

Näkökentän mittauslaitteen suunnittelu ja kehitys

Sakari Vekki

Opinnäytetyö

Kuukausi vuosi **Toukokuu 2019**

Koulutusalan nimi **Tekniikan ala**

Tutkinto-ohjelman nimi **Insinööri (AMK), hyvinvointiteknologia**

Tekijä(t) Vekki, Sakari	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2019
	Sivumäärä 72	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Näkökentän mittauslaitteen suunnittelu ja kehitys		
Tutkinto-ohjelma Hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Siistonen Matti & Ström Markku		
Toimeksiantaja(t) EduFutura Jyväskylä		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tänä päivänä urheilusuorituksiin vaikuttavia tekijöitä tutkitaan laajasti. Yksi pinnalle nousseista tutkimusaiheista on urheilijan näkökyvyn vaikutus urheilusuoritukseen. Tätä aihetta tutkitaan tällä hetkellä myös Jyväskylän Yliopiston Liikuntatieteellisessä tiedekunnassa.</p> <p>Näkökyvyn eri osa-alueita mittaavia laitteita on kehitetty jo entuudestaan, joista suurin osa on kehitetty lääketieteen käyttöön. Kalliiden lääketieteelliseen käyttöön tarkoitettujen mittalaitteiden käyttö on kuitenkin hidasta, sekä niillä suoritettavat mittaukset vaativat mittaajalta suurta ammattitaitoa.</p> <p>Työn tavoitteena oli kehittää helpokäyttöinen mittalaite tutkimuskäyttöön, jolla voitiin mitata ihmisen näkökentän laajuutta sekä pysty- että vaakasuunnassa. Työ toteutettiin kehitystyönä, joka koostui näkökentän mittaukseen liittyvään teoriaan perehtymisestä sekä teorian pohjalta kehitetystä mittalaitteesta. Toimeksiantajana työlle toimi Edufutura Jyväskylä, joka ajaa Jyväskylän koulutuskuntayhtymä Gradian, Jyväskylän yliopiston sekä Jyväskylän ammattikorkeakoulun välistä yhteistyötä.</p> <p>Työn lopputuloksena syntyi toimiva näkökentän laajuutta mittaava laite, joka sisälsi fyysisen laitteen lisäksi tietokoneohjelmiston sen käyttöä varten, sekä käyttöoppaan mittalaitteelle. Kehitetty mittalaite otettiin käyttöön osaksi Jyväskylän Yliopiston tekemää tutkimusta.</p> <p>Raportissa on esitettynä näkökenttään ja sen mittaukseen liittyvää teoriaa, sekä luodun mittalaitteen kehitystyön prosessi kokonaisuudessaan. Raportin teoriaosuudessa on käyty läpi myös kehitetyn mittalaitteen oleellisimpien komponenttien toimintaperiaatteita.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Näkökenttä, perimetria, mittaustekniikka		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Vekki, Sakari	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 72	Permission for web publication: x
Title of publication Studying and developing a field of view measuring device		
Degree programme Degree Programme in Wellness technology		
Supervisor(s) Siistonen Matti & Ström Markku		
Assigned by EduFutura Jyväskylä		
Abstract <p>Different factors that affect performance in sports are being widely researched in modern day science. There has been increasing interest towards researching the relations between eyesight and sports performance. This subject is also being researched at the Faculty of Sport and Health Sciences in University of Jyväskylä,</p> <p>Devices that measure different aspects of eye sight have been developed before, most of which are designed for medical use. However, the use of expensive devices designed for medical use is often slow and the use requires high level of expertise from the user.</p> <p>The aim of the thesis was to create an easy-to-use device for research purposes, which can measure the field of view angle both horizontally and vertically. The thesis was a development project which consists of forming a theoretical framework based on research on measuring the field of view, and of the actual development of the device which is based on the theoretical framework. The assignor of the thesis was EduFutura Jyväskylä. Edufutura Jyväskylä aims to increase collaboration between the University of Jyväskylä, JAMK University of Applied Sciences and Jyväskylä Educational Consortium Gradia.</p> <p>As a result of the development project, a device which can measure the angles of field of view with relevant computer software was created. A guide book for using the device was also written. Students at the University of Jyväskylä implemented the device for research purposes.</p> <p>The report includes theory of the field of view measurement and a description of the process of how the device was created. It also includes information about the components which were used in the created device.</p>		
Keywords/tags (subjects) Field of view, perimetry, measurement technology		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Näkökenttä ja sen mittaaminen	5
2.1	Näkökenttä	5
2.2	Perimetria	7
2.3	Valaistus perimetriassa	7
2.4	Perimetrit	8
3	Kehitysalusta	10
3.1	Mikrokontrolleri	10
3.1.1	Digitaalinen ja analoginen data	11
3.1.2	AD-muunnos	12
3.1.3	Digitaaliporttien binäärilogiikka	12
3.2	RedBoard	13
3.2.1	Kehitysympäristö	14
3.2.2	Kehitysympäristön ohjelmarakenne	14
3.2.3	Ohjelmakirjastot	17
4	LED	17
5	Ultraäänianturi	18
5.1	Äänen nopeus	19
5.2	Etäisyyden määrittäminen ultraäänianturilla	20
6	Mittalaitteen kehitystyö	20
6.1	Kehitysalustan valinta	21
6.2	Valonlähteen valinta	21
6.3	Mittalaitteen suunniteltu toimintaperiaate	22
6.4	Sopivan LED-nauhan valinta	24
6.5	Mitoitus pystytestiä varten	25
6.6	Mitoitus vaakatestiä varten	26
6.7	Lopulliset mitat ja kehikon rakennus	32
6.8	Korkeuden säätö	33

	2
6.9	LED-nauhojen kytkentä 34
6.10	Painonapit ja RedBoardin kotelointi 35
6.11	Etäisyyden mittaus 37
6.12	Liike testaustilanteen aikana 41
6.13	Mittalaitteen käyttöliittymä 43
6.14	RedBoardin ohjelmointi 44
6.15	Mittalaitteen käyttöönotto 48
6.16	Huomioita mittaustilanteeseen liittyen 49
7	Tulokset ja johtopäätökset 50
7.1	Ominaisuusvaatimusten toteutuminen 50
7.2	Mahdolliset muut käyttökohteet 51
7.3	Jatkokehitys 52
8	Pohdinta..... 53
Lähteet 55
Liitteet 58

Kuviot

Kuvio 1	Perifeerisen näkökentän tyypilliset äärirajat..... 6
Kuvio 2	Octopus 900 perimetri..... 10
Kuvio 3	RedBoard piirilevy 13
Kuvio 4	Arduino IDE 15
Kuvio 5	LED-valojen toiminta..... 18
Kuvio 6	Kehikon muoto..... 23
Kuvio 7	Sivuttaistestin hahmotelma 24
Kuvio 8	Havainnekuva..... 25
Kuvio 9	Konvergenssin laskukaavan havainnekuva 28
Kuvio 10	Leveyden vaikutus sivuttaistestin tarkkuuteen. 30
Kuvio 11	Valmis kehikko 33
Kuvio 12	Kehikko LED-valoilla 34

	3
Kuvio 13 LED-nauhojen sarjaankytettä	35
Kuvio 14 Painonapit	36
Kuvio 15 RedBoardin muovikotelo	37
Kuvio 16 Ultraäänianturi kiinnitettynä mittalaitteeseen	38
Kuvio 17 Ultraäänianturin tarkkuuden määrittäminen mitattaessa otsan etäisyyttä pystysuuntaisesta LED-nauhasta.	39
Kuvio 18 Valmis mittalaite	42
Kuvio 19 Mittalaitteen käyttöliittymä	44
Kuvio 20 Testattavan oikeaoppinen sijoittuminen pystytestiä varten.....	45
Kuvio 21 Testattavan oikeaoppinen sijoittuminen vaakatestiä varten.	47
Kuvio 22 QR-koodi mittalaitteessa	48

Taulukot

Taulukko 1 Mittalaitteen ominaisuusvaatimukset	5
Taulukko 2 RedBoard-kehitysalustan tekniset ominaisuudet	14
Taulukko 3 Äänen nopeudet eri lämpötiloissa	19
Taulukko 4 Interpupillaarisen etäisyyden vaikutus silmän sisäänpäinkääntymisen kulmaan.	29
Taulukko 5 Etäisyyden vaikutus mittatarkkuuteen.	31
Taulukko 6 Ultraäänianturin tarkkuuden määrittämissä tulokset	40

1 Johdanto

Eri urheilusuorituksiin vaikuttavia tekijöitä tutkitaan nykyään erittäin laajasti. Yksi pinnalle nousseista tutkimusaiheista on urheilijan näkökyvyn vaikutus urheilusuoritukseen. Tätä aihetta tutkittiin myös Jyväskylän Yliopiston Liikuntatieteellisessä tiedekunnassa, jonka tueksi tämä opinnäytetyö toteutettiin.

Näkökyvyn eri osa-alueita mittaavia laitteita on jo entuudestaan, joista suurin osa on kehitetty lääketieteelliseen käyttöön. Kalliiden lääketieteelliseen käyttöön tarkoitettujen mittalaitteiden käyttö on kuitenkin hidasta, sekä niillä suoritettavat mittaukset vaativat mittaajalta suurta ammattitaitoa.

Tämän työn tarkoituksena oli kehittää tutkimuksia varten mittalaite, jolla voitaisiin mitata helposti mutta luotettavasti ihmisen näkökentän laajuutta sekä pysty-että vaakasuunnassa. Mittalaitteen toiminta sekä käyttö tuli suunnitella siten, että sillä suoritettavat mittaukset onnistuisivat myös henkilöiltä joilla ei olisi aiempaa kokemusta näkökykyyn liittyvistä mittauksista.

Mittalaitteen ensisijainen käyttötarkoitus oli hyödyntää sitä Jyväskylän Yliopiston Liikuntatieteellisen tiedekunnan tutkimuksessa, jossa tutkittiin koripalloilijoiden näkökykytaitojen vaikutusta pelitilanteisiin. Kyseisessä tutkimuksessa koehenkilöiden näkökentän laajuus oli yksi mitattavista muuttujista. Mittalaitteen käyttöä ei kuitenkaan oltu rajattu ainoastaan tähän tutkimukseen, vaan sitä tulisi olla tulevaisuudessa mahdollista käyttää myös muissa tutkimuksissa.

Taulukossa 1 on esitetty mittalaitteen ominaisuusvaatimukset, sekä ominaisuusvaatimusten kriittisyys laitteen toiminnassa. Mittalaitteen ominaisuusvaatimukset määriteltiin yhteistyössä kahden tutkimukseen osallistuvan opiskelijan kanssa.

Taulukko 1 Mittalaitteen ominaisuusvaatimukset

Ominaisuusvaatimus	Kriittisyys
Binokulaarisen näkökentän laajuuden mittaus sekä pysty-että vaakasuunnassa	5
Mittatarkkuus noin 5 astetta	5
Automatisoitu mittaus jossa mittaajan ammattitaito ei vaikuta tuloksiin	4
Budjetti noin 200€	3
Helposti paikasta toiseen siirrettävä laite	3
Mitatun näköalueen laajuuden esittäminen mittaajalle astelukuna	4
Mahdollisuus vaihtaa käytettävien valonlähteiden väriä	3
1=ei lainkaan kriittinen, 5 = erittäin kriittinen	

Tutkimuskysymys johon työssä haettiin vastausta oli seuraava:

- Millä keinoilla oli mahdollista kehittää mittalaite, joka täyttäisi sille edellä määritetyt ominaisuusvaatimukset?

Vaadittujen ominaisuuksien määrittämisen jälkeen työn tekijälle annettiin vapaat kädet hakea vastausta tutkimuskysymykseen ja kehittää mittalaite parhaaksi näkemällään tavalla. Tämä opinnäytetyö koostuu teoriaosuudesta sekä varsinaisen kehitystyön osuudesta. Teoriaosuus sisältää teoreettista taustaa jonka perusteella mittalaitetta lähdettiin kehittämään, sekä tietoa kehitetyssä mittalaitteessa käytetyistä komponenteista. Kehitystyön osuudessa käydään läpi kokonaisuudessaan se iteratiivinen prosessi jota kautta lopullinen mittalaite valmistui.

2 Näkökenttä ja sen mittaaminen

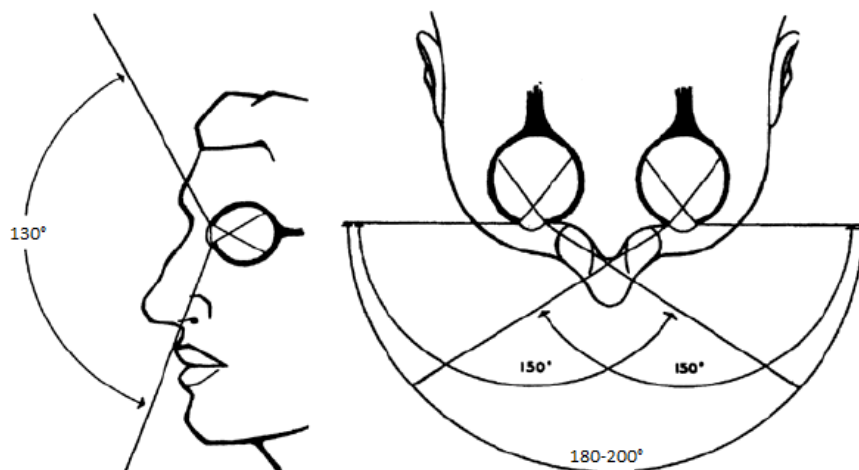
2.1 Näkökenttä

Termillä näkökenttä tarkoitetaan yhden silmän näkemää kokonaisaluetta tilanteessa jossa katsepiste on kiinnitetty yhteen pisteeseen pään pysyessä paikoillaan.

Binokulaarinen näkökenttä on kahden silmän näkemä yhdistetty kokonaisalue jossa molempien silmien katsepiste on rajattu yksittäiseen pisteeseen. (Schiefer, Pätzold, Dannheim, Artes & Hart N.d., 2.)

Näkökenttää voidaan ajatella tason sijasta kolmiulotteisena avaruudellisena osana jota kuvataan termillä näkökukkula. Silmän kyky havaita ärsyke vaihtelee rippuen useasta eri fysiologisesta tekijästä. Näkökukkulassa sen kolmiulotteinen muoto kuvaa silmän aistiherkkyyden muutoksia eri näkökentän alueilla. Mitä suurempi näkökukkulan pinta on, sitä suurempi herkkyys silmällä on havaita ärsyke kyseisellä alueella. Näkökukkulan huippu on katsepisteen keskeisellä alueella, ja perifeerisellä alueella näkökukkulan koko pienenee. (Racette, Fischer, Bebia, Hollo, Johnson & Matsumoto. 2016, 10)

Yhdelle silmälle tyypilliset perifeerisen näkökentän ääriajat ovat 50-60 astetta yläsuunnassa, 70 astetta alasuunnassa sekä 160 astetta vaakasuunnassa, josta 60 astetta on nenän suuntaan ja 90-100 astetta ohimon suuntaan. Binokulaarisen näkökentän laajuus on noin 120-130 astetta pystysuunnassa sekä 180-200 astetta vaakasuunnassa, josta 120 asteen laajuinen alue on molempien silmien nähtävissä. Näkökentän laajuuteen vaikuttavat henkilön kasvojen mittasuhteet, kuten luomien ja nenän koko, nenän muoto sekä silmien syvyys suhteessa silmiä ympäröiviin rakenteisiin. Kasvojen mittasuhteet voivat muuttua iän myötä ja näin vaikuttaa myös näkökentän laajuuteen. Kuviossa 1 on esitettyä perifeerisen näkökentän tyypilliset ääriajat. (Racette ym. 2016, 8 - 9.)



Kuvio 1 Perifeerisen näkökentän tyypilliset ääriajat (Human field of view. N.d. Muokattu)

2.2 Perimetria

Ihmisen näkökentän mittaamista kutsutaan termillä perimetria, joka jaetaan sekä staattiseen että kineettiseen perimetriaan. Staattisissa perimetriamittauksissa mittaukset suoritetaan näyttämällä koehenkilölle paikallaan olevia valonlähteitä eri alueille. Valonlähteiden kirkkaus sekä koko vaihtelevat testin aikana. Testissä määritetään näkökentästä ne valonlähteiden koot ja kirkkaudet jotka voidaan pienimmillään havaita eri näkökentän alueilla. Useasta eri staattisesti mitatusta pisteestä muodostetaan koehenkilön näkökentän kokonaislaajuus näkökukulan muodossa, josta voidaan nähdä silmän aistiherkkydet eri näkökentän alueilla. (Schiefer ym. N.d., 3 - 5.)

Kineettisessä perimetriassa mittaus suoritetaan liikuttamalla valonlähdettä näkökentän ulkopuolelta kohti näkökenttää, ja näkökentän reuna-alueet mitataan siitä pisteestä kun koehenkilö ensimmäisen kerran ilmoittaa havaitsevänsä kyseisen valonlähteen. Kineettisissä perimetriassa valonlähteen koko ja kirkkaus on testin aikana vakioitu. (Schiefer ym. N.d., 3 - 5.)

2.3 Valaistus perimetriassa

Fotometrian suure valovirta (Φ) kuvaa kappaleen lähettämän näkyvän valon voimakkuutta, jonka mittayksikkö on luumen (lm). Suure valovoima (I_v) on kappaleen lähettämä valovirta avaruskulmaa kohden:

$$I_v = \frac{\Phi}{\Omega}$$

missä Ω on avaruskulma. Valovoiman mittayksikkö on kandela (cd).

Valaistusvoimakkuus (E) on suure jolla tarkoitetaan tietylle pinta-alalle tulevaa valon määrää:

$$E = \frac{I}{A}$$

missä A on pinta-ala. Valaistusvoimakkuuden mittayksikkö on luks (lx).

Subjektivisesti koettu kappaleen kirkkaus on riippuvainen sen luminanssista (L) joka kuvaa kappaleen valovoimaa tarkastelusuunnassa pinta-alaa kohden. Luminanssin mittayksikkö on kandela per neliömetri (cd/m^2). (Schiefer ym. N.d.)

Perimetrisissä mittauksissa kappaleen havainnointiin vaikuttaa voimakkaasti havainnoitavan valonlähteen sekä taustan vällinen ero luminanssissa. Tätä kahden kappaleen välistä suhteellista eroa luminanssissa kutsutaan termillä kontrasti. Jotta perimetriset mittaustulokset ovat vertailukelpoisia keskenään, on tärkeää että taustan luminanssin arvo on testin aikana vakio. Staattisessa perimetriassa mittaustuloksiin vaikuttavat valonlähteen ja taustan välisen kontrastieron lisäksi myös havainnoitavan valoärsyksen kesto. Lyhyen valoärsyksen mutta voimakkaan luminanssin vaikutus on sama kuin pidemmän valoärsyksen ja heikomman luminanssin. Jos halutaan mitata eri luminanssikynnyksiä joita näkökentässä voidaan havaita taustan luminanssin ollessa vakio, on tärkeää pitää myös valoärsyksen kesto vakiona. Koska silmien sakkadiliikkeiden (nopeiden silmien ballististen liikkeiden kiintopisteestä toiseen) viive on noin 200ms, on sopiva valoärsyksen kesto staattisissa perimetriamittauksissa noin 100 ms – 200 ms. Tällä tavoin voidaan pienentää silmien liikkeen vaikutusta saataviin tuloksiin. (Schiefer ym. N.d., 5 - 11; Purves & Augustine 2001.)

2.4 Perimetrit

Näkökenttää mittaavaa laitetta kutsutaan nimellä perimetri. Ensimmäiset koko näkökentän laajuutta mittaavat perimetrit ovat kehitetty vuonna 1945 Hans Goldmannin toimesta. Goldmannin kehittämät perimetrit toimivat kineettisen perimetrian periaatteella, jossa valo tuodaan näkökentän ulkopuolelta kohti näkökenttää, ja se piste jossa valo nähdään ensimmäisen kerran merkitään näkökentän äärirajaksi. Goldmannin perimetreissä valoa projisoidaan puolipallon muotoiselle vaalealle pinnalle, jonka keskipisteessä testattava henkilö pitää katsettaan. Useasta eri kohdasta mitatusta pisteestä piirretään näkökenttää kuvaava alue. Koska Goldmannin kehittämässä perimetrissä testaaja projisoi manuaalisesti

valoja puolipallon pintaan, ovat suuret erot mitatuissa tuloksissa eri testaaajien välillä mahdollisia. (Carrol & Johnson 2013.)

Automatisoidut perimetrit ovat tulleet markkinoille 1970-luvulla. Automatisoidulla perimetrillä voidaan mitata ihmisen näkökenttää tietokoneavusteisesti, ja ne toimivat pääsääntöisesti staattisen perimetrian periaattein. Automaattisia perimetrejä ovat mm. Octopus sekä Humphrey. Nämä mittalaitteet Goldmannin perimetrin tavoin omaavat puolipallon muotoisen valkoisen pinnan jolle projisoidaan valoa. Valojen projisointi tapahtuu automaattisesti tietokoneen ohjaamana. Testattavalla henkilöllä on käytössään painonappi, jota painetaan aina kun valoärsyke havaitaan näkökentässä. Testi tehdään yksi silmä kerralla toisen silmän ollessa peitettynä ja pää pidettynä paikallaan leukanojan avulla. Testi vaatii koehenkilöltä katseen pitämistä samassa pisteessä useiden minuttien ajan, ja testit ovat tyypillisesit pitkäkestoisia. Testin lopuksi tietokone piirtää kokonaisnäkökentästä saadun kuvan, mukaan lukien aistiherkkydet jokaiselle alueelle. (Carrol & Johnson 2013.)

Esimerkkinä automatisoidusta lääketieteellisessä käytössä olevasta perimetristä on suomalaisella sairaalakeskus Mehiläisessä käytössä oleva Haag Streit USA:n kehittämä Octopus 900-perimetri joka on esitetty kuviossa 2. Näkökentän yksittäinen tutkimus kestää kyseisellä perimetrillä kestää noin 30 – 90 minuuttia. Octopus 900 omaa sekä staattisen että kineettisen mittauksen, ja siihen on sisäänrakennettuna automaattinen järjestelmä joka tarkkailee testattavan katsepistettä. Jos katsepiste ajautuu pois puolipallon keskipisteestä, testi pysähtyy siihen asti kunnes katse on palautettu takaisin keskipisteeseen. Kyseisen perimetrin hinta on Veatch Instruments verkkokaupassa noin 22 000 €. Haag Streit USA tarjoaa myös hieman pelkistetyemmän mallin Octopus 600 noin 14 000 € hintaan. (Näkökenttätutkimukset N.d.; Perimetry Test (Visual Field Testing) for Glaucoma 2018; Octopus 900 Basic Perimeter N.d..)



Kuvio 2 Octopus 900 perimetri (Octopus 900 Basic Perimeter N.d.)

3 Kehitysalusta

Tässä kappaleessa esitellään työssä käytetty RedBoard-kehitysalusta, sekä työn kannalta sen oleellisimpia ominaisuuksia. Kehitysalustalla tarkoitetaan fyysisen piirilevyn sekä sen ohjelmointiin tarkoitettun kehitysympäristön kokonaisuutta.

Erialaisten kehitysalustojen määrä on nykyään erittäin laaja, ja niitä löytyy moneen eri käyttötarkoitukseen. Työssä käytetyn RedBoardin lisäksi näitä on mm. Arduino, PICAXE sekä TI Launchpad (What is Arduino? N.d.; What is PICAXE N.d.; TI Launchpad™ development kits. N.d.).

3.1 Mikrokontrolleri

Mikrokontrolleri on kehitysalustan fyysisen piirilevyn sisältämä yksittäinen siru, jossa tapahtuu kaikki piirilevyllä suoritettava tiedon käsittely. Mikrokontrolleri sisältää yhden tai useamman seuraavista komponenteista:

- Prosessori

Prossessorin tehtävänä on lukea ja suorittaa muistiin tallennettua ohjelmaa. Prosessori lukee myös siihen ohjelman aikana saapuvaa dataa ja käsittelee sitä ennalta tallennetun ohjelman mukaisesti. Prosessori yhdistää kaikki mikrokontrollerin osat yhdeksi kokonaisuudeksi.

- Keskusmuisti

Keskusmuisti eli RAM (Random Acces Memory) on se osa mikrokontrolleria johon ohjelman aikana syntyvä muuttuva data tallentuu ja josta prosessori lukee tätä tietoa. Prosessori käsittelee RAM-muistiin tulevan datan ROM-muistiin tallennetun ohjelman perusteella ja suorittaa sille ohjelmaan määritetyt funktiot. RAM-muisti tyhjenee joka kerta kun mikrokontrollerin virta kytkeytyy pois.

- Lukumuisti

Lukumuisti eli ROM (Read Only Memory) on mikrokontrollerin pysyväismuisti johon ei voi tehdä muutoksia normaalin käytön aikana. Mikrokontrolleriin tallennettu ohjelma tallennetaan ROM-muistiin, josta prosessori lukee ja tulkitsee sitä. ROM-muisti säilyy mikrokontrollerissa myös virran kytkeytyessä pois. (lähde 13)

- Tulo-ja lähtöportit

Tulo-ja lähtöportit ovat datan lähetystä ja vastaanottamista varten. Tuloportit ovat nimensä mukaisesti saapuvan datan lukemista varten, ja lähtöportit ovat datan lähetystä varten. Portteja on mahdollista olla sekä analogisina että digitaalisina.

- AD-muunnin

AD-muunnin kääntää analogisesti saapuvan datan digitaaliseen muotoon.

- DA-muunnin

Da-muunnin toimii päin vastoin kuin AD-muunnin. Se kääntää digitaalisesti lähtevän datan analogiseen muotoon, ja sitä käytetään usein analogisesti toimivien laitteiden ohjaukseen.

- Muut mahdolliset komponentit

Mikrokontrollerin mallista riippuen se voi sisältää myös monia muita eri komponentteja joita edellä ei ole mainittu. Esimerkiksi nykypäivänä ROM-muistin tilalla on yleensä Flash ja/tai EEPROM-muistia. Niiden erona ROM-muistiin on se, että niiden sisältämä tieto on mahdollista pyyhkiä ja kirjoittaa uudelleen, toisin kuin ROM-muistin johon tieto voidaan kirjoittaa vain kerran. (What is Flash Memory Technology? N.d.)

(Basics of Microcontrollers 2018.)

3.1.1 Digitaalinen ja analoginen data

Jos datan arvo voi vaihdella portaattomasti tietyllä alueella, sitä kutsutaan analogiseksi dataksi. Datan arvo ei täten ole sidonnainen numeroihin vaan se voi saada minkä tahansa arvon omalla vaihteluvälillään. Hyvänä esimerkkinä tästä on

nestelämpömittari. Vaikka nestelämpömittarissa on numerotaulukko nesteen vierellä, ei neste itsessään ole millään tavalla sidonnainen kyseiseen taulukkoon. Elektroniikassa analoginen data on usein jännitteen muodossa. Esimerkiksi anturista mikrokontrollerin analogiseen tuloporttiin tulevan signaalin jännite voi olla mitä tahansa nollan ja viiden voltin väliltä. Anturilta saatavaan jännitteen arvoon vaikuttaa sen havaitsema fysikaalinen suure joka ei ole sidoksissa mihinkään numeroarvoon, vaan ainoastaan mitattavaan suureeseen. (Digitaalitekniikan perusteet: Tieto ja sen esitystavat 2002.)

Digitaalinen data sen sijaan muodostuu joukosta lukuja. Data on tällöin sidonnainen matemaattiseen pisteeseen joka kuvaa datan tiettyä arvoa. Digitaalista dataa voidaan siirtää lukujärjestelmästä toiseen, ja yleensä digitaalilaitteissa käytetään binääri- eli kaksikantajärjestelmää. Digitaalisen ja analogisen datan erona on se että digitaalisessa datassa pystytään ilmaisemaan lukuarvoja ainoastaan äärellisellä tarkkuudella. Jos esimerkiksi digitaalisen lämpömittari ilmaisee lämpötilaa 0,1 celsiusasteen tarkkuudella, tällöin tätä pienemmät lämpötilaerot jäävät havaitsematta. (Digitaalitekniikan perusteet: Tieto ja sen esitystavat 2002.)

3.1.2 AD-muunnos

Jotta mikrokontrolleri pystyy tulkitsemaan sen tuloporttiin saapuvaa analogista signaalia, täytyy signaalin muoto muuttua AD-muuntimella digitaalseksi. AD-muunnin suodattaa analogisesta signaalista sen häiriöksi tunnistamat signaalit pois, ja ottaa signaalista tämän jälkeen näytteitä tietyin väliajoin. Näytteistä katsotaan signaalin arvo kyseisinä hetkinä, ja ne pyöristetään vastamaan lähintä taulukoitua digitaalista arvoa. Lopuksi muunnetut näytearvot koodataan siirtoa tai tallennusta varten oikeaan muotoon jotta mikrokontrolleri pystyy käsittelemään niitä. (Digitaalitekniikan perusteet: Analogia-digitaalimuunnos 2003.)

3.1.3 Digitaaliporttien binäärilogiikka

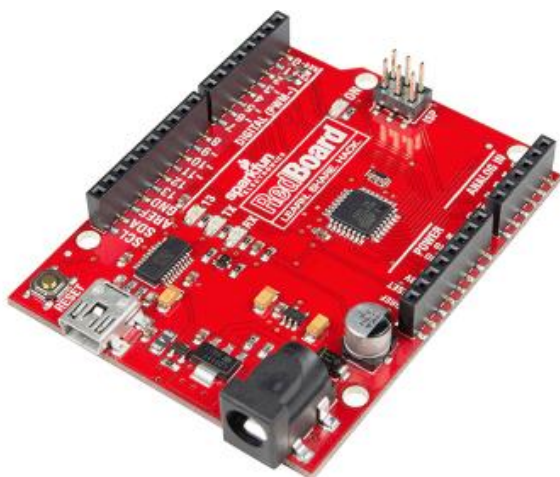
Mikrokontrollerien digitaaliset tulo- ja lähtöportit toimivat binäärilogiikalla jossa yksi bitti on pienin käytetty tiedon yksikkö. Bitin arvo voi olla vain joko 1 (tosi) tai 0 (epätosi). Bitin arvon kaksi eri tilaa esitetään usein jänniteinä. Esimerkiksi RedBoard-

kehitysalustan digitaalisten tuloporttien bittiarvo on 1 jos siihen tuleva jännite ylittää 3 voltia. Jännitteen ollessa alle 3 voltia on tuloporttien arvo 0. Samoin jos RedBoardin digitaaliselle lähtöportille annetaan ohjelmakoodissa arvo 1, nousee lähtöportin antama jännite 0:sta voltista 5:een volttiin. Tässä tulee huomata ero näiden kahden portin välillä, sillä tuloportti tunnistaa kaikki yli 3:n voltin jännitteet arvoksi 1 mutta lähtöportissa arvo 1 tarkoittaa aina 5:n voltin lähtevää jännitettä. (Digitaalitekniikan perusteet: Digitaalisysteemi 2003.; digitalWrite() N.d..)

Kuitenkin monessa tapauksessa pelkkä yhden bitin arvo ei ole riittävä ilmaisemaan haluttua tietomäärää. Näissä tapauksissa useita bittejä yhdistetään peräkkäin ja niille annetaan jonona uusi merkitys. Tätä kutsutaan koodatuksi tiedon esittämiseksi. (Digitaalitekniikan perusteet: Digitaalisysteemi 2003.)

3.2 RedBoard

Työssä käytetty RedBoard on edullinen elektroninen kehitysalusta joka perustuu avoimeen lähdekoodiin ja sen avulla on mahdollista kehittää vuorovaikuttavia laitteita. Sen on kehittänyt vuonna 2003 perustettu Yhdysvaltalainen elektroniikkaketju SparkFun Electronics. Kuviossa 3 on esitettyä fyysinen RedBoard piirilevy. (ABOUT US N.d..)



Kuvio 3 RedBoard piirilevy (SparkFun RedBoard- Programmed with Arduino N.d.)

Edellä esitellyn RedBoard-piirilevyn tekniset ominaisuudet ovat esitettynä taulukossa 2.

Taulukko 2 RedBoard-kehitysalustan tekniset ominaisuudet (Sparkfun RedBoard - Programmed with Arduino N.d.)

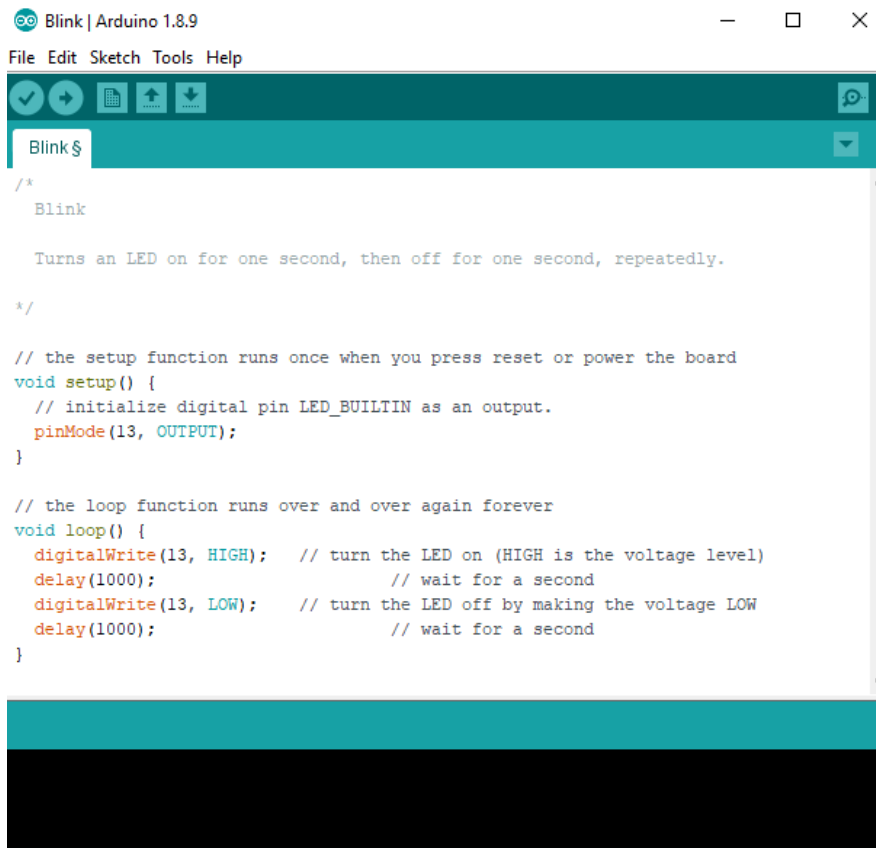
Mikrokontrolleri	ATmega328
Syöttöjännite	7-15V tai 5V USB:n kautta
Lähtöjännitteet	0-5V sekä 3.3V
Digitaaliset tulo- ja lähtöportit	14
Analogiset tuloportit	6
Flash-muisti	32kb
EEPROM-muisti	2kb
Kellotaajuus	16MHz
Keskusmuisti (SRAM)	2kb

3.2.1 Kehitysympäristö

RedBoard on kehitetty hyvin pitkälti Arduino UNO R3-piirilevyn pohjalta. Se on hieman paranneltu versio suositusta Arduino-piirilevystä, ja sen ohjelmointi tapahtuu Arduinon Arduino IDE-kehitysympäristöä hyödyntäen. Suuren suosion saavuttanut Arduino tarjoaa verkkosivuillaan suuren määrän ohjeita, valmiita ohjelmia sekä kytkentäkaavioita jotka tekevät siihen tutustumisen helpoksi. Koska RedBoard käyttää samaa kehitysympäristöä kuin Arduino, voidaan samoja oppaita hyödyntää myös sen ohjelmoinnissa. Arduino IDE-kehitysympäristössä ohjelmointi tapahtuu C/C++-kieliin perustuvalla kielellä. Seuraavassa luvussa käydään tarkemmin läpi Arduino IDE:n ohjelmakieltä. (Constants N.d.; Built-In Examples N.d.; SparkFun RedBoard – Programmed with Arduino N.d.; Language Reference N.d.)

3.2.2 Kehitysympäristön ohjelmarakenne

Kuviossa 4 on esitetty Arduino IDE-kehitysympäristö jonka avulla RedBoard-piirilevy voidaan ohjelmoida. Kuviossa on mukana myös Arduinon yksi monista valmiista esimerkkiohjelmista, jonka rakenteen eri osia käydään läpi tässä kappaleessa. Ohjelmaa suoritettaessa mikroprosessori käy sitä läpi yksi rivi kerrallaan, alkaen ylimmästä ohjelman rivistä.



```

Blink | Arduino 1.8.9
File Edit Sketch Tools Help
Blink $
/*
  Blink

  Turns an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.
*/

// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(13, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);             // wait for a second
  digitalWrite(13, LOW);  // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);            // wait for a second
}

```

Kuvio 4 Arduino IDE

Ohjelma alkaa merkeillä `/*` joka avaa kommenttiblokin. Kaikki kommenttiblokin sisälle kirjoitetut tekstirivit jätetään ohjelman suorittamisen aikana huomioimatta. Kommentointia voidaan hyödyntää ohjelman rakenteen selkeyttämiseksi. Kommenttiblockki suljetaan merkein `*/`. Merkki `/*` on myös kommentointia varten, mutta sen ero kommenttiblokin verrattuna on se että kyseisten merkkien jälkeen ainoastaan se rivi jolle merkit on kirjoitettu jätetään huomioimatta ohjelman suorittamisessa. (Karvinen & Karvinen 2011., 25 - 26)

Ensimmäinen varsinainen funktio esimerkiohjelmassa alkaa `void setup()` tekstillä. `setup()`-funktion sisälle tuleva sisältö merkitään aaltosulkein `{ }`, kuten myös muiden käytettävien funktioiden sisältö. `setup()`-funktio kutsutaan ohjelmakoodissa ainoastaan yhden kerran heti ohjelman alussa. Funktion kutsuminen koostuu kolmesta osasta: sen palautusarvosta, funktion nimestä sekä funktiolle annetuista parametreista. `void` palautusarvo ennen funktion nimeä

tarkoittaa että kyseinen funktio ei palauta mitää arvoa, vaan ainoastaan suorittaa sen sisällön. "setup()"-funktion ei vastaanota mitään parametrejä jonka takia sen jälkeisten kaarisulkujen sisältö on tyhjä. (Karvinen & Karvinen 2011., 25 - 26)

Kyseinen "setup()"-funktio sisältää ohjelmarivin "pinMode (13, OUTPUT);" joka määrittää digitaalipiortin numero 13 lähtöportiksi. Vastaavasti jos kyseinen digitaalipiortti haluttaisiin asettaa tuloportiksi, olisi "OUTPUT"-tekstin sijalla "INPUT"-teksti. C-kielen tapojen mukaisesti rivi päätty puolipisteeseen. (Karvinen & Karvinen 2011., 25 - 26)

Seuraavaksi ohjelmassa siirrytään "loop()"-funktioon, joka kutsutaan automaattisesti ja toistuvasti heti kun "setup()"-funktio on suoritettu. Funktio alkaa ohjelmarivillä "digitalWrite (13, HIGH);" jossa asetetaan edellä lähtöportiksi määritetyn digitaalipiortin numero 13 arvoksi 1. Digitaalipiortin saadessa arvon 1 antaa se 5 voltin syöttöjännitteen siihen kiinnitettyyn komponenttiin, tässä tapauksessa piirilevyn kuvitteellisesti kiinnitettyyn LED-valoon. Seuraava ohjelmarivi "loop()"-funktiossa on "delay(100);" jolla asetetaan 1000 ms mittainen viive ennen kuin siirrytään seuraavaan ohjelmariviin. Viiveen jälkeen tuleva ohjelmarivi "digitalWrite(13, LOW);" asettaa digitaalipiortin 13 takaisin arvoon 0, jolloin LED-valoon menevä 5 voltin syöttöjännite tippuu arvoon 0 voltia. Viimeinen rivi "loop()"-funktiossa on jälleen edellä käytetty "delay(1000);" jolla asetetaan toinen 1000ms mittainen viive ohjelmaan. (Karvinen & Karvinen 2011., 25 - 26)

Koska "loop()"-funktioita kutsutaan toistuvasti "setup()"-funktion jälkeen, toistuu edellä mainittu funktion sisältö siihen saakka kunnes piirilevy sammuu tai sen reset-nappia painetaan. Toisin sanoen jos LED-valo olisi kiinnitettyinä digitaalipiorttiin 13, saisi se vuorotellen viiden voltin syöttöjännitteen sekunnin ajaksi, sekä nolla voltin jännitteen sekunnin ajaksi aina piirilevyn sammumiseen tai reset-napin painamiseen asti. (Karvinen & Karvinen 2011., 25 - 26)

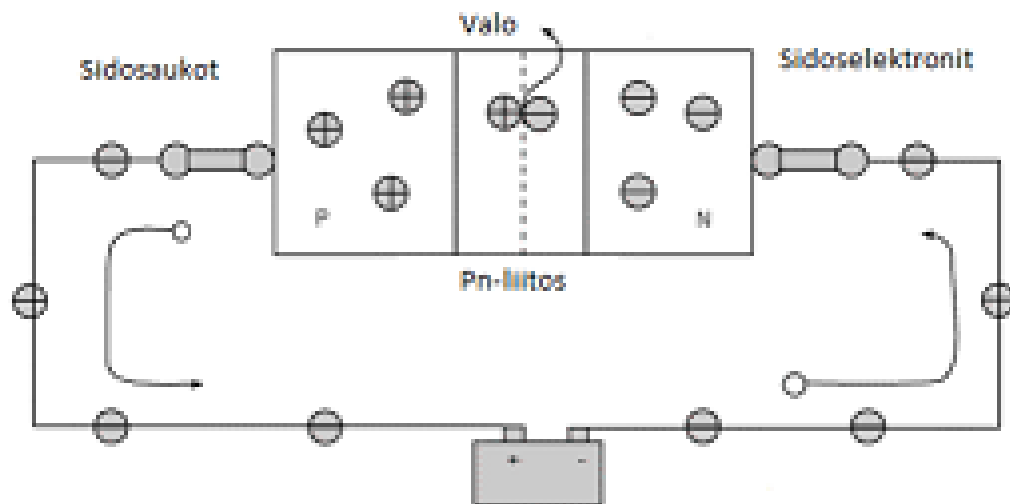
3.2.3 Ohjelmakirjastot

Ohjelmakirjastot ovat ohjelmakoodin kokoelmia jotka laajentavat sekä helpottavat piirilevyjen ohjelmointia. Niiden sisältämät valmiit funktiot ja muut osat ohjelmaa mahdollistavat monimutkaisten ohjelmakokonaisuuksien tiivistämisen selkeisiin yksinkertaisiin käskyihin. Esimerkiksi LCD-näytön käyttöönotto piirilevyn avulla voidaan suorittaa ohjelmakirjastoja hyödyntäen vain muutamalla rivillä ohjelmaa. Jokaiselle käyttölaitteelle on oma ohjelmistokirjastonsa joka sopii ainoastaan kyseiselle käyttölaitteelle, eikä niitä voida käyttää toisiin samantyyppisiin mutta eri valmistajien tekemiin käyttölaitteisiin. Valmiita ohjelmakirjastoja on satoja erilaisia eri käyttötarkoituksia varten. Ohjelmakirjastoja käytettäessä ne pitää ladata erikseen internetistä ja sisällyttää Arduino IDE-kehitysympäristön ohjelmaan `"#include<>"` käskyllä. (Installing Additional Arduino Libraries N.d..)

4 LED

LED (engl. Light-Emitting Diode) eli hohtodiodi on puolijohdekomponentti, joka hohtaa valoa kun siihen johdetaan sähköä. Valoa syntyy kun puolijohdekomponentin pn-liitoksen p-tyyppin puolelle syntyy positiivinen sähkövaraus (sidosaukkoja) ja n-tyyppin puolelle negatiivinen sähkövaraus (sidoselektroneja). Diffuusiosta johtuen järjestelmä pyrkii saavuttamaan elektronitasapainon sekä p-että n-puolelle. Tällöin negatiivisen varauksen omaavat sidoselektronit sekä positiivisen varauksen omaavat sidosaukot vetävät toisia puoleensa, ja niiden kohdatessa pn-liitoksen kohdalla niistä vapautuu energiaa valon muodossa. Edellä mainittua LED-valon toimintaa on kuvattu kuviossa 5. LED-valoja on olemassa eri värisinä, ja valon värin määrittää puolijohdekomponentin materiaali. Moniväristen RGB LED-valojen toiminta perustuu kolmeen eri LED-valoon yhden kokonaisuuden sisällä. Kokonaisuuden sisällä on yksi LED-valo jokaiselle päävärille: punainen, vihreä ja sininen. Jokaisen päävärin kirkkautta pystytään muuttamaan RGB -LED valoissa erikseen, ja täten niillä voidaan luoda mikä tahansa väriskaalan väri muokkaamalla jokaisen päävärin prosentuaalista osuutta kokonaiskirkkaudesta. LED-valojen kirkkauden säätö hyödyntää seuraavanlaista periaatetta: jos LED-valoa vilkutetaan nopeasti päälle ja pois

esimerkiksi 100 kertaa sekunnissa, vaikuttaa se ihmissilmän katsomana olevan kokoajan päällä. Jos LED-valo on päällä vilkutuksen aikana yhtä suuren ajan kuin se on pois päältä, näyttää se ihmissilmästä toimivan 50% kirkkaudella. Samoin jos LED-valo on päällä neljäsosan kokonaisajasta, näyttää se toimivan 25% kirkkaudella. (What determines the color of and LED? 2003; How Color Changing Leds Work N.d.; What is an LED? 2003; Kuisma & Leinonen N.d..)



Kuvio 5 LED-valojen toiminta

5 Ultraäänianturi

Ultraääniantureiden toiminta perustuu antureiden lähettämiin korkeataajuisiin ultraääniin jotka ovat ihmiskorvan kuulemattomissa. Ne sisältävät sekä lähettimen että vastaanottokappaleen. Ultraäänianturin lähetin lähettää korkeataajuisen ultraäänen anturista poispäin ja vastaanottokappale on asetettu tarkkailemaan samantaajuisien äänisignaalien takaisinheijastumaa. Vastaanottokappaleen havaitessa takaisinheijastuneen ultraäänen, laskee anturi signaalin lähetyksen ja vastaanoton välillä kuluneen ajan. Äänen nopeuden tiedettäessä voidaan täten laskea äänen kulkeman ajan perusteella etäisyys lähimpään kappaleeseen josta ultraääni heijastuu takaisin kohti anturia. (Aduino ultrasonic sensor (HC-SR04 or HY-SRF05). N.d..)

5.1 Äänen nopeus

Äänen nopeus on riippuvainen ilman lämpötilasta, ja se voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$v = k\sqrt{T}$$

missä:

- v = äänen nopeus
- $k = 20 \frac{m}{s} * K^{-0.5}$
- T = lämpötila (K)

Kyseistä laskukaavaa hyödyntäen saadaan äänen nopeuksien arvoiksi eri lämpötiloissa taulukon 2 mukaiset arvot. (Ismo Elo N.d..)

Taulukko 3 Äänen nopeudet eri lämpötiloissa

$k(m/s * K^{-0.5})$	$T(K)$	v
20	273	330,45
20	278	333,47
20	283	336,45
20	288	339,41
20	293	342,34
20	298	345,25
20	303	348,14

Taulukosta 2 nähdään että äänen nopeus 20 °C eli 293 kelvinin lämpötilassa on noin 342 m/s. 15 °C eli 288 kelvinin lämpötilassa äänen nopeus on noin 339 m/s, ja 25 °C eli 298 kelvinin lämpötilassa nopeus on noin 345 m/s.

5.2 Etäisyyden määrittäminen ultraäänianturilla

Äänen nopeuden perusteella etäisyys josta ultraääni heijastuu takaisin vastaanottokappaleeseen voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$L = \frac{T * v}{2}$$

missä:

- L = heijastavan pinnan etäisyys
- T = lähetyksestä vastaanottoon kuluva aika
- v = äänen nopeus

Ultraäänianturilla etäisyyttä mitattaessa tulee huomioida lämpötilan vaikutus äänen nopeuteen, sillä se vaikuttaa anturista saataviin tuloksiin. (What is an Ultrasonic Sensor? N.d..)

6 Mittalaitteen kehitystyö

Projektin alussa mittalaitteen suunnittelutyö jouduttiin aloittamaan tyhjältä pöydältä. Selkeää kuvaa lopullisesta laitteen mittausrakenteesta vielä ei ollut, joten suunnittelutyössä jouduttiin etenemään askel kerrallaan. Jokaisessa askeleessa pidettiin mielessä mittalaitteelle asetetut ominaisuusvaatimukset, joiden perusteella ratkaisuja pyrittiin tekemään. Koska työhön käytetty aika sekä budjetti olivat rajallisia, tuli harkita tarkkaan mistä komponenteista mittalaite tulisi rakentamaan, sekä mistä kyseiset komponentit hankittaisiin. Myös mittalaitteen rakenne vaati tarkkaa suunnittelua jotta testituloksista saataisiin mahdollisimman luotettavia. Luku 6 ja sen alaluvut käyvät läpi kronologisessa järjestyksessä koko mittalaitteen suunnittelu- ja kehitysprosessin.

6.1 Kehitysalustan valinta

Jotta kehitystyössä päästiin alkuun, mittalaitteen toiminnan ohjaamiseen päätettiin valita kehitysalusta joka hyödynsi Arduino IDE-kehitysympäristöä. Valinta tehtiin sen pohjalta että työn tekijällä oli aikaisempaa kokemusta kyseisistä kehitysalustoista. Koska mittalaitteen kehitystyön arvioitiin olevan suhteellisen monimutkainen prosessi, haluttiin se koostaa mahdollisimman pitkälti sellaisista komponenteista joista työn tekijällä oli jo aikasempaa osaamista. Tämän uskottiin helpottavan prosessin etenemistä, koska kokonaiskuvan hahmottaminen tulisi olemaan täten selkeämpää.

Kehitysalustan valintaan vaikutti sen hinta, saatavuus sekä ominaisuudet. Valittu RedBoard-kehitysalusta oli sillä hetkellä edullisin Arduino IDE-kehitysympäristöön perustuva alusta, ja se oli heti saatavilla suomalaisesta elektroniikkaverkkokaupasta Robomaa. Toinen vaihtoehto olisi ollut Arduino Uno R3 joka on lähes identtinen RedBoardin kanssa. Kuitenkin koska RedBoard oli hieman Arduino Uno R3:a edullisempi, päädyttiin valitsemaan RedBoard. Tässä vaiheessa kokonaiskuva mittalaitteen lopullisesta rakenteesta oli vielä epäselvä, mutta se päätettiin rakentaa toimimaan sellaiseksi jonka valitun RedBoardin ominaisuudet sallisivat. Redboard tulisi suorittamaan kaikki mittalaitteen automatisoidut toiminnot, joten muut elektroniset komponentit tuli valita siten että ne olivat yhteensopivia valitun kehitysalustan kanssa. (SPARKFUN REDBOARD – PROGRAMMED WITH ARDUINO N.d..)

6.2 Valonlähteen valinta

Koska mittalaitteen tulisi mitata testattavien henkilöiden kykyä havaita valonlähteitä näkökentässään, täytyi ensin päättää minkä tyyppisellä valonlähteellä mittalaite toimisi. Valonlähteen valinnassa mietittiin aikaisemmin kehitettyjen automaattisten perimetrien toimintaperiaattetta, jossa valoa projisoitiin puolipallon muotoiselle heijastavalle pinnalle. Samantyyppisen automaattisen järjestelmän rakentaminen käytössä olevilla resursseilla sekä osaamisen tasolla olisi ollut erittäin vaikeaa, joten siitä luovuttiin jo heti alkumetreillä. Koska yksi vaadituista ominaisuuksista oli

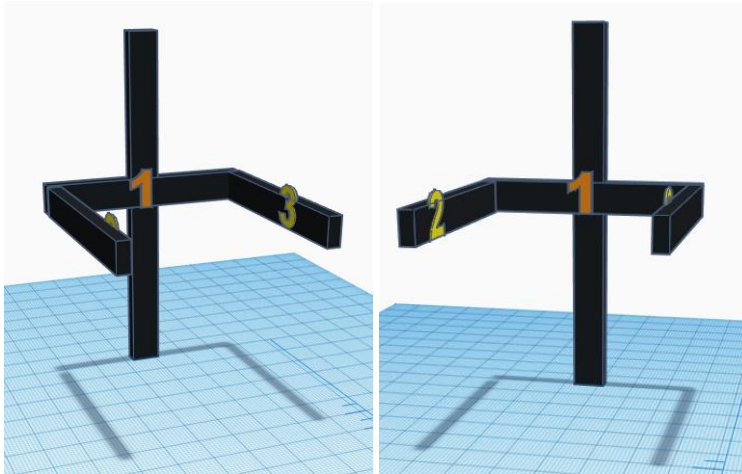
mahdollisuus vaihtaa valonlähteen väriä, rajasi se huomattavasti valittavien valonlähteiden kirjoa. Vaihtoehtoja etsittiin internetistä, mutta lopputuloksena oli että lähes ainoa mahdollisuus oli hyödyntää työssä LED-valoja. RGB LED-valoja hyödyntäen olisi mahdollista tehdä testi millä tahansa väriskaalan värillä.

Yksittäisistä LED-valoista rakennettua mittalaitetta ei nähty kovin järkevänä vaihtoehtona. Lyhyen etsimisen jälkeen onnistuttiin löytämään WS2812B RGB LED-nauhoja joiden ohjaus oli mahdollista toteuttaa RedBoardin kautta. Nauhat koostuivat useista sarjaan kytketyistä yksittäisistä RGB LED-valoista, jotka olivat kiinnitettynä nauhoihin tasaisin välein. Kyseisille LED-nauhoille löytyi myös valmis ohjelmakirjasto FastLED joka näytti suhteellisen helppokäyttöiseltä. (FastLED Animation Library. N.d..)

6.3 Mittalaitteen suunniteltu toimintaperiaate

LED-nauhat löydettyäessä mittalaitteen tulevasta rakenteesta syntyi selkeämpi kuva. Mittalaitteesta päätettiin tehdä kehikko, johon tulisi LED-nauhat sekä sivu-että pystysuunnassa.

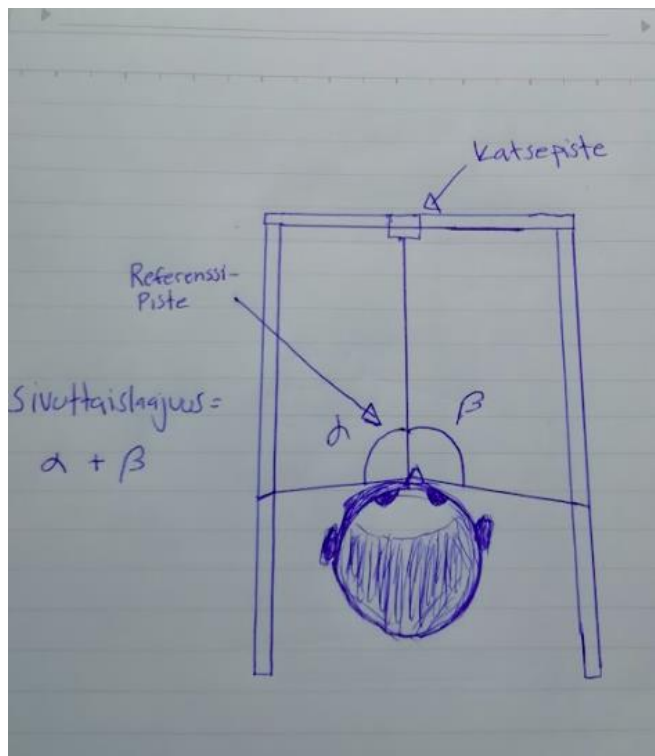
Koehenkilö tulisi testin aikana seisomaan suorakulmaisen kehikon sisälle ja näkökentän ääriajat mitattaisiin nähtyjen LED-valojen perusteella, joita sytytettäisiin yksi kerrallaan sekä pysty-että vaakasuunnassa. Testi toimisi siis staattisen perimetrin periaatteella. Kaukaisin nähty LED-valo tulisi merkitsemään kyseisen suunnan näkökentän ääriajaan reunaan. Ominaisuusvaatimuksen takia testi tulisi tekemään molemmat silmät auki yhdellä kertaa, koska haluttiin mitattava binokulaarisen näkökentän ääriajojen laajuutta. Kehikon muodosta tehtiin suuntaa antava 3d-malli TinkerCad ohjelmalla joka on esitetty kuviossa 6. LED-nauhat suunniteltiin laitettavaksi seuraavalla tavalla: numeron 1:n kohdalle (ks. Kuvio 6) LED-nauha pystysuuntaisesti, numeron 2:n kohdalle (ks. Kuvio 6) LED-nauha rakenteen sisäreunaan vaakasuunnassa ja viimeinen LED-nauha numero 3:n (ks. Kuvio 6) kohdalle myöskin rakenteen sisäreunaan vaakasuunnassa. Numero 1 kohdalle tuleva LED-nauha olisi pystymittausta varten ja numeroiden 2 sekä 3 LED-nauhat vaakamittausta varten.



Kuvio 6 Kehikon muoto

Pystymittausta varten testattava tulisi seisomaan vakiodulla sijainnilla katse pystysuuntaista nauhaa päin, silmät kyseisen nauhan keskikorkeudella. Valoja tulitisiin sytyttämään alkaen nauhan ylä- sekä alapäästä, jotka askel kerrallaan siirtyisivät kohti nauhan keskipistettä. Testattava tulisi antamaan signaalin nähtyään ensimmäisen kerran LED-valon syttyneenä joko ylä- tai alasuunnassa, joka tulisi merkitsemään testattavan näkökentän äärirajaa kyseisessä suunnassa. Kun molemmista suunnista olisi saatu merkittyä äärirajat, pystyttäisiin näin laskemaan näkökentän laajuus.

Myös vaakatestissä testattava tulisi seisomaan vakiodulla sijainnilla katse pystysuuntaista nauhaa päin, ja vaakasuuntaisten LED-nauhojen LED-valoja tulitisiin sytyttämään yksi kerralla alkaen näkökentän ulkopuolelta. Molemmilta puolilta tulitisiin mittaamaan ne LED-valot jotka testattava pystyisi ensimmäisenä näkemään, ja ne tulisivat olemaan laskukaavoissa näkökentän äärirajat. Näkökentän sivuttaislaajuuden laskennan referenssipisteenä tulitisiin käyttämään otsan keskipistettä. Kuviossa 7 on esitettyä hahmotelma sivuttaistestin mittaustilanteesta.



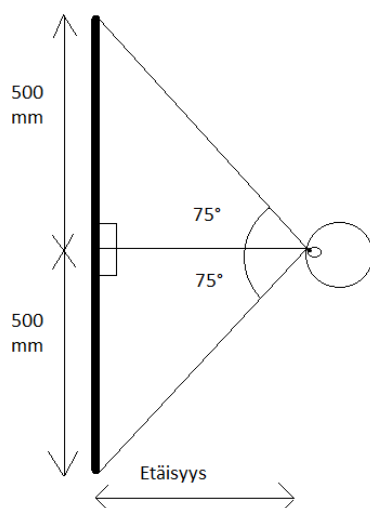
Kuvio 7 Sivuttaistestin hahmotelma

6.4 Sopivan LED-nauhan valinta

Valittaessa LED-nauhaa yksi tärkeimmistä sen ominaisuuksista LED-valojen määrä metriä kohden. Koska mittalaitteen tarkkuuvaatimukseksi oli esitetty noin viiden asteen tarkkuutta, liian harvassa olevat LED-valot eivät soveltuneet työhön. Kuitenkin mitä enemmän LED-valoja oli metrillä, sitä kalliimmaksi ne muuttuivat. Budjetti huomioon ottaen päädyttiin lopulta tilaamaan kolme metrin mittaista LED-nauhaa, joissa jokaisessa oli 100 kappaletta RGB LED-valoja. LED-nauhat tilattiin Saksan Amazon.de verkkokaupasta joka oli niiden edullisin löydetty toimittaja Euroopassa. WS2812B LED-nauhojen saapumisen jälkeen nauhojen toimivuus testattiin valmiilla ohjelmalla ohjelmakirjastosta ja ne toimivat halutulla tavalla.

6.5 Mitoitus pystytestiä varten

Koska hankituissa yhden metrin LED-nauhoissa oli LED-valoja yhden senttimetrin välein ja mittatarkkuuden vaatimus noin 5 astetta, tuli kehikko mitottaa sen mukaan. Pystymittausta varten oleva tukirakenne päätettiin tehdä yhden metrin mittaiseksi, jotta se olisi juuri siihen käytettävän LED-nauha mittainen. Tiedettiin että pystysuuntaisen näkökentän kokonaislaajuus oli normaalisti noin 130 astetta (Racette ym. 2016), jonka perusteella pääteltiin että mittalaitteella tulisi pystyä mittaamaan vähintään 75 asteen kulmaa molempiin suuntiin. Kehikko päätettiin rakentaa siten että testattavan henkilön silmät tulisivat olemaan LED-nauhan keskipisteen korkeudella, jolloin mitattavan kulman suuruus olisi riippuvainen testattavan silmien etäisyydestä LED-nauhasta. Keskipisteestä tulisi olemaan 50 senttimetrin matka LED-nauhan ylä- sekä alareunoihin ja silmistä mitattu kulma kyseisiin reunoihin tulisi olla vähintään edellä mainittu 75 astetta. Tästä muodostuvien suorakulmaisten kolmioiden perusteella pystyttiin määrittämään se etäisyys kuinka kaukana testattava voisi enimmillään olla nauhasta testin aikana. Kuviossa 8 on esitetty sivupersektiivin havainnekuva selkeyttämään tilannetta, jonka perusteella laskettiin testattavan henkilön minimietäisyys LED-nauhasta. (Racette ym. 2016, 8 - 9.)



Kuvio 8 Havainnekuva

Etäisyyden laskuissa oletettiin että testattavan pää olisi suorassa, ja se laskettiin trigonometrian avulla seuraavalla kaavalla:

$$etäisyys = \frac{500mm}{\tan 75^\circ}$$

Josta etäisyydeksi saatiin noin 13,4 cm. Kyseinen laskettu etäisyys ei kuitenkaan vielä vaikuttanut työn etenemiseen.

Tässä vaiheessa oli tärkeää ottaa huomioon kehikon suoran muodon vaikutukset laskettaviin kulmiin. Näkökentän ääri rajoja tulnaisiin mittaamaan yhden senttimetrin välisiltä etäisyyksiltä, mutta pinta jolla LED-nauha oli kiinni ei ollut kaareva. Tarkoitti tämä silloin sitä että yhden senttimetrin muutos nähdyllä alueella ei aiheuttaisi aina saman suuruista kulman muutosta nähdyssä alueessa. Mitä lähemmäksi keskipistettä näkökentän ääri rajat muodostuisivat, sitä suuremman kulmamuutoksen yhden senttimetrin välinen matka LED-nauhassa nähdyllä alueella aiheuttaisi.

6.6 Mitoitus vaakatestiä varten

Kehikon mittasuhteita laskettiin myös vaakatestin vaatimien ominaisuuksien perusteella. Pystytestiä varten testattavan henkilön tuli olla varsin lähellä pystysuuntaisesti olevaa LED-nauhaa jotta näkökentän ääri rajat eivät ylittäisi kyseisen nauhan ylä- ja alareunoja. Vaakatestissä haluttiin välttää konvergenssiksi kutsutun ilmiön vaikutusta mitattuun binokulaarisen näkökentän sivuttaislaajuuteen. Konvergenssillä tarkoitetaan ilmiötä jossa ihmisen silmät kääntyvät sitä enemmän kohti toisiaan mitä lähempänä kappale johon katsotaan on. (Kilpeläinen, M. N.d..)

Gordon, Blackwell, Bradtmiller, Parham, Barrientos, Paquette, Corner, Carson, Venezia, Rockwell, Mucher & Kristensenin (2014) teknisen raportin tuloksia käytettiin arvioidessa konvergenssin vaikutusta mittaukseen. Tekniseen raporttiin oli kerätty dataa Yhdysvaltain armeijan henkilökunnan antropometrisistä mitoista. Kyseinen

raportti sisälsi myös dataa henkilöiden interpupillaarisista etäisyyksistä (Engl. Interpupillar distance), eli pupillien välisistä etäisyyksistä. Raporttia varten kerättiin dataa yli 6000:lta henkilöltä, ja mitattujen interpupillaarisen etäisyyden vaihteluväli oli 5.10 cm ja 7.70 cm välillä. (Gordon, Blackwell, Bradtmiller, Parham, Barrientos, Paquette, Corner, Carson, Venezia, Rockwell, Mucher & Kristensenin 2014, 148 - 150.)

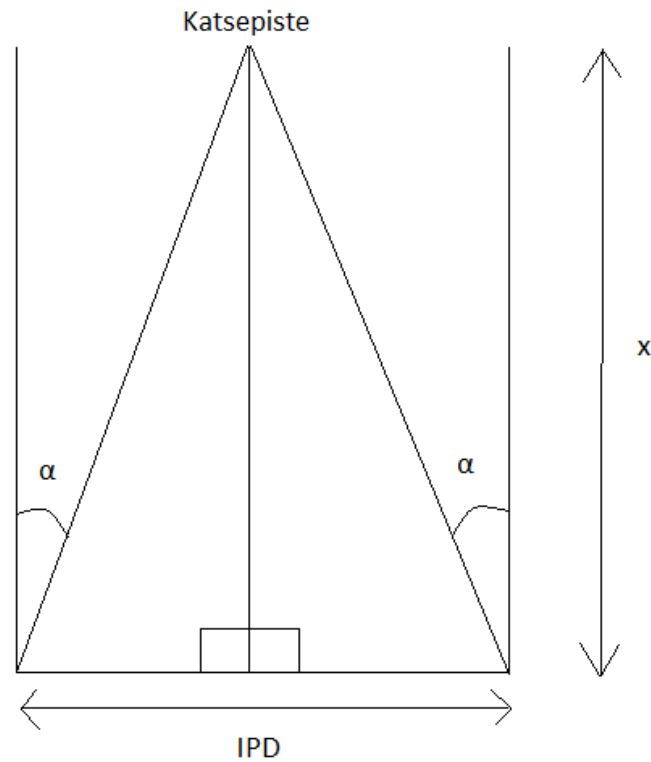
Jotta löydettiin sopiva etäisyys jossa konvergenssi ei vaikuta merkittävästi vaakatestin mittaustuloksiin, laskettiin interpupillaarisen etäisyyden sekä katsottavan objektin etäisyyden vaikutusta silmien sisäänpäinkääntymisen kulmaan seuraavalla kaavalla:

$$\alpha = 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{X}{IPD/2}\right)$$

missä:

- α = yksittäisen silmän sisäänpäinkääntymisen kulma
- X = silmien etäisyys katsepisteestä
- IPD = interpupillaarinen etäisyys

Kuviossa 9 on piirretty havainnekuva tilanteesta selkeyttämään ylläolevaa laskukaavaa.



Kuvio 9 Konvergenssin laskukaavan havainnekuva

Interpupillaarisen etäisyyden arvoina käytettiin Claire ym. (2014) teknisen raportin datan ääriarvoja 5.10 cm sekä 7.70 cm, ja laskettiin kuinka etäisyyden muutos vaikuttaa näillä ääriarvoilla silmien sisäänpäinkääntymisen kulmaan. Laskuissa otettiin huomioon myös molemmilla ääriarvoilla laskettujen kulmien välinen erotus. Saadut laskutulokset on esitetty taulukossa 4. (Claire ym. 2014, 148 - 150.)

Taulukko 4 Interpupillaarisen etäisyyden vaikutus silmän sisäänpäinkääntymisen kulmaan.

IPD (cm)	X (cm)	α (astetta)	Erotus (astetta)
7,7	10	21,1	
5,1	10	14,3	6,8
7,7	20	10,9	
5,1	20	7,3	3,6
7,7	30	7,3	
5,1	30	4,9	2,5
7,7	40	5,5	
5,1	40	3,6	1,9
7,7	50	4,4	
5,1	50	2,9	1,5
7,7	60	3,7	
5,1	60	2,4	1,2
7,7	70	3,1	
5,1	70	2,1	1,1
7,7	80	2,8	
5,1	80	1,8	0,9
7,7	90	2,4	
5,1	90	1,6	0,8
7,7	100	2,2	
5,1	100	1,5	0,7

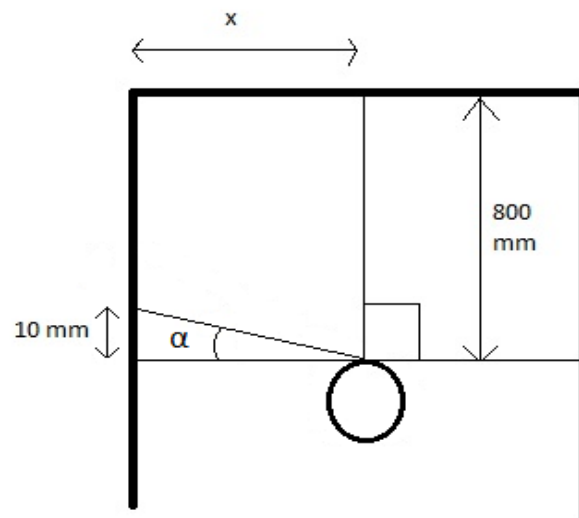
Saatujen laskujen perusteella saatiin todettua että jos vaakatesti tehtäisiin vähintään 80 cm:n etäisyydellä katsepisteestä, ei tällöin silmien sisäänpäinkääntymisen kulmissa tulisi olemaan testattavien välillä yli asteen eroa per silmä, riippumatta testattavien interpupillaarisista etäisyyksistä. Tämä oli tärkeä huomio sillä mittalaitteella tehtävien testien olisi erittäin tärkeä olla vertailukelpoisia keskenään.

Koska mittalaite haluttiin suunnitella siten että vaakatestissä testattavan henkilön silmät olisivat vaakasuuntaisten LED-nauhojen keskipisteiden kohdalla, pääteltiin että kyseisten LED-nauhojen tukirakenteiden tulisi täten olla 130 cm pitkiä. Tämä tulisi tarkoittamaan sitä että vaakasuuntaisten LED-nauhojen keskipiste tulisi olemaan 80 cm:n etäisyydellä pystysuuntaisen LED-nauhan keskipisteestä jos ne kiinnitettäisiin alkamaan tukirakenteen uloimmasta päästä.

Lopuksi tuli vielä laskea poikittaisen tukirakenteen vaatima mitta johon ei tultaisi kiinnittämään yhtään LED-nauhaa. Kyseisen tukirakenteen mitta vaikuttaisi sivuttaistestin mittatarkkuuteen, sillä se määrittäisi sen etäisyyden jolla vaakatestiä

varten kiinnitettävät LED-nauhat tulisivat olemaan toisistaan sekä testattavasta henkilöstä.

Koska testi tulisi määrittämään näkökentän laajuuden otsan keskipisteen suhteen sen perusteella kuinka aikaisin LED-valoja pystyttäisiin sivuttaissuunnassa näkemään, tulisi suurimmat erot mitatuissa kulmissa olemaan niiden LED-valojen välillä jotka olisivat lähimpänä 90 asteen kulmaa suhteessa otsan osoittamaan suuntaan. Sivuttaistestissä näihin kulmamuutoksiin yksittäisten LED-valojen välillä vaikuttaisi sekä LED-valojen etäisyys toisistaan että niiden etäisyys otsan keskipisteestä. Yksittäisten LED-valojen etäisyyden toisistaan ollessa vakio, täytyi siis tutkia kuinka otsan keskipisteen sijainti tulisi vaikuttamaan laitteen mittaamaan kulmatarkkuuteen. Kuviossa 10 on yläperspektiivin hahmotelma tilanteesta jota lähdettiin tutkimaan.



Kuvio 10 Leveyden vaikutus sivuttaistestin tarkkuuteen.

Haluttiin siis ratkaista leveyden x vaikutus kulmaan α . Tämä pystyttiin ratkaisemaan trigonometrian avulla seuraavalla kaavalla:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{l}{x}\right)$$

missä:

- l = LED-valojen välinen vakioetäisyys toisistaan
- x = puolet poikittaisen tukirakenteen pituudesta

Kyseisen kaavan avulla tehtiin taulukko (ks. Taulukko 5) eri leveyden arvojen vaikutuksista testin tarkkuuteen.

Taulukko 5 Etäisyyden vaikutus mittatarkkuuteen.

X(mm)	l(mm)	α (astetta)
50	10	11,310
100	10	5,711
150	10	3,814
200	10	2,862
250	10	2,291
300	10	1,909
350	10	1,637
400	10	1,432
450	10	1,273
500	10	1,146
550	10	1,042
600	10	0,955
650	10	0,881
700	10	0,818
750	10	0,764

Taulukosta voitiin nähdä jo etukäteen oletettu tieto siitä että mitä kauempana testattavan henkilö on sivuttaistestin LED-valoista, sitä tarkemmalla välillä pystytään mittaamaan näkökentän laajuutta. Oli kuitenkin otettava huomioon se seikka että kyseiset vaihtelut kulmissa yksittäisten havainnoitujen LED-valojen välillä olivat suurimmat mahdollisimmat muutokset valojen välillä. Mitä kauemmaksi 90 asteen kulmaa mentäisiin, sitä pienemmäksi kulman muutos muuttuisi yhtä LED-valon väliä kohden.

Tässä vaiheessa ehkä loogiseltakin vaikuttava ratkaisu tehdä etäisyydet LED-valoihin mahdollisimman suureksi ei kuitenkaan olisi ollut hyvä idea, sillä yksi mittalaitteen vaatimuksista oli että sitä tulisi pystyä siirtämään paikasta toiseen. Huomioiden suunnitellun rakenteen muodon, ei mittalaitteesta voi tehdä kovinkaan leveää sillä muuten sitä ei olisi enää ollut mahdollista liikutella normaalimittaisten ovien läpi. Arvioitiin, että leveys voisi maksimissaan olla 50 cm:n luokkaa jolloin se olisi vielä mahdollista kuljettaa myös pienemmistä ovista läpi. Poikittaisen tukirakenteen ollessa 50 cm pitkä tulisi mittaussväli olemaan pienimmillään noin 2,3 asteen luokkaa, joka tulisi olemaan riittävä ottaen huomioon laitteelle asetetut vaatimukset.

6.7 Lopulliset mitat ja kehikon rakennus

Edellä läpikäydyn prosessin jälkeen kehikolta vaadittavat mitat oli saatu laskettua. Lasketut mitat olivat suuntaa antavia, joten mahdolliset rakennusprosessissa syntyvät muutokset mittasuhteissa tulisi ottaa huomioon näkökentän laajuutta laskettaessa.

Kehikon rakennusta varten pyrittiin löytämään putkea joka olisi kevyttä, mutta se ei saisi olla joustavaa. Putkea etsittiin paikallisista tavarataloista, ja lyhyen etsimisen jälkeen päädyttiin valitsemaan tavaratalo Biltemasta löydettyä alumiiniputkea. Kyseistä alumiiniputkea myytiin 2,4 metrin pätkissä, joita ostettiin kaksi kappaletta. Putkien lisäksi samasta tavaratalosta ostettiin kulmarautoja jotta putket saataisiin liitettyä toisiinsa halutulla tavalla. Putket katkaistiin siten, että ne voitiin kiinnittää toisiinsa vastaamaan laskettuja mittoja. Putkien kiinnitys toisiinsa tapahtui kulmarautojen, muttereiden sekä ruuvien avulla. Kuviossa 11 on esitetty kehikko valmiissa muodossaan.



Kuvio 11 Valmis kehikko

Kehikon valmistuttua se teipattiin mustalla teipillä visuaalisen ilmeen kohentamiseksi. Tämän jälkeen LED-nauhat kiinnitettiin kehikkoon niiden suunnitelluille paikoille. LED-nauhat omasivat omasta takaa liimapinnat, joiden avulla niiden kiinnitys oli helppoa.

6.8 Korkeuden säätö

Koska testissä tulisi olemaan tärkeää että mittalaite voitaisiin asettaa testattavan henkilön silmien tasolle, täytyi sen korkeuden olla säädettävä. Tähän pohdittiin erilaisia ratkaisuja kuten kameranjalan hyödyntämistä korkeudensäädössä, mutta huomioiden projektin budjetti sekä mahdolliset rakennustekniset ongelmat tästä ideasta päätettiin kuitenkin luopua. Parhaaksi nähdynsi ideaksi muodostui kiinnittää mittalaitteen takapuolelle kestopagneetit joiden avulla mittalaite pystytettäisiin kiinnittämään magneettiselle pinnalle mille korkeudelle tahansa. Mittalaitteeseen

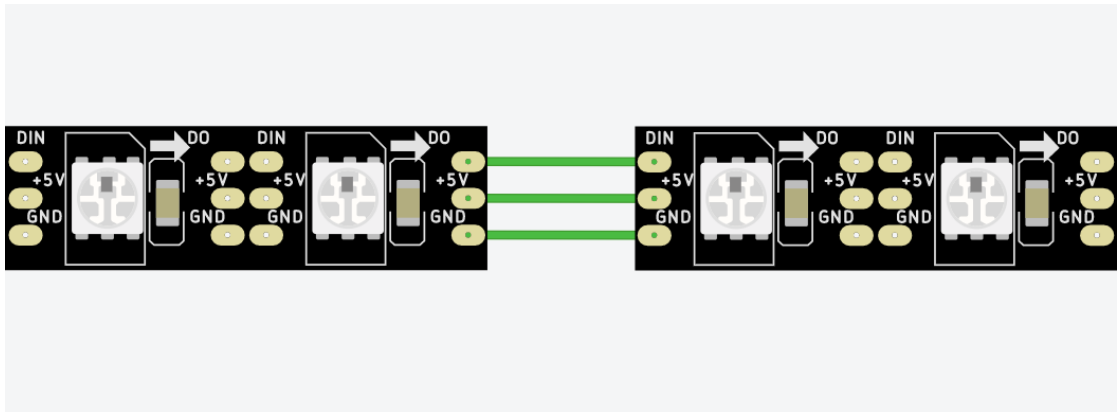
kiinnitetyt magneetit löydettiin vanhoista tietokoneen kiintolevyistä, ja ne kiinnitettiin ruuvien ja muttereiden avulla. Magneetteja käytettiin yhteensä kaksi kappaletta joiden voimakkuus pitää mittalaite magneettisella alustalla paikallaan todettiin riittäväksi. Jotta poikittaisrakenteen takareunaan kiinnitetyt magneetit eivät vaikuttaisi mittalaitteen asentoon, liimattiin mittalaitteen alareunaan pieni muovinpala tueksi joka oli yhtä paksu kuin käytetyt magneetit. Kuviossa 12 on esitetty mittalaite edellämäinittujen työvaiheiden jälkeen.



Kuvio 12 Kehikko LED-valoilla

6.9 LED-nauhojen kytkentä

Kaikki kolme LED-nauhaa kytkettiin sarjaan toisiinsa kuvion 13 mukaisesti. Kaaviossa on nähtävillä ainoastaan kahden nauhan välinen kytkentä kaavion selkeyttämiseksi.



Kuvio 13 LED-nauhojen sarjaankytkentä

Kuten yllä olevasta kuvioista voidaan nähdä, oli LED-nauhoissa ainoastaan 3 pinniä molemmissa päissä. Toisessa päässä oli pinnit 5 voltin syöttöjännitteelle, maadoitusjohdolle sekä ohjaussignaali (Ks. Kuvio 13). Toinen pää taas omasi niin ikään 5 voltin pinnin sekä maadoituspinnin, mutta kolmas pinni oli lähtevää digitaalista signaalia varten (Ks. Kuvio 13). Pololu verkkokaupan verkkosivuilta löydettiin selkeät ohjeet WS2812B LED-nauhan käyttöä varten, jossa mainittiin mm. se että kytkemällä nauhat sarjaan kuvion 13 mukaisella tavalla (Ks. Kuvio 13) olisi niiden ohjaus mahdollista toteuttaa mikroprosessorin avulla käyttäen ainoastaan yhtä digitaalista lähtöporttia. Verkkosivuilla mainittiin myös LED-valojen virrankulutuksen olevan noin 50 milliampeeria per valo jos niitä käytettiin valkoisella värillä täydellä kirkkaudella. Koska RedBoardista saatava maksimaalinen virran määrä oli 500 milliampeeria, tarkoitti se sitä että kaikkia 300 LED-valoa ei voitu käyttää yhdellä kertaa ilman erillistä virtalähdettä. Huomioiden testin suunnitellun kulun, ei erillistä virtalähdettä tämän takia tulisi tarvitsemaan. (Lindblom 2016; Addressable RGB 60-LED Strip, 5V, 2m (WS2812B). N.d..)

6.10 Painonapit ja RedBoardin kotelointi

Jotta testin RedBoardiin kehitettävä ohjelma tunnistaisi tilanteen jolloin testattava henkilö näkee sytytetyn LED-valon, tuli tätä varten kehittää mittalaitteeseen kaksi painonappia. Tähän tarkoitukseen ostettiin kaksi painonappia ja kahvat niitä varten

otettiin käyttöön kahdesta tyhjästä vitamiinipurkista kulujen minimoimiseksi. Painonappeihin juotettiin kahden metrin mittaiset johdot siten että kun napista painoi, pääsi signaali kulkemaan johdon läpi. Tämän jälkeen napit liimattiin kiinni vitamiinipurkkien päihin. Lopuksi vitamiinipurkit päällystettiin mustalla teipillä ulkonäön kohentamiseksi. Niihin lisättiin myös tarrat tekstillä ”Oikea/Ylä” ja ”Vasen/Ala” jotta testin aikana testattava tietäisi kumpaa nappia tulisi painaa nähdessään minkäkin suuntaisen valon (Ks. Kuvio 14).



Kuvio 14 Painonapit

RedBoard asetettiin mustaan muovikoteloon ja se kiinnitettiin mittalaitteen sivuun. RedBoardiin kiinnitettiin myös kahden metrin mittainen USB-johdo jonka toinen pää

tuli laatikon ulkopuolelle tietokoneeseen kiinnitystä varten. Kotelon sisään vedettiin ensimmäisestä LED-nauhasta tulevat johdot, jotka olivat LED-valojen virransyöttöä sekä ohjaussignaalin lähetystä varten. Myös painonappien johdot vedettiin kotelon sisään. Mittalaitteeseen kiinnitetty kotelo on nähtävissä kuviossa 15. LED-nauhan johdot kytkettiin RedBoardin 5V, GND sekä digitaaliportin 3 pinneihin, ja painonappien johdot kytkettiin pinneihin 5V, GND, sekä digitaaliportteihin 8 sekä 12 (Ks. Liite 1). Painonappien maadoituspinniin (GND) menevien johtojen väliin lisättiin 20k Ω suuruiset alaspäinvastukset. Näin painettaessa nappia digitaalinen sisääntuloportti saisi arvon 1 ja muussa tapauksessa arvon 0 (Ks. Liite 1). Tällä tavoin testattava henkilö tulisi ilmoittamaan ohjelmalle nähdessään valon. (digitalWrite(), N.d.; Button. N.d..)



Kuvio 15 RedBoardin muovikotelo

6.11 Etäisyyden mittaus

Koska testissä tulisi olemaan tärkeää pystyä vakioimaan testattavan etäisyys LED-nauhoista, päätettiin tähän hyödyntää ultraäänianturia. Ultraäänianturiksi valittiin

HY-SRF05 ultraäänianturi sen nopean saatavuuden sekä korkean mittatarkkuuden perusteella. Kyseiselle anturille luvattiin 2 mm:n mittatarkkuutta 2 cm:n – 450cm:n välisillä etäisyyksillä. Anturin toimintaa testattiin ennen mittalaitteeseen kiinnittämistä kiinnittämällä se seinään ja asettamalla sen eteen kappaleita eri etäisyyksille. Etäisyydet kappaleisiin mitattiin työntömitan avulla, ja anturista saadut etäisyydet vastasivat erittäin hyvin mitattuja arvoja. Tämän perusteella anturi kiinnitettiin mittalaitteen pystysuuntaisen LED-nauhan keskiosan korkeudelle, josta tultaisiin mittaamaan testattavan henkilön etäisyys kyseiseen pisteeseen. Anturin lähetintä ja vastaanotinta lukuunottamatta se päällystettiin mustalla teipillä. Anturi kytkettiin RedBoardiin liitteen numero 1 mukaisesti (Ks. Liite 1). Kuviossa 16 on nähtävissä mittalaitteeseen kiinnitetty ultraäänianturi (Aduino ultrasonic sensor (HC-SR04 or HY-SRF05).)



Kuvio 16 Ultraäänianturi kiinnitettyä mittalaitteeseen

Anturin mittauskulman ollessa 15 astetta ei tiedetty kuinka paljon testihenkilöiden kasvojen mittasuhteet, kuten nenän muoto ja koko, aiheuttivat mahdollista virhettä etäisyyttä mitattaessa. Anturin tarkoituksena oli mitata etäisyys testihenkilö otsan

keskipisteestä pystysuuntaiseen LED-nauhaan, joten kasvojen mittasuhteiden vaikutusta tuli tutkia eri koehenkilöillä.

Kasvojen mittasuhteiden vaikutusta tutkittiin seuraavanlaisella testillä: koehenkilön pään läpimitta mitattiin mittasaksilla. Ultraäänianturi asetettiin koehenkilö silmien tasolle ja sen eteen laitettiin 40cm etäisyydelle pystytolppa, jonka jälkeen anturi ohjelmoitiin lukemaan etäisyys kyseiseen tolppaan. Tämän jälkeen testihenkilö asetettiin seisomaan takaraivo tolppaa vasten katse ultraäänianturia päin. Koehenkilö seistessä ultraäänianturin edessä, otettiin uusi etäisyydsmitta anturin avulla. Näiden kahden mitatun etäisyyden erotus oli ultraäänianturilla saatu pään läpimitta, jota verrattiin mittasaksilla tehtyihin mittauksiin. Mittaukset tehtiin 21 °C lämpötilassa ja etäisyyttä laskettaessa käytettiin 343 m/s äänen nopeuden arvoa. Kuuden hengen koeryhmä oli valitettavan pieni, mutta saadun datan perusteella todettiin ettei suuria eroja mittausten välillä syntynyt. Kuviossa 17 on esitetty edellä mainittu mittaustilanne.



Kuvio 17 Ultraäänianturin tarkkuuden määrittämiseksi mitattaessa otsan etäisyyttä pystysuuntaisesta LED-nauhasta.

Mittauksista saadut tulokset ovat esitettynä taulukossa 6.

Taulukko 6 Ultraäänianturin tarkkuuden määrittämisen tulokset

Pystytolpan etäisyys LED-nauhasta = 40 cm			
Koehenkilö	Pään läpimitta mittasaksilla(cm)	Pään mitta anturilla(cm)	Erotus(cm)
1	20,8	21,1	-0,3
2	21	20,5	0,5
3	21	20,9	0,1
4	19,5	19,4	0,1
5	20,5	20,1	0,4
6	19,8	19,8	0

Kuten edellä mainittiin, oli koehenkilöiden määrä valittavan pieni. Kuitenkin koska anturilla saadut mittaukset olivat kaikki ± 0.5 cm etäisyydellä mittasaksilla mitatuista mitoista, päätettiin anturin etäisyydenmäärittämisen olevan riittävä mittalaitetta varten. Etäisyyden poikkeaman aiheuttamaa muutosta pystytestissä mitattuun kulmaan laskettiin kaavalla:

$$\Delta\alpha = \tan^{-1}\frac{H}{L} - \tan^{-1}\frac{H}{L \pm \Delta l}$$

missä:

- H = etäisyys LED-nauhan keskipisteestä yläpäähän (50 cm)
- L = testattavan henkilön oletettu etäisyys LED-nauhasta (13.4 cm)
- Δl = poikkeama testattavan henkilön oletetussa etäisyydessä

Etäisyyden muutoksen vaikutusta mitattuun kulmaan arvioitiin käyttäen aikaisemmin laskettua 13,4 cm:n etäisyysarvoa. Yllämainittua kaavaan hyödyntäen laskettiin että yhden senttimetrin muutos oletetusta 13.4 cm:n etäisyydestä aiheuttaisi noin yhden asteen vääristymän mitatuissa tuloksissa. Tämän katsottiin olevan hyväksyttävää ottaen huomioon mittalaitteen tarkkuusvaatimukset.

6.12 Liike testaustilanteen aikana

Ultraäänianturilla sen edessä seisovien koehenkilöiden etäisyyttä mitatessa ilmeni seikka jota ei osattu aikasemmin ottaa huomioon. Kun ultraäänianturi ohjelmoitiin laskemaan jatkuvasti niitä etäisyyksiä joilla koehenkilöt seisoivat sen edessä, heittelivät mitatut arvot suuresti jos henkilöiden päitä ei oltu tuettu millään tavalla. Vaikka koehenkilöt pyrkivät seisomaan paikallaan, ajautuivat heidän päänsä silti huomaamatta joko kauemmaksi tai lähemmäksi LED-nauhaa. Luonnollisesti tämä ei ollut testin tarkkuuden kannalta hyväksyttävää, joten mittalaitteeseen tuli vielä kiinnittää päätuet.

Päätuet tuli mitoittaa ja kiinnittää sekä vaaka- että pystytestiä varten. Vaakatestiä varten ylijäänyttä alumiiniputkea kiinnitettiin vaakasuuntaisten LED-nauhojen keskipisteen kohdalle, eli 80 cm:n päähän pystysuuntaisesta LED-nauhasta. Etäisyys valittiin aikaisemmin laskettujen tulosten perusteella, joissa 80 cm:n etäisyys pystysuuntaiseen LED-nauhaan oli todettu sopivaksi. Testissä ottaisiin pitämään kyseistä alumiiniputkea vasten, jolloin pää pysyisi paikallaan oikealla etäisyydellä LED-nauhoista. Kyseinen tukirakenne tulisi hieman peittämään näkökentän yläosaa, mutta vaakatestissä tämä ei tulisi haittaamaan. Tämä tulisi myös tarkoittamaan sitä että vaakatestissä ultraäänianturin antamia etäisyysmittoja ei tulisi tarvitsemaan. Putkeen merkattiin punaisella teipillä keskikohta johon ottaisiin asettaa testin aikana. Tuki ei tulisi pitämään päätä vaakasuorassa asennossa, joten tämä aiheuttaisi mahdollisesti pieniä virheitä mittaustuloksissa. Jotta alumiiniputki ei aiheuttaisi heijastuksia LED-valoista testin aikana, se maalattiin ensin mustalla mattamaalilla jonka jälkeen siihen lisättiin vielä kaksi kerrosta mustaa kinesioiteippiä. Teipin avulla mahdolliset heijastukset saatiin poistettua, ja teippi myös paransi mittalaitteen käyttömukavuutta sillä se oli pehmeämpää kuin alumiiniputki.

Pystytestiä varten kiinnitettävä tuki suunniteltiin siten, että se tulisi testattavan pään takapuolelle ja takaraivo painettaisiin tukea vasten testin ajaksi. Etupuolella oleva tuki olisi ollut näkökenttämittauksen aikana näkökentän esteenä, jonka takia tuki päätettiin jättää pään taakse. Pystytestissä tulisi tällöin käyttää ultraäänianturia määrittämään testattavan etäisyys pystysuuntaisesta LED-nauhasta.

Jotta saatiin määritettyä sopiva etäisyys tuelle jota vasten testihenkilöt painaisivat takaraivonsa, tutkittiin Claire ym. (2014) tekniset raportin sisältäviä mittauksia ihmisten päiden paksuuksista. Etäisyys tuli valita sen mukaan että koehenkilöiden otsan keskipiste saisi olla enintään aikaisemmin lasketun 13,4 cm:n etäisyydellä LED-nauhasta. Sopivaksi etäisyydeksi todettiin 32 cm, jolloin Claire ym. (2014) tekniset raportin mittausten perusteella ainoastaan 1 prosentti naisista tulisi olemaan yli 13,4 cm:n etäisyydellä LED-nauhasta. Tällä etäisyydellä myös Claire ym. (2014) teknisen raportin tietojen perusteella myös 99 prosenttia miehistä tulisivat silti olemaan yli 10 cm etäisyydellä LED-nauhasta. Tämä oli testin kannalta tärkeää, sillä etäisyys haluttiin pitää suurempana kuin keskimääräinen konvergenssin lähipiste (KLP) joka on tyypillisesti 6-10 cm etäisyydellä silmistä. KLP termillä tarkoitetaan pisintä etäisyyttä johon silmät pystyvät vielä konvergoimaan. (Claire ym. 2014, 137; Kankkunen & Rosblom 2004.)

Pystytestin tukirakenteeksi kiinitettiin alumiiniputkea edellä mainitulle 32 cm etäisyydelle ja se teipattiin mustalla kinesioiteipillä käyttömukavuuden sekä ulkonäön kohentamiseksi. Valmistunut mittalaite esitetty kuviossa 18.



Kuvio 18 Valmis mittalaite

Lopuksi mittalaitteen pystysuuntaisen LED-nauhan keskikohtaan kiinnitettiin punainen kolmio, jonka keskipisteeseen testattavat tulisivat kiinnittämään katseensa testien ajaksi.

6.13 Mittalaitteen käyttöliittymä

Mittalaitteen käyttöliittymä toteutettiin luomalla sille tietokoneohjelma Adobe Air-ohjelma avulla. Käyttöliittymän tarkoituksena oli saada mittalaitteen käyttö mahdollisimman helpoksi ja selkeäksi. Käyttöliittymään sisällytettiin seuraavat ominaisuudet:

- Mahdollisuus vaihtaa LED-valojen väriä värittömäksi (valkoiseksi), siniseksi, punaiseksi tai vihreäksi
- Mahdollisuus säätää valojen kirkkautta 3-portaisesti (LOW 10% maksimikirkkaudesta, MED 50% maksimikirkkaudesta, HIGH 100 % maksimikirkkaudesta)
- Testisuunnan valinta
- Testin aloituspainike

Käyttöliittymän kautta oli mahdollista nähdä LED-valojen sen hetkinen väri sekä kirkkaus, mahdollisen valitun testin tila (esim. ”Pystytesti valittu, paina Aloita Testi kun koehenkilö on on oikealla paikalla” tai ”Testi käynnissä”), sekä testin kautta saatu näkökentän laajuus astelukuna.

Kun käyttöliittymän jotain painikkeista painettiin hiirellä, lähetti se USB-porttia pitkin ennalta määrätyn merkkijonon RedBoardiin joka omassa ohjelmassa tulkitsee kyseisen merkkijonon ohjelman sisäiseksi funktioksi. Kaikki testin aikana tapahtuva valojen ohjaus, laskenta ym. oli sisällytetty RedBoardin ohjelmaan, jolloin tietokoneen käyttöliittymä oli siis ainoastaan RedBoardin sisäisen ohjelman eri funktioiden ajamista varten. RedBoardin sisäistä ohjelmaa on käyty läpi tarkemmin kappaleessa numero 6.3.

Visuaalisesti käyttöliittymästä tehtiin mahdollisimman yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Yksinkertaisen visuaalisen ilmeen tarkoituksena oli saada tehtyä mittaustilanteesta selkeä, sekä saada tulokset mittauksista mittaajille

mahdollisimman helposti ymmärrettävässä muodossa. Käyttöliittymä on esitelty kuviossa 19.

The image shows a user interface with two main sections: 'ASETUKSET' (Settings) and 'TESTI' (Test).

ASETUKSET

VÄRI: KIRKKAUS:

VAIHDA VÄRIÄ **VAIHDA KIRKKAUTTA**

TESTI

TESTISUUNNAN VALINTA

TULOS:

Kuvio 19 Mittalaitteen käyttöliittymä

6.14 RedBoardin ohjelmointi

Tässä kappaleessa käydään RedBoardiin ohjelmoidun ohjelman toimintaa. Toiminta käydään läpi käyttöliittymään luotujen painikkeiden mukaan, ja tarkastellaan mitä kunkin painikkeen painaminen saa ohjelmassa aikaan. Koko ohjelmakoodi on nähtävissä liitteessä 2, mutta koska koodi sisältää yli 400 riviä tekstiä ei jokaista riviä käydä yksityiskohtaisesti läpi.

Käynnistys

Kun RedBoardin USB-kaapeli kytketään tietokoneeseen alkaa ohjelma sytyttämään LED-valoja juoksevasti sekä pysty-että vaakasuunnassa. Ominaisuus ei ole testin kannalta oleellinen, mutta se tuo laitteelle hieman miellyttävämpää visuaalista ilmettä. USB-kaapeli kytkettäessä ohjelmassa asetetaan testin oletusarvoiksi LED-valojen väri punaiseksi sekä kirkkaus LOW-arvoon.

Tietokoneohjelman käynnistettäessä lähettää ohjelma käyttöliittymään tekstin ”Valitse testi tai muuta asetuksia”, jonka aikana käyttäjä voi vaihtaa LED-valojen väriä tai kirkkautta. Tässä vaiheessa ”Aloita testi” nappi on poissa käytöstä. Jos LED-valojen kirkkautta tai väriä muutetaan, tulostuu muutettu arvo näkyville käyttöliittymään. Kirkkaus muuttu samalla myös mittalaitteessa juokseviin LED-valoihin jotta käyttäjä saa käsityksen kuinka kirkkaat valot ovat kyseisellä kirkkausarvolla. Myös värin valinnan muutos käyttöliittymässä aiheuttaa juoksevien LED-valojen värin muutoksen.

Testin suunta: Pysty

Tällä valinnalla käyttäjä aktivoi pystytestin. Vaakasuuntaiset LED-valot sammuvat ja ainoastaan pystysuuntaisessa LED-nauhassa syttyy juoksevasti valoja.

Käyttöliittymään tulostetaan teksti ”Pystytesti valittu, koehenkilö paikallaan”, jona aikana ei voida enää vaihtaa LED-valojen asetuksia eikä myöskään testin suuntaa. Ennen ”Aloita testi” napin painamista käyttäjän tulee tarkastaa että mittalaite on asetettu testattavan henkilön silmien tasolle, sekä että hänen takaraivonsa on lähempää päätuen keskikohtaa vasten. Kuviossa 20 on esitettyä testattavan henkilön oikeaoppinen sijoittuminen pystytestiä varten.



Kuvio 20 Testattavan oikeaoppinen sijoittuminen pystytestiä varten.

Painettaessa ”Aloita testi” painiketta käyttöliittymästä ultraäänianturi ottaa kymmenen etäisyysnäytettä yhden sekunnin aikana, joiden keskiarvoa käytetään määrittämään testattavan henkilön etäisyys LED-nauhasta. Etäisyyttä laskettaessa käytetään 343m/s äänen nopeutta, joka on äänen nopeus noin 21 °C lämpötilassa. Lämpötilakompensaatiota mittalaitteeseen ei kehitetty, mutta testien tapahtuessa sisätiloissa kyseinen likiarvo nähtiin riittävän tarkkana.

Kun etäisyyden arvo on saatu mitattua, alkaa varsinainen testi. Testin aikana LED-valoja sytytetään päälle yksi kerrallaan, alkaen LED-nauhan ylimmästä sekä alimmasta päästä. Yhtä valoa pidetään päällä ainoastaan 150ms ajan sakkadiliikkeiden välttämiseksi (Schiefer ym. N.d., 11), jonka jälkeen valot sammuvat 2 sekunniksi. Yhden valon sytyttämisen jälkeen seuraavaksi syttyvä valo aina on yhden LED-valon verran lähempänä nauhan keskipistettä. Kun testattava henkilö ilmoittaa painonappia painamalla ohjelmalle nähneensä ala- tai yläsuuntaisen valon, tallennetaan nähdyn LED-valon sijainti ohjelman väliaikaismuistiin. Kyseinen tallennettu sijainti vastaa ohjelman sisällä testattavan näkökentän ääriarjan arvoa. Kun ylä- tai alasuunnan yksittäinen ääriarvo on saatu mitattua, syttyvät seuraavaksi sen suuntaiset LED-valot alkaen jälleen nauhan ääripäästä. Ohjelma mittaa testin aikana molemmista suunnista yhteensä neljä näkökentän ääriarjan arvoa, joiden keskiarvoa käytetään määrittämään lopullinen ääriarjan arvo. Kun ohjelma on saanut ääriarvojen keskiarvot sekä ylä- että alasuunnasta, lopettaa se testin. Näkökentän pystysuuntaisen laajuden kulma lasketaan ultraäänianturin antaman etäisyyden sekä kahden mitatun ääriarjan keskiarvon perusteella. Laskettu kulma tulostetaan käyttöliittymän ”Tulos:” kohtaan asteina, pyöristettynä lähimpään kokonaislukuun. Tämän jälkeen käyttöliittymän yläreunaan tulostetaan jälleen teksti ”Valitse testi tai muuta asetuksia”, joka indikoi testaajalle sitä että mittalaite on valmiina seuraavaan testiin. Testiä varten asetetut väri- sekä kirkkausarvot pysyvät samana kuin mitä ne olivat testiä aloitettaessa jotta testejä ei vahingossa tehtäisi eri asetuksilla eri testihenkilöiden välillä.

Testin suunta: Vaaka

Tällä valinnalla käyttäjä aktivoi vaakatestin. Pystysuuntaiset LED-valot sammuvat ja ainoastaan vaakasuuntaisissa LED-nauhoissa syttyy juoksevia valoja. Käyttöliittymään

tulostetaan teksti ”Vaakatesti valittu, paina Aloita testi kun koehenkilö on oikealla paikalla” jona aikana ei voida enää vaihtaa LED-valojen asetuksia eikä testin suuntaa. Ennen ”Aloita testi” napin painamista käyttäjän tulee tarkastaa että mittalaite on asetettu testattavan henkilön silmien tasolle sekä että hänen otsansa on kauemman päättuen keskikohdalla, joka on merkittynä punaisella teipillä. Kuviossa 21 on esitettyä testattavan henkilön oikeaoppista sijoittumista vaakatestiä varten.



Kuvio 21 Testattavan oikeaoppinen sijoittuminen vaakatestiä varten.

Kun painetaan ”Aloita testi” nappia käyttöliittymästä, alkaa vaakasuuntainen testi. Testin aikana LED-valoja sytytetään vaakasuuntaisissa LED-nauhoissa yksi kerrallaan, alkaen takaraivon puoleisista päädyistä vasemmalta sekä oikealta puolelta. Yhtä valoa pidetään päällä ainoastaan 150ms ajan sakkadiliikkeiden välttämiseksi (Schiefer ym. N.d., 11), jonka jälkeen valot sammuvat 2 sekunniksi. Yhden valon sytyttämisen jälkeen seuraavaksi syttyvä valo on yhden LED-valon verran lähempänä otsan puoleista nauhan päätä. Kun testattava henkilö ilmoittaa painonappia painamalla ohjelmalle nähneensä vasemman tai oikean puoleisen valon, tallennetaan nähdyn LED-valon sijainti ohjelman väliaikaismuistiin. Kyseinen tallennettu sijainti vastaa ohjelman sisällä testattavan näkökentän äärirajan arvoa. Kun vasemman tai oikean

puoleisen suunan yksittäinen ääriarvo on saatu mitattua, syttyvät seuraavaksi sen suuntaiset LED-valot alkaen jälleen nauhan takaraivon puoleisesta ääripäästä. Ohjelma mittaa testin aikana molemmista suunnista yhteensä neljä näkökentän ääriarjan arvoa, joiden keskiarvoa käytetään määrittämään lopullinen ääriarjan arvo. Kun ohjelma on saanut ääriarvojen keskiarvot sekä vasemmalta että oikealta, lopettaa se testin. Näkökentän sivuttaissuuntaisen kulman laajuus lasketaan päätuen keskikohdan sekä kahden mitatun keskiarvon perusteella. Laskettu kulma tulostetaan käyttöliittymän ”Tulos:” kohtaan asteina, pyöristettynä lähimpään kokonaislukuun. Tämän jälkeen käyttöliittymän yläreunaan tulostetaan jälleen teksti ”Valitse testi tai muuta asetuksia”, joka indikoi testaajalle sitä, että mittalaite on valmiina seuraavaan testiin. Testiä varten asetetut väri- sekä kirkkausarvot pysyvät samana kuin mitä ne olivat testiä aloitettaessa jotta testejä ei vahingossa tehtäisi eri asetuksilla eri testihenkilöiden välillä.

6.15 Mittalaitteen käyttöönotto

Mittalaitteen sivuun kiinnitettiin QR-koodi (ks. Kuvio 22) jonka skannaamalla käyttäjä saa osoitteen Google Drive pilvipalvelun kansioon. Kansiossa on mittalaitteen käyttöliittymän asennustiedostot sekä käyttöohjeet.



Kuvio 22 QR-koodi mittalaitteessa

Käyttöohjeet sisältävät ohjeistuksen käyttöliittymän asennusta sekä käyttöönottoa varten. Käyttöohjeet sisältävät myös mittalaitteen toimintaperiaatteen, ohjeistuksen

testien oikeaoppiseen suorittamiseen sekä ohjeistuksen joka tulee antaa testattaville henkilöille. Käyttöohjeet ovat kokonaisuudessaan nähtävissä liitteessä 3. QR-koodin kautta saatavat asennustiedostot sekä käyttöohjeet mahdollistavat mittalaitteen oikeaoppisen käytön myös tulevaisuudessa, jos mittalaitetta halutaan käyttää myös muihin tutkimukseen. Tutkimuksen tekijät joiden käyttöön mittalaitte ensisijaisesti kehitettiin on opastettu henkilökohtaisesti mittalaitteen käyttöä varten.

6.16 Huomioita mittaustilanteeseen liittyen

Jotta kehitetyllä mittalaitteella tehtävät mittaukset olisivat vertailukelpoisia keskenään, on tärkeää että mittaukset tehdään aina samanlaisessa valaistuksessa sekä samoilla mittalaitteen kirkkaus- ja väriasetuksilla. Jos taustan ja mittalaitteen LED-valojen välisessä kontrastissa tulee muutoksia testien välillä, saattaa tämä aiheuttaa vääristymää mitattuihin tuloksiin. Myös suuret lämpötilavaihtelut testaustilanteiden välillä saattavat aiheuttaa vääristymää ultraäänianturin mittaamaan etäisyyteen, ja täten myös testituloksiin. (Schiefer ym. N.d., 5-6.)

Ennen testiä testattaville henkilöille on korostettava että mitattujen tulosten tarkkuus on erittäin riippuvainen testattavan katsepisteen oikeaoppisesta sijainnista. Testattavat tulee ohjeistaa katsomaan ultraäänianturin keskikohtaan merkattua pistettä koko testin ajaksi. Silmälasit tulee ottaa pois päästä, mutta piilolinssien käyttö on sallittua. Silmäluomet tulee pyrkiä pitämään mahdollisimman normaalissa asenossa testin aikana, ja pää mahdollisimman suorassa linjassa pystysuuntaiseen LED-nauhaan nähden.

Testattaville henkilöille tulee myös opastaa ennen testiä painonappien oikeaoppinen käyttö. Käyttö tulee opastaa siten seuraavalla tavalla: ”Oikea / Ylä”-tarralla merkittyä nappia tulee painaa kun havaitaan LED-valon syttyvän näkökentän yläreunassa tai oikeassa reunassa, ja ”Vasen / Ala”-tarralla merkattua nappia tulee painaa kun havaitaan LED-valon syttyvän näkökentän alareunassa tai vasemmassa reunassa.

7 Tulokset ja johtopäätökset

7.1 Ominaisuusvaatimusten toteutuminen

Kehitetty mittalaite onnistuttiin saamaan mittaamaan testattavien henkilöiden binokulaarisen näkökentän pysty- sekä vaakasuuntaista laajuutta tyydyttävällä tarkkuudella. Perimetrisissä mittauksissa tuloksiin vaikuttavia tekijöitä on paljon, joista mahdollisimman suuri osa pyrittiin mittalaitetta suunnitellessa vakioimaan.

Toivottu viiden asteen mittatarkkuus mittalaitteelle arvioitiin toteutuneen. Mittalaitteen täsmällistä mittatarkkuutta on äärimmäisen vaikea arvioida. Kuitenkin koska mittalaitteella tehtävät testit suoritetaan samalla tavalla jokaiselle testihenkilölle, ovat siitä saatavat tulokset oletettavasti vertailukelpoisia keskenään. Tämä on tärkeää ottaen huomioon sen että mittalaite tehtiin käyttöön tutkimusta varten, jossa koehenkilöiden näkökenttien laajuus on yksi tutkimuksen muuttujista.

Kaikkia mittavirhettä tuloksissa aiheuttavia tekijöitä ei ole pystytty testeissä vielä vakioimaan. Testattavan henkilön pään asennon vakioinnin puuttuminen sekä mahdolliset virheet ultraäänianturin laskemassa etäisyydessä voivat aiheuttaa virheitä saaduissa tuloksissa. Myös silmäluomien asennon huomattiin vaikuttavan näkökentän laajuuteen testien aikana, jonka vakiointiin ei ole tässä työssä löydetty ratkaisua.

Myös mittalaitteen suorakulmainen muoto saattaa aiheuttaa vääristymää mittaustuloksissa. Koska silmistä kauempana olevien LED-valojen luminanssiarvo ei ole sama kuin lähempänä olevien LED-valojen, on niiden havainnointi vaikeampaa sillä ihmisen havainnointikykyyn vaikuttaa voimakkaasti havainnoitavan kappaleen sekä taustan välinen kontrastiero. Tämä saattaa aiheuttaa tuloksissa ilmiötä, jossa laitteella mitatut näkökentän laajuuden arvot eri testattavien välillä ajautuvat lähemmäksi toisiaan kuin mitä ne todellisuudessa ovat. (Schiefer, U., Pätzold, J., Dannheim, F., Artes, P. & Hart, W. N.d., 7.)

Mittalaite suunniteltiin mittaamaan näkökentän laajuus silmien välisen keskipisteen suhteen, joka ei ole tyypillistä perimetrisissä mittauksissa. Kuitenkin koska binokulaarisen näkökentän laajuus haluttiin mitata molempia silmiä yhtä aikaa käyttäen, oli tämä ainoa soveltuva vaihtoehto toteuttaa mittaukset.

Mittalaitteen käyttö saatiin tehtyä kohtuullisen helpoksi ja selkeäksi sille kehitetyn käyttöliittymän avulla. Laitetta varten tehtiin selkeä käyttöopas jotta tulevaisuudessa tehtävät testit toteutettaisiin oikeaoppisesti. Käyttöliittymän ensiasennuksen yhteydessä joudutaan kytkettävän USB-liittimen portin numero vaihtamaan manuaalisesti tietokoneen ohjauspaneelistä, joka hankaloittaa hieman ohjelmiston käyttöönottoa. Käyttöliittymää ei saatu kehitettyä siten että se tunnistaisi automaattisesti mihin USB-porttiin mittalaite on kytkettynä, jonka takia manuaalinen portin vaihto tulee tehdä. Tämä hankaloittaa hieman mittalaitteen käyttöönottoa, mutta tarvittavat vaiheet portin vaihtamiseksi on esitetty ohjekirjassa (Ks. liite 2).

200 euron budjetti joka mittalaitteen kehitykseen oli varattu ei ylittynyt. Yhteensä mittalaitteen kehitykseen meni rahaa noin 180€, joista suurin yksittäinen kuluerä oli LED-nauhojen tilaus.

Laitte saatiin rakenteellisesti suunniteltua siten että sen siirtäminen on helppoa. Magneettinen kiinnitysmekanismi mittalaitteen takaosassa rajaa hieman sitä, missä mittauksia pystytään tekemään. Toisaalta magneetit mahdollistavat mittalaitteen nopean ja helpon korkeudensäädön, joten kiinnitysmekanismien rakenne voidaan tekijän mielestä nähdä varsin onnistuneena ratkaisuna.

Kokonaisuudessaan mittalaite täyttää pääosin sille ennalta määritetyt vaatimukset, ja se on saanut positiivisen vastaanoton tutkimusta tekeviltä opiskelijoilta.

7.2 Mahdolliset muut käyttökohteet

Mittalaitteen mahdollisista muista käyttökohteista on keskusteltu tutkimusta tekevien Liikuntatieteellisen tiedekunnan opiskelijoiden kanssa. Pinnalle nousseita mahdollisia muita käyttökohteita oli mm. käyttää mittalaitetta mittaamaan ihmisen

kykyä reagoida ainoastaan tietyn värisiin valoärsykkeisiin. Pienillä ohjelman sisäisillä muutoksilla tämän toteuttaminen ei tulisi olemaan vaikeaa. Mittalaitte jää käyttöön Jyväskylän Yliopiston Liikuntatieteellisen tiedekunnan tutkimuksiin, joten tulevaisuudessa myös muita mahdollisia käyttökohteita voi nousta esiin.

7.3 Jatkokehitys

Jotta mittalaitteesta saatavat tulokset olisivat vielä tarkempia, tulisi laitteelle kehittää luotettavampi mekanismi jolla pään asento saataisiin vakioitua. Nykyinen päätuki mahdollistaa vielä pään virheellisen asennon mittauksen aikana, joka saattaa aiheuttaa vaihtelua mitatuissa tuloksissa. Myös silmäluomien asennon vakiointiin tulisi pyrkiä löytämään jokin luotettava keino, jotta mitatut tulokset olisivat nykyistä luotettavampia.

Tämä opinnäytetyö ei sisällä mittalaitteen toistotarkkuuden määrittystä, mutta se olisi erittäin tärkeää tehdä tulevaisuudessa jotta tulosten luotettavuutta voitaisiin arvioida paremmin. Toistotarkkuuden määrittämiseksi mittalaitteella suoritettavat testit tulisi toistaa yksittäisten henkilöiden välillä useaan kertaan, ja vertailla mahdollisia eroja saaduissa näkökentän laajuuden arvoissa. Toistotarkkuutta määritettäessä voitaisiin myös arvioida silmäluomien asennon vaikutusta näkökentän laajuuteen, ja tätä kautta löytää mahdollisia keinoja miten silmäluomien asennon vaikutusta olisi mahdollista minimoida näkökentän laajuutta mitattaessa.

Varsinaista validointia mittalaitteen tarkkuuteen määrittämiseksi ei pystytty suorittamaan, sillä tätä varten olisi tarvittu käyttöön kalliita lääketieteellisiä perimetrejä. Tästä syystä validointia ei ole tehty, vaan on luotettu siihen että kyseisellä suunnittelulla mittatarkkuus on riittävä jotta tuloksia voidaan pitää vertailukelpoisina keskenään. Mittalaitteen lopullisen tarkkuuden määrittämiseksi tulisi validointi kuitenkin tehdä tulevaisuudessa. Validoinnin kautta pystyttäisiin määrittämään se, kuinka vertailukelpoisia tulokset olisivat myös muista perimetreistä saataviin tuloksiin nähden.

8 Pohdinta

Työssä pyrittiin kehittämään näkökentän laajuutta mittaava laite, ja siinä onnistuttiin tekijän mielestä varsin tyydyttävällä tavalla. Jotta mittalaite saatiin tehtyä toivotulla tavalla, jouduttiin sen kehityksen ohessa opettelemaan paljon sellaisia asioita joista tekijällä ei ollut aikaisempaa kokemusta.

Mittalaitteen kehitys vaati paljon ohjelmointia jonka opetteluun kului paljon aikaa. Arduino IDE – kehitysympäristöstä työn tekijällä oli aikaisempaa kokemusta, mutta ainoastaan pienimuotoisissa projekteissa. Tietokoneohjelman ohjelmoinnista ei aikaisempaa kokemusta ollut lainkaan, jonka takia mittalaitteen käyttöliittymästä tehtiin erittäin yksinkertainen. Varsinkin tiedonsiirto RedBoardin ja tietokoneen välillä osoittautui yllättävän haastavaksi.

Työtä tehdessä ei vaadittu onneksi kovinkaan monimutkaista sähkötekniikan osaamista, vaan se pystyttiin suorittamaan varsin yksinkertaisilla kytkennöillä. Oikeaoppisiin kytkentöihin löytyi internetistä paljon tietoa, ja löydettyä tietoa yhdistelemällä mittalaitteen kytkennän saatiin toimiviksi.

Kehitystyön aikana ilmeni paljon eri muuttujia jotka tulisivat mahdollisesti vaikuttamaan mittaustuloksiin. Osa näistä pystyttiin mitoituksen ja testin toimintaperiaatteen avulla vakioimaan, mutta testattavan henkilön vääränlainen sijoittuminen mittalaitteeseen voi edelleenkin aiheuttaa virheitä saaduissa tuloksissa. Pään sijainnin vakioimiseen tehdyt tuet pitävät pään oikealla kohdalla, mutta pään asento voi silti testin aikana olla väärä. Ohjeistus testitilanteeseen opastaa testaajat tarkastamaan silmämääräisesti että pää on suorassa asennossa, mutta silmämääräistä tarkastelua ei voida pitää kovinkaan tarkkana. On myös erittäin mahdollista että testituloksien tarkkuuteen vaikuttaa myös sellaisia seikkoja joita työssä ei ole osattu ottaa huomioon.

Mittalaitteen toimintaperiaate ei vastaa samoja standardeja kuin mitä lääkinnällisessä käytössä oleville laitteille on asetettu. Sillä ei pystytä mittaamaan silmän aistiherkkyksiä eri näkökentän alueilla kuten tyyppillisissä staattisen

perimetrian periaatteella toimivissa perimetreissä, vaan ainoastaan vakiokirkkaudella näytettävien LED-valojen havainnointiin perustuvaa näkökentän laajuutta.

Työssä ei ole käyty läpi tarkemmin RedBoardin sisäistä ohjelmakoodia. Tätä ei nähty järkeväksi sillä muuten työn kirjallinen osuus olisi paisunut aivan liian suurin mittasuhteisiin. Ohjelman sisäinen koodi toimii kuitenkin varsin perusohjelmointiperiaatteita noudattaen, ja niistä kiinnostuneet voivat perehtyä koodiin tarkemmin työn liitteen avulla. Ohjelman kulmien laskennassa on käytetty kehikon lopulliseksi syntyneitä etäisyyksiä, sekä ultraäänianturista saatavaa etäisyystietoa.

Lähteet

ABOUT US. N.d. SparkFun Electronics esittelysivusto. Viitattu 25.4.2019.
https://www.sparkfun.com/about_sparkfun?__hstc=250566617.63bb2a7b93828c83de5b2e378e2f7b64.1556779804306.1556779804306.1556779804306.1&__hssc=250566617.1.1556779804307&__hsfp=2017464619

Addressable RGB 60-LED Strip, 5V, 2m (WS2812B). N.d. WS2812B käyttöohjeet.
Viitattu 10.4.2019. <https://www.pololu.com/product/2547>

Arduino ultrasonic sensor (HC-SR04 or HY-SRF05). N.d. Viitattu 5.5.2019.
[http://www.energiazero.org/arduino_sensori/Arduino%20ultrasonic%20sensor%20\(HC-SR04%20or%20HY-SRF05\).pdf](http://www.energiazero.org/arduino_sensori/Arduino%20ultrasonic%20sensor%20(HC-SR04%20or%20HY-SRF05).pdf)

ARDUINO UNO REV3. N.d. Arduinon verkkokauppa. Viitattu 8.3.
<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>

Basics of Microcontrollers. 2018. Viitattu 3.4.2019.
<http://www.circuitstoday.com/basics-of-microcontrollers>

Built-In Examples. N.d. Opas Arduino IDE-kehitysympäristön sisäänrakennettuihin
Viitattu 20.4.2019.
<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/BuiltInExamples>

Button. N.d. Arduinon kytkentäesimerkki. Viitattu 5.5.2019.
<https://www.arduino.cc/en/tutorial/button>

Carrol, J. N. & Johnson, C.. 2013. Visual Field Testing: From One Medical Student to Another. Viitattu 15.3.2019.
<http://eyerounds.org/tutorials/VF-testing/>

Constants. N.d. Opas Arduino IDE-kehitysympäristön ohjelmointiin. Viitattu 20.3.2019.
<https://www.arduino.cc/reference/en/language/variables/constants/constants/>

Digitaalitekniikan perusteet: Analogia-digitaalimuunnos. 2003. Luento Helsingin Teknillisen korkeakoulun Akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan laboratorion verkkosivuilta. Viitattu 3.4.2019.
<http://legacy.spa.aalto.fi/sig-legacy/digis/luento1/admuunnos.html>

Digitaalitekniikan perusteet: Digitaalisysteemi. 2003. Luento Helsingin Teknillisen korkeakoulun Akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan laboratorion verkkosivuilta. Viitattu 3.4.2019.
<http://legacy.spa.aalto.fi/sig-legacy/digis/luento1/digitaalisysteemi.html>

Digitaalitekniikan perusteet: Tieto ja sen esitystavat. 2002. Luento Helsingin Teknillisen korkeakoulun Akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan laboratorion verkkosivuilta. Viitattu 3.4.2019.

<http://legacy.spa.aalto.fi/sig-legacy/digis/luento1/tieto.html>

digitalWrite(). N.d. Arduinon digitaalipiortin ohjausseloste Viitattu 20.4.2019.

<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/digital-io/digitalwrite/>

FastLED Animation Library. N.d. FastLed ohjelmakirjasto. Viitattu 1.5.2019.

<http://fastled.io/>

Frequently Asked Questions. N.d. Yleistietoa Arduinosta. Viitattu 29.4.2019.

<https://www.arduino.cc/en/main/FAQ>

Gordon, C., Blackwell, C., Bradtmiller, B., Parham, J., Barrientos, P., Paquette, S., Corner, B., Carson, J., Venezia, J., Rockwell, B., Mucher, M. & Kristensen, S. 2014. 2012 ANTHROPOMETRIC SURVEY OF U.S. ARMY PERSONNEL: METHODS AND SUMMARY STATISTICS. Tekninen raportti. Viitattu 1.4.2019.

<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a611869.pdf>

How Colour Changing LEDs Work. N.d. Viitattu 20.4.2019.

<https://www.kitronik.co.uk/blog/how-colour-changing-leds-work/>

Human field of view. N.d. Viitattu 15.5.2019.

https://www.researchgate.net/figure/11-Human-field-of-view-a-vertical-b-horizontal-from-Heil92_fig10_2617390

Installing Additional Arduino Libraries. N.d. Viitattu 20.4.2019.

<https://www.arduino.cc/en/guide/libraries>

Ismo Elo. N.d. Äänen eteneminen. Oppimateriaali. Viitattu 5.5.2019.

http://materiaalit.internetix.fi/fi/opintojaksot/5luonnontieteet/fysiikka/fysiikka4/aa_nen_eteneminen

Jim Lindblom. 2016. RedBoardin kytkentäkaavio. Viitattu 10.4.2019.

<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Arduino/Boards/RedBoard-V22.pdf>

Kankkunen, R. & Rosblom, A. 2004. Näöntutkimuksen oppimateriaali. Opinnäytetyö. Viitattu 25.4.2019.

https://www.metropolia.fi/fileadmin/user_upload/Sosiaali_ja_terveys/Optomertia/Materiaali/Naontutkimus/naontutkimus.pdf

Karvinen, K. & Karvinen, T. 2011. Make: Arduino Bots and Gadgets. O'Reilly Media.

Kilpeläinen, M. N.d. Avaruudellinen hahmottaminen. Luento. Viitattu 1.5.2019.

https://www.cs.helsinki.fi/u/thusu/opinnot/havainto/Luento10_2010.pdf

Kuisma, M. & Leinonen, S. N.d. Puolijohteet. Viitattu 1.5.2019.

<http://www.kuisma.eu/elper/6puolijohteet/4puolijohde.html>

Language Reference. N.d. Arduino IDE-ohjelmointikielen opas Viitattu 30.4.2019.
<https://www.arduino.cc/reference/en/>

Mika Letonsaari. N.d. Kuuloaisti. Lukion oppimateriaali. Viitattu 5.5.2019.
http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/fy/fy3/3_aani/306?C:D=2079115&m:selres=2079115

Näkökenttätutkimukset. N.d. Kuvaus sairaalakeskus Mehiläisen näkökenttätutkimuksesta. Viitattu 3.3.2019.
<https://www.mehilainen.fi/silmasairaudet/silmatutkimukset/nakokenttatutkimukset>

Octopus 900 Basic Perimeter. N.d. Veatch Ophthalmic Instrumentsin verkkokauppa. Viitattu 8.3.2019.
<https://www.veatchinstruments.com/Octopus-900-Basic-Perimeter>

Perimetry Test (Visual Field Testing) for Glaucoma. 2018. Viitattu 8.3.2019.
<https://www.northshore.org/healthresources/encyclopedia/encyclopedia.aspx?DocumentHwid=hw155215>

Purves, D. & Augustine, GJ. 2001. Types of Eye Movements and Their Functions. Verkkojulkaistu kappale kirjasta Neuroscience. 2nd edition. Viitattu 8.3.2019.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10991/>

Racette, L., Fischer, M., Bebia, H., Hollo, G., Johnson, C.A., Matsumoto, C. 2016. Visual Field Digest: A guide to perimetry and the Octopus perimeter. 6. uud. p. Köniz, Sveitsi: Haag-Streit.

ROM. N.d. Viitattu 18.3.2019.
<https://www.computerhope.com/jargon/r/rom.htm>

Schiefer, U., Pätzold, J., Dannheim, F., Artes, P. & Hart, W. N.d. Conventional Perimetry Part 1: Introduction – Basic Terms. Verkkodokumentti. Viitattu 1.3.2019.
<http://webeye.ophth.uiowa.edu/IPS/articles/Conventional-Perimetry-Part-I.pdf>

SparkFun RedBoard – Programmed with Arduino. N.d. RedBoardin esittelysivusto Viitattu 25.4.2019.
<https://www.sparkfun.com/products/13975>

SPARKFUN REDBOARD – PROGRAMMED WITH ARDUINO. N.d. Robomaa.fi verkkokauppa. Viitattu 3.4.2019.
<http://robomaa.fi/redboard-programmed-with-arduino?search=redboard>

TI Launchpad™ development kits. N.d. Viitattu 18.3.2019.
<http://www.ti.com/tools-software/launchpads/launchpads.html>

Valtanen, E. 2013. Tekniikan Taulukkirja. 20. p. Mikkeli: Genesis-Kirjat

What determines the color of an LED? 2003. Viitattu 20.4.2019.
<https://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/led/color.asp>

What is an LED? 2003. Viitattu 20.4.2019.
<https://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/led/whatIsAnLED.asp>

What is an Ultrasonic Sensor? N.d. Viitatu 25.4.2019.

<https://www.keyence.com/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/>

What is Arduino?. N.d. Arduinon esittelysivusto. Viitattu

8.3.2019.<https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>

What is Flash Memory Technology? N.d. Viitattu 3.4.2019.

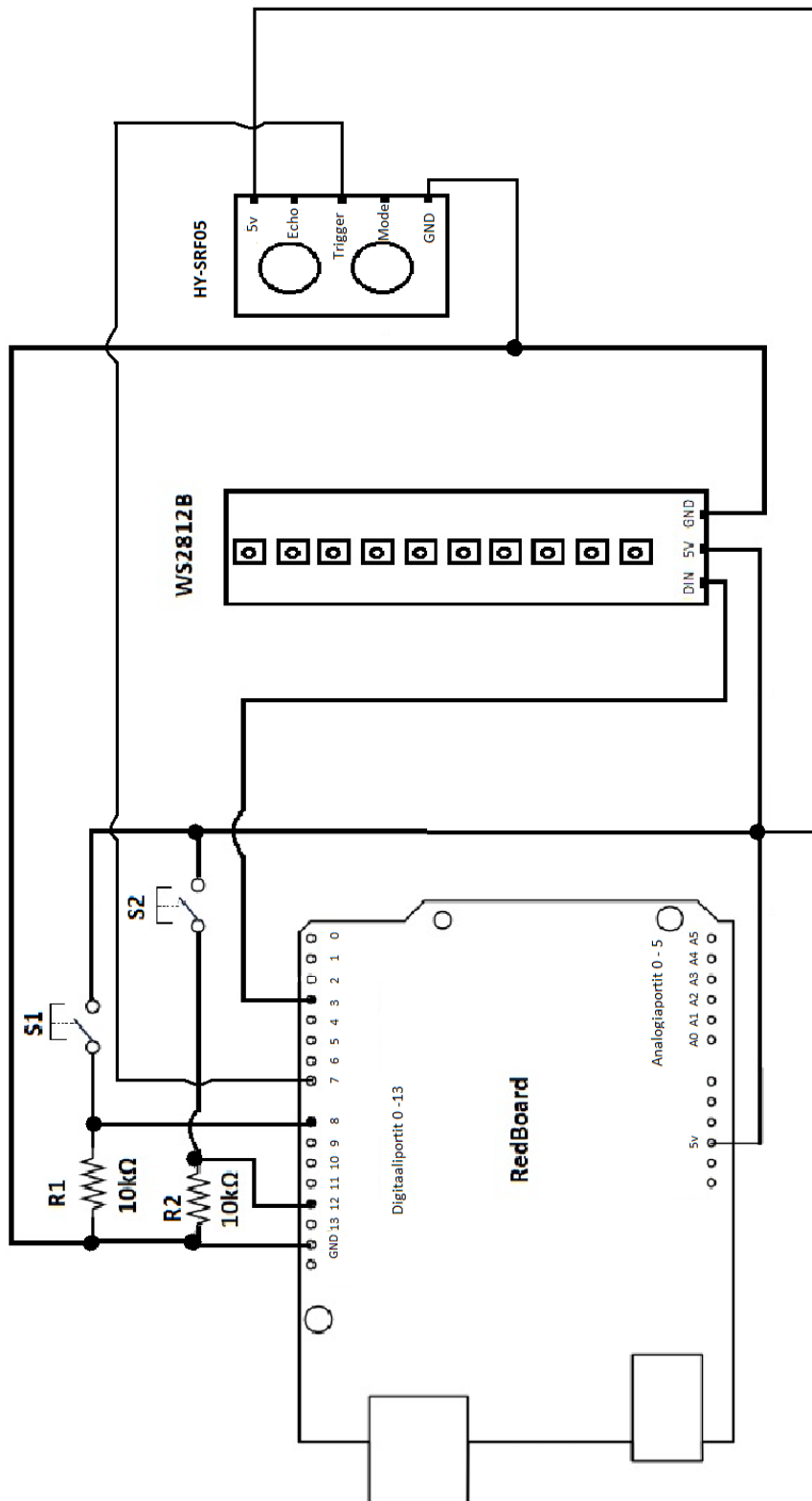
https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/semiconductor-memory/flash-technology-what-is.php

What is PICAXE. N.d. PICAXE:n esittelysivusto. Viitattu 18.3.2019.

<http://www.picaxe.com/What-Is-PICAXE>

Liitteet

Liite 1.



Liite 2.

```

#include <FastLED.h>
#include <avr/wdt.h>
#define LED_PIN 3
#define NUM_LEDS 297
#define ledOikea 98
#define ledVasen 197
#define EOL_DELIMITER "\n"
CRGB leds[NUM_LEDS];
float pystyEtaisyys;
int vaakaEtaisyys = 50;
const int pingPin = 7;
long cm;
int inputPin = A0;
int testiNro;
long microsecondsToCentimeters(long);
int left = 267;
int right = 168;
int up = 98;
int laajuus;
int down = -1;
bool upStop = false;
bool downStop = false;
bool leftStop = false;
bool rightStop = false;
long interval = 180000;
int laajuusVaaka;
int arvoVasen;
int arvoOikea;
int arvoYla;
int arvoAla;
bool finishPysty = false;
bool finishSivu = false;
int valo = 0;
int kirkkkaus = 10;
int variPun = 255;
int variVihr = 0;
int variSin = 0;
float centReal;
float centRealTotal;
int etaisyysLaskuri1 = 0;
int etaisyysLaskuri2 = 0;
long duration;
double kulmaOikea;
double kulmaVasen;
double sivuLaajuus;
double pystyLaajuus;
bool pystyClear = false;
bool sivuClear = false;
int kierrosLkm = 0;
double kulmaYla;
double kulmaAla;

void setup(){
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(8, INPUT);
  pinMode(12, INPUT);
  digitalWrite(10, HIGH);
  FastLED.addLeds<WS2812, LED_PIN, GRB>(leds, NUM_LEDS);
  FastLED.setBrightness(kirkkkaus);

  aloitus();
}

void loop() {
  switch(testiNro){

```

```

case 120:
while (kierrosLkm < 4){
  if(digitalRead(8) == HIGH && upStop == false){
    upStop = true;
    arvoYla = up;
  }
  if(digitalRead(12) == HIGH && downStop == false){
    downStop = true;
    arvoAla = down;
  }
  if(upStop == true && downStop == true && finishPysty == false){
    finishPysty = true;
    for(int i = 0 ; i < 98; i++){
      leds[i] = CRGB(0, 0, 0);
    }
    FastLED.show();
    int etaisyysYla = (arvoYla - 48);
    int etaisyysAla = (48 - arvoAla);
    kulmaYla = kulmaYla + (atan (etaisyysYla/(centRealTotal/10+0.5))*180)/3.14;
    kulmaAla = kulmaAla + (atan (etaisyysAla/(centRealTotal/10+0.5))*180)/3.14;
    up = 98;
    down = -1;
    kierrosLkm++;
    downStop = false;
    upStop = false;
    finishPysty = false;
    while (digitalRead(12) == HIGH || digitalRead(8) == HIGH){}
  }
  if (interval < 171000 && pystyClear == false && kierrosLkm < 4){
    pystyClear = true;
    for(int i = 0 ; i < 98; i++){
      leds[i] = CRGB(0, 0, 0);
    }
    FastLED.show();
  }
  if(finishPysty == false && kierrosLkm < 4){
    if(interval == 0){
      pystyClear = false;
      for(int i = 0 ; i < 98; i++){
        leds[i] = CRGB(0, 0, 0);
      }
      FastLED.show();
      if(downStop == false && kierrosLkm < 4){
        down++;
        leds[down] = CRGB(variPun,variVihr,variSin);

        if(down == 48){
          down = 0;
        }
      }
      if(upStop == false && kierrosLkm < 4){
        up--;
        leds[up] = CRGB(variPun,variVihr,variSin);
        if(up == 49){
          up = 97;
        }
      }
      FastLED.show();
      interval = 180000;
    }
    interval--;
  }
}

laajuus = kulmaYla/4.0 + kulmaAla/4.0 + 0.5;
Serial.print(laajuus);
Serial.print(" ASTETTA");
Serial.print(EOL_DELIMITER);
centRealTotal=0;
kierrosLkm = 0;
kulmaYla = 0;
kulmaAla = 0;
delay (1000);
reboot();
break;
case 121:
while (kierrosLkm < 4){
  if(digitalRead(12) == HIGH && leftStop == false){

```



```

leftStop = true;
arvoVasen = left;
}
if(digitalRead(8) == HIGH && rightStop == false){
rightStop = true;
arvoOikea = right;
}
if(leftStop == true && rightStop == true && finishSivu == false){
finishSivu = true;
for(int i = 97 ; i < 298; i++){
leds[i] = CRGB(0, 0, 0);
}
FastLED.show();
if (arvoOikea == 150){
kulmaOikea = kulmaOikea + 90;
}else if (arvoOikea < 150){
kulmaOikea = kulmaOikea + 90-((atan ((150-arvoOikea)/24.5)*180)/3.14);
}else{
kulmaOikea = kulmaVasen + 90+((atan ((arvoOikea-150)/24.5)*180)/3.14);
}
if (arvoVasen == 249){
kulmaVasen = kulmaVasen + 90;
}else if (arvoVasen < 249){
kulmaVasen =kulmaVasen + 90-((atan ((249-arvoVasen)/24.5)*180)/3.14);
}else{
kulmaVasen = kulmaVasen + 90+((atan ((arvoVasen-249)/24.5)*180)/3.14);
}
left = left+5;
right = right+7;
kierrosLkm++;
leftStop = false;
rightStop = false;
finishSivu = false;
while (digitalRead(12) == HIGH || digitalRead(8) == HIGH){}
}
if (interval < 171000 && sivuClear == false && kierrosLkm < 4){
sivuClear = true;
for(int i = 98 ; i < 298; i++){
leds[i] = CRGB(0, 0, 0);
}
FastLED.show();
}
if(finishSivu == false && kierrosLkm < 4){
if(interval == 0){
sivuClear = false;
for(int i = 98 ; i < 298; i++){
leds[i] = CRGB(0, 0, 0);
}
FastLED.show();
}
if(leftStop == false && kierrosLkm < 4){
left--;
leds[left] = CRGB(variPun,variVihr,variSin);
if(left == 198){
left = 267;
}
}
if(rightStop == false && kierrosLkm < 4){
right--;
leds[right] = CRGB(variPun,variVihr,variSin);
if(right == 98){
right = 168;
}
}
FastLED.show();
interval = 180000;
}
interval--;
}
}
sivuLaajuus = kulmaVasen/4.0 + kulmaOikea/4.0;
int tulos = sivuLaajuus + 0.5;

Serial.print(tulos);
Serial.print(" ASTETTA");
Serial.print(EOL_DELIMITER);
kulmaVasen = 0;
kulmaOikea = 0;
kierrosLkm = 0;

```

```

    delay (1000);
    reboot();

    break;
}
}
long microsecondsToCentimeters(long microseconds){
    return microseconds / 29 / 2;
}
float microToCentReal(long microseconds) {
    return float(microseconds) / 29.15 / 2;
}
void reboot() {
    Serial.end();
    aloitus();
}
void aloitus(){
    readIndex = 0;
    left = 263;
    right =168 ;
    up = 98;
    down = -1;
    upStop = false;
    downStop = false;
    leftStop = false;
    rightStop = false;
    interval = 180000;
    finishPysty = false;
    finishSivu = false;
    valo = 0;
    int startTrigger = 0;
    centReal = 0;
    centRealTotal = 0;
    Serial.begin(9600);
    Serial.print("VALITSE TESTI TAI MUUTA ASETUKSIA");
    Serial.print(EOL_DELIMITER);
    while(Serial.available() == 0){
        for(int x =0; x<98;x++){
            leds[x] = CRGB(variPun,variVihr,variSin);
            leds[98-x] = CRGB(variPun,variVihr,variSin);
            leds[ledOikea+x] = CRGB(variPun,variVihr,variSin);
            leds[ledVasen+x] = CRGB(variPun,variVihr,variSin);
            FastLED.show();
            delay(1);
            leds[x] = CRGB(0, 0, 0);
            leds[98-x] = CRGB(0, 0, 0);
            leds[ledOikea+x] = CRGB(0, 0, 0);
            leds[ledVasen+x] = CRGB(0, 0, 0);
        }
    }

    testiNro = Serial.read();
    switch(testiNro){
        case 120:
            Serial.print("PYSTYTESTI VALITTU, TESTATTAVA PAIKOILLEEN");
            Serial.print(EOL_DELIMITER);
            Serial.end();
            Serial.begin(9600);
            while(Serial.available() == 0){
                for (int i = 0; i <97; i++){
                    leds[i] = CRGB(variPun, variVihr, variSin);
                    leds[98-i] = CRGB(variPun, variVihr, variSin);
                    FastLED.show();
                    leds[i] = CRGB(0,0,0);
                    leds[98-i] = CRGB(0,0,0);
                    FastLED.show();
                }
            }
            startTrigger = Serial.read();
            while (startTrigger != 115){
                while(Serial.available() == 0){}
                startTrigger = Serial.read();
            }
            Serial.print("TESTI ALOITETTU");
            Serial.print(EOL_DELIMITER);
            for (int i = 0; i<=9; i++){
                pinMode(pingPin, OUTPUT);
                digitalWrite(pingPin, LOW);

```

```

    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(pingPin, HIGH);
    delayMicroseconds(5);
    digitalWrite(pingPin, LOW);
    pinMode(pingPin, INPUT);
    duration = pulseIn(pingPin, HIGH);
    centReal = microToCentReal(duration);
    centRealTotal = centRealTotal + centReal;
    delay(100);
  }
  break;
case 121:
  Serial.print("VAAKATESTI VALITTU, TESTATTAVA PAIKOILLEEN");
  Serial.print(EOL_DELIMITER);
  Serial.end();
  Serial.begin(9600);
  while(Serial.available() == 0){
    for (int i = 0; i <98; i++){
      leds[98+i] = CRGB(variPun, variVihr, variSin);
      leds[197-i] = CRGB(variPun, variVihr, variSin);
      leds[198+i] = CRGB(variPun, variVihr, variSin);
      leds[297-i] = CRGB(variPun, variVihr, variSin);
      FastLED.show();
      leds[98+i] = CRGB(0,0,0);
      leds[197-i] = CRGB(0,0,0);
      leds[198+i] = CRGB(0,0,0);
      leds[297-i] = CRGB(0,0,0);
      FastLED.show();
    }
  }
  startTrigger = Serial.read();
  while (startTrigger != 115){
    Serial.end();
    Serial.begin(9600);
    while(Serial.available() == 0){}
    startTrigger = Serial.read();
  }
  Serial.print("TESTI ALOITETTU");
  Serial.print(EOL_DELIMITER);
  break;
default:
  Serial.println("Virhe valittaessa testia, kaynnistetään uudelleen..");
  Serial.println("");
  delay(100);
  reboot();
  break;
case 51:
  FastLED.setBrightness(10);
  kirkkaus = 10;
  aloitus();
  break;
case 50:
  FastLED.setBrightness(50);
  kirkkaus = 50;
  aloitus();
  break;
case 49:
  FastLED.setBrightness(100);
  kirkkaus = 100;
  aloitus();
  break;
case 114:
  variPun =255;
  variVihr = 0;
  variSin = 0;
  Serial.end();
  Serial.begin(9600);
  aloitus();
  break;
case 103:
  variPun =0;
  variVihr = 255;
  variSin = 0;
  Serial.end();
  Serial.begin(9600);
  aloitus();
  break;
case 98:

```

```
variPun =0;
variVihr = 0;
variSin = 255;
Serial.end();
Serial.begin(9600);
aloitus();
break;
case 119:
variPun =255;
variVihr = 255;
variSin = 255;
Serial.end();
Serial.begin(9600);
aloitus();
break;
}
}
```

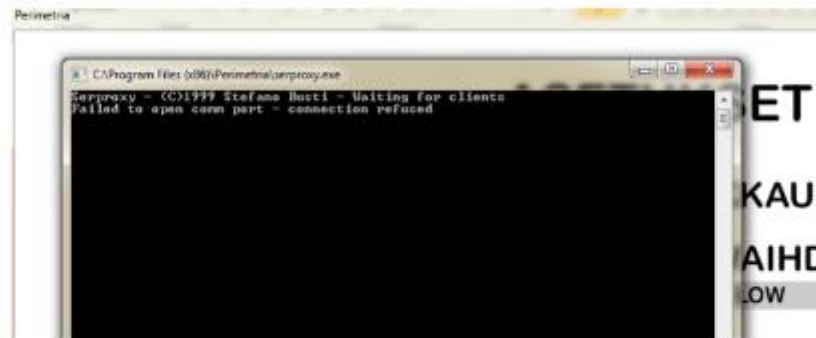
Liite 3.

Näkökentän mittalaitteen käyttöopas

Tämä mittalaite on kehitetty mittaamaan ihmisen näkökentän laajuutta sekä pysty- että vaakasuunnassa. Tämän oppaan avulla opit käyttämään mittalaitteen ohjelmistoa sekä suorittamaan sillä tehtävät mittaukset oikeaoppisesti. **Lue opas läpi huolellisesti ennen mittalaitteen käyttöönottoa!**

Ohjelmiston asennus:

1. Asenna AdobeAirInstaller.exe ohjelmisto tietokoneellesi
2. Asenna Perimetria.exe ohjelmisto tietokoneellesi
3. Kytke mittalaitteen USB-liitin tietokoneeseesi
4. Avaa käynnistä Perimetria.exe ohjelmisto sen asennuskansiossa (C:\Program Files (x86)\Perimetria oletuksena)
5. Sovelluksen käynnistyessä aukeaa kaksi eri ikkunaa, varsinainen mittalaitteen ohjelmisto sekä musta serproxy.exe ikkuna (**Ks. kuva 1**).



Kuva 1 Serproxy

6. Jos mustaan serproxy.exe ikkunaan tulee ylläolevan kuvan mukainen teksti ("Failed to open comm port - connection refused"), siirry oppaan vaiheeseen 7. Muutoin olet valmis käyttämään ohjelmistoa.
7. Koska mittalaite ei ole kytkettyä oikeaan tietokoneen porttiin, tulee portin numero vaihtaa manuaalisesti. Tarkasta ensin että USB-liitin kiinnitettyä tietokoneeseen ja toimi seuraavien vaiheiden mukaisesti:
 - Avaa tietokoneen ohjauspaneeli
 - Siirry kohtaan "Laittehallinta"
 - Laittehallinnan sisällä siirry kohtaa "Portit (COM ja LPT)"
 - Tuplaklikkaa hiiren vasemmalla napilla "USB Serial Port (COM X)" kohtaa
 - Siirry välilehteen "Portin asetukset"
 - Avaa lisäasetukset
 - Valitse "COM portin numero:"-tekstin viereisestä alavetovalikosta portin numeroksi 1
 - Hyväksy mahdolliset virheilmoitukset liittyen portin käyttöön
 - Käynnistä Perimetria.exe ohjelmisto uudelleen

Ohjelmiston käyttö:

ASETUKSET

VÄRI: KIRKKAUS:

VAIHDA VÄRIÄ **VAIHDA KIRKKAUTTA**

TESTI

VALITSE TESTI TAI
MUUTA ASETUKSIA

ALOITA
TESTI

TESTISUUNNAN VALINTA

TULOS:

Kuva 2 Käyttöliittymä

Yllä olevassa **kuvassa 2** on esitetty mittalaitteen ohjelmisto. Testi on mahdollista suorittaa 4 eri LED-valon värillä (punainen, vihreä, sininen sekä väritön) joiden valinta onnistuu klikkaamalla halutun värin tekstiä. LED-valojen kirkkautta on myös mahdollista säätää (low, med, high), joka onnistuu myös painamalla haluttua kirkkautta.

Testin suunnan valinta voidaan valita klikkaamalla joko **PYSTY**-nappia (pystysuuntainen testi) tai **VAAKA**-nappia (vaakasuuntainen testi). Huomioi että testin kirkkaus- ja väriasetukset tulee asettaa ennen testisuunnan valintaa. Kun testi on valittu, voidaan testi aloittaa painamalla **ALOITA TESTI**-nappia. Testin aloittamisen jälkeen mittalaitteisto suorittaa testin, ja testin päätyttyä mitattu näkökentän laajuus on nähtävillä **TULOS** kohdassa.

Testaajia suositellaan tutustumaan ohjelmiston käyttöön ennen testien suorittamista!

On suositeltavaa että testit suoritetaan seuraavilla asetuksilla:

Väri: Punainen tai väritön

Kirkkaus: LOW

Tietoa testaajalle:

Mittalaitteen toimintaperiaate

Testissä testattavan henkilön näkökentän laajuus mitataan LED-valojen havainnoinnin perusteella. Mittalaite mittaa sekä pystysuuntaisen että vaakasuuntaisen näkökentän laajuuden kahtena erillisenä testinä, joista kumpikin kestää noin yhden minuutin. Mittalaitteen takaosassa on magneettinen kiinnitysmekanismi, joten mittalaite voidaan kiinnittää mille vain magneettiselle pinnalle halutulle korkeudelle.

Ennen testien tekemistä mittalaite tulee asettaa siten, että vaakasuuntaisten LED-nauhojen LED-valot ovat testattavan henkilön silmien korkeudella hänen seistessään suorassa!

Pystytestissä testattava henkilö asettuu mittalaitteeseen kuvan 3 mukaisesti (katso oppaan lopusta). Takaraivon tulee olla testin aikana tukea vasten sijainnilla, jossa pystysuuntainen LED-nauha on silmien välisellä keskikohdalla. Testin aikana pystysuuntaisen LED-nauhan valoja sytytetään lyhyinä välähdyksinä eri kohdille nauhaa. Testattavan henkilön tulee painaa "OIKEA / YLÄ" -tekstein varustettua painonappia joka kerta kun he näkevät LED-valon välähtävän näkökentän ylälaidassa, ja "VASEN / ALA" -tekstein varustettua painonappia aina kun he näkevät LED-valon syttyvän näkökentän alalaidassa. Testissä mittalaite kerää 4 näytettä yläsuunnasta sekä 4 näytettä alasuunnasta. Kun näytteet on otettu, on mittalaitteen laskema näkökentän kokonaislaajuus nähtävillä ohjelmiston "TULOS"-osiossa. Mittalaitteen ilmoittaessa näkökentän kokonaislaajuuden voidaan testattaville henkilöille ilmoittaa testi päättyneeksi.

Testin aikana testihenkilön tulee pitää katseensa laitteeseen merkityn punaisen kolmion keskipisteen kohdalla, ja pää tulee pyrkiä pitämään mahdollisimman suorassa koko testin ajan.

Testaajan tulee ennen "ALOITA TESTI"-painikkeen painamista tarkastaa että testattava henkilö on oikealla sijainnilla mittalaitteessa. Mittalaitteessa oleva ultraäänianturi mittaa testattavan etäisyyden pystysuuntaiseen LED-nauhaan kun testi aloitetaan, joten mittaustulosten kannalta on erittäin tärkeää että testiä ei aloiteta ennen kuin testattava henkilö on oikealla sijainnilla.

Vaakatestissä testattava henkilö asettuu mittalaitteeseen kuvan 4 mukaisesti (katso oppaan lopusta). Otsan keskipiste tulee olla punaisella merkatulla alueella. Testin aikana vaakasuuntaisten LED-nauhojen valoja sytytetään lyhyinä välähdyksinä eri kohdille nauhaa. Testattavan henkilön tulee painaa "OIKEA / YLÄ" -tekstein varustettua painonappia joka kerta kun he näkevät LED-valon välähtävän näkökentän oikeassa laidassa, ja "VASEN / ALA" -tekstein varustettua painonappia aina kun he näkevät LED-valon syttyvän näkökentän vasemmassa laidassa. Testissä mittalaite kerää 4 näytettä vasemmasta suunnasta sekä 4 näytettä oikeasta suunnasta. Kun näytteet on otettu, on mittalaitteen laskema näkökentän kokonaislaajuus nähtävillä ohjelmiston "TULOS"-osiossa. Mittalaitteen ilmoittaessa näkökentän kokonaislaajuuden voidaan testattaville henkilöille ilmoittaa testi päättyneeksi.

TÄRKEÄÄ! Testitulokset ovat riippuvaisia testiympäristön valaistuksesta. Jotta saadut mittaustulokset olisivat vertailukelpoisia keskenään, tulee testit suorittaa aina sisätiloissa sekä samanlaisessa valaistuksessa. Saatuihin tuloksiin vaikuttaa myös mittalaitteessa testin aikana käytettävät asetukset, joten testit tulee täten suorittaa aina samoilla mittalaitteen asetuksilla jotta tuloksista saadaan vertailukelpoisia keskenään. Suositellut asetukset ovat esitettyinä kappaleen ”Ohjelmiston käyttö” lopussa.

Ohjeistus testattaville henkilöille:

Testattavan henkilön kanssa tulee ennen testiä käydä läpi seuraavat asiat:

-Testissä tullaan mittaamaan henkilön näkökentän laajuutta sekä pysty- että vaakasuunnassa. Testit tullaan suorittamaan kahdessa osassa, joista toisessa mitataan näkökentän pystysuuntaista laajuutta ja toisessa näkökentän vaakasuuntaista laajuutta. Kumpikin testi on kestoltaan noin yhden minuutin.

-Oikea testattavan sijoittuminen mittalaitteeseen pystytestin ajaksi on esitetty kuviossa 3. Pystytestin ajaksi testattava henkilö tulee ohjeistaa asettamaan takaraivonsa lähempää tukea vasten siten että pystysuuntainen LED-nauha on pään keskikohdan kohdalla.

-Oikea testattavan sijoittuminen mittalaitteeseen vaakatestin ajaksi on esitetty kuviossa 4. Vaakatestin ajaksi testattava henkilö tulee ohjeistaa asettamaan otsansa kauempaa tukea vasten siten, että punaisella merkattu alue on pään keskikohdalla.

-Testin tulokset ovat riippuvaisia testattavan henkilön katseen pysymisestä sille tarkoitettussa pisteessä. Oikea katseen sijainti molempien testien aikana on laitteen keskiosaa merkatun punaisen kolmion keskipisteessä.

-Silmälasit tulee ottaa pois päistä testin ajaksi, mutta piilolinssien käyttö on sallittua.

-Hiukset tulee sitoa kiinni ja muut mahdolliset näkökenttää rajoittavat hatut yms. tulee testin aikana ottaa pois päistä.

-Pää tulee pyrkiä pitämään testin aikana mahdollisimman suorassa.

-Mittalaitteessa on kaksi painonappia jotka ovat merkattuina tekstein ”**Oikea / Ylä**” sekä ”**Vasen / Ala**”.

-Testattava henkilö tulee ohjeistaa painamaan ”**Oikea/Ylä**”-tekstein merkattua painonappia joka kerta kun he näkevät pystytestin aikana LED-valon syttyvän näkökentän ylälaidassa, tai vaakatestin aikana näkökentän oikeassa laidassa.

-Niin ikään ”**Vasen / Ala**”-tekstein merkattua painonappia tulee ohjeistaa painamaan pystytestin aikana joka kerta kun testattava näkee LED-valon syttyvän näkökentän alalaidassa, tai vaakatestin aikana näkökentän vasemmassa laidassa.



Kuva 3 Pystytestin aikainen sijoittuminen mittalaitteeseen



Kuva 4 Vaakatestin aikainen sijoittuminen mittalaitteeseen

Yhteydenotot ongelmatilanteissa:

Sakari Vekki

+358 41 5072514

Sakari.vekki@gmail.com