|  |  |
| --- | --- |
| tallinna tehnikaülikool | |
| Infotehnoloogia teaduskond | |
| Arvutisüsteemide instituut | |
|  | |
| Jörgen Vedom 123584 IASB | |
| Mitme Kiirendusanduriga kukkumise tuvastamise süsteemi arendus | |
| Bakalaureusetöö | |
| Juhendaja: | Mairo Leier |
|  | Doktorikraad |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Jörgen Vedom

16.04.2017

Annotatsioon

Lõputöö on kirjutatud keeles ning sisaldab teksti leheküljel, peatükki, joonist, tabelit.

Abstract

The thesis is in and contains pages of text, chapters, figures, tables.

Lühendite ja mõistete sõnastik

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  | | --- | --- | | ABP | *Alternating bit protocol*, vahelduvbitiga protokoll | | AHB | *Advanced High-performance Bus*, kõrgjõudlusega siin | | API | *Application Programming Interface*, rakendusliides | | ARM | *Advanced RISC machine*, kärbitud käsustikuga arvutiarhitektuur | | ASCII | *American Standard Code for Information Interchange,* Ameerika Informatsioonivahetuse Standardkood | | ATI | TTÜ Arvutitehnika instituut | | CAN | *Controller area network*, kontrollervõrk | | CPU | *Central processing unit*, keskprotsessor | | DPI | *Dots per inch*, punkti tolli kohta | | GND | *Ground*, maandus | | GPIO | *General purpose input/output*, üldotstarbeline sisend/väljund | | GPS | *Global positioning system*, globaalne positsioneerimissüsteem | | HAL | *Hardware abstraction layer*, riistvara abstrakt kiht | | HID | *Human interface device*, inimliidese seade | | I2C | *Inter-integrated circuit*, kahesuunaline kahesooneline järjestiksiin | | IDE | *Integrated development environment*, integreeritud programmeerimiskeskkond | | LED | *Light emitting diode*, valgusdiood | | LSB | *Least significant bit*, vähima kaaluga bitt | | MSB | *Most significant bit*, suurima kaaluga bitt | | PS | *Protocol select*, protokolli valik | | RXD | *Receive data signal*, vastuvõtmis signaal | | SAI | *Serial audio interface*, järjestik heli liides | | SCL | *Clock line*, takti liin | | SDA | *Data line*, andme liin | | SDIO | *Secure digital input/output card*, SD sisend-väljundkaart | | SPI | *Serial Peripheral interface*, järjestikliidesega väliseade | | SRAM | *Static random access memory*, staatiline muutmälu | | TXD | *Transmit data signal*, saatmis signaal | | UART | *Universal asynchronous receiver/transmitter*, universaalne asünkroontransiiver | | USART | *Universal synchronous receiver/transmitter*, universaalne sünkroontransiiver | | USB | *Universal serial bus*, universaalne järjestiksiin | | WIFI | *Wireless fidelity*, raadiokohtvõrk | |  |
|  |  |

Sisukord

[1 Sissejuhatus 11](#_Toc483252477)

[2 Riistvara 13](#_Toc483252478)

[2.1 Süsteemi nõuded 13](#_Toc483252479)

[2.2 Arendusplaat STM32 F446RE 15](#_Toc483252480)

[2.3 Kiirendusandur Bosch BNO055 16](#_Toc483252481)

[2.3.1 Kiirendusandur Bosch BNO055 Register 16](#_Toc483252482)

[2.4 Andmeside protokollid 17](#_Toc483252483)

[2.4.1 UART protokoll 17](#_Toc483252484)

[2.4.2 RS-485 protokoll 18](#_Toc483252485)

[2.5 Ülevaade sarnastest lahendustest 21](#_Toc483252486)

[2.5.1 Wearable sensors for Reliable fall detection 21](#_Toc483252487)

[2.5.2 Accurate, Fast Fall Detection Using Gyroscopes and Accelerometer-Derived Posture Information 21](#_Toc483252488)

[2.5.3 Philips GoSafe 22](#_Toc483252489)

[2.5.4 Shimmer sensing 23](#_Toc483252490)

[2.6 Arendusplaadi ja sensori vahelised ühendused 19](#_Toc483252491)

[3 Tarkvara 24](#_Toc483252492)

[3.1 STM32CubeMX programm 24](#_Toc483252493)

[3.1.1 STM32Cube HAL teek 25](#_Toc483252494)

[3.2 Programmi töö 26](#_Toc483252495)

[3.3 Arendusplaadi initsialiseerimine 27](#_Toc483252496)

[3.4 Sensori Initsialiseerimine 28](#_Toc483252497)

[3.5 Andmete päring 29](#_Toc483252498)

[3.5.1 Andmete lugemine 29](#_Toc483252499)

[3.5.2 Andmete kirjutamine 31](#_Toc483252500)

[3.6 Häirete kontroll 33](#_Toc483252501)

[3.7 Kiirendusanduri kalibreerimine 33](#_Toc483252502)

[4 Testimine 35](#_Toc483252503)

[4.1 Paigaloleku katse 36](#_Toc483252504)

[4.2 Hüppamise katse 38](#_Toc483252505)

[4.3 Istumise ja tõusmise katse 41](#_Toc483252506)

[4.4 Erinevad liikumised 43](#_Toc483252507)

[4.5 Kukkumise ja põrutuse katse 46](#_Toc483252508)

[5 Kokkuvõte 49](#_Toc483252509)

[Kasutatud kirjandus 50](#_Toc483252510)

[Lisa 1 54](#_Toc483252511)

Jooniste loetelu

[Joonis 1 - Süsteemi ülesehitus 13](#_Toc483260877)

[Joonis 2 – Arendusplaat STM32F446RE 15](#_Toc483260878)

[Joonis 3 - Kiirendusandur BNO055 16](#_Toc483260879)

[Joonis 4 - TXD ja RXD 18](#_Toc483260880)

[Joonis 5 - RS-485 ühendus 18](#_Toc483260881)

[Joonis 6 - Arendusplaat sensoritega 19](#_Toc483260882)

[Joonis 7 – Kantav sensor kukkumise tuvastamiseks 21](#_Toc483260883)

[Joonis 8 - Kehahoiakut arvestav kukkumise tuvastus 22](#_Toc483260884)

[Joonis 9 - Philips GoSafe 22](#_Toc483260885)

[Joonis 10 - Consensys Development Kit 23](#_Toc483260886)

[Joonis 11 - STM32CubeMX projekti seaded 25](#_Toc483260887)

[Joonis 12 - Programmi töö 26](#_Toc483260888)

[Joonis 13 - Arendusplaadi initsialiseerimine 27](#_Toc483260889)

[Joonis 14 - Sensori initsialiseerimine 28](#_Toc483260890)

[Joonis 15 - Häirete kontroll 33](#_Toc483260891)

[Joonis 16 - B1 ja LD2 34](#_Toc483260892)

[Joonis 17- RealTerm andmete kuvamine 35](#_Toc483260893)

[Joonis 18 – Paigalolek 36](#_Toc483260894)

[Joonis 19 – Kiikumine 37](#_Toc483260895)

[Joonis 20 - Hüppamine murul 38](#_Toc483260896)

[Joonis 21 - Hüppamine puidul 39](#_Toc483260897)

[Joonis 22 - Hüppamine puitaluselt murule 40](#_Toc483260898)

[Joonis 23 – Istumine 41](#_Toc483260899)

[Joonis 24 - Istumine 42](#_Toc483260900)

[Joonis 25 - Kõndimine 43](#_Toc483260901)

[Joonis 26- Trepil kõndimine 44](#_Toc483260902)

[Joonis 27 – Jooksmine 45](#_Toc483260903)

[Joonis 28 – Esimene murul kukkumine 46](#_Toc483260904)

[Joonis 29 – Teine murul kukkumine 47](#_Toc483260905)

[Joonis 30 – Põrutus vastu seina 48](#_Toc483260906)

Tabelite loetelu

[Tabel 1 - UART andmeformaat 17](#_Toc483260907)

[Tabel 2 - Bosch BNO055 UART seaded 18](#_Toc483260908)

[Tabel 3 - Arendusplaadi ja sensorite ühendused 20](#_Toc483260909)

[Tabel 4 - UART seaded 24](#_Toc483260910)

[Tabel 5 - MSB ja LSB andme töötlus 27](#_Toc483260911)

[Tabel 6 - Lugemise päring 29](#_Toc483260912)

[Tabel 7 - Registrist õnnestunud lugemise vastus 30](#_Toc483260913)

[Tabel 8 - Registrist lugemise veateade 30](#_Toc483260914)

[Tabel 9 - Kirjutamine 31](#_Toc483260915)

[Tabel 10- Paigaloleku suurim amplituud 36](#_Toc483260916)

[Tabel 11 – Kiikumise suurim amplituud 37](#_Toc483260917)

[Tabel 12 – Murul hüppamise suurim amplituud 38](#_Toc483260918)

[Tabel 13 - Puidul hüppamise suurim amplituud 39](#_Toc483260919)

[Tabel 14 – Hüppamine puit aluselt murule suurim amplituud 40](#_Toc483260920)

[Tabel 15 - Istumise suurim amplituud 41](#_Toc483260921)

[Tabel 16 – Tõusmise suurim amplituud 41](#_Toc483260922)

[Tabel 17 – Kõndimise suurim amplituud 43](#_Toc483260923)

[Tabel 18 – Trepil kõndimise suurim amplituud 44](#_Toc483260924)

[Tabel 19 – Jooksmise suurim amplituud 45](#_Toc483260925)

[Tabel 20 – Esimese murul kukkumise amplituud 46](#_Toc483260926)

[Tabel 21 - Teise murul kukkumise amplituud 47](#_Toc483260927)

[Tabel 22 – Vastu seina põrutuse amplituud 48](#_Toc483260928)

# Sissejuhatus

Käesoleva lõputöö teemaks on kukkumise tuvastamise süsteemi arendus. Töö põhieesmärgiks on luua prototüüp, mille abil saab välja töötada kukkumise tuvastamise algoritmi. Prototüüpi kasutatakse uuringute läbiviimisel liikuvatel alustel, milleks võivad olla meresõidukid ja merel olevad kalafarmid. Sellest tulenevalt kasutatakse seadet kinnitatuna inimese küljes, kus üle keha on paigutatud mitu erinevat sensorit. Välitingimustes tuleb arvestada keskkonna mõjudega. Merel paiknevat alust mõjutavad peale lainete ka teised olud, näiteks ilmastik. Seade peab olema vastupidav, et tagada töökindlus ja andmeside nendes tingimustes.

Nagu eelnevalt mainitud, on sensorid paigaldatud inimese külge. Sensorite ühendamiseks kasutatakse riidesse integreeritud juhtmeid. Sensorid asuvad teineteisest kuni mõnekümne sentimeetri kaugusel ning on ühendatud põhiplaadiga, mille ülesanne on teostada signaalitöötlust ja kommunikatsiooni. Juhtmed tagavad kiire ning kindla ühenduse põhiplaadiga. Mida pikem on ühendus, seda rohkem esineb häireid, seega tuleb protokolli valikus arvestada veakindlusega.

Seoses sellega, et süsteemi eesmärgiks on hoiatada inimelu ohtu sattumise puhul, tehakse otsuseid reaalajas. Kukkumine toimub kiiresti ning seetõttu tuleb andmeid pärida tihti. Süsteem peab selle juures olema võimeline andmeid kiiresti töötlema. Mida sagedamini toimub andmete töötlus ja kukkumise tuvastus, seda kiiremini saab juhtunust teavitada. Kukkumine võib toimuda nii põrandale kui ka vette. Kukkumisel võib seade saada kahjustada, seega tuleb silmas pidada, kuidas seadet kaitsta purunemise eest. Nii arendusplaadi kui ka sensori valikul tuleb seda kõike silmas pidada.

Arendusplaati peab saama kiirelt ümber seadistada. Seega tuleb sensorite ja arendusplaadi vahelisel suhtlusel pidada silmas, et programm pakuks seadistamisvõimalusi algoritmi töötlejale.

Järgnevalt on välja toodud lõputöö käigus lahendatavad ülesanded:

* Prototüübi riistvara arendus
* Mikrokontrolleri seadistamine töötamaks mitme kiirendusanduriga
* Kiirendusandurite seadistamine vastavalt algoritmi poolt sisendandmetele esitatavatele nõuetele

Prototüübi arenduseks tuleb valida riistvara, milleks on mikrokontroller ja sensorid. Seejärel peab valima protokolli, mis sobib riistvaraga suhtlemiseks. Arendusplaat tuleb initsialiseerida ning panna suhtlema sensoriga.

Teiseks püstitatud ülesandeks on mikrokontrolleri seadistamine töötamaks mitme kiirendusanduriga. Seadistamise käigus võib esineda probleeme. Näiteks kuidas sünkroniseerida andmeid, kuidas tagada mõlema anduri ühendused ja muud ettenägematud takistused.

Viimase ülesandena peab seadistama kiirendusandurid vastavalt algoritmi nõuetele, milleks on kiirendusandmete vahemiku valik ja kalibreerimine. Seadme töökindluse tagamiseks tuleb varakult teha katseid.

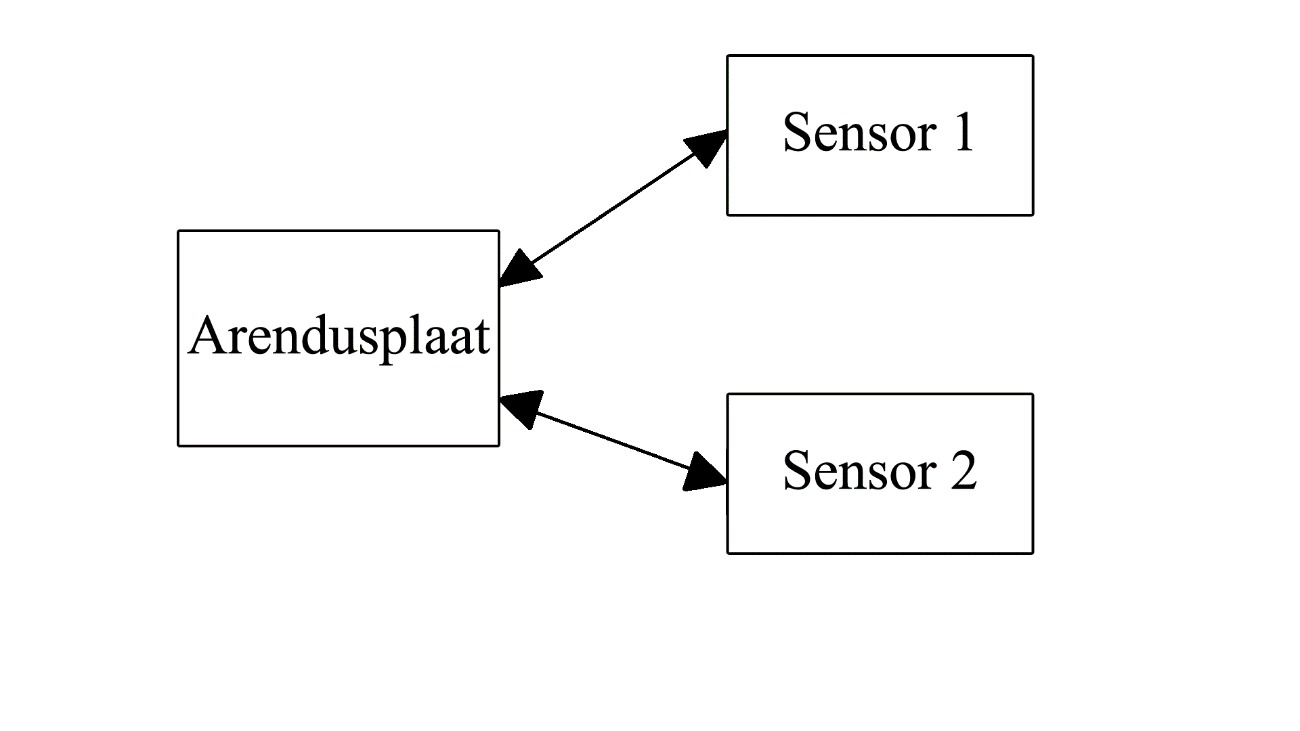
# Riistvara

Süsteemi komponendid:

Arendusplaat STM32 -F446RE [1]

Kiirendusandur Bosch BNO055 [2]

Süsteemi ülesehitus on näidatud joonisel 1. Arendusplaadi külge on ühendatud kaks kiirendussensorit. Juhtmed on kujutatud joonisel nooltena, mis tähistavad andmevahetust.



Joonis 1 - Süsteemi ülesehitus

## Süsteemi nõuded

Kuna tegemist on reaalajasüsteemiga, siis on oluline, et andurite ja arendusplaadi vahel toimuks andmevahetus kiirelt ning häirevabalt. Kiirendusanduri ja arendusplaadi valikul tuleb veenduda, et valitud protokoll oleks mõlema poolt toetatud. Arendusplaat peab toetama vähemalt nelja porti, mille kaudu oleks võimalik suhelda kiirendusanduritega. Seade peab olema kerge, vastupidav ning mõõtmetelt väike.

Mikrokontrollerite tootjaid on mitmeid, Silicon Labs [3], Texas Instruments [4] ja STMicroelectronics [5]. Silicon Labs tootevalikust leidub palju arendusplaate, millest sobilikum on Giant Gecko [6]. Nimetatud seade ei leia töö raames kasutust, sest protsessor pole piisavalt võimekas. Antud seadme protsessori taktsagedusest (48 MHz) võib jääda väheseks, sest vaja on töödelda mitmelt kiirendusandurilt saadud andmeid. Texas Instruments’i võimekaim plaat – TM4C129XNCZAD [7] iseenesest on tegemist hea mikrokontrolleriga. Protsessori taktsageduseks on 120 MHz, mitmeid liideseid ja viike on palju, kuid initsialiseerimiskoodi tuleb arendajal ise kirjutada, mis on ajakulukas. STMicroelectronic’i pakutud STM32F446RE on töö jaoks sobilik. Tootja pakub mitmeid programme , millega lihtsustatakse arendaja tööd.

Kiirendusanduri valikul tuleb veenduda, et arendusplaat toetaks andmevahetuseks samu liideseid. Andur peab mõõtmete poolest olema väike ja kerge, sest on võimalus, et see paigutatakse riide külge. Lisaks peale kiirendusanduri võiks sensoril olla mõningaid muid andureid, näiteks temperatuuriandur. Tähtis on, et andur mõõdaks kolme telge. STMelectronics pakub IIS328DQ [14] madala tarnega kiirendusandurit, mis ei ole sobilik, sest suhtluseks kasutab I2C või SPI porti. Võttes arvesse juhtmete kaugusi ei taga need protokollid veakindlat andmeside. Bosch pakub mitmeid kiirendusandureid sealhulgas kiirendusandurit Bosch BNO055 [2], mis on sobilik antud töö jaoks, sest toetab UART protokolli.

Kiirendusandur Bosch BNO055 [2] andmevahetuseks on toetatud HID-I2C, I2C ning UART protokollid. Arendusplaat STM32 F446RE [1] toetab UART liidest. Arvestades, et tegemist on prototüübiga võib tekkida vajadus veelgi pikemate juhtmete kasutamiseks, mida UART ei pruugi toetada. RS-485 protokoll, mis põhineb UART protokolli, on veel kindlam ning võimaldab ühel siinil ühendada kuni 32 seadet.

## Arendusplaat STM32 F446RE

Tähtsamad tehnilised andmed [1]:

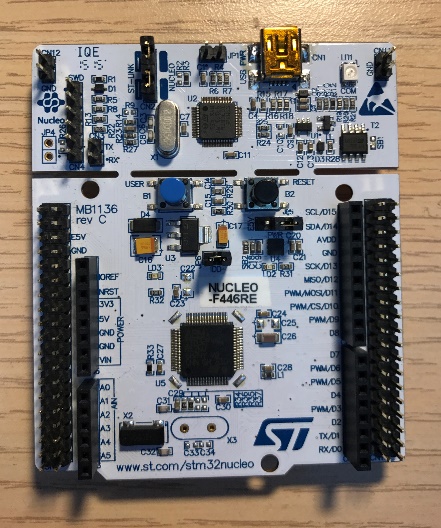
Protsessor: 180 MHz Cortex-M4 [15]

Mälu: 512 kB Välkmälu, 128 KB SRAM

Toide: 1.7 – 3.6 V

Liidesed: I2C, UART, SPI, SAI, CAN, GPIO, SDIO

Arendusplaat on kujutatud joonisel 2.



Joonis 2 – Arendusplaat STM32F446RE

Arendusplaadiks sai valitud STM32 Nucleo F446RE [1]. Valikul tuli arvestada, et tegemist on reaalajasüsteemiga. Antud töö raames tähendab, et protsessor peab suutma pidevalt andmeid vastu võtta, neid töödelda ning olema võimeline algoritmiga toime tulema. Plaat peab toetama mitut sisend- ja väljundseadet. Kaks kiirendusandurit, Bluetooth moodulit ning ühte lisa seadet, milleks võib olla näiteks LED tuli. Mõõtmetelt on seade kompaktne: 82.50 mm x 70.00 mm.

STMicroelectronics pakub enda mikrokontrolleritele tarkvara STM32Cube [16], mis lihtsustab arendaja tööd. Tarkvaraga on võimalik genereerida initsialiseerimiskood. Arendaja määrab pordid, protokollid ja konfiguratsiooni seaded ning STM32Cube programm genereerib esialgse koodi vastava seadistusega.

## Kiirendusandur Bosch BNO055

Tähtsamad tehnilised andmed [2]:

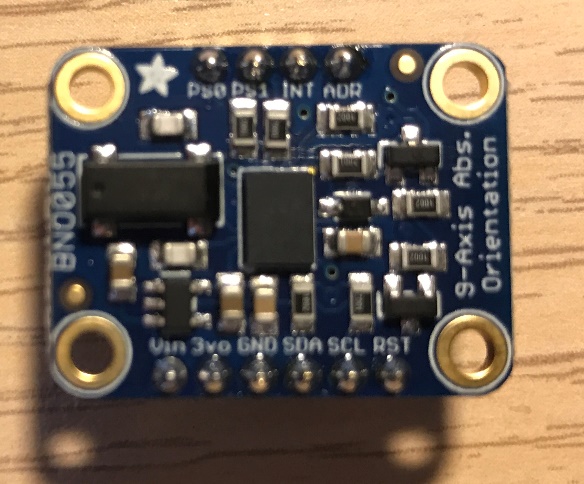
Andurid: Kiirendusandur, güroskoop, geomagnetiline sensor

Toide: 2.4 – 3.6 V

Liidesed: HID-I2C, I2C, UART

Kiirendusvahemik: ± 2g - ± 16 g

Kiirendusandur on kujutatud joonisel 3.



Joonis 3 - Kiirendusandur BNO055

Sensoriks sai valitud Bosch BNO055. Andmeedastuseks kasutab sensor HID-I2C, I2C ja UART liidest. Sensor koosneb kolmest sisse ehitatud andurist (kiirendusandur, güroskoop ja geomagnetiline andur). Seade on võimeline töötama *fusion* režiimis, kasutades kõiki andureid andmete arvutamiseks, mida juhib protsessor on ARM Cortex-M0 [17]. Sensor on mõõtmetelt väike: 5.2 mm x 3.8 mm. Samuti leidub sensori kohta palju materjale Internetis. Näiteks on tehtud sensoriga aplikatsioon orientatsiooni kuvamiseks, kasutades selleks ardunio’t [18].

### Kiirendusandur Bosch BNO055 Register

Register on jagatud kaheks loogiliseks leheks. Leht 1 omab endas sensoripõhiseid konfiguratsiooni seadeid. Leht 0 omab kõiki muid konfiguratsiooni parameetreid ning väljundandmeid [19].

## Andmeside protokollid

Arendusplaadil ja kiirendusanduril on ühiseks liidesteks I2C ja UART. Seoses sellega, et juhtmete pikkused võivad ulatuda mõnekümne sentimeetri pikkuseks, tuleb tagada häireteta andmeside. Protokolliks sai valitud UART ning RS-485. Esialgne arendus toimub UART protokolliga. Üleminek UART protokollilt RS-485 peale ei ole keeruline, sest RS-485 põhineb UART protokollil. RS-485 eeliseks on tema veakindlus distantsidel ning võimalus ühendada ühel siinil kuni 32 seadet.

### UART protokoll

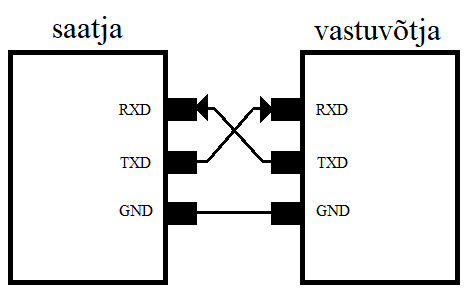
UART on laialdaselt kasutatud protokoll. mida kasutatakse andmete saatmiseks. UART protokoll on asünkroonne, mis tähendab, et puudub taktsignaal. Andmete saatmisel on sõnumil algus- ja lõpubitt. Oluline on, et mõlemad seadmed töötaksid samal boodikiirusel. UART protokolli andmevahetuse maksimaalseks kauguseks on ~2m. Boodikiirus määrab kui kiirelt toimub andmevahetus [20]. Arendusplaadi ja andurite vahel on boodikiiruseks 115200 boodi. UART’i andme formaat on näidatud tabelis 1.

Ühe andme baidi saamiseks, tuleb saata kokku 10 bitti. 1 bitt on algusbitt, 8 bitti andmeid ning 1 stoppbitt.

Tabel 1 - UART andmeformaat

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1.Bitt | 2.Bitt | 3.Bitt | 4.Bitt | 5.Bitt | 6.Bitt | 7.Bitt | 8.Bitt | 9.Bitt | 10.Bitt |
| S  T  A  R  T | A  N  D  M  E  D | A  N  D  M  E  D | A  N  D  M  E  D | A  N  D  M  E  D | A  N  D  M  E  D | A  N  D  M  E  D | A  N  D  M  E  D | A  N  D  M  E  D | S  T  O  P  P |

Andmete saatmine toimub läbi TXD signaali, mis on ühendatud vastuvõtja RXD signaali külge. Andmete vastuvõtmine käib läbi RXD signaali, mis on ühendatud saatja TXD signaali külge. Ühendusi kujutab joonis 4 ning sensori UART seadeid kujutab tabel 2.



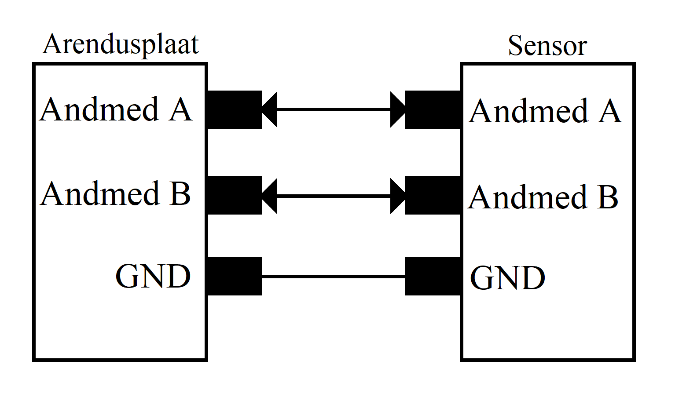
Joonis 4 - TXD ja RXD

Tabel 2 - Bosch BNO055 UART seaded

|  |  |
| --- | --- |
| Boodikiirus | 115200 bitti/s |
| Sõna pikkus | 8 Bitti (sealhulgas paarsus) |
| Stopp bitt | 1 |
| Maksimaalne pikkus lugemiseks ja kirjutamiseks | 128 baiti |

### RS-485 protokoll

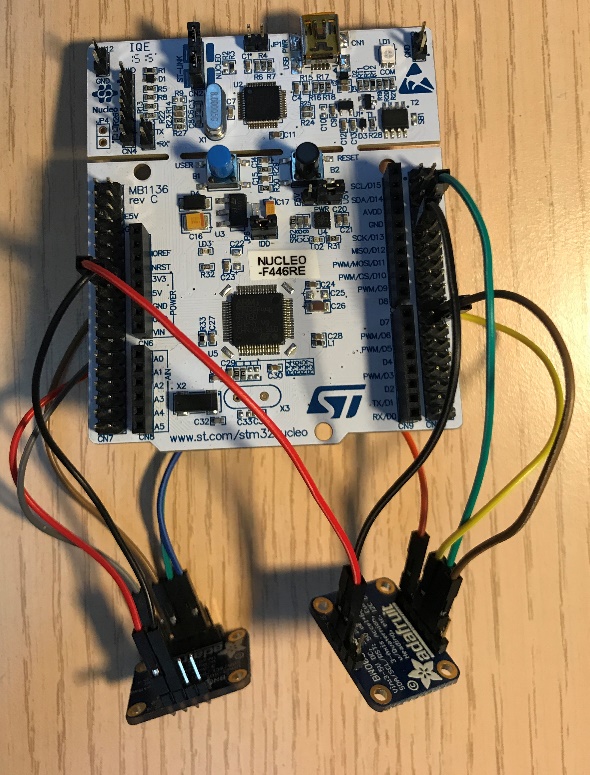
RS-485 protokoll kasutab sama loogikat nagu UART, kuid erineb liinidraiveri poolest. Liinidraiver konverteerib ühesuunalise UART signaali kahesuunaliseks, mis annab kaks andmeliini. Kahesuunalise signaali eeliseks on see, et süsteemil on parem müra taluvus ning lubab seejuures pikemaid ühendusi. RS-485 protokolli maksimaalne andmevahetuse kaugus on ~1200 m. Protokoll võimaldab ühel siinil ühendada kuni 32 seadet [20]. RS-485 ühendus on näidatud joonisel 6.



Joonis 5 - RS-485 ühendus

## Arendusplaadi ja sensori vahelised ühendused

STM32F446RE arendusplaadil on 76 viiku. Arendusplaadi ja sensori vahel on ühendus tagatud kaablitega. Kasutusel on kokku 4 UART liidest. 2 UART liidest (USART1 ja USART3) suhtlevad sensoritega. Ülejäänud 2 (USART2 ja USART6) on andmete kuvamiseks ning silumiseks. Arendusplaat koos sensoritega on kujutatud joonisel 6. USART1, USART3, USART2, USART6 ühendusi kajastab tabel 3.



Joonis 6 - Arendusplaat sensoritega

Tabel 3 - Arendusplaadi ja sensorite ühendused

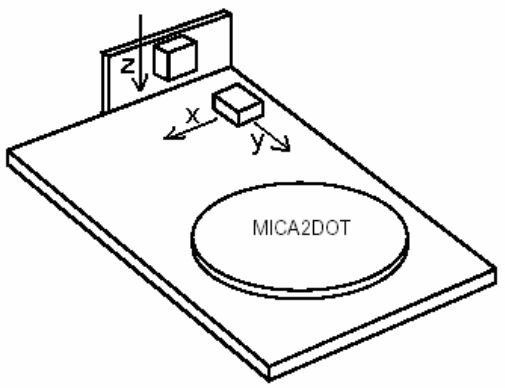
|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Arendusplaat | Sensor 1 port  USART1 | Sensor 2 port  USART3 | USART2 | USART6 |
| GND | PS0 | PS0 | - | - |
| +3V3 | PS1 | PS1 | - | - |
| +3V3 | Vin | Vin | - | - |
| GND | GND | GND | - | - |
| PA10 | SDA | - | - | - |
| PA9 | SCL | - | - | - |
| PC5 | - | SDA | - | - |
| PB10 | - | SCL | - | - |
| PA2 | - | - | TX | - |
| PA3 | - | - | RX | - |
| PC7 | - | - | - | RX |
| PC6 | - | - | - | TX |

## Ülevaade sarnastest lahendustest

Kukkumise tuvastusseadmeid on mitmeid, kuid sellist toodet, mis vastab nõuetele ei leidu. Järgnevalt on toodud ülevaade sarnastest lahendustest.

### Wearable sensors for Reliable fall detection

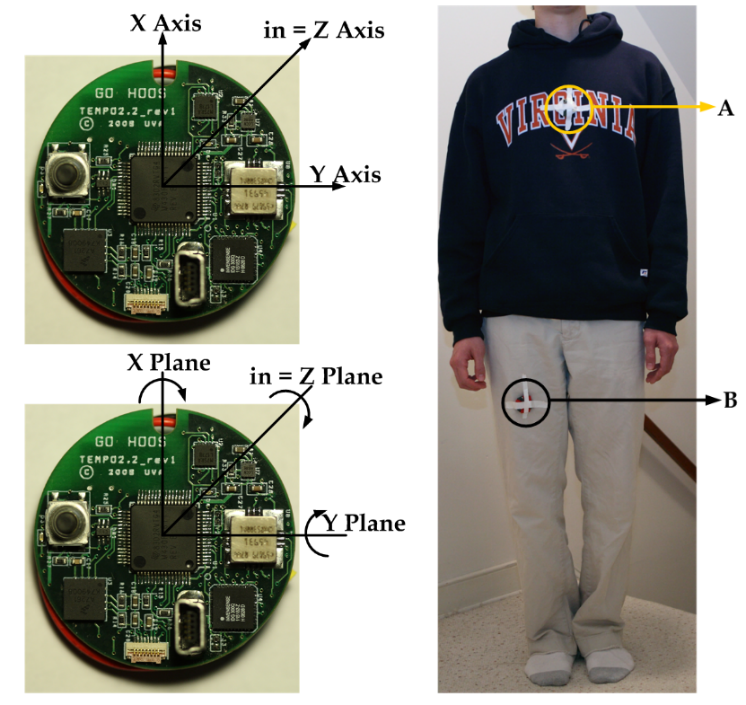
Tegu on Ad hoc tüüpi võrguga, mis tähendab, et on üks baasseade mille külge on ühendatud teised seadmed. Sensorid pannakse keha külge ning baasseadmele saadetakse andmed. Andmete töötlus toimub baas seadmes. Lahendusel on mõned puudused. Kuna andmetöötlus toimub baasjaamas, tähendab see seda, et kui on palju sensoreid, siis andmetöötlus aeglustab kogu protsessi. Andmed kuhjuvad ning võib juhtuda, et selleks hetkeks kui inimene kukub, toimub parajasti mingi teise sensori andmetöötlus. Lisaks võib esineda ka andmete kadu. Sensoriks kasutatakse MICA2DOT 2 sensori [21], mis kasutab operatsioonisüsteemiks TinyOS 1.0 [22] [23]. Seadet näitab joonis 6.



Joonis 7 – Kantav sensor kukkumise tuvastamiseks

### Accurate, Fast Fall Detection Using Gyroscopes and Accelerometer-Derived Posture Information

Kasutatakse nii kiirendusandurit kui ka güroskoopi. See võimaldab tuvastada istumised ning tõusmised, mis on andmete poolest justkui kukkumised. Kasutatakse mitut sensorit, mille abil saab tuvastada kehahoiakuid: seismine, istumine, venitamine ning lamamine. Selleks ühendatakse üks sensor rinna külge ning teine jala külge. Lahendus on hea, sest nii on tagatud rohkem tõepäraseid kukkumisi. Võimalik, et eeltoodud lahendust edasi arendades leiaks seade kasutust ka laeva peal [24]. Seadet kajastab joonis 7.



Joonis 8 - Kehahoiakut arvestav kukkumise tuvastus

### Philips GoSafe

Tegemist on seadmega, mis on välja töötatud nii sise- kui ka välistingimustesse. Asukoha tuvastamiseks on kasutusel Wifi, GPS, helialarm ning lisaks salvestatakse aegajalt asukohta kasutades selleks GPS’i. Tootel on mõned puudused. Tootel on igakuine maks ning see jaotub pakettidesse, kallimad paketid pakuvad paremaid lahendusi. Kui tegu on mitme inimesega, osutub see kulukaks. Hädakõne ei suunata hädaabisse, vaid reageerimiskeskusele, kus uuritakse, mis inimesel täpsemalt juhtus ning seejärel võtab tugiisik ühendust hädaabiga [25]. Seade on näidatud joonisel 8.



Joonis 9 - Philips GoSafe

### Shimmer sensing

Firma, mis keskendub kantavatele sensoritele. Sensorid on andmete kogumiseks ja analüüsiks. Platvormi kasutatakse prototüübi arenduseks. Kogutakse andmeid ning andmete põhjal töötatakse välja lahendus, mida on võimalik tellida tellimustööna. Antud probleemile saaks neilt lahenduse, kuid see oleks kulukas ja aeganõudev. Juba ainuüksi andmekaabel maksab 39 €. Sobiva arenduskomplekti (Consensys Development Kit [26]) saaks neilt 499 € [27]. Seadmes on altimeeter, kiirendusandur, güroskoop ning magnetometer. Kõik arenduskomplektid on varustatud kõige vajalikuga (rihmad, juhtmed, elektroodid, jne.) Seadet kujutab joonis 9.



Joonis 10 - Consensys Development Kit

# Tarkvara

Programmikood on kirjutatud C keeles. C keel on laialdaselt kasutatud süsteemne programmeerimiskeel. Keel loodi aastatel 1977 – 1979 paralleelselt operatsioonisüsteemiga UNIX. Esialgu kasutati keelt UNIX süsteemi jaoks, kuid tänapäeval on see kujunenud üheks peamiseks arvutitööstuses kasutatavaks programmeerimiskeeleks. C keele eelisteks on tema kiirus ja vähene mälukasutus [28]. Programmeerimiskeskkonnaks valisin Keil uVision5, sest keskkond on toetatud STMicroelectronics’i poolt.

Kood on kergelt muudetav ja mõistetav. Kiirendusanduri erinevaid osi on võimalik seadistada. Koodi kirjutamisel oli arvestatud, et algoritmi töötlejal oleks vajalikud funktsioonid olemas või nende puudumisel oskaks olemasolevate vahenditega neid luua. Registrileht on defineeritud päises. Kiirendusandurit on võimalik kalibreerida. Lisaks on koodis ka funktsioone, mis aitavad silumisel: registrist lugemine ning kirjutamine.

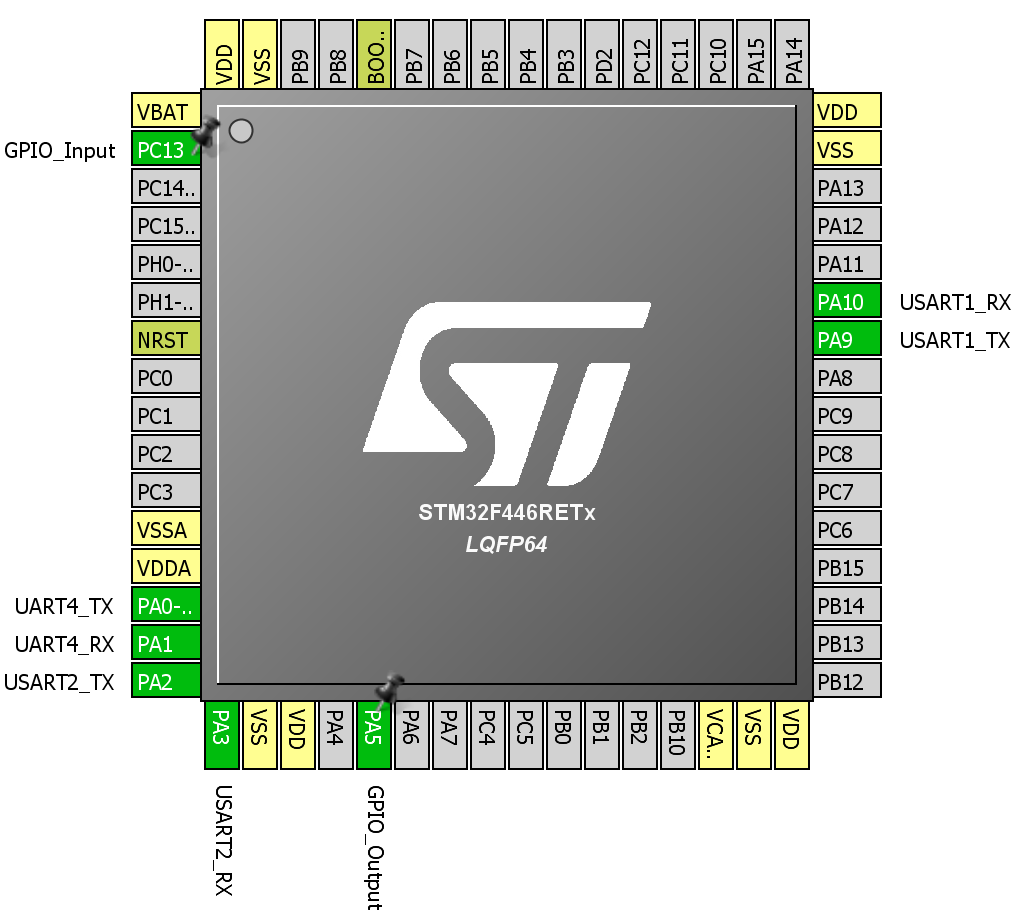
## STM32CubeMX programm

STM32CubeMX on programm, mis lihtsustab arendaja tööd. Tegemist on tarkvaraga, mis võimaldab genereerida initsialiseerimis koodi C keeles. Koodi genereerimiseks tuleb läbi graafilise liidese valida projekti jaoks seaded. Lisaks initsialiseerimis koodile antakse kaasa STM32Cube HAL teek. [29]

STM32CubeMX programmis on olulised järgmised projekti seaded. IDE valik – MDK-ARM V5. Aktiveerida tuleb USART1, USART2, USART3, USART6 ning neile määrata globaalne katkestus, täpsemad seadeid näitab tabel 3. Koodi genereerimise alammenüüst tuleb vaadata, et kasutajakood jääks alles iga kord kui programm genereerib uue koodi. Joonis 6 näitab STM32 projekti seadistusi.

Tabel 4 - UART seaded

|  |  |
| --- | --- |
| USART1, USART2, USART3, USART6 seadistused | |
| Boodikiirus | 115200 bitti/s |
| Sõna pikkus | 8 Bitti (sealhulgas paarsus) |
| Paarsus | Puudub |
| Stopp bitte | 1 |
| Globaalne katkestus | aktiveeritud |



Joonis 11 - STM32CubeMX projekti seaded

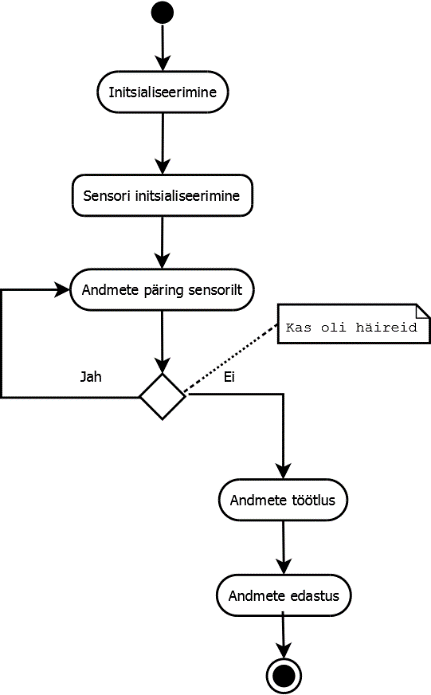
### STM32Cube HAL teek

STM32Cube HAL teek on STMicroeletronics’i initsiatiivil arendatud draiver. Draiver pakub kasutamiseks API’se, mis lihtsustavad kasutajat rakenduse loomisel. Iga draiver koosneb funktsioonide hulgast, mis katavad tavapärased vajadused. Näiteks saab teegiga initsialiseerida ning seadistada UART liidest, hallata andmevahetust, töödelda katkestusi või DMA’si ning hallata vigu. [30]

## Programmi töö

Esmalt initsialiseeritakse kõik sisemised seadistused arendusplaadil, mille seadistused tulevad STM32CubeMX programmist. Seejärel saadetakse konfiguratsiooniseaded sensorile. Peale sensori initsialiseerimist hakkab arendusplaat pärima sensorilt kiirendusandmeid. Juhul kui andmed olid vigased, küsitakse andmed sensorilt uuesti.

Andmete kontroll toimub järgnevalt. Kokku X, Y, Z koordinaatide jaoks tuleb küsida 6 andmebaiti. On võimalik, et sensor saadab andmete asemel veateate. Viga võib toimuda, mis tahes hetkel 6 baidi pärimisel. Kui üks bait kuuest on vigane, ei saa andmeid töödelda. Täpsema info kuidas toimub andmete pärimise kohta saab peatükis 3.5 Andmete päring. Programmi tööd kirjeldab joonis 7.



Joonis 12 - Programmi töö

Juhul kui andmete päring õnnestus, toimub andmete töötlus. Loetavate andmete, saamiseks tuleb kokku panna 2 baiti. Täisarv koosneb kahest baidist, kuueteistkümnest bittist, kus esimene bait tähistab vähima kaaluga baiti ning teine bait suurimat. Tabel 5 - MSB ja LSB andme töötlus on toodud näide MNB ja LSB andme töötlusest.

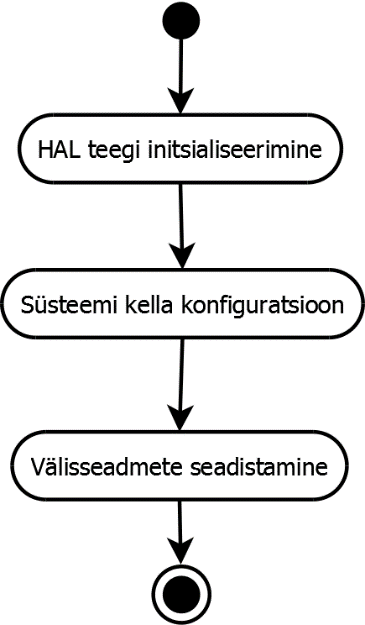
Tabel 5 - MSB ja LSB andme töötlus

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| MSB | LSB | Töödeldud kujul |
| 8 baiti | 8 baiti | 16 baiti |
| 1111 1101 | 1110 0010 | 1111 1101 1110 0010 |
| 0xFD | 0xE2 | 0xFDE2 |
| 253 | 226 | -770 |

## Arendusplaadi initsialiseerimine

Arendusplaadi initsialiseerimisel käivitatakse esmalt HAL teek. Seejärel seadistatakse süsteemitakt. Initsialiseeritakse sisemine väljund pinge, CPU-, AHB- ja ABP siini taktid. Süsteemitakt käsitleb arvutisüsteemis kõiki sünkroniseerimisist.

Seejärel toimub väliseadmete seadistus. Käivitatakse kõik konfigureeritud väljundid: GPIO, UART, USART. Arendusplaadi initsialiseerimine on näidatud joonisel 8.

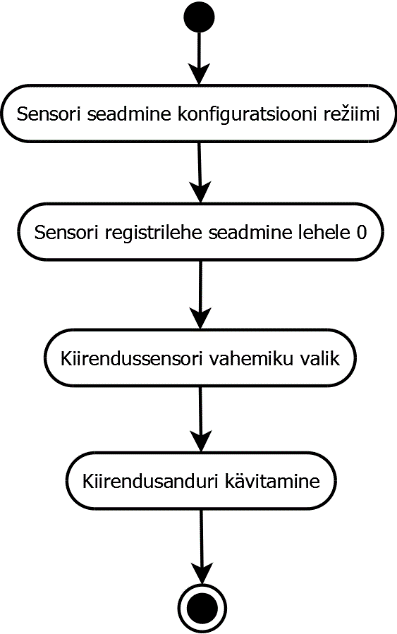


Joonis 13 - Arendusplaadi initsialiseerimine

## Sensori Initsialiseerimine

Sensori käivitamisel saadetakse sensorile konfiguratsiooniseaded, mis seadetega sensor tööle hakkab. Juhul kui tekib vajadus muuta seadistust jooksvalt, tuleb selleks sensor viia uuesti konfiguratsiooni režiimi.

Sensori initsialiseerimiseks lülitakse sensor konfiguratsiooni režiimi. Sensorile saadetakse kiirendusanduri vahemik 8G, temperatuuriühikuks kraadid ning seejärel käivitatakse sensor kiirendusanduri režiimis. Sensori initsialiseerimist kirjeldab joonis 9.



Joonis 14 - Sensori initsialiseerimine

## Andmete päring

Andmete saamiseks või saatmiseks tuleb sensorile saata andmete jaoks päring. Nii lugemisel kui ka kirjutamisel on algusbait sama. Teine bait määrab, kas tegemist on lugemise või kirjutamisega. Juhul kui on tegemist kirjutamisega on teise baidi sisuks 0x00 teisel juhul 0x01.

### Andmete lugemine

Teine bait määrab, kas tegemist on lugemise või kirjutamisega. Lugemisel on teise baidi sisuks 0x01. Lugemiseks võib küsida maksimaalselt 128 baiti andmeid.

Näiteks, kui on vaja lugeda kiirendusanduri X, Y, Z koordinaate. Saab seda teha ühe päringuga või mitme päringuga.

Üheks päringuks tuleb näidata neljanda baidiga, et soovitakse lugeda 6 baiti. Kolmas bait, mis näitab registriaadressi, peab viitama registri X koordinaadi LSB registrile. Alternatiivina võib teha 6 päringut, küsides igat baiti eraldi.

Mõistlikum on seda teha ühe päringuga, sellisel juhul on vigaste andmete tõenäosus väiksem. Lugemise päring on kirjeldatud tabel 5.

Tabel 6 - Lugemise päring

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Bait 1 | Bait 2 | Bait 3 | Bait 4 |
| Algusbait | Lugemine | Registriaadress | Pikkus |
| 0xAA | 0x01 | <..> | <..> |

#### Õnnestunud lugemine

Lugemise kinnituseks saadab sensor vastuse. Õnnestunud lugemisel saadetakse vähemalt 3 baiti. Kui tegemist on õnnestunud lugemisega algab esimene bait 0xAA’ga.

Õnnestunud lugemist kujutab tabel 6.

Tabel 7 - Registrist õnnestunud lugemise vastus

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Bait 1 | Bait 2 | Bait 3 | … | Bait (n + 2) |
| Algusbait | Pikkus | Andmed 1 | … | Andmed n |
| 0xBB | <..> | <..> | … | <..> |

#### Nurjunud lugemine

Juhul kui lugemine nurjus algab esimene bait 0xEE’ga. Järgnev bait annab mõista, mis veaga on tegu. Registrist lugemise veateade on kujutatud tabelis 7.

Tabel 8 - Registrist lugemise veateade

|  |  |
| --- | --- |
| Bait 1 | Bait 2 |
| Algusbait | Staatus |
| 0xEE | 0x02: Lugemine nurjus  0x04: Vale Registriaadress  0x05: Registri kirjutamine väljalülitud  0x06: Vale algusbait  0x07: Siini ülekoormuse viga  0x08: Maksimaalse pikkuse viga  0x09: Minimaalse pikkuse viga  0x0A:Vastuvõetud märgi taimaut |

### Andmete kirjutamine

Nagu eelnevalt mainitud, määrab teine bait, et tegu on kirjutamisega. Kirjutamisel on teise baidi sisuks 0x00. Kirjutada võib maksimaalselt 128 baiti andmeid. Süsteemiseadete muutmiseks tuleb kirjutamisel veenduda, et sensor on viidud konfiguratsiooniseadete režiimi.

Kui on vaja kirjutada kiirendusanduri kalibreerimiseks X, Y, Z koordinaatide nihe. Saab seda teha sarnaselt lugemisega. Kas ühe päringuga või mitme päringuga.

Samamoodi nagu lugemisel tuleb kirjutamisel näidata neljanda baidiga, et soovitakse kirjutada 6 baiti. Kolmas bait peab viitama registri X koordinaadi LSB nihke registri aadressile.

Mõistlikum on seda teha ühe päringuga, sellisel juhul on vigaste andmete tõenäosus väiksem. Kirjutamise päring on näidatud tabelis 8.

Tabel 9 - Kirjutamine

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Bait 1 | Bait 2 | Bait 3 | Bait 4 | Bait 5 | … | Bait (n + 4) |
| Algusbait | Kirjutamine | Registriaadress | Pikkus | Andmed 1 | … | Andmed n |
| 0xAA | 0x00 | <..> | <..> | <..> | … | <..> |

#### Kirjutamise vastus

Erinevalt lugemisest on kirjutamisel kinnituseks vaid üks vastus. Õnnestumise või nurjumise korral saadetakse 2 baiti, millest esimene on nagu nurjunud lugemise korral (0xEE). Eristamiseks peab vaatama teise baidi sisu.

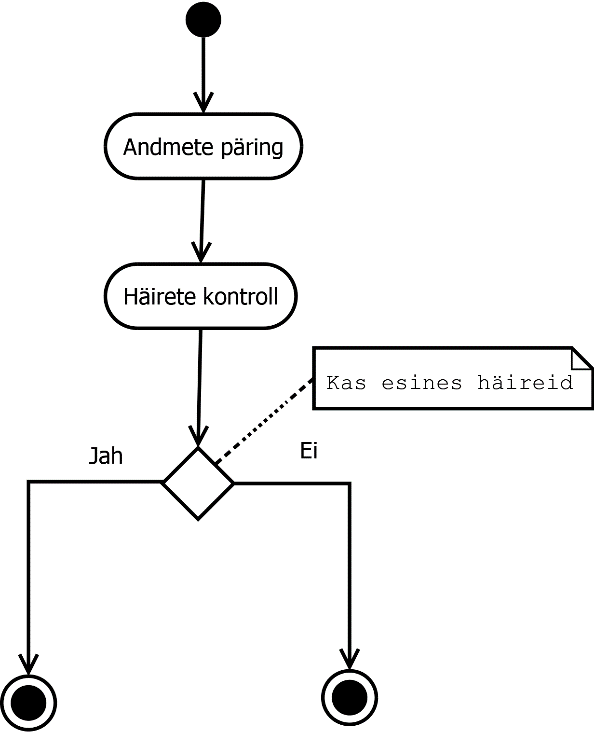
Kirjutamise õnnestumist kajastab staatus 0x01, teistel puhkudel on tegemist veateadetega. Kirjutamise vastus on kujutatud tabelis 7.

Tabel 7 - Kirjutamise vastus

|  |  |
| --- | --- |
| Bait 1 | Bait 2 |
| Vastuse algusbait | Staatus |
| 0xEE | 0x01: Kirjutamine õnnestus  0x03: Kirjutamine nurjus  0x04: Vale registriaadress  0x05: Registri kirjutamine väljalülitud  0x06: Vale algusbait  0x07: Siini ülekoormuse viga  0x08: Maksimaalse pikkuse viga  0x09: Minimaalse pikkuse viga  0x0A:Vastuvõetud märgi taimaut |

## Häirete kontroll

Peale andmete päringut kontrollitakse, kas andmed olid õiged. Juhul kui algusbait on 0xBB on tegemist vigadeta andmetega. Juhul kui algusbait on 0xEE on tegemist nurjunud lugemisega. Vigase lugemise korral andmeid ei töödelda. Häirete kontrolli kujutab joonis 10.

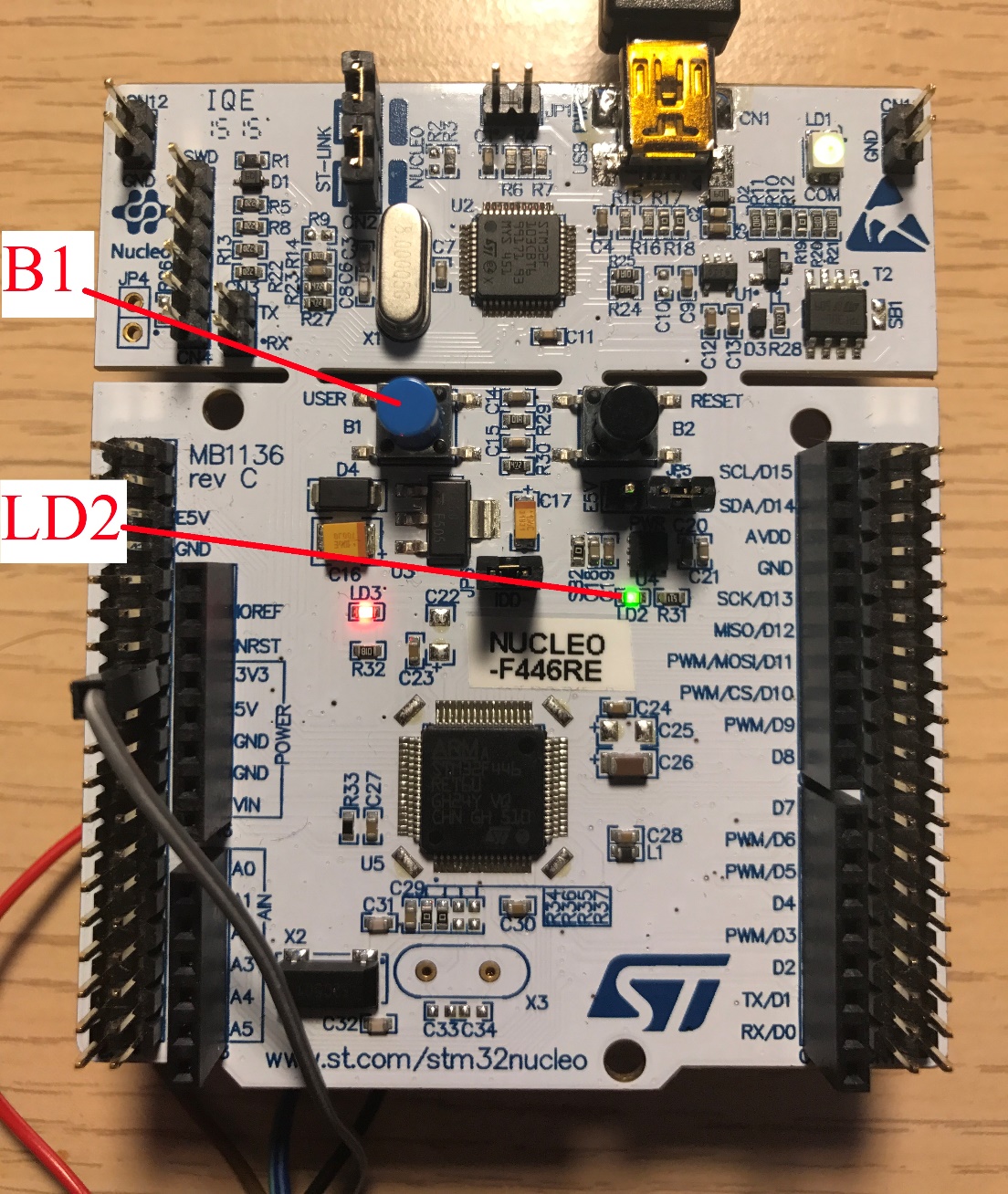


Joonis 15 - Häirete kontroll

## Kiirendusanduri kalibreerimine

Kiirendusanduri kalibreerimine on jaotatud kuueks etapiks:

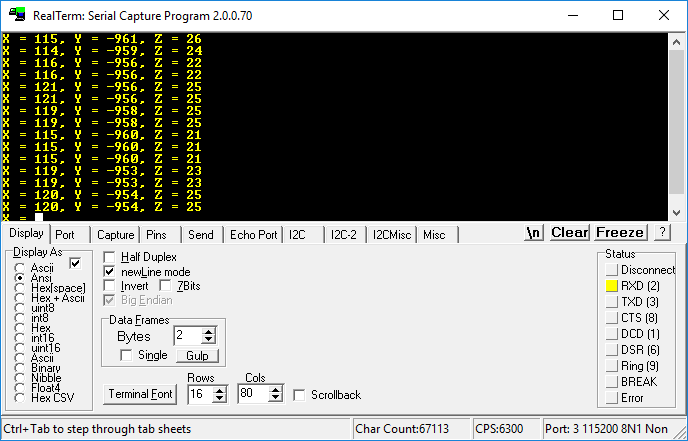
1. Sinist nuppu (B1), mis on näidatud joonisel 11, tuleb hoida all viis sekundit.
2. Seejärel on kahesekundiline paus.
   1. Juhul kui selle kahe sekundi jooksul vajutada sinist nuppu, seadistatakse teist sensori.
   2. Kui nuppu ei vajutata, seadistatakse esimest sensori.
3. Esmalt seadistatakse sensori X-telge. Tuluke LD2, mis on näidatud joonisel 11, hakkab vilkuma sagedusega 1000 ms. Sensor tuleb paigutada X-telje suhtes tasasele pinnale ning seejärel tuleb vajutada sinist nuppu B1.
4. Järgmisena seadistatakse sensori Y-telge. Tuluke LD2 hakkab vilkuma sagedusega 400ms. Sensor tuleb paigutada Y-telje suhtes tasasele pinnale ning seejärel tuleb vajutada sinist nuppu B1.
5. Viimasena seadistatakse sensori Z-telge. Tuluke LD2 hakkab vilkuma sagedusega 100 ms. Sensor tuleb paigutada Z-telje suhtes tasasele pinnale ning seejärel tuleb vajutada sinist nuppu B1.
6. Järgnevalt saadetakse sensorile kalibreerimisandmed, mille tulemusel on sensor seadistatud.



Joonis 16 - B1 ja LD2

# Testimine

Nagu eelnevalt mainitud kuvatakse andmeid läbi USART2 pordi, mida saab monitoorida programmist RealTerm [31]. Selleks tuleb seadistada RealTerm järgmiste seadetega. Boodikiirus – 115200. Port – USB port, Andmete kuvamise formaat – ASCII ning uue rea režiim peab olema aktiveeritud. Andmeid on kuvatud joonisel 12.



Joonis 17- RealTerm andmete kuvamine

Testide läbiviimiseks kasutasin programmi STM Studio [32]. Programm pakub võimalust monitoorida ja visualiseerida andmeid. Joonistel on punaselt tähistatud X-telg, Roheliselt Y-telg ning Siniselt Z-telg. Kokku viisin läbi kolmteist testi enda peal.

Testid jagunevad:

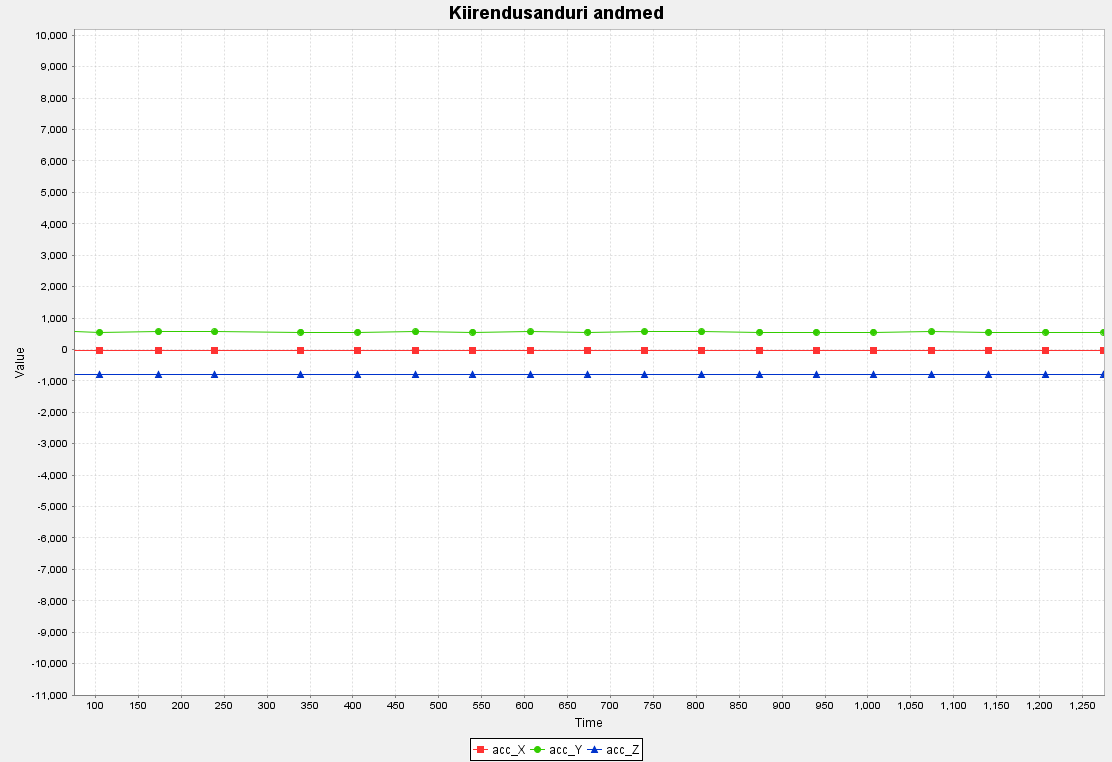
* Paigalolek – 2 katset
* Hüppamine – 3 katset
* Istumine ja tõusmine – 2 katset
* Erinevad liikumised – 3 katset
* Kukkumine ja põrutus – 4 katset

## Paigaloleku katse

Paigal olles viisin läbi kaks katset, üks seistes ning teine kiikudes, mis imiteerib laineid. Katse, kus seisin paigal on kujutatud joonisel 13. Jooniselt on näha, et X-, Y-, Z-telg on paigal. Suurim amplituud on kajastatud tabelis 9.

Tabel 10- Paigaloleku suurim amplituud

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X telg | Y telg | Z telg |
| 0 | 0 | 0 |

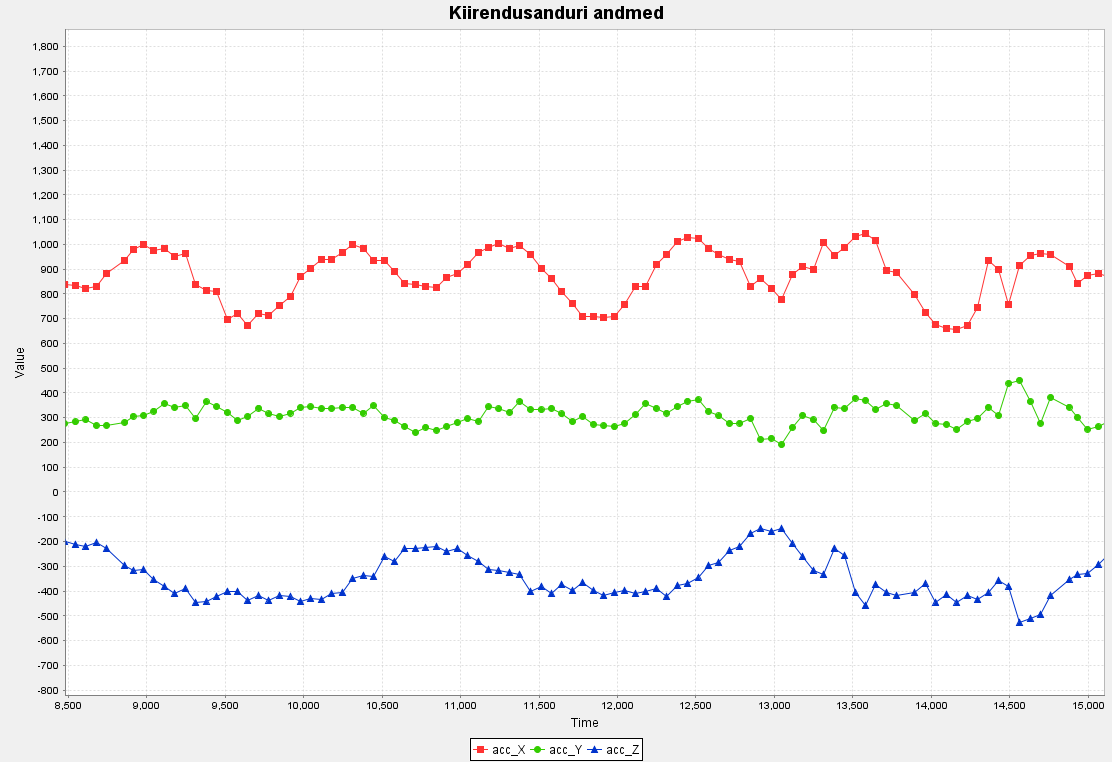


Joonis 18 – Paigalolek

Kiikumiskatsel, mis on näidatud joonisel 14, on näha, et telgede väärtused muutuvad sujuvalt. Suurim amplituud on näidatud tabelis 10.

Tabel 11 – Kiikumise suurim amplituud

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X telg | Y telg | Z telg |
| 230 | 160 | 220 |



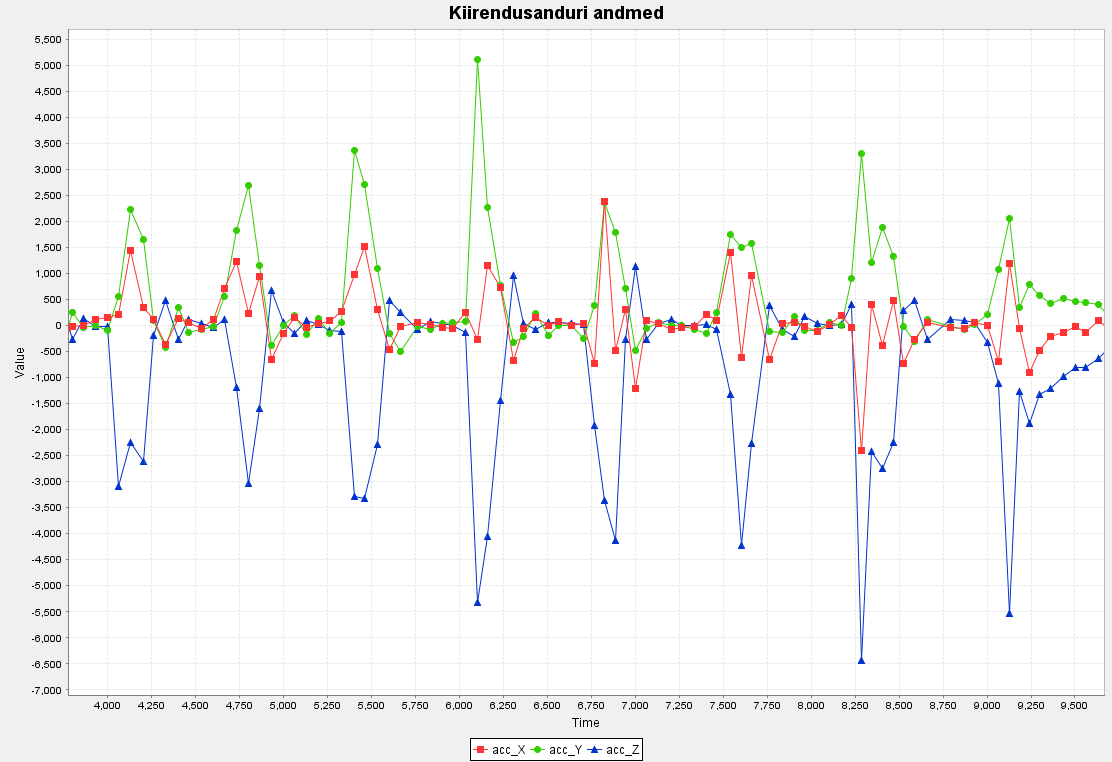
Joonis 19 – Kiikumine

## Hüppamise katse

Hüppamise jaoks viisin läbi kolm testi, millest esimene katse oli hoovõtuta hüppamine murul. Sooritasin murul kaheksa hüpet, mis on kujutatud joonisel 15. Joonisel on näha kaheksat amplituudi muutust, milleks olid hüpped. Suurimaid amplituude kajastab tabel 11.

Tabel 12 – Murul hüppamise suurim amplituud

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X telg | Y telg | Z telg |
| 2400 | 5100 | 6500 |

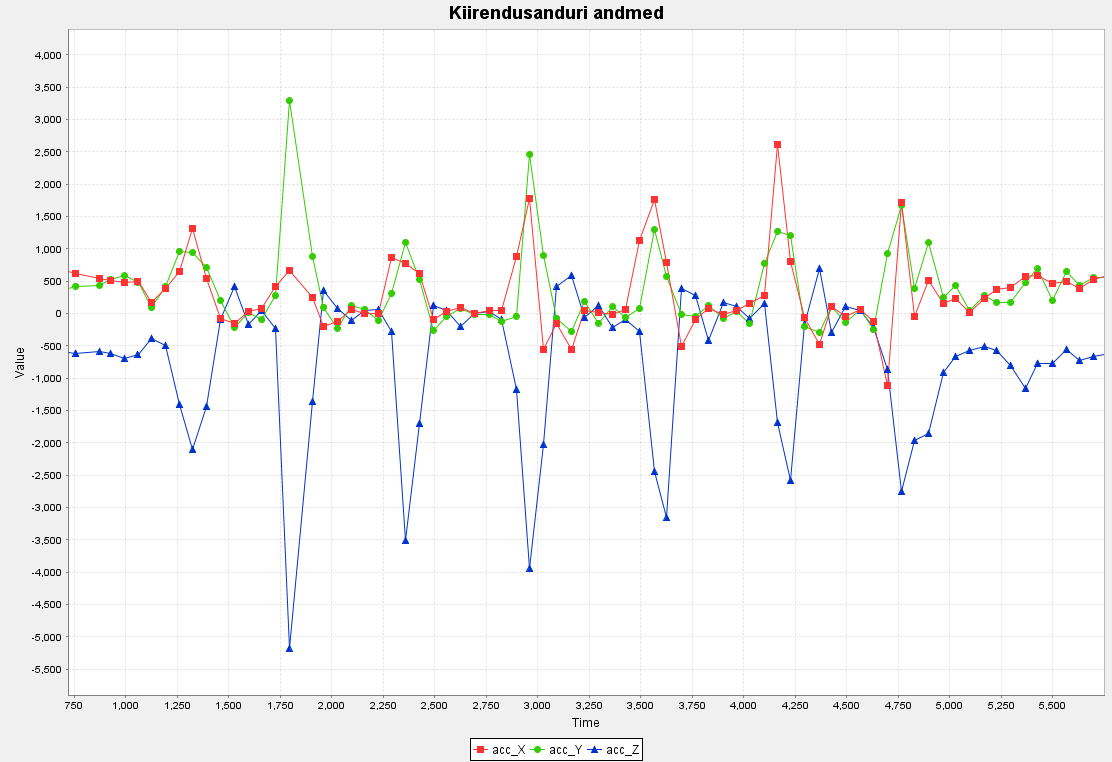


Joonis 20 - Hüppamine murul

Teine katse on joonisel 16. Jooniselt nähtub seitse hüpet, mis on sooritatud puitpinnal. Võib öelda, et hüppamine puidul ei erine hüppamisest murul. Suurimaid amplituude on kajastatud tabelis 12.

Tabel 13 - Puidul hüppamise suurim amplituud

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X telg | Y telg | Z telg |
| 1900 | 3400 | 5200 |



Joonis 21 - Hüppamine puidul

Viimast katset, mis toimus puit aluselt hüppamisel, on näidatud joonisel 18. Suurimad amplituudid on kajastatud tabelis 13. Jooniselt on näha, et ajaliselt oli hüpe võrreldes teiste hüpetega kõige pikem. Esimene tõus joonisel on hüpe õhku ja teine tõus maandumine.

Tabel 14 – Hüppamine puit aluselt murule suurim amplituud

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X telg | Y telg | Z telg |
| 750 | 1100 | -2750 |



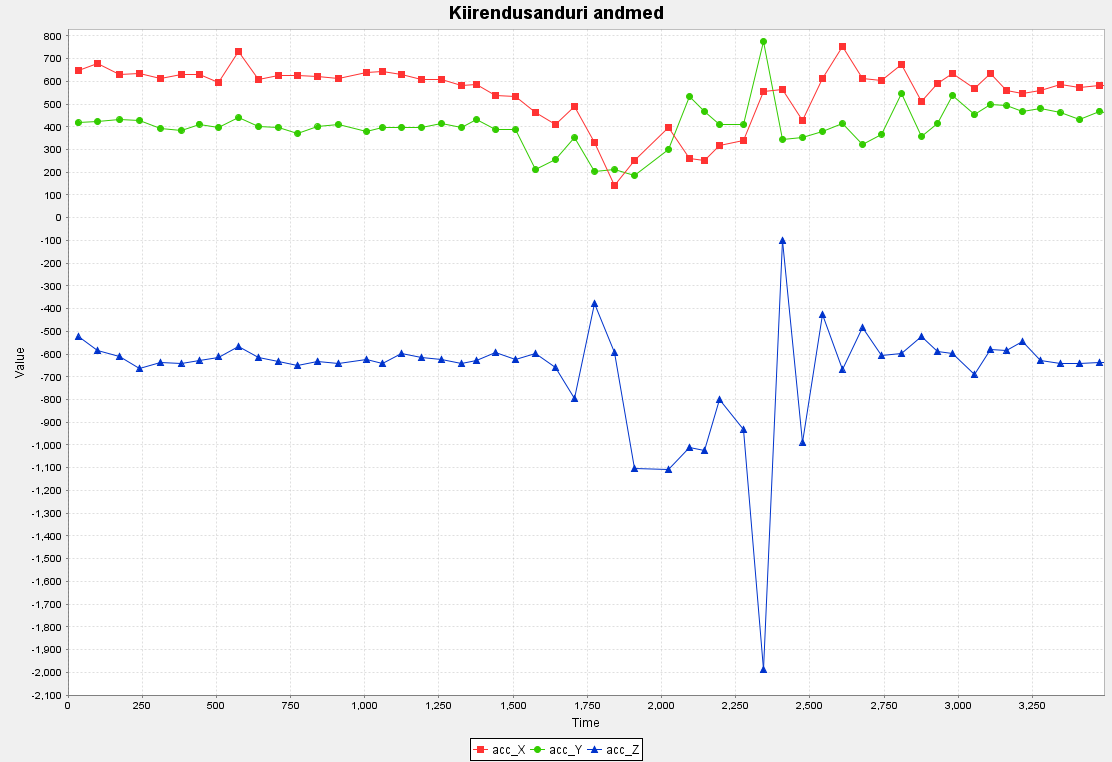
Joonis 22 - Hüppamine puitaluselt murule

## Istumise ja tõusmise katse

Sooritasin istumiseks ja tõusmiseks kaks katset, millest esimene oli istumine. Katse sooritamisel istusin toolile, mis oli valmistatud puidust. Istumist kujutab joonis 18 ning suurimad amplituudid on toodud tabelis 14.

Tabel 15 - Istumise suurim amplituud

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X telg | Y telg | Z telg |
| 550 | 400 | 1500 |

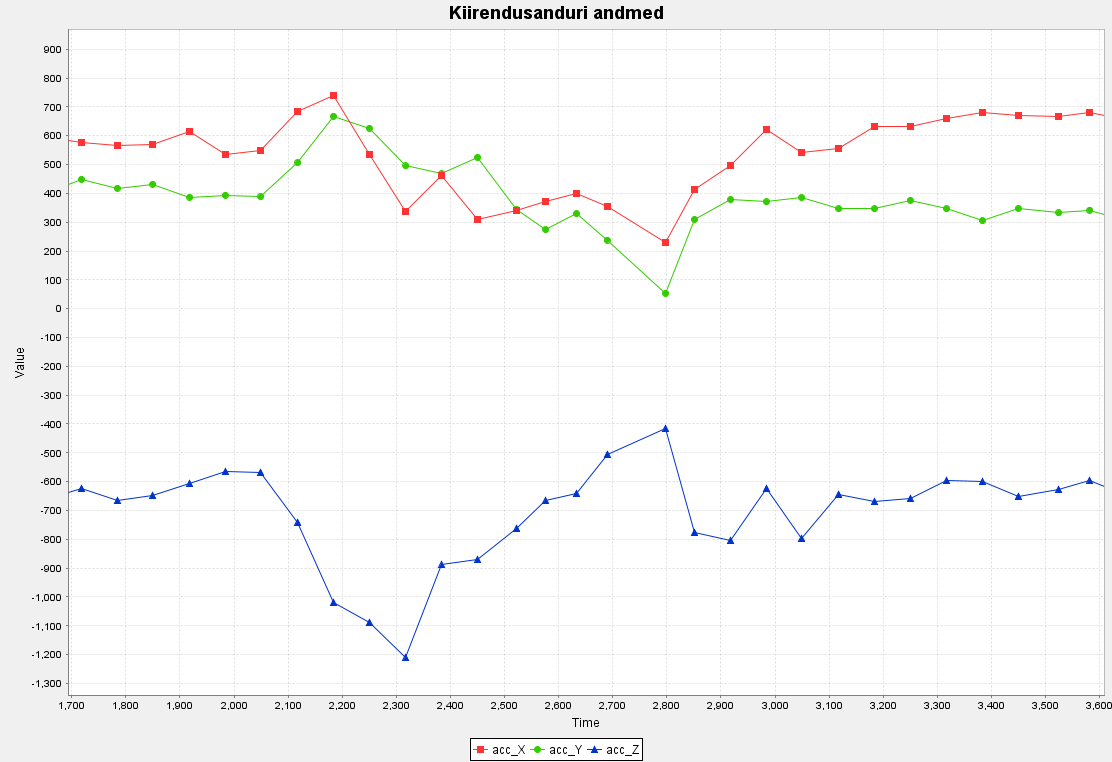


Joonis 23 – Istumine

Tõusmiskatsel istusin toolil ning tõusin püsti, mis on näidatud joonisel 19. Suurimad amplituudi muutused on näidatud tabelis 15. On näha, et tõusmisel ei esine nii suurt amplituudi muutust kui istumisel.

Tabel 16 – Tõusmise suurim amplituud

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X telg | Y telg | Z telg |
| 400 | 380 | 600 |



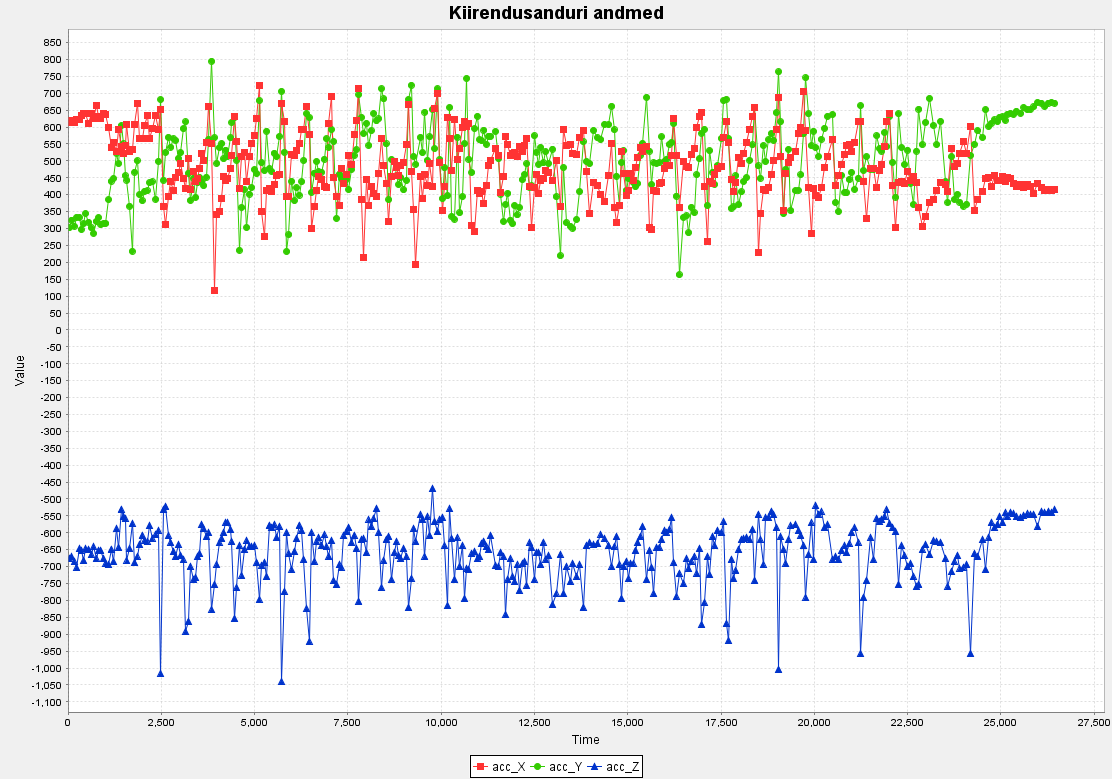
Joonis 24 - Istumine

## Erinevad liikumised

Liikumiste jaoks sooritasin kolm katset. Millest esimene on kõndimine. Kõndimiskatse sooritasin tasasel pinnal toas, katset näitab joonis 20 ning amplituudid on toodud tabelis 16. Kõndimisel on näha, et amplituudi muutus pole suur.

Tabel 17 – Kõndimise suurim amplituud

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X telg | Y telg | Z telg |
| 500 | 500 | 350 |

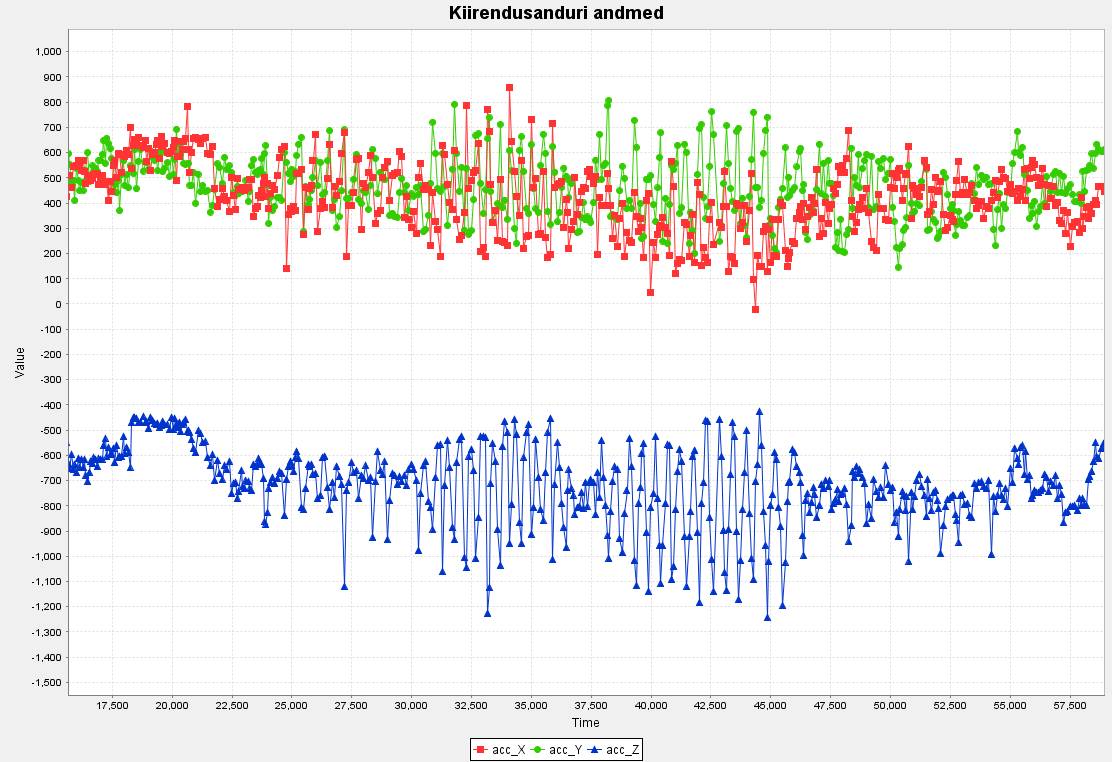


Joonis 25 - Kõndimine

Teiseks katseks kõndisin puidust trepil üles ja alla, mida näitab joonis 21. Suurimad amplituudid on toodud tabelis 17.

Tabel 18 – Trepil kõndimise suurim amplituud

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X telg | Y telg | Z telg |
| 400 | 500 | 700 |

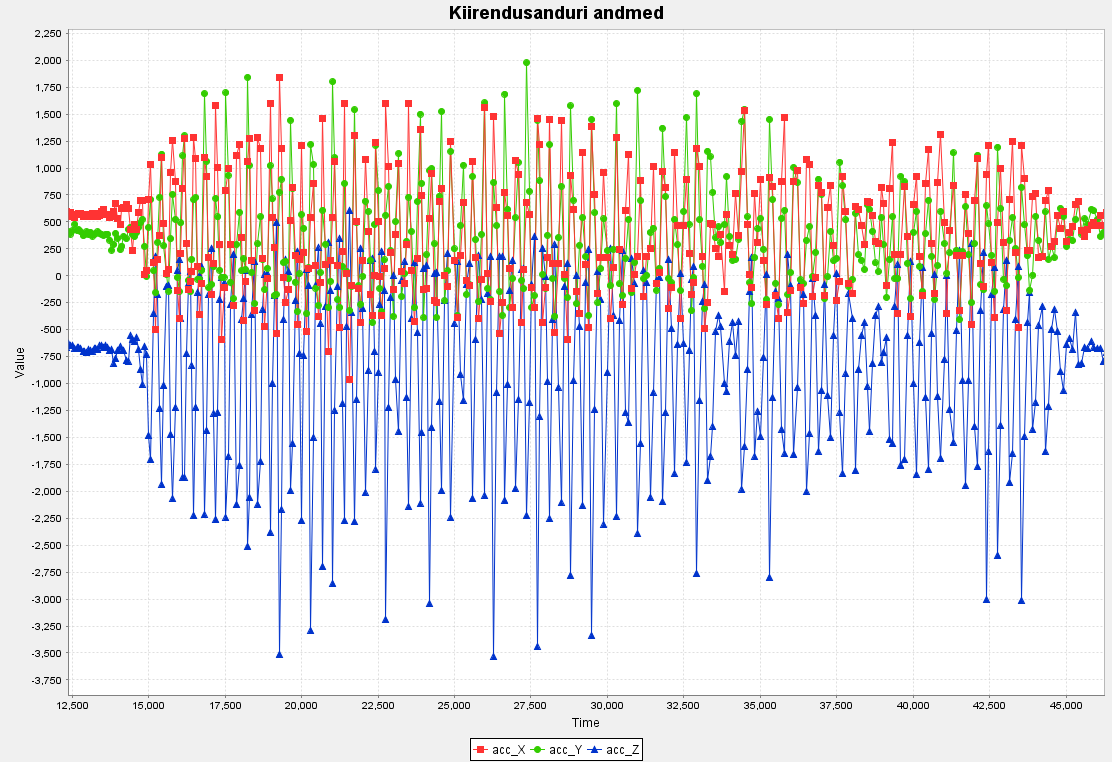


Joonis 26- Trepil kõndimine

Viimaseks katseks valisin jookmise. Jookmiskatse viisin läbi murul. Amplituudi kajastab tabel 18 ning joonis 22 kirjeldab katset.

Tabel 19 – Jooksmise suurim amplituud

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X telg | Y telg | Z telg |
| 1200 | 1500 | 2750 |



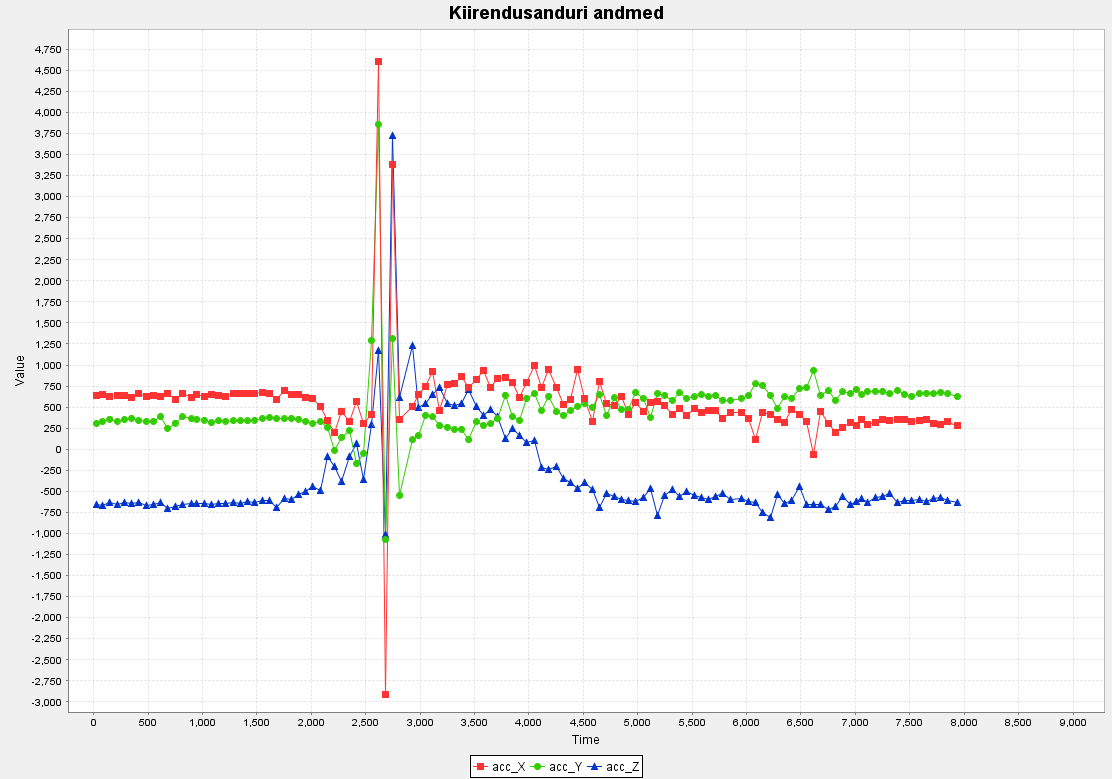
Joonis 27 – Jooksmine

## Kukkumise ja põrutuse katse

Kukkumiseks ja põrutuseks sooritasin kokku kolm katset, millest kaks olid kukkumist ning üks põrutus vastu maja. Esimeseks katseks sooritasin püsti seistes kukkumise murule. Kukkumise andmed on toodud joonisel 23 ning amplituud tabelis 19. Nagu näha on kukkumise amplituud joonisel kõige ilmekam.

Tabel 20 – Esimese murul kukkumise amplituud

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X telg | Y telg | Z telg |
| 7500 | 1750 | 1750 |

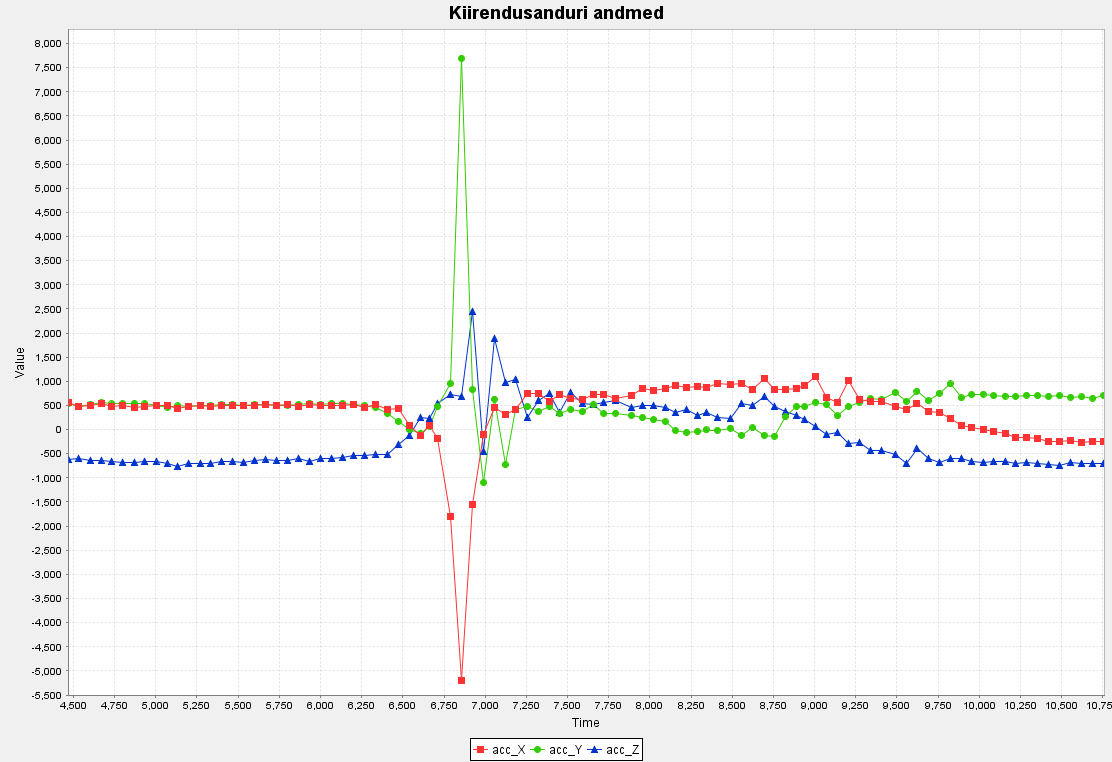


Joonis 28 – Esimene murul kukkumine

Teiseks kukkumiseks sooritasin sama katse, kuid kukkumine oli tugevam. Kukkumist kirjeldab joonis 24 ning amplituudi näitab tabel 20.

Tabel 21 - Teise murul kukkumise amplituud

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X telg | Y telg | Z telg |
| 5500 | 8800 | 3000 |



Joonis 29 – Teine murul kukkumine

Viimaseks katseks oli põrutus vastu seina, mille andmed on joonisel 25 ning amplituud tabelis 21.

Tabel 22 – Vastu seina põrutuse amplituud

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X telg | Y telg | Z telg |
| 2700 | 1200 | 1300 |



Joonis 30 – Põrutus vastu seina

# Kokkuvõte

Kasutatud kirjandus

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | „STM32 - F446RE arendusplaat,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f446.html?querycriteria=productId=LN1875. |
| [2] | [Võrgumaterjal]. Available: https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all\_products/bno055. |
| [3] | [Võrgumaterjal]. Available: http://www.silabs.com/. |
| [4] | [Võrgumaterjal]. Available: https://www.ti.com/. |
| [5] | [Võrgumaterjal]. Available: http://www.st.com/content/st\_com/en.html. |
| [6] | [Võrgumaterjal]. Available: http://www.silabs.com/products/mcu/32-bit/efm32-giant-gecko. |
| [7] | [Võrgumaterjal]. Available: http://www.ti.com/product/TM4C129XNCZAD. |
| [8] | [Võrgumaterjal]. Available: https://www.raspberrypi.org/. |
| [9] | [Võrgumaterjal]. Available: http://beagleboard.org/bone. |
| [10] | [Võrgumaterjal]. Available: http://www.arduino.org/products/boards/arduino-star-otto. |
| [11] | [Võrgumaterjal]. Available: https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/. |
| [12] | [Võrgumaterjal]. Available: https://beagleboard.org/x15. |
| [13] | [Võrgumaterjal]. Available: https://www.linux.org/. |
| [14] | [Võrgumaterjal]. Available: IIS328DQ. |
| [15] | [Võrgumaterjal]. Available: https://www.arm.com/products/processors/cortex-m/cortex-m4-processor.php. |
| [16] | [Võrgumaterjal]. Available: http://www.st.com/en/embedded-software/stm32cube-embedded-software.html?querycriteria=productId=LN1897. |
| [17] | [Võrgumaterjal]. Available: https://www.arm.com/products/processors/cortex-m/cortex-m0.php. |
| [18] | [Võrgumaterjal]. Available: https://learn.adafruit.com/adafruit-bno055-absolute-orientation-sensor/overview. |
| [19] | [Võrgumaterjal]. Available: https://ae-bst.resource.bosch.com/media/\_tech/media/datasheets/BST\_BNO055\_DS000\_14.pdf. |
| [20] | [Võrgumaterjal]. Available: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/TechnicalNotes/TN\_111%20What%20is%20UART.pdf. |
| [21] | [Võrgumaterjal]. Available: https://www.eol.ucar.edu/isf/facilities/isa/internal/CrossBow/DataSheets/mica2dot.pdf. |
| [22] | [Võrgumaterjal]. Available: https://github.com/tinyos/tinyos-main. |
| [23] | [Võrgumaterjal]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1617246. |
| [24] | [Võrgumaterjal]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5226903. |
| [25] | [Võrgumaterjal]. Available: https://www.lifeline.philips.com/safety-solutions/gosafe.html. |
| [26] | [Võrgumaterjal]. Available: https://www.shimmersensing.com/products/shimmer3-development-kit#download-tab. |
| [27] | [Võrgumaterjal]. Available: https://www.shimmersensing.com/products/. |
| [28] | [Võrgumaterjal]. Available: https://www.bell-labs.com/usr/dmr/www/chist.pdf. |
| [29] | [Võrgumaterjal]. Available: http://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html. |
| [30] | [Võrgumaterjal]. Available: http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user\_manual/2f/71/ba/b8/75/54/47/cf/DM00105879.pdf/files/DM00105879.pdf/jcr:content/translations/en.DM00105879.pdf. |
| [31] | [Võrgumaterjal]. Available: https://realterm.sourceforge.io/. |
| [32] | [Võrgumaterjal]. Available: http://www.st.com/en/development-tools/stm-studio-stm32.html. |
| [33] | L. S. Sterling, The Art of Agent-Oriented Modeling, London: The MIT Press, 2009. |
| [34] | „asdf,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f446.html?querycriteria=productId=LN1875. |
| [35] | [Võrgumaterjal]. |
| [36] | [Võrgumaterjal]. Available: http://www.ti.com/tool/tmdslcdk6748#descriptionArea. |
| [37] | [Võrgumaterjal]. Available: https://www.arduino.cc/. |
| [38] | [Võrgumaterjal]. Available: https://www.shimmersensing.com/products/shimmer3-development-kit#download-tab. |

Lisa 1