



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jeremias Soini

# LANGATTOMAN LIKEMITTAUKSEN KEHITTÄMINEN

Case, Wärtsilä Oy, Moottorilaboratorio

Tekniikka  
2015

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tietotekniikan koulutusohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jeremias Soini
Opinnäytetyön nimi	Langattoman liikemittauksen kehittäminen
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	41
Ohjaaja	Jukka Matila

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Wärtsilä Oy:lle langaton liikkeenmittausjärjestelmä. Wärtsilällä oli aiemmin tapa mitata liikettä langattomasti, mutta tämä tapa ei vastannut nykypäivän vaatimuksia. Vanha tapa liikkeenmittaukseen vaati kaksi analogista lähetintä, uudessa menetelmässä analoginen lähetys muutetaan digitaaliseksi.

Opinnäytetyön piirilevy suunniteltiin EAGLE-ohjelmistolla ja laitteiston koodi kirjoitettiin C-kielellä käyttäen Atmel Studio ohjelmistoa. Laitteiston mikrokontrollerina toimii ATmega32-M1, jolla luetaan ohjelmisto SPI-väylää käyttäen kahden 32-bittistä LS7366R-pulssilaskuria. Laskureilta saatu data lähetetään laitteisto SPI-väylää käyttäen nRF2401-radiolähtettimele.

Opinnäytetyön tuloksena kehitettiin laitteisto ja ohjelmisto, jolla voidaan mitata liikettä yhdellä laitteistolla aikaisemmin käytössä olleiden kahden laitteen sijaan.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Tietotekniikan koulutusohjelma

## ABSTRACT

Author	Jeremias Soini
Title	Telemetry system for incremental quadrature sensors.
Year	2015
Language	Finnish
Pages	41
Name of Supervisor	Jukka Matila

---

This thesis was made for Wärtsilä engine laboratory of Vaasa. The purpose of thesis was to create hardware that measures movement and can be placed inside of Wärtsilä engines for special measurements. The hardware has to be able to withstand the challenges inside the engine. Although Wärtsilä Oy already had a method to measure movement wirelessly, this method was not up to today's requirements.

Circuit board for this thesis was created with EAGLE and the software for microcontroller is written with C-language. Hardware uses an ATmega32-M1 as microcontroller, which uses software SPI to read the values of two 32-bit quadrature counters. The value of counters is sent using hardware SPI to nRF2401-transceiver.

As a result of this thesis, a telemetry system for incremental quadrature sensors was created which can be used for measuring movement.

---

Keywords                    embedded systems,                    C-language, electronics, SPI

## SISÄLLYS

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

1	JOHDANTO .....	8
2	TYÖN TAUSTA.....	9
	2.1 Wärtsilä Oy .....	9
	2.1.1 Moottorilaboratorio .....	9
	2.2 Liikkeenmittauksen toiminta .....	10
	2.3 Käytössä oleva ratkaisu liikkeen mittaukseen .....	11
3	LAITTEISTON MÄÄRITTELY JA SUUNNITTELU.....	12
	3.1 Vaatimusmäärittely .....	12
	3.2 EAGLE-ohjelmiston valinta .....	13
	3.3 Atmel Studio 6 valinta .....	13
	3.4 C-ohjelmointikieli .....	14
	3.5 Serial Peripheral Interface.....	14
	3.5.1 Datan siirto SPI-väylässä .....	15
	3.5.2 Orjalaitteen valinta .....	16
	3.6 Käytettyjen komponenttien valinta .....	18
	3.6.1 ATmega32M1 .....	18
	3.6.2 nRF24L01 radiopiiri.....	19
	3.6.3 LS7366R-pulssilaskuri.....	20
4	PIIRILEVYN TOTEUTUS.....	21
	4.1 Uusien komponenttien luonti EAGLE-ohjelmistossa.....	21
	4.2 Piirikaavion piirtäminen.....	23
	4.3 Piirilevyn ja langattoman lähettimen virransyöttö ja suojaus .....	23
	4.4 Mikrokontrolleriin liitettävät komponentit .....	25
	4.4.1 nRF24L01-radiopiiri .....	25
	4.4.2 Ohjelmointipinnit .....	27
	4.4.3 LS7366-laskuri.....	27
	4.5 Piirilevyn piirto .....	28

5	OHJELMISTON TOTEUTUS.....	30
5.1	SPI-alustus .....	31
5.2	Keskeytyksen alustaminen.....	32
5.3	Ohjelmoitu SPI-väylä ja laskurien arvojen lukeminen .....	33
5.3.1	Ohjelmoidun SPI-väylän luominen.....	34
5.3.2	Laskureiden alustaminen ja arvojen lukeminen.....	35
5.4	Radiopiirin ohjelmointi.....	36
5.4.1	Langattoman lähetyksen alustaminen .....	36
5.4.2	Datanlähettäminen radiopiirillä.....	36
6	TESTAUS .....	38
7	YHTEENVETO .....	41
	LÄHTEET.....	42
	LIITTEET	

## LYHENTEET JA TERMIT

<b>Debuggaus</b>	Virheenpoisto koodista.
<b>Telemetry</b>	Langatonta laitetiedon lähettämistä.
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface. Synkroninen ja sarjamuotinen tietoliikenneväylä.
<b>MOSI</b>	SPI-protokollan väylä, jossa isäntälaitte siirtää data orjalaitteelle.
<b>MISO</b>	SPI-protokollan väylä, jossa orjalaitte siirtää dataa isäntälaitteelle.
<b>SS</b>	Slave Select SPI-protokollan orjavalinta.
<b>SCK</b>	SPI-protokollan kellopulssiväylä.
<b>Enkooderi</b>	Laitte joka muuttaa informaatiota helpoimmin siirrettäväksi.

## KUVIOLUETTELO

<b>Kuvio 1.</b>	Anturin luomaa A- ja B-pulssia magneettinauhasta	s.9
<b>Kuvio 2.</b>	SME-11 anturin mekaanisia tietoja	s.9
<b>Kuvio 3.</b>	Esimerkki SPI-väylä kommunikaatiosta jossa data luetaan kellosignaalin nousevalla reunalla	s.13
<b>Kuvio 4.</b>	Datasiirto menetelmä SPI-väylässä	s.14
<b>Kuvio 5.</b>	Esimerkki SPI-väylästä jossa jokaisella orjalaitteella on oma SS-väylä.	s.15
<b>Kuvio 6.</b>	Esimerkki SPI-daisy-chain menetelmästä	s.16
<b>Kuvio 7.</b>	Atmega32M1-mikrokontrollerin komponenttikuva	s.17
<b>Kuvio 8.</b>	Radiopiirin komponenttikuva	s.18
<b>Kuvio 9.</b>	Esimerkki X4 laskusta	s.19
<b>Kuvio 10.</b>	Piirikaavion symbolikuva regulaattorista	s.20
<b>Kuvio 11.</b>	Komponenttikuva regulaattorista mittoineen	s.21
<b>Kuvio 12.</b>	Piirikaaviosymbolin ja komponentin jalkojen liittäminen	s.21
<b>Kuvio 13.</b>	LS7366-laskurin valmistajan lupaamat laskutaajuudet	s.22
<b>Kuvio 14.</b>	Sisääntulovirran suojausdioidit ja regulaattori kondensaattoreineen	s.23
<b>Kuvio 15.</b>	Langattoman lähettimen 3.3 voltin regulaattori kondensaattoreineen	s.23
<b>Kuvio 16.</b>	Icraftin valmistama radiopiiri	s.24
<b>Kuvio 17.</b>	Ohjelmointipinnien suojaukset	s.25
<b>Kuvio 18.</b>	Mikrokontrolleri ja siihen liitettävät komponentit	s.26
<b>Kuvio 19.</b>	Kuva valmiista piirilevystä mittoineen	s.27
<b>Kuvio 20.</b>	Lohkokaavio laitteen toiminnasta	s.28
<b>Kuvio 21.</b>	ATmega32M1 alustaminen SPI-isäntälaitteeksi	s.29
<b>Kuvio 22.</b>	Keskeytyksien alustaminen	s.30
<b>Kuvio 23.</b>	Oskilloskooppikuva laskureiden lukemisesta	s.31
<b>Kuvio 24.</b>	Ohjelma SPI-pinnien määritelmät ATmega32M1:ssä	s.32
<b>Kuvio 25.</b>	Ohjelma SPI-pinnien toimintojen makrotukset	s.32
<b>Kuvio 26.</b>	Laskureiden alustus	s.33
<b>Kuvio 27.</b>	Laskureiden lukufunktio	s.33
<b>Kuvio 28.</b>	Radiopiirin alustus funktiot	s.34
<b>Kuvio 29.</b>	Datan lähetysfunktio radiopiirillä	s.34
<b>Kuvio 30.</b>	Oskilloskooppikuva SPI-väylässä siirtyvästä datasta mikrokontrollerilta radiopiirille	s.35
<b>Kuvio 31.</b>	Laitteen testauskuva jossa anturia on liikuteltu edestakaisin magneettinauhalla	s.36
<b>Kuvio 32.</b>	Esimerkki kvadratuuripulssista	s.37
<b>Kuvio 33.</b>	Mittausdata jossa pulssilaskuri ei pysy mukana	s.38

## 1 JOHDANTO

Wärtsilä Oy tarvitsi uuden menetelmän mitata kulma- ja lineaariliikettä, sillä vanha menetelmä ei vastannut enää nykypäivän vaatimuksia. Vanha menetelmä tarvitsi kaksi analogista lähetintä, joilla liikkeenmittausantureiden A- ja B- pulssia lähetettiin eteenpäin. Vanhan menetelmän merkittävin epäkohta oli analogiset lähettimet.

Analogisen lähetyksen heikkoutena on ollut lähettimien alhainen kaistanleveys. Koska analogisten lähettimien kaistanleveys on vain 5 kHz, on Wärtsilä Oy joutunut laskemaan mittausten resoluutiota. Pulssienkooderien A- ja B-pulssin taajuus saattaa olla jopa 10 MHz. Tästä voidaan todeta, että uudelle mittausjärjestelmälle on tarvetta.

Uuden langattoman laitteiston kehittäminen lähti liikkeelle ajatuksesta hyödyntää Wärtsilä Oy:n käytössä ja omistuksessa olevaa langatonta lämpötilamittausjärjestelmää. Omistamisen johdosta Wärtsilällä on piirustukset lämpötilamittauslaitteiston piirikaavioihin ja piirilevy-suunnitelmiin. Koska lämpötilamittauslaitteisto on toiminut moitteettomasti, syntyi idea luoda liikkeenmittauslaitteisto sen pohjalta.



## **2 TYÖN TAUSTA**

### **2.1 Wärtsilä Oy**

Wärtsilä Oy on kansainvälinen merenkulun ja energiamarkkinoiden voimaratkaisujen toimittaja. Wärtsilä valmistaa diesel- ja kaasumoottoreita, laivojen tai sähkövoimaloiden moottoreiksi. /15/

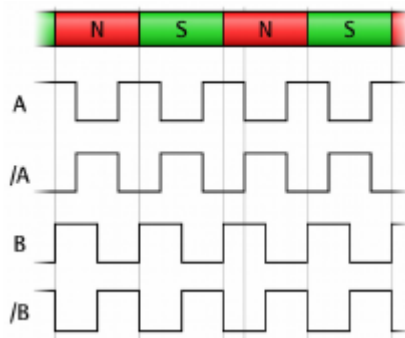
#### **2.1.1 Moottorilaboratorio**

Vaasan moottorilaboratorio on osa Wärtsilän tuotekehitystä, jossa suoritetaan tuotesuunnittelua, koe- ja testiajoa. Vaasan moottorilaboratoriossa on neljä moottorisolua, joissa jokaisessa työstetään erilaisia moottoreita. Wärtsilä valmistaa niin diesel- ja kaasumoottoreita kuin myös kaksoispolttoainemoottoreita, joita voidaan ajaa joko kaasulla tai dieselillä. Wärtsilän moottoreiden pienin männän halkaisija on 20 senttimetriä, kun taas suurimmissa moottoreissa männän halkaisija voi olla jopa 50 senttimetriä. /16/

Moottorilaboratoriossa tehdään paljon mittauksia liittyen tuotekehitykseen ja epätavallisempia mittauksia varten Wärtsilällä on Vaasan moottorilaboratoriossa erikoismittaustiimi. Erikoismittaustiimin työtehtäviin kuuluu erikoismittausten suunnittelu, toteutus, tulosten kerääminen ja analysointi. Erikoismittaukset saattavat olla lämpötilan mittaamista hankalista paikoista, kuten männästä moottorin käydessä. Tämän työn langaton liikkeenmittausjärjestelmä on suunnattu Wärtsilän moottorilaboratorion erikoismittauksiin.

## 2.2 Liikkeenmittauksen toiminta

Liikkeenmittaus pohjautuu kahteen eri komponenttiin, magneettinauhaan jossa on tiheällä vaihteluvälillä etelä- ja pohjoisnavan vaihtelua ja anturiin joka nämä vaihtelut pystyy tunnistamaan. Käytännönmittauksissa toinen komponenteista toimii referenssinä, niin sanottuna nollakohtana ja toinen komponentti liikkuu jolloin anturi alkaa luomaan pulsseja. Anturi luo A- ja B-pulssia jota syntyy liikkeestä magneettinauhan ja anturin välillä (**Kuvio 1.**) /9/



**Kuvio 1.** Menetelmä jolla A- ja B-pulssi luodaan magneettinauhasta. /8/

Liikemittaukseen on olemassa useita antureita joilla mittauksen resoluutiota voidaan kontrolloida. Lika electronicin tarjoamaa SME11-anturia on muun muassa tarjolla viidellä eri resoluutiolla (**Kuvio 2.**) /10/

MECHANICAL SPECIFICATIONS	
Dimensions:	see drawing
Housing:	die cast aluminium, UNI EN AC-46100
Connection:	Lika Hi-flex cable M8, 2,0 m
Gap sensor-magnetic tape (without cover strip):	0,1 ÷ 0,4 mm
Travel speed:	max 16 m/s (mechanical)
Resolution:	0,01 / 0,005 / 0,002 / 0,001 / 0,0005 mm
System accuracy:	±15 µm max.
Repeatability:	±1 increment

**Kuvio 2.** SME11-anturin mekaanisia tietoja. /10/

### 2.3 Käytössä oleva ratkaisu liikkeen mittaukseen

Wärtsilä Oy on tähän asti mitannut liikettä langattomasti kahta analogista 5 kHz lähetintä käyttäen. Tapa on kuitenkin osoittautunut epäkäytännölliseksi sen alhaisen kaistanleveyden sekä käytön rajallisuuden vuoksi. Analogisten lähettimien kaistanleveys on vain 5 kHz, kun pulssianturit voivat saada pulsseja jopa 10 MHz:in taajuudella. Tarkimman anturin pulssitarkkuus saattaa olla 0.0005 mm eli 2000 pulssia millimetriä kohden. /10/

$$\frac{1mm}{0.0005mm} = 2000 \quad (1)$$

$$2000 \frac{p}{mm} \times \frac{5m}{s} = 10 MHz \quad (2)$$

Kaavassa 1 lasketaan pulssien määrän yhtä millimetriä kohti ja kaavassa 2 lasketaan teoreettinen pulssitaajuus. Wärtsilän moottoreissa 5 m/s on suhteellisen hitasta liikettä, sillä moottorin mäntä saattaa liikkua jopa 14 m/s. Kuten seuraavasta kaavasta (3) huomaamme, nykyisellä analogisella menetelmällä voidaan mitata vain 5 mm/s nopeudella, koska lähettimien taajuus yhteensä on 10 kHz.

$$\frac{5kHz+5kHz}{2000 p /mm} = 5mm/s \quad (3)$$

Analogisten lähettimien hitaudesta johtuen Wärtsilän moottorilaboratorio on joutunut laskemaan mittauksissa antureiden pulssitarkkuutta. Uudelle nykyaikaisemmalle laitteelle on tarvetta, jotta mittauksien tarkkuutta ei tarvitse laskea.

### 3 LAITTEISTON MÄÄRITTELY JA SUUNNITTELU

#### 3.1 Vaatimusmäärittely

Kun laitteiston suunnitteluprojekti käynnistettiin, esiin nousivat seuraavat vaatimukset: laitteiston tulee kestää öljyä, lämpöä sekä kiihtyvyyttä ja sen on lisäksi oltava suhteellisen pieni.

Öljyä uuden laitteiston on kestettävä, sillä laitteisto tullaan sijoittamaan moottorin sisäpuolelle, missä se on jatkuvasti kosketuksissa öljyyn. Wärtsilällä käytössä oleva lämpötilatelemetria on myös moottorin sisäpuolelle sijoitettava laite ja koska varmuudella tiedetään laitteiston kestävän öljyä, oli samaa kotelointia järkevää käyttää myös uudessa laitteistossa.

Lämpötilan asettamat haasteet oli myös otettava huomioon laitteiston vaatimuksia määriteltäessä, sillä Wärtsilän moottoreiden lämpötilat nousevat nopeasti korkeiksi. Vaatimusmäärittelyssä päätettiin, että tulevan laitteiston on kestettävä vähintään 80 celsiusastetta, jolloin komponenttien valintavaiheessa oli jokaisen komponentin kohdalla tarkastettava sen lämpötilan kestävyys datalehdestä.

Kiihtyvyyttä ja nopeaa liikettä Wärtsilän moottoreissa esiintyy useissakin moottorin osissa. Laitteiston on kestettävä suuria määriä kiihtyvyyttä sekä nopeita liikkeitä ja vaatimusmäärittelyyn päädyimme asettamaan laitteistovaatimukseksi 250 G-voiman kiihtyvyyden keston.

Tulevan laitteen koko oli myös huomioitava. Wärtsilän pienimmän moottorin männän halkaisija on 200 millimetriä, joka asetti laitteelle maksimikoon. Jotta laitetta voidaan hyödyntää pienimmissäkin moottoreissa, eivät sen ulkomitat saa ylittää 200 millimetriä. Tuleva laitteisto tullaan pääsääntöisesti kiinnittämään männään, jolloin laitteiston on oltava suhteellisen pieni.

Laitteessa tulee myös olla mahdollisuus valita mekaanisesti laskureiden pulssien lukutila X1 ja X4 väliltä. Näin ollen laitetta ei tarvitse uudelleen ohjelmoida mikäli laskurin lukutilaa täytyy vaihtaa.

### **3.2 EAGLE-ohjelmiston valinta**

Piirikaavio- ja piirilevysuunnitteluohjelmaksi valittiin EAGLE, joka on viimeisten vuosikymmenen vuoden aikana saavuttanut asemansa yhtenä suosituimmista piirikaavio- ja piirilevysuunnitteluohjelmista /14/. EAGLE on suuren suosionsa vuoksi hyvä valinta, sillä sille on saatavilla suuri valikoima muiden käyttäjien luomia käyttöohjeita. Myös ohjelman kehittäjän CadSoftin omalta verkkosivulta löytyy erittäin hyvä ohjekirja sekä havainnollistavia opetusvideoita. Verkosta löytyy myös useita ohjelmistoa käsitteleviä foorumi-sivustoja, joille EAGLE-käyttäjät kirjoittavat ongelmistaan ja kokeneemmat käyttäjät auttavat ongelmanratkaisussa. CadSoft tarjoaa lisäksi puhelinpalvelun, jossa käyttäjä pääsee keskustelemaan ongelmistaan EAGLEen erikoistuneen ammattilaisen kanssa. /6/

EAGLEn valintaan vaikutti myös CadSoftin EAGLEsta tarjoama light versio, joka ei vaadi maksullista lisenssiä, mikäli piirilevy koostuu yhdestä piirikaaviosta ja piirilevy on maksimissaan kaksipuolinen ja mitoiltaan alle 100 mm \* 80 mm /8/. Muut vastaavien ohjelmistojen tarjoajat, kuten PADS PCB design software ja Altium: PCB Desing tools, tarjoavat ainoastaan lisenssivapaata koekäyttöä.

### **3.3 Atmel Studio 6 valinta**

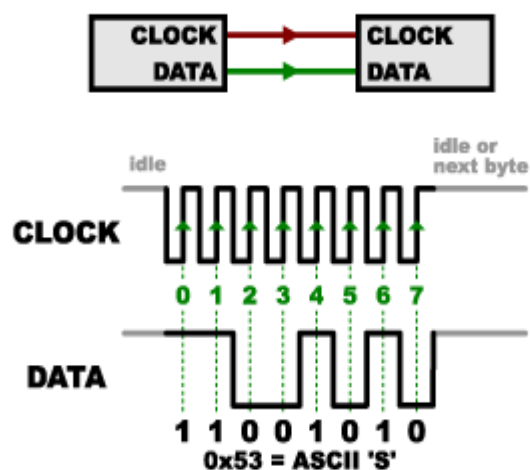
Atmel Studio on kaikille 8- ja 32-bittisille mikro-ohjaimille suunnattu ohjelmointi- ja virheenpoistotyökalu. Atmel Studion valintaan vaikutti laajan käyttäjätuen lisäksi se, että ohjelmisto ei tarvitse maksullista lisenssiä /3/. Atmel Studio on myös helppokäyttöinen ohjelmisto ja ohjelman asennuspaketissa tulee mukana laitekääntäjä. Kääntäjä on ohjelmointikielissä tärkeä komponentti, joka muuntaa ihmisen kirjoittaman koodin tietokoneen tai mikrokontrollerin ymmärtämään muotoon.

### 3.4 C-ohjelmointikieli

C-kieli on ohjelmointikieli joka mahdollistaa rekistereiden muuttamisen bittitasolla ja on laiteläheisyytensä ansiosta hyvä valinta sulautettuihin järjestelmiin, joissa käytetään usein pienimuistisia mikrokontrollereita. C-ohjelmointikieli on myös hyvin ohjelmoijaläheinen ohjelmointikieli, joka pyrkii vastaamaan oikean ihmisen kanssa käytyä kommunikaatiota. /4/

### 3.5 Serial Peripheral Interface

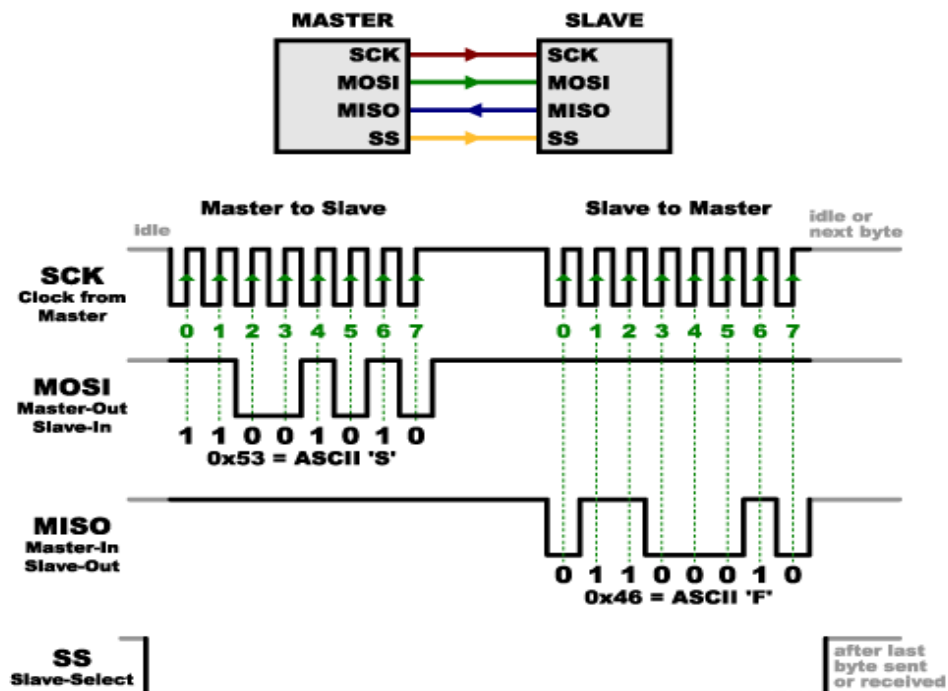
Serial Peripheral Interface on synkroninen datansiirtoprotokolla, joka käyttää kellopulssitusta datansiirtoon. Yleisesti SPI-väylää käytetään kommunikaatioon mikrokontrollerin ja toisen komponenttien välillä, kuten esimerkiksi tässä työssä käytetyn radiopiirin välillä. SPI-protokolla vaatii yhden tasaista kello-signaalia luovan isäntälaitteen, jonka tahdissa orjalaitteen ja isäntälaitteen välinen kommunikointi tapahtuu. SPI-protokollassa voi olla useita orjalaitteita, mutta vain yksi isäntälaitte. Isäntälaitteen luoman kello-signaalin nousevalla ja laskevalla reunalla voidaan siirtää dataa (**Kuvio 3.**). /11/



**Kuvio 3.** Esimerkki SPI-väylä kommunikaatiosta jossa data luetaan kello-signaalin nousevalla reunalla. /11/

### 3.5.1 Datansiirto SPI-väylässä

Dataväylää, jossa data siirtyy isännältä orjalle kutsutaan MOSI-väyläksi (Master Out Slave In). MISO-väyläksi (Master In Slave Out) puolestaan kutsutaan väylää, jossa data siirtyy orjalaitteelta isäntälaitteelle. SPI-protokollassa isäntälaitteena toimiva komponentti luo aina kello-signaalin. Tilanteissa, jossa orjalaitteelta tiedetään tulevan vastaus, on oltava tiedossa etukäteen vastauksen datan määrä, jotta isäntälaitte osaa luoda oikean määrän kellopulsseja (**Kuvio 4**). /11/

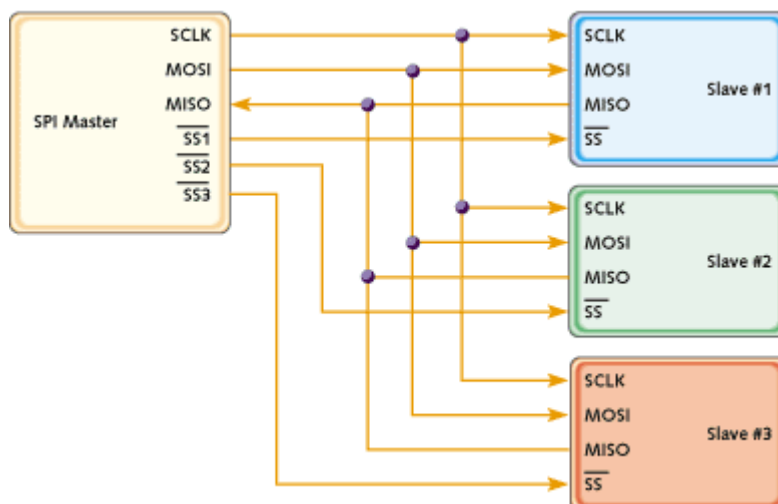


Kuvio 4. Datansiirto menetelmä SPI-väylässä. /11/

### 3.5.2 Orjalaitteen valinta

Useempaa kuin yhtä orjalaitetta käytettäessä täytyy olla menetelmä, jolla voidaan kontrolloida minkä orjalaitteen kanssa milloinkin kommunikoidaan. Orjalaittevalintaa varten on käytössä ”slave select” eli SS-väylä, jota normaalisti pidetään ylhäällä ja kun halutaan aloittaa kommunikaatio orjalaitteen kanssa, väylä vedetään alas, jolloin orjalaitte tietää datansiirron alkavan. Orjalaitteiden välillä voidaan käyttää kahta erilaista kommunikointitapaa; menetelmää, jossa jokaisella orjalaitteella on oma SS-väylä (**Kuvio 5.**) tai vaihtoehtoisesti ”daisy chain” silmukkaa (**Kuvio 6.**). Menetelmässä jossa jokaisella orjalaitteella on oma SS-väylä on selkeämpi vaihtoehto. Jokaiselle orjalaitteelle menevää SS-väylää pidetään ylhäällä. Kun datansiirto aloitetaan jonkin orjalaitteen kanssa, vedetään orjalaitteen SS-väylä alas ja kun datansiirto on suoritettu vedetään väylä takaisin ylös (**Kuvio 4.**).

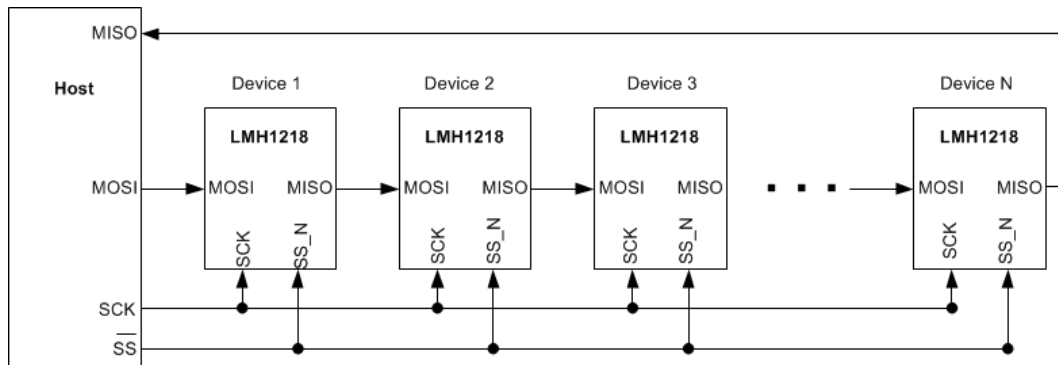
/11/



**Kuvio 5.** Esimerkki SPI-väylästä jossa jokaisella orjalaitteella on oma SS-väylä. /7/



Daisy-chain menetelmässä käytössä on vain yksi SS-väylä ja kun väylä vedetään alas, kaikki orjalaitteet aktivoituvat. Daisy-chain menetelmässä kaikki orjalaitteet aktivoituvat samaa aikaa ja data kulkeutuu orjalaitteen yli toiselle (**Kuvio 6.**) /11/



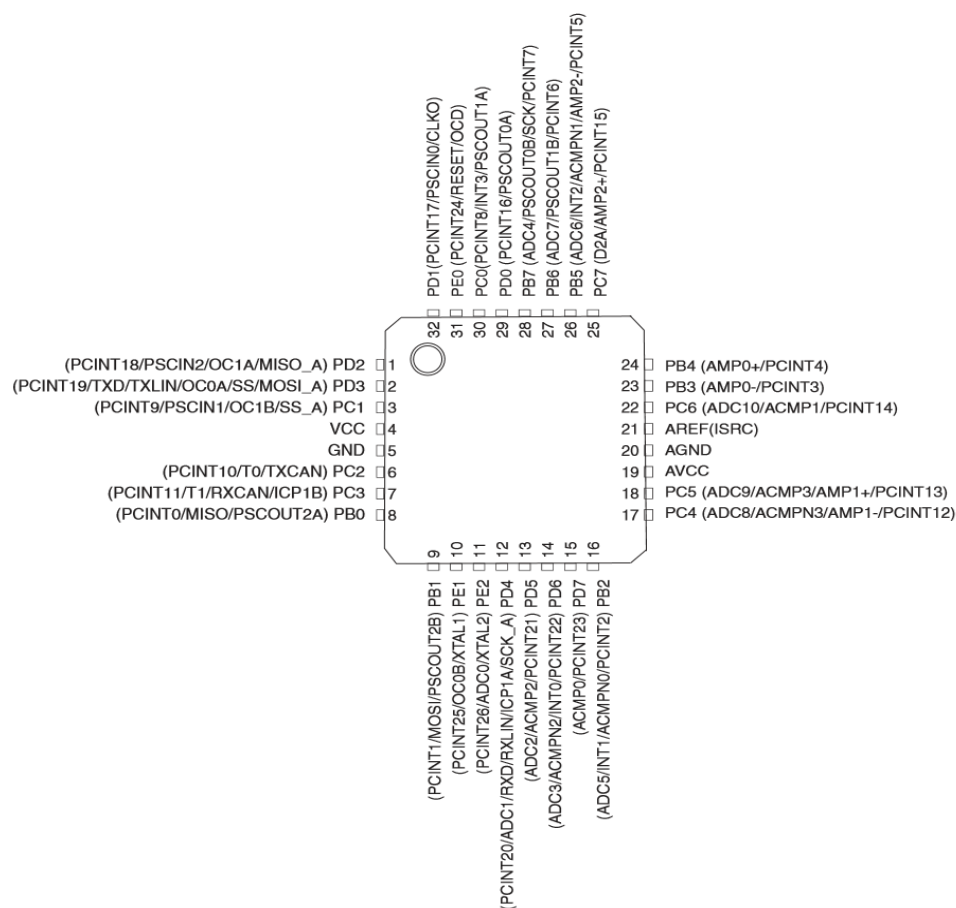
**Kuvio 6.** Esimerkki SPI-daisy-chain menetelmästä. /12/

### 3.6 Käytettyjen komponenttien valinta

Tässä kappaleessa käydään läpi laitteiston keskeisimmät komponentit, jotka muodostuvat mikrokontrollerista, radiopiiristä ja pulssilaskureista.

#### 3.6.1 ATmega32M1

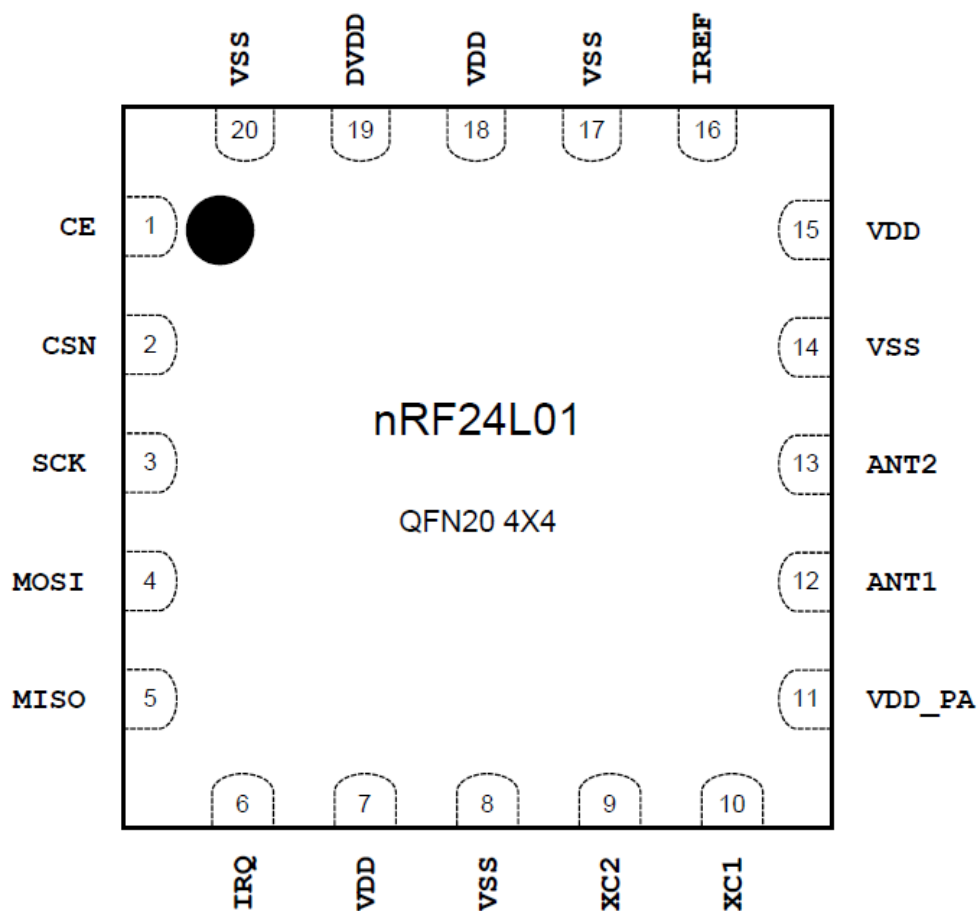
ATmega32M1 (**Kuvio 7.**) on Atmel Corporationin kehittämä matalatehoinen AVR mikro-ohjainperheeseen kuuluva 8-bittinen mikrokontrolleri. Mikrokontrollerin valinnassa keskeisimmiksi kriteereiksi muodostuivat, että mikrokontrolleri kestää vaaditun 80 celsiusastetta ja että siinä on muiden komponenttien kanssa kommunikoinnin mahdollistava SPI-väylä. /1/



**Kuvio 7.** ATmega32M1-mikrokontrollerin komponenttikuva. /1/

### 3.6.2 nRF24L01 radiopiiri

nRF24L01-radiopiiri (**Kuvio 8.**) on Nordic semiconductorin kehittämä 2.4 GHz radiotaajuudella toimiva, erittäin pieni ja matalatehoinen piiri. nRF24L01-radiopiiri toimii sekä lähettimenä että vastaanottimena ja tiedonsiirto toimii jopa 2 Mbps siirtonopeudella /8/. Tämä radiopiiri valittiin kahdesta syystä, sen lämmönkesto on yli vaaditun 80 celsiusastetta ja se on käytössä myös Wärtsilän omistamassa lämpötila telemetriassa, joka jo aikaisemmin todettiin varmasti toimivaksi.

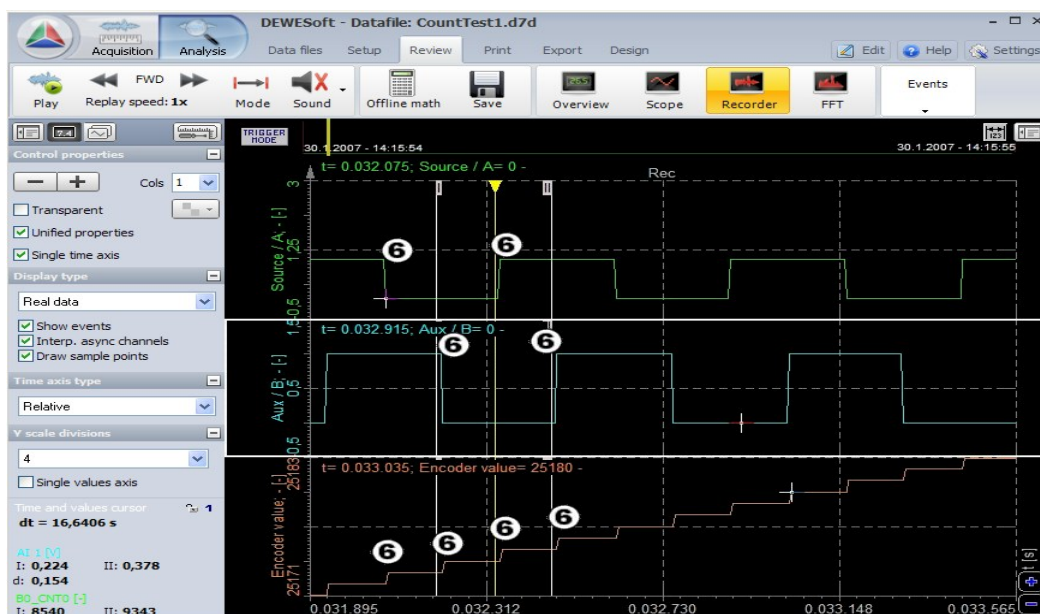


**Kuvio 8.** Radiopiirin komponenttikuva. /8/

### 3.6.3 LS7366R-pulssilaskuri

LS7366R on LSI computer systemsin valmistama 32-bittinen pulssilaskuri SPI-kommunikaatioväylällä varustettuna. Laskuri voidaan konfiguroida toimimaan 8-bit, 16-bit, 24-bit ja 32-bit muodossa. Pulssilaskurissa on myös valittavissa käyttääkö laskuri X1-, X2- tai X4- laskutilaa. LS7366R valittiin yhdeksi komponentiksi, sillä sen lämpötilakesto on vaadittu 80 celsiusastetta ja laskurin laskutila on valittavissa X1 ja X4 välillä /2/.

LS7366R-pulssilaskuri laskee liikeanturilta saatuja A- ja B- pulssia. Laskurin käyttäessä X1-laskutilaa laskuri laskee A-pulssin nousevia reunoja. A-pulssin tulleessa ennen B-pulssia laskurin arvoa kasvatetaan, jos B-pulssi on edellä A-pulssia laskurin arvoa vähennetään. Laskutila X2 toimii samoin tavoin kuin tila X1, mutta laskuri laskee A-pulssin laskevia ja nousevia reunoja. Laskutilassa X4 laskuri laskee A- sekä B-pulssin nousevia sekä laskevia reunoja (**Kuvio 9.**), tällöin laskurin tarkkuus verrattuna tilaan X1 nelinkertaistuu ja tilaan X2 verrattuna kaksinkertaistuu. /5/



**Kuvio 9.** Esimerkki X4 laskusta. /5/

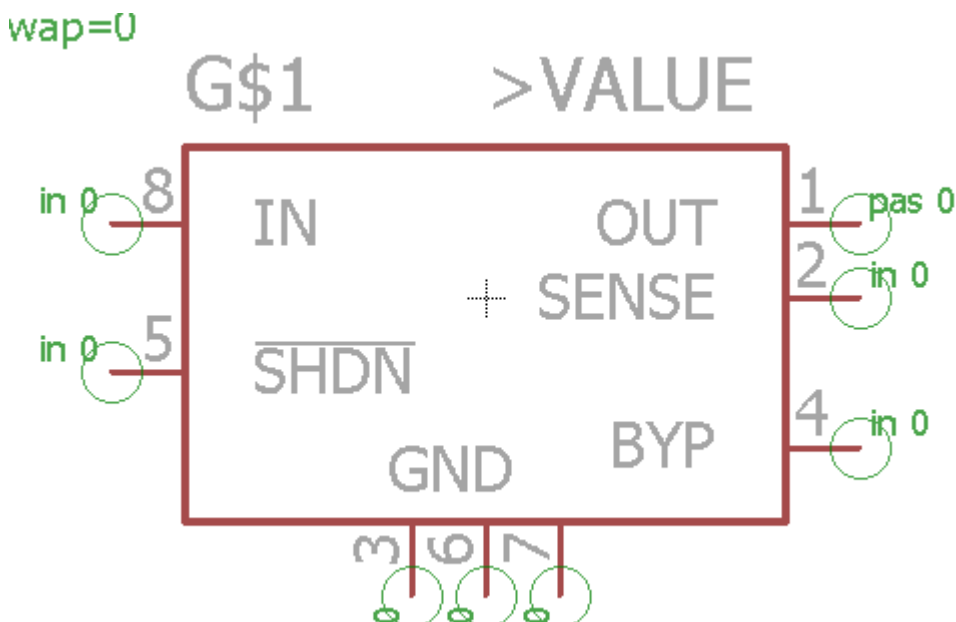
## 4 PIIRILEVYN TOTEUTUS

Tässä luvussa käydään läpi piirikaavion ja piirilevyn sekä uusien komponenttien toteutus EAGLE-ohjelmistolla. Tähän työhön on luotu useita komponentteja EAGLE-ohjelmistolla niiden komponenttikannasta puuttumisen vuoksi.

### 4.1 Uusien komponenttien luonti EAGLE-ohjelmistossa

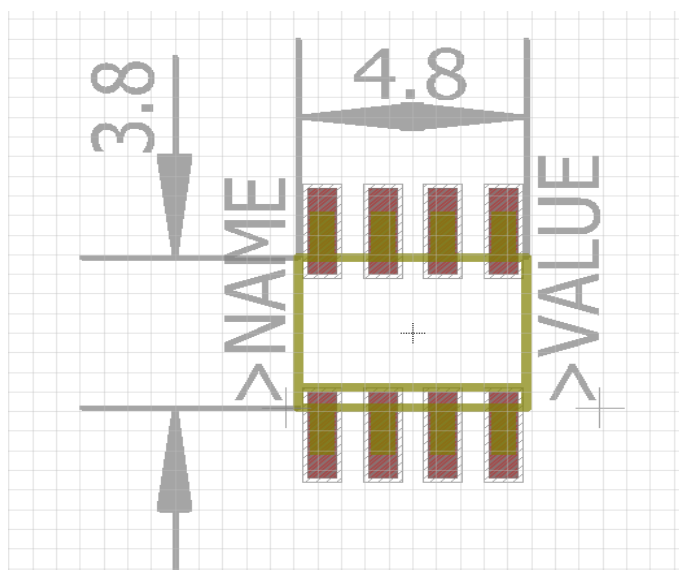
Piirikaavio- ja piirilevyohjelmistot eivät voi millään sisältää kaikkia maailman miljoonia komponentteja, jolloin yleisistä komponenteista poikkeavat komponentit on luotava itse ohjelmistossa.

Komponentin luominen aloitetaan EAGLEssä luomalla uusi komponenttikirjasto, johon komponentti luodaan. Ensimmäisessä vaiheessa komponentille piirretään piirikaaviosymboli (**Kuvio 10.**), jota käytetään kun piirikaaviota piirretäessä. Jokainen symbolin jalka tulee nimetä tässä vaiheessa, jotta tiedetään mitä nämä jalat ovat. /6/



**Kuvio 10.** Piirikaaviosymboli regulaattorista.

Kun tarvittava symboli on saatu piirrettyä, seuraavana vaiheena on piirtää EAGLE-ohjelmistolle itse komponentti, jonka täytyy olla oikeissa mittakaavoissa (**Kuvio 11.**). Ellei komponenttia piirretä oikeassa mittakaavassa, ei sitä voida käyttää, sillä piirilevyn tekovaiheessa komponentti ei sovi paikoilleen. Tästä syystä komponenttia piirrettäessä on hyvä tarkastaa komponentin valmistajan tekemä datalehtiö, jossa valmistaja on kertonut miten komponentti on pakattu ja mitkä ovat sen mitat. Komponentin piirtovaiheessa jalkojen nimeäminen on tärkeää.



**Kuvio 11.** Komponenttikuva regulaattorista mittoineen.

Kun symboli ja komponentti on piirretty, viimeinen vaihe on komponentin ja symbolien jalkojen yhdistäminen (**Kuvio 12.**). Jalkojen yhdistäminen täytyy tehdä, jotta EAGLE osaa luoda oikeat reitit piirilevyn suunnittelua varten.

Pin	△	Pad
G\$1.!SHDN		5
G\$1.BYP		4
G\$1.GND@1		3
G\$1.GND@2		6
G\$1.GND@3		7
G\$1.IN		8
G\$1.OUT		1
G\$1.SENSE		2

**Kuvio 12.** Piirikaaviosymbolin ja komponentin jalkojen liittäminen.

## 4.2 Piirikaavion piirtäminen

Piirilevyn luomista edeltää piirikaavion huolellinen suunnittelu ja piirtäminen. Piirikaaviossa komponentit liitetään toisiinsa tarpeen mukaisesti. EAGLE-ohjelmistossa valmis piirikaavio voidaan siirtää piirilevyn suunnitteluun ohjelmiston sisällä. Piirikaavion on oltava mahdollisimman selkeä, sillä jos piirilevyssä esiintyy virheitä tai vikoja, tulee ongelman olla helposti paikannettavissa.

Opinnäytetyön piirikaavion piirtäminen aloitettiin ensin sijoittamalla kaikki komponentit selkeästi piirikaaviolle. Sijoituksen jälkeen jaettiin komponentit ryppäisiin, jossa oli esimerkiksi virransyöttö-, mikrokontrolleri- sekä laskuriryppäät. Komponenttien sijoituksen jälkeen aloitettiin komponenttien jalkojen yhdistämiseen.

## 4.3 Piirilevyn ja langattoman lähettimen virransyöttö ja suojaus

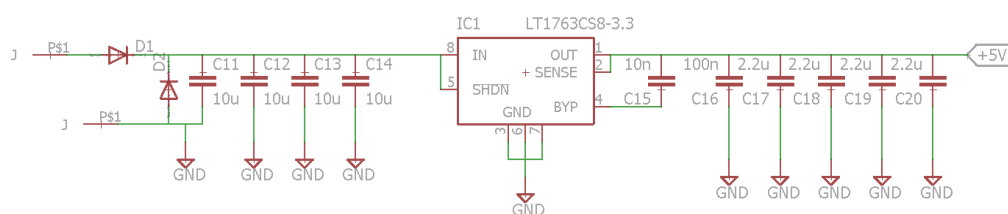
Mäntään kiinnitettäessä piirilevylle käytetään induktiivista virransyöttöä, jolloin sisääntulovirta ei ole täysin vakaa. Sisääntulovirta induktiiviselta teholahteelta on noin 20 voltia. ATmega32M1-mikrokontrolleri toimii 2.7 - 5.5 voltin jännitteellä ja LS7366-pulssilaskuri toimii 3 - 5.5 voltin jännitteellä (**Kuvio 13.**) /1/ /2/. Vaikka LS7366-pulssilaskuri toimii 3 - 5.5 voltin jännitteellä, on laskurille syytä syöttää viiden voltin jännitettä, koska matalimmilla jännitteillä sen laskentateho on pienempi (**Kuvio 13.**). /2/

### GENERAL FEATURES:

- Operating voltage: 3.0V to 5.5V (VDD - VSS)
- 5V count frequency: 40MHz
- 3V count frequency: 20MHz

**Kuvio 13.** LS7366-laskurin valmistajan lupaamat laskutaajuudet. /2/

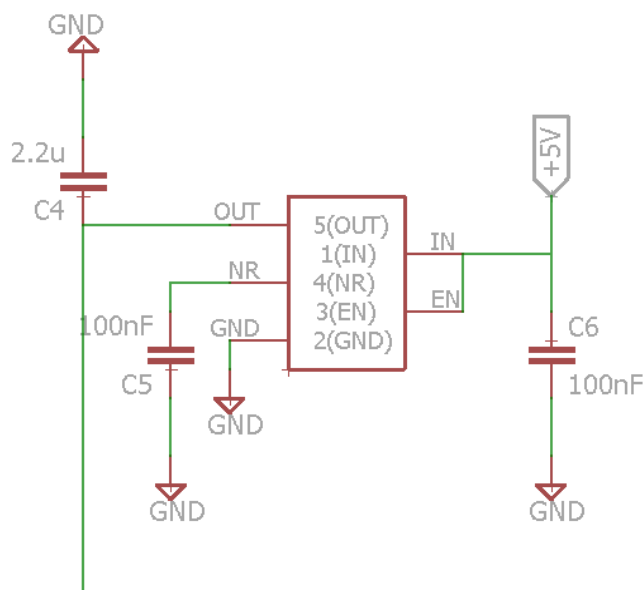
Näistä syistä piirilevyllä valittiin viiden voltin regulaattori laskemaan ja tasaamaan induktiivisen teholähteen syöttämää virtaa. Regulaattori vaatii viereensä kondensaattoreita, jotta se toimii täydellisesti ja pystyy tasaamaan jännitettä oikein. Valmistajan datalehtiöstä löytyy valmistajan suosittelemat kondensaattorikoot ja niiden virrankestot. Sisääntulovirran tasaamisen lisäksi on syytä lisätä suojausdiodeja muun muassa vääräpolariteettista virransyöttöä varten. Mikrokontrolleri ja laskuripiirit ovat erittäin herkkiä komponentteja, eivätkä ne kestä suuria ylivirtoja tai väärän suuntaista polariteettiä (**Kuvio 14.**) /1/



**Kuvio 14.** Sisääntulovirran suojausdiodit ja regulaattori kondensaattoreineen.



Langattoman nRF24L01-lähettimen käyttöjännite on 1.9 – 3.6 voltia, joten piirikaavioon oli lisättävä myös toinen regulaattori, jolla lasketaan ensimmäisen regulaattorin 5 voltia 3.3:een volttiin (**Kuvio 15.**) /8/. Ensimmäisen regulaattorin suojaukset riittävät tällekin regulaattorille, eikä erillistä suojausta näin ollen tarvita.



**Kuvio 15.** Langattoman lähettimen 3.3 voltin regulaattori kondensaattoreineen.

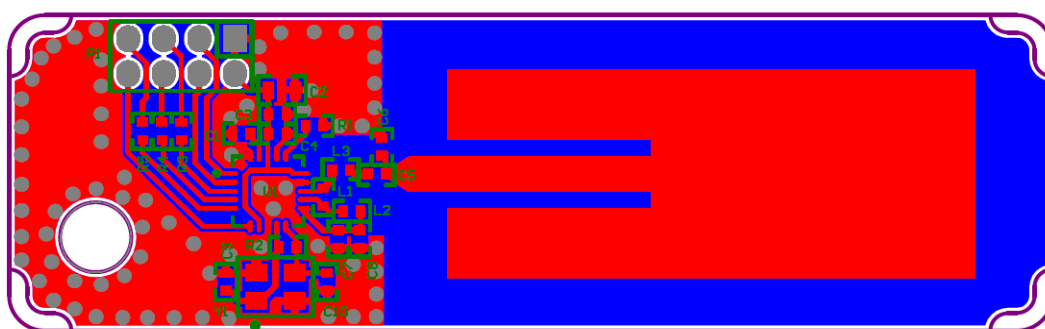
#### 4.4 Mikrokontrolleriin liitettävät komponentit

ATmega32M1-mikrokontrollerille on syytä lisätä ulkoinen 16 MHz kide, sillä mikrokontrollerin oma sisäinen kide on vain 8 MHz. Lisäämällä ulkoinen kide, saadaan mikrokontrolleri toimimaan nopeammalla taajuudella. /1/

##### 4.4.1 nRF24L01-radiopiiri

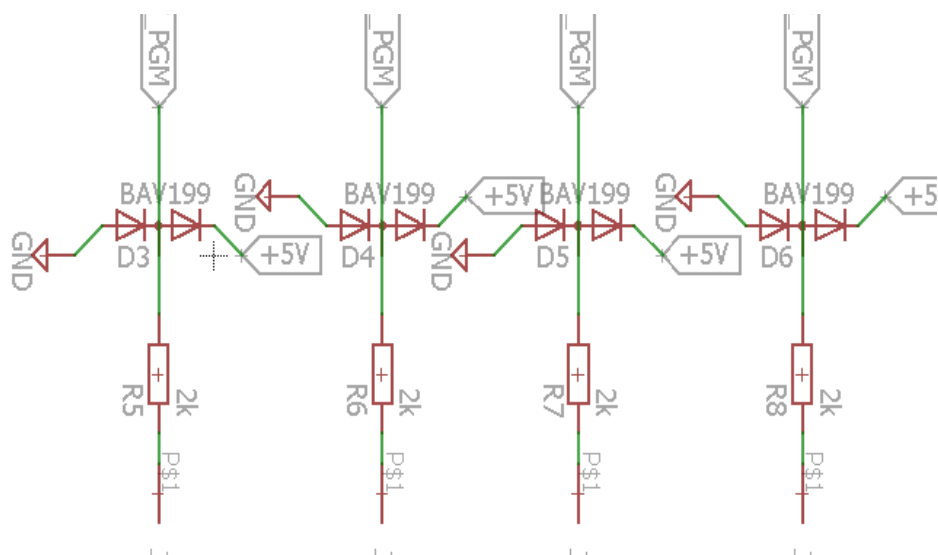
nRF24L01 on SPI-väylää tukeva matalatehoinen lähetin-vastaanotinpiiri /8/. Radiopiiri tulee käyttämään ATmega32-M1:n laitteisto SPI-väylää yhdessä mikro-

kontrollerin ohjelmointipinnien kanssa. Wärtsilä Oy:n omistama ja Icraftin kehittämä lämpötilatelemetria käyttää samaa radiopiiriä ja koska lämpötilatelemetrian on todettu toimivan moitteettomasti, oli järkevää käyttää samaista radiopiiriä myös uudessa laitteistossa. Lämpötilatelemetrian radiopiiri on erillisellä kortilla. Vaikka piirikaavioon on piirretty radiopiiriä kuvaava symboli, on sen komponenttipiirros muutettu vastamaan piikkirimaa, johon tämä erillinen radiopiirikortti voidaan liittää (**Kuvio 16.**).



#### 4.4.2 Ohjelmointipinnit

ATmega32M1 mikrokontrolleria ohjelmoidaan määrättyjen pinnien kautta, tässä tapauksessa tämän mikrokontrollerin ohjelmointi tapahtuu SPI-väylää hyödyntäen. Näiden pinnien on oltava esillä viimeistellyssä versiossa, joten ne on myös suojattava niihin mahdollisesti kohdistuvilta ulkoisilta häiriöiltä. Jokainen ohjelmointipinni on näin ollen liitetty diodin kautta maahan sekä regulaattorin viiteen volttiin, joka oikosulkee nopeat ylijännitepiikit (**Kuvio 17.**)



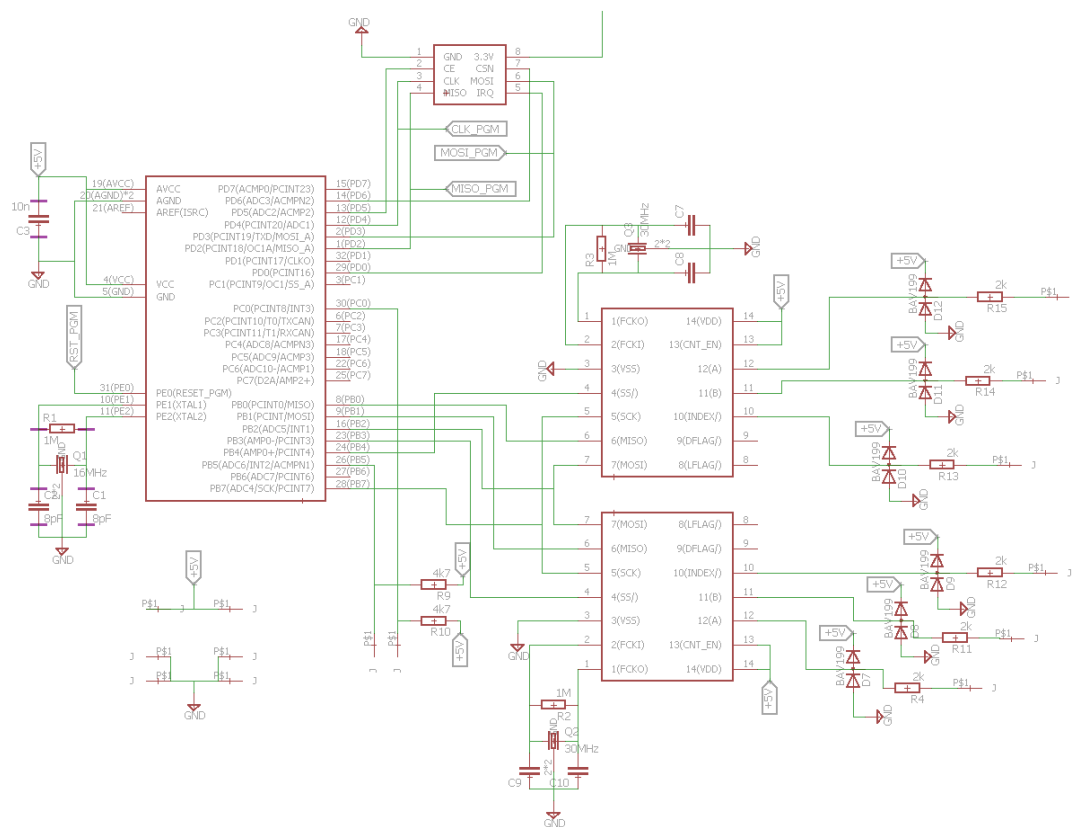
**Kuvio 17.** Ohjelmointipinnien suojaukset.

#### 4.4.3 LS7366-laskuripiiri

LS7366-laskuripiiri on pulssilaskuri, jolta luetaan SPI-väylää käyttäen laskurin arvoa /2/. Radiopiirin ja ohjelmointipinnien käyttämää laitteisto SPI-väylää voisi käyttää myös laskuripiirien arvon lukemiseen. Laitteisto SPI-väylää ei kuitenkaan ole kannattavaa käyttää, sillä se hidastaisi laitteiston toimintaa huomattavasti.

Laitteisto SPI-väylän käyttöön sijaan valittiin samassa portissa olevia vapaita I/O-portteja ja ohjelmoinnilla luotiin mikrokontrollerille ohjelmisto SPI-väylä.

Laskupiirit tarvitsevat rinnalleen myös 40 MHz kiteen, jota laskuri käyttää pulssien suodattamiseen [2]. Laskuripiireille tulee lisäksi ulkoiset pinnit, joihin kiinnitetään pulssiantureiden A, B, ja Z pulssit. Ulkoiset pinnit on suojattava ulkoisilta häiriötekijöiltä. Suojaus toteutettiin diodeilla, joilla oikosuljetaan nopeat ylijännitepiikit. Piirilevylle on myös sijoitettu maa- ja virransyöttöpinnit pulssiantureiden käyttöjännitettä varten (**Kuvio 18**).



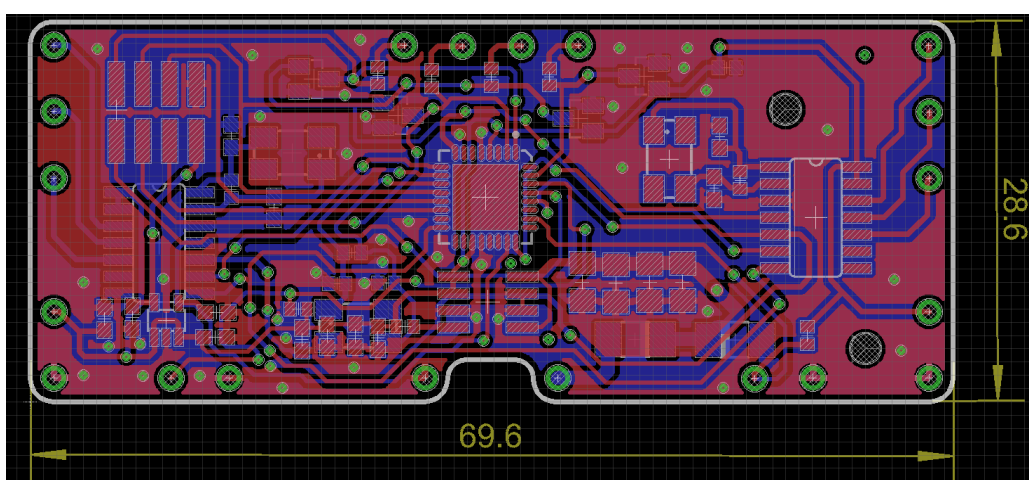
**Kuvio 18.** Mikrokontrolleri ja siihen liitettävät komponentit.

#### 4.5 Piirilevyn piirto

Piirikaavion valmistuttua piirikaavio siirretään piirilevyn suunnitteluohjelmistoon. Tuontivaiheessa EAGLE siirtää kaikki komponentit ruudulle oikeissa mittasuhteissa.

teissa ja piirtää apuviivat komponenttien välille, joiden avulla tiedetään mitkä komponentit on tarkoitus yhdistää toisiinsa.

Nopeita signaaleja sisältävät vedot tulee pitää mahdollisimman lyhyinä piirilevyllä, sillä nopeat signaalit luovat kohinaa ja häiritsevät muita signaaleja. Yhtenäisen maapotentiaalin pitäminen mahdollisimman suurena auttaa myös kohinan poistossa. /13/

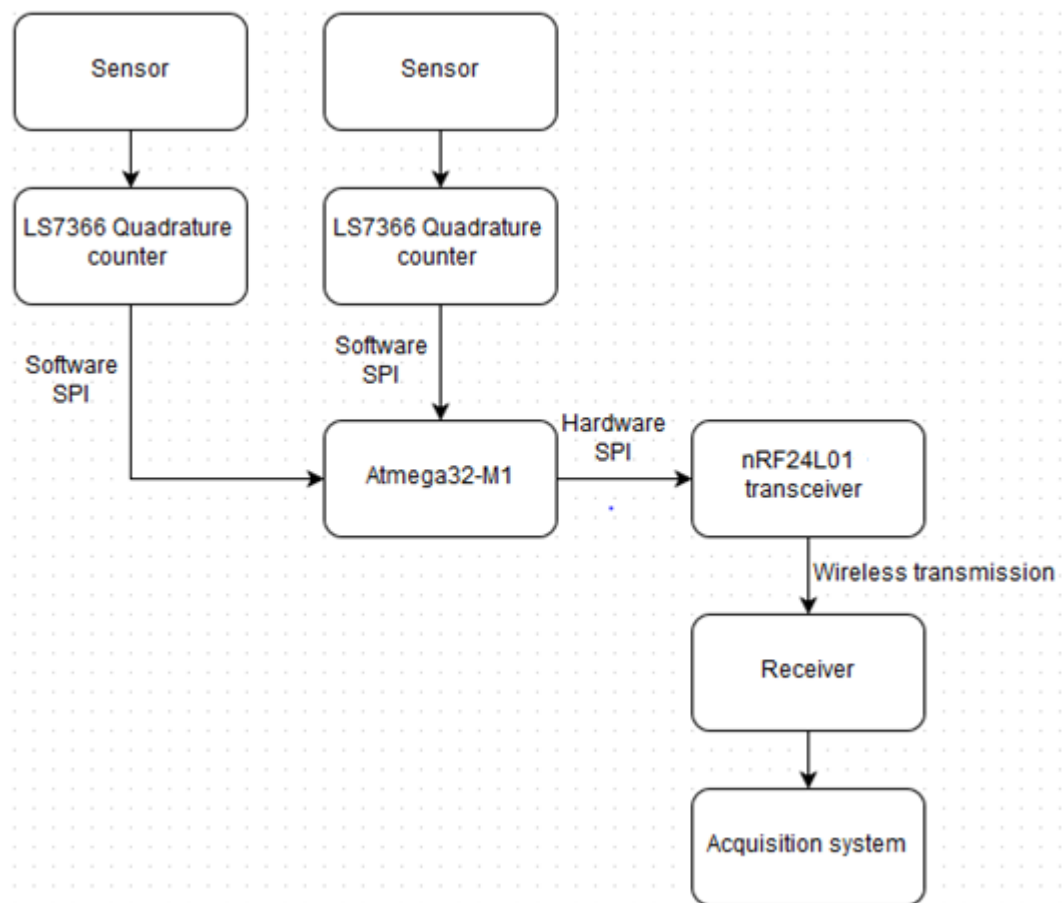


**Kuvio 19.** Kuva valmiista piirilevystä mittoineen.

Piirilevyn valmistuttua (**Kuvio 19.**) EAGLE-ohjelmistosta voidaan tuoda ulos gerber-tiedostoja. Nämä tiedostot lähetetään piirilevy valmistajalle ja valmistaja luo gerber-tiedostojen pohjalta piirilevyn. Valmis piirilevy tullaan viimeiseksi vielä valamaan epoksiin, joka suojaa piirilevyä öljyltä ja kiihtyvyydeltä.

## 5 OHJELMISTON TOTEUTUS

Tässä luvussa käydään läpi ohjelmiston toteutusta liikkeenmittaustelemetriaa varten. Ohjelmistolla toteutettiin työlle muun muassa SPI-väylä laskureiden arvon lukemista varten (**Kuvio 20.**).



**Kuvio 20.** Lohkokaavio laitteen toiminnasta.

## 5.1 SPI-alustus

Atmega32M1 mikrokontrollerin ollessa vastuussa laskupiirien ja langattoman lähetyksen ohjaamisesta, täytyy mikrokontrolleri alustaa isäntälaitteeksi (**Kuvio 21.**)/1/

```
// Init SPI Interface
static void SPIInit (void)
{
    MCUCR |= (1<<SPIPS); // SPIPS => Alternative SPI pins

    // Setup the spi for 8 bit data, low steady state clock,
    // second edge capture, with a 1MHz clock rate
    SPSR = (1<<SPI2X); // SPI2X
    // move data to MOSI on falling edge and read from MISO on rising edge
    SPCR = (1<<SPE)|(1<<MSTR);

    uint8_t dummy = SPDR;
    dummy = SPCR;
}
```

**Kuvio 21.** ATmega32M1 alustaminen SPI-isäntälaitteeksi.

Mikrokontrollerin laitteisto SPI-väylää käytettiin vaihtoehtoisten jalkojen kautta, jolloin nämä jalat oli alustettava mikrokontrollerille käytettäväksi. SPI-väylän alustuksessa konfiguraatioksi valittiin SPI2X, jolloin data siirtyy MOSI:lle laskevalla kellonreunalla ja dataa luetaan MISO:sta nousevalla kellon reunalla. /1/

## 5.2 Keskeytyksen alustaminen

Laskuripiirien arvoa luetaan keskeytyksissä ja aina ohjelman palatessa keskeytyksestä dataa lähetetään langattomasti.

```
//Interrupt for 10kHz frequency
TCCR1A = 0;
TCCR1B = (1<<WGM12)|(1<<CS10); // CTC mode, falling edge captured
OCR1A = 1600-1; //
TIMSK1 |= (1<<OCIE1A);

sei(); // Enable interrupts
```

**Kuvio 22.** Keskeytyksen alustaminen.

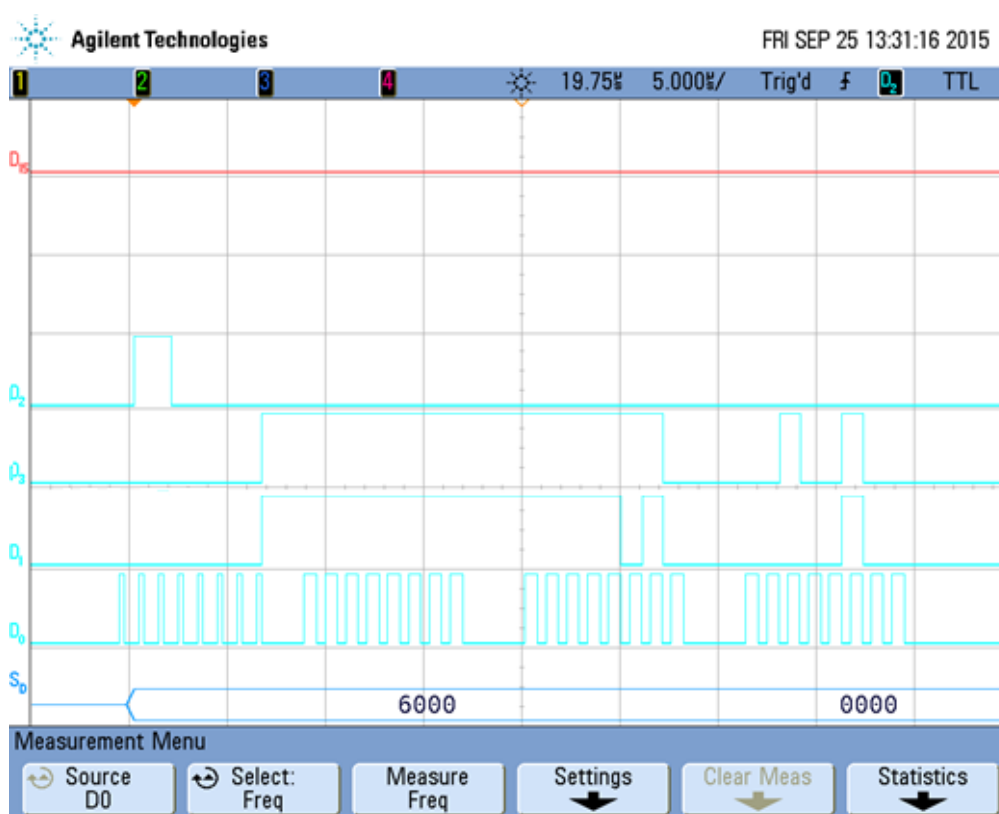
Keskeytyksien alustuksessa keskeytykseksi valittiin ajastettu keskeytys, jossa käydään lukemassa laskureiden arvoa 10 kHz taajuudella (**Kuvio 22.**).

$$\frac{16MHz}{1600-1} \approx 10kHz \quad (4)$$



### 5.3 Ohjelmoitu SPI-väylä ja laskurien arvojen lukeminen

Laitteistolle luotiin ohjelmisto SPI-väylä, sillä mikrokontrollerin laitteisto SPI-väylä on jo käytössä ja sen käyttäminen myös hidastaisi laitteiston toimintaa. Ohjelmisto SPI-väylä luotiin myös laskureiden lukemisen helpottamiseksi, koska laskurit ovat identtiset ja käyttävät samoja komentoja. Tällöin mikrokontrollerilta tarvitaan vain yksi yhteinen MOSI-väylä molemmille laskureille. Ohjelmisto SPI-väylällä pystytään lukemaan molempien laskureiden arvoa samanaikaisesti niiden MISO-väyliltä (**Kuvio 23.**).



**Kuvio 23.** Oskilloskooppikuva laskureiden lukemisesta.

Oskilloskooppikuvasta (**Kuvio 23.**) voimme todeta, lähettäessämme MOSI-väylällä laskurille laskureiden lukupyynnön (signaali D2). MISO-väylillä on samanaikaisesti molempien antureiden vastaus (Signaalit D1 ja D3).

### 5.3.1 Ohjelmoidun SPI-väylän luominen

Radiopiirin ja ohjelmointipinnien käyttäessä ATmega32-M1:sen laitteisto SPI-väylää, luotiin mikrokontrollerille toinen ohjelmoitu SPI-väylä. Ohjelmoidun SPI-väylän luominen aloitettiin luomalla makroja, joilla mallinnetaan laitteisto SPI-väylän toimintaa (**Kuvio 24.**). Piirikaavion piirtovaiheessa mikrokontrollerin portti B valittiin ohjelmisto SPI-väylän luomista varten.

```
// LS7366 pin definifions
#define LS7366_1_CS_PIN    (1<<4)
#define LS7366_1_MISO_PIN (1<<0)
#define LS7366_2_CS_PIN    (1<<3)
#define LS7366_2_MISO_PIN (1<<1)
#define LS7366_MOSI_PIN    (1<<2)
#define LS7366_SCK_PIN     (1<<7)
```

**Kuvio 24.** Ohjelmoitujen SPI-pinnien määritelmät ATmega32M1:ssä.

ATmega32M1 jaloille määriteltiin niiden tehtävä ohjelmisto SPI-väylässä (**Kuvio 24.**). Määrittelystä käy ilmi, että käytössä on vain yksi MOSI ja SCK väylä. Koska laskurit ovat identtiset ja käyttävät samoja komentoja, ei toista MOSI- tai kelloväylää tarvita. Kun tiedossamme on jalkojen nimet sekä niitä vastaavat SPI toiminnot, voimme luoda SPI:n toimintaa mallintavia makroja (**Kuvio 25.**).

```
// LS7366 pin operations
#define LS7366_1_CS_LOW    PORTB &= ~LS7366_1_CS_PIN
#define LS7366_2_CS_LOW    PORTB &= ~LS7366_2_CS_PIN
#define LS7366_CS_LOW      PORTB &= ~(LS7366_1_CS_PIN | LS7366_2_CS_PIN)
#define LS7366_1_CS_HIGH   PORTB |= LS7366_1_CS_PIN
#define LS7366_2_CS_HIGH   PORTB |= LS7366_2_CS_PIN
#define LS7366_CS_HIGH      PORTB |= (LS7366_1_CS_PIN | LS7366_2_CS_PIN)
#define LS7366_MOSI_LOW    PORTB &= ~(LS7366_MOSI_PIN)
#define LS7366_MOSI_HIGH   PORTB |= (LS7366_MOSI_PIN)
#define LS7366_1_MISO       (PINB & LS7366_1_MISO_PIN)
#define LS7366_2_MISO       (PINB & LS7366_2_MISO_PIN)
#define LS7366_SCK_LOW      PORTB &= ~(LS7366_SCK_PIN)
#define LS7366_SCK_HIGH     PORTB |= (LS7366_SCK_PIN)
```

**Kuvio 25.** Ohjelmisto SPI:n toiminnan makrotukset.

### 5.3.2 Laskureiden alustaminen ja arvojen lukeminen

Laskureiden rekistereihin konfiguroitiin laskurit olemaan 24-bittisiä ja lasku tilaan X4. Laskurin MDR0-rekisteriin kirjataan mitä laskutilaa käytetään ja MDR1-rekisteriin puolestaan mitä tavutilaa milloinkin käytetään (**Kuvio 26.**). Koska laskurit ovat 24-bittisiä, tavutilaksi valitaan 3 (yksi tavu = kahdeksan bittiä).

```
//Initialize counters.
uint8_t value = X4; //QUADRATUDE MODE
ls7366_write_reg((WR|MDR0), &value, 1);
value = BYTE3; // 3-byte counting mode, counting enabled
ls7366_write_reg((WR|MDR1), &value, 1);
// clear status register
ls7366_write_reg((CLR|STR), 0, 0);
// clear counter register
ls7366_write_reg((CLR|CNTR), 0, 0);
```

**Kuvio 26.** Laskurien alustus.

Laskureiden arvo luetaan keskeytyksissä 10 kHz taajuudella ja aina keskeytyksestä palatessa laskureiden arvo lähetään while-silmukassa radiopiirillä. Laskurin arvoja luetaan CNTR rekisteristä, johon laskuri sijoittaa hetkelliset arvot (**Kuvio 27.**).

```
// Read the counters to buffer..
ls7366_read_reg((RD|CNTR), values1, values2, 3);
```

**Kuvio 27.** Laskurien lukufunktio.

## 5.4 Radiopiirin ohjelmointi

Wärtsilä Oy:n lämpötilatelemetrian käyttäessä samaa langatonta radiopiiriä, käytävissä oli valmis Icraftin luoma kirjasto langatonta lähetintä varten.

### 5.4.1 Langattoman lähetyksen alustaminen

Icraftin luoma kirjasto langatonta lähetintä varten sisältää kaikki tarvittavat funktiot.

```
//Initialization
CfgInit(); //Read non-volatile radio channel from memory. (EEPROM really is "empty").
nRFSetting(); // Radio module initialization.
SPI_Send_command_with_ADDR_N(W_REGISTER, TX_ADDR, RX_ADDRESS_P0, 5); // Write TX_ADDR
nRFSetChannels(0x18); // Set channel for radio module.
```

**Kuvio 28.** Radiopiirin alustus funktiot.

Alustuksissa muun muassa radiopiirille (**Kuvio 28.**) kerrotaan, että tahdotaan käyttää 2 Mbps siirtonopeutta ja automaattinen uudelleen lähetys on poistettu käytöstä. Radiopiirille on alustettava myös kanava jolla se lähettää langattomasti dataa.

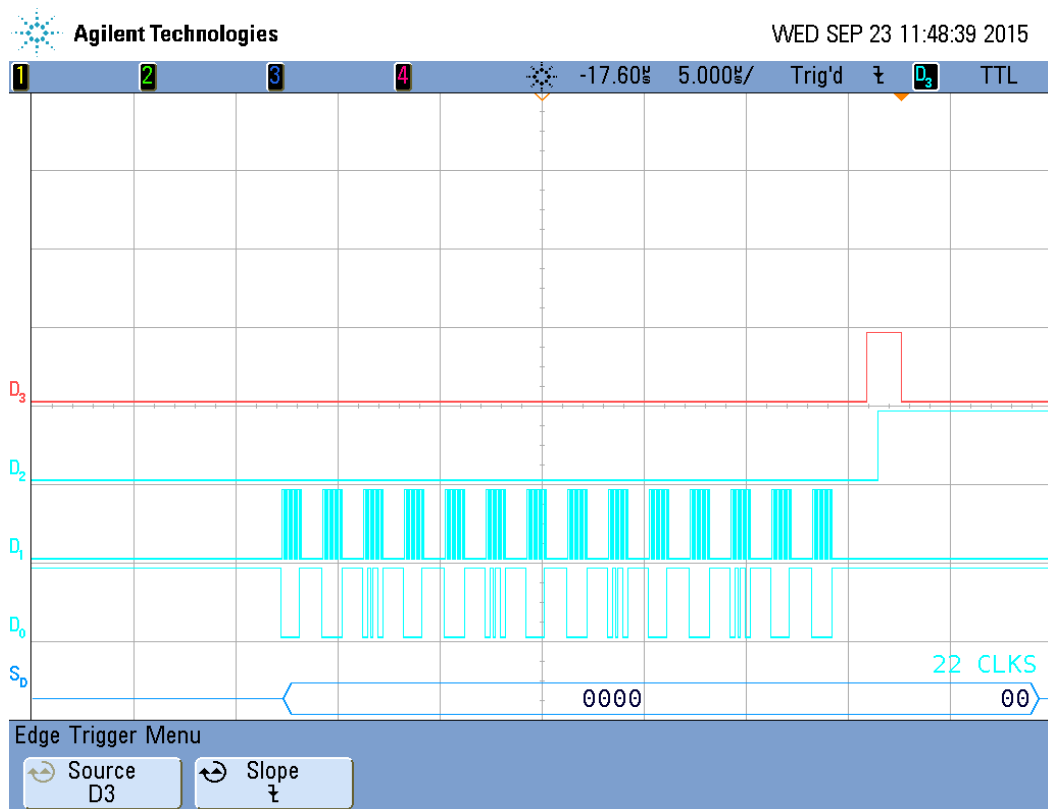
### 5.4.2 Datanlähettäminen radiopiirillä

Laskureiden arvoa luetaan keskeytyksissä ja aina keskeytyksestä poistuttaessa while-silmukassa siirretään laskureiden arvo langattomalle lähettimelle (**Kuvio 29.**).

```
while(1)
{
    //Send data with radio
    if(send_flag)
    {
        //send_buffer defines from which buffer the data will be sent.
        nRFSendPacket((uint8_t*)tx_buffer[send_buffer], 24);
        send_flag = 0; // Reset flag.
    }
}
```

**Kuvio 29.** Datan lähetyshetkellä radiopiirillä.

Funktio nRFSendPacket siirtää laskureiden arvon SPI-protokollaa käyttäen radiopiirille (**Kuvio 30.**).



**Kuvio 30.** Oskilloskooppikuva SPI-väylässä siirtyvästä datasta mikrokontrollerilta radiopiirille.

## 6 TESTAUS

Laitteen saavuttua piirilevyn valmistajalta siihen ohjelmoitiin kirjotettu ohjelmisto. Ensimmäisenä testinä laitteelle syötettiin virta ja tarkasteltiin lähtekö langaton kommunikaatio toimimaan.

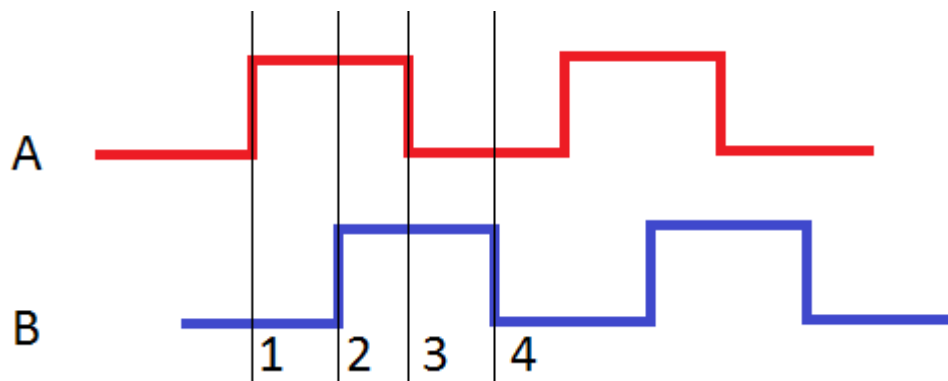
Testissä ilmeni kommunikaatio-ongelma, joka johtui ohjelmoinnista olevasta virheestä. Orjavalinnassa radiopiiri otettiin liian nopeasti uudelleen käyttöön, vaikka se ei ollut vielä valmis seuraavaan datan siirtoon. Tämän ongelman ratkettua langaton kommunikaatio lähti toimimaan ja laskurin arvoksi saatiin 0, joka on oikea arvo kun laskuri ei ole saanut vielä ainuttakaan pulssia.

Seuraavassa testin vaiheessa laskuriin kiinnitettiin anturi, jota liikuteltiin magneettipulssinauhan päällä ja näin voitiin todeta laite toimivaksi (**Kuvio 31**).



**Kuvio 31.** Laitteen testauskuva jossa anturia on liikuteltu edestakaisin magneettinauhalla.

Todettuamme laitteen toimivan, halusimme vielä selvittää kuinka paljon dataa linjaan on mahdollista syöttää. Simuloimme pulssitusta funktiogeneraattorilla laskurin A-pinniin ja B-pinni kytkettiin +5V volttiin. Piirin ollessa X4-tilassa laskuri laskee A- ja B-pulssin nousevia sekä laskevia reunoja, mutta kun B-pinni pidetään +5 voltissa, on B-pulssin arvo jatkuvasti 1. Tämä kytkentä tehtiin, koska saatavilla ei ollut laitteistoa, jolla olisi saatu luotua kvadratuuripulssitusta (**Kuvio 32**).



**Kuvio 32.** Esimerkki kvadratuuripulssista.

Koska tällä testausmenetelmällä B pysyy paikoillaan, menetetään puolet testin resoluutiosta. Laskuripiirin valmistaja lupaa laskentanopeudeksi 40 MHz, eli oletettavasti 20 MHz per pulssikanava. Laskuri laski funktiogeneraattorilla syötettyä pulssia moitteettomasti 20 MHz asti. Kuvion 33 vasemmassa reunassa nähdään 20 MHz taajuudella syötettyä pulssitusta ja kuvan oikeassa reunassa taajuus on 20.260 MHz, jolloin laskuri saa pulsseja sisään, mutta ei osaa käsitellä niitä enää oikealla tavalla (**Kuvio 33.**).



**Kuvio 33.** Mittausdata jossa pulssilaskuri ei pysy enään mukana.

Jos käytössä olisi ollut laitteisto jolla on mahdollista luoda kvadratuuripulssitusta, olisi testissä saatu piirrettyä käyrää vielä 40 MHz taajuudella.



## 7 YHTEENVETO

Valmiista liikkeenmittaus telemetriasta tuli vaatimusten mukainen. Laitteisto on suojattu nopealta liikkeeltä ja öljyltä epoksi valauksen ansiosta. Kaikkien komponenttien kesto on yli 80 celsiusastetta ja laite pysyi suhteellisen pieninä vain 69.6 mm \* 28.6 mm kokoisena.

Laitteistoa valmistaessa olen oppinut paljon uusia asioita muun muassa elektronikasta, piirilevyn suunnittelusta ja ohjelmoinnista. Elektronikasta ja piirilevyn suunnittelusta opin paljon komponenttien suojaamisesta ja häiriön ehkäisemisestä piirilevyllä. Ohjelmoinnissa esille nousi useita uusia ominaisuuksia jota ohjelmoinnilla voidaan mikrokontrollerille luoda, kuten tässä työssä käytetty ohjelmisto SPI-väylä.

Laitteiston testeissä laitteisto toimi toivotulla tavalla ja nyt Wärtsilä Oy voi mitata liikettä langattomasti 10 kHz taajuuden sijaan 40 MHz:in taajuudella.

## LÄHTEET

- /1/ 8-bit Atmel megaAVR microcontroller datasheet. Viitattu 22.8.2015.  
[www.atmel.com/Images/doc8209.pdf](http://www.atmel.com/Images/doc8209.pdf)
- /2/ 32-bit quadrature counter with serial interface. Viitattu 15.09.2015  
<http://cdn.usdigital.com/assets/general/LS7366R.pdf>
- /3/ Atmel Studio 6, The studio to design all embedded systems. Viitattu 18.09.2015 [http://www.atmel.com/microsite/atmel\\_studio6/](http://www.atmel.com/microsite/atmel_studio6/)
- /4/ C-kieli sulautetun järjestelmän ohjelmointikielenä, Mikkeli AMK Viitattu 30.08.2015  
[http://cna.mikkeli.amk.fi/Public/KosonenH/Mikro\\_ohjaimet/Vahteran%20kirja/OSA\\_1/3.%20C-kieli%20sulautetun%20j%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20ohjelmointikielen%C3%A4.pdf](http://cna.mikkeli.amk.fi/Public/KosonenH/Mikro_ohjaimet/Vahteran%20kirja/OSA_1/3.%20C-kieli%20sulautetun%20j%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20ohjelmointikielen%C3%A4.pdf)
- /5/ Dewesoft X Tutorials. Viitattu 01.09.2015.  
[http://www.dewesoft.com/assets/tutorials/TutorialsX.html?dws\\_ut\\_meas\\_counter\\_encoder.htm](http://www.dewesoft.com/assets/tutorials/TutorialsX.html?dws_ut_meas_counter_encoder.htm)
- /6/ CadSoft EAGLE, Training & Services. Viitattu 05.09.2015  
<http://www.cadsoftusa.com/training-service/>
- /7/ Introduction to Serial Peripheral Interface. Viitattu 10.09.2015  
<http://www.embedded.com/electronics-blogs/beginner-s-corner/4023908/Introduction-to-Serial-Peripheral-Interface>
- /8/ nRF24L01 single chip 2.4GHz transceiver product specification Viitattu 24.09.2015  
[http://www.nordicsemi.com/eng/content/download/2730/34105/file/nRF24L01\\_Product\\_Specification\\_v2\\_0.pdf](http://www.nordicsemi.com/eng/content/download/2730/34105/file/nRF24L01_Product_Specification_v2_0.pdf)
- /9/ Lika SME11-SME21-SME51, User's manual. Viitattu 28.09.2015  
[http://www.lika.it/esp/file7.php?id\\_file=2208](http://www.lika.it/esp/file7.php?id_file=2208)
- /10/ Lineplus, Magnetic sensor with intergrated converter, series SME11 Viitattu 20.09.2015 [http://www.lika.it/esp/file7.php?id\\_file=2207](http://www.lika.it/esp/file7.php?id_file=2207)
- /11/ Sparkfun Tutorials, Serial Peripheral Interface Viitattu 15.09.2015  
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi>

/12/ SPI Daisy Chain, Texas Instruments, LMH1218. Viitattu 20.09.2015  
[http://www.ti.com/product/LMH1218/datasheet/detailed\\_description](http://www.ti.com/product/LMH1218/datasheet/detailed_description)

/13/ The electronics handbook, second edition. Sivut 1023-1027. Viitattu 28.09.2015

/14/ What is EAGLE, cadsoftusa. Viitattu 05.09.2015  
<http://www.cadsoftusa.com/eagle-pcb-design-software/about-eagle/>

/15/ Wärtsilän historia. Viitattu 24.08.2015  
<http://www.wartsila.fi/fi/wartsila/historia>

/16/ Wärtsilä products, Engines & Generating Sets. Viitattu 24.08.2015  
<http://www.wartsila.fi/products/marine-oil-gas/engines-generating-sets>