smislu načina života, rada i interakcije sa okolinom. Kao što ćemo videti u nastavku rada, upotreba i razvoj WSN (Wireless Sensor Networks) podstaknut je implementacijom nekih vojnih aplikacija ali su široku primenu našle i u civilnom sektoru.

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 ili WSN (Wireless Sensor Networks) jedna od deset tehnoloških inovacija koje će promeniti svet.¹

1.1. Predmet istraživanja

Predmet istraživanja master rada su arhitektura i princip rada senzorskih bežičnih mreža (WSN), značaj i primena koju imaju i koju će imati, kao i stepen njihovog razvoja kako u svetu tako i kod nas. Takođe, predmet istraživanja su i vetrovi kao jedni od obnovljivih izvora energije, noviteti i aktuelnosti na polju ove, poslednjih godina izuzetno popularne oblasti.

1.2. Cilj istraživanja

Na osnovu sprovedenih analiza, istraživanja i zaključaka cilj rada je realizacija jednog modela, grafičkog interfejsa koji simulira snagu vetrogeneratora i primena tog modela u edukaciji studenata, pravljenjem laboratorijskih vežbi i smart tutorials-a.

¹Fernando Lossila, Barbara Alvares., Wireless sensor network Application development: An Architecture Centric MDE Approach <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/607/1/wsn.pdf>., Preuzeto: 09.10.2012. 23:04
str. 179.

1.3. Metode i tehnike istraživanja

U toku prikupljanja podataka za izradu master rada koristićemo više opštenaučnih metoda. Najviše će biti korišćene analitičko deduktivna i komparativna metoda. Pored njih u radu će biti upotrebljene analitičke i sintetičke naučne metode.

Istraživanje u radu baziraće se na izvorima iz domaće i međunarodne naučne i stručne literature. Zapravo, za istraživanja o bežičnim senzorskim mrežama i energetskej efikasnosti najvećim delom ćemo koristiti istraživanja domaćih autora koji su u svojim knjigama i člancima istraživali problematiku kojom se ovaj rad bavi. Pored domaćih autora, značajan izvor podataka predstavljaće i strani autori.

Kada govorimo o tehnikama istraživanja, u radu će biti korišćene kvantitativna i kvalitativna analiza. Osnovne izvore podataka naći ćemo u knjigama, člancima, studijama koji govore o bežičnim senzorskim mrežama i energetskej efikasnosti.

1.4. Struktura rada

Uvodni deo master rada definiše osnovne pojmove u oblasti senzorskih bežičnih mreža (WSN) i daje pregled radova na ovim poljima u svetu i kod nas. U okviru ovog dela biće dat i kratak pregled obnovljivih izvora energije.

U prvom delu rada detaljno će biti objašnjeni arhitektura, građa i princip rada senzorskih bežičnih mreža (WSN), kratak pregled obnovljivih izvora energije, kao i građa, struktura i princip rada vetrenjača.

Drugi deo rada, koji je u suštini i srž master rada, predstavlja praktičnu realizaciju, koja podrazumeva kreiranje edukacionog modela (interfejsa) realizovanog u okviru programskog jezika Java.

Zaključak predstavlja osvrt na početne, teze i razmišljanja, iznosi rezultate istraživanja i iskustva autora u toku realizacije interaktivnog edukacionog modela.

2. Uvod u bežične senzorske mreže

Poslednjih godina bežične senzorske mreže postaju sve dominantnija tema u istraživanju na polju bežičnih mrežnih komunikacija. Samim tim bežične senzorske mreže otvorile su jedno

novo ujedno i neistraženo područje u računarskim mrežama.² Takođe, sve veća napredovanja u razvoju savremenih tehnologija dovela su do porasta značaja senzorskih bežičnih mreža. Kod ovih mreža reč je o sistemu koji posmatra spoljni svet i koji je u stanju da prima korisne informacije od njega.³

Brz i veliki razvoj mikro elektro-mehaničkih sisetma (*Micro Electro-Mechanical Systems – MEMS*) kao i veliki prodor bežičnih komunikacija omogućili su da se sa bežičnim senzorskim mrežama rešavaju mnogi složeni problemi. Više se ovim mrežama ne prenose samo jednostavni podaci koje senzori očitavaju, poput temperature, vlažnosti, pritiska, već se njima prenose i multimedijalni podaci (slika i zvuk).

Da raširena upotreba bežičnih senzora može poboljšati proizvodnju i energetske efikasnost predvidela je Bežična Industrijska Mrežna Alijansa (*Wireless Industrial Networking Alliance-WINA*) koja je bila podržana od Ministarstva energetike u Americi. WINA je izjavila da "bežične tehnologije i bežični mrežni sistemi su velika potencijalna pomoć industriji SAD-a u korišćenju energije i materijala efikasnije, smanjenju sistemskih infrastrukturnih troškova, smanjenju troškova proizvodnje i povećanju produktivnosti." (WINA, 2004).⁴

Pre nego što se usredsredimo na osnovne oblasti primene WSN, reći ćemo da su svoj procvat bežične senzorske mreže doživele krajem 90-ih godina prošlog veka.

Bez obzira na to što su i ranije postojali bežični uređaji koji su mogli meriti određene fizičke veličine, tek je projekat *SmartDust*⁵ (1997.) pokrenuo istraživanja u većoj meri. Ovaj projekat je napisan od strane Kris Pistera, Joe Kana, i Bernarda Bosera, sa Univerziteta Berkli (Kalifornija). Dakle, tek nakon pokretanja ovog projekta obim istraživanja se naglo povećao.

Ulaskom u 21. vek razvoj kompjuterskih i komunikacionih tehnologija omogućio je novi nivo istraživanja u oblasti senzorskih mreža. Agencija DAPRA (*Defense Advanve Research*

²Mirko Kosanović, Mile Stojčev, Pouzdan transportni protokol sa višeadresnim senzorskim čvorovima, INFOTEH-JAHORINA Vol. 9, Ref. B-II-12, p. 227-231, March 2010., Preuzeto: 21.09.2012.

³Fernando Lossila, Barbara Alvares., Wireless sensor network Aplication development: An Architecture Centric MDE Approach <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/607/1/wsn.pdf>., Preuzeto: 09.10.2012. 23:04

⁴Poljoprivredna tehnika, Poljoprivredni fakultet u Beogradu, decembar 2008., <http://www.agrif.bg.ac.rs/files/publications/33/POLJOPRIVREDNA%20TEHNIKA%2001-2008.pdf>. Preuzeto: 09.10.2012.

⁵SmartDustprojekat je započeo kao istraživački predlog agencije DAPRA (*Defense Advanve Research Agency*). Predlog je bio sadržan u tome da se izrade bežični senzorski čvorovi sa zapreminom od jednog kubnog milimetra.

Agency) ponovo deluje kao ključna organizacija za razvoj Distribuiranih Senzorskih Mreža (DSN tehnologije) i koristi u razvoju najnovija tehnološka dostignuća. DARPA razvija 2000. godine novi program pod nazivom Sensor Information Tehnology (SensIT). Prva odrednica ovog programa označava razvoj novih mrežnih tehnika dok druga odrednica označava procesiranje informacija u mreži tj. reč je o tome kako izdvojiti korisne, pravovremene i pouzdane informacije iz razvijene mreže.⁶ Detaljnije o dostignućima i novinama WSN-a u 21. veku govorićemo u nastavku rada odnosno u delu koji se odnosi na razvoj WSN u svetu.

Osnovni razlog početka razvoja bežičnih senzorskih mreža bio je **vojne prirode**. Kao i u drugim tehnologijama vojna industrija je bila pokretač istraživanja u mrežnim senzorskim sistemima. Naprimera, u toku Hladnog rata koristili su se akustični senzori (Sound Surveillance System) koji su bili postavljeni na strateškim mestima, na dnu okeana kako bi se mogao otkriti dolazak sovjetskih podmornica u određeno područje. Takođe, spomenućemo i mrežu vazdušnih radarskih sistema koji su korišćeni u odbrambene svrhe za pregled vazdušnog prostora iznad SAD-a. Ovaj odbrambeni sistem razvijao se godinama i sada uključuje i bespilotne letilice kao senzore.⁷ Kada govorimo o vojnoj primeni bežičnih senzorskih mreža reći ćemo da se WSN koriste i za nadgledanje i upravljanje dobrima, nadzor i praćenje bojnog polja, zaštitu osetljivih objekata i mnogo čega drugog.

Dakle, pored vojne primene važno je spomenuti da se WSN koriste i u inženjerstvu, medicini, građevinarstvu, poljoprivredi, oblasti životne sredine. Kada govorimo o **inženjerstvu** oblasti primene su nadgledanje i održavanje industrijskih postrojenja, praćenje robe u maloprodajnim objektima, osiguranje kuća i komercijalnih objekata kao i automobilska telematika.

U oblasti **medicine** WSN se primenjuje kod medicinskih merenja tačnije kod prenosa fizioloških podataka do računara ili lekara. Isto tako u medicini se koriste bežični senzorski bedževi koji upozoravaju na infekcije ali i senzori u krvotoku koji sprečavaju trombozu.⁸ WSN je pogodan za potencijalnu primenu u nadgledanju nivoa glukoze.

Osobe koje imaju dijabetes zahtevaju stalno praćenje nivoa šećera u krvi. Ugrađivanjem merača šećera u bolesnika može omogućiti pacijentu da prati nivo šećera u krvi ali i da ga upozori na visok nivo istog. **Poljoprivreda i životna sredina** takođe predstavljaju oblasti gde

⁶Ivor Grubišić, Bežične senzorske mreže, www.fer.unizg.hr/_.../Wireless%20Sensor%20... Preuzeto: 10.10.2012.

⁷Ibid. str. 5

⁸Milica Jovanović, Višekanalni MAC protokoli za bežične senzorske mreže, Univerzitet u Nišu, 2011., <http://es.elfak.ni.ac.rs/Papers/Magistarski%20milica%20ppt.pdf> Preuzeto: 20.10.2012. 8:31

se WSN dosta koriste. Tu možemo da navedemo nadgledanje kvaliteta pijaće vode, nadgledanje staništa, geofizičko nadgledanje (seizmičke aktivnosti), detekciju katastrofa, poput šumskih požara i poplava.

Kada govorimo o osnovnim karakteristikama senzorskih bežičnih mreža navešćemo sledeće:

- Zahtevaju: male dimenzije, veliki broj i niske cene;
- Mala veličina podrazumeva malu bateriju;
- Niska cena i energija zahtevaju nisku potrošnju procesora, radio sa minimalnim propusnim opsegom;
- Ad hoc primena ne podrazumeva održavanje ili zamenu baterije⁹

2.1 Senzorske bežične mreže i njihova arhitektura

Polazeći od toga da su predmet našeg istraživačkog rada, **primena bežičnih senzorskih mreža kod vetroturbina**, smatram bitnim da se za početak upoznamo sa bežičnim mrežama i njenim osnovnim vrstama.

Bežične mreže se mogu podeliti u dve osnovne kategorije:

1. Mreže zasnovane na ‘teškoj’ infrastrukturi kao što su celularne mobilne mreže (mobilna telefonija) i bežične računarske mreže
2. Ad hoc bežične mreže koje ne koriste ‘tešku’ infrastrukturu. Primeri su senzorske ad hoc mreže i MANET (Mobile Ad hoc Networks).¹⁰

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. Kod ad hoc mreža javljaju se sledeći **problemi**:

- a. *Organizacija mreže bez centralne infrastrukture*. Dakle, bez bazne stanice mrežni uređaji moraju se sami organizovati u funkcionalnu mrežu;

⁹Jerry Yoakum, Wireless Sensor Networks, Missouri State University courses.missouristate.edu/.../Wireless%20Sens... Preuzeto: 21.10.2012.

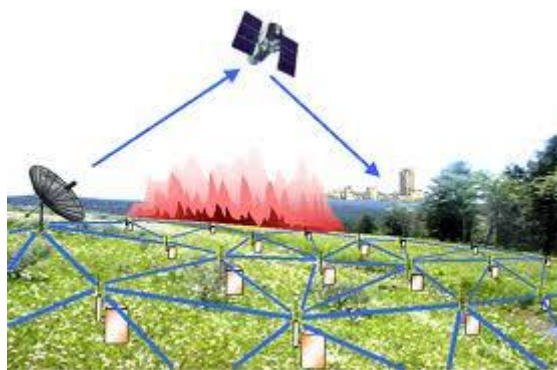
¹⁰Žarko Novčić, Miljko Erić, Analiza performansi bežičnih ad hoc mreža, Vojnotehnički institut Beograd 2005., <http://www.telfor.rs/telfor2005/radovi/RK-3.17.pdf>. Preuzeto: 10.09.2012.

- b. *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 ;
- c. *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 ;
- d. *Uređaji se napajaju putem baterija.* Cilj napajanja putem baterija je ostvariti dug vek trajanja mreže u celini ali i individualnih mrežnih uređaja.

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

Senzorska mreža ili Sensor Network (Snet) definiše se kao distribuirani sistem koga čini polje senzora različitog tipa međusobno povezanih komunikacionom mrežom. Zadatak distribuiranog sistema jeste da na osnovu dostupnih podataka sa senzora izdvoji najverovatniju informaciju koja se nadgleda. Važno je naglasiti da su podaci sa izlaza senzora deljivi i da se dovode na ulaz distribuiranog sistema radi njihove procene.

Senzorska mreža može se sastojati od nekoliko senzorskih čvorova ili motova (Sensor Nod). U najvećem broju slučajeva senzorski čvorovi se bežičnim putem povezuju u komunikacionu mrežu i tako formiraju **bežičnu senzorsku mrežu** ili **Wireless Sensor Network** – WSN. Kao što smo rekli WSN spada u kategoriju ad hoc mreža. Kod ovih mreža fokus je interakcija sa čovekovim okruženjem a ne sa samim čovekom. Dakle, WSN je integrirana u čovekovo okruženje. Senzorski uređaji (čvorovi) opremljeni su sa senzorima i aktuatorima koji mogu meriti odnosno uticati na stanje okruženja. Senzorski čvorovi preciziraju informaciju i komuniciraju bežičnim putem.



Slika 1. Bežična senzorska mreža (Wireless Sensor Networks) ,

<http://www.google.rs/imgres?q=wireless+sensor+networks&hl=sr&sa=X&biw=1024&bih=430&tbn=isch&prmd=imvnsb&-> Preuzeto: 10.09. 2012.

2.1.1 Pojam senzorskog čvora

Dakle, iz gore navedenog, vidimo da je senzorska bežična mreža građena od **čvorova** koji međusobno komuniciraju slanjem i primanjem podataka. Ti podaci putuju od čvora do čvora i procesiraju se.

Dva osnovna tipa čvorova koja sačinjavaju bežičnu senzorsku mrežu jesu senzorski čvorovi i prikupljački čvorovi.¹¹ Prvi omogućavaju merenje neke fizičke veličine i međusobno komuniciraju kako bi prosledili podatke koje su sakupili. S druge strane, prikupljački čvorovi imaju ulogu da prikupljaju podatke sa senzorskih čvorova. Ovi čvorovi se, za razliku od senzorskih, napajaju iz stalnog izvora napajanja i imaju hardver koji je bolji od hardvera na senzorskim čvorovima.

Snaga bežične senzorske mreže leži u broju čvorova ili motova koji je čine. Što je veći broj čvorova, povezanost mreže raste. U WSN mrežama svaki čvor je u kontaktu sa najmanje dva čvora ali ne i sa svim ostalim. Takođe, svaki čvor mreže predstavlja jednu pristupnu tačku i pruža usluge rutiranja podataka drugim čvorovima i na taj način formira multi-hop mrežu.¹² Senzorski čvorovi napajaju se baterijama te zbog toga posle određenog vremena neophodna je njihova zamena. Kako bi se produžio životni vek baterija osmišljeno je više verzija MAC protokola namenjenih isključivo senzorskim mrežama. Više o MAC protokolima govorićemo u nastavku.

¹¹Žarko Živanov, "Prilagođavanje aplikacija uslovima bežičnih senzorskih mreža sa baterijskim napajanjima i njihova simulacija, doktorska disertacija", Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad 2012., <http://www.uns.ac.rs/sr/doktorske/zarkoZivanov/disertacija.pdf>. Preuzeto: 18.10.2012.

¹²Miloš Rovčanin, SMAC protokol u bežičnim senzorskim mrežama, Telekomunikacioni forum TELFOR 2008, Beograd novembar 2008.

2.1.2 Arhitektura senzorskog čvora

Kao što smo spomenuli, mreža senzora sastoji se od čvorova, od njih par pa do njih nekoliko stotina hiljada. U osnovne delove jednog senzorskog čvora spadaju: kontroler, memorija, senzori, aktuatori, komunikacioni modul i napajanje. Svi oni zajedno predstavljaju arhitekturu senzorskog čvora. U nastavku pokušaćemo da definišemo svaki od navedenih delova.

Kontroler– osnovni deo senzorskog čvora. Njegov zadatak je da prikuplja podatke sa senzora i vrši njihovu obradu. Kontroler, takođe, na osnovu dobijenih podataka upravlja eventualnim aktuatorima i obavlja komunikaciju sa drugim senzorskim čvorovima.

Memorija - koristi se za čuvanje programa i podataka. Za čuvanje podataka dobijenih od senzora koristi se RAM memorija, dok se za čuvanje programa koristi ROM memorija.

Senzori – koriste se za povezivanje fizičkog i digitalnog sveta. Senzori detektuju fizičke pojave i prevode ih u digitalan oblik, koji može da se čuva, obrađuje i kasnije koristi. Predstavljaju, zajedno sa aktuatorima, stvarnu vezu sa spoljašnjim svetom pomoću kojih se posmatra okolina i na nju utiče. Postoji više podela senzora, mi ćemo ih ovde podeliti u tri grupe¹³:

- Pasivni neusmereni senzori– merenje vrše nezavisno od pravca. Veličina koja se meri ne zavisi od pravca u kojem je senzor usmeren (termometri, mikrofoni, detektori dima);
- Pasivni usmereni senzori – njihovo merenje zavisi od pravca (kamera);
- Aktivni senzori – aktivno ispituju okruženje (radar).

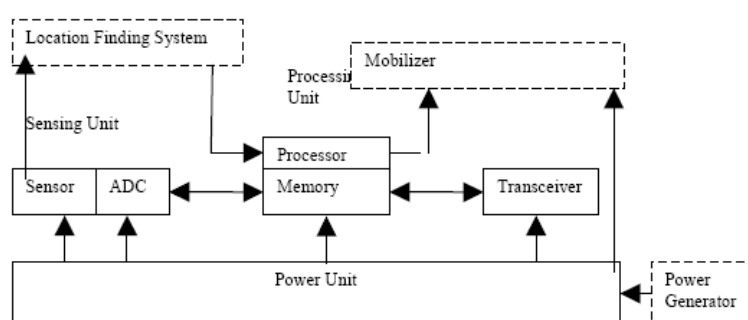
Aktuatori – najčešće idu zajedno sa sensorima. Poput senzora i oni predstavljaju vezu sa spoljašnjim svetom. Aktuatori se retko koriste u bežičnim senzorskim mrežama a ukoliko se koriste mogu da budu različiti zavisno od aplikacije. Aktuator se obično uparuje sa senzorom koji proverava da li aktuator pravilno funkcioniše.

¹³Milica D.Jovanović, Višekanalni MAC protokoli za bežične senzorske mreže, magistraska teza, Niš 2011, <http://es.elfak.ni.ac.rs/Papers/Magistarski%20Milica.pdf>. Preuzeto: 19.09.2012. str.9

Komunikacioni modul ili uređaj za komunikaciju – koristi se za prenos podataka bežičnim putem, tačnije posredstvom njega se vrši razmena poruka između dva ili više čvorova. Veza se može ostvariti ili direktnim povezivanjem kablovima ili bežičnim putem (npr. radio talasi).

Napajanje – može da bude baterijsko ali senzorska mreža može i da koristi neki stalan izvor napajanja (povezanost sa gradskom električnom mrežom) te u tom slučaju baterijsko napajanje može se koristiti ukoliko dođe do nestanka glavnog napajanja. Baterije se mogu podeliti na punjive ili nepunjive.

Arhitektura senzorskog čvora prikazana je na slici 2.



Slika 2. Arhitektura senzorskog čvora

2.1.3 Komunikacioni protokoli

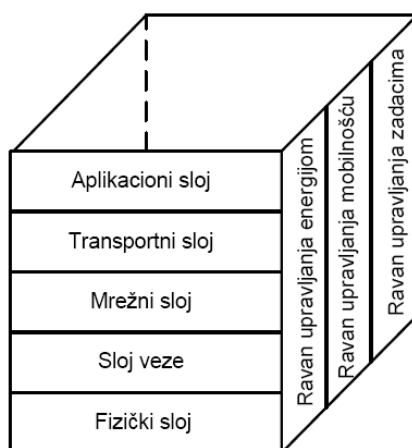
Kada govorimo o bežičnim senzorskim mrežama (WSN) očuvanje energije predstavlja jedan od njihovih najvećih izazova.¹⁴ Veliki broj studija i istraživanja fokusira se na uštedu energije i na produženje životnog veka ovih mreža. Zapravo, teži se takvoj organizaciji mrežnih čvorova kako bi se na što efikasniji način sačuvala energija.

Stoga ćemo u nastavku najviše pažnje posvetiti komunikacionim protokolima i algoritmima jer se preko njih vrši odašiljanje energije. Energija se u okviru senzorskih mreža koristi za rad senzora, komunikaciju i obradu podataka. Stoga se u svim tim oblastima zahteva razvoj energetske efikasne protokola i algoritama.

U velikoj većini primena najviše energije troši se na potrebe komunikacije te se stoga razvoju energetske efikasne protokola i algoritama mora posvetiti najveća pažnja.

¹⁴Violeta Felea, Kamal Beydoun, Energy-Efficient Infrastructure, Author manuscript, published in "DCSN'08, Int. Workshop on Distributed Collaborative Sensor Networks, United States (2008)", http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/56/34/24/PDF/bfg08_ip.pdf, Preuzeto: 21.09.2012. 19:14

Proces komunikacije troši najveći deo energije pa je stoga povećanje energetske efikasnosti osnovni zahtev pri razvoju komunikacione arhitekture. Stoga ćemo u nastavku prikazati višeslojnu mrežnu komunikacionu arhitekturu. Komunikacionu arhitekturu senzorske bežične mreže čini pet slojeva (nivoa) i tri ravni upravljanja kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Komunikaciona arhitektura senzorske bežične mreže

Fizički sloj je zadužen za izbor frekvencije, detekciju signala, zaštitu podataka, propagacione efekte, modulacionu šemu i energetske efikasnost. Osnovni zahtev pri realizaciji fizičkog sloja u bežičnim senzorskim mrežama je ostvarivanje energetske efikasnosti na nivou multifunkcionalne platforme senzorskog čvora.¹⁵ Stoga se komunikacija u okviru WSN obavlja na malim rastojanjima (povećanje dometa zahteva značajno povećanje utroška energije). Uzimajući u obzir klasično radijsko odašiljanje ovde je ključno pitanje kako odašiljati energiju što je više moguće efikasno.

Sloj veze (Data Link Layer) je odgovoran za multipleksiranje nizova podataka, formiranje okvira, upravljanje protokom, kontrolu grešaka u prenosu, i fizičko adresiranje. Specifične karakteristike komunikacionog okruženja u WSN uslovljavaju razvoj posebnih protokola i postupaka za potrebe sloja veze.

Ovo se posebno odnosi na protokole i pristupe koji se koriste za **kontrolu grešaka** i koji se upotrebljavaju u okviru podsloja **kontrole pristupa medijumu (Medium Access Control-MAC)**. Pristup mediju je bio i ostao jedno od najaktivnijih područja istraživanja bežičnih

¹⁵Goran B. Marković, 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_senzo. Preuzeto: 10.10.2012. 21:43

senzorskih mreža. Ključno pitanje je kako osigurati da senzorski čvorovi "spavaju" što je duže moguće kada nisu u mogućnosti komuniciranja. Na funkiconisanje MAC nivoa veliki uticaj imaju karakteristike fizičkog nivoa. Osnovne performanse MAC protokola su : propusna moć (engl. *throughput*), stabilnost, pravičnost (engl. *fairness*), vreme pristupa mreži (engl. *access delay*, vreme koje protekne od momenta kad je paket spreman za slanje do prvog pokušaja slanja), vreme prenosa (engl. *transmission delay*, vreme koje protekne od početka emitovanja paketa do njegove uspešne isporuke), višak saobraćaja (koji nastaje dodavanjem zaglavlja i završnog zapisa paketima, zbog gubitka paketa usled kolizije i zbog kontrolnih paketa). Što se tiče kalsifikacije postojećih MAC protokola oni mogu da se podele u tri grupe : **protokoli sa fiksnom dodelom**, **protokoli sa dodelom na zahtev** i **protokoli sa proizvoljnim pristupom**.

Tipični predstavnici prve grupe protokola su : **TDMA** (Time Division Multiple Access), **FDMA** (Frequency Division Multiple Access) i **CDMA** (Code Division Multiple Time). Protokoli druge grupe mogu da se podele na centralizovane kao što je npr. **HIPERLAN/2** i distribuirane kao što su **LEACH** i **IEE 802.15.4** protokoli. Predstavnici MAC protokola treće grupe su : **ALOHA**, **CSMA** (Carrier Sense Medium Access) i **IEE 802.11**.

Mrežni sloj je najaktivnije područje istraživanja. U glavne atribute **mrežnog nivoa** spadaju efikasna *potrošnja*, efikasno *rutiranje* i agregacija podataka.¹⁶ Rutiranje predstavlja najbitniju funkciju mrežnog nivoa. Zadatak rutiranja jeste da omogući prenos podataka uz istovremeno produžavanje života mreže kao i da spreči degradaciju konektivnosti mreže. Takođe, važno je naglasiti da je proces rutiranja veoma složen u heterogenim WSN tačnije kada senzorske mreže koje čine WSN imaju različite karakteristike u smislu skupa senzora, procesorske snage i rezervi energije. Kada je reč o rutiranju reći ćemo i da zbog velikog broja primena i scenarija rada WSN postoji veliki broj protokola rutiranja za WSN. Detaljnije o njima govorićemo u drugom delu rada. Agregacija (nagomilavanje) i fuzija (spajanje) podataka u WSN veoma je korisna naročito u smislu smanjivanja količine saobraćaja u mreži ali i za potrebe efikasnijeg ostvarivanja senzorske funkcije.

U osnovne funkcije **Transportnog nivoa** u okviru WSN spadaju: kontrola zagušenja, smanjivanje verovatnoće gubitka paketa, obezbeđivanje ravnopravne alokacije kapaciteta

¹⁶es.elfak.ni.ac.rs/.../Pogl-22%20Wireless%20Sensor%20Networks-ekst...Preuzeto: 10.10.2012. 22:15

sistema i obezbeđivanje pouzdanosti prenosa sa kraja na kraj.¹⁷ Takođe, transportni protokol treba da obezbedi visoku energetske pouzdanost i efikasnost kao i da zadovolji dodatne zahteve za kvalitetom servisa u smislu zahtevanog protoka, verovatnoće gubitka paketa i kašnjenja sa kraja na kraj.¹⁸

Aplikacioni sloj čini skup standardnih servisa zaduženih za sinhronizaciju i lokalizaciju čvorova.

Ravni upravljanja predstavljaju dodatne funkcije, za postizanje optimalne potrošnje energije, upravljanje mobilnošću senzorskih čvorova i raspodelu zadataka (poslova) među čvorovima. **Ravan upravljanja energijom** upravlja načinom na koji čvorovi koriste energiju. **Ravan upravljanja mobilnošću** registruje pokrete čvorova, tako da čvor uvek može da sačuva rutu do bazne stanice i da ima informaciju o poziciji svih svojih suseda. **Ravan upravljanja zadacima** balansira radno opterećenje čvorova u određenoj oblasti.

2.2 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. Važno je naznačiti da su obnovljivi izvori energije oni čije korišćenje ne utiče na smanjenje energetske 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 prognožiranja 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

¹⁷Goran B. Marković, 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_senzo, Preuzeto: 10.10.2012. 21:43

¹⁸Ibid. str.7

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 energetske 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.

2.3 Bežične senzorske mreže u 21. veku

Kao što smo imali prilike da spomenemo u uvodu, bežične senzorske mreže postale su jedna od najinteresantnijih oblasti istraživanja u poslednjih nekoliko godina. Rekli smo da se WSN sastoje od bežičnih senzorskih čvorova koji zajedno formiraju senzorsko polje. Skorašnji napredak u bežičnim i elektronskim tehnologijama omogućio je širok spektar primene bežičnih senzorskih mreža u vojsci, zdravstvu, oblasti životne sredine i mnogim drugim sferama. Ono što je važno naglasiti jeste da bežične senzorske mreže u svom razvoju nailaze na niz izazova posebno kada je u pitanju veličina i autonomija čvorova. Mi ćemo u nastavku ove celini nastojati prvo da prikazemo razvoj bežičnih senzorskih mreža u svetu, tačnije opisaćemo skorašnje napredke ostvarene u ovoj oblasti. Razgovraćemo i o budućim trendovima u oblasti bežičnih senzorskih mreža ali opisaćemo i izazove na koje se nailazi u samom istraživanju WSN.

2.4 Razvoj WSN u svetu

Najnovija dostignuća u bežičnim i elektronskim tehnologijama omogućili su širok spektar primene WSN 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

- 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.¹⁹

- Mobilnost menadžmenta

Mobilnost predstavlja jedno od najvažnijih pitanja u narednoj generaciji mreža. Kada govorimo o pokretljivosti WSN prema spolja, reći ćemo da je to najčešći scenario u okviru

¹⁹Vivek 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, Preuzeto: 19.10.2012.

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 WSN 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 WSN 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:

- **CodeBlue** (Lorincz *et al.*, 2004): predložen za praćenje i nadzor pacijenata;
- **ALARMNET** (2006): bežične senzorske mreže korišćene za asistiranje;

- **GlucoWatch G2** (2004): koristili bežične senzorske mreže za istraživanje zdravstvenog sistema koji će pratiti i ocenjivati ljudske vitalne znake.²⁰
- **Poljoprivreda**

Godine 2006. Vang i Vang (Wang and Wang) istakli su da poljoprivreda može imati dosta koristi od WSN u smislu dobijanja informacija u vezi degradacije zemljišta i nedostatka vode. Uz pomoć WSN 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.

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. Tu farmeri mogu da dobiju informacije direktno preko Interneta i tako te informacije upotrebe za svoje dalje planiranje i raspoređivanje poljoprivrednih poslova.

2.5 Budućnost WSN

Budući razvoj senzorskih čvorova najviše će zavisti od istraživanja u sledećim oblastima:

a. Kognitivno očitavanje

Kognitivne senzorske mreže koriste se za sticanje informacija iz senzorskog okruženja i to tako što će se veliki broj senzora raspoređivati na inteligentan način. Dva poznata primera kognitivnog očitavanja jesu swarm inteligencija i očitavanje kvorumom.²¹ Prva je razvijena u veštačku inteligenciju za proučavanje kolektivnog ponašanja decentralizovanih i

²⁰Ibid., p. 334.

²¹Ibid. p. 334

samoorganizujućih sistema. Kvorum očitavanje predstavlja najbolji primer bioinspirisanog očitavanja i umrežavanja.

b. Vremenski kritične aplikacije (Time critical Applications)

Nova generacija distribuiranih ugradnih sistema koji se mogu odnositi na praćenje požara, nadzor državne granice ili čak medicinsku negu mogu biti predstavljeni kao WSN.

c. Eksperimentalno podešavanje i nove aplikacije

Postoje velike mogućnosti da se bežične senzorske mreže raspodele po eksperimentalnim okruženjima. Takođe, WSN se raspoređuju u različitim područjima poput ruralnih oblasti i divljina. Sančez je 2010. dizajnirao bežični senzorski sistem za praćenje životinja kako bi se obezbedio siguran način njihovog prelaska na transportnom području. U sredinama gde se vrši praćenje požara prilagodljivo usmeravanje je ključno kako bi se obezbedila sigurna i blagovremena isporuka podataka prilikom evakuacije u zgradama i borbe protiv požara. Protokol za usmeravanje predstavili su Zeng i Kiong (Zeng and Xiong) 2010. godine kao protokol za vanredne situacije prilikom izbijanja požara.

d. Problem rupa

Rupe su sigurno jedan od najvećih izazova prilikom raspoređivanja bežičnih senzorskih mreža na velikom području. Uopšteno govoreći, rupe predstavljaju komunikacioni jaz između senzorskih čvorova.²² Kan i Džaved (Khan and Javed) opisali su 2008. godine različite vrste rupa u svom istraživačkom radu.

e. Problem vremenske sinhronizacije senzorskih čvorova u WSN

Vremenska sinhronizacija predstavlja najkritičniji deo infrastructure u bežičnim senzorskim mrežama. Veliki broj aplikacija u WSN zahteva da lokalni časovnici individualnih senzorskih čvorova budu sinhronizovani. Takođe, reći ćemo da bilo koji vid grupisanja podataka zahteva sinhronizovanje za fizičkim vremenom kako bi se na taj način pravilno rezonovalo o zbivanjima u fizičkom svetu. Ali, iako su potrebe za preciznošću sata mnogo strožije u WSN nego u tradicionalnim distribuiranim sistemima, ograničeni resursi poput raspoložive energije i ograničenja kanala dosta otežavaju izvršenje ovog cilja. Najveći izazov za vremensku sinhronizaciju u WSN je da dizajnira lagan, na kvar otporan, energetske efikasan protokol

²²Ibid. p. 337.

kako bi se minimizirala potrošnja energije. Takođe, reći ćemo i da je sinhronizacija vremena u WSN još kompleksnija jer zahteva sinhronizaciju korisnika, senzorskih čvorova i posmatrane pojave.

2.6 Neki primeri primene bežičnih senzorskih mreža u Srbiji

Kao i u svetu tako i kod nas senzori mogu da se koriste za potrebe različitih mernih i upravljačkih aplikacija počev od poljoprivrede, saobraćaja, šumarstva, životne sredine, telekomunikacija i drugih oblasti. U Srbiji se kao koncept prikupljanja podataka sa senzora koristi računarsko zasnovana instrumentacija.²³ Međutim, problem je u tome što njeno održavanje postaje sve složenije zbog ogromnog iznosa kabliranja (kada na stotine senzora treba povezati u jedinstveni sistem).

Od niza radova i projekata urađenih u Srbiji spomenućemo projekat o razvoju i realizaciji arhitekture senzorskog čvora²⁴. Svrha ovog projekta bila je da se sagledaju realne mogućnosti za apliciranje i ostvarivost bežičnih senzorskih mreža u Srbiji. Uopšteno gledajući, kao posledica rezultata ovog projekta sagledane su potrebe za implementacijom bežičnih senzorskih mreža u Srbiji za različite tipove aplikacija.

Kao što smo imali prilike da vidimo u svetu je velika pažnja posvećena problemu vremenske sinhronizacije senzorskih čvorova u WSN, ta pažnja ne zaostaje ni kod nas. Rekli smo u prethodnom delu rada da će problem rešavanja vremenske sinhronizacije senzorskih čvorova dosta uticati i na sam budući razvoj bežičnih senzorskih mreža. ‘‘Prednosti koje nam donosi sinhronizacija vremena svih senzorskih čvorova u bežičnim senzorskim mrežama doprinela je da je ona postala neophodni i sastavni deo gotovo svih aplikacija u WSN ... ali zbog mnogih ograničavajućih faktora koji vladaju u WSN, nije jednostavno naći efikasan vremenski protokol koji bi ispunio sve zahteve.’’²⁵

Kad govorimo o bežičnim senzorskim mrežama kod nas, navešćemo još jedan primer. Reč je o *WSN za merenje temperature bazirane na otvorenim izvorima*.²⁶ Komponente otvorenih

²³Mile Stojčev, Bežične senzorske mreže, Projekat: TR-6102B, Elektronski fakultet Nišhttp://es.elfak.ni.ac.rs/Research/Prikaz_projekta_lat-6102.pdf, 23.10.2012.

²⁴ Ibid.

²⁵Mirko Kosanović, Mile Stojčev, Elektronski fakultet u Nišu, Visoka tehnička škola strukovnih studija u Nišu., Vremenska sinhronizacija senzorskih čvorova u bežičnim senzorskim mrežama., <http://infoteh.etf.unssa.rs.ba/zbornik/2011/radovi/B-III/B-III-2.pdf>, Preuzeto: 23.10.2012. 21:45

²⁶Valentin Penca, Siniša Nikolić, Đorđe Obradović, Bežična senzorska mreža za merenje temperature bazirana na otvorenim izvorima., Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu., <http://www.e-drustvo.org/proceedings/YuInfo2010/html/pdf/166.pdf>, Preuzeto: 23.10.2012.

izvora koje su korišćene obuhvataju otvoreni hardver i otvoreni softver. U radu pod nazivom "Bežična senzorska mreža za merenje temperature bazirana na otvorenim izvorima" opisana je bežična senzorska mreža pod nazivom TempWSN za prikupljanje i skladištenje temperaturnih podataka sa otvorenog prostora. Implementirana platforma testirana je u laboratorijskim uslovima ali i u realnom životu, tačnije na jednoj divljoj deponiji za odlaganje otpada u Novom Sadu. U ovom radu dat je kratak pregled najznačajnijih WSN platformi otvorenih izvora u domenu hardvera i softvera. Takođe, detaljno je opisana SunSPOT platforma i implementirano je WSN rešenje za merenje temperature bazirano na SunSPOT platformi. Važno je naglasiti da je osnovni razlog za izbor SunSPOT platforme bila proširivost.

Kada govorimo o primeni bežičnih senzorskih mreža u poljoprivredi i prehrambenoj industriji treba reći da je ona još u početnoj fazi svog razvoja. Pre nego što kažemo nekoliko rečenica o njihovoj primeni u Srbiji, reći ćemo da se primena WSN u poljoprivredi može pojaviti u nekoliko kategorija: kontrola mašina i procesa, izgradnja i automatizacija postrojenja, sistemi za praćenje, i precizna poljoprivreda.²⁷ Uprkos ubrzanom razvoju računarskih tehnologija i dalje određeni podaci ispitivanja sa terena, kao što su vremenska prognoza ili tehnološka ispravnost vode, zavise od stacioniranih senzora i baza podataka.

U Srbiji kada je reč o kontinualnom praćenju čovekove okoline postoje određene Institucije, poput Meteorološkog zavoda Srbije, koje za praćenje meteoroloških podataka koriste kombinaciju merne opreme koja uključuje i bežični prenos podataka do centralnih računarskih jedinica (Meteorološki zavod Srbije). Isto tako postoje senzori koji daljinskim putem dostavljaju podatke merenja centralnom računaru o zagađenju vazduha. Naprimera, na teritoriji Beograda nalazi se 18 mernih mesta za sumpor-dioksid a četiri merna mesta za CO₂, sve u cilju određivanja kvaliteta vazduha u Beogradu.

Kada govorimo o navodnjavanju zemljišta, u Srbiji je tokom 2007. na 140 hektara voćnjaka za jabuke ugrađeno 40 senzorskih davača u kombinovanu mrežu prikupljanja podataka za praćenje temperature, vazduha, brzine vetra, vlažnosti zemljišta. Kada je reč o kontroli staklenika, kod nas su vršena istraživanja kontrole mikroklimе u plastenicima za proizvodnju povrća u zaštićenom prostoru. Tokom tih istraživanja korišćena je bežična kontrola centralnog PC računara i programa koja su mala mogućnost delimične intervencije u

²⁷Poljoprivredna tehnika, Poljoprivredni fakultet u Beogradu, decembar 2008., <http://www.agrif.bg.ac.rs/files/publications/33/POLJOPRIVREDNA%20TEHNIKA%2001-2008.pdf>. Preuzeto: 10.10.2012.

automatskom pokretanju sistema ventilacije plastenika. Ova istraživanja su sprovedena na oglednom polju d.o.o. "Zeleni hit" u Beogradu.²⁸



Slika 4. Senzorska kontrola staklenika

2.7 Pregled radova i projekata bežične senzorske mreže u svetu

Nakon gore navedenog kratkog prikaza radova iz oblasti bežičnih senzorskih mreža u Srbiji, u nastavku pažnju ćemo posvetiti radovima o bežičnim senzorskim mrežama u svetu. Iako je posredi reč o velikom broju radova i projekata, mi ćemo ovde pokušati da damo prikaz samo nekih od njih.

Jedan od radova u domenu bežičnih senzorskih mreža jeste algoritam izbora putanje za bežične senzorske mreže (*A Path Selection Algorithm with Energy Efficiency for Wireless Sensor Networks*)²⁹. U ovom radu predložena je putanja izbora algoritma sa energetsom efikasnošću za bežične senzorske mreže. Ovde je cilj bio prikazati da se sve staze ravnomerno koriste ali da se biraju one staze sa dovoljno dostupnom energijom tako da životni vek mreže može da bude uvećan. Dakle, reč je o tome da se svi putevi koriste ravnomerno ali se biraju staze sa dovoljno raspoložive energije.

U radu pod nazivom "An Enhanced Cross-Layer Protocol for Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks"³⁰ predložen je poboljšani "Cross-Layer" protkol za energetska efikasnost. Ovde je dokazano da predloženi protokol prevazilazi druge postojeće algoritme u smislu energetske efikasnosti, odnosno, da predloženi ECLP protkol ima mnogo veći napredak nego druge šeme po pitanju potrošnje energije.

²⁸Ibid, str. 15.

²⁹Inwhee Joe, A Path Selection Algorithm with Energy Efficiency for Wireless Sensor Networks, College of Information and Communications, Hanyang University, 2007., p.217

³⁰ Jaehyun Kim, Jaiyong Lee, Seoggyu Kim, 'An Enhanced Cross-Layer Protocol for Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks, 2009 Third International Conference on Sensor Technologies and Applications, p.657

Autori rada "An Improved Routing mechanism using Bio-Inspired for Energy Balancing in Wireless Sensor Networks" bili su inspirisani kolonijom mrava pa su predstavili Senzor Ant metod kako bi koristili novu usmeravajuću šemu za optimizaciju baterijskih senzora. U ovom radu cilj je bio postizanje uravnotežene potrošnje energije u svim senzorima.

U svetu je urađen veliki broj projekata i na temu stepena potrošnje energije kada je u pitanju prenos podataka. U jednom od tih projekata preuzet je koncept iz ekonomije "ScoreSheet" sa ciljem procene informacija u smislu da li su one vredne prenošenja ili nisu. U radu je prikazano da ovaj koncept predstavlja održivo rešenje za lokalno filtriranje podataka kako bi se ostvarila energetska i troškovna efikasnost.

2.8 Osnovni izazovi u daljem razvoju WSN

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

1. **Snaga** - Ona je oduvek predstavljala izazov za WSN. 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 alii budućim napredkom u oblasti MEMS (MicroElectroMechanical Systems);
3. **Bezbednost** – predstavlja jedan od najvećih izova u WSN. Većina napada koji se vrše na WSN 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** – protokoli bi trebalo da se razvijaju u kompletan sistemski protokol radi njihove primene u realnom svetu imajući u vidu teorijske koncepte i praktična rešenja.

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

Pored gore navedenih osnovnih izazova u daljem razvoju WSN, 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:

- 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.³¹

3. Vetrenjače

Pojam vetrenjača podrazumeva sistem za transformaciju oscilujuće energije vetra u električnu energiju. Kao što je već poznato energija vetra ubraja se u obnovljive izvore energije. Energija vetra je ustvari oblik Sunčeve energije. Kako Sunce neravnomerno zagrejava različite delove zemlje, dolazi do razlike u pritiscima vazduha, a kao posledica težnje za izjednačavanjem pritisaka vazduha nastaje vetar. Planetarna područja na kojima stalno duvaju vetrovi tzv. stalni (planetarni) vetrovi, najisplativija su za izgradnju vetroelektrana i

³¹Poljoprivredna tehnika, Poljoprivredni fakultet u Beogradu, decembar 2008., <http://www.agrif.bg.ac.rs/files/publications/33/POLJOPRIVREDNA%20TEHNIKA%2001-2008.pdf>. Preuzeto: 10.10.2012.

iskorištavanje energije vetra. Dobri položaji su i obale mora i okeana (priobalne vetroelektrane), te pučina mora koja se ističe kao najidealniji položaj zbog stalnosti vetrova. Kako su cene izgradnje i prevoza energije visoke, na pučini kao idealnom mestu vetroelektrane retko se izgrađuju.

Vetar sam po sebi je fluid, građen od sitnih čestica koje osciluju velikom brzinom. Oscilovanje uzrokuje kinetičku energiju koja može biti zarobljena pomoću turbine. Kinetičku energiju vetra skupljaju lopatice vetrenjače. Pokretanjem lopatica vetrenjače pokreće se i vratilo koje je spojeno sa generatorom vetrenjače koji kinetičku energiju vetra transformiše u električnu. Najučestalije vetrenjače imaju kapacitet od 700 KW do 1.8 MW.

U prošlosti, ljudi su pomoću vetrenjača vadili vodu iz bunara, mleli žitarice, provetravali zatvorene prostore itd.. Zanimljivo je, da je čak jedna virusna bolest koja je vladala u zatvoru eliminisana uz pomoć veternjače. Poslednjih godina, energija vetra se koristi za dobijanje električne energije. Na slikama 5, 6, 7, 8, respektivno prikazane su razni modeli vetrenjača.



Slika 5. Vetrenjača korišćena za mlevenje žitarica



Slika 6. Vetrenjača korišćena za pumpanje vode



Slika 7. Vetrenjače za dobijanje el. energije na moru



Slika 8. Vetrenjače za dobijanje el. energije na kopnu

Kao što smo već naveli, u današnje vreme vetrenjače se koriste za proizvodnju električne energije. Rade zajedno (farma vetrenjača), kako bi se iz postojećeg vetra izvukao maksimum. Smeštaju se dosta udaljeno jedna od druge u područjima velike snage vetra. Farme vetrenjača imaju kapacitet od nekoliko MW do nekoliko stotina MW. Najveća farma vetrenjača smeštena je na obali Irske. Sadrži 200 vetrenjača, proizvodne snage 520 MW i cena joj je negde oko 600 miliona dolara.

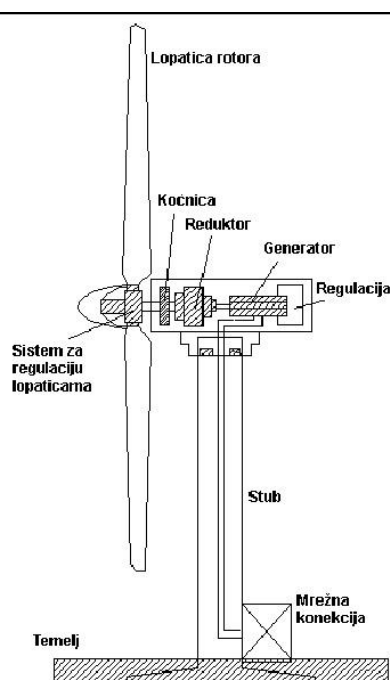
Prema podacima iz 2007. godine ukupna instalisana snaga vetroelektrana u svetu bila je 94,1 GW. Vetroelektrane pokrivaju tek 1% svetskih potreba za električnom energijom,

dok u Danskoj ta brojka iznosi 19%, Španiji i Portugalu 9%, Nemačkoj i Irskoj 6% (podaci za 2007. godinu). Danas je taj procenat znatno veći.

3.1 Princip rada i struktura vetrenjače (vetroturbine)

3.1.1 Arhitektura vetroturbine

Osnovni delovi vetroturbine su: rotor vetroturbine, vratila s reduktorom, električni generator sa ostalim delovima električnog sistema (priključak na mrežu i sl.), sistemi za regulaciju (aerodinamičko kočenje, zakretanje kućišta, nadzor, komunikacije itd.), stub i temelj. Na slici 9. Prikazani su osnovni delovi vetroturbine.



Slika9. Osnovni delovi vetroturbine

Rotor vetroturbine se sastoji od određenog broja lopatica koje su preko jedne ili više glava spojene na vratilo. Rotori mogu biti trokraki, dvokraki i jednokraki. Danas se najčešće u 90% slučajeva koriste tzv. propelerski rotor sa tri lopatice (kraka), na čijim se vrhovima postižu brzine od 50 – 70 m/s. Trokraki rotor su se pokazali kao najefikasniji. Efikasnost

dvokrakih rotora je za 2 – 3% manja, dok se jednokraki dodatno moraju uravnotežavati i njihova efikasnost je znatno manja. Rotori vetroturbina mogu se podeliti prema nekoliko osnovnih načela: prema aerodinamičkom efektu (rotori sa uzgonskim delovanjem i rotor sa otpornim delovanjem), prema položaju vratila, odnosno osi rotacije (rotori sa horizontalnom i rotor sa vertikalnom osovinom) i prema brzini rotacije (rotori sa promenljivom i rotor sa konstantnom brzinom obrtanja).

Lopaticе rotora, na kojima se kinetička energija vetra konvertuje u kinetičku energiju obrtanja rotora, su elipsastog oblika, prečnika od 2.5 – 5 m. U zavisnosti od pravca okretanja elipse razlikuju se vetroturbine sa horizontalnom i vertikalnom osovinom. Broj lopatica na samom rotoru zavisi od niza tehničkih i netehničkih preduslova. Na primer, manji broj lopatica znači manje troškove proizvodnje, ali i veće brzine obrtanja, što za posledicu ima veću buku i eroziju ležajeva. Preko glave rotora lopaticе su kruto ili fleksibilno povezane za vratilom. Kod rotora sa horizontalnom osovinom glava je samo jedna, dok kod rotora sa vertikalnom osovinom broj glava može biti i veći. Unutar glave nalaze se ležajevi pokretnih lopatica, priključci za instalacije i slično. Vratilo služi za prenos obrtnog momenta od glave do električnog generatora. Na položaju njegove ose zasniva se jedna od najvažnijih podela vetroturbina. Pri tome se, zapravo, radi o dva vratila: sporom i brzom koja su međusobno povezana reduktorom (multiplikatorom) . Vratilo turbine je spojeno direktno na glavu pa preuzima obrtni moment i celokupno radijalno i aksijalno opterećenje koje se preko ležajeva prenosi na noseću konstrukciju: stub i temelj. Multiplikator ili prenosnik služi za dovođenje brzine obrtanja rotora koju zahteva generator. Najčešći prenosni odnosi su 1 : 30 do 1 : 50. Uz multiplikator se može naći i spojnica kojom se po potrebi može prekinuti prenos obrtnog momenta.

Vratilo generatora služi za pogon električnog generatora i po pravilu ne prenosi opterećenje.

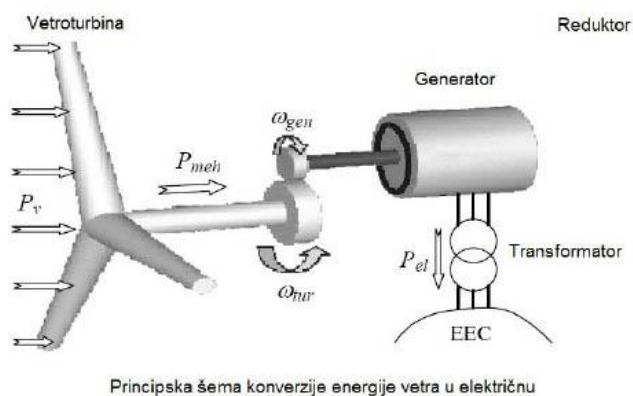
Električni generator služi za pretvaranje kinetičke energije obrtanja vratila u električnu energiju i predstavlja krajnji element konverzije energije u vetroelektrani. Generatori koji se koriste u vetroelektrani moraju da poseduju posebnu konstrukciju jer se obrtni momenti zbog promene snage vetra često menjaju.

Stub vetroturbina najčešće je čelični cilindar prečnika 10 m i visine od 150 do 200 m. Neke turbine imaju stub izgleda Ajfelovog tornja.

Baze vetroturbina najčešće su betonske ojačane čeličnom konstrukcijom. Razlikuju se dve osnovne vrste konstrukcije. Jedna je plitko ravan disk, oko 40 m u prečniku i tri noge, a drugi je cilindar prečnika 15 m i visine 16 m.

3.1.2 Princip rada vetroturbine

Vetroturbina radi na sledeći način: vetar okreće lopatice vetrenjače koje uzrokuju kretanje rotora. Rotirajuće lopatice okreću “sporo” vratilo koje je preko menjačke kutije povezano sa brzim vratilom. Brzo vratilo pokreće generator koji proizvodi električnu energiju. Proizvedena električna energija iz generatora šalje se na transformator koji transformiše napon na onu vrednost koja se koristi u električnoj mreži. Glavne tri varijable koje određuju količinu električne energije koja će biti dobijana iz vetroturbine su: brzina vetra, širina lopatica i gustina vazduha. Što su brzina vetra, širina lopatica i gustina vazduha veće veća je i količina energija koja će se proizvesti i obrnuto. Na slici 10. je prikazana principna šema transformacije energije vetra u vetroturbinama u električnu energiju.



Slika 10. Transformacija energije vetra u električnu

3.1.3 Snaga vetra

Dijapazon brzine u kojem vetroturbine generišu električnu energiju je od 3 – 25 m/s. Maksimalna (nominalna) snaga postiže se pri brzini vetra od 12 – 15 m/s. Za brzine vetra koje prelaze 25 m/s vetroturbina se iz mehaničkih razloga zaustavlja, jer se pokazalo da

ekonomski nije isplativo projektovati turbine za aktivan rad pri tim brzinama, jer se tako jaki vetrovi relativno retko javljaju. Konstrukcija savremene vetroturbine projektovana je tako da može da izdrži udare vetra i do 280 km/h.

Vetroturbine se najčešće postavljaju na mestima na kojima je srednja godišnja brzina vetra veća od 6 m/s na visini 50 metara iznad zemlje. Na ovakvoj lokaciji jedna vetroturbina snage 1MW može proizvesti oko 2000 MWh električne struje godišnje, što je dovoljno za izmirenje potreba 500 četvoročlanih domaćinstava.

Kinetička energija vetra direktno zavisi od gustine vazduha, što je vazduh gušći dobija se više energije na turbini. Pri normalnom atmosferskom pritisku i temperaturi vazduha od 15 °C, težina vazduha je 1.225kg/m³, ali sa povećanjem vlažnosti vazduha opada i njegova gustina.

Teoretska snaga vetroturbine data je izrazom:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3$$

Gde je:

P – specifična snaga vetra

v – brzina vetra na ulazu u turbinu

ρ – gustina vazduha

3.2 Senzorske bežične mreže i vetroturbine

Intenzivan razvoj vetroturbina u poslednjih 25 godina, uzrokovao je sve veću potrebu za primenom i razvojem senzora i senzorskih bežičnih mreža u vetroturbinama. Veliki broj senzora na različitim lokacijama nalaze se u vetroturbinama. Ovi senzori zajedno sa sistemom rasuđivanja čine mrežu senzora. Senzorska mreža je odgovorna za kontrolu, zaštitu i nadgledanje (monitoring) sistema vetroturbina.

Da bi senzorska mreža za vetroturbine bila optimalna moraju biti zadovoljena 4 kriterijuma.

Prvi, senzorska mreža za vetroturbine mora da obezbedi fizičke promenljive za kontrolu, zaštitu i nadgledanje sistema vetroturbine.

Drugi, senzorska mreža mora obezbediti redundantne informacije za dijagnozu grešaka. Treći, senzorska bežična mreža mora da omogući procenu verovatnoće granične vrednosti

vetra. I četvrti, senzorska mreža mora da ima što manji broj senzora kako bi projektovanje, izgradnja i održavanje mreže bilo što ekonomičnije.

Postavlja se pitanje: Zašto su senzori neophodni vetroturbinama? Odgovor je jednostavan. Vetroturbina treba senzore za svoje kontrolere, sigurnosni sistem, sistem za praćenje. Kontroleri su odgovorni za bezbedan i efikasan rad vetroturbina. U slučaju kvara kontrolera, može doći do zaustavljanja rada vetroturbine.

3.2.1 Princip rada senzora u vetroturbinama

Senzor je uređaj koji meri neku fizičku veličinu. Kada je reč o vetroturbini, centralni kontroler, kompjuter vertoturbine, prima informacije prikupljene sa senzora. Izlaz sa senzora u svakom slučaju mora biti električni signal. Princip rada ustvari daje uvid kako funkcioniše senzor, kao i uvid u faktore koji utiču na njegov izlaz (veličinu koju meri). Na primer, ako senzor koristimo kao otpornik za merenje vlage, on će meriti promene vlažnosti, jer ona utiče na njegovu otpornost. Drugi primer, magnetni senzor može biti pod uticajem magnetnog polja generatora ukoliko se postavi na ili u generatoru. Važno je znati šta senzor meri i pod uticajem kog faktora može biti.

3.2.2 Senzori za kontrolu

Vetroturbine reaguju na promene iz spoljašnjeg sveta. Proizvodnja energije vetroturbine zavisi od više veličina i promenljivih. Merenje ovih promenljivih postiže se pomoću senzora za kontrolu. Više fizičkih varijabli potrebno je za kontrolu vetroturbine (brzina vetra, pravac vetra, temperatura itd.). Fizičke varijable neophode za kontrolu opisane su preko četiri osnovna stanja prikazana u tabeli 1.

Operativno stanje	Opis stanja
1 (stacionarno)	Čekanje na pogodnu brzinu vetra
2 (tranziciono)	Pokretanje
3(stacionarno)	Generisanje elektriciteta
4(tranziciono)	Isključivanje

Tabela1 . Operativna stanja

Operativna stanja su podeljena na prelazna i stacionarna. Turbina u stacionarnom stanju može ostati duže vreme, u zavisnosti od vetra i uslova rada.

Brzinu vetra neophodno je znati prilikom pokretanja i isključivanja turbine (operativna stanja 2 i 4). Pravac vetra neophodan je za pokretanje turbine i generisanja električne energije (operativna stanja 2 i 3). Broj obrtaja generatora utiče na maksimalnu snagu vetroturbine. Važni parametri generatora su faza, napon i frekvencija. Nagla promena faze može prouzrokovati oštećenje generatora. Parametar koji određuje da li turbina radi je temperatura. U slučaju previše niskih ili previše visokih temperatura vetroturbine su u stanju čekanja. Povratne informacije (engl. feedback) neophodne su kako bi kontroler proverio da li sve uredno funkcioniše.

3.2.3 Senzori za detekciju limita

U vetroturbinama kontroler je važan uređaj zadužen za održavanje njenih unutrašnjih parametara (hidraulični sistem, mreža, temperatura, električni sistem, mehanički sistem itd.) u dozvoljenim granicama. Međutim, ako se iz nekog razloga dogodi da kontroler ne obavlja svoju funkciju, vetroturbine imaju ugrađene i dodatne sisteme zaštite (engl. protection systems). Detekciju limita kontroler postiže zahvaljujući senzorima za detekciju limita koji su postavljeni unutar samog kontrolera. Ukoliko parametri vetroturbine pređu preko granica limita, zahvaljujući senzorima za detekciju limita, kontroler će direktno ugasiti vetroturbinu. U slučaju da kontroler nije u mogućnosti da obavi funkciju detekcije limita, njegovu ulogu preuzima zaštitni sistem. Svrha sistema zaštite je da ukoliko neka od kritičnih varijabli (temperatura generatora, broj obrtaja, faza, napon, frekvencija, itd.) pređe dozvoljenu vrednost, sistem i dalje nastavi rad u normalnom bezbednom režimu.

3.2.4 Senzori za praćenje/nadglednje stanja

Ova grupa senzora namenjena je za praćenje stanja na komponentama vetroturbina. Neke od najvrednijih komponentata vetroturbina su menjač, generator, hidraulični sistem. Ove komponente su ujedno i kritične komponente sistema, tako da je razvijen veliki broj tehnologija za njihovo praćenje. Na primer za nadgledanje menjača koristi se više senzora: senzori koji detektuju vibracije i buku menjača (engl. accelerometers), senzori brzine, senzori koji detektuju greške koje se manifestuju kroz radijalno kretanje izlaznog vratila (engl. displacement sensors) i elektromagnetni senzori koji se koriste za detekciju ostataka ulja u menjaču.

3.3 Strukturalno nadglednje/monitoring vetroturbina pomoću bežičnih senzorskih mreža

Potreba za praćenjem i ekonomičnim upravljanjem generatorima obnovljivih izvora energije postaje sve veća iz dana u dan. U ovu svrhu poslednjih godina kao pokretačka tehnologija koriste se bežične senzorske mreže. Postavlja se pitanje zašto baš one? Odgovor je jednostavan: Jeftine su i vrlo energetske efikasne. Instalacijom senzora u vetroturbine unapređen je njihov rad. Senzori koji se postavljaju u vetroturbine prikupljaju razne vrste podataka, koji su važni za njihov pravilan i bezbedan rad. Pokazalo se da se primenom senzorskih bežičnih mreža u monitoringu vetroturbina postižu mnogo bolji rezultati u odnosu na tradicionalne žičane sisteme.

3.3.1 Bežični monitoring

Kao što smo naveli poslednjih godina senzorske bežične mreže našle su veliku primenu u monitoringu vetroturbina. Iako su dale odličan rezultat u prikupljanju podataka senzorske bežične mreže nisu potpuna zamena tradicionalnim žičanim sistemima. Da bi senzori mogli da rade neophodan je izvor napajanja (baterija). Neefikasna upotreba senzora uzrokuje potrošnju i čestu zamenu baterija, zamena baterije umanjuje uštede koje se ostvaruju primenom bežičnih senzora. Konkretno, bežični modem koji služi kao veza između bežičnih senzora i spoljašnjeg sveta najveći je potrošač energije. Dakle, ono što je jako važno, kako i koji komunikacioni kanal se koristi. Ova činjenica prouzrokovala je istraživanja i razvoj na polju paralelnih i distribuiranih algoritama za obradu podataka u bežičnom senzoru, omogućavajući im da prenose malu količinu obrađenih podataka. Još jedna motivacija za razvoj ovih algoritama je i ograničenje širine propusnog opsega komunikacionog kanala. Bežične komunikacije su inherentno ograničene na preko-aerotransmitivne brzine i bežične propusne opsege raspoložive za veliki broj nelicenciranih industrijskih, naučnih i medicinskih grupa. Ovo ograničenje postavlja brzinu prenosa podataka na manju od one koja se postiže prenosom putem žičanih sistema. Nedavno, predloženi su algoritmi u kojima bežični senzori razmenjuju između sebe podatke kako bi se proračunala kompletna slika modalnih osobina strukture.

Jedan od često korišćenih senzora u monitoringu vetroturbina je WiMMS(Wireless Magnetometer) koji se sastoji od štampanih kružnih ploča (PCB- printed circuit board) na kojima su smešteni kompjutersko jezgro (mikrokontroler) i senzorski interfejs, i omogućava veze za komunikaciju interfejsa. Kompjutersko jezgro odgovorno za pokretanje operativnog

sistema (OS), sadrži inženjerski aplikativni softver, vrši obrada ugrađenih podataka i skladišti podatke.

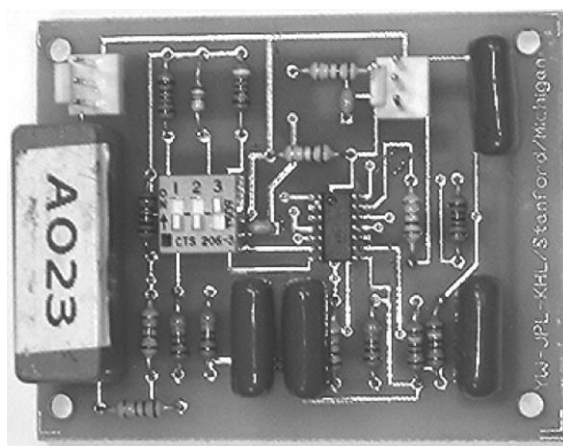
Građen je od mikrokontrolera Atmel AT mega 128, 8-bitne arhitekture i integrisanog kola 128 kB fleš memorije. Procesoru je dodano 128 kb dodatne radne memorije u spoljašnjem pakovanju namenjenih za dodatna skladištenja podataka. Senzorski interfejs sastoji se od Texas Instruments ADS8341, 4-kanalnog, 16-bitnog analogno digitalnog konvertora odgovornog za digitalizaciju podataka iz povezanih senzora. Komunikacioni interfejs sastoji se od bežičnog modema MaxStream 24 Xstream koji radi u opsegu od 2.4 GHz. Maksimalna brzina prenosa podataka je 192 kbps na udaljenosti u rasponu do 5 km. Iako radio ima impresivan opseg, elementi od čistog metala kao što je na primer toranj vetroturbine mogu umanjiti komunikacioni domet radija.

Na slici 11. prikazan je WiMMS koji se koristi za monitoring u vetroturbinama.



Slika 11. WiMMS za monitoring u vetroturbinama

Na slici 12. prikazana je signalna tabla stanja (eng. signal conditioning board) za merenje spoljnih vibracija. Signalna tabla stanja ima dve funkcije: služi kao antialijasing filter i pojačava izlazni napon senzora za dvadeset puta s ciljem iskorišćavanja punog ulaznog opsega ADC-a.



Slika 12. Signalna tabla stanja

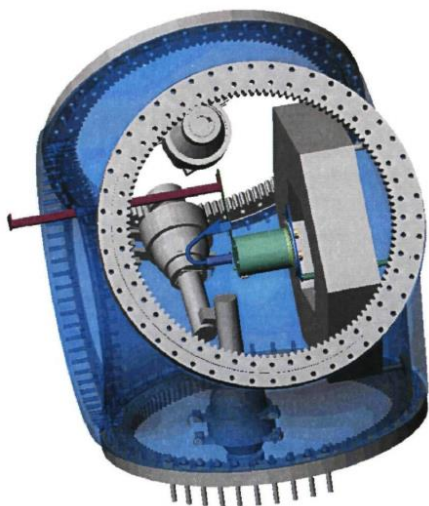
3.3.2 Senzori korišćeni u nekim delovima vetroturbina

U ovom odeljku biće detaljnije objašnjeni glavni delovi vetroturbina, praćeni listom senzora koji se koriste ili u ili na ili oko glavnih delova. Takođe, za svaki od glavnih delova biće dat i grafički prikaz koji prikazuje lokacije senzora u glavnim delovima.

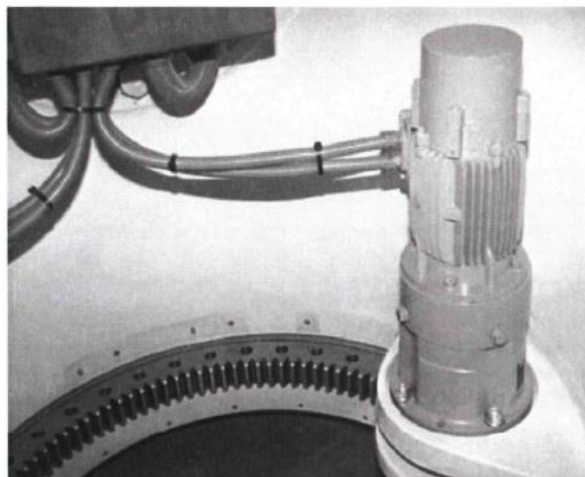
3.3.2.1 Senzori u glavčini

Sistem za zakretanje lopatica (engl. pitch system) smešten je u glavčini. Napravljen je tako da svaka lopatica ima svoj pogonski sistem koji se sastoji od: motora, menjača, kontrolera i kontrolnog sistema³². Svaka lopatica ima rezervnu bateriju kako bi se obezbedila funkcionalnost turbine u situacijama kada ne postoji mogućnost napajanja sa električne mreže. Njihovi pogonski zupčanici su povezani sa unutrašnjim zupčanicom ležajeva lopatice, koji potpomažu lopatice rotora. Takođe na svakoj od lopatica postoji i sistem za monitoring redundantnog ugla lopatice. Precizna kontrola nagiba na svakoj lopatici neophodna je kako bi se izbegla neprihvatljiva razlika ugla lopatice (engl. pitch angle) u toku normalnog rada. Za sinhronizaciju lopatica zadužen je kontroler. Kako je elektromotor kritična komponenta vetroturbine, veoma je važno pratiti njegovu struju, temperaturu i vibracije. Na slikama 13, 14 i 15 prikazani su glavčina bez lopatica, elektromotor unutar glavčine i senzori koji su smešteni u glavčini.

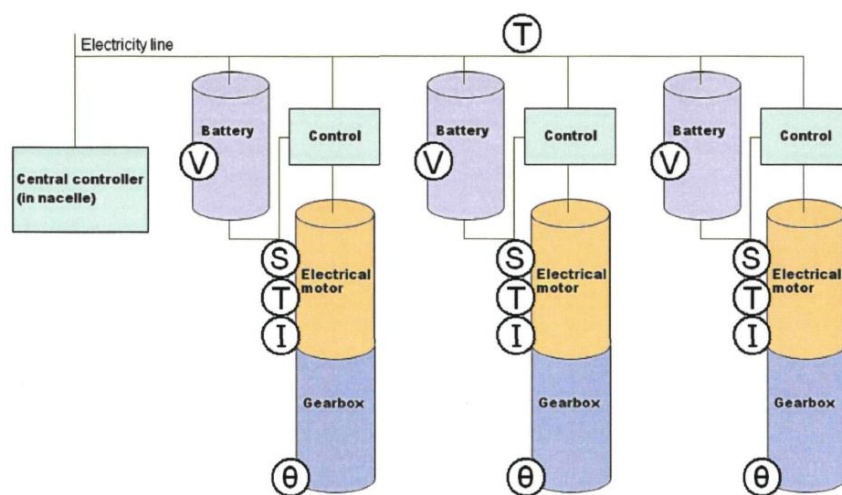
³² Suzlon, 2005; Burton et al, 2002



Slika 13. Glavčina vetroturbine



Slika14. Elektromotor u glavčini



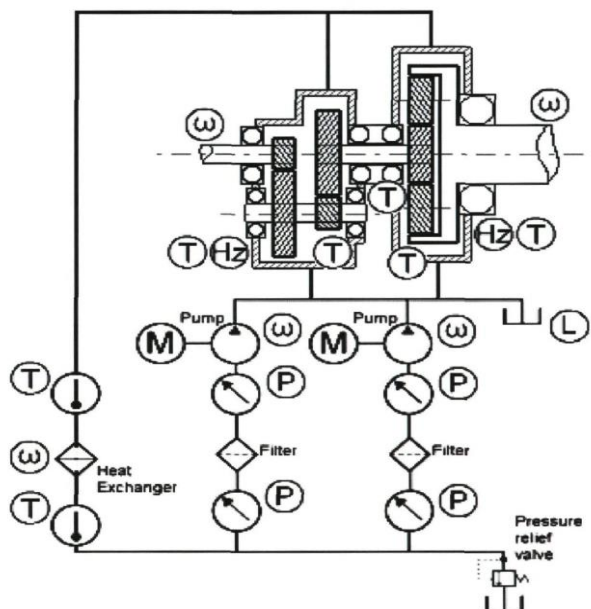
Slika 15. Pregled senzora u glavčini

Kao što se vidi na slici veličine koje se prate pomoću senzora su temperatura, vibracije i struja elektromotora, napon baterija, temperatura u glavčini, ugao nagiba svake lopatice i feedback unutrašnje kočnice elektromotora. Za merenje temperature koriste se termistori (engl. Thermistor - T), za merenje struje ampermetri (engl. Ammeter - I), za merenje ugla nagiba senzori koji mere ugaoni pomeraj (θ) i prekidački (switch-es) (S) električni mostovi za merenje i praćenje feedback-a unutrašnje kočnice elektromotora. Senzori koji se primenjuju u praćenju kontrolera biće navedeni kasnije.

3.3.2.2 Senzori u menjaču

Menjač je građen od tri dela: jednog planetarnog i dva spiralna čiji je osnovni zadatak konvertovanje obrtaja iz niskih u visoke. Hlađenje ulja menjača postiže se preko

razmenjivača toplote koji je povezan sa sistemom za hlađenje generatora. Monitoring temperature ulja obezbeđuje da ulje što je pre moguće dostigne optimalnu temperaturu i u isto vreme da se ta optimalna temperatura održi što je duže moguće.³³ Ulje se u menjač ubacuje pomoću pumpi, i filtrira pomoću filtera za ulje. Na slici 16. prikazani su senzori koji se koriste na, u i oko menjača.



Slika 16. Senzori u menjaču

Veličine koje se mere i prate na menjaču su: ubrzanje na ležajevima, obrtna brzina na obe strane menjača, temperatura poklopca menjača, frekvencija pumpe, pritisak pre i posle filtriranja ulja, temperatura i nivo ulja. Za praćenje i merenje pritiska koriste se senzori pritiska (engl. Piezoresistive - P), za praćenje i merenje temperature termistori, za praćenje i merenje obrtne brzine koriste se obrtni senzori (optički enkoderi ω), za praćenje i merenje ubrzanja koriste se senzori za merenje ubrzanja (eng. Accelerometers - Hz) i za praćenje i merenje nivoa ulja koriste se prekidači (elektični mostovi - L).

3.3.2.3 Senzori u glavnom ležaju

Glavni ležaj je smešten između menjača i glavčine. Ovaj veoma važan ležaj je praćen od strane vibracionog i temperaturnog senzora. Vrednosti koje se mere su : temperatura poklopca ležaja i ubrzanje na ležaju. Vrste senzora koje se koriste u ovu svrhu su akcelometri i termometri.

³³ Nordex 1998

3.3.2.4 Ostali senzori

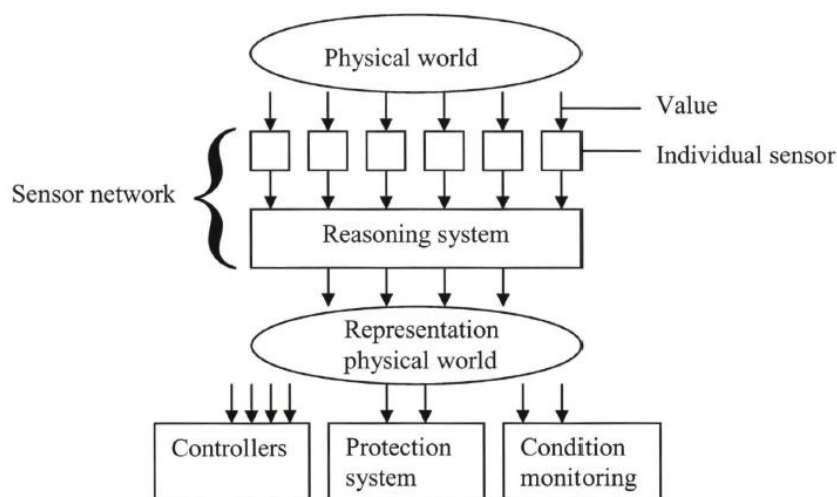
Na vrhu gondole obično su dva anemometra i dva senzora koja mere ugao između gondole i smera vetra (engl. wind vanes senzori). Anemometri mere brzinu vetra.

Temperatura u vetroturbini se meri u svrhu detekcije ekstremno niskih (<25) i ekstremno visokih (>50) temperatura.

Prekidači za hitne reakcije su smešteni u tornju i gondoli. Na vrhu tornja nalazi se poseban senzor koji meri ubrzanje. U slučaju da je ubrzanje suviše veliko i toranj postane nestabilan ovaj senzor će automatski zaustaviti rad vetroturbine.

4. Pristupanje senzorskoj mreži

Senzorska mreža daje sliku fizičkog sveta, koja se formira na osnovu vrednosti koje dobijaju kontroleri, sistem zaštite i sistem za uslovni monitoring. Senzorska mreža prikazana na slici 13. ima šest ulaznih i četiri izlazne vrednosti. Veći broj ulaznih vrednosti mogu dovesti do nastanka redundantnosti u senzorskoj mreži. Na slici 17. četiri od šest veličina koje opisuju fizički svet su korišćene od strane kontrolera, a samo njih dve od strane sistema za uslovni monitoring i sistema za zaštitu.



Slika17. Senzorska mreža

Da bi vetroturbina radila neophodno je da kontroler, sistem za zaštitu i sistem za uslovni monitoring znaju veličine iz stvarnog fizičkog sveta. U idealnom slučaju vrednosti iz stvarnog fizičkog sveta su iste kao i vrednosti koje predstavljaju njihovu reprezentaciju. U

svakom slučaju neki od senzora može da otkáže što dovodi do greške u izlaznim vrednostima.

Uvođenje redundanse u senzorske mreže omogućava tačnu reprezentaciju fizičkog sveta, čak i u slučaju da neki od senzora ne radi. Korišćenjem metoda da više od jednog senzora meri istu veličinu jedan je od načina stvaranja redundanse senzorske mreže. Redundanse senzorske mreže umanjuju mogućnost nastanka greške, odnosno pogrešne reprezentacije fizičkog sveta.

4.1 Definicija optimalne senzorske mreže

Optimalna senzorska mreža za vetroturbine trebala bi da zadovolji sledeće kriterijume:

- Obezbedi fizičke varijable za kontrolu, sistem zaštite i sistem za uslovni monitoring
- Sadrži redundansu informacija za dijagnostiku greške
- Sadrži redundansu informacija kako bi se obezbedila detekcija graničnih vrednosti
- Sastoji se od što je moguće manjeg broja senzora

4.2 QDM kao alat za procenu senzorske mreže

Qualitative Diagnostic Model - QDM koristi model sistema (vetroturbine) kako bi procenio njeno ponašanje. Ovaj model simulira sistem (vetroturbina) kako bi trebao da se ponaša i upoređuje ga sa stvarnim izlaznim vrednostima senzora i kontrolnih signala. Na ovaj način bilo koje neočekivano ponašanje može biti detektovano.

Model prvo poredi ulazne vrednosti senzorske mreže sa svojim modelom i pokušava da ih upari sa vrednostima koje sistem ima u slučaju da nema greške. Nakon toga, model za dijagnostiku pretražuje kombinacije sa greškom u jednoj komponenti i pokušava da ih upari sa ulaznim vrednostima. Ukoliko uspe da ih upari sistem za dijagnostiku zaključuje da ta komponenta ima grešku.

Model za dijagnostiku radi sa konačnim brojem varijabli. Varijable mogu biti izražene u simbolima (negativne, nula, pozitivne) ili u prioritetu (nizak, srednji, visok).

QDM može da koristi matematičke i diferencijalne izraze. Sledeći izraz $a+b=c$ pokazuje kako se sistem ponaša. Modifikovanjem leve strane izraza može se doći do zaključka šta će se desiti na drugoj strani. Na primer, ukoliko se a poveća, a b ostane ne promenjeno dolazi se do zaključka da će se i c povećati.

4.3 Budućnost razvoja vetro parkova u svetu i kod nas

Kada je reč o našoj zemlji, Srbija ima veliki potencijal za izgradnju vetroelektrana. Energetski potencijal vetra u Srbiji je procenjen na instalisanu snagu od oko 1.3 MW, a najperspektivnije lokacije za izgradnju elektrana na vetar su planine Midžor, Suva planina, Vršački breg, Stara planina, Deli Jovan, Krepoljin, Tupižnica, Juhor i Jastrebac. Međutim, i pored ovako brojnih i povoljnih uslova i mesta za izgradnju vetrenjača, kod nas još nije podignuta nijedna vetroelektrana, ali bi trebala uskoro. U maju 2012 godine (Vrška Čuka, maj 2012), postavljen je kamen temeljac za izgradnju prve vetroelektrane u Srbiji, koja bi trebala biti završena u naredne dve godine. Vetroelektrana bi trebala imati 17 vetrenjača i godišnje bi proizvodila oko 75 miliona kWh.

Što se tiče razvoja vetroparkova u Evropi, EU želi da do 2020. godine 20% potrošnje električne energije pokriva iz obnovljivih izvora (Sunce, voda, vetar) kako bi umanjila emisiju štetnih gasova u atmosferu i ograničila klimatske promene. Ostvarenju tog cilja odlučujuće bi trebalo da doprinesu vetroparkovi van kopna.

Prognoze Evropskog udruženja za energiju vetra za 2014. godinu su dobre, s obzirom da je u izgradnji nekoliko projekata. To bi trebalo da donese još 1.900 megavata instalisanih kapaciteta, i dovede ukupne "ofšor" kapacitete u Evropi na 8.300 megavata.

5. Simulator snage vetrogeneratora (Wind power simulator)

Wind power simulator je grafički interfejs koji predstavlja model vetrenjače realizovan u programskom jeziku Java. Interfejs na osnovu ulaznih parametara, kao što su "dijametar krila (m)", "gustoća vazduha (kg/m³)", itd. računa snagu vetrogeneratora. Elementi grafičkog interfejsa su definisani na osnovu formule koja izračunava snagu vetrogeneratora:

$$P = 0.5 \times \rho \times A \times C_p \times V^3 \times N_g \times N_b$$

gde je:

P – snaga vetrogeneratora

ρ – gustina vazduha (1.2 kg/m³ na nivou mora)

C_p – koeficijent performansi (0.35 najčešća vrednost, 0.56 maksimalna vrednost definisana u teoriji)

N_g – efikasnost generatora (50% - 80%)

N_b – menjač

Razvojno okruženje korišćeno za implementaciju interfejsa je NetBeans8. Kako je interfejs realizovan uz pomoć Jave i NetBeans-a u nastavku rada dat je pregled osnova programskog jezika Java kao i razvojnog okruženja NetBeans-a. Nakon toga, biće objašnjena realizacija samog simulatora snage vetrogeneratora i na samom kraju priložen je kod interfejsa.

5.1 O programskom jeziku Java

Programski jezik Java je viši programski jezik opšte namene koji u potpunosti podržava paradigmu objektno orijentisanog programiranja.

Java je više od programskog jezika koji ima određenu sintaksu i semantiku. Ona je pravo programsko okruženje koje pomoću ogromne biblioteke standardnih programskih modula podržava obrade bez kojih danas ne može da se zamisli nijedan ozbiljan program. Tu spadaju komunikacija sa korisnikom preko prozora, višenitna obrada, rad preko Interneta, troslojna arhitektura rada s bazama podataka itd. Standardi programskih jezika do pojave jezika Java te elemente nisu obuhvatali.

Svaki proizvođač je uvodio nestandardna rešenja za njih, ograničavajući time prenosivost programa s jedne na drugu platformu.

Programski jezik Java je srodnik jezika C++ koji je direktni potomak jezika C.

Programski jezik C pojavio se početkom 1970-tih godina i u osnovama je promenio dotadašnji, nesistematizovani, stil programiranja. Kroz podršku za strukturirano programiranje obezbedio je da mogu da se napišu, razumeju i održavaju znatno veći programski sistemi nego pre. Pošto se u centru pažnje nalaze postupci koji se primenjuju na podatke, ta tehnika programiranja naziva se i proceduralno programiranje.

Kako su jezik C projektovale programeri koji su i sami pisali programe, drugi programeri su ga rado prihvatili i uskoro je postao jedan od najrasprostranjenijih programskih jezika, koji se koristi i danas. Za autora jezika C smatra se Denis Riči (Dennis Ritchie) iz Belovih laboratorija (Bell Laboratories).

Početkom 1980-tih godina računarski programi narasli su do takvih veličina da su se tehnike proceduralnog programiranja pokazale neefikasnim. Rešenje se našlo u paradigmi objektno orijentisanog programiranja, kod koje se u centru pažnje nalaze podaci (objekti) na koje se primenjuju neki postupci. Od programskih jezika koji su projektovani da podržavaju nove tehnike programiranja najveći uspeh je imala nadogradnja jezika C, koja je danas poznata pod imenom C++ (++je u jeziku C operator povećavanja!). Preko 95% jezika C usvojeno je bez izmena i u jeziku C++.

C++ je hibridni jezik u smislu što, pored novijeg objektno orijentisanog programiranja, podžava i starije proceduralno programiranje. Za autora jezika C++ smatra se Bjarn Stroustrup (Bjarne Stroustrup).

Jedna od najvažnijih osobina programskog jezika Java je nezavisnost od platforme. Ova osobina omogućava da se programi pisani u ovom programskom jeziku mogu kompajlirati na jednoj računarskoj platformi, a izvršavati na razlicitim računarskim platformama.

Da bi se program u bilo kojem višem programskom jeziku mogao izvršavati na određenoj računarskoj platformi, on mora biti preveden u mašinski jezik te platforme. Program koji vrši ovakvo prevođenje naziva se kompajler, a proces prevođenja kompajliranje. Nedostatak većine programskih jezika leži u činjenici da kompajler prevodi programski kod direktno u mašinski kod odgovarajuće platforme. Kako različite platforme imaju i različite mašinske jezike, nepohodno je postojanje različitih kompajlera za prevođenje programskog koda u ciljne mašinske jezike na ciljnim platformama. Java kompajler ne prevodi izvorni Java kod u mašinski kod za određenu računarsku platformu, već ga prevodi u bajt-kod. Bajt-kod nije jezik neke konkretne platforme. Bajt-kod se može predstaviti kao visokooptimizovani mašinski jezik virtuelne računarske platforme koja se naziva Java platforma. Osnova Java platforme je Java virtuelna mašina. Iz razloga velike sličnosti Java platforme sa svim tipičnim računarskim platformama, jednostavno je izvršiti prevođenje bajt-koda u mašinski jezik neke konkretne računarske platforme. Program koji to obavlja naziva se interpreter.

Java programski jezik je objektno-orjentisani jezik opšte namene. Sintaksa programskog jezika Java slična je sintaksi programskih jezika C i C++. Razvoj jezika, pod inicijalnim nazivom Oak, počeo je 1991. godine, a vodio ga je James Gosling iz kompanije Sun Microsystems. Prva verzija jezika, pod nazivom Java, objavljena je 1995. godine. Početkom 2010. godine kompanija Oracle preuzima kompaniju Sun Microsystems, a samim tim i Javu. Java interpreter, kompajler, kao i brojni razvojni alati grupisani su u JDK (Java Development

Kit) i mogu se preuzeti sa zvaničnog sajta kompanije Oracle. U okviru JRE (Java Runtime Environment) ne nalaze se kompajler i razvojni alati, već samo Java interpreter.

5.2 Prednosti i mane programskog jezika Java

Početkom 1990-tih godina pojavila se potreba za programima koji su u prevedenom obliku nezavisni od platforme, tj. mogu da se izvršavaju na bilo kom računaru bilo kog proizvođača. Radilo se prvenstveno o programima za potrebe industrijske elektronike za upravljanje kućnim aparatima.

Postojeći viši programski jezici bili su, bar teorijski, prenosivi na nivou izvornog teksta programa. Taj tekst morao je zasebno da se prevede u izvodljivi oblik za svaku vrstu računara. To bi u uslovima naraslog broja različitih platformi tražilo izradu velikog broja prevodilaca sa višeg programskog jezika na mašinski jezik računara. Trebalo je projektovati programski jezik koji omogućava da prevedeni oblik programa bude nezavisan od platforme na kojoj se izvršava.

Zbog toga je grupa programera u firmi Sun Microsystems, Inc. sa Džemsom Gazlingom (James Gosling) na čelu započela projektovanje novog programskog jezika koji je trebalo da bude lak za korišćenje, pouzdan i nezavisan od platforme na nivou prevedenog oblika.

Taj jezik se u početku zvao Oak (hrast), a ime Java dobio je 1995. godine.

Nekako baš u vreme razvijanja jezika Java počelo je intenzivno širenje Interneta i posebno njegove usluge World Wide Web za pružanje najraznovrsnijih informacija, organizovanih u takozvane "veb stranice", sa specijalnih servera do proizvoljnih klijenata širom sveta. Veb stranice su u početku bile statične: sadržavale su samo tekstove i slike (u početku nepokretne, kasnije i pokretne). Za dinamični sadržaj, koji podrazumeva i interakciju s klijentima, trebalo je u veb stranice ugraditi male programe. Ti programi, pošto bi se izvršavali na računaru klijenta, morali su biti nezavisni od platforme i bezbedni da ne naprave štetu na klijentskom računaru.

Programski jezik Java imao je upravo te osobine, pa je današnju popularnost stekao kroz takozvane aplete (applets), male programe koji se ugrađuju u veb stranice. U međuvremenu apleti kao dinamični sadržaj veb stranica prevaziđeni su, ali i nove tehnologije programiranja za Internet u velikoj meri se oslanjaju na jezik Java.

Kao programski jezik opšte namene, Java se koristi i za izradu samostalnih programa koji se nazivaju aplikacije. Programski jezik Java nema zvaničan standard. Kao de facto standard uzima se specifikacija koju je u početku publikovala firma Sun Microsystems, Inc., a u novije vreme firma Oracle, koja je kupila firmu Sun.

Jezik je još u intenzivnom razvoju i publikovan je veći broj izdanja. Prvo izdanje je bila verzija 1.0, ali je ubrzo zamenjena verzijom 1.1 koja nije donela bitne izmene. Verzija 1.2 donela je značajne izmene i od tada se jezik skraćeno zove Java2, a punim imenom Java J2SE(Java 2 Platform Standard Edition). Sledile su verzije 1.3 i 1.4 koje su donele manje izmene. Verzija 1.5 donela je ogromne promene, pa da bi se to naglasilo, ta verzija je proglašena verzijom 5 (Java J2SE 5). Aktuelna verzija je 1.8.

5.3 Uvod u objektno orijentisano programiranje

U svakom računarskom programu mogu da se uoče dve grupe elemenata: naredbe i podaci. Naredbe određuju šta se radi, a podaci čime se radi. Organizacija programa može da bude orijentisana ka jednoj od ove dve grupe elemenata. Klasičan stil programiranja okrenut je prema postupcima i naziva se proceduralno programiranje (procedural programming). Po tom modelu program se sastoji od niza uzastopnih koraka. Logičke celine koraka mogu da se ostvaruju u obliku modula koji se nazivaju potprogrami, procedure ili funkcije. Složena obrada ostvaruje se kombinovanjem takvih modula.

Mana ovakvog pristupa programiranju je veliki stepen povezanosti delova složenog sistema. To otežava održavanje i unapređivanje sistema. Da bi se unele nove mogućnosti često je potrebno preraditi vrlo veliki deo već gotovih delova programa.

Dva programska jezika koji podržavaju proceduralno programiranje i koji su u današnje vreme vrlo rašireni jesu Pascal i C programski jezik.

Savremen stil programiranja okrenut je prema podacima i naziva se objektno orijentisano programiranje (engl. OOP – object-oriented programming). Po tom modelu program se sastoji od objekata (engl. objects) koji imaju neka moguća stanja i ponašanja. Stanja predstavljaju vrednosti objekata, koje vremenom mogu da se menjaju. Ponašanja predstavljaju pravila menjanja stanja, reakcije na uticaje okoline i načine uticanja na okolinu. Celokupna obrada ostvaruje se u obliku međusobnih delovanja objekata u programu.

Svi objekti u programu grupišu se po svojim osobinama. Grupe objekata sa sličnim osobinama čine klase (engl. classes). Objekti iste klase imaju ista moguća stanja i ista ponašanja.

Objekti date klase predstavljaju pojedinačne primerke svojih klasa.

Pojam klase i objekta najlakše se shvata kroz primere iz svakodnevnog života. Pas (klasa) je životinja sa svima poznatim opštim osobinama i ponašanjem. Lesi (objekat) je jedan tačno određen pas s konkretnim osobinama (boja, težina, starost) i ponašanjem koje se uklapa u ponašanje svih pasa. Drugi primer: automobil je opšte ime (klasa) za sva prevozna sredstva te vrste, dok je automobil BG720AX jedan tačno određen automobil (objekat).

Klase su tipovi podataka prema definiciji tipova podataka u programiranju, jer određuju moguće vrednosti svojih primeraka i moguće radnje nad tim primercima. Po tome, objekti su podaci klasnih tipova. Za razliku od prostih tipova podataka, kao što su celi brojevi ili realni brojevi, klase su složeni tipovi podataka.

Stanja objekata predstavljaju se podacima unutar objekata i koji se nazivaju polja (engl. fields). Polja mogu da budu podaci prostih i složenih tipova. U proste tipove podataka spadaju celi brojevi, realni brojevi itd., a u složene tipove nizovi i klase.

Ponašanje objekata ostvaruje se postupcima unutar klasa koji se nazivaju metode (engl. methods). Metode odgovaraju funkcijama i procedurama u klasičnim programskim jezicima. Polja i metode klasa zajedničkim imenom nazivaju se članovi (engl. members) klasa.

Prednosti objektno orijentisanog programiranja ogledaju se u tome što je pri menjanju mogućnosti programskog sistema potrebno prerađivati samo mali deo već gotovog programa. Ako se prošire mogućnosti neke klase nije potrebno promeniti i deo programa koji koristi tu klasu. Naravno, pod uslovom da se ništa ne promeni u načinu korišćenja mogućnosti klase koje su postojale i pre promene. Takođe, ako se u programski sistem uvode nove klase, deo programa koji koristi samo stare klase ne treba promeniti.

Objektno orijentisano programiranje zasniva se na pet osnovnih principa: apstrakciji, ućaurivanju, nasleđivanju, polimorfizmu i ponovnom korišćenju koda.

Apstrakcija se može protumačiti kao logičko sagledavanje problema koji se obrađuje i njegovo povezivanje. Na primer, ako kažemo figura u ravni, mi ne mislimo na konkretan

objekat (krug, pravougaonik,) nego na mogućnost da ta figura bude neka od nama poznatih figura u ravni.

Učaurivanje se odnosi na sam kod, jer je klasa koncipirana tako da parametri objekta – polja, nisu vidljiva niti pristupačna van klase, pa se sam pristup i modifikacija parametrima objekta mora vršiti preko unapred određenih i parametrizovanih metoda koje takođe pripadaju klasi.

Nasleđivanje, u Javi, dozvoljava da jedna klasa poprimi sve parametre i metode koje ima druga klasa, sa mogućnošću da se doda sopstveni parametar ili metoda, čime se polazna klasa nadograđuje, tj dobija nove osobine. U javi, jedna klasa može biti nasleđena samo od strane jedne klase, tj višestruko nasleđivanje nije dozvoljeno (dete – roditelji princip).

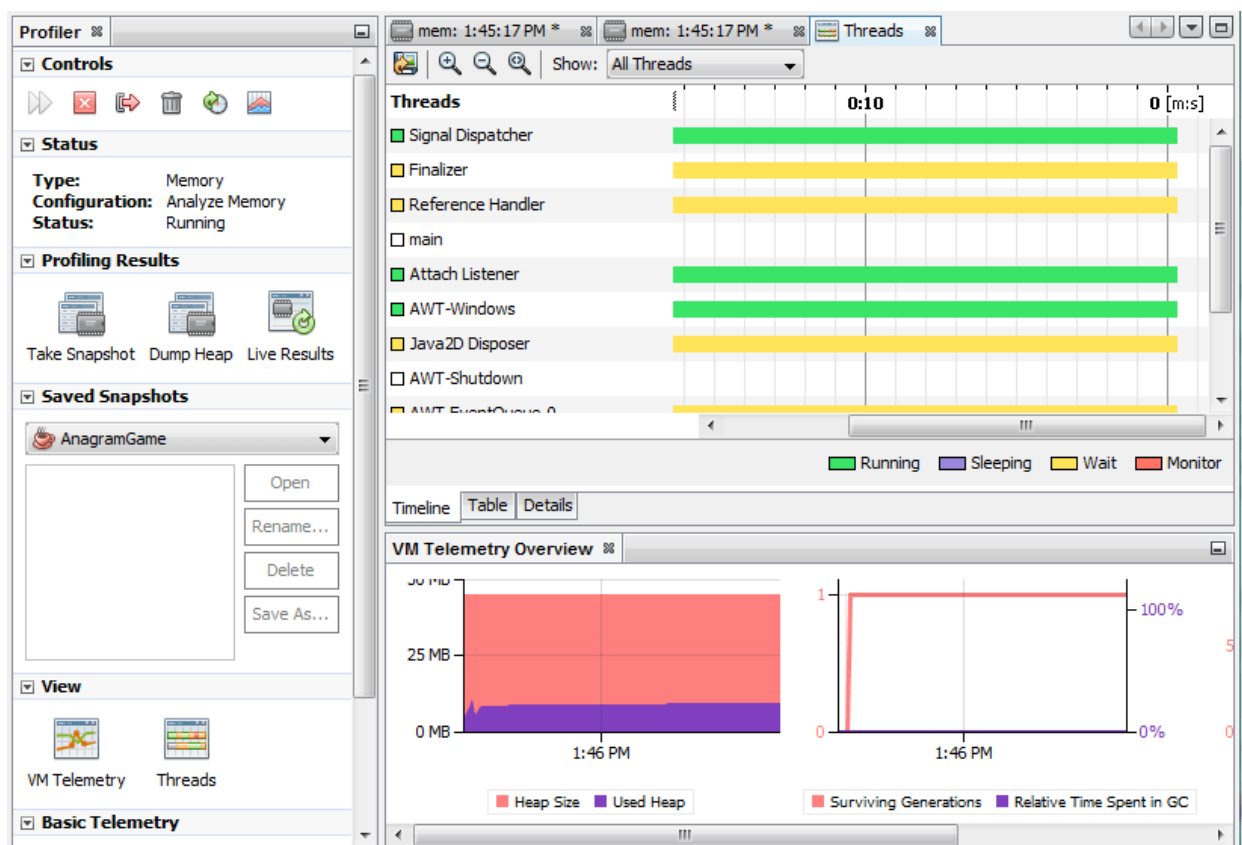
Polimorfizam je osobina Jave da se više metoda sa istim imenom, tipom i parametrima sukcesivno pozivaju iz pripadajućih klasa objekta po pripadnosti objekta koji tu metodu poziva. Time se stiče utisak da jedna metoda, ima više formi.

Ponovno korišćenje koda se odnosi na upotrebu kreiranog klasnog tipa i njihovih objekata i van projekta u kome je prvobitno nastala klasa, prostim uvozom same klase ili celog paketa.

5.4 NetBeans 8 – Razvojno okruženje nove generacije

NetBeans predstavlja open source IDE (engl. *Integrated Development Environment*) okruženje koje omogućuje razvoj svih tipova Java aplikacija i predstavlja dobar izbor kako za početnike u programiranju, tako i za iskusne Java programere. Pored razvoja Java desktop, web i mobilnih aplikacija, ovo multiplatformsko IDE okruženje pri razvoju aplikacija omogućuje korišćenje i drugih programskih jezika kao što su PHP, C, C++ i HTML5. NetBeans IDE okruženje je modularne arhitekture i u potpunosti je napisano u Java programskom jeziku. Inicijalna verzija 3.5 ovog IDE okruženja aktuelna je od 2003. godine, a od sredine marta 2014. aktuelna je verzija 8.

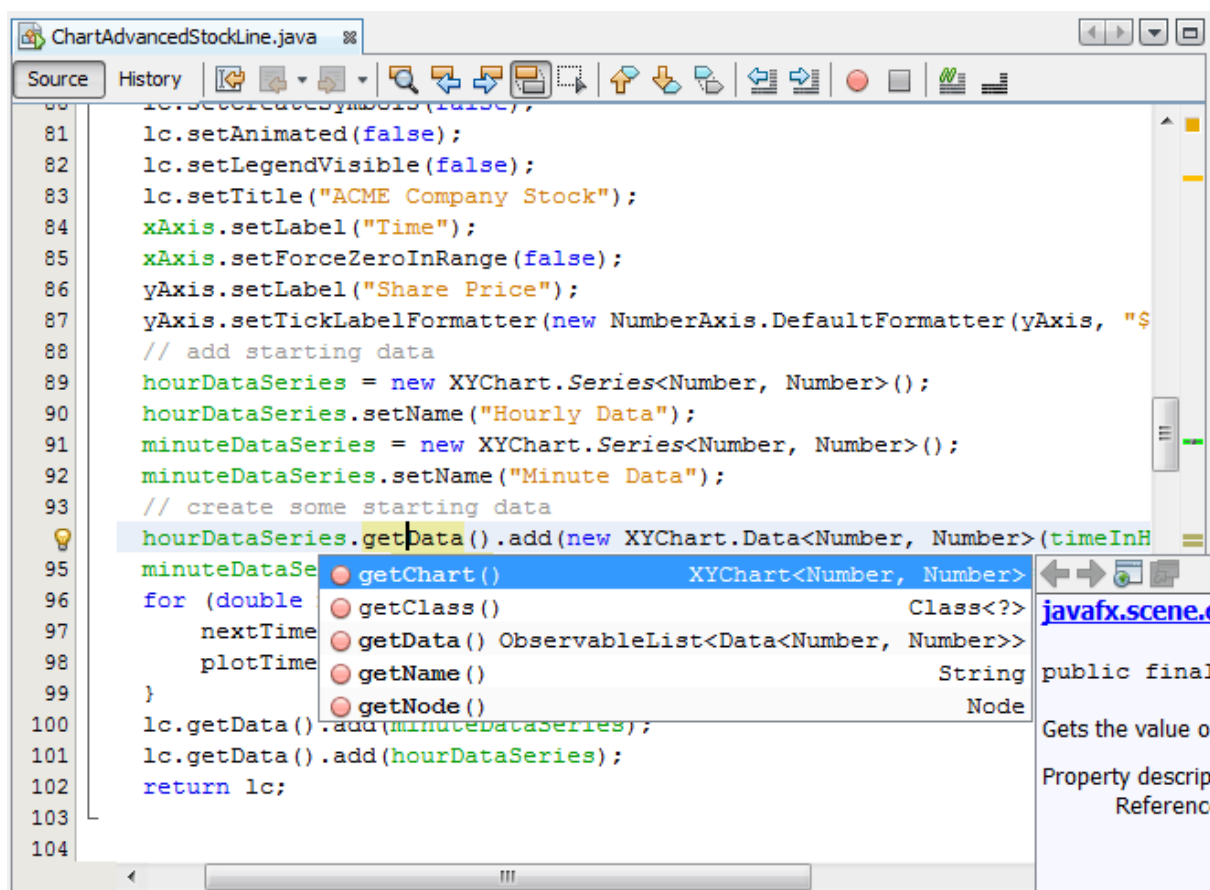
Sistemska zahtevnost NetBeans-a neposredno zavisi od operativnog sistema na koji se ovo IDE okruženje instalira, ali možemo reći da minimalni sistemski zahtevi podrazumevaju računar sa procesorom na 800 MHz, 512 MB RAM memorije i ne više od 750 MB slobodnog prostora na disku. Preporučena sistemska konfiguracija bi, za razliku od minimalne, podrazumevala Intel Core I5 procesor (ili ekvivalent), 2 GB RAM memorije, ukoliko je reč o 32-bitnom operativnom sistemu, odnosno 4 GB RAM memorije ukoliko je reč o 64-bitnom operativnom sistemu.



Slika18. Izgled ekrana u NetBeans razvojnom okruženju - Niti

Na stranici za preuzimanje Netbeans IDE okruženja možete napraviti izbor između različitih, predefinisanih NetBeans instalera: Java SE, Java EE, HTML 5 i PHP, C/C++, a moguće je preuzeti i instaler sa kompletnom instalacijom. Dakle odabir odgovarajućeg instalacionog paketa neposredno zavisi od tipa aplikacija koje će biti razvijane korišćenem ovog IDE okruženja. U skladu sa time, sve systemske zavisnosti koje moraju biti zadovoljene pre procesa instalacije, direktno zavise od odabranog instalacionog paketa.

NetBeans 8 je projektovan da podrži i implementira sve novitete i funkcionalnosti koje dolaze sa Javom verzije 8, a mi ćemo ovde nabrojati samo najbitnije. U NetBeans 8 je ugrađena podrška za direktan rad sa embedded uređajima (npr. Raspberry Pi računari) tako što su podržani: udaljeni razvoj, udaljeni proces debugovanja i *one-click* način instalacije. Takođe ugrađena je podrška za Java ME Embedded 8 tehnologiju, koja omogućuje rad sa embedded sistemima slabijih hardverskih performansi, a u sam IDE je ubačena podrška za Java ME 8 CLDC Platformski emulator.



Slika19. Kodiranje u NetBeans razvojnom okruženju

NetBeans 8 takođe poseduje ugrađenu podršku za lambda izraze, referenciranja metoda (*method reference*), strimove i profile, a unapređeni su i PrimeFaces generatori tako da automatski generišu sav neophodan kod za konekciju i sve potrebne CRUD operacije nad odgovarajućom bazom podataka, gde CRUD predstavlja akronim od *create*, *read*, *update* i *delete*. NetBeans je poznat po neposrednoj podršci za Maven, pa je sada i ovaj segment dobio brojna unapređenja, kao i u ostalom, svi ugrađeni alati za rad sa JavaScript i HTML5 tehnologijama. Pored toga, PHP i C/C++ editori pretrpeli su brojna poboljšanja, kao i alati za rad sa git, mercurial i subversion source kontrolama.

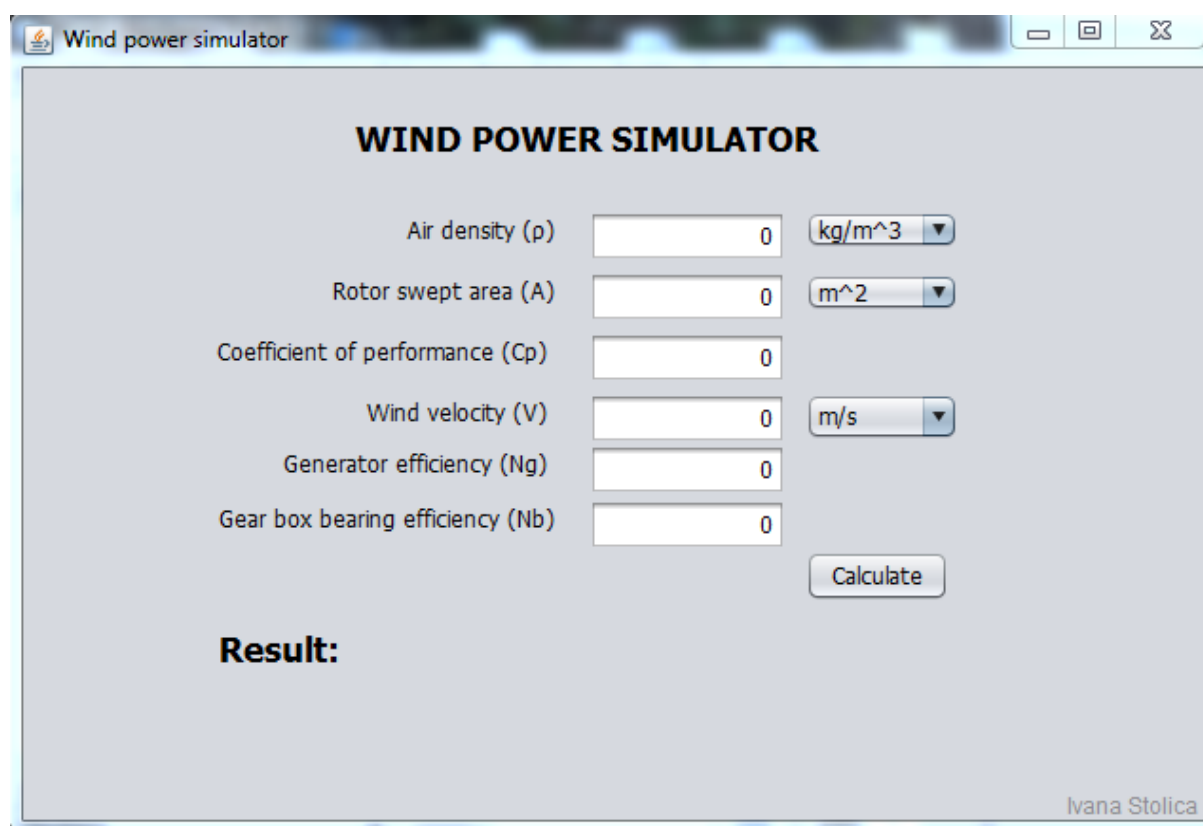
NetBeans IDE je nesumnjivo jedan od najmoćnijih i najpopularnijih razvojnih okruženja za razvoj Java desktop, mobilnih i web aplikacija. Aktuelna verzija 8 integriše sve novine koje donosi Java 8 i pomože nam da ih usvojimo i primenimo na brz, lak i efikasan način. Uz sve već navedeno, pomenimo i da se NetBeans može pohvaliti ogromnom zajednicom i odličnom dokumentacijom.

5.5 Realizacija simulatora snage vetrogeneratora

Simulator snage vetrogeneratora je aplikacija pisana u JAVA programskom jeziku, služi za proračunavanje jačine snage vetra na osnovu ulaznih parametara. Aplikacija na osnovu ulaznih podataka vrši parametrizaciju i proračun, i rezultat vraća korisniku. Zamišljena je kao windows aplikacija, u grafičkom prozoru, i grafičkom modu.

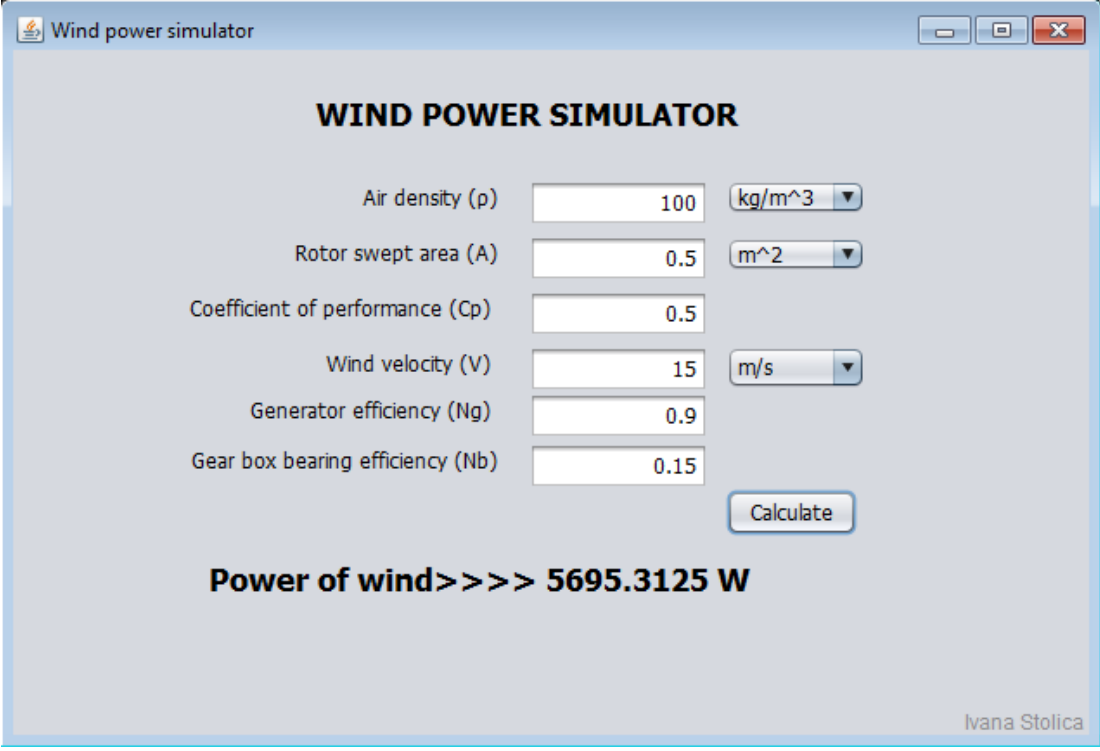
Parametri koji učestvuju u izračunavanju energije su:

1. Air density – gustina vazduha
2. Rotor swept area – površina prodora rotora
3. Coefficient of performance – koeficijent performanse vetrogeneratora
4. Wind velocity – brzina vetra
5. Generator efficiency – iskorišćenost generatora
6. Gear box bearing efficiency – efikasnost ležajeva



Slika20. Wind Power simulator: izgled početnog ekrana

Na narednih nekoliko slika prikazane su izlane vrednosti simulatora snage vetrogenratora za zadane različite ulazne vrednosti.



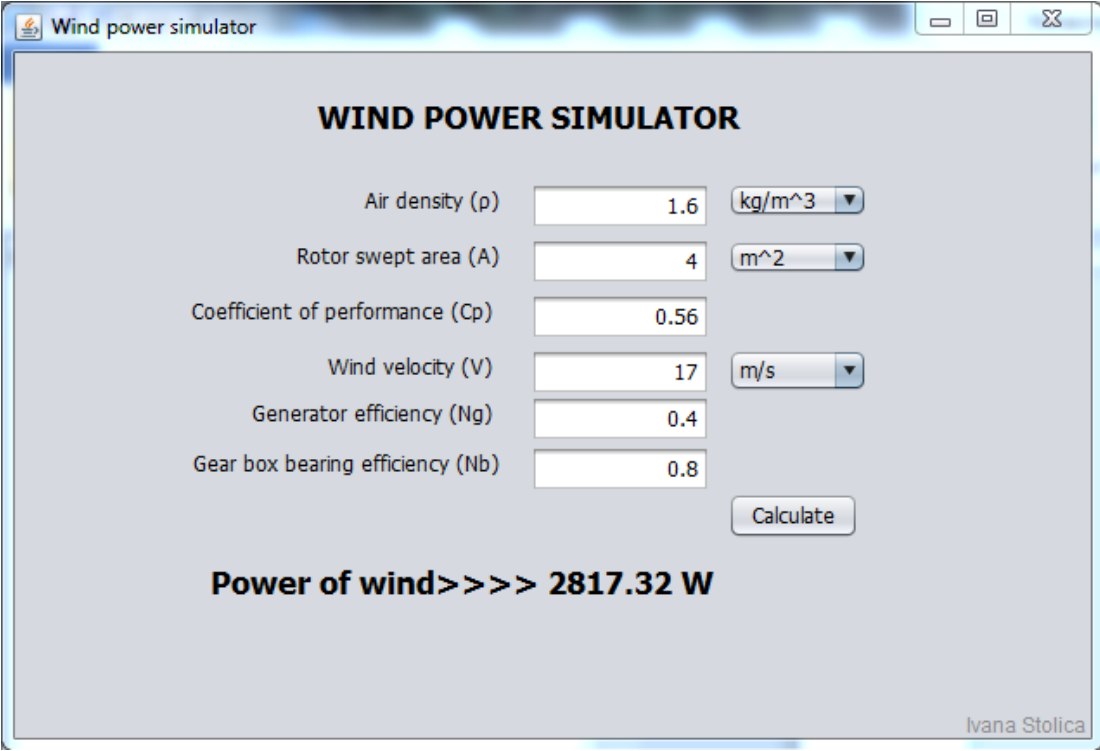
The screenshot shows a window titled "Wind power simulator" with a light blue border. Inside, the title "WIND POWER SIMULATOR" is centered at the top. Below it, there are six input fields with labels and units, each followed by a dropdown menu for units. The inputs are: Air density (ρ) with value 100 and unit kg/m^3 ; Rotor swept area (A) with value 0.5 and unit m^2 ; Coefficient of performance (C_p) with value 0.5; Wind velocity (V) with value 15 and unit m/s ; Generator efficiency (N_g) with value 0.9; and Gear box bearing efficiency (N_b) with value 0.15. A "Calculate" button is located to the right of the input fields. Below the inputs, the result is displayed as "Power of wind>>> 5695.3125 W". The name "Ivana Stolica" is in the bottom right corner.

Parameter	Value	Unit
Air density (ρ)	100	kg/m^3
Rotor swept area (A)	0.5	m^2
Coefficient of performance (C_p)	0.5	
Wind velocity (V)	15	m/s
Generator efficiency (N_g)	0.9	
Gear box bearing efficiency (N_b)	0.15	

Power of wind>>> 5695.3125 W

Ivana Stolica

Slika21. Wind Power simulator: primer izračunavanja



The screenshot shows the same "Wind power simulator" window. The input values are: Air density (ρ) 1.6 kg/m^3 ; Rotor swept area (A) 4 m^2 ; Coefficient of performance (C_p) 0.56; Wind velocity (V) 17 m/s ; Generator efficiency (N_g) 0.4; and Gear box bearing efficiency (N_b) 0.8. The "Calculate" button is present. The result is displayed as "Power of wind>>> 2817.32 W". The name "Ivana Stolica" is in the bottom right corner.

Parameter	Value	Unit
Air density (ρ)	1.6	kg/m^3
Rotor swept area (A)	4	m^2
Coefficient of performance (C_p)	0.56	
Wind velocity (V)	17	m/s
Generator efficiency (N_g)	0.4	
Gear box bearing efficiency (N_b)	0.8	

Power of wind>>> 2817.32 W

Ivana Stolica

Slika22. Wind Power simulator: primer izračunavanja

WIND POWER SIMULATOR

Air density (ρ) kg/m³

Rotor swept area (A) m²

Coefficient of performance (C_p)

Wind velocity (V) m/s

Generator efficiency (N_g)

Gear box bearing efficiency (N_b)

Power of wind>>> 995.33 W

Ivana Stolica

Slika23. Wind Power simulator: primer izračunavanja

6. Zaključak

Na osnovu činjenica i podataka navedenih u ovom radu, dolazi se do zaključka da je primena senzora i senzorskih mreža u vetroturbina raste iz dana u dan. Veliki broj senzora koristi se za merenje različitih veličina neophodnih za optimalan rad vetroturbina. Kako se u poslednje vreme izvori energije smanjuju i zagađenost zivotne sredine povećava, javlja se sve veća potreba za iskorišćenjem obnovljivih izvora energije. Na osnovu istraživanja i procena vetroturbine tek treba da dožive svoj procvat i intezivan razvoj u bliskoj budućnosti. Kako se bude širio razvoj vetroturbina, širiće se i razvoj senzorskih mreža namenjenih za praćanje i njihov optimalan rad.

7. Kod aplikacije

Kod aplikacije je dat u nastavku:

```
package WindPower;

import java.awt.Color;

import java.math.BigDecimal;

import java.math.RoundingMode;

import javax.swing.JFrame;

import javax.swing.JPanel;

import javax.swing.Popup;

/**

 * @author Ivana Stolica

 */

public class WindPower extends javax.swing.JFrame {

    /**

     * Creates new form WindPower

     */

    public WindPower() {

        initComponents();

    }

}
```

```
* This method is called from within the constructor to initialize the form.  
  
* WARNING: Do NOT modify this code. The content of this method is always  
  
* regenerated by the Form Editor.  
  
*/
```

```
@SuppressWarnings("unchecked")
```

```
// <editor-fold defaultstate="collapsed" desc="Generated Code">
```

```
private void initComponents() {  
  
    jLabel1 = new javax.swing.JLabel();  
  
    jLabel2 = new javax.swing.JLabel();  
  
    jLabel3 = new javax.swing.JLabel();  
  
    jLabel4 = new javax.swing.JLabel();  
  
    jLabel5 = new javax.swing.JLabel();  
  
    jLabel6 = new javax.swing.JLabel();  
  
    jTextField1 = new javax.swing.JTextField();  
  
    jTextField2 = new javax.swing.JTextField();  
  
    jTextField3 = new javax.swing.JTextField();  
  
    jTextField4 = new javax.swing.JTextField();  
  
    jTextField5 = new javax.swing.JTextField();  
  
    jTextField6 = new javax.swing.JTextField();  
  
    jComboBox1 = new javax.swing.JComboBox();  
  
    jComboBox2 = new javax.swing.JComboBox();  
  
    jComboBox3 = new javax.swing.JComboBox();  
  
}
```

```
jButton1 = new javax.swing.JButton();

jLabel7 = new javax.swing.JLabel();

jLabel8 = new javax.swing.JLabel();

jLabel9 = new javax.swing.JLabel();


setDefaultCloseOperation(javax.swing.WindowConstants.EXIT_ON_CLOSE);

setTitle("Wind power simulator");

setCursor(new java.awt.Cursor(java.awt.Cursor.HAND_CURSOR));

getContentPane().setLayout(new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteLayout());


jLabel1.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));

jLabel1.setText("Air density ( $\rho$ )");

getContentPane().add(jLabel1, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(202, 78, -1, -1));

jLabel2.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));

jLabel2.setText("Rotor swept area (A)");

getContentPane().add(jLabel2, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(163, 110, -1, -1));


jLabel3.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));

jLabel3.setText("Coefficient of performance ( $C_p$ ) ");

getContentPane().add(jLabel3, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(102, 142, -1, -1));


jLabel4.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));
```

```
jLabel4.setText("Wind velocity (V) ");

getContentPane().add(jLabel4, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(181, 174, -1, -1));


jLabel5.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));

jLabel5.setText("Generator efficiency (Ng) ");

getContentPane().add(jLabel5, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(137, 201, -1, -1));


jLabel6.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));

jLabel6.setText("Gear box bearing efficiency (Nb)");

getContentPane().add(jLabel6, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(103, 230, -1,
-1));


jTextField1.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12)); // NOI18N
jTextField1.setHorizontalAlignment(javax.swing.JTextField.RIGHT);
jTextField1.setText("0");
jTextField1.addFocusListener(new java.awt.event.FocusAdapter() {
    public void focusGained(java.awt.event.FocusEvent evt) {
        jTextField1FocusGained(evt);
    }
});

getContentPane().add(jTextField1, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(298,
75, 104, -1));
```



```
jTextField2.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));

jTextField2.setHorizontalAlignment(javax.swing.JTextField.RIGHT);

jTextField2.setText("0");

getContentPane().add(jTextField2, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(298,
107, 104, -1));

jTextField3.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));

jTextField3.setHorizontalAlignment(javax.swing.JTextField.RIGHT);

jTextField3.setText("0");

jTextField3.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {

    public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {

        jTextField3ActionPerformed(evt);

    }

});

getContentPane().add(jTextField3, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(298,
139, 104, -1));

jTextField4.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));

jTextField4.setHorizontalAlignment(javax.swing.JTextField.RIGHT);

jTextField4.setText("0");

getContentPane().add(jTextField4, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(298,
171, 104, -1));
```

```
jTextField5.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));  
  
jTextField5.setHorizontalAlignment(javax.swing.JTextField.RIGHT);  
  
jTextField5.setText("0");  
  
getContentPane().add(jTextField5, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(298,  
198, 104, -1));
```

```
jTextField6.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));  
  
jTextField6.setHorizontalAlignment(javax.swing.JTextField.RIGHT);  
  
jTextField6.setText("0");  
  
getContentPane().add(jTextField6, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(298,  
227, 104, -1));
```

```
jComboBox1.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));  
  
jComboBox1.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel(new String[] {  
"kg/m^3", "g/cm^3", "g/m^3", "mg/l" }));  
  
jComboBox1.addFocusListener(new java.awt.event.FocusAdapter() {  
  
    public void focusGained(java.awt.event.FocusEvent evt) {  
  
        jComboBox1FocusGained(evt);  
  
    }  
  
    public void focusLost(java.awt.event.FocusEvent evt) {  
  
        jComboBox1FocusLost(evt);  
  
    }  
  
}
```

```
        }

    });

    getContentPane().add(jComboBox1,new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(412, 75,
    81, 20));

    jComboBox2.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));

    jComboBox2.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel(new String[] { "m^2", "h",
    "ar", "dm^2", "cm^2", "mm^2" }));

    getContentPane().add(jComboBox2,new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(412,
    108, 81, 20));

    jComboBox3.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));

    jComboBox3.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel(new String[] { "m/s",
    "km/s", "km/h" }));

    getContentPane().add(jComboBox3,new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(412,
    171, 81, -1));

    jButton1.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));

    jButton1.setText("Calculate");

    jButton1.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {

        public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {

            jButton1ActionPerformed(evt);

        }

    });

    getContentPane().add(jButton1, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(412, 254, -
    1, -1));
```

```
jLabel7.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 1, 18));

jLabel7.setText("Result:");

getContentPane().add(jLabel7, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(103, 295, -1,
-1));


jLabel8.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 1, 18));

jLabel8.setHorizontalAlignment(javax.swing.SwingConstants.CENTER);

jLabel8.setText("WIND POWER SIMULATOR");

getContentPane().add(jLabel8, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(150, 26,
294, -1));


jLabel9.setText("Ivana Stolica");

jLabel9.setEnabled(false);

getContentPane().add(jLabel9, new org.netbeans.lib.awtextra.AbsoluteConstraints(550, 380, -
1, -1));

pack();

} // </editor-fold>

private void jButton1ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {

    double ro=Double.parseDouble(jTextField1.getText()); //pretvara string u double

    double A=Double.parseDouble(jTextField2.getText());

    double Cp=Double.parseDouble(jTextField3.getText());
```

```
double V=Double.parseDouble(jTextField4.getText());

double Ng=Double.parseDouble(jTextField5.getText());

double Nb=Double.parseDouble(jTextField6.getText());


if(jComboBox1.getSelectedItem().equals("g/cm^3")) {

    //jLabel7.setText(jLabel7.getText()+" konverzija iz g/cm^3 u kg/m^3 za ro;");

    ro=ro*1000;

}

if(jComboBox1.getSelectedItem().equals("g/m^3")) {

    //jLabel7.setText(jLabel7.getText()+" konverzija iz g/m^3 u kg/m^3 za ro;");

    ro=ro/1000;

}

if(jComboBox1.getSelectedItem().equals("mg/l")) {

    //jLabel7.setText(jLabel7.getText()+" konverzija iz mg/l u kg/m^3 za ro;");

    ro=ro/1000;

}

if(jComboBox2.getSelectedItem().equals("ar")) {

    //jLabel7.setText(jLabel7.getText()+" konverzija iz ar u m^2 za A;");

    A=A*100;

}

if(jComboBox2.getSelectedItem().equals("h")) {
```

```
//jLabel7.setText(jLabel7.getText()+" konverzija iz h u m^2 za A;");

A=A*10000;

}

if(jComboBox2.getSelectedItem().equals("dm^2")) {

    //jLabel7.setText(jLabel7.getText()+" konverzija iz dm^2 u m^2 za A;");

    A=A/100;

}

if(jComboBox2.getSelectedItem().equals("cm^2")) {

    //jLabel7.setText(jLabel7.getText()+" konverzija iz dm^2 u m^2 za A;");

    A=A/10000;

}

if(jComboBox2.getSelectedItem().equals("mm^2")) {

    //jLabel7.setText(jLabel7.getText()+" konverzija iz dm^2 u m^2 za A;");

    A=A/1000000;

}

if(jComboBox2.getSelectedItem().equals("km/s")) {

    //jLabel7.setText(jLabel7.getText().substring(7)+" konverzija iz km/s u m/s za V;");

    V=V*1000;

}

if(jComboBox2.getSelectedItem().equals("km/h")) {

    //jLabel7.setText(jLabel7.getText().substring(7)+" konverzija iz km/h u m^2 za V;");
```

```

        V=V*1000/3600;

    }

    Double P=0.5*ro*A*Cp*V*V*V*Ng*Nb;

    BigDecimal BgD=new BigDecimal(P+"");

    BgD=BgD.setScale(2, RoundingMode.UP);

    jLabel7.setText(" Power of wind>>>> "+ BgD+" W");

    // TODO add your handling code here:

}

/**
 * @param args the command line arguments
 *
 */

public static void main(String args[]) {

    /* Set the Nimbus look and feel */

    //<editor-fold defaultstate="collapsed" desc=" Look and feel setting code (optional) ">

    /* If Nimbus (introduced in Java SE 6) is not available, stay with the default look and feel.
     * For details see http://download.oracle.com/javase/tutorial/uiswing/lookandfeel/plaf.html
     */

    try {

for(javax.swing.UIManager.LookAndFeelInfo info:javax.swing.UIManager.getInstalledLookAnd
Feels()) {

```

```
        if ("Nimbus".equals(info.getName())) {

            javax.swing.UIManager.setLookAndFeel(info.getClassName());

            break;

        }

    }

    } catch (ClassNotFoundException ex) {

java.util.logging.Logger.getLogger(WindPower.class.getName()).log(java.util.logging.Level.SEVERE, null, ex);

        } catch (InstantiationException ex) {

java.util.logging.Logger.getLogger(WindPower.class.getName()).log(java.util.logging.Level.SEVERE, null, ex);

        } catch (IllegalAccessException ex) {

java.util.logging.Logger.getLogger(WindPower.class.getName()).log(java.util.logging.Level.SEVERE, null, ex);

        } catch (javax.swing.UnsupportedLookAndFeelException ex) {

java.util.logging.Logger.getLogger(WindPower.class.getName()).log(java.util.logging.Level.SEVERE, null, ex);

        }

    }

    //</editor-fold>

    /* Create and display the form */
```



```
java.awt.EventQueue.invokeLater(new Runnable() {  
  
    public void run() {  
  
        new WindPower().setVisible(true);  
  
    }  
  
});  
  
}  
  
// Variables declaration - do not modify  
  
private javax.swing.JButton jButton1;  
  
private javax.swing.JComboBox jComboBox1;  
  
private javax.swing.JComboBox jComboBox2;  
  
private javax.swing.JComboBox jComboBox3;  
  
private javax.swing.JLabel jLabel1;  
  
private javax.swing.JLabel jLabel2;  
  
private javax.swing.JLabel jLabel3;  
  
private javax.swing.JLabel jLabel4;  
  
private javax.swing.JLabel jLabel5;  
  
private javax.swing.JLabel jLabel6;  
  
private javax.swing.JLabel jLabel7;  
  
private javax.swing.JLabel jLabel8;  
  
private javax.swing.JLabel jLabel9;  
  
private javax.swing.JTextField jTextField1;
```

```
private javax.swing.JTextField jTextField2;  
  
private javax.swing.JTextField jTextField3;  
  
private javax.swing.JTextField jTextField4;  
  
private javax.swing.JTextField jTextField5;  
  
private javax.swing.JTextField jTextField6;  
  
// End of variables declaration  
  
}
```

8.Literatura

1. Kosanović Mirko, Stojčev Mile, Pouzdan transportni protokol sa višeadresnim senzorskim čvorovima, INFOTEH-JAHORINA Vol. 9, Ref. B-II-12, p. 227-231, March 2010., Preuzeto: 21.09.2012.
2. Fernando Lossila, Barbara Alvares., Wireless sensor network Application development: An Architecture Centric MDE Approach <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/607/1/wsn.pdf>., Preuzeto: 09.10.2012. 23:04
3. Jovanović Milica, Višekanalni MAC protokoli za bežične senzorske mreže, Univerzitet u Nišu, 2011., <http://es.elfak.ni.ac.rs/Papers/Magistarski%20milica%20ppt.pdf> Preuzeto: 20.10.2012. 8:31
4. Jerry Yoakum, Wireless Sensor Networks, Missouri State University courses.missouristate.edu/.../Wireless%20Sens... Preuzeto: 21.10.2012.
5. Novčić Žarko, Erić Miljko, Analiza performansi bežičnih ad hoc mreža, Vojnotehnički institut Beograd 2005., <http://www.telfor.rs/telfor2005/radovi/RK-3.17.pdf>. Preuzeto: 10.09. 2012.
6. Engist Adam, Bežično umrežavanje, Čačak 2004.
7. Živanov Žarkov, "Prilagođavanje aplikacija uslovima bežičnih senzorskih mreža sa baterijskim napajanjima i njihova simulacija, doktorska disertacija", Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad 2012., <http://www.uns.ac.rs/sr/doktorske/zarkoZivanov/disertacija.pdf>. Preuzeto: 18.10.2012.
8. Rovčanin Miloš, SMAC protokol u bežičnim senzorskim mrežama, Telekomunikacioni forum TELFOR 2008, Beograd novembar 2008, http://2008.telfor.rs/files/radovi/10_02.pdf., Preuzeto: 18.10.2012.

9. Radosavljević Jasmina, "Solarna energetika i održivi razvoj", BG. Gradjevinska knjiga 2011
10. Jovanović Milica, Višekanalni MAC protokoli za bežične senzorske mreže, magistraska teza, Niš 2011, <http://es.elfak.ni.ac.rs/Papers/Magistarski%20Milica.pdf>. Preuzeto: 19.10.2012.
11. Violeta Felea, Kamal Beydoun, Energy-Efficient Infrastructure, Author manuscript, published in "DCSN'08, Int. Workshop on Distributed Collaborative Sensor Networks, United States (2008)", http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/56/34/24/PDF/bfg08_ip.pdf., Preuzeto: 21.09.2012. 19:14
12. 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_senzo. Preuzeto: 10.10.2012. 21:43
13. 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, Preuzeto: 19.10.2012., <http://www.ipublishing.co.in/jarvol1no12010/EIJAER2005.pdf>
14. Inwhae Joe, A Path Selection Algorithm with Energy Efficiency for Wireless Sensor Networks, College of Information and Communications, Hanyang University, 2007., p.217
15. Jaehyun Kim, Jaiyong Lee, Seoggyu Kim, 'An Enhanced Cross-Layer Protocol for Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks, 2009 Third International Conference on Sensor Technologies and Applications, p.657
16. Sebastian Zöllner, Andreas Reinhardt, Stefan Schulte, Ralf Steinmetz, Score-sheet-based Event Relevance Determination for Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks, Technische Universität Darmstadt, 2011, p.207

17. Valentin Penca, Siniša Nikolić, Đorđe Obradović, Bežična senzorska mreža za merenje temperature bazirana na otvorenim izvorima., Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu., <http://www.e-drustvo.org/proceedings/YuInfo2010/html/pdf/166.pdf>,
Preuzeto:23.10.2012.
18. Poljoprivredna tehnika, Poljoprivredni fakultet u Beogradu, decembar 2008., <http://www.agrif.bg.ac.rs/files/publications/33/POLJOPRIVREDNA%20TEHNIKA%2001-2008.pdf>. Preuzeto: 09.10.2012
19. www.abb.com
20. <http://www.technologystudent.com/energy1/wind8.html>
21. <http://www.about-alternative-energy.com/wind-turbines.html>
22. <ftp://ftp.ecn.purdue.edu/spujol/Papers/Lynch.pdf>
23. <http://www.vertoda.com/index.php/blog-menu/39-blogs-category/125-wireless-sensor-networks-a-wind-farms>
24. <http://www.eureka.gme.usherb.ca/memslab/docs/PowerReview-2.pdf>
25. http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4636697&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fexpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D4636697
26. Qualitative diagnostic model for sensor network assessment, applied to wind turbines - Wibert Huberts, Department of BioMechanical Engineering, Delft University of Technology
27. Sensor Network for Measurement of WindTurbine Blades Vibration, SHIMADA Laboratory, Tokyo Institute of Technology
28. Dejan Živković, *Osnove JAVA programiranja*, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2009.godine
29. Dejan Živković, *Osnove JAVA programiranja, zbirka pitanja i zadataka*, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2009.godine

30. Laslo Kraus, *Programski jezik JAVA sa rešenim zadacima*, Akademska Misao, Beograd, 2013.godine