

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

JOONAS STENVALL

Hitsaustornin valmistaminen

Ohjelmistosunnittelu hitsaustorniin

NTK22SPN TIETOJENKÄSITTELY-OHJELMA
2025

TIIVISTELMÄ

Stenvall, Joonas: Hitsaustornin valmistaminen, Ohjelmistosuunnittelu hitsaustorniin.

Opinnäytetyö, AMK

Tietojenkäsittely

Huhtikuu 2025

Sivumäärä: 29

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli valmistaa hitsaustorni toistuvien hitsausliikkeiden mekanisoinniksi Rauman Konepaja Oy:lle. Hitsaustornin avulla hitsausta voi tehostaa ja työergonomiaa parantaa.

Työ aloitettiin vaatimusten kartoittamisella. Vaatimukset kartoitettiin haastatellamalla hitsausprosessin työntekijöitä ja toimeksiantajaa. Työntekijän vaatimukset koskivat hitsaustornin ohjelman toimintoja ja käytettävyyttä. Toimeksiantajan vaatimukset koskivat hitsaustornin valmistusta, käyttöominaisuuksia ja dokumentaatiota.

Hitsaustornin valmistus koostui mekaniikka-, elektroniikka- ja ohjelmistosuunnittelusta ja tuotteen kokoonpanosta. Tässä opinnäytetyössä keskityn hitsaustornin ohjelmistosuunnitteluun. Hitsaustornin toiminnot olivat tärkein osa ohjelmistosuunnittelussa. Tämä opinnäytetyö vastaa samalla myös dokumentaatio vaatimuksiin.

Hitsaustornin toimivuutta ja vaatimusten täyttymistä on seurattu projektin aikana yhteistyössä käyttäjien ja toimeksiantajan kanssa. Palautteen perusteella on tehty tarvittavia muutoksia.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi toimiva hitsaustorni, joka on päiväisessä käytössä toimeksiantajan tehtaassa.

Avainsanat: Hitsaustorni, Hitsaus, Ohjelmistokehitys

ABSTRACT

Stenvall, Joonas: Welding tower, programming of welding tower

Bachelor's thesis

Data computing

April 2025

Number of pages: 29

The purpose of this thesis was to design and manufacture a welding tower for mechanizing repetitive welding movements for Rauman Konepaja Oy. The welding tower allows for increased efficiency in welding and improved work ergonomics.

The work began with gathering requirements. These requirements were gathered through interviews with the workers involved in the welding process and the client. The workers' requirements focused on the functionality and usability of the welding tower's program, while the client's requirements concerned the manufacturing of the welding tower, user features, and documentation.

The production of the welding tower consisted of mechanical, electronic, and software design as well as assembly of the product. This thesis focuses on the software design of the welding tower. The functions of the welding tower's program were the main aspect of the software design. This thesis also addresses the documentation requirements.

The functionality of the welding tower and the fulfillment of the requirements have been monitored throughout the project in cooperation with the users and the client. Necessary changes were made based on the feedback received.

Keywords: Weldingtower, Welding, Programming

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 RAUMAN KONEPAJA	7
2.1 Vaatimukset.....	7
2.2 Hitsausauma.....	9
3 TUTKIMUSONGELMA JA TOIMEKSIANTO.....	10
4 HITAUSTORNI	11
4.1 Hitsaustornin esittely	11
4.2 Hitsaustornin käyttö Rauman Konepajalla.....	12
5 ELEKTRONIIKKA	12
5.1 Hitsaustornin elektroniikka.....	12
5.1.1 Askelmoottorit	13
5.1.2 Ääri rajojen kytkimet	13
5.2 Kauko-ohjain	14
5.2.1 Kauko-ohjaimen sulautettujärjestelmä	15
5.2.2 Sarjaväyläkommunikaatio	16
5.2.3 MPG-käsipyörä	16
5.2.4 Kytkimet.....	17
6 OHJELMISTOSUUNNITTELU	18
6.1 Hitsaustornin toiminnot.....	19
6.1.1 Oskillaatio	19
6.1.2 Viive	19
6.1.3 Hitsauspolttimen varren syöttöliike	19
6.1.4 MPG-käsipyöräohjaus	19
6.2 Hitsaustornin ohjelma.....	20
6.2.1 Pääohjelma.....	20
6.2.2 Ohjelman tilat.....	21
6.2.3 Tikitys-funktiot.....	22
6.2.4 Oskilaatiotikitys	22
6.3 Kauko-ohjaimen ohjelma	23
6.3.1 Potentiometrien lukeminen	23
6.3.2 Nappien ja kytkimien lukeminen	24
6.3.3 Sarjaväyläkommunikaatio	24
7 POHDINTA	26
LÄHTEET.....	28

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

KISS	Keep it simple stupid
Oskillaatio	Polttimon edestakaisin liike
MPG	Manual pulse generator, manuaalinen sähköpulssein generaattori
Kilpi	Arduinon menevä piirilevy, jossa on tehostettuja toimintoja
Optocoupler	Korkeajännitteisensignaalin erottaja lukemista varten
DM543T	Askelmoottorinohjain
Askelmoottori	Moottori, joka liikkuu asteittain askeleilla
Sarjaväylä	Kommunikaatioväylä, jonka kautta voidaan siirtää dataa tekstimuodossa
Interrupt	Keskeytys funnktio

1 JOHDANTO

Hitsaustorni on automatisoitu hitsausvarsi, jonka päässä on hitsauskolvi. Työntekijä ohjaa kaukosäätimellä hitsauskolvin paikkaan, johon halutaan hitsausta. Hitsaustornia voidaan ajaa joko manuaalisesti itse tai automaattisesti.

Hitsauksessa on paljon toistuvaa liikettä, jonka täytyy olla tasaista ja tarkkaa. Hitsaustornin avulla toistuva liike automatisoidaan ja näin ollen toistuvat hitsausliikkeet pysyvät laadukkaina. Hitsaustornin avulla hitsaajan työtä voidaan nopeuttaa ja tuotantoa tehostaa. Hitsaustornin käyttäminen lisää työntekijän työergonomiaa ja vähentää toistuvien, raskaiden liikkeiden kuormittavuutta.

Markkinoilla on saatavilla erilaisia hitsaustorneja. Rauman Konepaja Oy halusi omiin tarpeisiinsa sopivan hitsaustornin. Markkinoilla olevat tuotteet ovat melko arvokkaita yksinkertaisiin ominaisuuksiinsa nähden. Rauman Konepaja Oy halusi omiin tarpeisiinsa sopivan hitsaustornin edullisemmilla kustannuksilla.

Tässä toimeksiannossa suunnittelen ja valmistan hitsaustornin itse alusta alkaen valmiiksi tuotteeksi tehdaskäyttöön. Opinnäytetyössäni keskityn hitsaustornin ohjelmistosuunnitteluun. Ensin esittelen toimeksiantajan ja hitsaustornille asetetut vaatimukset. Sen jälkeen esittelen valmistamani hitsaustornin ja toimeksiantajan hitsaustornin käytön.

Elektroniikka osuudessa esittelen hitsaustornin ja kauko-ohjaimen elektroniikan suunnittelun ja toteutuksen. Ohjelmistosuunnittelussa kerron hitsaustornin toiminnoista ja ohjelmoin hitsaustornin ja kaukosäätimen. Lopuksi pohdin projektin onnistumista.

2 RAUMAN KONEPAJA

Rauman Konepaja Oy on metalliteollisuuden alihankintayritys, joka on erikoistunut koneistettujen ja hitsattujen voimansiirtokomponenttien valmistukseen.

Rauman Konepajalla on tehtaat Isometsän ja Kuivassuon alueilla. Isometsän tehtaalla tehdään enemmän voimansiirtoakseleita ja Kuivassuon tehtaalla hitsauskoonpanoja vaativia tuotteita. Rauman Konepajalla on monipuolinen konekanta, jolloin kaikki jyrsintä- ja sorvaustyöt onnistuvat moitteettomasti. Hitsaus on laadukasta ja sen kehittämiseen on panostettu. Harjoittelun aikana olen työskennellyt molemmissa tehtaissa sekä itsenäisesti, että ohjattuna eri työtehtävissä.

2.1 Vaatimukset

Toimeksiantajalla on tiettyjä vaatimuksia hitsaustornille, joista tärkein on hitsaustuotannon parantaminen eli toimivuuden ja tehokkuuden parantaminen. Sen lisäksi täytyy huomioida seuraavia seikkoja:

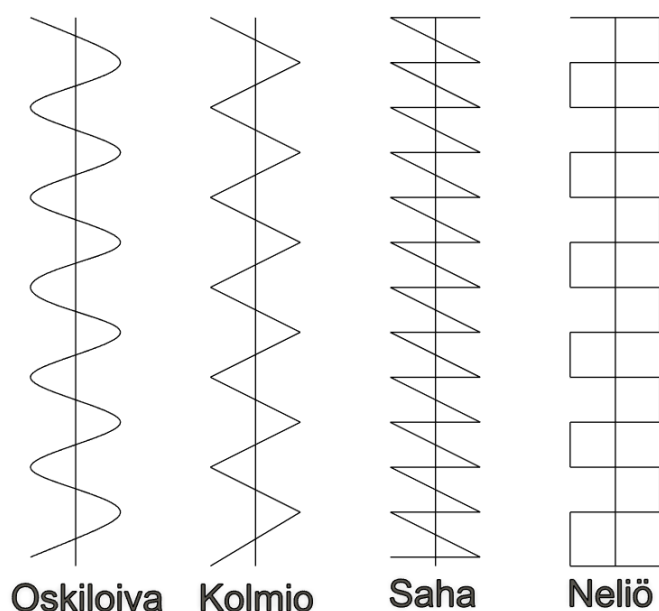
- Tuotteen tulee olla laadukas, mutta edullisempi kuin markkinoilla olevat hitsaustornit. Minun ei tarvinnut valita kaikista halvimpia komponentteja vaan sellaisia, joilla saisi vaaditun tarpeen täytettyä hyvällä hintalaatusuhteella.
- Yksinkertaiseksi suunniteltu kokonaisuus helpottamaan tornin rakentamista ja huoltamista. KISS (Keep it simple stupid) menetelmän avulla

välttää liiallisen ylisuunnittelun, jota on hyvä välttää yksinkertaisuuden takaamiseksi.

- Hitsaustornin toiminnot valitaan toimeksiantajan käyttötarkoituksien mukaisesti. Hitsaustornin tulee toimia toistuvasti ja tarkasti hyvälaatuisen sauman takaamiseksi.
- Dokumentaatio tulee kirjata hitsaustornin huollon helpottamiseksi. Sen avulla toisen tornin rakentaminen onnistuu myöhemmin huomattavasti helpommin.

2.2 Hitsaussauma

Hitsaussauman lopullinen jälki on riippuvainen monesta eri muuttujasta, kuten materiaalien puhtaudesta, paksuudesta ja tyypistä (Smooth Robotics. Kohta Weld Bead Techniques). Myös hitsaajan taito vaikuttaa hitsauksen laatuun. Hitsauksessa on tärkeää pitää vakaa liike ja oikea kulma. Hitsisauman yleisimmät tekniikat ovat suora sauma sekä levitetty sauma. Suora sauma on kaikista yksinkertaisin sauma hitsata. Suora sauma on yleisesti kapea ja tasainen sauma, joka on hyödyllinen niissä tilanteissa, joissa tarvitaan tarkkuutta. Suoria saumojia voidaan hitsata myös päällekkäin, jolloin saadaan aikaan vahvempi hitsaus paksumpien materiaalien kanssa. (Frank M. Marlow. 2012. Chapter 3) Levityssauma sisältää polttimen sivuttaisen liikkeen sauman reunojen välillä. Levitys saa saumasta isomman, mikä on hyödyllistä leveiden rakojen ja paksumpien materiaalien kanssa. Kuvassa 1 esitellään erilaisia levitys muotoja, joita voidaan käyttää hitsauksessa.



Kuva 1. Eri tilanteissa käytettäviä hitsaussaumanlevityskuvioita.

3 TUTKIMUSONGELMA JA TOIMEKSIANTO

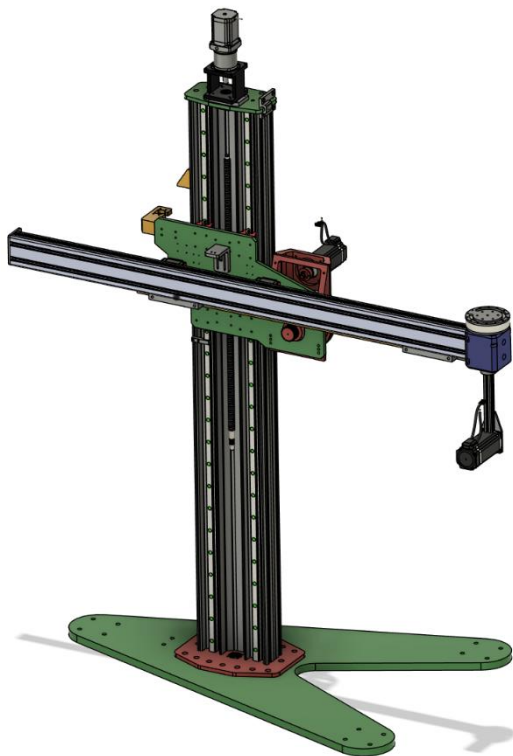
Tutkimusongelmana oli kehittää hitaustuotannon tehostamiseen kustannustehokas apuväline. Toimeksiantona oli käyttää yleisesti tunnettuja Arduino komponentteja sekä valmiita mekaanisia kokoonpanoja hitsaustornin suunnittelussa. Hitsaustornit ovat melko arvokkaita yksinkertaisiin toimintoihin nähden. Tämän takia toimeksiantaja halusi teettää edullisemman hitsaustornin käyttäen edullisia komponentteja.

Hitsaamossa on käytettävissä pyörityspöytä pyöreiden kappaleiden hitsaamiseen. Pyörityspöydällä on kätevä hitsata pyöreiden kappaleiden saumoja eteenpäin menevillä liikkeillä. Leveän hitsausauman aikaan saamiseksi hitsaajan on tehtävä levitysliike hitsauspolttimolla. Pelkästään tämän liikkeen mekanisointi koitui kalliiksi, sillä siihen löytyvät ratkaisut ovat useamman tuhannen euron paikkeilla ilman käteviä paikoittamia.

4 HITSAUSTORNI

4.1 Hitsaustornin esittely

Kuvassa 2 esitetään hitsaustorni, joka koostuu pysty- ja vaakaliikeakseleista. Pysty- ja vaakaliikkeillä paikoitetaan hitsauskolvi haluttuun asemaan. Akseleiden liikkeitä ja sijaintia voidaan muokata kesken ajon, jotta kolvi ei ajaannu pois halutulta alueelta. Kolvia liikutetaan edestakaisin oskilloivalla liikkeellä yhdellä moottorilla vaaka-akselin lopussa. Pystyvuomi on pultattu kiinni painavaan alustaan, johon on kiinnitetty rullat hitsaustornin liikuttamista varten.



Kuva 2. Hitsaustornin kokoonpano, jossa näkyy pysty-, vaaka- ja oskillointiakselit.

4.2 Hitsaustornin käyttö Rauman Konepajalla

Hitsaustornia käytetään yhdessä pyörityspöydän kanssa. Hitsattava kappale laitetaan pyörityspöydälle, joka pyörii hitaasti ympäri. Hitsaustorni on sijoitettu pyörityspöydän eteen tai sivulle. Pyörityspöytä helpottaa huomattavasti erilaisien pyöreiden kappaleiden hitsauksessa. Hitsaustornia voi käyttää myös pitkien ja suorien hitsausseamujen kanssa.

5 ELEKTRONIikka

Elektroniikka puolella päätin käyttää projektissa Arduino ekosysteemiä sen helppouden vuoksi. Projektiin sisältyy kaksi erillistä Arduinoa, jotka kommunikoivat toistensa kanssa. Ensimmäinen mikrokontrolleri menee hitsaustornin sähkökaapin sisälle ja ohjaa siellä olevia askelmoottorin ajureita ja sen rajoituskäytimiä. Toinen mikrokontrolleri sijaitsee kaukosäätimessä, jonka avulla ohjataan koko tornin liikkeitä. Hitsaustornissa on 3 erilaista akselia. Kahden akselin avulla saadaan hitsauskolvi liikutettua haluttuun paikkaan xy-koordinaatistossa. Kolmannella akselilla saadaan vaaputusliikettä hitsauskolville hitsausseaman levittämiseksi.

5.1 Hitsaustornin elektroniikka

Hitsaustornin sähkökaappiin valitsin Arduino Mega 2560 Rev3:n sen luotettavuuden vuoksi. Mega 2560 sisältää 54 digitaalista ja 16 analogista pinniä ja 4 erillistä sarjaväyläliitäntää (Arduino. Kohta features). Arduino Megan yleisyys lisää mahdollisuuksia erilaisilla kilvillä. Kuvassa 3 on esitetty Arduino mega ruuviterminaalikilvellä varustettuna. Kilvillä voidaan laajentaa Arduinon toimivuutta lisäämällä pinnien päälle piirilevyn, jossa on erilaisia komponentteja kiinni. Nämä auttavat projektin teossa. Käytin ruuviterminaalikilpeä, johon oli helppo ruuvata eri komponenttien liitännät.



Kuva 3. (RobotShop) Arduino Mega ruuviterminaali kilvellä.

5.1.1 Askelmoottorit

Askelmoottori on moottori, joka liikkuu tietyn määrän asteita yhtä sähköpulsssia kohden (Electrical Technology, kohta What is a Stepper Motor?). Moottorit liikkuttavat lineaarisia johteita.

Työn eri akseleita liikkuttavat yhteensä kolmea eri kokoista Nema askelmoottoria XY-suuntiin ja O-asteikolla. Käytin akseleihin DM542T digitaalista moottoriohjainta, joka ottaa yksinkertaiset askel- ja suuntakäskyt LOW/HIGH signaaleilla suoraan Arduinosta. DM542T moottoriohjain pyörittää moottoreita 24 voltin jännitteellä, joka parantaa suorituskykyä ja antaa enemmän tehoa. Lisäksi se ottaa vastaan 5 voltin ohjaussignaaleja vastaan Arduinolta. Moottoriohjaimen avulla voi myös säätää kuinka paljon virtaa moottoreilla annetaan ja kuinka suuri yksi askel on moottoreille. (StepperOnline. Kohta Description.)

5.1.2 Ääri rajojen kytkimet

Ääri rajojen kytkimet rajoittavat akselin liikettä turvalliselle alueelle. Kytkin aktivoituu, kun akselin liike on lopussa tai alussa. Käytin induktiivista kytkintä, joka aistii lähellä olevaa metallia. Ääri rajojen kytkimet kertovat Arduinolle liikealueen olevan alussa tai lopussa vaihtamalla 24 voltin signaalin maahan. Jotta tämä

signaali olisi Arduinolle yhteensopiva käytän kytkimen ja Arduinon välillä optocoupleria, joka erottaa ja muuntaa 24 voltin jännitteen Arduinon käyttämään 5 voltin jännitteeseen.

5.2 Kauko-ohjain

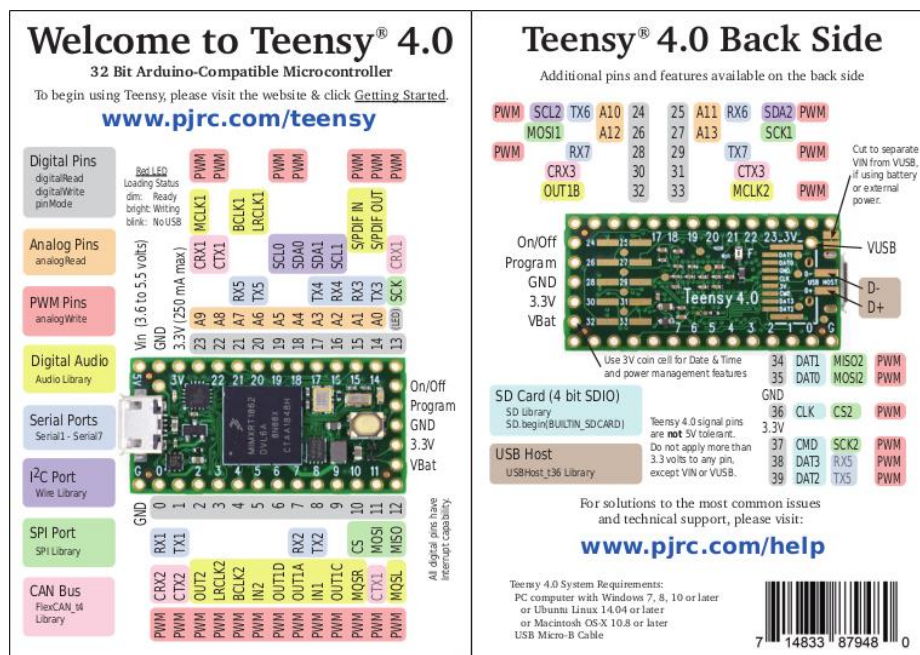


Kuva 4. Kauko-ohjaimen ulkonäkö.

Ohjaimesta ohjataan hitsaustornin liikkeitä helppokäyttöisellä käyttöliittymällä. Kuvassa 4 näkyy käyttöliittymä, joka perustuu fyysisiin nappeihin ja kiertokytkimiin, jotta hitsaustornia on mahdollista käyttää, vaikka hitsausmaski rajoittaa näkyvyyttä. Ohjelmien eri ohjausparametrejä voidaan säätää kauko-ohjaimen kytkimien avulla. Ohjaimessa on myös MPG-pyöritettävä pulssienkooderi moottorien ohjausta varten. Ohjaimen vipukytkimien avulla ohjataan myös erilaisia toimintoja. Ohjain on suunniteltu mahdollisimman käyttäjäystävälliseksi ohjausvirheiden välttämiseksi.

5.2.1 Kauko-ohjaimen sulautettujärjestelmä

Kauko-ohjaimen mikro-ohjaimeksi valitsin Teensy 4.0:n, joka on yksi tehokaimmista Arduinon ekosysteemiin sopivista alustoista. Teensyissä on useita hyödyllisiä ominaisuuksia, kuten kuusi erilaista kommunikaatioväylää, USB kommunikaatio sekä monta muuta ominaisuutta. Kuvassa 4 näkyy miltei kaikki Teensyn ominaisuudet. Teensy on varustettu ARM Cortex-M7 prosessorilla. Prosessorin tehokkuuden ansiosta ohjelman suoritus tapahtuu millisekunnissa. Ohjelman suoritusta pitää jopa hidastaa sulavamman väyläkommunikaation takaamiseksi. Suunnitteluvaiheessa kauko-ohjaimen piti tulla kosketusnäyttö arvojen muokkaamiseksi. Kosketusnäyttö todettiin kuitenkin vaikeasti käytettäväksi hitsausprosessin aikana, joten kosketusnäytöstä luovuttiin lopullisessa tuotteessa. Tästä syystä käyttöön jäi tarpeettoman tehokas mikro-ohjain.



Kuva 4. Teensy 4.0 Kuva tuote-esitteestä Pjrc.com

5.2.2 Sarjaväyläkommunikaatio

Kauko-ohjain lähettää dataa hitsaustornille kauko-ohjaimen kytkimien eri asennoista ja säädöistä. Data kulkee Teensy:n ja Arduino Megan välillä 115200 baud:in nopeudella, joka mahdollistaa 115200 databitin tietomäärän liikkumisen joka sekunti.

5.2.3 MPG-käsipyörä



Kuva 5. MPG-käsipyörä.

MPG eli manual pulse generator on AB vaiheinen signaalipulssigeneraattori, joka sopii hyvin CNC-koneiden ja monen muun tyyppisten koneiden ohjaamiseen. Yksi täysi 360 asteen kierros tuottaa 100 pulssia AB pinneillä, joka tekee tästä hyvin loogisen CNC-koneiden ohjaamista varten. (Vallder. N.D.) Ohjelmassa määritellään pulssin kooksi esimerkiksi 1 mm, 10 mm tai vaikka 100 mm. Vaikka kymmenen kertotaulukkoa ei ole pakko käyttää on se silti yksi yleisimmin käytetyistä asteikoista CNC-koneiden liikkeiden ohjaamisessa. Kuvassa 5 näkyy käsipyörässä sijaitsevia viivoja, joilla voidaan katsoa liikutettavaa etäisyyttä.

MPG-käsipyöriä voi olla kahta erilaista. Yksikanavasyöttöinen, johon menee AB signaaleille omat johdot, positiivinen ja negatiivinen. Differentiaalisyöttöön menee A, A ja B, B signaali positiivisen ja negatiivisen lisäksi.

Yksikanavasyöttö on herkempi sähkömagneettisille häiriöille (EMI) differentiaalisyyttöön verrattuna. Differentiaalisyyttö ei ole niin herkkä sähkömagneettisille häiriöille kuin yksikanavasyöttö, koska differentiaalisyytössä käytetään kahta signaalisyyttöä. Vaikka maadoitusta ei tarvittaisi sitäkin voi myös käyttää, mikä parantaa differentiaalisyytön häiriönsietoa entisestään. (Vallder. N.D.) Tässä työssä totesin käytännössä, että yksikanavasyöttö oli riittävän vakaata, joten päädyin käyttämään sitä työssäni.

5.2.4 Kytkimet

Kaukosäätimen kytkimiksi valitsin kaksi kiertokytkintä, yhden painettavan kytkimen ja hätäseis kytkimen. Kytkin nämä kaikki liitännät suoraan Teensy 4.0:n eri pinneihin. Kytkimet ovat kytketty 5 voltin positiiviseen pinniin ja vetää Teensyn sisääntulopinnin ylös ilmoittaakseen napin painalluksesta. Hätäseis nappulan kiinnitin interrupt-pinniin, joiden avulla saan nopean reaktioajan hätäseis nappulalle.

6 OHJELMISTOSUUNNITTELU

Arduinoja voidaan ohjelmoida monella eri tavalla. Suosituin ja helpoin tapa on käyttää Arduinon omaa kehitysympäristöä. Vaikka Arduino IDE perustuu laajalti Microsoft Visual Studio Codeen, päätin silti käyttää Visual Studio Codea suoraan Platform IO:n kautta. Platform IO alusta tukee enemmän ominaisuuksia kuin Arduinon vakio IDE.

Ohjelman perusta koostuu kahdesta eri koodiprojektista: yksi hitsaustornille ja toinen kauko-ohjaimelle. Näiden ohjelmien välille piti saada kommunikaatio-protokolla. Tähän valitsin sarjaväyläliitännän, koska se on tuettu molemmissa Arduinoissa. Näiden kahden Arduinon välillä kulkee dataa tekstimuodossa. Data voi sisältää käskyn tehdä jokin komento ottamalla datan mukana tulleet parametrit huomioon tai vain päivittää jokin arvo dataobjektilla.

Arduinoissa on kaksi erittäin tärkeää funktiota: Main- ja Setup-funktiot. Nämä sisältyvät jokaiseen Arduino koodiin. Setup funktion yleisin tarkoitus on alustaa erilaisia muuttujia, koodikirjastoja, väyläyhteyksiä, pin modeja ja ulkoisia komponentteja. Setup-funktio käynnistyy ennen Main-funktioon menemistä. Tämän vuoksi Setup-funktiossa on kätevä alustaa eri yhteyksiä erilaisiin asioihin ennen vaadittua käyttöä. Main-funktio on jatkuvalla toistolla, joka täytyy ottaa huomioon ohjelmoinnissa. Hitsaustornin Main-funktioissa voin katsoa onko sarjaväylään tullut uusia viestejä tai liikuttaa moottoreita.

6.1 Hitsaustornin toiminnot

Toimeksiantaja on esittänyt tiettyjä vaatimuksia hitsaustornin toimintoihin. Alla esitellyt toiminnot vastaavat näihin vaatimuksiin.

6.1.1 Oskillaatio

Oskillaatio moottori heiluttaa hitsauspoltinta edestakaisin määrätyllä nopeudella. Hitsausauman levitys tapahtuu, kun hitsauskolvia liikutetaan tasaisella nopeudella pitkin hitsattavaa reittiä samaan aikaan kun kolvia heilutetaan. Hitsauskolvin liike saadaan aikaiseksi joko ulkoisella pyörityspöydällä tai hitsaustornin varren syöttöliikkeellä (kts. 5.1.3).

6.1.2 Viive

Kolvin kulkiessa liikkeen loppuun, on mahdollista odottaa muutamia millisekunteja ennen seuraavan liikkeen alkamista.

6.1.3 Hitsauspolttimen varren syöttöliike

X-akselin syöttöliike on tasaisella nopeudella suoritettava hitsaustornin varren liike, joka toteutetaan askelmoottorin avulla.

6.1.4 MPG-käsipyöräohjaus

Käsipyöräohjauksella voidaan manuaalisesti liikuttaa akseleita haluttuun sijaintiin. Kauko-ohjain lähettää liikekäslyn, jonka mukana lähetetään liikkeen suunta, nopeus ja liikutettava akseli.

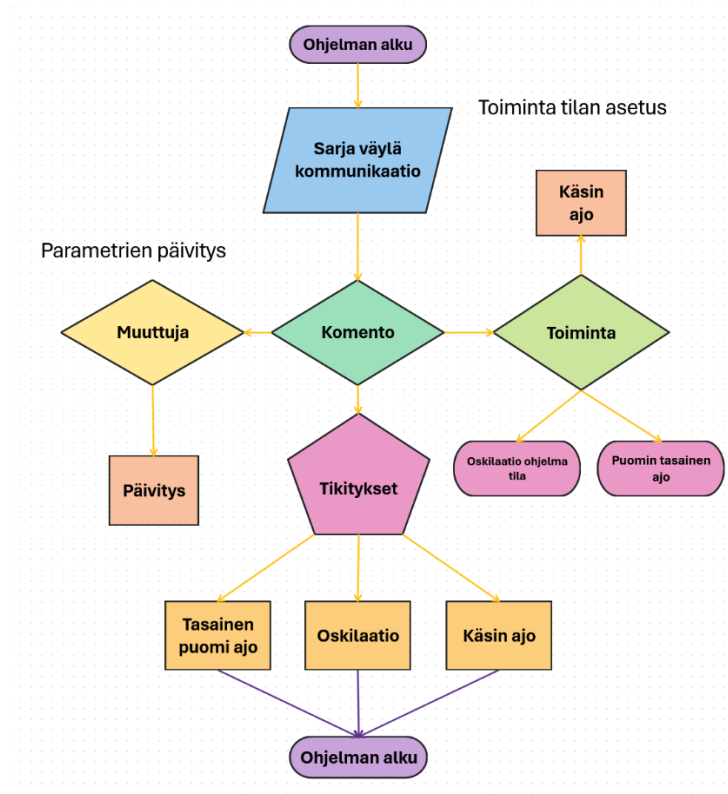
6.2 Hitsaustornin ohjelma

Ohjelman pitää tukea monen eri toiminnon käyttöä samaan aikaan. Oskilloinnin, puomin tasaisen liikkeen ja käsipyörän täytyy toimia samaan aikaan. Tämän takia ohjelma on kirjoitettu joustavaksi. Sarjaväylä päivittää ohjelmatiloja ja parametreja, joiden avulla ohjelma ohjaa moottoreita.

6.2.1 Pääohjelma

Hitsaustornin koodi silmukkaa ei keskeytetä koskaan. Tikitys toimintojen ansiosta hitsaustornin ohjelman ei tarvitse keskeytyä kesken kaiken. Kuten pelisilmukat hitsaustornin silmukka toistuu jatkuvasti uudelleen. Kuvassa 6 näkyy ohjelmakaavio mikä auttaa havainnoistamaan ohjelman tikitys toiminnot.

Moottoreita liikutetaan muutamia askeleita joka ohjelman läpikäynnin aikana. Mikrokontrollerit pyörittävät koodia niin nopeasti, ettei meidän tarvitse olla jatkuvassa silmukassa liikuttamassa moottoreita. Sarjaväylä asettaa parametreja, joihin moottorit ajetaan. Näitä ovat kulman alku ja pääty asento, kulman nopeus, viiveet, puomin nopeus ja liike. Moottoreita "tikitetään" monta kertaa sekunnissa, kunnes ne saavuttavat määrätyn sijainnin liikkumalla haluttuun suuntaan. Parametrien päivitys tapahtuu ennen moottorien tikitystä, joten ohjelma pystyy nopeasti reagoimaan parametrien muutokseen. Moottorien haluttu sijainti ja nopeus lasketaan aina, kun parametri päivittyy ja moottorin tikitys funktio ottaa nämä heti huomioon. Tikitystoiminta mahdollistaa monen eri moottorin samanaikaisen toiminnan ja välittömän reagoimisen kauko-ohjaimen kytkinten tilojen muutoksiin.

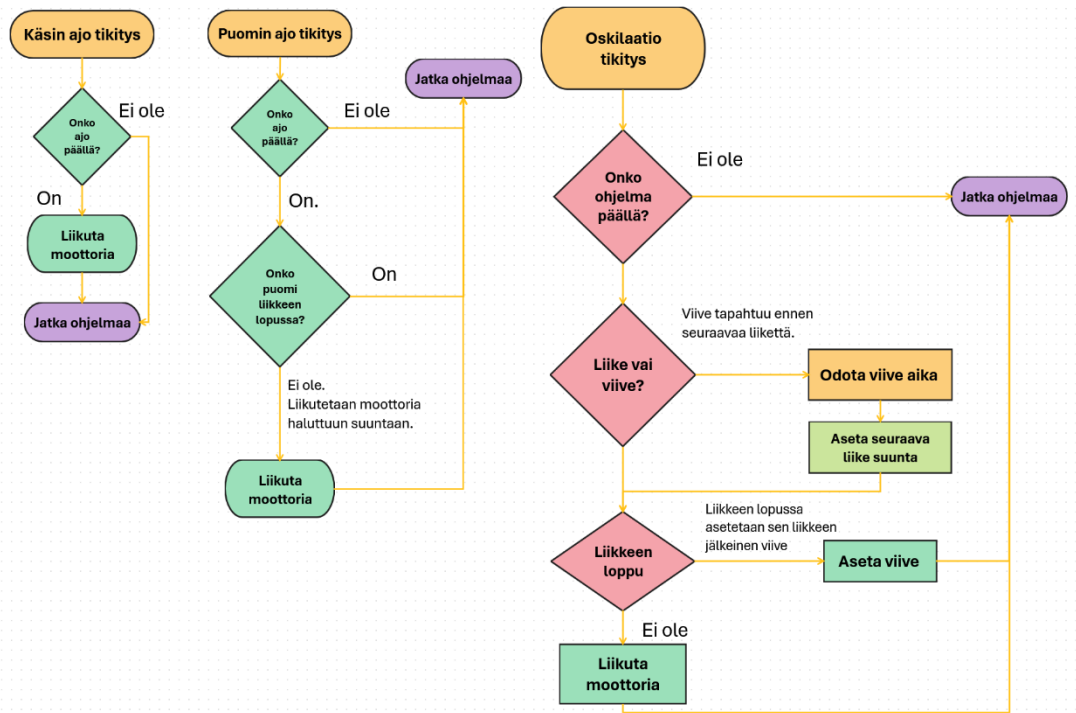


Kuva 6. Hitsaustornin ohjelmakaavio.

6.2.2 Ohjelman tilat

Ohjelman täytyy jotenkin tietää, mitä toimintoja pitää pyörittää ja mitä ei. Ohjelman luokilla on oma sisäinen tila, jonka mukaan tikitystoiminnot toimivat. Tikitysfunktiot eivät aja moottoreita, ellei tila salli sitä. Ohjelman tiloja voi käyttää myös estämään tiettyjä toimintoja silloin, kun toinen toiminto on käynnissä. Esimerkiksi tasaisen puomin ajon aikana ei välttämättä ole kovin järkevää liikuttaa puomia manuaalisesti.

6.2.3 Tikitys-funktiot



Kuva 7. Tikityskaaviot.

Kuvassa 7. näkyvät ohjelmassa olevat eri tikitys funktiot.

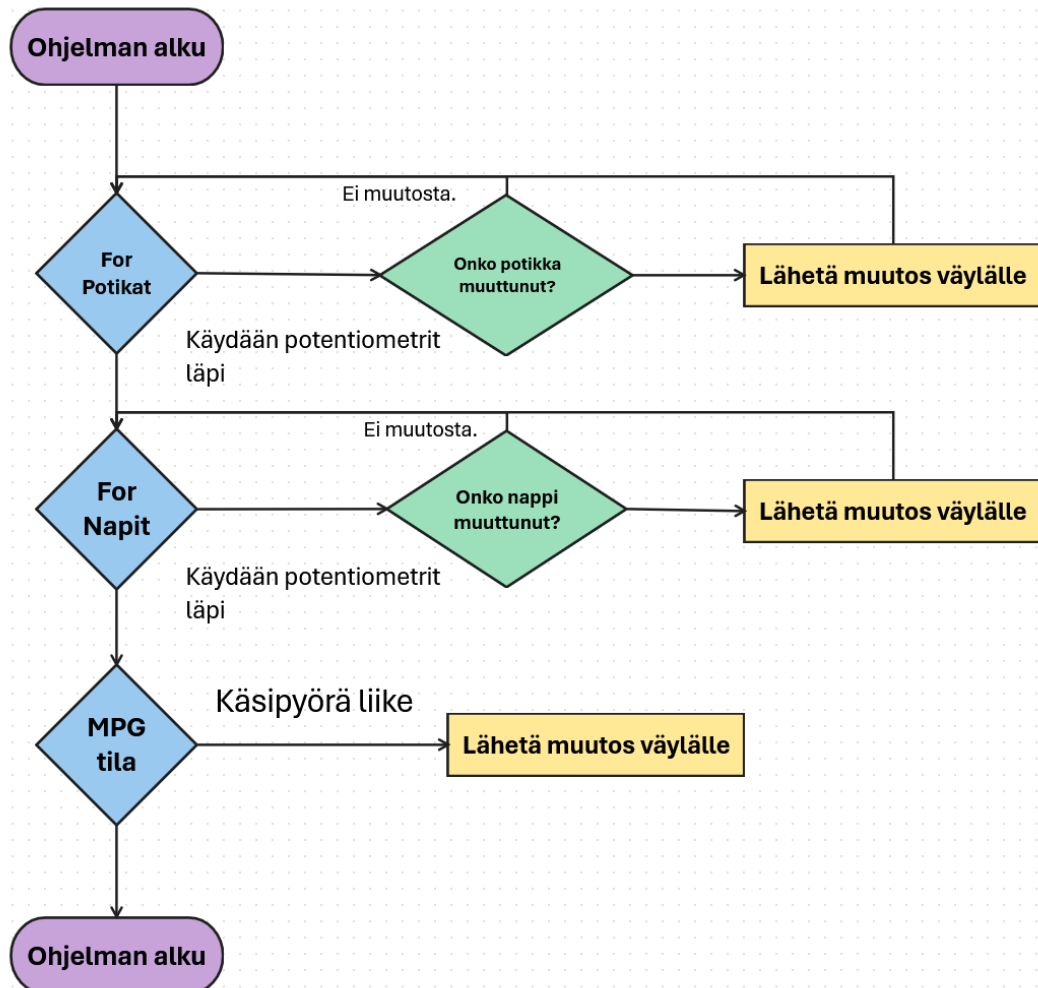
Tikitys-funktioissa liikutetaan moottoria, jos moottori ei vielä ole määrän-päässä. Liikuta moottoria-funktio ottaa myös ääriarajat huomioon ja lopettaa ajon ennen akselin törmäystä.

6.2.4 Oskilaatitiktitys

Kuten muilla tikitys funktioilla, oskilaation tikityksessä on myös ohjelmatilan tarkastus funktion alussa.

6.3 Kauko-ohjaimen ohjelma

Kauko-ohjaimen ohjelma on yksinkertainen. Painikkeet ja potentiometrit käydään yksitellen läpi ja lähetetään viesti sarjaväylälle muutoksesta. Kuvassa 8. näkyy Kauko-ohjaimen yksinkertainen ohjelman sujuvuus.



Kuva 8. Kauko-ohjaimen kaavio.

6.3.1 Potentiometriin lukeminen

Suoraan potentiometriin lukeminen on helppoa. Potentiometrin analogisessa signaalissa on yleisesti pientä häiriötä, joka muuttaa luettua signaalia hieman. Liian heilahteleva arvo on huono useammastakin syystä. Turhien päivitysviestien lähettäminen kuormittaa ohjelmaa turhaan ja lisää heittävyttä ohjelmaan.

Kulman ei pitäisi heittelehtiä turhaan muutamalla asteella vaan kulman pitäisi olla juuri se aste, johon potentiometri on käännetty. Tämän takia muutoksen tarkastamisen yhteydessä laskemme potentiometrin arvojen keskiarvoa ja lähetämme päivitetyn arvon sen muutoksen perusteella. Tämä tuottaa vakaampaa signaalia ja vähentää turhien päivityksien määrää.

6.3.2 Nappien ja kytkimien lukeminen

Nappien ja kytkimien lukeminen on pitkälti sama kuin potentiometriä, mutta ilman keskiarvojen laskemista. Napilla on kuitenkin vain kaksi asentoa. Nappoja voidaan lukea käyttämällä interruptteja, jotka laukaisevat funktion heti tilan muutoksesta. Kauko-ohjaimen mikropiiri on kuitenkin tarpeeksi nopea käymään kaikki nappien tarkistukset läpi ilman huomattavaa viivettä. Tämän takia tein ohjelmasta hieman yksinkertaisemmän. Keep it simple stupid! Interrupt toiminnallisuus voidaan myöhemmin lisätä, mikäli käyttäjää häiritsee muuttaman millisekunnin viiveet.

6.3.3 Sarjaväyläkommunikaatio

Sarjaväylän viestit koostuvat muotoilluista merkkijonoista, jotka ovat kääritty lajittelu [] {} <> merkeillä jonon alkuun ja loppuun eri viestien lajittelun helpottamiseksi. Lajittelumerkin jälkeen tulee muuttujan nimi, jota päivitetään. Muuttujan jälkeen tulee ':' merkki, jonka jälkeen tulee muuttujan uusi arvo.

```
<potentiometri:arvo>
<kulma:aste>
<nopeus:mm/s>
<viive1:ms>
<viive2:ms>
```

```
[nappi:totuusarvo]
[oskilaatio:ON/OFF]
[xliike:ON/OFF]
[hätäseis:ON/OFF]
```

Käsipyöräliikkeiden viestissä käytetään | useamman muuttujan erottimena.

```
{akseli:ZXA | nopeus:mm/s | suunta: eteen/takaisin}
```

```
{akseli:X|nopeus:10|suunta:eteen}
```

7 POHDINTA

Valmistin hitsaustornin alusta alkaen itse toimivaksi tuotteeksi Rauman Konepajan Oy:n hitsaamoon. Hitsaustornin suunnitteleminen, kokoonpaneminen ja ohjelmoiminen valmiiksi tuotteeksi on ollut laaja työ. Opinnäytetyön kirjallista osuutta rajasin keskittymällä hitsaustornin ohjelmistosuunnitteluun. Hitsaustornin toiminnot määrittävät sen käytettävyyden, joten laadukkaalla ohjelmoinnilla on merkittävä rooli valmiissa tuotteessa.

Valmis hitsaustorni asetti sille annetut vaatimukset. Hitsaustorni on toimiva tuote, joka on päivittäisessä käytössä. Hitsaustornin tuottama sauma on laadukas. Hitsaustornin avulla tuotanto on tehostunut. Työntekijöiden ergonomia on parantunut ja se lisää työntekijöiden hyvinvointia.

Toimeksiantajan esittämät toiminnalliset vaatimukset löytyvät hitsaustornista. Yhdistin kaikki halutut toiminnot järkevästi yhteen hitsaustorniin. Esimerkiksi markkinoilla olevissa hitsaustorneissa oskilointifunktio olisi pitänyt erikseen ostaa. Nyt Rauman Konepaja Oy sai hitsaustornin haluamillaan toiminnoillaan huomattavasti edullisemmilla kustannuksilla.

Toteuttamani ohjelmointi vastasi koulutusalaani. Opintojeni aikana on käsitelty sulautettua järjestelmää. Hitsaustornin valmistaminen oli laaja kokonaisuus. Käytin hyväkseni aiempaa kokemustani ja osaamistani mekaniikan, elektronikan ja ohjelmoinnin yhdistämisestä ja valmistamisen aikana tutkin aiheita lisää. Valmistusprosessin aikana sain ohjeita ja palautetta hitsaajilta ja työn tilaajalta. Otin palautteen huomioon ohjelmoinnin edetessä. Työn suunnitteluvaiheessa valitsin kauko-ohjaimen kosketusnäytön. Vähäisen hitsauskokemuksen takia en osannut huomioida hitsausmaskin visiirin tummuutta. Kosketusnäytöllisen kauko-ohjaimen prototyypissä hitsaajat huomauttivat, ettei näyttöä voinut nähdä hyvin. Samalla hitsausarvojen vaihtaminen oli hidasta. Vaihdoin kosketusnäytön mekaanisiin näppäimiin. Kehityksen alussa en tiennyt kuinka laajoja kulmia tai kuinka nopeita liikkeitä täytyisi ohjelmoida, joten minulla oli laajat säätöarvot. Liian laajojen säätöarvojen takia oli vaikea säätää kulmaa tarkasti.

Pienensin säätöarvojen laajuutta, jotta säädöt tulisivat herkemmäksi. Käyttäjäpalautteessa hitsaustornin toimintojen helppokäyttöisyyttä arvostettiin.

Olen tyytyväinen hitsaustornin valmistukseen ja ohjelmiston suunnitteluun ja toteutukseen. Hitsaustornia voi kehittää vielä lisäämällä tuotteeseen railonseuranta. Siinä kolvi seuraa kappaleen muotoa epäkeskokiinnitysten varalta. Toimeksiantaja on ollut tyytyväinen hitsaustorniin ja on päättänyt valmistaa toisen samanlaisen hitsaustornin. Siinä hyödynnän tässä opinnäytetyössä valmistaamani hitsaustornia ja siitä jatkossa saatua käyttäjäpalautetta.

LÄHTEET

Frank M. Marlow. (2012). Welding Know How. <https://www.metalarts-press.com/books/welding-know-how> .ISBN-13: 978-0-9759963-6-2

Smooth Robotics. (n.d). Weaving in welding. Haettu 11.01.2025 osoitteesta <https://smooth-robotics.com/weaving-in-welding/>

Arduino. (n.d). Mega 2560 Rev3. Haettu 02.02.2025 osoitteesta <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/#features>

RobotShop. (n.d). Screw Terminal Block GPIO Expansion Board for Arduino MEGA 2560 R3. Haettu 02.02.2025 osoitteesta <https://eu.robotshop.com/products/screw-terminal-block-gpio-expansion-board-arduino-mega-2560-r3>

Electrical Technology. (n.d). Stepper Motor – Types, Construction, Operation and Applications. Haettu 01.02.2025 osoitteesta <https://www.electricaltechnology.org/2016/12/stepper-motor-construction-types-and-modes-of-operation.html>

StepperOnline. (n.d). Digital Stepper Driver 1.0-4.5A 18-50VDC for Nema 17, 23, 24 Stepper Motor. Haettu 01.02.2025 osoitteesta <https://www.omc-stepperonline.com/digital-stepper-driver-1-0-4-2a-20-50vdc-for-nema-17-23-24-stepper-motor-dm542t>

Makerfabs. (2023). MaTouch ESP32-S3 Rotary IPS Display with Touch 2.1 ST7701. Haettu 01.02.2025 osoitteesta <https://github.com/Makerfabs/MaTouch-ESP32-S3-Rotary-IPS-Display-with-Touch-2.1-ST7701>

Adafruit. (n.d). Adafruit MCP23017 I2C GPIO Expander Breakout - STEMMA QT / Qwiic. Haettu 02.02.2025 osoitteesta <https://www.adafruit.com/product/5346>

Adafruit. (n.d). Adafruit I2C Stemma QT Rotary Encoder Breakout with NeoPixel - STEMMA QT / Qwiic. Haettu 02.02.2025 osoitteesta <https://www.adafruit.com/product/4991>

Vallder. (n.d) MPG Hand Wheel. Haettu 01.02.2025 osoitteesta <https://vallder.com/product/mpg-hand-wheel/>

Nextpcb. (n.d). Potentiometer wiring. Haettu 06.03.2025 <https://www.nextpcb.com/blog/potentiometer-wiring>