

Langaton tiedonsiirtojärjestelmä teollisuusympäristöön

Antti Koivurova

Opinnäytetyö

Toukokuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Koivurova, Antti	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 11.05.2016
	Sivumäärä 41	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Langaton tiedonsiirtojärjestelmä teollisuusympäristöön		
Tutkinto-ohjelma Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Häkkinen Veli-Matti		
Toimeksiantaja(t) ProTest engineering Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella langaton tiedonsiirtojärjestelmä teollisuusympäristöön ja toteuttaa siihen kuuluvat laitteet. Laitteiden tarkoitus on korvata osa kaapeloinnista paperikoneen nippivoimamittauksia tehtäessä. Kaapelointi hidastaa työskentelyä ja sen vieminen paperikoneen läpi on riskialtista. Laitteisto lisää työturvallisuutta ja poistaa riskin mittauskaapelin joutumisesta paperikoneen väliin.</p> <p>Tiedonsiirto päätettiin toteuttaa ZigBee-protokollan mukaisilla XBee-moduuleilla. Moduulit toimivat 868 MHz taajuudella. Päätelaitteeseen suunniteltiin myös hakkurijännitelähde, jolla voidaan syöttää käyttöjännite paperikonetta mittaavalle anturille. Laitteesta tehtiin akkukäyttöinen ja akut sijoitettiin erilliseen akkupakettiin. Laite suunniteltiin KiCad ohjelmistolla ja ohjelmoitiin CodeVisionAVR ohjelmointiympäristössä. Laitteen piirilevy teetettiin, mutta se kokoonpantiin itse. Laitteessa käytetään ATxmega 128 prosessoria ja kaikki komponentit mahdollisuuksien mukaan valittiin pintaliitosmallisiksi.</p> <p>ZigBee-verkon kantamaa testattiin valmistuneella laitteistolla ja todettiin sen kantavan kaupunkiolosuhteissa noin 600 metriä. Tavoitekantamaksi oli asetettu 200 metriä, joka ylitettiin reilusti. Laitteistosta tuli kompakti ja toimiva kokonaisuus ja se toimii suunnitellussa tehtävässään. Laitteistoa aiotaan soveltaa myös muihin paperikoneen mittauksiin.</p>		
Avainsanat elektroniikka, langaton tekniikka, tiedonsiirto, paperikoneet, mittauslaitteet, ZigBee		
Muut tiedot		

Author(s) Koivurova,Antti	Type of publication Bachelor's thesis	Date 11.05.2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 41	Permission for web publication: x
Title of publication Wireless communication system to industrial environments		
Degree programme Electrical and automation engineering		
Supervisor(s) Häkkinen Veli-Matti		
Assigned by ProTest engineering Ltd.		
Abstract <p>The objective of this thesis was to design a wireless communication system for industrial environments, and to manufacture related devices to it. The system replaces some of the cabling in measuring paper nip-force. The cabling takes time, and transporting cables through paper machines is risky. Therefore, the system increases safety at work, and eliminates the risk of measurement cables falling into paper machine lines. The data communication was made with XBee modules that follow ZigBee protocol. The modules operate in the frequency of 868 MHz.</p> <p>The device was battery powered, and the batteries were placed in a separate case. The device was designed with Kicad design software, and the processor was programmed with CodeVisionAVR. The circuit board was manufactured; however, the components were assembled by hand. The device used ATxmega 128 processors, and all the selected components were surface mount type.</p> <p>When the tests were carried out, the range of ZigBee network was 600 meters in a city environment. The target range was 200 meters, which was exceeded by far. The device turned out to be compact and functional, and working as planned. The intention is to use the device also to other measurements of paper machines other than nip-force.</p>		
Keywords/tags (subjects) data transmission, electronics, measuring devices, paper machines, wireless technology		
Miscellaneous		

Sisältö

Sanasto ja lyhenteet.....	4
1 Johdanto.....	5
1.1 Tavoitteet	5
1.2 Toimeksiantaja	5
2 Nippivoiman mittaaminen	6
2.1 Paperin valmistus	6
2.2 Mittauksen syyt	6
2.3 Mittauksen toteutus.....	7
2.4 Wika D-10 painelähetin	9
3 Zigbee verkko ja sen toiminta	10
3.1 Zigbee lyhyesti.....	11
3.2 Zigbeeen käyttökohteet ja tulevaisuus	12
3.3 Zigbeeen taajuusalueet	12
3.4 AT-Komennot	13
4 Laitteen suunnittelu	14
4.1 Suunnittelun lähtökohdat	14
Sarjaliikenneväylä.....	16
4.2 Laitteen toimintaperiaate	16
4.3 Laitteen komponentit ja kytkentä	17
Proessori	17
XBee-moduuli	18
Hakkurijännitelähde	19
Väylämuunnin.....	21
Akusto, lataus ja varauksen mittaus.....	22
4.4 Laitteen piirtäminen ja kokoonpano	24
Kytkenäkaavion laatiminen	24

	2
Layout suunnittelu.....	25
Kokoonpano.....	26
5 Ohjelmointi.....	27
5.1 Ohjelmointiympäristö	27
5.2 Ohjelman rakenne	28
5.3 Laitteen testausohjelma PC:lle.....	29
6 Tulokset	32
6.1 Tavoitteet ja saavutukset	32
6.2 XBee-moduuli ja ZigBee verkko.....	33
XBee-moduuli ja tiedonsiirto.....	33
ZigBee-verkon kantama.....	34
6.3 Hakkurijännitelähde	35
6.4 Kotelointi	36
6.5 Ohjelmointi.....	36
7 Pohdinta	37
Lähteet.....	38
Liitteet	39

Kuviot

Kuvio 1. Esimerkki höyryn säästämistä vuodessa mittauksien ansiosta.	7
Kuvio 2. Nippitelan viivakuorman mittaustulokset puristusaineiden funktiona.	8
Kuvio 3. Voima-anturi nippitelosten laakeripesien välissä.	9
Kuvio 4. Wika D-10 painelähetin	10
Kuvio 5. Zigbee-verkkojen rakenteet.	11
Kuvio 6. Prosessorin kytkentäkaavio.....	18
Kuvio 7. Yksinkertaistettu step-up hakkurijännitelähde.....	20
Kuvio 8. Hakkurijännitelähteen kytkentäkaavio	20
Kuvio 9. Väylämuuntimen kytkentäkaavio.....	22
Kuvio 10. Jännitteenjako kytkentä.	24
Kuvio 11. Yläpuolelta kuvattu kaksipuoleinen piirilevy.....	25
Kuvio 12. Piirilevyn ja komponenttien 3D-malli yläpuolelta.....	26
Kuvio 13. Kokoonpantu piirilevy kotelossaan.	27
Kuvio 14. AVR ohjelmointilaite.....	28
Kuvio 15. Testausohjelman pääikkuna.....	30
Kuvio 16. Paineen ja verkonvoimakkuuden grafiikkaikkunat.	31
Kuvio 17. Valmis laitepari.	33

Sanasto ja lyhenteet

bar = paineen yksikkö

DTR = data terminal ready

FET = puolijohdekanavatransistori

GHz = gigahertsi

GND = maapotentiaali

IoT = internet of things

ISM = Industrial, Scientific and Medical

Kb/s = kilobittiä sekunnissa

m = metri

mA = milliampeeri

MHz = megahertsi

MOSFET = metallioksidipuolijohdekanavatransistori

PDI = program and debug interface

RS-232 = sarjaliikenneväylä

RTS = request to send

RXD = receive data

TXD = transmit data

UART = universal asynchronous receiver transmitter

UHF = Ultra high frequency

V = voltti, jännitteen yksikkö

WPAN = wireless personal area network

XBee = XBee on tuotenimi ZigBee radiomoduulille.

XCTU = XBeen parametrintiohjelma

1 Johdanto

1.1 Tavoitteet

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ZigBee-verkon toimivuutta teollisuusympäristössä ja toteuttaa siellä toimiva laite, joka hyödyntää RS-232 sarjaliikennettä sekä ZigBee-verkkoa. Kyseistä laitetta on tarkoitus käyttää pääasiassa paperikoneiden nippivoimamittausten tiedonsiirrossa. Se lisäisi työturvallisuutta ja vähentäisi mittauksissa tarvittavaa kaapelointia. Tällä hetkellä kaapelit joudutaan viemään paperikoneen läpi, jolloin kaapeli voi helposti vaurioitua tai aiheuttaa vaaratilanteita työntekijälle kaapelia viedessä. Kaapelointi myös hidastaa työntekoa. Langattoman yhteyden tulisi toimia 200 m päähän 0,5 m betonirakenteen läpi. Laitteen tulisi olla myös mahdollisimman pienikokoinen ja akkukäyttöinen. Opinnäytetyön toimeksiantaja on ProTest engineering Oy.

1.2 Toimeksiantaja

Toimeksiantaja ProTest engineering Oy on teollisuuden kunnossapitopalveluita tuottava yritys, jonka tärkeimmät asiakkaat löytyvät paperi-, kartonki- ja selluteollisuudesta. Se tekee prosesseille mittauksia, laiteuusintoja, prosessin optimointeja, määräaikaisvirityksiä ja huoltoja. ProTest engineering myös valmistaa mittalaitteita teollisuuden eri aloille. Yritys on vielä verrattain nuori mutta työntekijöillä on pitkä kokemus paperiteollisuudesta. Yrityksessä on vain 4 työntekijää, joka tekee siitä joustavan ja kilpailukykyisen. Kilpailuvaltteina ovat myös laadukkaat mittalaitteistot ja oma tuotanto.(ProTest engineering Oy 2015)

2 Nippivoiman mittaaminen

2.1 Paperin valmistus

Paperin valmistus alkaa perälaatikosta, jossa kiintoainetta sellumassasta on 0,2-1,2 %. Massa syötetään viiran päälle, jossa viiran läpi poistuu vettä. Massasta saadaan näin poistettua vettä siten, että viiraosan jälkeen paperin kuiva-ainepitoisuus on n. 20 %. Huopa kuljettaa paperimassaa, joka viedään paperikoneen puristinosalle. Puristinosalla paperi kuljetetaan puristihuovan päällä tai kahden huovan välissä. Huopa ja paperimassa kulkevat telojen välissä, joissa massasta yritetään saada mahdollisimman paljon vettä pois teloilla puristamalla. Puristuksen alkuvaiheessa vettä puristuu sekä paperista että huovasta pois ja kun puristus telan jälkeen laskee, imee huopa paperista vettä itseensä. Puristimella pyritään myös tiivistämään paperia niin, että saadaan riittävä märkälujuus, jotta paperi voidaan ajaa kuivatusosalle. Telojen puristus ei saa olla liian kova, jotta paperiraina ei rikkoituisi. Liiallisella puristuksella paperista huuhtoutuu hienoaainesta, joka hävitessään huonontaa paperin laatua. Virheellinen puristus voi myös ohentaa paperia liikaa. Paperikoneen nipiksi kutsutaan kahden telan muodostamaa kitaa. Teloja on erikokoisia ja niiden pintamateriaali vaihtelee paperityypin mukaan. Telan pintamateriaalilla voidaan vaikuttaa telan paineprofiiliin, eli siihen kuinka terävästi tela puristaa. Puristinosalla massasta muodostuu tasainen paperirata, jonka kuiva-ainepitoisuus on 35 - 50 %. (VTT Industrial Systems. 2005.)

Paperirata kulkee seuraavaksi kolmanteen osaan, kuivatusosalle. Siellä paperista poistetaan vettä niin, että koneen päässä rullatessa paperin kuiva-aine pitoisuus on yleensä yli 95 %. Vettä poistetaan haihduttamalla ja siirtämällä kostea ilma pois paperiradalta. (VTT Industrial Systems. 2005.) Kuivaaminen tapahtuu höyryllä lämmitetyillä sylintereillä, joita pitkin paperirata kulkee tai erilaisillailmakuivaimilla. Kuivausosa on paperikoneen eniten energiaa tarvitseva osa. Kuivauksen jälkeen valmis paperi voidaan rullata.

2.2 Mittauksen syyt

Puristinosalla yhden prosentin nousu kuiva-ainepitoisuudessa tarkoittaa 3 – 4 % säästöä höyryn kulutuksessa kuivausosalla. Kuvion 1 mukaisella esimerkkikoneella lasketuna n. 0,8 % säästö höyryn käytössä voi säästää vuodessa n. 151 tuhatta euroa. Höyryä käytetään kuivausosalla paperin kuivaamiseen. Myös kuiva-aineen lisääntyminen aiemmassa vaiheessa voi lisätä paperikoneen nopeutta. On siis merkittävää kuinka hyvin nipit toimivat ja paljonko vettä saadaan poistettua puristamalla.

Höyrynkulutuksen laskenta

Kuiva-ainepitoisuus rullaimella [%]	97,3	Höyryn hinta [€/t]	38
KAP puristimen jälkeen [%]	41	Käyttötunnit vuodessa [h]	8000
KAP puristimen jälkeen [%] (nipin optimoinnin jälkeen)	41,2		
Neliöpaino [g/m ²]	80		
Rainan leveys [m]	6,3		
Koneen nopeus [m/min]	1100		
Höyryn kulutus per haihdutettu vesikilo [kg steam/kg h ₂ O]	1,3		
Tuotanto [t/h]	33,26		
Höyryn kulutus [kg/s]	16,49	=	475042 t/a
Höyryn kulutus nipin optimoinnin jälkeen [kg/s]	16,36	=	471057 t/a
	Säästetty höyry vuodessa		3985,4 t
	Rahan säästö vuodessa		151444 €

Kuvio 1. Esimerkki höyryn säästämisestä vuodessa mittauksien ansiosta.

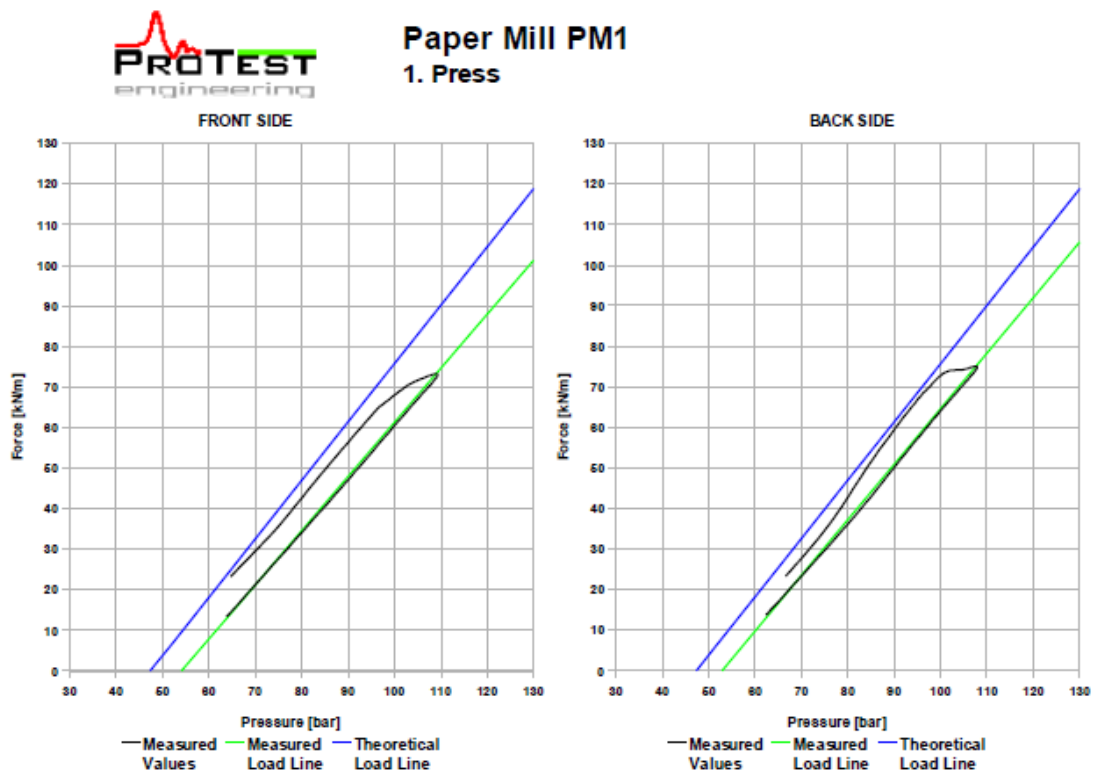
Paperikoneessa puristimille syntyy ajansaatossa kitkoja esimerkiksi puristusmekaniikan kulumisesta. Nämä kitkat vähentävät telojen puristusvoimaa ja nippivoimat eivät vastaakaan enää ohjausarvoja. Toimintatason testauksissa on löytynyt myös parametrintoimivirheitä automaatiojärjestelmien ja ohjelmoitavien logiikoiden ohjelmistoista. Syynä voi olla että parametrit on jouduttu laskemaan puutteellisin alkutiedoin.

2.3 Mittauksen toteutus

Nippien toimintatason testaus toteutetaan mittaamalla telojen puristusta ja hydraulikan käyttöpainetta. Paperikoneseisokin aikana puristimet voidaan kuormittaa voima-antureita vasten. Samalla puristusvoimaa eli viivakuormaa ja kuormituspainetta voidaan mitata telan molemmista päistä. Telat ajetaan maksimikuormitukseen saakka ja tämän jälkeen kuormituspainetta lasketaan takaisin aloituspaineeseen. Tästä voidaan muodostaa kaavio, jossa ilmenee puristusvoima kuormituspaineen

funktiona. Telojen kuormitukseen käytetyn paineen erotus eri suuntiin ajettaessa muodostaa kaavioon paine-eron eli hystereesin, josta voidaan tehdä päätelmiä nipin toiminnasta. Kuviossa 2 on myös näkyvillä todellinen ja teoreettinen voima eri kuormituspainilla. Esimerkkikoneessa kuormituspaineen ollessa 90 baaria todellinen viivakuorma on n. 58 kN/m oletetun n. 81 kN/m sijaan.

Nipeille voidaan tämän jälkeen asettaa uudet ohjausarvot, jotka huomioivat kaikki löydetty poikkeamat. Jos kitkat ovat kasvaneen merkittäviksi, tarvitsee nipit huollon ja yleensä komponenttien vaihtamista.



Kuvio 2. Nippitelan viivakuorman mittaustulokset puristusaineiden funktiona.

Mittaus suoritetaan kahdella voima-anturilla ja kahdella tai neljällä paineanturilla. Yksi voima-anturi sijoitetaan paperikoneen hoitopuolelle ja toinen käyttöpuolelle.

Anturit sijoitetaan telojen laakeripesien väliin kuvion 3 osoittamalla tavalla siten, että telat eivät kosketa toisiaan.



Kuvio 3. Voima-anturi nippitelojen laakeripesien välissä.

2.4 Wika D-10 painelähetin

Nippivoimien mittaukseen toimeksiantaja käyttää Wika:n valmistamaa painelähetintä D-10-P, jonka mittausalue ylittää 160 baariin. Pinalähetin on valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja se on pöly- ja vesitiivis. Se kestää siis hyvin jatkuvaakin siirtelyä ja kytkemistä. Lähettimen toiseen pätyyn on kytketty RS-232 liitäntäjohto ja vastakkaisessa päässä olevaan paineanturiin on kytketty paineensiirrin putki. (kts Kuvio 4.) Pinalähetin muuntaa mittaustiedon jo lähettimen sisällä digitaalimuotoon, jolloin mittaustarkkuus säilyy, kun johtimissa tapahtuvat häiriöt ja jännitehäviöt eivät vaikuta mittaukseen. Lähetin vastaanottaa komentoja ja lähettää mittaustiedon RS-232 väylää pitkin.

Sarjaväylän tiedonsiirrossa käytössä on RXD, TXD ja GND pinnit. RTS ja DTR pinnit ovat kytkettynä pinalähettimen päästä yhteen, joiden kautta laite ottaa käyttöjännitteen. Kyseiset pinnit eivät siis ole tiedonsiirron käytössä. Tiedonsiirto tapahtuu ilman kättelyitä, 9600 bittiä sekunnissa, 8 databittillä, ilman pariteettibittiä ja yhdellä

stop-bittillä. (Pressure Transmitters for Precision Measurement with Digital Output RS 232. 2008.)



Kuvio 4. Wika D-10 painelähetin

3 Zigbee verkko ja sen toiminta

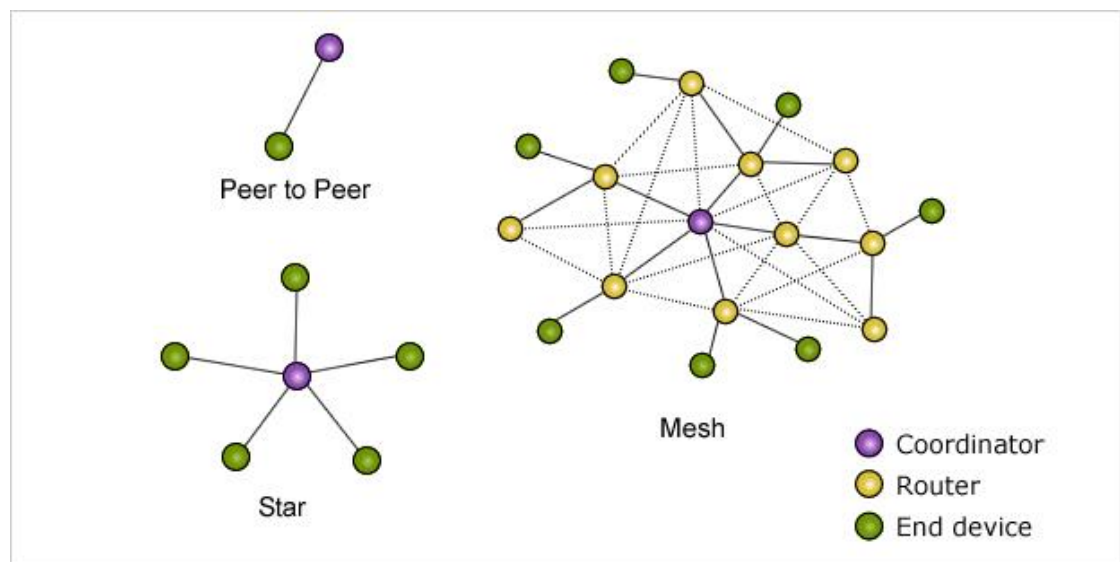
ZigBee on IEEE 802.15.4 standardin mukainen tietoliikenneprotokolla, joka toteutetaan vähävirtaisilla radiomoduuleilla. Se on WPAN (wireless personal area network) lyhyen kantaman verkko, jollainen on esimerkiksi myös Bluetooth. ZigBeen ensimmäinen standardi julkaistiin vuonna 2004 ja sitä on tämän jälkeen päivitetty ja sitä tullaan edelleen kehittämään. Standardia kehittää ZigBee alliance, johon kuuluu suuria elektroniikka- ja teollisuusyrityksiä kuten Philips, Samsung, Sony ja Texas Instruments, sekä 450 muuta yritystä (ZigBee Alliance. 2015).

ZigBee on saanut nimensä mehiläisestä, englanniksi bee. Mehiläiset välittävät toisilleen tietoa niin kutsutun mehiläistanssin avulla. Ne liikkuvat kahdeksikon muotoista

kuviota, jolla ne voivat kertoa muille mehiläisille, missä suunnassa ja kuinka kaukana sijaitsevat parhaimmat kukat, juomapaikat tai uusi pesäpaikka. Se on siis eräänlainen lyhyenkantaman tiedonsiirtotapa, kuten ZigBeekin.

3.1 Zigbee lyhyesti

ZigBee-tietoliikenneverkkoon voi kuulua kolmenlaisia laitteita jotka ovat koordinaattori-, solmu- ja päätelaite. Jokaisessa verkossa on aina oltava yksi koordinaattori, joka luo ja ylläpitää verkkoa. Useampaa koordinaattoria samassa verkossa ei voi olla. Verkkoon voi liittyä solmuja ja päätelaitteita. Koordinaattori ja solmut voivat kommunikoida kaikkien laitteiden kanssa, mutta päätelaitteet eivät voi kommunikoida keskenään. Solmut voivat välittää myös muiden laitteiden viestejä, jos vastaanottaja ei ole kuuluvuusalueen sisällä. Tästä syntyy reitittävä langaton verkko eli mesh-verkko, joka on kuvattuna kuviossa 5. Siinä laitteet voivat liikkua ja muuttaa sijaintiaan verkossa yhteyden katkeamatta. Verkko on täten dynaaminen ja voi levitä hyvinkin laajalle alueelle reitityksen vuoksi.



Kuvio 5. Zigbee-verkkojen rakenteet.

Verkon rakenteeseen voidaan kuitenkin tehdä määrittäviä, jolloin on mahdollista toteuttaa tähtiverkko, jossa päätelaitteet yhdistyvät vain koordinaattoriin.

Yksinkertaisimmillaan ZigBee-verkko voi olla laitepari, johon kuuluu vain koordinaattori ja päätelaite. Tällaista verkkoa voidaan käyttää esimerkiksi tietokoneen ja yhden ohjattavan laitteen välillä. Sen etuna on yksinkertainen ohjelmointi, sillä kaikki mitä kirjoitetaan lähetyspinniin, liikkuu verkossa sellaisenaan eikä pitkää viestikehystä tarvita.

3.2 Zigbeeen käyttökohteet ja tulevaisuus

ZigBee-laitteita käytetään tällä hetkellä kiinteistöautomaation ohjauksissa ja mittauksissa. Niillä on esimerkiksi toteutettu huoneiston valaistuksen ohjauksia, jossa valokatkaisin ei tarvitse erillistä johdotusta. On olemassa myös pistorasioita, joita voidaan ohjata langattomasti ZigBee-yhteyden avulla. Tällaiset laitteet edistävät älykotien, kiinteistöautomaation ja IoT:n eli esineiden internetin yleistymistä. ZigBee-tietoliikennettä käytetään myös vauhdilla yleistyvissä *drone*-koptereissa laitteen ohjaamiseen ilmassa. Kun ZigBee-laitteet käynnistetään, verkon luominen ja laitteiden siihen liittyminen tapahtuu vain muutamassa kymmenessä millisekunnissa. Tämä mahdollistaa vähävirtaisessa lepotilassa pysymisen ja aktivoitumisen vasta kun laitteen täytyy olla aktiivinen. ZigBee moduulit voivat pysyä käynnissä vuosia ilman paristojen vaihtamista.

3.3 Zigbeeen taajuusalueet

ZigBee moduuleita valmistetaan standardin mukaan 2,4 GHz, 915 MHz ja 868 MHz taajuusalueille. Ne kuuluvat siis ISM-taajuuksiin (Industrial, Scientific and Medical), jotka ovat vapaita taajuuskaistoja ja eivätkä tarvitse erillistä lupaa. 2,4 GHz moduulit ovat käytössä maailmanlaajuisesti ja ne käyttävät 16 kanavaa 5 MHz välein. Suurin osa myynnissä olevista moduuleista ovat 2,4 GHz moduuleita ja ne pystyvät 250 kb/s nopeuteen. 915 MHz moduulit ovat käytössä vain Yhdysvalloissa. Niissä on mahdollista käyttää 10 kanavaa 2 MHz välein 40 kb/s nopeudella. Euroopassa käytössä olevat matalataajuuden moduulit toimivat 868 MHz taajuusalueella. Niissä on käytössä vain yksi kanava 20 kb/s siirtonopeudella.

ISM-taajuudet kuuluvat UH-taajuusalueeseen. UH-aaltojen aallon pituus on 10 cm – 1 m taajuuksien ollessa 300 MHz – 3 GHz. Radioaalto kantaa sitä pidemmälle, mitä matalampi sen taajuus on ja matalimmilla taajuuksilla myös radioaallon läpäisykyky on parempi. Näitä tietoja hyödyntämällä voidaan päätellä että 868 MHz radioaalto kantaa pidemmälle kuin 2,4 GHz radioaalto ja sillä on parempi läpäisykyky. Ongelma radiotaajuuden laskiessa liittyy tiedonsiirron nopeuteen. Kun 2,4 GHz XBee-moduulilla voidaan viestiä 250 kb/s, on 868 MHz-moduulilla mahdollista siirtää vain 20 kb/s. XBee-moduulin valinnassa on siis tehtävä valinta nopeuden ja kantaman välillä. 20kb/s riittää kuitenkin hyvin siirtämään dataa RS-232 nopeuksilla. Esimerkiksi yleinen sarjaliikenneportin nopeus on 9,6 kb/s, joka 868 MHz-moduulilla siirtyisi hyvin (Digi International Inc).

3.4 AT-Komennot

AT-komennot kehitti Dennis Hayes vuonna 1981. Alkuperäinen tarkoitus oli mahdollistaa yhteys modeemin ja minkä tahansa tietokoneen välille sarjaliikenneportin kautta (Dalakov 2016). Ajatuksena on käyttää laitteella kahta eri moodia, data- ja komentomodeja. Kun datamoodi on päällä, voidaan toteuttaa normaalia sarjaliikenne-tiedonsiirtoa. Komentomoodissa laite lopettaa normaalin tiedonsiirron ja kuuntelee AT-komentoja. AT-komennoilla voidaan muuttaa laitteen asetuksia tai tehdä kyselyitä laitteen tilasta. Kirjaimet AT on poimittu englanninkielisestä sanasta attention, huomio.

AT-komennot ovat siirtyneet modeemeista myös muihin laitteisiin, kuten XBee-moduuleihin. XBee-moduuleissa AT-moodiin siirrytään lähettämällä UART-väylään kolme + -merkkiä peräkkäin. Kun moduuli on vastaanottanut merkit, se vastaa OK\r ja siirtyy AT-moodiin. Tämän jälkeen on mahdollista lähettää AT-komentoja ja muuttaa moduulin asetuksia tai kysyä niiden nykyistä tilaa. Kun AT-moodi halutaan sulkea ja palata datamoodiin, lähetetään AT-komento ATCN\r tai odotetaan ennalta asetetun ajan verran, jolloin moduuli palaa itsestään takaisin datamoodiin (XBee Command Reference Tables. 2010).

AT-komennot muodostuvat XBee-ohjekirjan mukaan seuraavan rakenteen mukaisesti (XBee™ Gateway User's Guide).

AT[ASCII komento][välilyönti (valinnainen)] [Parametri(valinnainen)][Carriage return]

Jokainen komento siis alkaa merkeillä AT. Tämän jälkeen tulee varsinainen komento, joka on kahden merkin mittainen. Niitä seuraa mahdollinen välilyönti ja parametrit. Parametri voi olla esimerkiksi laitteelle lähetettävä uusi osoite. Komento päättyy \r merkkiin eli rivinvaihtoon.

4 Laitteen suunnittelu

4.1 Suunnittelun lähtökohdat

Suunniteltavan laitteen on tarkoitus korvata kaapelointi nippivoimamittauksissa. Laitteessa täytyy taten olla akku ja langaton tiedonsiirtoyhteys.

Toimeksiantaja oli jo aiemmin kokeillut erilaisia radiomoduuleita, joiden signaali suurista häiriöistä johtuen ei kantanut riittävän luotettavasti teollisuusympäristössä.

Suunniteltavaan laitteeseen päätettiin siis kokeilla 868MHz alueella toimivia XBee-moduuleita, joiden kantamaksi valmistaja on ilmoittanut suunnatuilla antenneilla ulkoilmassa jopa 40 km (XBee Pro 868. N.d.).

Ennen varsinaisen laitteen rakennusta päätin testata ZigBee-verkkoa ja tutustua sen ominaisuuksiin. Sain toimeksiantajalta Digi Internationalin valmistamia XBee-moduuleita, joiden välille halusin toimivan verkon. Sain myös Itead Studion valmistaman USB-sovittimen XBee-moduuleille. Tällä sovittimella on mahdollista kommunikoida XBee-moduulin ja tietokoneen välillä. Tätä kautta voi myös ohjelmoida ja parametroida XBee-moduulit.

XCTU on Digi Internationalin kehittämä ohjelmisto, jolla XBee-moduulien parametointi on nopeaa ja selkeää. Ohjelmiston ensisijaisena tehtävänä on päästä käsiksi XBee-moduulien firmwareen eli laiteohjelmistoon. Laiteohjelmisto toimii XBee-moduulissa ja ohjaa moduulin toimintaa. Ohjelmistolla on mahdollista myös seurata tie-

tokoneeseen liitetyn XBee-moduulin tietoliikennettä ja lähettää datapaketteja muihin ZigBee-verkosta löytyviin laitteisiin. Kaikki tämä on mahdollista tehdä myös ilman kyseistä ohjelmaa, mutta XCTU nopeuttaa toimintaa merkittävästi (XCTU 2015).

XBee-moduulit tarvitsevat käyttöjännitteen, mutta toimivat ilman ympärillä olevia kytkentöjä sellaisinaan. USB-sovittimessa käyttöjännite saadaan USB-portin kautta. Toiselle XBee-moduulille syötettiin käyttöjännitteen ulkoisella jännitelähteellä. Jälkimmäisenä mainitun moduulin Tx- ja Rx- pinnit kytkettiin yhteen, jolloin kaikki saapuva data Rx-pinnistä siirtyi suoraan lähetettävän datan pinniin Tx. Tälle moduulille tehtiin niin sanotusti peilaus, eli se lähettää kaiken saamansa datan välittömästi takaisin. XBee-moduulien laiteohjelmistot päivitettiin ja ohjelmoitiin ne toimimaan samassa verkossa. Tämän jälkeen saatiin toimiva yhteys moduulien välille.

Kun moduulien toiminnasta oltiin varmoja, asetettiin ne Matrix Technology Solutionin valmistamiin testialustoihin. Alustat koostuvat e-blockeista, eli toisiinsa liitettävistä piirilevyistä, joilla on mahdollista kokeilla nopeasti erilaisia sovelluksia ilman piirilevyn rakentamista. Prosessorilevyyn asennettiin XBee-moduulilevy ja CAN-väylälevy. CAN-väylälevyn liitettiin vain siitä syystä, että saatiin siinä olevat ledit ja painikkeet käyttöön. Laitteen ohjelmointi tapahtuu saman yrityksen valmistamalla ohjelmistolla nimeltä Flowcode. Se on vuokaaviopohjainen ohjelmointiympäristö, jossa vuokaavioon siirrettävät lohkot ohjelma kääntää ensin C-kieleksi ja sitten konekieleksi.

Muutaman päivän ajan yritettiin saada ohjelmoitua prosessoria toimimaan, mutta ohjelma jumiutui aina ZigBee-ohjelmapätkien kohdalle. Kun tarkastettiin varsinainen käännetty C-koodin läpi, ymmärrettiin että ohjelma yritti asettaa XBee-moduuliin parametreja, joita se ei osannut tulkita. Tämä johtui siitä, että Matrix Technology Solutions on luonut ohjelman 2,4GHz moduuleille, kun taas kytkettynä oli 868Mhz moduuli. Päätettiin kirjoittaa kaikki tieto RS-232 pohjaisena XBee-moduulille ja ohjelma saatiin heti toimimaan. Kun haluttu data saatiin siirrettyä, alkoi oman laitteen suunnittelu.

Sarjaliikenneväylä

RS-232 on sarjamuotoisesti toimiva tiedonsiirtoväylä. Siinä tieto kulkee peräkkäin yksi bitti kerrallaan laitteiden välillä. Sen kehitti Electronic Industries Association 60-luvulla, mutta siitä on kehitetty tämän jälkeen useita uusia versioita, jotka poikkeavat toisistaan signaalijännitteiltään ja liittimiltään. Vaikka RS-232 on vanha tiedonsiirtotapa, on siitä edelleen hyötyä sen yksinkertaisuutensa vuoksi. Sitä käytetään yleensä ulkoisen laitteen yhdistämiseksi tietokoneeseen. RS-232-portissa on 9 pinniä. Yksinkertaisimmillaan siitä käytetään vain kolmea pinniä, RxD, TxD ja maapotentiaalia (Strangio, 2015).

4.2 Laitteen toimintaperiaate

Laitteiston tarkoitus on poistaa kaapeloinnin tarve paperikoneen väliaikaisissa mittauksissa. Päätelaitte kiinnitetään mittalaitteeseen, joka tässä tapauksessa on painelähetin. Tieto kulkeutuu lyhyen kaapelin kautta langattomaan lähettimeen. Ensimmäisenä signaali muutetaan väylämuuntimella prosessorille luettavaan tasoon, sillä painelähettimen sarjaliikenne toimii -12V - +12V ja prosessori kykenee lukemaan vain alle 0-3,3 V jännitteitä. Nyt signaali voidaan siirtää prosessorille väylätasoisena UART-väylää pitkin. Kun tarvittavat toimenpiteet prosessorilla on tehty, lähetetään data toista UART-väylää pitkin XBee-moduulille. XBee-moduuli ja prosessori toimivat samalla käyttöjännitteellä, jolloin väylämuunnosta ei tässä kohdassa tarvita. XBee-moduulissa on oma prosessori, joka hoitaa itsenäisesti datan lähettämisen, vastaanottamisen, verkkoon yhdistämisen ja kaiken muun verkkotoiminnan. XBee-moduuli etsii isäntälaitteen ja aloittaa datan lähettämisen sille. Isäntälaitte on samanlainen laite kuin päätelaittekin, mutta sisäinen jännitelähde ei ole käytössä ja se on kytketty tietokoneen USB-porttiin.

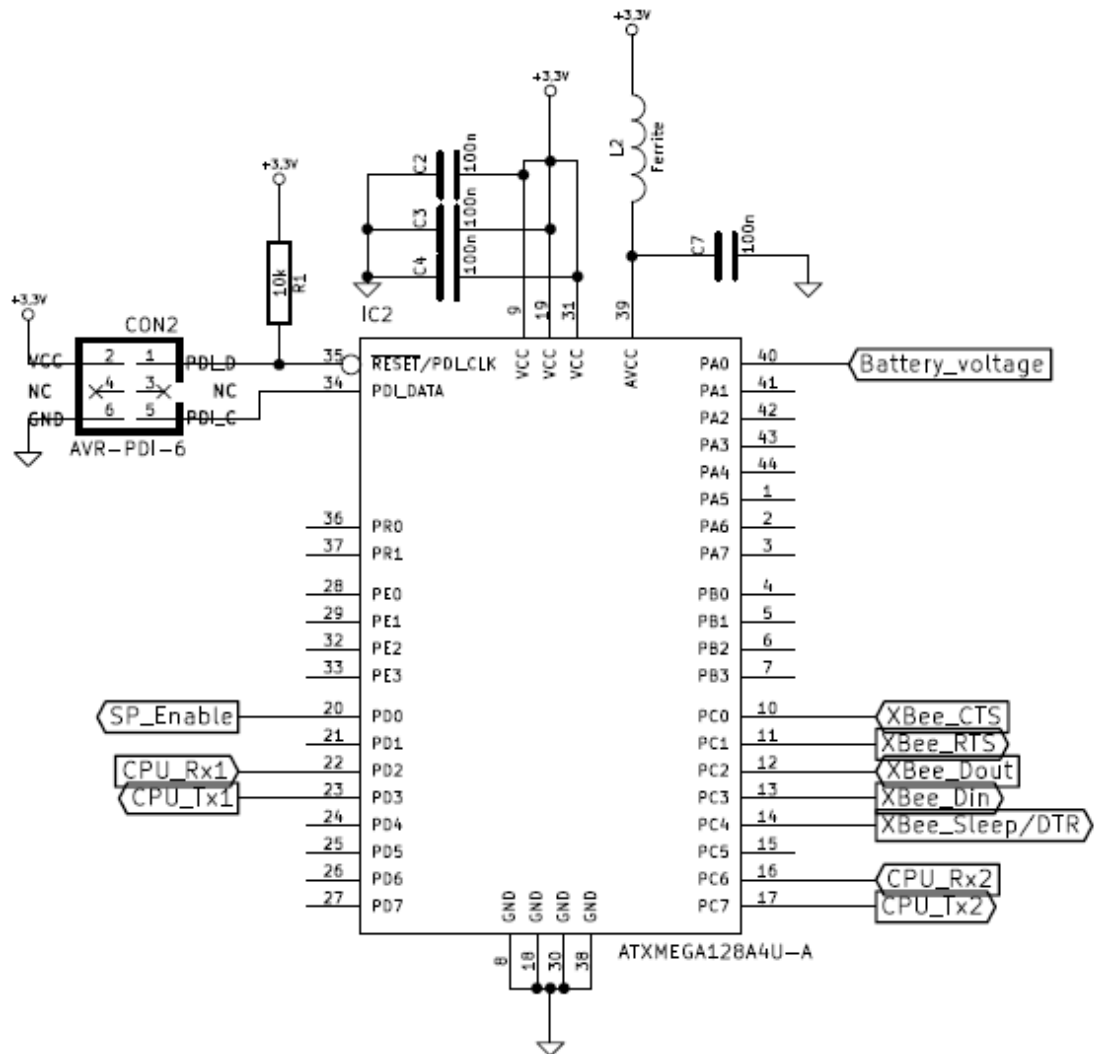
Tästä eteenpäin toiminta isäntälaitteella on täysin samanlainen, mutta kaikki tapahtuu käänteisessä järjestyksessä. Isäntälaitte vastaanottaa dataa XBee-moduulilla. Data siirtyy UART-väylää pitkin prosessorille, jossa voidaan tehdä tarvittavia toimenpiteitä.

Proessori lähettää datan väylämuuntimelle, jossa signaalitaso nostetaan RS-232 liikeelle sopivaksi. Data siirtyy kaapelia pitkin tietokoneeseen. Jos päätelaitteelle on tarvetta lähettää dataa tietokoneelta, esimerkiksi akkujen jännitetason kyselyä varten, tapahtuu edellä mainittu ketju vastakkaiseen suuntaan tietokoneelta päätelaitteelle. Päätelaitteita voi myös olla useita, jolloin isäntälaitte hallinnoi kaikilta päätelaitteilta saapuvaa dataa ja pitää verkon toiminnassa.

4.3 Laitteen komponentit ja kytkentä

Proessori

Proessoriksi valittiin Atmelin valmistama 44 pinninen ATxmega128A4U. Valintaan vaikutti opinnäytetyön toimeksiantajan toive tästä, sillä kyseisen sarjan prosessoreja on jo käytössä yrityksen muissa laitteissa. Proessorivalinta helpottaa siis mahdollisesti tulevaisuudessa tehtäviä muutoksia. Valinta joka tapauksessa on erittäin hyvä, sillä prosessori on tehokas, siinä on riittävästi UART-väyliä ja se sisältää A/D-muuntimen (Analog To Digital Converter) käyttöjännitteen mittausta varten. Proessorin käyttöjännite on 3,3V, jolloin se toimii hyvin reguloinnin jälkeen myös neljällä AA-akulla. Proessorissa on 32Mhz sisäinen kide. Proessori ohjelmoidaan kuviossa 6 näkyvän CON2-liittimen kautta. Ylösvetovastus R1 syöttää käyttöjännitteen reset jalkaan 35, joka pitää laitteen päällä aina kun käyttöjännite on saatavilla. Ferriitti L2 ja kondensaattori C7 ovat A/D-muuntimen käyttöjännitteen suodatusta varten mitoitettu proessorin valmistajan mukaan. C2, C3 ja C4 ovat proessorin käyttöjännitteen suodatusta varten.



Kuvio 6. Prosessorin kytkentäkaavio.

XBee-moduuli

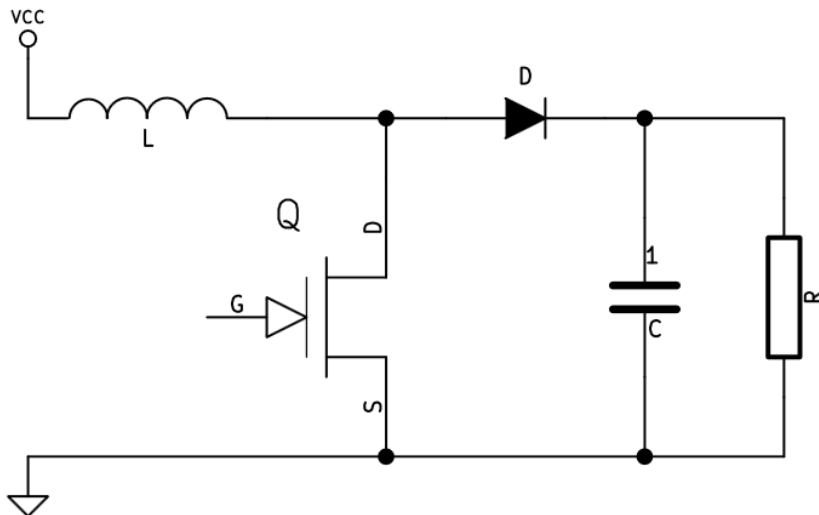
XBee-moduuli on irrotettava osa piirilevyllä. Sen näkyvät osat ovat Atmel prosessori sekä antenni ja sen liitin. Samalla jalkajärjestyksellä on valmistettu 2,4GHz, 868 MHz ja 915MHz taajuuksilla toimivia moduuleita. Moduuleista on myös useita eri versioita, jotka poikkeavat toisistaan lähetystehon ja laiteohjelmistonsa puolesta. XBee-moduulille tuodaan piirilevyllä käyttöjännite 3,3V sekä maapotentiaali. Kommunikointia varten XBee-moduulissa on UART-tasoinen sarjaliikenneyhteys. Vaikka piirilevyllä on kytketty Tx- ja Rx-pinnien lisäksi RTS ja DTR pinnit, ei niitä käytetä vaan ne ovat mahdollistamassa moduulin vaihtamisen toisenlaiseksi tarpeen vaatiessa. Markkinoilla on myös XBee-moduulin tilalle sopivia moduuleita, jolloin laite on mahdollista muuttaa esimerkiksi lähiverkon tai Bluetoothin yli toimivaksi. Tällöin laite soveltuu myös muunlaiseen tiedonsiirtoon. Kun XBee-moduulin parametointi on tehty oikein,

onnistuu sen välityksellä kommunikointi yksinkertaisesti lukemalla ja kirjoittamalla luku- ja kirjoituspinnejä.

Hakkurijännitelähde

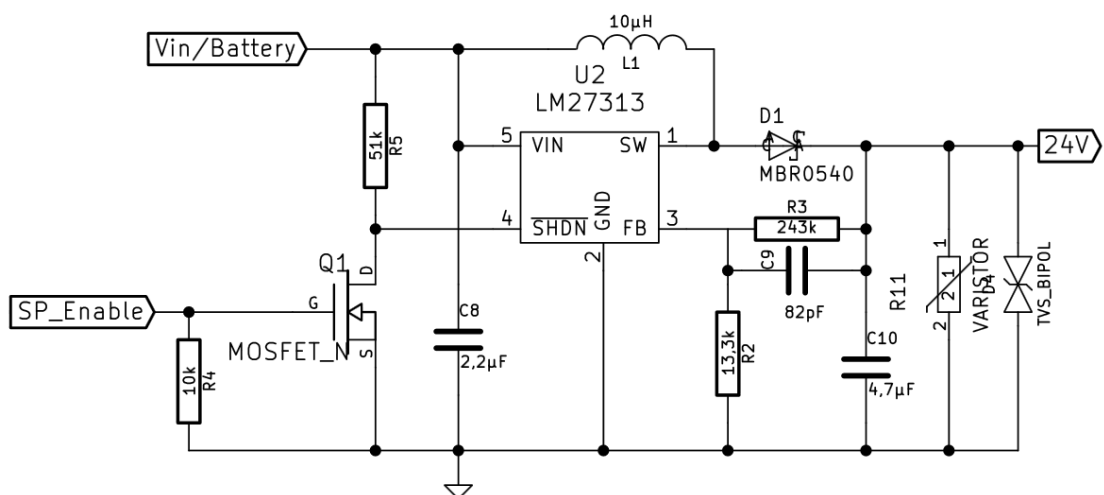
Koska teollisuuden anturit toimivat usein 24 V jännitteellä, oli tarpeen suunnitella jännitelähde, josta kyseinen jännite voidaan syöttää anturille. Hakkurivirtalähteellä on mahdollista nostaa tai laskea jännitettä. Tässä tapauksessa akuston jännite on noin 4,8 V, joka täytyy voida nostaa 24 volttiin. Tämä tapahtuu niin kutsutulla ”step-up”- tai ”boost”-hakkurijännitelähteellä.

Step-up -jännitelähteen pääkomponentit ovat kela, kytkimenä toimiva FET, diodi ja kondensaattori. (ks. Kuvio 7.) Alkutilanteessa kytkin-FET Q on johtava, jolloin kela on kytkettyneenä käyttöjännitteestä maahan. Kelaan L alkaa tällöin varastoitua energiaa. Kelaan varastoitunut energia on riippuvainen kelan induktanssista, sekä kytkimen kytkentätaajuudesta. Mitä suurempi induktanssi ja mitä pidempään FET on johtava, sitä suurempi energia ehtii varastoitua. Diodi D estää jännitteen purkautumisen kytkimen kautta, jolloin kondensaattori C purkautuu kuormaan R. Määrätyn ajan kuluessa kytkin-FET laitetaan estotilaan, jolloin kelaan varastoitunut energia pääsee purkautumaan diodin yli kondensaattorille sekä kuormalle. Kondensaattori latautuu. Kun FETin kytkentätaajuus on kuorman ja kondensaattorin muodostamaa RC-piirin aikavakiota pienempi, syntyy kuormalle jatkuva tasajännite. (Billings, 2011)



Kuvio 7. Yksinkertaistettu step-up hakkurijännitelähde.

Jännitelähteen voisi rakentaa niin että prosessori ohjaa hakkurin transistoria pulssi-modulaatiolla, mutta tämä kuormittaa prosessoria turhaan, sillä saatavilla on IC piirejä, jotka kykenevät tähän itsenäisesti. Eri vaihtoehdoista valikoitui hakkurijänniteohjain LM27313. Piiri tarvitsee ympärilleen edellä mainittujen komponenttien lisäksi kaksi vastusta sekä kaksi kondensaattoria. (Texas instruments 2006.) Vastukset mittaamalla määritellään hakkurin kytkentätaajuus ja näin ollen lähtöjännite. Kuviossa 8 näkyvä kondensaattori C8 toimii tulojännitteen suotimena ja toinen C9 ohjainpiirin takaisinkytkennässä estämässä piirin värähtelyä.



Kuvio 8. Hakkurijännitelähteen kytkentäkaavio

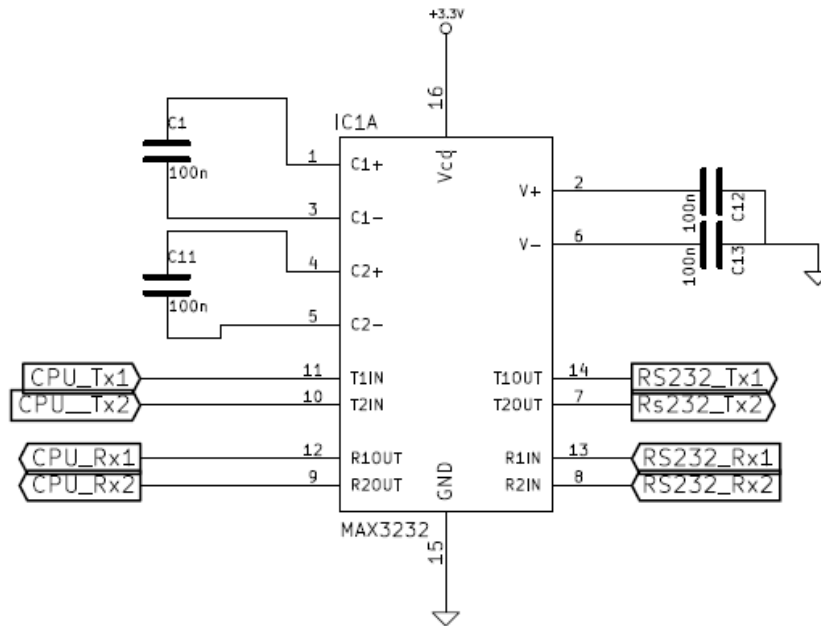
Muut komponentit kytkennässä toimivat piirin ohjauksena sekä suojana. Kun kytkimenä toimiva MOSFET Q1 on ilman ohjausta, käyttöjännite pääsee kulkemaan vastuksen R5 kautta ohjainpiirin invertoituun sammutuspinniin, jolloin piiri on toiminnassa. Kun prosessori ohjaa FETin johtavaan tilaan, maadoittuu ohjainpiirin sammutuspinni ja piiri sammuu. Hakkurijännitelähteen sammuttaminen säästää energiaa ja siitä on hyötyä niissä tilanteissa kun laitteen täytyy olla akkukäytöllä valmiustilassa, mutta varsinaista mittausta ei tarvitse jatkuvasti tehdä.

Hakkurin lähdössä oleva varistori toimii ylijännitesuojana suojaamassa syötettävää mittalaitetta. Transientti-, eli ylijännitesuojadiodi D4 suojaa kasisuuntaisena ylijännitteen lisäksi myös mahdollisen negatiivisen jännitepiikin. Toteutin hakkurin täysin pintaliitoskomponenteilla ja hakkuri mahtui 5 sentin kolikon kokoiselle alalle.

Väylämuunnin

Väylämuuntimen tehtävä on muuntaa kaksi erilaista tiedonsiirtoväylää yhteensopiviksi. Suunniteltavassa laitteessa väylämuunnin toimii UART- ja RS-232-liikenteen muuntimena. Se siis nostaa UART-väylän jännitteen RS-232 tasoiseksi tai toiseen suuntaan liikennöitäessä laskee RS-232 jännitteen UART tasoiseksi. Väylämuunnin on kaksi kanavainen, joista toinen kanava on paineanturin ja prosessorin välisen väylän muuntamiseen ja toinen kanava varalla mahdollista tulevaa käyttöä varten. Toista kanavaa voi hyödyntää esimerkiksi RTS ja DTR käytössä tai kahden anturin kytkemiseen yhteen laitteeseen.

Väylämuuntimeksi valittiin yleinen MAX232-sarjan piiri, joka on edullinen ja joka ei tarvitse kuin neljä ulkopuolista komponenttia toimiakseen. Kuviossa 9 näkyvät neljä kondensaattoria, joita piiri tarvitsee väyläjännitteen muuntamiseen. Piiriin tarvitsee kytkeä myös käyttöjännite sekä maapotentiaali.



Kuvio 9. Väylämuuntimen kytkentäkaavio

Akusto, lataus ja varauksen mittaus

Alkuperäinen suunnitelma oli sijoittaa neljä AA-akkuja laitteen sisälle, joita voitaisiin ladata laitteen kyljessä olevasta liittimestä. Kotelo kävi kuitenkin ahtaaksi kaiken elektroniikan ja johdotusten myötä. Myös latauksesta ja elektroniikasta syntyvä lämpö ahtaassa tilassa herätti epäilyjä ylikuumenemisesta. Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen ei akkuja sijoitettu samaan koteloon elektroniikan kanssa. Päädyttiin tekemään toinen kotelo, johon akusto sijoitettiin. Ratkaisuun vaikuttivat kotelon pieni koko ja akkujen vaihtamisen vaikeus kesken mittauksien. Erillinen akkupaketti on helppo vaihtaa tyhjentyessään täyteen ladattuun akkupakettiin. Samalla voidaan ladata tyhjiä akkupaketteja, jolloin ei ole pelkoa mittausten keskeytymisestä tyhjentyneiden akkujen vuoksi. Jos jostain syystä on tilanne että akut ovat tyhjä, voi laitetta käyttää myös suoraan verkkolaitteella. Tätä voidaan käyttää myös hyödyksi silloin kun halutaan varmasti katkeamaton virransyöttö tai jos tiedetään että mittaus kestää pitkään ja akkuja ei välillä haluta vaihtaa.

Akkujen jännitetasoa mitataan prosessorilla jännitejaon avulla. Prosessorilla jännitteen mittausta perustuu mitattavan jännitteen vertailuun prosessorille syötettävään reguloituun referenssijännitteeseen. Koska prosessori toimii 3,3 voltilla, ei prosessori

kestä tätä suurempia jännitteitä. Prosessoria ohjelmoitaessa A/D-muuntimen referenssi jännitteeksi valittiin 1,6 V. Siksi akkujen 4,8V jännite on liian suuri suoraan mitattavaksi. Kirchoffin toisen lain mukaan suljetussa virtapiirissä lähdejännite on yhtä suuri kuin virtapiirin jännitehäviöiden summa (Valtanen 2010, 262). Tätä tietoa hyväksikäyttäen voidaan mitata jännite resistanssin yli, jonka jännitejako on tunnettu ja jonka jännite ei nouse yli 1,6 V missään tilanteessa. Akkujen jännite voidaan laskea mitatusta jännitteestä, koska jännitejaon suhde on tiedossa.

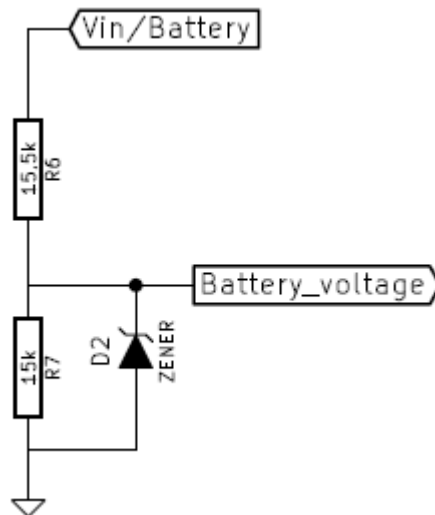
Koska tiedetään että suurin jännite joka prosessorille on mahdollista syöttää akku- tai paristokäytöllä on 6 V, voidaan jännitejaon mitoituksessa käyttää tätä arvoa lähtökohtana. Jos laitteessa ei olisi ylijännitesuojia, täytyisi tämä jännite mitoittaa vielä ylemmäs. Tekniikan taulukkokirjan mukaan jännitejako lasketaan seuraavasti:

$$U_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} * U$$

Koska kolmatta vastusta ei kytkennässä ole ja ratkaistava arvo on R_1 , voidaan kaava johtaa muotoon:

$$R_1 = \frac{-R_2 * (U_1 - U_2)}{U_2}$$

Kaavassa on vielä yksi tuntematon, R_2 . Koska jännitejako on kytketty suoraan käyttöjännitteestä maahan, halutaan sen virrankulutus minimoida. Täten voidaan valita riittävän suuri resistanssi joka löytyy yleisesti myynnistä. Valittiin 15 kΩ vastus, jolloin virran kulutus yksin tällä vastuksella on vain 0,107 mA. Edellä johdettua kaavaa käytämällä saadaan vastuksen R_1 suuruudeksi 41,25 kΩ. Tämä on siis se arvo joka käyttöjännitteen ollessa 6 V syöttää jännitemittaukseen 1,6 V. Varmuuden vuoksi jätetään hieman varaa mitoitukseen ja valitaan sellainen resistanssin arvo, joka on olemassa myös oikeana komponenttina. Ensimmäisessä kytkentäkuvassa oli valittu virheellisesti 15,5 kΩ vastus, mutta komponentteja tilattaessa vaihdettiin sen arvoksi 47 kΩ. Kuviossa 10 zenerdiodi D2 on kytkettynä rinnan vastuksen R7 kanssa. Zenerdiodi on kytketty näin suojaamaan prosessorin A/D-muunninta ylijännitteeltä. Jos jännite prosessorin tulossa *Battery_voltage* nousee yli zenerdiodin kynnysjännitteen, diodi muuttuu johtavaksi. Näin prosessorille ei pääse muodostumaan ylijännitettä.



Kuvio 10. Jännitteenjako kytkentä.

4.4 Laitteen piirtäminen ja kokoonpano

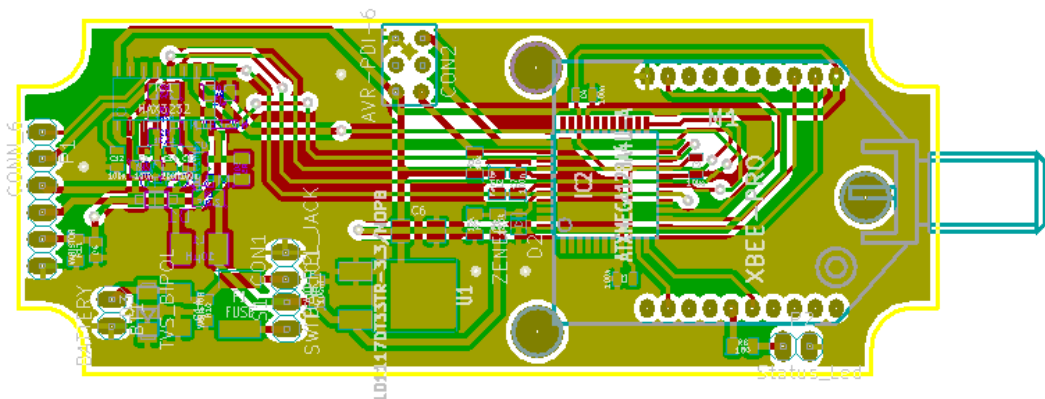
Laitte piirrettiin ilmaisella KiCad-ohjelmistolla, joka oli tekijälle entuudestaan osin tuttu. Sillä piirrettiin kytkentäkaavio ja piirilevyn layout kuvat. Ohjelma on moniosainen ja suunnittelu sillä alkaa kytkentäkaavion laatimisesta.

KytKentäkaavion laatiminen

KytKentäkaavioon luodaan komponenttien yhteydet toisiinsa ja valitaan sopivat komponentit. Kaikki komponenttien mitoitukset on syytä laskea tässä vaiheessa. Se helpottaa suuresti myöhempiä vaiheita. Osa komponenteista ei löytynyt ohjelmiston komponenttikirjastosta tai verkosta saatavista lisäkirjastoista ja ne luotiin ohjelmaan itse. Liitteessä 1 on kuva tässä vaiheessa olevasta kytkentäkaaviosta. Tämän jälkeen linkitetään ohjelman toisella osalla kytkentäkaaviossa luodut komponentit oikeanlaisiin komponenttimalleihin. Valitaan siis jokaiselle komponentille sellainen kotelo, jossa komponentti tulee lopullisella piirilevyllä olemaan. Kun lista on valmis, voidaan sen pohjalta ryhtyä layout suunnitteluun.

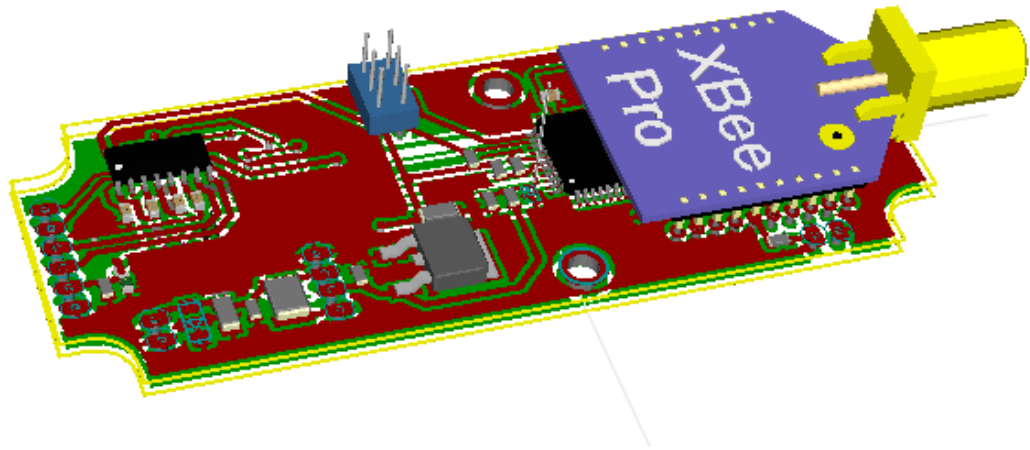
Layout suunnittelu

Tässä vaiheessa suunnitellaan fyysinen piirilevy kaikkine komponentteineen ja tarkkoine mittoineen. Piirilevyn ulkoreunat mitoittamalla on yleensä mukavin aloittaa. Tämän jälkeen asetellaan komponenttien kuvat halutuille paikoilleen. Tässä täytyy ottaa huomioon mahdolliset häiriölähteet, kuten tässä työssä hakkurijännitelähde. Se luo ympärilleen suurtaajuushäiriötä, joten sijoitin sen eri puolelle piirilevyä kuin XBee-moduulin. Valitsin pintaliitosversiot kaikista komponenteista, joille se oli mahdollista. Näin sain kaiken pienempään tilaan. Vain ohjelmointiliitin, XBee moduuli ja johtimien liitokset tein läpiladonnalla. Kaikki komponentit eivät olisi mahtuneet yhdelle puolelle piirilevyä ja siksi suunnittelinkin kaksipuoleisen piirilevyn. Se helpottaa myös huomattavasti vetojen tekemistä. Komponenttien väliin täytyy myös piirtää vedot, joita pitkin sähkö siirtyy komponentista toiseen. Ne ovat piirilevyllä tinattuja kupariliuskoja. Vetoja näkyy kuviossa 11. Myös halutut reiät läpiladottaville komponenteille ja ruuveille piirretään tässä vaiheessa.



Kuvio 11. Yläpuolelta kuvattu kaksipuoleinen piirilevy

Kun piirilevy on piirretty ja tarkastettu, voidaan sitä tutkia vielä 3D-mallina. Tämä mahdollistaa kolmiulotteisesti piirilevyn tutkimisen ja mahdollisten virheiden löytämisen ennen piirilevyn valmistusta. Esimerkiksi komponenttien kotelot voivat joissain tapauksissa osua toisiinsa ja silloin ne eivät mahtuisi tulevalle piirilevyllä. Tässä työssä esimerkiksi prosessori on XBee-moduulin alla ja oli syytä tarkastaa että se varmasti sinne mahtuu. Kuviossa 12 näkyy millaiselta piirilevy tässä vaiheessa näyttää.



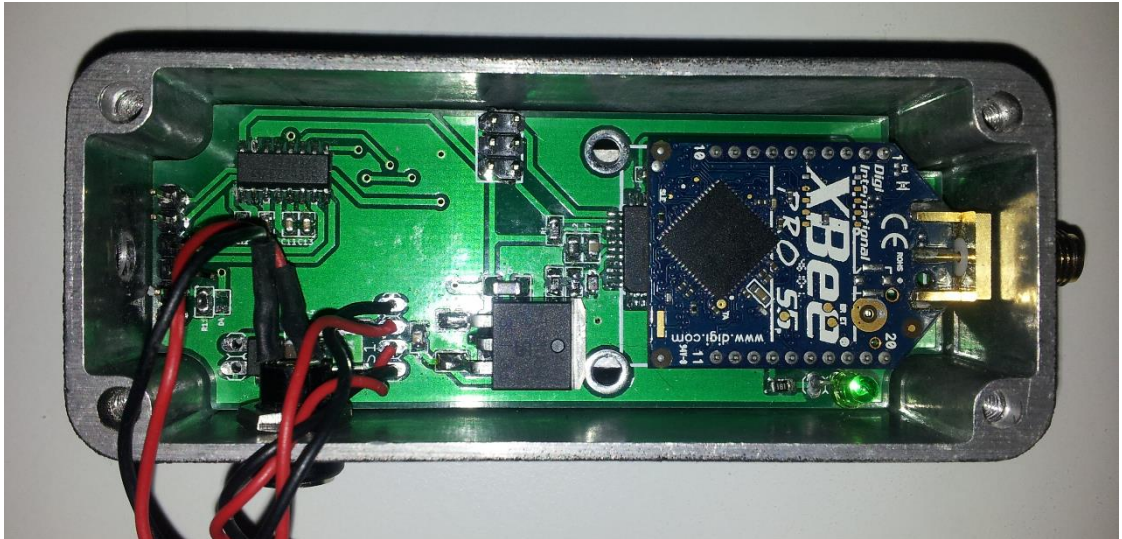
Kuvio 12. Piirilevyn ja komponenttien 3D-malli yläpuolelta

Kokoonpano

Kun piirilevy on suunniteltu, luodaan vielä komponenttiluettelo ja tilataan tarvittavat osat. Piirilevyt tilattiin Kiinasta ilman komponentteja ja kokoonpano tapahtui toimeksiantajan tiloissa. Komponentit tilattiin erikseen.

Laitteita valmistettiin koemielessä aluksi yksi kappale, jolla haluttiin varmistaa laitteen toimivuus. Laite osoittautui muutaman komponentti vaihdoksen myötä toimivaksi. Suunnittelussa oli tapahtunut muutamia virheitä. Kaksi transienttisuojadiodia oli piirretty väärällä komponenttikuvalla. Komponentit eivät täten mahtuneet niille osoitettuun paikkaan. Komponentit toimivat yli- ja negatiivisenjännitteensuojana, joten laite toimii myös ilman niitä suojauksen kustannuksella. Akuston jännitetason mittauskytkentä oli mitoitettu väärin ja tämä korjaantui yhden vastuksen arvon vaihtamisella. Ohjelmointiliittimessä oli myös kaksi pinniä kytketty väärin päin. Tämänkin asian sai helposti korjattua tekemällä laitteelle oman ohjelmointikaapelin.

Piirilevylle oli jo ennen suunnittelua valittu kotelo, ja piirilevy mahtui siihen alle millimetrin tarkkuudella (kts. kuvio 13). Koteloon porattiin reiät antennille, sarjaliikennekaapelille, jänniteliittimelle sekä virtakatkaisijalle. Kotelo täyttyi kaapelista ja johtimista mutta kaikki saatiin mahtumaan koteloon. Lopullisesta laitteesta tuli siisti ja kestävä.



Kuvio 13. Kokoonpantu piirilevy kotelossaan.

5 Ohjelmointi

5.1 Ohjelmointiympäristö

Laitteen ohjelmointi on mahdollista toteuttaa monella eri kielellä ja kääntäjällä. Koska toimeksiantajayrityksessä käytetään CodeVision AVR ympäristöä, valittiin se myös tähän työhön. CodeVision AVR on Atmelin prosessorien ohjelmointiin kehitetty ympäristö, joka sisältää myös kääntäjän. Ohjelmointi tapahtuu C-kielellä. Ohjelma käännetään kääntäjällä konekielelle prosessorille ymmärrettävään muotoon. Tämän jälkeen konekielinen ohjelma voidaan kirjoittaa prosessorin muistiin ohjelmointilaitteen avulla. Ohjelmointilaitteena käytettiin AVRISP mkII, jolla ohjelmointi tapahtuu PDI-portin kautta. Joitakin ohjelmointilaitteita apuna käyttäen on mahdollista myös testata ohjelmaa ajon aikana eli niin sanotusti debugata. Ohjelmointilaitte kuviossa 14 kytketään kuviossa 6 näkyvään liittimeen CON2 laitteen piirilevylle. Ohjelmointilaitte on USB-yhteydessä tietokoneeseen.



Kuvio 14. AVR ohjelmointilaite.

Ohjelmointiympäristössä on osa, jolla prosessorin toimintoja voi muokata ja tämän pohjalta generoida alustuskoodin. Tämä koodi on satoja rivejä pitkä ja säästää ohjelmoijalta suuren vaivan, kun kaiken voi projektin alussa määrittellä hiirtä painelemalla. Näillä riveillä määritellään esimerkiksi USART-väylien toiminta ja A/D-muuntimien asetukset.

5.2 Ohjelman rakenne

Prossessorilla oleva ohjelma alkaa prosessorin alustuksilla. Niissä määritellään mm. UART-väylien ja A/D-muuntimen toiminta. Tämä on siis se ohjelmapätkä jonka ohjelmointiympäristö luo prosessorille.

Seuraavaksi avataan AT-moodi XBee-moduulilla ja luetaan XBeeltä sen nimi ja ID-osoite kahdessa osassa prosessorin muistiin. AT-moodi suljetaan ja lähetetään painanturille komennot, joilla varmistetaan että anturi on kiertokysely tilassa, eli se lähettää dataa vain pyydettyäessä. Tästä alkaa ikuinen silmukka jota prosessori käy läpi niin kauan kuin sillä on käyttöjännite.

Alussa luetaan UART-puskurit, eli tutkitaan onko paineanturi tai XBee-moduuli lähettänyt tietoa prosessorille. Jos paineanturi on lähettänyt viestin, se edelleen lähetetään suoraan XBee-moduulille ja sieltä tietokoneelle. Jos XBee-moduuli on lähettänyt viestin, luetaan se ja tutkitaan if-lausekkeilla, mikä komento on kyseessä. Tätä varten

toteutin oman protokollan, joka tarkemmin liitteenä 2. Jos komento on menossa anturille, lähetetään komentoa vastaava viesti tätä varten tehdyllä funktiolla merkkijonona. Jos protokollan mukainen viesti on tarkoitettu prosessorille, se toimii komennon mukaan esimerkiksi lähettämällä tietokoneelle laitteen jännitetason tai nimen.

Verkon vahvuutta mitattaessa täytyy XBee-moduuli asettaa taas AT-moodiin ja AT-komennolla kysyä edellisen vastaanotetun viestin aikana ollut signaalin voimakkuus. XBee-moduuli otetaan pois AT-moodista ja signaalin voimakkuus lähetetään XBee-moduulin kautta tietokoneelle. Kaikki tietokoneelle lähtevät viestit päättyvät aina merkkiin \r, jotta tiedetään mihin viesti loppuu.

Jokaisen ohjelmakierroksen lopussa pyydetään paineanturia lähettämään sen hetkinen paine. Kun viesti on vastaanotettu, voidaan tästä laskea paine baareina ja tallettaa se muuttujaan. Muuttujasta se voidaan lähettää sitä kysyttäessä.

Lisäksi koodi sisältää viisi funktiota. Ensimmäisellä funktiolla lasketaan tarkistussumma anturille lähetettäviin viesteihin. Vastaanotettaessa viestiä, ei tarkistussummaa tässä ohjelmassa tarkasteta, vaan luotetaan siihen että data on oikein. Tarkistussummaa käytetään tiedonsiirrossa kun halutaan olla täysin varmoja että tieto ei ole muuttunut tai jopa osa siitä kadonnut matkalla. Se muodostuu yhteen laskemalla kaikki siirrettävä data, muuttamalla summa toiseen komplementtiin ja ottamalla tästä luvusta viimeinen tavu. Tarkistus summa on siis luku väliltä 0-255.

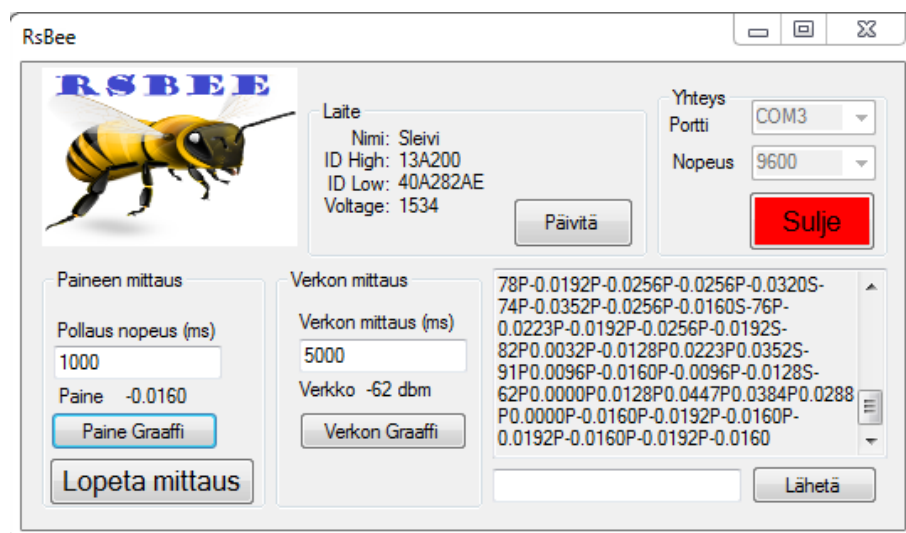
Seuraavalla funktiolla voidaan lähettää merkkijonoja anturille sekä XBee-moduulille. Funktiossa on molemmille toiminnoille oma kanava, joka voidaan syöttää funktioon jokaisen viestin mukana. Kolmas funktio vastaavasti lukee merkkijonoja vastaanottopuskureista. Samalla tavalla on tässä funktiossa molemmilla toiminnoilla oma kanava.

FloatToString-funktio muuttaa nimensä mukaisesti float-tyypin muuttujan merkkijonoksi. Tämä siitä syystä että lähetysfunktio ei pysty käsittelemään float-tietotyyppiä. Viimeisessä funktiossa kysytään anturin paine ja lasketaan siitä edellä mainitusti paine baareiksi.

5.3 Laitteen testausohjelma PC:lle

Sain toimeksiantajalta heidän käyttämänsä mittausohjelmiston. Se oli vuosia sitten ohjelmoitu juuri paperikoneen nippivoimamittauksia varten. Ohjelmaa tulisi kuitenkin hieman muuttaa langattoman tiedonsiirron vuoksi ja ohjelma on ollut muutoinkin tarkoitus ohjelmoida uudelleen. Tämä ohjelma ei kuitenkaan käynnistynyt omalla tietokoneellani, enkä kotiloissa voinut laitettani testata kuin XCTU:lla, XBee moduulin omalla ohjelmistolla, jossa kaikki liikkuva data näkyy vain listana. Tästä harmistuneena päätin ohjelmoida itselleni Windows ympäristössä toimivan testausohjelman, jotta voisin varmistua laitteen lähettämän datan virheettömyydestä.

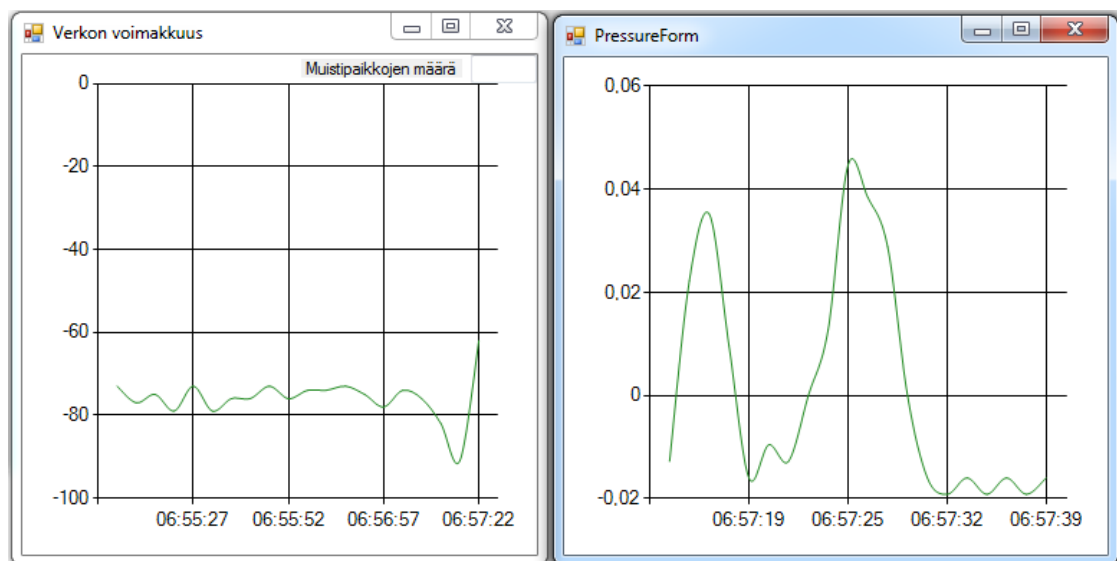
Suunnittelin ohjelman Visual Studio 2013:lla. Käytin ohjelmointiin C# kieltä ja Windows form suunnittelutyökaluja. Ohjelmalla voi ottaa yhteyden mihin tahansa vapaana olevaan laitteeseen, joka on kytkettynä USB-liitäntään. Kun ohjelmalla on avattu tietoliikenneyhteys koordinaattori XBee-moduuliin, voidaan tietoa siirtää langattomasti, kuten aiemmissa luvuissa on kuvailtu. Ohjelma kysyy verkon signaalin voimakkuutta halutun ajan välein ja kertoo sen pääikkunassa. Kuviossa 15 oikeassa alanurkassa näkyvät tekstikentät ovat sarjaliikenteen seuraamista varten. Ylempi tekstikenttä vastaanottaa dataa ja alemmalla pienellä laatikolla sitä voi lähettää USB-porttiin. Oikeasta yläreunasta voidaan valita haluttu portti ja portin nopeus.



Kuvio 15. Testausohjelman pääikkuna.

Päivitä-nappia painamalla kysytään langattoman laitteen nimi, ID-osoite sekä käyttöjännite. Käyttöjännite näkyy kokonaislukuna, koska sille ei ole tehty tarvittavia luku muunnoksia.

Halutessaan voi avata ikkunan, josta verkon voimakkuutta voidaan seurata graafisesti ajan funktiona. Kun painetaan mittaus-painiketta, ryhtyy ohjelma kyselemään painetta langattomalta laitteelta. Tämänkin kyselyn syklin voi käsin vaihtaa ja sitä voi seurata sekä pääikkunasta että erikseen avautuvasta ikkunasta. Ikkunassa se piirretty ajan funktiona graafisesti kuten verkon voimakkuuskin omassa. Näistä ikkunoista on kuvankaappaus kuviossa 16.



Kuvio 16. Paineen ja verkonvoimakkuuden grafiikkaikkunat.

Tämän ohjelman kirjoittamisesta oli huomattava hyöty, sillä en ollut ennen liikennöinyt tietokoneella USB-yhteyden avulla. Vastaa tuli mm. ongelma viestien lukemisen kanssa. Jos tietokoneelle oli lähetetty monta viestiä ja ne olivat muistissa yhtenä jona, ei viestejä voinut erottaa toisistaan. Tähän ratkaisuksi keksin lisätä jokaiseen viestiin, joka langattomalta laitteelta lähetetään, lopetus merkin `\r`, rivin vaihdon. Näin pystyin lukemaan muistista niin kauan kunnes kyseinen merkki tulee vastaan. Ohjelman kirjoittaminen paransi siis laitteeni ohjelmistoa ja helpotti tulevan mittausohjelmiston ohjelmointia. Havaitsin myös verkon voimakkuuden grafiikkaa seuraamalla, että jos lähettävä ja vastaanottava laite ovat lähekkäin ja molemmissa on an-

tennit kiinni, ei verkko toimi. Tämä tapahtuu aina jos verkon vaimennus on vähemmän kuin -62dbm. Tällaista tilannetta ei tietysti suuressa tehdashallissa pääse tapahtumaan.

6 Tulokset

6.1 Tavoitteet ja saavutukset

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa laite, joka mahdollistaisi paperikoneen nippien käyttöpaineen mittaamisen langattomasti. Haluttiin myös tutkia ZigBee-verkon toimivuutta teollisuusympäristössä. Mittauksen muuttaminen langattomaksi lisäisi työturvallisuutta sekä säästäisi aikaa. Langattoman yhteyden toivottiin kantavan 200 metrin päähän, kun välissä on puoli metriä betonia, eli käytännössä muutaman seinän läpi. Laitteesta haluttiin akkukäyttöinen ja sen täytyi pystyä syöttämään paineanturille sen tarvitsema käyttöjännite, joka suunniteltiin toteutettavaksi sisäisellä hakkurijännitelähteellä. Lisäksi laitteesta haluttiin mahdollisimman pieni ja kestävä.

Laite saavutti sille asetetut tavoitteet ja siitä tuli toimiva kokonaisuus, mutta ZigBee-verkon toiminnan tutkiminen teollisuusympäristössä jäi työssä vähäiseksi. Kuviossa 17 on valmis tiedonsiirtolaitteisto.



Kuvio 17. Valmis laitepari.

Kuvassa 17 alempana oleva laite, joka on kytkettynä tietokoneeseen, sisältää valmiin Itead Studion valmistaman USB/UART-muuntimen, jossa UART-väylään on kytketty XBee-moduuli. Alkuperäisen suunnitelman mukaan tässä olisi käytetty samanlaista piirilevyä kuin päätelaitteessa, mutta koska käytössä oli jo työn alussa yksinkertainen halpa muunnin, ei nähty tarpeelliseksi monimutkaistaa asiaa. Muunnin on Foca 2.2, jota käytettiin alun perin XBee-moduulien parametroiintiin ja verkon testaukseen. Koska tietokoneeseen kytkettävältä laitteelta ei odotettu muuta kuin yksinkertaisuutta ja kustannustehokkuutta, ei omaa laitetta tähän käytetty vaan toteutettiin se kyseisellä muuntimella. Piirilevyllä on vain USB/UART-muunnin ja regulaattori, joiden tarkemmat kytkennät näkyvät liitteenä 3 olevassa kytkentäkaaviossa. Tällaisen piirilevyn tekeminen itse ei olisi ollutkaan järkevää. Laitteen tehtävä on siis vain yhdistää XBee-moduuli tietokoneeseen ja siinä se toimiikin mainiosti.

Päätelaitteena toimiva kuvassa 17 ylempänä näkyvä laite osoittautui toimivaksi kokonaisuudeksi. Se suunniteltiin ja kokoonpantiin täysin itse. Se sisältää XBee-moduulin tiedonsiirtoa varten, prosessorin datankäsittelyyn ja liikennöintiin, väylämuuntimen RS-232-väylän ja prosessorin UART-väylän välille, hakkurijännitelähteen, jolla syötetään laitteeseen liitettävälle paineanturille käyttöjännite sekä komponentteja käyttöjännitteen regulointiin ja suojaukseen.

6.2 XBee-moduuli ja ZigBee verkko

XBee-moduuli ja tiedonsiirto

XBee-moduuli osoittautui monipuoliseksi ja tulee löytämään käyttöä myös tulevilla projekteilla. Peer-to-peer-moodissa toimiessaan XBee-moduuli on yksinkertainen ja helppo käyttää, mutta silloin verkossa voi olla vain kaksi laitetta. Järjestelmää oli tarkoitus käyttää monen erillisen paineen mittaukseen samanaikaisesti, jolloin verkossa täytyisi olla useampi laite. Tämä onnistuisi kun laitteet asetettaisiin toimimaan mesh-verkossa ja kommunikointi tapahtuisi API-viestikehystä apuna käyttäen. Tätä ei

yrietyksestä huolimatta saatu toimimaan kuin yhteen suuntaan, tietokoneelta päätelaitteelle. Toiseen suuntaan verkko oli jostain syystä mykkä. Tämä muutos peer-to-peer-verkosta usean laitteen verkkoon ei ole muuta kuin muutos koodissa, ja se on edelleen tehtävissä, jos jatkokehitystä halutaan tehdä. Tällä hetkellä toinen paineennmittaus tapahtuu langallisesti, mutta se ei ole suuri ongelma, koska mittaus tapahtuu samalla puolella paperikonetta kuin paineanturi sijaitsee. Näin kaapelointi on lyhyt eikä tuota ongelmia.

Yksi syy mesh-verkon toimimattomuuteen löytyi laitteiston puolelta. Tietokoneohjelmaan tekemääni verkon voimakkuuden mittausta seuraamalla huomasin, että verkko hiljenee kun verkon vaimennus on vähemmän kuin -62dbm. Päätelmieni mukaan 300 mW lähetysteho on niin suuri, että vastaanottavan moduulin ollessa lähellä lähettävää moduulia, vastaanottimen vahvistin yliohjautuu ja signaali on tämän jälkeen käyttökelvoton. Antennit laitteista poistamalla tai laitteet kauemmas toisistaan siirtämällä saatiin verkko toimivaksi. Tätä en tiennyt, kun yritin mesh-verkkoa ohjelmoida, joten oletettavasti mesh-verkko olisi toiminut, jos laitteet olisivat olleen kauempana toisistaan. Käytännön sovelluksissa laitteet eivät kuitenkaan tulisi olemaan työpöydällä vierekkäin, jolloin verkon pitäisi toimia oikein. Mainittakoon, että antennin poistaminen radiolähettimestä ei ole suotavaa, sillä vahvistimelle syntyy näin epäsovitus, jolloin osa lähetystehosta heijastuu takaisin lähettimelle ja voi rikkoa sen.

ZigBee-verkon kantama

ZigBee-verkkoa oli tarkoitus mitata paperitehtaalla, mutta aikataulullisista syistä tästä luovuttiin. Toimeksiantajalle riitti tässä vaiheessa tieto, että verkko kantaa tavoitekantaman kaupunkiolosuhteissa. Päätelaite, johon oli kytketty paineanturi, jätettiin toimeksiantajan toimistoon ja kannettavaan tietokoneeseen kytkettyä ZigBee-moduulia kuljetettiin pitkin rakennusta ja yritettiin löytää paikkoja, joissa verkko katkeaisi. Rakennus on noin 100 metriä pitkä ja 80 metriä leveä. Toimisto sijaitsee noin puolessavälissä pidempää sivua. Rakennuksesta tai sen lähiympäristöstä ei löytynyt paikkaa jossa verkko ei olisi toiminut. Vastaanotin sijoitettiin esimerkiksi sähkökeskukseen ja teräskuoriseen hissiin ja verkon vaimentuma ei silti ollut merkittävä.

Päätettiin lähteä kävelemään laitteiston kanssa niin pitkälle että verkko katkeaa. Verkko kantoi noin 600 metrin päähän ennen kuin se katkesi. Verkko olisi epäilemättä kantanut pidemmälle, jos käytössä olisi ollut suunnattu antenni ja maan muoto olisi ollut suotuisampi. Maasto nimittäin laskee matkalla huomattavan määrän ja näköyhteyttä toimistoon, jossa päätelaite oli, ei enää ollut. Tämä 600 metrin kantama kuitenkin oli jo kolme kertaa niin suuri kuin tavoitteeksi oli asetettu, vaikka signaali kulki seinien ja puuston läpi. Tähän oltiin siis tyytyväisiä. Jatkokehityksessä on mahdollista kokeilla suunnattua dipoliantennia ja tavoitella pidempää kantomatkaa. Kyseisessä käyttötarkoituksessaan sillä ei ole kuitenkaan käytännön merkitystä, koska mittaus tapahtuu aina lyhyen kantaman sisällä.

6.3 Hakkurijännitelähde

Hakkurijännitelähde suunniteltiin toimimaan akkujen n. 4,8 voltilla ja tuottamaan 24 voltin jännite paineanturin käyttöjännitteeksi. Käyttöjännite anturille syötetään sarjaporttia pitkin. Todellinen käyttöjännite paineanturilla oli kuitenkin 12 V ja virheen huomattuani muutin hakkurijännitelähteestä yhden vastuksen, jolla sain muutettua hakkurin kytkentätaajuutta ja tätä kautta lähtöjännitettä. Hakkurijännitelähteen lähtöjännite osoittautui 0,13 V pienemmäksi kuin laskettu arvo olisi teoriassa. Virhe lähtöjännitteessä muodostuu komponenttien toleransseista, mutta virhe on niin pieni, ettei sillä ole toiminnalle minkäänlaista merkitystä. Paineanturi toimi myös korkeammalla jännitteellä ja testatessa 6,5 voltilla anturi vielä lähetti dataa, joten hakkurin tuottama jännite on nyt hyvä.

Hakkuriin toteutettiin myös kytkentä, jolla hakkurin saa pois päältä virransäästösyistä. Se toimii odotetulla tavalla ja sitä voidaan ohjata päälle tai pois XBee-yhteyden kautta. On myös mahdollista ohjelmoida prosessori niin, että hakkuri sammuu kun painemittausta ei tarvitse tehdä ja käynnistetään anturi vasta kun mittausjakso aloitetaan. Tämä on mahdollista koska hakkurijännitelähde ja anturi käynnistyvät reilusti alle sekunnissa. Täydellinen hakkuri ei silti ole, koska kun hakkuri on kytkettynä pois päältä, se päästää käyttöjännitteen akustolta suoraan hakkurin ohi. Tästä syystä syntyy aina tehohäviöitä, jos mikä tahansa kuorma on kytkettynä laitteeseen.

Tämä olisi ollut ratkaistavissa yhdellä kanavatransistorilla, joka toimisi kytkimenä. Sitä voitaisiin ohjata samalla signaalilla kuin hakkuripiiriäkin. Mittauksieni mukaan hakkurijännitelähteen sammuttaminen pienensi laitteen ottamaa kokonaisvirtaa 20 mA käyttöjännitteen ollessa 6 V, josta voidaan laskea että hakkuri kuluttaa 0,12 W tehon jouten olollaan. Tehon kulutus ei ole valtava, mutta akkukäyttöisissä laitteissa kaikki ylimääräinen toiminta lyhentää laitteen käyttöaika.

6.4 Kotelointi

Laite oli tarkoitus rakentaa mahdollisimman pieneen koteloon. Kotelovalinta oli osin huono, sillä akusto ei enää mahtunutkaan samaan koteloon muun laitteiston kanssa. Akusto sijoitettiin toiseen koteloon, joka mahdollisti että akkujen tyhjentyessä voidaan mittauksia jatkaa akkupaketti vaihtamalla.

Suunniteltu piirilevy piirrettiin vain alle millimetrin pienemmäksi joka suunnalta kuin kotelon sisämitat ovat. Piirilevy mahtui koteloon täydellisesti, mutta kokoonpanovaiheessa turhan ahdas sovitus vaikeutti johtimien ja kaapeleiden pujottelua piirilevyn ja kotelon välistä. Alun perin piirilevylle juotetut johtimet täytyi irrottaa ja muuttaa ne liittimillä kiinnitettäväksi, koska johtimet eivät mahtuneet olemaan kotelossa piirilevyn asennusvaiheessa ja niitä ei voitu enää juottaa kun piirilevy on kotelossa. Tämä muutos mahdollisti laitteen kokoonpanon ja helpottaa huomattavasti laitteen huoltoa, kun laitteen voi purkaa ilman juottamista.

6.5 Ohjelmointi

Laitteen ohjelmointi oli luonnollisesti osa opinnäytetyötä. Laite ohjelmoitiin C-kielellä ja ohjelmasta tuli selkeä ja toimiva. Laitetta voidaan ohjelmansa vuoksi käyttää erilaisiin painemittauksiin ja sillä voidaan lukea paine valmiiksi muutettuna desimaaliluvuksi tai raakana anturilähettämänä datana. Anturille voidaan asettaa myös erilaisia mittaussyklejä, joita laite lähettää automaattisesti tietokoneelle. Laitteistolle voidaan suorittaa parametrinteja sekä ohjauksia langattomasti, jolloin järjestelmän toimintaa voidaan muuttaa ja soveltaa erilaisiin mittauksiin.

Sivutyönä valmistui myös PC-ohjelma, jolla laitteistoa voidaan testata. Sillä voidaan lukea painetta päätelaitteella olevalta paineanturilta sekä tutkia ZigBee-verkon voimakkuutta graafisesti kuvattuna. Ohjelmalla voidaan myös lähettää ja vastaanottaa mitä tahansa dataa sarjaliikenneväylään sekä lukea päätelaitteen osoite, nimi ja käyttäjännite. Päätelaitteen hakkurijännitelähteen voi kytkeä päälle tai pois lähettämällä sarjaporttiin komennon SP0 tai SP1.

7 Pohdinta

Laitteelle osoitetuista tavoitteista ehdottomasti tärkeimmät olivat työturvallisuuden parantaminen ja mittausten nopeuttaminen. Työturvallisuus paranee varmasti, mutta mittausten nopeutuminen tulee selviämään, kun laite pääsee kentällä jatkuvaan käyttöön. Muut tavoitteet olivat lähinnä asioita jotka mahdollistivat laitteen toiminnan tai ovat toimeksiantajayritykselle eduksi. Esimerkiksi ZigBee-verkon kantamaa oli mielenkiintoista tutkia vaikkei siihen juuri parannuksia voikkaan tehdä. Verkon tutkiminen joka tapauksessa auttoi ymmärtämään langatonta viestintää ja siihen liittyviä ongelmia ja ilmiöitä. Verkon hiljentyminen liian suuren lähetystehon vuoksi auttoi minua ymmärtämään antennien ja lähetystehon vaikutuksia langattomaan verkkoon.

Opinnäytetyö oli tekijälleen mielenkiintoinen ja innostava. Eniten kehitystä tapahtui piirilevysuunnittelussa ja ohjelmoinnissa. Kumpaakin olin entuudestaan tehnyt, mutta esimerkiksi teollisesti valmistettua piirilevyä en koskaan ollut päässyt toteuttamaan, vaan kaikki aiemmat piirilevyt oli jyrskitty prototyyppiijyrkimellä. Piirilevyn onnistuminen ensiyrittämällä poisti epävarmuutta suunnittelusta ja auttaa jatkossa keskittymään olellisiin asioihin seuraavien piirilevyjen kanssa. UART-väylän ja sarjalikenteen toiminnan ymmärtäminen laajensi mahdollisuuksiani suunnitella yhä monimutkaisempia laitteita ja mahdollisti kommunikoinnin tietokoneen kanssa.

Ongelmanratkaisu taidot kehittyivät myös, kun opin jakamaan ongelmat pieniin osaluokkiin ja kirjoittamaan itselleni muisti- ja tehtävälistoja. Nämä tietenkin olivat entuudestaan tuttuja asioita, mutta eivät olleet vakiintuneet työskentelyyni. Näitä tekniikoita hyödyntäen työnteko ei pysähtynyt jos vastaan tuli ylitsepääsemätön ongelma.

Lähteet

ProTest engineering verkkosivu. Viitattu 5.10.2015. <http://www.pte.fi/fi>

The RS232 standard. Christopher E. Strangio. Viitattu 6.4.2016 http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html

XCTU Next Generation Configuration Platform for XBee/RF Solutions. Viitattu 5.10.2015. <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>

Billings, K., Morey, T. 2011. Switchmode power supply handbook. Kolmas painos.

Texas instruments 2006. LM27313/-Q1 1.6-MHz Boost Converter With 30-V Internal FET Switch in SOT-23. LM27313 datalehti. Viitattu 4.2.2016 <http://www.ti.com/lit/ds/snvs487e/snvs487e.pdf>

XBee Pro 868. N.d. Viitattu 4.2.2016. <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/modules/xbee-pro-868#specifications>

Paperin ja kartongin valmistus. VTT Industrial Systems. 2005. Viitattu 29.3.2016. http://www.knowpap.com/www_demo/suomi/paper_technology/general/5_papermaking/frame.htm

Pressure Transmitters for Precision Measurement with Digital Output RS 232. 2008. Viitattu 4.2.2016. http://en-co.wika.de/upload/DS_PE8133_en_co_1587.pdf

The Modem of Dennis Hayes and Dale Heatherington. Georgi Dalakov Viitattu 24.2.2016. <http://history-computer.com/ModernComputer/Basis/modem.html>

XBee™ Gateway User's Guide. 2014. Viitattu 24.2.2016. http://ftp1.digi.com/support/documentation/html/90001399/90001399_A/Files/XBee-concepts.html

XBee Command Reference Tables. 2010. Viitattu 24.2.2016. http://examples.digi.com/wp-content/uploads/2012/07/XBee_ZB_ZigBee_AT_Commands.pdf

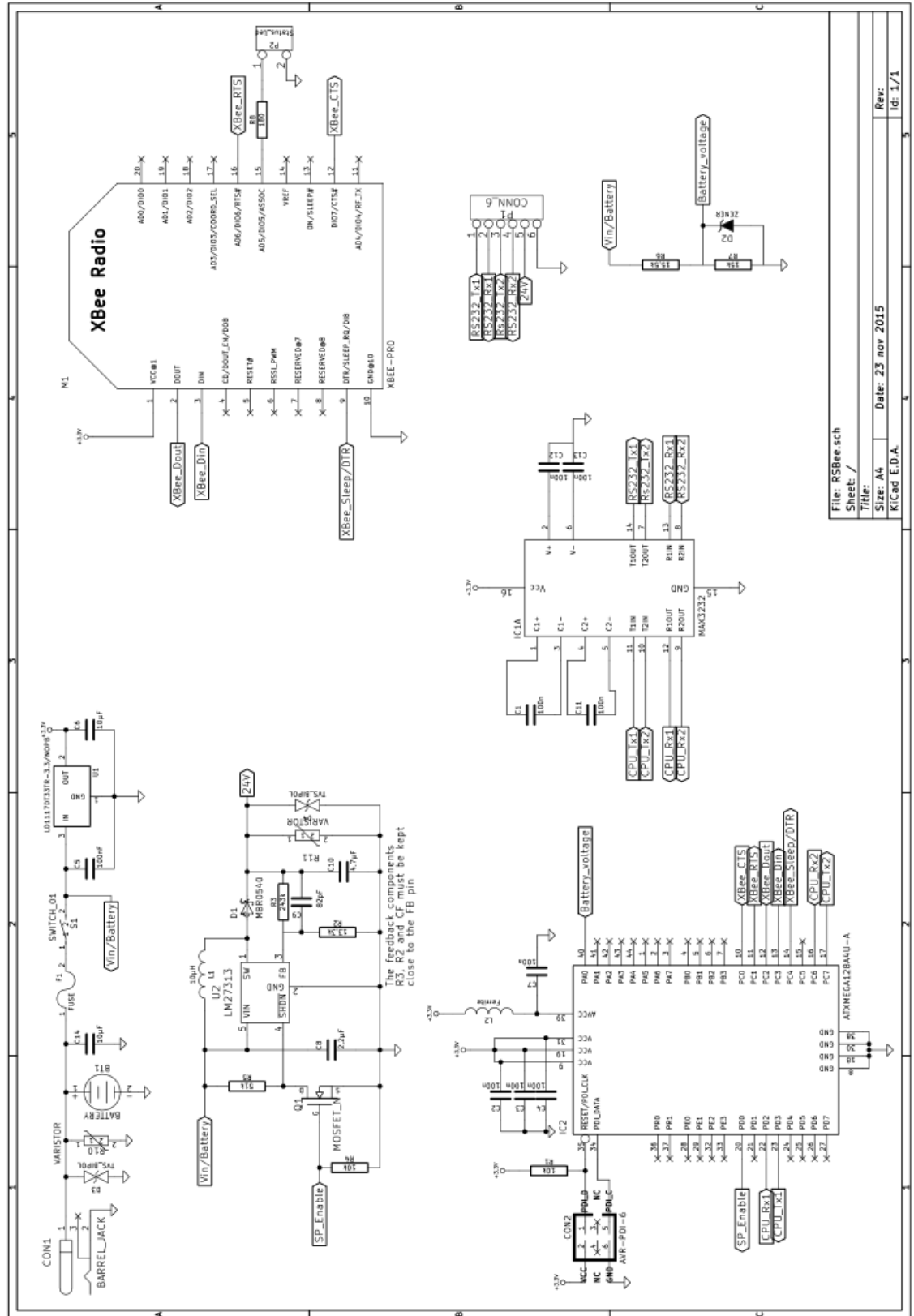
Valtanen, E. 2010. Tekniikan taulukkokirja. 18. p, Genesis-Kirjat

ZigBee Alliance. Viitattu 16.3.2016 <http://www.zigbee.org/>

900 MHz versus 2,4GHz, Digi International Inc <http://www.digi.com/resources/standards-and-technologies/rfmodems/frequency-comparison>

Liitteet

Liite 1. KytKentäkaavio



File: RSBee.sch
 Sheet: /
 Title: /
 Size: A4
 Date: 23 nov 2015
 K/Cad E.D.A.
 Rev: /
 Nr: 1/1

Liite 2. Laitteen komentoprotokolla

Komento	Toiminto	Vastaus esim.
W1	pollaustilaan	
W2	cyclical output of pressure	
W3	cyclical output of pressure and temperature	
W4	DMU's lower limit of range (MBA)	
W5	DMU's upper limit of range (MBE)	
W6	pressure value as physical unit	
W7	pressure value in digits	
W8	temperature value	
W9	instrument number	
SP0	Hakkuri päälle	-
SP1	Hakkuri pois	-
ID	XBee ID High ja ID Low	12345678
name	Lähetää laitteen nimen	nimi
volt	Jännite	int 12-bit
RSS	verkon vahvuus	S-62\r
+++ (100ms) ATDB(ATCN)	Coordinaattorin verkon vahvuus	0x50
P1	Paine baareina. 3 desimaalia.	P0.000\r

Liite 3. Itead Studio Foca muuntimen kytkentäkaavio

