

Kimmo Kempainen

LUODINNOPEUSMITTARI

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Kevät 2007



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

INSINÖÖRITYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala	Koulutusohjelma
Tekniikka ja liikenne	Tietotekniikka
Tekijä(t) Kimmo Kemppainen	
Työn nimi Luodinnopeusmittari	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot	Ohjaaja(t) Tuomo Rantala Ammattikorkeakoulu
Konenäkö ja mittaustekniikka	Toimeksiantaja Ismo Talus Ammattikorkeakoulu
Aika Kevät 2007	Sivumäärä ja liitteet 35 + 8
<p>Insinöörityössä suunniteltiin ja toteutettiin testauskäyttöön tuleva luodinnopeusmittari. Luodinnopeusmittaria tullaan käyttämään tarkkuusammunnassa ja metsästyksessä käytettävien patruunoiden jälleentalauksen apuna. Tutkimalla luotien nopeuksia saadaan varmuus siitä, että patruunoiden käyttö on turvallista. Käytettäessä patruunoita metsästykseseen tulee patruunoiden myös täyttää laissa niille määrätyt vaatimukset.</p> <p>Luodinnopeusmittari rakennettiin Atmelin valmistaman mikrokontrollerin ympärille. Työssä suunniteltiin ja rakennettiin mittalaitteisto, jolla mitattiin luodin kulkuaikaa tunnetulla matkalla ja sen perusteella laskettiin luodin nopeus ohjelmallisesti mikrokontrollerin avulla. Mittaustulos näytettiin LCD-näytöllä. Luodin kulkua tutkittiin optisten antureiden avulla. Mittarista tehtiin kannettava ja akkukäyttöinen, jotta sitä voidaan käyttää kenttäolosuhteissa. Mittari koostui erillisestä anturikentästä ja käyttöliittymästä. Mittari voidaan yhdistää sarjaportin kautta tietokoneeseen tiedonkeruuta varten.</p> <p>Luodinnopeusmittarille asetetut tavoitteet saavutettiin. Erityisesti työ opetti etsimään tietoa ja hyödyntämään sitä käytännössä. Työ havainnollisti erinomaisesti sulautetun järjestelmän kehityksen. Työn kautta opittiin elektroniikan ja ohjelmoinnin suunnittelu- sekä rakennusvaiheet.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Luoti, nopeus, mittari
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School	Degree Programme
School of Engineering	Information Technology
Author(s) Kimmo Kemppainen	
Title A Bullet Velocity Meter	
Optional Professional Studies Measurement and Machine Vision	Instructor(s) Tuomo Rantala Kajaani University of Applied Sciences
	Commissioned by Ismo Talus Kajaani University of Applied Sciences
Date Spring 2007	Total Number of Pages and Appendices 35 + 8
<p>In this Bachelor's thesis, a bullet velocity meter for testing purposes was designed and introduced. The bullet velocity meter is used to help the reloading of ammunition used on sharp shooting and hunting. Safe usage of ammunition is ensured by investigating the velocities of bullets. When ammunition is used for hunting it has to meet the requirements set by law.</p> <p>The bullet velocity meter was designed around the microcontroller manufactured by Atmel. In the thesis, a measuring system, which was used to measure the time of flight to a known distance, was designed and manufactured. With the time of flight the velocity of the bullet was calculated by a microcontroller. The velocity was shown on an LCD display. The flight of the bullet was investigated by optical sensors. The meter was made light and portable because it is used in field conditions. The meter consists of a sensor field and user interface. The meter can be connected to a computer via a serial port to download the data.</p> <p>The goals set on the bullet velocity meter were reached. The project taught especially how to find information and utilize it in practice. The project taught the development of an embedded system. Through this project, the planning and construction stages of electronics and programming were learned.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Bullet, velocity, meter
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Idea tähän insinööriyöhön saatiin kiinnostuksesta aseissa käytettävien patruunoiden tutkimiseen. Erityisenä kiinnostuksen kohteena oli luodin nopeus.

Työn ohjaajalle Tuomo Rantalalle ja työn tilaajalle Ismo Talukselle tahdon lausua suurimmat kiitokseni tuesta ja opastuksesta työn suoritusvaiheessa.

Anturikehikon piirustusten teosta kiitän Tommi Kemppaista ja työstöstä Veijo Lipposta Kainuun ammattiopistolta. Antureiden suojakoteloiden työstöstä kiitän Ilpo Sarénia Kajaanin ammattikorkeakoululta.

Kiitän myös muita työn ohjaukseen liittyviä henkilöitä, kuten Eero Soinista kieliasun ohjauksesta ja Kaisu Korhosta englanninkielisen abstraktin ohjaamisesta.

Kajaanissa 12.4.2007

Kimmo Kemppainen

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 LUODIN NOPEUS JA MITTAUSPERIAATTEITA	3
2.1 Luodin nopeuden mittausperiaatteita	9
2.2 Luodin havainnointitapoja	12
3 TYÖN TOTEUTUS	14
3.1 Laitteen elektroniikan suunnittelu	15
3.2 Laitteen piirilevyjen suunnittelu	22
3.3 Laitteen ohjelmiston suunnittelu	25
3.4 Laitteen koteloinnin suunnittelu	28
4 TESTAUS JA KALIBROINTI	31
4.1 Mittarin kalibrointi	31
4.2 Mittarin lopputestaus	32
5 TULOSTEN TARKASTELU	33
6 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	35
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Ammusten nopeuden mittaus ennen

Vielä 20 vuotta sitten luodin nopeuden mittaus harrastuskäytössä oli miltei mahdotonta. Aseiden ballistisia ominaisuuksia voitiin tutkia lähinnä vain laboratorio-olosuhteissa. Sotilas-käytössä mittauksia on tosin voitu suorittaa jo pitempään.

Ammusten nopeuden mittauksen merkitys

Sotateollisuudessa käytetään paljon erityyppisiä aseita ja ammuksia. Aseiden kantomatkoja ja tehoja laskettaessa yksi huomioonotettava muuttuja on ammuksen nopeus. Aseita ja ammuksia suunniteltaessa täytyy ammusten nopeuksia mitata myös käytännössä. Käytännön mittauksilla varmistetaan teoreettisesti saatujen arvojen paikkansa pitävyys.

Ampumaurheilussa aseesta lähtevän luodin nopeus vaikuttaa muun muassa aseiden tarkkuuteen ja käytettävään ampumaetäisyyteen. Kilpailuissa aseet jaetaan eri sarjoihin teknisten ominaisuuksiensa perusteella. Aseesta lähtevän luodin nopeus vaikuttaa tällöin myös osaltaan kilpailuluokkaan. Ase ja siinä käytettävien patruunoiden tulee olla tällöin sääntöjen mukaisia.

Metsästyksen kannalta aseessa käytettävän luodin nopeudella on suuri merkitys. Laki määrää joukon luodin vähimmäistehoja tiettyjen eläinryhmien metsästykseseen. Luodin nopeus ja massa vaikuttavat luodin liike-energiaan. Esimerkiksi teeren ja ketun metsästyksessä käytettävän luodin liike-energian alaraja on 200 joulea 100 metrin etäisyydellä. Jotta lain vaatimukset eri eläinryhmille täyttyvät, tulee käytettävän patruunan täyttää sille määrätty vaatimukset. Luodin nopeus vaikuttaa myös luotien käyttäytymiseen kohteessa.

Ammusten nopeuden mittaus tällä hetkellä

Tällä hetkellä markkinoilla on runsaasti eri tekniikoihin perustuvia laitteistoja, joilla voidaan määrittellä ammuksen nopeus. Mikrokontrollereiden kehitys ja hintojen lasku on tehnyt mahdolliseksi valmistaa luotettavia mittauslaitteistoja, joihin yksityiselläkin henkilöllä on varaa. Luodinnopeusmittareissa on paljon erilaisia toimintoja, ja ne voidaan yhdistää tietokoneisiin, jolloin myös tulosten tallennus ja raporttien tulostaminen on mahdollista.

Ammusten nopeuden mittaaminen tässä työssä

Tässä työssä selvitettiin luodin kulku-aikaan perustuvan mittausmenetelmän käyttöä luodin nopeuden määrittämiseen. Tavoitteeksi työssä asetettiin, että mittarilla voitaisiin mitata eri-kokoisten luotien nopeuksia kenttäolosuhteissa. Mittaustuloksia hyödynnettäisiin jälleen-ladattaessa patruunoita omaan käyttöön. Patruunoiden käyttö rajoittuisi metsästykseseen sekä harjoitusammuntaan.

Työssä perehdyttiin mikrokontrolleriohjattuun optiseen mittausjärjestelmään, jolla mitattiin luodin kulku-aikaa. Työssä suunniteltiin ja rakennettiin harrastuskäyttöön tuleva mittalaitteisto, jolla mitattiin luodin kulku-aikaa tunnetulla matkalla ja sen perusteella laskettiin luodin nopeus.

2 LUODIN NOPEUS JA MITTAUSPERIAATTEITA

Kiväärin luodin lähtönopeus on yleensä noin 800 m/s eli 2880 km/h. Luoti saattaa siis lentää nopeammin kuin maailman nopein matkustajakone Concorde, jonka enimmäislentonopeus on 2200 km/h. Toisaalta Concorde kykenee säilyttämään saman nopeuden pitempään kuin luoti, joka ilmanvastuksen vuoksi alkaa nopeasti menettää nopeutta. Nyrkkisääntönä voidaan pitää sitä, että nopeus hidastuu 800 m/s:sta 700 m/s:iin jo ensimmäisen sadan metrin matkalla. Luodin nopeus saattaa silti olla vielä 120 m/s, kun se osuu maahan. Siksi se voi lentää kilometrien päähän aseiden laukaisupaikalta. Jo 60–70 m/s kulkeva luoti pystyy läpäisemään ihon, joten ilmassa lentävä luoti on aina vaarallinen. [1.]

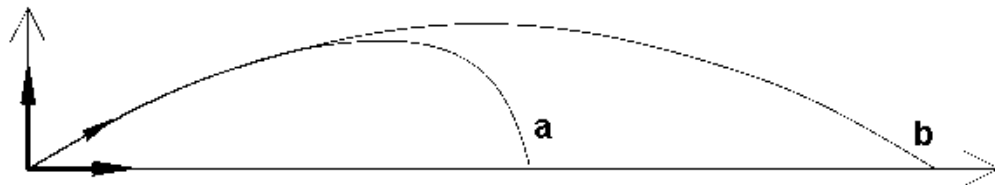
Kuvassa 1 on esitetty muutamia erityyppisiä kiväärin luoteja.



Kuva 1. Erityyppisiä luoteja. Luotien alla on ilmoitettu luodin massa.

Luodin lentorata

Kun luoti ammutaan, lähtee se aseensa päästä suurella nopeudella, pyörien samanaikaisesti pituusakselinsa ympäri. Luotiin vaikuttavat sen lennon aikana maan vetovoima, ilmanvastus sekä useita luodin lentorataan vaikuttavia muita voimia ja momentteja. Jopa maapallon pyörimisliikkeellä on oma vaikutuksensa luodin lentorataan. Kuvassa 2 on esitetty luodin lentorata ilmassa ja tyhjiössä.

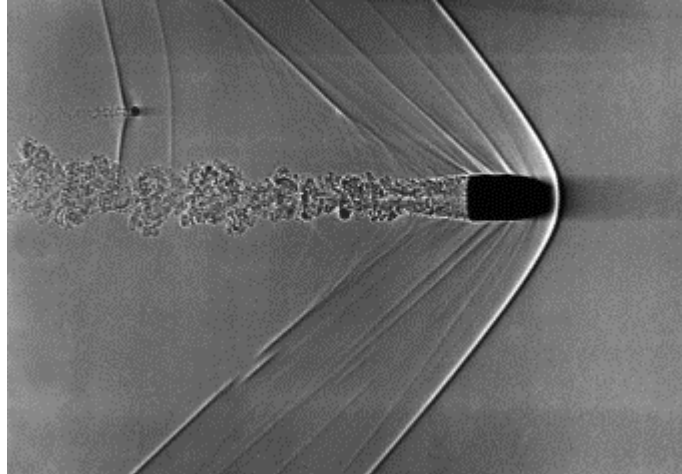


Kuva 2. Luodin lentorata (a) ilmassa ja (b) tyhjiössä.

Luodin lentorataan vaikuttavia tekijöitä

Seuraavassa on lueteltu yleisesti tiedossa olevia luodin lentorataan vaikuttavia tekijöitä [2].

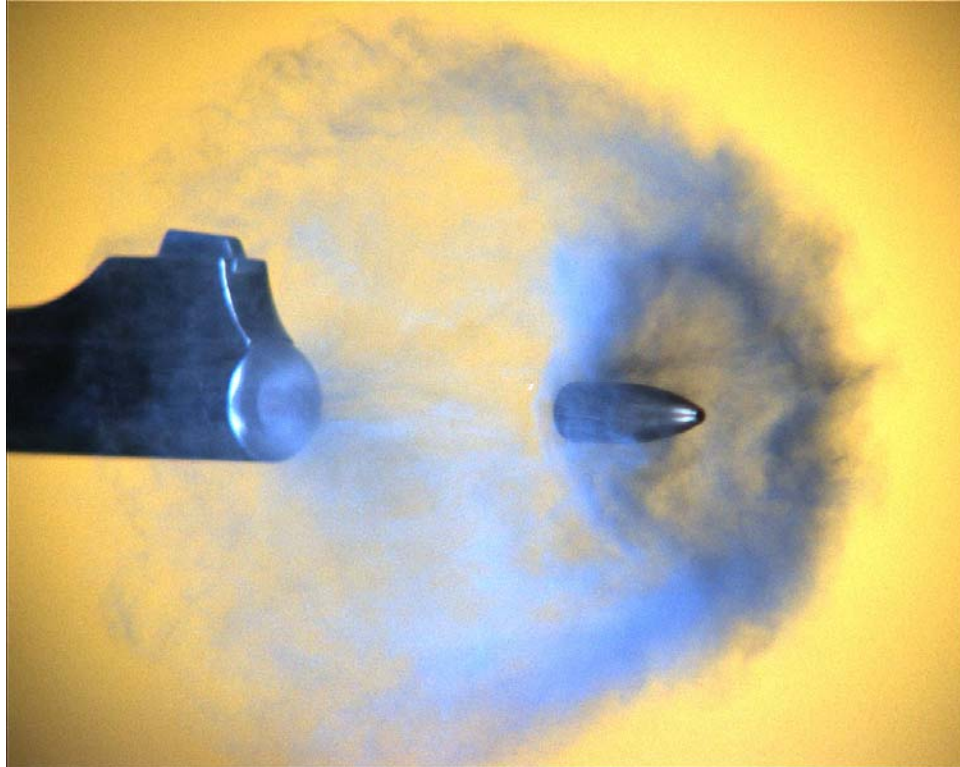
Ilmanvastus: Kun luoti lentää ilmassa, niin se törmää jatkuvasti ilmamolekyyleihin. Ne aiheuttavat vastustavan voiman, jonka suuruus riippuu luodin muodosta ja nopeudesta. Lentonsa aikana luoti aiheuttaa ilmaan shokkiaaltoja, jotka muistuttavat veneen aiheuttamia aaltoja vedessä. Shokkiaaltorintaman taakse ja luodin perään jää pyörteinen alue. Tämä syntyy, koska luoti liikkuessaan työntää ilman syrjään lentoratansa tieltä, jolloin sen taakse syntyy tyhjö. Pyörteet syntyvät ilman virtauksesta tähän tyhjiöön. Kuvassa 3 on esitetty yläääninen eli yliääninopeudella lentävä luoti kuvattuna suurnopeuskameralla.



Kuva 3. Suurnopeuskameralla kuvattu lentävä luoti [3.].

Ballistinen kerroin: Ballistinen kerroin on luodin ballistisen tehokkuuden mitta. Tämä tarkoittaa, että ammuttaessa useita eri luoteja samalla nopeudella suurimman ballistisen kertoimen omaavalla luodilla on laakein eli suorin lentorata.

Väliballistiikka: Väliballistiikaksi kutsutaan ajallisesti hyvin lyhyttä aluetta, joka on luodin jättäessä aseensa piipun. Kuitenkin tänä lyhyenä aikana tapahtuu paljon sellaisia asioita, joilla on erittäin suuri vaikutus luodin osumiseen. Ennen kuin luoti tulee ulos piipusta, sieltä tulee hyvin suurella nopeudella erilaisia partikkeleita, savua, kaasuja ja palamattomia ruutihiukkasia. Näiden partikkeleiden nopeus hidastuu kuitenkin nopeasti ja luoti tunkeutuu niiden lävitse. Kaasuvirtaus on normaalisti symmetrisesti luodin ympärillä, mutta jos luodin perässä on lommoja tai piipun suussa sisäpinnalla vaurioita, on kaasumolekyylien nopeus ja samalla luotia poikkeuttava voima huomattavasti suurempi lommojen puolella luotia. Kuvassa 4 on esitetty tilanne luodin jättäessä aseensa piipun.



Kuva 4. Ruutikaasut piipun suulla [4.].

Luodin stabiliteetti eli vakavoituminen: Stabiliteetti voidaan jakaa kahteen osaan, staattiseen ja dynaamiseen stabiliteettiin. Luoti on normaalisti staattisesti epästabiili, mutta se voidaan vakavoidsa pakottamalla se pyörimään oman akselinsa ympäri. Pyörimisliikkeen nopeus riippuu aseiden rihlanoususta ja luodin nopeudesta. Kun pyörimisnopeus on oikea, niin luoti lentää seuraten lentoratansa tangenttia.

Hyrrävoima: Hyrrävoima syntyy, kun jokin kappale pyörii hyvin nopeasti akselinsa ympäri. Jos luodin pyörimisnopeus on tarpeeksi suuri, niin hyrrävoima pitää sen kärjen suunnan koko ajan samana. Kun ilmanvastus vaikuttaa luotiin, se pyrkii muuttamaan luodin suuntaa. Täten luoti liikkuu suoraan tätä voimaa vastaan aiheuttaen kiertoliikkeen.

Presessio: Luodin poiketessa hieman suunnastaan vastusvoimien suunta muuttuu. Kun näitä suuntamuutoksia on koko ajan, alkaa luodin kärki pyöriä akselinsa ympäri. Tätä liikettä kutsutaan presessioksi.

Nutaatio: Presessiosta voidaan erottaa nopeampi liike, jota kutsutaan nutaatioksi. Nutaatiossa vastusvoima on suurempi johtuen ilman vastuksesta, sillä luoti lentää akselinsa suuntaisesti vain keskimääräisesti.

Hyrräpoikkeama: Kasvaa luodin lentomatkan kasvaessa hyvin nopeasti johtuen presessiosta ja nutaatiosta. Tämä liike on oikealle, jos piipussa on oikeankätiset rihlat.

Magnus-efekti: Syntyy, kun luoti akselinsa ympäri pyöriessään ottaa joitain ilmamolekyylejä mukaansa. Nuo ilmamolekyylit aiheuttavat sen, että ilmanpaine on suurempi luodin oikealla puolella, jos sen pyörimissuunta on oikealle. Luoti siis liikkuu vasemmalle, koska siellä on pienempi ilmanvastus.

Poisson-efekti: Syntyy, kun luoti on miltei koko lentomatkinsa ajan oman lentoratansa tangentin yläpuolella. Kun luoti pyörii tämän "ilmapatjan" päällä, niin kitka aiheuttaa sen siirtymisen oikealle, jos luodin pyörimissuunta on oikealle.

Luodin nopeus

Luodin nopeus kuvaa nopeutta, millä luoti lentää. Mikäli luodin nopeus tietyssä pisteessä tunnetaan, voidaan luodin nopeus muissakin lentoradan kohdissa määritellä tietokoneohjelmien avulla. Mitattaessa luodin hetkellinen nopeus kahdessa tarkastelupisteessä voidaan nopeuksien avulla laskea luodin keskimääräinen nopeus tarkastelupisteiden välillä.

Kullekin asetyypille ja luodille on määriteltä optimaalinen nopeus. Jos se jostain syystä ylittyy tai alittuu, luodin lentorata ilmassa ei pysy vakaana. Nopeus, jolla luoti lähtee aseensa piipusta, riippuu monesta tekijästä. Aseessa luodin lähtönopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa piipun pituus ja piipun tiukkuus. Ammuksissa luodin lähtönopeuteen taas vaikuttaa latauksessa käytetty luoti, nalli ja ruudin määrä sekä laatu. Myös ympäristön lämpötila vaikuttaa luodin lähtönopeuteen.

Patruunoiden jälleenlataus

Patruunoita voidaan jälleenladata kotioloissa tarkoitukseen sopivilla laitteilla. Tämä tarkoittaa sitä, että ammutusta patruunasta poistetaan ruudin sytytykseen käytetty nalli, puhdistetaan hylsy ja supistetaan se alkuperäisiin mittoihinsa. Lopuksi hylsyyn asennetaan uusi nalli, ruuti-panos ja luoti. Tämän jälkeen patruuna on valmis uudelleen ammuttavaksi.

Jälleenladattaessa patruunoita tulee lataajan olla perillä ladattujen patruunoiden lähtönopeudesta. Lähtönopeus tulee tietää ensinnäkin siksi, että lataukset ovat varmasti turvallisia ampua. Mittaamalla ladattujen patruunoiden lähtönopeus voidaan varmistua myös siitä, että laissa määrätyt vaatimukset täyttyvät, mikäli patruunoita käytetään metsästyksessä.

Mitkään kaksi asetta eivät anna tarkalleen samoja nopeuksia samanlaisilla patruunoilla. Tästä syystä patruunoiden jälleenlatauksen apuna käytettyjen latausoppaiden ilmoittamat nopeudet eivät pidä tarkasti paikkaansa. Kun tietää luodin todellisen lähtönopeuden, voi tietokoneohjelmien tai taulukoiden avulla saada selville myös luodin todellisen lentoradan, energiat, jne. Patruunoiden sopivuutta aseeseen voidaan arvioida sillä perusteella, miten paljon luodin lähtönopeudet vaihtelevat. Mikäli ei saavuteta yhtä suuria nopeuksia kuin latausoppaassa, voi syynä olla esimerkiksi lyhyempi tai kulunut piippu. Missään tapauksessa hitaampi nopeus ei tarkoita sitä, että nopeutta voisi turvallisesti lisätä. Päinvastoin, hitaampi nopeus voi johtua suuremmasta luodin ja piipun välisestä kitkasta, jolloin painekin on suurempi. Mikäli paine kasvaa liiaksi, saattaa ase vaurioitua ammuttaessa. Tällöin myös itse ampuja on hengenvaarassa. [5.]

Metsästysluodeille on määritetty nopeusalueet, joilla luoti käyttäytyy optimaalisimmin kohteeseen osuessaan. Jälleenlataajan on tärkeää tietää nopeus myös siksi, että nopeusalue on oikea kyseiselle luodille. Suurriistametsästyksessä luodin avautuminen ja muovautuminen on tärkeää. Luodin tulee avautua nopeasti ja myös pysyä ehjänä osuttuaan kohteeseen. Luodin nopeus osumahetkellä vaikuttaa luodin avautumiseen ratkaisevasti. Mikäli nopeus on liian alhainen osumahetkellä, ei luoti avaudu kunnolla, eikä näin ollen myöskään toimi halutulla tavalla. Kuvassa 5 on esitetty eri nopeuksilla ballistiseen saippuaan ammuttuja luoteja, jotka ovat avautuneet eri tavoin. Kuvassa on myös esitetty jokaiselle luodille osumanopeus sekä jäämäpainoprosentti, joka kuvaa luodin massan säilymistä osumassa. Mikäli jäämäpainoprosentti on pieni, se kertoo siitä, ettei luoti pysy osumassa kasassa vaan rikkoontuu. Ammunassa käytetty ballistinen saippua vastaa ominaisuuksiltaan lihasta ja menetelmä on yleisesti käytössä tutkittaessa luotien käyttäytymistä.



Kuva 5. Eri nopeuksilla ballistiseen saippuaan ammuttuja luoteja. Prosenttiluku kertoo luodin jäämäpainon.

2.1 Luodin nopeuden mittausperiaatteita

Kulkuajamittaus

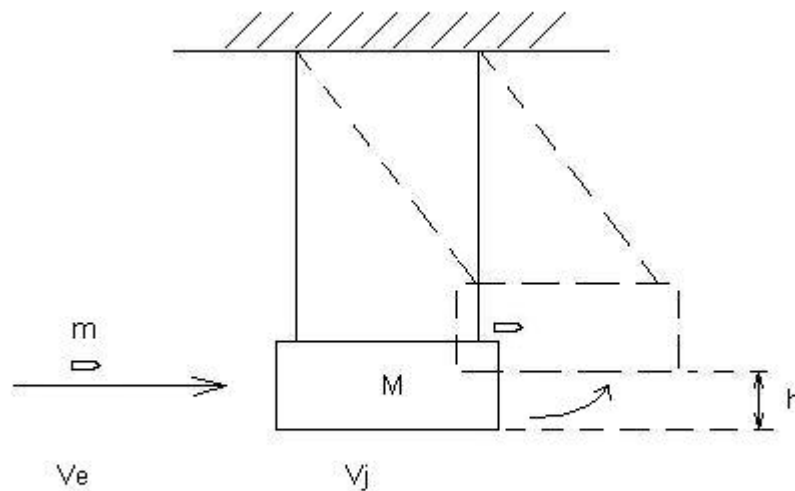
Kulkuajamittauksessa mitataan nimensä mukaisesti luodin tietyllä matkalla kuluttamaa aikaa Δt . Nopeus määritellään yleensä kulkuajamittauksissa siten, että mitataan kulkuajaa tunnetulle matkalle ja lasketaan sen perusteella luodin keskinopeus tälle matkalle.

$$v_k = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1)$$

missä v_k on keskinopeus, Δx on tunnettu matka ja Δt on luodin tietyllä matkalla kuluttama aika.

Ballistinen heiluri

Vuonna 1742 Benjamin Robins kehitti yksinkertaisen laitteen, ballistisen heilurin luodin nopeuden määrittämisen. Ballistinen heiluri on esimerkiksi hiekalla täytetty laatikko tai puupölkky, joka riippuu vaakasuorassa asennossa köysien varassa. Luoti ammutaan vaakasuorassa suunnassa levossa olevaan laatikkoon tai puupölkkyyn, jonka massa tunnetaan. Luodin osumisen seurauksena suuri heilurikappale (laatikko, puupölkky) heilahtaa ja sen painopisteen nousu mitataan. Kuvassa 6 on esitetty yleisesti käytössä oleva periaatekuva ballistisesta heilurista.



Kuva 6. Ballistinen heiluri

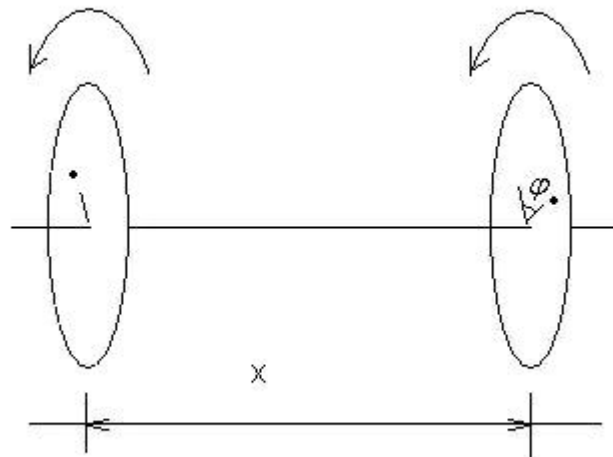
Kun luodin massa, heilurin massa ja painopisteen pystysuora nousu tiedetään, voidaan luodin nopeus v_e määrittellä seuraavasti.

$$v_e = \frac{m + M}{m} \sqrt{2gh} \quad (2)$$

missä m on luodin massa, M on heilurin massa, g on maan vetovoiman kiihtyvyys ja h on painopisteen pystysuora nousu.

Pyörivät kiekot

Luodin nopeus voidaan määrittää ampumalla luoti läpi kahdesta samassa akselissa pyörivästä paperikiekosta. Menetelmää on käytetty yleisesti. Ranskalainen tutkija Armand Fizeau käytti aikoinaan samaa periaatetta yrittäessään mitata valon nopeutta. Kuvassa 7 on esitetty periaatekuva pyörivien kiekkojen avulla toteutetusta mittauslaitteistosta.



Kuva 7. Pyöriviin kiekkoihin perustuva mittausmenetelmä.

Kun tiedetään kiekkojen kierrosnopeus, välimatka ja luodin reikien välinen kiertymiskulma asteina, voidaan luodin nopeus laskea seuraavasti.

$$v = \frac{2\pi n X}{\varphi} \quad (3)$$

missä n on kiekkojen kierrosnopeus, X kiekkojen välimatka ja φ reikien välinen kiertymiskulma.

Edellä mainittujen menetelmien lisäksi sotateollisuudessa käytetään muun muassa dopplerilmiöön perustuvia mittausmenetelmiä.

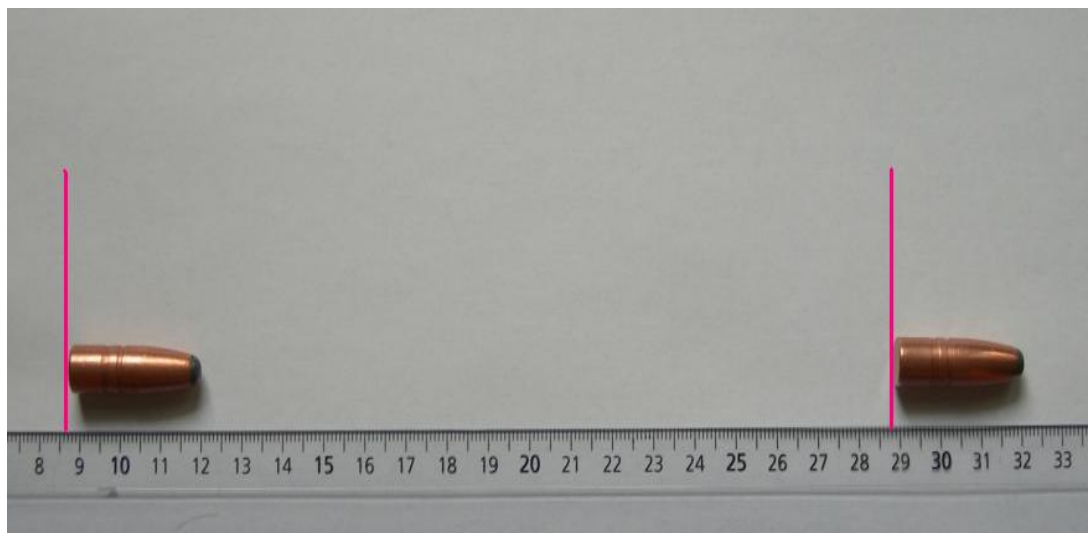
2.2 Luodin havainnointitapoja

Jotta esimerkiksi kulkuaikamittauksia voidaan suorittaa, tulee luoti pystyä havainnoimaan. Luodin havainnointiin on käytössä useita tekniikoita. Luodin havainnoinnissa tulee ottaa huomioon myös havainnointipiste. Havainnointipisteen valinnassa tulee ottaa huomioon muun muassa seuraavat asiat.

- Liian lähellä piipun suuta tapahtuvaa havainnointia sotkevat ruutikaasut.
- Etäällä oleva havainnointipiste vaikeuttaa ammuntaa. Ammunnan tulee tapahtua tarkasti, jottei laitteisto hajoa osuman seurauksena.

Suurnopeuskamera

Kun käytetään suurnopeuskameraa luodin havainnointiin, niin yleensä kyseessä on luodin kulkuaikaan perustuva mittaamenetelmä. Suurnopeuskameralla kuvataan luodin lentoa ilmassa tietyllä matkalla. Kuvassa 8 on havainnollistettu kuvausperiaatetta. Luodin kulkusuunta on vasemmalta oikealle. Kun tiedetään aika mikä on kulunut luodin ylittäessä punaisten viivojen välin, voidaan luodin nopeus määrittellä kaavan 1 avulla.



Kuva 8. Suurnopeuskameran kuvausperiaate.

Valokenno

Valokenno on tyypillisin havainnointitapa siviilikäyttöön tarkoitetuissa luodinnopeusmittareissa. Valokennossa on joko lähetin ja vastaanotin tai pelkästään vastaanotin. Valokenno havaitsee sen ohi kulkevan luodin aikaansaaman muutoksen valaistuksessa. Sopivalla signaalinkäsittelyllä valokennolta saatava signaali voidaan muuntaa mikrokontrollerin ymmärtämään muotoon. Valokennoja on näkyvän valon alueella toimivia, sekä ihmisen silmälle näkymättömällä IR-alueella toimivia. Näkyvän valon alueella toimiva valokenno toimii joko lähettimestä saatavalla valolla tai ympäristön valolla. Valokennon avulla voidaan havainnoida ammuksia, jotka on tehty melkein mistä tahansa materiaalista.

Induktiivinen anturi

Jonkin verran on käytössä sovelluksia, joissa luodin havainnointiin käytetään induktiivisia antureita. Anturi muodostuu kelasta johon indusoituu jännite, kun luoti ohittaa sen. Indusoitunut jännite aikaansaa pulssin, joka voidaan havaita sopivan signaalinkäsittelyn jälkeen mikrokontrollerilla. Induktiivisen anturin huonoja puolia on se, että ammuksen tulee olla metallinen. Kuvassa 9 on esitetty esimerkki induktiivisten antureiden käytöstä.



Kuva 9. Luodin havainnointi induktiivisilla antureilla [6].

3 TYÖN TOTEUTUS

Laitteen suunnittelu aloitettiin kartoittamalla laitteen vaatimukset ja toiminnot.

Laitteen keskeisiksi vaatimuksiksi määriteltiin seuraavat asiat:

- Laitteen tuli olla kannettava, eli riittävän keveä.
- Laitteen tuli olla akkukäyttöinen.
- Laitteessa tuli olla LCD-näyttö tulosten näyttöä varten.

Näiden lisäksi

- Laitteeseen tuli sarjaporttiliitäntä, jonka avulla mittaustuloksia voidaan halutessa siirtää tietokoneelle.
- Tietokoneeseen voidaan tehdä mittaustietojen keräysohjelma, jolla tuloksia voidaan tallentaa ja tuloksista voidaan tehdä taulukoita.

Käyttöliittymä

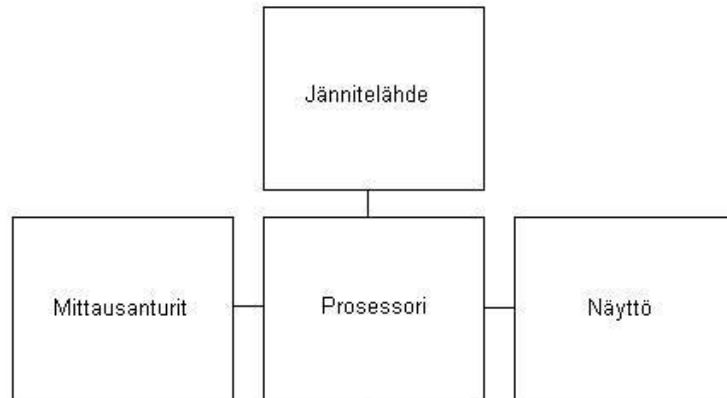
Laitteen etulevyssä ovat laitteen hallintaan tarvittavat napit ja säädöt. Laitteessa on seuraavat säädöt:

- toimintatilan vaihto
- valokennon lähettimien tehon säätö.

Toimintatilan vaihto toteutettiin painonapilla. Valokennon lähettimen tehon säätö toteutettiin potentiometrillä.

3.1 Laitteen elektroniikan suunnittelu

Laitteen valmistamisessa päätettiin käyttää pääosin pintaliitostekniikkaa. Joitakin läpiladottavia komponentteja jouduttiin käyttämään. Kuvassa 10 on esitetty laitteen lohkokaavio.



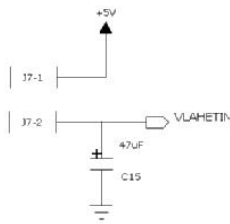
Kuva 10. Laitteen lohkokaavio

Jännitelähde

Mittaria tullaan käyttämään paikoissa, joissa verkkosähköä ei ole käytettävissä. Tämän vuoksi laitteesta päätettiin tehdä akkukäyttöinen. Akun lataus tapahtuu erillisen verkkolaitteen avulla.

Valmiita akkuja olisi ollut saatavilla, mutta niiden korkean hinnan vuoksi akku päätettiin rakentaa itse. Akku rakennettiin kahdeksasta 1,2 voltin irrallisesta akkuparistosta, jotka kytkettiin sarjaan. Näin ollen akun nimellisjännitteeksi saatiin 9,6 voltia. Laitteen virtakytkin ja virran merkkivalona toimiva LED asennettiin laitteen etulevyyn. Kuvassa 11 on esitetty laitteen jännitelähteen kytkentä.

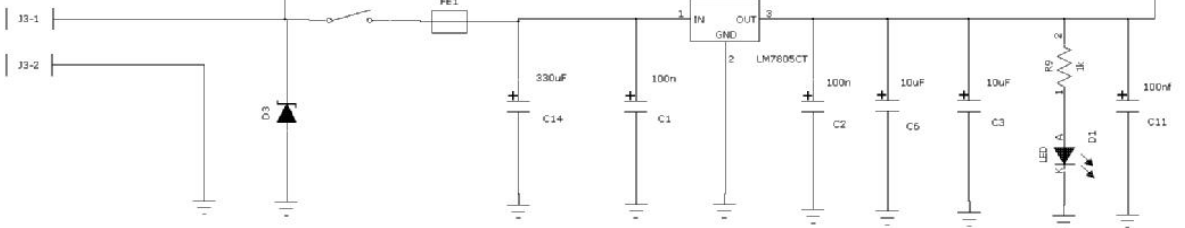
Lähtetimen tehonsäädön liitäntä



Akun liitäntä



DC/Lataus -liitäntä



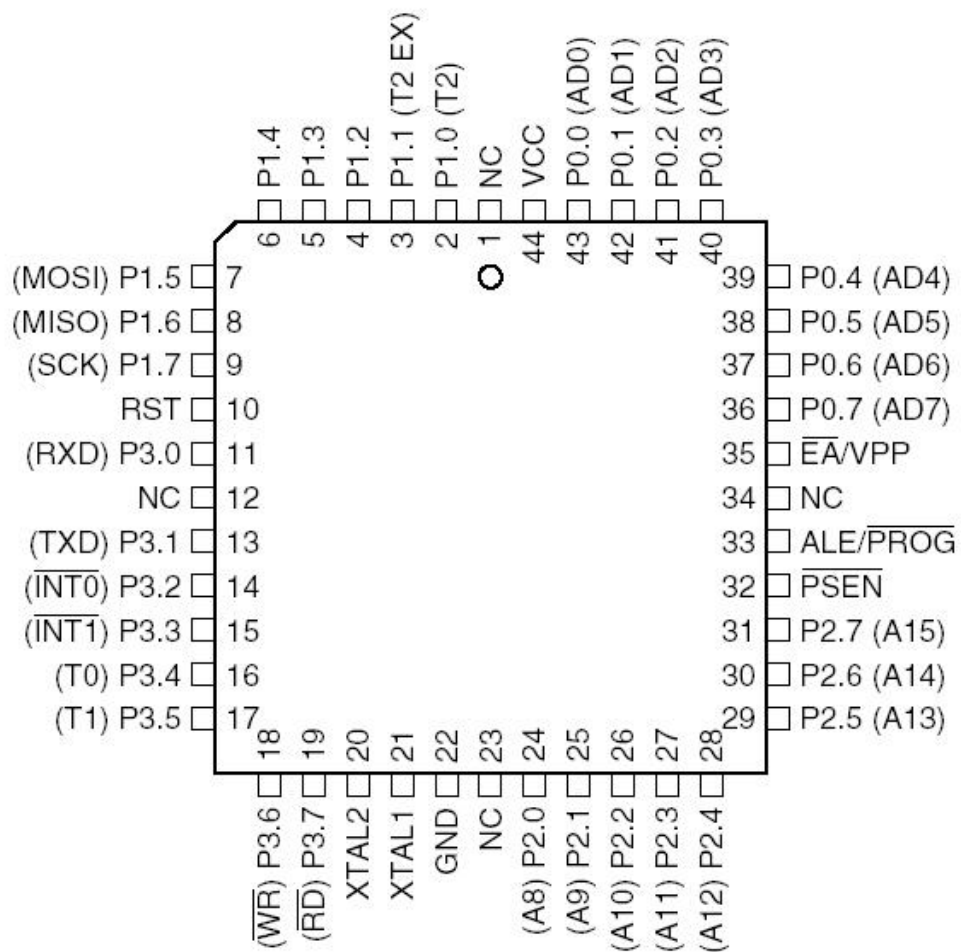
Kuva 11. Jännitelähde

Akun nimellijännite oli +9,6 V, mikä muutettiin regulaattorin avulla +5 V:ksi. Sisään tuleva jännite suodatettiin ferritiin ja kondensaattoreiden avulla ennen regulointia. Shottky-diodin avulla estettiin laitteen rikkoontuminen, mikäli akun latausjännite kytketään laitteeseen napaisuudeltaan väärin. LEDin avulla ilmaisttiin, milloin laite oli päällä. Lähetin- ja vastaanotinpiirilevyjen jännitesyötöt ohitettiin kahdella tantaalikondensaattorilla, jotka estivät jännitteen notkahtamisen virrankulutuspiikeissä. Jokaisen mikropiirin läheisyyteen kytkettiin käyttöjännitelinjaan keraaminen kondensaattori, jonka avulla poistettiin mahdolliset käyttöjännitteessä olevat häiriöt.

Proessorilohko

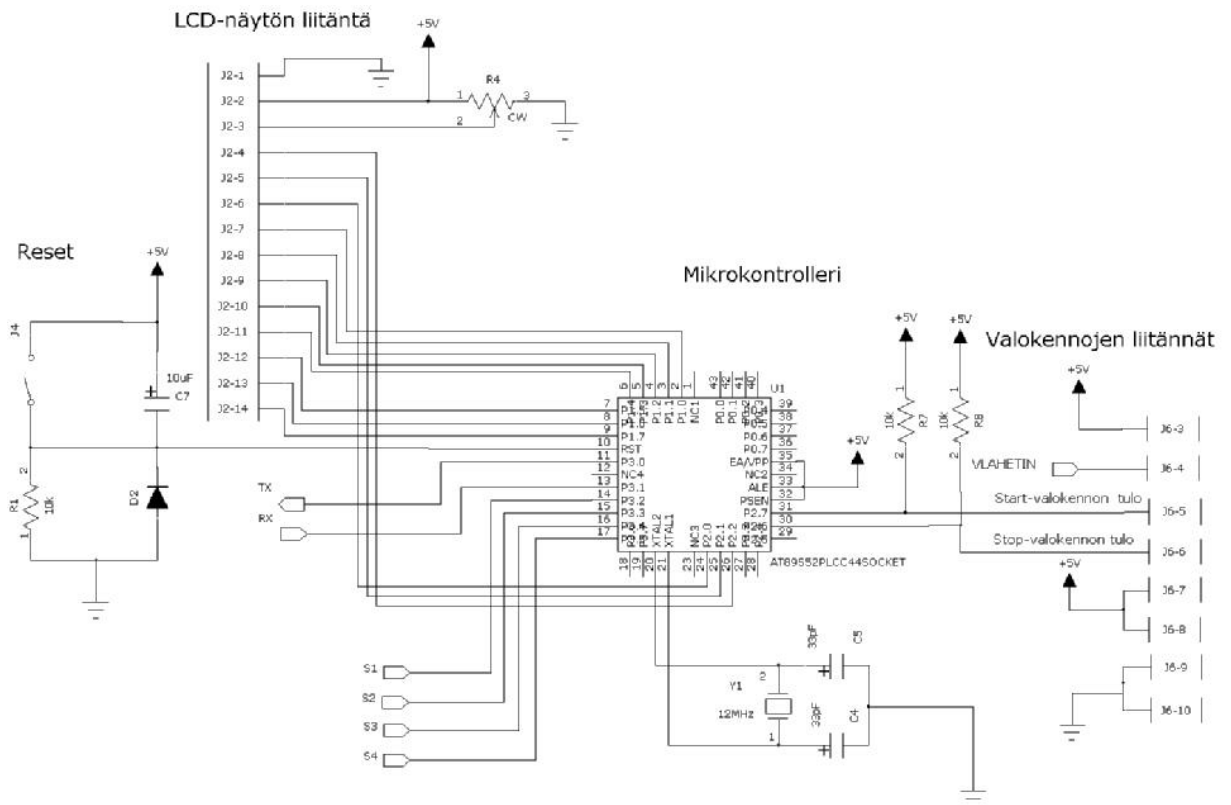
Laitteen mikrokontrolleriksi valittiin Atmel AT89S52 -prosessori, koska se on edullinen ja kapasiteetiltaan riittävä. Prosessori on 8-bittinen, ja se perustuu 51-pohjaiseen arkkitehtuuriin. Ohjelmoitavia I/O-linjoja prosessorissa on 32 kappaletta ja Flash-muistia 8 Kt. Ajastimia on kolme kappaletta, jotka voidaan ohjelmallisesti asettaa 8-, 13- tai 16-bittiseksi.

Prossessorin kellotaajuudeksi asetettiin kiteen avulla 12 MHz. Tämä valittiin siksi, koska toimintojen haluttiin olevan riittävän nopeita. Kuvassa 12 on esitetty prosessorin nastajärjestys.



Kuva 12. Atmel AT89S52 -prosessorin nastajärjestys

Porttiin P2.7 tuotiin tieto etummaiselta valokennolta. Kun luoti ohitti valokennon, tämä linja muuttui 0-tilasta 1-tilaan ja laskuri lähti käyntiin. Porttiin P2.6 tuotiin tieto takimmaiselta valokennolta. Kun luoti ohitti valokennon, tämä linja muuttui 0-tilasta 1-tilaan ja laskuri lopetti laskennan. Muut prosessoriin liittyvät kytkennät on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Prosessorin kytkentä

Näyttö

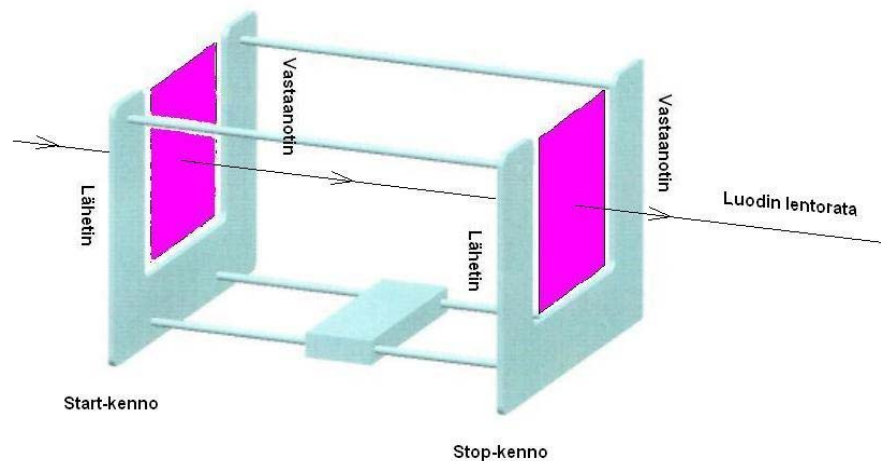
Näytöksi laitteeseen valittiin 2 x 16 -merkkinen LCD-moduuli. LCD-moduulissa on näyttö ja näyttönohjain yhdistetty. Kuvassa 14 on esitetty laitteen LCD-näyttö.



Kuva 14. Laitteen LCD-näyttö.

Mittausanturit

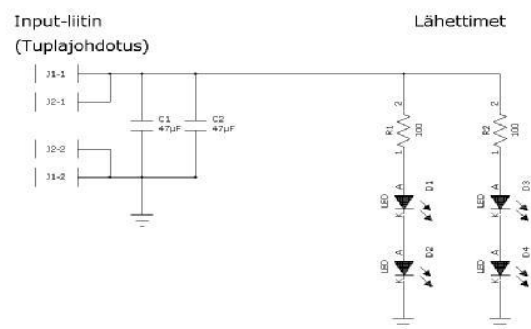
Mittausantureiksi päätettiin rakentaa IR-alueella toimivat valokennot. Valokennoja laitteeseen tuli 2 kappaletta. Valokennot koostuivat lähettimestä ja vastaanottimesta. Lähettimen ja vastaanottimen etäisyydeksi valittiin 15 cm. Kuvassa 15 on esitetty periaatekuva anturien kytkennästä.



Kuva 15. Periaatekuva anturien kytkennästä.

Lähetin

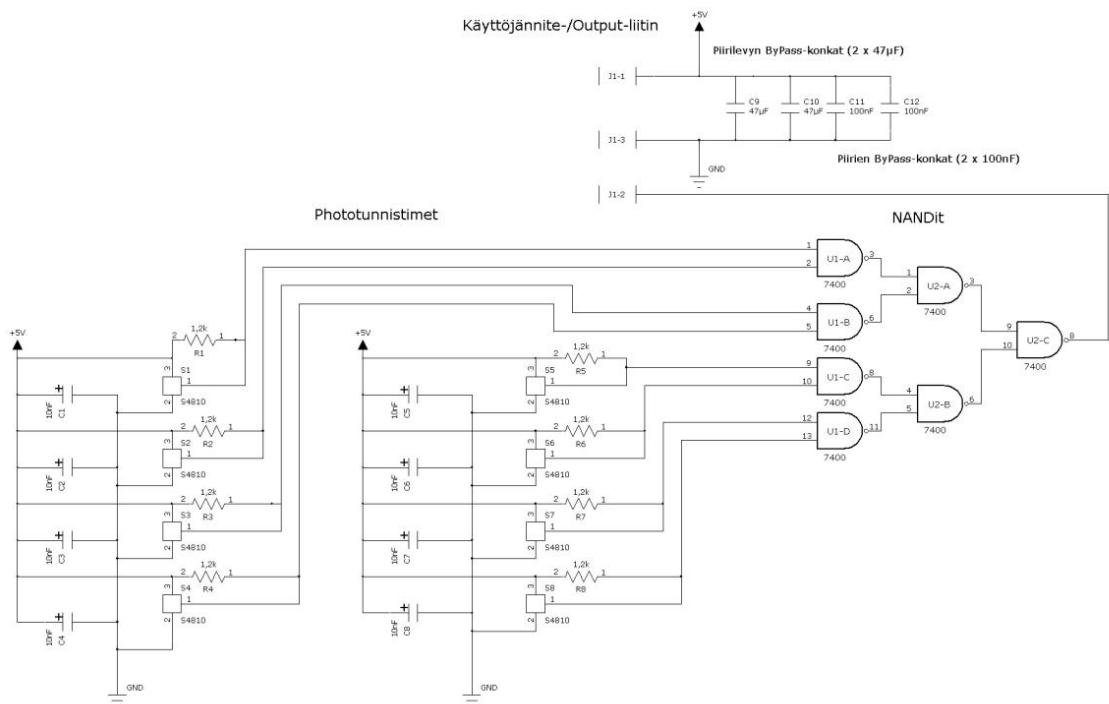
Lähettimeen kytkettiin liittimien lisäksi 4 kpl IR-LEDejä, niiden etuvastukset ja kaksi tantaalikondensaattoria. Laitteen etulevyssä olevalla potentiometrillä voitiin säätää IR-LEDien läpi kulkevaa virtaa. Kuvassa 16 on esitetty lähettimen kytkentä.



Kuva 16. Lähettimen kytkentä.

Vastaanotin

Vastaanottoimeen kytkettiin liittimien lisäksi 8 kpl valotunnistimia, niiden oheiskomponentit, 2 kpl NAND-piirejä sekä 2 kpl keraamisia kondensattoreita. Valotunnistimiksi valittiin Hamamatsun valmistamat S4810-phototunnistimet, jotka koostuvat photodiodista, vahvistimesta sekä schmitt-triggeristä. Kuvassa 17 on esitetty vastaanottimen kytkentä.

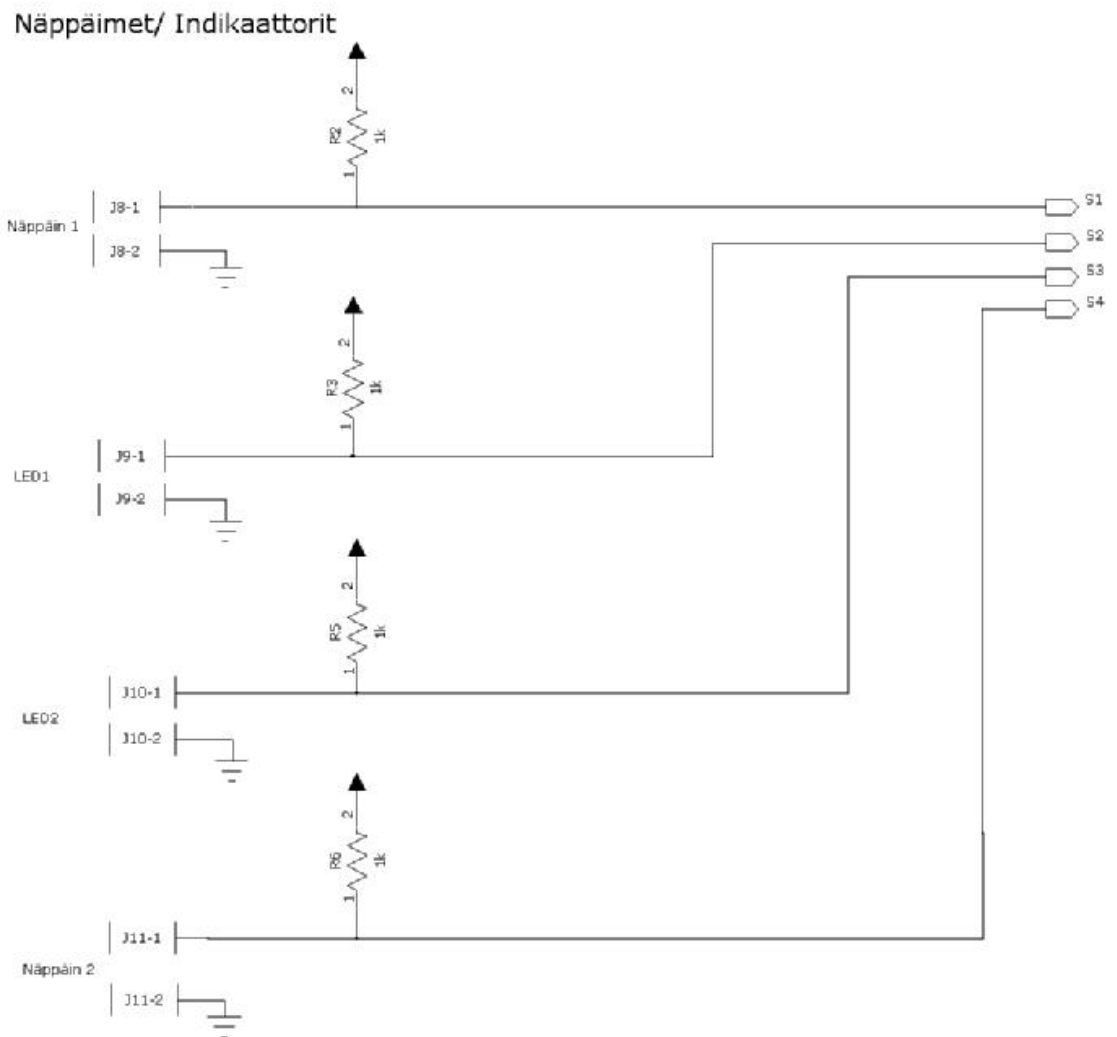


Kuva 17. Vastaanottimen kytkentä.

Edellä mainittujen lohkojen lisäksi seuraavaksi on kerrottu muiden laitteen käyttöön liittyvien osioiden toiminnasta

Näppäimet ja indikaattorit

Laitteeseen varattiin 4 porttia näppäimille ja indikaattoreille. Kuvassa 18 on esitetty laitteen näppäinten ja indikaattoreina toimivien LEDien kytkentä.

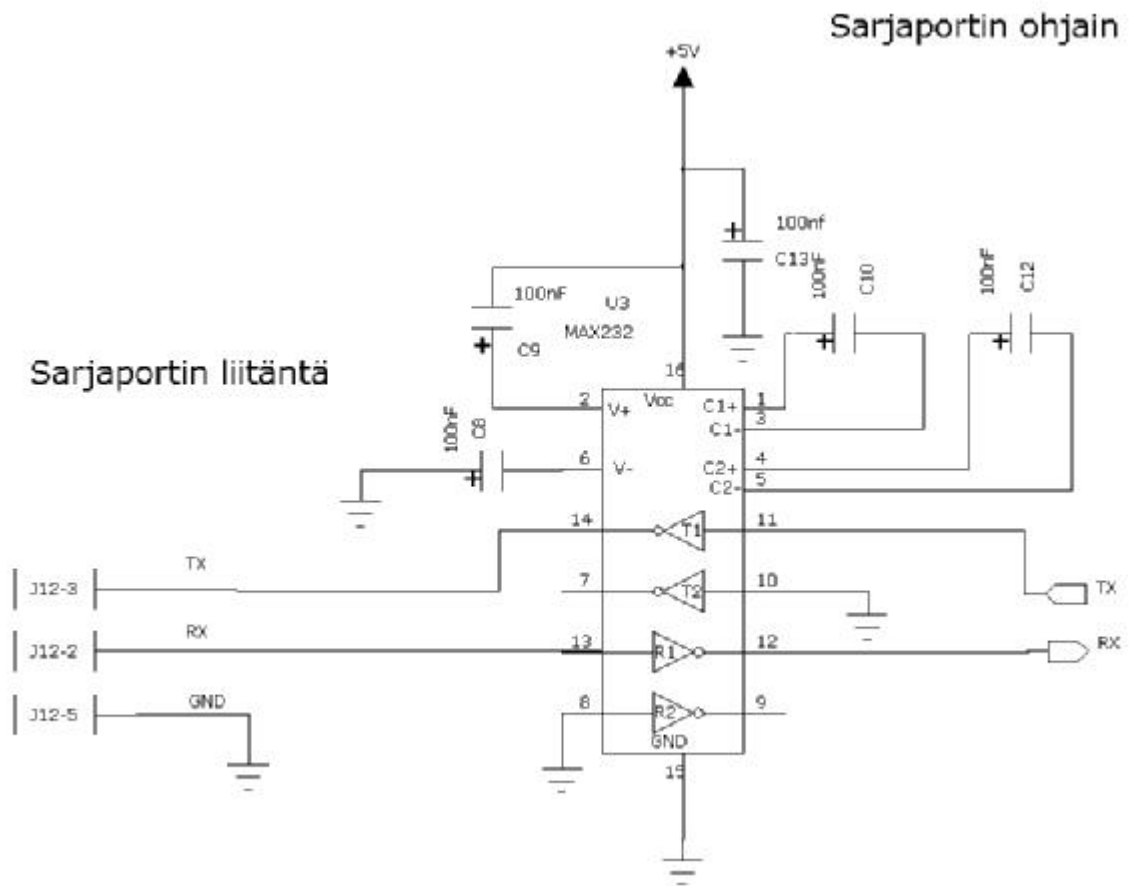


Kuva 18. Näppäinten ja indikaattoreiden kytkentä

Liittimiin voidaan kytkeä suoraan joko painokytkimet tai LEDit ilman erillisiä muutoksia.

Sarjaportti

Laite voidaan liittää tietokoneeseen sarjaportin kautta. Sarjaportin tiedonsiirrosta tehtiin 2-suuntainen. Kuvassa 19 on esitetty sarjaportin ohjaimen kytkentä.



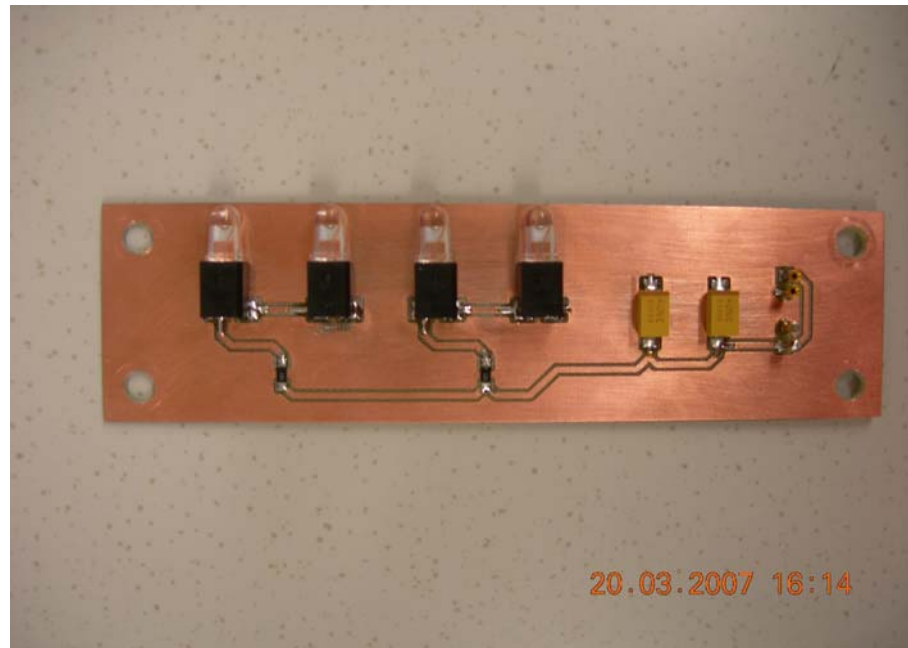
Kuva 19. Sarjaportin ohjaimen kytkentä

3.2 Laitteen piirilevyjen suunnittelu

Piirilevyjen suunnittelu aloitettiin määrittelemällä piirilevyjen koot. Valokennojen piirilevyt mitoitettiin siten, että komponentit saatiin asennettua väljästi levyihin ja levyt saatiin kiinnitettyä tukevasti kehikkoon. Mitoituksessa otettiin huomioon myös piirilevyjen suojaksi tulevien koteloiden viemä tila. Lähettimien ja vastaanottimien piirilevyjen kooksi valittiin 120 mm x 35 mm.

Lähetin

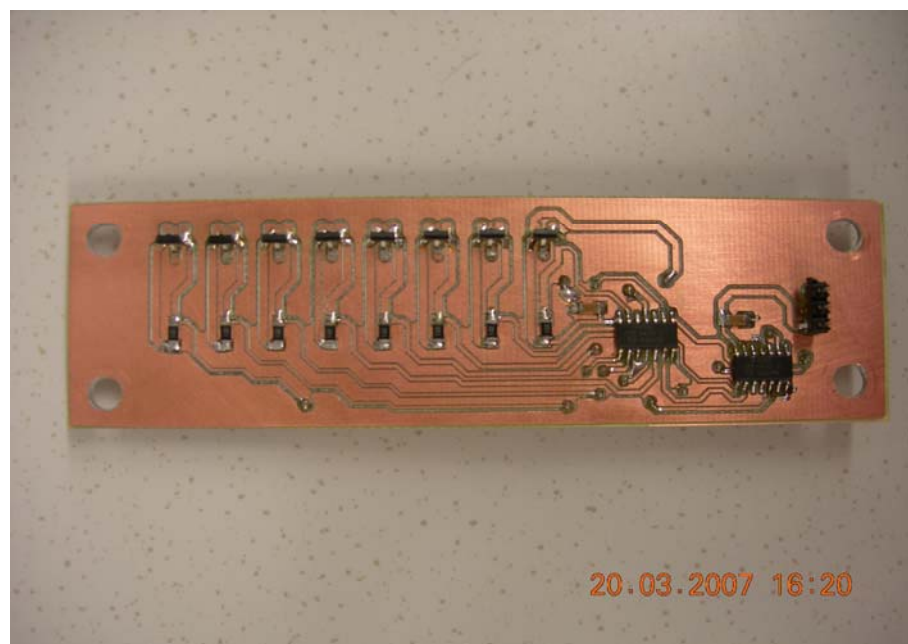
Lähettimeen kytketyt IR-LEDit asennettiin 1-puoleiselle piirilevyille juotettuihin holkkikan-toihin. LEDit asennettiin sopiville etäisyyksille toisistaan. Kuvassa 20 on esitetty lähetin.



Kuva 20. Lähetin

Vastaanotin

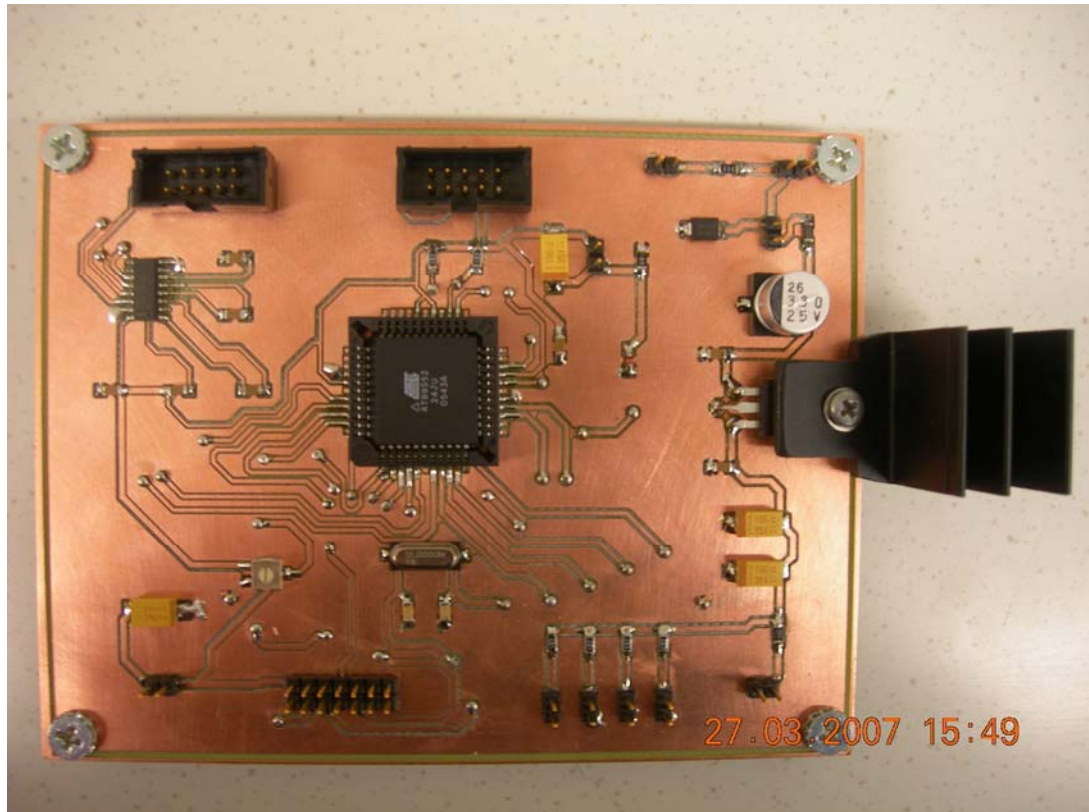
Vastaanottimeen kytketyt phototunnistimet asennettiin juottamalla ne varovasti 2-puoleiselle piirilevyllä muiden komponenttien lisäksi. Tunnistimet asennettiin sopiville etäisyyksille toisistaan. Kuvassa 21 on esitetty vastaanotin.



Kuva 21. Vastaanotin

Proessorikortti

Proessorikorttiin kytkettiin liittimien lisäksi mikrokontrolleri, virtalähde akkua lukuun ottamatta, sarjaportin ohjain sekä piirien tarvitsemat oheiskomponentit. Kuvassa 22 on esitetty proessorikortti.



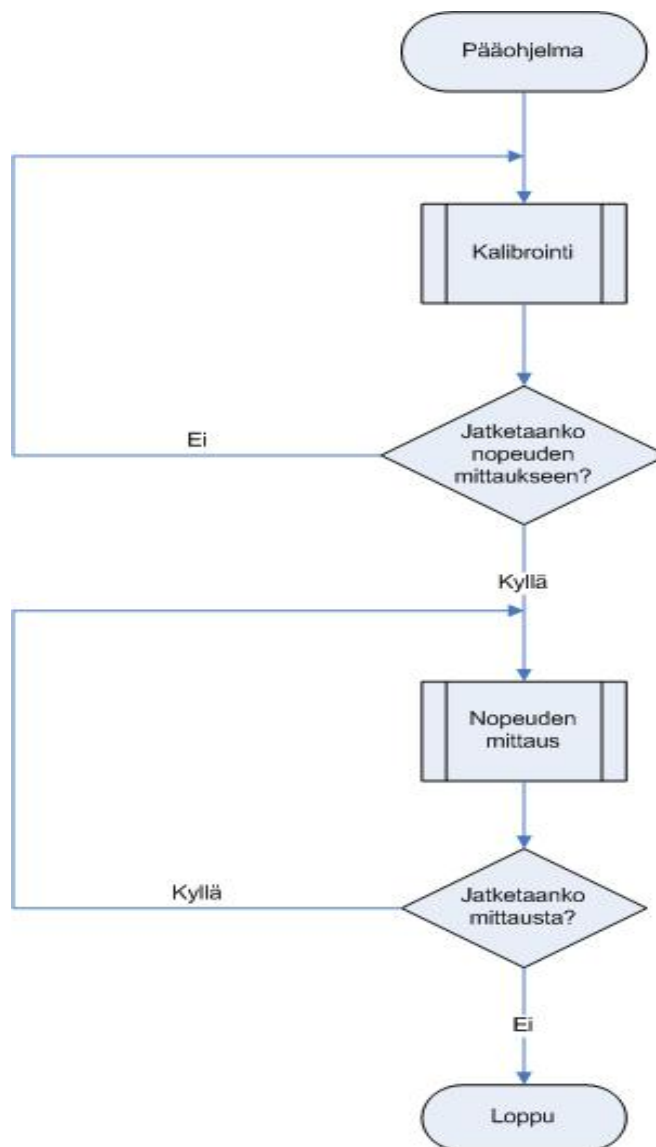
Kuva 22. Proessorikortti.

Piirilevyjen suunnittelussa PADS-ohjelmalla suurimman osan ajasta vei komponenttien paikkojen määrittely. Komponenttien paikkoja määritettäessä tuli huomioida valokennon korkeus ja jokaisen lähttimen ja vastaanottimen suuntaavuus.

Jokaisen 2-puoleisen piirilevyn kumpaankin kerrokseen sekä 1-kerroksisen toiseen puoleen laitettiin kaatokupari, joka yhdistettiin laitteen maahan. Kaatokuparin ansiosta maatasot pysyvät jokaisella piirillä samana, koska laitteen kaikki maat on yhdistetty samaan kupariin. Tällöin ei myöskään esiinny häiriöille alttiita maalenkkejä. Kaatokupari vähensi myös vetojen määrä piirilevyillä, koska suurin osa komponenttien maadoituksista yhdistyi suoraan maatasoon ilman erillisiä johdin vetoja. Kaatokupari peittää suurimman osan piirilevyjen pinta-alasta.

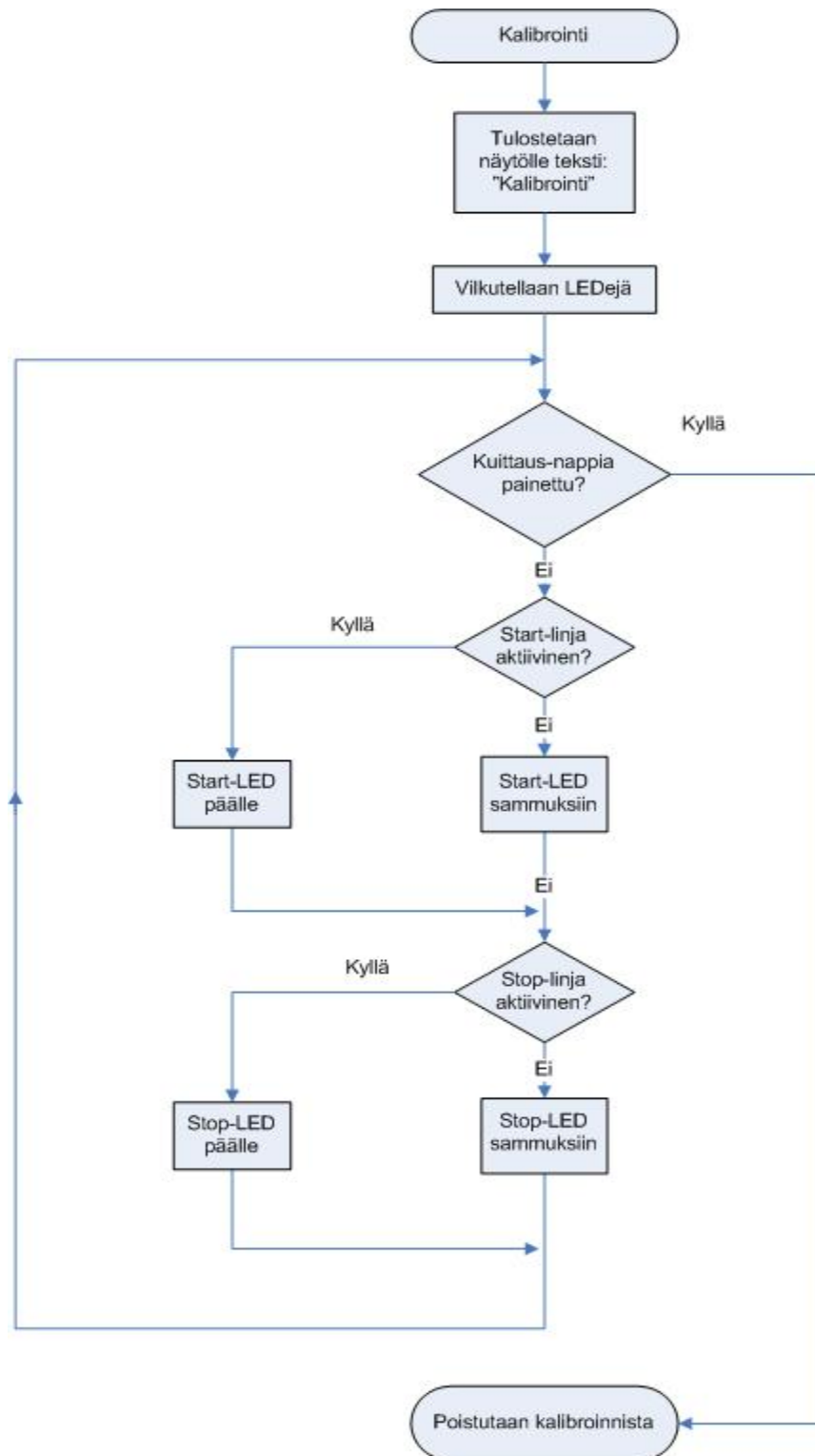
3.3 Laitteen ohjelmiston suunnittelu

Laitteen ohjelmisto suunniteltiin vuokaavioiden avulla. Vuokaavioista ohjelma toteutettiin C-kielille, jonka jälkeen se käännettiin prosessorin tunnistamaan muotoon. Kun ohjelma oli käännetty, se ladattiin prosessorin muistiin. Kuvassa 23 on esitetty vuokaavio pääohjelmasta.



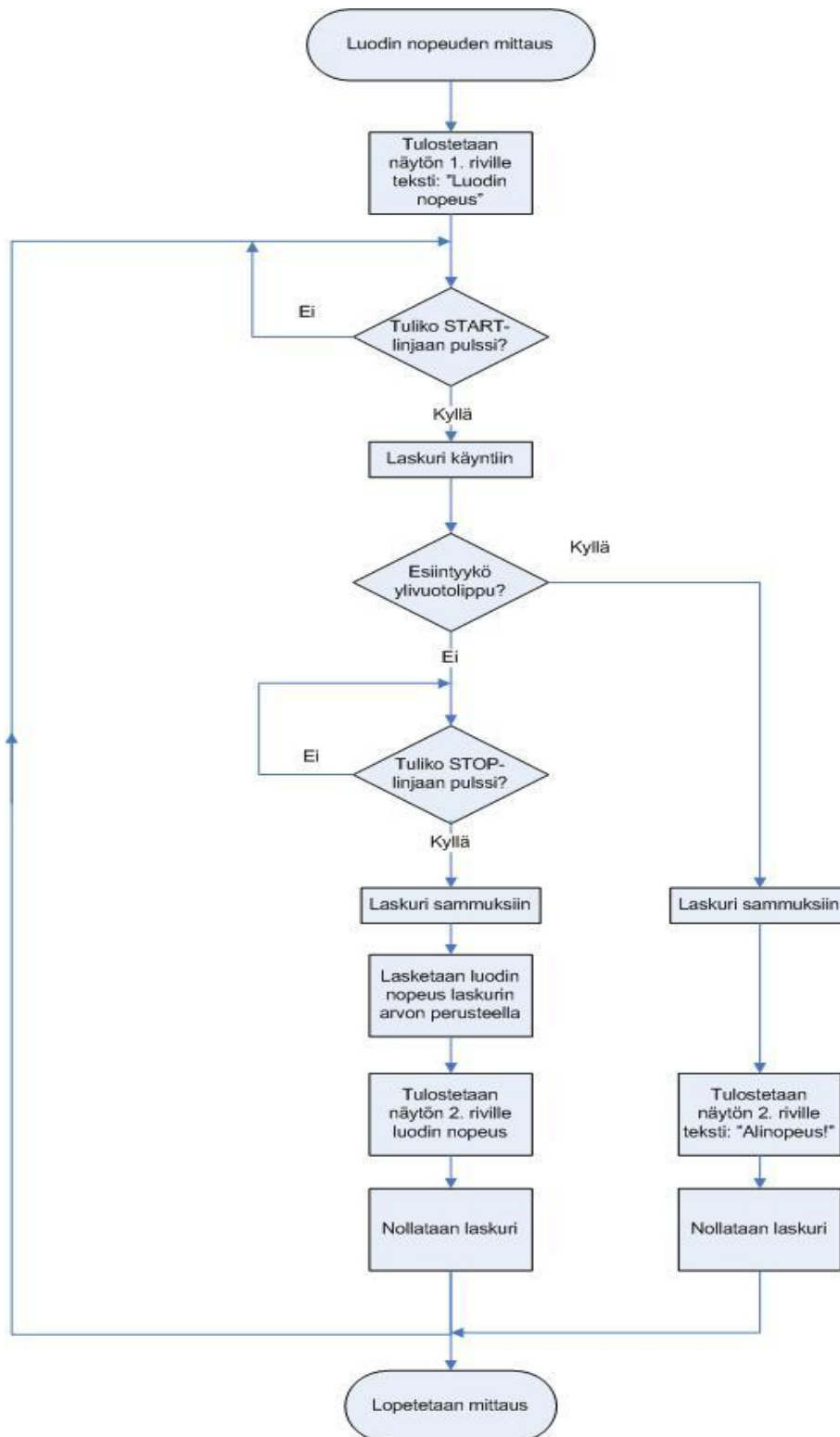
Kuva 23. Pääohjelman vuokaavio.

Kuvassa 24 on esitetty vuokaavio kalibroinnista.



Kuva 24. Kalibroinnin vuokaavio.

Kuvassa 25 on esitetty vuokaavio luodin nopeuden mittauksesta.



Kuva 25. Luodin nopeuden mittauksen vuokaavio.

3.4 Laitteen koteloinnin suunnittelu

Anturikehikko

Koteloinnin suunnittelu aloitettiin valokennojen kiinnitykseen käytettävän anturikehikon suunnittelulla. Laitteen kehikko päätettiin tehdä tukevaksi, joten materiaaliksi valittiin 6 mm vahva alumiini. Kehikko suunniteltiin aluksi paperilla ja lopulliset piirustukset tehtiin Pro/ENGINEER -suunnitteluohjelmalla Tommi Kempvaisen toimesta. Mittausväliksi valittiin 40 senttimetriä. Valokennojen välinen mittausväli tehtiin kierretangoilla säädettäväksi. Anturikehikko työstettiin Kainuun ammattiopistolla Veijo Lipposen toimesta. Lopuksi kehikko maalattiin keltaiseksi sekä kasattiin. Lähettimien, vastaanottimien sekä Start- ja Stop-kennojen paikat merkattiin tarraindikaattorein. Anturikehikon piirustukset on esitetty liitteessä 2. Kuvassa 26 on esitetty laitteen anturikehikko.



Kuva 26. Laitteen anturikehikko

Suojakotelot

Kehikkoon asennettavien lähetin- ja vastaanotinpiirilevyjen suojaksi tehtiin suojakotelot. Aluksi kotelot hahmoteltiin paperille ja lopulliset piirustukset Auto Inventor -ohjelmalla Tommi Kempaisen toimesta. Piirustusten mukaan laborioteknikko Ilpo Sarén työsti suojakotelot ammattikorkeakoulun protopajassa. Suojakoteloiden piirustukset on esitetty liitteessä 3. Kuvassa 27 on esitetty suojakotelo.



Kuva 27. Suojakotelo.

Suojakotelot kiinnitettiin kehykseen asennettujen 4 mm pinnapulttien avulla. Kotelot laitettiin paikoilleen ja kiristettiin hattumuttereilla kiinni.

Käyttöliittymä

Laitteen käyttöön liittyvät säätimet, kytkimet, indikaattorit sekä näyttö asennettiin valmiina ostetun muovikotelon etulevyyn. Kuvassa 28 on esitetty laitteen etulevy.



Kuva 28. Laitteen etulevy.

Laitteen liitäntöjä varten asennettiin muovikotelon taustalevyyn liittimet. Kuvassa 29 on esitetty laitteen taustalevy.



Kuva 29. Laitteen taustalevy.

4 TESTAUS JA KALIBROINTI

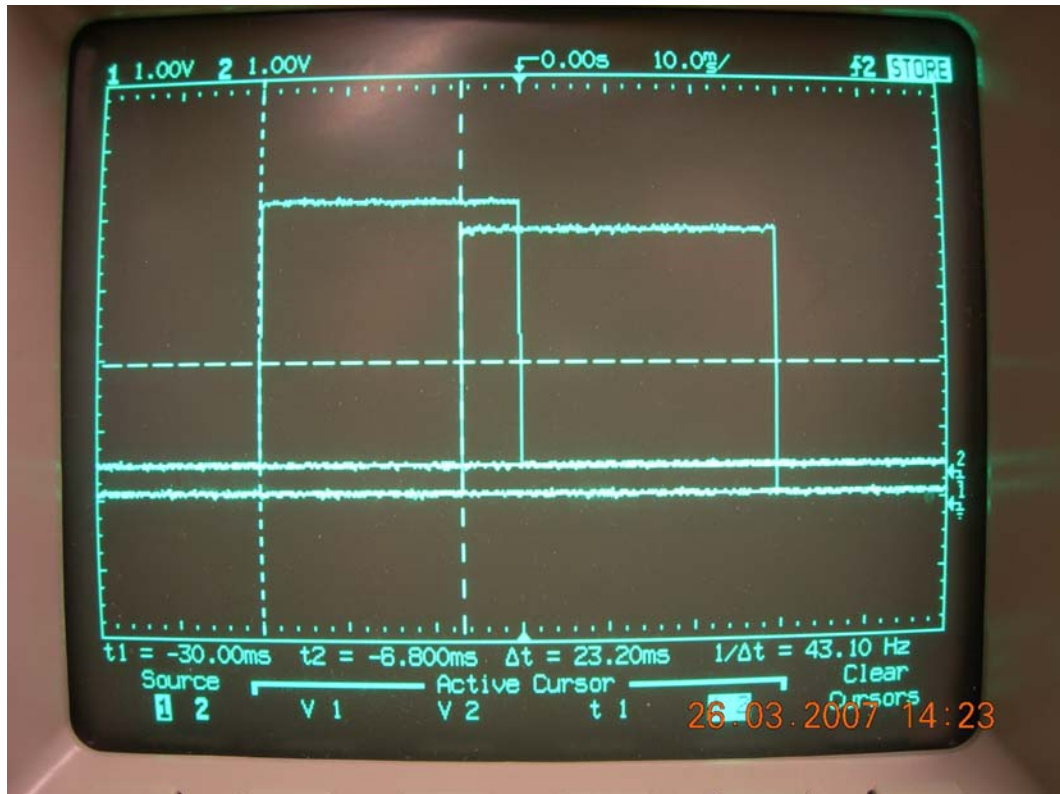
Laitteen elektroniikkaa suunniteltaessa kytkentöjä testattiin koekytkentälevyjen avulla. Testauksella pyrittiin saamaan kytkennät toimimaan halutulla tavalla. Tällä myös ehkäistiin piirilevyjen muuttamisen ja korjaamisen tarvetta myöhemmässä vaiheessa.

Ohjelman kehittämisessä käytettiin myös apuna koekytkentälevyjä. Mittaustilannetta simuloitiin sulkemalla antureiden tunnistusvälit käsin, jolloin voitiin päätellä, että toimiko ohjelma halutulla tavalla.

4.1 Mittarin kalibrointi

Mittauslaitteen toimintaedellytys on, että mittaus voidaan toistaa. Tämä tarkoittaa sitä, että mitattaessa kaksi täsmälleen samaa nopeutta kulkevaa luotia tulee mittaustuloksen olla sama. Mittarin luotettavuus haluttiin varmistaa joten, joten se kalibroidiin. Kalibrointi tapahtui oskilloskoopin avulla. Oskilloskoopilla mitattiin lentoajan mittaukseen käytettävän laskurin aloitus- ja lopetuspulssien väliä aikatasossa. Mittari kalibroidiin laboratoriossa, joten eri nopeuksia demonstroitiin sulkemalla mittausvälejä käsin. Vertailemalla laitteen ilmoittamia ja oskilloskoopilla saatuja tuloksia toisiinsa, huomattiin, että mittari mittasi oikein ja tarkasti. Mittaria ei päästy kalibroimaan kenttäolosuhteissa, mutta luultavasti mittauserätarkkuus ei kasva oleellisesti nopeuksien kasvaessa.

Kuvassa 30 on esitetty oskilloskoopikuva, kun mittari ilmoitti nopeudeksi 17 m/s. Kuvasta nähdään, että laskurin aloitus- ja lopetuspulssien välinen ero on 23,20 ms. Tällöin kaavan 1 mukaisesti saadaan nopeudeksi 17,24 m/s. Kuvassa pulssit ovat eri korkeuksilla helpottaakseen niiden erottamista toisistaan.



Kuva 30. Oskilloskooppikuva kalibroinnista.

Aina ennen laitteen käyttöönottoa mittarin tulee antaa lämmitä muutama minuutti. Tämän jälkeen lähettimien teho säädetään siten, että valaisu riittää juuri ja juuri pitämään phototunnistimet aktiivisina. Tämä tilanne saadaan aikaan kalibroimalla laite aina edellä mainitulla tavalla käynnistyksen yhteydessä.

4.2 Mittarin lopputestaus

Mittaria testattiin aluksi sisätiloissa muovikuula-aseen avulla. Muovikuula-aseella ammuttiin mittarin läpi useita laukauksia, saaden lukemiksi keskimäärin n. 55 m/s. Tästä pääteltiin, että mittari toimii oletetusti ainakin hitaammilla nopeuksilla.

Mittaria ei pystytty testaamaan käytännön olosuhteissa, koska ulkoilman lämpötila oli liian alhainen. Kun mittari vietiin - 2 asteiseen ulkoilmaan, niin sen toiminta lakkasi. Anturit eivät reagoineet mitenkään tunnistusvälien sulkemiseen. Luultavasti syynä tähän ”jumittumiseen” oli se, että lämpötila oli liian alhainen joillekin komponenteille.

5 TULOSTEN TARKASTELU

Työn tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa sulautettu järjestelmä luodin nopeuden mittaukseen. Työssä saavutettiin sille asetetut vaatimukset. Laitteistosta tehtiin mahdollisimman yksinkertainen, jolloin myös virhetoimintojen määrää saatiin minimoitua.

Prossessorin valinnassa olisi ollut useita vaihtoehtoja. Kyseiseen prosessoriin päädyttiin, koska se oli jo ennestään tuttu ja kapasiteetiltaan riittävä. Myös antureiden toteutukseen olisi ollut useita vaihtoehtoja, mutta käytössä olleen budjetin vuoksi päädyttiin valittuihin osiin.

Laitetta ei kyetty testaamaan käytännön olosuhteissa ulkoilman liian alhaisen lämpötilan takia. Muovikuula-aseella suoritettujen kokeiden perusteella voidaan odottaa laitteen kummin-kin toimiva odotetulla tavalla. Laitetta tullaan testaamaan olosuhteiden parantuessa.

Jatkokehityksen kannalta laite on kehityskelpoinen. Mikäli laitteesta halutaan herkempi ja vakaampi, voidaan vastaanottimet rakentaa erilliskomponentteja käyttäen. Tällöin myös laitteen säätö saadaan tarkemmaksi helpommaksi. Tiedonkeruuta laitteesta voidaan myös kehittää.

6 YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin ja rakennettiin laite, jonka avulla voitiin mitata aseesta ammutun luodin nopeus. Laite tunnisti anturikehikon läpi ammutun luodin ja laski mittaussvälin ja luodin lentoajan perusteella luodin nopeuden. Laite tulosti mittaustuloksen LCD-näytölle.

Laitetta käytettiin käyttöliittymän kautta. Käyttöliittymästä voitiin valita laitteen toimintatila. Myös valokennojen lähettimien tehoa voitiin säätää laitteen etulevyssä olevan potentiometrin avulla.

Insinöörityö sisälsi elektroniikkasuunnittelun, piirilevyn suunnittelun ja valmistuksen sekä ohjelman suunnittelun. Näiden lisäksi työ sisälsi myös laitteen koteloinnin suunnittelun ja valmistuksen. Elektroniikka pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman yksinkertaiseksi. Piirilevyt rakennettiin suurimmaksi osaksi pintaliitostekniikalla. Ohjelmointi tapahtui siten, että C-kielinen ohjelma käännettiin prosessorin ymmärtämään muotoon, jonka jälkeen se voitiin ladata prosessorin muistiin.

Työ oli mielenkiintoinen, koska se sisälsi sulautettujen järjestelmän suunnittelua monelta eri osa-alueelta. Työ oli myös haastava, koska tehtävänä oli suunnitella ja rakentaa laitteen elektroniikka sekä suunnitella siihen sopiva ohjelmisto. Kytkenästä tuli tehdä mahdollisimman yksinkertainen ja edullinen, mutta kuitenkin luotettava. Työ opetti sulautetun järjestelmän suunnittelusta paljon ja toivottavasti siitä on myös hyötyä mahdollisessa tulevassa työssä.

LÄHTEET

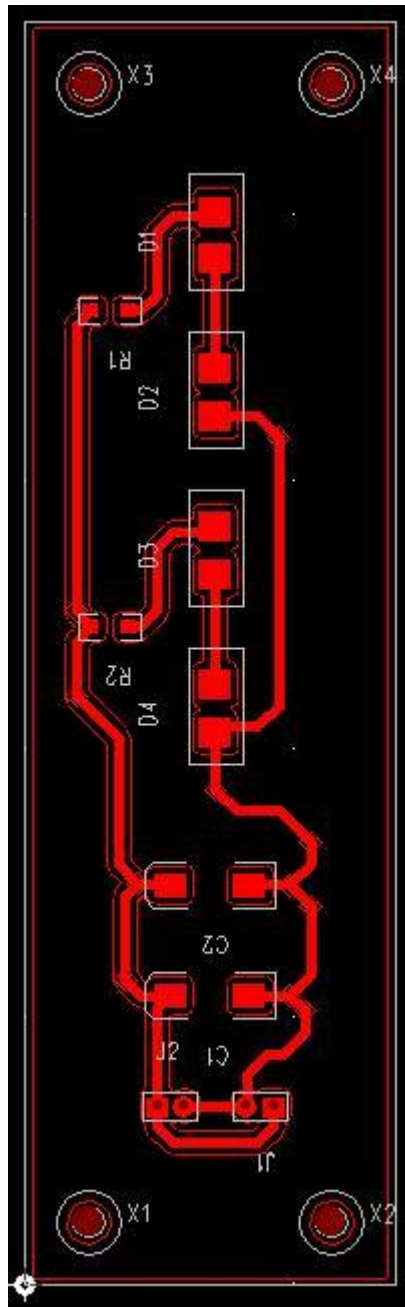
1. Tieteen Kuvalehti, numero 3/2002, sivu 7. Luettu 5.1.2007. [WWW-dokumentti].
http://www.tieteenkuvalehti.com/Crosslink.jsp?d=195&a=1219&id=7580_1
2. Hohtola, M. Luodin lentorataan vaikuttavia tekijöitä. Luettu 14.3.2007. [WWW-dokumentti]. <http://www.saunalahti.fi/esmofly/Pahkinat/what-previous-2002.htm>
3. Davidhazy, A. An overview of high speed photographic imaging. Luettu 26.3.2007. [WWW-dokumentti]. <http://www.rit.edu/~andpph/text-hs-overview.html>
4. Pulse photonics Ltd. Bullet from revolver. Luettu 26.3.2007. [WWW-dokumentti]. <http://www.pulsephotonics.com/gallery.htm>
5. Chrony Beta Master luodinnopeusmittarin käyttöohje. [PDF-dokumentti].
<http://www.riistamaa.fi/files/2006/05/chrony-beta-master.pdf>
6. Spohn, D. Inductive Sensing for Velocity Measurement at a U.S. Air Force Laboratory. Luettu 26.3.2007. [WWW-dokumentti].
<http://www.sensorsmag.com/articles/0898/in0898/main.shtml#sidebar1>

LIITTEIDEN LUETTELO

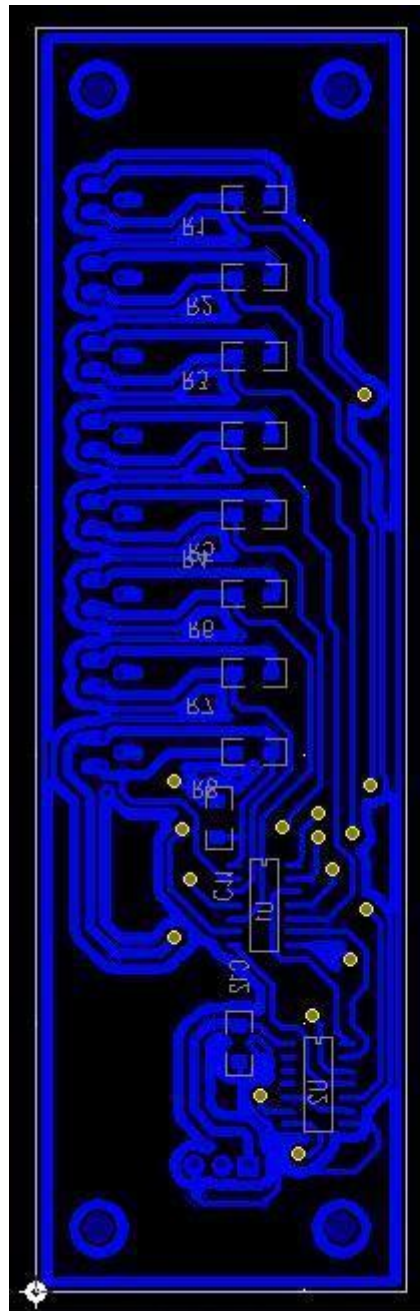
LIITE 1. PIIRILEVYJEN LAYOUT-KUVAT

LIITE 2. ANTURIKEHIKON PIIRUSTUKSET

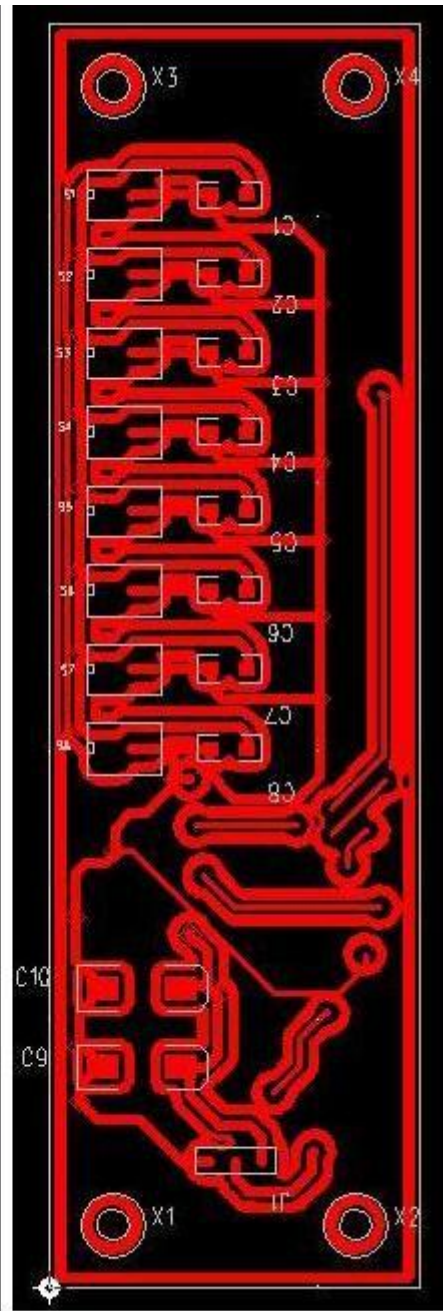
LIITE 3. SUOJAKOTELOIDEN PIIRUSTUKSET



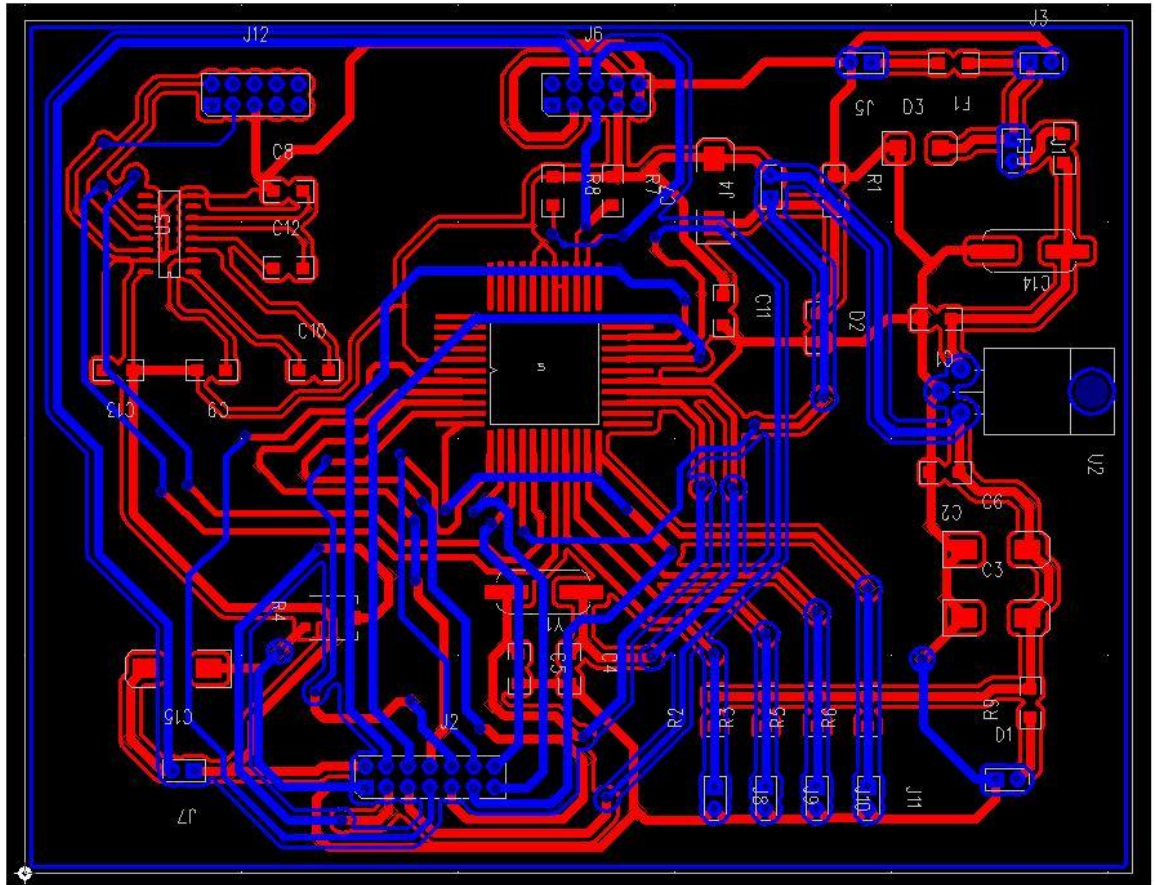
Top



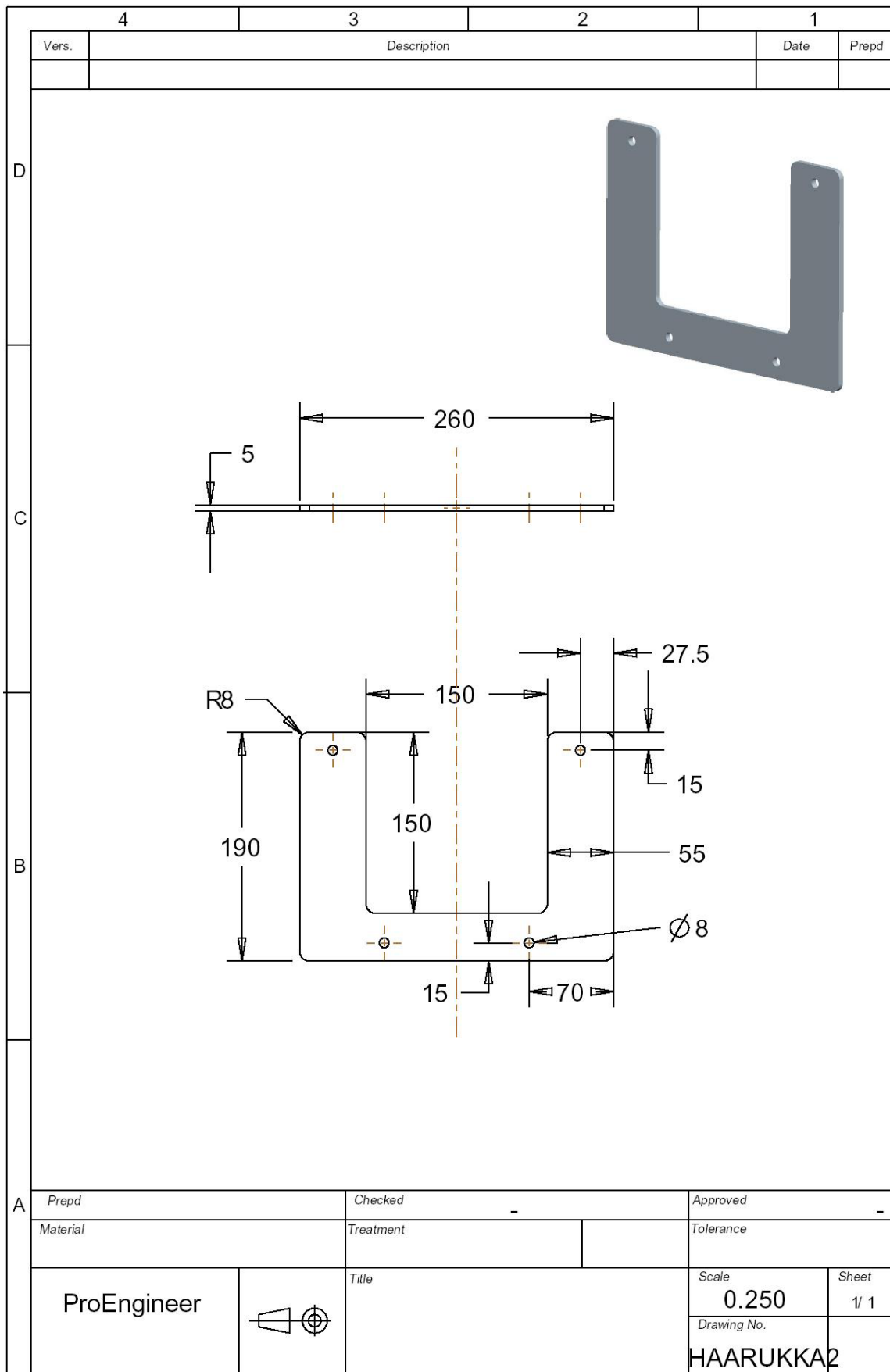
Bottom



Top



Bottom + Top

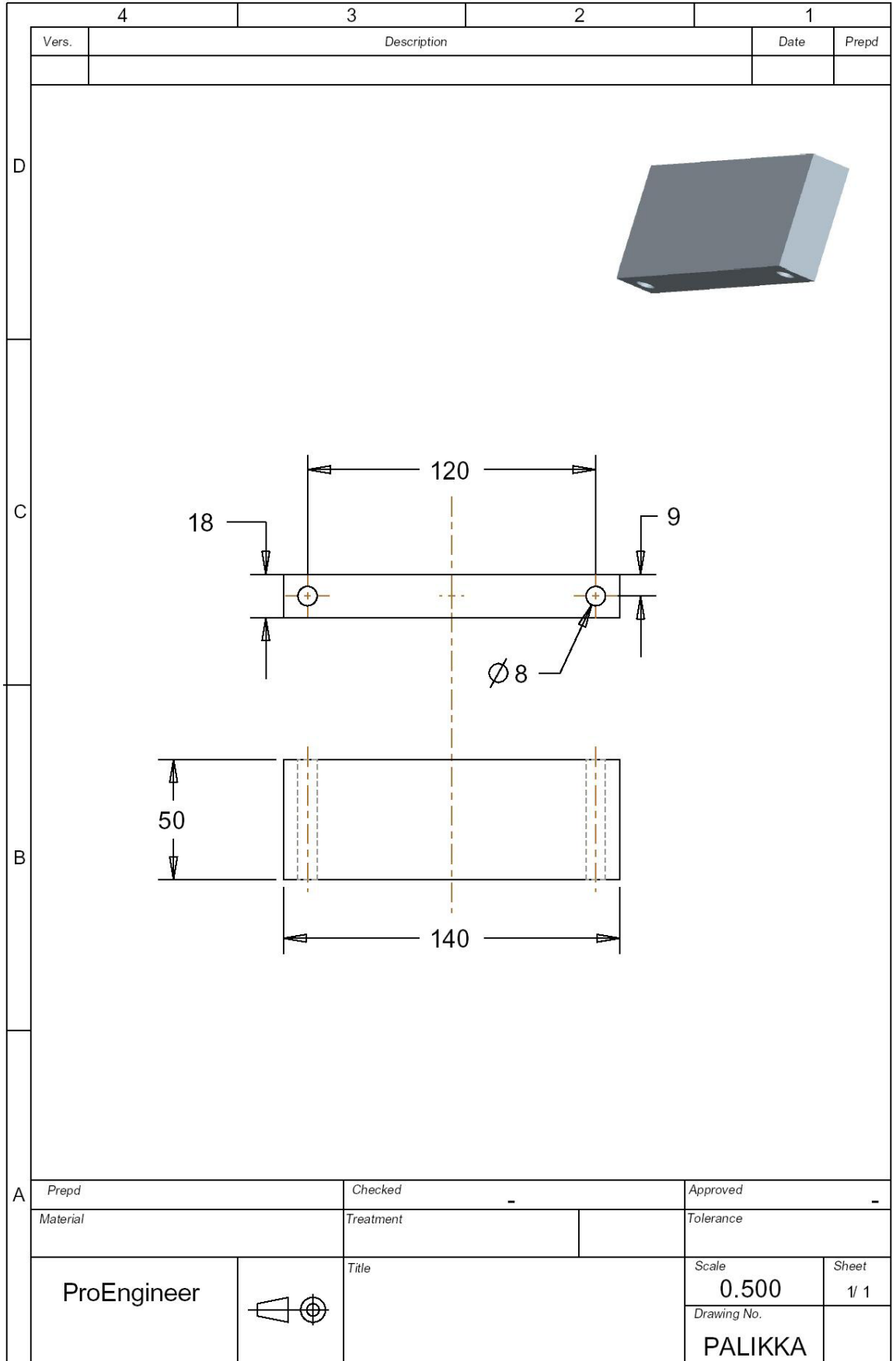


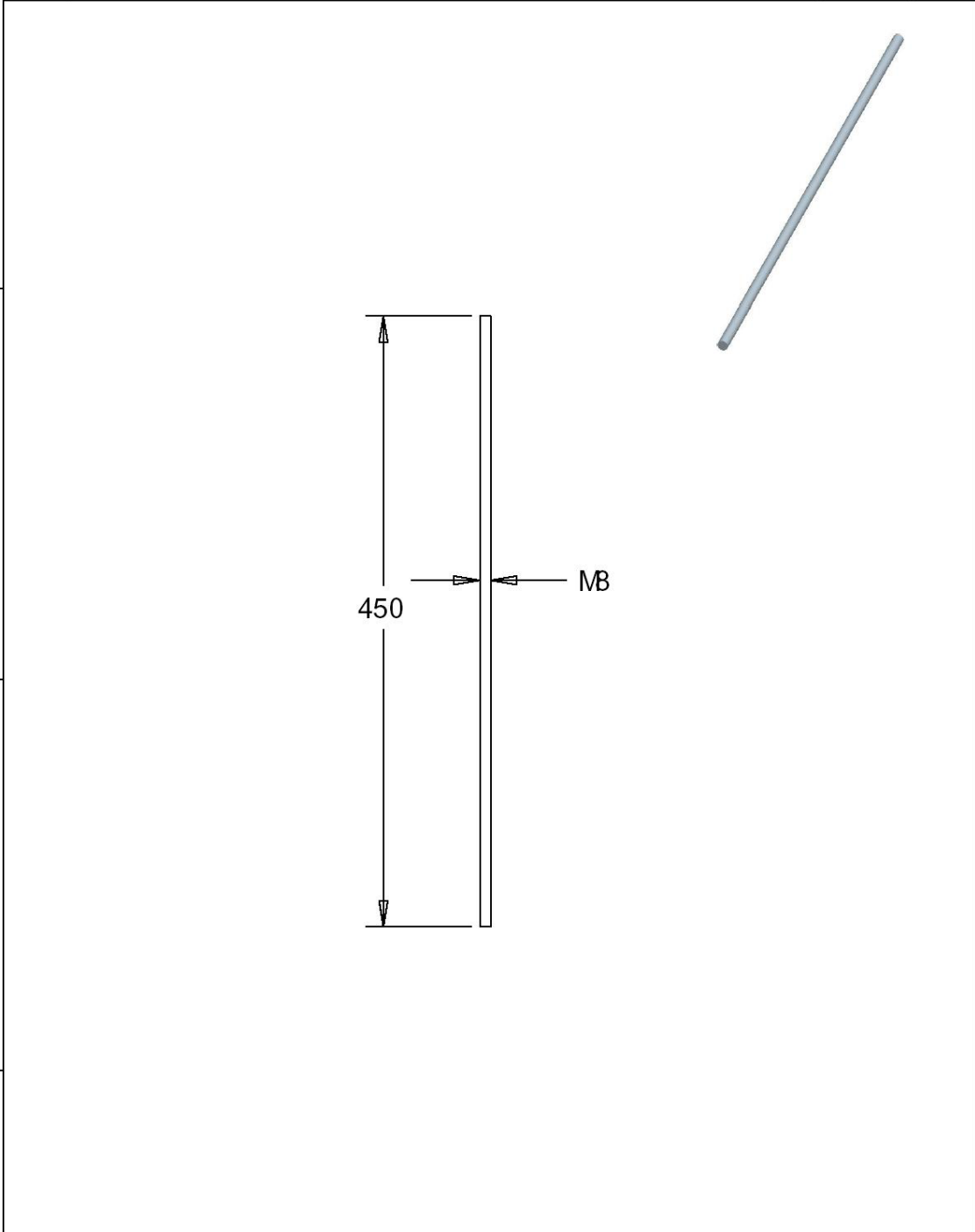
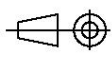
D

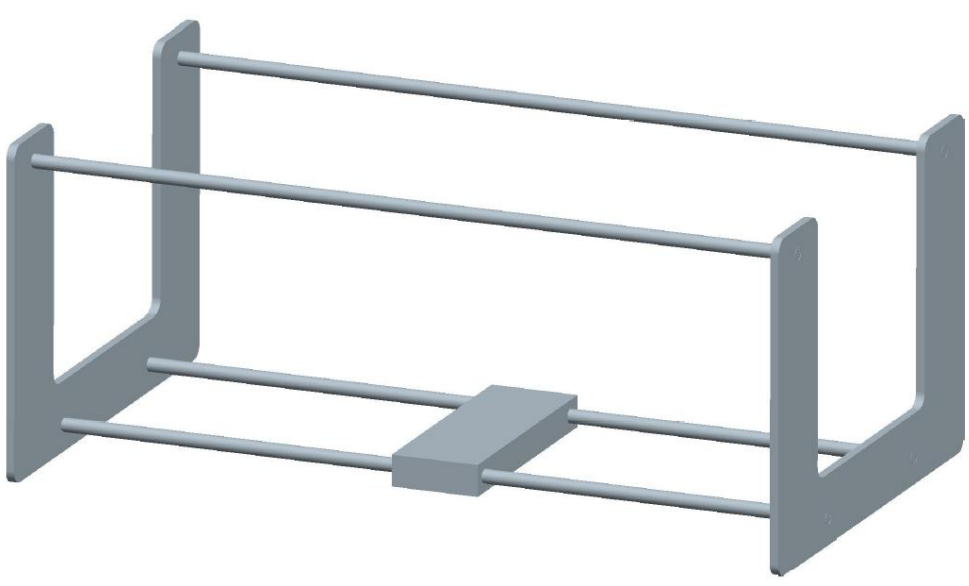
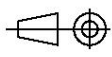
C

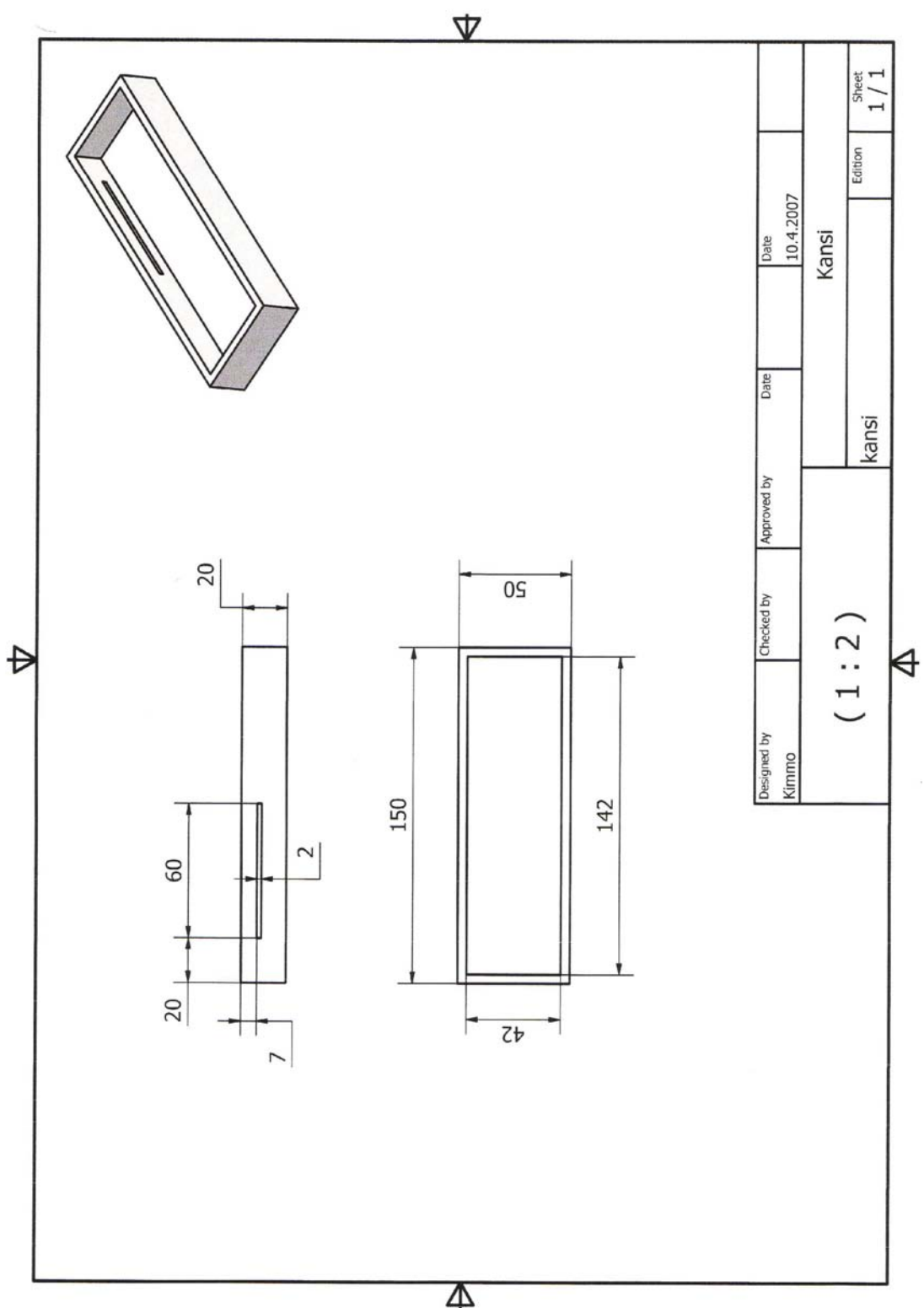
B

A



4	3	2	1
Vers.	Description		Date
D			
C			
B			
A			
Prepd	Checked	Approved	
		-	
Material	Treatment	Tolerance	
ProEngineer		Title	Scale
			0.250
		Drawing No.	Sheet
		TANKO	1 / 1

	4	3	2	1	
Vers.	Description			Date	Prepd
D					
C					
B					
A	Prepd		Checked		Approved
					-
	Material		Treatment		Tolerance
	ProEngineer		Title		Scale
					0.300
					Sheet
					1/ 1
					Drawing No.
					KOKOONPANO



Designed by Kimmo	Checked by	Approved by	Date 10.4.2007	Date 10.4.2007	Sheet 1 / 1
(1 : 2)			Kansi		Edition
			kansi		1 / 1