

Veikko Reijula

KUSTANNUSTEHOKKAAN HENKILÖ- LASKURIN ETSIMINEN, VALIDOINTI JA VALINTA TARPEENMUKAISEEN IL- MANVAIHTOON

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

| | |
|-----------------|--|
| Tutkintonimike | Insinööri (AMK) |
| Tekijä/Tekijät | Veikko Reijula |
| Työn nimi | Kustannustehokkaan henkilölaskurin etsiminen, validointi ja valinta tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon |
| Toimeksiantaja | Halton Oy |
| Vuosi | 2024 |
| Sivut | 64 sivua, liitteitä 1 sivu |
| Työn ohjaaja(t) | Tero Lahikainen, Mikko Pulkkinen |

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli etsiä, validoida ja valita Halton Oy:lle kustannustehokas henkilölaskuri käytettäväksi tarpeenmukaista ilmanvaihtoa hyödyntävien tilojen ilmanvaihdon ohjaukseen. Työssä tarkoituksena oli löytää yksi tai useampi henkilölaskuri, jolla voitaisiin korvata aiemmin käytetty laskuri, jonka kustannukset on koettu turhan suuriksi. Henkilölaskureita tulitaisiin käyttämään leikkaussaleissa sekä potilas- ja eristys huoneissa. Laskureiden käyttöä oli tarkoitus myös jatkossa soveltaa muihinkin tilakokonaisuuksiin.

Työn teoriaosuudessa käsiteltiin lyhyesti tarpeenmukaista ilmanvaihtoa, ilmanvaihdon ohjauksessa yleisesti käytettäviä anturityyppejä sekä henkilölaskureissa käytettäviä teknologioita. Työn varsinaisessa toteutuksessa tutustuttiin aluksi markkinoilta löytyvään henkilölaskuri valikoimaan ja haluttuja vaatimuksia täyttäviä laskureita valittiin hankittavaksi. Tämän jälkeen hankittujen laskurien toimintaan tutustuttiin, ja niiden toimintaa testattiin erilaisilla testeillä. Testeillä oli tarkoitus selvittää laskureiden laskentatarkkuutta ja niiden herkkyyttä erilaisille virheille ja muille ongelmatilanteille. Tehtyjen testien perusteella laskureista valikoitiin lupaavimmalta vaikuttavat laskurit, joille suoritettiin lisätestejä ja joiden kommunikoinnin toimintaa automaatioon selvitettiin tarkemmin.

Hankituista henkilölaskureista saatiin työssä tehtyjen testien perusteella valittua yksi laskuri mahdollista jatkokäyttöä varten, ja muiden laskurien toiminnasta sekä mahdollisuuksista saatiin aineistoa tulevaisuuden varalle. Valitulla laskurilla saatiin tehdyistä testeistä hyviä tuloksia, joiden avulla laskurin toiminnasta saatiin oikeita käyttötilanteita varten laadittua suuntaa antavia ohjeita esimerkiksi asennuspaikan valintaan ja laskentalinjojen määrittämiseen. Laskurilla testattiin myös siinä olevaa läsnäololaskentaa, jota voitaisiin mahdollisesti tulevaisuudessa hyödyntää linjalaskuun perustuvan henkilölaskennan lisäksi.

Asiasanat: henkilölaskuri, henkilölaskenta, tarpeenmukainen ilmanvaihto, rakennusautomaatio, anturi

| | |
|------------------|---|
| Degree title | Bachelor of Engineering |
| Author (authors) | Veikko Reijula |
| Thesis title | Finding, validating and selecting a cost-effective people counter for demand-controlled ventilation |
| Commissioned by | Halton Oy |
| Time | 2024 |
| Pages | 64 pages, 1 page of appendices |
| Supervisor | Tero Lahikainen, Mikko Pulkkinen |

ABSTRACT

The objective of this bachelor's thesis was to find, validate and select a cost-effective people counter that could be used to control demand-controlled ventilation in spaces that make use of it. The purpose of the thesis was to find people counters that could be used to replace the former people counter, whose expenses were somewhat steep. These people counters could be used for example in operating rooms, and in patient and quarantine rooms. The intention was also to utilize counters in different room types.

The theory part of the thesis discusses demand-controlled ventilation briefly, as well as different sensor types used in ventilation control and different kind of technologies that are used in people counters. In the actual execution of the work, the selection of the people counters on the market was explored, and suitable counters were selected to be acquired. After this, the operation of the acquired counters was investigated and tested with different kind of walking tests. The purpose of these tests was to find out about the counting accuracy of the counters, and how prone they were to errors or other problems. The tests were used to select the most promising counters for additional tests and their communication with the automation system was further explored.

One people counter was selected for possible future use from the acquired counters based on the performance tests. Information about the functioning of the tested counters was collected and their usage possibilities were thought of for the future. The selected counter performed well in the tests, which were used to make guidelines for real-life scenarios, for example for the installation of the counter and how the counting lines should be drawn. Occupancy counting of the selected counter was also tested, so it could possibly be utilized in the future in addition to the line-based people counting.

Keywords: people counter, people counting, demand-controlled ventilation, building automation, sensor

SISÄLLYS

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 6 |
| 2 | TARPEENMUKAINEN ILMANVAIHTO..... | 7 |
| 2.1 | Tarpeenmukainen ilmanvaihto yleisesti..... | 7 |
| 2.2 | Tarpeenmukainen ilmanvaihto puhdastiloissa..... | 8 |
| 3 | LÄSNÄOLON HAVAITSEVAT ANTURIT ILMANVAIHDON OHJAUKSESSA..... | 9 |
| 3.1 | Hiilidioksidianturit..... | 9 |
| 3.2 | VOC-anturit..... | 10 |
| 3.3 | Kosteusanturit..... | 10 |
| 3.4 | Liiketunnistimet..... | 11 |
| 3.5 | Henkilö- ja läsnäololaskurit..... | 11 |
| 4 | HENKILÖLASKURITEKNOLOGIAA..... | 12 |
| 4.1 | ToF, Time-of-Flight..... | 12 |
| 4.2 | Lämpökamera..... | 12 |
| 4.3 | 3D-kameratekniikka..... | 13 |
| 4.4 | Infrapunavalokeila..... | 13 |
| 4.5 | Tekoälypohjainen laskenta..... | 13 |
| 4.6 | Radioaalto..... | 14 |
| 5 | TARKOITUS, TAVOITTEET JA MENETELMÄT..... | 14 |
| 6 | HENKILÖLASKUREIDEN VALINTA JA HANKINTA..... | 15 |
| 6.1 | Valintaperusteet..... | 15 |
| 6.2 | Hankitut ja testattavat henkilölaskurit..... | 17 |
| 7 | HENKILÖLASKUREIDEN TESTAAMINEN..... | 18 |
| 7.1 | Laskuri N testaaminen referenssiksi..... | 20 |
| 7.2 | Laskuri 1..... | 22 |
| 7.3 | Laskuri 2..... | 23 |
| 7.4 | Laskuri 3..... | 25 |
| 7.5 | Laskuri 4..... | 26 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7.6 | Laskuri 5 | 28 |
| 7.7 | Laskuri 6 | 29 |
| 8 | JATKOTESTAUKSET JA SÄÄDÖN TOIMINNAN TUTKIMINEN | 31 |
| 8.1 | Laskuri 2 -läsnäololaskentatestit | 31 |
| 8.2 | Laskuri 2:n linjalaskennan lisätestit | 34 |
| 8.3 | Laskuri 2:n kommunikointi automaatioon | 34 |
| 9 | TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET | 35 |
| 9.1 | Testauksien yhteenveto ja vertailu | 35 |
| 9.1.1 | Laskuri N:n referenssitestaus | 36 |
| 9.1.2 | Laskuri 1 | 37 |
| 9.1.3 | Laskuri 2 | 40 |
| 9.1.4 | Laskuri 3 | 43 |
| 9.1.5 | Laskuri 4 | 45 |
| 9.1.6 | Laskuri 5 | 46 |
| 9.1.7 | Laskuri 6 | 48 |
| 9.2 | Laskuri 2:n jatkotestit | 50 |
| 9.2.1 | Läsnäololaskenta | 50 |
| 9.2.2 | Linjalaskennan lisätestit | 54 |
| 9.3 | Laskureiden soveltuvuus | 55 |
| 9.4 | Kommunikoinnin / säädön toiminta | 56 |
| 9.5 | Virhetilanteet | 58 |
| 9.6 | Valittu henkilölaskuri | 59 |
| 10 | POHDINTA | 60 |
| | LÄHTEET | 63 |
| | LIITTEET | |

Liite 1. Laskureiden yhteenvetotaulukko

1 JOHDANTO

Anturitekniikka on kehittynyt vuosien saatossa paljon, ja antureita käytetään nykyään monissa eri käyttötarkoituksissa. Yksi näistä käyttötarkoituksista on rakennusautomaatio. Rakennusautomaatiossa antureiden käytöllä voidaan parantaa järjestelmien energiatehokkuutta ja rakennuksen käyttäjien sisäilmaolosuhteita. Rakennusautomaatiossa antureilla voidaan mitata ja havaita monia eri asioita, kuten liikettä ja läsnäoloa, sisäilmanlaatua sekä eri järjestelmien toimintalämpötiloja, paineita ja virtauksia eri kohdissa järjestelmää. Sisäilmanlaatu onkin yksi tärkeimmistä tekijöistä rakennuksissa varsinkin silloin, kun rakennuksessa/tilassa oleskellaan paljon ja/tai ihmismäärät ovat siellä suuria. Hyvä sisäilmanlaatu pätee myös puhtastiloihin, joissa sisäilman puhtaudelta ja ilmanvaihdolta vaaditaan paljon enemmän kuin normaaleissa olosuhteissa. Ilmanlaatuun ja puhtauteen vaikuttavatkin monet tekijät, kuten ihmiset ja ihmisten toiminta, joten ilmanvaihtoa edellä mainituissa tiloissa olisi hyödyllistä pystyä ohjaamaan ihmismäärän mukaan, jotta saavutettaisiin sopiva ilmanvaihto henkilömäärään nähden ja mahdollisimman hyvä sisäilmanlaatu.

Tämän opinnäytetyön aiheena on kustannustehokkaan henkilölaskurin etsiminen, validointi ja valinta tarpeenmukaista ilmanvaihtoa hyödyntävien tilojen ohjaukseen. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Halton Oy. Työssä on henkilölaskurien tutkimisten ja valinnan lisäksi tarkoitus tutustua hieman muihin ilmanvaihdon ohjauksessa käytettäviin läsnäoloa havaitseviin antureihin, kuten hiilidioksidi- ja VOC-antureihin, jotta niiden kautta toimivaa säätöä pystytään mahdollisesti vertaamaan henkilölaskurilla toimivaan säätöön.

Opinnäytetyön tavoitteena on, että Halton Oy:lle saadaan muutama, tai vähintään yksi, sopiva ja kustannustehokas henkilölaskuri käytettäväksi tarpeenmukaista ilmanvaihtoa hyödyntävien tilojen ilmanvaihdon ohjaukseen. Aiemmin leikkaussaleissa käytetty henkilölaskuri on toimiva, mutta sen kustannukset ovat liian suuret. Laskurin kalliin hinnan vuoksi sitä ei ollut järkevä yrittää implementoida käytettäväksi muihin tiloihin kuin leikkaussaleihin, ja niissäkin asiakkailla oli iso kynnys niiden ostamiseen. Ajatuksena on, että saadaan kusan-

nuksiltaan pienempi laskuri leikkaussaleihin, mutta myös kustannuksiltaan sopiva laskuri potilas- ja eristysuoneisiin. Ideana on myös, että laskurin käyttöä saataisiin vielä sovellettua muidenkin tilakokonaisuuksien käyttöön.

Työn tekeminen alkaa henkilölaskenta- ja anturitekniikkaan perehtymisellä. Aiheeseen tutustumisen jälkeen alkaa sopivalta vaikuttavien henkilölaskurien etsintä ja niiden hankkiminen paikan päälle testejä varten. Hankittuja antureita varten etsitään/tehdään sopiva testipaikka Haltonin laboratoriotiloihin, jossa antureiden toimivuutta pystytään testaamaan. Testien jälkeen valitaan sopivilta vaikuttavat anturit, ja niiden toimintaa sekä säädön toimivuutta tutkitaan enemmän. Lopputuloksena on tarkoitus löytää ja valita vähintään 1 sopiva henkilölaskuri, jolla ilmanvaihdon ohjaus onnistuisi riittävän tarkasti tilan tarpeeseen nähden.

Opinnäytetyössä käsitellään ensin aiheen taustaa, tarpeenmukaista ilmanvaihtoa, anturitekniikkaa ja erilaisia henkilölaskennassa käytettäviä teknologioita. Sitten käydään läpi henkilölaskureiden etsiminen, valinnat ja hankinnat sekä laskurien validointitestaukset. Tämän jälkeen tarkastellaan tarkemmin valittujen laskurien toimintaa ja säädön toimivuutta. Lopputuloksissa tarkastellaan saatuja tuloksia, anturien toimivuutta ja soveltuvuutta käyttötarkoitukseen sekä kerrotaan opinnäytetyön tiimoilta valitut laskurit, jotka pääsevät mahdollisesti käytettäväksi tai jatkotutkimuksiin. Lopuksi vielä on opinnäytetyöhön, työn tekoon ja aiheeseen liittyvää pohdintaa.

2 TARPEENMUKAINEN ILMANVAIHTO

2.1 Tarpeenmukainen ilmanvaihto yleisesti

Tarpeenmukainen ilmanvaihto nimensä mukaan toimii ja säätyy tilan tarpeen mukaan. Toisin kuin vakioilmavirralla toimivassa järjestelmässä, se muuttaa tilaan tullutta ilmamäärää jonkun määreen mukaan, ja mittarina yleensä toimii tilan henkilömäärä ja/tai sisäilmanlaatu. Tilan henkilömäärää ja läsnäoloa pystytään havaitsemaan monista eri ilmiöistä, kuten yleisimmin sisäilman hiilidioksidipitoisuudesta tai vaihtoehtoisesti esimerkiksi sisäilman kosteuden tai VOC-yhdisteiden määrän perusteella. Antureista saadun datan avulla automaatiojärjestelmä säättää tiloihin tulevia ilmamääriä IMS-laitteilla ja muilla vastaavilla säätölaitteilla.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voidaan parantaa rakennusten energiatehokkuutta säätelämällä ilmamääriä käytön ja ihmismäärien mukaan, ettei turhaa yli- tai alikäyttöä tapahtuisi. Myös sisäilmanlaatua pystytään parantamaan käytön ja henkilömäärän kautta toimivan säädön ansiosta, mikä on tärkeää, sillä nykyään ihmisistä suurin osa käyttää suurimman osan ajastaan sisätiloissa. [1, s. 1.]

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjaukseen voidaan käyttää erilaisia antureita ja ohjaustapoja. Läsnaoloon perustuva ohjaus voi esimerkiksi tapahtua käyttäjän ennalta määritettyjen läsnäoloon perustuvien aikataulujen mukaan, reaaliajassa reagoivalla ohjauksella tai ennakoivalla ohjauksella. Yleensä käyttäjän itse määrittämät aikataulut eivät suoriudu hyvin lämpömukavuuden ja energian säästön näkökulmasta. Reaaliajassa reagoiva tai toisin sanoen reaktiivinen ohjaus taas on energian säästön näkökulmasta toimiva vaihtoehto, mutta siinä heikkoutena on sen pieni viive saada sisäilmaolosuhteet halutulle tasolle. Ennakoivalla ohjauksella tämän viiveen saa korjattua, ja se onkin rakennuksen käyttäjän mukavuuden osalta ehkä paras vaihtoehto, mutta energian kulutus taas nousee verrattuna reaktiiviseen ohjaukseen. [1, s. 15.]

2.2 Tarpeenmukainen ilmanvaihto puhdastiloissa

Puhdastiloissa ilmanvaihdon avulla pyritään pitämään tilan partikkelimäärät halutulla tasolla tehokkaalla ilmanvaihdolla, ilman suodatuksella, kierrättämisellä, ilmavirtojen ohjauksella sekä tilan eristämällä [2]. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon avulla puhdastiloissa voidaan pienentää huomattavasti niiden normaaleihin tiloihin verrattuna suurta energian kulutusta ja myös pitää tilat puhtaampana, kun tilassa lisääntyneisiin partikkelimääriin ja/tai partikkelilähteisiin pystytään reagoimaan reaktiivisesti. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa käytettäessä täytyy muistaa puhdastilan tyhjänä ollessakin pitää aina tarpeeksi suuri tuloilmavirta, jotta painesuhteet tilojen välillä pysyvät oikeanlaisina eikä epäpuhtauksien määrä pääse tilassa kasvamaan.

Ihminen on puhdastiloissa yleensä suurin epäpuhtauslähde. 80 % hiukkasista/epäpuhtauksista puhdastiloissa on peräisin ihmisestä ja ihmisen toimin-

nasta. Ihmiset myös sekoittavat sekä voivat estää puhdastilojen ilmavirtauksien kulkua, mikä voi aiheuttaa esimerkiksi epäpuhtauksien kertymistä. [3.] Tämän vuoksi puhdastiloissa henkilömäärää on monesti rajoitettu johonkin tiettyyn määrään.

Puhdastilojen ilmanvaihdon vaativuuden takia niiden energian kulutus on normaaleihin tiloihin verrattuna suuri. Esimerkiksi GMP B -luokiteltu puhdastila voi viedä 25 kertaa enemmän energiaa verrattuna normaaliin tilaan. Eri keinoja energian kulutuksen pienentämiseen ilmanvaihdon ohjauksella on esimerkiksi partikkeli- tai henkilömäärän mukaan toimivan ilmanvaihdon käyttäminen sekä myös ilmanvaihdon pienentäminen tilan ollessa pitempiä aikoja tyhjillään, kuten yöllä. [4.]

3 LÄSNÄOLON HAVAITSEVAT ANTURIT ILMANVAIHDON OHJAUKSESSA

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjauksessa käytetään monesti mittarina tilan henkilömäärää, ilman laatua tai molempia, joita voidaan mitata erilaisilla anturityypeillä ihmisen toiminnasta aiheutuvista ilmiöistä tai aineista. Tässä kappaleessa käsitellään ilmanvaihdon ohjauksessa melko yleisesti käytettyjä anturityyppejä.

3.1 Hiilidioksidianturit

Hiilidioksidia (CO₂) syntyy hengittämisen tuotteena, joten sen mittaaminen on ollut hyvä keino tarkkailla tilojen käyttöä sekä säätää hiilidioksidipitoisuuden mukaan tilojen ilmanvaihtoa. Hiilidioksidipitoisuuksien ja niiden myötä säädettyjen ilmamäärien avulla voidaan myös tarkkailla arviolta tilojen henkilömäärää viiveellä. Hiilidioksidipitoisuuden mukaan säätyvä ilmanvaihto onkin yksi yleisimmin käytetty ohjaustapa tarpeenmukaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä.

Hiilidioksidin tuotto hengittämisestä on jatkuvaa ja helposti ennakoitavaa, mikä tekee siitä luotettavan indikaattorin ilmamäärien ja sisäilmanlaadun ohjaukseen. Sisäilman hiilidioksidipitoisuus olisi suositeltavaa pidettävän alle 1000 ppm. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on noin 350–450 ppm. [5, s. 3–4.]

Hiilidioksidin mukaan toimivassa ilmavaihdon ohjauksessa on kuitenkin myös omat ongelmansa. Sillä ohjattu ilmanvaihto toimii viiveellä hiilidioksidipitoisuuden kasvun mukaan eikä esimerkiksi takaa hyvää tai riittävää ilmanvaihtoa tilan käyttämisen alkuvaiheessa [6]. Myös CO₂-anturin sijoitus vaikuttaa sen toimintaan, sillä tilan muoto ja ilmanvaihdon päätelaitteiden sijainnit vaikuttavat ilmavirtauksien suuntiin ja näin siihen, mihin kohtiin CO₂:ta kerääntyy eniten.

3.2 VOC-anturit

VOC-anturit mittaavat sisäilmasta VOC-yhdisteitä, eli haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (volatile organic compounds). VOC-yhdisteitä sisäilmaan muodostuu esimerkiksi rakennuksien eri materiaaleista, ihmisten toiminnasta ja vaikkapa huonekaluista. VOC-yhdisteiden määrää mittaamalla voidaan tarkkailla sisäilmanlaatua niiden osalta ja mahdollisesti selvittää rakennuksessa olevia ongelmia, mutta pelkällä VOC-yhdisteiden mittauksella ei kannata sisäilmanlaatua määrittää, sillä niiden määrä on tapauskohtaista ja sisäilmanlaatuun vaikuttavat monet muutkin tekijät. [7.]

VOC-yhdisteiden määrän mittaamisen käyttö on ilmanvaihdon ohjauksessa järkevää sisäilmanlaadun näkökulmasta, mutta pelkän VOC-anturin käyttö tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjauksessa ei ole järkevää sen vaihtelevuuden ja monesti vähäisten määrien takia. VOC-yhdisteiden määrään vaikuttaa myös helposti ja nopeasti monet pienet ja arkipäiväiset asiat, jotka näkyvät mittauksessa ja näin sekoittavat sen kautta tapahtuvaa säätöä [6].

3.3 Kosteusanturit

Sisäilman kosteutta mittaavilla kosteusantureilla voidaan säätää tarpeenmukaista ilmanvaihtoa tilojen kosteuskuorman perusteella. Kosteuden mukaan toimivalla säädöllä voidaan esimerkiksi pitää suhteellinen kosteus sopivassa 35–45 % haarukalla ja näin ehkäistä liian korkean tai matalan ilmankosteuden ongelmia, kuten rakenteisiin ja terveyteen koituvia haittoja. [8.]

Pelkällä kosteuden mukaan toimivalla säädöllä voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä energian kulutuksessa sekä parantaa sisäilmaston olosuhteita ja sisäilmanlaatua. Monesti kuitenkin ilmanvaihdon ohjauksessa kannattaisi olla

lisäksi CO₂- ja/tai VOC-mittaus, sillä pelkällä kosteusmittauksella sisäilmassa esim. CO₂-pitoisuus saattaa jäädä huoneissa turhan suureksi. [9, s. 3–4.]

3.4 Liiketunnistimet

Liiketunnistimien käyttö valaistuksen ohjauksessa on todella yleistä, mutta niitä voidaan käyttää myös ilmanvaihdon ohjauksessa. Liiketunnistimilla tapahtuva ohjaus voidaan toteuttaa esimerkiksi niin, että anturin havainnoidessa liikettä ilmanvaihto nostetaan minimistä normaaliin tai normaalista tehostettuun toimitilaan. Liiketunnistimilla ilmanvaihdon säätö täytyykin yleensä toteuttaa läsnäoloon perustuvalla, niin sanotusti on/off säädöllä, sillä esimerkiksi läsnäolijoiden määrään perustuvaa säätöä on niillä todella vaikea toteuttaa. [1, s. 6.]

Liiketunnistimien käyttöäkin pystyy soveltamaan ja mahdollisesti automaation avulla tekemään niilläkin erilaisia ohjaussysteemejä esim. käyttämällä useampia tunnistimia eri tiloissa tai tekemällä useammalla tunnistimella henkilölaskuria muistuttavan systeemin. Tarkkuus tällaisessa voisi kuitenkin olla aika kyseenalainen.

3.5 Henkilö- ja läsnäololaskurit

Henkilölaskureilla yleensä lasketaan jonkin rakennuksen tai tilan sisäänkäynneistä henkilöiden kulkua ja näin kyseisen tilan henkilömäärää, minkä avulla ilmanvaihtoa pystytään säätämään lasketun henkilömäärän mukaan. Läsnäololaskurit taas yleensä monitoroivat suurempaa aluetta ja laskevat tietyn tilan tai alueen henkilömäärää näkökentältään.

Henkilö- ja läsnäololaskureissa on muihin edellä mainittuihin anturityyppeihin etuna niiden kyky säätää ilmanvaihtoa reaaliajassa lasketun henkilömäärän ja/tai läsnäolon perusteella. Tämän vuoksi niiden aikaansaamat energiasäätötkin voivat olla huomattavat. Henkilölaskentaa on tähän mennessä eniten hyödyntäneet erilaiset kauppa-alan kiinteistöt, mutta nykyään muutkin suu-remmat kiinteistöt ovat alkaneet kiinnostua niiden käytöstä. [10.]

4 HENKILÖLASKURITEKNOLOGIAA

Henkilölaskentaan on kehitelty monenlaista teknologiaa, jolla pyritään laskemaan ihmisten määrää ja kulkemista mahdollisimman tarkasti. Tässä kappaleessa käsitellään yleisimpiä henkilölaskentaan käytettyjä teknologioita, joita opinnäytetyön teon ohessa tuli suurimmaksi osin vastaan. Teknologioista on tietysti myös muita variaatioita ja yhdistelmiä, mutta kappaleessa käsitellään yleisimpien pääpiirteitä ja toimintaperiaatteita sekä niiden heikkouksia ja vahvuuksia.

4.1 ToF, Time-of-Flight

ToF eli Time-of-Flight, suoraan suomennettuna ”lentoaika”, teknologia perustuu henkilölaskureissa tarkan syvyystiedon saamiseen ja tämän syvyystiedon avulla ihmisten tunnistamiseen. ToF-sensorin toiminta perustuu nimensäkin mukaan yleisimmin valon tai äänen lentoaikaan, eli esimerkiksi anturi lähettää valoa, joka osuu ohikulkevaan ihmiseen ja sitten heijastuu takaisin anturiin. Siten laskuri pystyy laskemaan lentäneen valon lentoajasta ihmisen ja laskurin välisen etäisyyden. ToF-sensorit omaavat pitkän kantaman ja niiden lukunopeus on korkea. Tekniikka toimii hyvin valaistuksesta riippumatta, mutta suurempien samanaikaisten ihmismäärien lasku voi aiheuttaa sille ongelmia. [11, 12.]

ToF-sensoreita on kahdenlaisia, ”suoria” (direct) ja ”epäsuoria” (indirect). Direct-periaatteella toimivat sensorit lähettävät vähän väliä lyhyitä pari nanosekuntia kestäviä valopulsseja, kun taas indirect-periaatteella toimivat sensorit lähettävät jatkuvaa moduloitua valoa. Molemmat laskevat takaisin heijastumiseen kestävän ajan ja siten valon kulkeman matkan. [11.]

4.2 Lämpökamera

Lämpökamerateknologiaa käyttävät henkilölaskurit pystyvät laskemaan ihmisiä näiden jättämän lämpöjäljen perusteella. Niillä on usein suhteellisen suuri näkökenttä, ne pystyvät laskemaan molemmin suuntaista liikennettä, eikä niiden suorittamaan tunnistukseen liity mitään yksityisyysongelmia. Oikeissa olosuhteissa näillä laskureilla on hyvä tarkkuus. [13.]

Lämpökameroiden suurin heikkous on se, että niiden toimintaa voi häiritä monet eri ulkoiset tekijät, kuten ilman kosteus [13]. Niihin voi vaikuttaa myös paljon ihmisten pukeutuminen ja lämpötila heittelyt, kuten esimerkiksi kesällä sisään hyökkäävä lämpöaalto ovea avattaessa.

4.3 3D-kameratekniikka

Kolmiulotteista stereonäköä käyttävät henkilölaskurit perustuvat kameratekniikkaan, missä laskurit omaavat kaksi tai useampaa kameraa eri kohdissa sekä eri kulmissa toisiinsa nähden, joiden avulla laskuri pystyy muodostamaan kuvattavasta kohteesta kolmiulotteisen kuvan ja näin laskemaan sen perusteella kuvasta syvyystiedon. Tarkkuus näissä on hyvä, mutta niiden heikkoutena on laskurien suuret kustannukset, sekä niiden tarkkuuteen voi vaikuttaa paljonkin monitoroitavan alueen valaistus. [12, 13.]

4.4 Infrapunavalokeila

Infrapunavalokeilaan perustuva henkilölaskenta on yksi yksinkertaisin ja halvin tapa laskea ihmisten kulkua. Laskenta perustuu siihen, että valokeila heijastetaan kulkuväylän poikki ja ihmisten kulku valokeilan läpi katkaisee sen, jolloin lasku kulkemisesta tapahtuu. Tämän tyyppiset laskurit ovat yleensä suhteellisen halpoja ja helppoja asentaa, eikä niihin liity ihmisen tunnistamiseen liittyviä yksityisyysongelmia. Verrattuna muihin laskentatapoihin niiden heikkouksina on niiden todella yksinkertainen tunnistustapa ja rajallinen tarkkuus, eivätkä ne yleensä pysty tunnistamaan liikkeen suuntaa. [13.]

Valokeilalla toimivissa laskureita saa sovellettua esimerkiksi molempiin suuntiin toimivan laskemisen kahdella valokeilalla. Markkinoilta löytyy myös joitain laskureita, jotka heijastavat kolme peräkkäistä valokeilaa, joiden avulla ne pystyvät tunnistamaan ihmisten kulkusuunnan. Heikkouksena niissä kuitenkin aina pysyy niiden kyvyttömyys tunnistaa rinnakkain käveleviä ihmisiä.

4.5 Tekoälypohjainen laskenta

Tekoälyllä ja erilaisilla konenäköalgoritmeilla toimivat henkilölaskurit käyttävät kameratekniikkaa, minkä kuvaamaa videokuvaa tekoäly käsittelee reaa-

liajassa ja erottelee/laskee siinä kulkevat ihmiset suurella tarkkuudella. Tekoälyllä toimivaa laskentaa voidaan mahdollisuuksien mukaan käyttää jo ennalta olevien valvontakameroidenkin kautta. [12.] Etuna tekoälyä käyttävissä laskureissa on myös niiden kyky pystyä erottamaan ihmiset ja muut objektit toisistaan, mikä monella muulla laskentateknologialla ei onnistu. Heikkoutena näissä on, että valaistus tilassa pitää olla hyvä, jotta tekoälypohjainen tunnistus kuvan perusteella onnistuu.

Tekoälytoimiset laskurit mahdollistavat monen erilaisen datan keräyksen, sekä niillä voi olla kyky oppia ja parantaa laskentatarkkuuttaan. Niiden huonona puolena ja heikkouksena voi olla monesti niiden korkea hinta sekä mahdolliset yksityisyys ongelmat. [13.]

4.6 Radioaalto

Radioaaltoihin perustuvat henkilölaskurit voivat toimia niin sanotusti tutkan tavoin, eli niillä on suuri tunnistusalue ja kantama, johon ne radioaaltoja lähettävät ja josta ne tunnistavat liikkuvat kohteet. Lähetetyt radioaallot kimpoavat niiden tielle tulleista ihmisistä takaisin sensoria kohti, jolloin laskuri saa tiedon kulkevasta ihmisestä ja näin pystyy määrittämään ihmisen kulkurataa sekä suuntaa. Ne yleensä toimivat hyvin erilaisissa sääolosuhteissa. Tämän tyyppisten sensorien lähettämät radioaallot pystyvät läpäisemään joitain materiaaleja, mikä täytyy ottaa huomioon. Hinta voi tämän tyyppisillä laskureilla olla melko korkea. Laskurien sijoitus on niiden laskentatarkkuuden kannalta tärkeää, ja ne eivät tekniikkansa puolesta sovellu aivan kaikkiin tilanteisiin. [12.]

5 TARKOITUS, TAVOITTEET JA MENETELMÄT

Opinnäytetyön tarkoitus on kehittää henkilömäärän mukaista ilmanvaihdon ohjausta ja tehdä sen toteuttamisesta kustannustehokkaampaa etsimällä käytettäväksi yksi tai useampi haluttuihin tarkoituksiin sopiva ja kustannustehokas henkilölaskuri. Tarkoituksena on saada säädettyä henkilölaskennasta saaduilla sisään ja ulos laskuilla tilan ilmamäärä, jotta tilaan saataisiin henkilömäärää vastaavaa ilmanvaihtoa hyvällä tarkkuudella. Tavoitteena on ensin käydä läpi markkinoilla olevaa henkilölaskuri valikoimaa, jonka jälkeen hanki-

taan haluttuja vaatimuksia täyttäviä ja edullisia henkilölaskureita testejä varten. Lopullisena tavoitteena on olla löydetty vähintään yksi mahdollisesti jatkossa käyttöön tuleva henkilölaskuri.

Opinnäytetyössä käytettävät tutkimusmenetelmät tulevat olemaan osittain määrällisiä ja osittain laadullisia. Määrälliset tutkimusmenetelmät työssä tulevat olemaan henkilölaskureille tehtävät toimintatestit ja testeistä saatujen laskentatulosten käsittely. Laadullisina menetelminä tulee olemaan henkilölaskurien ominaisuuksien ja toiminnan analysointi sekä laskurien vertailu hankkimis- ja valintavaiheessa.

6 HENKILÖLASKUREIDEN VALINTA JA HANKINTA

Varsinaisen työn toteutuksen osuus alkoi eri henkilölaskurivalmistajien etsinnällä ja näiden tuotteisiin tutustumisella. Tässä vaiheessa laskureiden valintaperusteet olivat jo minulla tiedossa, mutta laskuri valikoiman kartoittamisen ja vertailun vuoksi keräsin taulukkoon myös laskureita, jotka eivät täyttäneet kaikkia haluttuja vaatimuksia. Aloin keräämään laskureita Excel-tilaukseen, mihin keräsin niistä keskeisimmät tiedot, kuten niiden tekniset tiedot, eri ominaisuudet ja kuvat. Alkuetsintöjen jälkeen taulukossa oli eri välilehdillä yhteensä 27 eri laskuria 16 eri yritykseltä.

Tämän jälkeen tein vielä toisen erillisen Excel-tilauksen, jossa laskureista oli tärkeimmät tiedot esillä samassa taulukossa, jotta ne olivat helpommin vertailtavissa. Taulukosta löytyi laskureiden nimi, valmistaja, hinta, laskentatarkkuus, asennuskorkeus, tunnistusalue, laskentateknologia, kommunikointitavat, liitännät, sähkönsyöttö, lisälaitteet ja lopuksi linkki valmistajan tuotesivulle.

6.1 Valintaperusteet

Henkilölaskureiden valinnalle oli monia eri valintaperusteita, ja niitä oli myös kahdelle erityyppiselle laskurille, toinen käytettäväksi leikkaussaleihin ja toinen potilashuoneisiin sekä muihin tiloihin, joissa laskentatarkkuus ei välttämättä tarvitsisi olla niin hyvä kuin leikkaussaleissa. Leikkaussaleihin mahdollisesti valittavalta henkilölaskurilta vaaditaan suurempaa näkökenttää ja tarkkuutta, joten ne voisivat hinnaltaan olla kalliimpia verrattuna muihin tiloihin tuleviin laskureihin. Potilashuoneissa laskurilta ei taas vaadittaisi niin hyvää tarkkuutta, ja

sen näkökentän ei tarvitsisi olla niin suuri, sillä sitä pyrittäisiin käyttämään normaalien, 80–110 cm leveiden oviaukkojen kanssa. Vaikka keräsinkin myös joi-tain ei-niin-sopivia laskureita taulukkoihin, jätin myös pois sellaisia laskureita, jotka eivät käyneet käyttötarkoitukseen laisinkaan ja/tai niiden hinta oli aivan liian suuri verrattuna haluttuun hintatasoon.

Tärkeimpiä valintaperusteita laskurien valintaan olivat:

- Kustannustehokkuus
 - Laitteiden kustannukset olivat yksi tärkeä tekijä niiden valinnassa. Tavoitehintaluokka laskureille oli työssä noin **100–500 €** paikkeilla. Kustannuksia pystyi miettiä hieman tilatyypin mukaan, esimerkkinä juuri leikkaussalin ja potilashuoneen ero.
- Tunnistusalue ja asennuskorkeus
 - Laskurin tunnistusalueen leveyden piti olla vähintään **noin 2 m luokkaa**, että se pystyisi tarkkaileman leveitäkin ovia, kuten esim. leikkaussalien isompia liukuovia. Potilashuoneiden oviin ja muutenkin normaalikokoisiin oviin käy taas laskuri, jonka tunnistusalue pystyy kattamaan minimissään **noin 80–100 cm**.
 - Sopiva asennuskorkeus on **noin 2,5–3,5 m välillä**, sillä suurin osa tiloista on yleensä sitä luokkaa.
- Kommunikointi / tiedonsiirto
 - **Digitaaliset ulostulot, Modbus tai Bacnet**, jotta laskuri olisi mahdollisimman helppo liittää automaatiojärjestelmiin. Muillakin tavoilla kommunikaatio pystytään toteuttamaan, jos sen tarve vaatii ja sen toteuttaminen on kustannustehokasta.
- Tarkkuus
 - Laskurin tarkkuus oli yksi peruste, mutta se oli tarkoitus selvittää omien testien perusteella, sillä suurin osa valmistajista lupaili tuotteelleen todella suurta tarkkuutta, monissa se oli luokkaa 85–99 %.
- Lisävarusteet
 - Tuleva käyttötarkoitus olisi henkilölaskurille aika yksinkertainen, joten toivottavaa oli, ettei niiden käyttöön tarvitsisi mitään erillisiä gatewayä tai muita lisälaitteita.
 - Laskurilta ei myöskään tarvittu kuin vain laskutieto, joten mitään erillisiä ohjelmia tai muita palveluita ei haluttu/toivottu.

- Laskentateknikka/teknologia
 - Ulkopuoliset tekijät, kuten esim. valaistuksen taso ja lämpötila, eivät toivotusti saisi vaikuttaa kovin paljon laskentaan.
 - **Laskennan pitää toimia molempiin suuntiin.**
 - Laskurin täytyy pystyä laskemaan monta henkilöä tunnistusalueellaan samaan aikaan, ainakin laskureissa, jota käytettäisiin leveämissä oviaukoissa.

6.2 Hankitut ja testattavat henkilölaskurit

Valintaperusteiden mukaan valikoitiin hyvältä vaikuttavat henkilölaskurit ja sen jälkeen olin suurimpaan osaan näiden laskurien valmistajista yhteydessä sähköpostin välityksellä, sillä suurinta osaa laskureista ei saanut suoraan tilattua valmistajien nettisivuilta eikä monista laskureista löytynyt suoraan mitään tarkkoja hintatietoja. Kyselin yrityksiltä tarvittavia kysymyksiä laskureihin liittyen ja pyysin saada tietää laitteiden hintoja. Tässä vaiheessa jo joitain hyvältäkin vaikuttavia laskureita karsiutui ulos työstä eri syiden takia. Näitä syitä oli esimerkiksi yhdellä valmistajalla komponentti pula ja jotkin yritykset eivät tarjonneet laitteitaan yksittäisinä, vaan myivät niitä osana omia järjestelmiään. Jossain laskureissa taas hinta oli odotettua korkeampi, joten nekin karsiutuivat pois pelistä. Osalta taas en saanut useammankaan sähköpostin jälkeen mitään vastausta.

Testattavia laskureita tuli loppujen lopuksi yhteensä **6 kappaletta**. Yksi näistä laskureista oli jo valmiiksi Haltonilla, sillä niitä oli aikoinaan tilattu testattavaksi 2 kpl, mutta testausta ei kukaan ollut kuitenkaan suorittanut. Päätettiin myös, että Haltonin Kausalan tehtaan laboratorion leikkaussalissa löytyviä henkilölaskureita voi testata referenssiksi. **Testattavat laskurit ovat työssä esitetty numeroin 1-6** ja laboratorion leikkaussalista löytyvä laskuri **esitetty tunnuk-sella "N"**. Taulukossa 1 on esitetty työtä varten hankitut henkilölaskurit.

Taulukko 1. Testauksia varten hankitut henkilölaskurit

| Laskuri | Laskuri 2 | Laskuri 3 | Laskuri 4 | Laskuri 5 | Laskuri 6 |
|-----------------------|---|--|---|-------------------|--|
| Tekniikka | AI-algoritmit + kameratekniikka | Dual PIR | ToF | ToF | ToF |
| Tunnistusalue | H=2,5 m --> 3x4 m | H=3 m --> W=2,8 m | 80x80 - 90x90 cm | noin 80x80 cm | H=2,4 m --> 1,8x0,75 m |
| Asennuskorkeus | 2,5 - 4 m | Katto: ≤ 3 m Seinä: 1,2 - 1,3 m | 2,3 - 3 m | 2 - 2,5 m | 1,9 - 2,4 m |
| Kommunikointi | LoRaWAN, D2D, PoE; HTTP, MQTT | LoRaWAN, D2D | LoRaWAN, PoE;HTTP(S), MQTT(S) + analoginen ulostulo | UART/IC2/ USB 2.0 | RS485 liitännän kautta |
| Tarkkuus | jopa 98 % | ≤ 80-95 % | 95 % | N/A | N/A |
| Muu | Hankittiin ensin LoRaWAN-versio, myöhemmin PoE-versio | Kommunikointi tarkoitus hoitaa erillisen gatewayn kautta | Hankittiin PoE-versio | N/A | Toimii joko erillisen gatewayn kautta tai ilman |

Taulukossa 1 kerrotaan laskurien tärkeimpiä ominaisuuksia ja muuta laskuriin liittyvää oleellista tietoa. Kuten taulukosta näkee, laskurit eivät joka osa-alueella täytä täysin haluttuja vaatimuksia, mutta nämä laskurit olivat sopivimman oloisia ja lähimpänä haluttuja vaatimuksia. Laskureiden valinnassa hinta oli merkittävänä suodattimena, joka laski laskuri valikoimaa melko pieneksi.

7 HENKILÖLASKUREIDEN TESTAAMINEN

Henkilölaskureita testattiin Haltonin Kausalan tehtaalla sijaitsevassa laboratoriossa, mistä löytyy eri tiloja erilaisille mittauksille, testauksille ja tuotekokeiluille. Kun sopiva tila testeille päätettiin, tila siivottiin ja tilaan rakennettiin alakatto 2,7 m korkeuteen. Tila ei ollut kovin suuri, noin 10,35 m², mutta suurimpaan osaan testeistä se oli riittävän kokoinen (kuva 1).



Kuva 1. Testitilan oviaukot

Testitilassa oli kaksi oviaukkoa testejä varten, normaali saranaovi sekä leveä liukuva tuplalasiovi, jotka näkyvät kuvassa 1. Kuvassa olen jo irrottanut leveän oviaukon tuplalasiovet, jotta sen läpikulusta sai esteetöntä ja oviaukosta pääsi kävelemään rinnakkain useamman henkilön testeissä. Normaalin oviaukon leveys oli noin 80 cm ja leveän oviaukon 170 cm. Testitilan valmistumisen myötä alkoi laskureiden testaukset tilassa. Laskureita täytyi testata eri menetelmillä, jotta niiden toiminnasta ja laskennan tarkkuudesta voisi saada hyödyllisiä tuloksia lopullista laskurin valintaa ajatellen.

Pääosin testattavana oli normaaliin kulkemiseen liittyvät tapahtumat. Testattavana oli yleisin tilanne eli normaali kulkeminen oviaukosta sekä normaali kulkeminen oviaukosta vinosti ja alueen kulmista. Testeillä oli tarkoitus varmistaa laskureiden laskentatarkkuus normaaleissa tilanteissa, sekä ettei kulmista-kaan kulkevat henkilöt jää laskematta tai aiheuta suurempia laskentavirheitä. Testattavana oli myös tunnistusalueella harhailu ja U-käännökset, sillä ihmiset eivät tule kulkemaan oviaukoista aina täysin läpi, eikä ihmisten vaeltelua tunnistusalueella oikein voi estää oikeassa tilanteessa muuten kuin ohjeistuksella ja mahdollisesti merkkäamalla alueen.

Tärkeinä testeinä oli myös muiden objektien kantaminen/kuljetus oviaukosta, jolla tutkittiin, miten laskurit tunnistavat ja laskevat muut objektit, ja miten mui-

den objektien aiheuttamat laskentavirheet voitaisiin estää. Viimeisenä päätes-
tauksena oli useamman henkilön kulku oviaukosta. Tätä testattiin leveässä
oviaukossa peräkkäin ja rinnakkain kululla, sekä monen ihmisen satunnaisella
kulkemisella. Kapeassa oviaukossa testit tehtiin aina peräkkäin ja testattiin
myös rinnakkain kulkua, vaikkei sitä kapeassa oviaukossa realistisesti tapah-
tuisikaan.

Laskureiden toimintaa tullaan myös testaamaan hämärässä/pimeässä, sekä
niitä testataan niiden eri asetuksilla, jotta löydetään parhaat asetukset käyttö-
tarkoitusta varten. Laskureille voidaan myös tehdä testit nopealla liikkumisella
ja syöksyllä laskenta-alueen läpi, jos muiden testien perusteella se näyttää
tarpeelliselta. Laskureiden ominaisuuksien mukaan voidaan niille tehdä lo-
puksi muita erikois- ja lisätestejä, jotka vaikuttavat hyödyllisiltä työhön nähden.

Testien tulokset keräsin pääosin omiin Excel-taulukoihin, joihin merkkasin si-
sään- ja uloslaskujen tulokset sekä tapahtuneet virhelaskut. Testitaulukoihin
merkkasin myös testin numeron, mitä testattiin, yksityiskohtaisempia tietoja
testauksesta, ja testauksen nauhoituksen tiedostonimen ja päivämäärän, jos
nauhoitus oli mahdollista testissä helposti tehdä. Kirjasin myös taulukkojen ul-
kopuolelle huomioitani laskurin toiminnasta ja sen toimintaan liittyvää muuta
tärkeää tietoa.

Osassa laskureista oli paljon laskentaa jollain tavoin muuttavia asetuksia, ja
pyrin testaamaan eri asetuksia sen verran, kun näin tarpeelliseksi. Testien pe-
rusteella valikoituja antureita testattiin myöhemmin vielä uudestaan, jolloin nii-
den eri ominaisuuksia ja toimivuutta ilmanvaihdon säädön kanssa vielä tutkit-
tiin tarkemmin. Tein testailuista vielä tulosten ja pohdintojen keräämisen li-
säksi omat raportit jokaiselle laskurille, jotta niiden testaamisesta jää Haltonille
suhteellisen selkeät raportoinnit.

7.1 Laskuri N testaaminen referenssiksi

Haltonilla on ennen työtä ollut laboratorion leikkaussalissa käytössä henkilö-
laskuri N, jonka toimintaa testattiin referenssiksi. Referenssi testauksen aja-

tuksena oli testata laskurin toimintaa, jotta sitä pystyy vertaamaan uusiin testattaviin laskureihin. Henkilölaskureita oli 2 kappaletta asennettuna Kausalan laboratorion leikkaussaliin, jossa laskureita testattiin (kuva 2).



Kuva 2. Leikkaussalissa olevat henkilölaskurit

Laskureita oli asennettu 1 laskuri per sisäänkäynti, kuten kuvassa 2 näkyy (laskurit merkattu punaisilla nuolilla). Henkilön liikkuesssa sisään ja ulos henkilölaskuri piti laskemista merkitsevän piippauksen, jota hyödynsin testeissä tuloksien laskennassa. Laskureiden asetuksia en muutellut, vaan ne pidettiin samoina kuin mihin ne oli aikoinaan määritetty.

Laskuriin virta tuotiin PoE:n (Power over Ethernet) kautta, ja Ethernet-kaapelin kautta tiedonsiirtokin olisi onnistunut, mutta se oli toteutettu yksinkertaisemmin digitaalisilla ulostuloilla. Laskuriin sai erillisen moduulin, mikä mahdollisti ulostulojen käytön sisään ja ulos kulkumäärien siirtämisessä pulssitietojen avulla.

Suoritin laskureille ennalta määrittämiäni testejä. Molemmille oviaukoille tein samat testit erikseen, jotta pystyin vertaamaan niiden toimivuutta ovien välillä. Tein laskureille kaksi testiä normaalilla kulkemisella, tunnistusalueella harhailu testin, U-käännös testin, esineiden kantelu testin ja pienen kärryn työntely testin. Kyseiset testit tein, koska tilanteissa mielestäni tuli esiin suurin osa mahdollisista kulkutilanteista, mitä oviaukoissa voisi normaalistikin tapahtua.

7.2 Laskuri 1

Ensimmäinen henkilölaskuri, laskuri 1, omasi kaksi eri versiota, joista toisesta löytyi enemmän laskentaominaisuuksia sekä sen pystyi yhdistämään yhteensä 32 eri laskuriin, kun taas normaalin version pystyi vaan neljään. Laskurista testasin kuitenkin sen normaalia perusversiota. Laskurissa oli testausaikana käytössä vanha versio sen firmwaresta sen päivittämiseen liittyvien ongelmien vuoksi, jonka takia sillä tehdyt testit eivät vastaa täysin sen nykyistä tilaa.

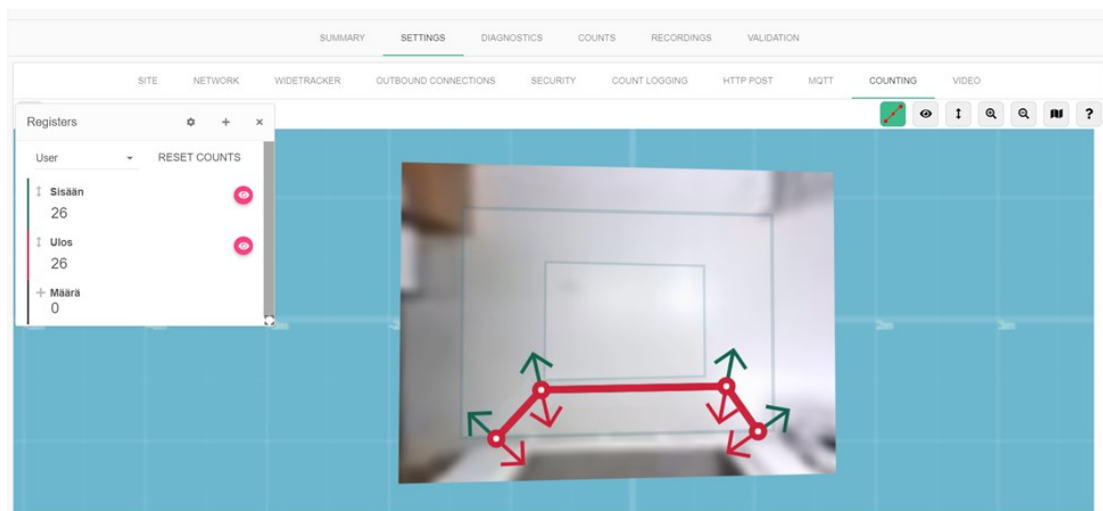
Laskurin laskenta toimi ToF-teknologian avulla, sekä siinä oli myös kamera-tekniikkaa laskenta-alueen määrittämistä ja laskennan validointia varten. ToF:in takia se pystyi määrittämään henkilöiden ja muiden objektien korkeusasemat ja laskennan korkeusrajoja pystyikin säätämään niin, että laskuri laski vain kuljijoita tietyltä korkeusväliltä.

Testasin laskuri 1:stä kolmessa eri kohdassa alakatossa. Ensimmäisenä testasin laskuria leveän oviaukon yläpuolella 1 m päässä seinästä, mikä oli laskurin suositeltu asennusetäisyys seinästä, varsinkin jos se asennettiin oven avauspuolelle. Tässä asennuskohdassa tein laskurille monia perusliikkumiseen liittyviä testejä sekä testailin sen eri asetuksia ja yritin löytää sopivimman kohdan laskentalinjoille.

Seuraavaksi laskuri siirrettiin noin 50 cm lähemmäksi leveää oviaukkoa noin 50 cm päähän seinästä. Tarkoitus oli testata, toimiiko laskuri yhtä hyvin lähempänä oviaukkoa vai toimiiko se jopa paremmin lähempänä ollessaan. Testejä ei tässä kohtaa otettu niin monia, sillä laskurin toimintaa oli jo testattu suhteellisen samoissa olosuhteissa.

Viimeiseksi asensin laskurin normaalin oviaukon yläpuolelle myös noin 50 cm päähän seinästä, kuten leveämmälläkin oviaukolla. Oviaukolla tehtiin tässä taas enemmän testejä ja testattiin, miten laskuri toimii ovea avattaessa ja suljattaessa.

Laskurin asetuksia pystyi määrittämään selaimella laskurin käyttöliittymässä (kuva 3). Käyttöliittymän kautta seurasin ja tallensin laskentaa laskentatulosten validointia varten. Kuvassa näkyy laskurin koko näkökenttä, jonka sisällä tunnustusalue ja päällekkäin piirretyt laskentalinjat.



Kuva 3. Laskuri 1:n käyttöliittymä selaimessa

Laskurin käyttöliittymässä pystyi esimerkiksi seuraamaan tunnistusaluetta suoratoistona, tallentamaan videota laskennan validointia varten ja muuttelmaan eri laskentamuotojen välillä, sekä määrittämään laskentalinjojen sijain- teja. Kuvassa 3 näkyy erillisessä ikkunassa määritetyt ”rekisterit”, joissa näkyy sisään ja ulos laskentalinjojen laskumäärät sekä tilan henkilömäärä, joka tulee vain sisään ja ulos kulkijoiden erotuksesta.

Laskuriin sai haluttaessa erillisen USB-IO moduulin, jolla laskurin laskutietoja pystyi siirtää digitaalisten ulostulojen kautta Ethernet-liitännän sijasta. Moduulissa oli 2 ulostulo liitääntää sekä myös 2 sisääntuloa. Digitaalisten ulostulojen kautta olisi yksinkertaista siirtää laskentatieto automaatiojärjestelmään, joten moduulinkin toimintaa lopuksi testattiin.

7.3 Laskuri 2

Seuraavana oli testissä laskuri 2, joka on alun perin päätarkoitukseltaan läsnäololaskuri, mutta siihen oli myös lisätty perus sisään-ulos linjalaskenta. Sillä oli tunnustusaluetta reilusti, mutta se vaikutti sopivalta käytettäväksi henkilö- määrän laskuun oviaukoistakin, sillä sen iso näkökenttä mahdollisti hyvin le-

veiden oviaukkojen ja mahdollisesti useammankin oviaukon yhtäaikaista laskennan. Siinä oli testihetkellä tunnistusalueen läsnäololaskennan lisäksi linjan ylitykseen perustuva, sisään-ulos henkilölaskenta, sekä myös ihmisvirtojen laskenta neljään eri kulkusuuntaan.

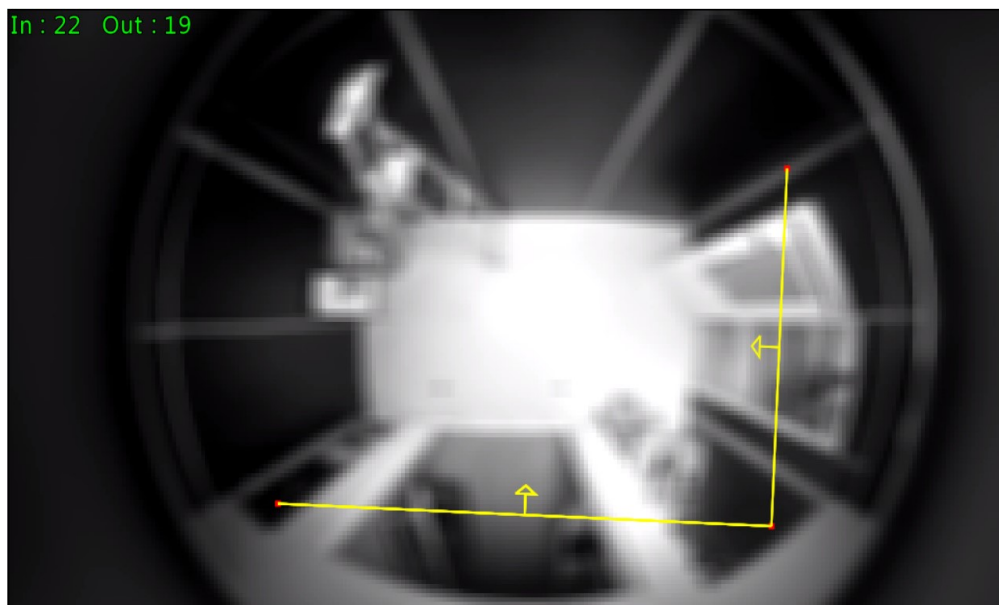
Laskuri 2:sen laskentatekniikka perustui kameran ja AI-algoritmien käyttöön. Tekoälyn käyttämisen takia se pystyi hyvin erottamaan ihmiset ja muut objektit toisistaan. Sensorilla oli valittavana 2 eri algoritmia, toinen siistimpiin tiloihin, missä tavaraa on vähäisesti, ja toinen monimutkaisempiin tiloihin, joissa tavaraa on paljon, kuten vaikka toimistoihin.

Melkein kaikki testit tehtiin käyttäen algoritmi 2, sillä se oli suositeltu käytettäväksi vakio algoritmina. Kokeilin jossain testeissä myös algoritmi 1, mutta laskennassa tai tunnistuksessa ei huomannut näiden välillä kovin suurta eroa. Testit tallensin kuvaamalla Windowsin Snipping toolilla laskurin käyttöliittymän suoratoistonäyttöä (kuva 5), jotta testien jälkeen pystyin validoimaan laskentaa ja tunnistamaan mahdolliset syyt laskentavirheille. Ensimmäiseksi laskuri oli asennettu suurin piirtein keskelle tilaa (kuva 4).



Kuva 4. Laskuri 2 suurin piirtein keskellä testitilaa

Kuvan 4 asennuspaikassa laskurilla itsellään oli reilusti testitilaa suurempi näkökenttä, joten se kattoi koko tilan alan. Koska laskurin linjanylityslaskennassa pystyi piirtämään vain yhden laskentalinjan, maksimissaan neljällä kulmapisteellä, jouduin piirtämään saman linjan kattamaan molempia oviaukkoja, jos halusin laskea niistä molemmista kulkua yhtä aikaa (kuva 5).



Kuva 5. Esimerkki käyttöliittymän suoratoiston näkymästä

Kuvassa 5 näkee, että kameran kuvan kuperuuden takia linjat täytyi piirtää melko pitkälle kuvan näkökulmasta katsottuna, sillä muuten laskenta tapahtui liian pitkällä huonetta. Kyseiseen kohtaan piirrettynä laskuri laski aikuisen ihmisen sisään tai ulos kulun hieman tilan sisäpuolella ollessaan. Myöhemmin siirsin laskurin kapeamman oviaukon eteen, 33,6 cm päähän seinästä, keskelle oviaukkoa. Tarkoitus oli kokeilla, mitä vaikutusta eri asennuspaikalla on ja miten se vaikuttaa laskennassa tapahtuviin virheisiin.

Tein myös laskurille muita satunnaisia testejä, jotka koin tarpeellisiksi. Testasin laitteen läsnäololaskennan toimintaa, jos jossain tiloissa tai tapauksissa sitä halutaan käyttää sisään-ulos henkilölaskennan sijasta. Testasin myös lyhyesti laskurin tunnistuksen toimivuutta eri asennoissa, kuten kyykyssä ja makuultaan. Jatkoin makuultaan tunnistuksen testausta vielä pitemmälle kärryn avulla, joka testissä oli tarkoitus esittää sairaalasänkyä. Testasin tunnistuksen toimivuutta sängyssä makaavan henkilön kohdalla, koska laskureiden käyttökohteet olisivat mahdollisesti sairaalat, joissa potilaita tullaan monesti siirtämään sängyillä.

7.4 Laskuri 3

Kolmantena laitteena testissä oli laskuri 3, joka oli pieni kokoinen ja melko simppele henkilölaskuri. Siinä tunnistus toimii kahden PIR-sensorin avulla ja

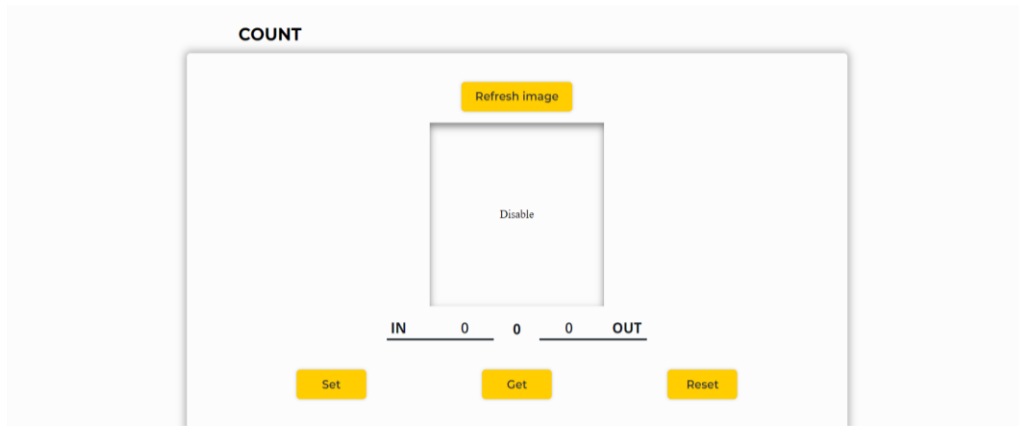
sen tunnistusalueen leveys on 2,8 m asennuskorkeudessa 3 m, joten se pystyy kattamaan leveämpiäkin oviaukkoja. Laskuri on patterikäyttöinen ja täysin langattomasti toimiva. Se pystyy kommunikoimaan LoRaWANin tai LoRaan perustuvan D2D-kommunikoinnin avulla. Tarkkuudeksi valmistaja on määrittänyt sille yhden henkilön tunnistuksessa jopa 95 % ja useamman henkilön tunnistuksessa jopa 85 %.

Laskurin asetuksia pääsi määrittämään älypuhelimelle saatavilla olevalla sovelluksella. Laskuriin sai yhteyden sovelluksen avulla NFC-yhteydellä. Sovelluksen kautta pystyi katsomaan laskurin eri tietoja sekä määrittämään laskentaan ja kommunikointiin liittyviä asetuksia.

Testasin laskuria molemmissa testitilan oviaukoissa sekä testitilan ulkopuolellakin käytävässä, missä sain asennettua laskurin leveämmälle ja hieman korkeammalle kohdalle. Laskurille tein normaaliin kulkemiseen liittyviä perusteitejä. Laskuri on suositeltu asennettavaksi hieman kauemmas oviaukoista, ainakin vähintään 45 cm etäisyydelle seinästä/oviaukosta. Laskuri täytyy oikeassa tilanteessa asentaa aina oven avauspuolen vastakkaiselle puolelle, sillä muutoin se ottaisi oven availusta virheitä, eikä laskurin asetuksia muuttamalla voinut itse laskentaan sen kummemmin päästä vaikuttamaan. Testitilanteessa laskuri oli asennettuna noin 47 cm päähän leveästä oviaukosta ja kapeammassa oviaukossa noin 50 cm päähän oviaukosta.

7.5 Laskuri 4

Laskuri 4 on ToF-teknologiaan perustuva henkilölaskuri, joka soveltuu pienen tunnistusalueensa vuoksi yksittäisiin oviaukkoihin ja kapeisiin käytäviin. Tarkkuudeksi valmistaja on antanut sille 95 %. Kommunikoinnin sillä voi hoitaa joko PoEn, LoRaWANin tai analogisten ulostulojen kautta. Siitä on saatavilla kaksi eri versiota, LoRa- ja PoE-versio. Laskurista hankittiin PoE-versio testaamista varten, jonka välityksellä pääsin tietokoneella käsiksi laitteen käyttöliittymään selaimen kautta (kuva 6).



Kuva 6. Laskuri 4:n laskenta näkymä käyttöliittymässä

Käyttöliittymässä pystyi säätämään laitteen eri asetuksia ja seuraamaan laskurin suorittamaa laskentaa. Kuvassa 6 on laskennan seuraamisessa käytettävän käyttöliittymän ulkoasu. Laskurin syvyyskuva näkymän saa näkyviin ylhäällä näkyvästä nappulasta, jota painamalla syvyyskuva ja laskentalinja tulee näkyviin 1 minuutin ajaksi. Käyttöliittymä ja laskuri olivat helppokäyttöisiä, ja vaikka käyttöliittymän käytössä oli aluksi hieman yhteysongelmia ja jumiutumista, niin ne olivat onneksi vain väliaikaisia. Laskurin asensin testitilassa kaapean oviaukon yläpuolelle 30 cm päähän oviaukosta oven avauspuolelle (kuva 7).



Kuva 7. Laskuri 4 ja 5 asennettuna oviaukon yläpuolelle

Testasin laskurin käyttöä vain kuvassa 7 näkyvässä asennuspaikassa, sillä laitteen tunnistusalue ei ollut tarpeeksi laaja leveään oviaukkoon. Kuvassa näkyy valkoisen ja pyöreän laskuri 4:n lisäksi laskuri 5. Oikeassa tilanteessa laskuri 4 täytyy asentaa avaamisen vastakkaiselle puolelle, sillä laskurilla ei voi säätää laskennan korkeusrajoja, joten laskuri ottaa muutoin jatkuvasti virheitä ovea käytettäessä. Laskurille tehtiin samoja perustestejä kuin muillekin hankituille laskureille. Näitä olivat oviaukosta normaali kulkeminen, oviaukosta kulkeminen vinosti/kulmassa, tunnistusalueella harhailu tilan sisällä, U-käännökset, pahvilaatikon kantelu ja useamman henkilön kulku peräkkäin sekä rinnakkain.

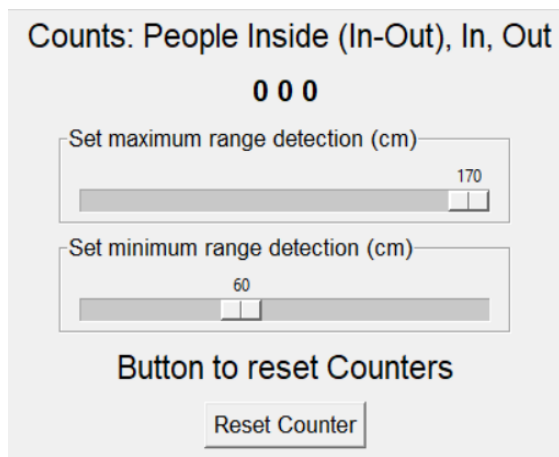
7.6 Laskuri 5

Laskuri 5 toimi myös ToF-teknologialla, ja se oli kaikista testaamistani laskureista yksinkertaisin sekä pienin, niin kooltaan kuin kustannuksiltaan. Edullisen hinnan ja pienin koon vuoksi ominaisuudetkin siinä olivat hyvin rajatut. Tunnistusalue ei sillä ollut kummoinen, melko samaa luokkaa kuin laskuri 4:llä, alueen ala riippuen hieman asennuskorkeudesta. Asensin laskurin alakattoon, niin kuin muutkin laskurit (kuva 8). Vaihtoehtoisesti laskurin olisi voinut myös asentaa vaakasuoraan esim. seinään. Vaakatasossa toimivan laskennan testasin myös myöhemmin muutamalla testillä.



Kuva 8. Laskuri 5 testihuoneen alakatossa

Kuvan 8 asennuspaikalla suoritin laskurille suurimman osan testeistä. Kuvassa laskuri on asennettu 18 cm päähän seinästä, mikä oli kyseisessä tilanteessa sopivan oloinen etäisyys. Suositeltu maksimi asennuskorkeus laskurilla oli 2,5 m ja alakaton korkeus oli 2,7 m, joten asennuskorkeus voi olla hieman laskenut laskentatarkkuutta ja laskurin tunnistusta. Laskurille oli saatavilla laadittavana oma GUI (graphical user interface), jonka kautta sen toimintaa pystyi hieman määrittämään ja laskentadataa seuraamaan (kuva 9).



Kuva 9. Laskurin GUI

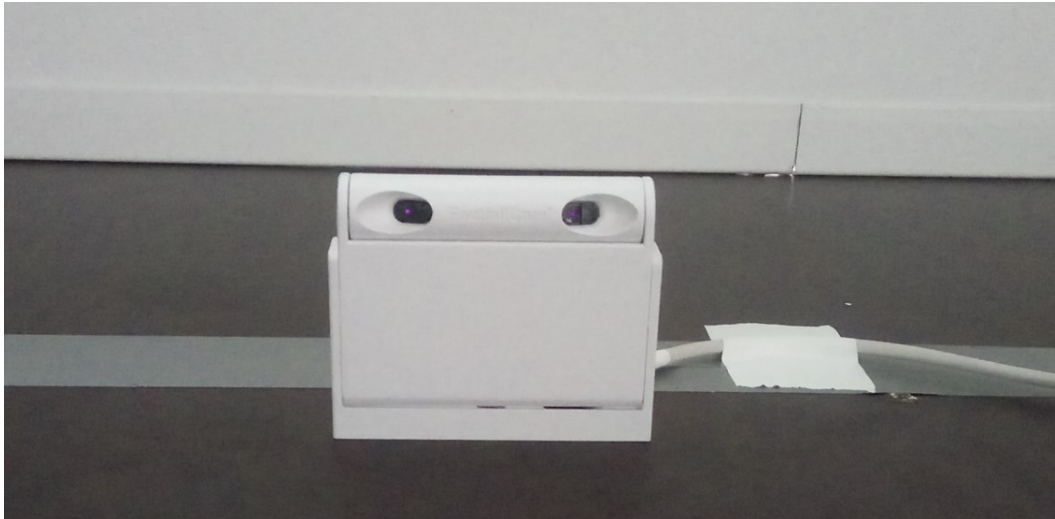
Kuvassa 9 näkyy laskurin käyttöliittymä kokonaisuudessaan, lukuun ottamatta ikkunan reunoja. Laite syötti kolmea eri tietoa, sisään- ja ulostulomäärää, sekä sisällä olevaa henkilömäärää. Käyttöliittymän kautta pystyi säätämään laitteen laskennan tunnistusväliä 10–170 cm välillä sekä nollaamaan laskurin.

Testeissä laskuri oli ensin asennettuna kauemmaksi oviaukosta noin 46 cm päähän seinästä, jossa tein muutamia perustestejä. Huomattuani, että asennuspaikka oli liian kaukana oviaukosta, siirsin laskuria lähemmäksi oviaukkoa noin 18 cm etäisyydelle seinästä (kuva 8). Laskurin käyttöä vaakatasossa testasin myös myöhemmin muutamalla testillä, joissa kuljin oviaukosta normaalia kulkua. Vaakatasotesteissä laskuri oli asennettu hieman alle 145 cm korkeuteen oven avauspuolelle, noin 3,5 cm päähän oviaukon reunasta.

7.7 Laskuri 6

Viimeisenä laskurina testattavana oli laskuri 6, ja tälläkin laskenta perustui ToF-teknologiaan. Laskurin suositeltu asennuskorkeus on **1,9–2,4 m**, ja 2,4 m

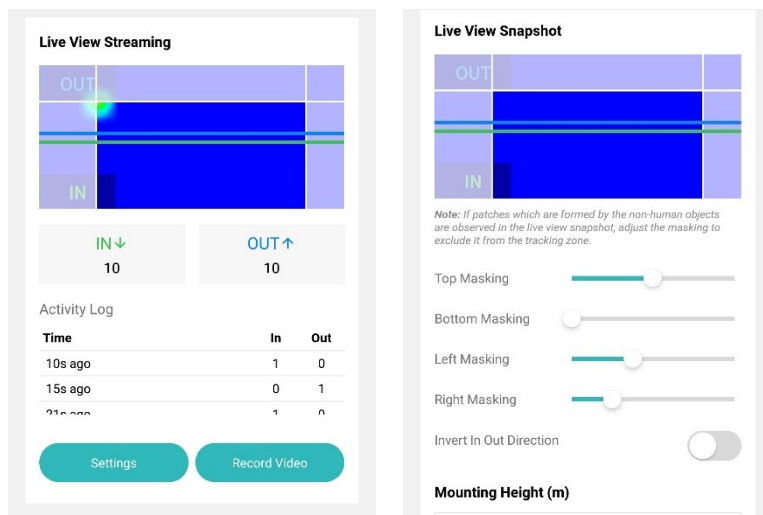
korkeudella sen tunnistusalueen mitat ovat **1,8 x 0,75 m**. Laskuri oli mahdollista asentaa joko kattoon tai oviaukon yläpuolelle seinään. Testejä varten asensin laskurin kapean oviaukon yläpuolelle seinään 2,34 m korkeuteen (kuva 10).



Kuva 10. Laskuri 6 asennettuna kapean oviaukon yläpuolelle

Laskurin näkökulmaa sai säädettyä kääntämällä laskurin pyöreää osaa, jossa ToF-sensorit sijaitsivat (kuva 10). Suositeltua oli pitää laskurin näkökulma suunnilleen 90 asteen kulmassa maahan nähden. Testeissä näkökulma oli käännetty hieman vinoon, jotta laskentalinjan sai sopivaan kohtaan oviaukon eteen. Kulma oli kuitenkin lähellä 90 astetta, joten vaikutusta laskentaan ei pitäisi olla.

Laskuri 6:n kommunikointi toimii laitteen RS485-liitännän kautta. Laskurin pystyy yhdistämään joko valmistajan erilliseen gateway-laitteeseen tai mahdollisesti suoraan RS485-liitännällä haluttuun laitteeseen. Laskureita pääsee ”daisy chainaamaan” eli asentamaan sarjaan 10 kappaleeseen saakka RS485-liitäntöjen kautta. Erillisestä gatewaystä tieto taas tuodaan eteenpäin Ethernet-kaapelilla haluttuun laitteeseen. Gatewayn käyttöön en kuitenkaan sen enempää perehtynyt, sillä tavoitteenani oli laskurin laskemisen toimivuuden testaaminen. Laskurin laskenta- ja asennusasetuksia pystyi määrittämään sille tehdyn mobiilisovelluksen kautta, jonka sain asennettua älypuhelimellen. Kuvassa 11 näkyy sovelluksen näkymää laskenta-alueen määrittämisestä ja laskennan seuraamisesta.



Kuva 11. Sovelluksen suoratoisto näkymä ja asetusten määrittämissivua

Sovelluksessa pystyi peittämään pois halutut alueet pois laskennasta, kuten kuvassa 11 näkyy. Sillä pystyi myös muuttamaan laskennan suuntaa ja antamaan siihen laskurin asennuskorkeuden. Asetuksien määrittämisen jälkeen laskentaa pääsi testaamaan ja tarkkailemaan sovelluksen kautta. Ainoana huonona puolena tässä oli testien kannalta se, että sovellus kirjasi laskut aina 15 toistoon saakka, jonka jälkeen se alkoi kirjoittamaan laskuja olemassa olevien laskujen päälle. Laskuriin yhdistettiin sovelluksen kautta Bluetooth-yhteydellä. Laskurille tein samat perustestit kuin muillekin laskureille. Laskentaa ja mahdollisia virheitä seurasin sovelluksen kautta.

8 JATKOTESTAUKSET JA SÄÄDÖN TOIMINNAN TUTKIMINEN

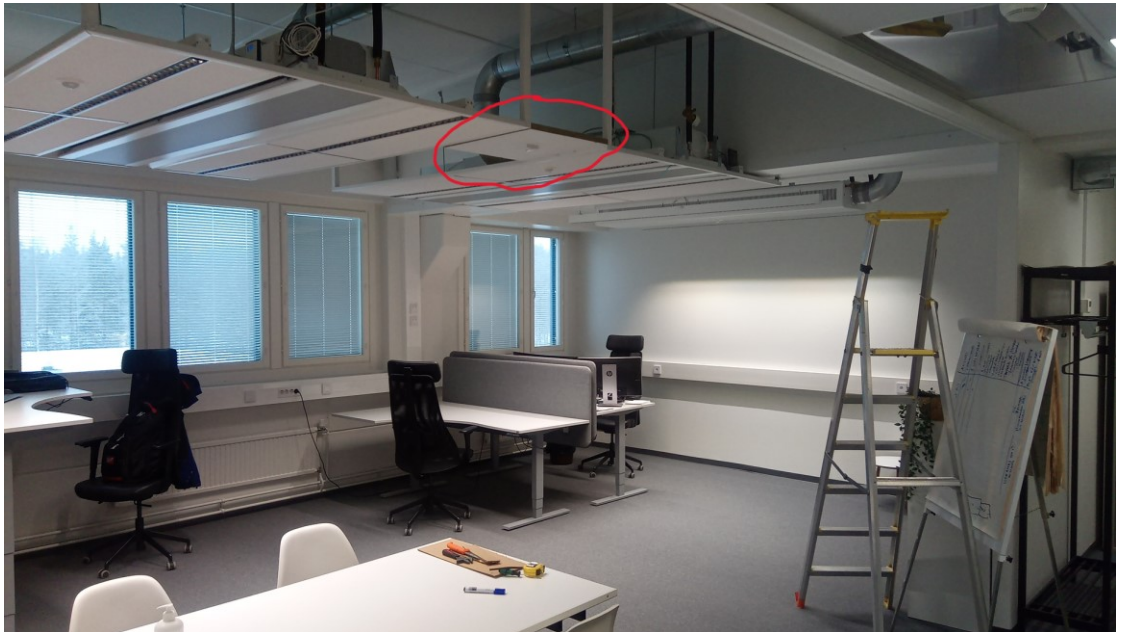
Laskuri 2 vaikutti tehtyjen testien jälkeen lupaavimmalta testatuista laskureista, joten sille tehtiin hieman jatkotestejä, etenkin sen läsnäololaskentaan liittyen. Tämän jälkeen myös tutkittiin, millä tavalla olisi järkevintä ja kustannustehokkainta kommunikoida laskentatietoa laskurilta Haltonin automaatiojärjestelmiin.

8.1 Laskuri 2 -läsnäololaskentatestit

Laskuri 2 -läsnäololaskentatoimintoja voisi mahdollisesti käyttää ilmanvaihdon ohjauksessa pienemmissä tiloissa ja joissain muissakin tapauksissa, joten sen toimintaa haluttiin tutkia enemmän. Laitteella on mahdollista laskea sen koko näkökentän läsnäolijamäärää tai määrittää erillisiä alueita, mistä läsnäoloa

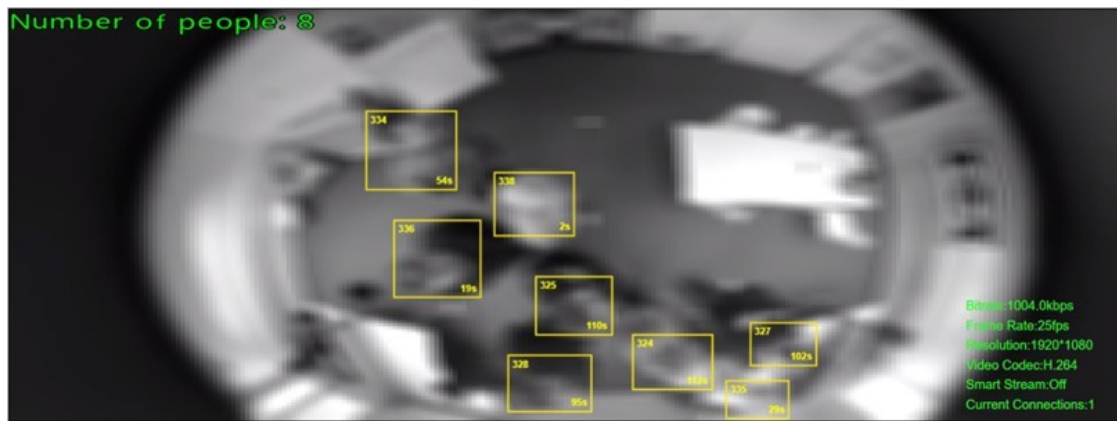
lasketaan. Yhteensä näitä alueita voi piirtää 16 kpl, ja jokaisessa alueessa voi olla enintään 10 kulmaa.

Varsinaiset testit aloitin Haltonin toimistotiloissa olleesta hieman suuremmasta toimistohuoneesta. Laskurin asensin melko keskelle toimistotilaa, 2,5 metrin korkoon, jossa tilan valaisimet ja ilmanvaihdon päätelaitteetkin roikkuivat (kuva 12). Tein jonkin verran perustestailua itsekseni, mutta myöhemmin varsinaisissa testauksissa läsnäololaskentaa testattiin 7–8 henkilön voimin.



Kuva 12. Laskuri 2 asennettuna toimistohuoneeseen

Kuvan 12 toimistotila oli mitoiltaan noin 7 x 8,8 metriä. Laskuri näki 2,5 m korkeudella tilan kokonaan lattian osalta, mutta tunnistusta se ei pystynyt kattaamaan koko tilalle näkökenttensä lyhyemmiltä sivuilta. Lyhyemmillä sivuilla seinä lähestyttäessä henkilöiden päitä ei enää näkynyt, vaan vain jalat, mikä ei enää riittänyt tunnistukseen. Kauempana laskurista olevat kohteet kuitenkin laskuri näki seinien vieressä kameran muodon vuoksi. Toimistotilan pitemmän 8,8 m sivun se kattoi kokonaan isomman 190 asteen näkyvyyden omaavilla sivuillaan (kuva 13).



Kuva 13. Toimiston läsnäolotesti 8 henkilöllä

Toimistotilan testeissä testattiin läsnäololaskentaa koko näkökentän alueelta, josta esimerkki kuvassa 13, missä testattiin laskurin tunnistusta isommalla joukolla henkilöiden ollessa samassa kasassa. Tilassa testattiin myös laskentaa yhdeltä 3x3 m alueelta suoraan laskurin alta sekä monelta eri alueelta, jotka oli määritetty tilan työpisteiden ja kokouspöydän alueille.

Toimistotestien jälkeen laskurin asennuskorkeuden vaikutusta läsnäololaskenta-alueiden kokoon testattiin, koska toimistossa laskuri oli asennettuna sen verran matalalle. Laskuria testasin laboratorion yhdessä hallitilassa korkeammassa asennuspaikassa noin 3,12 m korkeudessa. Tavoitteena oli tarkastella, kuinka paljon asennuskorkeus vaikuttaa näkökenttään ja laskenta-alueiden piirtoon sekä kokoon.

Läsnäololaskennan käyttämistä haluttiin testata myös pienemmässä tilassa, jonka laskuri pystyy koko näkökentällään kattamaan, joten sitä testattiin laboratorion leikkaussalin viereisessä pienikokoisessa potilashuoneessa. Potilashuoneeseen testejä varten tuotiin Haltonilta löytyvä sairaalasänky, jotta läsnäololaskennan toimivuutta sängyssä makaavan ihmisen tunnistamiseen voitiin tutkia.

Testejä varten laskuri oli asennettuna kahdessa eri kohdassa huonetta. Ensimmäiseksi laskurin asensin huoneessa lähemmäksi huoneen toista peränurkkaa ovelta päin katsottuna. Kun tarvittavat testit oli suoritettu, siirsin laskurin lähemmäksi huoneen oviaukkoa. Tarkoituksena laskurin siirrolla oli testata laskurin sijainnin vaikutusta laskurin laskentaan ja tunnistukseen.

8.2 Laskuri 2:n linjalaskennan lisätetit

Laskuri 2:lle tehtiin potilashuoneessa muutama lisätesti sisään-ulos-linjalaskentaan liittyen, jotta sen toiminnasta vastaavanlaisessa tilassa saatiin materiaalia, ja jotta laskurin toimintaa eri asennuspaikoilla sai vielä tutkittua. Asennuspaikat linjalaskennan testeissä olivat samat kuin läsnäololaskentates-teissä, ensin lähempänä huoneen toista peränurkkaa ja sitten lähempänä oviaukkoa (kuva 14).



Kuva 14. Linjalaskennan testausta potilashuoneessa

Kuva 14 on kuvankaappaus laskurin suoratoistonäkymästä linjalaskentatestin aikana. Kuvassa laskuri on jo siirretty huoneessa lähelle oviaukkoa, jossa tehdään toista linjalaskentaan liittyvää lisätestiä. Pääosin testeissä ovea käytettiin kulkemisen aikana, mutta testeissä myös kuljettiin muutamia toistoja ilman oven availua.

8.3 Laskuri 2:n kommunikointi automaatioon

Laskuri 2:n suorittaman henkilömäärän laskennan tuomista ilmanvaihdon automaatioon testattiin laskurin PoE-versiolla, sillä se todettiin helpommaksi ja kustannustehokkaammaksi tavaksi tuoda laskentatieto automaatioon verrattuna laskurin LoRaWAN-versioon.

Laskurin LoRaWAN-versiossa laskentatietoa pystyi lähettämään LoRaWANin tai siihen perustuvan device-to-device (D2D) kommunikoinnin kautta. Koska LoRaWAN-kommunikointia varten siihen olisi pitänyt hankkia sopiva gateway, eikä se ollut Haltonilla käytössä muissakaan laitteissa, se päätettiin jo melko alkuvaiheessa jättää harkinnasta pois. LoRaan perustuva D2D-kommunikointi

vaikutti aluksi kiinnostavalta ja mahdolliselta vaihtoehdolta, sillä sen avulla ajateltiin pystyttävän lähettää laskentatietoa saman valmistajan LoRaWAN-to-Modbus-muuntimelle. Muuntimen kautta laskentatieto olisi lähetetty Modbus-väylää pitkin automaatioon. Selvisi kuitenkin, ettei laskurilla pystynyt lähettämään D2D-kommunikoinnin avulla kuin yksinkertaisen läsnäolotiedon, jota voisi vain hyödyntää esimerkiksi valojen ohjauksessa.

Laskurin PoE-versiolla laskentatietoa pystyi tuoda eri tiedonsiirtoprotokollien avulla. Näitä olivat MQTT(S) ja HTTP sekä RTSP, NTP ja SSH. Tiedonsiirtoon päätettiin käyttää MQTT-protokollaa, sillä Haltonin käyttämällä laitteilla sen tiedonsiirron käsittely onnistui. Kommunikoinnin testausta varten laskurin PoE-versio asennettiin testitilaan ja yhdistettiin erääseen gateway-laitteeseen, ja kun laskurin laskentatiedon käsittelyyn tarvittava ohjelmointi oli suoritettu, päästiin laskennan kommunikointia testaamaan.

9 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

9.1 Testauksien yhteenveto ja vertailu

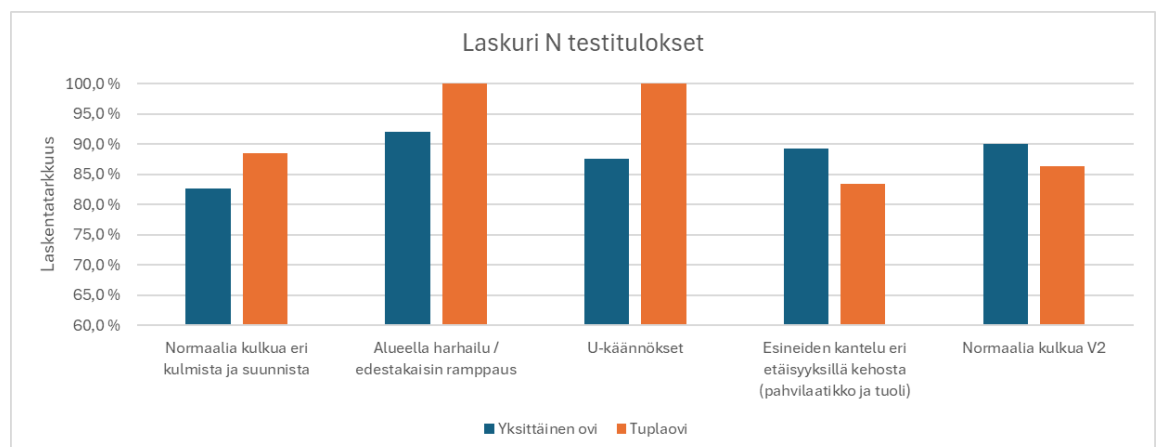
Henkilölaskuritesteistä tein jokaiselle laskurille omat Excel-taulukot sekä testausraportit. Näissä oli testeistä saadut tulokset sekä niiden lisäksi muita tärkeitä huomioita ja tietoja laskurien toimintaan liittyen. Testien perusteella tein myös yhteenvetotaulukon laskureiden käyttökohteista ja -mahdollisuuksista sekä niiden toimintaan liittyvistä ominaisuuksista ja toiminnoista (liite 1).

Liitteessä 1 yhteenvetotaulukko on jaettuna 2 osaan raporttia varten sen lukemisen helpottamiseksi. Ensimmäisessä osassa on esitetty laskurin laskentaan käyttämä tekniikka sekä se, minkälaisiin tilanteisiin laskurit sopivat käytettäväksi. Taulukon toisessa osassa on muita laskureihin liittyviä tärkeitä ominaisuuksia ja testituloksia. Taulukossa on kerrottu jo valmistajan valmiiksi ilmoittamia tietoja, kuten asennuspaikat ja -korkeudet sekä valaistuksen vaikutus laskentaan. Muut tiedot taas ovat työssä tehtyjen testien perusteella saamiani tuloksia ja havaintoja. Asennuspaikoissakin on osittain omia havaintojani niihin liittyen. Laskentatarkkuudet taulukossa esittävät alkuun määritettyjen perustestien laskentatuloksista yhteen laskettua laskentatarkkuuden keskiarvoa.

Tuloksia tarkastellessa täytyy pitää mielessä, että laskureiden laskennan tarkkuuteen ja tunnistukseen vaikuttavat niiden eri asetukset, asennuspaikka sekä henkilöiden vaihteleva kulkeminen, joten eri muuttujia on monia. Eri laskurit myös omaavat omia ominaisuuksiaan ja pystyvät eri asioihin, joten vertailua niiden laskentatuloksien välillä on hankala tehdä luotettavasti ja täysin todennukaisesti. Suurimmassa osassa testejä toistojen määrä oli noin 25, yhdellä toistolla tarkoittaen yhtä sisään ja yhtä ulos kulkua. Toistojen määrä kuitenkin riippuu hieman testistä sekä laskurista. Toistoja voi olla testeissä noin 10–50 toiston välillä, sillä tein osalle laskureista laskurikohtaisia testejä tai muita erikoistestejä. Toistoja oli alun perin tarkoitus olla laskureissa samoissa testeissä samat määrät, mutta esimerkiksi laskurien eroavaisuuksien takia se ei ollut aina järkevää tai mahdollista luotettavasti jokaisessa testissä. Vielä tarkempia ja luotettavampia tuloksia halutessa testeissä pitäisi olla toistoja reilusti enemmän, mutta työssä sitä ei nähty tarpeelliseksi. Yhteenlasketut testien toistomäärät olivat kuitenkin laskureilla yleensä monen sadan luokkaa lukuun ottamatta laskuri 3:sta.

9.1.1 Laskuri N:n referenssitestaus

Leikkaussalissa sijanneiden laskuri N:ien testauksissa testasin niiden toimintaa samanlaisilla perustesteillä, joita suoritin muillekin opinnäytetyössä käsitellyille henkilölaskureille. Oletin testeissä tapahtuvan todella vähän virheitä laskurin hinnan, aikaisempien tutustumisten ja pikku testien perusteella, mutta virheitä aiheutui testien aikana jonkin verran. Testeistä saadut laskentatarkkuudet per testi keräsin seuraavaan kaavioon (kuva 15).



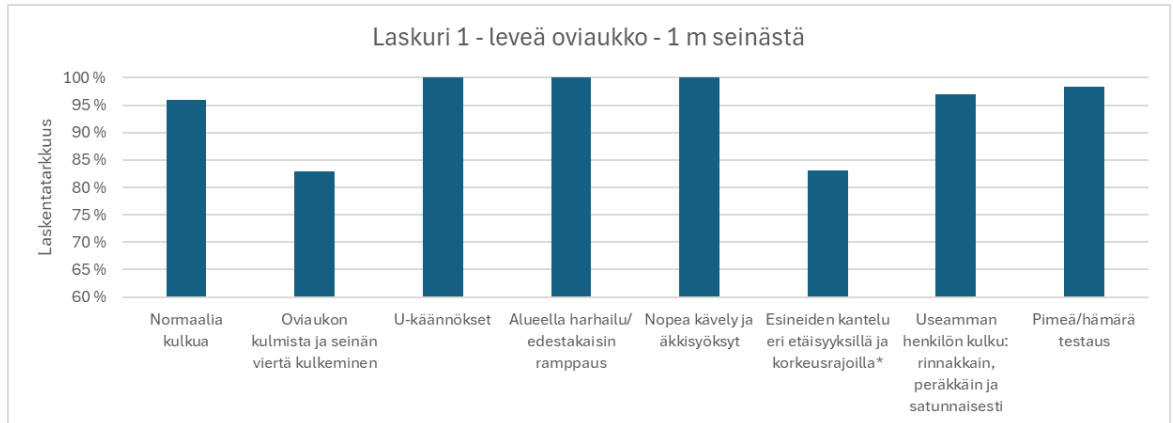
Kuva 15. Laskuri N:n testitulos kaavio

Kuvan 15 kaaviosta näkee, että saadut tulokset eivät olleet huonoja, mutta eivät niin hyviäkään. Ovet näissä testeissä aiheuttivat eniten ongelmia, varsinkin yksittäisen oven avaustapauksissa. Niissä oletan oven estäneen laskurin näkymää kulkijaan kuljettaessa lähellä ovea, joka johti yleensä satunnaisiin laskujen pois jäämisiin, suurimmaksi osin sisääntulotapauksissa. Tuplaovilla laskenta tuntui toimivan paremmin, mutta siinäkin oli oma ongelmakohtansa laskenta-alueen toisessa kulmassa, mikä jonkin takia aiheutti välillä virheitä. Monia virheitä testeissä aiheutti myös satunnaiset ylimääräiset laskut yleensä ulos mennessä, joille en löytänyt testeissä tapahtuvissa tilanteissa mitään järkevää syytä.

Laskuri N toimi testauksissa tyydyttävästi. Laskureilla sain kapean ja leveän oviaukon testien laskentatulosten keskiarvoksi tarkkuuden **88 %**. Virheitä testeissä tuli jonkin verran verrattuna esimerkiksi tuloksiin, mitä sain joidenkin muiden testattujen henkilölaskureiden toiminnasta. Tuloksiin vaikuttavista yksittäisistä virhetilanteista voisi varmaan päästä eroon ainakin osittain asetusten ja asennuspaikan säätämällä. Kuitenkin satunnaisien lisälaskujen aiheutumisesta on vaikea sanoa tai päätellä mitään. Tehtyjen testien perusteella ei kuitenkaan laskurin hinta mielestäni vastannut saatuja laskentatarkkuuksia. Testien aikana muuta häiriötä laskureiden toimintaan ei olisi pitänyt mistään tulla eikä tietyissä tilanteissa laskurin virhelaskuille ollut mitään järkeviä syitä. Kaiken kaikkiaan laskuri N:än laskennan toiminta oli suhteellisen tarkkaa, mutta ei niin hyvää kuin olin olettanut. Testit näyttivät, että tämäkin henkilölaskuri on selvästi yhtä altis virheille kuin muutkin laskurit.

9.1.2 Laskuri 1

Laskuri 1:llä oli henkilölaskennalle monenlaisia eri toimintoja. Testeissä kuitenkin keskityin normaaliin sisään-ulos-laskentaan, jossa se suoriutui hyvin normaalin kulkemisen laskennassa eri tilanteissa, niin yhdellä kuin useammalla henkilöllä. Suurimpia ongelmia laskurille aiheutti muut objektit, joita se tunnisti tarpeeksi kaukana kannettaessa usein ihmisen lisäksi, ja tämän vuoksi teki lisälaskuja. Testit jakautuivat 3 osaan asennuspaikan perusteella, 1 ja 0,5 m etäisyydellä leveämmästä oviaukosta sekä 0,5 m etäisyydellä kapeasta oviaukosta. Testien tuloksista kokosin niiden laskentatarkkuuksia alla olevaan kaavioon ja taulukoihin (kuva 16, taulukko 2 ja 3).



Kuva 16. Laskuri 1, leveän oviaukon laskentatarkkuus kaavio

Eniten virheitä tuli alueen kulmista kävelystä ja esineiden kantelusta, kuten kuvan 16 kaaviosta näkee. Objektien virhelaskentaa sai vähennettyä säätämällä laskennan korkeusrajoja sopivalle korkeudelle ja/tai kantamalla esineitä lähellä kehoa, jolloin laskuri laskee ihmisen ja objektin samaksi kohteeksi. Kulmissa kävelyn virheisiin taas vaikutti se, että laskuri oli asennettuna 1 m etäisyydelle oviaukosta, jolloin tunnistusalueen ulkoreuna oli suurin piirtein seinää/oviaukkoa vasten. Tällöin kulmasta/seinän viertä kulkiessa tunnistusalueelta, josta henkilö kulki, oli todella lyhyt pätkä, jolloin laskuri ei saattanut ehtiä tunnistamaan kulkijaa kunnolla ennen laskentalinjan ylitystä.

Taulukko 2.

| Leveä oviaukko - 0,5 m seinästä | |
|---|----------|
| Testaus | Tarkkuus |
| Sekalaista normaalia liikkumista, laatikon kantelua ja muuta heilumista | 98,4 % |
| Sekalaista normaalia liikkumista, laatikon kantelua ja muuta heilumista | 100 % |

Asennettuani laskurin 0,5 m päähän leveästä oviaukosta tein muutaman sekalaisen testin, jossa oli sekoitettu aiemmassa testissä tehdyt testit samaan testiin (kuva 16). Kuten taulukosta 2 näkee, ei testeissä tullut juuri virheitä. Testeissä huomasi, että lähempänä asennettaessa laskenta toimi paremmin, sillä laskuri sai otettua tunnistuksen aiemmin toisen tilan puolelta, ja laskentalinjatkin sai piirrettyä keskemälle tunnistusalueelta. Seuraavaksi päätin siirtää laskurin kapean oviaukon eteen ja asensin sen suoraan heti lähemmäs oviaukkoa 0,5 m etäisyydelle (taulukko 3).

Taulukko 3

| Kapea oviaukko - 0,5 m seinästä | |
|--|----------|
| Testaus (kaikki oven availulla) | Tarkkuus |
| Normaalia kulkua V1 | N/A |
| Normaalia kulkua V2 (eri korkeusrajaukset laskennalle) | 68,8 % |
| Normaalia kulkua V3.1 (eri korkeusrajoilla ja laskentalinjoilla) | 100 % |
| Normaalia kulkua V3.2 | 100 % |

Taulukossa 3 voi nähdä, kuinka oven käyttämisellä laskennan aikana oli vaikutusta. Ensimmäisessä testissä virheitä tuli niin paljon, ettei laskennassa edes ollut oven availun kanssa mitään järkeä eivätkä tulokset olleet mitenkään luotettavia. Laskennan korkeusrajojen muuttamisella testiin V2 sain jo paljon parempaa tulosta, vaikka laskentatarkkuus olikin vielä melko huono, noin 69 %. Kuitenkin laskentalinjan paikkaa muuttamalla ja vielä korkeusrajojen muuttamalla sain laskennan toimimaan niin, ettei virheitä enää kulkemisesta oven availun kanssa tullut, ainakaan näiden testien aikana.

Laskurilla suositeltu 1 m asennusetäisyys oviaukosta/seinästä ei vaikuttanut olevan tarpeellinen liukuovissa, ovettomissa oviaukoissa tai laskurista pois päin avautuvissa ovissa. Laskenta ennemminkin toimi leveässä oviaukossa paremmin laskurin ollessa 0,5 m päässä oviaukosta, sillä tunnistusalue näki hieman oviaukosta sisään ja tunnistuksella oli enemmän aikaa reagoida kulki- joihin. Ovissa, jotka avautuivat laskurin alle, oli etäisyys kuitenkin hyvä pitää, sillä oven availu aiheutti häiriöitä tunnistukseen, vaikka suuremmat laskenta- virheet asetuksien säädöllä pois saikin.

Muita huomioita, mitä laskurin testailusta tuli esille:

- laskentavirheitä aiheuttaa oven avaus tapauksissa monesti se, että laskuri ei ensin tajua laskea henkilöä erilleen ovesta tai ovi saattaa estää laskurin näköyhteyttä ihmiseen
- tunnistaa hyvin monen ihmisen yhtäaikaista kulkua, ei tehnyt tässä juuri virheitä

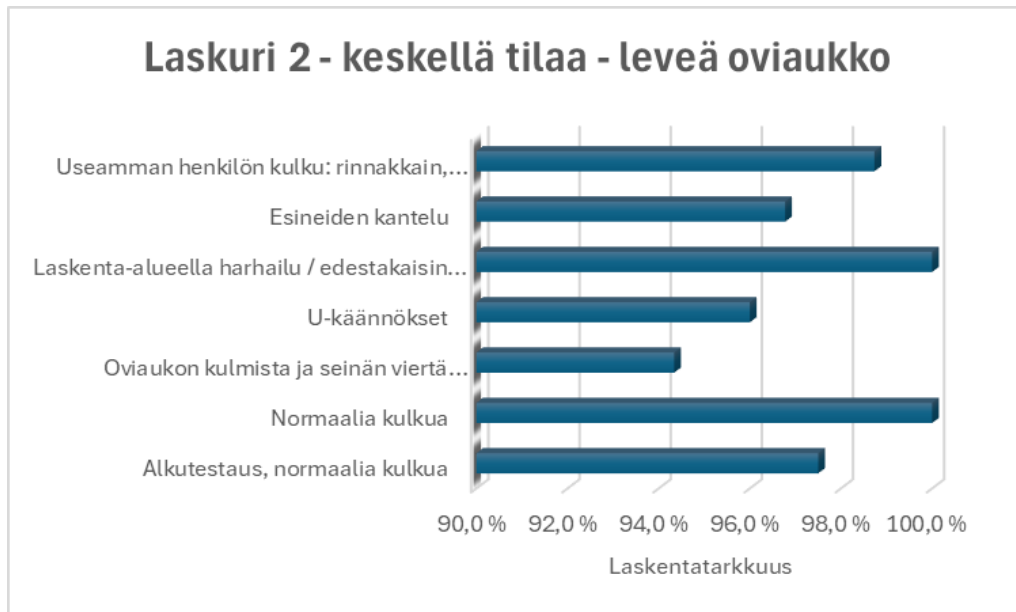
- tarpeeksi tunnistusmatkaa täytyy jättää laskurin tunnistusalueen reunan ja laskentalinjojen väliin, jotta laskuri ehtii tunnistaa ihmisen ennen linjaa
- laskurista löytyy monia eri ominaisuuksia ja sillä pystyy itsellään talentamaan laskentaa talteen laskennan validointia varten.

Laskuri 1 oli kaiken kaikkiaan hyvin toimiva henkilölaskuri, mutta ei kuitenkaan ilman omia ongelmiaan. Laskurille tehdyistä testeistä laskentatuloksien keskiarvoksi sain tarkkuudeksi kapealle oviaukolle **92,6 %** ja leveälle oviaukolle **96,2 %**. Laskurilla hinta meni jonkin verran yli halutun hintahaarukan, mutta sen hinta leikkaussali käytössä mahdollisesti vielä menee. Testituloksissa huomioon täytyy ottaa, että laskurissa oli jo melko vanha firmware käytössä, joten sen mukana tulleita päivityksiä ei ollut saatavilla.

9.1.3 Laskuri 2

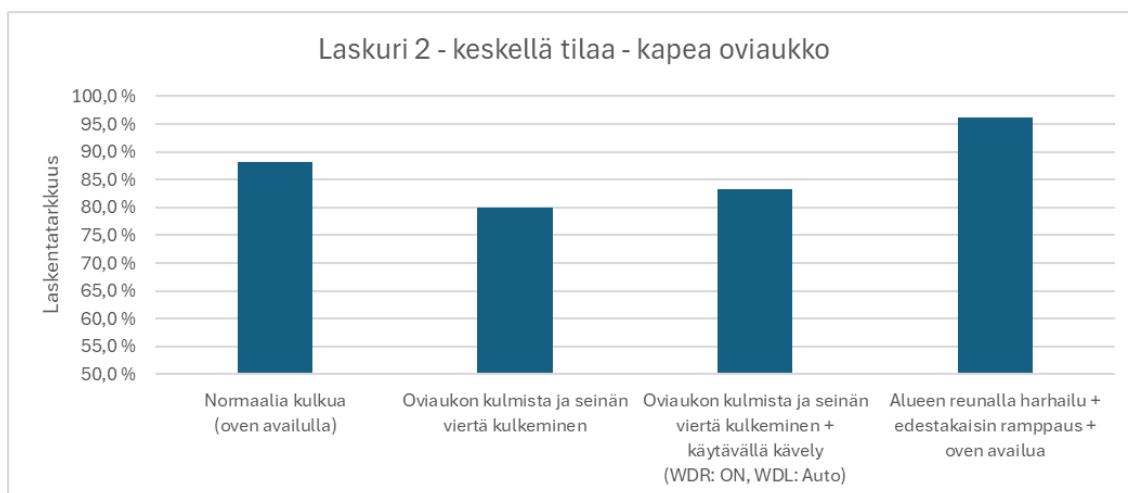
Laskuri 2 suoriutui testeistä hyvin. AI-algoritmiin perustuvan laskennan ansiosta se ei juurikaan tehnyt virheitä, mutta sen tunnistustapa aiheutti tietyissä tilanteissa ongelmia laskentaan. Laskuri pystyi laskemaan yhtä sekä useampaa henkilöä kerrallaan, sekä se pystyi kattamaan todella suuriakin oviaukkoja ja joissain tapauksissa useampiakin ovia. Laskurilla pystyy myös laskemaan läsnäoloa omasta näkökentästään tai tietyistä määritetyistä alueista, joten oviaukossa toimivalle henkilölaskennalle ei edes saattaisi olla tarvetta jossain tapauksissa. Laskenta-alueen koko riippuu asennuskorkeudesta, niin kuin muussakin henkilölaskurissa.

Laskurin ollessa asennettuna keskelle testitilaa sain testien laskentatarkkuuksiksi leveälle oviaukolle kuvassa 17 ja kapealle oviaukolle kuvassa 18 esitettyjä tuloksia.



Kuva 17. Laskuri 2, leveän oviaukon laskentatarkkuus kaavio

Niin kuin kuvan 17 tuloksista näkee, ei virheitä näissä testeissä tällä asennuspaikalla juuri tullut kulkemisessa. Kaikkien testien laskentatarkkuudet olivat 94–100 % sisällä, joiden perusteella laskurin AI-tunnistus toimii hyvin, kunhan laskurilla on hyvä näkyvyys laskentakohtaan.



Kuva 18. Laskuri 2, kapean oviaukon laskentatarkkuus kaavio

Kuvan 18 kaaviossa esitetyissä kapean oviaukon laskentatesteissä tapahtui huomattavasti enemmän virheitä leveän oviaukon todella vähäiseen virhemäärään verrattuna. Tähän vaikutti laskurin tunnistuksen kohdelaatikon venyminen ja muodon muuttaminen, mitä tapahtui kohteen kadotessa tilan ulkopuolelle. Ennen tunnistuslaatikon katoamista sen venyi pikaisesti sen verran

pitkäksi, että se ylitti laskentalinjan ja näin aiheutti virhelaskun. Tätä aiheutti kohteen kääntyminen nurkan taakse oviaukosta mennessään tai jonkun kävellessä oviaukon ohi tilan toisella puolella. Ongelmaan vaikutti eniten laskurin asennuspaikka oveen nähden, mutta siihen pystyi vaikuttamaan hieman muillakin keinoilla, kuten WDR-asetuksen päälle laittamisella ja estämällä näkyvyyden tilan ulkopuolelle osittain privacy mask -toiminnolla. Myöhemmissä testeissä kyseistä ongelmaa en enää kohdannut oikein missään tilanteissa, joten se vaikuttaa hyvin paikkakohtaiselta ongelmalta. Samalla asennuspaikalla tein myös yksittäisen molemmista oviaukoista kulkemisen testauksen, jossa toistoja oli 64 eli yhteensä 128 laskua. Tässä testissä laskentatarkkuudeksi sain 96,9 %.

Kapean oviaukon yläpuolelle asennettuna oviaukossa tehdyistä testeistä ei tullut lainkaan virheitä, vaan laskutarkkuudeksi tuli **jokaisella testillä 100 %**. Testeinä oli normaali kulkeminen oven availulla ja ilman, oviaukon kulmista ja seinän viertä kulkeminen sekä laskenta-alueen reunalla harhailu ja edestakaisin ramppaus.

Linjalaskentaa käytettäessä onkin suositeltavaa asentaa laskuri oviaukon eteen tai muutoin oviaukon läheisyyteen, sillä tällöin kameras kuvan kuperuus ei vaikuta niinkään laskentalinjan sijoittamiseen. Tällöin laskuri ei myöskään näe juurikaan tilan ulkopuolelle oviaukosta, jolloin aikaisempi ongelma tunnistuslaatikon venymisestä/muodon muuttelusta katoaa usein kokonaan.

Suoritin laskurille myös muutamia muita testejä, joista ajattelin olevan hyötyä sen toiminnan tutkimisen kannalta. Näitä olivat pimeä ja hämärä testi, eri asentojen tunnistuksen testaus sekä läsnäololaskennan pikatestaus. Näissä selvisi, että laskurin tunnistus toimii tosiaan vain hyvin valaistussa tilassa ja laskuri osaa tunnistaa ihmisen eri asennoissa, kuten kyykyssä ja makuullaan, hieman riippuen siitä, miten ihmistä näkyy ja mistä kulmasta laskuri ihmisen näkee. Läsnäololaskenta toimi laskurissa myös hyvin, ja se sai koko tilan alueella pidettyä läsnä olevan henkilömäärän oikeana, kunhan se vain näki kohteet.

Testien perusteella tehtyjä havaintoja:

- laskenta toimii hyvin koko alueella, mutta joissain tapauksissa tunnistuksessa on eroja riippuen laskurin ja kohteen sijainnista toisiinsa nähden
- ihmisten ja muiden objektien erottaminen toisistaan toimi hyvin, ei tehnyt virhelaskuja tästä syystä kertaakaan
- laskuri ottaa tunnistuksen ihmisen päästä, joten esim. alavartalon näkyminen ei tunnistukseen riitä
- ei toimi hämärässä eikä pimeässä, tarvitsee melko hyvin valaistun tilan (suositeltu minimi 20–50 Lux)
- ongelmia aiheutti:
 - tunnistuslaatikon venyminen ja koon muuttuminen laskenta-alueen reunoilla ja kulmapaikoissa, missä kohde ei näkynyt kunnolla tai liikkui kulman takaa tai sen taakse
 - ovi esti näköyhteyttä ihmiseen, mikä aiheutti välillä laskujen pois jäämistä
- ongelmat korjaantuivat eri asennuspaikalla (oviaukon edessä), muita mahdollisia ratkaisuja ongelmiin ovat laskentalinjojen muuttaminen ja niiden vienti kauemmaksi oviaukosta
- satunnaisissa tilanteissa tunnistus voi olla hakusessa ja tunnistuslaatikko saattaa pomppia/muuttaa kokoaan, mutta nämä eivät yleensä aiheuttaneet laskuvirheitä.

Kaiken kaikkiaan laskuri 2 oli toimiva laite, ja mielestäni sen laskentatarkkuutta ja hintaa verrattaessa kustannustehokas laskuri. Laskurilla tehtyjen testien laskentatuloksien laskentatarkkuuden keskiarvoksi tuli keskelle tilaa asennettuna **93,4 %** ja kapean oviaukon yläpuolelle asennettuna **100 %**. Tekoälyn takia se osasi erotella ihmisen muista objekteista ja tunnistaa ihmisen eri asennoissa, kuten esimerkiksi makuullaan sängyssä, mistä voisi olla hyötyä ajatellen esimerkiksi sairaalaolosuhteita. Laitteessa oli perushenkilölaskennan lisäksi läsnäololaskenta sekä ihmisvirtojen laskenta eri suuntiin, jonka takia sillä pystyisi helpommin soveltamaan mahdollisia muita toteutuksia.

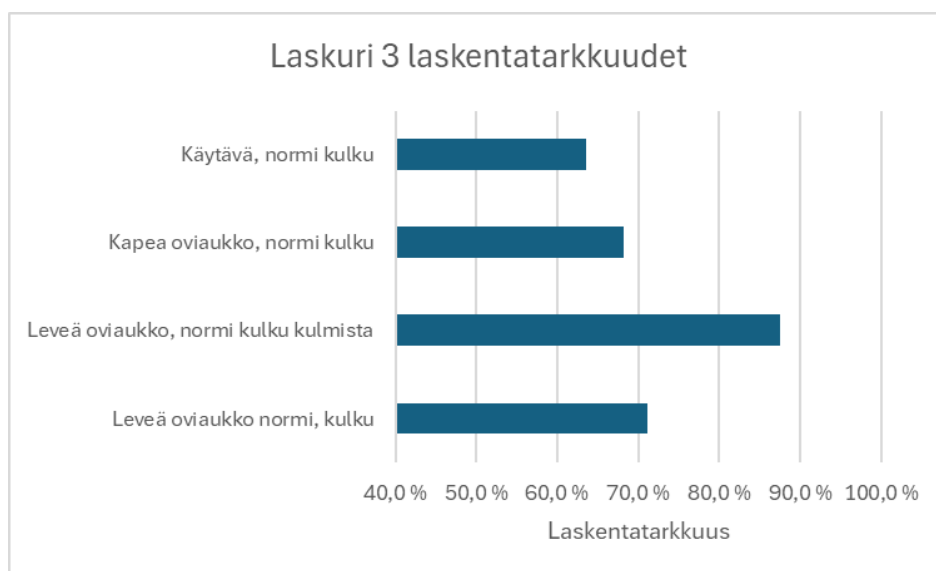
9.1.4 Laskuri 3

Laskuri 3 vaikutti alkujaan kiinnostavalta vaihtoehdolta sen alhaisen hinnan ja leveän laskenta-alueen vuoksi. Sen toiminta testien aikana oli kuitenkin laskennan ja laskentatarkkuuden puolesta todella huonoa, sekä laskurin patterikäyttöisyys ei ehkä ollut kuitenkaan toivottavin vaihtoehto.

Heti ensimmäisien testien jälkeen huomasin, kuinka laskuri laski kulkua todella epätarkasti, yleensä ottaen reilusti enemmän kulkuja, kuin mitä pitäisi. Tämän vuoksi suoritin laskurille testeinä pääosin pelkkää normaalia laskurin

alikulku lukuun ottamatta yhtä kulmistakävelytestiä. Laskurin huonoon laskentatarkkuuteen yritin löytää syitä ja tutkin vielä tarkemmin laskurin ohjeita ja asetuksia, mutta en löytänyt siihen mitään suoraa syytä.

Laskuria testasin kolmessa eri paikassa yrittäessäni saada parempia laskentatuloksia laskurilta. Asennuspaikasta huolimatta eivät tulokset parantuneet millään tavalla, vaan ne heittivät jatkuvasti todella huomattavasti oikeista kulkukerroista. Testejä tein leveän oviaukon ja käytävän tapauksessa useampia, joiden tuloksista sain niille laskettua laskentatarkkuudet. Saadut laskentatarkkuudet kokosin seuraavaan kaavioon (kuva 19).



Kuva 19. Laskuri 3:n testien laskentatarkkuudet

Niin kuin kuvan 19 kaaviosta näkee, laskentatarkkuus testeissä oli alhainen. Laskuri 3:n laskennan toiminta osoittautui testien perusteella todella huonoksi tai suoraan sanottuna toimimattomaksi, sillä laskentatulokset poikkesivat aivan liian paljon todellisista kulkumääristä. Poikkeama oikeista sisään ja ulos laskuista oli yleensä ainakin +10 laskua molemmissa testistä riippuen. Parhaan tuloksen sai kulmista kulusta testitilan leveässä oviaukossa, jonka syytä en osaa sanoa.

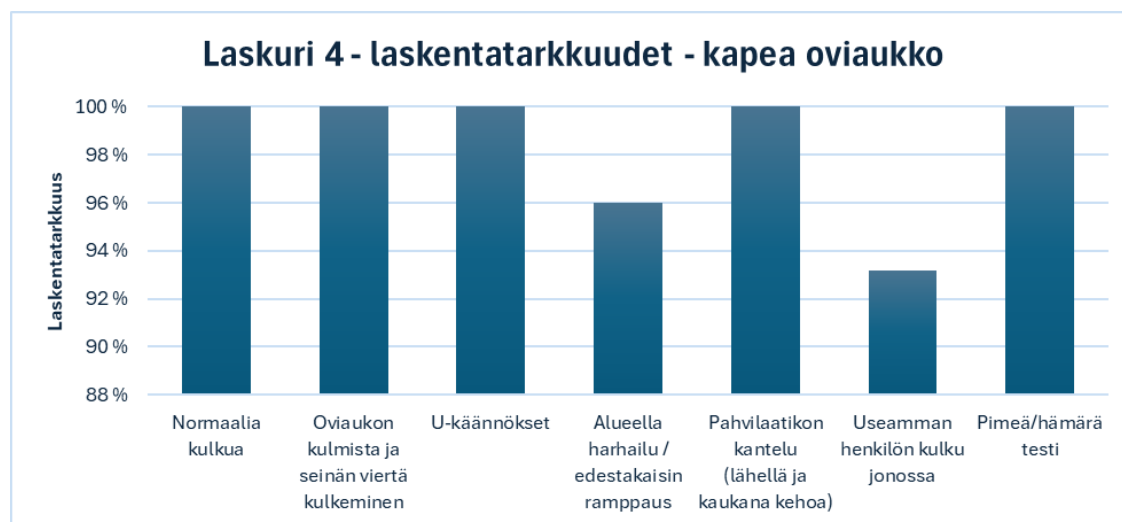
Laskurille tehdyistä testeistä sain laskentatuloksien tarkkuuden keskiarvoksi **70,6 %**. Koska laskurin laskenta ei toiminut kunnolla normaalin kulkemisen

laskennassa, voidaan olettaa, että muissakin testeissä laskentatulokset olisivat heittäneet todella paljon. Tämän vuoksi ei ollut järkevää jatkaa testejä eikä laskuria kannattanut edes harkita jatkotesteihin.

9.1.5 Laskuri 4

Laskuri 4 oli mielestäni todella hyvin toimiva henkilölaskuri normaalien kulkutilanteiden laskennassa, kunhan laskuri on asennettuna tarpeeksi lähellä oviaukkoa. Hinta oli laskurilla kohtuullinen ja halutun hintahaarukan sisällä. Suurimpana miinuksena mielestäni on laskurin pieni tunnistusalue, jonka takia se ei sovellu kuin normaalikokoisiin oviaukkoihin sekä muihin kapeisiin käytäviin ja kulkuteihin. Laskurista myös puuttuu sen laskennan korkorajojen säätö, mikä muista ToF-henkilölaskureista on löytynyt.

Asennuspaikka osoittautui testien perusteella sopivaksi, sillä laitteen tunnistusalue kattoi oviaukon reunoja myöten, joten reunassa/kulmassakin kulkiessa se sai aina laskettua kulkemisen. Sain oviaukossa tehdyistä testeistä tuloksiksi alla olevassa kaaviossa esitettyjä laskentatarkkuuksia (kuva 20).



Kuva 20. Laskuri 4, testien laskentatarkkuudet

Testit menivät laskurilla hyvin, suurin osa kuvan 20 kaaviossa esitettyistä testeistä saaden 100 % laskentatarkkuuden. Useamman henkilön jonossa kulkemisessa tuli muutamia virheitä, jotka ovat voineet johtua esimerkiksi liian lähellä ja nopeasti toisen perässä kulusta. Rinnakkain kulun laskuun laskuri ei pystynyt, vaan laski rinnakkain kulkevat yhtenä kulkuna, vaikka henkilöt olivat suoratoiston syvyyskuvassa selvästi erillään. Tästä ei kuitenkaan ole hirveästi

haittaa, sillä laskurin kapean tunnistusalueen vuoksi ei siitä oikein mahtuisikaan kulkemaan rinnakkain samanaikaisesti läpi.

Huomioita laskurista:

- laskurin tarkkuus oli hyvä ja tunnistus toimi todella hyvin
- kattaa sopivasta normaalin oviaukon, kun laskuri on asennettuna tarpeeksi lähellä oviaukkoa (testeissä oli 30 cm etäisyydellä seinästä/oviaukosta)
- toimii valaistuksesta riippumatta, mutta kirkas auringon valo voi vaikuttaa toimintaan
- ei pidä asentaa oven avauspuolelle/oven päälle, sillä tulee ottamaan virheitä ovesta
- ei mahdollisuutta rajata laskentaa johonkin tiettyyn korkeusväliin.

Vastaan tulleita ongelmia laskurin käytössä oli yhteysongelmat useampaan otteeseen laskurin käyttöliittymään kanssa. Välillä käyttöliittymä myös lakkasi toimimasta kunnolla ja meni täysin jumiin. Tämä korjaantui laskurin uudelleenkäynnistyksellä eikä parin ensimmäisen kerran jälkeen ongelmaa enää ilmennyt.

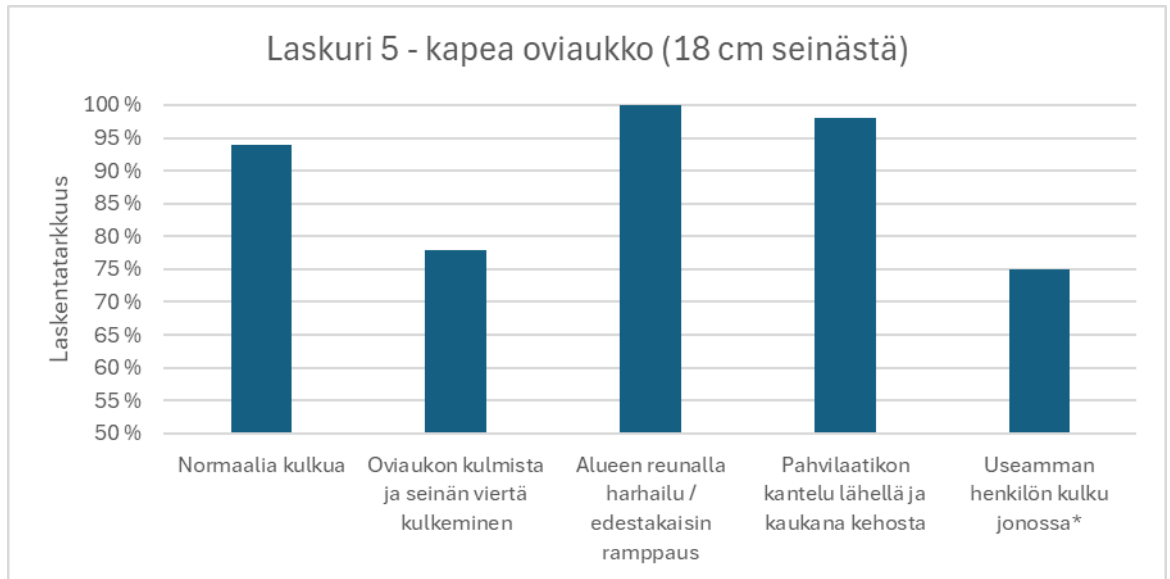
Laskuri 4 oli kaiken kaikkiaan hyvältä vaikuttava henkilölaskuri, mutta sen hinta oli sen ominaisuuksiin nähden korkeahko. Laskurilla tehtyjen testien laskentatulosten tarkkuudeksi sain **98,2 %**. Jos laskurin hinta olisi alhaisempi, se voisi olla hyvä vaihtoehto normaalikokoisten ovien tai muiden kapeiden kulku-ten laskennassa.

9.1.6 Laskuri 5

Laskuri 5:n tarkkuus testeissä oli hyvä sen hintaan nähden, mutta laskennalta hyvää tarkkuutta toivottaessa ei se mielestäni ollut niin luotettava. Sen pienen tunnistusalueen vuoksi siltä pystyi jäädä helposti kulkuja laskematta henkilön kulkiessa enemmän alueen reunasta, mikä laski sen laskennan luotettavuutta.

Normaalin kulkemisen laskenta toimi laskurilla hyvin pysty- sekä vaaka-asennossa. Useamman henkilön samanaikaista kulkua laskurin ei pitänyt pystyä

tekemään, ja tämä oli totta ainakin rinnakkain kulkiessa. Jonossa kulkemisen laskenta siltä onnistui kuitenkin testattaessa jotenkin. Jonossa laskun onnistumiseen voi vaikuttaa se, että laskurin pienen tunnistusalueen takia edellä oleva kulkija ehti alueelta pois ennen toista kulkijaa. Tehdyistä testeistä kokosin laskentatarkkuudet seuraavaan kaavioon (kuva 21).



Kuva 21. Laskuri 5, testien laskentatarkkuudet

Niin kuin kuvan 21 kaaviosta näkee, laskuri toimi 18 cm etäisyydellä seinästä/oviaukosta suhteellisen hyvin. Huonoiten se suoriutui kulmista kävelystä ja useamman henkilön jonossa kulusta. Oviaukon kulmista kävelyn virheisiin näytti vaikuttavan laskurin pieni tunnistusalue, joka aiheutti kulmista ja kulmassa kävelyssä sen, että kulkija meni liikaa laskenta-alueen sivusta tai ei kokonaan osunut edes varsinaisen laskenta-alueen keskikohtaan, jolloin laskuja ei tullut. Useamman henkilön jonossa kulun virheet taas tulivat luultavasti siitä, että laskuri ei pysty laskemaan useamman kulkijan kulkua samaan aikaan tunnistusalueellaan ja virheet aiheuttavissa tilanteissa oviaukosta kuljettiin sen verran tiheämmin, ettei laskenta onnistunut.

Laskuri oli myös asennettuna ensimmäiseksi 46 cm päähän oviaukosta, joka osoittautui olevan liian kaukana pienen tunnistusalueen takia. Tämän lisäksi asensin laskurin myös seinään oviaukon viereen vaaka-asentoon. Näillä asennuspaikoilla tein molemmissa kaksi normaalin kulkemisen testiä. Pystyasennuksessa korkeusrajoja oli testien välillä muuteltu hieman. Pystyasennuksella 46 cm päässä oviaukosta sain molempien testien laskentatarkkuuksiksi **86 %**.

Vaaka-asennuksella tehdyissä testeissä laskentatarkkuuksiksi sain molempiin **100 %**. Vaakatasoon asennettuna laskuri kuitenkin toimii enemmänkin kappaletavaraalaskimen tavoin eikä korkeusrajasäädölläkään siinä tee oikein mitään.

Yleisiä huomioita laskurin toiminnasta:

- suositeltu asennuskorkeus 2–2,5 m, mutta toimi 2,7 m korkeudessa silti hyvin
- asennus mieluummin oven avauksen vastakkaiselle puolelle, sillä ovi tulee aiheuttamaan ongelmia, ja virhelaskuja ovesta voi olla vaikea saada rajattua pois
- ei pysty laskemaan kuin yhden henkilön kerrallaan tunnistusalueellaan
- jonossa kulkemisen laskenta kuitenkin toimii jotenkin, kunhan kuljijoiden välillä on hieman väliä
- Laskurissa pystyi säätämään laskennan korkeusrajoja, mutta säädetyt korkeusrajat eivät tuntuneet toimivan aivan säädettyjen korkeuksien mukaan, eli säätö ei toiminut aivan kuten pitää.

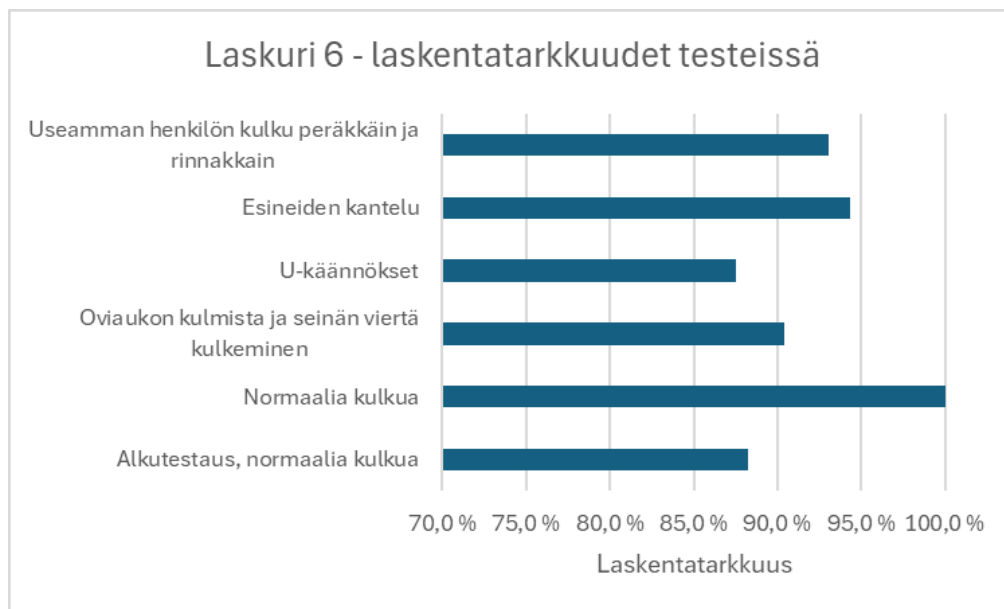
Laskuri voisi toimia jossain tapauksissa sellaisten tilojen säädössä, missä laskennan tarkkuus ei tarvitsisi olla niin suuri, sillä laskurin kustannukset eivät ole kovin suuret. Sille tehdyistä testeistä sain tarkkuudeksi pystyasennuksen laskentatulosten keskiarvoksi **89,4 %**. Suurin ongelma laskurin kanssa tulee kuitenkin olemaan sen tunnistusalueen pienen koon kanssa.

9.1.7 Laskuri 6

Laskuri 6 oli toiminnaltaan todella samanlainen muihin ToF-laskureihin verrattuna ja laskentatulokset/tarkkuudet olivat melko samaa luokkaa. Hyvinä puolina laskurissa oli esimerkiksi laskuri 4 ja 5 verrattuna reilusti leveämpi tunnistusalue, varsinkin suositellussa maksimi asennuskorkeudessa, ja laskurin asennus oli mahdollista tehdä oviaukon yläpuolelle kattoon tai seinään. Laskuri otti testeissä hieman häiriötä seinään asennettuna ovenkarmeista/seinästä, mutta en kuitenkaan huomannut, että se olisi aiheuttanut laskuvirheitä kuin ehkä ensimmäisissä testeissä. Ovenkarmit ja seinän rajasin laskenta-alueelta pois, sekä säädin laskurin näkökulman sopivaan kulmaan, jonka jälkeen häiriöistä ei ollut haittaa eikä laskuvirheitä sen vuoksi näyttänyt tulevan yhtään.

Suurimmassa osassa testejä ei ollut mitään suurempia ongelmia, mutta testitilan sisällä käveltyäessä laskentalinjan mukaisesti sen päällä tapahtui paljon

laskuvirheitä. Seuraavassa kaaviossa (kuva 22) on esitetty testeissä saatuja laskentatarkkuuksia. Jätin kaaviosta pois edellä mainitun laskenta-alueella harhailun / edestakaisin ramppauksen, sillä laskuri otti siitä jatkuvasti virheitä eikä kyseisestä tilanteesta täten saanut kunnon tuloksia.



Kuva 22. Laskuri 6:n testikohtaiset laskentatarkkuudet

Laskentatarkkuudet testeissä olivat hyviä ja virheitä tuli melko vähän. Kuten kuvan 22 kaaviosta voi nähdä, laskenta toimi kaikissa testeissä suhteellisen hyvin ja tapahtuneet virheet testeissä vaikuttivat suurimmaksi osin enemmän satunnaisilta virheiltä kuin tietystä tekijästä johtuvilta virheiltä.

Kuvan 22 kaaviossa esitetyissä testeissä en käyttänyt ovea, sillä laskuri oli asennettu oven avauspuolelle ja oven availu aiheutti satunnaisesti virheitä laskentaan. Välillä virheitä ovesta ei tullut juurikaan ja välillä jatkuvasti. Laskennan testeissä olin rajannut 1,4–2,05 m välille, joten laskennan yläraja oli juuri alle oven korkeuden. Tästä huolimatta laskuri otti ovesta virheitä. Testasin laskea ylärajan 1,95 metriin, mutta virheitä tuli vieläkin. Tämän vuoksi laskuri pitäisi aina asentaa oven avauksen vastakkaiselle puolelle, sillä laskentarajan säädöstä huolimatta laskuri ottaa virheitä mahdollisesti oven sivusta tai muista kohdista. Mahdollisuutena on myös asentaa laskuri kattoon niin, että laskuri osoittaa pystysuoraan katosta alaspäin, jolloin laskentarajojen käyttö voisi toimia paremmin oven pois rajauksessa.

Laskuri 6 oli testien perusteella perushyvä laskuri, ja sillä voisi jonkinlaisissa tiloissa laskentaa suorittaa. Kuitenkaan puhdastilojen käytössä sen laskenta saisi olla luotettavampaa. Hinnan puolesta se jää laskureista kolmanneksi halvimmaksi, joten hinta ei ole ominaisuuksiin nähden ihan kohtuuton. Tarkkuus laskurilla oli suhteellisen hyvä, ja tehtyjen testien laskentatuloksien keskiarvoiseksi tarkkuudeksi sain sille **93,2 %**. Sillä pystyy maksimissaan kattamaan 1,8 m leveän oviaukon, mutta sekään leveys ei yleensä riitä kattamaan monia liuku- tai tuplaovia. Laskureita pystyy kytkemään sarjaan useamman, jolloin leveämpienkin oviaukkojen ja käytävien laskenta voi onnistua, mutta useamman laskurin hankkimisessa kustannukset kasvavat melkoisesti.

9.2 Laskuri 2:n jatkotestit

9.2.1 Läsnaololaskenta

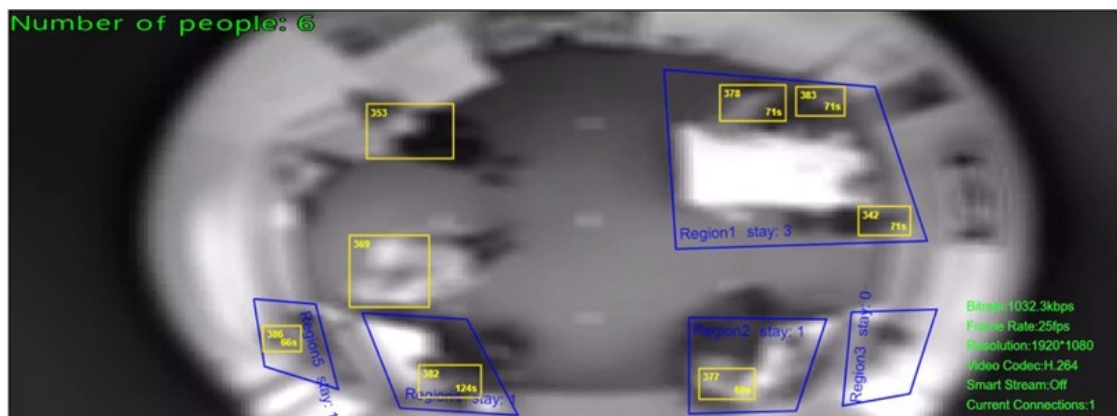
Laskuri 2:sen läsnäololaskenta toimi tunnistukseltaan hyvin, mutta siinäkin oli omat ongelmansa tietyissä tilanteissa. Varsinaisia laskentatuloksia läsnäololaskennasta ei suoraan saanut, mutta läsnäololaskennalla suoritetuista testeistä tallensin nauhoitukset, joiden perusteella laskennan toimivuudesta pystyi tekemään havaintoja.

Toimistotilassa tehdyt varsinaiset testit tehtiin 7–8 henkilön voimin. Laskuri oli asennettu noin 2,5 m korkeuteen, joten se oli melko alhaalla, mutta sen näkökenttä silti huoneen pituussuunnassa kattoi sen kokonaan. Leveydeltäänkin näkökenttä riitti kuvasta nähden kokonaan, muttei se todellisuudessa nähnyt seinien luona enää kuin ihmisten jalat, mikä ei enää riittänyt tunnistukseen. Toimistotila oli noin 8,8 m pituudeltaan ja noin 7 m leveydeltään. Testit tehtiin käyttäen laskurin vakio AI-algoritmia, eli algoritmia 2. Algoritmi 1 testasin vain potilashuoneessa, kun tunnistuksen kanssa oli ongelmia.

Ensimmäiseksi testattiin laskennan toimintaa laskurin koko näkökentässä. Laskuri tunnisti testin aikana kaikki kohteet näkökentässään, kunhan henkilöiden päät näkyivät ja niihin oli laskurilla selkeä näköyhteys. Joissakin asennoissa ja tilanteissa tunnistus saattoi välillä kadota, mutta yleensä tähän vaikutti, että jokin este esti osittain näkyvyyttä kohteeseen. Myös vaatetuksen, näkökulman ja jonkin esteen, kuten istuttaessa tuolin, yhteisvaikutus voi tehdä

sen, että laskuri kadottaa kohteesta tunnistuksen. Tässä testissä tunnistus kuitenkin toimi hyvin eikä ongelmia testin aikana oikeastaan ollut.

Laskurilla jonkun tietyn alueen läsnäolonlasku testissä 3x3 metrin alueella läsnäolon laskenta toimi samaa mallia kuin aikaisemmassakin testissä. Tässä huomiona oli enemmän alueen piirtämiseen ja käyttöön liittyvät seikat. Tunnistus alueella toimi hyvin, mutta koska kameran kuperuus ”vääristää” kuvaa, joutuu alueita tehdessä ottaa huomioon pari eri tekijää. Näihin tekijöihin kuuluu laskurin asennuskorkeus, seisovatko vai istuvatko ihmiset yleensä alueella, sekä laskurin ja alueen sijainti toisiinsa nähden, sillä esimerkiksi tässä testissä laskurin alla olevalle 3x3 m alueelle joutui piirtämään kuvaan nähden todella suuren laskenta-alueen. Tähän vaikutti se, että laskuri tunnistaa ihmisen päästä, joten pään korkeusasema vaikuttaa henkilön sijaintiin kuvassa ja täten laskenta-alueen piirroksessa ei voi ajatella ihmisten sijaintia vain lattian perusteella. Tähän testiin verrattuna viimeinen toimiston testaus oli muutoin sama, mutta siinä testattiin läsnäololaskentaa monella erillisellä alueella, missä laskenta-alueet pystyi jo piirtämään 3x3 metrin alueeseen verrattuna järkevän kokoisiksi (kuva 23).



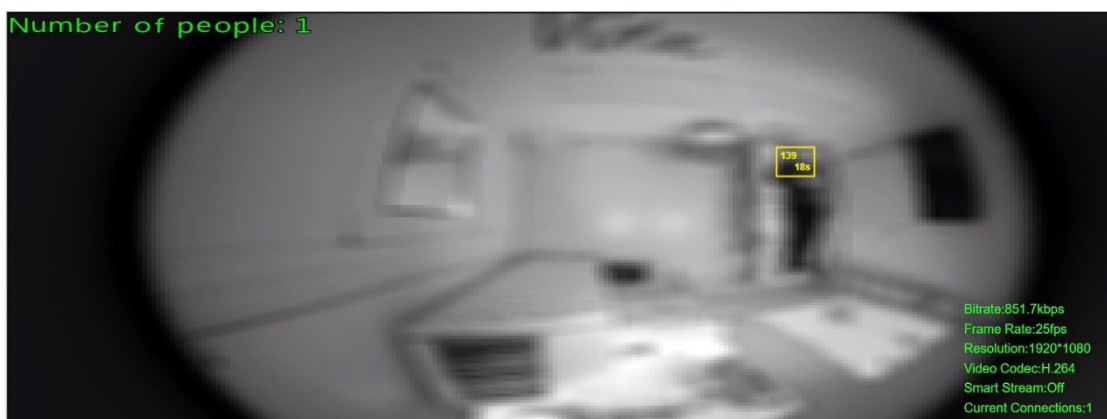
Kuva 23. Useamman alueen läsnäololaskentatesti

Kuten kuvasta 23 näkee, testissä alueita oli yhteensä 5, jokaiselle ikkunoiden luona olevalle toimistopöydälle sekä pitkälle kokouspöydälle. Laskuri tässä tilanteessa laskee läsnäolomäärän vain laskenta-alueiden sisältä, ja alueiden ulkopuoliset henkilöt jäävät laskematta, kuten kuvastakin voi nähdä. Laskenta/tunnistus tässäkin tapauksessa toimi pääosin hyvin, mutta esimerkiksi korkean selkänojan omaavat toimistotuolit saattoivat estää näkyvyyttä kohteeseen tai muuten häiritä tunnistusta sen verran, että laskuri kadotti kohteen.

Tähän vaikutti henkilön istumiskulma laskuriin nähden, missä kohtaa henkilö istuu verrattuna laskuriin ja miten paljon tuoli peittää ihmisestä. Ihmisen vaateuksella voi myös olla vaikutusta tunnistukseen, varsinkin jos pään alueella pitää jotain ihmisen muotoa huomattavasti muuttavaa.

Potilashuoneen läsnäololaskenta testeissä oli tarkoitus testata varsinkin laskurin kykyä tunnistaa ihminen sairaalasängyssä ja muutenkin makuuasennossa. Tunnistusta haluttiin myös testata vielä sellaisessa tilassa, jonka laskurin näkyvä pystyy kokonaan kattamaan. Testejä tein potilashuoneessa laskurille kahdessa eri asennuspaikassa.

Tunnistus potilashuoneen testeissä toimi suurimmaksi osaksi hyvin. Alkuun huomasin, että tunnistus otti henkilöitä potilashuoneen ikkunoiden läpi leikkaussalin puolelta. Pystyin kuitenkin estämään näkyvyyttä ikkunan läpi privacy mask -toiminnon avulla ilman, että se olisi haitannut potilashuoneen laskentaa. Seisovien ja istuvien ihmisten tunnistuksessa laskurilla ei testien aikana ollut ongelmia. Makaavan henkilön tunnistuksessa taas ongelmia esiintyi jossain tilanteissa, vaikka laskurilla oli melkein suora näkyvyys makaavaan ihmiseen. Esimerkiksi laskurin ollessa asennettuna lähelle oviaukkoa makaavan ihmisen tunnistus ei meinannut juurikaan toimia ja laskuri kadotti kohdetta, vaikka selvä näköyhteys kasvoihin oli (kuva 24).



Kuva 24. Läsnäololaskentaa potilashuoneessa

Kuvassa 24 tunnistus tuolla hetkellä toimii, mutta suurimman osan ajasta tunnistus toimi vain, kun makasin kyljellään laskuria kohti. Tunnistukseen vaikuttavia tekijöitä vaikuttivat olevan ainakin kohteen etäisyys laskuriin, kohteen

asento ja sijainti laskuriin nähden sekä ehkä jollain tapaa kohteen pään kohdalla näkyvä tausta. Testasin AI-algoritmi 1:n käyttöä kyseisessä tilanteessa, jos sillä tunnistuksen olisi saanut toimimaan paremmin. Mitään huomattavaa eroa tunnistuksessa ei kuitenkaan parempaan päin ollut, vaan ennemminkin tunnistus tuntui toimivan jopa huonommin käyttäessä algoritmi 1:stä. Saman huomasin aikaisemmissa testeissä, joissa algoritmi 1 kokeillessa sen käyttämisessä ei huomannut mitään positiivisia vaikutuksia tunnistukseen. Laskurin ollessa huoneen toisessa kulmassa ei tunnistus ongelmia makaavan henkilön kanssa ollut sängyn ollessa samassa kohtaa kuin aikaisemmassa kuvassa (kuva 24).

Makaavan henkilön tunnistus ongelmien tullessa esiin testasin tunnistusta muuttamalla sängyn paikkaa huoneessa. Ensin käänsin sängyn poikittain huoneen toista päätä vasten niin, että jalkani osoittivat laskuria kohden. Tällöin tunnistus toimi taas selällään maatesa hyvin, vaikka pääni olikin vielä kauempana laskurista. Kummallakin kyljellä makaaminen taas yleensä aiheutti sen, että laskuri kadotti kohteen joko heti tai vähän ajan päästä.

Siirsin sängyn tämän jälkeen suoraan laskurin alle. Niin kuin arvata saattaa, siinä tunnistus toimi hyvin. Tunnistus tässä tilanteessa katosi jonkun takia keran aivan hetkeksi, mutta muuten ongelmia ei ollut. Tunnistus toimi selällään maatesa sekä molemmilla kyljillään maatesa.

Aiemmin testailuissa oli jo mielessä, kuinka ihmisen vaatetus ja esimerkiksi peitto makaavan ihmisen päällä haittaa tunnistusta. Koska tunnistusongelmia makaavan ihmisen kanssa tuli, jäi peiton alla makaavan ihmisen tunnistuksen kokeilu oikeastaan kokonaan tekemättä pieniä testejä lukuun ottamatta. Testasin kuitenkin tunnistusta hieman viltin avulla, jolla peitin itsestäni kaiken muun paitsi pään. Tällöin ainakin tunnistus toimi sekä seistessä, että sängyllä istuessa. Pelkän pään näkyessä viltin alta huomasin kuitenkin, että jos pääni taustalla oli tilan televisio, kadotti laskurin minut kohteena. Tämä viittaisi siihen, että kuvassa kohteen tausta saattaa joskus vaikuttaa laskentaan.

Huomasin potilashuoneessa testailujeni aikana, että tunnistus olisi jossain ongelmatapauksissa jossain määrin parantunut testailujen myötä. Tähän voi vai-

kuttaa laskurin AI, sillä valmistajan mukaan AI osaa jollain tavoin oppiakin jotta näin parantaa tunnistustaan. Joten voi olla, että ajan kanssa jotkin tunnistus ongelmat voisivat ratketa tai ainakin vähentyä, jos laskurilla kyseisiä ongelma tapauksia tarpeeksi toistettaisiin.

9.2.2 Linjalaskennan lisätestit

Sisään-ulos-linjalaskennan lisätestit potilashuoneessa antoivat melko samantyyppisiä tuloksia kuin aiemmin testituloksissa tehdyissä testeissä, eli tulokset olivat laskentatarkkuudeltaan todella hyviä. Testit jakautuivat kahteen osaan asennuspaikan mukaan. Laskurin ollessa kauempana oviaukosta tein testejä kaksi kappaletta, joissa molemmissa oli 20 toistoa, joskin toisessa toistoja tuli tilan sisäisestä liikkumisesta. Siirrettyäni laskurin oviaukon läheisyyteen tyydyin yhteen testiin, jossa piti olla 30 toistoa, mutta niitä tuli tehtyä epähuomiossa 29 kappaletta. 40 toistoa en loppujen lopulta testissä edes tavoitellut, sillä tulokset eivät 10 lisätoistolla olisi muuttuneet juuri mihinkään. Alla olevassa taulukossa (taulukko 4) näkyy testeistä saadut tulokset.

Taulukko 4. Laskuri 2:n testituloksia

| Laskuri 2 linjalaskennan lisätestit | | | | | | |
|-------------------------------------|---------|----|-----|----------|-----------|------------------|
| Testi | Toistot | IN | OUT | Virhe IN | Virhe OUT | Laskentatarkkuus |
| Kauempana oviaukosta osa 1 | 20 | 20 | 20 | 0 | 0 | 100 % |
| Kauempana oviaukosta osa 2 | 20* | 20 | 20 | 0 | 0 | 100 % |
| Oviaukon läheisyydessä | 29 | 30 | 31 | 1 | 2 | 95 % |

*osa laskuista tilan sisäisestä kulkemisesta, ei kuitenkaan tehnyt virheitä

Niin kuin taulukon 4 tuloksista näkee, virheitä ei juuri tullut. Oviaukon läheisyydessä tulleet virheet johtuivat siitä, että kävelin muutamia kertoja oviaukosta kädet pääni päällä, jolloin laskuri jonkin takia otti lisätunnistuksia kyynärpäistäni. Joten normaalilla kulkemisella ei olisi kyseisiä virheitä tapahtunut. **Luo-**
tettavamman ja toimivamman laskennan kuitenkin saa juuri asennettaessa laskuri **lähemmäs oviaukkoa**, vaikka tulokset näyttävätkin nyt toisin.

Kauemmaksi asennettaessa laskentalinja on yleensä hankalampi saada sopivaan kohtaan, ja kameran kuvan kuperuuden takia laskettavan ihmisen täytyy kulkea pitempi matka linjan yli, ennen kuin laskenta tapahtuu. Linja täytyy kau-

emmas asennettaessa myös asettaa sisemmäs tilaan, joka aiheuttaa tilan sisällä turhia sisään- ja uloslaskuja. Ovet voivat ja tulevatkin myös aiheuttamaan laskennassa ongelmia, koska ovea avattaessa ja suljettaessa laskuri ei näe koko ajan kulkevaa ihmistä, ja voi käydä niin, että ihminen on jo ohittanut laskentaviivan tai on sen päällä, kun laskuri näkee ihmisen. Ja jos ihminen on jo valmiiksi viivan päällä ei laskuri saata ottaa kulkemisesta laskentaa. Kyseiseenkin ongelmaan auttaa laskentaviivan siirtäminen sisempään laskettavaa tilaa kohti, mutta tällöin taas tilaan täytyy kulkea pitempi matka, jotta laskenta tapahtuu, sekä sisäistä laskentaa voi tapahtua. Näiden seikkojen vuoksi sisään/ulos-laskennassa laskuri on yleensä suositeltavinta asentaa lähelle ovi-aukkoa suoraan halutun laskentakohdan yläpuolelle tai muutoin sen läheisyyteen ovenkahvan puolelle, jotta näköyhteys kulkijoihin varmasti pysyy oven avauksen aikana.

9.3 Laskureiden soveltuvuus

Henkilölaskureilla oli erilaisia ominaisuuksia ja piirteitä, mitkä tekivät niistä enemmän tai vähemmän soveltuvia haluttuihin käyttötarkoituksiin. Seuraavaksi on yhteenvetoa opinnäytetyössä testattujen laskurien soveltuvuudesta haluttuihin vaatimuksiin verrattuna lukuun ottamatta laskuria 3, jonka toiminta testeissä oli sen verran huonoa, että sen soveltuvuutta ei kannata edes tässä käsitellä.

Laskureista ensimmäisenä testattu ja yksi lupaava vaihtoehto olisi voinut olla laskuri 1 sen hyvän laskentatarkkuuden, toimintojen ja kommunikoinnin takia. Sain kuitenkin tietää myöhemmin työn aikana, että laskurin valmistaja oli viime vuoden aikana **lopettanut henkilölaskentabisneksen eikä enää valmista kyseisiä laskureita**, joten niiden käyttöä ei sen enempää tarvinnutkaan miettiä. Laskurin hinta oli myös jonkun verran hintahaarukan yläpuolella, joka olisi mietityttänyt varmaan muutenkin valinnassa. Laskuri muuten olisi sopinut tunnistusalueensa ja muiden ominaisuuksiensa takia suhteellisen hyvin haluttuihin käyttötarkoituksiin.

Laskuri 4 ja 5 olivat molemmat laskentatarkkuudeltaan mielestäni soveltuvia haluttuihin tarkoituksiin, varsinkin laskuri 4, jonka laskentatulokset olivat todella hyvät. Hintaluokaltaan laskuri 5 oli muihin laskureihin verrattuna todella

edullinen. Laskuri 4 hinta ei ollut sekään niin korkea, mutta toimintoihinsa nähden hinta tuntui hieman suurelta. Laskurit eivät kuitenkaan soveltuneet pienen laskenta-alueensa takia kaikkiin haluttuihin tarkoituksiin, ja ne mahdollistivat vain yksittäisten ovien ja mahdollisesti muiden kapeiden kulkuväylien laskennan. Niiden laskennan toimintatavan takia ne myös voisivat olla alttiita laskentavirheille esim. erinäisten objektien liikuttelemisessa niiden alitse. Laskureista ei kumpainkaan sovellu useamman henkilön yhtäaikaiseen laskentaan, mikä ei ole ihmekään niiden kapean tunnistusalueen vuoksi. Laitteiden kommunikointiin en sen kummemmin perehtynyt, mutta kommunikoinnin laskureista automaatioon olisi saanut toteutettua, muttei halutuilla keinoin.

Laskuri 6 oli toiminnaltaan laskureiden 4 ja 5 luokkaa, eli sekin toimi suhteellisen hyvin. Testeissä laskentatarkkuus oli suurimmalta osin hyvä, joten se voisi soveltua ainakin sellaisten tilojen säätöön, jossa laskennan heitosta ei ole niin suurta haittaa. Kommunikoinnin automaatioon saisi toteutettua varmaan suhteellisen helposti, muttei tässäkään laskurissa oikein alun perin halutuilla tavoilla. Laskuri tunnistusalueen puolesta soveltuu melko leveisiin oviaukkoihin, mutta tunnistusalue jää turhan kapeaksi tupla- tai liukuovia varten.

Laskuri 2 oli laskentatarkkuutensa ja toimintansa osalta sovelias haluttuihin tarkoituksiin. Tunnistusalueen puolesta se soveltuu kaiken levyisten ovien laskentaan suuren tunnistusalueen puolesta. Laskuri soveltuu myös useamman henkilön yhtäaikaiseen laskemiseen. Sillä laskenta ei kuitenkaan onnistu kuin vain hyvin valaistuissa tiloissa, sillä pimeässä tai hyvin hämärässä laskenta ei toimi. Hinta laskurilla oli suhteellisen edullinen verrattuna sen toimintoihin ja hyvään tarkkuuteen. Kommunikointia ei tämänkään laskurin puolesta saanut toteutettua täysin toivotulla tavalla, mutta sentään melko helposti laskurin PoE-versiolla MQTT:n kautta.

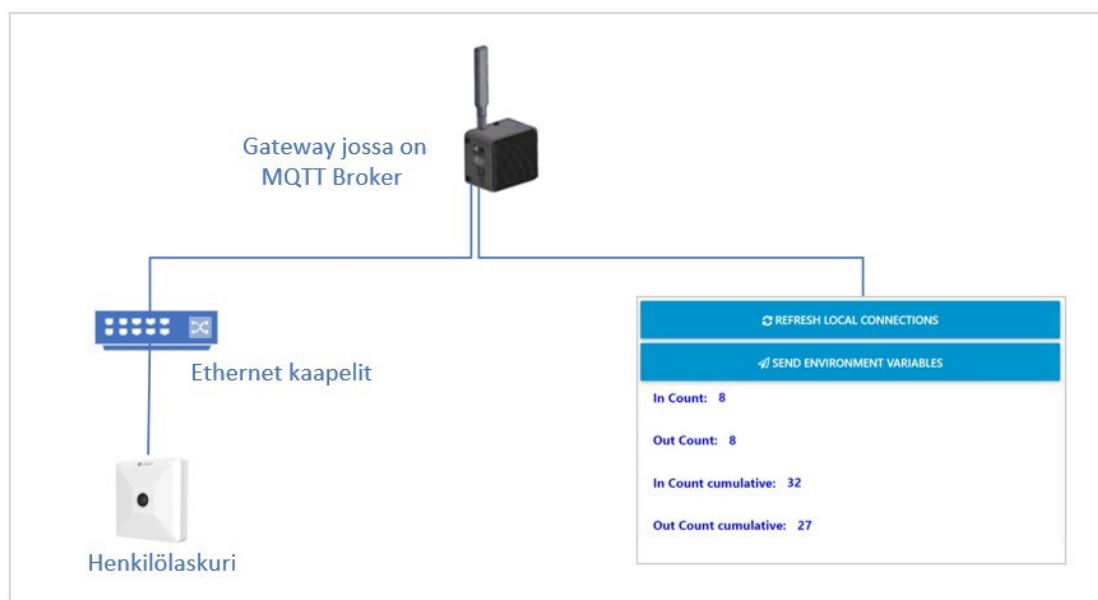
9.4 Kommunikoinnin / säädön toiminta

Laskureiden kautta toimivaa ilmanvaihdon säätöä ei työn aikana käytännössä testattu missään varsinaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä. Laskuri 1:llä ja 2:lla onnistuvaa kommunikointia kuitenkin tutkittiin oikeaa säätöä ajatellen hieman enemmän. Muiden laskureiden osalta ei säädön toteuttamista sen pitemmälle

tutkittu, kunhan vain testejä varten laskentatiedot sai jollain tapaa ulos laskureista.

Laskuri 1:n laskentatiedon kommunikointia testattiin, koska aikaa siihen sillä hetkellä oli ja siihen saatavalla USB/IO-moduulilla pystyi toteuttamaan yhden toivotunlaisista säätötavoista. Moduuli mahdollisti sen, että laskurista lähti digitaalisten ulostulojen kautta pulssitieto, joka merkkasi aina joko sisään- tai uloskulkua. Pulssitiedot tuotiin toisenlaiseen erilliseen input/output-moduuliin, joka tallensi pulssitiedot omaan muistiinsa. Moduulin kautta pulssitiedot pystyttiin lähettämään Modbus-väylään, ja väylän kautta tieto lähetettiin tietokoneeseen, josta pystyi tarkkailemaan laskennan/säädön toimivuutta. Tässä ei ollut mitään ongelmia ja laskurin laskennan mukaista tietoa saatiin pulssitietojen avulla koneelle. Tämän tapainen säätö voisi olla yksinkertaista toteuttaa ilman, että tarvitsee hankkia juurikaan muita lisälaitteita laskentatiedon siirtoa varten.

Laskuri 2:n kommunikointia testattiin sen PoE-versiolla ja laskentadatan tiedonsiirto toteutettiin MQTT-protokollalla. Tiedonsiirrossa käytettiin gateway-laitetta, jossa oli MQTT-broker-palvelin, jolla pystyi käsittelemään MQTT:n muodossa lähetettyä tietoa (kuva 25).



Kuva 25. Yksinkertainen kuvaus testatusta kommunikointi tavasta

Henkilölaskuri lähetti laskentatietoa 5 sekunnin välein gatewayn MQTT-broker-palvelimeen, joka käsitteli laskentatiedon ja välitti sen eteenpäin, kuten on

esitetty kuvassa 25. Laskentatiedon siirtymisen toimivuutta laskentatilan-
teessa testattiin hieman, ja ongelmia laskurin tiedonsiirrossa ei testauksen ai-
kana huomattu.

Lopullisessa järjestelmässä tietoa ei tuotaisi suoraan gatewayhin, vaan las-
kentatieto laskurista tulisi ensimmäisenä laskurin tilan PLC-säätimelle. Tässä
tilanteessa MQTT-broker sijaitsee PLC-säätimessä. Kommunikaation testauk-
sessa laskentatieto siirrettiin vain visuaaliseen muotoon, mutta tulevaisuu-
dessa varsinaisessa käytössä tieto siirrettäisiin Modbus-muuttujiin, joita hyö-
dynnetään järjestelmien ohjauksessa.

9.5 Virhetilanteet

Henkilölaskureiden käyttämästä teknologiasta riippumatta kaikki laskurit ovat
alttiita virheille tietyissä tilanteissa. Ihmisten kulku voi satunnaisuudellaan ai-
heuttaa helposti virhelaskuja ja varsinkin yrittämällä virheitä saa tehtyä hyvin
helposti. Yleisimpänä ongelmien aiheuttajana laskureille olivat **ovet**. Ovet ai-
heuttivat yleensä ongelmia estämällä näköyhteyttä ja häiritsemällä tunnistusta,
jos ne avautuivat tunnistusalueelle. ToF-laskureilla ovet pystyivät aiheutta-
maan suoraan virhelaskuja sekä muutenkin häiritsemään laskentaa liikkeel-
lään, paitsi jos esimerkiksi laskennan korkeusrajoja säätämällä oven tunnistu-
misen sai rajattua pois.

Toinen yleinen häiriön ja virheiden lähde oli **muut objektit**. Testatuista lasku-
reista ainoastaan laskuri 2 pystyi erottamaan ihmiset ja muut objektit toisis-
taan, joten muilla laskureilla mahdollisuus virheisiin näiden kanssa oli. Lasku-
reissa pystyi säätämään esimerkiksi laskennan korkeusrajoja, jolla pystyi osit-
tain rajoittamaan muiden objektien laskemista. Monet ToF-laskurit tajusivat
laskea kulun syvyyskuvan yhtenäisyyden perusteella, joten vaikka jotain eril-
listä objektia kantoi kädet pitkällään, ei laskuja tullut kuin yksi, sillä ne kuulu-
ivat samaan syvyyskuvaan. Muiden objektien kantamisesta ja työntämisestä
aiheutuvien virheiden tapahtumista voi ehkäistä myös pitämällä objektia lä-
hellä itseään kulkemisen yhteydessä, jottei erillistä tunnistusta tapahtuisi.

Moni laskuri tarvitsee myös **tarpeeksi aikaa ja tilaa tunnistuksen tekoon** ennen oviaukon edessä olevaa laskentalinjaa, joten linjan piirto aivan oviaukkoon kiinni monessa tapauksessa voi aiheuttaa ongelmia ja laskentavirheitä. Sama pätee laskurin ja kulkijan näköyhteyden kanssa, sillä samanlaisia laskuongelmia voi esiintyä, jos laskuri ei saa tunnistusta tehtyä ennen kuin kulkija ehtii laskentalinjan päälle. Tätä voi tapahtua esimerkiksi, kun suoraa näköyhteyttä ei kohteeseen heti saada vaikka oven avaamisen takia.

Laskureissa voi myös olla omia ongelman aiheuttajia, jotka voivat liittyä esimerkiksi laskurin käyttämään laskentateknologiaan tai sen oman ohjelmistonsa virheisiin tai muihin piirteisiin. Esimerkkinä tässä vaikkapa laskuri 2:n tunnistuslaatikkoon liittyvä venyminen ja muu heittäminen tietyissä tapauksissa.

9.6 Valittu henkilölaskuri

Opinnäytetyön aikana tehtyjen testauksien ja muiden tutkimisten perusteella lupaavin vaihtoehto testatuista henkilölaskureista oli **laskuri 2**. Laskuri 2 oli tarkkuudeltaan hyvä, ja se vaikutti muiltakin osin parhaalta vaihtoehdolta muihin laskureihin verrattuna. Alkuun ajatuksena oli oikeastaan vain laskurin sisään-ulos-henkilölaskennan käyttö, mutta työn edetessä laskurin lupaavien tuloksien jälkeen mietittiin myös laskurin läsnäololaskennan mahdollisuuksia ilmanvaihdon ohjauksessa.

Laskurin 2 valintaan vaikutti esimerkiksi sen kyky pystyä erottelemaan ihmiset muista objekteista ja sen näkökenttä mahdollisti kaiken levyisten oviaukkojen laskennan. Täysin ilman ongelmia laskuri ei kuitenkaan ollut, mutta virhetilanteita ei ollut kovin paljoa laskennassa. Laskurin tunnistus läsnäololaskennassa pääosin toimi hyvin seisovien ja istuvien ihmisten tunnistuksessa. Makaavien henkilöiden tunnistuksessa sillä oli kuitenkin tietyissä tilanteissa ongelmia, joten siihen laskurissa ei voi täysin luottaa.

Laskuri 2 on hinnaltaan kohtuullinen, ja sen hinta osuu määritettyyn hintatasoon. Testatuista laskureista se oli kalliimmasta päästä, mutta sen hinta-laatusuhteeltaan se oli mielestäni kustannustehokas. Esimerkiksi työn aikana laskureita hankittaessa laskureiden 2 ja 4 hankintahinnat olivat melko samat,

mutta laskuri 4:llä oli paljon rajatummat laskentaominaisuudet ja muut toiminnot. Laskurit kylläkin toimivat täysin eri periaatteella, ja niissä on molemmissa hyvät sekä huonot puolensa, mutta kustannuksia ajatellen laskuri 4:sta ei ole järkevää hankkia toiseksi mahdolliseksi laskuriksi käytettäväksi kapeampia oviaukkoja varten, sillä samalla tai jopa alhaisemmalla hinnalla saa hankittua laskuri 2:sen.

Työn loppuvaiheessa ei muita testattuja laskureita mietitty mahdollisiksi vaihtoehtoiksi esimerkiksi juuri potilashuoneisiin tai muihin tiloihin, sillä niin huomattavaa hintaeroa ei laskurien välillä ollut oikeastaan kuin laskuri 5:n kanssa. Laskuri 5 taas ei mielestäni ole luotettavin vaihtoehto moniinkaan käyttötapauksiin sen pienen tunnustusalueen vuoksi, joka mahdollistaa helposti virheiden tapahtumista.

10 POHDINTA

Henkilölaskennan käyttöä kiinteistöjen rakennusautomaatiossa tulee varmaan Suomessakin näkemään tulevaisuudessa enemmän, sillä sen avulla on mahdollisuuksia saada rakennuksista vieläkin energiatehokkaampia niiden kautta saaduilla energiasäästöillä. Tässä on tietenkin oletuksena se, että henkilölaskenta toimii suurin piirtein oikealla tarkkuudella. Tänä päivänäkin henkilölaskuri alan yrityksiä löytyy jo jonkin verran, mutta valikoima varsinkin halvempien henkilölaskureiden osalta tuntui olevan aika rajattu. Laskurien laskentatekniikatkin varmasti kehittyvät vielä pitkälle tämänpäiväisistä, varsinkin tekoälyn kehittymisen pohjalta. Opinnäytetyön teonkin aikana huomasin selatessani muutaman uuden tekoälyä hyödyntävän henkilölaskurin ilmestyneen, nämä tosin vaikuttivat kalliimmilta työhön hankittuihin laskureihin verrattuna.

Opinnäytetyön alkuperäiset tavoitteet sain pääosin suoritettua. Toiminnaltaan hyvä ja melko kustannustehokas henkilölaskuri saatiin löydettyä ja valittua mahdollista jatkokäyttöä varten toimeksiantajalle. Halutusta hintaluokasta olevien laskureiden toiminnasta saatiin jonkinlaista osviittaa, ja niistä saatiin talteen aineistoa, jos muiden laskurien käyttöä joskus halutaan miettiä. Henkilölaskurien ja muiden tarpeenmukaisen ilmanvaihdon säätötapojen vertailua ei työssä oikeastaan tehty lukuun ottamatta teoriaosuudessa muiden säätömahdollisuuksien lyhyttä esittelyä ja pienehköä vertailua säätötapojen välillä.

Opinnäytetyön teon aikana opin uutta automaatioon ja tietysti henkilölaskureihin liittyen. Varsinkin automaatioasioiden osaamisesta on varmasti hyötyä omaa alaa ajatellen. Opin myös työskentelystä uudenaikaisessa ja isommassa työyhteisössä sekä työyhteisötaitoni varmasti myös kehittyivät työn aikana. Uutta toimeksiantajalle opinnäytetyöstä tuli valitun laskurin muodossa, jota toimeksiantaja voi hyödyntää tulevaisuudessa eri käyttömahdollisuuksissa. Työn pohjalta toimeksiantaja sai myös materiaalia valitun laskurin sekä muidenkin testattujen laskurien toiminnasta, jota se voi hyödyntää tarvittaessa.

Ongelmakohtina tai ainakin hidasteina opinnäytetyössä oli mielestäni oma kokemuksen ja tiedon puute automaatioasioihin liittyen, ja henkilölaskuritkin olivat muutenkin aivan uusi asia itselleni. Opinnäytetyötä tämän lisäksi hieman rajoitti mielestäni sopivien laskurien löytymisen puute. Muita ongelmakohtia työssä oli joidenkin laskurien kanssa ilmaantuneet ongelmat. Osa ongelmista saatiin ratkaistua helposti ja osa ongelmista jäi ratkaisematta, koska ne eivät olleet niin suuria eikä niihin haluttu käyttää liikaa aikaa. Työssä toisin olisi voinut tehdä esimerkiksi tulosten esittämisen raportissa, mutta tulokset sai tehdyllä tavalla hyvin mahtumaan raporttiin eikä tämän vuoksi liitteitä tarvinnut raporttiin laittaa älyttömästi.

Opinnäytetyössä saatuja tuloksia voi mielestäni pitää suhteellisen luotettavina työn tarkoituksiin. Laskuritestistä saadut tulokset ovat kuitenkin testikohtaisia, joten isommassa mittakaavassa ei niitä voi käyttää määrittämään laskureille esimerkiksi mitään lopullisia laskentatarkkuuksia, sillä tuloksiin vaikuttaa testaustavat ja monet muut eri tekijät. Laskurien muusta toiminnasta saatuja tuloksia voi mielestäni kuitenkin pitää aika luotettavina yleiseen toimintaan liittyvien asioiden ja virheiden aiheuttajien puolesta, sillä ne eivät siitä juuri mihinkään muutu tehtäinpä laskurilla mitä hyvänsä.

Nykypäivänä henkilölaskennassa on vielä hieman parannettavaa henkilölaskureiden laskentatarkkuuksien ja virheiden tapahtumisten osalta. Työn pohjalta on selvää, että laskureiden saaminen lähes virheettömiksi on todella vaikeaa, sillä ihmisten liikkuminen voi olla todella satunnaista ja kulkemistilanteita on paljon erilaisia. Laskentaan voi kaiken lisäksi vaikuttaa vielä muut ulkopuoliset tekijät, kuten esimerkiksi valaistus. Tekoälyn käyttö laskureissa voisi olla

mahdollinen tapa saada laskentatarkkuudet laskureissa todella suuriksi, sillä se vaikuttaa ainoalta tavalta, jolla varmasti pystytään erottamaan ihmiset muista objekteista.

Tekoälyn käytössä on kuitenkin omat ongelmansa, sillä siihen pohjautuvassa laskennassa täytyy käyttää kameratekniikkaa, joka taas vaatii normaalisti hyvää valaistusta. Kameroiden käyttö voi myös aiheuttaa yksityisyysongelmia jossain tapauksissa, ja kameralta näyttävien laitteiden läsnäolo voi häiritä ihmisiä. Tekoälyn käyttö muiden teknologioiden kanssa voi olla myös mahdollista, ja sitä nykyäänkin on alkanut löytymään esimerkiksi ToF-tekniikkaa käytävistä laskureista. Tämäkin varmasti parantaa laskentatarkkuuksia hyvin, vaikka kuvan perusteella tehdyn tunnistuksen vahvuudet menetetäänkin.

Opinnäytetyötä voisi olla mahdollista jatkotyöstää tulevaisuudessa muutamalakin eri tavalla. Henkilölaskureilla toimivaa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjausta voisi vertailla käytännössä johonkin muuhun tai muihin ohjaustapoihin, kuten hiilidioksidipitoisuuden mukaiseen säätöön, jos sellaiseen löytyisi tarvittavaa aineistoa tai mahdollisuus seurata tällaisten järjestelmien toimintaa jossakin kiinteistöissä. Toisena mahdollisena jatkoaiheena voisi olla henkilö-laskureilla toimivan tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toteutus käytännössä jossain kohteessa, jossa laskureiden sijoittamisesta ja ilmanvaihdon ohjauksen toiminnasta kerrottaisiin tarkemmin. Aiheeseen voisi sisältyä myös järjestelmän toimivuuden tarkastelua niin ilmavirtojen kuin energiasäästöjenkin osalta.

LÄHTEET

1. Esrafilian-Najafabadin, M. & Haghghatin, F. Occupancy-based HVAC control systems in buildings: A state-of-the-art review. Concordia-yliopisto. Artikkel. PDF-dokumentti. 2021. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107810> [viitattu 6.2.2024].
2. Tuomi, H. Puhdastilatekniikan perusteet. Turun ammattikorkeakoulu. Slideshare. Powerpoint-diasarja. 2012. Saatavilla: <https://www.slideshare.net/HeidiTuomi/puhdastilatekniikan-perusteet> [viitattu 15.2.2024].
3. Tuomi, H. Ihminen puhdastilassa. Turun ammattikorkeakoulu. Slideshare. Powerpoint-diasarja. 2014. Saatavilla: <https://www.slideshare.net/HeidiTuomi/ihminen-puhdastilassa> [viitattu 15.2.2024].
4. Cleanroom Technology. Demand controlled filtration: a practical investigation. Artikkel. WWW-dokumentti. 2021. Saatavilla: <https://www.cleanroomtechnology.com/demand-controlled-filtration-a-practical-investigation--180978> [viitattu 15.2.2024].
5. Bhatia, A. HVAC – Guide to demand control ventilation. CEDengineering. Opas. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.cedengineering.com/courses/hvac-guide-to-demand-control-ventilation> [viitattu 7.2.2024].
6. Seppänen, O. Lisää älyä tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon. Blogi. Talotekniikka-lehti. WWW-dokumentti. 2021. Saatavilla: <https://talotekniikka-lehti.fi/blogit/lisaa-alya-tarpeenmukaiseen-ilmanvaihtoon/> [viitattu 27.2.2024].
7. Sisäilmayhdistys ry. Kemialliset tutkimukset. WWW-dokumentti. 2008. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Ongelmien-tutkiminen/Muut-sisailmatutkimukset/Kemialliset-tutkimukset> [viitattu 7.2.2024].
8. Odgaard, A. How does humidity-controlled ventilation work? Danthermgroup. Artikkel. WWW-dokumentti. 25.4.2023. Saatavissa: <https://www.danthermgroup.com/en-gb/dantherm/how-does-humidity-controlled-ventilation-work> [viitattu 27.2.2024].
9. Guyot, G., Sherman, M.H. & Walker, I.S. Smart ventilation energy and indoor air quality performance in residential buildings: A review. Katsausartikkeli. PDF-dokumentti. 2018. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.051> [viitattu 7.2.2024].
10. Terabee. Guide to people counting technology: Applications and benefits. Blogi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.terabee.com/guide-people-counting-technology/> [viitattu 10.4.2024].

11. Terabee. Time-of-Flight principle. Blogi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.terabee.com/time-of-flight-principle/> [viitattu 14.2.2024].
12. Footfallcam. Selecting the right people counting technologies. Blogi. WWW-dokumentti. 15.6.2023. Saatavissa: <https://www.footfallcam.com/blog/2023/06/selecting-the-right-people-counting-technologies/> [viitattu 14.2.2024].
13. Mustonen, J. People counter can be a very valuable sensor. Haltian Oy. Artikkele. WWW-dokumentti. 7.9.2022. Saatavissa: <https://haltian.com/resource/people-counter-can-be-a-very-valuable-sensor/> [viitattu 14.2.2024].

Laskureiden yhteenvetotaulukko

| Henkilölaskuri | Tekniikka | Kapea oviaukko | Leveä oviaukko | Käyttö mahd. useammassa ovessa | Toimiiko oven avauspuolella | Useamman henkilön laskenta | - peräkkäin | - rinnakkain |
|----------------|-------------|----------------|----------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|--|--------------|
| Laskuri 1 | ToF | X | X | | Toimii, oikeilla asetuksilla | X | X | X |
| Laskuri 2 | AI + kamera | X | X | X | X | X | X | X |
| Laskuri 3 | Dual PIR | X | X | | | | | |
| Laskuri 4 | ToF | X | | | | X | X | |
| Laskuri 5 | ToF | X | | | Epäluotettavasti | Osittain | Toimii, kunhan hlö. eivät kulje liian lähellä toisiaan | |
| Laskuri 6 | ToF | X | Max: 1,8 m | | Toimii välttävästi | X | X | X |
| Laskuri N | ToF | X | X | | X | X | X | X |

| Henkilölaskuri | Asennuspaikka | Asennuskorkeus suositus | Muiden objektien laskenta | Muita laskentatiloja | Valaistus | Tarkkuus tehtyjen testien perusteella (vain perustetit) | Yleisimmät ongelmat testeissä |
|----------------|--|-------------------------------------|---|---|---|---|---|
| Laskuri 1 | Katto, suositeltu 1 m seinästä, toimii hyvin lähempänäkin | 2 - 4,5 m | Riippuu objektin etäisyydestä ihmiseen ja korkeusrajoista | Atuelaskenta ja monia eri varitaatioita henkilölaskentaan | Ei vaikuta | Kapea: 92,6 % Leveä: 96,2 % | Muut objektit esim. kannossa |
| Laskuri 2 | Katto, asennuspaikka muuten melko vapaa | 2,5 - 4 m (toinen versio 5 - 7 m) | Laskee vain ihmiset | Läsnäolo, ihmisvirrat | Suositteltu min. Läsnäolo=20 Lux IN/OUT=50 Lux | Keskellä tilaa: 93,4 % Oviaukon yllä: 100 % | Tunnistuslaatikon aiheuttamat virheet lähellä laskentarajoja |
| Laskuri 3 | Katto tai seinä | Katto max. 3 m Seinä 1,2 - 1,3 m | N/A | N/A | Ei vaikuta | 70,6 % | Laskuri laskee jatkuvasti liikaa sisään ja ulos laskuja, ei kunnan tuloksia |
| Laskuri 4 | Katto, oviaukon yläpuolelle (esim. 30 cm seinästä) | 2,3 - 3 m | Samassa syvyyskuvassa olevaa objektia ei laske erikseen | N/A | Ei vaikuta | 98,2 % | Ovet, pieni tunnistusalue |
| Laskuri 5 | Katto tai seinä/vaaka-asennus (lähelle oviaukon seinää, esim. 18 cm) | 2 - 2,5 m | Samassa syvyyskuvassa olevaa objektia ei laske erikseen | N/A | Ei vaikuta | Pysty: 89,4 % (Vaaka: 100 %, vain normaali kulku) | Ovet, pieni tunnistusalue, reunat/kulmat |
| Laskuri 6 | Katto tai seinä, oviaukon yläpuolelle | 1,9 - 3 m | Samassa syvyyskuvassa olevaa objektia ei laske erikseen | N/A | Ei vaikuta | 93,2 % | Ovet, laskenta-alueella harhailu |
| Laskuri N | Katto | 2,5 - 3 m | Riippuu objektin etäisyydestä ihmiseen ja asetuksista | N/A | Ei vaikuta | 88 % (ilman useamman henkilön kulkua) | Satunnaiset lisälaskut ja laskuvirheet, oven aiheuttamat virheet |