

Sakari Liukkonen

Litografian automaattinen henkilölaskentajärjestelmä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

23.1.2018

Tekijä Otsikko	Sakari Liukkonen Litografian automaattinen henkilölaskentajärjestelmä
Sivumäärä Aika	24 sivua 23.1.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaajat	Lehtori Heikki Paavilainen Laiteinsinööri Risto Hyvärinen
<p>Tässä insinööriyössä toteutettiin Murata Electronics Oy:n anturielementtivalmistuksen litografia-tuotantosoluun automaattinen henkilölaskentajärjestelmä. Litografia-solussa halutaan seurata ja rajoittaa tilan henkilömäärää partikkelikontaminaatoriskin pienentämiseksi. Alkutilanteessa henkilömäärää seurattiin puhdistilahaalareihin kiinnitettävillä korteilla, mikä oli todettu toimimattomaksi.</p> <p>Anturielementtivalmistus tapahtuu puhdistiloissa, joiden olosuhteiden tulee olla tarkkaan hallittuja. Ihmiset ovat usein suurin partikkelikontaminaatioiden aiheuttaja puhdistiloissa ja saattavat aiheuttaa niistä jopa 80–95 %.</p> <p>Insinööriyön teoriaosuudessa käsitellään lyhyesti MEMS-antureiden valmistuksen perusteita, litografian prosesseja sekä puhdistilan toimintaa. Työn käytännön osuudessa valittiin henkilölaskentajärjestelmän toteutustapa, sekä käytiin läpi laitteen asennus ja käyttöön-otto. Lopuksi laitteen toiminta testattiin ja tulosten perusteella määritettiin henkilömäärälle sopiva tarkastusväli.</p> <p>Henkilölaskentajärjestelmä toteutettiin lähi-infrapun heijastumista mittaavalla henkilölaskurilla. Laite asennettiin tuotantotilan ulkopuolelle kattoon ja näyttö oven viereen. Henkilömäärän esittämistä varten ohjelmoitiin erillinen ohjelma, joka ilmaisee tilan sen hetkisen henkilömäärän ja muuttaa taustan väriä henkilömäärän perusteella. Laitteen toiminta testattiin tarkastamalla, vastaako sen ilmoittama määrä tilan todellista henkilömäärää.</p> <p>Projektin lopputuloksena saatiin toimiva automaattinen henkilölaskentajärjestelmä. Laitteen laskentatarkkuuden arvioksi saatiin $\approx 99,7\%$. Tuloksista ilmeni, että laitteen ilmoittaman henkilömäärän pysyminen tarkkana edellyttää sen säännöllistä tarkastamista ja korjaamista tarvittaessa. Tulosten perusteella määritettiin, että sopiva tarkastusväli laitteelle on kerran työvuoron aikana.</p>	
Avainsanat	Henkilölaskenta, MEMS, litografia

Author Title	Sakari Liukkonen Automatic People Counting System for Lithography
Number of Pages Date	24 pages 23 January 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Heikki Paavilainen, Senior Lecturer Risto Hyvärinen, Equipment Control Engineer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to implement an automatic people counting system for Murata Electronics' lithography production cell. It is necessary to reduce the number of people in lithography to minimize the particle contamination risk inside the production cell. At first, occupancy was followed by using badges that employees attached to their cleanroom overalls. It was found out, however, that the badge system was ineffective because sometimes employees forgot to use the badge. The production takes place in cleanrooms where environmental conditions are precisely controlled. People can cause as much as 80% to 95% of all the particulate contaminations in cleanrooms.</p> <p>The first part of this thesis introduces the basics of MEMS-manufacturing, lithography process and cleanroom technology. The practical part of this thesis consists of choosing the method for people counting, setting up the system and testing it.</p> <p>The people counting system was carried out using a time of flight based automatic people counter. It measures the phase shift between the emitted modulated near-infrared light and reflected light. The data is then processed in order to count the number of people in the monitored area and to track the direction of their movements. After the people counter was successfully installed, the monitoring software was programmed using C#. Finally, the counting accuracy was tested.</p> <p>As a result of this Bachelor's thesis, a properly working automatic people counting system was implemented in the production cell. The counting accuracy of the people counter was estimated to be $\approx 99,7\%$. It was discovered that the occupancy needs to be regularly checked and corrected if miscalculation occurs.</p>	
Keywords	People Counting, MEMS, Lithography

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Murata Electronics Oy	1
1.2	Työn tavoitteet ja tausta	2
2	MEMS-antureiden valmistus	2
2.1	MEMS-teknologia	2
2.2	Anturielementtivalmistus	2
2.3	Litografia lyhyesti	3
3	Puhdastilat	4
3.1	Puhdastilojen määrittely, toteutus ja luokittelu	4
3.2	Puhdastilat MFI:n anturielementtivalmistuksessa	6
4	Litografian henkilölaskenta	7
4.1	Lähtötilanne	7
4.2	Vaatimukset	8
4.3	Toteutustavan valinta	8
5	IEE People Counter	9
5.1	Laitteen esittely	9
5.2	Henkilölaskennan toimintaperiaate	10
6	Järjestelmän käyttöönotto	11
6.1	Muutokset kotelointiin	11
6.2	Laitteen sijoitus tuotantoon	12
6.3	Sensor Management Tool	13
6.3.1	Tunnistusalueen määrittäminen	13
6.3.2	Kalibrointi	15
6.4	Occupancy Monitoring Tool	16
7	Henkilömäärän esitysohjelma	18
8	Lopputulokset	20
8.1	Toiminnan testaus	20

8.2 Ohjeistus	21
9 Yhteenveto	22
Lähteet	24

Lyhenteet

C#	Lausutaan C-sharp. Microsoftin kehittämä oliopohjainen ohjelmointikieli.
HEPA	<i>High Efficiency Particulate Air filter</i> . Puhdastiloissa käytettävä ilmansuodattintyyppi.
MEMS	<i>Micro Electro Mechanical System</i> . Mikroelektromekaaninen systeemi.
MFI	Murata Finland.
MySQL	Relaatiotietokantaohjelmisto.

1 Johdanto

1.1 Murata Electronics Oy

Murata Electronics Oy (lyhennetään MFI) on piipohjaisten kapasitiiviseen mittaustekniikkaan perustuvien kiihtyvyy-, kallistus- ja kulmanopeusantureiden valmistaja ja markkinoija. Yrityksen anturit perustuvat sen omaan ainutlaatuiseseen 3D MEMS -teknologiaan. [1.]

MFI:llä on vahva asema erityisesti autoteollisuudessa anturitoimittajana. Yrityksen antureiden käyttökohteita ovat muun muassa ajoneuvojen elektroninen ajonvakaus (ESC), mäkilähtöavustin (HSA), elektroninen seisontajarru (EPB), elektroninen jousitusjärjestelmä (ECS) sekä kuljettajan tukijärjestelmät (ADAS). Muita merkittäviä asiakasryhmiä ovat erilaisten mittausinstrumenttien valmistajat sekä terveysteknologian yritykset. MFI on johtava sydämentahdistimien liikeantureiden toimittaja. [1.]

MFI:n historia alkoi 1991 Vaisalan tiloissa nimellä Vaisala Technologies, Inc., Oy. Vuonna 1995 yritys siirtyi autojen turvatyyny- ja ohjaushallintajärjestelmiä valmistavalle BREED Technologiesille. Uuden tuotantolaitoksen valmistuttua 1998 yrityksen toiminta siirtyi nykyiseen paikkaansa Vantaan Martinlaaksoon (kuva 1). Vuonna 2002 BREED myi yrityksen kokonaisuudessaan pääomarahasto EQT Northern Europelle (nyk. EQT III). Vuonna 2012 japanilainen Murata-konserni osti yrityksen, minkä johdosta VTI Technologies Oy -nimi vaihtui Murata Electronics Oy:ksi. [1.]



Kuva 1. Murata Electronics Oy:n tehdas Vantaan Martinlaaksossa

1.2 Työn tavoitteet ja tausta

Tämän insinööriyön tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa MFI:lle automaattinen henkilölaskentajärjestelmä. Työ toteutetaan anturielementtivalmistuksen litografia-soluun.

MFI:n anturielementtituotannossa halutaan seurata ja rajoittaa litografia-tuotantosolussa samanaikaisesti työskentelevien henkilöiden määrää partikkelikontaminaatoriskin pienentämiseksi. Ihmisestä irtoaa ilmaan jatkuvasti partikkeleita, jotka saattavat päätyä tuotteisiin. Partikkelikontaminaatio aiheuttaa tuotteissa laatupoikkeamia ja turhaa saantohävikkiä. Aloite automaattisen kulunvalvontajärjestelmän toteutuksesta tuli ulkopuolisesta auditoinnista. Auditoinnin aikana huomattiin, että nykyinen järjestelmä ei toimi käytännössä.

2 MEMS-antureiden valmistus

2.1 MEMS-teknologia

MFI:n anturielementit perustuvat MEMS-teknologiaan.

MEMS on lyhenne sanoista *Micro Electro Mechanical System* eli mikroelektromeekaaninen systeemi. MEMS-antureissa yhdistyvät mekaaniset ja elektroniset komponentit. Anturit valmistetaan useimmiten piikiekoille, ja niiden koko vaihtelee muutamasta mikrometristä millimetreihin. Pienen kokonsa ansiosta yhdelle piikiekolle saadaan valmistettua kerralla useita satoja yksittäisiä komponentteja. MEMS-antureiden valmistustekniikat ovat tyypillisiä puolijohdeteollisuuden komponenttien valmistusprosesseja kuten erilaiset ohutkalvojen kasvatusmenetelmät. Piin märkä- ja kuivasyövytys sekä maskien kuviointi litografian avulla. [2; 3.]

2.2 Anturielementtivalmistus

MFI:n anturielementtivalmistus voidaan jakaa kiekkovalmistukseen ja anturivalmistukseen. Kiekkovalmistukseen eli Front-endiin kuuluu oksidointi-, plasma (kuivaetsaus)-, KOH (märkäetsaus)-, litografia- ja metallointi-solut. Kiekkovalmistuksen prosesseja

toteutetaan tietyssä järjestyksessä oikeanlaisen rakenteen saavuttamiseksi. Valmis kiekkopaketti koostuu kolmesta yhteen liitetystä kiekosta. [4.]

Anturivalmistuksessa eli Back-endissä kiekkoilla olevat anturit sahataan yksittäisiksi elementeiksi (kuva 2) ja niihin höyrystetään kontaktipadit. Lopuksi jokainen anturielementti testataan sähköisesti. [4.]

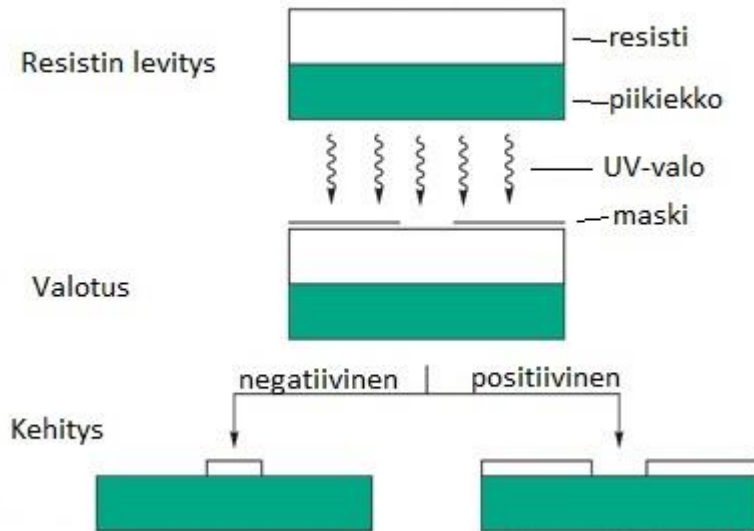


Kuva 2. Triax-nimien anturielementti [4.]

2.3 Litografia lyhyesti

Litografia on anturielementtivalmistuksen prosessi, jossa siirretään maskin avulla haluttu kuvio piikiekon pinnalle (kuva 3). Kehitetyn kuvan on tarkoitus toimia maskina tulevissa työvaiheissa, kuten esimerkiksi suojata syövytyksessä. [5.]

Piikiekon pinnalle levitetään ohut kerros valoherkkää resistiä. Resistoidun piikiekon pinta valotetaan UV-valolla kromikuvioidun lasimaskin läpi, jolloin resisti reagoi valoon vain halutuilta alueilta. Lopuksi valotetut kiekot kehitetään. Kehite poistaa resistin kiekon pinnalta. Mikäli käytetty resisti on positiivinen, kehite poistaa valotetun alueen. Jos taas on käytetty negatiivista resistiä, kehite poistuu valottamattomilta alueilta. [5.]



Kuva 3. Havainnekuva litografian vaiheista [muk.6]

3 Puhdistilat

3.1 Puhdistilojen määrittely, toteutus ja luokittelu

Puhdistila on nimensä mukaisesti puhdas alue. Sen tarkoituksena on estää haitallisten hiukkasten pääsy tuotteisiin. Kansainvälisen standardin ISO 14644-1 määritelmän mukaan puhdistila on

”huone, jonka ilman hiukkaspitoisuus on luokiteltu, jonka hiukkaspitoisuutta valvotaan ja joka on suunniteltu ja rakennettu siten ja jota käytetään sellaisella tavalla, että hiukkasten pääsy, kerääntyminen ja säilyminen huoneen sisällä on valvottua”.

[7, s. 7.]

Partikkelien tuonti, syntyminen ja säilyminen pyritään minimoimaan tilan olosuhteiden, kuten lämpötilan, kosteuden, valaistuksen ja ilman puhtauden tarkalla hallinnalla. Tilan ilmanpuhtautta ylläpidetään puhaltamalla suuria ilmamääriä HEPA-suodattimien läpi tilaan. Ilma kulkeutuu tilasta pois lattiassa olevien reikälaattojen kautta. Tällä saadaan aikaan laminaarinen ilmavirtaus, joka poistaa tehokkaasti epäpuhtauksia ilmasta. Puhdistilat ovat ympäröiviin tiloihin nähden ylipaineisia, joten ilma poistuu aina ”likaisempaan” tilaan päin. Partikkelimääriin vaikutetaan käyttämällä puhdistiloissa vain sinne soveltuvia materiaaleja ja vaateetusta (kuva 4). Myös oikeat työtavat ja pintojen säännöllinen puhdistaminen edesauttavat puhtauden ylläpidossa. [8, s.1.]



Kuva 4. Työntekijä pukeutuneena puhdistilahaalareihin, taustalla litografian ISO4-puhdistila-alue

Puhdistilat luokitellaan ilman partikkelimäärien mukaan. ISO 14644-1 -standardissa on määritelty 9 puhdistilaluokkaa, joista ISO-1 on puhtain ja ISO-9 likaisin. Taulukossa 1 on ilmaistu ISO-luokkien eri partikkelikokojen suurimmat sallitut määrät kuutiometrissä ilmaa. [7, s. 11.]

Taulukko 1. Taulukko 1. Puhdastilaluokat ja niiden hiukkaspitoisuudet [7.]

Luokka	Suurimmat hiukkaspitoisuudet (hiukkasia/m ³) hiukkasille, jotka ovat yhtä suuria tai suurempia kuin alla esitetyt koot.					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
ISO1	10					
ISO2	100	24	10			
ISO3	1 000	237	102	35		
ISO4	10 000	2 370	1 020	352	83	
ISO5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	
ISO6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO7				352 000	83 200	2 930
ISO8				3 520 000	832 000	29 300
ISO9				35 200 000	8 320 000	293 000

Puhdastiloissa olevat partikkelit ovat lähtöisin useasta eri lähteestä. Partikkeleita syntyy esimerkiksi tuotantolaitteista, kemikaaleista ja materiaaleista. Kuitenkin ihmisistä lähtöisin olevat partikkelit saattavat aiheuttaa jopa 80–95 % kaikista puhdastiloissa tapahtuvista partikkelikontaminaatioista. [9, s.110.]

3.2 Puhdastilat MFI:n anturielementtivalmistuksessa

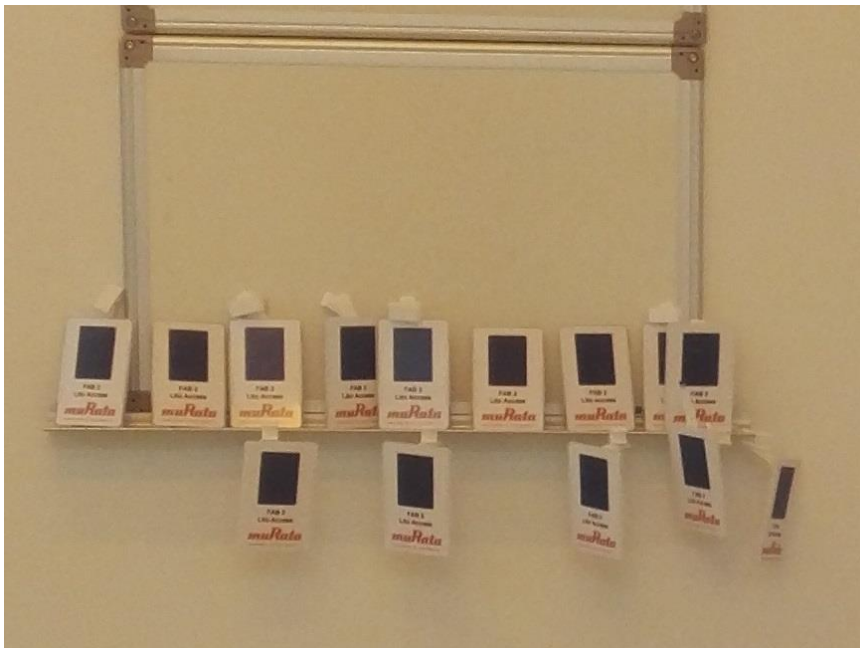
MFI:n anturielementit valmistetaan alusta loppuun puhdastiloissa. Puhdastilat ovat välttämättömiä, sillä ilman niitä piikiekot kontaminoituisivat partikkeleista. Kontaminoituneet kiekot saatetaan joutua hylkäämään. Niihin saattaa myös päätyä piileviä vikoja, jotka ilmenevät vasta myöhemmin. Pahimmassa tapauksessa viallinen tuote saattaa päätyä esimerkiksi sydämentahdistimeen tai henkilöauton turvallisuuskriittiseen sovellukseen.

MFI:n anturielementtivalmistus tapahtuu ISO4–ISO8:n mukaisissa puhdastiloissa. Elementtivalmistuksen litografia-solut ovat puhdastilaluokitukseltaan ISO4, ja niitä voidaankin pitää tehtaan puhtaimpina alueina.

4 Litografian henkilölaskenta

4.1 Lähtötilanne

Insinööriyön lähtötilanteessa tuotantotilan henkilömäärää seurattiin puhdastilahaalariin kiinnitettävällä kortilla. Sen tarkoituksena oli ilmaista henkilön työskentelevän sillä hetkellä litografia-solussa. Järjestelmä toimi siten, että tuotantotilan ulkopuolella oli teline, josta otettiin kortti tilaan mentäessä (kuva 5). Tilasta poistuttaessa kortti palautettiin samaan paikkaan. Kulkukortteja oli yhteensä saman verran kuin tilassa saisi olla henkilöitä samanaikaisesti. Ohjeistuksen mukaan tilaan ei saisi mennä, mikäli kortteja ei ole vapaana telineessä. Järjestelmä oli todettu toimimattomaksi, sillä tilassa työskentelevä henkilö saattoi esimerkiksi unohtaa kiinnittää kortin puhdastilahaalariinsa tai unohtaa palauttaa sen poistuessaan. Tällöin korttien määrä telineessä ei kertonut todellista tilan henkilömäärää.



Kuva 5. Litografian kulkukortteja telineessä

4.2 Vaatimukset

Projektin aluksi sovittiin vähimmäisvaatimukset automaattiselle henkilölaskentajärjestelmälle. Järjestelmän toteutukselle oli aikaa kolme kuukautta, ja toteutuneen järjestelmän tulisi täyttää vähintään seuraavat vaatimukset:

- soveltuvuus puhdastilaan
- vaivaton käyttää
- henkilömäärien tallennus tietokantaan
- henkilömäärä näkyvillä tuotantosolun ulkopuolella
- ilmoitus suurimman sallitun henkilömäärän ylittyessä
- mahdollisuus toteuttaa toiseen vastaavaan soluun

4.3 Toteutustavan valinta

Toteutustapaa lähdettiin valitsemaan sovittujen vähimmäisvaatimusten ja käytettävissä olevan ajan pohjalta. Mahdolliset toteutustavat rajattiin lopulta kahteen eri vaihtoehtoon.

Ensimmäinen vaihtoehto oli ohjelmoitavalla logiikalla ja oven molemmin puolin sijoitetuilla optisilla antureilla toteutettu kokoonpano. Järjestelmä toimisi siten, että jokainen ovesta kulkeva henkilö aktivoisi kättä heilauttamalla anturin. Anturin aktivoituessa automaattiovi aukeaa ja samalla järjestelmä lisää tai poistaa tilasta yhden henkilön. Järjestelmä toteuttaisi valmiina kaikki vähimmäisvaatimukset.

Toinen mahdollinen toteutustapa oli kattoon asennettava lähi-infrapun heijastumista mittaava henkilölaskuri. Laite on tarkoitettu kaksisuuntaiseen henkilölaskentaan, ja laitevalmistaja tarjoaa sille valmiit ohjelmistot. Verrattuna ensimmäiseen vaihtoehtoon laskurilla toteutettu järjestelmä on vaivattomampi käyttää, koska työntekijä voi kulkea ovesta tekemättä mitään. Myös laitteen ohjelmistolla saadaan käyttöön enemmän ominaisuuksia kuten sähköposti- ja SMS-hälytykset.

Henkilölaskentajärjestelmä päädyttiin toteuttamaan automaattisella henkilölaskurilla. Laite toteuttaa paremmin järjestelmälle asetetut vähimmäisvaatimukset, ja aikataulun taakia kyseisellä toteutustavalla insinööriyö saataisiin todennäköisemmin valmiiksi ajallaan. Ennen hankintaa laite todettiin toimivaksi testaamalla sitä laitetoimittajan demotiloissa.

5 IEE People Counter

5.1 Laitteen esittely

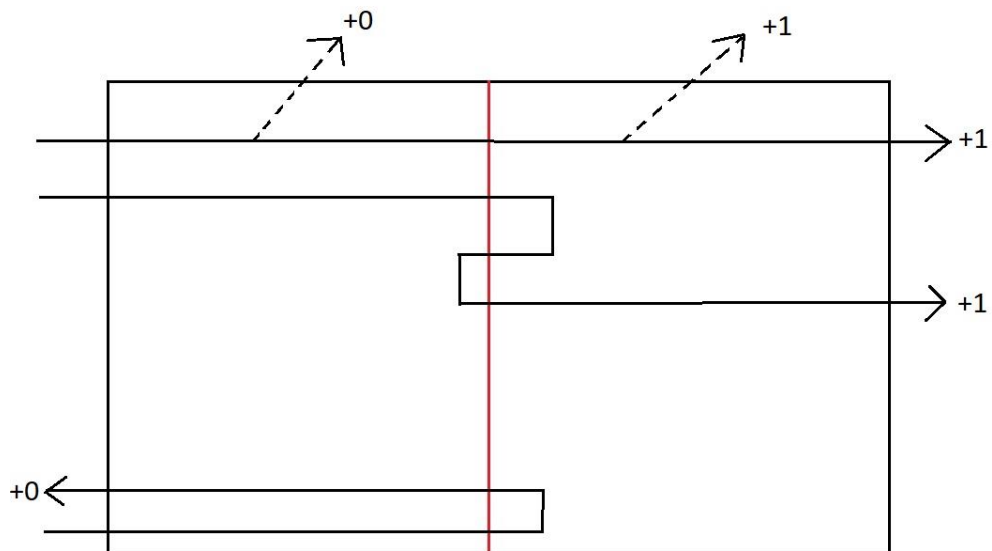
People Counter on IEE-nimisen yrityksen valmistama automaattinen henkilölaskentaan erityisesti tarkoitettu laite (kuva 6). People Counter kykenee kaksisuuntaiseen henkilölaskentaan, ja valmistaja lupaa laitteelle yli 99 %:n laskentatarkkuuden. Sen toiminta perustuu yrityksen itse kehittäänsä 3D MLI -teknologiaan. Laite lähettää moduloitua valoa lähi-infrapuna-alueella ja havaitsee heijastuneen valon vaihe-erosta alla olevat esteet. Heijastusten perusteella laite osaa luoda kolmiulotteisen kuvan henkilöistä, jotka sijaitsevat laitteen tunnistusalueella. [10.]



Kuva 6. People Counter ilman asennuskoteloa

5.2 Henkilölaskennan toimintaperiaate

Henkilölaskurille määritetään tunnistusalue, jonka liikennettä se seuraa. Tunnistusalueelle määritetään virtuaalinen viiva. Kuvassa 7 neliön rajaama alue kuvaa määritettyä tunnistusaluetta ja punainen viiva kuvaa sen läpi kulkevaa virtuaalista viivaa. Laite laskee henkilön sisään tai ulos, kun hän saapuu tunnistusalueelle tietyistä reunasta, ylittää virtuaalisen viivan ja lopuksi poistuu tunnistusalueen toisesta reunasta. Mikäli henkilö saapuu tunnistusalueelle ja ylittää virtuaalisen viivan, mutta palaa takaisin samalle puolelle, häntä ei lasketa. Kuvasta 7 nähdään erilaisia liikeratoja tunnistusalueella. Jokaisen viivan päätyyn on merkitty, onko kyseisellä reitillä tapahtunut laskenta. Kuvan virtuaalinen viiva voidaan myös määritellä kaarevaksi. Kaarevaa viivaa käytetään, kun laite asennetaan oven läheisyyteen. [11.]



Kuva 7. Henkilölaskennan toimintaperiaate havainnollistettuna erilaisilla kulkureiteillä

6 Järjestelmän käyttöönotto

6.1 Muutokset kotelointiin

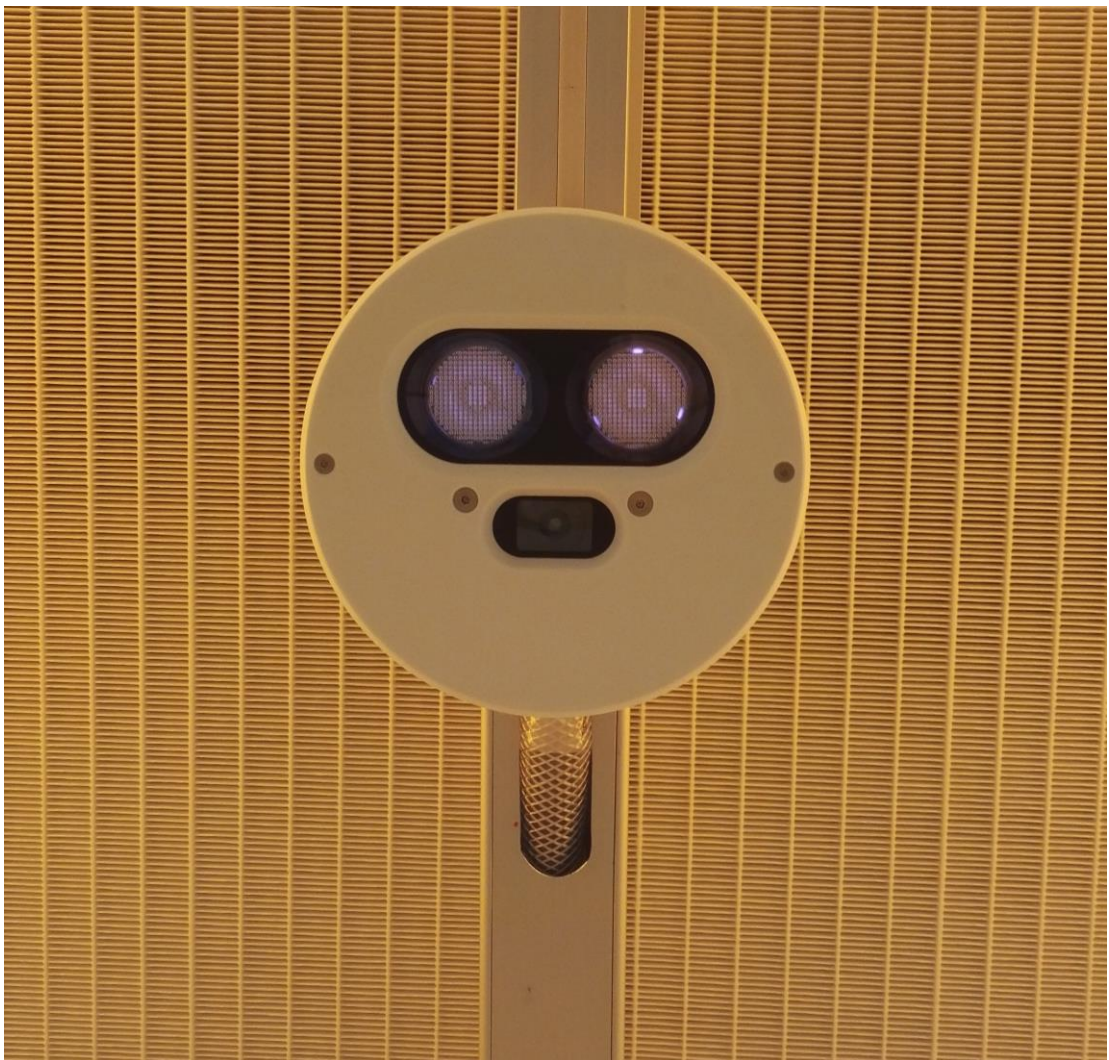
Ennen laitteen asennusta tuotantotiloihin sen koteloon tilattiin muutoksia, jotta laitteen tuulettimen puhaltama ilma saataisiin ohjattua kotelosta poistoputkeen ja sitä kautta lattian alle poistokanavaan. Laitteen pinta-asennuskotelon kylkeen asennettiin liityntä poistotietä varten. Koteloa alkuperäisessä etulevyssä oli kaksi ilmanvaihtoaukkoa, joiden kautta jäähdytysilma puhallettiin suoraan alaspäin (kuva 8). Alkuperäisen etulevyn tilalle tilattiin samoilla mitoilla oleva muovinen levy, jossa ei ollut ilmanvaihtoaukkoja.



Kuva 8. Laitteen pinta-asennuskotelon alkuperäinen etulevy

6.2 Laitteen sijoitus tuotantoon

Laitteen toimittajayritys kävi ennen sen hankintaa tuotantotiloissa toteamassa, että laite on mahdollista asentaa litografia-solun sisä- tai ulkopuolelle. Henkilölaskuri päätettiin asentaa tilan ulkopuolelle HEPA-suodattimien välissä olevaan palkkiin (kuva 9), joka samalla sijaitsee liukuoven keskikohdassa. Asennuspaikan valintaan vaikutti sisäpuolella oleva hätäpoistumisopastevalo, jonka laskurin kotelo olisi osittain peittänyt, ja opasteen uudelleen asennus ei ollut mahdollista. Oven ulkopuolinen asennus on myös puhtausta ajatellen parempi vaihtoehto, sillä litografian ulkopuolinen puhdistusalue on ISO5-luokkaa, joten laitteen sijoittaminen ”likaisemmalle” puolelle on järkevämpää.



Kuva 9. Henkilölaskuri asennettuna kattoon

6.3 Sensor Management Tool

Sensor Management Tool on ohjelma, joka on tarkoitettu IEE:n 3D MLI -teknologiaa hyödyntävien tuotteiden konfigurointiin.

6.3.1 Tunnistusalueen määrittäminen

Kun Sensor Management Tool oli yhdistetty henkilölaskuriin, sen asetukset päästiin määrittämään (kuva 10). Ensimmäisellä rivillä kerrottiin laitteelle lattiasta etulevyyden mitattu asennuskorkeus 2 850 mm.

Sensor information

Settings Calibration Input test Output test System Diagnostics Sensor log

Application settings
 Optional features
 Device settings
 Ethernet settings
 Bootloader timeout

Mounting height [mm]	2850	
Detection area Xmin [mm]	-1100	
Detection area Xmax [mm]	1100	
Detection area Ymin [mm]	-580	
Detection area Ymax [mm]	600	
Forward direction	4	1: X 2: -X 3: Y 4: -Y
Line offset [mm]	0	
Virtual line	1	0: Straight line 1: Curved line
Door decentering [mm]	0	
Device location	1	0: inside 1: outside
Left door width [mm]	1440	
Hinge coordinate left X [mm]	0	
Hinge coordinate left Y [mm]	0	
Right door width [mm]	0	
Hinge coordinate right X [mm]	0	
Hinge coordinate right Y [mm]	0	
Door height [mm]	0	
Min person height [mm]	1350	

Submit

Kuva 10. Tunnistusalueen määrittäminen Sensor Management Toolissa

Tunnistusalueen mittojen referenssipisteenä toimi laitteen lähi-infrapunakameran linssin keskikohta. Seuraavaksi määritettiin halutun tunnistusalueen ovensuuntainen leveys eli

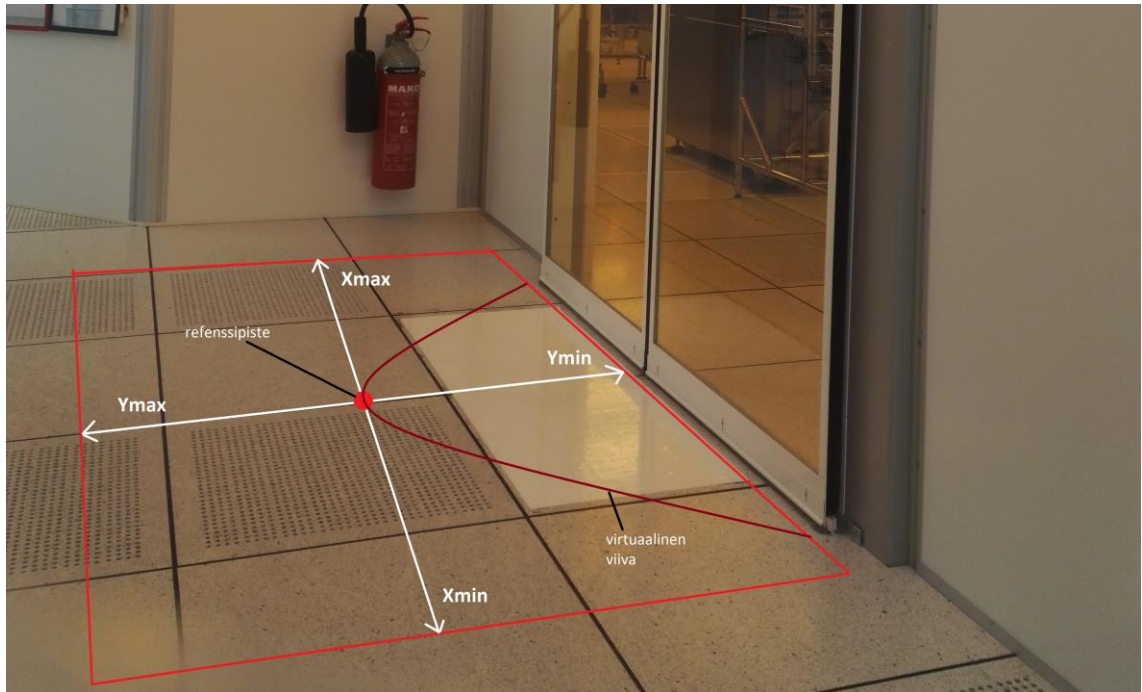
Xmin- ja Xmax-mitat. Asennuskorkeus rajoitti suurimman mahdollisen leveyden 2 200 mm:iin. Alue jaettiin tasan oven keskikohdan kummallekin puolelle. Täten saatiin Xmin - 1 100 mm ja Xmax 1 100 mm.

Tunnistusalueen Ymin-mitta on oven puoleisen reunan sijainti, jonka tulisi olla mahdollisimman lähellä ovea. Se ei kuitenkaan saa ulottua liukuoveen asti, sillä se saattaa vaikuttaa laitteen toimintaan. Ymin-mitta -580 mm saatiin vähentämällä referenssipisteen ja oven välisestä etäisyydestä 20 mm, jolloin tunnistusalueen etureuna ei mene oven kanssa päällekkäin, mutta se asettuu mahdollisimman lähelle. Tunnistusalueen takareunaksi Ymax asetettiin 600 mm.

Seuraavaksi kerrottiin henkilölaskurille ihmisten kulkusuunta *forward direction* eli minkä tunnistusalueen reunan henkilöliikennettä halutaan laskea. Numero 4 kuvaa ovenpuoleista reunaa Ymin. Virtuaalisesta viivasta tehdään kaareva, jotta oven sivusta suuntautuva henkilöliikenne saadaan huomioitua.

Tunnistuskorkeus määrittää korkeuden, jonka yli laite tunnistaa henkilön. Tunnistuskorkeutta määritettäessä oli otettava huomioon ovesta kulkevien henkilöiden ja esineiden korkeus lattiasta mitattuna. Ovesta kulkee pääosin työntekijöitä ilman kuljetettavaa tavaraa. Tuotannon ja huollon materiaaleja kuljetetaan satunnaisesti ovesta käsin kantamalla tai kuljetuskärryllä, joten väärin tunnistusten välttämiseksi tunnistuskorkeus tulee asettaa mahdollisimman ylös, mutta sellaiselle korkeudelle, että se ei jätä työntekijöitä tunnistamatta. Korkeudeksi asetettiin 1 350 mm.

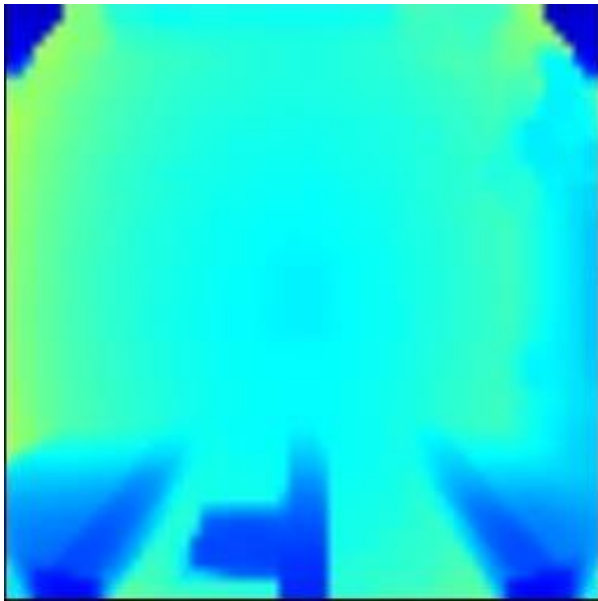
Määritettyjen asetusten perusteella Sensor Management Tool luo laitteen muistiin kuvan 11 näköisen neliön muotoisen tunnistusalueen, jonka oven puoleisessa reunassa on kaareva virtuaalinen viiva.



Kuva 11. Havainnekuva henkilölaskurin tunnistusalueesta

6.3.2 Kalibrointi

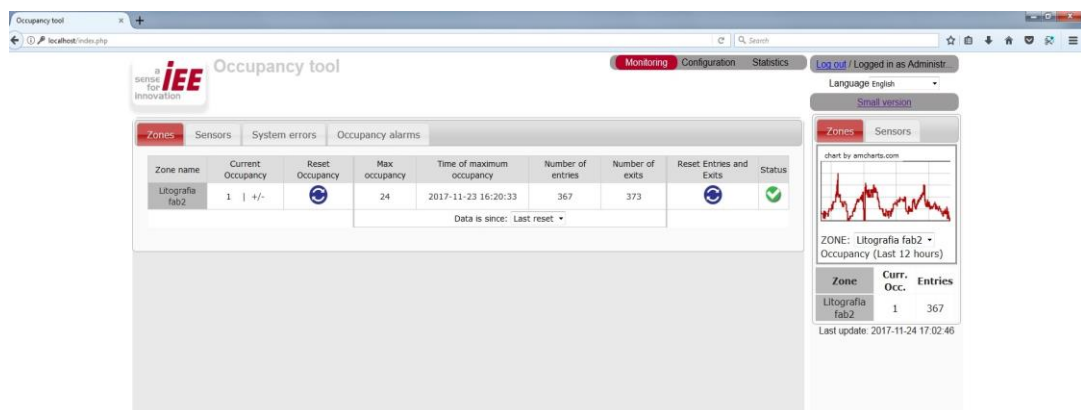
Henkilölaskurin asetusten määrittämisen jälkeen laite kalibrointiin. Ennen kalibrointia täytyi varmistaa, että tunnistusalueelta on poistettu kaikki suuret esineet, joiden paikka saattaa muuttua. Tunnistusalueen henkilöliikenne oli myös pysäytettävä kalibroinnin ajaksi. Kalibroinnin jälkeen näytölle ilmestyi kalibrointikuva (kuva 12). Kuvan alareunassa sijaitsee liukuovi ja oikealla puolella seinä. Oven sijainnista ja kuvan suorudesta voidaan päätellä, että laite on sijoitettu oikein kattoon.



Kuva 12. Kalibrintokuva

6.4 Occupancy Monitoring Tool

Järjestelmä tarvitsi toimiakseen serverin, johon asennettiin Occupancy Monitorin Tool-ohjelma. Ohjelmalla nähdään tilan henkilömäärä reaaliaikaisesti ja sillä voidaan tarvittaessa korjata henkilömäärä vastaamaan todellista. Ohjelma tallentaa laskentatiedot MySQL-tietokantaan, joten halutun ajankohdan henkilömääriä ja liikennettä voidaan katella jälkepäin. Occupancy Monitorin Toolin ominaisuuksiin kuuluu myös mahdollisuus lähettää sähköpostitse automaattisesti ajastettuja raportteja tai hälytyksiä. Ohjelman käyttöliittymä on selainpohjainen (kuva 13). Tämä mahdollistaa sen käyttämisen miltä tahansa tuotantoverkon koneelta kirjoittamalla serverin IP-osoite selaimen osoiteriville.



Kuva 13. Occupancy Monitoring Toolin käyttöliittymä

Aluksi Occupancy Monitoring Toolin käyttöönotossa etsittiin verkosta aiemmin asennettu henkilölaskuri. Löydetylle laskurille annettiin nimeksi *fab2lito*. Seuraavaksi laitteelle määritettiin automaattinen päivittäinen huoltoajankohta (kuva 14). Automaattisen huollon tarkoituksena on varmuuskopioida laskurin lokitiedot tietokantaan ja synkronoida laskurin kello serverin kellon kanssa. Päivittäisen huollon aikana laite ei laske noin kahteen minuuttiin, joten sen ajoitus täytyi valita tarkoin. Huollon ajankohdiksi valittiin arkipäivinä 14.45 ja viikonloppuna 10.45. Tällöin tuotannon vuorot ovat vaihtuneet ja henkilömäärän tarkastaminen voidaan ohjeistaa tehtäväksi vuoron vaihdon jälkeen.

The screenshot shows the 'Sensors' configuration page in the Occupancy Monitoring Tool. The interface includes a navigation bar with tabs for 'Sensors', 'Zones', 'Actions', 'Users', and 'Email/sms'. On the left, there are buttons for 'Add sensor', 'fab2lito', and 'Scan network'. The main configuration area contains the following fields and options:

- Sensor name:** fab2lito
- IP Address:** 10.16.43.18 (MAC Address: 00 27 0a 12 25 b5)
- Associated zones:** Litografia fab2 (n)
- Available Zones:** (Empty list)
- Sensor Daily maintenance:**
 - Monday: Hour 14, Minute 45
 - Tuesday: Hour 14, Minute 45
 - Wednesday: Hour 14, Minute 45
 - Thursday: Hour 14, Minute 45
 - Friday: Hour 14, Minute 45
 - Saturday: Hour 10, Minute 45
 - Sunday: Hour 10, Minute 45
- Fwd./Bwd. counter reset:** Yes No
- Specific per day:**
- Buttons:** Apply, Remove

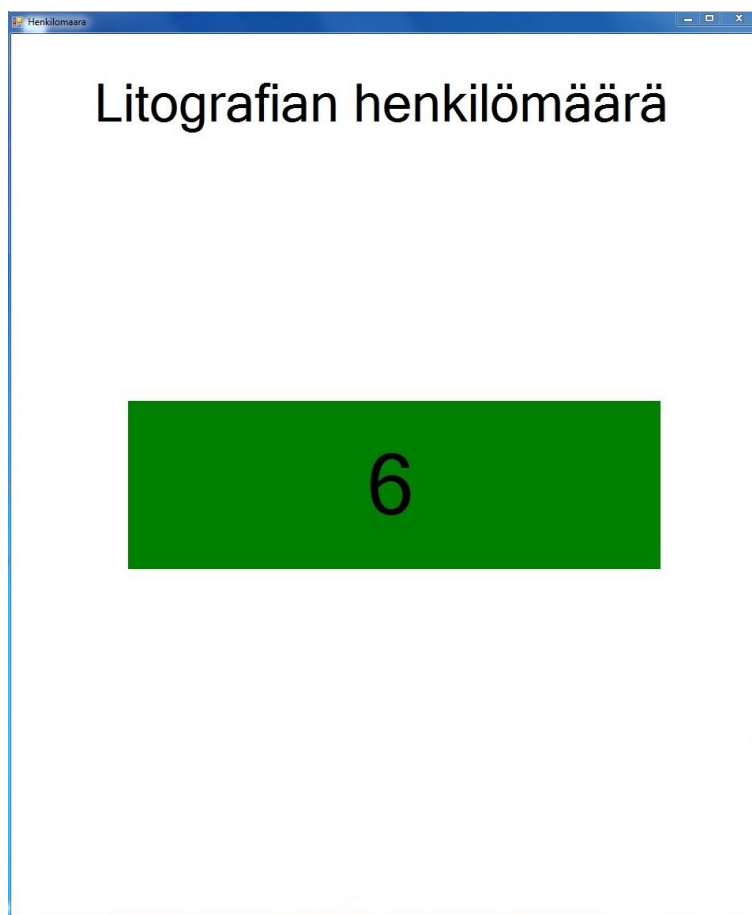
Kuva 14. Laitteen lisääminen järjestelmään ja päivittäisen huoltoajankohdan määrittäminen

Seuraavaksi Occupancy Monitoring Toolissa lisättiin uusi alue. Alueen nimeksi annettiin *Litografia fab2*. Tälle alueelle lisättiin aiemmin *fab2lito*:ksi nimetty henkilölaskuri. Laskurin nimen perässä oli luettava *nor*, joka ilmaisee henkilöliikenteen laskusuunnan olevan normaali.

Ohjelmaan voidaan luoda useita käyttäjätunnuksia, joilla on eri oikeuksia. Tuotannon operaattoreiden tulee voida korjata henkilömäärä tarvittaessa. Henkilömäärän korjausta varten järjestelmään luotiin Power user -tasoiset operator-tunnukset, joilla voidaan muuttaa henkilömäärää ja tarkastella järjestelmän tietokantaa.

7 Henkilömäärän esitysohjelma

Litografia-solun ulkopuolelle asennetun näytön on tarkoitus esittää työntekijöille tilan reaaliaikainen henkilömäärä yhdellä silmäyksellä, jotta he tietävät, saako tilaan mennä. Tämä toki nähdään Occupancy Monitorin Toolista, mutta käyttöliittymän teksti on pientä ja varoitukset henkilömäärän ylittymisestä ovat vaikeasti havaittavissa. Henkilömäärän esittämistä varten päädyttiin tekemään käyttäjäystävällisempi sovellus, josta työntekijät näkevät yhdellä silmäyksellä tilan henkilömäärän (kuva 15). Ohjelmointi tehtiin käyttämällä Microsoftin Visual Studio -ohjelmankehitysympäristöä ja ohjelmointikielenä käytettiin C#:a.



Kuva 15. Henkilömäärän esitysohjelma

Ohjelman toiminta perustuu serverille lähetettyyn ajastettuun pyyntöön, joka palauttaa merkkijonon. Merkkijonosta poimitaan haluttu tieto eli tässä tapauksessa tilan sen hetkinen henkilömäärä. Ohjelman taustan väri muuttuu henkilömäärän mukaan.

Ohjelman toiminta

Ohjelmaan luotiin ensin käyttäjälle näkyvät kentät ”*Litografian henkilömäärä*” sekä henkilömäärän ilmaiseva teksti keskellä. Ohjelmaan määritettiin ajastin, joka käynnistyy automaattisesti ohjelman käynnistyttyä ja suorittaa ohjelman rivit 1 500 ms:n välein.

Ohjelman ensimmäisenä operaationa tehdään *http GET*-pyyntö henkilölaskentajärjestelmän palvelimelle (kuva 16). Pyyntö tehdään palvelimen IP-osoitteen perusteella. Järjestelmässä voi olla useita seurattavia tiloja, joten osoitteen lopussa on määritelty id-numero, joka kertoo, minkä tietyn tilan tiedot halutaan.

```
var task = MakeAsyncRequest("http://10.16.42.108/xmlrpc.php?cmd=getzonedata&id=1", "text/html");
```

Kuva 16. Koodirivi, joka suorittaa GET-pyyntön sisältävän tehtävän.

Ohjelmarivi ajaa tehtävän, joka palauttaa yhden merkkijonon. Merkkijono sisältää tilan reaaliaikaiset tiedot ja voi olla esimerkiksi seuraava:

```
1;6;816;810;OK;22;2017-11-28T16:09:30
```

jossa

1: Tilan id eli tunnus

6: Tilan sen hetkinen henkilömäärä

816: Sisäänmenojen lukumäärä

810: Ulostulojen lukumäärä

OK: Laskurin tila

22: Tilan suurin hetkellinen henkilömäärä

2017-11-28T16:09:30: Päivämäärä ja kellonaika, jolloin tilassa on ollut suurin henkilömäärä.

Haluttu tieto sijaitsee merkkijonossa ensimmäisen puolipisteen oikealla puolella. Merkkijonon käsittelyä varten luotiin aliohjelma *Kasittely* (kuva 17). Aliohjelmaan syötetään parametriksi saatu merkkijono, joka sijaitsee *kyselyTulos*-nimisessä muuttujassa.

```
static int Kasittely(string kyselyTulos)
{
    string[] kyselyTulosTaulukko = kyselyTulos.Split(';');
    int henkilot = Int32.Parse(kyselyTulosTaulukko[1]);
    return henkilot;
}
```

Kuva 17. Kasittely-aliohjelma

Ensimmäisenä *Kasittely*-aliohjelma tekee *kyselyTulos*-muuttujasta taulukon ja se käyttää puolipistettä erottamaan taulukon alkiot. Tilan henkilömäärä sijaitsee taulukon toisessa alkiossa. Seuraavalla rivillä taulukon toinen alkio muutetaan kokonaisluvuksi *henkilot*-muuttujaan. Henkilömäärä tulee muuttua kokonaisluvuksi, jotta sitä voidaan vertailla seuraavassa vaiheessa. Lopuksi aliohjelma palauttaa tiedon henkilömäärästä.

Kun henkilömäärä on tiedossa, ohjelma tarkastaa, mille välille se asettuu ja muuttaa taustan väriä sen perusteella. Mikäli tilan suurin sallittu henkilömäärä ylittyy, ohjelma asettaa taustan värin punaiseksi. Jos henkilömäärä on lähellä suurinta sallittua, tausta muuttuu keltaiseksi. Henkilömäärän ollessa vähäinen tausta pysyy vihreänä. Vertailun jälkeen henkilömäärä tulostetaan näytölle.

8 Lopputulokset

8.1 Toiminnan testaus

Henkilölaskentajärjestelmän asennuksen jälkeen sen toiminta testattiin. Laitteelle tehtiin satunnaisia tarkastuksia, joissa tarkistettiin, vastaako laitteen ilmoittama henkilömäärä todellista määrää. Projektin aikataulun takia laitetta ehdittiin testata kaksi päivää ennen sen varsinaista käyttöönottoa.

Ensimmäisen vuorokauden aikana satunnaistarkastuksissa henkilömäärä korjattiin kahdesti. Molemmilla kerroilla henkilömäärä erosi 1:llä henkilöllä todellisesta määrästä. Ensimmäisen tarkastelupäivän aikana laitteen tallentama henkilöliikenteen määrä oli 744

ohitusta. Toisena tarkastelupäivänä laitteelle tehdyissä satunnaistarkastuksissa henkilömäärä korjattiin 3 kertaa ja ero todelliseen henkilömäärään oli jokaisella kerralla 1 henkilö. Toisen vuorokauden henkilöliikenteen määrä oli 787 ohitusta. Laitteen tarkkuutta ei voitu laskea, sillä ei voida sanoa, kuinka monesti laskuvirhe on tapahtunut satunnaistarkastusten välissä. Tarkan arvon laskeminen olisi edellyttänyt jatkuvaa laitteen seuranta, mitä ei ollut mahdollista toteuttaa. Kahden päivän satunnaistarkastusten perusteella voitiin kuitenkin laskea arvio laitteen tarkkuudesta havaittujen tunnistusvirheiden ja kokonaishenkilöliikenteen perusteella. Tarkkuuden arvioksi saatiin $1 - (5/1531) \approx 99,7\%$, joka ylittää selvästi laitevalmistajan ilmoittaman tarkkuusprosentin $>99\%$.

Henkilölaskurin vikatunnistusherkyys testattiin pinoamalla laatikoita kuljetuskärryyn. Laatikoiden korkeuden ollessa alle määritetyn tunnistuskorkeuden 1 350 mm, ei vikatunnistuksia tapahtunut. Laatikoiden korkeuden ollessa 1 360 mm vikatunnistuksia ilmeni satunnaisesti. Tästä ylöspäin laite tunnisti kärryn päällä olevan laatikkopinon henkilöksi.

8.2 Ohjeistus

Laitteen ilmoittaman henkilömäärän pysyminen mahdollisimman tarkkana edellyttää sen säännöllistä tarkastamista ja henkilömäärän korjaamista tarvittaessa. Tuloksista ilmeni, että henkilömäärän virhe ilmenee noin 3 kertaa vuorokaudessa ja on +/- 1 hlö. Tämän perusteella arvioitiin, että henkilömäärä on tarpeellista tarkastaa kerran työvuoron aikana. Tällöin laitteen ilmoittama henkilömäärä tarkastetaan arkipäivisin 3 kertaa ja viikonloppuisin 2 kertaa vuorokaudessa. Operaattoreita ohjeistettiin tarkistamaan henkilömäärä heti vuoron vaihdon jälkeen ja korjaamaan se tarvittaessa.

9 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa automaattinen henkilölaskentajärjestelmä Murata Electronics Oy:n anturielementtivalmistuksen litografia-soluun. Insinööriyö saatiin valmiiksi sovittuun ajankohtaan mennessä ja lopputuloksena saatiin toimiva järjestelmä litografian henkilölaskentaan (kuva 18). Järjestelmän ansiosta vanhasta kulkukorteilla tapahtuvasta henkilömäärän seurannasta voitiin luopua. Laitteen testien perusteella todettiin, että sen ilmoittama henkilömäärä tulee tarkastaa säännöllisesti ja korjata, mikäli henkilömäärä ei vastaa tilan todellista henkilömäärää.



Kuva 18. Valmis järjestelmä

Työssä suurimmat haasteet olivat tiukka aikataulu ja insinööriyöntekijän kokemattomuus puhdastiloihin tehtävistä laitehankinnoista. Työn aikana ilmeni uusia asioita, jotka aiheuttivat muutoksia toteutukseen. Yllättävänä asiana ilmeni esimerkiksi se, että laitteessa olevan tuulettimen takia sitä ei voitu asentaa sellaisenaan kattoon vaan koteloon ja etulevyyn oli tehtävä muutoksia. Insinööriyö toteutettiin muiden työtehtävien ohessa, tämä vei aikaa järjestelmän suunnittelulta ja toteutukselta.

Henkilölaskurin toimittajayritys tarjosi hyvin tukea projektin aikana ja selvitti lähettämiäni kysymyksiä laitevalmistajalta.

Seurantajakson jälkeen vastaava laite tullaan ottamaan käyttöön toisessa litografia-solussa ja henkilömäärän seurantaohjelma muokataan toimimaan kahden laitteen kanssa. Ohjelmaa muokataan visuaalisesti paremman näköiseksi ja siihen lisätään uusia ominaisuuksia.

Lähteet

- 1 Murata Electronics Oy. 2017. MEMS sensing technology contributing to safer driving and quality of life. Company profile 2017. Powerpoint dokumentti.
- 2 PRIME Faraday Partnership. 2002. An Introduction to MEMS. PDF-dokumentti. Yhdistynyt Kuningaskunta. Loughborough University. <http://www.lboro.ac.uk/microsites/mechman/research/ipm-ktn/pdf/Technology_review/an-introduction-to-mems.pdf>. Luettu 27.10.2017
- 3 MEMS and Nanotechnology Exchange (MNX). A Beginner's Guide to MEMS Processes. 2013. Verkkodokumentti. <<https://www.memsnet.org/about/processes/>>. Luettu 27.10.2017.
- 4 Murata Electronics Oy. Elementtivalmistuksen piikiekon rakenne. 2015. OCD/PIHK. PowerPoint dokumentti. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 5 MEMS and Nanotechnology Exchange (MNX). Lithography Processes. Verkkodokumentti. <<https://www.memsnet.org/about/processes/lithography.html>>. Luettu 31.12.2017
- 6 Sigma-Aldrich. Lithography Nanopatterning Tutorial. Verkkodokumentti, <<https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/materials-science/lithography-nanopatterning/tutorial.html>>. Luettu 7.1.2018.
- 7 SFS-EN ISO 14644-1:2015. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 1: Hiukkaspitoisuuden perusteella tehtävä puhtausluokitus. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.
- 8 Whyte, W. 2001. Cleanroom Technology Fundamentals of Design, Testing and Operation. Chichester. United Kindom. John Wiley & Sons Ltd.
- 9 Tolliver D. L. 1988. Handbok of Contamination Control in Microelectronics, Principles, Applications and Technology. Phoenix, Arizona USA. Motorola, Inc.
- 10 IEE. 2013. People Counter PC. Esite. PDF-dokumentti.
- 11 IEE. 2012. Occupancy Tool. Laitteen käyttöohje. PDF-dokumentti.