

Mika Mylly

## **KAAKELOINTIKONEEN AUTOMAATIO- JA SÄHKÖTOTEUTUS**

# **KAAKELOINTIKONEEN AUTOMAATIO- JA SÄHKÖTOTEUTUS**

Mika Mylly  
Opinnäytetyö  
Kevät 2014  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

---

Tekijä: Mika Mylly

Opinnäytetyön nimi: Laatoituskoneen automaatio- ja sähkötoteutus

Työn ohjaaja: Timo Heikkinen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014 Sivumäärä: 40 + 2 liitettä

---

NWG Tools OY:n toimihenkilöillä syntyi liikeidea kaakelointiprosessin helpottamisesta ja nopeuttamisesta koneen avulla Opinnäytetyön aiheena oli kyseisen kaakelointikoneen automaatio- ja sähkösuunnittelu.

Projektin suurimmat haasteet olivat sähköistys- ja automaatiokustannusten pitäminen pienenä, jotta lopullisen tuotteen hinta ei kohtuuttomasti nousisi asiakkaalle. Ohjauksen toteuttamiseen mietittiin myös mikrokontrolleripohjaisia ratkaisuja, mutta ne eivät osoittautuneet juurikaan edullisemmiksi kuin kaupalliset pienlogiikat.

Työ käsitti paljon erilaisten ratkaisujen punnitsemista ja yhteistyötä koko projektiryhmän kesken. Automaatio- ja sähkötoteutus tehtiin toivotulla tavalla sekä budjetin puitteissa. Automaatiototeutus edullisella pienlogiikalla pystyttiin tuomaan markkinoille kilpailukykyiseen hintaan.

---

Asiasanat: Laatoituskone, kaakelointi, mikrokontrolleri, piirilevy, logiikka, automaatio

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Automation Engineering

---

Author: Mika Mylly

Title of thesis: Implementation of automation and electrical systems of tile installation device

Supervisor: Timo Heikkinen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2014 Pages: 40 + 2 appendices

---

NWG Tools OY's: business concept was born from the idea to make tiling process faster and easier by the use of machine. Subject of this thesis is automation and electrical implementation of that device.

The biggest challenge of the project was to keep the cost of electrification and automation as low as reasonably possible. So that the final price of the product does not unreasonably rise for the end customer. In order to save expenses microcontroller based controllers were also looked into, but they did not bring enough cost savings to be selected into the prototype.

The work included a lot of problem solving among the entire project team. Automation and electrical implementation was done as expected and within budget.

---

Keywords: Tile installation device, tiling, microcontroller, PCB, automation

## ALKULAUSE

Projekti oli laajuudessaan mielenkiintoinen ja antoi paljon mahdollisuuksia kehittyä eri osa-alueilla. Automaation laajuudesta ja vaatimuksista oli projektin edessä hyvin vaihtelevia suunnitelmia ja lopulliseen toteutukseen päädyttiin useiden eri ratkaisujen kautta. Erilaisten ongelmatilanteiden pohtiminen koko projektiryhmällä oli antoisaa, mutta osoitti myös tuotekehityksen raakuuden. Toimiva idea oli kehiteltävä, toteutettava ja sekä saatava toimimaan. Soveltumattomista ideoista oli luovuttava. Mikrokontrolleritekniikkaan ja piirilevysuunnitteluun perehtyminen antoi hyvää perspektiiviä erilaisiin ohjaustoteutuksiin.

Kiitokset tuotekehitysinsinöörikollega Juha Saarimalle ammattitaitoisesta avusta mikrokontrollereiden ja piirilevysuunnittelun ongelmatilanteissa Kiitokset myöskin rakkaalle serkulleni Charlotte Dahlströmille ja lehtori Tuula Hopeavuorelle avusta opinnäytetyön kieliasun tarkistuksessa.

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 KAAKELOINTIKONE	8
2.1 Kaakelointityö	8
2.2 Kaakelointilaite	8
2.3 Kaakelointilaitteen kehitys	10
3 KAAKELOINTIKONEEN AUTOMAATIO	14
3.1 Automaatio-ohjauksen vuokaavio	15
3.2 Mikrokontrolleripohjaisen ohjauksen toteuttaminen	17
3.2.1 Texas Instruments Launchpad	18
3.2.2 Arduino	19
3.2.3 Atmega 328 –pohjainen kontrolleri	21
3.3 Omron CPM2	28
3.4 Siemens LOGO!	28
3.5 Unitronics Jazz	28
4 INSTRUMENTOINTI JA SÄHKÖTOTEUTUS	31
4.1 IO-liitynnät	31
4.2 Instrumentointi	32
4.3 Sähkötoteutus	35
5 YHTEENVETO	38
LÄHTEET	39
LIITTEET	41

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä käsitellään NWG Tools OY:n liikeideaa laatoitustyön nopeuttamiseen. NWG Tools OY on syksyllä 2012 perustettu yritys. Yrityksen perustajat ovat toimineet sisustusrakentamisen alalla pitkään, ja toimialan tuntemus loi selvän näkemyksen kehitettävistä tuotteista. Kaakelointityötä helpottamaan kehitetty kaakelointikone on yrityksen ensimmäinen kaupallinen tuote.

Ideana oli luoda kone, jolla laatoittajan työtä voidaan nopeuttaa sekä parantaa ergonomiaa. Usein kaakelointityö on monivaiheista. Jokainen työvaihe suoritetaan manuaalisesti ilman, että mikään osaprosesseista olisi koneen tekemä. Päädyttiin toteuttamaan laite, jolla kaakeleita voitaisiin nostaa seinälle useampi kaakeli kerrallaan erillisellä tarttujalla. Kone tekisi kaakeloiden asettelun ja käyttäjän huolehdittavaksi jäisi vain koneen valmistaman kaakelinipun seinälle nostaminen.

Vastuualueeni projektissa oli automaatio- ja sähkötoteutuksen suunnittelu ja toteutus. Haasteina projektille olivat kehitystyön myötä muuttuvat vaatimukset sekä laitteiston edullinen myyntihinta. Tarkoituksena oli, että koneen automaatio olisi käyttäjälle mahdollisimman loogisesti toimiva ja helppo ymmärtää.

## 2 KAAKELOINTIKONE

### 2.1 Kaakelointityö

Kaakelointityö sisältää usean eri työvaiheen ja työ tehdään käsin. Työ on paljon toistoja sisältävää työtä erilaisille nostokorkeuksille. Kaakelit menevät harvoin tasan seinään ilman leikkausta ja oikein mitattu laattajako mahdollistaa seinän nurkkiin samankokoiset leikatut laatat. Laattajako lasketaan ja määritellään ensimmäisen kaakelin paikka. Ensimmäisessä vaiheessa pinnalle levitetään laastikammalla laasti tasaiseksi ja aloitetaan ladonta vaakasuoraan asetetulta alarimalta tai ohjeviivalta ylöspäin. Käsinladonnassa laattojen saumaväli asettuu pystysuunnassa saumanarun avulla ja sivuttaissuunnassa latoja asettaa saumavälin silmämääräisesti. Saumavälin asettamiseen voidaan käyttää myös erilaisia kulmaristejä. Kuivumisen jälkeen voidaan saumanaru poistaa ja levittää saumalaasti tai silikonisauma.

### 2.2 Kaakelointilaite

Kaakelointilaitteen tarkoitus on helpottaa ja nopeuttaa laattojen seinälle ladontaa. Kaakelointityö sisältää useita erilaisia työvaiheita, ja suunniteltavan kaakelointilaitteen ensimmäisen version tarkoitus on tehostaa ja helpottaa kaakelointi- ja leikkaustyötä sekä saumavälin asettamista.

Koneesta on aiemmin tehty proof of concept -malli (kuva 1), jolla voidaan valmiiksi kehikkoon vierekkäin ladotut laatat nostaa suoraan seinälle yhtä aikaa. Laite tarttuu laatoista pienillä servomootoroilla ja saumaväli asettuu laattojen välille oikeaksi laitteessa olevilla metallitapeilla. Kaakelointilaitteen prototyypin toimivuutta testattiin 120 x 200 cm:n kokoiselle testiseinälle ja verrattiin nopeutta käsinladontaan. Taulukoissa 1 ja 2 nähdään proof of concept -mallin nopeuttavan laatoitustyötä huomattavasti.

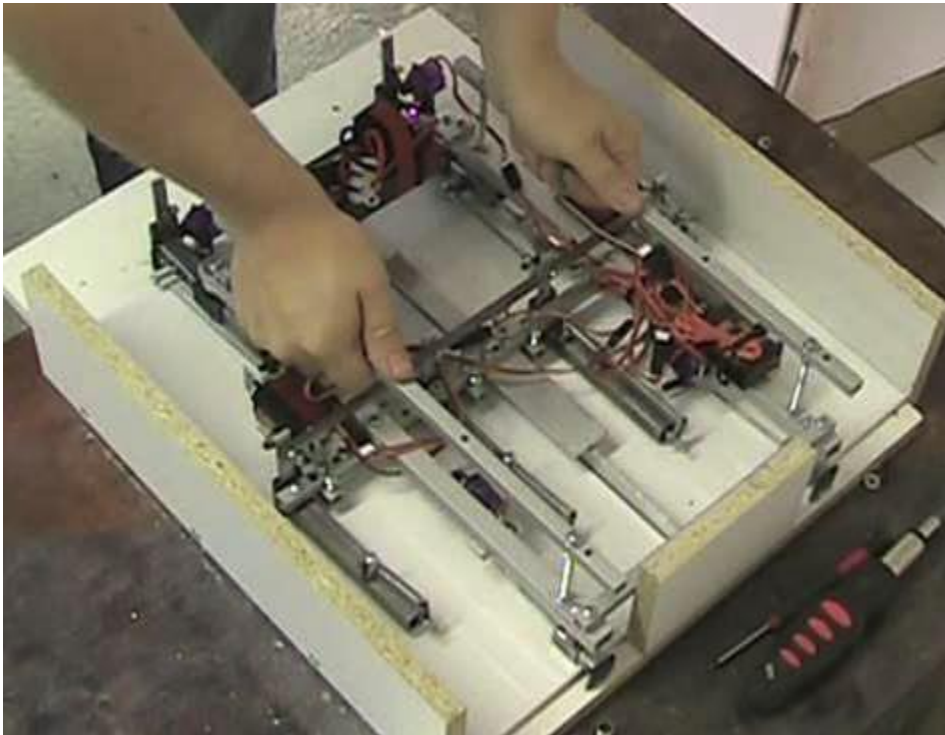


TAULUKKO 1. Käsintehtyyn laatoitustesti 120 x 200 cm seinän tulokset (lähde: NWG Tools OY)

Toiminnan kuvaus	Kesto min	Prosenttiosuus	Aika/m <sup>2</sup>
Laastin levitys	5	35,70 %	2:05
Laattojen laitto ja asemoiminen	7	50 %	3:15
Saumanarun laitto ja pois ottaminen	2	14,30 %	0:50
Yhteensä:	14	100 %	6:10

TAULUKKO 2. Koneella tehty laatoitustesti 120 x 200 cm seinän tulokset. (lähde: NWG Tools OY)

Toiminnan kuvaus	Kesto min	Prosenttiosuus	Aika/m <sup>2</sup>
Laastin levitys	5	62,5 %	2:05
Laattojen laitto ja asemoiminen	3	37,5%	1:15
Yhteensä:	8	100 %	3:20

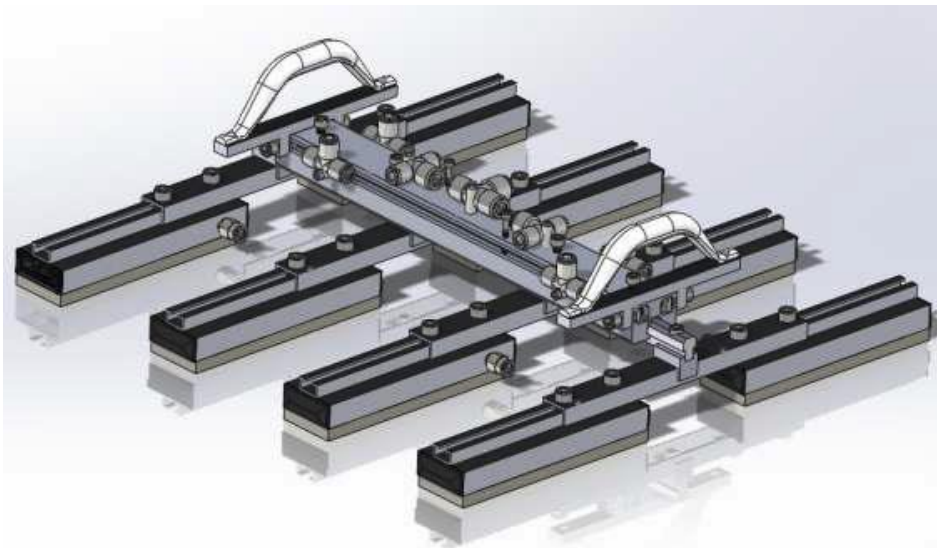


KUVA 1. Proof of concept -malli tarttumassa laattoihin (kuva: NWG Tools OY)

### 2.3 Kaakelointilaitteen kehitys

Laitteesta pyrittiin luomaan mahdollisimman yksinkertainen, nopea ja toimiva. Laitteen tulisi mahdollistaa useiden kaakeleiden yhtäaikainen laittaminen, kaakeleiden asemoiminen, saumavälin automaattinen asettaminen sekä laattojen leikkaaminen.

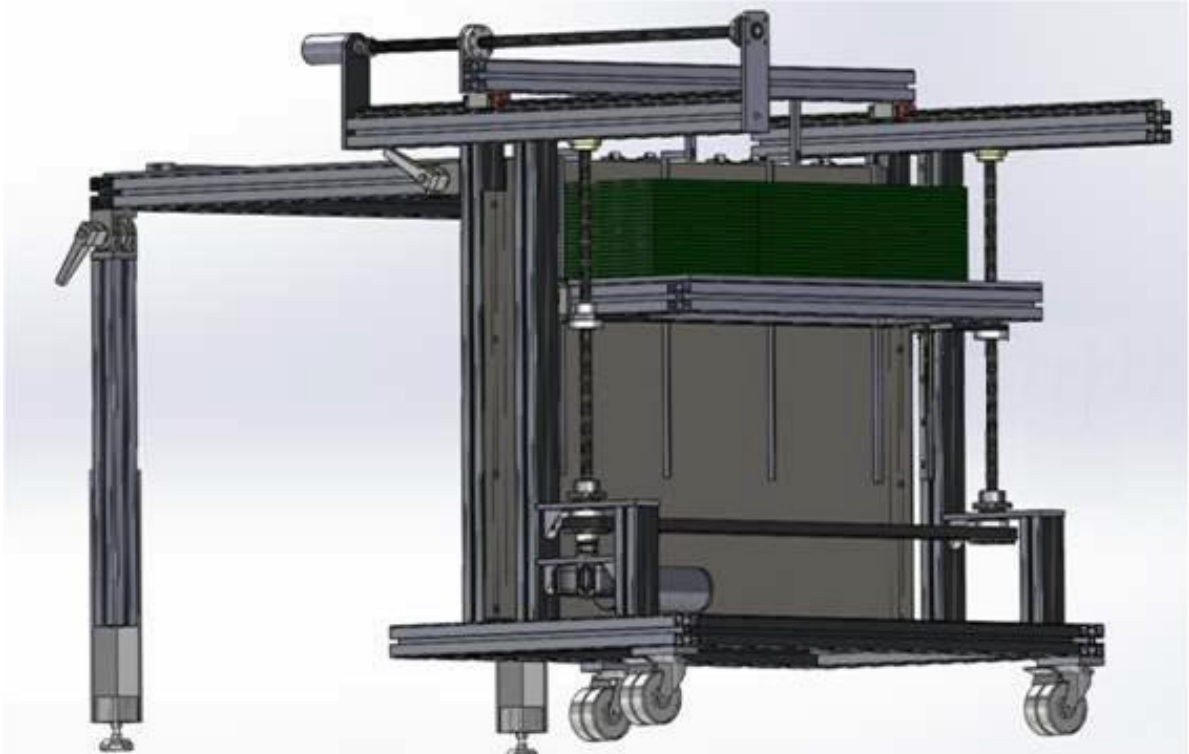
Useita eri vaihtoehtomalleja punnittua päädyttiin rakenteeseen, jossa laite asettaa kaakelit saumatappeineen ladontapöydälle valmiiksi käyttäjän nostettavaksi. Saumatapit kaakeleissa estävät laattojen pystysuuntaisen liikkumisen seinällä ja sivuttaissuuntainen asemointi tapahtuu laitteessa. Käyttäjä nostaa laatat tarttujalla (kuva 2) monta laattaa seinälle samanaikaisesti. Tarttujalle mietittiin erilaisia mekaanisia, alipaineella ja imukupilla toimivia ratkaisuja. Lopulta todettiin solukumin ja alipaineen avulla toimiva tartuntamalli luotettavimmaksi menetelmäksi erilaisille laattapinnoille.



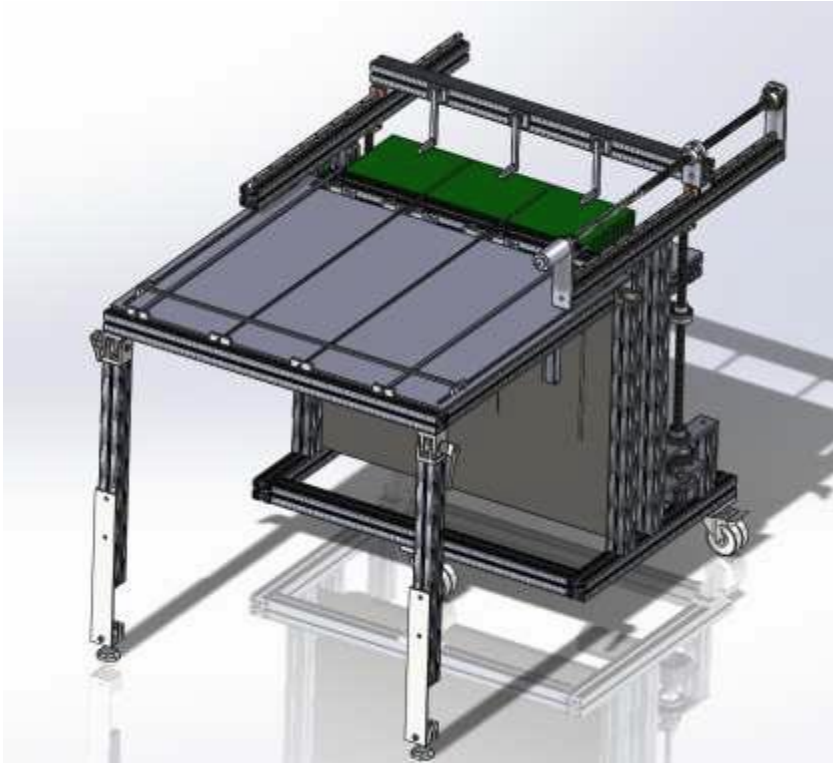
*KUVA 2. Alipainetoimisen tarttujan luonnos (kuva: NWG Tools OY)*

Lopullisessa rakenteessa kaakelit pinotaan vierekkäin kaakelihiisiin, joka nostaa ylimmät kaakelit vetimelle vedettäväksi ladontapöydälle. Kuularuuvitoiminen vedin (kuva 5) vetää hissistä kaakeleita rivin kerrallaan ja jatkaa vetämistä,

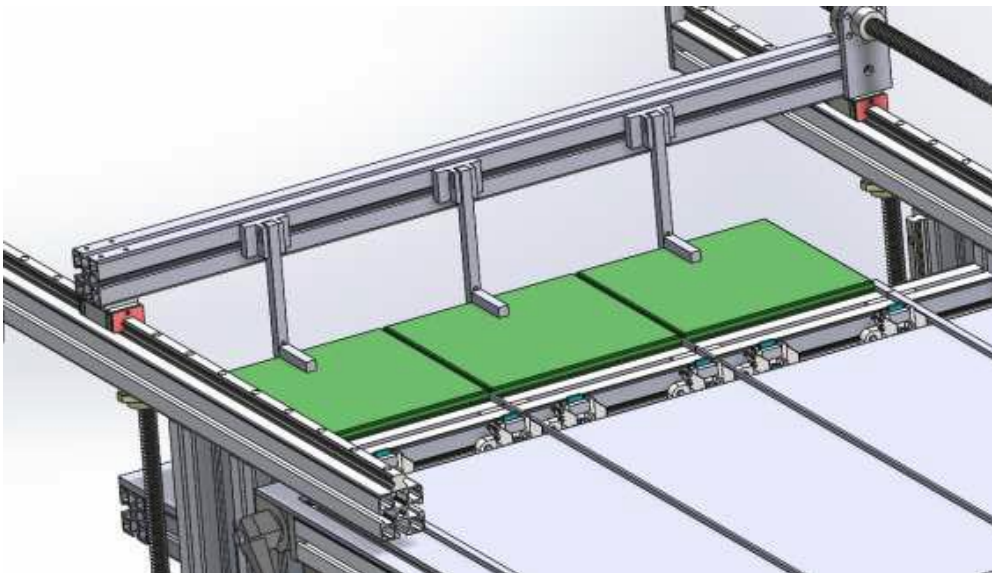
kunnes ladontapöytä on täynnä (kuva 6). Kuvassa 3 näkyy ladontakoneen hissi ladattuna kaakeleilla ja kuvassa 4 ladontapöytä tyhjiään.



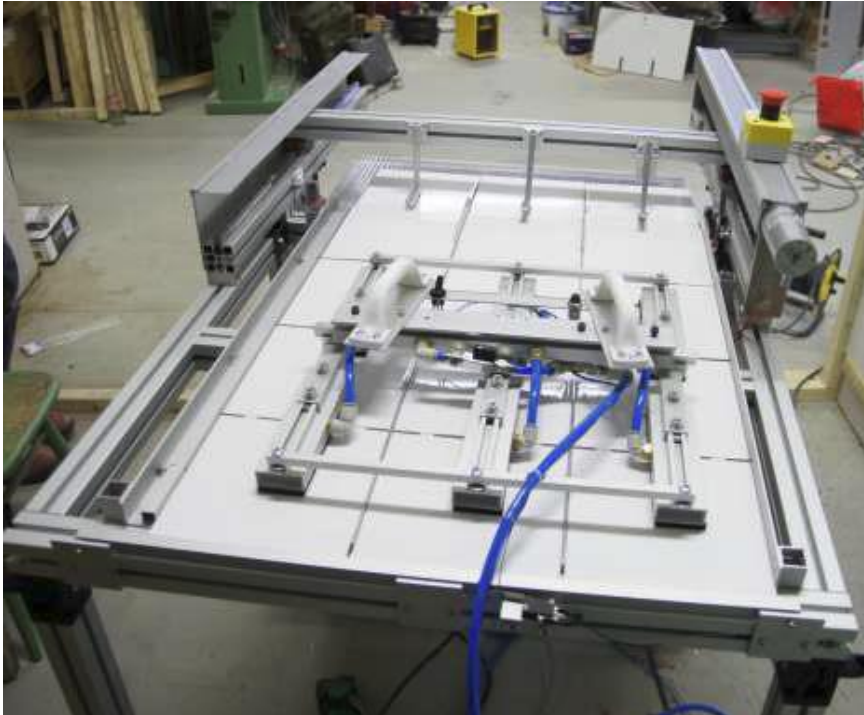
*KUVA 3. Luonnos prototyypin kaakelihissin ja vetimen rakenteesta (kuva: NWG Tools OY)*



*KUVA 4. Luonnos prototyypin vetimen ja ladontapöydän rakenteesta (kuva: NWG Tools OY)*



*KUVA 5. Kaakkeleiden vedin (kuva: NWG Tools OY)*



*KUVA 6. Prototyypimallin kaakelointikoneen ladontapöytä täynnä laattoja. Kaakeloiden päällä alipainetoiminen tarttuja (kuva: Mika Mylly)*

Automaatio kyseisellä rakenteella edellyttää

- hissille ylä- sekä alaraja-antureita
- vetimelle etu- ja takaraja-antureita
- valokennon indikoimassa hissien laattojen olevan sopivalla korkeudella vetämistä varten
- anturin tunnistamaan ladontapöydän olevan täynnä laattoja
- painikkeen ladonnan käynnistämistä varten
- painikkeen hissien täyttämistä varten
- kytkimen kytkemään tarttujan imu päälle/pois.

### 3 KAAKELOINTIKONEEN AUTOMAATIO

Automaation tavoitteena oli saada laite painikkeen painalluksella latomaan ladontapöytä täyteen keskeytyksettä. Ladontapöydän tullessa täyteen laite jää odottamaan käyttäjältä uutta lato-käskyä. Myöskin laitteen pysäyttäminen, alipainepumpun käynnistäminen ja laattahissin ajaminen ala-asentoon täyttämistä varten tulee olla helppoa ja yksiselitteistä. Hissin ja vetimen itsenäisestä liikkeestä johtuen kone ei saa joutua tilaan, jossa se voisi vahingoittaa itseään tai käyttäjäänsä. Esimerkiksi vetimen ja hissin yhteentörmäys tulee välttää. Instrumentoinnin ja koteloinnin tulee olla riittävän tiivistä ja tukevaa kestävään työmaaympäristössä esiintyvät laastiroiskeet ja kolhut.

Projektin edetessä automaation vaatimukset vaihtelivat runsaasti. Suurimpana haasteena suunnittelussa ja kokoonpanon valinnassa oli vaihteleva IO-määrä. Tiedettiin, että vetimen, nostimen ja käyttönappien toimintaan tulee varata 12 IO-paikkaa, mutta tappisyöttölaitteen suunnittelun ollessa yhä kesken, ei lopullisia IO-määriä saatu lyötyä lukkoon. Ethernet-liitettävyyden ja mahdollinen etäkäyttö- ja dataloggausmahdollisuus pidettiin laitteessa mahdollisina optioina sekä valintaperusteina laitteistoa miettiessä.

Tappisyöttölaitteen automaation vaatimukset tulojen ja lähtöjen osalta vaihtelivat 3 tuloa ja 3 lähtöä sisältävästä osaprosessista täysin mekaanisesti toteutettuun. Tappisyöttölaitteita itse lopullisessa laitteistoissa tulee olemaan pienellä laadalla ajettuna kuusi kappaletta. Se nostaa IO-määrät koko laitteen osalta huomattavaan 48 kappaleeseen.

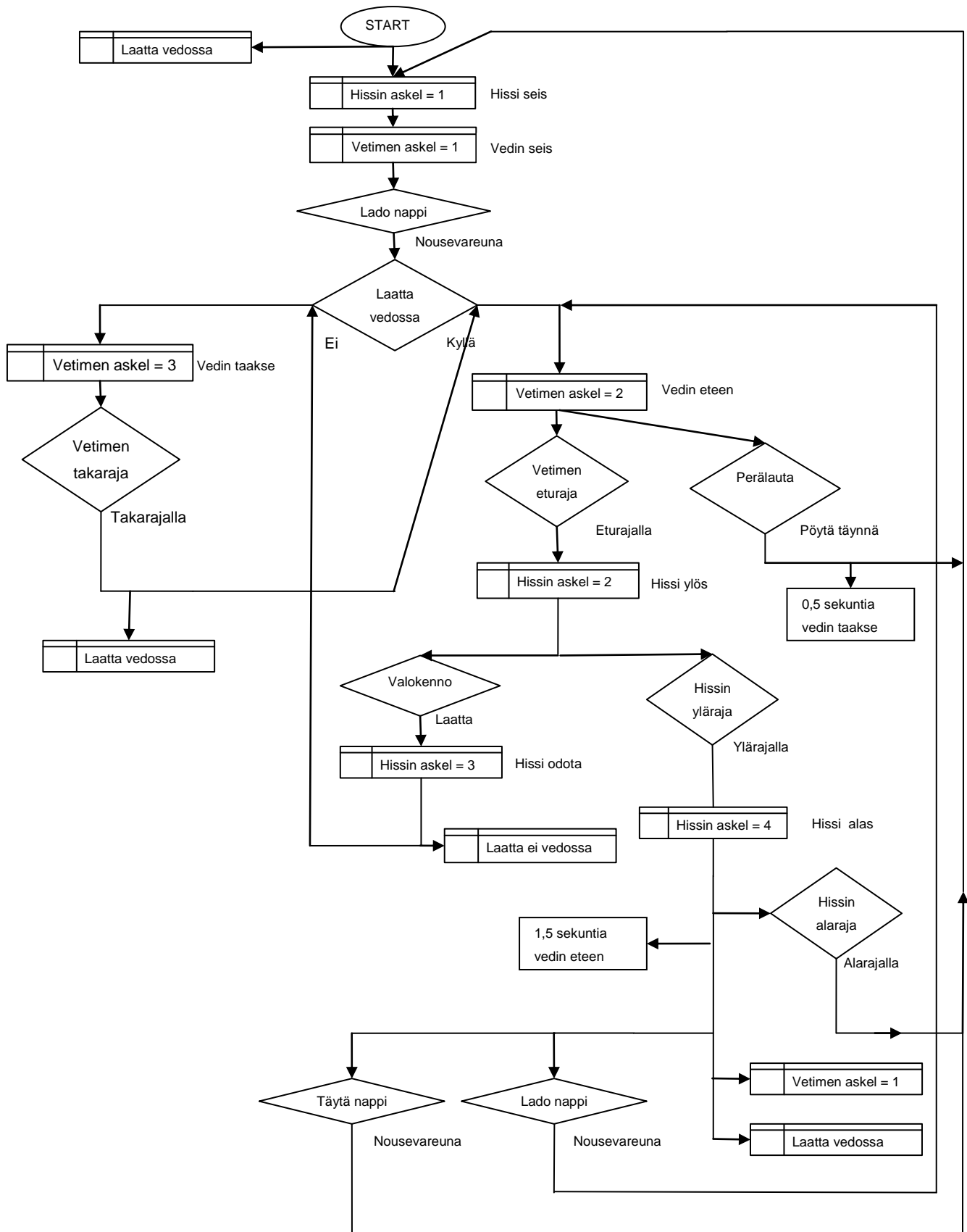
Suuren IO-määrän toteutusta edullisesti mietittiin paljon. Edullisen toteutuksen vuoksi valmiit PLC:t olivat lähtökohtaisesti suurilla IO-määrillä kohtuuttoman kalliita, joten projektin kehityksen edetessä ja automaation vaatimuksien tarkentuessa oli aikaa perehtyä mikrokontrollerilla ja erilliskomponenteilla toteutettuihin vaihtoehtoihin.

Eri vaihtoehtoja punnittuamme tappisyöttölaitteessa päädyttiin täysin mekaanisesti toimivaan ratkaisuun ja 12 IO-paikkaan sekä kaupalliseen PLC:hen.

### **3.1 Automaatio-ohjauksen vuokaavio**

Laitteen toiminnan perusrakenne saatiin projektiryhmän kesken pian hahmoteltua. Hissi nostaisi kaakeleita, kunnes kaakeli tulee valokennon tasalle. Tämän jälkeen vedin vetää kaakeleita rivin kerrallaan pois, ja hissi nostaa uudelleen kaakelit alareunan pöydän tasalle. Ohjauksen saaminen sujuvaksi hoitui parhaiten Omron CPM2 -logiikalla tehdyllä pikaisella sekvenssiohjauksella ja siihen havaintojen perusteella tehdyillä muutoksilla. Ohjelmallisesti ohjauksessa on yksi kolmeaskelinen ohjaus vetimen eri tiloille ja yksi neliaskeleinen ohjaus hissin eri toiminnoille. Lisäksi havaittiin tarpeelliseksi käyttää kahta ajastinta sekä painikkeiden signaalin nousevan reunan tunnistusta. Laatta vedossa -apubittiä käytettiin, jotta laite muistaa käyttäjän pysäytyksen jälkeen, mihin suuntaan vedintä oltiin vetämässä, ja osaa siten jatkaa toimintaa sujuvasti. Vetimen ja hissin sekvenssin 1. askeleissa mikään lähtö ei ole päällä ja laitteisto odottaa käyttäjältä täyttö- tai ladontakäskyä. Liitteen 1 kuvissa on havainnollistettu sekvenssin eri askelten toiminnallisuutta.

Ohjauksen perusrakenteen havainnollistamiseksi yksinkertaistettiin hissin ja vetimen etenemisehtoja ja tehtiin kuvan 7 vuokaavio selvittämään laitteen automaation toimintaa.



KUVA 7. Kokonaissekvenssin vuokaavio (kuva: Mika Mylly)



Lisäksi seuraavat ajastintoiminnot todettiin tarpeelliseksi:

- Vedintä ohjataan taaksepäin 0,5 sekuntia pöydän tullessa laatoista täyteen (→ Perälauta-anturi = 0). Tämä poistaa vetimen paineen laatoista ja helpottaa laattojen nostamista tarttujalla.
- Hissin 4. askeleen nousevalla reunalla vedintä ohjataan eteenpäin 1,5 sekuntia. Vedin siirtyy syrjään hissien päältä ja helpottaa hissien täyttöä. Lado- ja täytä-painike, vetimen eturaja sekä hissien askeleeseen 1. siirtyminen pysäyttää ajastimen ennen aikaisesti.

### **3.2 Mikrokontrolleripohjaisen ohjauksen toteuttaminen**

Aikataulun salliessa pohdittiin erilaisia ratkaisuja tappisyöttölaitteen toimintaan ja muun muassa edullisen kontrollerin tekemistä mikrokontrolleritekniikan avulla. Haasteena mikrokontrolleriratkaisussa on mikropiirin tarvitsema muu elektroniikka. Virtalähde, kidekellotaajuudelle sekä tulojen ja lähtöjen bufferointi tulee tehdä erillisillä komponenteilla.

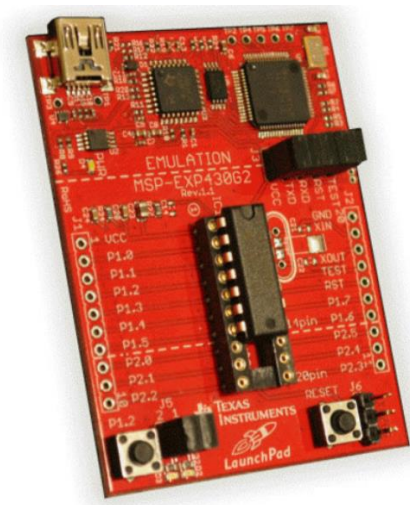
Mikrokontrollerin lähtöjen virranantokyky on hyvin rajallinen. Texas Instruments MSP430:ssä jännitteenä se on 3 V ja kaikkien lähtöjen virta yhteensä 48 mA. Lähdön bufferoinnissa voidaan käyttää reed-relettä tai transistoria joko yksistään tai darlington-kytkettynä mahdollistamaan suuretkin ohjausvirrat.

Kontrollerin tulot ovat herkkiä vaurioitumaan väärästä jännitteestä. Tulojen yhteydessä myös kytkinvärähtelyjen esiintyminen tulee ottaa huomioon HW- ja SW-suunnittelussa. Tulojen ja lähtöjen erottaminen galvaanisesti ja vikaantumisen estäminen voidaan toteuttaa esimerkiksi optoerottimella.

PID-säädintä varten mikrokontrollerin tulisi pystyä tarkkaan ajanlaskentaan, koska säätimen suorittaman näytteistyksen tulisi tapahtua säännöllisin jaksonajoin. Tämä vaatii mikrokontrollerilta tarkan kellotaajuuden ja ohjelmallisesti ajastimen keskeytyksellä.

### 3.2.1 Texas Instruments Launchpad

Texas Instruments MSP430 on suosittu pienitehokulutuksinen 16-bittinen mikrokontrolleriperhe (kuva 8). Launchpad on Texas Instrumentsin kehitysalusta MSP430G2-mikrokontrollereille. (1.) Alusta on ohjelmitavissa USB-portin kautta, joka toimii myös alustan virtalähteenä. Ohjelmitava painonappi, reset-painike, ohjelmitava LED sekä käyttöjännitettä ilmaiseva LED ovat kortilla valmiina helpottamassa ohjelman luomista (2).



*KUVA 8. Texas Instruments Launchpad (1)*

Launchpadin ohjelmointia varten käytettiin Energia- ja IAR Workbench -sovelluksia. Workbenchin debugging-toiminnolla luodun ohjelman etenemistä ja tulo- ja lähtörekistereiden tiloja voi tarkastella askeleittain. Launchpadilla testattiin aluksi perinteistä valon välkyttämistä (3), transistorin avulla releen käänin ohjaamista sekä tulojen optoerottamista. 3,3 voltin käyttöjännite ja 10 kpl GPIO-määrä johtivat silti toisten mikrokontrollereiden vertailuun.

### 3.2.2 Arduino

Arduino on erilaisiin Atmel AVR -mikrokontrollereihin perustuva kehitysalusta. Arduino UNO perustuu ATmega328P -kontrolleriin ja sisältää muun muassa 14 GPIO:ta. Ohjelmointiin tarvittava micro-USB ja erillinen 12 V:n jännitelähde tulevat paketin mukana.

Arduinolla testattiin ensiksi yksinkertaista valon välkyttämistä alustan toiminnan testaamiseksi ja oppimiseksi (4). Arduinon ohjelmoimiseksi käytettiin Arduinon omaa IDE:tä sekä Atmel Studiota. Kyseisillä ohjelmilla debuggerin käyttö ei ole mahdollista USB:n kautta, mutta levyllä olevaa lediä käytettiin ilmoittamaan välkkymällä sekvenssin eri askeleet.

Suurin haaste ohjelmoinnissa oli keskeytyksien käyttäminen tulojen lukemiseen. Arduinossa on kahdenlaisia keskeytyksiä: nopeat hardware-keskeytykset pinneissä 2 ja 3 sekä 24 kpl pin change -keskeytyksiä. Pin change -keskeytykset toimivat useiden eri rekisterien avulla, joilla toimintaa voidaan määritellä. Atmel 328P:n GPIO:t on jaettu C-, B-, ja D-portteihin. (5.)

PCICR Pin Change Interrupt Control -rekisterin avulla pin interrupt -keskeytykset voidaan ottaa käyttöön B-, C- ja D-tuloporteittain. Esimerkiksi PCIE0-bitti aktivoi tuloportin B keskeytyksen.

PCMSK (Pin Change Mask) rekisterien PCINT-biteillä 0–2 voidaan aktivoida tuloporttien B, C ja D yksittäisten bittien keskeytykset päälle tai pois.

Arduinolla ohjattiin erästä prototyyppiä, joka sisälsi kuusi keskeytyksellistä tuloa. Keskeytykset määriteltiin taulukon 1 osoittamalla tavalla.

*TAULUKKO 3. Arduinon pinnit ja vastaavat Atmel-bitit.*

<i>IO-nimi</i>	<i>Arduinon pinni</i>	<i>Atmega328:n pinni</i>	<i>Bitit</i>
Dllift	5	28	PC5,PCINT13
Dfill	6	12	PD6,PCINT22
Dlstart	7	13	PD7,PCINT23
Dllight	8	14	PB0,PCINT0
Dlupper	9	15	PB1,PCINT1
Dllower	10	16	PB2,PCINT2

Mahdollistaakseen keskeytykset taulukon pinneille tulee muuttaa seuraavat bitit:

- PCICR-rekisterin bitit 0, 1 ja 2 vastaavat PCIE0–2-bittejä eli aktivoivat keskeytykset GPIO-rekistereille B, C ja D.
- PCMSK0-rekisteristä bitit 0, 1 ja 2 aktivoivat INT0–2-keskeytykset. PCMSK1-bitti 5 aktivoi PCINT13-keskeytyksen. PCMSK2-bitit 6 ja 7 aktivoivat PCINT22- ja PCINT23 -pinnit.

Alustetaan keskeytykset ohjelmassa seuraavasti:

```
cli(); // Global interrupt disable
```

```
PCICR = 0b00000111;
```

```
PCMSK0 = 0b00000111;
```

```
PCMSK1 = 0b00100000;
```

```
PCMSK2 = 0b11000000;
```

```
sei(); // Global interrupt enable
```

Seuraavat aliohjelmat käynnistyvät vastaavien PCINT-bittien aktivoituessa. Kyseisessä aliohjelmassa tulee tarkistaa, mikä tuloportin bitti keskeytyksen aktivoi.

```
ISR(PCINT0_vect){} // rekisteri B
```

```
ISR(PCINT1_vect){} // rekisteri C
```

```
ISR(PCINT2_vect){} // rekisteri D
```

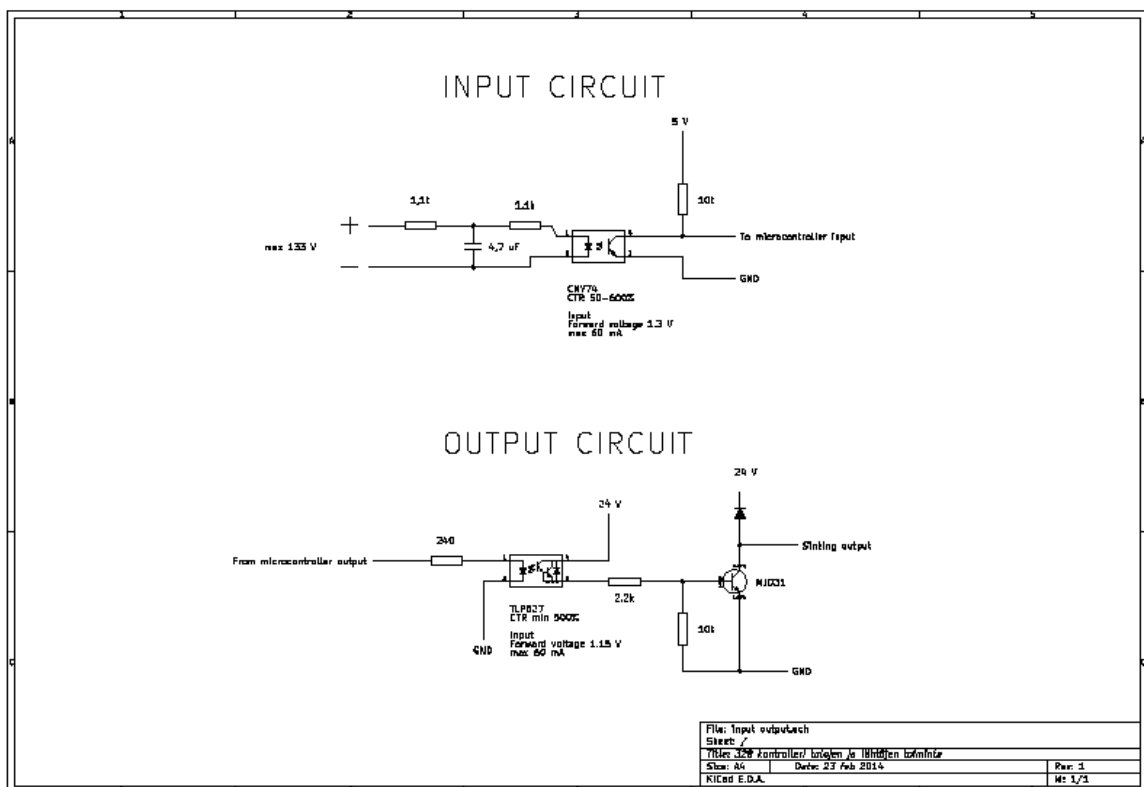
### 3.2.3 Atmega 328 –pohjainen kontrolleri

Arduinon mahdollisuudet ohjauselektronikan toteuttamiseen ovat rajalliset. Elektronikan tulisi olla valmiilla, joka sisältää tulojen ja lähtöjen bufferoinnit sekä mikrokontrollerin tarvitseman virtalähteen ja mahdollisen oskillaattorikiteen. Atmega 328P -mikrokontrolleri on sama kuin Arduino Unossa, joten sen pohjalta omalle piirilevyille suunnitellun ratkaisun toteuttaminen on helppoa. Pehdyttiin ilmaiseen KiCAD-piirilevy-suunnitteluohjelmaan ja teetettiin sen avulla kaksikerrospiirilevyn, jossa on paikat mikrokontrollerille, lähtöjen (8 kpl) ja tulojen (8 kpl) bufferoinnille sekä muulle tarvittavalle elektronikalle. Tulojen ja lähtöjen toteutusta helpottivat mikroprosessorin sisäiset konfiguroitavissa olevat ylös- ja alasvetovastukset.

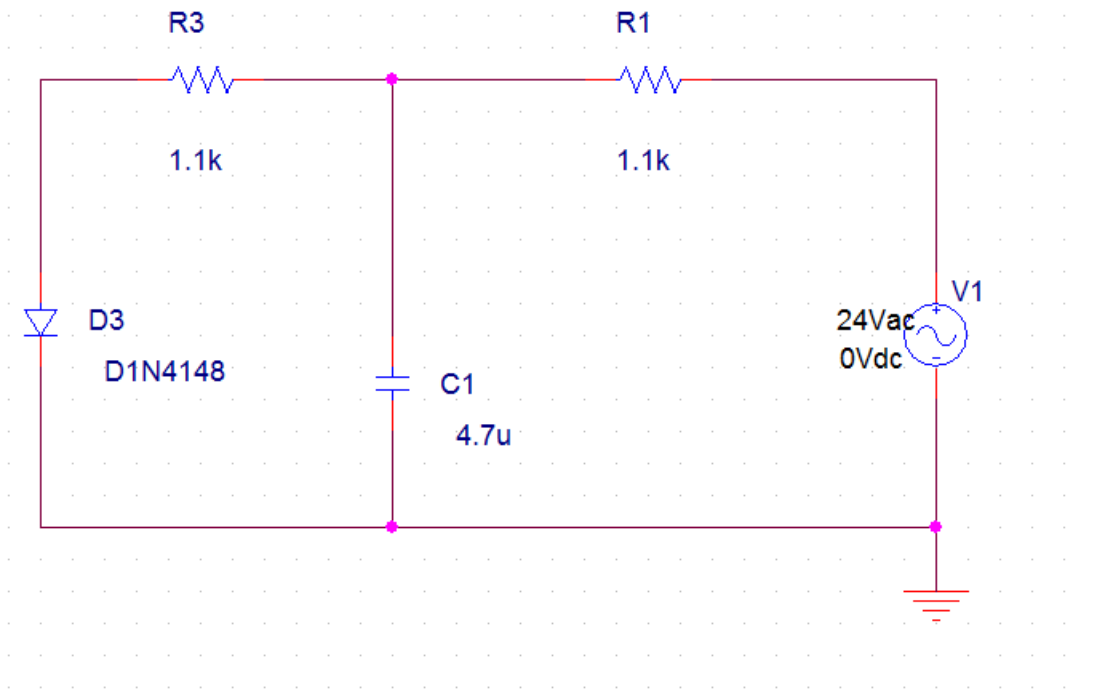
Ulkoisia häiriöitä, jotka etenevät galvaanista siirtotietä pitkin, pyrittiin vähentämään prosessorin jännitelähteen sekä tulojen että lähtöjen isoloinnilla.

"Isolointi tarkoittaa signaalin kuljettamista muussa muodossa (optoisolaattorin valona, muuntajan magneetinkenttänä, releen mekaanisena liikkeenä) siten, että häiriöiltä katkeaa niiden kulkureitti" (6. s. 167).

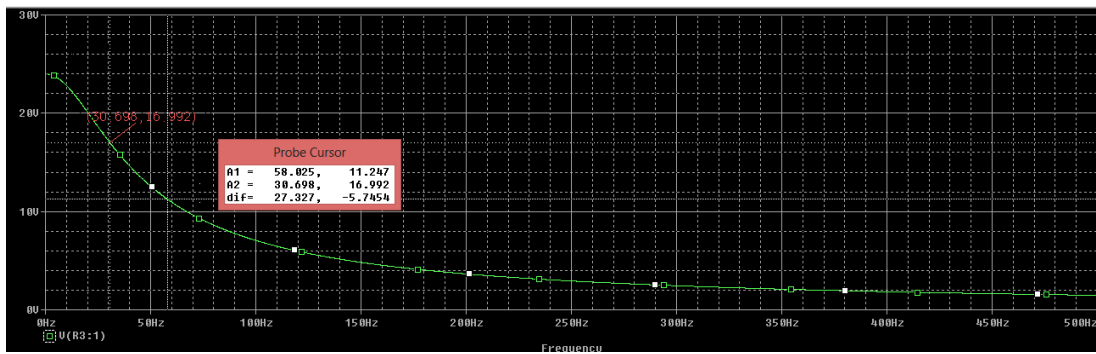
Tulojen erotus päätettiin toteuttaa CNY74-optoerottimella, jota on saatavilla DIL16-kotelossa ja jossa on 4 kpl optoerottimia (7). Optoerottimen tulopuolelle lisättiin diodin etuvastuksen lisäksi RC-kytkentä suodattamaan pois kentällä esiintyviä häiriöitä ja kytkinvärähtelyitä. RC-alipäästösuodattimen kytkentä kuvassa 9 ja taajuusvastesimulointi on kuvissa 10 ja 11. Fototransistorin puolella on ylösvetovastus 5 V:n käyttöjännitteeseen.



KUVA 9. Tulojen ja lähtöjen bufferointi (kuva: Mika Mylly)



KUVA 10. Tulokytkenän RC-alipäästösuodattimen taajuusvastesimulointia varten tehty OrCAD-malli (kuva: Mika Mylly)



KUVA 11. Tulokytkenän taajuusvastasimulointi OrCADissa ja -3 dB @ ~30 Hz (kuva: Mika Mylly)

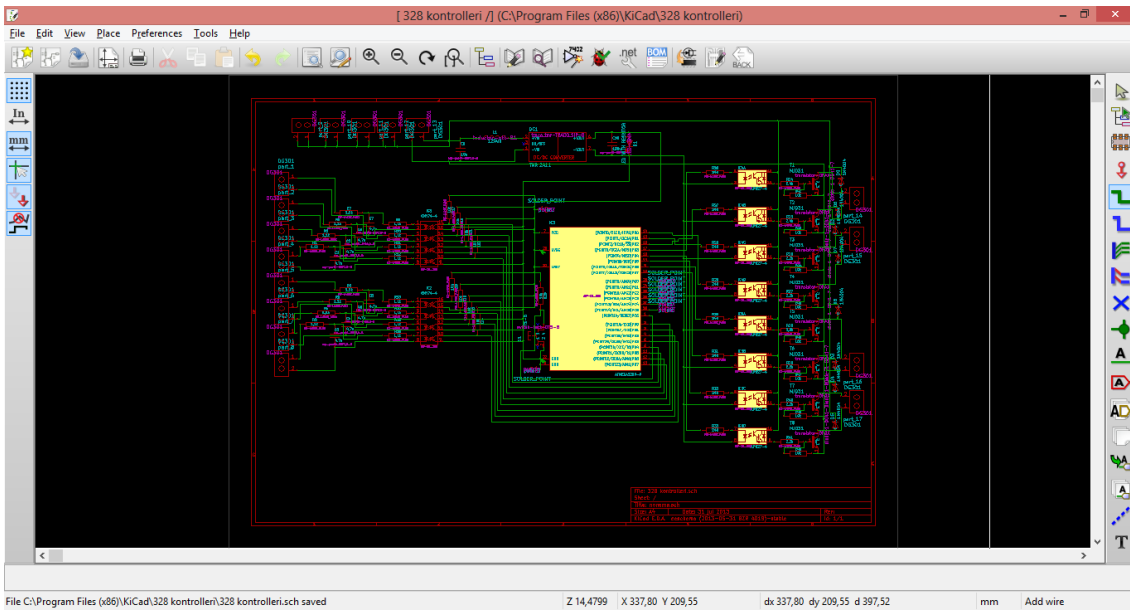
Lähtöpuolen kytkentä on toteutettu TPL627-optoerottimella (8), jota on myös saatavilla DIL16-kotelossa komponenttimäärän pienenä pitämiseksi. Etuvastus rajoittaa optoerottimen diodilla olevaa virtaa pitäen virran riittävän pienenä mikrokontrollerille (1,6 mA). Optoerottimen virtaa vahvistaa NPN-transistori MJD31, jolla tasavirtavahvistus on minimissään 10 (9). Transistorin kannalle on etu- sekä alavetovastus. Lähdön toimiessa sinking-tyylisesti kytkennässä oleva diodi purkaa lähtöihin kytkettävien releiden käämeissä esiintyvän jänniteimpulssin.

Kontrollerin virtalähteen toteutukseen on kaksi varsinaista ratkaisua: lineaarinen ja hakkuripohjainen jänniteregulaattori. Lineaarisen jänniteregulaattorin ongelmana tässä yhteydessä on suuri tehohäviö. Lineaariset jänniteregulaattorit muuntavat ylimääräisen jännitteen jännitehäviöksi vastuksen avulla eli tässä tapauksessa  $(24\text{ V} - 5\text{ V}) * 0,2\text{ A} = 3,8\text{ W}$ . Tämä on suuri tehotiheys näinkin pienessä komponentissa ja siten vaatii jäähdytysiin.

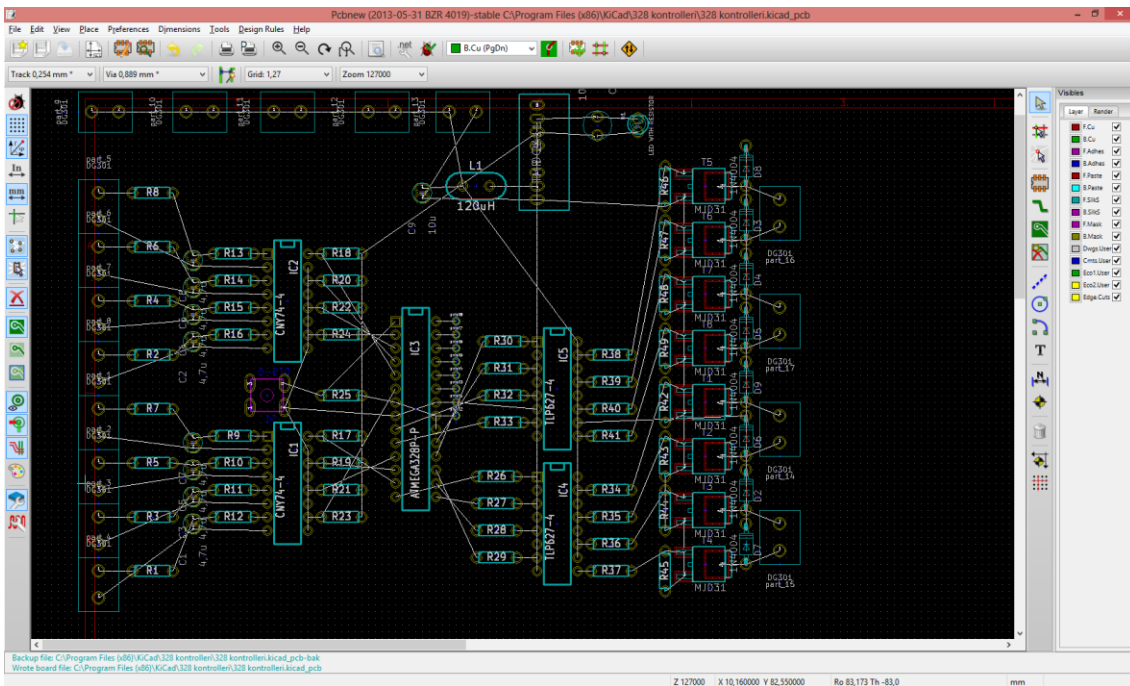
Hakkuripohjaisilla jänniteregulaattoreilla on parempi hyötysuhde suuremmilla muuntosuhteilla erilaisen toimintatapansa ansiosta. Tulopotentiaaleista galvanisesti erotettu Tracopower TMR2411-tyyppinen jänniteregulaattori toimii laajalla jännitealueella 18–36 VDC (10). Tracopowerin ohjelehti (11) neuvoo laittamaan 4,7  $\mu\text{F}$ :n kondensaattorin ja 12  $\mu\text{H}$ :n kelan tulopuolelle. Nämä arvot ylitettiin maltillisesti ja lähtöpuolelle lisättiin myös kondensaattori häiriöiden suodattamista varten. Lisäksi pieni sarjavastuksellinen vihreä LED liitettiin rinnan virtalähteen lähdön kanssa indikoimaan laitteiston päälläoloa. Kytkentä näkyy kuvassa 12.

Piirilevyn signaalitiet tehtiin KiCADin PcbNew-ohjelman avulla välttämällä signaalien risteämiä tarvittaessa siirtelemällä komponenttien paikkoja. Kuvassa 13 ja 14 on havainnollistettu signaaliteiden risteämien välttämistä. Ylimääräiset mikrokontrollerin pinnit kytkettiin piirilevylle porattuihin reikiin mahdollisten lisäkytkentöjen helpottamiseksi. JTAG-porttia varten piirilevylle ei tehty valmista kytkentää. Lopullinen piirilevyn ulkoasu on nähtävillä simuloitussa kuvassa 15.

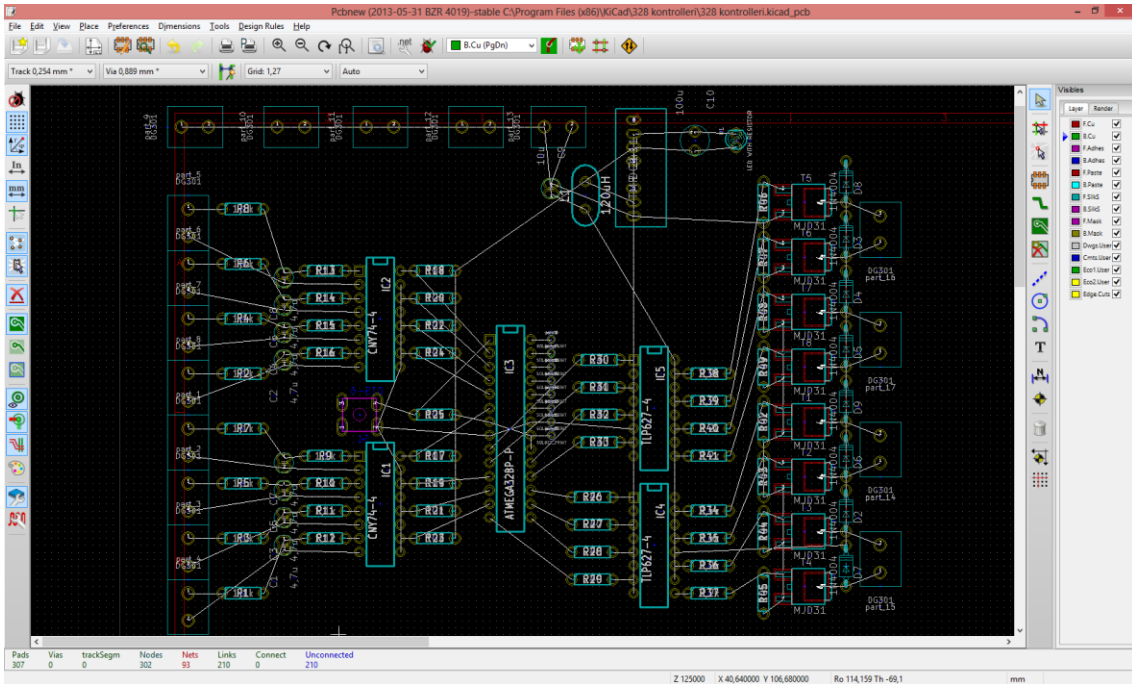




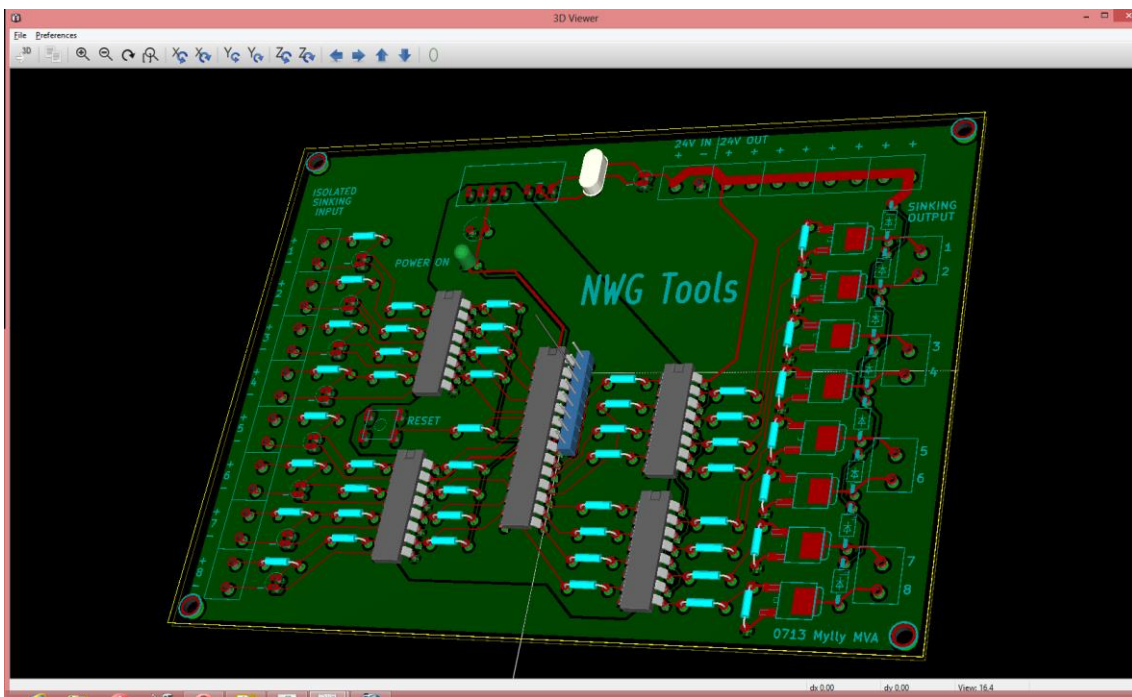
KUVA 12. Lopullinen kytkentä KiCadin EEschemassa (kuva: Mika Mylly)



KUVA 13. KiCadin PCBnew-ohjelma ja havaitut risteämät (kuva: Mika Mylly)



KUVA 14. KiCadin PCBnew-ohjelma ja risteämät korjattu (kuva: Mika Mylly)



KUVA 15. KiCadilla luotu 3d-näkymä piirilevystä (kuva: Mika Mylly)

Tarvittavien komponenttien ja kokoonpanon kustannus oli liian suuri verrattuna Unitronics Jazz -logiikkaan, joten suunnitelma itsetehdystä kontrollerista hylättiin.

Kicad-ohjelma havaittiin toimivaksi työkaluksi. Työlääksi koettiin kuitenkin suppea osakirjasto, joka aiheutti paikoin ylimääräistä työtä harjoitteluvaiheessa. Ohjelma muodostaa itse sähkökytkennät EEschema-ohjelmassa. CVpcb-ohjelmassa sähkökytkennät linkitetään komponenttien fyysisiin pinneihin ja muotoihin. PCBnew-ohjelmassa itse fyysiset komponentit voidaan sijoitella ohjelman avulla piirilevylle ja tehdä lopulliset signaalitiet piirilevyn molemmille puolille. Häiriöiden ylikuuluminen signaalijohtimiin pyrittiin minimoimaan piirilevyn toisen puolen maatasolla ja sijoittamalla maajohdin myötäilemään vastaavaa signaalijohdinta (6 s.46). Signaaliteiden vedot tehtiin käyttäen 45 asteen kulmia. Piirilevyn alapuoli varattiin suurimmaksi osin 5 V ja 24 V maapotentiaaleille. Maapotentiaalit rajattiin toisistaan erilleen 5 V maa-alueen jäädessä omaksi ns. saarekkeekseen piirilevyn keskelle.

Piirilevy tehtiin kuparipinnoitteisesta lasikuitulevystä pintamateriaalia pois kairtamalla, joten suunnitteluvaiheessa piirilevyn yläpuolelle lisättiin myös fillityökalulla kuparipinta. Näin vältetään turha kuparipinnan jyrskintä levystä ja siten nopeutetaan levyn työstöä.

Itsetehtyjen KiCad-komponenttien rakentamisessa joudutaan pitämään huoli siitä, että kaikki työvaiheet toteutuvat oikein. Suunnitteluvaiheessa sattui virhe, sillä juotteenestomaskin rajaus omatekemien komponenttien osalta unohtui määrittellä. Virhe huomattiin piirilevyn tekovaiheessa, joten se oli vielä korjattavissa. Juotteenestomaski olisi pystytty poistamaan tinausta varten. KiCadin Gerbview-ohjelmalla pystyy tarkastelemaan piirilevyn tekemiseen tarvittavia Gerber-tiedostoja eri kerroksineen ja huomaamaan tämän kaltaiset virheet ennen piirilevyn tekoa. Piirilevy teetettiin kokoon 107,5 mm x 143,5 mm, jolloin levy sopii markkinoilta saatavaan DIN-kiskoon kiinnitettävään modulaariseen pidikkeeseen (12).

### **3.3 Omron CPM2**

Ennen varsinaisen ohjauslogiikan valintaa Omron CPM2:lla toteutettiin laitteiston automaatio-ohjaus aikaisessa prototyyppivaiheessa. Koska logiikka oli tuttu jo kouluajoilta ja sen käyttö nopeaa, suoritettiin itse automaatio-ohjauksen tarpeiden lopullinen määrittely Omron-logiikkaa käyttäen. Omron CPM2 -logiikka oli silti tuotantoversioon turhan kallis ratkaisu.

Haasteena Omronin käytölle oli CX-programmer. Käytössä olleessa kannettavassa tietokoneessa ei ollut RS-232-porttia eikä CX-programmer-version kanssa yhteensopivaa käyttöjärjestelmää. CX-programmeria varten asennettiin erilliseen virtuaalitietokoneeseen toinen käyttöjärjestelmä sekä ohjelmointia varten hankittiin USB-sarjaportti-adapteri. Virtuaalikoneen avulla laitteisto tunnisti sekä sarjaportin että ohjelman, ja toimi moitteetta.

### **3.4 Siemens LOGO!**

Siemens LOGO! -logiikkaperhe laitteistoiheen ja ohjelmointilisensseineen on oleellisesti edullisempi kuin Simatic-logiikkaperhe. Siemens LOGO! Soft Comfort -ohjelmiston demoversiolla testattiin karsitun LOGO! -järjestelmän soveltuvuutta sekvenssityyppiseen ohjaukseen. Perinteisesti Siemensin sekvenssit on tehty askeltyyppistä ohjausta varten tehdyllä STEP 7 -ohjelmistolla. Siemens Soft Comfort -ohjelma vaikutti ohjelmointitoimilohkoiltaan karsitulta ja erityisesti sekvenssiohjauksen toteuttaminen kyseisellä ohjelmalla ei vakuuttanut.

### **3.5 Unitronics Jazz**

Laitteiston automaatiovaatimusten supistuessa, täysin ilman automaatiota toimivan tappisyöttölaitteen ansiosta, Unitronics Jazz-logiikan käyttö tuli mahdolliseksi. Jazz-logiikka käsittää sinking- tai sourcing-tyyppiset tulot ja relälähdöt ohjaukseen. Etupaneelin monipuoliset näppäimet ja 2 x 16 merkkiä käsittävä LCD-näyttö ovat käyttäjän konfiguroitavissa. Laite on ohjelmoitavissa USB-

portin kautta monipuolisella ladder-tyyppisellä ohjelmointikielellä. HMI:n ja sekvenssiohjauksen helppoon toteutukseen on olemassa valmiit alaohjelmat. Laajennus mm. ethernet-yhteyttä varten on myös mahdollista.

Unitronics Jazz JZ20-R16 -logiikka valittiin tuotteen lopulliseksi automaatioto- teutukseksi edullisen hintansa, etupaneelin näppäimien ja näytön sekä lisens- sittömän ohjelmointiohjelman perusteella. Koska laitteiston sekvenssiohjauksen tarpeet oli määritelty Omron CPM2:lla, oli Jazz-logiikan käyttöönotto helppoa ja nopeaa valmiiden suunnitelmien ansiosta. Laitteiston johdotuksia yksinkertais- tettiin ohuempia anturijohdotuksia käyttämällä ja Unitronics-logiikan yhteydessä myös lopullinen sähkölaitteiston kotelointi toteutettiin. Kuvassa 16 Unitronics Jazz-logiikka asennettuna laitteeseen.



*KUVA 16. Unitronics Jazz -logiikka laitteessa asennettuna (kuva: Mika Mylly)*

Ongelmaksi käyttöönotossa havaittiin logiikan sammuminen virtalähteen käyttö- jännitteen laskiessa hissien moottorin syöksyvirrasta. Vastaavaa ongelmaa ei Omron-logiikalla ollut, joten siihen ei ollut osattu varautua. Ongelma korjattiin hankkimalla pieni 24 V 1 A -virtalähde käsittämään Jazz-logiikan sekä releiden käämien jännitesyötön. Itse laitteiston suuri 5 A -jännitelähde käsitti silloin enää

vetimen ja hissien moottoreiden kuormat. Häiriöiden etenemisen kannalta rakenne on varmempi kahden erotetun piirin ansiosta. Laitteistoa testattaessa havaittiin myös muutama ohjelmointimuutos, ennen kuin laitteiston toiminta ja ohjaus oli vaivatonta ja johdonmukaista.

Sekvenssiohjausta varten Unitronics U90 Ladder -ohjelmointiohjelmassa on olemassa valmis drum-sequence-aliohjelma, jolla voidaan määrittää eri askeleissa päällä olevat tulot sekä askelten kestoajat sekunteina. Erilaisten etenemisehtojen määrittelyn puuttumisen takia, sekvenssi toteutettiin lopulliseen versioon apumuuttujan avulla. Apumuuttuja, Unitronics U90 -ohjelmassa memory integer, sisälsi sekvenssin askeleen numeroarvona, ja erilaisilla vertailuilla sekä muuttujaan uuden arvon kirjoittamalla edettiin sekvenssissä. Sekvenssin ohjaus on joustavaa, kun eri askeleesta toiseen askeleeseen siirtyminen käy helposti. Ohjelmistoa debuggattaessa ilman laitteistoa muutettiin tulobitit muistibiteiksi, jolloin pystyttiin muokkaamaan niiden arvoa ja testaamaan sekvenssin toimintaa ilman työläitä kytkentöjä johdotuksen kanssa.

## 4 INSTRUMENTOINTI JA SÄHKÖTOTEUTUS

### 4.1 IO-liitynnät

Tappisyöttölaitteen toteutus täysin mekaanisena ratkaisuna vakiinnutti IO-luettelon seuraavanlaiseksi. Alla IO-luettelo ja kytkentätapa Jazz-logiikan kanssa. Anturit kytkettiin sourcing-tyyppisesti 24 V:n jännitelähteeseen. Logiikan lähdöt kytkettiin sinking-tyyppisesti.

Tulot:

- 1 Hissin yläraja, avautuva mikrokytkin pitkällä vivulla, Jazz input addr 0
- 2 Hissin alaraja, avautuva mikrokytkin pitkällä vivulla, Jazz input addr 1
- 3 Vetimen eturaja, avautuva mikrokytkin pitkällä vivulla, Jazz input addr 2
- 4 Vetimen takaraja, avautuva mikrokytkin pitkällä vivulla, Jazz input addr 3
- 5 Lado-panike, 2 kpl kumisuojuksisia sulkeutuvia painokytkimiä, yksi tarttussa ja toinen itse laitteen kyljessä, Jazz input addr 4
- 6 Täytä-painike, kumisuojuksinen sulkeutuva painokytkin sijoitettuna laitteen kylkeen, Jazz input addr 5
- 7 Perälauta-rajakytkin, avautuva mikrokytkin pitkällä vivulla, Jazz input addr 6
- 8 Valokenno, sulkeutuva Panasonic CX-411 lähetin-vastaanotinpari, Jazz input addr 7

Lähdöt:

- Hissi ylös, kytkee hissin moottorin nostamaan kaakelihissiä, Jazz output addr 0
- Hissi alas, kytkee hissin moottorin laskemaan kaakelihissiä, Jazz output addr 1
- Vedin eteen, kytkee kaakelivetimen vetämään kaakeleita ladontapöytää kohden, Jazz output addr 2
- Vedin taakse, kytkee kaakelivetimen liikkumaan kohti kaakelihissiä, Jazz output addr 3

## 4.2 Instrumentointi

Laitteiston instrumentoinnissa pyrittiin luotettavaan ja edulliseen ratkaisuun. Kaakelointiympäristö sisältää paljon pölyä ja mahdolliset laastiroiskeet voivat olla hankalasti poistettavissa.

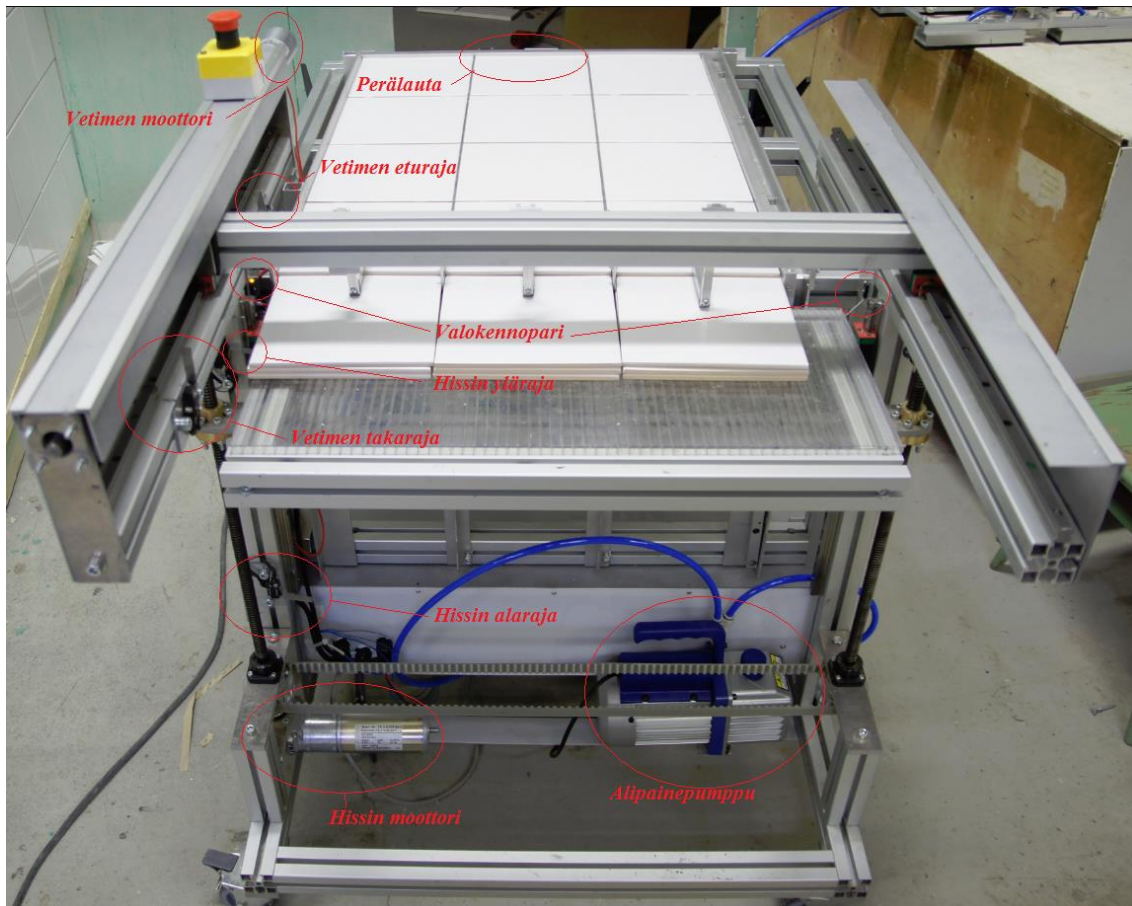
Vetimen etu- ja takarajat, hissin ylä- ja alarajat sekä ns. perälauta tarvitsevat binäärisen raja-anturin. Rajakytkiminä mietittiin mikro- sekä lähestymisantureita. Kosketukseton lähestymisanturi on toimintansa vuoksi tiiviimpi ja kestää likaisessa ympäristössä yksinkertaisen rakenteensa vuoksi paremmin. Mikrokytkimellä toteutettuna rakenne on johdotuksen osalta yksinkertaisempi puuttuvan käyttöjännitejohtimen ansiosta. Vioittuneen mikrokytkimen voi vaihtaa helpommin ja edullisemmin kuin lähestymisanturin. Päädyttiin lopulta pitkävipuiseen mikrokytkinratkaisuun, mutta projektin prototyypiluonteen takia hankittiin edulliset suojaamattomat kytkimet. Kytkimet asennettiin laitteen alumiiniprofiilirunkoon pleksistä ja alumiinista tehtyjen välikappaleiden avulla (kuva 17). Alumiiniprofiilin mutterikisko mahdollisti antureiden uudelleen asemoimisen ja säätämisen liikerajojen optimoimiseksi.





*KUVA 17. Valokennoanturin ja vetimen eturajan kiinnitys prototyypin profiilikiskoon (kuva: Mika Mylly)*

Nostaessaan kaakelihissiä hissin tulee pysähtyä siten, että vetimen vetäessä yksi kaakelirivi tulee vetimen mukana latomapöydälle. Pinottuna kaakeliniput voivat olla eri korkuisia kaakeleissa olevan muotovaihteluiden takia. Ylärajan asemointi ja hissin pysäytys on paras toteuttaa valokennoparilla, jolloin hissi pysähtyy aina korkeimman nipun tullessa valokennon indikoimalle ylärajalle. Toteutus nähtävillä selityksineen kuvasta 18. Markkinoilla valokennopareja on useaan eri käyttökohteeseen ja juuri projektiin sopiva lyhyen kantaman, sourcing-tyyppinen, tarkkasäteinen sekä pienikokoinen valokennopari vaati usean eri toimittajan valikoiman tutkimista.



KUVA 18. Prototyypin rakennetta takaapäin selityksineen (kuva: Mika Mylly)

Laitteen tarttujassa on lado-painokytin sekä keinukytin imutoiminnon kytkemiseen. Laitteen pääosan rungon sivussa on myös painikkeet lado- ja täytä-toiminnoille. 3 kpl kumisuojausisia kolminapaisia avautuva/sulkeutuva -tyyppisiä painokytkimiä hankittiin lado- ja täytä-painikkeita varten. Pieni kumisuojausinen keinukytin toimii tarttujan imutoiminnon kytkimenä.

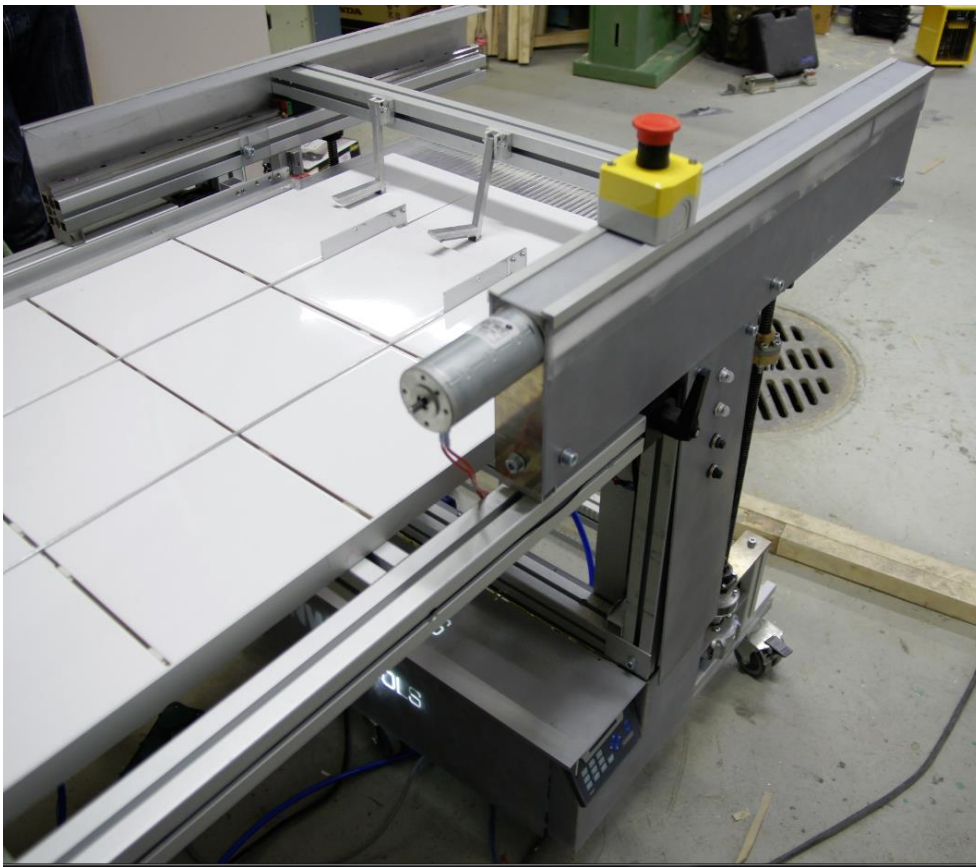
Päädettiin 24 V Panasonic CX-411 sourcing-tyyppiseen lähetin-vastaanotin-pariin ja todettiin toiminnan olevan sillä riittävän tarkkaa.

EU:n konedirektiivin soveltamisopas edellyttää:

Kun hätäpysäytyslaitteen aktiivinen käyttäminen, josta pysäytyskäsky seuraa, on lakannut, tämän käskyn on jäätävä voimaan hätäpysäytyslaitteen lukkiutumisen avulla kunnes tämä lukitus vapautetaan erityisellä toimenpiteellä; hätäpysäytyslaitteen lukkiutuminen ei saa olla mahdollista ilman, että aiheutuu pysäytyskäsky; hätäpysäytyslaitteen vapauttaminen pysäytysasennon luki-

tuksesta saa olla mahdollista vain tarkoituksellisella toimenpiteellä, eikä vapautuminen saa käynnistää konetta uudelleen vaan ainoastaan tehdä uudelleenkäynnistäminen mahdolliseksi. (13. s 184.)

Toteutettu hätäseis-kytkentä katkaisee käyttöjännitteet itse logiikalta ja moottoreiden releiden käämeiltä pysäyttäen siten laitteen. Hätä-seis-painikkeen palautuessa käyttöjännitteet palaavat ja logiikka palautuu alkutilaansa, jolloin mikään tulo ei ole kytkettynä. Rakenne nähtävillä sähkökuvista liitteessä 2 ja hätä-seis-painikkeen asemointi kuvassa 19.

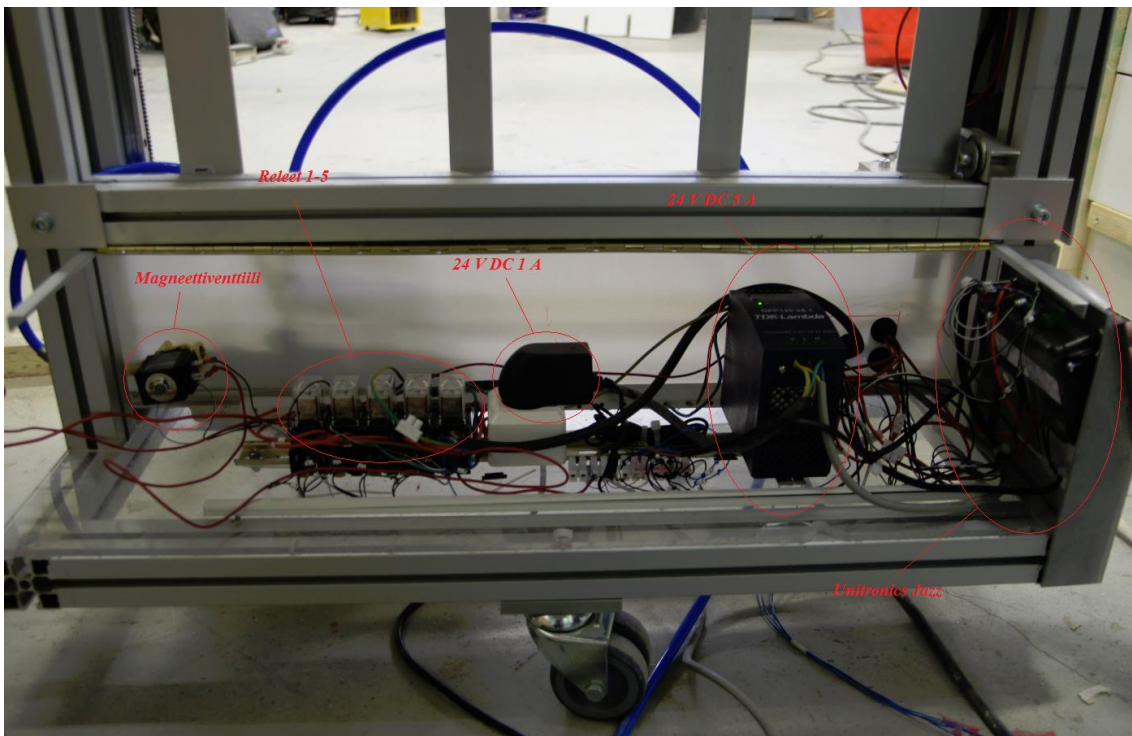


*KUVA 19. Hätä-seis-painike, automaattisulakkeet ja painokytkimet (kuva: Mika Mylly)*

### **4.3 Sähkötoteutus**

Laitteistoon sijoitettiin sähkökotelo (kuva 20), joka sisältää tarvittavan virtalähteen, releet, ohjauselektronikan ja läpiviennit johdotukselle. Kumisuojausiset

automaattisulakkeet on sijoitettu laitteen pääosan kylkeen sijoitettuun paneeliin kytkimien ylle.



*KUVA 20. Prototypin sähkökotelo purettuna (kuva: Mika Mylly)*

24 V:n moottorien tarvitsema käyttöjännite tulee 230 V → 24 V 5 A DC -muuntajasta. Hissin moottorin aiheuttama syöksyvirta laski jännitelähteen syöttämän jännitteen niin alas, että Unitronics Jazz -logiikka sammui hetkellisesti moottorin liikahtaessa eikä siten ollut toimiva ratkaisu. Jännitteenlaskuongelma kierrettiin laittamalla logiikalle, antureille ja releiden käämeille erillinen pieni 24 V 1 A DC -muuntaja. Tämä vähentää myös häiriöiden välittymistä galvaanista siirtotietäpitkin logiikalle.

Moottoreiden pyörimissuunnan vaihtuessa tai moottorin pysähtyessä moottorin induktanssiin varautunut energia purkautuu aiheuttaen mahdollisesti kipinöintiä releiden kontakteissa ja lyhentämällä siten niiden elinikää. Jännitteen nouseminen moottorien navoissa estettiin laittamalla moottorin napoihin kiinni VDR-vastukset 24 V kynnysjännitteellä.

Nelinapainen katkaiseva hätä-seis-painike sijoitettiin laitteessa näkyvälle paikalle, jotta sitä voidaan helposti käyttää mahdollisen häiriötilanteen sattuessa. Hätä-seis-painike katkaisee logikalle sekä releiden käämeille menevän käyttöjännitteen molemmat johteet ja pysäyttää siten laitteen välittömästi. Katkaisijan virrankesto on 3 A, joten kytkettynä 24 V 1 A -muuntajaan virrankesto on riittävä.

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyö koskee NWG Tools OY:n liikeidea kaakelointityön nopeuttamiseen suunnitellusta kaakelointikoneesta. Projektin tavoitteena oli luoda automaatio ja sähkötoteutus kaakelointikoneelle luotettavasti ja edullisesti. Tuotekehittelyn parissa tutustuttiin erilaisiin instrumentointi-, ohjaus- sekä sähköistystapoihin. Projekti onnistui eri vaiheineen hyvin ja lopullisesta toteutuksesta tuli tavoitteen mukainen.

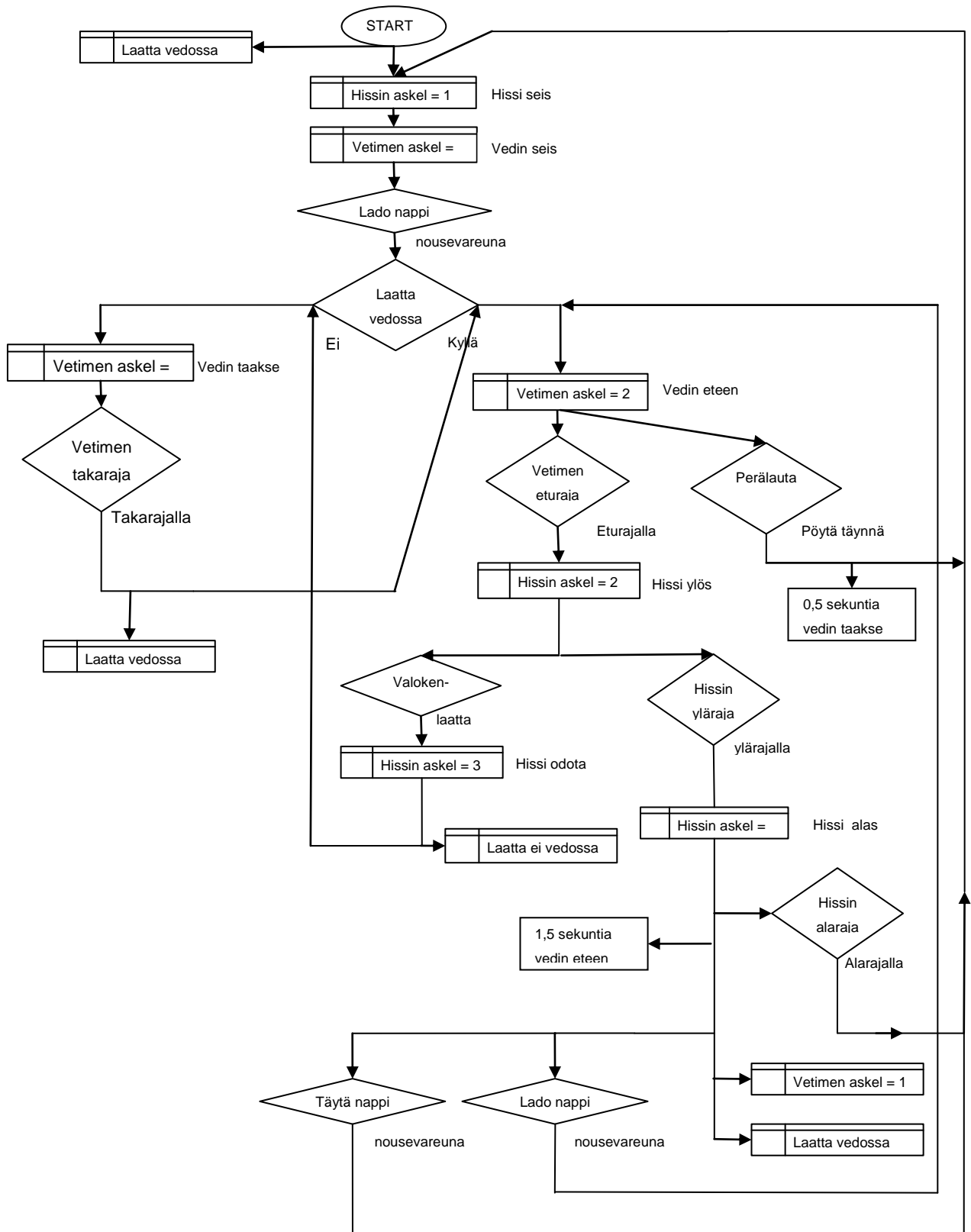
Työ NWG Tools OY:ssä automaatiovastaavana tuotekehittelyn parissa oli tuotekehittelyn luonteen mukaisesti jatkuvasti muuttuvaa ja automaation vaatimusten tuli kehittyä projektin mukana. Lopullisen prototyypin toiminnasta saatiin projektiryhmän kesken hiomalla sujuvaa ja yksiselitteistä eikä häiriötiloja laitteistoon saatu syntymään. Olen projektiin ja NWG Tools OY:n projektiryhmään erittäin tyytyväinen. Opin paljon projektiluontoisessa työssä toimimisesta sekä vastuu automaatiovastaavana lujitti ammattitaitoani automaatioinsinöörinä.

## LÄHTEET

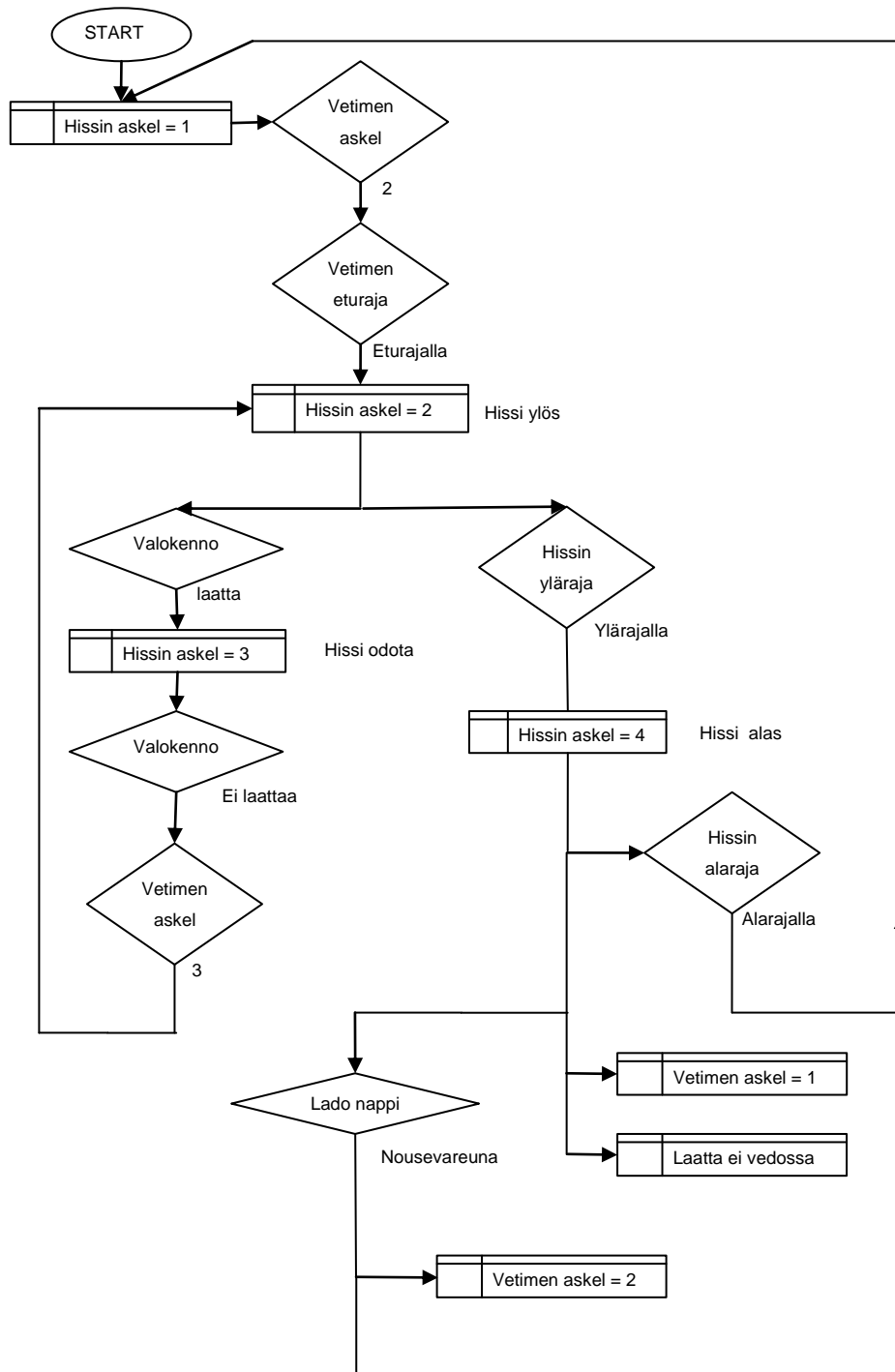
1. Mixed signal mikrokontroller. 2010. Texas instruments. [Saatavis-  
sa:http://www.ti.com/lit/ds/slas694j/slas694j.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/slas694j/slas694j.pdf). Hakupäivä 1.6.2014
2. MSP430 LaunchPad Value Line Development kit. Texas insruments. Saatavissa:<http://www.ti.com/tool/msp-exp430g2#1>. Hakupäivä:1.6.2014.
3. MSP430 LaunchPad PushButton. 2010. Aldo Briano. Saatavissa: [http://processors.wiki.ti.com/index.php/MSP430\\_LaunchPad\\_PushButto](http://processors.wiki.ti.com/index.php/MSP430_LaunchPad_PushButto). Hakupäivä:1.6.2014.
4. Blink. 2014. Arduino. Saatavissa:<http://arduino.cc/en/Tutorial/blink>. Hakupäivä:1.6.2014.
5. 8-bit AVR mikrokontroller 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash. 2009. Atmel. Saatavissa: <http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>. Hakupäivä: 1.6.2014.
6. Reitmaa, I. – Gustafsson, J. 1996. Varma digitaalelektroniikka, EMC-, vianehkäisy- ja häiriötorjuntatekniikka. Helsinki: Otatieto.
7. Optocoupler, Phototransistor Output (Multichannel). 2009. Vishay. Saatavissa:<http://www.vishay.com/docs/83526/83526.pdf>. Hakupäivä: 1.6.2014.
8. Toshiba photocoupler GaAs ired & photo-transistor. 2007. Toshiba. Saatavis-  
sa:[http://www.wvshare.com/datasheet/TOSHIBA\\_PDF/TLP627\\_TLP627-4.PDF](http://www.wvshare.com/datasheet/TOSHIBA_PDF/TLP627_TLP627-4.PDF). Hakupäivä: 1.6.2014.
9. Complementary Power Transistors. 2013. ON Semiconductor. Saatavis-  
sa:[http://www.onsemi.com/pub\\_link/Collateral/MJD31-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MJD31-D.PDF). Hakupäivä: 1.6.2014.

10. DC/DC Converters. 2013. Traco Electronic AG. Saatavissa: <http://www.tracopower.com/products/tmr.pdf>. Hakupäivä: 1.6.2014.
11. TMR 2 Series Application Note. 2007. Traco Electronic AG. Saatavissa: <http://www.tracopower.com/products/tmr2-application.pdf>. Hakupäivä: 1.6.2014
12. Modular DIN Rail Holders. 2014. OKW Electronics. Saatavissa: [http://www.okwelectronics.com/modular\\_din\\_rail\\_supports.html](http://www.okwelectronics.com/modular_din_rail_supports.html). Hakupäivä: 1.6.2014
13. Konedirektiivin 2006/42/EY soveltamisopas. 2010. Euroopan Unioni. Saatavissa: [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/files/machinery/guide-appl-2006-42-ec-2nd-201006\\_fi.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/files/machinery/guide-appl-2006-42-ec-2nd-201006_fi.pdf). Hakupäivä: 1.6.2014.

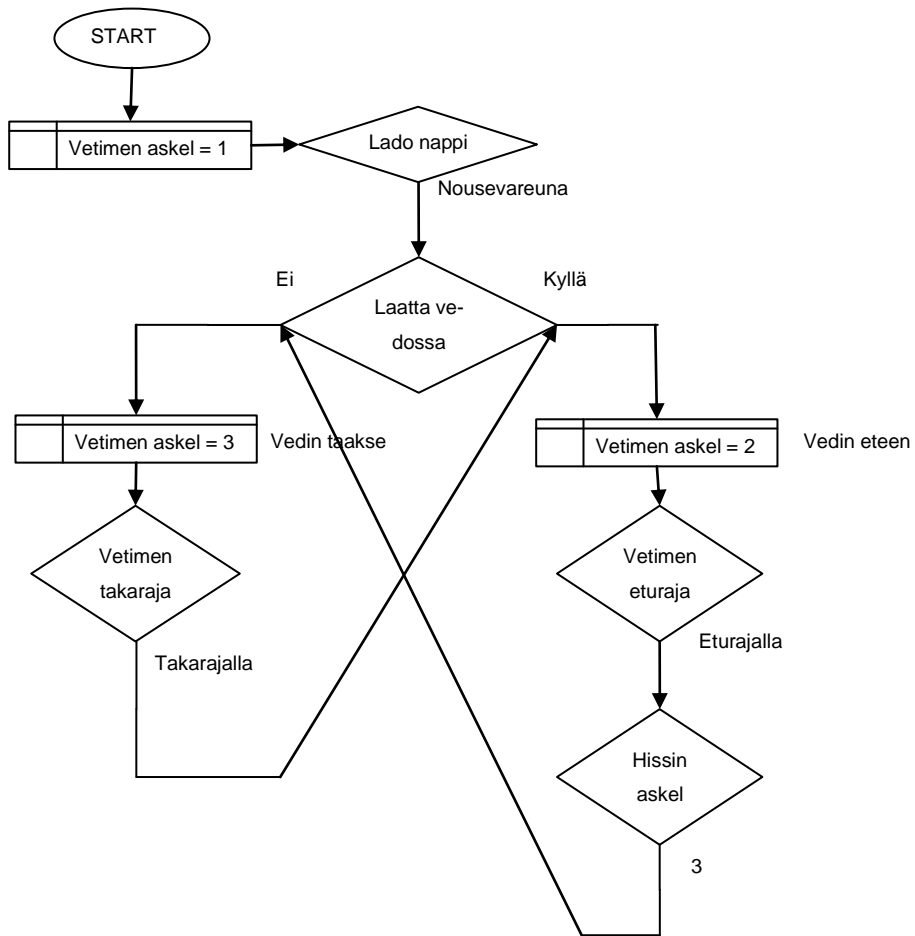




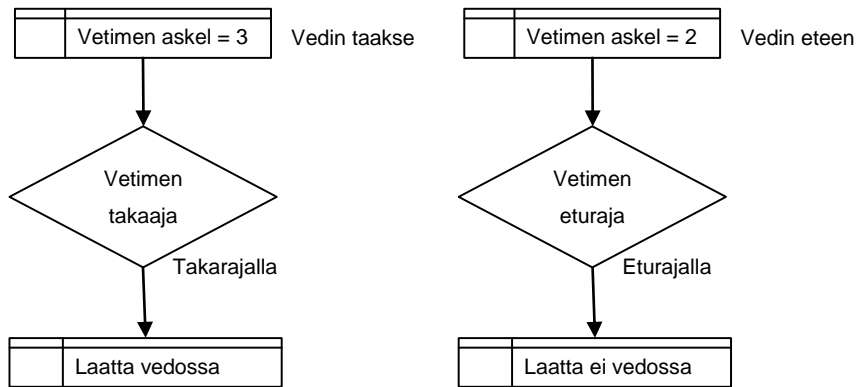
KUVA 1. Kokonaisssekvenssin vuokaavio (kuva: Mika Mylly)



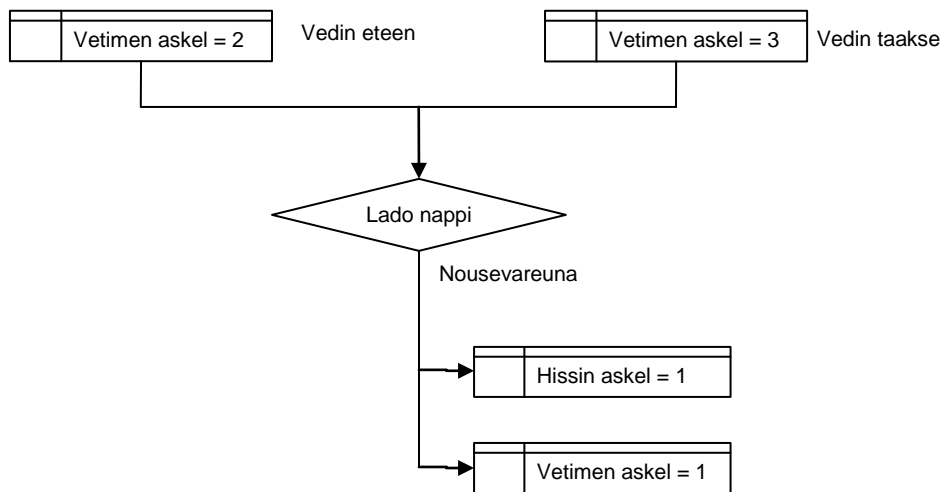
KUVA 2. Hissin sekvenssin eri askeleet (kuva: Mika Mylly)



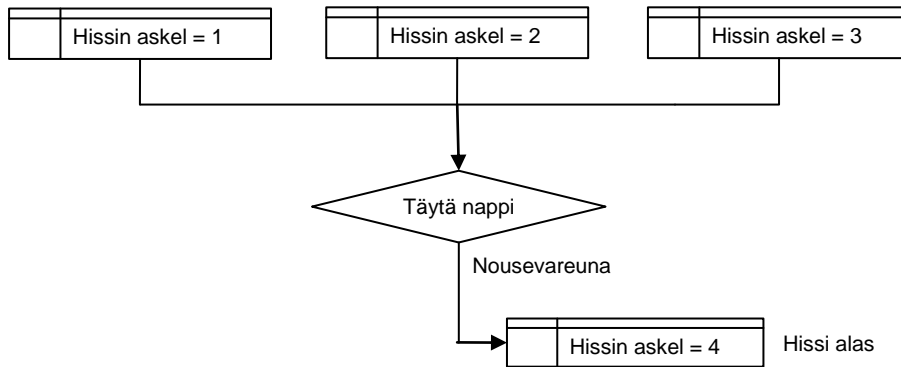
KUVA 3. Vetimen sekvenssin eri askeleet (kuva: Mika Mylly)



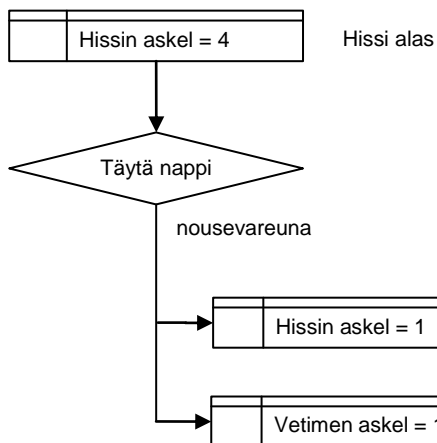
KUVA 4. Laatta vedossa -muistibitti vetimen toiminnan nopeuttamiseksi (kuva: Mika Mylly)



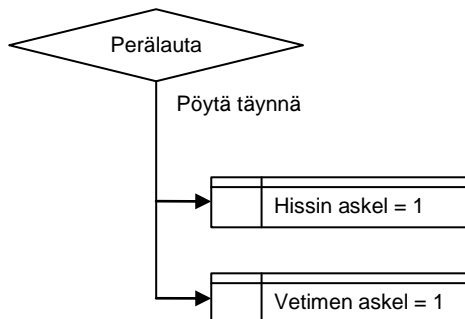
KUVA 5. Lado-painiketta painamalla voidaan toiminta myös pysäyttää (kuva: Mika Mylly)



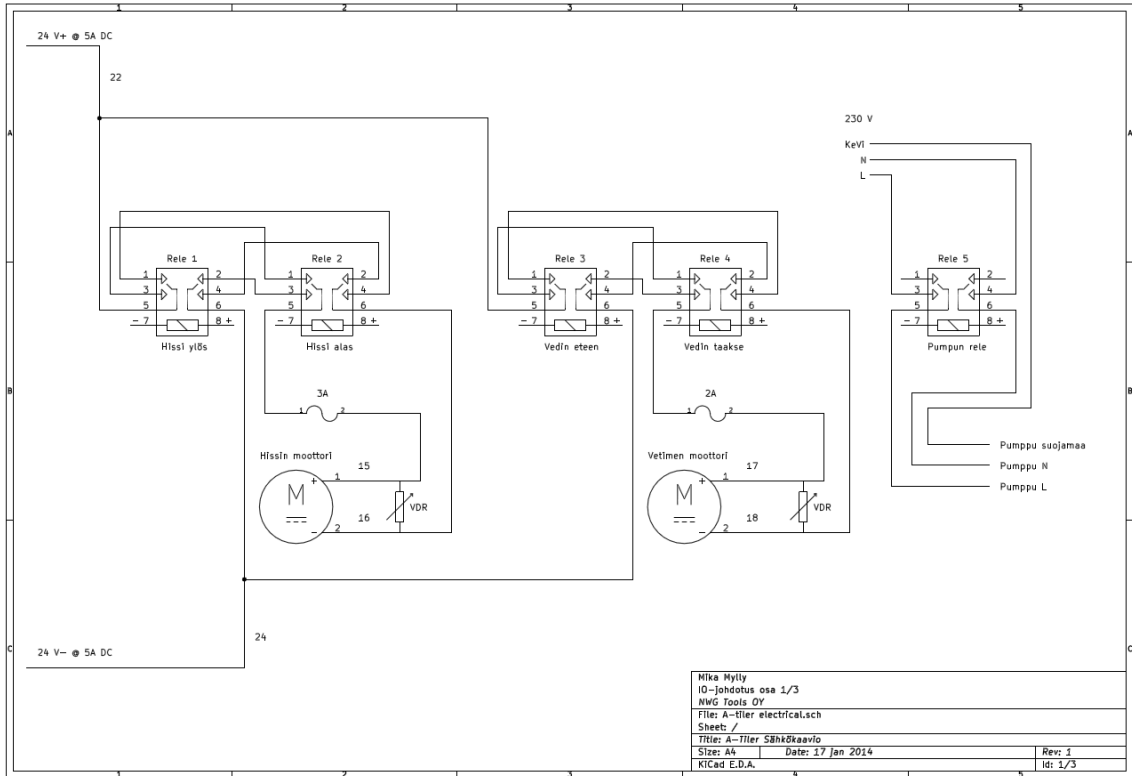
KUVA 6. Täytä-painiketta painettaessa hissi kulkeutuu ala-asentoon (kuva: Mika Mylly)



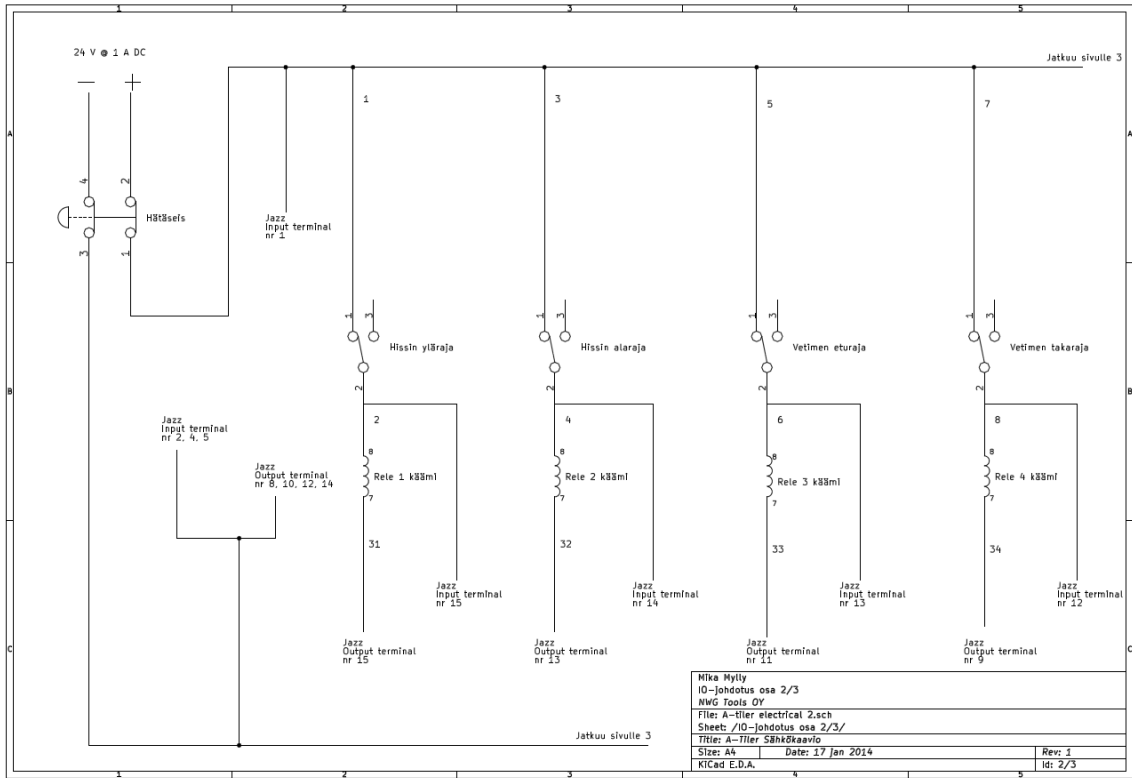
KUVA 7. Hissin siirryessä ala-asentoon voidaan toiminta keskeyttää tarvittaessa täytä-painikkeella (kuva: Mika Mylly)



*KUVA 8. Ladontapöydän tullessa täyteen vedin työntää laatat vasten perälauta-kytkintä ja toiminta lakkaa (kuva: Mika Mylly)*

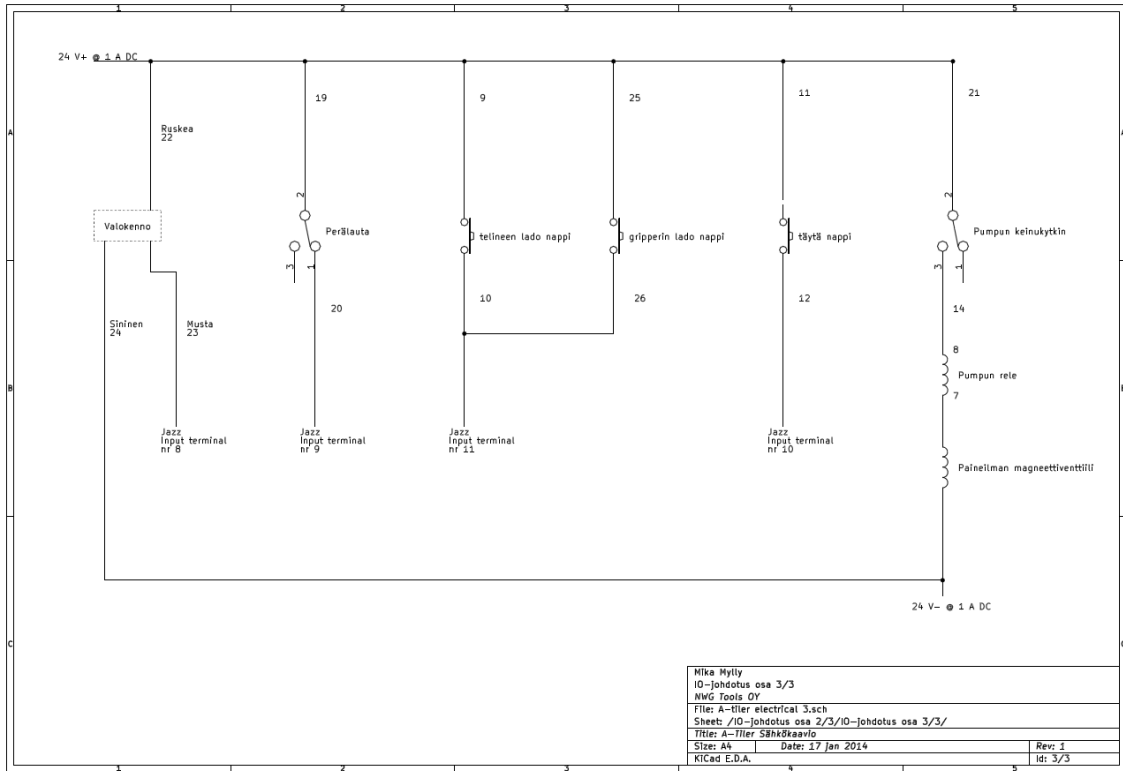


KUVA 1. Sähkökytkentäkaavio sivu 1 (kuva: Mika Mylly)



KUVA 2. Sähkökytkentäkaavio sivu 2 (kuva: Mika Mylly)





KUVA 3. Sähkökytkentäkaavio sivu 3 (kuva: Mika Mylly)