

Daniel Meikop

KONENÄKÖJÄRJESTELMÄN DIAGNOSOINTI JA JÄRKEVYYSTARKASTELU

KONENÄKÖJÄRJESTELMÄN DIAGNOSOINTI JA JÄRKEVYYSTARKASTELU

Daniel Meikop
Opinnäytetyö
Syksy 2020
Automaatiotekniikan-tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Sähkö- ja automaatiotekniikka, automaatiotekniikka

Tekijä: Daniel Meikop

Opinnäytetyön nimi: Konenäköjärjestelmän diagnosointi ja järkevyystarkastelu

Työn ohjaaja: Satu Vähänikkilä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2020

Sivumäärä: 27+2

Näytteidenotto puuhakkeesta tai turpeesta on bioenergian tuotannossa talouden kannalta hyvin tärkeää. Tarkka näytteenottaminen, joka kuvaa mahdollisimman suurta määrää puuhakekuor-
masta kerrallaan, on haastavaa ja virheistä koituva taloudellinen haitta voi tulla suureksi vuosittain.

Prometec Tools Oy on yritys, joka on luonut Q-Robot-nimisen robottisolun. Tällä laitteistolla puu-
hakkeen polttoarvon näytteet kairataan suoraan puuhaketta voimalaan tuovien rekkojen lastista
sekä viedään näytesäiliöihin. Q-Robot sijaitsee hallissa, johon saapuva polttoainekuorma ajetaan.
Sieltä robotti skannaa rekan infrapunaserilla sekä kuvaa rekan muodon kuvaa kameralla. Nämä
tiedot syötetään koneelle, jossa ohjelma asettaa pisteet turvallisille kairauskohdille. Kuitenkin ma-
teriaalien erilaisten ominaisuuksien ja sen hetkisten olosuhteiden tai valon takaisin heijastuksen
vuoksi tulokset voivat olla epäluotettavia.

Sen takia laitteelle pitäisi lisätä ominaisuus, jolla tarkastellaan saatua dataa ja joka ilmoittaa käyt-
täjälle ongelmista, jotta käyttäjä voisi yrittää skannausta uudelleen. Työni tarkoitus on kehittää ro-
botille diagnosointi- sekä järkevyystarkasteluosiota, joka suodattaa vääriä tuloksia itsenäisesti.
Tässä työssä käytän Siemens S7 Tia Portal -ohjelmaa, joka tarjoaa valmiiksi vaihtoehtoja datan
käsittelyyn.

Asiasanat: Automaatio, Tietojenkäsittely, Konenäkö, Tekoäly, Optimointi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences

Automation engineering, Automation and Robotics

Author: Daniel Meikop

Title of thesis: Diagnostics and rationalization of machine vision

Supervisor(s):

Term and year when the thesis was submitted: Autumn/2020 Number of pages: 27+2

When it comes to biofuel powerplants, sampling one of the most important procedures. Taking accurate and representative sample is problematic, and it in most cases generates cost increases for the end user.

Prometec Tools Oy is company that is behind Q-robot cell that includes Q-robot arm and Q-Mixer. Q-robot collects samples straight from truck cargo and moves them to Q-mixer for later testing. Robot cell is in hangar where vehicle is parked. Robot then scans vehicle using infrared laser and camera creating outlines of it. Data is then translated by computer and safe sampling places are picked. Then its further translated to Siemens S7 program which controls robot. Depending of material, environment, or reflection these sapling places are not trustworthy.

For that reason, machine needs to have self-diagnostics to eliminate bad scans. Finding bad scans, it can alert user, which can lead to try again for better scan results.

Keywords: Automation, Data Processing, Machine Vision, AI, Optimization

ALKULAUSE

Minun insinöörityöni tilaajana on toiminut Prometec Tools Oy ja työn valvojana on toiminut insinööri Jussi Pulkkinen. Harjoittelun ansiosta sain vihdoin tietää paremmin, mitä insinöörin työ oikein on.

Oulun ammattikorkeakoulun puolella ohjaajanani toimi Satu Vähäniikkilä, joka auttoi opinnäytetyöni kirjoitusvaiheessa hyvillä neuvoillaan. Sain myös hyvää konsultointia Timo Heikkiseltä, joka opetti minulle myös TIA Portalin käytön. Ilman ketään näistä ei olisi opinnäytetyöni valmistunut koskaan.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKULAUSE	5
1 JOHDANTO	7
2 NÄYTTEIDENOTTO	8
2.1 Näytteenotto puuhakkeesta	8
2.2 Näytteen käsittely	9
2.3 Tulosten käsittely	10
3 Q-ROBOT	12
3.1 Toimintaperiaate	13
3.2 Konenäkö	14
3.2.1 Siemens S7 PLC	16
3.2.2 Eagle-ohjelma	17
3.2.3 Skeletor-ohjelma	18
4 JÄRKEVYYSTARKASTELU	19
4.1 Näytteidenottopisteiden tasapuolinen sijoittelu	19
4.2 Näytteidenottopisteiden määrän tarkistus	21
4.3 Tilavuuden tarkistus	22
5 POHDINTA	23
LÄHTEET	25
LIITTEET	27

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on luoda Prometec Tools Oy:n toimittamaan Q-Robot-automaattioratkaisuun järkevyystarkasteluosio. Prometec Tools Oy on Kajaanista lähtöisin oleva yritys, jonka liiketoiminnan yksi osa on Q-Robotin myyminen sekä toimittaminen biopolttovoimalaitoksille.

Järkevyystarkasteluosio on tärkeä osa konenäöllä tehtyjä mittauksia sisältävää automaattista ratkaisua, sillä mittauksissa on mahdollista syntyä virheitä. Nämä virheet eivät saisi mennä eteenpäin prosesseissa tai päätyä tietokantoihin, joista ne pitäisi ylläpitäjien poistaa. Olisi kaikkien edun mukaista, että laite sisältäisi dataa käsittelevän osion ja hälyttäisi tiedon ollessa virheellistä.

Työn tavoitteena on luoda kyseinen osio jo valmiina olevaan konenäköä käyttävään automaattioratkaisuun. Järkevyystarkasteluosion tavoitteena on saada vähennettyä turhien sekä epäonnistuneiden mittauksien karsimiseen menevää aikaa. Ohjelma luodaan käyttämällä Siemens S7:n kanssa yhteen sopivaa TIA Portal -ohjelmistoa.

2 NÄYTTEIDENOTTO

Näytteenotolla tarkoitetaan pääpiirteittäin sivuun otettua pientä määrää massaa, joka edustaa mahdollisimman paljon suurempaa massaa, josta näyte on peräisin. Näyte otetaan usein siis tarkkailuun. Hyvän näytteen perusteita on, että näytteen tutkiminen suoritetaan mahdollisimman lähellä ottopaikkaa estäen näytteen kosteuden haihtumisen. Näytteenoton pitäisi olla mahdollisimman sattuman varainen. Myös on huomioitava, että näytteeseen olisi tarkoitus saada useampi pieni näyte koko kuormasta. Lopulta näytteiden käsittely, jakaminen sekä tutkinta ei saa muuttaa näytteen ominaisuuksia, kuten esimerkiksi kuivattaa sitä. (Järvinen – Impola 2012.)

2.1 Näytteenotto puuhakkeesta

Puuhakkeesta tai turpeesta bioenergian tuotossa hyvin ominaista on hakkeen tyypin sekä laadun vaihtelevuus. Muuttujia syntyy myös kuormien koosta sekä hakkeen toimittajista. Tämän takia toistuva samalla tavalla tehty näytteidenotto, jokaisesta kuormasta laadun määrittämistä varten on tärkeää polttoaineen toimittajien tasavertaisuuden sekä talouden kannalta. Näytteenoton perusta on voimalan sekä polttoaineen toimittajan yhteiset pelisäännöt sekä sitoumus niihin. (Järvinen– Impola 2012.) Puuhakenäytteet otetaan useassa tapauksessa käsin. Käsin näytettä otetaan laittamalla lapiota tehtaan säiliöön johtavan liukuhihnan sekä kuormasta kaatuvan puuhakevirran väliin. Tämä näytteenottotapa voi olla vaarallinen, sillä talvisin puuhake voi jäätä henkilöauton kokoiseksi jääkimpaleeksi. Jos kimpale putoaa lapiolle, se voi vahingoittaa lapiota pitävää henkilöä. Turvallisempi tapa sen sijaan on ottaa näyte liukuhihnalta. Liukuhihna pysäytetään väliajoin, jotta näyte voidaan ottaa turvallisesti lapiolla. Saatu näyte ei täytä sattumanvaraisuutta täysin, sillä näyte voidaan silloin periaatteessa ottaa omavalintaisesti puuhakkeesta.

Lapioon jäänyt hake sijoitetaan läpinäkyvään pussiin, johon tulostetaan tarralappu. Tarralappu sisältää tiedot toimittajasta sekä saapuneesta polttoaineesta. Pussin kerää myöhemmin henkilökunta, joka mittaa näytteen kosteuden määrittäen sen polttoarvon. Polttoarvon perusteella toimittajalle maksetaan polttoaineesta hinta. Näytteenoton kosteustulokset voivat aiheuttaa epävarmuutta tai vastakkain asettelua osapuolten välillä. Laadun varmistaminen on toimittajien käsissä,

joiden tehtävänä on varmistaa polttoaineen oikea varastointi, kuljetus, polttoaineen puhtaus, ylisuurien kappaleiden sekä kytevän puuaineksen ehkäisy ja laadun tasaisuus. Huomattavasti poikkeava kuorma on hylättävä. Jatkuva laadun vaihtelu tai kuorman hylkääminen kosteuden takia voi johtaa sopimuksen purkamiseen. (Peisa, Jyrki – Naukkarinen, Juha – Jaatinen, Timo 2014.)

2.2 Näytteen käsittely

Saatujen näytteiden käsittelyssä noudatetaan SFS-EN 14780 -standardeja, jotka koskevat kiinteitä biopolttoaineita sekä näytteiden esikäsittelyä. Nämä standardit antavat ohjeita, miten otettu näyte saadaan jaettua laboratorio- sekä analyysikokoisiksi. Jokaisen näytteen käsittelyyn on periaatteita, joita on noudatettava. Pääpiirteittäin ne ovat, että kosteusarvo sekä koostumus ei saa muuttua missään käsittelyvaiheessa. Kun näytettä jakaa, huolellinen sekoitus parantaa näytteiden luotettavuutta. Kaikki näytteenotto-, käsittely- sekä testauslaitteet ja menetelmät on testattava yhteisesti sovitulla tavalla. Näytteiden käsittelyyn tarvittavia kokoomanäytteitä ja laboratorionäytteitä muodostetaan kolmella eri tavalla, jotka sovitaan polttoaineen toimittajien kanssa. Ensimmäinen on kaikkien pienempien näytteiden laittaminen samaan astiaan muodostaen yhden kokoomanäytteen, joka lähetetään laboratorioon. Toinen on pienempien näytteiden sekoittaminen keskenään ja sitten jakaminen laboratorionäytteeksi. Toisessa sekoitus sekä jakaminen hoidetaan ennen laboratorioon viemistä. Viimeinen tapa on viedä kaikki pienemmät näytteet laboratorioon pussitettuina erikseen. Sekoituksen ja jakamisen hoitaa tässä tapauksessa laboratorio itse. (Järvinen – Impola 2012.)

On siis tärkeää, että näytteet otetaan sekä käsitellään huolella. Analyysista saaduilla energiamääräarvoilla on suuri vaikutus hakkeen arvon selvittämiseen, niinpä laaduntarkkailun työvaiheeseen on panostettu. Suuri ongelma laaduntarkkailussa on niin sanottu systemaattinen virhe. Systemaattinen virhe syntyy, kun näyte otetaan liian kuivasta tai kosteasta kasasta. Useassa tapauksessa käsinäytettä ottaessa otetaan lastista näyte kuivasta kohdasta. Näin koko lasti tulkitaan arvokkaammaksi, koska näytteen energia-arvo vastaa suurempaa kuin se todellisuudessa on. Tämä vaikuttaa myös todellisen laadun seurannan epäluotettavuuteen. Jopa yhden prosentin virhe voi suurentaa kahden prosentin heittoon polttoaineen lämpöarvossa. Metsähakkeen hinta oli maaliskuussa 21,90 € megawattitunnilta (Tilastokeskus 2020). Virhe voi olla 30 tonnin painoisessa hakekuormassa noin 38 euron arvoinen heitto. Vuodessa jopa prosentin virheestä johtuva heitto voi olla noin 200 megawattituntia eli neljän tuhannen arvoinen pienemmillä laitoksilla ja suurimmilla jopa 2 gigawattituntia

eli noin neljäkymmentätuhatta euroa. Kahden prosentin virheet suurentavat heittoja kaksinkertaisiksi. (Järvinen - Impola 2012.)

2.3 Tulosten käsittely

Saaduilla tuloksilla voidaan määrittää tehollinen lämpöarvo saapumistilassa. Näin määritetään, kuinka paljon lämpöä saadaan ulos kuormasta hyötykäyttöön. Tämän määrittämiseen tarvitaan kosteusarvo, jota testataan näytteistä. Kuorman tehollinen lämpöarvo lasketaan kaavalla 1, joka ilmoitetaan megajouleina kilogrammaa kohti (MJ/kg). (Peisa ym. 2014.)

$$Q_{p,net,ar} = Q_{p,net,d} * \left(\frac{100 - M_{ar}}{100} \right) - 0,02443 * M_{ar}, \quad (\text{KAAVA 1})$$

jossa

$Q_{p,net,ar}$	tehollinen lämpöarvo (vakiopaineessa) saapumistilassa (MJ/kg)
$Q_{p,net,d}$	tehollinen lämpöarvo (vakiopaineessa) kuiva-aineessa (MJ/kg)
M_{ar}	kosteus saapumistilassa
0,02443	arvo tulee höyrystymisen entalpian korjauskertoimesta (vakiopaineessa) vedelle (kosteus) 25 °C lämpötilassa [MJ/kg per 1 p-% kosteutta]

Laskiessa tarvitsee kuormasta tietää irtotiheys, jotta voidaan laskea kuorman hyötyenergia. Irtotiheys lasketaan kuorman punnitusta painosta ja se jaetaan tilavuudella. Tämän takia kuorma-auto käy punnittavana ja tilavuus täytyy löytyä auton tiedoista. Hyötyenergia lasketaan käyttäen kaavaa 2. Saatu tulos ilmoitetaan megawattitunteina irtokuutiota kohti. (MWh/irto- m^3) (Peisa ym. 2014.)

$$E_{ar} = \frac{1}{3600} * Q_{p,net,ar} * BD_{ar}, \quad (\text{KAAVA 2})$$

jossa

E_{ar} = biopolttoaineen energiatiheys saapumistilassa (MWh/irto- m^3)

$Q_{p,net,ar}$ = tehollinen lämpöarvo (vakiopaineessa) saapumistilassa (MJ/kg)

BD_{ar} = irtotiheys saapumistilassa (kg/irto- m^3)

$\frac{1}{3600}$ = muuntokerroin energiayksiköille (MJ:sta MWh:in)

Kaikkiin tehtaisiin ei kuitenkaan sovi edellä mainitut laskukaavat. Tämä voi johtua esimerkiksi vaa'an puuttumisesta. Näistä puutteista voivat kärsiä esimerkiksi pienemmät voimalaitokset. Tällaisissa tilanteissa puunpolttolaatuohje on tarjonnut vaihtoehtoisen kaavan, jolla saataisiin määritettyä kuormasta saadun energian määrä. Tässä määritetään kosteus M sekä Q arvo. Q tarkoittaa polttoaineiden lajikohtaista tehollista lämpöarvoa. Esimerkiksi VTT:n lämpöarvokaavion käytöstä laskennassa on osapuolten aina sovittava keskenään. W voidaan laskea käyttämällä kaavaa 3. (Peisa ym. 2014.)

$$w = \frac{Q}{3.6} * m, \quad (\text{KAAVA 3})$$

jossa

$\frac{Q}{3.6}$ = saapumistilaisen tehollisen lämpöarvon (MJ/kg) muunto yksiköihin MWh/t

M = toimitetun polttoaineen massa

Saadut tulokset asetetaan liitteen 2 laatukaavioon, josta saadaan polttoaineen maksimikosteudet sekä minimitehollinen lämpöarvo. Näiden laskujen perusteella voidaan myös laskea polttoaineen tuottajan laadun keskiarvo. Keskiarvo lasketaan yksinkertaisesti laskemalla kaikkien samojen tuottajien kuormien arvoista keskiarvoja. Näin kuluttaja voi seurata tuottajien laatua yksinkertaisesti.

3 Q-ROBOT

Q-Robot on Prometec Tools Oy:n toimittama tuote, joka sisältää synkronoidusti yhdessä toimivat Q-Robot-näytteenottimen sekä Q-Mixer-sekoitussäiliön. Tämä tuote on tarkoitettu biopolttovoimailoihin, joissa biomateriaalista tarvitsee ottaa useampi laaduntarkkailunäyte kuormasta. Näytteenotto voidaan suorittaa Q-Robotilla kaiken tyyppisistä biopolttoaineista. Q-Robot-näytteenotin kykenee itse määrittämään automaattisesti näytteenottokohdat konenäön avulla. Q-Robotin näytteenotto-osio sisältää kameran, infrapunalaserin, kairan näytteenottoa varten sekä säiliön. Kuvassa 1 on havaittavissa kaira sekä säiliö. Säiliöön liittyy hydraulinen sylinteri, joka puskee ylimääräiset ainekset pois säiliöstä. Näin varmistetaan, että näyte ei olisi vain ensimmäisistä pisteistä.



KUVA 1. Q-Robot

3.1 Toimintaperiaate

Näytteenottorobottisolu sijaitsee näytteenottohallissa, joka toimitetaan tai tilaaja rakentaa itse. Halliin asennetaan robotti korkealle, jotta se sijaitisi näytettä tuovan ajoneuvon yläpuolella. Ajoneuvo ohjataan halliin liikennevaloilla sekä opastein, joilla taataan joka kerta ajoneuvon pysähtyminen samalle kohdalle. Lopullinen paikoitus ennen ohjelman alkua varmistetaan valokennoilla. Jo hallin ovella käyttäjä käyttää RFID-tunnistetta (Radio frequency identification), joka on yhteydessä ONCE-tietokantaan. ONCE on Pinjan ylläpitämä polttoainetoimitusketjun hallintajärjestelmä, josta löytyy ajoneuvon tiedot, polttoaineen tuottajat sekä polttoaineen laatu. Q-Robot saa RFID-tunnisteesta tuojan, tuodun tavarankäytön sekä ajoneuvon tiedot. Kun ajoneuvo on ohjattu halliin, käyttäjä aloittaa näytteenottoprosessin kopista, joka on turvakytimen takana käyttäjän turvallisuuden vuoksi. Näyte otetaan sattumanvaraisesti erikohdista ajoneuvoa, näin varmistaen kuorman laadun tarkkailun luotettavuus. Jos kuorma on vaikka puoliksi tyhjä, ohjelma lisää syvyysarvoa sattumanvaraiseen pisteeseen, estäen tyhjän kairauksen. Otettu näyte pudotetaan Q-Mixer-säiliöön, josta laitoksen laboratoriohenkilökunta voi noutaa sen testausta varten.

Uudesta ajoneuvosta ohjelma käskää näytteen otettavaksi käsin, koska ohjelma ei tiedä siitä vielä turvallisia kairauspisteitä. Tyhjäskannaus suoritetaan uusiin ajoneuvoihin niiden ollessa tyhjinä, sillä ajoneuvot ovat usein niin täynnä, että kuormatilan yläaidassa sijaitsevat tukipilarit ovat piilossa. Voi siis koitua suurta vahinkoa kairalle tai ajoneuville, jos kaira osuu metalliseen tukipilariin. Tyhjä ajoneuvo viedään halliin ensimmäisellä kerralla käsinäytteenoton jälkeen. Kuljettaja voi aktiivoida näytteenottimen kosketusvalikosta ”Tyhjäskannaus”. Q-Robot käy kuormalavan läpi infrapunalaserilla sekä kameralla. Ajoneuvon tyhjäskannauksesta saatu data tallennetaan tietojärjestelmään, josta se noudetaan seuraavalla näytteenottokerralla.

3.2 Konenäkö

Konenäöllä tarkoitetaan järjestelmää, jossa yhdistyy näköaisti sekä lihas. Aisteiksi luokitellaan erilaisia sensoreita, jotka voivat olla laser-, ääni- tai röntgenpohjaisia. Näiden avulla kone aistii ympäristönsä. Kone eli lihasosa muodostuu robottikäsistä, tarraimista, kuljetushihnoista tai hydrauliiikan toimiosista. Konenäkö on ollut pitkään paritettuna automaatioon. Vasta lähiaikoina on konenäköä sekä automaattista koneenohjausta koskeva teknologia hypännyt suuren hypyn eteenpäin. Ennen konenäöksi oli todettu ratkaisu, jossa laser oli ilmoittanut robotille kappaleen olevan sille määrätyllä paikalla. Robotti ei osannut muuta tehdä tässä tapauksessa, kun vain ottaa kappaleen ennalta määrätystä paikasta. Tämä johti siihen, että jos kappale oli vähänkin vinossa tai sivussa, robotti ei sitä osannut ottaa. Tämä vaati käyttäjän puuttumisen sekä valvonnan. Konenäköautomaatio tarvitseekin siitä syystä hyvin vakaan ympäristön toimiakseen tarkoitetulla tavalla sekä luotettavasti. (Pastell 2018, 2.) Nykyään kumminkin konenäköön on mahdollista liittää kamera sekä tekoäly tulkitsemaan sitä. Kun tekoäly liitetään osaksi konenäköön, ei kone enää tarvitse niin vakaata ympäristöä toimiakseen luotettavasti, sillä kone osaa mukautua tarpeen mukaan muutoksiin. Konenäön avulla on mahdollista tulkita kappaleen sijainti tarkasti ja antaa tiedot robotille. Kun kone osaa itse katsoa kappaleen sijainnin, se vapauttaa henkilökunnalta valvomiseen sekä korjauksiin kulutettua aikaa ja voi se tehdä väsymättä itsenäisesti töitä yötä päivää. (Rantala, Teemu 2018.)

Myös laaduntarkkailu onnistuu konenäöllä. Kun konenäköön lisätään kuvantunnistus- sekä Deep learning -ohjelmistoja, konenäkö kykenee seuraamaan suuriakin massoja tuotteita väsymättä ja pikselin tarkasti huomaten virheet, jotka eivät ole ihmissilmälle näkyviä. (Rantala, Teemu 2018.) Deep learning -ohjelmistolla tarkoitetaan tekoälyä, joka osaa prosessoida ennalta määrittelemättä dataa. Tämä tarkoittaa sitä, että ohjelma osaa oppia uutta imitoiden ihmisten aivoja. (Hargrave, Marshall 2019.) Esimerkkinä voi käyttää kangastehdasta, johon on lisätty automaatioon konenäkö- sekä Deep learning -ohjelmisto. Valmista kangasta tarkasteleva osio ilmoittaa kankaasta puuttuvan yhden tikkauksen verran punaista väriä. Tekoäly osaa tehdä itsediagnoosin, että punaisen langan tikkaamisesta vastuussa oleva kone käynnistettäisiin uudelleen, tarkastetaan punaisen langan riittävyys, päivitetään parametrit toimintaa varten uudelleen. Ja jos sekään ei selvitä vikaa, voi tekoäly päättää henkilökunnan paikalle kutsumisen tarpeesta. Jos henkilökunta ratkaisee ongelman, voi tekoäly oppia saman ongelman tullessa kutsumaan suoraan henkilökunnan paikalle.

Q-Robotin tyhjäskannauksessa käytetään jo entuudestaan teollisuudessa tuttua infrapun laserseria sekä infrapuna havaitsevan kameran yhdistelmää. Tämän takia Prometec Tools Oy myös myy nopeasti kasattavia halleja, joiden tehtävänä on estää auringosta johtuvaa infrapunasäteilyä. Säteily heikoimmillaan häiritsee skannauksen tuloksia ja pahimmillaan tekee kamerasta sokean, samaan tapaan kuin yönäkökikareita päivällä käytettäessä. Siksi on hyvin tärkeää saada kaikki ylimääräinen auringonvalo pois sekä käyttää hallin valaistukseen lamppuja, jotka eivät tuota itse infrapunavaloa. Ylimääräinen valo on siis ongelma Q-Robotissa, koska kamera ei pysty erottelemaan, mitkä valoisat kohdat kuvassa ovat laserin aiheuttamia ja mitkä taas ovat luonnonvalon. Kun skannaus aloitetaan, robotin infrapun laser osoittaa kuorma-auton. Infrapuna havaitseva kamera näkee kuorma-autosta palaavan valon. Korkeuden päättely perustuu laserin ja kameran väliseen kulmaeroon, jonka vuoksi fyysisesti eri korkeudella sijaitseva valo asettuu pystysuunnassa eri kohtaan kameran ottamassa kuvassa. Kun kamera on käynyt koko hallin mitan, loppuu tyhjäskannauksen suoritus. Lopulta takaisin kameralle heijastetusta valosta muodostetaan Eagle -ohjelmistossa mustavalkoinen kuva.

Mustavalkokuvalla Eagle-ohjelma tulkitsee kuormalavan mitat sekä tukipalkit ja muuttaa kuvan yksinkertaisiksi viivoiksi. Sen jälkeen toinen ohjelma katsoo ONCE:sta saadun tiedon perusteella ajoneuvontyyppin ja rupeaa asettelemaan näytteenottopisteitä sattumanvaraisesti turva-alueille sekä laskee ajoneuvon tilavuuden. Turvalliseksi alueeksi luetaan 70 cm:n alue, joka jää tukipalkkien sekä reunojen välille. Pisteet jaetaan tasaisesti pitkin kuormalavaa, jotta tulokset vastaavat mahdollisimman paljon lastin oikeaa laatua. Pisteet lähetetään muodossa X=, Y=, kääri= Siemens loogikalle, josta saadaan tulkittua robotin liikeradat. Koko ohjelma on tehty käyttäen Siemens S7 TIA Portalia, johon kaikki tiedot on asetettu senttimetrin yksikköinä. Kun X -pisteen arvo on esim. 500, niin ohjelma liikuttaa siltaa 5 metriä. Kaikki pisteet tallennetaan muistiin. Skannauksen suoritettuaan seuraavalla kerralla näytteenotin rupeaa kairaamaan näytteitä. Kairauksen jälkeen se pudottaa näytteet putkiin, jotka johtavat Q-Mixer-säiliöihin. Näistä säiliöistä henkilökunta voi ottaa näytteet tutkittaviksi turvallisesti.

3.2.1 Siemens S7 PLC

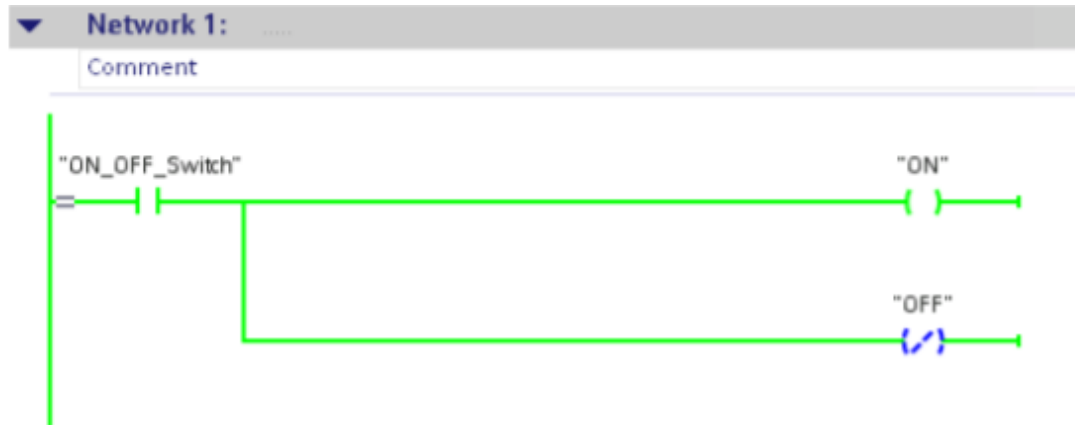
Q-Robot käyttää Siemensin tarjoamaa S7 PLC -ohjelmistoa sekä Siemens 1516-F-logiikkaa. Nimi PLC tulee sanoista Programmable Logic Controller, eli ohjelmoitava logiikkaohjain. PLC:t ovat kulkemakiviä nykyaikautomaatiotekniikan maailmassa. Kuvan 2 mukaisia logiikoita käytetään laajasti automatisoimaan tehdasprosesseja sekä turvapiirejä. Nykyään niiden teho riittää ohjaamaan suuriakin tehdasprosesseja sekä niiden työturvaa takaavia piirejä yhdelläkin logiikkaohjausjärjestelmällä. Logiikkaohjausjärjestelmä sisältää useassa tapauksessa itse logiikan, voimalähteen, sisääntulo- sekä ulostulokortit ja muistipaikat luotua ohjelmaa varten. (Siemens 2020b.)



KUVA 1. Logiikka keskusyksikkö (Siemens 1996–2020b.)

Siemens PLC:n ohjelmointi suoritetaan käyttäen Siemensin tarjoamaa TIA Portal -ohjelmistoa. TIA Portal sisältää kaikki tarvittavat työkalut ohjelman luomiseen, vianetsintään, lataamiseen ja muokkaamiseen. TIA Portal on suunniteltu tekemään ohjelman luomisesta visuaalisempaa käyttäen palikoita tavanomaisemman koodin kirjoittamisen sijaan. Näin siis ei tarvitse osata luoda koodia vaan riittää, että on perehtynyt palikoiden toimintaan voidakseen luoda isompiakin prosesseja teollisuuteen. (Siemens 2020a.)

Ohjelman suoritus menee aina ylhäältä alas kiertävänä, joka on tärkeää muistaa ohjelmaa tehdessä. Myös reaaliaikainen seuranta on mahdollista TIA Portalista helpottaen vianetsintää. Ohjelma ympäröi aktiivisen palikan vihreällä ääriiviivalla kuva 3:n osoittamalla tavalla, jotta seuraaja voi nähdä miten ohjelma suoriutuu milläkin hetkellä. (Siemens 2020c, s. 55)



KUVA 2. Reaaliaikainen seuranta (Siemens 2009c, s. 55)

Siemens tarjoaa myös kosketusnäyttöjä logiikoilleen, jotta kentälle voidaan asettaa käyttäjäpaneelleita. Paneeleihin voidaan luoda kuvia laitteista ja niihin laittaa reaaliaikaista dataa esimerkiksi lämpötiloista. Paneeleihin voidaan myös ohjata varoituksia, niiden kuittaustoimintoja tai esim. muistutuksia huolloista. Kokonaisuudessaan Siemens S7 on siis suurin osa Q-Robotin toimintaa.

3.2.2 Eagle-ohjelma

Eagle-ohjelma on Hiottu Oy:n tilaustyönä Prometec Tools Oy:lle luotu ohjelma, joka on vastuussa kokonaisuudessaan koko Q-Robotin konenäöstä sekä pisteiden sijoittamisesta. Eagle-ohjelman toiminta perustuu konenäöllä otetun kuvan yksinkertaistamisideaan, jonka tarkoituksena on suodattaa saadun monimutkaisen kuvan pinnanmuodot helposti käsitettäviksi viivoiksi. Tämä on oleellinen osa konenäköä sisältävien prosessien toimintaa, sillä se vähentää turhan datan prosessointia ja helpottaa oleellisen datan löytämistä automaattisissa prosesseissa. (Yang, Liping – Oyen, Diane – Wohlberg, Brendt 2019.)

Q-Robotin tapauksessa yksinkertaistetuista kuvista ohjelma löytää automaattisesti helpommin ajoneuvon rajat sekä tukipalkit, joiden päälle ei saa kairauspisteitä laittaa. Yksinkertaistaminen myös vähentää kuvan säilyttämiseen tarvittavaa muistia. Ohjelma lisää yksinkertaistettuun kuvaan pisteitä sattumanvaraisesti, mutta tasaisesti koko autonmitan. Se huomioi näytteenottoaikat sekä luo niille koordinaatit. Pisteiden sijoittelun jälkeen Eagle-ohjelma lähettää tiedot Modbus-väylää pitkin logiikalle.

3.2.3 Skeletor-ohjelma

Skeletor-ohjelman osuus tästä projektista on tuoda kuvat käyttäjille. Tämä ohjelma siis tulkitsee Eagle-ohjelman luoman datan ja luo siitä kuvan, jota pystyy sitten ihmiset tarkastelemaan. Nämä kuvat sisältävät pääosin punaisia viivoja mustaa taustaa vasten.

4 JÄRKEVYYSTARKASTELU

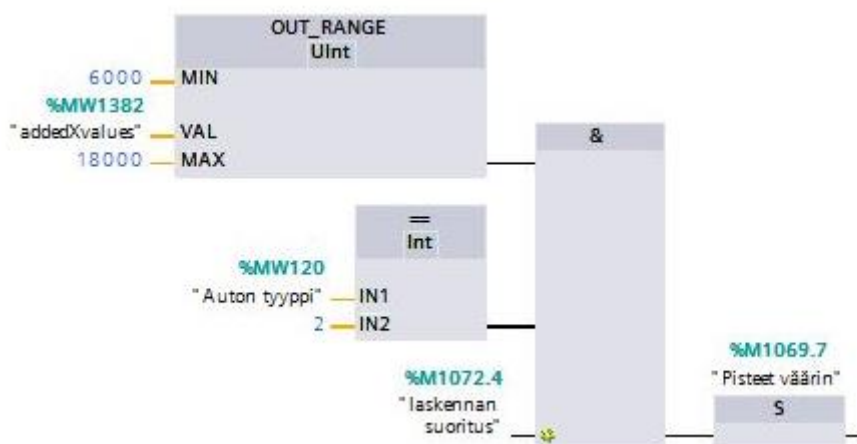
Ohjelma luottaa suurimmaksi osaksi konenäköön ja sillä saatuun dataan toimiakseen tarkoitetulla tavalla. Siihen on hyvä lisätä osio, joka osaa lukea dataa ja suodattaa virheelliset tiedot pois. Tämä säästää materiaaleja kohteissa, estää väärän datan joutumista tietokantoihin, säästää vianetsinnästä menetettyä tuotanto- sekä henkilöstöaikaa ja ehkäisee mahdollisia vahinkotilanteita. Kun järkevyystarkastelu liitetään datan käsittelyprosesseihin laitteistossa, on siitä hyötyä myös käyttäjille työympäristössä. Jos prosessi tunnistaa esimerkiksi väärin asetetun arvon, se ilmoittaa huomautuksen vian käyttäjälleen. Näin se ehkäisee myös mahdollisia myöhemmin sattuvia samankaltaisia virheitä estäen edellä mainittuja vikoja. Järkevyystarkastelu voi ilmetä usealla tavalla automaattisissa prosesseissa. Yksinkertainen esimerkki teollisuudessa on se, onko tuotteita tullut koneesta ulos saman verran kuin resursseja on mennyt sisään. Useat tuotannon laitteet sisältävät kyseisen koodin. Jos ulos ei tule sisään laitettuja resursseja vastaava määrä tuotteita, voidaan olettaa, että koneessa on jumitila, se vuotaa tai tuote on tippunut koneen sisälle. Jotta saataisiin varmuus näytteiden paikkansa pitävyydestä, näytteet pitää ottaa sattuman varaisista paikoista. Tästä syystä ohjelman on siis tunnistettava datasta näytteiden tasapuolinen sijoittelu, lisäksi ohjelman on tunnistettava saatujen pisteiden määrät ja viimeisenä ohjelma tunnistaa tyhjäskenauksesta saadun tilavuustuloksen.

4.1 Näytteidenottopisteiden tasapuolinen sijoittelu

Näytteidenottopisteet tulevat Eagle-ohjelmasta taulukkoon, josta ne annetaan moottorinohjausosiolle Q-Robotille. Data sisältää X- ja Y-arvot, jotka vastaavat niiden moottorien asentoja, jotta näytettä saadaan halutuista paikoista. Vikatilanteissa kyseiset arvot ovat liian lähellä toisiaan ja pahimmassa tapauksessa jopa päällekkäin tyhjäskenauksen epäonnistuessa. Ongelmia saattaa myös tulla purun sekä jään yhdistelmästä, joka ei heijasta valoa takaisin aiheuttaen vähemmän mahdollisia mittauspaikkoja. Kiiltävä metalli heijastaa liikaa väärentäen tuloksia, joka vuorostaan aiheuttaa virheellisiä lukemia skannauksessa. Jos suojapeitettä ei ole otettu pois päältä, ohjelma voi lukea sen katoksi. Tällaiset virheet vähentävät mahdollisia näytteenottopisteitä tuoden ne lähemmäs toisiaan. Saadut pisteet tallennetaan ONCE:en, josta ohjelma saa ne index-arvoiksi erilliseen taulukkoon Siemens S7 -ohjelmaan.

Kun pisteet on tuotu ONCE:sta, on ohjelmassa osio, joka laskee pisteet yhteen. Yhteen laskettujen pisteiden arvo suodatetaan IN-Range-palikoiden läpi. IN-Range-palikat katsovat, onko tuleva arvo annettujen raja-arvojen sisällä. Jos esimerkiksi raja-arvot ovat yksi ja viisi sekä tuleva arvo on 3,5 päästää palikka signaalin läpi. Vastaavasti jos tuleva arvo on yli viiden tai alle yhden, signaali ei pääse läpi.

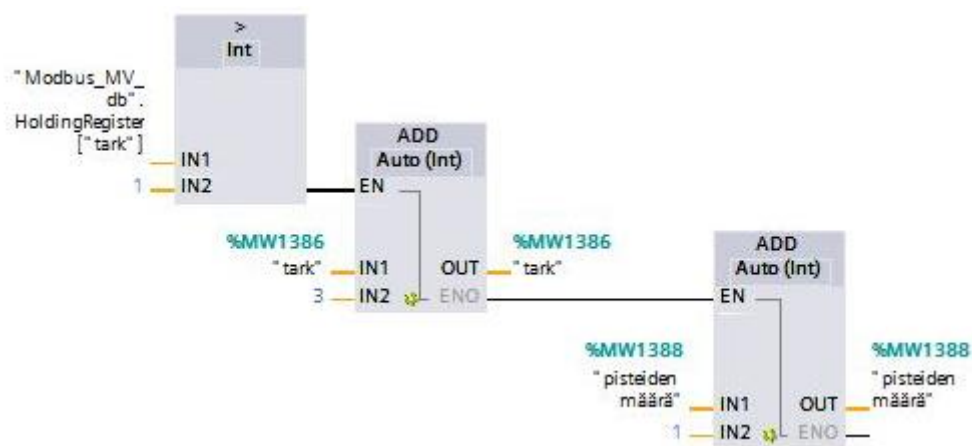
Kuvan 4 näyttämän osion raja-arvojen määrittäminen perustuu X-arvoihin, jotka tarkoittavat pituutta. Laskennallisesti on määritetty, että jos arvot ovat alle 6000 tai yli 18000, ohjelma ei pääse jatkamaan seuraavaan vaiheeseen. Tämä sallii joustavasti pisteiden heittelyn ja laukaisee hälytyksen vasta, jos valtaosa pisteistä on yli tai ali annettujen raja-arvojen. Ohjelma ei kuitenkaan tätä menettelyä käyttäen huomaa, jos suurin keskittymä sattuukin olemaan keskellä kuormaa. Jotta virheellisen mittauksen hälytys saataisiin käyttäjälle, on ehtona OUT-Range palikka, joka toimii päinvastoin IN-Range palikkaan nähden. Esimerkiksi kun palikkaan on asetettu raja-arvoiksi yksi ja viisi, ja sinne tulee 3,5 se ei päästä signaalia läpi. Vasta kun arvo alittaa yhden tai ylittää viiden, pääsee signaali eteenpäin. Näin saadaan tilanteen sattuessa kone pysähtymään ja viesti käyttäjälle mittauksen epäonnistumisesta. Lisäämällä edellä mainitut arvot 6000-18000 voi varmistaa, että palikka päästää signaalin läpi keskeytystä varten vikatilanteessa. Ohjelmaan on myös lisätty ehtoja, jotta se ei tarkastele tuloksia kesken mittaustoimenpiteen. Jos näitä ehtoja ei olisi, keskeyttäisi järkevyytarkasteluosio jatkuvasti muita prosesseja ja tekisi laitteesta käyttökelvottoman. Index-arvoja kerättäessä tai haettaessa tietokannoista arvot voivat olla nolla, mikä aiheuttaisi OUT-Range palikan aktivoitumisen. Tällaiset rajat määritetään jokaiselle autotyypille erikseen.



KUVA 3. Saatujen mittaustulosten tarkastus sekä hälytyksen määrittäminen

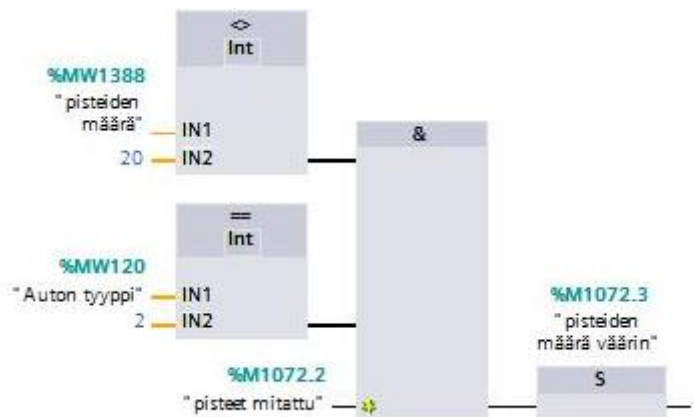
4.2 Näytteidenottopisteiden määrän tarkistus

Koneen on osattava myös katsoa pisteiden määrän paikkaansa pitävyys. Koska sijoittelun tarkastus on keskiarvoa laskeva, ei se välttämättä tunnista saatujen pisteiden määrää. Siksi on tärkeää järkevyystarkastelun kokonaisuuden kannalta lisätä ohjelmaan osio, joka osaisi katsoa kuinka monta pistettä tyhjäkannaus on oikeasti saanut. Kuvan 5 mukainen osio luottaa siihen, että ohjelma kirjoittaa epäonnistuneen pisteen arvoksi nolla. Kun ohjelma kirjoittaa index-rekisteriin tyhjäkannauksesta saadut pisteet, käy järkevyystarkastelu niitä läpi. Kun esimerkiksi index [72] eli index-listasta 72. rivi sisältää enemmän kuin nolla, voidaan laskeva toimilohko siirtää kolme riviä alemmaksi. Index-listalla joka kolmas rivi sisältää Y-arvot, joilla lasketaan tasapuolinen sijoittelu. Loput kaksi riviä sisältävät X- sekä Z-arvot, jotka ovat pisteiden leveys- sekä syvyysmitat. Voimme tarkastella ainoastaan Y-arvoja sillä, jos ne epäonnistuvat, myös X- ja Z-arvojen voidaan olettaa olevan arvoiltaan nolla. Arvon ollessa enemmän kuin nolla, ohjelma siirtyy seuraavaan riviin lisäämällä rekisterin arvoon "tark." +3 sekä kirjoittaa "pisteiden määrä" laskuriin +1. Niin kauan kuin ohjelma löytää enemmän kuin nolla-arvon, se laskee pisteitä lisää. Kun se saavuttaa arvon 30, se lopettaa laskemisen, koska se on suurin mahdollinen arvo.



KUVA 4. Pisteiden määrän tarkistus sekä arvon lisääminen laskuriin

Laskurin arvot suodatetaan sen mukaan, minkälainen ajoneuvo on kyseessä ja siitä saa tiedon, montako pistettä kuuluisi olla. Kuvasta 6 huomaa, että yksi suodatus on ajoneuvotyyppi kaksi. Tällä tarkoitetaan puoliperävaunua, johon pitäisi saada 20 pistettä. Jos laskurista saatu arvo ei vastaa 20:tä, ohjelma lähettää signaalin lohkokoon. Lohko pysäyttää datan eteenpäin käsittelyn sekä lähettää kuljettajalle hälytyksen.



KUVA 5. Saatujen tulosten suodatus ajoneuvon tyyppin mukaan

4.3 Tilavuuden tarkistus

Tilavuuden laskenta jäi tässä työssä yksinkertaiseksi, sillä Eagle-ohjelmisto laskee sen valmiiksi lasermittauksen aikana. Saadusta mustavalkoisesta kuvasta lasketaan pituus ja leveys. Myös syvyyssarvo saadaan sivuun asennetusta lasermittarista. Saaduista arvoista laskettu tulos suodatetaan IN-Range palikoiden läpi, jotta tilavuudelle voidaan määrittää rajat, joihin tulosten tulisi osua. Jos tulos kumminkaan ei vastaa haluttuja arvoja, voidaan olettaa ajoneuvon säiliöpohjan olevan heijastava, peite on päällä tai laiterikko. Ohjelma pyytää joka tapauksessa kuljettajaa suorittamaan tyhjäskannauksen uudestaan, jos tyhjäskannaus epäonnistuu. Tämä robotti ei itsessään tarvitse tilavuuksia toimintaansa, mutta Prometec Tools Oy kerää sitä tietoa tutkimus- ja kehittämistoimintaansa. Myös jotkut voimalaitokset tarkkailevat tietyn polttoainevaraston saldoa seuraamalla toimittujen kuormien kuutioita.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön tekeminen oli kokemuksena hyvin opettavainen. Se sisälsi toimistolla pöydän ääressä suunnittelua ja parhaan lähestymistavan etsimistä. Ratkaisutapoja tässäkin, kuten useassa muussa automaatiosovelluksen luomisessa, oli useampia. Useammasta näkökulmasta miettimisellä sekä ulkoisen palautteen hakemisella on suuri etu optimaalisen ratkaisun löytämiseen. Sitten kun ratkaisun löytää ja rupeaa kovaan tahtiin sitä tuomaan päästään koneelle, on hyvä muistaa tehdä ajoittain oma henkilökohtainen järjestyksekäs tarkastelu. Huomasin itsekin tehneeni nopeammin kuin mitä ajatukset pysyivät perässä. Tämä johti vikojen selvittelyyn käytetyn ajan lisääntymiseen. Vaikka aikaa käytettiin enemmän vikojen etsimiseen, silti ohjelman testauksessa löytyi virheitä. Virheiden etsintä onkin yksi automaation kulmakivistä, sillä hyvin harvoin luotu ohjelma on virheetön. Sen takia olenkin kiitollinen pääsystäni Kajaanissa sijaitsevan Q-Robotin kanssa tekemään työtä. On erilaista tehdä tietokoneelle ohjelmaa ja käydä se päässään läpi tai jopa simuloida sitä kuin ladata se robotille ja testata sitä käyttöympäristössään. Testauksessa kentällä voi myös löytyä aikaisemmin huomaamatta jääneitä virheitä, sillä monimutkaisessa laitteessa on monta päällekkäin pyörivää ohjelmistoa. Näin ollen on myös monta eri mahdollisesti häiriöitä aiheuttavia tapauksia. Seuratessa koodin etenemistä ja robotin toimintaa koodin mukana, saattaa syntyä jopa kehitysideoita.

Luotu ohjelmisto ylitti odotukseni yksinkertaisuudellaan. Monimutkaiselta kuulostaneeseen ongelmaan olikin loppujen lopuksi yksinkertainen ratkaisu, kun sen rikkoi mielessään pieniin osiin. Koko työn ajan vain mietin, kuinka data tulee antureista ja miten saisin ohjelman ymmärtämään, mikä on väärä tieto. Aikaisemmasta kokemuksesta tiesin IN/OUT- Range-palikoiden toiminnan, joten ne kävivät hyvin yhteen työssäni. Kokemuksen puutteeni index-taulukoiden suhteen jarrutti edistymistäni, mutta Prometec Tools Oy:n työntekijät olivat avuliaita ja pelkästään kertomisen sijaan opettivat sekä näyttivät esimerkkejä, jonka ansiosta tietotaitoni TIA Portalin suhteen kasvoi.

Ollessani Prometecilla syntyi minulle kehitysideoita Q-Robotin suhteen, joita toinkin esille työvästävälleni. Yksi idea oli vaihtaa infrapunalasari ultraäänisensoriin. Tämä säästäisi rahallisesti ympäristön rakentamisen kuluissa sekä estäisi jään tai metallin heijastuksesta johtuvaa haittaa. Tätä sensorityyppiä ei ole valittu tyhjäkannaukseen siksi, että metalli heijastaa ääntä, puru vaimentaa vastakaikua sekä mittakärjen pitäisi olla lähellä mitattavaa kohdetta. Tämä tuottaisi suuremman riskin Q-Robotille ja ajoneuvoille, sekä hidastaisi Q-Robotin toimintaa.

Tällä hetkellä skannaus sekä näytteidenotto on melko hidasta. Mietin, että säästäisikö aikaa Q-Robotin liikkumisessa, jos vastaavat moottorit olisivat uusissa kohteissa vaihdettu isompiin? Tämä vaihto ei ole kannattavaa, koska laitteisto Q-Robotin kärjessä voi vahingoittua korkeammista g-voimista. Myöskään nopeudessa säästetty aika ei olisi isompiin moottoreihin investoinnin arvoinen. Myös Q-Robot on synnyttänyt vastarintaa yksityisyrittäjäkuljettajissa, johtuen heidän näkemyksensä Q-Robotin näytteidenoton sattumanvaraisuudesta. Ehdotan siis, että heille annettaisiin pieni määrä vaikutusvaltaa siitä, mistä näytteet otettaisiin, ohjelmoimalla lisävalinta käyttöliittymään. Käytännössä he voisivat valita annetuista sattumanvaraisista pisteistä mieluisimmat. Ohjelma ei kumminkaan antaisi samoja pisteitä joka valinta kerralla, jotta näytteiden luotettavuus ei kärsisi.

LÄHTEET

Peisa, Jyrki - Naukkarinen, Juha – Jaatinen, Timo 2014. Puupolttoaineiden laatuohje.

Viitattu 12.6.2020.

https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2014/VTT-M-07608-13_2014_%20update.pdf

Hargrave, Marshall 2019. Deep learning. Viitattu 10.6.2020.

<https://www.investopedia.com/terms/d/deep-learning.asp#:~:text=Deep%20learning%20is%20a%20subset,learning%20or%20deep%20neural%20network>.

Patell, Juho 2018. Konenäkö-harjoitustyön suunnittelu. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Kandidaattityö. Viitattu 10.6.2020.

<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/25631/Pastell.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Siemens 1996–2020a. Siemens Step 7 TIA Portal. Viitattu 31.5.2020.

<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal/software.html>

Siemens 1996–2020b. Siemens S7 PLC. Viitattu 27.5.2020.

<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>

Siemens 2009c. TIA Portal Manual. Viitattu 31.5.2020.

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/542/40263542/att_829827/v1/GS_STEP7Bas105enUS.pdf

Rantala, Teemu 2018. Konenäkö tarkistaa ja ohjaa. Viitattu 10.6.2020.

<https://www.algoltechnics.fi/artikkelit-ja-asiakastarinat/konen%C3%A4k%C3%B6-tarkistaa-ja-ohjaa>

Tilastokeskus 2020. Energian hintoja lämmöntuotannossa maaliskuussa 2020. Viitattu 12.6.2020.

https://www.stat.fi/til/ehi/2020/01/ehi_2020_01_2020-06-11_tau_002_fi.html

Järvinen, Timo – Impola, Risto 2012. Näytteenottostandardin soveltamisohje. Viitattu 12.6.2020,
https://energia.fi/files/1136/Biopolttoaine_CEN_Naytteenotto-ohje_10052012.pdf

Yang, Liping - Oyen, Diane - Wohlberg, Brendt 2019. A Novel Algorithm for Skeleton Extraction from Images Using Topological Graph Analysis. Viitattu 27.5.2020,
https://www.researchgate.net/publication/333908171_A_Novel_Algorithm_for_Skeleton_Extraction_From_Images_Using_Topological_Graph_Analysis

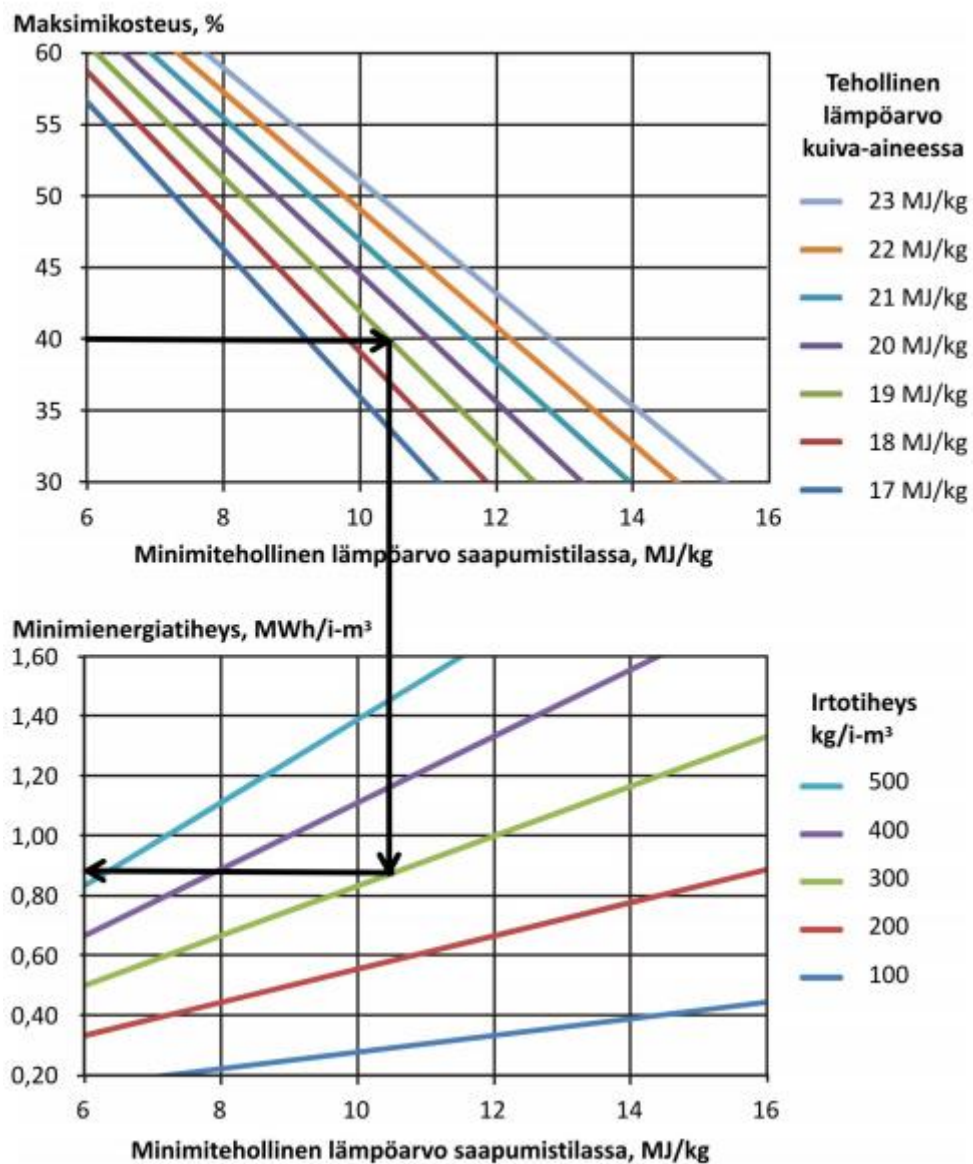
LIITTEET

Liite 1. VTT-Polttoaineen ominaisuuksia

Liite 2. Laatukaavio

Polttoaine	Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo MWh/t (kosteus 0 %) (MJ/kg) $q_{\text{net,d}}$	Kosteus (M_{a})	Tehollinen lämpöarvo saapumis- tilassa (käyttökosteudessa) MWh/t (MJ/kg) $q_{\text{net,ar}}$	Irtotiheys (BD) kg/irto- m^3	Energiatiheys E_{ar} (MWh/irto- m^3)	Tuhkapitoisuus, (A) kuiva-aineesta, %
Kivihili	7,75 (27,9)	10	6,89 (24,8)	-	-	14
Raskas polttoöljy	11,39 - 11,47 (41,0 - 41,3)	0,3 - 0,5	11,36- 11,44 (40,9 - 41,2)	920 - 1 020	-	0,4
Kevyt polttoöljy	10,2 kWh/litra (36,7 MJ/litra)	0,01 - 0,02	11,78 (42,4)	870	-	0,01
Jyrsinturve	5,78 (20,8)	46,5	2,78 (10,0)	330	0,91	5,9
Palaturve	5,90 (21,2)	39,0	3,33 (12,0)	380	1,30	4,5
Turvepelletti	5,48 - 5,8 (19,7 - 21,0)	14 - 18	4,20 - 5,20 (15,1 - 18,7)	680 - 750	3,0 - 3,7	2,0 - 6,0
Sahanpuru	5,28 - 5,33 (19,0 - 19,2)	45 - 60	0,6 - 2,77 (2,2 - 10,0)	250 - 350	0,45 - 0,70	0,4 - 0,5

Taulukko 1. Polttoaineen ominaisuuksia (Peisa Jyrki – Naukkarinen Juha – Jaatinen Timo 2014.)



Taulukko 2 Laatukaavio (Peisa Jyrki – Naukkarinen Juha – Jaatinen Timo 2014.)