

MIKROKONTROLLERIPOHJAISEN  
PROTOTYYPIN VALMISTUS OSANA  
TUOTEKEHITYSTÄ  
Atmel AVR mikrokontrolleriperheelle

Petri Laine

Opinnäytetyö  
Marraskuu 2010

Automaatiotekniikka  
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) LAINE, Petri Juhani	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 29.11.2010
	Sivumäärä 67	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus Julkinen ( ) saakka	Verkkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi MIKROKONTROLLERIPOHJAISEN PROTOTYYPIN VALMISTUS OSANA TUOTEKEHITYSTÄ ATMEL AVR MIKROKONTROLLERIPERHEELLE		
Koulutusohjelma Automaatiotekniikka		
Työn ohjaaja(t) PIETIKÄINEN, Kalevi		
Toimeksiantaja(t) JAMK/ICT		
Tiivistelmä <p>Mikrokontrolleritekniikka tarjoaa useita mahdollisuuksia kehittää erilaisia sulautettuja järjestelmiä. Tutkimuksen kohteena oli tutkia erilaisten menetelmien mahdollisuuksia nopeuttaa prototyyppin valmistusta osana tuotekehitystä. Nopea tuotekehitys takaa yritykselle vankan jalansijan markkinoilla ja edesauttaa globaalia tekniikan kehitystä.</p> <p>Tiedon hankinnan yhteydessä törmättiin ongelmiin, jotka johtuivat juuri tuotekehityksen salassapidosta. Tuotekehitys on kallista, ja siksi kilpailijoille ei haluttu antaa mahdollisuutta edetä ilmaiseksi.</p> <p>Tuotekehitystä käsiteltiin eri medioissa ainoastaan yleisellä tasolla. Tietoa eri menetelmistä kehittää elektronista, innovatiivista prototyyppiä ei ollut saatavilla julkisista lähteistä.</p> <p>Työn tavoitteena oli kehittää toimiva, eri ympäristöihin ja tarpeisiin soveltuva sulautettujen järjestelmien yhteinen alustarakenne, joka pystyy yhdistämään useamman ohjelmointialustan, eri mikrokontrollerit, diskreetit komponentit, käyttöjännitteet ja lukuisat mittalaitteet samaan kytkentäalustaan luotettavasti ja varmasti.</p> <p>Tuloksena syntyi kehitysalusta, joka toimii keskiönä ym. osa-alueiden kanssa. Alustan toteutuksessa onnistuttiin konseptin puitteissa. Halutut toiminnot saavutettiin ja – kuten tavallista – kokemuksia, ja uusia ideoita tuli runsaasti lisää.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Tuotekehitys, Atmel, AVR, mikrokontrolleri, ohjelmointialusta, tuotekehitysalusta		
Muut tiedot		



Author(s) LAINE, Petri	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 29112010
	Pages 67	Language Finnish
	Confidential Public ( ) Until	Permission for web publication ( X )
Title PRODUCTION OF MICROCONTROLLER BASED PROTOTYPE AS PART OF PRODUCT DEVELOPMENT FOR ATMEL AVR MICROCONTROLLERS		
Degree Programme Automation		
Tutor(s) PIETIKÄINEN, Kalevi		
Assigned by JAMK University of Applied Sciences/School of Technology/ICT		
Abstract <p>Technology based on microcontrollers provides many possibilities for developing different embedded systems. The aim of this work was to study possibilities of different methods for hastening production of a prototype in product development. The fast product development provides secure position in market for a company and further promotes global technological development.</p> <p>Acquisition of information proved to be problematic because of concealment of confidential information, especially in product development. Product development is very costly and therefore any information of it was not available for competitors.</p> <p>Product development was introduced by the media only at general level. Information about different methods for developing electric, innovative prototype was not available in public sources. The goal of this study was to devise a workable common system development kit for embedded systems, which connect and bring together different programming platforms, micro controllers, discrete components, operating voltage and number of measuring equipments. Further the system development kit should work trustworthy even in different environments and use.</p> <p>As a result the system development kit /development platform was produced for covering previous characteristics in different sectors. The system development kit /development platform was realized within the concept. Eligible functions came to a decision providing many experiences and creating a number of new ideas - as usually</p>		
Keywords Product development, Atmel, AVR, microcontroller, development platform, programming platform		
Miscellaneous		

# SISÄLTÖ

SANASTO JA LYHENTEET.....	5
1 JOHDATUS AIHEESEEN .....	8
1.1 Elektronisen laitteen tuotekehitys .....	8
1.2 Tuotekehityksen materiaali.....	8
2 MIKROKONTROLLEREISTA .....	10
2.1 Mikrokontrollereiden historiaa .....	10
2.2 Mikrokontrollereiden käyttökohteet .....	10
3 MIKROKONTROLLERILAITTEISTON KEHITYSTYÖ .....	11
3.1 Yleistä .....	11
3.2 Tiedon hankinta.....	12
3.3 Innovaatiosta tuotteen kehittämiseen toimivaksi laitteeksi .....	12
3.4 Konsepti.....	13
3.5 Prototyyppi.....	13
3.6 Insinöörimalli.....	14
3.7 Nollasarja.....	14
3.8 Valmis tuote .....	15
4 PROTOTYYPIN VALMISTAMINEN ERI MENETELMILLÄ .....	15
4.1 Perusmenetelmät.....	15
4.1.1 Koekytkentälevy .....	15
4.1.2 Koekytkentäalustat .....	16
4.2 Laajemmat koekytkentäalustat eli laboratoriot.....	18
4.2.1 Yleistä digitaalisista laboratorioalustoista .....	18
4.2.2 DCL-455000 Digital Circuits Lab .....	18
4.3 Käytännön esimerkki tuotekehitysalustasta .....	19
5 ATMEL AVR MIKROKONTROLLERIT .....	19
5.1 AVR mikrokontrollerit .....	19
5.2 Atmelin AVR-piirisarjat .....	20
6 AVR MIKROKONTROLLEREIDEN KEHITYSALUSTOJA.....	21
7 ESIMERKKI PIENEN LAITTEEN TUOTEKEHITYKSESTÄ.....	23
7.1 Ongelma ja sen ratkaisu .....	23

	2
7.2 Konsepti.....	24
7.3 Prototyyppi.....	25
7.3.1 Ohjelma .....	27
7.3.2 Ohjelman vuokaavio.....	27
7.3.3 Ajastimen viiveet.....	29
7.3.4 Moodi 1 .....	29
7.3.5 Moodit 2 ja 3 .....	30
7.3.6 Ongelmatilanteita.....	31
7.4 Insinöörimalli.....	32
7.4.1 Ledien asentaminen .....	32
7.4.2 Mikrokontrolleri .....	33
7.4.3 Jännitelähde ja regulointi.....	33
7.4.4 Kytkenälevy ja osasijoittelu.....	35
7.5 Ongelmia ja ratkaisuja.....	37
7.6 Projektin arviointi.....	37
8 NOPEAN TUOTEKEHITYKSEN APUVÄLINEITÄ .....	37
8.1 4D Systems 3.2" QVGA Touch Screen LCD .....	38
8.2 Atmel AVR-pohjainen kehitysalusta.....	38
8.3 DMMEGA128A .....	39
9 USEAN SULAUTETYN JÄRJESTELMÄN KEHITYSALUSTA .....	40
9.1 Eräs malli tuotekehitysalustasta .....	41
9.2 Konsepti.....	42
9.3 Prototyyppi.....	44
9.3.1 Alustava mallinnus .....	45
9.3.2 Liitäntöjen merkintä alustarakenteeseen .....	48
9.3.3 Kokoonpano .....	49
9.3.4 Lopputulos.....	53
9.3.5 Esimerkki tuotekehitysalustan käytöstä .....	53
9.4 Insinöörimalli.....	54
9.5 Nollasarja sekä valmis tuote.....	55
10 POHDINTA .....	56
LÄHTEET.....	57
LIITTEET .....	60

Liite 1. Tuotekehitysprojektin mikrokontrollerin Assembler-ohjelma.....	60
Liite 2. Valokyltin osaluettelo .....	63
Liite 3. Kehitysalustan osaluettelo .....	64
Liite 4. Kehitysalustan pinnan ja sivujen koko tuloste .....	65
LIITE 5. Kehitysalustan A3-kokoisen pohjalevyn päällyste.....	66
Liite 6. Alustan kytkentäkaavio .....	67

## KUVIOT

KUVIO 1. Prototyyppi 100 - 750 MHz:n varaktorisäätöisestä RF-oskillaattorista.....	13
KUVIO 2. Erilaisia koekytkentälevyjä.....	16
KUVIO 3. Koekytkentäalusta alapuolelta (vas.) ja yläpuolelta kuvattuna.....	17
KUVIO 4. Koekytkentäalustoja D-25 liittimillä.....	17
KUVIO 5. Digitaalipiirien koekytkentälaboratorio.....	18
KUVIO 6. Qualcomm yhtiön tuotekehitysalusta .....	19
KUVIO 7. Atmel AVR-tuoteperhe .....	20
KUVIO 8. STK500 AVR mikrokontrollereiden kehitysalusta .....	21
KUVIO 9. STK600 kuvattuna ilman varsinaista mikrokontrolleri osaa .....	22
KUVIO 10. EASY-AVR3 ohjelmointialusta. ....	22
KUVIO 11. Itse rakennettu AVR-ohjelmointilaite. ....	23
KUVIO 12. Modifioitava mainoskyltti. ....	23
KUVIO 13. Ledien sijoittelun suunnittelukuva. ....	24
KUVIO 14. Prototyypin johdotusta takapuolelta nähtynä. ....	25
KUVIO 15. Atmelin STK500 evaluointikortti sekä prototyypissä käytetty liityntä. ....	26
KUVIO 16. Lähikuva käytetystä liitännästä.....	26
KUVIO 17. Mainoskyltin valoefektin kytkentäkaavio.....	27
KUVIO 18. Pääohjelman vuokaavio .....	28
KUVIO 19. Pääohjelman Moodi 1:n vuokaavio .....	30
KUVIO 20. Moodien 2 ja 3 vuokaavio.....	31
KUVIO 21. Ledien paikan määrittäminen ja reikien poraaminen .....	32
KUVIO 22. Ledien johdotus kiertää kyltin reunoilla .....	33
KUVIO 23. Kytkennän hakkuriteholähde.....	34
KUVIO 24. Regulaattoriin kytkentäkaavio.....	34

KUVIO 25. Osien sijoittelu ja alapuolen johdotus .....	35
KUVIO 26. Valmis kytkentä koekytkentälevyllä. ....	35
KUVIO 27. Valmis piirilevy sekä hakkuriteholähde johdotettuna .....	36
KUVIO 28. Mainoskylttiin asennetut osat .....	36
KUVIO 29. 4D Systems yhtiön 3,2 tuumainen kosketusnäyttö. ....	38
KUVIO 30. ATMEGA168 kehitysalusta.....	39
KUVIO 31. Ethernet-liitännäinen ATMEGA128A alusta .....	39
KUVIO 32. Viidennen vapausasteen robottikäsi (manipulaattori).....	40
KUVIO 33. Konseptivaiheen layout-kuva ideoineen voi olla sekava.....	43
KUVIO 34. Kehitysalustan koteloinnin ideointia .....	43
KUVIO 35. Kehitysalusta kytkentäpinnan suoruden ja rasterijaon tarkistaminen ....	44
KUVIO 36. Tuotekehitysalusta ja sen osien osasijoittelun sommittelua .....	45
KUVIO 37. Kytkentälevyjen liitosten vahvistaminen.....	46
KUVIO 38. Testialustan osasijoittelua AutoCad-ohjelmalla suunniteltuna.....	47
KUVIO 39. Kehitysalustan pinta merkintöineen ja väreineen.....	48
KUVIO 40. Pohjalevyn pinta .....	49
KUVIO 41. Pohjalevyn kiinnityksien asennusta .....	50
KUVIO 42. Alustan pintarakenne puolivalmiina .....	51
KUVIO 43. Alusta etuviistosta nähtynä .....	52
KUVIO 44. Alusta takapuolen sekä sivun liittimiä .....	52
KUVIO 45. Tuotekehitysalusta ensimmäisessä koekäytössä .....	54

## **SANASTO JA LYHENTEET**

### **Android**

Matkapuhelinten käytetyin käyttöjärjestelmä. (Plugged In 2010)

### **ARM**

Advanced RISC Machines.

*ARM oli maailman ensimmäinen kaupallisesti saatavilla oleva RISC-suoritin. Lyhenne tarkoittaa suunnittelufilosofiaa, jossa suorittimen konekieliset käskyt on pyritty pitämään mahdollisimman yksinkertaisina. Suoritin oli ensi kertaa käytössä vuonna 1987 esitellyssä Acorn Archimedes mikrotietokoneessa. (TAF 2010.)*

### **ASIC**

Application Specific Integrated Circuits, asiakaskohtaisesti suunniteltu mikropiiri.

### **AVR**

Atmelin mikrokontrolleriperhe, joka sisältää laajan valikoiman 8-32-bittisiä mikrokontrollereita. Lyhenne tulee mahdollisesti joko piirin suunnittelijoiden nimistä seuraavasti: "Alf Egil Bogen and Vegard Wollan's Risc processor" tai "Alf and Vegard RISC" (Avrportal 2010).

### **CICS**

Complex Instruction Set Computers.

Nimitys mikrosuorittimien valmistusteknologiasta, jossa suorittimen toiminta perustuu monipuoliseen ja monimutkaiseen käskykantaan (Jaakohuhta 1999) .

### **EEPROM**

Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory.

### **GPIO**

General Purpose Input/Output, yleiskäyttöinen sisääntulo/ulostulo.



**I2C**

Inter IC, Philipsin 1980-luvulla kehittämä samalla alustalla olevien komponenttien välinen tiedonsiirtoväylä (I2C 2010).

**ISP**

In-System Programming. Atmelin AVR:n ohjelmointiin käytettävä menetelmä, jolla 6 johdinta käyttämällä ladataan ohjelmakoodi Flash- tai EEPROM-muistiin (SPI-liitynnän kautta).

**Koekytkentälevy**

Koekytkentälevyllä tarkoitetaan yleensä rei'itettyä eristepohjaista levyä, jossa on kuparifolioita ja joihin on tarkoitus kiinnittää komponentit juottamalla.

**Koekytkentäalusta**

Koekytkentäalusta on alusta, joka on rei'itetty, ja johon komponentit painetaan kiinni. Kytkentä muodostuu reikien alapuolella olevilla kontakteilla ja on purettavissa ilman työkaluja vain vetämällä johtimesta kevyesti.

**MCU**

Micro Controller Unit, mikrokontrolleri.

**PDMA**

Product Development and Management Association.

**PIC**

Microchip Technology -yhtiön kehittämä mikrokontrolleriperhe.

**PLC**

Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka.

**ROM**

Read only memory, lukumuisti.

**RISC**

Reduced Instruction Set Computing.

**SRAM**

Static Random Access Memory.

**SPI**

Serial Peripheral Interface. Synkroninen sarjaliikenneliitäntä, alun perin Motorolan kehittämä. Sitä käytetään hyvin laajalti piirien välisessä tiedonsiirrossa, mm. AD- ja DA-muuntimissa, muistipiireissä jne. (Vahtera 2003, 52.)

**R&D**

Research and development, tutkimus ja tuotekehitys (suom. T&K).

# 1 JOHDATUS AIHEESEEN

## 1.1 Elektronisen laitteen tuotekehitys

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kuvata nykyisen, monimutkaisen elektronisen laitteen suunnitteluun ja toteuttamiseen tarvittavia menetelmiä, laitteita sekä muita siihen liittyviä apuvälineitä tuotekehityksen tueksi.

Merkittäväntä nykyaikaisessa tuotekehityksessä on nopeus. Nopea ja hallittu tuotekehitys ja tuotteistaminen vähentävät tuotekehitykseen kuluneita kustannuksia ja antavat mahdollisuuden aikaisempaan myyntiin (OSKE 2010).

Tuotekehitys on erittäin laaja kokonaisuus, jonka hallinta ja johtaminen on monimutkainen prosessi. Se on aina projekti, jonka organisaatio kontrolloi koko tuotekehitystapahtumaa alusta loppuun saakka.

Tuotekehitys on kallista. Henkilökunnan pitää olla huippuluokkaa, samoin käytettävien mittalaitteiden ja muun kehitystyössä vaadittavan tekniikan. Tuotekehityksen antaminen tehtäväksi ulkoiselle yritykselle on houkutteleva ajatus monenkin yrityksen mielestä. Asiassa on kuitenkin monia ongelmia. Ala-Mursulan (1990, 4) mukaan salattavuuteen tulee kiinnittää huomiota, jotta kilpailijat eivät kopioisi heti laitetta ja samalla säilytettäisiin saatu etumatka kilpailijoihin.

## 1.2 Tuotekehityksen materiaali

Materiaalia uusimpien elektronisten laitteiden tuotekehityksestä ja siihen liittyvistä teknisistä yksityiskohdista ei alan kirjallisuudesta ole juurikaan tietoa muuten kuin yleisellä tasolla; kilpailusta johtuen ei haluta antaa kilpailijoille mahdollisuutta saada etulyöntiasemaa jakamalla ilmaista informaatiota tuotekehityksen mahdollisista menetelmistä.

PDMA on kansainvälinen, ei kaupallinen, tuotekehityksen erilaisille ammattilaisille suunnattu yhdistys, jonka tarkoituksena on tehostaa tuotekehitystä ja lisätä sen vaikuttavuutta. Yhdistys tarjoaa välineitä ammatilliseen kehittymiseen.

*Laadukkaat ja kilpailijasta erottuvat tuotteet – sellaiset jotka tarjoavat ainutlaatuisia ominaisuuksia ja ylivertaisia hyötyjä asiakkaalle – ovat tärkein yksittäinen tekijä yrityksen menestyksessä ja uuden tuotteen kannattavuudessa.*

*PDMA määrittää tuotteen keskeisimmän menestystekijän edellä mainitulla tavalla. Onkin kummallista, kuinka edelleenkin suuri osa yrityksistä organisaatioista, ei osaa keskittyä olennaisiin asioihin tuotteidensa kehittämisessä. (Aalto 2010.)*

Mikrokontrolleripohjaisissa laitteissa on kyseessä yleensä aina sulautettu järjestelmä, joka muodostuu mikrokontrollerista, ohjelmistosta ja ympäristöelektroniikasta. Ohjelmiston osuus tästä opinnäytteestä on kuitenkin jätetty tarkoituksella pois pl. tuotekehitysesimerkki luvussa 6.

Opinnäytetyössä ei käydä läpi mikrokontrollereiden sisäistä toimintaa eikä vertailla eri valmistajien piirisarjoja. Aiheesta lisää tietoa haluavat löytävät sitä helposti internetistä ja alan kirjallisuudesta.

Elektronisen laitteen tuotekehitys ei poikkea yleisestä tuotekehityksen työvaiheista juuri ollenkaan. Tuotekehityksessä yleensä tilanne alkaa innovaatiosta eli ideasta. Eri elektroniikka-alan yrityksillä voi olla erilaisia porrastuksia omissa laatuohjeissaan. Tuotekehitystyön osuutta käsitellään tässä erittäin suppeasti lähinnä vain laitteen ideasta insinöörimalliin saakka.

Tämän opinnäytetyön tuotekehitysesimerkki on yksinkertainen, mutta kohtuudella suurempaakin toimintaa kuvaava. Samalla haluttiin pitää opinnäytetyö julkisena, jotta mahdollistettiin myös opiskelijoiden ja alan harrastajien saada tietoa omien projektien kehittämismahdollisuuksista.

Työn edistyessä syntyi idea laajemmasta alustasta, johon voisi liittää useampia erilaisia mikrokontrollerialustoja ja lisälaitteita ilman, että niitä jouduttaisiin testaamaan eri paikoissa ja eri tiedonsiirtoprotokollien kanssa. Sen periaate sekä sovellus esitellään luvussa 10.

## 2 MIKROKONTROLLEREISTA

### 2.1 Mikrokontrollereiden historiaa

On varmasti vaikeaa määritellä filosofisesti mikrokontrollereiden historian aamunkoitto. Oliko se ihmiskunnan ensimmäinen luolamaalaus vai radioputken tai transistorin keksiminen? Rajanveto on hankalaa noin ajatellen, mutta seuraavassa eräs kuvaus tapahtuneesta:

*Kaksi suurta yritystä, Intel ja Texas Instruments aloittivat samaan aikaan tuotekehityksen kehittääkseen kehittyneemmän IC-piirin. Intel jatkoi tätä kehitystyötä nykyisiin prosessoriperheisiin. Texas Instruments lopetti puhtaasti pelkän prosessorin luomisen ja aloitti piirin luomisen, jossa oli integroituna datamuisti, ja I/O samalla piirillä. Maailman ensimmäinen mikrokontrolleri oli syntynyt vuonna 1971. (Woerner 2001.)*

Ensimmäiset mikropiirit olivat kalliita. Pitää muistaa, että tuotantotekniikat olivat tuolloin uusia kuten tuotantolinjatkin. Vuodet kuluivat ja tekniikat kehittyivät. Ensimmäisten mikrokontrollereiden aikoihin ajoittuu myös tietotekniikan kehittyminen. Ohjelmointikielet alkoivat kehittyä myös. Aika alkoi olla siis kypsä todellisille, tehokkaille mikropiireille, mikroprosessoreille ja mikrokontrollereille.

### 2.2 Mikrokontrollereiden käyttökohteet

Mikrokontrollereita käytetään yleisesti sulautetuissa järjestelmissä ohjaamassa laitteen toimintaa. Käyttökohteita on runsaasti, ja ne tulevat lisääntymään jatkuvasti mikrokontrollereiden pienentyessä ja monipuolistuessa. Vähemmän virtaa kuluttavia piirejä on alkanut tulla lisää markkinoille, ja mitä vähemmän ne kuluttavat virtaa sitä laajemmaksi käyttökohteet käyvät.

Perinteiset mikropiirit ovat jääneet huomattavaksi vähemmistöksi nykyaikaisessa elektroniikassa, koska jo pelkän näytön ohjaimen kylkiäisenä voidaan tuoda laitteeseen lisää automatiikkaa ja laskentatehoa.

Automaatiotekniikassa on käytössä runsaasti sulautettuja järjestelmiä, jotka aikaisemmin toteutettiin erilliskomponentein tai ASIC-piireillä, kuten esim. venttiilit, antu-

rit, ohjausjärjestelmät. Yhdessä venttiilissä toimilaitteineen voi olla useita mikrokontrollereita sulautettuna järjestelmään.

Autoteollisuus on suuri elektroniikan kuluttaja nykyaikana. Lähes jokaisessa nykyaikaisessa ajoneuvossa on tietokone, joka valvoo ja ohjaa ajoneuvon toimintaa: lukkiintumattomat jarrut, luistonesto, automaattinen neliveto, ajotietokone jne. Ajoneuvoissa voidaankin puhua hajautetusta sulautetusta järjestelmästä.

Kotona ohjelmointia tarvitsevia järjestelmiä ovat mm. mikroaaltouunit, pesukoneet, digitaaliset taltiointilaitteet, jääkaappi-pakastin yhdistelmät automaattisine sulatukseen, automaattisesti sammuvat kahvinkeitinimet yms.

On myös järjestelmiä, joita ei ole voinut järkevästi toteuttaa ilman sulautettuja järjestelmiä kuten matkapuhelin, GPS-paikannin, pankki- ja peliautomaatit, sykemittarit. Lista on lähes loputon ja tulee jatkumaan.

Myös lääketiede on alkanut kiinnostua itsenäisesti toimivista implanteista, jotka saavat käyttäjännitteensä joko kehon ulkopuolelta tai sisäisestä akusta (joka voidaan ladata ulkoisella elektromagneettisella kentällä). Tästä hyvänä esimerkkinä on sisäkorvaistute (Sisäkorvaistute 2010).

## **3 MIKROKONTROLLERILAITTEISTON KEHITYSTYÖ**

### **3.1 Yleistä**

Mikrokontrolleripohjaisen laitteen tuotekehitystyö ei poikkea muusta tuotekehityksestä muutoin kuin kehitettävän tekniikan osalta. Muutoin pätevät kaikki muidenkin tuotekehitykseen liittyvät osa-alueet.

*Tuotekehityksellä ymmärretään toimintaa, jonka tavoitteena on kehittää uusi tai parannettu tuote. Tuotekehitys on monivaiheinen prosessi, käsittäen tuotteiden etsimisen, kehitysnäkymien, markkinoiden ym. tuotekehityshankkeiden käynnistämiseen tarvittavien tietojen selvittämisen, varsinaiseen tuotteen luonnostelun, yksityiskohtaisen suunnittelun,*

*optimoinnin, työpiirustusten tekemisen, käyttöohjeiden laatimisen sekä tuotantomenetelmien kehittämisen. (Jokinen 1987.)*

## **3.2 Tiedon hankinta**

Teknologian jatkuvan uusiutumisen ylläpitäminen on tuotekehityksessä kaiken a ja o niin yrityksissä kuin koko innovaatiojärjestelmässä (Hakovirta 2004).

Elektroniikka on erittäin nopeasti kehittyvä ala. Uusia piirejä ja piirisarjoja tulee markkinoille jatkuvasti. On pysyttävä kehityksen mukana ja seurattava alan kehitystä. Internet on erinomainen tiedon haun lähde uusille ja yleensä tehokkaammille ja suorituskykyisemmille elektroniikan komponenteille. Useat piirisarjavalmistajat tarjoavat mahdollisuuden liittyä postituslistalle, joka informoi uusista piireistä heti niiden tultua markkinoille.

### **Dokumentointi**

Tuotekehityksen jokaisen vaiheen dokumentointi on erityisen tärkeää varsinkin elektronisen laitteen ollessa kyseessä. Dokumentaatio konseptista insinöörimalliin on pidettävä reaaliajassa. Tehtäessä muutoksia joko varsinaiseen laitteeseen tai kytkentäkaavioon on näiden vastattava toisiaan. Rakennettaessa prototyypistä insinöörimalli tehdään se prototyypin kytkentäkaavion mukaisesti, jolloin virhe tai virheet viimeistään paljastuvat.

## **3.3 Innovaatiosta tuotteen kehittämiseen toimivaksi laitteeksi**

On joko tullut uusi idea, tarve uudelle tuotteelle tai parannus jo olemassa olevalle laitteelle, jolle on kysyntää markkinoilla. Tärkeintä on, että laite on päätetty toteuttaa. Luvuissa 3.4-3.8 kuvataan laitteen kehittymistä ideasta tai innovaatiosta toimivaksi laitteeksi insinöörin luovan ongelmanratkaisun näkökulmasta.

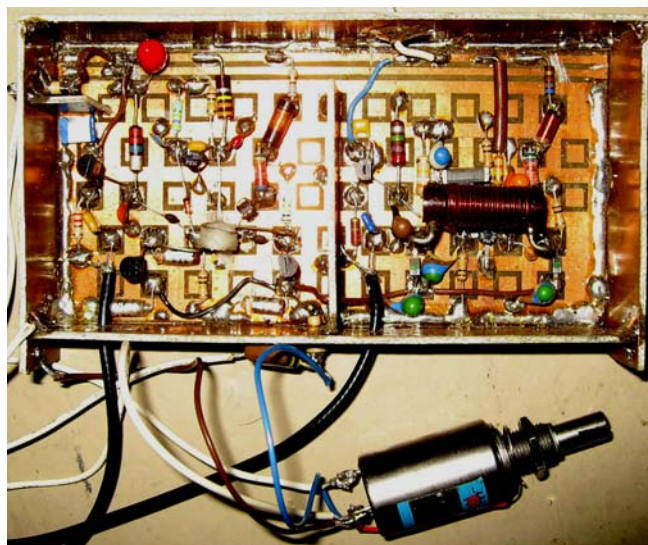
### 3.4 Konsepti

On sitten kyse mikrokontrollerista tai perinteisillä diskreeteillä osilla toteutettavasta laitteesta, ensin suunnitellaan konsepti, joka on vähintään lohkokaavio tai summittainen kytkentäkaavio. Samalla määritellään laitteelta vaadittavat ominaisuudet.

Laitteen toimintaa voidaan myös simuloida erillisellä ohjelmalla. Mikäli kyseessä ovat diskreetit komponentit, tällainen ohjelma voisi olla esim. Electronic Workbench. Eri mikrokontrollerivalmistajat antavat myös käyttöön kehitysalustojensa mukana ohjelman, jolla voidaan koeajaa mikrokontrollerin käskyjä yksi kerrallaan (ns. debugger).

### 3.5 Prototyyppi

Ensimmäisessä vaiheessa valmistetaan kehitettävästä laitteesta prototyyppi. Prototyypin tarkoituksena on testata mm. laitteen elektronisia ja ympäristöllisiä ominaisuuksia. Prototyypin tuleva käytettävyys on otettava huomioon jo tässä vaiheessa. Kuviossa 1 on kuvattuna prototyyppi 100 - 750 MHz:n varaktorisäätöisestä RF-oskillaattorista. Prototyyppi on tehty itse syövytetylle piirilevylle, jossa on saarekkeitä, joihin halutut komponentit on helppo juottaa kiinni. Tilaa on riittävästi, jotta osien vaihtaminen onnistuu helposti. Samoin signaalien mittaaminen onnistuu vaivattomasti. Tämä prototyyppi on juotettu kokon piirilevyaihioista hyvän RF-eristyksen aikaansaamiseksi.



KUVIO 1. Prototyyppi 100 - 750 MHz:n varaktorisäätöisestä RF-oskillaattorista



Varsinainen laitteen ominaisuuksien testaaminen tehdään vasta koko koteloinnin suljettua, jotta hajakapasitanssien vaikutus näkyy mittaustuloksissa.

Kyseisen oskillaattoriyhteyden tarkoituksena oli testata vastaanottimen paikallisoskillaattorin taajuusstabiilisuutta eri lämpötila-, kosteus- ja värinäolosuhteissa.

Prototyyppejä voi olla useita, joilla on eri tehtäviä. Ensimmäisessä prototyypissä tarkistetaan konseptin tekninen toimivuus. Toisessa prototyypissä tarkistetaan valmistettavuus ja toimivuus. Prototyyppejä ei yleensä toimiteta asiakkaille.

### 3.6 Insinöörimalli

Insinöörimallia ei teollisesti juurikaan muotoilla, vaan se vastaa mitoiltaan ja ominaisuuksiltaan jo lähes valmista tuotetta.

Atmis-mittausinstrumentin prototyypin pohjalta rakennetaan myöhemmin niin kutsuttu insinöörimalli, joka vastaa mitoiltaan ja massaltaan lopullista laitetta – kuitenkin sillä erotuksella, että siinä ei käytetä huippukalliita avaruusluokiteltuja komponentteja. Raskaat testaukset läpäissyt laite tulee vastaamaan toiminnoiltaan Lappeenrannassa kehitettyä prototyyppiä. Lopullisen version kokoamisessa käytetään avaruuskelpoisia komponentteja, joiden on kestävä muun muassa avaruussäteilyä. (Ylönen 2002.)

Mikäli laitetta on tarkoitus valmistaa vain muutama toimiva malli, jää tuotteen kehitys tähän, kuten Ylösen yllä kuvaamassa tapauksessa. Kuitenkin esim. avaruuteen lähetettävistä laitteista tehdään kaksoiskappale, jolloin mahdolliset virhetilanteet voidaan simuloida maassa olevalla laitteella ja siten ehkä keksiä ratkaisu ongelman kiertämiseen. Näin tehtiin esim. Mars-mönkijä Spiritin jäädessä jumiin marsperän hienoon hiekkaan (HS 2010).

### 3.7 Nollasarja

Elektronisen laitteen markkinoille viemiseen liittyy tuotekehityksessä vielä muutama vaihe. Nollasarjan tuotteet saavat käyttöönsä ns. beeta-käyttäjät, jotka raportoivat mahdollisista laitteen ongelmista ja esittävät omia toiveitaan. Tämä on ensimmäinen tuotantosarja, jossa hiotaan valmistustekniikoita, tuotantokustannuksia sekä valmistuslinjoja.

Nollasarjan kovien testausten, ja teollisen muotoilun viimeistelyn jälkeen ollaan valmiita toimittamaan valmis tuote markkinoille.

### **3.8 Valmis tuote**

Kuin tuote katsotaan valmiiksi, aloitetaan varsinainen myynti. Varsinainen markkinointi aloitetaan jo ennen tuotteen varsinaista julkistamista. Valitettavan usein käy kuitenkin niin, että kiireellä tehtyyn tuotteeseen on jäänyt virheitä, joita joudutaan paikkaamaan – kalliisti.

## **4 PROTOTYYPIN VALMISTAMINEN ERI MENETELMILLÄ**

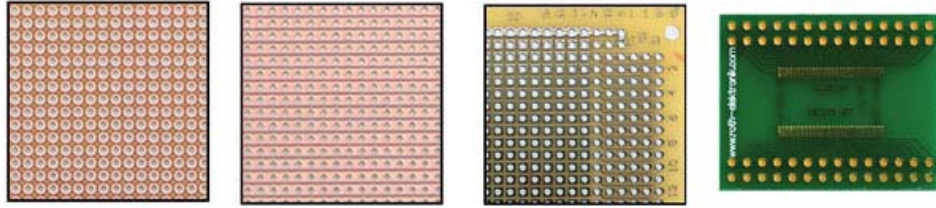
### **4.1 Perusmenetelmät**

Harvoin pelkkä mikrokontrolleri riittää valmiiksi laitteeksi. Se tarvitsee yleensä ulkoisia komponentteja, jotka on testattava kokonaisena kytkentänä eli prototyyppinä. Prototyyppiä varten ei yleensä ole tarvetta valmistaa piirilevyä pelkkää kytkennän testaamista varten. Piirilevyn suunnittelu ja sen valmistaminen tulee kyseeseen vasta insinöörimallista eteenpäin.

Periaatteessa on sama, miten kytkentä tehdään. Pääasia on, että prototyyppi saadaan valmiiksi ja kytkennät ovat luotettavia. Prototyyppin testaamiseen soveltuvia eri vaihtoehtoja käsitellään luvuissa 4.1.1-4.2.2.

#### **4.1.1 Koekytkentälevy**

Koekytkentälevyn voi valmistaa joko itse syövyttämällä halutuksi (kuten kuviossa 1 on menetelty), tai niitä voi ostaa valmiina. Yleisin lienee täplä- tai viivakuparoitu koekytkentälevy (ks. seuraava sivu).



KUVIO 2. Erilaisia koeyhtälevyjä (Elfa 2010, 1042-1050).

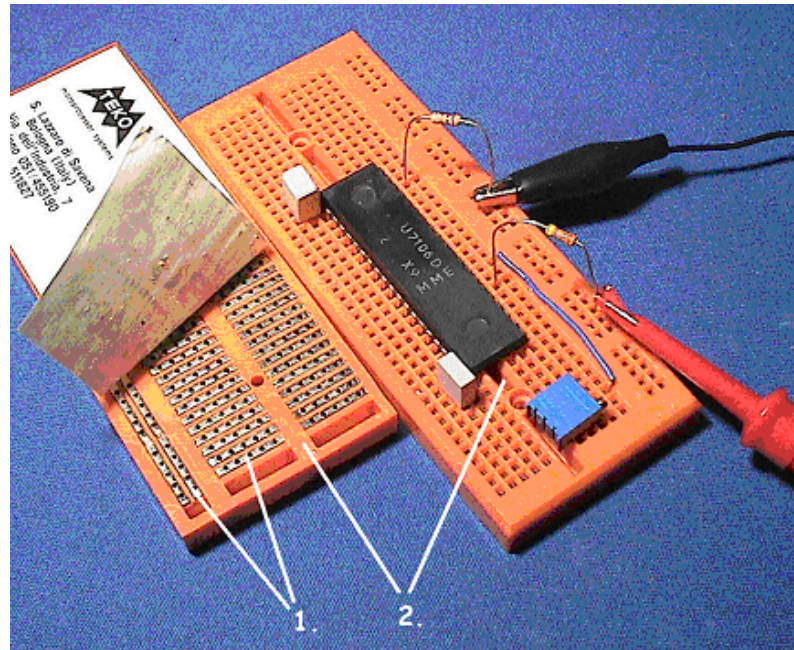
Kuviossa 2 on vasemmalta oikealle täplä- ja viivakuparoitu, pintaliitosvarustukselle tehty koeyhtälevy sekä laboriokortti SSOP 56-napaiselle pintaliitoskomponentille.

Myös täysin kuparoimattomia koeyhtälevyjä käytetään. Niissä kytkennät tehdään juottamalla komponenttien kytkentäjohtimet yhteen. Koeyhtälevyissä, joissa on esiporatut reiät, reikäjako on yleensä vakio ollen 1/10 tuumaa eli 2,54 mm.

Viivakuparoidussa koeyhtälevyissä katkaistaan ylimääräinen kuparikontakti tehtävään sopivalla työkalulla. Käytäntö on kuitenkin osoittanut  $\varnothing$  5 mm metalliporanteen kätevimmäksi kontaktin katkaisijaksi kevyesti pyöräyttämällä.

#### 4.1.2 Koeyhtäalustat

Koeyhtäalustan toimintaperiaate on yksinkertainen (ks. kuvio 3). Siinä on rei'itetty muovista tehty runko. Levyn alapuolella on kupariset liuskat, jotka yhdistävät samalla rivillä olevat reiät keskenään sähköisesti (1). Levyn keskellä kulkee ura, joka jakaa levyn kahteen osaan pituussuunnassa. Mikropiirit on tarkoitettu painettavaksi tämän uran päälle niin, ettei pinnien välille tule oikosulkua (2). Kytkennät eri komponenttien välillä voidaan tehdä paitsi suoraan samalle riville tai sitten kytkentäjohtimilla. Käytettävän kytkentäjohtimen paksuus voi vaihdella 0,3 ja 0,8 mm:n välillä (Tun-Hwa 2010).



KUVIO 3. Koekytkentäalusta alapuolelta (vas.) ja yläpuolelta kuvattuna

On olemassa myös laajempia koekytkentäalustoja, joihin voidaan asentaa mukaan myös mekaanisia komponentteja kuten potentiometrejä, kytkimiä yms. Tästä on esimerkkinä kuvio 4.



KUVIO 4. Koekytkentäalustoja D-25 liittimillä (Tun-Hwa 2010).

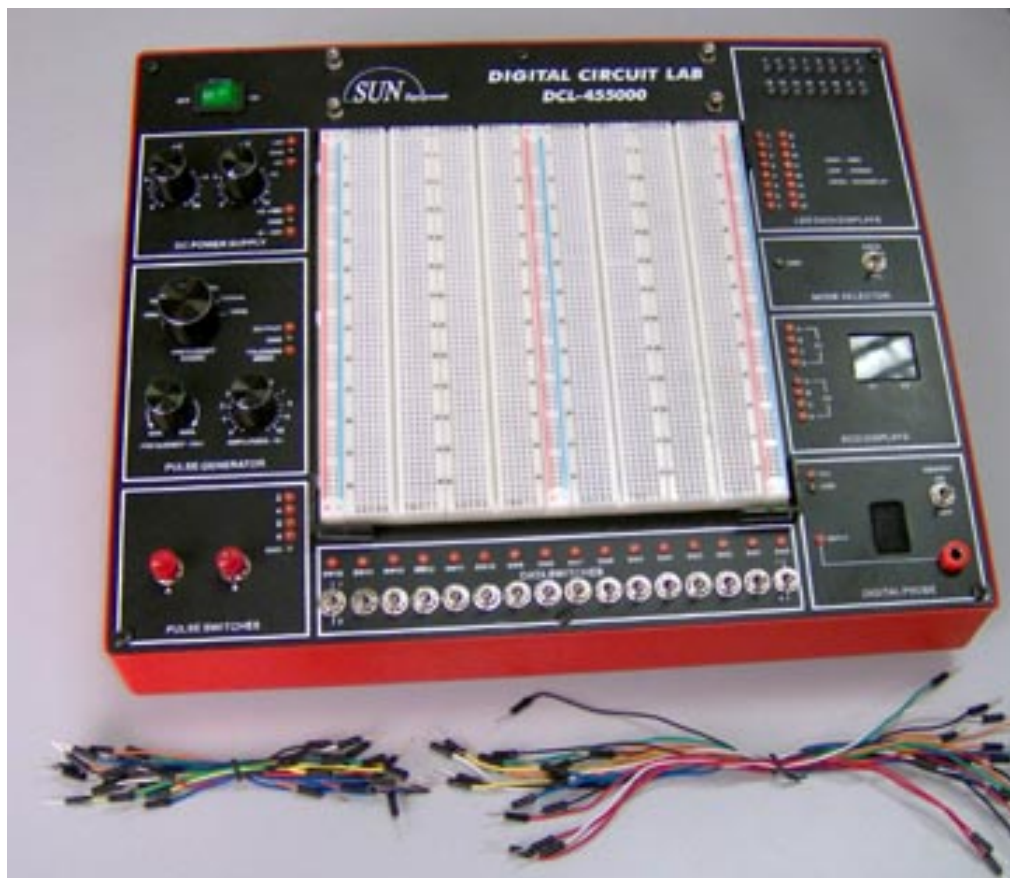
## 4.2 Laajemmat koekytkentäalustat eli laboratoriot

### 4.2.1 Yleistä digitaalisista laboratorioalustoista

Yleensä elektronisen kytkennän kehittämisessä on pystyttävä havaitsemaan kehitettävän laitteen erilaisia sähköisiä ominaisuuksia: I/O-porttien tiloja, jännitteitä, saattava syötettyä digitaalisia tai analogisia tasoja piireille. Samoin eri standardien mukaiset liittimet jo valmiissa ympäristössä nopeuttavat tuotekehitystä, koska vältytään hitailta juotoksilta ja mekaanisilta työstöaiheilta.

### 4.2.2 DCL-455000 Digital Circuits Lab

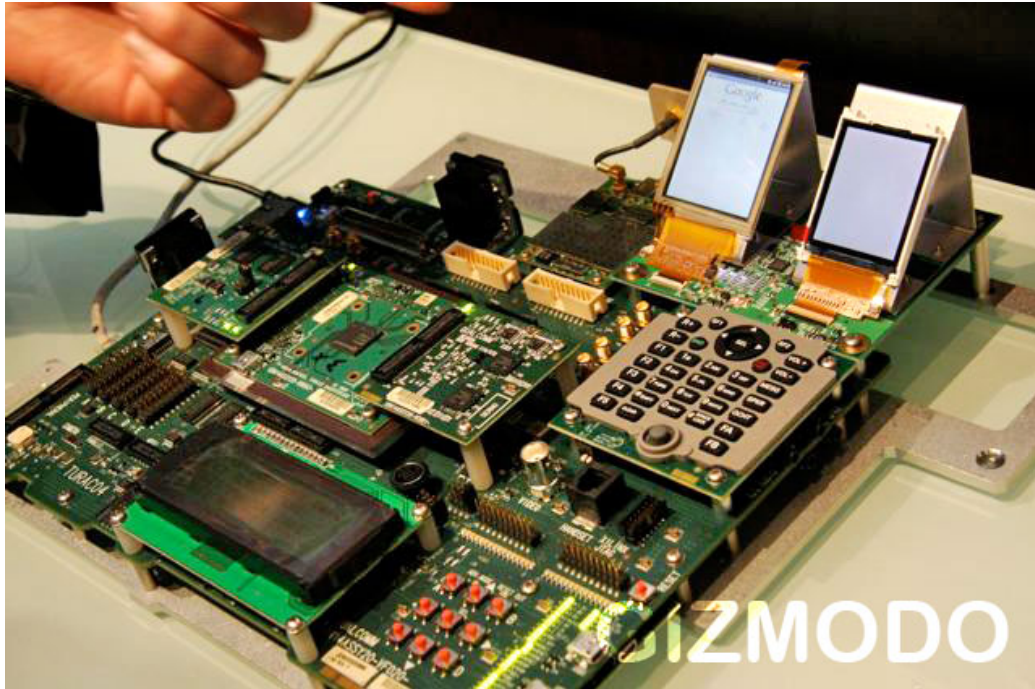
Yhdysvaltalainen Sun Equipment Corporation on tehnyt laajan koekytkentäalustan kytkentöjen testauskäyttöön (ks. kuvio 5). Siihen on integroitu kiinteitä ja säädettäviä jännitelähteitä, näyttöjä, pulssigeneraattori, pulssipainikkeita, kytkimiä sekä logiikka-tiloja indikoivia ledejä.



KUVIO 5. Digitaalipiirien koekytkentälaboratorio (Sun Equipment Co. 2010).

### 4.3 Käytännön esimerkki tuotekehitysalustasta

Kuviossa 6 on harvinainen esimerkki uuteen Android käyttöjärjestelmään perustuvas-  
ta tuotekehitysalustasta. Alusta on kuvattu matkapuhelinmessuilla Barcelonassa  
vuonna 2008.



KUVIO 6. Qualcomm yhtiön tuotekehitysalusta (Gizmodo, 2009).

Kuvion 6 alustassa testataan eri osien skaalattavuutta. Prosessorina on ARM9. (Giz-  
modo 2009).

## 5 ATMEL AVR MIKROKONTROLLERIT

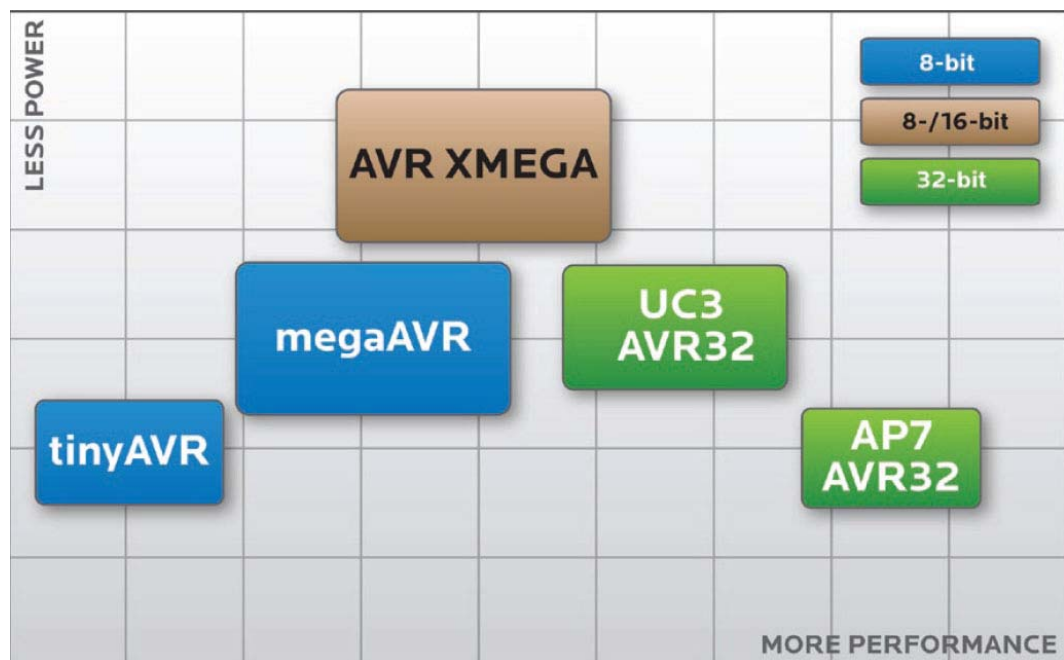
### 5.1 AVR mikrokontrollerit

AVR mikro-ohjaimen prosessoriydin on RISC-tyyppinen, vaikka se omaakin melkoisen  
laajan CISC-tyyppisen käskykannan. Prosessorin rekisterirakenne, konekieliset käskyt  
ja niiden osoitusmuodot on suunniteltu sellaisiksi, että C-kielestä käännetty ohjelma-  
koodi on mahdollisimman lyhyttä ja sen suoritus tapahtuu mahdollisimman nopeasti.

*AVR mikro-ohjaimen ulkoista kellotaajuutta ei jaeta mitenkään piirin sisällä, kuten tavallisesti tehdään muiden valmistajien mikro-ohjainten kohdalla. Esimerkiksi Intelin 8051-perheen mikro-ohjaimilla kellotaajuus jaetaan piirin sisällä 12:lla ja PIC mikro-ohjaimissa kellotaajuus jaetaan 4:lla. (Ylikoski 2010, 96)*

## 5.2 Atmelin AVR-piirisarjat

Kuviosta 7 näkyy selkeästi Atmelin AVR-tuoteperheen eri mikrokontrollerit niiden suorituskyvyn ja tehon kulutuksen mukaan



KUVIO 7. Atmel AVR-tuoteperhe (Atmel 2010a).

Kuviossa 7 on kuvattuna AVR-mikrokontrollereiden jakautuminen suorituskyvyn ja tehonkulutuksen suhteen. Siinä kuvattujen eri AVR-mikrokontrollereiden yleisimpiä ominaisuuksia ovat:

- tinyAVR: 1-16 kB Flash-muistia, 8-32 pinninen kotelo
- megaAVR: 4-256 kB Flash-muistia, 28-100 pinninen kotelo
- AVR XMEGA: 16-384 kB Flash-muistia, 44-100 pinninen kotelo
- AVR32 UC3: 16-512 kB Flash-muistia, 48-144 pinninen kotelo
- AVR32 AP7: 32 kB saakka "On Chip" SRAM-muistia, 196-256 pinninen kotelo.

## 6 AVR MIKROKONTROLLEREIDEN KEHITYSALUSTOJA

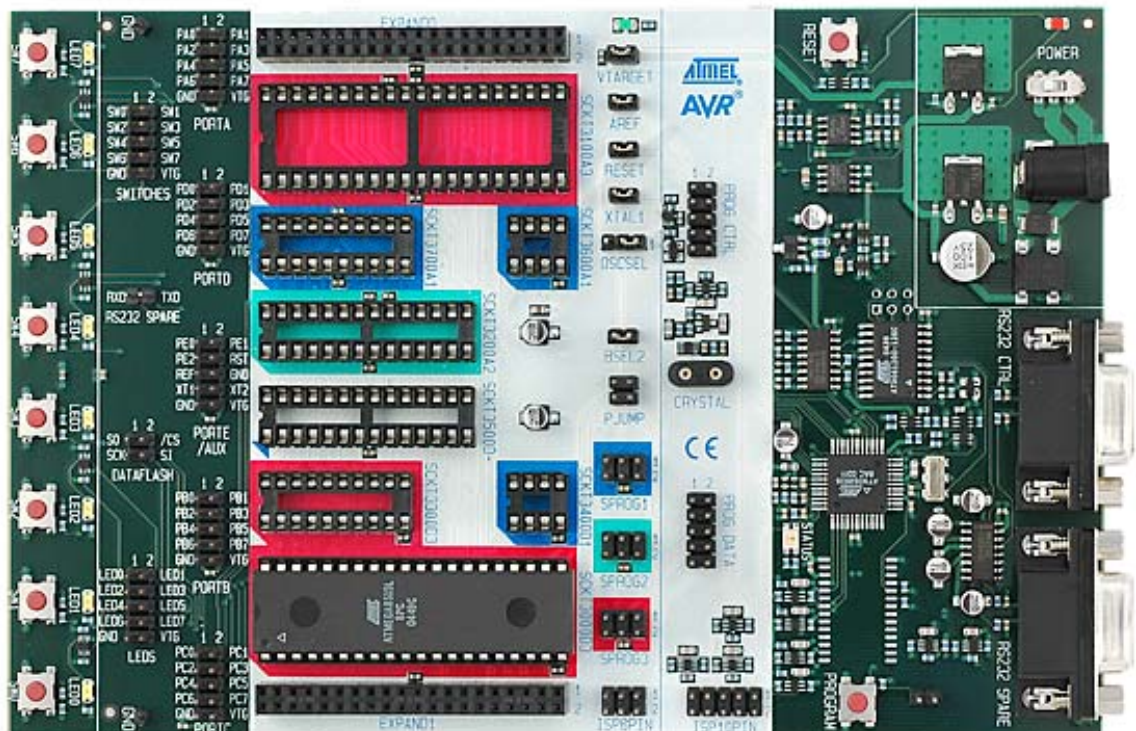
Kehitysalustoja AVR-mikrokontrollereille on markkinoilla useita. Liitännä tietokoneeseen, jossa varsinainen ohjelmointi tapahtuu, on joko sarja-, rinnakkais- tai USB-liitynnän kautta.

On myös muita valmistajia, joissa hyödynnetään AVR-mikrokontrollereita. Niissä ohjelmointi tapahtuu, samoin kuin Atmelin omilla kehitysalustoilla, tietokoneella em. liityntöjen kautta. Ohjelmointikieli vaihtelee, riippuen ohjelmistoista.

Seuraavassa on lueteltu muutamia yleisimpiä ohjelmointi- ja kehitysalustoja.

### STK-500 kehitysalusta AVR-mikrokontrollereille

Pelkkä Atmelin STK500 kehitysalusta tukee piirejä ATtiny11-ATmega323:n (Atmel 2010b). Alustaan on saatavilla laajennusosia, jolla sen markkinoilla oloa on voitu jatkaa.

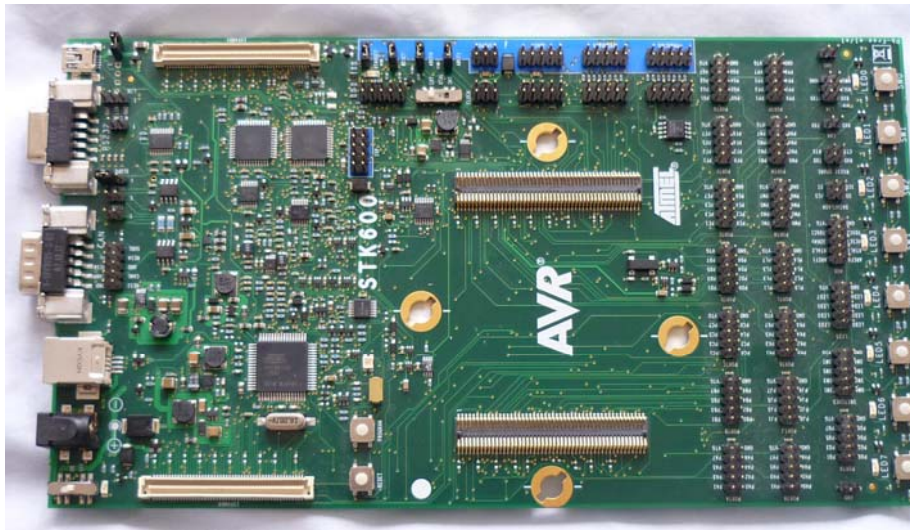


KUVIO 8. STK500 AVR mikrokontrollereiden kehitysalusta



## STK600 kehitysalusta AVR-mikrokontrollereille

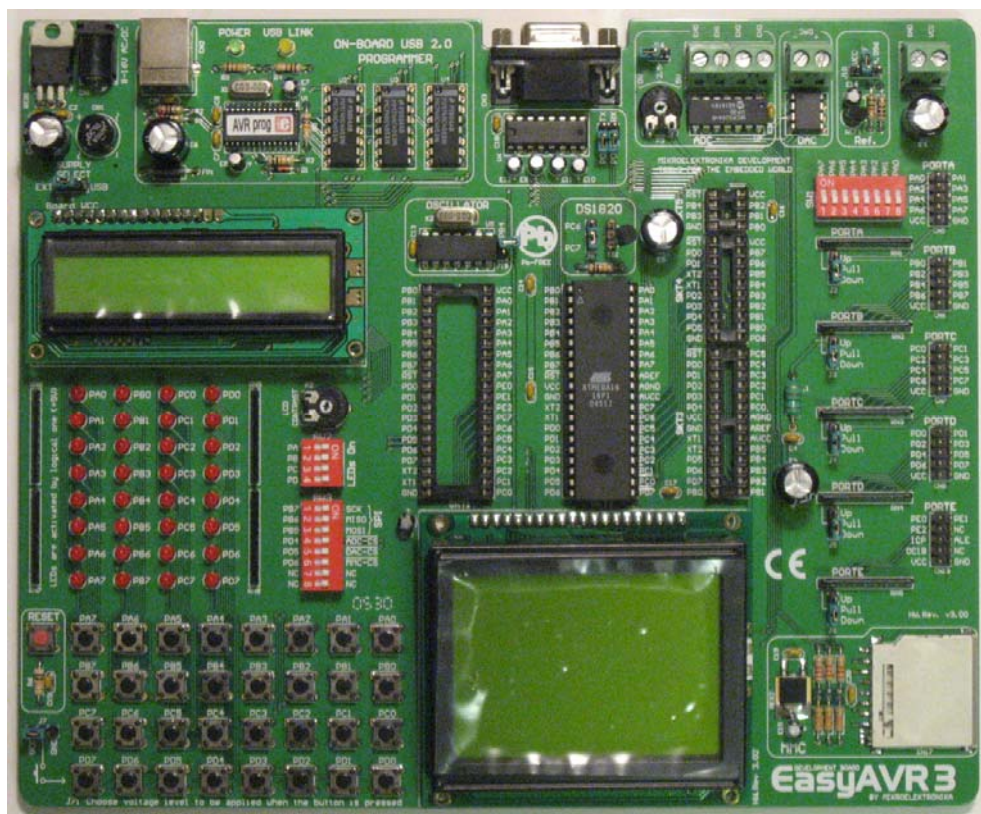
Kehitysalustojen uusin malli, joka tukee koko AVR piiriperhettä 8 bittisistä 32 bittisiin mikrokontrollereihin (Atmel 2010C).



KUVIO 9. STK600 kuvattuna ilman varsinaista mikrokontrolleri osaa

## EASY-AVR3

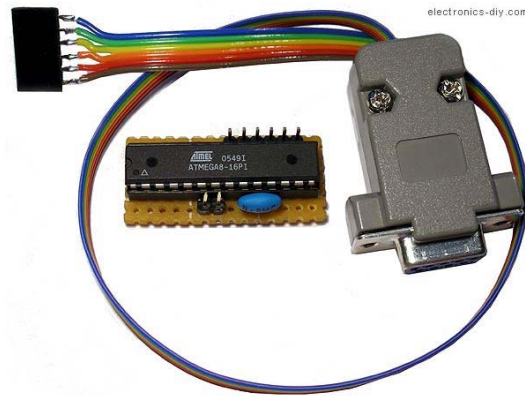
EASY-AVR3 on monipuolinen kehitysalusta (Mikroelektronika 2010).



KUVIO 10. EASY-AVR3 ohjelmointialusta (Mikroelektronika 2010).

## Itse rakennetut

Ohjelmointiympäristö tulee hyvinkin halvaksi itse rakentaen. Kuviossa 11 on esimerkki yksinkertaisesta, itse rakennetusta laitteesta, joka on mahdutettu D9-liittimen sisään.



KUVIO 11. Itse rakennettu AVR-ohjelmointilaite (Electronics-diy 2010).

## 7 ESIMERKKI PIENEN LAITTEEN TUOTEKEHITYKSESTÄ

### 7.1 Ongelma ja sen ratkaisu

Jo kauan paikallaan roikkunut ”pringles®” -mainoskyltti (ks. kuvio 12) ei enää herättänyt huomiota paikallisessa ravintolassa ja myynti laski tasaisesti. Kyseisen ”luonnollisen janon” aiheuttajan, eli perunalastujen myynti oli tasaisesti laskenut. Tarvittiin keino, jolla saadaan asiakkaiden huomio kiinnitettyä mainokseen.

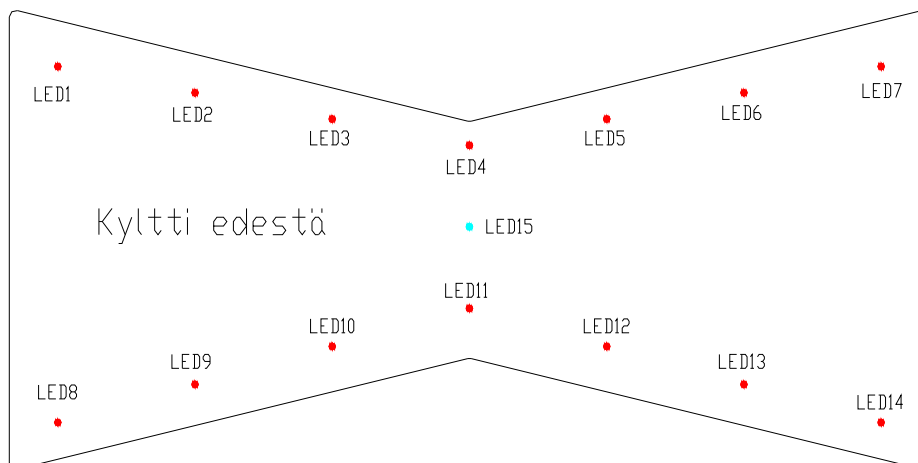


KUVIO 12. Modifioitava mainoskyltti.

Ongelmana lienee se, että kyltti palaa jatkuvasti ympäristössä, jossa on valoeffektejä paljon (ravintola). Ympäristön valot muodostavat siis pohjakohinan josta vaatimaton mainoskyltin valo ei erotu. Mahdollisia huomion herättämiskeinoja lienee useita: ääni, haju, valo yms. Lisä-äänien tuonti muutenkin äänekkääseen ympäristöön tuskin innostaisi ketään. Tuoksua levittävä mainoskyltti voisi olla mielenkiintoinen mutta miten asiakas määrittäisi tuoksun lähteen? Päätettiin kokeilla valoeffektin lisäämistä mainoskylttiin.

## 7.2 Konsepti

Kyltti itsessään on kookas, joten siitä tehtiin pienemmän mittakaavan malli. Ledien sommittelu tehtiin AutoCad-ohjelmistolla, kuten kuvioista 13 selviää. Valoeffektin kanssa tulisi olla varovainen; ei ole tarkoitus, että efektit toimivat koko ajan, ja lopulta ollaan tilanteessa, että kyltti on sulautunut jälleen kerran ympäristöönsä.



KUVIO 13. Ledien sijoittelun suunnittelukuva.

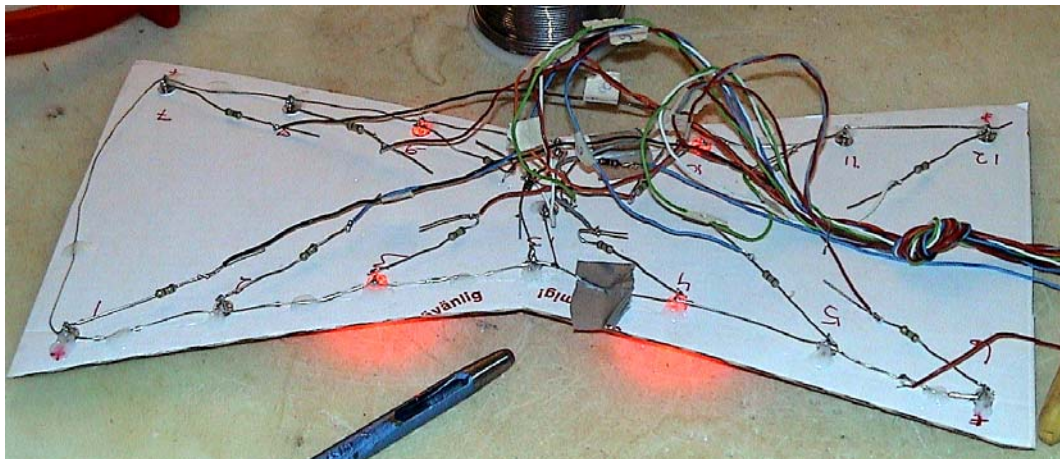
Voisi olla hyvä, että efektejä on useita ja niiden välillä on viive. Effektin voimakkuuden pitäisi myös olla tarpeeksi voimakas aiheuttaakseen mielenkiinnon heräämisen. Päätettiin kokeilla teholedettä yhdistettynä mainoskyltin uuteen sijaintiin.

Varsinainen valoeffektien suunnittelu päätettiin siirtää prototyyppivaiheeseen, jotta nähtäisiin helpommin valokuvion huomionherättävyys.

## 7.3 Prototyyppi

Kyltin prototyyppi tehtiin pahvista leikkaamalla ja 5 mm:n ledien reiät tehtiin sopivankokoisella reikätyökalulla (meisti). Ledit painettiin paikalleen ja liimattiin paperiliimalla niiden poistamisen helpottamiseksi. Kyseinen liima lähtee ledistä helposti irti kynnellä raaputtamalla. Kuviossa 14 on kuvattuna prototyypin komponenttien sijoittelua. Mainoskyltin varsinaisiksi huomionherättäjiksi valittiin superkirkkaita ledejä (valoenergia > 12 cd). Valoefektin muodostamiseen oli kaksi käytännön mahdollisuutta: perinteinen digitaalitekniikka, jossa valoefekti ohjelmoidaan ROM-piiriin tai ohjelmoitava mikrokontrolleri.

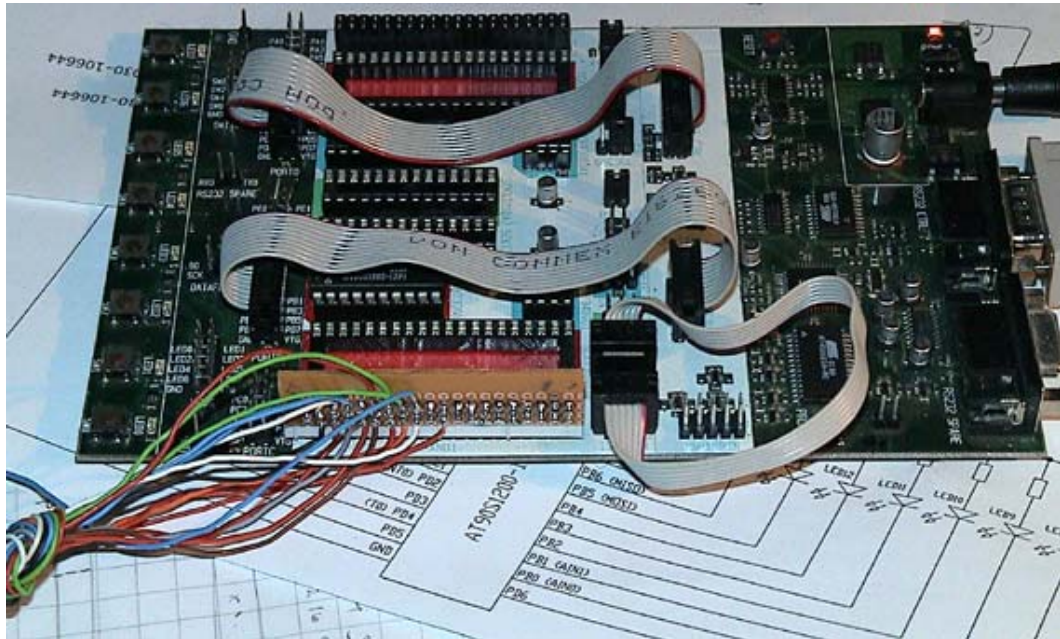
Ledien ohjaimiksi päätettiin ottaa mikrokontrolleri perinteisen digitaalitekniikan sijaan. Koska tekijällä sattui olemaan Atmelin STK-500 evaluointikortti, niin luonnollinen valinta MCU:ksi oli Atmelin AVR.



KUVIO 14. Prototyypin johdotusta takapuolelta nähtynä.

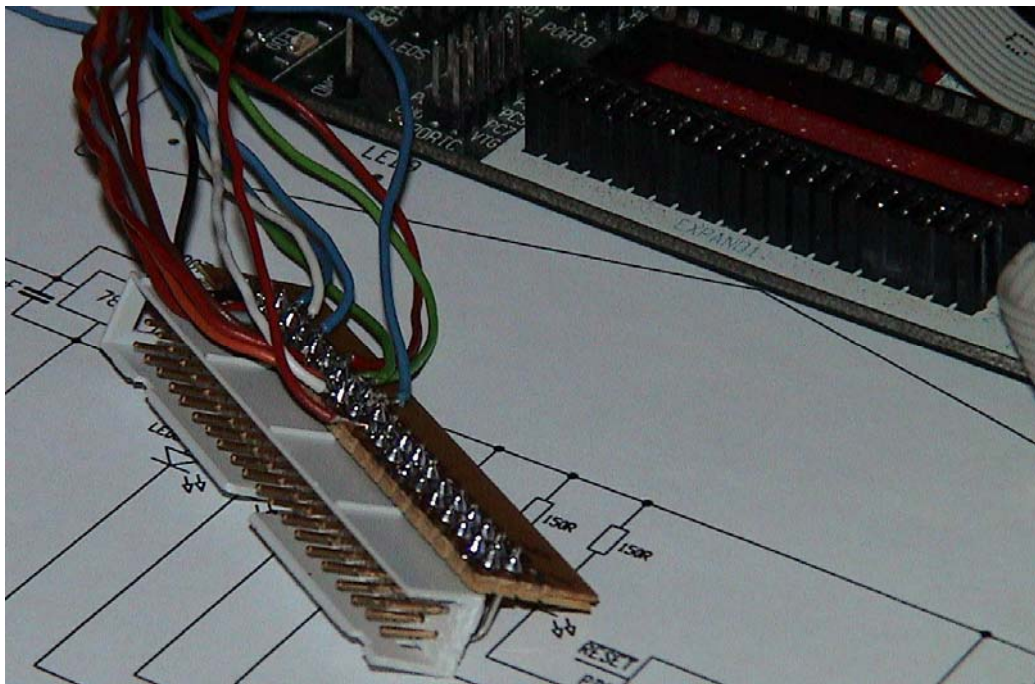
Atmelin STK500-evaluointikortissa on itsessään 8 lediä, mutta kytkennässä niitä on 15. Käytettävässä mikrokontrollerissa on kaksi ulkoista porttia (PORTB ja PORTD), joissa kummassakin on 8 GPIO-porttia. STK500:ssa on kuitenkin kaksi 40-pinnistä liittintä ulkoisia liittäntöjä varten (samat liittimet joihin myöhemmässä vaiheessa tulleet laajennuskortit liitetään). STK500:n Liittimessä 1 on kaikki AT90S1200:n ulkoiset liittynät. Kyseiseen liittimeen hankittiin 40-napainen piirilevyliitin. Liitin juotettiin täp-

läkuparoiuun koeyhtkentälevynpalaseen ja siihen liitettiin ledeille menevät johtimet. Kuvioissa 15 on kuvattuna kyseinen liityntä.



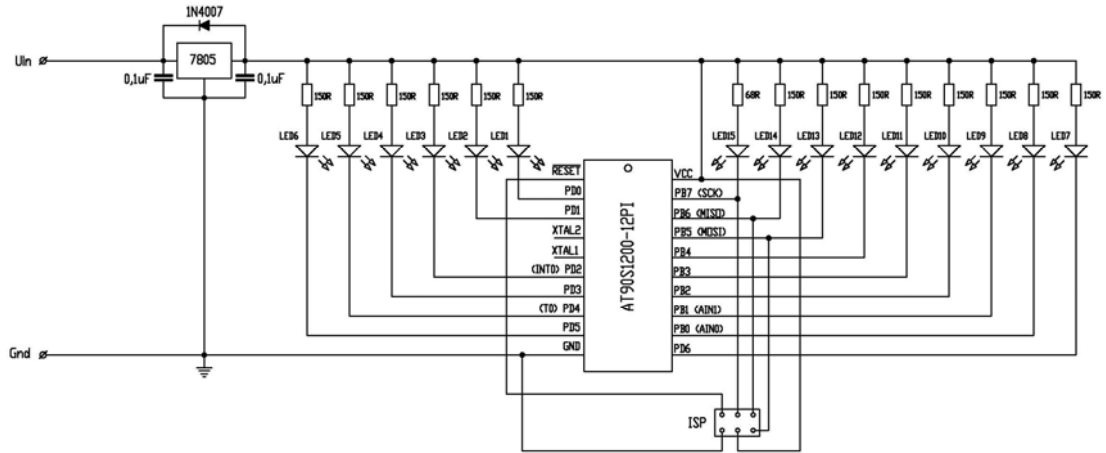
KUVIO 15. Atmelin STK500 evaluointikortti sekä prototyypissä käytetty liityntä.

Kuviossa 16 on lähikuva käytetystä liittimestä, joka on sahattu sopivaksi STK500-alustaa varten.



KUVIO 16. Lähikuva käytetystä liittännästä.

MCU:n ja ledien kytkentä hahmoteltiin kuvion 17 mukaiseksi. Kytkennän erikoisuus piilee ledien kytkentätavassa: ohjelmassa "0"-tila vastaa ledin palamista joka pitää ottaa huomioon ohjelmoinnissa.



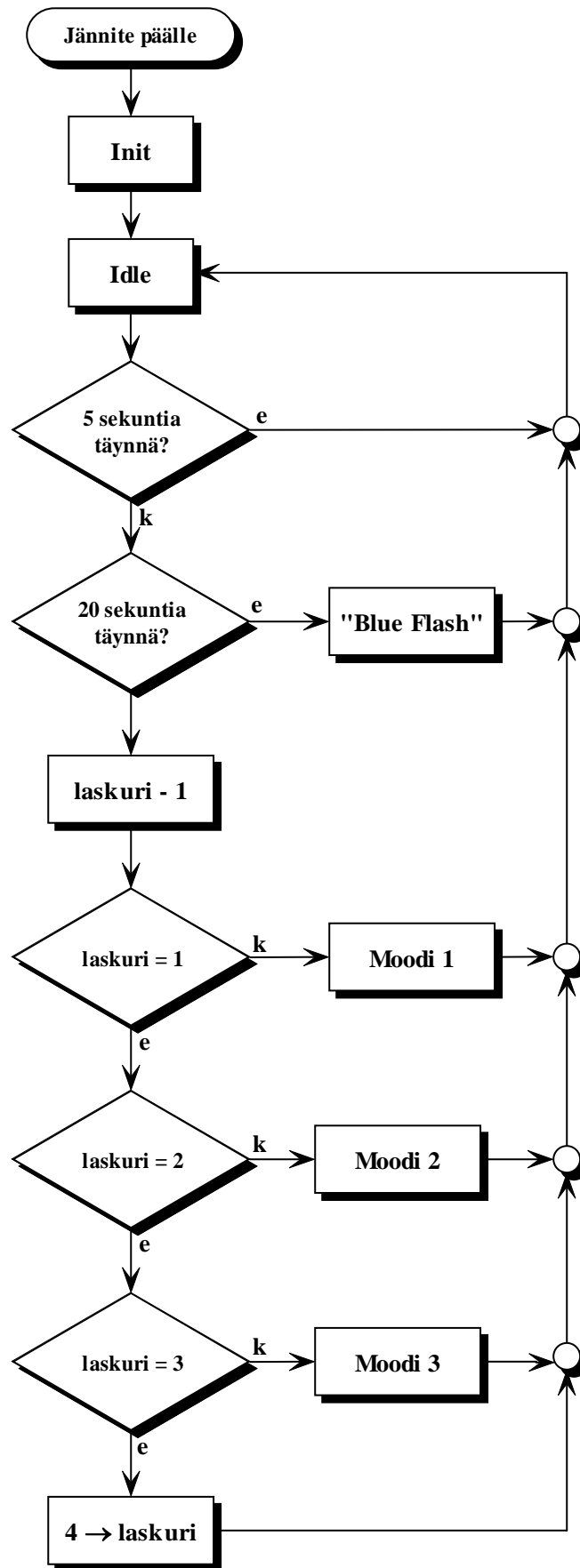
KUVIO 17. Mainoskytlin valoeffektin kytkentäkaavio

### 7.3.1 Ohjelma

Seuraavaksi siirryttiin ohjelman kehitystyöhön. Koska kyse on kahden rekisterin yksittäisten bittien käsittelystä, valittiin ohjelmointikieleksi assembler. Ohjelmointiympäristöksi valittiin Atmel yhtiön ilmainen AVR Studio 3.53 (Build: 09:29:32, Oct 15 2001). Ohjelmaa tehtäessä kokeiltiin erilaisia vaihtoehtoja ledien ohjaukseen. Eräs kokeilemisen arvoisista olisi ollut piiriin EEPROM:n käyttö led-kuvion tallentamiseen. Se jätettiin kuitenkin kokeilematta. Ohjelman toiminta käsitellään tässä luvussa ainoastaan yleisellä, vuokaavio tasolla.

### 7.3.2 Ohjelman vuokaavio

Seuraavalla sivulla kuviossa 18 on esitetty MCU:lle suunniteltu pääohjelman vuokaavio. Pääosaa näyttölee ko. piiriin ohjelmoitava 8-bittinen laskuri/ajastin. Kuten kaaviosta huomataan, on ohjelmassa eripituisia viiveitä. Tarkkaa viivettä ei sinällään tarvitse määritellä joten tyydyttiin noin arvioon viiveiden pituuksissa. Vuokaaviossa esiintyvä viiden sekunnin viive on tehty ohjelmallisesti käyttämällä MCU:n ajastin/laskuri rekisteriä. Moodeilla on erikseen yhteinen viiveosa joka muodostaa välähdyksien välin. Asiaa käsitellään seuraavassa tarkemmin.



KUVIO 18. Pääohjelman vuokaavio

### 7.3.3 Ajastimen viiveet

Ohjelmaa tehtäessä on laskennallisena MCU:n kelloaajuutena käytetty 1 MHz:ä jonka valmistaja ilmoittaa piirin sisäiselle oskillaattorille (Atmel, 2004d). Tällöin yhden kellojakson kestoksi tulee 1  $\mu$ s. Laskurin esijakaja jakaa tulevat kellopulssit ensin 1024:llä. Laskuri itsessään on 8-bittinen, joten keskeytys tulee n. 4 kertaa sekunnissa, kuten kaavasta 1 selviää. Oletuksena ohjelmassa on käytetty neljää keskeytystä sekunnissa. Virhettä ei ole korjattu ohjelmallisesti koska tämä tarkkuus riittää. Virhehän olisi korjattu kolmannen laskentakerran jälkeen syöttämällä sopiva luku laskurin esijakajaan.

$$t_{\text{int}} = 1\mu\text{s} \cdot 1024 \cdot 255 = 261.12\text{ms}$$

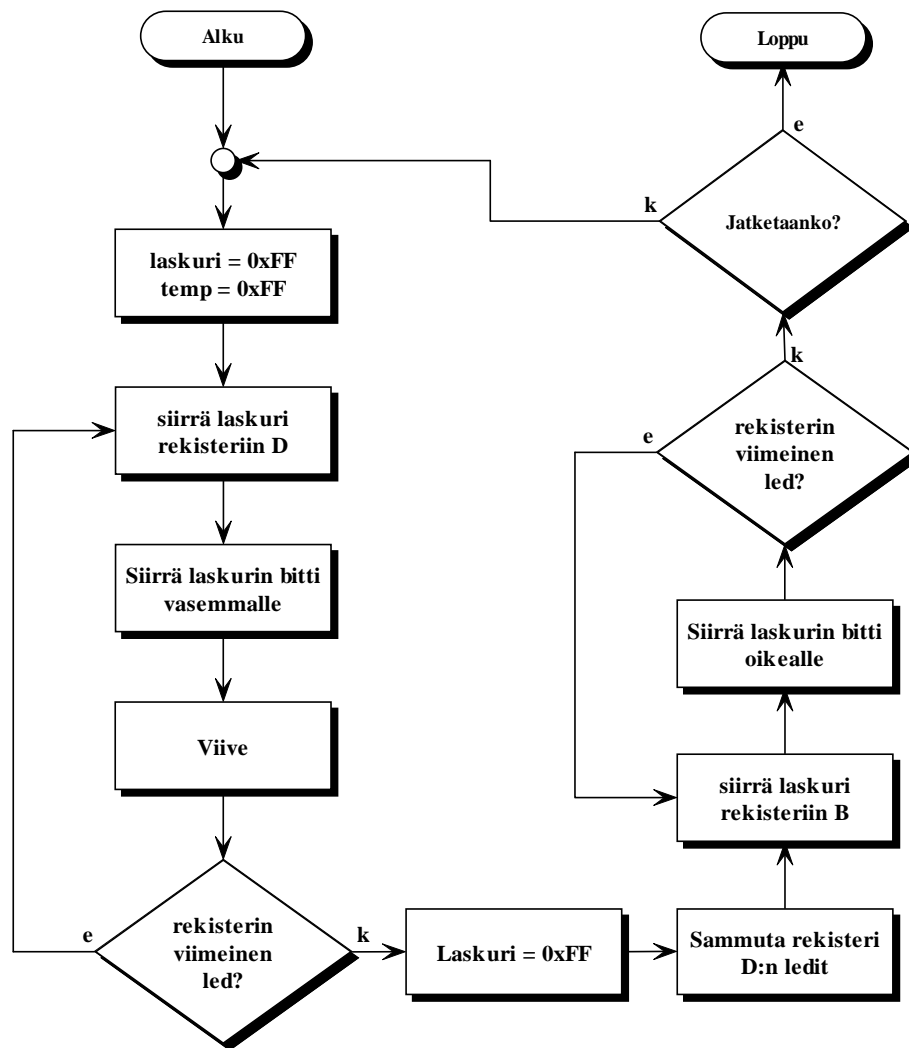
KAAVA 1. Laskurin ylivuodon muodostaman keskeytyksen väli.

Vastaavalla tavalla kuin kaavassa 1. viiveet muodostuvat siis siten, että lyhyt viive on 16,32 ms ja varsinainen viive on 65,025 millisekuntia.

### 7.3.4 Moodi 1

Moodi 1:ssä ledit kiertävät myötäpäivään yksi kerrallaan. Varsinainen ohjelma on jaettu kahteen osaan johtuen kahdesta eri rekisteristä jotka ohjaavat ledejä. Aliohjelmissa siirretään bittejä rekisterien sisällä. Siirrettävä bitti on itse asiassa "carry" eli ylivuotobitti. Kuvion 19 vuokaaviossa on valotettu moodi 1-aliohjelman toimintaa (ohjelmalistaus kokonaisuudessaan on liitteessä 2).

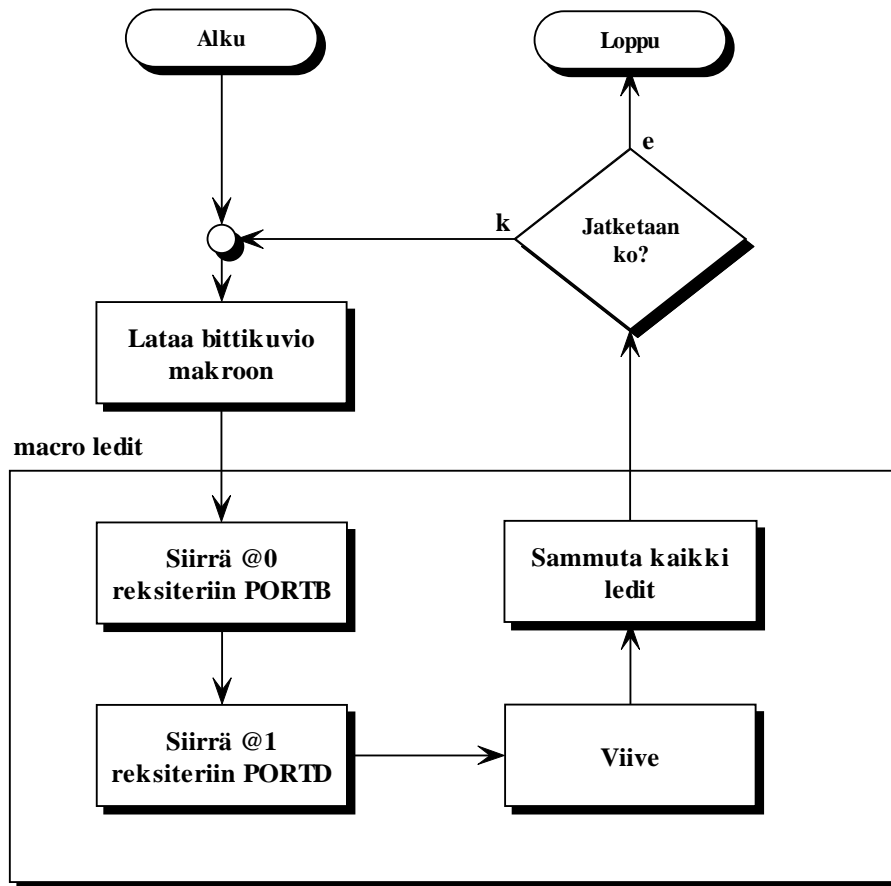




KUVIO 19. Pääohjelman Moodi 1:n vuokaavio

### 7.3.5 Moodit 2 ja 3

Moodien kaksi ja kolme toiminta on samanlainen. Yksinkertaisuudessaan moodien bittikuvio ladataan binäärimuodossa makroon ja esitetään viiveineen. Bittikuvio syötetään makron muuttujille (@0 ja @1) siten, että @0 vastaa PORTB sisältöä ja @1 PORTD:tä. Kuviossa 20 on esitetty näiden moodien vuokaavio (ohjelmalistaus kokonaisuudessaan on liitteessä 2).



KUVIO 20. Moodien 2 ja 3 vuokaavio

### 7.3.6 Ongelmatilanteita

Yleisin virheilmoitus, johon ohjelmakoodia kääntäessä törmättiin, oli "relative branch out of reach". Atmelin AVR:ssä on nimittäin rajoitus, joka koskee relatiivisen hypyn pituutta: aliohjelma (ml. makro) saa olla enintään 2048 konekielikomennon päässä. Virheilmoitus sinällään tässä yhteydessä on hieman outo. Ongelma kierrettiin sijoittamalla "moodi1" on ennen varsinaista ajastimen aliohjelmaa.

Demoversiossa käytetty AVR oli muutaman vuoden vanha ja jo moneen kertaan käytetty. Ajettaessa testiohjelmaa MCU:n muistiin alkoi ohjelmat toimia todella erikoisesti: näennäisesti täysin toimiva koodi ei testissä toiminut ollenkaan tai toimi vaja-  
vaisesti. Tutkittaessa asiaa paljastui, että AVR:n muistin sisältö ei vastannutkaan ohjelmakoodia. Ilmeisesti 1000 kirjoituskerran raja oli tullut täyteen eli "takuu-aika päättynyt". Syötettäessä koodia piiriin kannattaakin katsoa, että kohta "Verify device after programming" on rastitettuna.

## 7.4 Insinöörimalli

Kehitystyön edistyessä on dokumentointi ollut reaaliaikaista; tämän luvun dokumentaatio sekä kytkentäkaavio ovat syntyneet samaan aikaan valmiin tuotteen kanssa. Valmis laite on rakennettu syntyneestä kytkentäkaaviosta jolloin etuna on kytkentäkaavion virheettömyys.

### 7.4.1 Ledien asentaminen

Ledien paikkojen merkintää varten liimattiin maalarinteippi kiertämään mainoskyltin reunoja (ks. kuvio 21). Maalarinteippiin merkittiin reikien paikat, jotka oli saatu AutoCad-ohjelmasta mittaamalla. Reikien tarkkaa kohdistamista varten paikka merkittiin aluksi purasimella ja sitten porattiin  $\varnothing 3$  mm:n reikä.



KUVIO 21. Ledien paikan määrittäminen ja reikien poraaminen

Tämä reikä suurennettiin sitten  $\varnothing 4,5$  mm:ksi. Mainoskyltissä käytetty muovi osoittautui hieman joustavaksi joten ledit ( $\varnothing 5,0$ ) saatiin puristettua paikalleen ja näin välttyttiin liimaamiselta.

Kuviossa 22 on esitetty eräs johtimien kiinnitystapa (teippi ja kuumaliima). Mainoskyltin ledien puoleinen pleksi tehtiin hankalaksi irrottaa poraamalla kiinnitysruuvit työkalulle sopimattomaksi. Tämä sen vuoksi, että lampunvaihtoa tehtäessä, ei pilattaisi johdotusta ja toisaalta kuluissa säästettiin liittimien ja ylimääräisten johtimien hinta.



KUVIO 22. Ledien johdotus kiertää kyltin reunoilla

#### 7.4.2 Mikrokontrolleri

Ohjaimeksi valittiin Atmelin AVR mikrokontrolleri AT90S1200-12PI lähinnä siitä syystä, että sellaisia sattui tekijällä olemaan miljoonalaatikossaan (valintaan vaikutti myös se, että piirissä on 15 kpl I/O-liitäntöjä).

Atmel julkisti kyseisen AVR piirin vuonna 1996. Piiri oli silloin ensimmäinen laatuaan ja nykyään AVR-tuoteperhe käsittää lähes 40 piiriä. Kyseisessä piirissä on 15 kappaletta I/O-portteja joten hinta/laatu suhteeltaan valinta lienee parhaasta päästä. Piirin hinta tätä kirjoittaessa on 4,65 euroa (AT90S1200-12PI, DIL20), yksin kappalein ostettuna.

Kytkentä on yksinkertainen mahdollinen. Kellokiteen hinta säästettiin käyttämällä piirin sisäistä 1 MHz:n RC-oskillaattoria. Piirin viiveet eivät ole kriittisiä tässä sovelluksessa.

#### 7.4.3 Jännitelähde ja regulointi

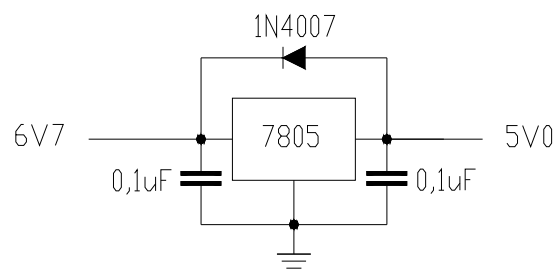
Nykyisin, kun hakkuriteholähdetekniikka on kehittynyt, ei enää kannata juurikaan käyttää perinteistä ”pakkamuuntaja-tasasuuntaussilta-kondensaattori” – viritelmiä.

Tähän kytkentään valittiin kuviossa 23 nähtävä vanha matkapuhelimen latauslaite. Kysein latauslaite on Salcomp-yhtiön valmistama ja se antaa 1,4 A:n virran 6,7 voltin jännitteellä.



KUVIO 23. Kytkennän hakkuriteholähde

Mikrokontrollerin tarvitsema jännite reguloidaan 7805-piirillä. Piiri pystyy antamaan 1 A:n virran ja se sisältää oikosulku- sekä lämpötila suojaus. Regulaattorissa on kytkettynä kondensaattorit (100 nF) tulossa ja lähdössä. Näiden tarkoituksena on optimaalisen stabiilisuuden ja transienttisiedon lisääminen. Kondensaattorit tulee kytkeä mahdollisimman lähelle regulaattorin jalkoihin. Estosuuntaan kytketty diodi (1N4007 vast.) on tarkoitettu suojaamaan regulaattoria sellaisessa tilanteessa jossa syöttöpuolen jännite jostain syystä putoaa nopeammin kuin piirin antopuolen jännite. Tällaisia tilanteita voi syntyä esim. maksimikuormitustilanteessa jossa hakkurin virranrajoitus kytkeytyy päälle. Tällöin vaarana on regulaattorin sisäisistä kytkennöistä johtuva kanta-emitteri liitoksen palaminen. Kuviossa 24 on esitetty 5 voltin regulaattoripiirin kytkentä.

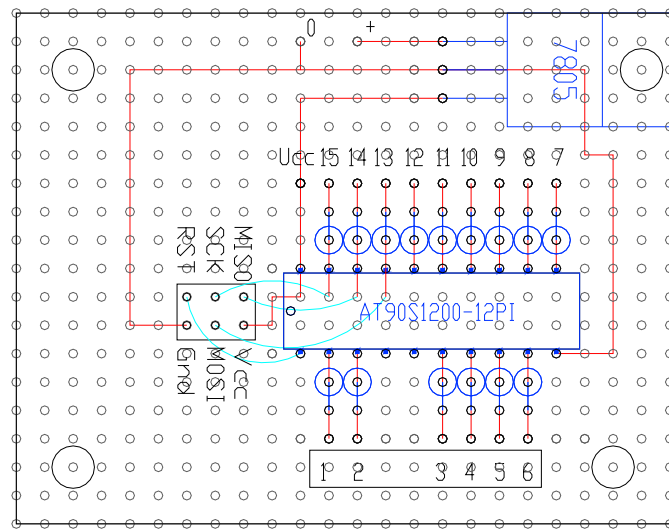


KUVIO 24. Regulaattoripiirin kytkentäkaavio

### 7.4.4 KytKentälevy ja osasijoittelu

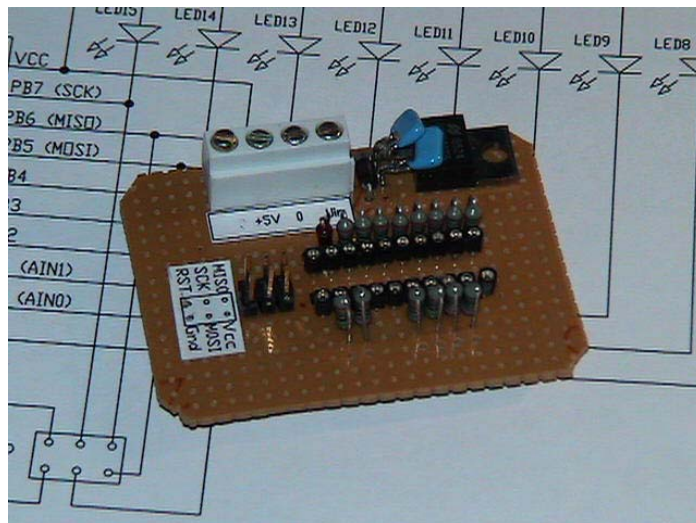
Koska kyseessä on insinöörimalli eli laitetta tehdään vain yksi kappale, päätettiin kytKentä tehdä koekytKentälevylle. Tarkoitukseen valittiin täpläkuparoitu levy kytKentän yksinkertaisuuden vuoksi.

KytKentä hahmoteltiin AutoCad ohjelmalla kuvion 25 mukaiseksi. Ohjelmalla on helppo tehdä ensin komponenttipuolen osasijoittelu ja sitten kääntää kuva juotospuolelle. Tällöin välttyään jatkuvalta koekytKentälevyn pyörittelyltä ja kytkinlankojen mitailulta.



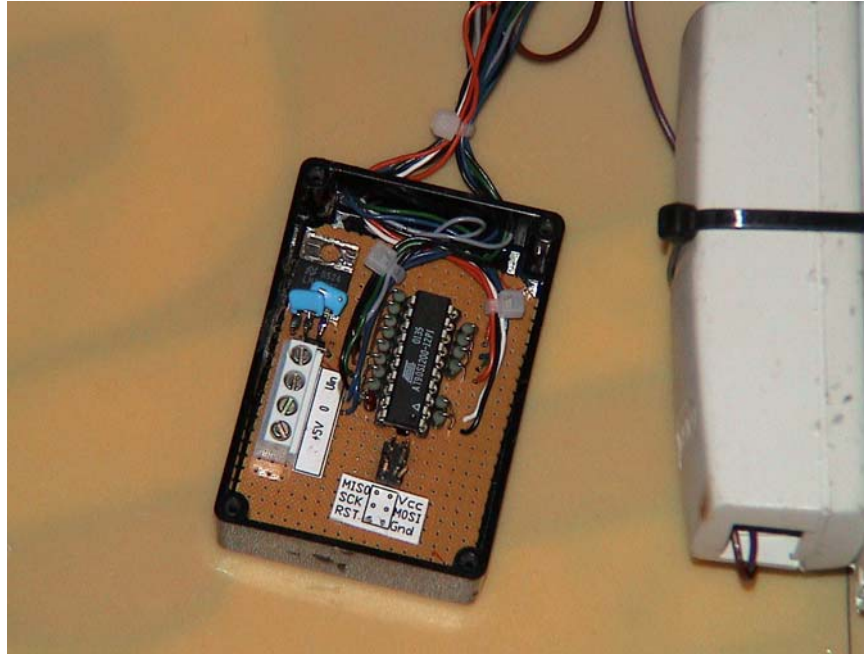
KUVIO 25. Osien sijoittelu ja alapuolen johdotus

Regulaattorin transienttikondensaattorit kytkettiin suoraan piirin jalkoihin, kuten kuvioista 26 näkyy.



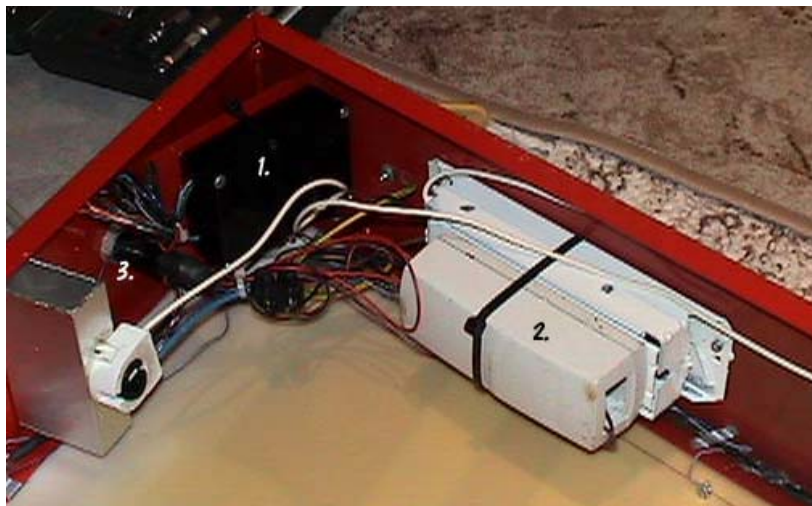
KUVIO 26. Valmis kytKentä koekytKentälevyllä

Valmis kytkentälevy johdotettiin ja kiinnitettiin mainoskyltin sisään yhdessä hakkuriteholähteen kanssa. Johtimia tulee ledeiltä yhteensä 16 kpl, useimmat samanvärisiä. Tästä johtuen jokainen johdin tarkastettiin erikseen yleismittarilla ennen paikalleen juottamista.



KUVIO 27. Valmis piirilevy sekä hakkuriteholähde johdotettuna

Kuvion 28 esittämällä tavalla MCU:n kotelo (1), hakkuriteholähde (2) sekä sulake (3) asennettiin mainoskyltin sisään. Kiinnitykset tehtiin nippusiteillä johtuen projektin tilapäisyydestä ja kokeellisuudesta. Kokeiluajan jälkeen kiinnitys tehdään metallipannoilla tai ruuvikiinnityksillä.



KUVIO 28. Mainoskylttiin asennetut osat (ks. teksti)

## 7.5 Ongelmia ja ratkaisuja

Mainoskyltin runko ei ollut symmetrinen, jolloin jouduttiin kahdelle ledille tekemään lovet rungon ao. kohdille niiden mahduttamiseksi paikalleen. Kytkentään suunniteltu sininen led sattui juuri loisteputken päälle, jolloin jouduttiin ledin pohja maalaamaan läpinäkymättömällä maalilla (kynsilakka). Näin tehtynä loisteputken valkea valo ei himmennä ”sinistä välähdystä”, eikä se näy muuten kuin sen ollessa kytkettynä.

## 7.6 Projektin arviointi

Tämän projektin tarkoituksena oli mainoskyltin huomioarvon nostaminen kehittämällä siihen sopiva valoefekti. Toisaalta samassa yhteydessä jouduttiin miettimään kyltin parempaa sijoittelua. Se, kumpi näistä paransi kyltin huomioarvoa, on hankala sanoa.

Tuotannollisesti kyltin mainosarvon nostaminen käsityönä ei liene kannattavaa taloudellisesti. Yksinkertaisesti laskettuna kylttiin sijoitettu raha suhteutettuna mahdolliseen lisääntyneeseen myyntiin pitkällä tähtäimellä, saattaa tuoda sijoitetun pääoman takaisin, joskin hitaasti.

Kyltin modifiointi on tehtävä käsityönä, joten hintaa tulee kohtuuttoman paljon. Arvioiden yksi työntekijä modifioi sarjatuotantomaisesti ehkä 10 samanlaista kylttiä päivässä. Modifioinnin hinta joudutaan siis nostamaan korkeaksi, joten se tuskin houkuttelee yrittäjää investointiin.

Paras keino tässä olisi antaa asian olla silleen, ja luottaa päämiehen tuotemerkkiin, ja panostukseen mainontaan.

## 8 NOPEAN TUOTEKEHITYKSEN APUVÄLINEITÄ

Nykyään markkinoille on päästävä mahdollisimman nopeasti. Ei tule kysymykseenkään alkaa suunnittelemaan yhtä erillistä piirilevyä prototyypin varten. Edellä mainitut koekytentäalustat ovat hyviä vaihtoehtoja, mutta jos tarvitaan mikrokontrolleri



ja muutama I/O, niin tällaisiin tapauksiin löytyy useita kaupallisia ratkaisuja. Seuraavassa on esitelty muutamia ratkaisuja markkinoiden suuresta joukosta.

## 8.1 4D Systems 3.2" QVGA Touch Screen LCD

Useat eri laitetoimittajat tuovat markkinoille erilaisia moduuleita, joihin sisältyy su-lautettu järjestelmä, ja jota voidaan sellaisenaan hyödyntää projektissa vaikka tilapäisenäkin ratkaisuna. Esimerkkinä kuviossa 29 on 4D Systems yhtiön 3,2" kosketusnäyttö. Kyseinen näyttömoduuli sisältää oman prosessorin (Picaso-GFX2), 5 pinnisen ohjelmointiliitännän, 8 x 16-bittisiä ajastimia, mikro SD muistikorttipaikan, audiovahvistimen, 13 GPIO porttia jne. Ohjelmointi tapahtuu helposti sarjaportin tai 5-pinnisen liitännän kautta.



KUVIO 29. 4D Systems yhtiön 3,2 tuumainen kosketusnäyttö.

## 8.2 Atmel AVR-pohjainen kehitysalusta

Ere Co Ltd valmistaa kuvion 30 mukaista Atmelin ATmega168 AVR-mikrokontrolleriin perustuvaa kehitysalustaa. 20 MHz:n kelloaajuudella, 23 GPIO-porttia, 10-bittinen 8 kanavainen AD-muunnin, ulkoinen 10-bit 2-kanavainen DA-muunnin LTC1661, paristovarmistettu reaaliaikakello, sarjaportit RS232 ja RS485, 32KB ulkoinen EEPROM 24LC256, ISP-ohjelmointi ja reset kytkin.



KUVIO 30. ATMega168 kehitysalusta (ERE 2010).

### 8.3 DMMEGA128A

DMMEGA128A (ks. kuvio 31) on Ethernet kytkentöihin soveltuva kehitysalusta. Esiohjelmoitu kiinteä ohjelmisto (firmware) sallii käyttäjän aloittaa evaluoinnin välittömästi ilman mitään konfigurointeja. Liitäntä Ethernet-kaapelilla tietokoneeseen riittää ja ohjelmointi suoritetaan tietokoneen selaimella.



KUVIO 31. Ethernet-liitännäinen ATMega128A alusta (Limetric 2010).

Alustalla on mukana myös liitännät kaikkiin ATmega128 AVR:n I/O-portteihin, RS-232-liitäntä, EEROM 32 kB 24LC256-SOIC, paristovarmennettu reaaliaikakello DS1307, Reset kytkin, 2 kytkintä, 2 lediä, 14-pinninen liitin 16x2 LCD-näytölle, SD/MMC-liitin, Ethernet (RTL8019AS) 10Base-T –liitin, I2C-liitin yms.

## 9 USEAN SULAUTETYN JÄRJESTELMÄN KEHITYSALUSTA

Useissa laiteympäristöissä on olemassa lukuisia eri sulautettuja järjestelmiä liitettynä yhteen jollakin soveltuvalla väylällä. Väylän rakenteella ei sinällään ole merkitystä muutoin kuin luotettavuuden kannalta.

Tällaisia samassa ympäristössä olevia sulautettuja laiteratkaisuja kehitettäessä on niitä pystyttävä kokeilemaan samassa tilassa yhdessä mm. tuotekehityksen-, tutkimuksen- sekä ohjelmistohenkilöstön kanssa.

Tarve usean sulautetun järjestelmän yhteenliittämiseksi tuli hankitun robottikäden (kuvio 32) mukana. Siinä on viisi kahteen suuntaan liikkuvaa akselia eli robottikäsi on ns. viidennen vapausasteen robottikäsi.



KUVIO 32. Viidennen vapausasteen robottikäsi (manipulaattori)

Käytännössä kyseessä on manipulaattori, koska akselin (nivelen) paikkaa ei tiedetä. Tarkoituksena oli tehdä manipulaattorista oikea robottikäsi lisäämällä siihen akselin paikanmäärityslaiteet (potentiometri tai pulssilaskuri). Samoin robottikäsi-  
ren tarraimen (akseli 5) oli tarkoitus laittaa voima-anturi, jolloin tiedetään, että  
kuinka suurella voimalla tarrain kohdetta puristaa.

Kyseessä oli kokeilu sinällään muovisella manipulaattorilla, mutta kuitenkin tarpeeksi  
tehokkaalla siirtelemään pieniä esineitä, jolloin voitaisiin tutkia esim. ohjelmiston  
toimintaa yhdessä useamman mikrokontrollerin kanssa.

Varsinkin, kun kehitetään hajautettuja sulautettuja laitejärjestelmiä, tulee kyseeseen  
testata samassa laboratoriossa laitteiden toimivuutta. Tällöin jää pois siirrettävän  
datan (käytettävästä väylästä riippumatta) virheen vaikutus kehiteltävään järjestel-  
mään. Samalla voidaan testata elektronisen ja ohjelmallisen kokonaisuuden toimin-  
taa.

Yksi tärkeimmistä asioista elektroniikan tuotekehityksessä on virheiden eliminointi.  
Virheelliset kytkennät, näennäiset kontaktit johtimien välillä, irtoilevat osat, painavat  
kaapelit aiheuttavat harmaita hiuksia itse tuotekehittäjälle ja kuluttavat kallista tuo-  
tekehitysaikaa. Ne aiheuttavat virheellistä informaatiota ja toimiva konsepti voikin  
näyttää prototyypinä toimimattomalta.

## 9.1 Eräs malli tuotekehitysalustasta

Pulmallisinta tuotekehityksen tapauksessa lienee erilaisten alustojen, näyttöjen, me-  
kaanisten laitteiden yms. yhtyeenliittäminen. Tämä on pyritty ottamaan huomioon  
alustarakennetta suunniteltaessa.

Idea tällaisen tuotekehitys- ja tutkimusalustan kehittämiseksi on lähtenyt tekijän tar-  
peesta kokeilla eri kytkentöjä ilman vaivalloista mekaanista kytkemistä eri kompo-  
nenttien, ohjelmointialustojen yms. kanssa. Syntyi orastava idea kaiken yhdistämises-  
tä yhteen alustarakenteeseen.

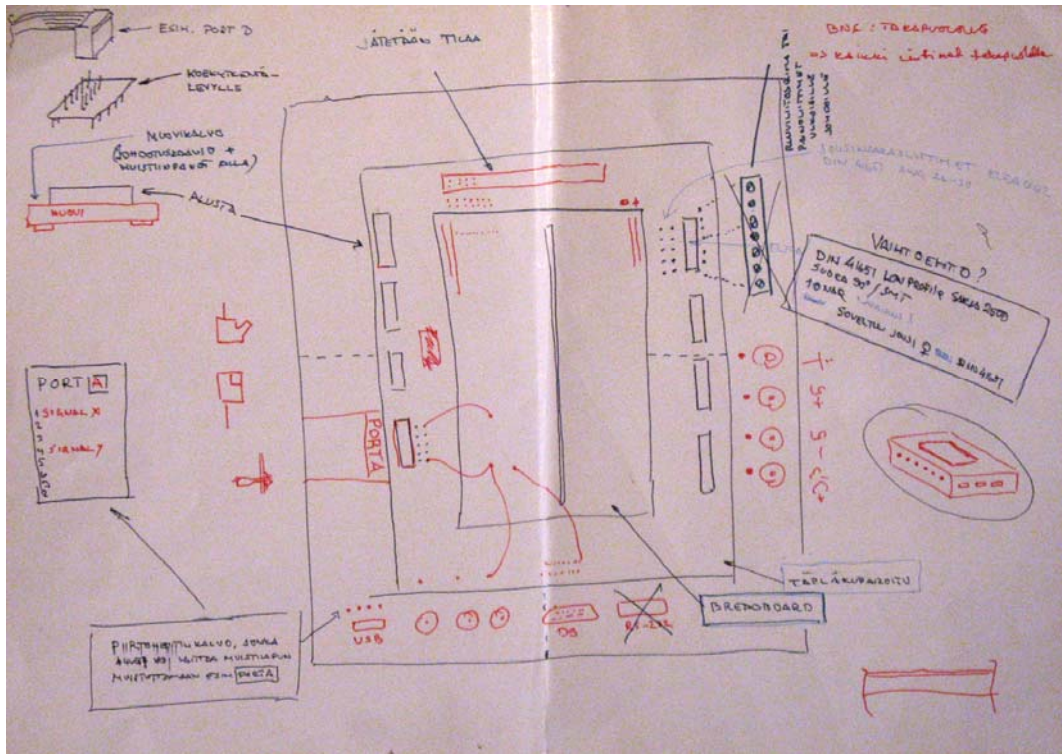
Tarkoituksena ei ollut rakentaa suurta alustaa, jossa olisi kaikki mahdolliset liittännät, vaan pitäisi olla mahdollisuus muokata sitä esimerkiksi purkamalla jotkin erikoisliittimet pois ja korvata ne toisilla. Näin alusta voisi elää projektien mukana.

## 9.2 Konsepti

Tavoitteena tässä tuotekehitysalustassa on nopeuttaa mikrokontrolleripohjaisen tuotteen kehitystyötä. Se mahdollistaa myös useamman ohjelmointialusta yhteenliittämisen. Seuraavassa luetellaan tuotekehitysalustalta yleisesti vaadittavia ominaisuuksia.

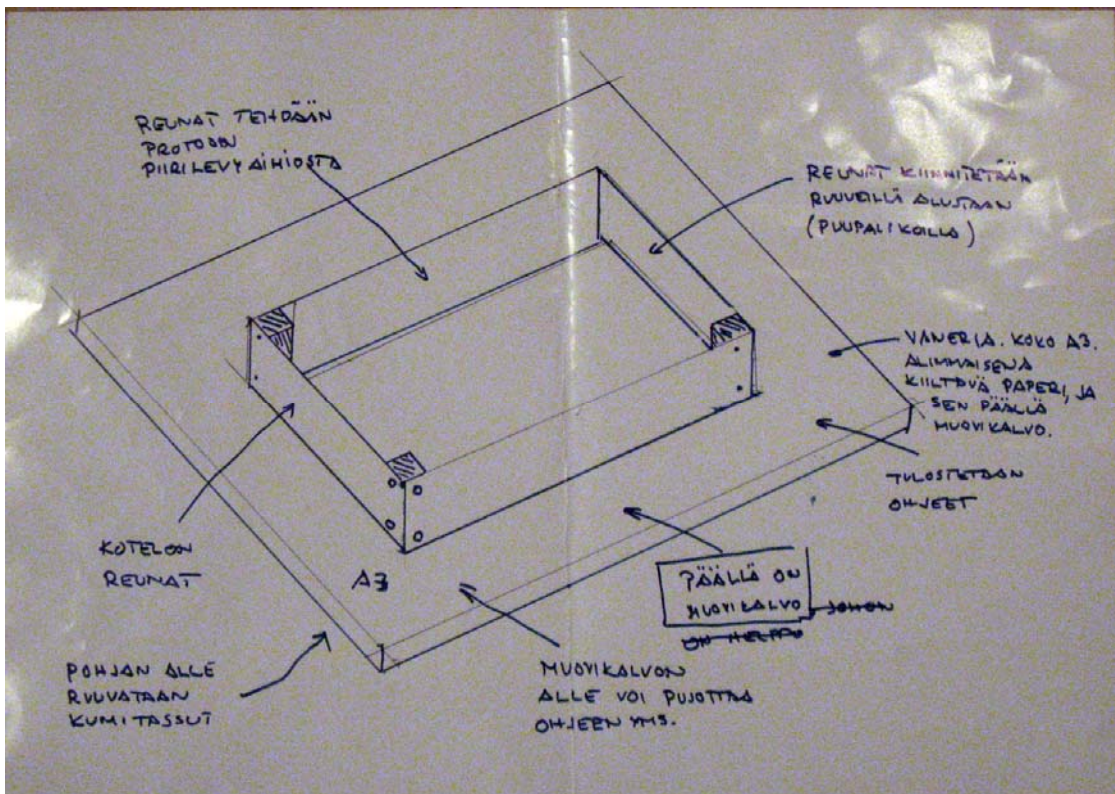
- alustan liittäntöjen dokumentointi pitää olla helppoa
- alusta ei saa liukua tai liikkua siihen komponentteja kiinnitettäessä, mittausta suoritettaessa tai sitä koekäytettäessä
- alustan pitää olla muokattavissa kullekin projektille sopivaksi
- alustaan pitää pystyä liittämään diskreettejä komponentteja helposti
- alustan pitää olla kiinteä, ja helposti johdotettavissa
- mitään mittalaitteita, teholähteitä yms. ei alustaan kytketä kiinteästi, koska kytkennät vaihtelevat. Mahdollisuus liittää erilaisia jännitelähteitä tms. liittimillä annetaan
- eri komponenttien erilaiset käyttöjännitteet otetaan huomioon eli varataan tarpeellinen määrä liittäntöjä tätä varten
- mittalaitteiden, virtalähteiden yms. kaapelit eivät saa kuormittaa suoraan mitattavaa komponenttia, vaan kuormitus kohdistuu kiinteään alustaan, jossa on sopivasti painoa ja luistamattomat kumiset jalat
- alustaan asennetaan yleisimmät käytetyt liittimet valmiiksi (DB-9, USB, BNC, RS-232 jne.)
- otetaan huomioon erilaisten kehitysalustojen liitettävyyden
- johdotuksien ristikytkentä pitää olla mahdollista.

Laitteesta laadittiin layout paperille ja hahmoteltiin kokonaiskuvaa (ks. kuvat 33-34).



KUVIO 33. Konseptivaiheen layout-kuva ideoineen voi olla sekava

Kun varsinainen liitinpinta oli alustavasti suunniteltu, niin sitten siirryttiin kotelointiin. Kuviossa 34 on hahmotelmaa koteloinniksi.

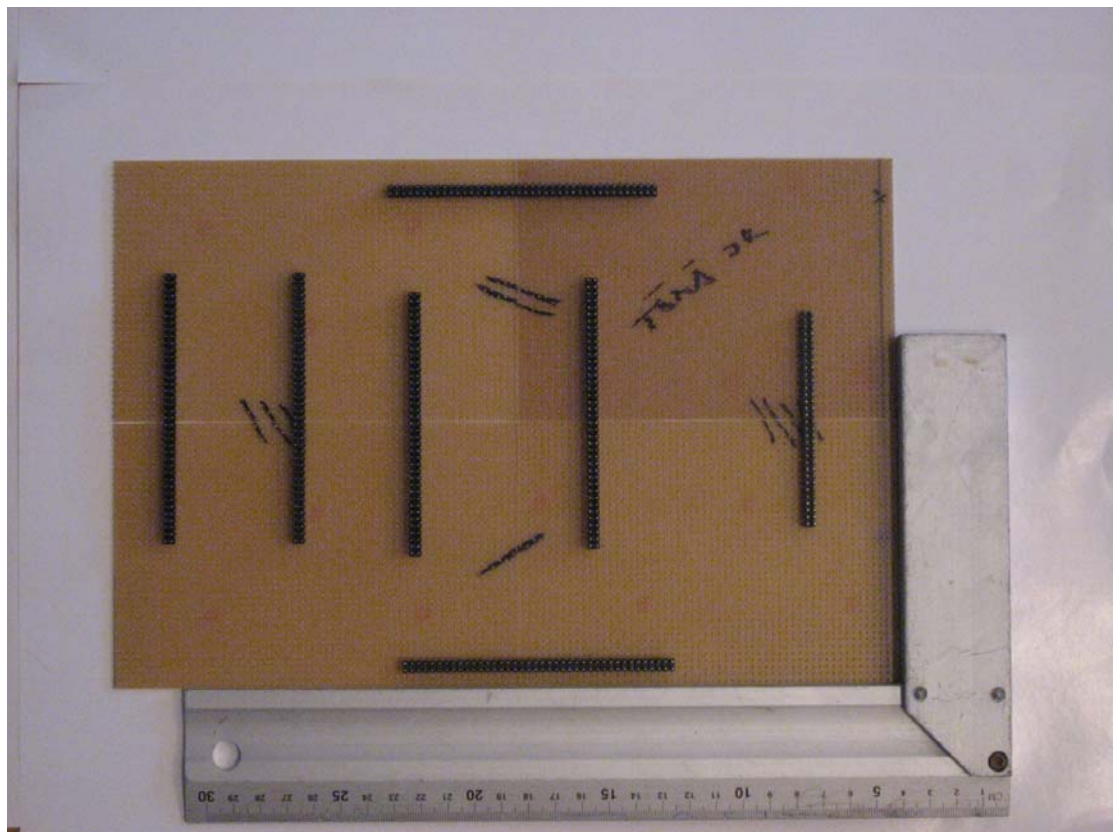


KUVIO 34. Kehitysalustan koteloinnin ideointia

### 9.3 Prototyyppi

Tästä laitteesta tehtiin prototyyppi, jossa on jo näkyvissä osa tulevaan insinöörimalliin liittyvät toiminnot. Tuotekehitysalustasta haluttiin A4 kokoinen, jotta liittimet voitiin yksilöidä niiden alle sijoitetulle paperille.

Alustan prototyypin materiaaliksi valittiin täpläkuparoitu koekytkentälevy. Koska A4-kokoista täpläkuparoitua ei ollut kenenkään komponenttitoimittajan valikoimissa, niin kytkentäpinta tehtiin neljästä osasta (ks. kuvio 35). Levyjen reunoilla oli turhaa marginaalia, joka jouduttiin hiomaan pois jotta 2,54 mm:n rasterijako pysyi samana joka suuntaan. Asia varmistettiin pitkillä piikkirimoilla. Varsinaiseen A4-kokoon ei päästy, vaan se jäi hieman vajaaksi. Onneksi, sillä tulostimen tulostusaluekaan ei ole juuri tuo A4 koko (210 x 297 mm), vaan vähemmän.



KUVIO 35. Kehitysalusta kytkentäpinnan suoruuden ja rasterijaon tarkistaminen

Käytettävä kotelo oli konseptin mukainen ruuvikiinnitteinen kehikko, joka oli tehty piirilevyaihiosta aluksi puupalikoilla yhteen ruuvattuna.

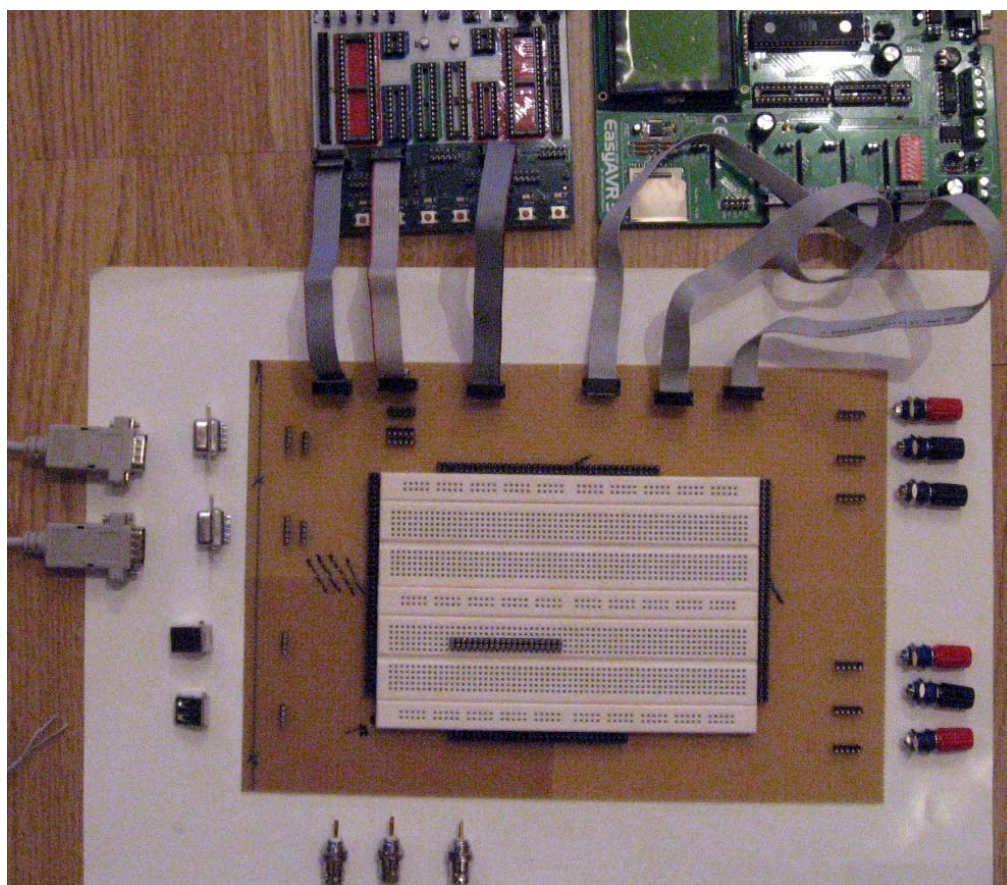
Alustaan suunniteltiin seuraavat liittimet lattakaapeliliittimien lisäksi:

- 4 kpl banaaniliitintä kahta yksipuoleista virtalähdettä varten
- 3 kpl banaaniliitintä yhtä kaksipuolista virtalähdettä varten
- 2 kpl D9-liitintä
- 4 kpl BNC-liitintä
- 2 kpl USB-liitintä, mallit A ja B.

### 9.3.1 Alustava mallinnus

Kytkentään tulevat osat hahmoteltiin kuvion 36 esitetyllä tavalla. Alustana oli A3-kokoinen kartonki, joka on pohjalevyn kokoinen.

Kytkentälevyn päälle, sivuille sekä pohja-alustan päälle tulevat A3- ja A4 kokoiset ohjemerkinnet teetetään paikallisessa yrityksessä kiiltävälle ja kosteutta kestäväälle materiaalille.

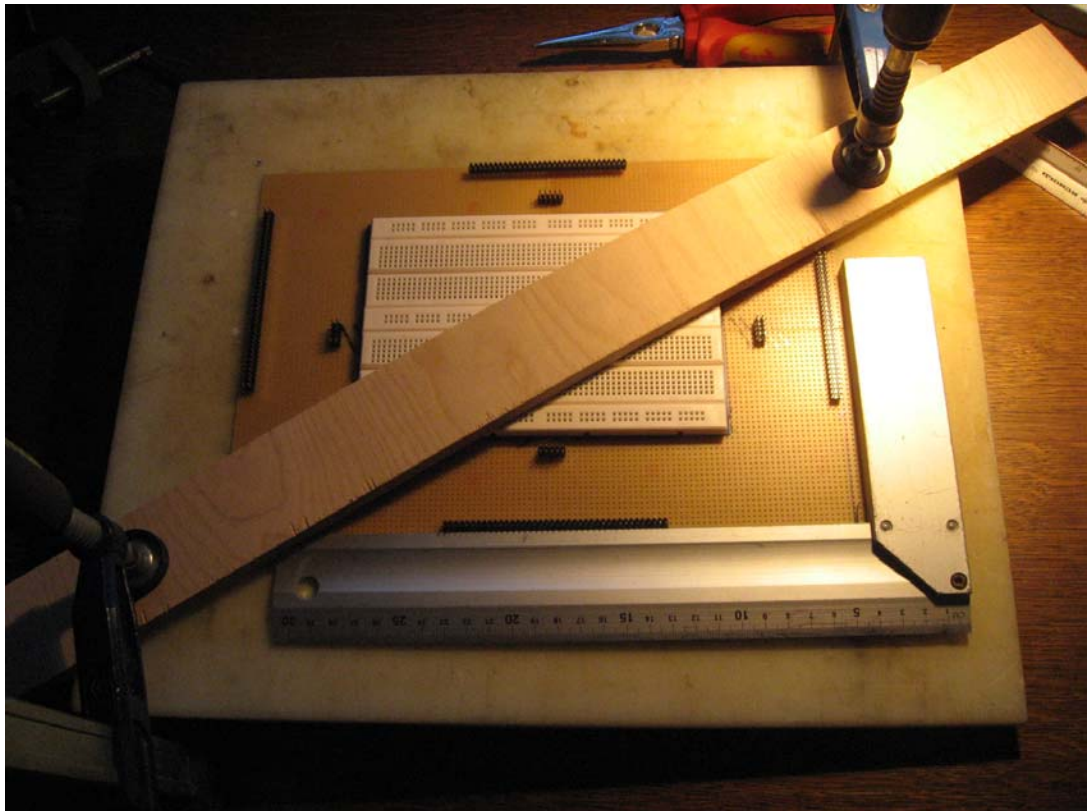


KUVIO 36. Tuotekehitysalusta ja sen osien osasijoittelun sommittelua



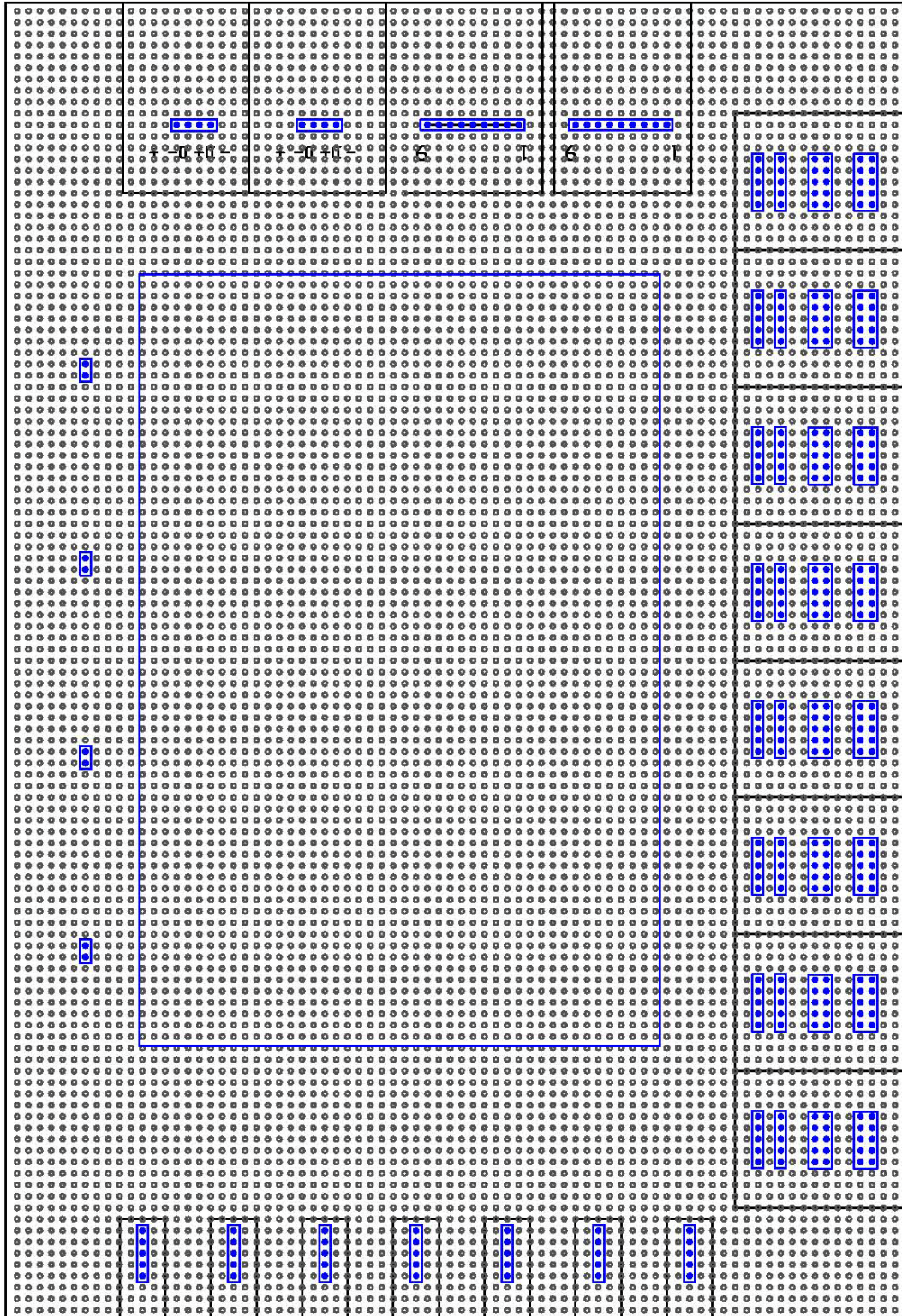
Sommittelu olisi voitu mallintaa myös 3D-ohjelmalla (Inventor, Catia yms.), mutta näin pienen projektin ollessa kyseessä aikaa olisi kulunut paljon, ja siitä saatava hyöty olisi ollut olematon. Samoin käytettävyydestä saatiin jo tässä vaiheessa jonkinlainen käsitys.

Sommitteluvaiheen jälkeen siirryttiin käytäntöön. Liitettiin neljä kytkentäpinnan palkkia yhteen. Kuvassa 37 on koekytkentälevyn alle liimattu muovilevy, jonka tarkoituksena on jäykistää pinnan rakennetta. Muoviosa on kytkentäalustan kokoinen eli se peittää vain tarpeettoman osan. Osa liimattiin kontaktiliimalla ja puristettiin kuivumaan kuvion osoittamalla tavalla. Rasterijakoa ja suorakulmaisuutta seurattiin koko prosessin ajan.



KUVIO 37. Kytkentälevyjen liitosten vahvistaminen

Kytkentälevystä piirrettiin myös Autocad-malli (ks. kuvio 38). Siihen sommiteltiin liittimien paikat, jotta koekytkentäalusta oikea paikka saataisiin selville. Ohjelmointi- ja testialustoilta tulevat kaapelit piikki- ja holkkirimoineen veivät enemmän tilaa kuin vastaavat jännitelähteiden pelkät holkkirimat. Sen vuoksi koekytkentäalusta ei ole keskellä alustaa. Tämä on makuasia, että kuinka suuri merkitys symmetrialle annetaan.

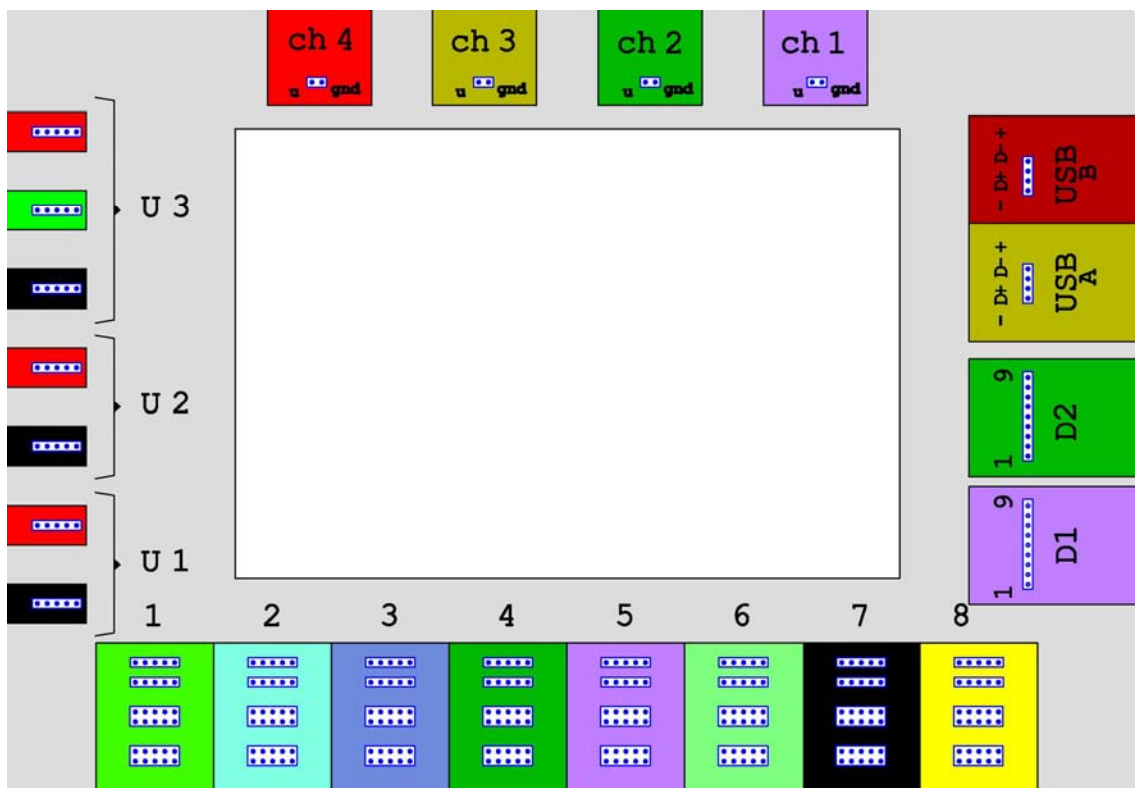


KUVIO 38. Testialustan osasijoittelua AutoCad-ohjelmalla suunniteltuna

### 9.3.2 Liitännöjen merkintä alustarakenteeseen

Aiemmin mainittua AutoCad kuvaa hyödynnettiin laitteen viimeistelyssä, eli rakenteeseen kuuluvien liittinten merkinnöissä. Tarkoituksena oli, että alustan pinta, ja siinä olevat liittimet merkitään, samoin kuin koteloinnin sivuilla olevat liittimetkin. Varsinainen A3-kokoinen alusta, jossa kehitysalusta on kiinni, sisältää paitsi informaatiota liittimistä, niin sen päällä on myös läpinäkyvä kalvo, jonka alle voi pujottaa käytetystä liittimestä tarvittavaa tietoa. Kehitysalustan kotelo ei tule keskelle alustaa, vaan sen etureunaan jätetään enemmän tilaa, jotta 10-napaisten lattakaapeleiden dokumentaatioille jäisi enemmän tilaa.

Värisuunnitteluun kiinnitettiin erityistä huomiota (ks. kuvio 39). Se ei saisi olla liian läpitunkevaa, jotta se ei olisi itseisarvo. Sen tuli olla selkeä ja opastava. Tässä onnistuttiinkin kohtalaisesti, vaikka ammattilaisen käyttö insinöörimalliin olisi suotavaa. Esimerkiksi web-sivujen suunnitteluun erikoistunut henkilö, joka joutuu perehtymään paitsi käytettävyyteen, niin myös visualisointiin.



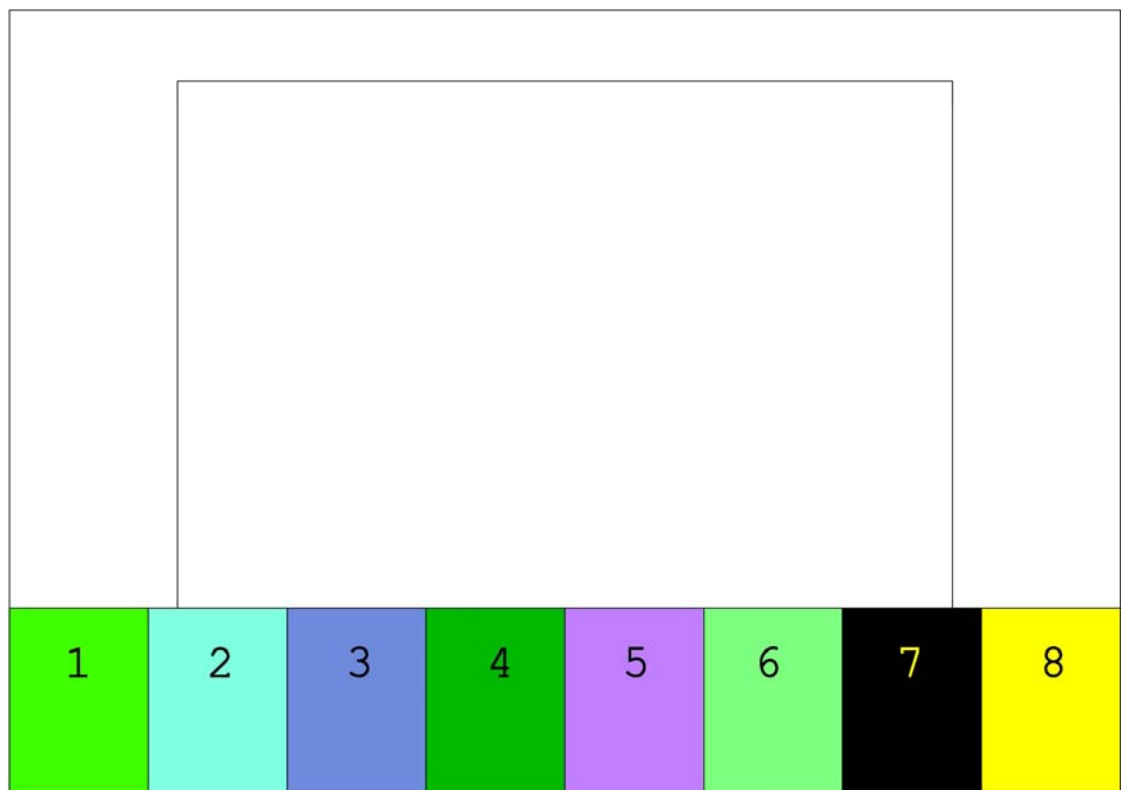
KUVIO 39. Kehitysalustan pinta merkintöineen ja väreineen

### 9.3.3 Kokoonpano

#### Kehitysalustan pohja

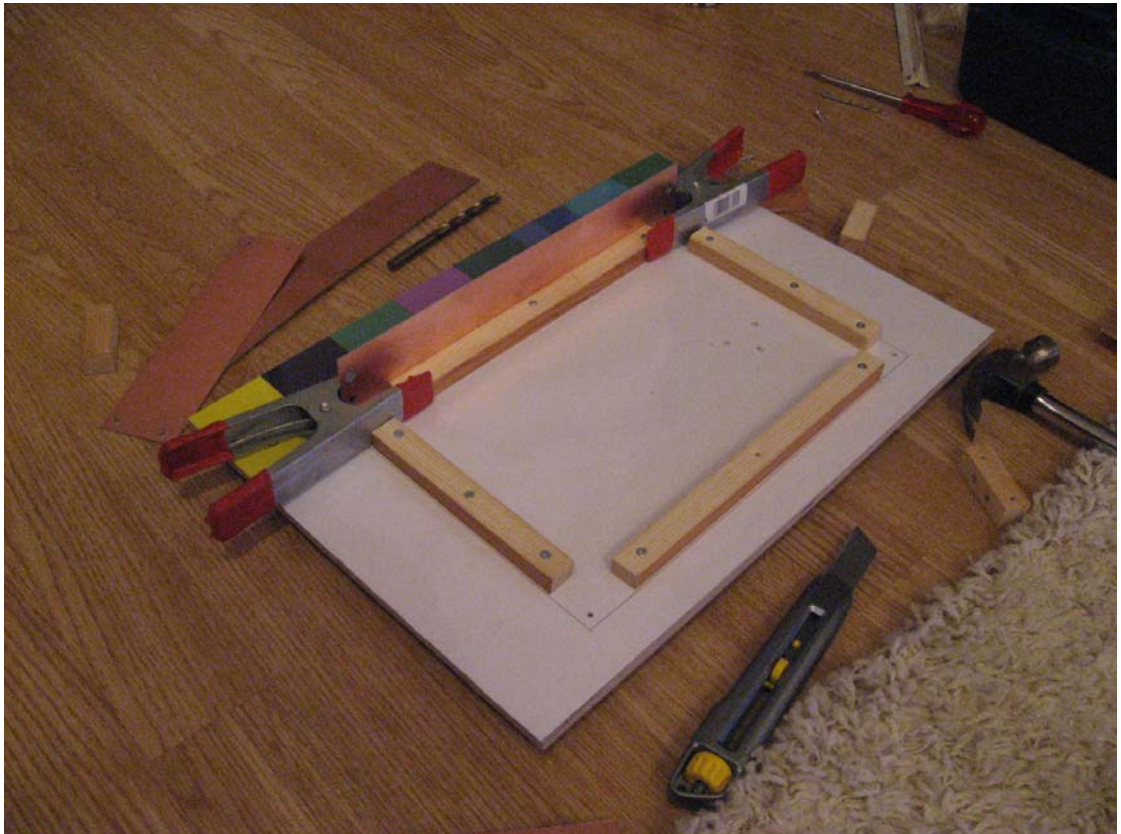
Kehitysalusta pohjalevy on tehty 10 mm:n vanerista ja se on A3-kokoinen. Siihen ruuvattiin kumijalat. Seuraavaksi levyn päälle liimattiin kuviossa 40 esitetty samankokoinen tuloste.

Kuten kuvioista 40 näkyy, on kehitysalustan paikka jo merkitty valmiiksi. Kuviossa olevien rajojen mukaan ruuvattiin reunakiinnikkeet ottaen huomioon reunalevyn ainevahvuus. Samoin ennen kiinnikkeiden ruuvaamista paikalleen, asetettiin myös muovikalvo pintamateriaalin päälle.



KUVIO 40. Pohjalevyn pinta

Kuviossa 41 näkyy selkeästi pohjalevyyn kiinnitetyt koteloinnin tukirakenteet. Suuruus on tarkastettu. Pohjan pintamateriaali ja muovikalvo on asennettu paikoilleen. Kiinnitys tapahtuu pienillä ruuveilla ennen pinnan liimaamista paikoilleen.



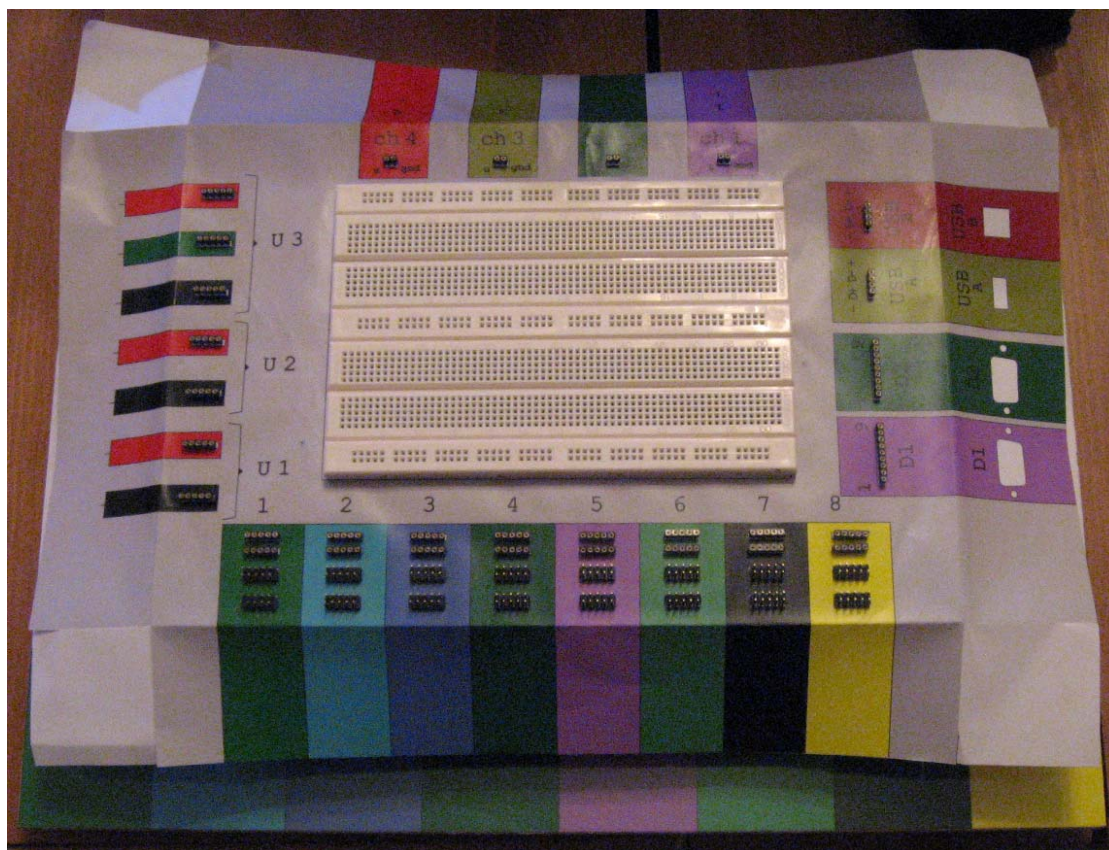
KUVIO 41. Pohjalevyn kiinnityksien asennusta

### **Kehitysalustan pinta**

Kokoonpanon alussa tarkistettiin paikallisen tulostuspalveluyrityksen pintapaperin rasterijako, joka piti paikkansa – onneksi. Tulostus AutoCad-ohjelmasta 1:1 voi olla hankalaa, kun sen joutuu muuttamaan pdf-muotoiseksi. Heittoa tuli n, ¼ mm verran 300 mm:n matkalla.

Piikki- sekä holkkirimojen reikien paikat keskitettiin, ja rei'itys suoritettiin piirto-puikolla ensin yhdestä paikasta jokaisessa neljästä reunasta. Ensimmäisen liittimen juottamisen jälkeen tarkistettiin reikien paikat valopöydällä. Näin saatiin koteloinnin ohjekartonki suoristettua

Koekytentäalusta reikäjako oli varmistettu jo aikaisemmin, ja se oli merkitty pintatuloesteeseen. Reiät porattiin, ja alusta asennettiin paikalleen. Heittoa mitoissa tuli väkisinkin, koska reikälevy ohjasi poran paikan mieluummin valmiin reiän kohdalle. Kuviossa 42 on puolivalmis alustarakenne liittimiseen odottamassa reunoille tulevia BNC- ja banaani- ja USB-liittimiä.

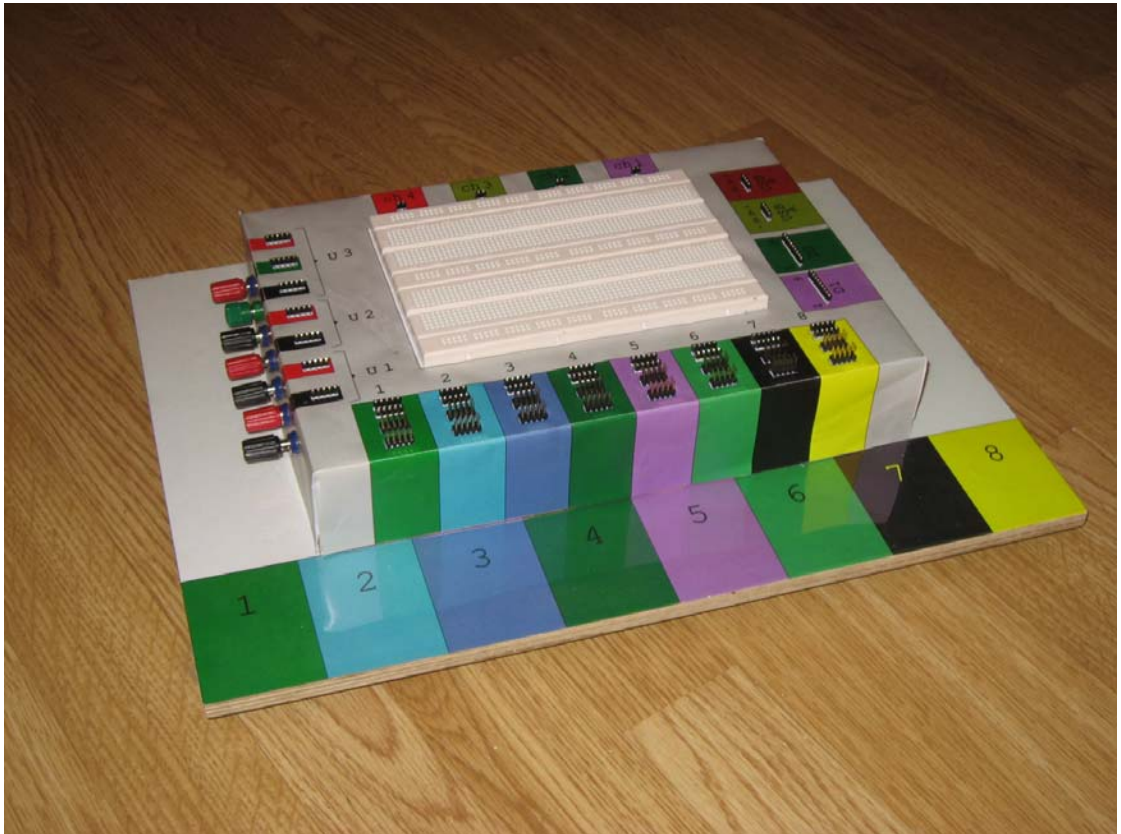


KUVIO 42. Alustan pintarakenne puolivalmiina

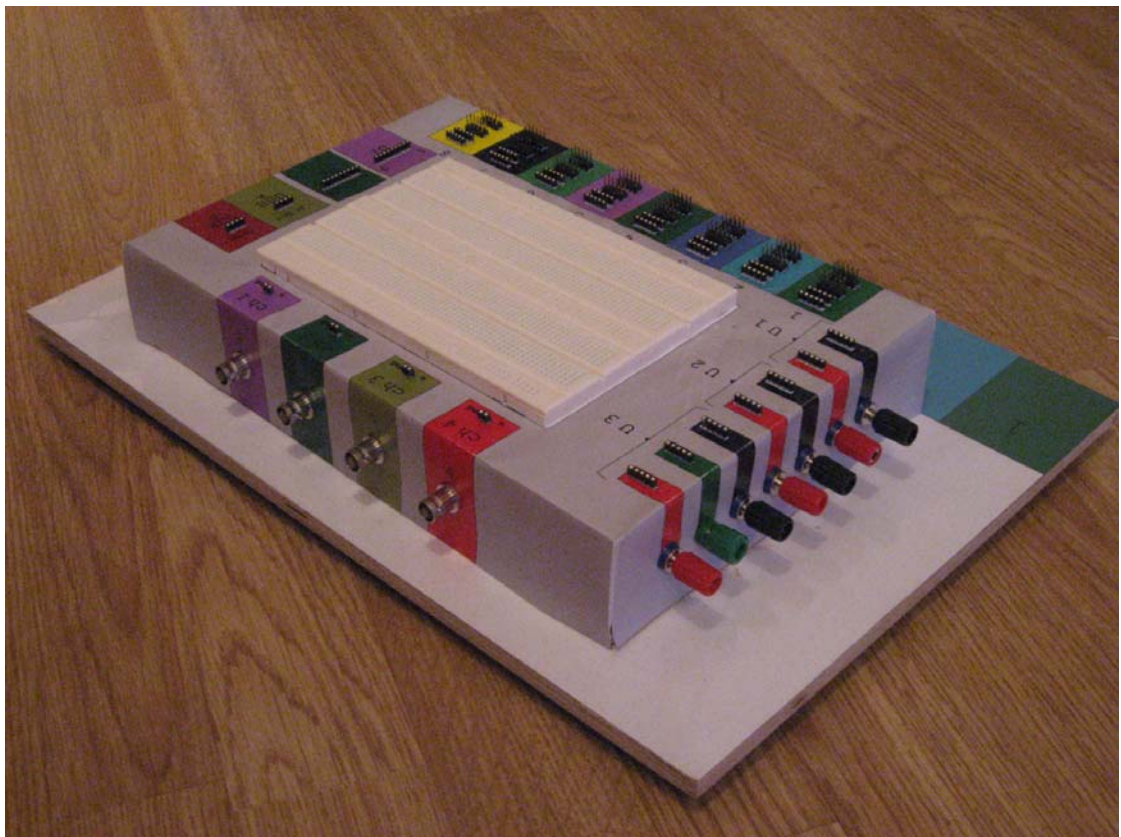
### Liittimien juottaminen

Rima- ja holkki liittimien juottaminen samaan linjaan oli tarkkuutta vaativaa. Kytkentä suoritettiin tinatulla kuparilangalla. Kuviossa 42 nämä liittimet ovat etualalla ja ovat numeroitu kahdeksaan saakka sekä merkitty eri väreillä. Alustassa nämä varsinaiset dataliittimet on kytketty yhteen eli numerolla 1 merkityt kaikki liittimet ovat samassa "linjassa", eli läpivienti ja ristikytkentä ovat mahdollista. Alustan kytkentäkaavio on liitteessä 6.

Käytettävät mittaustekniikat on otettava huomioon; Jälkeenpäin huomattiin, että BNC-liittimien yhteinen maa ei ole käytön kannalta hyvä asia. BNC-liittimiähän käytetään myös AF- ja RF-signaalien kuljettamiseen, samoin kuin differentiaalisen oskilloskoopin mittapään liittämiseenkin. Seuraavan sivun kuvioissa on kuvattuna valmis prototyyppi.



KUVIO 43. Valmis alusta etuviistosta nähtynä



KUVIO 44. Alusta takapuolen sekä sivun liittimiä

### 9.3.4 Lopputulos

Alustan prototyypin eteneminen prototyyppiä onnistui kohtuullisen hyvin. 3D-mallinnuksesta olisi ollut paljon hyötyä, varsinkin kun alustaa peittävä kiiltopaperi merkintöineen piti liimata paikalleen. Samalla jäi suuri määrä kokoonpanoon ja purkamiseen liittyviä ruuveja piiloon. Laitteesta tuli siis kertakäyttöinen, kuten usein prototyyppi onkin. 3D-mallituksen ja sen kokoonpanokuvan tekemisellä olisi tämä haittapuoli tullut kierrettyä. Prototyypin myöhempi käyttö tulee varmasti muuttamaan sen ulkonäköä, ja sähköisiä ominaisuuksia.

### 9.3.5 Esimerkki tuotekehitysalustan käytöstä

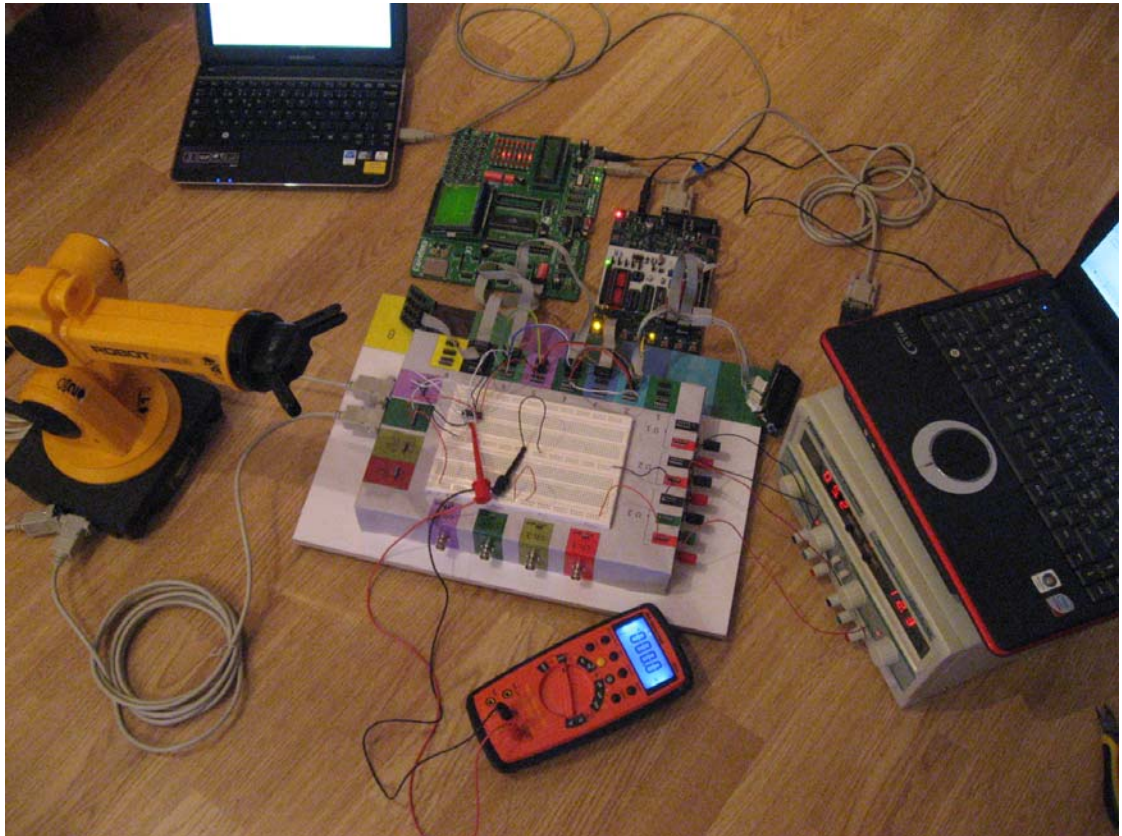
Seuraavassa kuvataan kuvitteellinen tuotekehitys- ja tutkimusalustan käyttöä todellisessa tilanteessa. Siinä on tarkoitus kehittää robottikäsiarven toimintaa sen liikeratoja optimoimalla. Samalla tutkitaan sen energiankulutuksen minimoimista liikeratoja muuttamalla.

Robottikäsiarven ohjataan toisella mikrokontrollerilla, ja toisella tutkitaan käsiarven moottoreiden tehoa sekä yksittäin että yhdessä. Lisäksi yksistä mikrokontrollereista välittää tätä tietoa tietokoneelle, joka piirtää reaaliaikaista grafiikkaa paitsi virrankulutuksesta, niin myös liikeradoista. Tartunnassa on myös mukana voima-anturi, jolloin voidaan helposti kontrolloida voiman käyttöä.

Syy monen mikrokontrollerin käyttöön piilee niiden ohjelmistoissa; on helpompi muuttaa yhden mikrokontrollerin ohjelmistoa, jolloin vältetään turhalta odottelulta. Robottikäsiarven muu tutkimus voi jatkua, vaikka virtaa tarkkailtavan mikrokontrollerin kaksoiskappaletta ohjelmoidaan uudelleen.

Kuviossa 45 seuraavalla sivulla valottaa esimerkillisesti hieman monimutkaisempaa tuotekehitysalustan hyötykäyttöä.





KUVIO 45. Tuotekehitysalusta ensimmäisessä koekäytössä

## 9.4 Insinöörimalli

Tämän laitteen insinöörimallista on otettava kerättävä kokemuksia prototyypin käytöstä. On tarkoituksenmukaista pitää lähistöllä kansiota, jossa on kehitysehdotuksia ja ideoita.

Tämän kaltainen tuotekehitysalusta voidaan tehdä johonkin erikoistarkoitukseen esimerkiksi suuremmille taajuuksille tai jännitteille, jolloin se joudutaan ottamaan huomioon suunnittelussa.

Insinöörimallin suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota prototyypistä saatuihin kokemuksiin, varsinkin käytettävyyteen ja opastavaan värimäärittelyyn. Kuten aiemmin mainittiin, niin väreihin ja käytettävyyteen tulee kiinnittää suurta huomiota. Teolliseen muotoiluun tai web-suunnitteluun erikoistunut henkilö antaa varmasti apua lopullisen insinöörimallin suunnitteluun.

Prototyyppi rakennettiin koekytkentälevyistä, mutta insinöörimallin tulee olla paksummasta piirilevystä. Piirilevyllä päästään myös eroon erittäin vaivalloisesta johdotuksesta.

Mekaanisen rakenteen tulee olla kestävä. Moduulirakenteinen alusta voisi olla eräs ratkaisu. Siihen voisi projektikohtaisesti muuttaa alustan rakennetta siirryttäessä esimerkiksi pienien sähkömoottorien (esimerkin robottikäsi) ohjauksesta verkkovirtapiirien puolijohdereleiden ohjaukseen.

Maadoitukseen kiinnittää erityistä huomiota. Yhtenäisessä alustarakenteessa voi olla tarve käyttää ns. kelluvaa maapotentiaalia, jolloin eri maapotentiaalien ero saattaa olla useita kymmeniä voltteja esim. servomoottorikytkennöissä. Toisinaan taas, mikäli halutaan yhteinen maapotentiaali, niin se tehdään siten, että se alkaa samasta pisteestä.

## **9.5 Nollasarja sekä valmis tuote**

Tämä tuote on yksittäinen havainnollistava esimerkki mahdollisesta nopean tuotekehityksen alustarakenteesta. Riippuen laitteen valmistajan toimialasta alusta saa eri muotoja.

Tämä kyseinen tuotekehitysalusta syntyi tarpeesta yhdistää monia erilaisia ohjelmointialustoja luotettavasti ja tämä malli on tarkoitettu Jyväskylän ammattikorkeakoulun mikrokontrolleriluokan oppilaitoskäyttöön. Tuotteesta ei ole tarkoitus valmistaa markkinoille meneviä malleja.

## 10 POHDINTA

Tie innovaatiosta tuotekehitykseen alkuun on pidettävä lyhyenä. Mahdollisuus saada tuote markkinoille kilpailijoita nopeammin on tärkeää. Aika on suoranaisesti rahaa. Tuotekehitykseen sijoitetut rahat on mahdollista saada nopeasti takaisin.

Vaikka tuotekehitys on kallista ja sen ulkoistaminen houkuttelevaa, kannattaa harkita tarkkaan oman tuotekehitystiimin perustaminen. Eräs mahdollisuus turvalliseen ulkoisen tuotekehityksen ostamiseen on hajautettu malli, jossa laitteen eri toiminnot hajautetaan eri tuotekehitysyriyten alihankkijoille.

Osaavat työntekijät ovat yrityksen voimavara, jota kannattaa hyödyntää. Muotoilun, markkinoinnin yms. tuotekehitykseen liittyvien toimintojen ostaminen jo valmiille ja patenttisuojatulle tuotteelle on turvallista.

Idean salassapitoon on kiinnitettävä erittäin suurta huomiota. Oman tuotekehitystiimin ja avainhenkilöstön palkkaamisessa on kiinnitettävä suurta huomiota. Pelkkä salassapitosopimus ei riitä, vaan on turvauduttava viranomaisen lausuntoon henkilöitä avainpaikoille ml. tuotekehitys valittaessa. Myös jo yrityksessä kauemmin aikaa olleet henkilöt on syytä tarkistaa tehtävien vaihtuessa kriittisempiin tehtäviin.

Työn tuloksena syntynyt alusta, jolla voidaan yhdistää useita sulautettuja järjestelmiä yhteen, on osoittautunut jo kokeiluvaiheessa toimivaksi. Siinä tuotteen kehittäjät voivat tutkia laitteiston eri toimintoja reaaliajassa ja havaita virheet ja puutteet hyvissä ajoin ennen insinöörimallia.

Tuotteen tuotekehitys- ja tutkimustoiminta nopeutuu ja saavutettava hyöty on suoraan nähtävissä aikataulussa ja – markkinoille pääsyssä.

## LÄHTEET

4D Systems. 2010. Australialainen tuotekehitysyhtiö, joka on erikoistunut älykkäisiin näyttöihin. Viitattu 24.10.2010.

[http://www.4dsystems.com.au/downloads/4DGL-Display-Modules/uLCD-32-PT\(GFX\)/Docs/uLCD-32PT-GFX-DS-rev3.pdf](http://www.4dsystems.com.au/downloads/4DGL-Display-Modules/uLCD-32-PT(GFX)/Docs/uLCD-32PT-GFX-DS-rev3.pdf)

Aalto, T. 2010. Tuotteen käytönaikaisen asiakastarvetiedon hyödyntäminen tuotekehitysprojeekteissa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, teknistaloudellinen tiedekunta, tuotantotalouden osasto. Viitattu 26.10.2010.

<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/63364/nbnfi-fe201007282246.pdf?sequence=3>

Ala-Mursula, J. 1990. Elektroniikan tuotekehitys- ja tuotantoalihankintaprojektit Kaukoidästä. Diplomityö. Oulun yliopisto, Sähkötekniikan osasto

Atmel. 2010a. Viitattu 18.9.2010.

[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc4064.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc4064.pdf).

Atmel. 2010b. Viitattu 21.11.2010.

[http://www.atmel.com/dyn/products/tools\\_card.asp?tool\\_id=2735](http://www.atmel.com/dyn/products/tools_card.asp?tool_id=2735)

Atmel. 2010c. Viitattu 21.11.2010.

[http://www.atmel.com/dyn/products/tools\\_card.asp?tool\\_id=4254](http://www.atmel.com/dyn/products/tools_card.asp?tool_id=4254)

Atmel. 2010d. Viitattu 21.11.2010.

[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc0838.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc0838.pdf)

Avrportal. 2010. Atmel AVR-piirien harrastelijoille suunnattu sivusto. Viitattu 28.10.2010. <http://www.avrportal.com/>

Electronics-diy. 2010. Elektroniikan harrastajien sivusto. Viitattu 18.9.2010.

[http://electronics-diy.com/avr\\_programmer.php](http://electronics-diy.com/avr_programmer.php).

Elfa tuoteluettelo. 2010.

ERE. 2010. Ere Co Ltd on Taiwanilainen elektroniikka-alan laitevalmistaja. Viitattu 17.11.2010.

[http://www.ereshop.com/shop/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=145\\_66&products\\_id=183](http://www.ereshop.com/shop/index.php?main_page=product_info&cPath=145_66&products_id=183)

Gizmodo. 2008. Teknisiä erikoisuuksia esittelevä sivusto. Viitattu 25.9.2010.

<http://gizmodo.com/354849/android-hands+on-video-its-fast-its-still-not-there>

Hakovirta, M. 2004. Haastattelu Tekniikka & Talous lehdessä. Viitattu 26.10.2010.

<http://www.tekniikkatalous.fi/metalli/article38330.ece>

HS. 2010. Helsingin Sanomat. 2010. Viitattu 16.11.2010.

<http://www.hs.fi/ulkomaat/artikkeli/Mars-m%C3%B6nkij%C3%A4+Spirit+sutii+paikallaan+/1135251916952>

I2C. 2010. I2C-Bus kattojärjestön sivusto. Viitattu 17.11.2010. <http://www.i2c-bus.org/>

Jaakohuhta, H. 1999. Suuri tietotekniikan tietosanakirja. 4. uudistettu painos. Helsinki: Atk-kustannus Oy

Jokinen, T. 1987. Tuotekehitys. 4 p. tarkastettu ja korjattu laitos. Helsinki: Valopaino Oy.

Limetric. 2010. Ruotsalainen elektroniikan jälleenmyyjä. Viitattu 17.11.2010.

[http://www.limetric.com/shop/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=3&products\\_id=29](http://www.limetric.com/shop/index.php?main_page=product_info&cPath=3&products_id=29)

MikroElektronika. 2010. Eriolaisten ohjelmoitavien mikrokontrollereiden ohjelmointialustojen ja ohjelmien valmistaja ja markkinoija. Viitattu 16.11.2010.

<http://www.mikroe.com/eng/home/index/>

OSKE. 2010. Hyvinvoinnin osaamisklusteri on kansallinen kehitysalusta, jonka tavoitteena on hyvinvointisektorin uudistaminen innovatiivisten liiketoimintamallien ja palvelukonseptien sekä uuden teknologian avulla. Viitattu 16.11.2010.

<http://www.hyvinvointiklusteri.fi/fi/tuotteistaminen/>

PDMA. 2010. Viitattu 26.10.2010. [www.pdma.org](http://www.pdma.org)

Plugged In. 2010. Tekniikan kehitystä seuraava ohjelmistotalo. Viitattu 25.9.2010.

<http://www.pluggd.in/preferred-mobile-app-development-platform-297/>

RS tuoteluettelo. 2010.

Sisäkorvaistute. 2010. Sisäkorvaistutteen kertova sivusto. Viitattu 16.11.2010.

[http://www.sisakorvaistute.fi/sivu.php?artikkeli\\_id=1](http://www.sisakorvaistute.fi/sivu.php?artikkeli_id=1)

Sun Equipment Corporation. Laittevalmistaja teollisuudelle ja opetuskäyttöön. Viitattu 16.9.2010.

<http://www.sunequipco.com/edu%20hobby%20kits/breadboard/powered%20breadboard/powered%20breadboard-index.htm>.

TAF. 2010. Technology Academy Finland. Tekniikan akatemia säätiön myöntää kansainvälisen Millennium palkinnon kahden vuoden välein.

<http://www.millenniumprize.fi/uploads/images/laureates2010/Taustamateriaali%20Furber%20Stephen.pdf>

Tun-Hwa Electronic Material Co. 2010. Taiwanilaisen elektroniikan tukkumyyjän web-sivut. Viitattu 16.9.2010 <http://shop.cpu.com.tw/product/8565/info/>.

Vahtera, P. 2003. Mikro-ohjaimen ohjelmointi C-kielellä. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Woerner Joerg, February 26, 2001. Datamath calculator museum: Intel and TI Microprocessors and Microcontrollers. Viitattu 4.9.2010.

<http://datamath.org/Story/Intel.htm>

Ylikoski, M. 2009. Mikroprosessoritekniikka. Luentosarja. Luentomoniste 4. Viitattu 8.9.2010. [http://www.pori.tut.fi/~jusa/students/mprosarit/Mikropros\\_4.pdf](http://www.pori.tut.fi/~jusa/students/mprosarit/Mikropros_4.pdf).

Ylönen U. 2002. Marsin ilmakehää mitataan suomalaisella elektroniikalla. Uutinen julkaistu Tekniikka & Talous lehden web-sivustoilla 15.8.2002. Viitattu 12.9.2010.

<http://www.tekniikkatalous.fi/ict/article37707.ece>.

# LIITTEET

## Liite 1. Tuotekehitysprojektin mikrokontrollerin Assembler-ohjelma

```

*****
;
;***      *** CODE MAINLY DOKUMENTED IN FINNISH LANGUAGE ***
;
;***      File:                pringles.asm
;***      Author:               Petri Laine
;***      Start Date:          17.10.2004
;***      End Date:            30.10.2004
;***      Last updated:        01.11.2004
;
;***
;***      Version:             1.1.0
;***      Assembler            AVR Studio
;***      Purpose              Driving 15 led's in different pattern
;***                          located into a neon light.
;
;***      Main dokument:       Mainoskyltin modifikaatio.doc
;
;***
;***      Target:              AT90S1200
;***      Suitable for:        Any AVR
;
;***
;***      Support E-mail:      petri.laine dlc.fi
;
;***
;***      Version history/Change log:
;***      V1.1.0              01.11.2004 Added lamp test loop for external button.
;***      V1.0.0              30.10.2004
;***      V0.9.0              17.10.2004 Created, Petri Laine
;
*****
;
;include "C:\Program Files\Atmel\AVR Studio\Appnotes\1200def.inc"

;*** Datasegmentin alku
.DSEG
.def          temp          =r16          ; Temporary register
.def          delay         =r17          ; Delay variable 1
.def          delay2        =r18          ; Delay variable 2
.def          laskuri        =r19          ; Universal counter
.def          time          =r20          ; Time counter
.def          sekunti        =r21
.def          kierroksia=r22
.equ          moodi_kierroksia =3

;*** Koodisegmentin alku

.CSEG

.ORG 0

rjmp         reset
nop
rjmp         tick
nop

reset:
ser          temp
out          DDRB,temp      ;*** PORTB ulostuloksi
out          DDRD,temp      ;*** PORTD ulostuloksi
out          PORTB,temp     ;*** Rekistereiden asetus -> 0xFF
out          PORTD,temp     ;*** Rekistereiden asetus -> 0xFF
ldi          laskuri,1      ;*** Alustus
ldi          temp,0x5       ;*** Laskurin jakajaan 1024
out          TCCR0,temp
ldi          temp,0
out          TCNT0,temp     ;*** Nollataan laskuri
ldi          temp,0x2
out          TIMSK,temp
clr          time
clr          sekunti
ldi          kierroksia,moodi_kierroksia
sei          ;*** Sallitaan keskeytykset
rjmp         idle

```

```

;*** Moodi 1:ssä ledit "kiertävät" kylttiä myötäpäivään siten, että järjestys on 1-2-3-4-5-6-7-14-13-12-11-10-9-8 ja
;*** viimeisenä välähtää sininen led 15.

```

```

moodi1:      ser          laskuri
             ser          temp

led_sekvenssi1:
             out          PORTD, laskuri          ;*** Ensinnäkin bitin "kiertäminen"
             rol          laskuri                ;*** PD-rekisterissä
             rcall        lyhyt_viive
             sbic         PORTD,6
             rjmp         led_sekvenssi1
             ldi          laskuri,0b11111111

led_sekvenssi2:
             out          PORTB, laskuri
             out          PORTD, temp
             ror          laskuri
             rcall        lyhyt_viive
             sbic         PORTB,0
             rjmp         led_sekvenssi2
             out          PORTB, temp
             ldi          laskuri,255
             dec          kierroksia              ;*** Vähennetään laskuria
             brne        moodi1                  ;*** jos <> -1 niin moodi
                                                     ;*** suoritetaan uudestaan.

             reti

                                                     ;*** Laskurin keskeytys:
                                                     ;*** =====
                                                     ;***

tick:        inc          sekunti
             cpi          sekunti,20 ; vastaa 5 sekuntia 1 MHz:n kellotaajuudella
             breq         moodi
             reti

moodi:      ldi          kierroksia,moodi_kierroksia ;*** Ladataan kierroslaskuri
             clr          sekunti                  ;*** Nollataan 5 s:n laskuri
             inc          time                    ;*** Tutkitaan minkä moodin
             cpi          time,4                 ;*** vuoro on "esittäytyä".
             breq         moodi1
             cpi          time,8
             breq         moodi2
             cpi          time,12
             breq         moodi3
             rcall        blueflash              ;*** Ellei moodia suoriteta,
                                                     ;*** väläytetään sinistä lediä
             reti                                  ;*** ja hypätään keskeytystä
                                                     ;*** edeltänyttä riville.

idle:      rjmp         idle                      ;*** Odotellaan keskeytystä.

;*** Moodien 2 ja 3 käyttämä makro jolla suoritetaan led-ohjaukset
;*** siirtämällä tietty bittikuvio rekistereihin PORTB ja PORTD.

.MACRO      ledit;
             ldi          laskuri,@0
             ldi          temp,@1
             out          PORTB,laskuri
             out          PORTD,temp
             sbi          PORTB,7
             rcall        lyhyt_viive
             rcall        sammuta_kaikki

.ENDMACRO

```



```

moodi3:      ledit      0b11011111,0b01111110
             ledit      0b11101111,0b11111011
             ledit      0b11110111,0b11110111
             ledit      0b11111011,0b11101111
             ledit      0b11111101,0b11011111
             ledit      0b11111110,0b10111111
             ledit      0b10111111,0b01111111
             dec        kierroksia
             brne      moodi3
             clr        time          ;*** Time-muuttuja, joka laskee
             reti

;*** Moodi 2:ssa ledit aloittavat "sinisellä välähdyksellä". Valot
;*** etnevät reunoille ja reunoilta takaisin keskelle. Sekvenssi
;*** päättyy jälleen "siniseen välähdykseen".
moodi2:      rcall      blueflash
             ledit      0b11110111,0b11110111          ;*** Viedään bittikuviot
             ledit      0b11101011,0b11101011          ;*** makroon
             ledit      0b11011101,0b11011101
             ledit      0b10111110,0b10111110
             ledit      0b11011101,0b11011101
             ledit      0b11101011,0b11101011
             ledit      0b11110111,0b11110111
             dec        kierroksia
             brne      moodi2
             rcall      blueflash
             reti

blueflash:   cbi        PORTB,7
             rcall      lyhyt_viive
             sbi        PORTB,7
             rcall      lyhyt_viive
             cbi        PORTB,7
             rcall      lyhyt_viive
             sbi        PORTB,7
             ret

sammuta_kaikki:
             ser        temp
             out        PORTB, temp
             out        PORTD, temp
             ret

lyhyt_viive:
             ldi        delay, 64
             clr        delay2
viive:      dec        Delay2
             brne      viive
             dec        Delay
             brne      viive
             ret

.EXIT                               ;**** End Of File

```

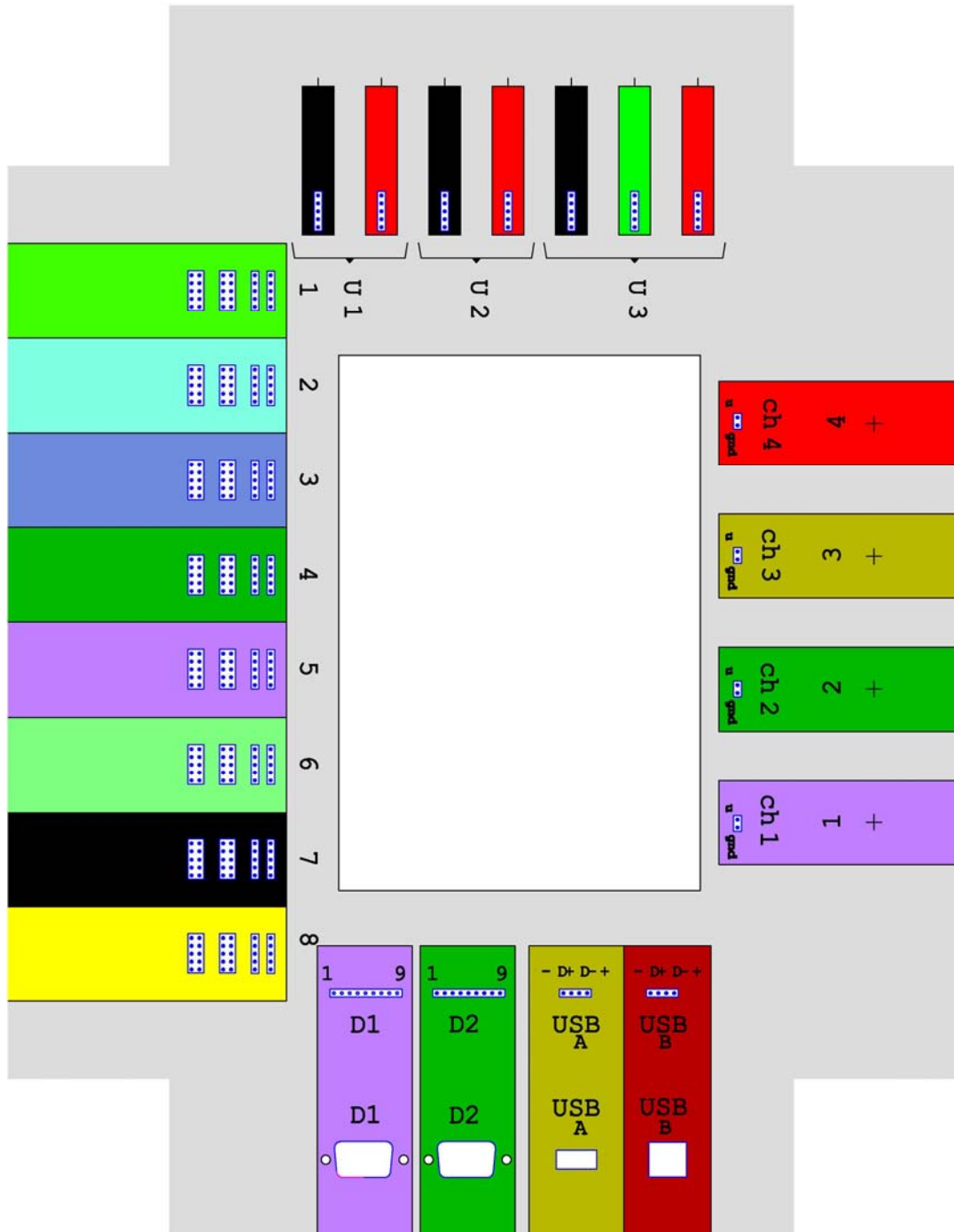
## Liite 2. Valokyltin osaluettelo

<b>kpl</b>	<b>nimike</b>	<b>tyyppi</b>	<b>Arvo/huom.</b>	<b>Huom</b>
1	vastus	¼ W	68 Ω	riippu käytetystä ledistä
14	vastus	¼ W	150 Ω	riippu käytetystä ledistä
2	kondensaattori	keraaminen	100 nF	
1	diodi	1N4002		
1	IC-piiri	7805		
1	IC-piiri	AT90S1200		Tyyppillä ei ole merkitystä
1	20-pin DIL-kanta			
1	piikkirima	2x6-pin		
14	led		∅ 5 pun	Teholedi, 8-30 asteen keilalla
1	led		∅ 5 sin	Teholedi, 8-30 asteen keilalla
1	koekytkentälevy		45 x 91 mm	rengaskuparoitu
1	Tinattua johdinta			n. 1 m
x	Suojattua johdinta			n. 20 m yhteensä
1	virtalähde	Salcomp		hakkuri n. 6-30 v
1	Etulevyn tuloste			A3 Multiprint

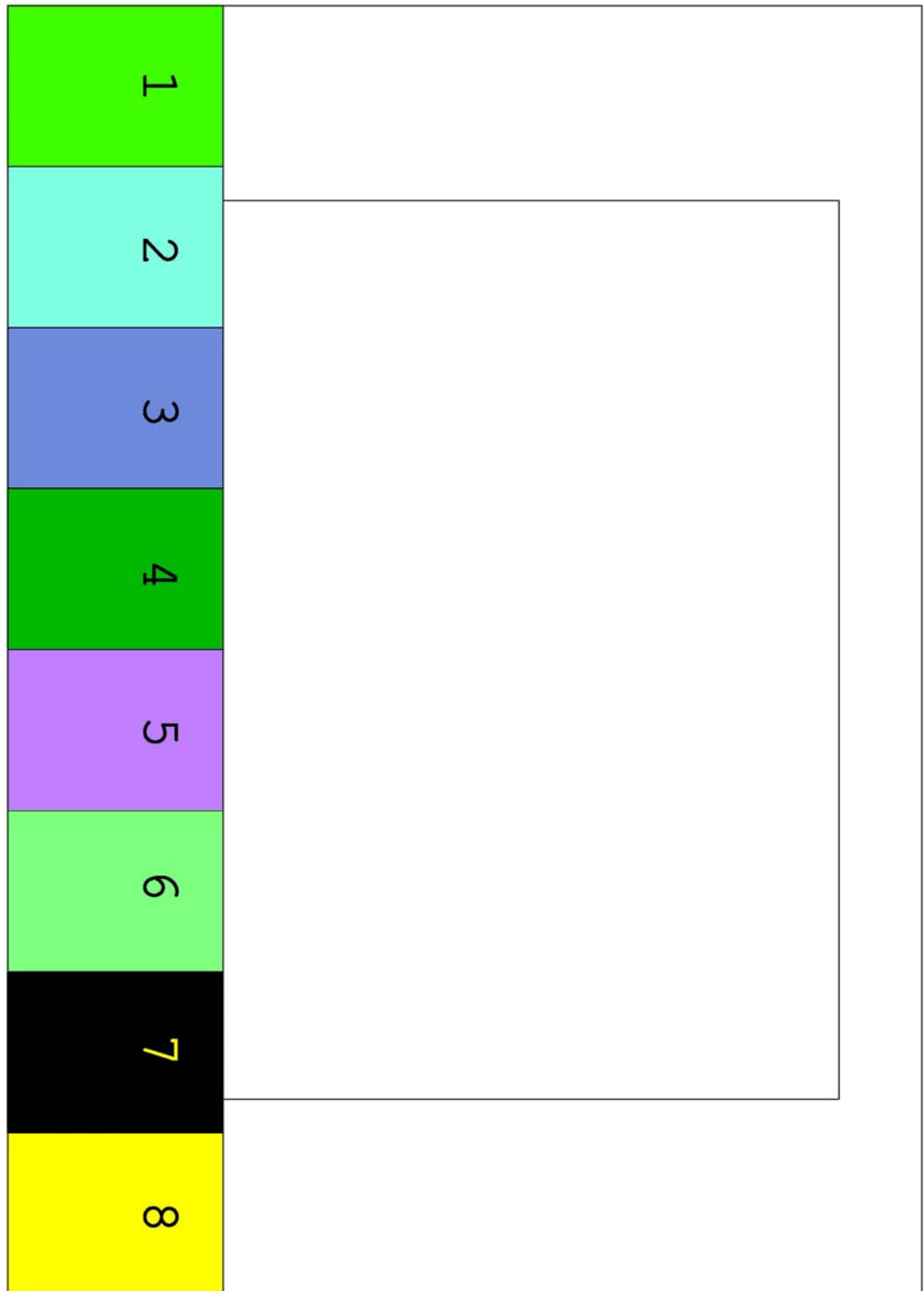
## Liite 3. Kehitysalustan osaluettelo

<b>kpl</b>	<b>nimike</b>	<b>tyyppi</b>	<b>Arvo/huom.</b>	<b>Huom</b>
8	täpläkuparoitu kytkentälevy		100 x 160 mm	
4	täpläkuparoitu kytkentälevy		45 x 91 mm	Liittimien kiinnittämiseen
4	kaksipuolinen piirilevyaihio		110 x 330 mm	
n	Riviliitin			
n	holkkirima			
4	BNC-liitin			juotettava
7	naparuuvi			pun, mus vih
2	D9-liitin			
1	USB-liitin	A		
1	USB-liitin	B		
3	RCA-liitin			pun, val, kel
n	Ø 0,5 mm johdin			useita värejä
n	taipuisaa johdinta			useita värejä
n	1-nap moninapaliitin			
1	10 mm:n vesivaneria			kiinnityksiin, alustaan
n	pieniä ruuveja			
n	kontaktiliimaa			
1	A2-tuloste			Multiprint Oulu
1	A2-tuloste			Multiprint Oulu

Liite 4. Kehitysalustan pinnan ja sivujen koko tuloste



## LIITE 5. Kehitysalustan A3-kokoisen pohjalevyn päällyste



## Liite 6. Alustan kytkentäkaavio

