



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Ilari Salonen

# Tilan virtuaalinen havainnollistaminen lämpökameroiden avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

31.8.2020

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Ilari Salonen Tilan virtuaalinen havainnollistaminen lämpökameroiden avulla 40 sivua 31.8.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Tieto- ja viestintätekniikka
Ammatillinen pääaine	Pelisovellukset
Ohjaajat	Lehtori Antti Laiho Site Project Lead Mikael Lindblad Founder / CEO Kim Janson
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli luoda ohjelmisto, joka mittaa ravintolan ihmismäärän lämpökameroita käyttäen. Toisena tarkoituksena oli luoda ohjelmia, jotka muuttavat saadun tiedon katsojalle miellyttävämpään ja havainnollisempaan muotoon.</p> <p>Insinööriyössä tarkasteltiin, mitä kamera-analysissä täytyy tehdä, jotta kuvastusta ravintolasta saadaan selvitettyä senhetkinen ihmisten määrä kussakin ravintolan osassa. Analyysissä havaittiin paljon analysointia haittaavia, ravintolan ympäristön tuomia ongelmia, joiden ratkaisut selvitettiin työn aikana kokeilemalla eri tekniikoita.</p> <p>Havainnollistaviksi ohjelmiksi insinööriyössä päätettiin tehdä ravintolan aluetta kuvaava lämpökartta sekä ravintolan 3D-mallia hyödyntävä reaaliaikainen tila, jonka yli suoritetaan ylilento, jolla tilan saa havainnollistettua.</p> <p>Tulokseksi tuli sovellus, joka mahdollistaa ravintolan henkilökunnan ja muiden ohjelmaa käyttävien saavan tietoa ravintolan ihmismäärästä, ja näin he pystyvät huomaamaan ongelmakohdat ravintolasta helposti ja näkemään, onko kussakin ravintolan osuudessa tilaa tai ruuhkaa. Havainnollistavista ohjelmista katsojat saavat paremman kuvan siitä, miltä ravintola näyttää kävijämäärältään katsomishetkellä.</p>	
Avainsanat	lämpökamera, lämpösensori, ihmisten tunnistaminen

Author Title	Ilari Salonen Areas virtual visualization with thermal cameras
Number of Pages Date	40 pages 31.8.2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and communications technology
Professional Major	Game Applications
Instructors	Senior lecturer Antti Laiho Site Project Lead Mikael Lindblad Founder / CEO Kim Janson
<p>The goal of the thesis was to create a program, which measures the amount of people in the restaurant using thermal cameras. The second goal was to create programs, which turn the received data to a more pleasant and informative form for the viewer.</p> <p>In the thesis we observed what needed to be done in the camera-analysis in order to get the fill rate of people in each part of the restaurant. In the analysis we observed many problems in the analysis, caused by the restaurant's environment, which we resolved trying different methods.</p> <p>As visualizing programs in the thesis, we decided to create a heatmap which corresponds to the restaurants area. Also, we created a real-time area using the restaurant's 3D-model, which has a fly over to visualize the area.</p> <p>From the results, the staff of the restaurant, and other people using the programs gained information about the amount of people in the restaurant, while recognizing the problematic areas. From the visualizing programs the viewer gets a better perspective on how the restaurant is looking with its current number of visitors.</p>	
Keywords	thermal camera, heat sensor, human recognition

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lämpösensorit ja ihmisten tunnistaminen	2
2.1	Lämpösensoreiden käyttö ihmisten tunnistamisessa	3
2.2	Tunnistustulosten esittelytavat	4
2.3	Visuaalisen havainnollistamisen hyödyt ja sen tarve	5
2.4	Aiemmassa projektissa käytetyt tavat ja niistä saatu tieto	5
3	Datan käsittely ja havainnollistaminen	11
3.1	Sensorit ja niiden käyttöönotto	11
3.2	Sensoreiden antaman kuvan vastaanottaminen	13
3.3	Havainnollistamiseen tarvittavat ohjelmistot ja aiemman projektin hyödyntäminen	14
4	Ihmisten tunnistaminen ja analysointi lämpökameroilla	15
4.1	Sensoreiden analyysiohjelman rakenne	15
4.2	Ihmisten tunnistamiseen käytettävät analyysit	19
4.3	Datan siirtäminen eteenpäin	26
5	Lämpökartan ja 3D-ympäristön toteutus	27
5.1	Ravintolan pohjakuvasta tehty lämpökartta	27
5.2	Ravintolamallissa tehty 3D ylilento	32
6	Analysointiohjelman tulokset ja tulevaisuuden kehittymismahdollisuudet	38
6.1	Tulokset ja niiden hyödyntäminen	38
6.2	Tulevaisuuden mahdollisuudet	39
7	Yhteenveto	39
	Lähteet	41

## Lyhenteet

JSON = JavaScript Object Notation. Tiedonvälitykseen suunniteltu tiedostomuoto.

PoE = Power over Ethernet.

UI = User Interface, käyttöliittymä.

Web API = Web Application Programming Interface. Rajapinta, johon voi lähettää tietoa ja hakea monelta laitteelta samanaikaisesti haku-vastausjärjestelmällä.

## 1 Johdanto

Kesällä 2019 Nokian Espoon-kampuksella sijaitseva Sodexo Oy:n ravintola remontoitiin [1]. Remontin aikana LeViteZer Oy [2] teki ravintolan tilasta lämpökameroita hyödyntävän ohjelman, jonka avulla ravintolan ihmismääriä voidaan laskea päivän aikana. Tämä data annettiin Nokian työntekijöille näkyviin Nokian MyCampus-sivustolle [3], josta he pystyvät katsomaan ravintolan senhetkistä ihmismäärää sekä näkemään aiempien päivien ihmismäärät ajan mukaan.

Projekti synnytti paljon mielenkiintoa ja ajatuksia, miten analyysiä voisi hyödyntää paremmin, sekä pohdintaa, saisiko analyysiä tarkennettua ravintolan eri alueisiin, jotta ravintolasta saisi tarkempaa dataa esimerkiksi ruuhkaisten kohtien tunnistamiseen. Kun analyysin saisi tehtyä tarkempia alueita käsitteleväksi, olisi hyvä olla parempia esittelykeinoja datalle, jotta ongelmat näkyisivät katsojalle paremmin.

Insinööriyössä on tarkoitus tarkastella analyysien toimivuutta ja pohtia uusia analyysitapoja. Uusissa analyysitavoissa tulee selvittää, miten ne toimivat esitystapojen kanssa. Uusi analyysi tulee toimimaan edellistä analyysiä nopeammin, jotta esitystapojen tarkkuus paranee.

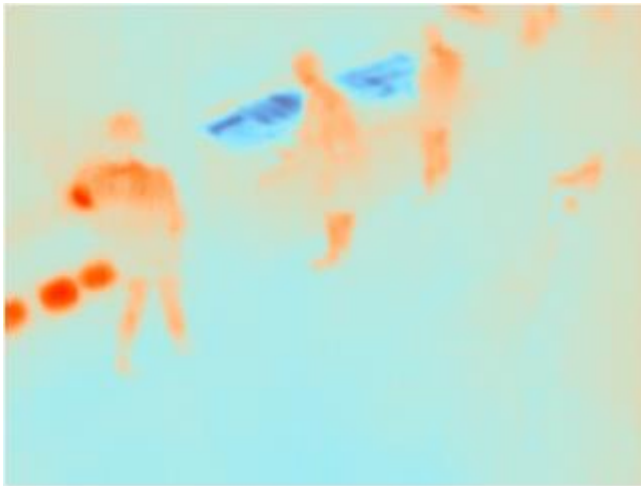
Esitystapojen tulee olla helposti lähestyttäviä ja esittää selkeästi halutut asiat. Esitystavoista tulee saada selville mahdolliset ongelmakohdat ravintolassa, kuten pitkät jonot ja niiden mahdolliset syyt.

Insinööriyönä tehtävä ohjelma ei ole kaupallinen, vaan tutkimustarkoitukseen luotu apuväline herättämään uusia ideoita ja ajatuksia. Projektin kustansi Nokia Oyj [4], ja työ tehtiin LeViteZer Oy:n tiloissa ja laitteilla.

## 2 Lämpösensorit ja ihmisten tunnistaminen

Lämpösensori, myös lämpökamerana tai infrapunakamerana tunnettu, on kameratyyppi, joka käyttää hyväkseen näkyvän valon sijaan infrapunasäteilyä saadakseen mitattua kohteen pintalämpötilan [5]. Lämpösensorit ovat tavallisiin kameroihin verrattuna hyödyllisempiä tilanteissa, jossa valoa ei ole tarpeeksi, jossa lämpötila on kohteen oleellinen ominaisuus tai jossa kuvasta pitää tietokonetta käyttäen tunnistaa kohteita, kuten ihmisiä [6]. Koneella tunnistettaessa lämpösensori tuo liikkeen lisäksi lämpötilan, jolloin molempia voi hyödyntää analyysissä [7]. Lämmön tunnistaminen on tärkeää monessa teollisuuden osa-alueessa, jossa käsitellään kuumia asioita tai jossa laitteiston ylikuumeneminen on mahdollista [8].

Yleistä lämpöensoreissa on tavallista kameraa pienempi kuvasuhde ja taajuus [9]. Lämpöensoreita ei käytetä maisemien tai muun sellaisen valokuvaukseen, vaan analyttisempään työhön, jossa pienempi resoluutio voi helpottaa kuvan käsittelyä ja analyysin tekoa. Näin voi myös välttää ihmisten yksityisyyden loukkaamisen, koska pieniresoluutiosta lämpösensorista on kaukaa kuvatessa lähes mahdoton tunnistaa kuvattavan henkilöllisyyttä (kuva 1).



Kuva 1 Lämpösensorin kuva ihmisistä seisomassa ravintolan ruoanottopisteen äärellä.

Lämpökuvassa asioiden peittyminen määräytyy lämmöneristyksen mukaan; esimerkiksi ikkunoiden lasi on hyvä lämmöneriste, minkä takia se ei ole kuvassa läpinäkyvä. Lämpö

voi myös tarttua materiaalista toiseen kosketuksen välityksellä, kuten tuolissa istumisella tai pöytään koskemisella. Kosketuksen välinen lämpö haihtuu vähitellen.

## 2.1 Lämpöensensoreiden käyttö ihmisen tunnistamisessa

Vaikka ihminen osaa tunnistaa lämpökuvasta ihmisen, koneelle tehtävä on hieman vaikeampi. Koneella analyysi toimii vertaamalla kuvan pikseleitä toisiinsa ajan mukaan ja merkitsemällä muistiin pikseleissä tapahtuvia lämpötilanmuutoksia. Lämpötilanmuutoksesta voi päätellä, että siinä kohtaa kuvaa on tapahtunut liikettä ja avuksi voi käyttää pikselin lämpötiloja pääättelemään, oliko liike ihmisestä johtuvaa. Huomattavia ongelmakohtia saattaa tulla ihmisen etäisyydestä kameraan tai jos ihmiset ovat päällekkäin kuvassa: tällöin ihmismäärä on vaikea tunnistaa.

Liikkeen hyväksikäyttö on tärkeää, sillä kuvassa saattaa olla ihmisenlämpöisiä objekteja, joita kone ei osaa eritellä ihmisistä. Ihmisen lämpö saattaa vaihdella ilman lämmön mukaan, varsinkin jos ihminen on vastikään tullut ulkoa, ja siksi sensorin hakemaa lämpötilaa ei voi asettaa tarkasti ihmisen ruumiinlämmön mukaan.

Monet ovat tutkineet, voiko lämpökameroita käyttää ihmisen lämpötilan tunnistamiseen, esimerkiksi Covid-19-tartunnan tai muun kuumetta aiheuttavan epidemian tunnistamiseen väkijoukosta. Tämä ei pidä paikkaansa, sillä lämpökamerat eivät ole tarpeeksi tarkkoja nähdäkseen ihmisten poikkeavia lämpötiloja suuresta väkijoukosta [10]. Ihmisen lämpötilan mittaaminen on kuitenkin mahdollista lämpökameran avulla, jos oikeanlainen mittaus tehdään, mutta se edellyttää, että ihminen on lähellä kameraa ja että mahdolliset kasvon esteet, kuten silmälasit, poistetaan, sillä silmän nenänpuoleinen kulma on tarkin paikka, mistä lämpötilan saa mitattua. Lämpökamera toimii ihmisen lämmönmittaukseen paremmin kuin infrapunalämpömittari, mikä tekee lämpökamerasta hyvän mahdollisen kehonlämmönmittaustavan, jos potilaaseen on pidettävä etäisyyttä.

Nykyaikaiset lentokentät ovat alkaneet käyttää lämpökameroita turvallisuuden ylläpitämisessä, sillä tavallisiin kameroihin verrattuna valo ei vaikuta ihmisten, ajoneuvojen tai muiden laitteiden tunnistamiseen, mikä helpottaa ympärivuorokautista kameravalvontaa ja aiheuttaa vähemmän vääriä hälytyksiä. Lentokentän tilat täytetään käyttäen yhdistelmänä korkealle asetettuja laajemmalle alueelle näkeviä lämpökameroita sekä kohteita

läheemmäs asetettuja, tavallisia lämpökameroita, jotta koko alue saadaan katettua [11]. Lämpökameroita hyödynnetään lentokenttien lisäksi myös muussa alueenvalvonnassa, koska ihmisten ympärivuorokautinen tunnistaminen on siten helpompaa [12].

## 2.2 Tunnistustulosten esittelytavat

Kuvatessaan sensori hakee jokaiselle pikselille lämpöarvon, jotka se voi lähettää sellaisenaan käsiteltäväksi. Tavalliseen kuvaan verrattuna, joka lähetetään yleisesti kolmikanavaisena RGB-arvona, sensorin kuva tarvitsee vain yhden kanavan, koska se ei kuvaa väriä. Vastaanotettu kuva ei ole vielä ihmissilmälle nähtävissä, vaan se pitää muokata erikseen asettaen sille väriarvot. Koneella tällaista kuvaa voi jo käsitellä.

Lämpöarvo kannattaa muokata ennen lähettämistä kevyempään muotoon, kuten 8-bit-tiseksi skaalaksi. Jotta kuvan voi skaalata, tarvitsee sille antaa minimi- ja maksimiarvo, johon se asettaa lämpötilansa. Täten minimilämpötila on skaalassa arvoltaan 0 ja maksimilämpötila on arvoltaan 255. Yleisesti tämä tarkkuus on tarpeeksi suuri, jotta pienetkin lämpötilan vaihtelut huomataan, sekä tarpeeksi pieni, jotta kuvan käsittely helpottuu. Minim- ja maksimiarvot on hyvä asettaa pitäen kuvattava kohde mielessä, jotta haluttu kohde korostuu kuvasta (kuva 2).



Kuva 2 Kuvissa on muutettu lämpötilan minimi- ja maksimiarvoja. Keskimmäisen kuvan minimiarvo on liian matala, oikeanpuoleisen maksimiarvo on liian korkea.

Kun kuvan arvot vastaanotetaan, voi siitä tehdä ihmiselle esitettävän värillisen mallin. Koska saatu kuva on yksikanavainen, sen väritys pitää tehdä käyttäen väriskaalaa. Yleisesti väriskaala muodostetaan antamalla kylmille kohdille väri sinisen, violetin tai mustan

sävyistä sekä lämpimät kohdat keltaisen, punaisen ja valkoisen sävyistä väreistä. Väriskaala on hyvä laittaa kuvan viereen minimi- ja maksimiarvot näkyvissä, jotta katsoja pystyy hahmottamaan kuvan paremmin. Jos ei halua käyttää väriskaalaa, on mahdollista muuttaa kuva harmaasävykuvaksi, koska se ei tarvitse kuin yhden värikanavan. Harmaasävykuvassa punainen, vihreä ja sininen kanava saavat saman arvon, jolloin niiden antama väri on kyseisen sävyinen harmaa.

### 2.3 Visuaalisen havainnollistamisen hyödyt ja sen tarve

Visuaalisia havainnollistamistapoja on monia, ja niistä voi valita projektiin parhaiten havainnollistavan vaihtoehdon. Suosittuja havainnollistamistapoja ovat esimerkiksi erilaiset kaaviot ja käyrät, jotka kuvaavat haluttuja määriä esimerkiksi ajan kuluessa. Monet verkkosivut ja mobiiliohjelmat käyttävät lämpökarttoja havainnoimaan ruudulla tapahtuneiden painallusten määriä nähdäkseen, miten ihmiset käyttävät kyseisiä ohjelmia [13].

Ihmiset ymmärtävät monesti paremmin tuloksia, jotka on muutettu aiheeseen sopivaan esittelytapaan, sillä analyysiltä saaduista numeroista ihminen ei saata havaita kokonaisuutta.

Jo analysointivaiheessa kannattaa visuaalisia havainnollistamistapoja ottaa käyttöön, koska silloin näkee parhaiten, että kaikki toimii halutusti. Visuaalisesti esittäminen auttaa ongelmakohtien ja uusien ideoiden löytämistä. Lähes aina analyysit pyritään saamaan jonkinlaiseen visuaaliseen muotoon, jotta haluttu tieto on helpompi saada hyödynnettyä.

### 2.4 Aiemmassa projektissa käytetyt tavat ja niistä saatu tieto

Kesällä 2019 projektia varten asennettiin käytettävät sensorit Nokian kampuksen ravintolaan. Sensoreiden käyttötarkoituksena on kuvata ravintolan tiloja ja päätellä niiden perusteella päivän mittaan ihmisten lukumäärää. Näistä saatu tieto toimitetaan MyCampus-verkkosivulle, missä datasta tehdään käyrä, jossa näkyy päivän kävijämäärät kellonajan mukaan.

Kyseinen ravintola on tilana ongelmallinen, koska se on matala mutta leveä ja sisältää paljon väliseiniä, roikkuvia valaisimia, puukiskoja ym. Korkeuden takia sensoreiden kulma on erittäin vaakatasoinen, jotta niistä saatu kuva kattaa mahdollisimman järkevän alueen. Vaakatasoinen kamera aiheuttaa ongelmia perspektiivin ja ihmisten päällekkäisyyden kanssa, mutta se oli tilan haasteellisuuden vuoksi ainoa vaihtoehto.

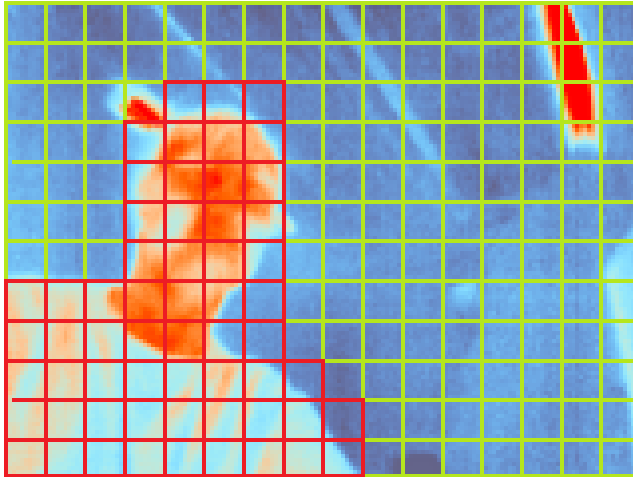
Käytetyt lämpökamerat ovat LeViteZer-yrityksen LVZ-T1-kameroita [2], jotka käyttävät Lepton 3.5-sensoreita [14], joiden kuvasuhde on 160 x 120 pikseliä ja taajuus 9 Hz. Sensorit lähettävät Ethernet-kaapelin kautta tietoa PoE-kytkimeen, joka on yhteydessä analyysin suorittavaan tietokoneeseen. Yhteensä ravintolaan asennettiin 14 kameraa, jokaisessa yksi sensori.

Tapa, jolla ihmiset erotetaan kuvasta, on käyttämällä kuvaa tyhjästä ravintolasta ja erottamalla siitä sen hetken kuvan, jolloin jäljelle jää kaikki, mitä kuvien välillä on eroavaisuutta. Kahden kuvan vertaukseen oli syytä asettaa kynnyksen arvojen eron määrästä, jotta jokainen pieni eroavaisuus ei näy.

Ensimmäinen virhe, joka erottelutavasta huomattiin, johtui sensorin aiheuttamasta kohinasta. Ravintolan ilma on lämpimän kosteaa, mikä aiheuttaa arvojen liikkumisen ja siten aiheuttaa kahden kuvan välille liian suuria eroavaisuuksia. Tämän korjaamiseksi kuvattavasta kuvasta oli otettava lyhyen hetken keskiarvo, jolloin kohina haihtui suurimmalta osin pois.

Jotta kuvaa voi verrata, täytyy käytössä olla kuva tyhjästä tilasta. Ensin täytyi kuvata jokaisen sensorin näkemä tila ravintolan ollessa suljettuna, jolloin ei tarvitse huolehtia, että kuvissa olisi ihmisiä tai muuta niihin kuulumatonta. Tämä ei toiminut, sillä päivällä ilman lämpötila nousee ravintolassa niin, että verratessa kuvat eroavat toisistaan liikaa eikä vertailua pysty täten tekemään. Jotta vertailu onnistuisi, tulisi analyysin ylläpitää ajankohtaista kuvaa tyhjästä ravintolasta päivittäen sitä koko ajan. Ratkaisuna tähän kehitettiin tapa, jossa pidetään yllä, kuinka kauan kuvassa ei tapahdu liikettä, ja jos liikettä ei havaita tiettyyn aikaan mennessä, otetaan siitä käyttöön vertailukuva. Ruuhka-aikoina kuva ei päivitty kunnolla, sillä kuvissa oli lähes koko ajan liikettä, minkä takia vertailukuva saattoi olla niin vanha, että ilman lämpötila oli muuttunut huomattavasti aiheuttaen virheitä. Jos vähennetään aikaa, jolloin kuva päivittyy, tai paljonko liikettä saa olla, istuvat

tai paikallaan seisovat ihmiset päätyvät helposti vertailukuvaan, joten tähän piti keksiä parempi ratkaisu. Kuva jaettiin pienempiin osioihin, 10 x 10 -ruutuihin, joilla oli jokaisella omat laskurit siitä, onko kuvassa ollut liikettä (kuva 3). Tällä ratkaisulla vertailukuva pystyi päivittymään muualta, kuin missä sen hetken liikettä esiintyy, ja kuva päivitti itseään pienemmissä osioissa. Näiden korjausten jälkeen vertailukuva rakentui halutusti.



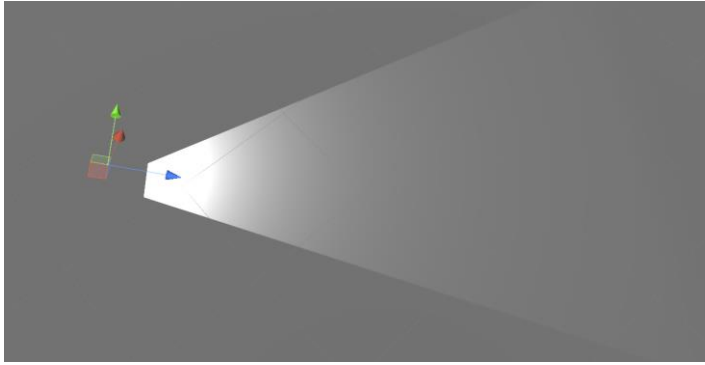
Kuva 3 Vertailukuvaa rakentava pienempiin osiin jaettu analyysi. Pitkään liikkumatta pysynyt alue voidaan tunnistaa tyhjäksi tilaksi (vihreä), ja olettaen kuvassa olevan henkilön liikkuvan sen liikkeen havaitessaan (punainen) ei päivitä tyhjän tilan vertailukuvaa vaan käyttää sitä edeltäviä, tyhjäksi todettuja kuvia. Näin voidaan reaaliaikaisesti nähdä kuvattava tila tyhjänä vertailua varten.

Analyysitapa ei ollut kaikkiin kohtiin täydellinen, vaan ruokapöytiin kohdistuvien sensoreiden huomattiin näkevän paikallaan istuvat ihmiset tyhjäksi vertailukuvaksi, koska niiden kohdalla liike oli hyvin pientä. Liike on niin pientä, että sensorin saama taustakohina on suurempaa kuin havaittu ihmisten liike, ja siksi liikkeen määrittävää arvoa (arvo, joka verrattaessa kahta kuvaa määrittää kuvan pikselin eron mukaan, onko kuvassa liikettä) ei voitu laskea pienemmäksi. Ihmiset saattoivat olla paikallaan monia minutteja kerrallaan, ja koska vertailukuvan päivitysaikaa ei voitu asettaa niin pitkäksi, piti näille sensoreille kehittää omanlaisensa analyysi. Vertailukuvaa käyttäen näissä tiloissa ei voi saada tarkkaa ihmisentunnistusta, mutta sillä sai tunnistettua jonkin verran ihmisiä, mikä mahdollisti tunnistetuista ihmisistä lämpötilan saannin. Tätä hyväksikäyttäen analyysi laitettiin laskemaan havaittujen ihmisten keskilämpötilaa. Ihmisten lämpötila tuskin muuttuu radikaalisti, jotta voitiin välttää suuret arvojen muuttumiset, lämpötila keskiarvotettiin pitkälle aikavälille. Näin on mahdollista hakea kuvasta kaikki pikselit, jotka ovat lähellä ih-

misten keskilämpötilaa, ja löytää siten kuvasta ihmiset. Analyysille piti asettaa arvot, joiden mukaan se päättää, kuinka paljon enemmän tai vähemmän pikselin arvo saa olla verrattuna keskilämpötilaan, jotta se tunnistetaan ihmiseksi eikä esimerkiksi kuumemmaksi objektiksi kuten lampuksi tai kylmemmäksi objektiksi kuten pöydäksi tai tuoliksi. Huomioon täytyi ottaa se, että ihmisten lämpötila saattaa vaihdella pukeutumisen ja sään mukaan.

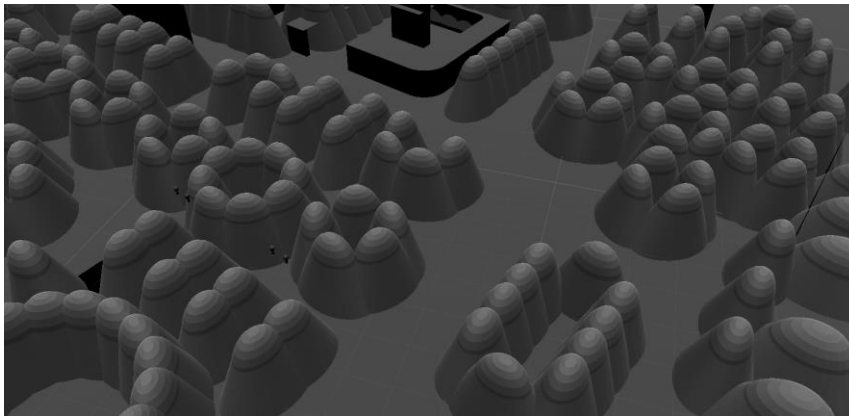
Sensoreilla on ajastettu kalibrointi 10 minuutin välein, jossa kuva häviää noin sekunniksi, jonka jälkeen kuva tasaantuu hetken. Kalibroinnin jälkeen kuvan arvot ovat korkeammat kuin ennen kalibrointia, mikä aiheuttaa ongelmia edellä mainittujen analyysien kanssa. Koska arvot vaihtuvat, vertailuun käytetty kuva tyhjästä tilasta ei vastaa kalibroinnin jälkeistä tilaa, mikä aiheuttaa virheen kuvien vertailussa. Ratkaisuksi ohjelmaan asetettiin ajastin, joka käynnistyy kalibroinnin alkaessa ja kestää 60 sekuntia. Tänä aikana analyysi pysyy käynnissä, jotta kuva pystyy tasaantumaan kalibroinnin jälkeisiin arvoihin, mutta ei lähetä analyysistä saatua kuvaa eteenpäin, koska sinä aikana saatu tulos on virheellistä.

Kuvien analysointi ja ihmisten tunnistus oli tässä vaiheessa valmis, mutta tulosten saamiseksi piti huomioida sensoreiden kuvaamien alueiden päällekkäisyydet, jotta sama kohde ei tule laskettua useaan kertaan, sekä perspektiivi, jotta kauempana olevat kohteet eivät saa pienempää arvoa. Projektissa oli suunnitteluvaiheessa ravintolasta 3D-malli, jossa sensorit oli asetettu oikeille paikoilleen. Projektin oli toteutettu pelimoottori Unityä käyttämällä, ja projektia jatkettiin sitä käyttäen, koska siinä on tarvittavat toiminnot. Pelimoottorin sisällä virtuaaliset projektorit asetettiin heijastamaan sensoreista saadut ja analysoidut kuvat niiden oikeisiin sijainteihin ja katselukulmiin nähden. Vaikkakin kuvan venyminen on odotettu ja toivottu efekti, se venyi liikaa kaukana sijaitseviin objekteihin nähden. Heijastumasta huomaa, kuinka valo leviää mennessään kauemmas (kuva 4).



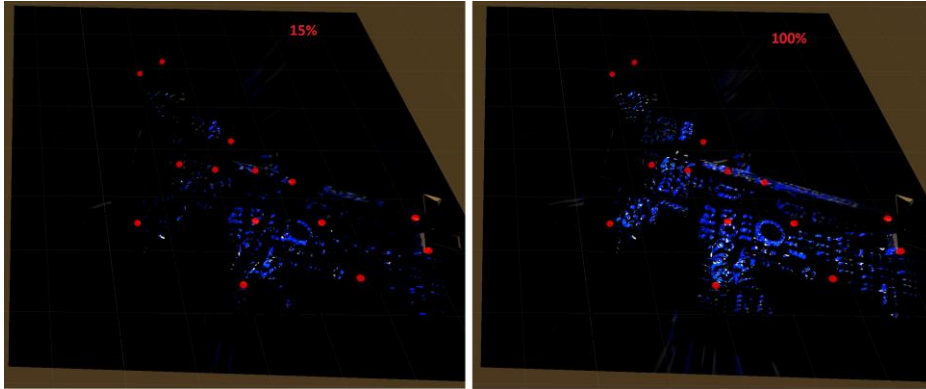
Kuva 4 3D-mallin sisäisen projektorin aiheuttama heijastus sen osuessa lattiapintaan.

Heijastuksen aiheuttaman ongelman ratkaisuksi pohjamateriaaliin lisättiin kumpuja, joihin heijastukset osuvat ja saavat oikeanlaisen koon. Heijastuspinnat on luotu ravintolan pöytien ympärille sekä muiden kohteiden luokse, jossa ihmisten oletetaan pääasiassa liikkuvan (kuva 5).



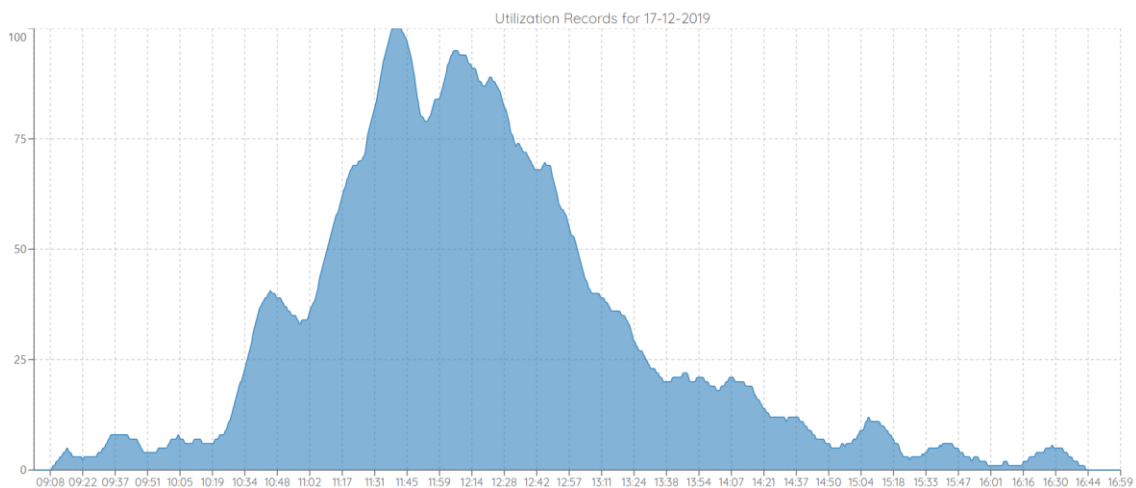
Kuva 5 Heijastuspinnat, joihin heijastukset osuvat.

Ohjelmaa testattiin käyttämällä sen sisällä olevia simuloituja sensoreita ja ihmisiä, ja veynämisen ja kuvien päällekkäisyyksien aiheuttamat ongelmat saatiin ratkaistua, ja ravintolan eri täyttöasteet saatiin hyvin näkyviin. Simuloitaessa erilaisilla täyttöasteilla ihmisten määrän muuttumisen näki selkeästi (kuva 6).



Kuva 6 Kuvissa on 3D-ympäristössä simuloitunut ihmismäärä. Punaiset pisteet ovat kameroiden sijainnit.

Tapa, jolla heijastuspintaa käyttäen saadaan ihmismäärä, on ottamalla virtuaalikameralla ylhäältä kuva (1000 x 1000 pikseliä), joka kattaa koko ravintolan alueen. Siitä erotellaan pikselit, joissa on valoa, ja lasketaan ne yhteen. Näin saadaan täyttöasteesta numeroarvo. Täyttöastetta seurataan oikeasta ravintolasta saatujen arvojen mukaan ja arvioidaan prosentuaalinen täyttöaste vastaamaan tiettyä numeroarvoa. Ohjelmalle annetaan 0 %:n kohdalle oma numeroarvo, koska ravintolassa saattaa olla pieniä liikahduksia, joita ei haluta huomioida, sekä toinen arvo 100 % täydelle ravintolalle. Analyysistä saatu arvo asetetaan näiden välille, ja siitä saadaan sen hetken prosentuaalinen arvo. Vertailu toimii lineaarisesti arvojen välillä. Nämä arvot lähetetään MyCampus-sivustolle [3], joka pitää arvoja yllä ja muuttaa ne käyräksi (kuva 7).



Kuva 7 MyCampus-sivuston luoma käyrä päivän prosentuaalisesta ihmismäärästä (17.12.2019). Käyrä vastaa ravintolan ihmismäärää prosentteina päivän aktiivisten tuntien ajan.

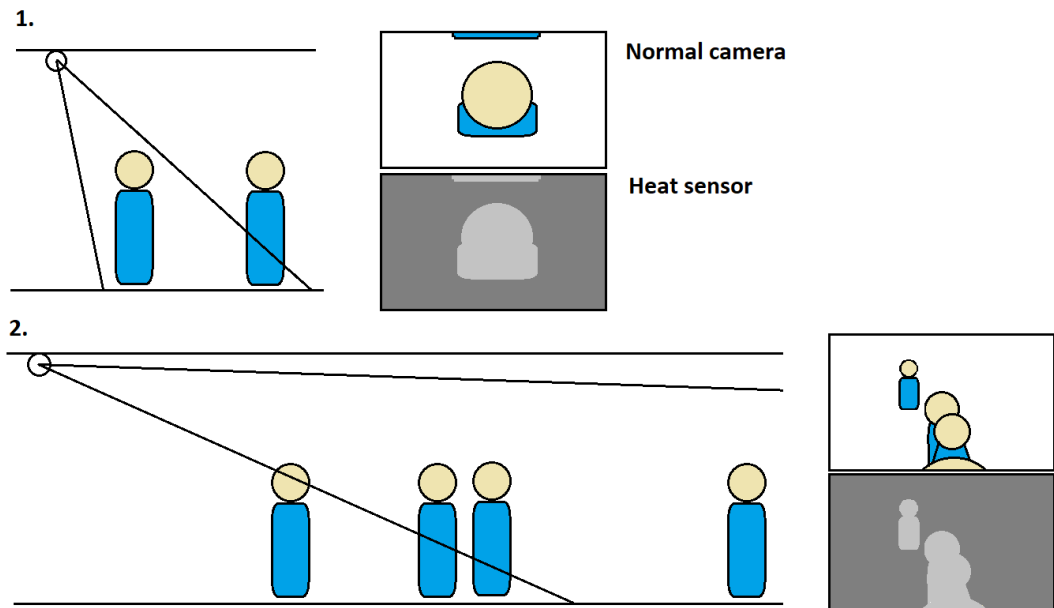
MyCampus-sivusto on Nokian työntekijöille tehty sivusto, josta työntekijät voivat tarkastella työpaikan eri paikkojen ihmismääriä. Ravintolan täyteisyyttä voi käyttää esimerkiksi oman ruokailun suunnitteluun, jotta ruuhkat saadaan minimoitua.

### 3 Datan käsittely ja havainnollistaminen

#### 3.1 Sensorit ja niiden käyttöönotto

Sensorit otettiin käyttöön edellisen projektin aikana kesällä 2019. Ravintola oli remon- tissa, eikä siellä ollut lämpöensensoreita ennestään, joten kameroiden sijainnit täytyi suunnitella remontin aikana. Ravintola on malliltaan leveä ja matala, täynnä esteitä, kuten väliseiniä tai valaisimia, mikä teki tilan kuvaamisesta vaikean. Tämän vuoksi arkkitehtiy- ritys, joka oli vastuussa ravintolan uudistamisesta, antoi käyttöön 3D-mallin ravinto- lasta, ja sen avulla pystyttiin päättämään kameroiden sijainnit. Simulaatiossa näkyy, onko näkyvyys hyvä ja esteetön. Samalla pyritään siihen, että sensoreiden kuvaamat alueet eivät aiheuta päällekkäisyyksiä, jolloin sama alue näkyisi useammalle sensorille.

Tässä vaiheessa täytyi päättää, minkälaisessa kulmassa sensorin tulisi olla kamerassa, jotta haluttu alue ja siellä liikkuvat ihmiset näkyisivät. Jyrkkä kulma olisi optimaalinen ratkaisu, jos tila olisi korkea, sillä ihmisten erottaminen toisistaan on helpompaa. Mata- lassa tilassa kulma ei saa olla liian jyrkkä, koska alue ei kattaisi tarpeeksi alaa ja kame- roita tarvittaisiin todella monta, jotta ravintolasta saisi riittävästi tietoa (kuva 8, kohta 1). Kameran kulma ei saa myöskään olla liian loiva, koska osa kuvasta saattaa sisältää liian kaukaisia objekteja, joiden tunnistaminen on vaikeaa saada tarkaksi ja luotettavaksi. Loiva kuva myös hankaloittaa analyysiä, koska ihmisten etäisyys sensoriin luo ihmisten koon vaihtelua sekä peräkkäin seisovat ihmiset on vaikea erottaa toisistaan (kuva 8, kohta 2).



Kuva 8 Jyrkän (1) ja loivan (2) kuvauskulman havainnollistaminen. Vierekkäisissä kuvissa näkyy, mitä tavallinen kamera näkisi ja mitä lämpösensori näkisi.

Kun kameroiden määrä ja niiden sensoreiden kulmat oli päätetty, kameroiden sijainnit lähetettiin rakennusyhtiölle, joka oli ravintolan rakennuksesta vastuussa, jotta niille kohdille asennetaan Ethernet-kaapelit kattopaneelien taakse. Tämän jälkeen kameroiden kotelot suunniteltiin ja 3D-tulostettiin (kuva 9), ja kun ravintola oli valmis, asennettiin paikoilleen.

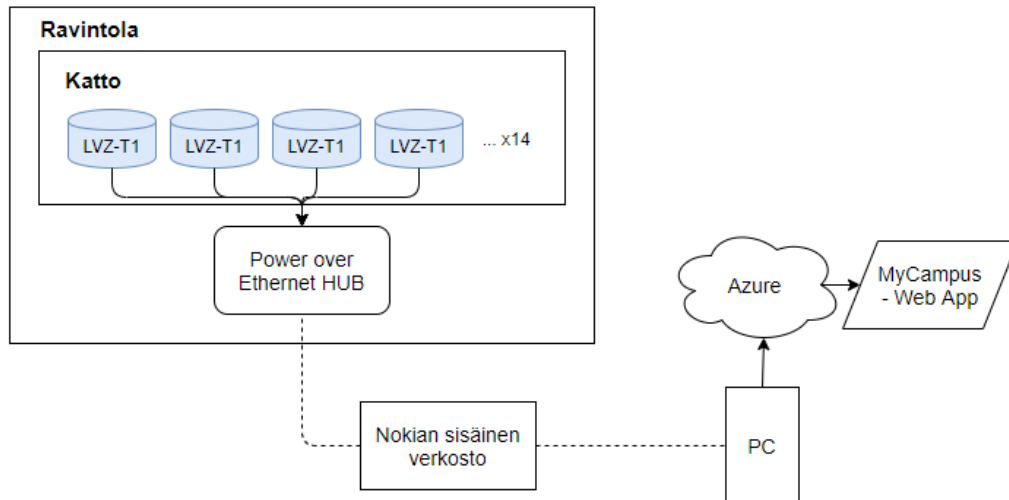


Kuva 9 LVZ-T1-kamera. Oikeanpuoleisessa kuvassa näkyy sensori. Punainen viiva rajaa kattopaneelin kohdan, jolloin suurempi osa kamerasta jää kattopaneelin taakse piiloon.

Ravintolan valmistuessa kamerat asetettiin paikoilleen ja kameroiden suunta pyrittiin saamaan mahdollisimman lähelle suunniteltua.

### 3.2 Sensoreiden antaman kuvan vastaanottaminen

Power over Ethernet -kytkin liittää sensorit yhteen ravintolan IT-tilassa, josta ne siirtyvät yhtiön verkostoa pitkin toimistossa sijaitsevalle tietokoneelle (kuva 10). Tietokoneella luotiin kommunikaatio sensoreiden ja tietokoneen välille, jotta sensorin asetuksia pystyy säätämään ja päivittämään helpommin [15]. Näin myös saadaan tarvittu tieto sensoreilta analyysiä varten.



Kuva 10 Sensoreilta saadun datan kulkeminen ravintolasta toimiston tietokoneelle.

Verkostossa oleville tietokoneille luotiin verkkoliittymä, jonka kautta sensorin kuvan näkee ja sensorin asetuksia pystyy hallinnoimaan helposti. Verkostossa olevilla tietokoneilla pystyy keskustelemaan sensoreiden kanssa myös muissa ohjelmissa verkkokäyttöliittymän kautta.

### 3.3 Havainnollistamiseen tarvittavat ohjelmistot ja aiemman projektin hyödyntäminen

Qt Creator -ohjelmalla [16] aiemmassa projektissa oli tehty sensoreita hallinnoiva ohjelmisto, joka sisälsi kaikkien sensoreiden tuomat kuvat reaaliaikaisesti ja helposti nähtäväksi. Ohjelmiston tarkoitus on antaa kameroiden kanssa työskenteleville selvä näkymä siitä, mitä sensorit näkevät, ja helpottaa vianmääritystä. Ohjelmistossa on käsitelty pieniä kuva-analyysejä vianmäärityksiä varten, ja ympäristö sopii kyseiseen tarkoitukseen todella hyvin. Päätettiin, että tämä oli hyvä ympäristö suorittaa projektin analyysiosuus, josta lähetetään tulokset muille alustoille.

Unity-pelimootorissa [17] suoritetaan kaikki 3D-ympäristöön liittyvä. Ravintolasta saatu 3D-malli toimii sitä käyttäen hyvin. Tarvittavat tiedot lähetetään sensoreista Qt-ohjelman kautta Unityyn.

Lämpökartta tehdään Qt-ohjelman sisällä koska sen tekeminen samaan ohjelmaan onnistuu hyvin.

Analysoitua dataa säilytetään Azure-palvelimella [18], joka vastaanottaa ja ylläpitää päivittäistä dataa erilaisia käyttötarkoituksia varten.

Aiemmassa projektissa käytetyt analyysit olivat hyviä ja toimivia. Niitä tarkasteltiin ja koe-tettiin keksiä parempia tapoja tehdä kyseiset analyysit sekä pohdittiin, tarvitaanko myös erilaisia uusia analyysejä.

Kalibroinnin hoitaminen on tärkeää saada paremmaksi, sillä pitkät tauot näkyvät selvästi nopeammassa analyysin esitystavassa.

Aiemman projektin heijastus oli hyvä tapa saada tarvittava tieto, mutta sen suorittaminen on raskasta. Raskaus ei haitannut siihen käyttötarkoitukseen, koska tietoa ei tarvittu kovin nopeasti. Jos ohjelmaa haluaa nopeuttaa, täytyy heijastaminen jättää suorittamatta ja keksiä toinen keino huolehtia perspektiivien huomioimisesta. Heijastaminen myös asetti kuvien kohdat oikeille sijainneilleen kartassa, joten uuden analyysin tulokset pitää asettaa haluttuihin kohtiin jollakin muulla tavalla.

## **4 Ihmisen tunnistaminen ja analysointi lämpökameroilla**

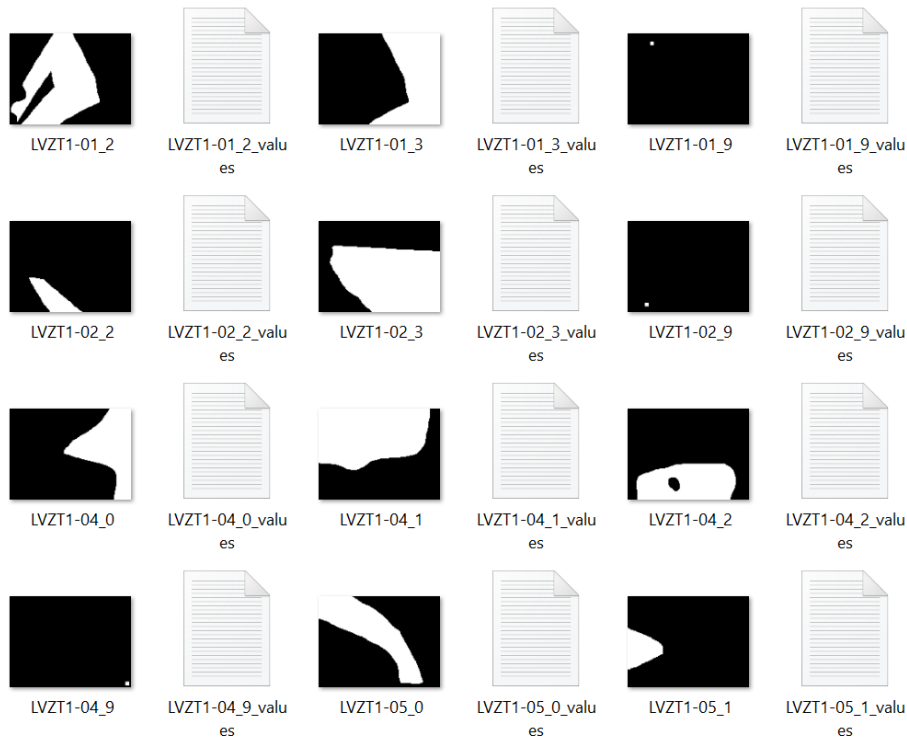
### **4.1 Sensoreiden analyysiohjelman rakenne**

Analyysiohjelma luotiin aikaisemmin tehtyyn Qt creator -ohjelman projektiin, jossa oli valmiiksi luotu yhteys kameroihin ja niiden sensoreihin. Yhteys toimii siten, että kamera ottaa kuvaa ja lähettää sen kuvan ohjelmalle. Ohjelma ottaa vastaan kuvan aina, kun se havaitsee sen saapuvaksi, minkä jälkeen se siirtää kuvan eteenpäin käsiteltäväksi. Ohjelma myös näyttää vastaanotetun kuvan käyttöliittymäosuudessa. Kameroilta saapuvat kuvat eivät välttämättä aina saavu samaan tahtiin tai samassa järjestyksessä, mikä on hyvä ottaa huomioon useiden eri kameroiden kuvia käsitellessä.

Kuvat lähetetään analysointivaiheeseen, jonka tarkoitus on eritellä kuvista ihmiset uudeksi kuvaksi ja jättää kaikki muu kuvassa oleva tyhjäksi.

Sensoreiden kattamat alueet ovat laajoja, ja niissä on erilaisia kohtia, joissa ihmisen tunnistaminen olisi hyvä käsitellä erilaisilla analyyseillä, joten tarpeelliseksi nähtiin jakaa kameroiden kuvat pienempiin käsiteltäviin alueisiin. Pienemmäksi rajatulla alueella voidaan käyttää alueeseen sopivampaa analyysiä, mikä antaa analyysille enemmän tarkkuutta sekä mahdollistaa useamman analyysin käytön saman kameran kuvassa.

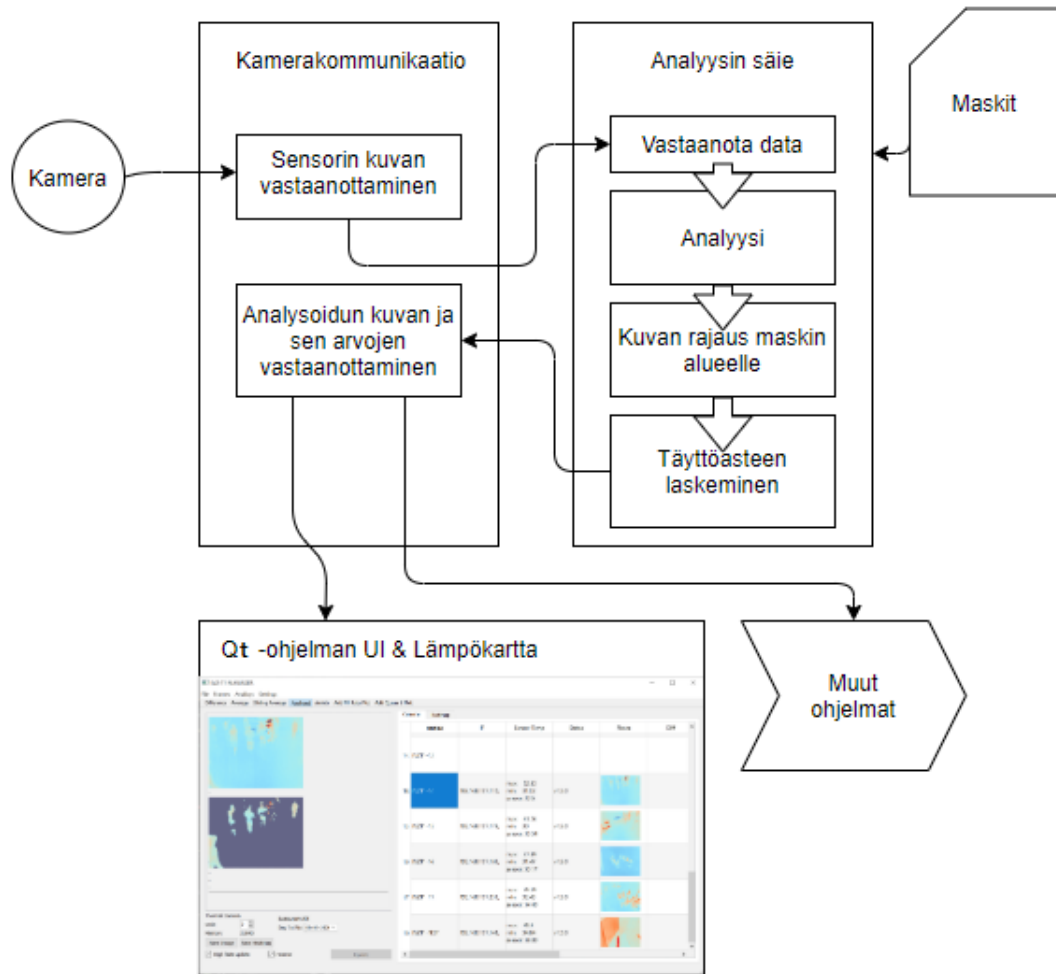
Sovellukseen päätettiin tehdä maskeja, jotka ovat mustavalkoisia, jossa valkoinen alue määrittää alueen, jota käsitellään. Jokainen maski on kameran kuvan kokoinen, eli 160 x 120 pikselin kokoinen kuva, joka muokataan ohjelman ulkopuolella kuvankäsittelyohjelmassa halutuksi ja luetaan ohjelman käynnistyessä boolean arrayksi. Maskeja muokatessa on hyvä käyttää ravintolasta sensoreilla otettuja kuvia sekä kuvia, joissa näkyy ihmisten liikeratoja, jotta maskin alueen saa rajattua tarkasti alueeseen sopivaksi. Jokaiselle maskille annetaan myös tekstitiedosto, joka luetaan samalla ohjelman käynnistyessä. Siinä annetaan kyseisen maskin tietoja, kuten analyysitapa, jota käytetään kyseiselle alueelle. Maskit on kansiossa nimetty koneelle luettavaan muotoon. Maskeista valkoinen alue luetaan analyysiin alueena, jota halutaan hyödyntää, välittämättä siitä, mitä mustalla alueella tapahtuu (kuva 11).



Kuva 11 Maskien tiedostonäkymä

Maskien avulla voidaan havainnollistavissa toteutuksissa, kuten lämpökartassa tai 3D-mallin ylilennossa, asettaa ihmiset maskien mukaisille alueille rajaten alueita pienempiin, tarkempiin osiin.

Itse analyysi on sijoitettu ohjelman sisällä suoritusraskautensa vuoksi omaan säikeeseen. Erillisessä säikeessä työstäminen on hieman hankalampaa, koska kaikki tarvittava tieto pitää lähettää säikeelle ja sieltä takaisin ohjelmaan (kuva 12).



Kuva 12 Analyysiohjelman rakenne.

Analyysi suoritetaan kamerakohtaisesti aina uuden kuvan osalta, noin yhdeksän kertaa sekunnissa, ja suoritettava ohjelma pitää sisällään kaiken tarvitsemansa tiedon analyysiin liittyen säilössä. Analyysissä käydään läpi kaikki pikselit kuvassa vuoron perään ja tehdään tarvittavat muutokset jokaisen pikselin kohdalla. Mahdollista on käydä pikselit useaan kertaan läpi yhden analyysikerran aikana, mutta on syytä pitää mielessä sen tuoma rasitus ohjelmalle.

Analyysissä päätarkoitus on erottaa ihmiset taustasta, jolloin lopputuloksena on uusi kuva, jossa näkyy vain ihmiset. Erilaisilla alueilla on omat analyysinsä, jotka keskittyvät ihmisen tunnistamiseen kyseenlaisella alueella. Kaikki analyysit tehdään silti samassa analyysiohjelmassa, ja pois suljetaan kaikki analyysitavat, joille ei ole annettu maskia.

Kun ihmiset on eroteltu analyyseissä, käydään läpi maskien alueet, joista luodaan uudet kuvat, joissa maskin ulkopuolinen alue tyhjennetään kuvasta, jolloin jäljelle jää maskin rajaama alue analyysin lopputuloksella.

Tässä vaiheessa saatu alue muutetaan numeroarvoksi, ja prosentuaalinen arvo on paras lähetettäväksi eteenpäin. Ensin on saatava numeroarvo laskemalla kuvan pikseleiden summa. Numeroarvoa seurataan ohjelman ollessa käynnissä, minkä jälkeen sen prosentuaalisen täyteisyyden voi päätellä seuraamalla sen antamia arvoja. Maskin tekstitiedostossa syötetään sisään arvo, joka on arviolta maskin antaman alueen numeroarvo, kun se on täynnä. Tähän arvoon verratessa ohjelma voi lähettää eteenpäin arvioitun prosenttimäärän sen alueen täyteisyydestä.

Saatu data lähetetään eteenpäin ohjelman sisällä käytettäviin ohjelmiin, kuten lämpökarttaan. Data myös lähetetään web-API-yhteydellä JSON-tiedoston muodossa ohjelmille, jotka ovat analyysiohjelman ulkopuolella.

#### 4.2 Ihmisen tunnistamiseen käytettävät analyysit

Analyysejä varten on hyvä pohjustaa muutamia yleishyödyllisiä työkaluja. Monia näitä työkaluja tarkastelemalla voi jo saada hieman käsitystä ongelmatilanteista ennen itse analyysin tekemistä. Nämä työkalut päivitetään aina analyysifunktion alussa, jotta itse alueiden analyysit voivat hyödyntää niitä.

##### Viimeisten kuvien säilyttäminen

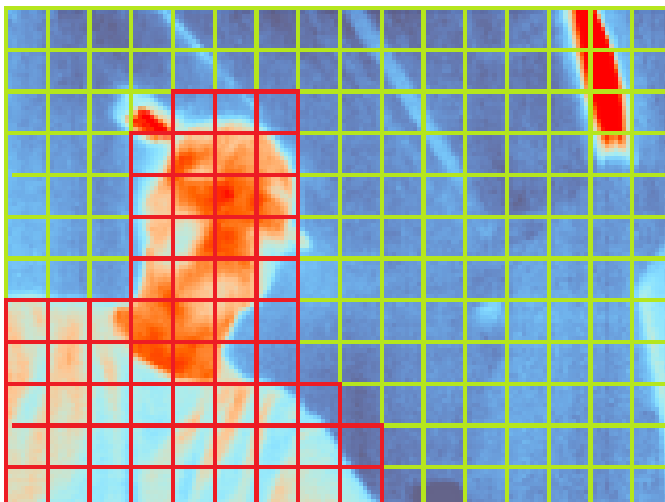
Hyödylliseksi liikkeen tunnistamista varten nähtiin ylläpitää 20 viimeisintä kuvaa. Uuden kuvan saadessaan ohjelma siirtää kuvia arrayn sisällä, poistaa vanhimman kuvan ja siirtää uusimman kuvan arrayn kärkeen. Näitä kuvia käyttäen voi verrata muutaman sekunnin sisään tapahtuneita liikkeitä tai poistaa kohinaa keskiarvottamalla kyseisiä kuvia.

## Pitkä keskiarvo

20 kuvan keskiarvon mukaiseen tapaan tehtiin analyysitapa myös pidemmän ajan keskiarvoa pitävän kuvan tilanteisiin, joissa tahdotaan tarkistaa, onko sen hetken kuvassa jotain radikaalisti poikkeavaa siihen, mitä sensori tavallisesti näkisi. Samantapainen työkalu kuin 20 viimeisen kuvan ylläpitämiseen tehtiin, mutta siihen lisätään uusi arvo 20 suorituskerran välein ottamalla keskiarvon 20 viimeisintä pitävästä arraysta. Se lisätään 100 arvoa sisältävään arrayhyn, josta otetaan keskiarvo käyttöön.

## Pohjakuva

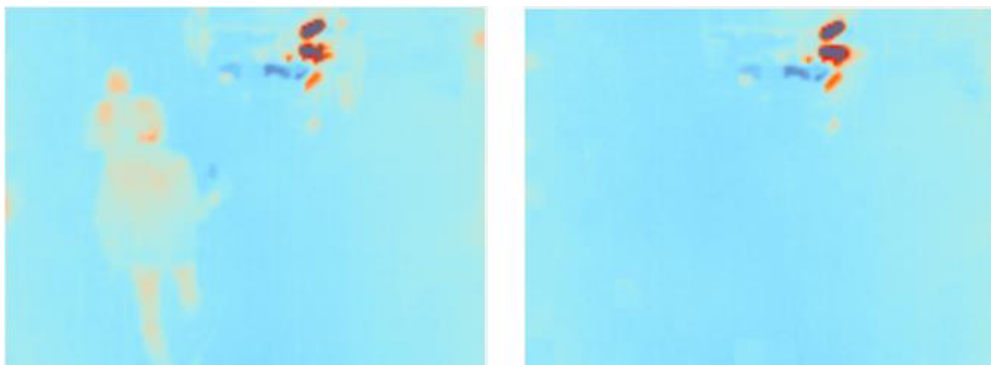
Aikaisemmassa projektissa hyväksi todettiin koko ajan päivittyvän pohjakuvan tekeminen. Pohjakuvan tarkoitus on pyrkiä olemaan kuva tyhjästä tilasta, josta on helppo nähdä senhetkistä kuvaa vertaamalla, mikä on erilaista, kuin sen kuuluisi olla. Pohjakuva voisi olla ravintolan tyhjänä ollessa otettu kuva, mutta päivisin ravintolan lämpötila muuttuu huomattavasti, minkä vuoksi siihen ei voisi verrata. Koko ajan päivittyvän pohjakuvan periaate on päivittää kuvaa aina, kun siinä ei ole havaittu liikettä tiettyyn aikaan mennessä. Ruuhka-aikana ravintolassa on niin paljon liikettä, että tyhjänä olevaa hetkeä on vaikea saada, jolloin pohjakuva saattaa olla päivittymättä pitkiä aikoja, mikä vääristää analyysiä. Tämän vuoksi kuva jaetaan pienempiin alueisiin, joissa tapahtuvaa liikettä tarkastellaan erikseen. Jos tietyssä osassa kuvaa on ihmisiä, näitä alueita ei silloin päivitetä, mutta loput alueista voivat silti päivittää itseään, jos niillä alueilla ei havaita liikettä (kuva 13).



Kuva 13 Vertailukuvaa rakentavan analyysin näkymä muokattu ihmiselle paremmin hahmotettavaksi.

Tarkasteltavien alueiden kooksi päätettiin 10 x 10 pikseliä, jolloin kuva koostuu 16 x 12 -kokoisesta ruudukosta. Saatu data on 160 leveä ja 120 korkea eli 19 200 -kokoinen yksiulotteinen array, joka täytyy ruudukkoa varten muuttaa kaksiulotteiseksi.

Aluetta tarkastellessa halutaan kaksi asiaa pitää mielessä: kuinka paljon eroavaisuutta pikselin arvoissa saa olla, jotta niissä todetaan olevan liikettä, ja kuinka monta havaintoa liikkeestä kuvassa saa olla, jotta sen voi päivittää. Sensorin antamassa kuvassa on aina pientä kohinaa, jota ei haluta laskea ihmisen aiheuttamaksi liikkeeksi. Jokaisen alueen pikselin sisällä käydään läpi 20 viimeisintä kuvaa, ja jokaisen pikselin kohdalla verrataan, eroavatko 20 viimeisen kuvan minimi- ja maksimiarvo toisistaan liikaa. Ohjelma päättää tätä tietoa hyödyntäen, päivitetäänkö ruutu vai käytetäänkö pohjakuvan aiempaa kuvaa (kuva 14).

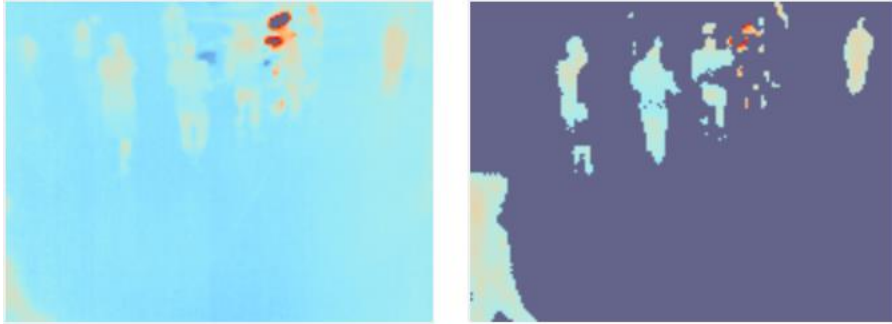


Kuva 14 Vertailukuvan kokeilua käytännössä. Vasemmassa kuvassa liikkuu ihmisiä, mutta oikeanpuoleisessa kuvassa näkyy vertailukuva, jossa tila näkyy tyhjänä. Kuvat on otettu samaan aikaan.

### Kävelevän ihmisen analyysi

Kävelevään ihmiseen suunnattu analyysi on melko yksinkertainen. Siinä verrataan sensorilta vastaanotettua kuvaa pohjakuvaan. Analyysissä tahdotaan valita pikselit, joissa liikettä on tapahtunut, ja siirtää niiden pikseleiden arvot uuteen kuvaan. Koska tyhjässä alueessa on verrattaessa pientä kohinaa, täytyy sille antaa pieni kynnsarvo, joka päättää, onko pikseleiden ero kohinaa vai ihmisen aiheuttamaa liikettä. Jos pikseleiden erotus on yli kynnsarvon, voidaan olettaa, että pikselin kohdalla on ihminen. Silloin kyseinen pikseli lisätään analysoituun kuvaan arvolla, joka on etukäteen päätetty, sillä ihmisen lämpötila ei ole täyttöasteen määrittävä tekijä. Annettu arvo voi olla mikä vain, mutta toimivuuden tarkastelun vuoksi 100 on hyvä arvo näkyvyyden ja selkeyden vuoksi.

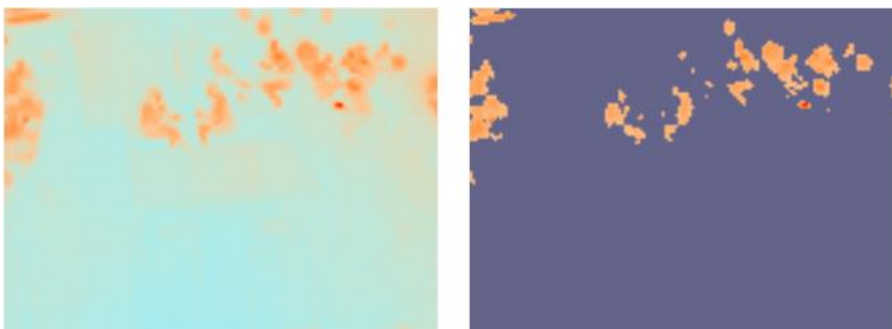
Kävelevien ihmisten analyysi on hyvä alueille, jossa halutaan tunnistaa alueen sisällä kävelevien ja seisovien ihmisten määrä (kuva 15). Tämän analyysitavan heikkous on kuitenkin tilanteet, jossa vertailukuvan käyttö ei ole luotettavaa, kuten alueilla, joissa ihmiset istuvat pitkiä aikoja.



Kuva 15 Kävelevien ihmisten analyysi. Vasemmalla puolella on kameralta vastaanotettu kuva sekä oikealla puolella analysoitu kuva. (Kuva on otettu ennen kuin ihmisten arvo muokattiin lämpötilasta riippumattomaksi. Muokkauksen jälkeen uutta kuvaa ei saatu ravintolan väliaikaisen sulkeutumisen vuoksi.)

### Istuvan ihmisen analyysi

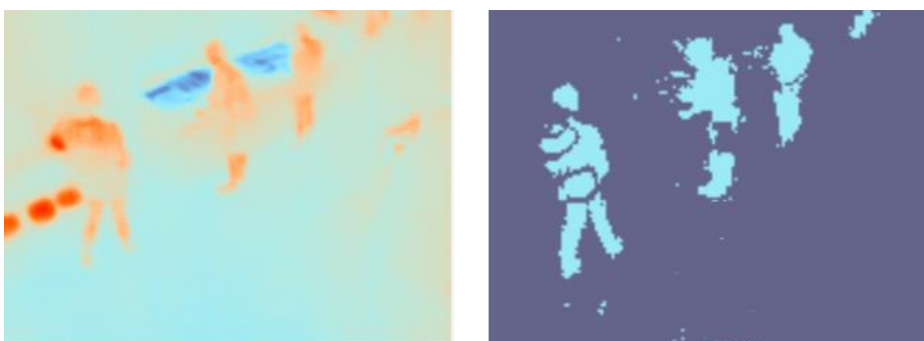
Istuvia ihmisiä analysoidessa huomattiin, että tavallinen, käveleviin ihmisiin käytetty analyysi ei toiminut. Syyksi havaittiin pohjakuva, joka havaitsi monet istuvat ihmiset liikkumattomiksi taustaobjekteiksi. Liike niiden kohdalla on niin pientä, että pohjakuvan arvoja ei pystynyt vähentämään, jotta pohjakuvan päivitys toimisi ja havaitsisi istuvat ihmiset. Tästä syystä jouduttiin kehittämään istuvia ihmisiä varten oma analyysi, joka ei ole liikkeeseen pohjautuva. Sen vuoksi tehtiin analyysi, joka pohjautuu kuvan keskilämpötilaan (kuva 16). Koska analyysi käyttää maskeja, se voi ottaa niiden avulla alueelta pois kaikki paikallaan pysyvät kuumat esineet, jotka saatettaisiin tunnistaa ihmisiksi, kuten televisiot tai lamput. Suorituskyvyn parantamiseksi analyysi laskee pikseleiden keskilämpötilan edellisellä analyysikerralla, jotta pikseleitä ei tarvitse käydä useaan kertaan läpi.



Kuva 16 Istuvien ihmisten analyysi. Oikeanpuoleinen kuva on analysoitu kuva.

## Kuuman alueen analysointi

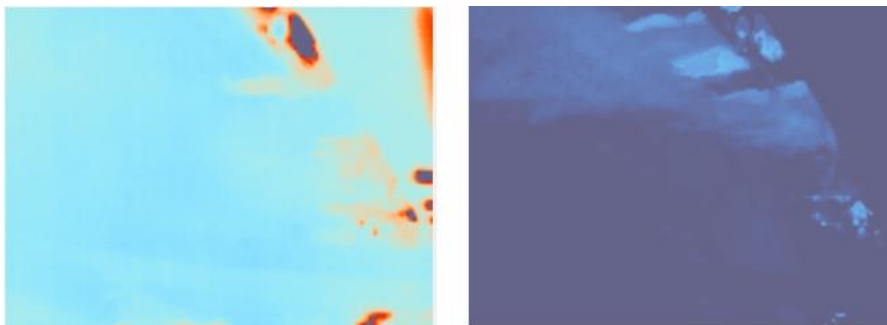
Kuumille alueille, kuten ruoanottoalueille, tehtiin oma analyysi, joka tunnistaa ihmiset liikkeen perusteella. Analyysi on melko samankaltainen kuin käveleville ihmisille tehty analyysi, mutta se tunnistaa ihmiset myös pohjakuvaan verrattuna alemmista lämpötiloista (kuva 17). Kävelevien ihmisten analyysissä ei haluta tunnistaa ihmisiä pohjakuvaa alemmista lämpötiloista, sillä normaalilämpöisellä alueella ihminen on aina kuumempi kuin tausta.



Kuva 17 Kuumalle alueelle suunniteltu analyysi. Oikeanpuoleinen kuva on analysoitu kuva.

## Nopean kävelyn analyysi

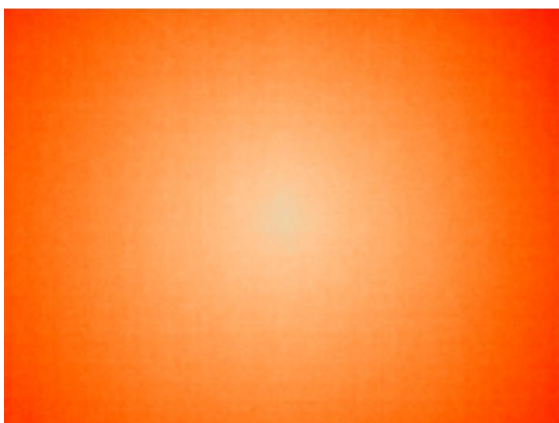
Käytävillä liikkuvia ihmisiä tarkastellessa havaittiin niiden analyysiltä saatujen arvojen vaihtelevan nopeasti. Koska käytävällä kävelevät ihmiset liikkuvat nopeasti ja näkyvät kuvassa vain pienen hetken, kannattaa niille tehdä myös oma analyysinsä. Tämän analyysin tulee tarkastella ohi meneviä ihmisiä pidemmällä aikavälillä ja havainnoida yleistä ohikulkijamäärää. Analyysi käyttää hyväkseen kuvia suuremmalta aikaväliltä, jotta se havainnoi ohi kulkevien ihmisten keskiarvoista määrää (kuva 18). Ihmiset näkyvät kamerassa vain muutaman sekunnin, joten pienen hetken analyysin arvo heittelisi suuresti. Analyysissä on myös huomioitava seisovat ihmiset, sillä analyysi ei tiedä, käveleekö kyseisellä alueella paljon ihmisiä vai liikkuuko siinä yksi ihminen pidemmän aikaa.



Kuva 18 Nopean kävelyn analyysi. Oikeanpuoleinen kuva on analysoitu kuva.

### Kalibroinnin huomioiminen ja ratkaisu

Sensoreiden ympärivuorokautiseen ylläpitämiseen kuuluu niiden kalibrointi. Kalibroinnissa sensorin kuva häviää muutamaksi sekunniksi ja kuvan arvot nousevat huomattavasti sen jälkeen (kuva 19). Kalibrointia ennen ollut kuva ei silloin vastaa kalibroinnin jälkeistä kuvaa, mikä aiheuttaa analyysille ongelmia. Jos kalibroinnin jälkeen verrataan senhetkistä kuvaa kalibrointia ennen tehtyyn pohjakuvaan, analyysi näkee kaiken olevan muuttunut, joten saatu tulos ei ole käyttökelpoinen. Kalibroinnista vastaa aiemman projektin ohjelma, joka kalibroi kaikki sensorit samanaikaisesti joka kymmenes minuutti. Sensorit lähettävät kuvan mukana kalibroinnin tilasta signaalin, jota voi käyttää hyväksi analyysien reagoimiseksi siihen.



Kuva 19 Sensorin näkemä kuva kalibroinnin aikana.

Ratkaisuksi kalibrointiin päätettiin tehdä tapa, jossa ohjelma ottaa kuvan ennen kalibrointia ja kalibroinnin jälkeen ja vertaa, paljonko yleisesti arvot ovat muuttuneet. Jokaiselle sensorille tehtiin oma pieni alueen rajaavan maski, josta tiedetään, ettei siinä esiinny liikettä, kuten katon harjanne tai korkea kohta seinästä. Tämän maskin aluetta käyttämällä voidaan luoda kerroin, kuinka paljon kuva on muuttunut kalibroinnin aikana. Tätä kerrointa voidaan käyttää verrattaessa pohjakuvaan, ja sitä päivitetään pitkän ajan kalibroinnin jälkeen, kunnes analyysi on saanut itsensä korjattua. Kalibrointia hoitava ohjelman osuus koostuu kolmesta osasta, jotka ajastetaan kalibroinnin alkaessa:

Aikana, jolloin kalibrointi on käynnissä, ohjelma ei suorita analyysiä vaan odottaa kalibroinnin menevän ohi. Tänä aikana ohjelma ottaa kuvan kalibrointia edeltävästä ajasta käyttäen hyväksi viimeisiä säilytettyjä kuvia, joista se tallentaa yhden vertailukohteeksi.

Kalibroinnin päätyttyä ohjelma siirtyy aktiivisesti päivittämään kerrointa. Ohjelma ottaa maskin rajaaman alueen molemmista kuvista ja vertaa niitä keskenään. Ohjelma suorittaa tämän aina ennen analyysiä, jotta kerroin on oikea sen hetken kuvien analysointia varten.

Kun asetettu ajastin lopettaa aktiivisen kertoimen laskemisen, siirytään vaiheeseen, jossa ohjelma laskee sen hetken kertoimen ja lineaarisesti laskee sitä, kunnes kerroin on taas 1. Tämä vaihe toimii myös ajastimella, ja kertoimen laskemisen tahti määräytyy sen hetken kertoimen ja halutun kertoimen eron jakamisella sen suoritettavalle ajalle.

Kerrointa käytetään itse analyysissä tarvittavissa kohdissa, kuten vertailussa vanhaan kuvaan kertomalla vanhan kuvan pikseliarvo. Resurssien säästämiseksi kertolaskua ei suoriteta, jos kerroin on 1.

#### 4.3 Datan siirtäminen eteenpäin

Jotta analyysiohjelman dataa voidaan hyödyntää, sitä täytyy lähettää eteenpäin sitä käyttäville ohjelmille. Koska lämpökartta rakennettiin saman ohjelman sisään, sille lähettäminen onnistuu helposti kommunikoimalla saman ohjelman sisällä.

Ylilento, joka on tehty analyysiohjelman ulkopuolella, tarvitsee datan itselleen jollakin muulla keinolla. Tarpeelliseksi nähtiin, että ylilennon voisi suorittaa muualla kuin toimistossa olevalla, kameroihin yhteydessä olevalla tietokoneella. Analyysiohjelma on käynnissä toimistossa, josta se lähettää JSON-tiedoston web-API:a käyttämällä. Tämän JSON-tiedoston voi vastaanottaa ylilentoa suorittavalla Unity-ohjelmalla tai mahdollisesti jatkossa kehitettävillä muilla ohjelmilla. JSON-tiedoston rakenne listaa jokaisen kameran, ja sen maskien täyttöasteet väliltä 0–100 (esimerkkikoodi 1). Kaikkien kameroiden tiedot lähetetään ne sisältävänä arrayna.

```
[
  {
    "camera": 1,
    "mask_0": 35,
    "mask_1": 0,
    "mask_2": 0,
    "mask_3": 80
  },
  ...
]
```

Esimerkkikoodi 1. JSON-tiedoston rakenne.

Tiedoston voi vastaanottaessa purkaa vertaamalla haluttua kameran numeroa tiedoston kameran numeroihin. Jos kameran numero vastaa tiedoston kameran numeroa, voi maskien antamat tulokset ottaa käyttöön.

## 5 Lämpökartan ja 3D-ympäristön toteutus

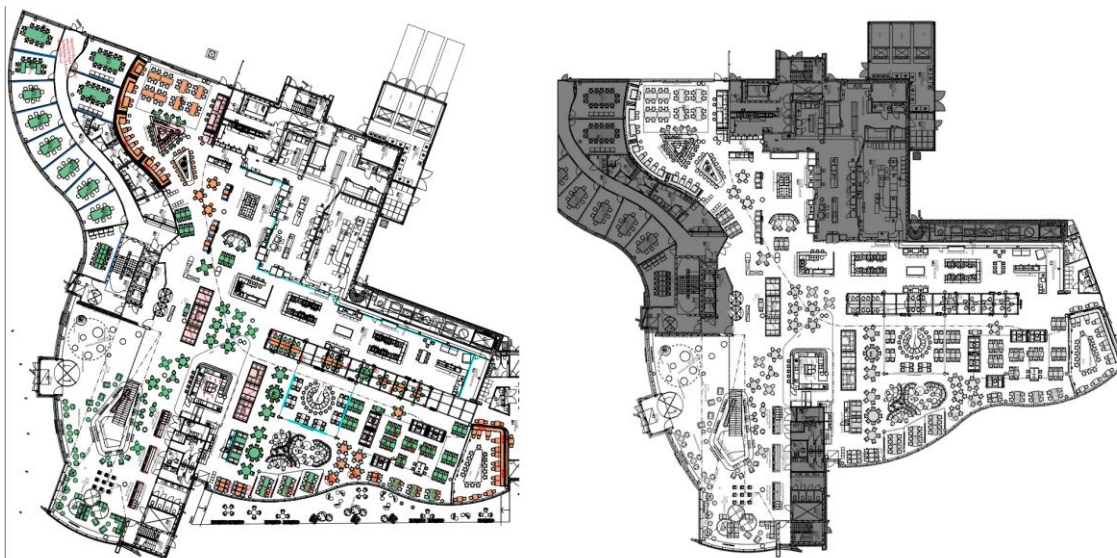
### 5.1 Ravintolan pohjakuvasta tehty lämpökartta

Lämpökartta on havainnollistamiseen erittäin hyvä työkalu, koska se on katsojalle monesti havainnollistava ja helposti lähestyttävä esitystapa. Lämpökarttoja käytetään monesti kuvaamaan alueella tapahtuvien asioiden tiheyttä, ja näihin voi kuulua esimerkiksi ihmisten sijainnit eri alueilla. Monet internetsivustot ja mobiiliohjelmat hyödyntävät lämpökarttoja havainnollistamaan ihmisten painallusten sijainteja ohjelmissaan [13].

Insinööriyöprojektissa lämpökartan tarkoitus oli saada katsojalle hyvä kokonaiskuva ravintolassa olevista ihmisistä ja siitä, miten ne jakautuvat ravintolan eri alueille. Lämpökartalla voi havaita ravintolassa ilmeneviä ongelmakohtia, kuten pitkät jonot tai täydet kulkuväylät. Lämpökartan toteutuksen tavoitteena oli kattaa koko ravintolan alue käyttäen eri analyysien maskien rajaamia alueita (Sensoreiden analyysiohjelman rakenne 4.1). Maskien rajaamat alueet haetaan pohjakuvaan nähden oikeisiin paikkoihinsa. Alueet, joita ravintolan sensorit eivät näe, arvioidaan käyttäen hyväksi lähellä olevia alueita, jotta lämpökartta näyttää kokonaiselta.

Ensin Qt-ohjelmaan luotiin uusi välilehti lämpökartalle. Välilehteen luotiin 1000 x 1000 pikselin kokoinen alue, jolle ohjelma pystyy piirtämään käyttäen QPainter-kirjastoa [19]. Alueen kooksi valittiin 1000 x 1000 pikseliä, koska se oli lähellä kartan alkuperäistä kokoa, se on lämpökartan tarkkuudeksi sopiva sekä myöhemmin lisättävien alueiden koordinaatit ovat yksinkertaisempia hahmottaa siinä.

Lämpökartta tarvitsee taustaksensa pohjakuvan, johon alueet myöhemmin lisätään. Alkuperäinen kartta oli tarkoitukseen huono, koska siinä on paljon erilaisia värejä, jotka saattavat sotkeutua lämpökartan käyttämiin väreihin, sekä paljon pieniä tekstejä ja merkintöjä, joita lämpökarttaan ei tarvita. Karttakuva siistittiin asettamalla se parempaan asentoon, värjäämällä se mustavalkoiseksi, muuttamalla oikeankokoiseksi ja siitä otettiin kaikki tarpeeton pois (kuva 20). Käytetyn alueen ulkopuoliset alueet on hyvä rajata pois katsojan näkyvistä esimerkiksi värjäämällä ne tummaksi.



Kuva 20 Karttakuva ennen muokkausta ja sen jälkeen. Kuva on muokattu yksinkertaisemmaksi lämpökarttaa varten.

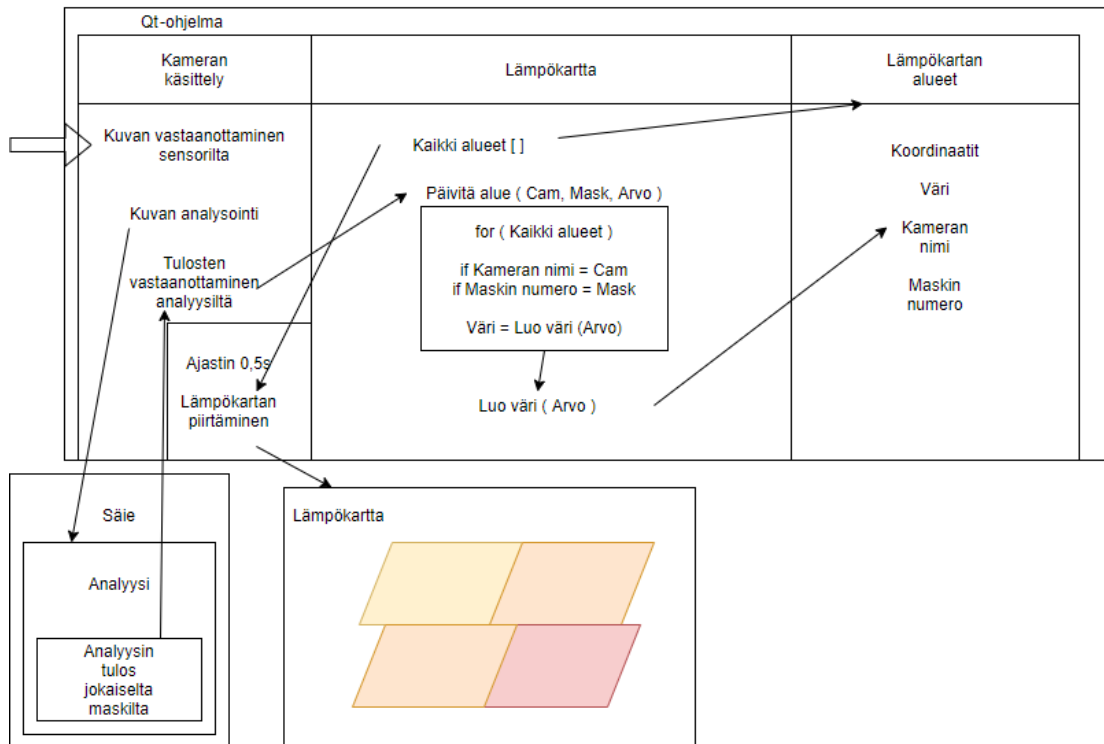
Lämpökartta koostuu monista pienistä alueista, joita värjäämällä luodaan kartan haluttujen alueiden täyttämä kokonaisuus. Lämpökartan alueelle luodaan ohjelmistoluokka, joita lisätään lämpökartaan jokaisen analyysin kohdalle. Lämpökartan alueella on alueen koordinaatit, jotta se osataan asettaa oikeaan kohtaan lämpökartassa, väri sen piirtämistä varten, ja kameran nimi sekä maskin numero, jotta alueelle saadaan oikeat tiedot. Alue on monikulmio, jotta alueet saadaan asetettua hyvin toisiinsa kiinni ja jotta lämpökartaan jäisi mahdollisimman vähän tyhjiä kohtia. Koordinaatteja käsitellessä on niiden määrästä vaikeaa tehdä dynaamista, joten ohjelmassa mahdollistettiin neljä- ja kuusikulmaiset alueet.

Lämpökartan alueella on koordinaattien lisäksi väri, jota päivitetään analyysin saadessa uusia arvoja. Väri määritellään erillisessä funktiossa, kun sisään syötetään prosentiarvo. Väriin generoinnissa on monta vaihtoehtoa, mutta ohjelmaan valittiin kymmenen prosentin välein muuttuva väriskaala, jolloin erilaisia värejä on 10. Väriskaalaa on helppo muokata halutessaan, ja tarkkuus on riittävä käyttötarkoitusta varten. Värien on hyvä indikoida katsojalle helposti, missä alueella ihmisiä on paljon ja missä vähän.

Alueiden syöttämisen voi tehdä itse ohjelman sisällä, tai alueet voidaan syöttää erilliselle tiedonvälitykseen suunnitellulle tiedostolle. Ohjelmassa käytetään JSON-tiedostoa, jolle

syötetään kaikki lämpökartan alueet ja niiden tarvitsemat tiedot. Tämä tehdään, jotta alueiden muokkaus onnistuu tarvittaessa, vaikka ohjelman muokkaus ei olisi mahdollista. Ohjelma lukee käynnistyessään kyseisen tiedoston ja lisää sieltä kaikki alueet ohjelman käsiteltäväksi arrayksi. On hyvä pitää mielessä, että tiedoston järjestys on myös alueiden piirtojärjestys, jolloin alempana tiedostossa olevat alueet piirtyvät päällimmäiseksi. Alueiden koordinaattien saaminen helpottuu, kun avaa pohjakuvan kuvankäsittelyohjelmassa ja liikuttaa hiiren halutun pikselin kohdalle. Yleisesti kuvankäsittelyohjelmat antavat kyseisen pikselin x- ja y-koordinaatit vasemmasta yläkulmasta katsoen.

Alueiden värien päivityksen hallinnoi kameroiden kanssa keskusteleva ohjelmistoluokka. Kun sensori lähettää uuden kuvan ohjelmalle, se analysoidaan ensin. Analyysin jälkeen jokaisen analyysialueen arvot arvioidaan prosenttimääräksi, jotka lähetetään lämpökartalle. Lämpökartta vastaanottaa prosenttiarvon, sen lähettämän kameran nimen ja maskin numeron. Lämpökartta käy alueita ylläpitävän arrayn läpi ja jokaisen alueen kohdalla tarkistaa, ovatko kameran nimi ja maskin numero samat, kuin mitkä on alueelle annettu. Kaikki alueet on käytävä läpi, sillä ohjelmassa saatetaan käyttää saman analyysin kuvaa usealle alueelle lämpökartassa. Jos kameran nimi ja maskin numero ovat verrattaessa samat, haetaan kyseiselle alueelle uusi väri saadun prosenttiarvon avulla (kuva 21).



Kuva 21 Lämpökarttaohjelman rakenne havainnollistettuna.

Kameroiden kanssa keskusteleva luokka ei käy sensoreita järjestyksessä läpi, vaan vastaanottaa arvoja silloin, kun niitä on tarjolla, joten ohjelma ei voi piirtää lämpökarttaa järjestyksessä niiden pohjalta. Ohjelmaan asetettiin siksi ajastin, joka piirtää lämpökartan tietyin aikavälein, tässä tapauksessa 0,5 sekunnin välein. Piirrettäessä lämpökartta hakee arrayn, jossa alueita hallinnoidaan, ja käy arrayn läpi piirtäen jokaisen alueen kartalle käyttäen QPainter-kirjaston drawPolygon-funktiota. Alueiden piirtämisen jälkeen päälle asetetaan pohjakuva käyttäen läpinäkyvyyttä 0,3 (kuva 22).



Kuva 22 Valmis lämpökartta. (Kuvaan ei saatu lämpökarttaa ravintolan ollessa täysi, koska ravintola oli väliaikaisesti suljettuna projektin loppuosuuden ajan. Kuvassa on esitetty, miltä muutama alue näyttäisi ollessaan täynnä.)

Lämpökartta laitettiin analyysiä suorittavan ohjelman käyttöliittymään omaan välilehtensä. Käyttöliittymässä on lämpökartan lisäksi ohjelma kameroiden tarkastelua varten.

## 5.2 Ravintolamallissa tehty 3D-ylilento

Ylilennon tarkoitus on saada analysoitu data esitettyä ihmiselle helposti lähestyttävällä tavalla. Tarkoitus on hyödyntää käytössä olevaa 3D-mallia siten, että sen sisälle voi luoda ihmismalleja analyysissä tunnistetuille paikoilleen. Koska analyysi käyttää maskeja rajatakseen kameran näkemää kuvaa, voi 3D-mallin sisällä asettaa ihmisiä kyseisille alueille. Koska kamerat eivät kata täysin jokaista paikkaa ravintolassa, täytyy myös luoda ihmisiä niille paikoille, joita kamera ei näe, hyödyntäen sen läheisiä tunnistettuja alueita. Kun ravintolamalli on täytetty ihmisillä, täytyy se esittää katsojalle helposti, jolloin ylilento kuljettaa katsojan pitkin ravintolaa katsomalla samalla tärkeimpiin paikkoihin.

Ravintolan 3D-mallia käyttäen pelimoottorin sisään piti luoda ympäristö, jossa ylilento tehdään. Malli oli väritön, osa sisätiloista oli puutteellisia ja monet pöydät olivat väärillä

paikoilla. Malli siistittiin värittämällä pinnat pelimoottorin sisällä tehdyillä väritysmateriaaleilla oikean ravintolan mukaisesti (kuva 23), ja pöydät asetettiin niiden oikeille paikoille. Puutteelliset tilat täytettiin kopioimalla pöytiä ja muita objekteja muualta 3D-mallin sisältä.



Kuva 23 Ravintolan 3D-malli ennen väritystä ja muokkausta ja sen jälkeen.

Ohjelmaan piti luoda ihmiset, joita sinne voi asettaa. Ihmismallien täytyy olla melko kevyitä käsiteltäväksi, sillä ravintolamalli on ennalta hyvin raskas sekä ihmisiä luodaan ja animoidaan sinne suuri määrä. Ihmismallien tulee myös näyttää hyvältä, sillä ohjelmasta tulee esiteltävä tuote, joten edustava ulkonäkö on suositeltavaa. Ohjelmaan ostettiin Unityn kaupasta ihmismallipaketti, joka nähtiin tarkoitukseen sopivaksi [20].

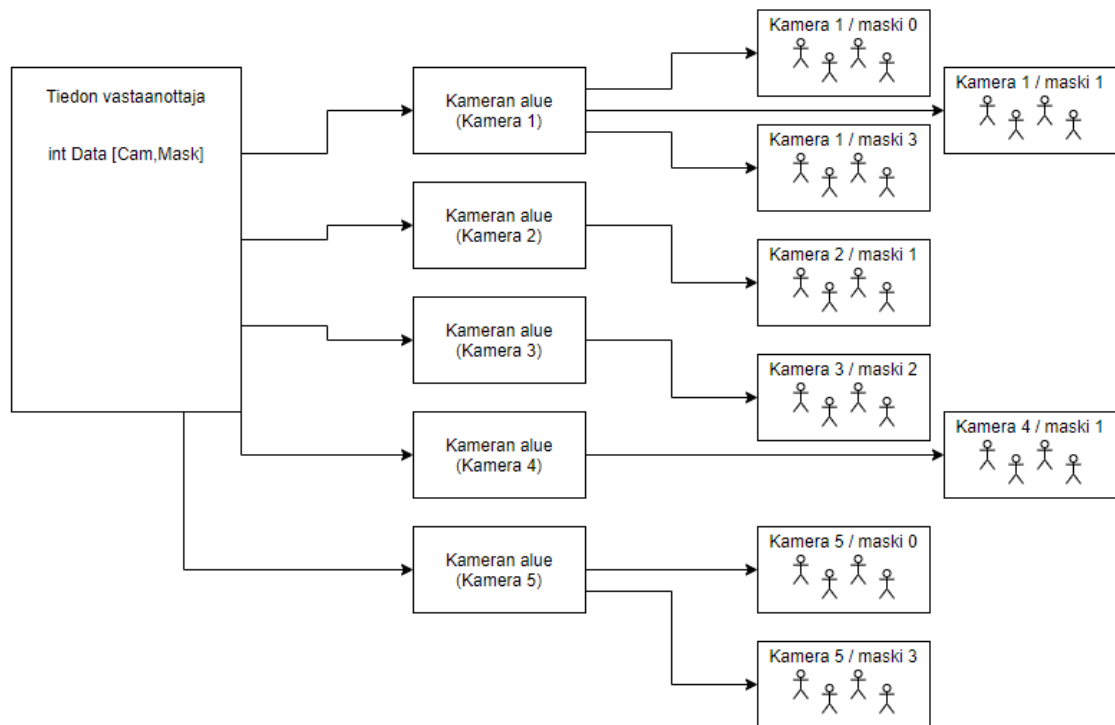
Ihmismalleilla oli oletuksena erilaisia animaatioita ja ulkonäköjä, joita käytettiin projektissa. Paketin mukana tuli pieni ohjelma, joka arpoo ihmisen sukupuolen ja asun, ja näin saadaan vaihtelevuutta ihmisten välille. Ihmisille tarvitaan kolme erilaista liiketyyppiä, joille annetaan omat animaationsa: kävelevä, seisova ja istuva (kuva 24). Kävelyn kohdalla ongelmaksi muodostui se, että siihen oli olemassa animaatio, mutta liikettä ei. Ihmismallille täytyi luoda liikettä käsittelevä ohjelma, joka liikuttaa objektia ja käynnistää animaation samaan aikaan. Kävelevä malli ei voi kävellä eteenpäin loputtomasti, eikä ravintolassa ole seinille asetettu erillisiä osumapintoja, joten kävelyn tulee olla pienen matkan edestakaista kävelyä. Kävely perustuu ajastimen mukaan liikuttamiseen ja kääntymiseen käyttäen kertoimena matkaa, joka ihmisen halutaan kävelevän. Seisovien ihmisten animointi on yksinkertaista, muutaman eri seisoma asennon välillä vaihtelua, mikä luo eloisuutta. Istuville ihmisille käytetään animaatiota, jossa ihmismalli istuu, ja toista animaatiota, jossa ihmismalli nostaa käden kasvojensa läheisyyteen, mikä luo syömistä muistuttavan liikkeen.



Kuva 24 Ravintolaan asetetut ihmiset niiden animaatioiden aikana. Vasemmalla puolella on kävelevä ihminen, keskellä seisova ja oikealla istuva.

Koska tarkoituksena on simuloida ravintolan oikeaa täyttöastetta, ihmisiä luodaan sinne analyysin mukaisesti, joten ihmisten mallien asettamisen sijaan ravintolaan asetetaan kohtia, joihin ihminen ilmestyy tarvittaessa. Tämä helpottaa ravintolan käsittelyä ohjelman ulkopuolella, koska ravintolamalli ei ole täynnä ihmisiä.

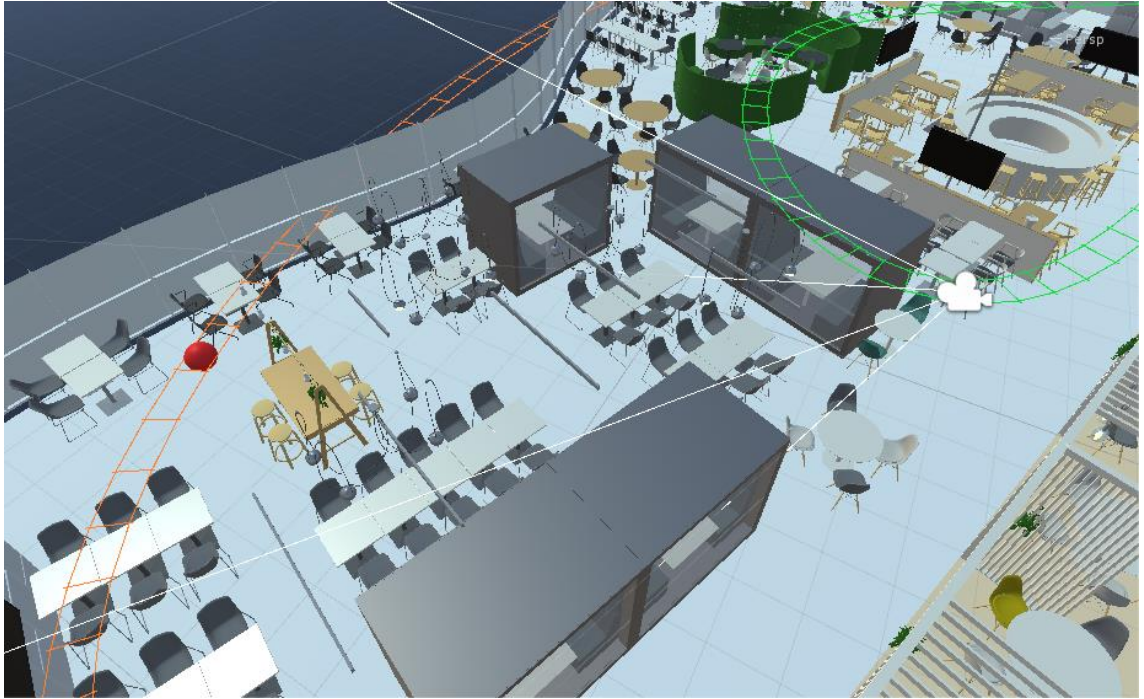
Jotta ihmiset voidaan luoda oikeille paikoilleen analyysin mukaan, täytyy 3D-mallin ravintola jaotella pienempiin osiin. Ravintola jaetaan kameroiden mukaan alueisiin, jotka jaetaan pienempiin alueisiin jokaisen kameran maskin mukaan (kuva 25). Kameroiden väliin jäävät alueet täytetään päättämällä niille kaksi alueen läheistä kameraa ja niiden maskia, mikä luo kahden kameran yhdistetyn alueen. Pienemmille alueille määrätään oma maski, jonka täyttöastetta alue tulee käyttämään, ja alue täytetään ihmisten paikoilla sen mukaan, kuinka monta ihmistä sillä alueella olisi ravintolan ollessa täynnä.



Kuva 25 Alueiden jakamisen rakenne.

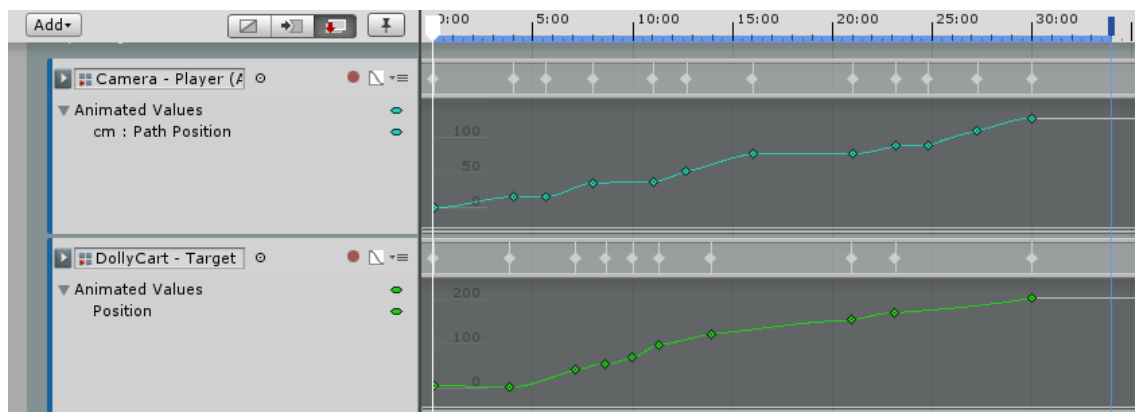
Ohjelman käynnistyessä ylimpänä hierarkiassa oleva koodi hakee analyysistä ajankoh-  
 taisen täyttöasteen ja tallentaa sen 2D-arrayn sisään helposti haettavaksi. Sen jälkeen  
 se lähettää signaalin jokaiselle pienelle alueelle, niin että uusi täyttöaste on haettavissa  
 käyttämällä omaa kameran ja maskin numeroa. Jokainen pieni alue hakee oman täyttö-  
 asteensa ja luo alueelleen sen verran ihmisiä, kuin täyttöaste määrää. Jos kyseessä on  
 kahta kameraa käyttävä välialue, hakee se täyttöasteen molemmille kameroille ja laskee  
 keskiarvon saamiensa täyttöasteiden mukaan. Kun kaikki ihmiset on luotu paikoilleen,  
 voidaan aloittaa ylilento.

Ylilentoa varten käytetään Unityn lisäosaa Cinemachinea [21]. Se on tarkoitettu erilai-  
 seen kameran ohjaukseen peleissä, kuten hahmojen seuraamiseen ym. Tarkoitus on  
 tehdä haluttu reitti, jota katsoja seuraa automaattisesti samalla katsoen haluttuihin suun-  
 tiin. Cinemachine antaa käyttöön kiskot, joihin kameran voi asettaa [22] sekä animoida  
 liikkumaan pisteiden välille. Ylilentoon tehdään myös toinen kisko, johon asetetaan ka-  
 meran seuraama kohde, jonka avulla kamera saadaan osoittamaan haluttuun suuntaan  
 kussakin ylilennon vaiheessa (kuva 26).



Kuva 26 Ylilennon suorittama reitti koostuu kameralle tehdyistä raiteista (vihreä), joilla oleva kamera katsoo kohteelle tehtyjä raiteita (oranssi) seuraavaa kohdetta. Ohjelman ollessa käynnissä punainen pallo, joka merkitsee katsottavaa kohdetta, on läpinäkyvä eikä näy ylilennossa.

Animoinnin kohdalla molemmat, kamera ja katsomisen kohde, siirretään 0 sekunnin kohdalla aikajanan [23] alkupisteeseen sekä halutun pituuden, tässä projektissa 30 sekunnin, kohdalla loppupisteeseen (kuva 27). Animaatiota muokataan siten, että kamera ja kohde liikkuvat eri kohdissa eri nopeuksilla, sillä ylilennossa kamera halutaan pysäyttää hetkeksi tärkeimpien kohteiden luokse, ja sen halutaan siirtyvän nopeasti seuraavaan kohteeseen. Kohteen liikkumisen muokkaus on myös tärkeää, koska se ei liiku aina kameralan edellä tai halutussa kohdassa, vaan saattaa mennä paljon kameraa edellä tai olla sen jäljessä, sillä kiskot ovat eripituiset ja -muotoiset.



Kuva 27 Animaatiota hallinnoiva käyrä. Ylempi käyrä kuvaa kameran liikettä, ja alempi käyrä kuvaa kuvattavan kohteen liikettä. Vaakataso kuvaa ajan kulumista ohjelman ollessa käynnissä, ja pystytaso kuvaa kameran tai kohteen sijaintia raiteilla.

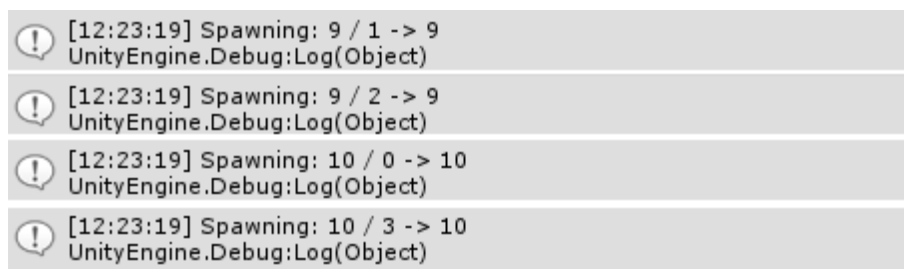
Ylilentoa tulee hallinnoida, joten ohjelman yläkulmaan luotiin pieni ohjauspaneeli, joka sisältää muutamia tarpeellisia komentoja. Ohjelman käynnistyessä ylilento ei lähde käyntiin, vaan ohjauspaneeli aukeaa ja kysyy, halutaanko ylilento suorittaa analyysin antamalla datalla vai testilennolla, joka ei vaadi yhteyttä ja täyttää ravintolan 50 %:n täyttöasteella. Ylilennon ollessa käynnissä ohjauspaneelin napit vaihtuvat ja tilalle tulee pysäytysnappi, joka pysäyttää ylilennon ja ihmisten liikkeen painettaessa, sekä uudelleen käynnistysnappi, joka aloittaa ylilento-ohjelman alusta. Testilennon mahdollisuus on hyvä jättää ohjelman käyttäjän valinnaksi, vaikka yhteys muodostuisi, sillä ohjelmaa saatetaan esitellä tai katsoa aikoina, jolloin ravintolassa ei ole ihmisiä.

Jotta analyysiltä saadaan data, ylilennon alkaessa tulee painaa yhteydenluomisnappia, joka lähettää GET-pyyynnön analyysin web-API-osoitteeseen. Jos yhteys muodostuu, ylilento vastaanottaa datan sekä purkaa ja käsittelee sen. Jos yhteyttä ei saa muodostettua, ohjelma kysyy, yritetäänkö yhteyden muodostamista uudestaan vai tehdäänkö yhteyttä vaatimaton testilento.

## 6 Analysointiohjelman tulokset ja tulevaisuuden kehittymismahdollisuudet

### 6.1 Tulokset ja niiden hyödyntäminen

Insinööriyöprojektin viimeisten kuukausien aikana oli Covid-19-viruksen aiheuttama poikkeustila, jonka vuoksi Nokian kampus sekä Sodexon ravintola olivat suljettuna, ja siksi projekti piti työstää loppuun etätyönä. Ravintolan sulkeminen teki ohjelman testaamisen mahdottomaksi, sillä ravintolassa ei ollut ihmisiä, joita ohjelma voisi havaita. Analyysin kalibrointia suoritettiin sekä viimeisiä muutoksia analyysiin tehtiin viimeisinä päivinä, kun kampuksella sallittiin olla ja työskennellä. Analyysin toimivuus taattiin viimeisten päivien testaamisen yhteydessä. Testauksen yhteydessä lämpökartta oli saatu valmiiksi, ja sen toimivuus nähtiin. Ylilennon valmistuessa täytyi tarkistaa datan lähetyksen toiminta analyysiohjelmasta ylilennon projektiin. Testaus suoritettiin lähettämällä testi-dataa toisella tietokoneella olevasta analyysiohjelmasta ja tarkistamalla, että jokainen kamera ylilennon projektissa osaa ottaa sille tarkoitetun datan vastaan. Analyysiohjelmassa jokaiselle kameralle lähetettiin sen maskien arvoiksi kyseisen kameran numero. Vianmääritysruudussa ohjelma kertoo kameran numeron, maskin numeron ja kyseisen maskin saaman arvon (kamera 9 / maski 1 -> arvo 9). Yhteyden luominen ja datan saaminen oikeisiin paikkoihin saatiin täten varmistettua (kuva 28).



Kuva 28 Analyysiohjelman ja ylilennon välisen datan testaus.

Ravintolan uudestaan auettua ja toimivuuden varmistuttua ohjelmaa aletaan käyttää Nokian ja Sodexon työntekijöiden keskuudessa. Lämpökartta aiotaan myös siirtää tulevaan MyCampus-sovellukseen.

## 6.2 Tulevaisuuden mahdollisuudet

Insinööriyön ohjelma toteutettiin tulevaisuutta ajatellen. Analyysiä voi hyödyntää monessa muussa tulevaisuuden projektissa, koska data on helposti saatavilla. Ylilentoon tehtyä uudistettua ja muokattua 3D-mallia Nokia voi hyödyntää tulevaisuuden projekteissa, kuten simuloitaessa 5G-yhteyksiä sisätilassa tai muuta sen tapaista. Realistinen, ihmisillä täytetty 3D-malli, joka vastaa kampuksella sijaitsevaa, vasta remontoitua tilaa, löytää varmasti uusia käyttötarkoituksia tulevaisuudessa.

Ylilentoprojektin tiedosto on helposti muokattavissa ja jatkettavissa Unityä käyttäen, mikä mahdollistaa tulevaisuuden muokkaukset, jos ylilento herättää mielenkiintoa. Yksi lisäys, josta oli puhe, on lisätä ylilento VR- eli virtuaalitodellisuusmahdollisuus. Nokialla on työntekijöilleen käytössä olevia VR-laitteita, joissa paikallisen ravintolan näkeminen olisi mukava lisäys.

Lämpökarttaan tulevaisuuden lisäyksiä voisi olla esimerkiksi tiedon tallennus, joka mahdollistaisi päivän mittaista lämpökartan tarkastelua. Tämä voisi kiinnostaa esimerkiksi Sodexoa, jos yrityksessä halutaan tarkastella päivän aikana tapahtuneita ihmismäärien muutoksia tai verrata eri päiviä toisiinsa.

Analyysiä ja sen toimivuutta voi hyödyntää muidenkin tilojen tarkastelussa. Koska tila oli vaikea, mutta sen tuomat ongelmat saatiin ratkaistua, on vastaavanlainen projekti mahdollista tehdä muihinkin tiloihin samoja menetelmiä käyttäen. Ravintoloiden lisäksi samanlaista analyysiä voisi hyödyntää esimerkiksi sairaaloissa, tapahtumissa, lentokentillä tai muissa turvallisuuden tai ihmismäärien tarkastelua vaativissa tilanteissa.

## 7 Yhteenveto

Insinööriyössä luotiin lämpökamera-analyysi uudella menetelmällä, joka mahdollistaa yksityiskohtaisempien tulosten saamisen. Lisäksi luotiin uudelle analyysille havainnollisia esitystapoja.

Analyysi onnistui halutusti: se antoi oman analyysiarvon ravintolan eri alueille. Eri alueisiin tehtiin aluetta tukeva analyysi, jotta tuloksesta saatiin mahdollisimman tarkka. Analyysin nopeus saatiin toimimaan halutusti sen jälkeen, kun analyysi siirrettiin omaan säikeeseensä.

Lämpökartan alueiden jakaminen onnistui hyvin: katsoja saa tarkan ja havainnollisen kuvan ravintolan ihmismassojen kokonaisuudesta. Lämpökartan muokkaus tehtiin helpoksi tulevaisuutta varten, jos ravintolan järjestys muuttuu tai lämpökartan tarkkuus heikkenee. Lämpökartta on mahdollista lähettää ohjelman ulkopuolelle, jos sitä halutaan käyttää muuhun kuin tutkimuskäyttöön.

Yliennon toteutus onnistui halutusti. Ravintolan malli saatiin kunnostettua oikean ravintolan järjestyksen mukaiseksi ja väriykseltään oikeaksi. Ihmisten liikkeet luovat ravintolaan halutun elävyyden. Yliento näkee halutut alueet sopivassa ajassa ja on selkeä katsojalle.

Ylientoa varten muokattu ravintola on helposti käytössä tulevaisuuden projekteja varten, mikä mahdollistaa tilan käytön ihmisten kanssa tai ilman ihmisiä. Tila on muokattu oikean ravintolan värejä ja järjestystä käyttäen.

Tulevaisuuden projektit pidettiin mielessä projektia suunnitellessa ja tehdessä. Analyysin antamat arvot ovat helposti haettavissa uusia projekteja varten.

## Lähteet

- 1 Ravintola Nokia One. 2020. Verkkoaineisto. Sodexo Oy. <<https://www.sodexo.fi/ravintolat/ravintola-nokia-one>>. Luettu 29.5.2020.
- 2 LeViteZer. 2020. Verkkoaineisto. LeViteZer Oy. <<http://www.levitezer.com/>>. Luettu 29.5.2020.
- 3 MyCampus. 2020. Yrityksen sisäinen verkkoaineisto. Nokia Oyj. <<https://mycampus.karage.fi/>>. Luettu 29.5.2020, Vain Nokian henkilökunnalle.
- 4 Tietoa Nokiasta. 2020. Verkkoaineisto. Nokia Oyj. <[https://www.nokia.com/fi\\_fi/tietoa-nokiasta/](https://www.nokia.com/fi_fi/tietoa-nokiasta/)>. Luettu 29.5.2020.
- 5 Lämpösäteily & Infrapuna. 2019. Verkkoaineisto. Infradex Oy. <<https://www.infradex.com/lamposateily-ja-lampokamera/>>. Luettu 28.5.2020.
- 6 Public safety & transportation. 2020. Verkkoaineisto. FLIR Systems, inc. <<https://www.flir.com/applications/public-safety/>>. Luettu 29.5.2020.
- 7 Professional tools. 2020. Verkkoaineisto. FLIR Systems, inc. <<https://www.flir.com/applications/professional-tools/>>. Luettu 25.5.2020.
- 8 Industrial. 2020. Verkkoaineisto. FLIR Systems, inc. <<https://www.flir.com/applications/industrial/>>. Luettu 25.5.2020.
- 9 Intro to IR: Sensitivity, resolution and frame rate. 2018. Verkkoaineisto. Opgal. <<https://www.opgal.com/blog/thermal-cameras/intro-to-ir-part-3-sensitivity-resolution-and-frame-rate/>>. Luettu 29.5.2020.
- 10 Koronavirus – lämpökameran käyttö kehon kohonneen lämpötilan havaitsemiseksi. 2019. Verkkoaineisto. Infradex Oy. <<https://www.infradex.com/koronavirus-lampokameran-kaytto-kehon-kohonneen-lampotilan-havaitsemiseksi/>>. Luettu 29.5.2020.
- 11 Israeli, Roy. 2018. The need for thermal cameras for airport security. Verkkoaineisto. Security today. <<https://securitytoday.com/articles/2018/11/13/the-need-for-more-thermal-cameras-for-airport-security.aspx?m=1>>. Luettu 19.5.2020.

- 12 Räikkönen, Tero. 2019. Lämpökameratekniikan hyödyntäminen aluevalvonnassa. Insinööriyö. Laurea Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 13 Heatmap. 2020. Verkkoaineisto. Optimizely. <<https://www.optimizely.com/optimization-glossary/heatmap/>>. Luettu 29.5.2020.
- 14 FLIR Lepton 3 & 3.5; 2018. Verkkoaineisto. FLIR Systems, inc. <<https://www.flir.com/globalassets/imported-assets/document/lepton-3-3.5-datasheet.pdf>>. Luettu 29.5.2020.
- 15 Bolaños Rodríguez, Álvaro. 2017. Cloud Communication Channel for Thermal Cameras. Bachelor's Thesis. Metropolia University of Applied Sciences. Theseus-tietokanta.
- 16 Cross-platform framework and tools. 2020. Verkkoaineisto. The Qt Company Ltd. <<https://www.qt.io/product>>. Luettu 27.5.2020.
- 17 Unity for all. 2020. Verkkoaineisto. Unity Technologies. <<https://unity.com/>>. Luettu 27.5.2020.
- 18 Get to know Azure. 2020. Verkkoaineisto. Microsoft. <<https://azure.microsoft.com/en-gb/overview/>>. Luettu 28.5.2020.
- 19 QPainter Class. 2020. Verkkoaineisto. The Qt Company Ltd. <<https://doc.qt.io/qt-5/qpainter.html>>. Luettu 29.5.2020.
- 20 RRFreelance / PiXeIBurner. Low Poly Business People. 2020. Verkkoaineisto. Unity Technologies. <<https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/humanoids/low-poly-business-people-130313>>. Luettu 29.5.2020.
- 21 Cinemachine, Powering cameras for films and games. 2020. Verkkoaineisto. Unity Technologies. <<https://unity.com/unity/features/editor/art-and-design/cinemachine>>. Luettu 29.5.2020.
- 22 Using dolly paths. 2019. Verkkoaineisto. Unity Technologies. <<https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.cinemachine@2.2/manual/CinemachineDolly.html>>. Luettu 29.5.2020.
- 23 Using the Animation view. 2020. Verkkoaineisto. Unity Technologies. <<https://docs.unity3d.com/Manual/animeditor-UsingAnimationEditor.html>>. Luettu 29.5.2020.