

# **Kaatuneen ihmisen havaitseminen koneäköjärjestelmällä**

Laitinen Heidi

Opinnäytetyö

Joulukuu 2015

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), Hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Laitinen, Heidi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 7.12.2015
	Sivumäärä 76	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Kaatuneen ihmisen havaitseminen konenäköjärjestelmällä</b>		
Tutkinto-ohjelma Hyvinvointiteknologia		
Työn ohjaaja(t) Rantapuska, Seppo & Siistonen, Matti		
Toimeksiantaja(t) ProSolve Oy; Salmela, Janne		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö on jatkoa projektille, joka tehtiin aikaisemmin ProSolve Oy:lle 2014. Kyseisessä projektissa tutkittiin erilaisia mahdollisuuksia parantaa turvallisuutta automaation avulla kotiympäristössä. Projektia jatkettiin työllä, jonka tehtävänä oli suunnitella ratkaisu havaita kaatunut ihminen kodinomaisesta ympäristöstä. Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää uudenlainen ratkaisu, joka on yksinkertainen, kustannustehokas, varma, muunneltava ja helppokäyttöinen.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin konenäön hyödyntämisen mahdollisuutta kaatuneen ihmisen seuraamiseen. Konenäköjärjestelmän kuvantamiskomponentiksi valikoitui työn edetessä kuluttajahintainen lämpökamera, joka on liitettävissä android-pohjaisiin laitteisiin. Tutkimus tehtiin Vision Assistant -konenäköohjelmistolla, minkä jälkeen ohjelman toimivuutta testattiin LabVIEW-ohjelmistolla. Tutkimus toteutettiin empiirisenä tutkimuksena, jossa tarkasteltiin ohjelman toimivuutta ja varmuutta erilaisissa tilanteissa. Jotta tuloksista saatiin mahdollisimman todenmukaiset, tulokset kerättiin erillisestä testitilanteesta, jossa koehenkilö ei ollut tietoinen järjestelmän toiminnasta.</p> <p>Ihmisen kaatuminen on mahdollista havaita, jos henkilö makaa lähes paikallaan kaatumisen jälkeen. Järjestelmä ei pysty havaitsemaan kaatumista, jos kaatunut henkilö liikehtii voimakkaasti. Ohjelmaa tarkasteltaessa huomattiin siinä olevan epävarmuuksia, joiden johdosta ohjelma ei välttämättä havaitse kaatumista. Nämä tilanteet ovat kuitenkin harvinaisia.</p> <p>Johtopäätös työstä on, että konenäköjärjestelmään liitetyllä lämpökameralla on mahdollista havaita ihmisen kaatuminen. Konenäköohjelmaa on kuitenkin vielä jatkokehitettävä, jotta siitä saadaan varma ja se täyttää kaikki määritetyt vaatimukset.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Konenäkö, lämpökamera, ihmisen kaatuminen		
Muut tiedot		

Author(s) Laitinen, Heidi	Type of publication Bachelor's thesis	Date 7.12.2015
	Number of pages 76	Language of publication: Finnish
		Permission for web publication: X
Title of publication <b>Detecting a fallen person using a machine vision system</b>		
Degree programme Wellness Technology		
Supervisor(s) Rantapuska, Seppo & Siistonen, Matti		
Assigned by ProSolve Oy Ltd.; Salmela, Janne		
Description  <p>The thesis is a follow up to a project previously carried out for ProSolve Oy Ltd. 2014. This particular project investigated a variety of opportunities to improve the safety of the home environment with automation. The project continued as the thesis the task of which was to design a solution to detect a fallen person in a homelike environment. The goal of the thesis was to find a new kind of solution, which would be simple, cost-effective, bulletproof, configurable and easy to use.</p> <p>The thesis explored the potential of utilizing machine vision to detect a fallen person. As the work progressed, a consumer priced thermal camera connectable to Android based devices was selected as the imaging component of the machine vision system. The study was conducted using the Vision Assistant machine vision software. After that, the functionality of the software was tested using the LabVIEW software. The research approach was that of an empirical study, in which the functionality and reliability of the program were examined in different situations. In order to get as realistic findings as possible the results were based on a separate test situation, in which the subject was unaware of the function of the system.</p> <p>It is possible to detect a falling person if the person is lying down almost stationary after the fall. The system cannot detect the falling if the fallen person is moving vigorously. The inspection of the software revealed some faults, which may prevent the software from detecting the falling. These situations are, however, rare.</p> <p>In conclusion, it is possible to detect a falling person with a thermal camera connected to the machine vision system. However, the machine vision software has to be improved, in order to make it bulletproof and compliant with all the imposed requirements.</p>		
Keywords ( <a href="#">subjects</a> ) machine vision, thermal camera, falling of a person		
Miscellaneous		

## Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Ideoinnista tutkimukseksi .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Konenäkö.....</b>	<b>6</b>
2.1	Määritelmä ja käyttökohteet .....	6
2.2	Konenäköjärjestelmän toimintaperiaate .....	8
<b>3</b>	<b>Konenäköjärjestelmän komponentit.....</b>	<b>9</b>
3.1	Valaistus.....	9
3.2	Kamera.....	12
3.3	Optiikka .....	13
3.4	Kennotekniikka ja kuvanmuodostus .....	14
3.5	Kuvankaappaus.....	16
3.6	Tiedonsiirto.....	17
3.7	Muut komponentit.....	19
<b>4</b>	<b>Lämpökamera.....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>Kuvankäsittely .....</b>	<b>22</b>
5.1	Esikäsittely .....	22
5.2	Segmentointi .....	23
5.3	Piirteiden irrotus ja luokittelu .....	25
<b>6</b>	<b>Kaatumiset.....</b>	<b>26</b>
6.1	Esiintyvyys, syyt ja seuraukset.....	26
6.2	Teknologia kaatumisten seuraamiseen .....	28
<b>7</b>	<b>Työn toteutus .....</b>	<b>33</b>
7.1	Lähtökohdat .....	33
7.2	Vaiheet.....	34
<b>8</b>	<b>Työn tulokset.....</b>	<b>38</b>
8.1	Ohjelman esittely.....	38
8.2	Koetilanteen tulokset .....	45

	2
<b>9 Tulosten tarkastelu .....</b>	<b>49</b>
<b>10 Tulosten vertaaminen muihin tutkimuksiin .....</b>	<b>52</b>
<b>11 Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet .....</b>	<b>53</b>
<b>12 Pohdinta.....</b>	<b>54</b>
<b>Lähteet.....</b>	<b>56</b>
<b>Liitteet.....</b>	<b>60</b>
Liite 1. Koetilanteet tulokset kuvina.....	60

## **Kuviot**

Kuvio 1. Tuotteiden lajittelu oikeisiin laatikoihin.....	7
Kuvio 2. Viinipullonkorkkien laadunvalvonta.....	7
Kuvio 3. Sähkömagneettinen spektri.....	10
Kuvio 4. Valojen sijoittelumahdollisuudet.....	11
Kuvio 5. Kameran optiikka yksinkertaistettuna.....	13
Kuvio 6. Resoluution vaikutus pikseleiden määrään.....	15
Kuvio 7. Analogisen siirron vaikutus kuvan pikseleihin.....	17
Kuvio 8. Digitaalisen siirron vaikutus kuvan pikseleihin.....	17
Kuvio 9. Lämpökameran avulla selvitetään onko laakeri kunnossa vai ei.....	20
Kuvio 10. Lämpövuotojen etsiminen asuinrakennuksesta.....	21
Kuvio 11. Sammutustoissa kuumien pisteiden havaitseminen.....	21
Kuvio 12. Segmentointi kynnyksellä.....	24
Kuvio 13. Päätelypuun toimintatapa.....	26
Kuvio 14. Piirreavaruuden toimintatapa.....	26
Kuvio 15. Philipsin turvaranneke- ja turvapuhelinratkaisu.....	29
Kuvio 16. Elsi-lattian toimintaperiaate.....	23
Kuvio 17. eLea-hälytysjärjestelmän toimintaperiaate.....	30
Kuvio 18. Kiihtyvyyssanturin pukeminen.....	31
Kuvio 19. Missourin yliopiston suunnitteleman järjestelmän toimintaperiaate.....	31

Kuvio 20. Kameran sijoittelu järjestelmässä.....	34
Kuvio 21. Vaiheet muutoksen havaitsemiseksi – kuvassa ihminen.....	35
Kuvio 22. Vaiheet muutoksen havaitsemiseksi – kuvassa muu kappale.....	36
Kuvio 23. Valaistuksen muuttumisen vaikutus ohjelmaan.....	37
Kuvio 24. Lämpökameran tuottama kuva.....	39
Kuvio 25. Vaiheet muutoksen havaitsemiseksi – lämpökamerakuva.....	40
Kuvio 26. Kohteen ulkoreunan pituuksien mittaus.....	41
Kuvio 27. Verrattujen kuvien yhtäläisyydet ja eroavaisuudet toisiinsa nähden.....	43
Kuvio 28. Osatekijät, jotka tarvitaan hälytyksen lähtemiseksi.....	44
Kuvio 29. Esimerkki tilanteesta, jolloin hälytys ei lähde.....	45
Kuvio 30. Tilanteet, joissa lähtee turha hälytys.....	46
Kuvio 31. Tilanteet, joissa ei lähde hälytystä.....	47
Kuvio 32. Tilanteet, joissa lähtee hälytys – henkilö liikkunut.....	48
Kuvio 33. Tilanteet, joissa lähtee hälytys – henkilö pysynyt lähes paikallaan.....	49
Kuvio 34. Henkilön asennon vaikutus hälytyksen lähtemiseen: ensimmäisessä kuvassa hälytys lähtee, jälkimmäisessä ei.....	50
Kuvio 35. Tilassa useampi lämmönlähde.....	51

## Taulukot

Taulukko 1. Valonlähteet ja niiden ominaisuudet.....	10
Taulukko 2. Vertailu CCD- ja CMOS-kennoista.....	15
Taulukko 3. Reunojen pituuksien suhde ihmisen ollessa eri asennoissa.....	42
Taulukko 4. Kuvien pinta-alojen vertauksesta saadut arvot raja-arvon määrittämiseksi.....	44
Taulukko 5. Kuvien pinta-alojen vertauksesta saadut tulokset.....	46

**Lyhenteet**

Led.....	Light emitting diodes
CCD.....	Charge Coupled Device
CMOS.....	Complementary Metal Oxide Semiconductor
Ppi.....	Resoluutio
S-video.....	Separate video
USB.....	The Universal Serial Bus
IEEE 1394.....	Institute of Electrical and Electronics Engineers 1394
DCSM IIDC.....	Digital Camera Specification - Instrumentation & Industrial Digital Camera

# 1 Ideoinnista tutkimukseksi

Suurten ikäluokkien vanhetessa tullaan väistämättä siihen tilanteeseen, että yhä useampi vanhus asuu kodissaan pidempään. Tästä johtuen kodeissa tapahtuvat vaaratilanteet ja tapaturmat tulevat varmasti lisääntymään. Teknologian kehitys luo uudenlaisia mahdollisuuksia turvata vanhuksen asumista kotona. Jo nykyään markkinoilla on mitä erilaisempia ratkaisuja, joilla luvataan vanhukselle laadukkaampaa ja turvallisempaa elämää kotiympäristössä. Terveysteknologian vienti kasvoi Suomessa 8,3 % vuonna 2014 (Semkina 2015). Tämä herättää varmasti monella eri taholla mielenkiinnon kehittää erilaisia ratkaisuja terveyteen ja hyvinvointiin liittyen. Se on myös yksi suurimmista vaikuttimista tämän opinnäytetyön tekoon.

Opinnäytetyö on jatkoa harjoittelulle, jota työn tekijä teki ProSolve Oy:lle keväällä 2014. Harjoittelussa tavoitteena oli ideoida erilaisia ratkaisuja elinympäristön turvallisuuden lisäämiseksi automaation avulla. Ideoita syntyi laidasta laitaan, mutta erityisesti työn tekijää kiinnosti ajatus automaation hyödyntämisestä kaatumistilanteiden seuraamisessa ja näin se myös valikoitui opinnäytetyön aiheeksi. Koska harjoittelu tehtiin ProSolve Oy:lle, tuntui luontevalla jatkaa työn tekoa yhteistyössä ProSolve Oy:n kanssa.

Opinnäytetyön lähtökohtana on löytää vaihtoehtoinen ratkaisu havaita kaatunut ihminen tarkkailtavassa tilassa. Harjoittelun aikana perehdyttiin erilaisiin tuotteisiin, joilla jo tällä hetkellä tarkkaillaan ihmisten kaatumista. Useiden erilaisten ideoiden jälkeen päädyttiin lähteä kehittämään automaatoratkaisua, johon on liitetty konenäköjärjestelmä. Kyseisestä aiheesta löytyy joitakin tutkimuksia, mutta markkinoilta ratkaisua ei vielä löydy.

Kohderyhmä, jonka tarkkailuun ohjelma luodaan, on erityisesti vanhukset tai muuten heikon toimintakyvyn omaavat ihmiset, jotka asuvat yksin. Tällä kohderyhmällä on kaikista suurin tarve kyseiselle tekniikalle, sillä kaatumistilanteen jälkeen heidän voi olla mahdotonta päästä ylös ilman apua. Lisäksi kaatuminen voi johtaa tajuttomuuteen, jonka johdosta kaatunut ei pysty itse tekemään hälytystä.



Opinnäytetyön varsinaisena tavoitteena on löytää vastaus kysymykseen, onko konenäön avulla mahdollista tunnistaa kaatunut ihminen. Ratkaisusta halutaan saada varma, kustannustehokas, yksinkertainen, innovatiivinen, helposti asennettavissa oleva, muunneltava ja käyttäjälle yksinkertainen käyttää. Kysymykseen etsitään vastausta Vision Assistant konenäköohjelmistolla, jolla tehdään tarvittava ohjelmointi vastauksen löytämiseksi.

## 2 Konenäkö

### 2.1 Määritelmä ja käyttökohteet

Konenäöllä (Machine Vision) tarkoitetaan koneellista järjestelmää, joka jäljittelee ihmisen näköaistia. Koneellinen aistiminen on mahdollista toteuttaa, kun järjestelmään on liitetty kamera, valaistusjärjestelmä sekä tietojen käsittelyyn laite, joka käsittelee ja analysoi saadun tiedon – tässä tapauksessa kuvan. Analysoidun kuvan perusteella annetaan ohjauskomentoja halutuille laitteille ja koneille. (Soini n.d., 1)

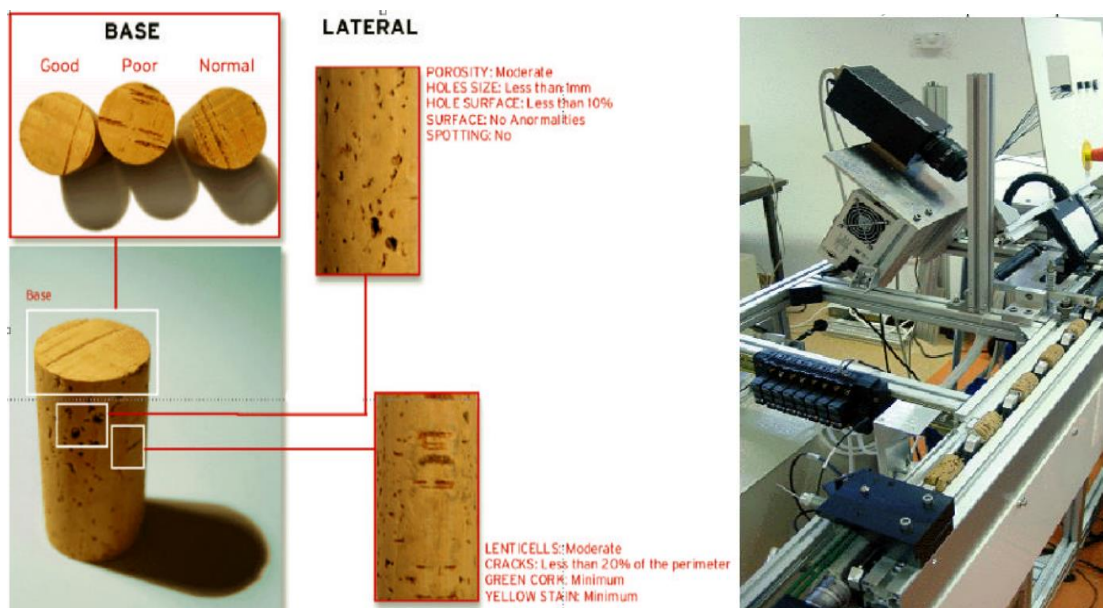
Konenäöstä on hyötyä erityisesti teollisuudessa, jossa prosesseja voidaan automatisoida järjestelmän avulla. Järjestelmällä voidaan korvata ihminen, joka on aikaisemmin esimerkiksi ohjannut ja valvonut prosesseja. Erityisesti konenäöllä korvataan prosessin vaiheita, jotka ovat vaikeita, aikaa vieviä, yksitoikkaisia vaarallisia tai mahdottomia ihmisen tehdä. (Hyyti 2014, 2)

Lajittelu- ja laadunvalvontatehtävät ovat laajimpia sovellusalueita konenäköjärjestelmissä. Konenäköä hyödynnetään lajittelutehtävissä esimerkiksi postissa, jolloin järjestelmällä tarkkaillaan erilaisia pakkausmerkintöjä. Merkintöjen perusteella lähetys ohjataan oikeaan kohteeseen. Kuviossa 1 on esimerkki elintarviketeollisuudessa tapahtuvasta lajittelusta. Laadunvalvonnassa konenäköä hyödynnetään esimerkiksi tarkasteltaessa viinipullon korkkien pinnanlaatua (katso kuvio 2). Jos korkissa on liikaa säröjä, se ohjataan sivuun linjalta. Tuotteen kokoonpanossa hyödynnetään konenäön määrittämiä kappaleiden koor-

dinaatteja, joiden perusteella järjestelmä kokoaa tuotteen oikein. Konenäön avulla voidaan ohjata myös liikkuvaa laitetta. Ohjaus tapahtuu esimerkiksi seuraamalla lattiassa olevaa tietyn väristä viivaa. Konenäköjärjestelmät ovat lisääntyneet nykyään myös automaattisissa laitteissa, jotka ovat kuluttajien käytössä. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi seteli- ja pullonpalautusautomaatit. (Hyyti 2014, 2)



Kuvio 1. Tuotteiden lajittelu oikeisiin laatikoihin (Elintarviketeollisuus n.d.)



Kuvio 2. Viinipullonkorkkien laadunvalvonta (Soini n.d., 3-4)

## 2.2 Konenäköjärjestelmän toimintaperiaate

Konenäköjärjestelmä voidaan jakaa neljään eri osa-alueeseen: Kuvan muodostukseen, kuvankaappaukseen, kuvankäsittelyyn ja ohjausjärjestelmään. Lisäksi konenäköjärjestelmään liittyy läheisesti erilaiset mitta- ja toimilaitteet, mutta ne eivät kuitenkaan ole varsinaisesti osana järjestelmää. (Hyyti 2014, 4) Tässä luvussa käsitellään konenäköjärjestelmän toimintaperiaatetta pääpiirteittäin. Luvussa esiin tuleviin asioihin syvennytään tarkemmin luvussa 3.

Kuva muodostuu, kun kuvattava kohde heijastaa valoa ja kamera taltioi heijastuksen. Jotta kuvaan saadaan haluttu tarkkuus, on valittava oikeanlainen kamera ja valaistus tilanteeseen. Kameran valintaan vaikuttaa se, että halutaan-ko saada yksi-, kaksi- vai jopa kolmeulotteista kuvaa. Lisäksi kuvan signaali voi olla joko analogista tai digitaalista. Kameran optiikka vaikuttaa myös saatuun kuvanlaatuun. Optiikan merkitys kasvaa sitä mukaa, mitä tarkempia kuvia halutaan saada. Valaistuksessa tulee ottaa huomioon erilaiset valonlähteet ja niiden oikeanlainen asettelu suhteessa kuvattavaan kohteeseen. Yleisimmin valonlähde pidetään muuttumattomana. Lisäksi valitaan epäsuora valaistus, joka estää heijastuksien ja varjojen muodostumisen. (Hyyti 2014, 4-6,8, 11)

Kuvan muodostumisen jälkeen kuva kaapataan joko erilliseen tai suoraan tietokoneessa olevaan elektroniseen korttiin. Tämän jälkeen kuva voidaan siirtää muistiin. Kuvankaappauskorttia käytetään erityisesti analogisen signaalin vastaanottamiseen ja muuntamiseen, mutta myös joissain tilanteissa digitaalisessa käsittelyssä. (Hyyti 2014, 12–13)

Kuvan talteen ottamisen jälkeen tapahtuu kuvankäsittely. Kuvankäsittelyn aikana ohjelmisto etsii tallennetusta kuvasta haluttuja piirteitä ja ominaisuuksia. Kuvankäsittely tapahtuu joko tietokoneella tai joissain tapauksissa kamerassa olevalla kortilla. Kuvankäsittely jaetaan kolmeen pääkohtaan, esikäsittelyyn, segmentointiin sekä tunnistukseen ja tulkintaan. Esikäsittelyssä kuvan laatua parannetaan halutulla tavalla, segmentoinnissa kuva jaetaan kohdealueeseen sekä taustaan ja viimeisessä vaiheessa nimensä mukaisesti kuvasta tunnistetaan piirteitä referenssikuvan perusteella, minkä jälkeen tunnistettuja piirteitä voidaan tulkita eli analysoida. (Hyyti 2014, 14–16)

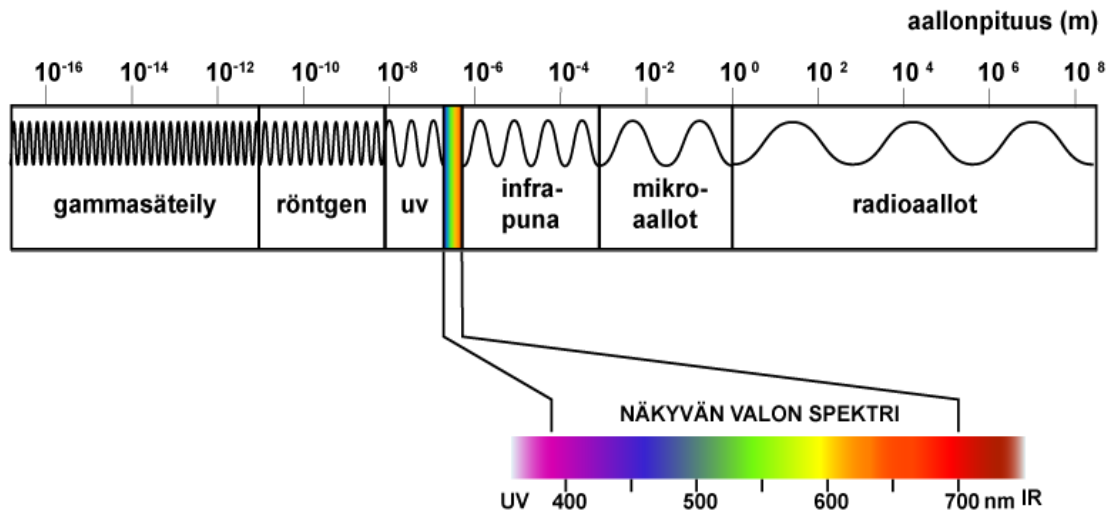
Tämän jälkeen kuvankäsittelystä saadut tiedot menevät ohjausjärjestelmälle, joka tekee päätökset jatkotoimenpiteistä. Ohjausjärjestelmän tehtävänä on antaa ohjeistus muille järjestelmään liittyville laitteille. Näin toimilaitteet pystyvät esimerkiksi ottamaan linjalta viallisen tuotteen pois. (Hyyti 2014, 17)

## **3 Konenäköjärjestelmän komponentit**

### **3.1 Valaistus**

Valaistus on yksi tärkeimmistä osista rakennettaessa konenäköjärjestelmää. Ilman oikeanlaista valaistusta tuloksista ei saada luotettavia. Oikeanlaisen valaistuksen avulla on mahdollista suorittaa vaikealtakin tuntuvat mittaustehtävät helposti. (Azad, Gockel & Dillmann 2008,14)

Näkyvän valon aallonpituus on hyvin pieni osa koko sähkömagneettisesta spektristä kuvion 3 mukaisesti. Ihmissilmä pystyy havaitsemaan erilaisina väreinä 380 – 780 nm alueen. Erilaisilla kuvasensoreilla vastaava alue on 350 – 1000 nm, joten kameroiden on myös mahdollista havaita pieni osa infrapuna-alueesta. Ihmisen parhaiten näkemä aallonpituus on 555 nm, joka vastaa väritään keltavihreää. (Azad ym. 2008, 14)



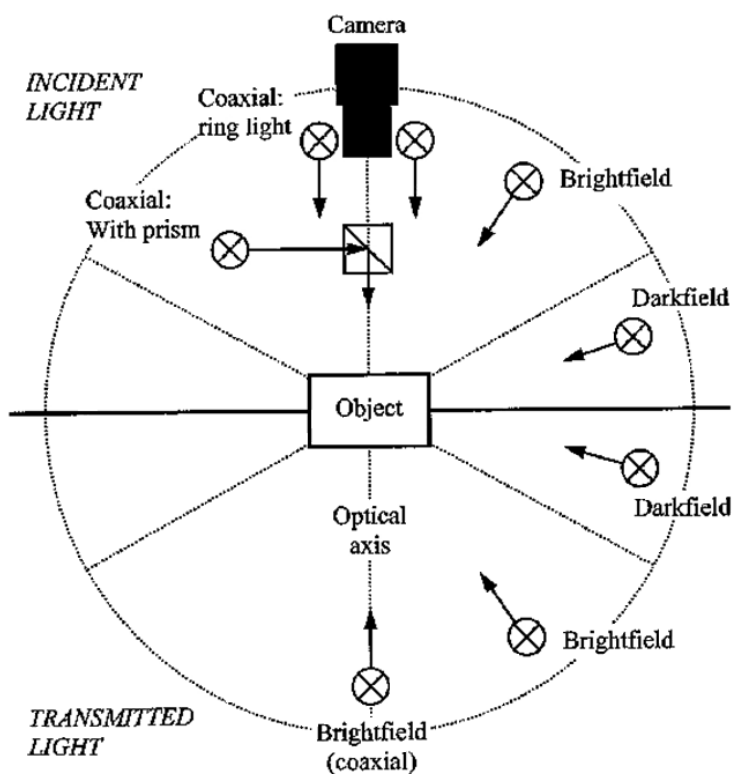
kuvio 3. Sähkömagneettinen spektri (Härmä n.d.)

Erilaisia valonlähteitä on useita, kuten taulukosta 1 voi havaita. Parhaimpaan tulokseen konenäköjärjestelmässä päästään usein led- valaisimella. Led- valaisimet ovat pieniä, hyötysuhde on hyvä, käyttöikä on pitkä ja niitä voidaan käyttää diffuusivalona sekä suorana valona. Led-valaisimilla pystytään tuottamaan erivärisiä valoja ja ne kykenevät tuottamaan myös valoa ultraviolett- ja infrapuna-alueella. Led-valaisimien heikkona puolena voidaan mainita niiden valoteho, joka on selvästi pienempi kuin halogeeneilla ja hehkulamputilla. (Azad ym. 2008, 18)

Taulukko 1. Valonlähteet ja niiden ominaisuudet (Azad ym. 2008, 19)

Ominaisuus	Tehokkuus	Käyttöaika	Huomiot
Valolähde			
Hehkulamppu	1,9 – 2,6 %	1 000 h	
Halogeeni	2,3 – 5,1 %	3 000 h	Suuri lämmöntuotto
Ksenonvalo	15 – 27 %	6 000 h	Suuri lämmöntuotto
Neonvalo	6,6 – 15 %	7 500 h	Korkeajännitteinen virtalähde
Led	5 – 20 %	50 000 h	Useita värejä, myös IR ja UV
Laserdiodi	7 – 12 %	10 000 h	Strukturoitu valo
Päivänvalo	n/a	n/a	

Valonlähteen valinnan lisäksi tulee paneutua siihen, miten valo osuu kuvattavaan kohteeseen eli puhutaan valaistusgeometriasta. Valojen erilaiset sijoittelut voi nähdä kuvioista 4. Valo voi tulla kuvattavan kohteen etu- tai takapuolelta. Valon tullessa kuvattavan kohteen takapuolelta, saadaan kohteen ääriiviivat hyvin esiin. Valo voi tulla myös kohteen sivusta tietyssä kulmassa, jolloin puhutaan brightfield- tai darkfield-valaisusta. Brightfield-valaisulla valo taittuu kohti kameraa, joten valoa heijastavat kohdat näkyvät vaaleina. Darkfield-valaisulla valon säteet eivät osu kameraan, joten on mahdollista havaita pinnassa olevat yksityiskohdat. Yhdensuuntaisella valolla (coaxial light) pystytään estämään varjojen muodostus. Tähän voidaan käyttää apuna niin sanottua rengasvaloa kameran linssin ympärillä tai suoraa yksittäistä valoa, jonka prisma hajottaa useaan osaan. Heijastuksien estämiseksi käytetään hajavaloa, jossa valo tulee kuvattavaan kohteeseen useasta suunnasta. Hajavaloa saadaan aikaiseksi heijastavilla apupinnoilla tai maitolasilla. Strukturoitua valoa voidaan hyödyntää erilaisissa mittauksissa tai pintojen osoittamisessa. Jotta mittaus voidaan tehdä, on valon oltava yhdensuuntaista ja osuttava tarkasti kuvattavaan kohteeseen. (Azad ym. 2008, 20–23)



Kuvio 4. Valojen sijoittelumahdollisuudet (Azad ym. 2008, 21)

## 3.2 Kamera

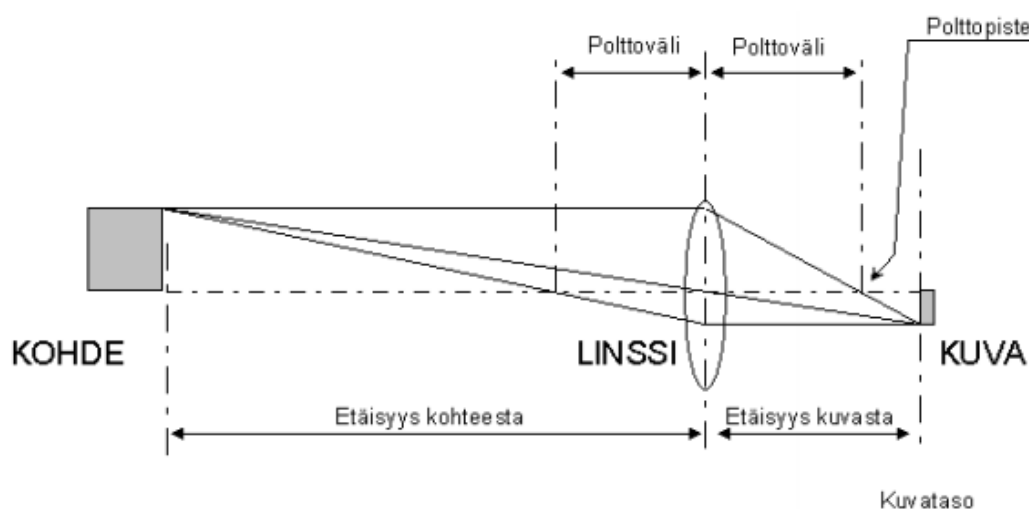
Konenäköjärjestelmässä kameran tehtävänä on ottaa kuva halutusta kohteesta. Kamera sisältää optiikan ja kuvakennon, joihin syvennyttään tarkemmin seuraavissa luvuissa. Lisäksi kamerassa on elektroniikkaa, jonka avulla otettua kuvaa voidaan käsitellä edelleen ja siirtää jatkokäsittelyä varten. (Sonka, Hlavac & Boyle 2008, 43)

Riippuen siitä mitä kameralla on tarkoitus kuvata, voidaan valita joko matriisi tai viivakamera. Erona näille on, että matriisikamerassa kuvaelementtejä (pikseleitä) on pysty- ja vaakasuunnassa, kun viivakamerassa kuvaelementit ovat jonossa. Tällöin on mahdollista saada joko kaksi- tai yksiulotteista kuvaa. Kamerasta lähtevä signaali voi olla analogista tai digitaalista. Analogisessa kamerassa kuva siirretään videosignaalin kaapelia pitkin haluttuun laitteeseen ja siellä se pystytään muuntamaan digitaaliseen muotoon. Digitaalisessa kamerassa analoginen signaali muutetaan heti kamerassa digitaaliseen muotoon. (Hyyti 2014, 6,12–13)

Kameraan voidaan lisäksi integroida erilaisia komponentteja. Näin kamerat voidaan jakaa PC-pohjaiseen kameraan, älykameraan ja erikoiskameraan. PC-pohjainen kamera on kaikista pelkistetyin. Siinä prosessori, kamera ja ohjelmistot ovat erikseen. Etuna tässä on järjestelmän joustavuus eli komponentit voi valita kuhunkin tilanteeseen parhaalla mahdollisella tavalla. Älykamerassa kamera, prosessori ja liitynnät ovat yhdistetty samaan kompleksiin. Myös valaistuksen lisääminen on mahdollista. Etuna tässä on käyttövalmis kokonaisuus. (Ahlroth 2010, 36) Viimeinen mahdollisuus on erikoiskamera, jolloin kameraan on liitetty komponentteja, joiden avulla on mahdollista tutkia jotain tiettyjä piirteitä. Esimerkiksi laserin avulla on mahdollista saada 3D-kuvaa tai infrapuna-anturin avulla voidaan mitata lämpötiloja. Tällaiset erikoiskamerat voivat olla kalliita ja ne soveltuvat vaan tiettyihin tilanteisiin. (Konenäkö 2013, 15)

### 3.3 Optiikka

Optiikan avulla ohjataan valon kulkemista kameran kennoon. Optiikan ja linsien merkitys kasvaa sitä mukaa, mitä tarkempia kuvia halutaan saada. Linsin tarkoituksena on projisoida kuva kennolle. Kuviossa 5 on yksinkertaistettu malli kameran optiikasta.



Kuvio 5. Kameran optiikka yksinkertaistettuna (Hyyti 2014, 8)

Polttoväli kertoo kuinka iso alue kuvassa on mahdollista nähdä. Polttovälille saadaan laskettua arvo, kun tiedetään kuvattavan kohteen leveys, kuvattavan kohteen etäisyys ja kamerassa olevan kennon leveys. Johdettu kaava saa muodon

$$f = \frac{g \cdot B}{g + B}$$

missä,       $f$  on polttoväli  
                   $G$  on kuvattavan kohteen leveys  
                   $B$  on kennon leveys  
                   $g$  on kuvattavan kohteen etäisyys objektiivista

Näin ollen mitä pienempi polttoväli, sitä suurempi alue kuvaan saadaan otet-



tua. (Azad ym. 2008, 29–31)

F-luku kuvaa sitä, minkä kokoisesta aukosta valo pääsee optiikan kennolle. Mitä suurempi f-luku on, sitä pienempi aukko on. Otettaessa kuvia hämärässä on aukon oltava mahdollisimman suuri, jotta valoa pääsee tarpeeksi kennolle. Tässä tapauksessa f-luku on mahdollisimman pieni. Aukon suuruus vaikuttaa syvyysterävyYTEEN. Mitä suurempi aukko, sitä pienempi syvyysterävyys on. SyvyysterävyYDEN ollessa pieni, lähellä olevat kohteet näkyvät terävinä ja taustalla olevat sumeana. Näin ollen F-luku kertoo myös siitä, mikä osa kuvattavasta kohteesta näkyy terävänä. (Hyyti 2014, 9-10; Valokuvauksen peruskäsitteitä n.d.)

### 3.4 Kennotekniikka ja kuvanmuodostus

Kamerassa käytetään piitä sisältävää kuvasensoria, joka muuntaa tulevan valon sähköiseen muotoon. Kuvasensorina käytetään kennotekniikkaa, joka perustuu varauksen tuottamiseen valon fotoneista. Tämän jälkeen kenno kerää tuotetun varauksen, siirtää sen ja muuntaa siirretyn varauksen jännitteeksi. Yleisimmät kennotekniikat ovat CCD ja CMOS. (Kinnunen 2015, 23–26)

Eroavaisuudet CCD- ja CMOS-tekniikan osalta syntyvät varauksen siirrossa ja muunnossa jännitteeksi. CCD-kennossa olevissa pikseleissä varausta siirretään pikselistä toiseen kennon lävitse, minkä jälkeen varaus muunnetaan jännitteeksi. CMOS-kennossa taas jokaisessa pikselissä on oma varausjännitemuunnin. (Sonka ym. 2008, 41)

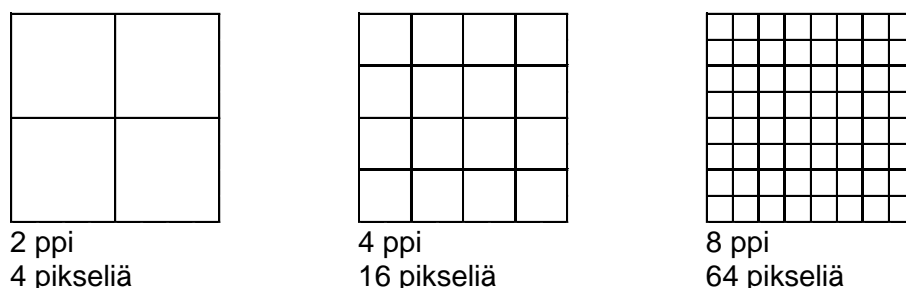
Sensortekniikoilla on kummallakin omat etunsa ja haittapuolensa. CCD-kennon pikseleissä on suurempi täyttöaste, sillä pikseleihin on liitetty hyvin vähän erillisiä osia, kun taas CMOS-kennoon on voitu liittää useampia transistoreita. CMOS-kennorakenne on puolestaan nopeampi, koska jokainen pikseli muuntaa jännitteen itsenäisesti. Koska CCD-kennossa varaus luetaan rivi kerrallaan, lukunopeus on hitaampi ja vaatii enemmän energiaa. CCD-kennossa syntyy vähemmän kohinaa, koska varauksen siirtyminen on passiivista. Lisäksi CCD-kennossa on laajempi dynamiikka. Taulukossa 2 on koo-

tusti CCD- ja CMOS-kennojen yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia ominaisuuksien osalta. (Kinnunen 2015, 29–33)

Taulukko 2. Vertailu CCD- ja CMOS-kennoista (Kinnunen 2015, 33)

Ominaisuus	CCD	CMOS
Fotoni-elektroni-konversio	pikselissä	pikselissä
Varauksen muuntaminen jännitteeksi	kennossa	pikselissä
Vahvistus	piirilevyllä	pikselissä
A/D-muunnos	piirilevyllä	kennossa
Kennosta tuleva signaali	analoginen	digitaalinen
Piirilevyllä tuleva signaali	digitaalinen	digitaalinen
Kennon kompleksisuus	matalampi	korkeampi
Piirilevyn kompleksisuus	korkeampi	matalampi
Täyttöaste	korkeampi	matalampi
Jännitetarve	monijännite	yksi
Virran kulutus	korkeampi	matalampi
Yksittäisen pikselin osoitus	ei	kyllä

Resoluutio kertoo kennossa olevien pikselien määrän tuumaa kohti. Kuvan tarkkuus ja yksityiskohtaisuus riippuu resoluutiosta. Mitä suurempi resoluutio, sitä enemmän pikseleitä kuvassa on. Resoluution kaksinkertaistuessa, pikselien määrä nelinkertaistuu. Kuvio 6 havainnollistaa tätä hyvin. Mitä enemmän kuvassa on pikseleitä, sitä suurempi tiedoston koko on. (Vanhala-Nurmi 2010, 2)



Kuvio 6. Resoluution vaikutus pikseleiden määrään (Vanhala-Nurmi 2010, 2)

Kuvassa näkyvä värien määrä riippuu siitä, kuinka monta värimahdollisuutta

pikselillä on. Kuvan ollessa mustavalkoinen, jokaisella pikselillä on vain kaksi vaihtoehtoa värin suhteen – musta ja valkoinen. Tällaisessa tilanteessa kuva on 1-bittinen, eli tiedolla on kaksi mahdollista tilaa 0 ja 1. Kuvan ollessa harmaasävyinen se on yleensä 8-bittinen, eli jokainen pikseli voi saada  $2^8 = 256$  eri arvoa. Kuvan ollessa 8-bittinen, siinä on havaittavissa kirkkauden eri asteet. Värikuva on mahdollista muodostaa kun kirkkauden eri asteisiin yhdistetään väri. Värikuva muodostetaan RGB-järjestelmällä, jossa punaista (R), vihreää (G) ja sinistä (B) yhdistetään tietyssä suhteessa. Jokaisella värillä on siis omat kirkkauden asteensa ja näin ollen kuva on 24 bittinen ( $8 \cdot 3 = 24$ ). Tällöin kukin pikseli voi saada jonkin 16 777 216 ( $2^{24}$ ) mahdollisesta väristä. (Vanhal-Nurmi 2010, 5)

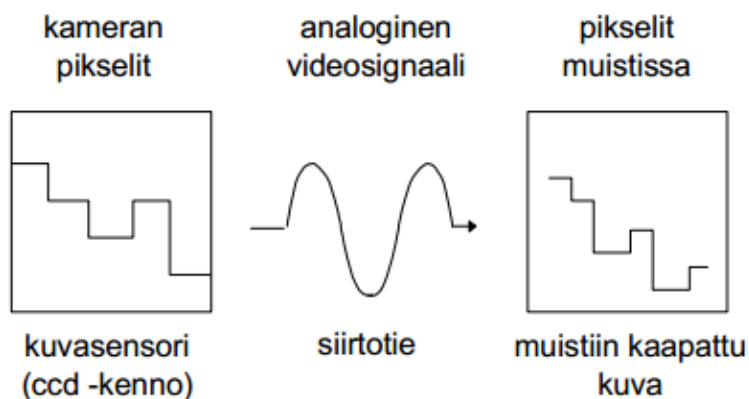
### 3.5 Kuvankaappaus

Kuvankaappauskortin avulla signaali vastaanotetaan prosessorin käsiteltäväksi. Kuvankaappauskortti voi olla erillinen laite tai liitetty tietokoneeseen. Erillistä kuvankaappauskorttia käytetään silloin, kun on tarve erityisille ominaisuuksille. Erillistä korttia käytettäessä on mahdollista esimerkiksi liittää järjestelmään useampi kamera. Useimmat kortit tukevat 2-4 kameran liittämisen. Kehittyneimmät kuvankaappauskortit pystyvät kaappaamaan useammalta kameranlta kuvaa samanaikaisesti. Myös kuvankaappauksen ajoittaminen ulkoisella liipaisimella on tuettu useimmilla kuvankaappauskorteilla. Osa korteista tukee ohjattavaa ja synkronoitavaa stroboskooppia. Joissain kuvankaappauskorteissa on myös tulo- ja lähtöportteja, jotta konenäköjärjestelmään voidaan liittää antureita, toimilaitteita tai ohjausyksiköitä. Kuvadatan pakkaus on myös mahdollista joillain kuvankaappauskorteilla. (Hyyti 2014, 12, 14)

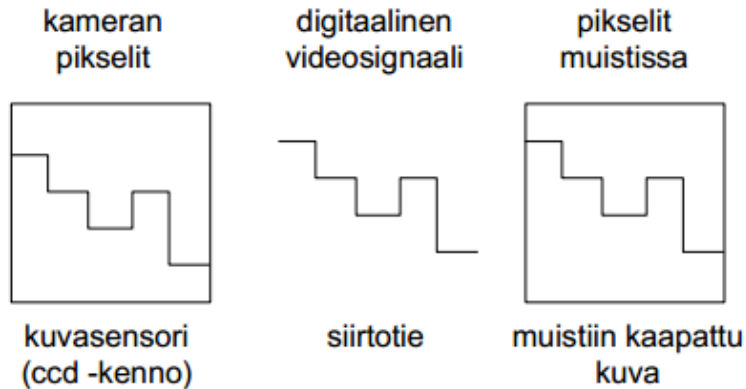
Jotta kuvaa voidaan käsitellä, on sen oltava digitaalisessa muodossa. Tästä johtuen analoginen signaali on kaapattava ja muunnettava digitaaliseen muotoon. Digitaalisessa muodossa olevaa kuvaa ei yleensä tarvitse kaapata. Tähän tulee poikkeus, kun digitaalista kuvaa siirretään sellaisella standardilla, jota prosessori ei osaa suoraan käsitellä. (Hyyti 2014, 12–13)

Digitaalisen signaalin etuna on se, että pikselit siirtyvät kuvasensorilta muut-

tumattomana konejärjestelmän käyttöön ja näin ollen häiriöitä on vähemmän sekä päivitystaajuus ja resoluutio ovat parempia. Kuviot 7 ja 8 havainnollistavat hyvin, miten analogisen tai digitaalisen videosaunan siirto järjestelmästä toiseen vaikuttaa kuvan pikseleihin. (Hyyti 2014, 13)



kuvio 7. Analogisen siirron vaikutus kuvan pikseleihin (Hyyti 2014, 13)



Kuvio 8. Digitaalisen siirron vaikutus kuvan pikseleihin (Hyyti 2014, 13)

### 3.6 Tiedonsiirto

Tiedonsiirto kamerasta prosessorille voi olla joko analogista tai digitaalista riippuen kameran tyypistä. Vaikka digitaaliset järjestelmät yleistyvät, on silti käytössä vielä edelleen analogisia järjestelmiä. Järjestelmien uusiminen on usein kallista ja siksi vanhassa järjestelmässä pysytään niin kauan, kun se on

ratkaisuna vielä toimiva. (Azad ym. 2008, 49–51)

Analogisia tiedonsiirtotapoja ovat esimerkiksi RGB, komposiittivideo ja S-video. RGB:ssä jokainen värisignaali siirretään omassa johtimessaan laitteeseen. Komposiittivideossa on yksi signaali, jossa siirtyvät kirkkaus- ja värisignaali sekä tahdistuspulssi. S-videostandardilla siirretään kirkkaus- ja värisignaali erillisissä johtimissa. Tämä takaa paremman resoluution, vähentää kohinaa ja värien siirtymistä sekä vähentää reunavärien häiriöitä.

(Hyyti 2014, 13, 21–22)

Yleisimpiä digitaalisia tiedonsiirtotapoja ovat USB, IEEE 1394, Camera Link ja Gigabit-Ethernet. USB on käytössä tiedonsiirtomenetelmänä joidenkin valmistajien kameroissa. USB:n etuna pidetään sen tiedonsiirtonopeutta verrattuna IEEE 1394. Heikkoutena nähdään, ettei USB:llä ole standardisoitua protokollaa videoiden siirtoon. Tästä johtuen jokaisella laitteella on oltava omat ajurinsa, jotka tukevat kuvan siirtoa. IEEE 1394 on yleisimmin käytetty tiedonsiirtojärjestelmä teollisuudessa uusien asennuksien osalta. Tähän on syynä se, että useimmista uusista koneista löytyy IEEE standardin liitäntä sekä standardi noudattaa DCSM IIDC protokollaa. Camera Link standardia käytetään sen nopean tiedonsiirtonopeuden takia esimerkiksi suuria tiedostoja siirrettäessä. Erityisesti suurnopeuskamerat käyttävät kyseistä standardia. Camera Link:n etuna on se, ettei sitä käyttäessä tarvita erikseen korttia, joka synkronoisi tiedot. Camera Link on suunniteltu laitteiston ehdoilla. Gigabit-Ethernetin kaapelit ja kytkimet on standardisoitu ja niitä on helposti saatavilla huokein kustannuksin. Liittymätyyppi tulee yleistymään tietokoneissa lähitulevaisuudessa, jolloin tarjolla on erittäin suuri siirtonopeus. Lisäksi videoiden siirto on standardisoitu GigE Vision-standardilla. (Azad ym. 2008, 51–54)

## 3.7 Muut komponentit

### **Ohjelmisto**

Konenäköjärjestelmien ohjelmien avulla pystytään tekemään yleisimmät kuvankäsittelyt, joita tarvitaan kuvan analysoimiseksi. Ohjelmiston avulla voidaan esimerkiksi parantaa kuvan laatua, tuoda kuvasta esiin halutut piirteet ja luokitella näitä piirteitä. Ohjelmistolla tehtävää kuvankäsittelyä käsitellään tarkemmin luvussa viisi. (Ahlroth 2010, 40)

### **Ohjausjärjestelmä**

Ohjausjärjestelmä käyttää hyödykseen konenäköohjelmistolta saatuja tietoja. Ohjelmistolta saadaan esimerkiksi mittaustietoja, joiden avulla ohjausjärjestelmä tekee päätöksen jatkotoimenpiteistä. Ohjausjärjestelmä voi ohjata kapaleen pois linjalta, jos sen pinta-ala ei ole tarpeeksi suuri. Ohjausjärjestelmää voi käyttää logiikalla tai pc-pohjaisella laitteella. Ohjausjärjestelmä voi olla itsenäinen kokonaisuus tai se voi olla osa suurempaa ohjausjärjestelmää. (Voutilainen 2003)

### **Käyttöliittymä**

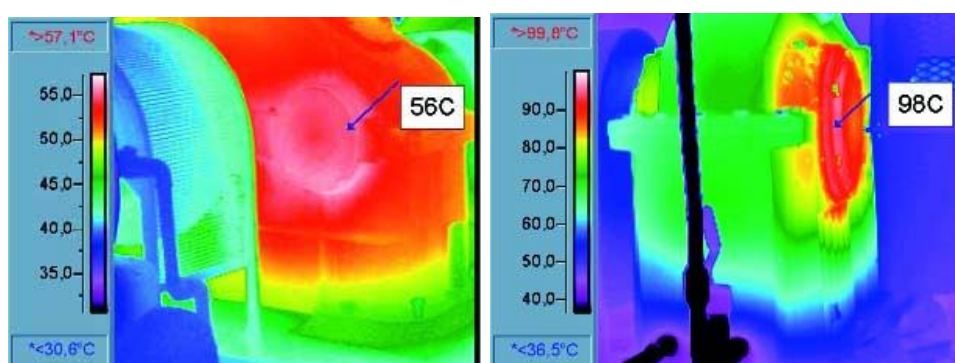
Konenäköjärjestelmään liitetään aina käyttöliittymä, jolla hallitaan järjestelmässä olevien laitteiden toimintaa. Käyttöliittymä voi olla tietokoneella tai erillisellä käyttäjäpääteellä, joka liitetään logiikoihin. Käyttöliittymän ohjelmistolla on mahdollista seurata laitteiston toimintaa ja säätää sitä. Liittymällä pystytään tekemään myös raportteja, jotka ovat tärkeitä tuotannon ja kunnossapidon kannalta. (Voutilainen 2003)

## 4 Lämpökamera

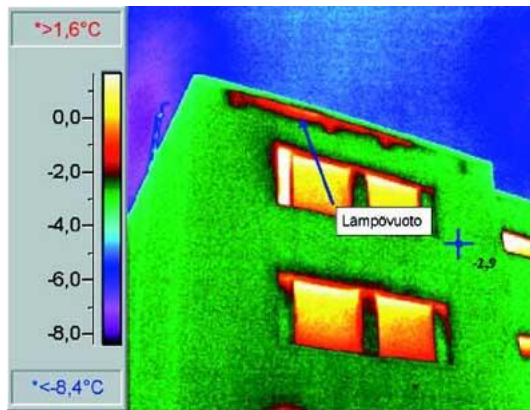
Lämpökamera on myös yksi konenäköjärjestelmän komponentti. Sen toimintaperiaate on kuitenkin hieman erilainen, mitä edellä kameraan liittyen on kuvattu. Tästä johtuen lämpökameraa käsitellään omana lukunaan.

Lämpösäteilyä lähettää jokainen kappale, jonka lämpötila on korkeampi kuin absoluuttinen nolapiste  $-273$  celsiusastetta. Lämpösäteilyn aallonpituus on  $700\text{ nm} - 1\text{ mm}$ . Infrapunasäteily voidaan jakaa lähi-infrapunaksi ja lämpösäteilyksi. Lähi-infrapunasäteilystä ( $700\text{ nm} - 3\text{ }\mu\text{m}$ ) ei pystytä mittaamaan alle  $650\text{ C}^\circ$  lämpötiloja. Tästä johtuen lähi-infrapunasäteilyä havaitsevia kame-roita ei pystytä järkevästi hyödyntämään lämpötilan mittaukseen. Kappaleen lämpötila pystytään mittaamaan lämpökameralla, jos se lähettää lämpösätei-lyä yli  $3\text{ }\mu\text{m}$ :n aallonpituudella. (Ala-Kokko 2008, 28; Lämpösäteily ja infrapu-na n.d)

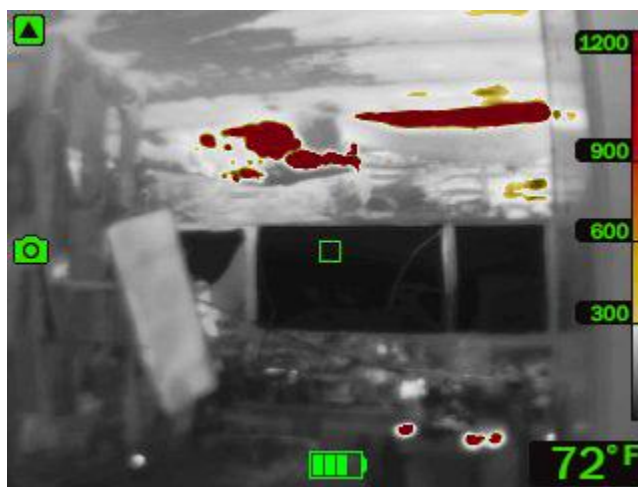
Lämpökamera vastaanottaa ja mittaa lämpösäteilyä, joka lähtee kuvauskoh-teen pinnasta. Lämpökamerassa olevalla ilmaisimella muutetaan kohteesta lähtevä lämpösäteilyn voimakkuus lämpötiedoksi. Lämpötietojen avulla pysty-tään muodostamaan digitaalinen lämpökuva reaaliaikaisesti. Lämpökamerat jaetaan tarkoituksensa mukaisesti joko mittaaviin tai ei-mittaaviin kameroihin. Mittaavia lämpökameroita käytetään esimerkiksi teollisuudessa ja kiinteistöjen kunnossapidossa, jolloin tarkoituksena on mitata kappaleen tai pinnan lämpö-tila. Kuvioissa 9 ja 10 on esimerkit mahdollisista käyttökohteista. Ei-mittaavien lämpökameroiden pääasiallisia käyttökohteita ovat erilaiset etsintä- ja valvon-tatehtävät. Savusukelluksessa hyödynnetään ei-mittaavia lämpökameroita, joiden pääasiallinen tarkoitus on havainnoida ympäristöä kuvion 11 mukaises-ti. (Ala-Kokko 2008, 28; Lämpökameran toiminta n.d.)



Kuvio 9. Lämpökameran avulla selvitetään onko laakeri kunnossa vai ei (Lämpökamera n.d.)



Kuvio 10. Lämpövuotojen etsiminen asuinrakennuksesta (Lämpökamera n.d.)



Kuvio 11. Sammutustöissä kuumien pisteiden havaitseminen (Firefighting n.d.)

Lämpökameran ilmaisimen toimintaperiaate on erilainen kuin valoa havaitseman kameran kennotekniikka. Lämpökameran ilmaisimien ei havaitse varaustilamuutosta, vaan lämpösäteily muuttaa ilmaisimen ominaisresistanssia. Ilmaisimet jaetaan kahteen osaan: jäädytettyihin ja jäädyttämättömiin. Jäädytetyt ilmaisimet ovat syntyneet jo 1960-luvulla ja niitä on käytetty sotilaallisessa tarkoituksessa. Jäädytetyt ilmaisimet, joissa materiaali on esimerkiksi HgCdTe -alkuaineseosta, jäädytetään nestemäisellä tyypellä tai heliumkiertopumpulla -200 celsiusasteeseen. Jäähdytyksen avulla voi havaita nopeita lämpötilavaihteluita. Jäädyttämättömät eli mikrobolometrityyppiset ilmaisimet ovat uudempaa teknologiaa. Ilmaisimien materiaali on samantyyppistä kuin sähkövastuksien valmistuksessa käytetty materiaali. Jäädyttämättömät ilmaisimet



mahdollistavat pitkäaikaisen tarkkailun, sillä niissä ei ole mekaanisesti liikkuvia osia. Myös lämpökameran optiikka on erilaista verrattuna normaaliin kameraan. Lämpökameroiden optiikassa ei voi käyttää lasia, sillä se ei läpäise eikä taita lämpösäteilyä. Kameroissa käytetään sen sijaan esimerkiksi hiilipinnoitettua germaniumia. Lämpökameroissa ei yleensä myöskään ole optista zoomia. Tämä johtuu materiaalien kalleudesta, optisten pintojen vaikeasta lämpötilahallittavuudesta ja lämpösäteilyn läpäisyprosentin heikentymisestä. (Lämpökameran toiminta n.d; Paloniitty & Kauppinen 2006,16)

## 5 Kuvankäsittely

### 5.1 Esikäsittely

Jotta otettua kuvaa on mahdollista hyödyntää konenäköjärjestelmässä, voidaan sitä joutua muokkaamaan parempilaatuisemmaksi. Tätä muokkausta kutsutaan esikäsittelyksi. Kuvaa muokataan, jotta siitä saadaan poistettua häiriöitä ja korostettua haluttuja osia taustasta. Virheitä voivat aiheuttaa esimerkiksi valaistus ja kameras optiikka. Kuvan muokkaamiseksi on olemassa neljä eri tapaa: kontrastin ja kirkkauden säätö, geometrinen muuntaminen, paikalliset suodattimet ja kuvan palauttaminen. (Rantapuska 2012, 6-8; Sonka ym. 2008, 167)

Kontrastin ja kirkkauden säädöllä tarkoitetaan kuvassa olevien pikseleiden kirkkauden säätämistä joko kirkkauden korjauksella tai harmaaskaalan muuntamisella. Ensimmäinen ottaa huomioon pikselin alkuperäisen sijainnin ja kirkkauden muutoksen, jälkimmäinen muuntaa kuvaa yhtenäisesti. Kuvan kontrastin ja kirkkautta voidaan haluta muuttaa, jos esimerkiksi jokin osa kuvasta ei ole saanut tarpeeksi valoa tai jos halutaan korostaa kohdetta taustasta. (Sonka ym. 2008, 114–116)

Geometrisella muuntamisella tarkoitetaan kuvassa olevien vääristymien korjaamista. Esimerkiksi skannattu sivu voi olla taipunut jostain reunasta ja geo-

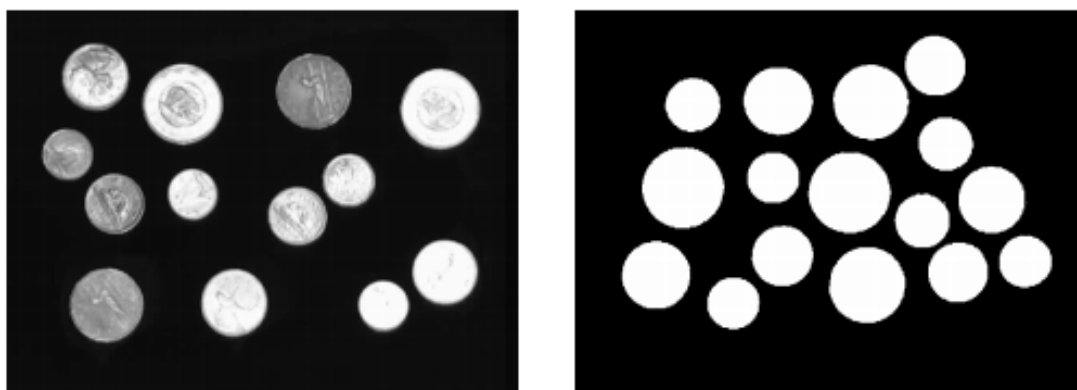
metrisella muuntamisella on tarkoitus korjata saatu kuva suoraksi. Muuntamiseen kuulu kaksi erillistä askelta, joista ensimmäisessä on tarkoitus korjata pikselien asemaa kuvassa ja tämän jälkeen pikselin kirkkaus korjataan vertaamalla viereisten pikselien kirkkautta. (Sonka ym. 2008, 118–121)

Paikallisilla suotimilla muokataan kuvasta pieniä osa-alueita kuvalaadun parantamiseksi. Kaksi päätavoitetta ovat kuvan pehmennys ja reunojen havaitseminen. Pehmennyksen tarkoituksena on vähentää kuvassa esiintyvää kohinaa sekä muita epätavallisia vaihteluja tai pikselihäiriöitä. Pehmennyksen haittapuolena on se, että se voi hävittää myös teräviä reunoja. Tästä johtuen kuvasta käsitellään pieniä osa-alueita kerrallaan. Jos kuva on hyvin sumea, voidaan reunojen havaitsemisella ja terävöinnillä parantaa kuvan laatua. (Sonka ym. 2008, 168–169)

Kuvan palauttamisella pyritään parantamaan heikentyneen kuvan laatua. Tällöin kuvasta on tarkoitus poistaa kuvan muodostusvaiheessa käytettyjen suotimien muunnokset. Kuvasta etsitään niin sanotusti raakaversiota. Kuvan laadun heikentymistä voi aiheuttaa esimerkiksi kuvan tärähtäminen, väärä linssin fokuointi tai kuvattavan kohteen nopeus. Yksinkertaisten virheiden korjaamiseksi on johdettu omat matemaattiset kaavansa, jotka perustuvat Fourier-muunnokseen. Näissä tapauksissa kuvassa olevaa kohinaa ei huomioida. Kun kuvassa oleva kohina on otettava huomioon, voidaan käyttää joko käänteistä suodinta tai Wiener-suodinta. (Sonka ym. ym. 2008, 164–166)

## 5.2 Segmentointi

Esikäsittelyn jälkeen kuva segmentoidaan. Segmentoinnin tarkoituksena on tuoda haluttu kohde esiin taustastaan. Segmentoinnin tulos voidaan esittää kuvion 12 tavalla. Ensimmäisessä kuvassa etsittäville kohteille on useita eri harmaan sävyjä. Oikeanpuoleisessa kuvassa kuvaa on segmentoitu niin, että kaikki pikselit, jotka eivät ole mustia muutetaan valkeaksi. Yleisimpiä segmentointitapoja ovat kynnystyys, reunapohjainen haku ja aluepohjainen haku. (Rantapuska 2012, 13; Sonka ym. 2008, 246)



Kuvio 12. Segmentointi kynnyksellä (Hyyti 2014, 15)

Kynnystys on yksinkertaisin segmentointimenetelmä, jossa on vain segmentoitu kohde ja sen tausta. Menetelmässä tarkkaillaan esimerkiksi harmaasävyyn arvoa  $T$ , jonka mukaan kohde ja tausta erottuvat. Kohdat jotka ylittävät arvon  $T$  määritetään kohteeksi ja arvon alittaneet kohdat määritetään taustaksi. Tämä menetelmä sopii parhaiten silloin, kun tausta ja kohteet ovat selkeästi eriväriset. Muussa tapauksessa kynnyksiarvo on vaikea löytää ja joudutaan käyttämään useampaa kynnyksiarvoa. (Sonka ym. 2008, 176–177)

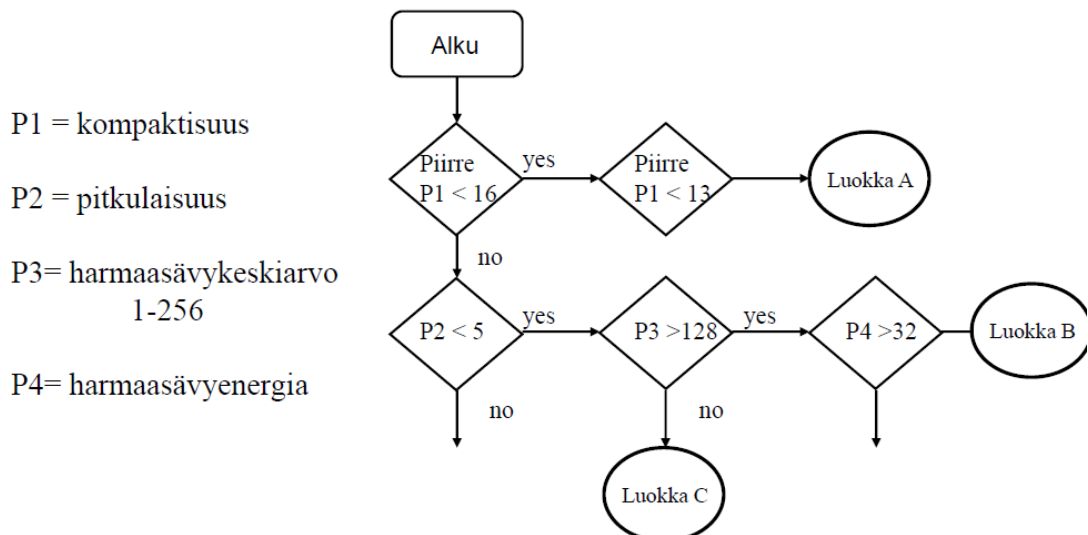
Reunapohjaisessa tunnistuksessa etsitään nimensä mukaisesti reunoja. Reunojen havaitsemiseksi tutkitaan esimerkiksi harmaa-alueiden jatkumia, värejä ja pintamateriaaleja. Ongelmaksi voi muodostua kuvat, joissa reunat eivät jatku yhtenäisinä koko alueella tai jos kuvassa on paljon kohinaa. Aluepohjainen tunnistus ei ole suora vastakohta reunapohjaiselle tunnistukselle, vaikka nimestä voisi niin päätellä. Näissä tunnistusmenetelmissä käytetään erilaisia tekniikoita. Aluepohjainen tunnistus toimii erityisesti kuvissa, joissa on paljon kohinaa. Aluepohjaisessa tunnistuksessa etsitään alueita, joissa on mahdollisimman vähän vaihteluita. (Sonka ym. 2008, 185–186, 223)

### 5.3 Piirteiden irrotus ja luokittelu

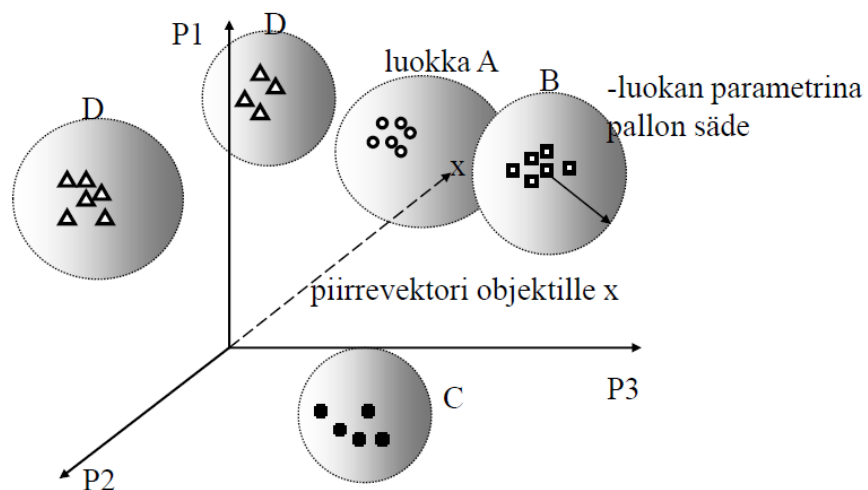
Viimeisessä vaiheessa on tarkoitus tutkia ja tehdä johtopäätöksiä segmentoiduista kuvista. Kuvassa olevaa segmentoitua kohdetta analysoidaan erilaisien mitattavien ominaisuuksien mukaan. Näitä ominaisuuksia kutsutaan piirteiksi. Kun kuvan erilaiset piirteet on tunnistettu, kuva voidaan luokitella piirteistä saatujen tietojen mukaan. (Rantapuska 2012, 28–29)

Jotta on mahdollista tutkia löytyykö haluttuja piirteitä kohdehahmosta, on määritettävä piirteiden ominaisuudet. Piirre voi olla esimerkiksi väri, pinta-ala tai pinnankarheus. Haluttaessa kohdehahmojen erottelun tarkkuudesta mahdollisimman suuri, on tärkeää valita erottelevat piirteet mahdollisimman hyvin. (Rantapuska 2012, 29–32) Esimerkiksi elintarviketeollisuudessa voidaan haluta tietää, onko jokin vihannes myyntikelpoinen. Tällöin voidaan hyödyntää vihanneksen väriä piirteenä. Vihanneksen väri ei kuitenkaan aina välttämättä kerro kaikkea ja siksi on hyvä mitata myös pinnassa olevia epämuodostumia. Näiden kahden piirteen avulla on mahdollista määrittää tarkasti vihannesten myyntikelpoisuus.

Yksinkertaisessa tapauksessa kappaleiden luokittelu voi onnistua jo yhdellä piirteellä, mutta vaikeimmissa tapauksissa piirteitä voi olla luokittelussa jopa 300. Piirteiden valinnan lisäksi on löydettävä oikea luokittelumenetelmä. Tällä hetkellä käytettyjä menetelmiä ovat esimerkiksi päättelypuu, piirreavaruus ja neuroverkot. Päättelypuussa edetään vaihevaiheelta eteenpäin tarkkaillen kohteen piirteitä. Jokaisella luokalla on tietty määrä erilaisia piirteitä ja näin luokat saadaan eroteltua toisistaan. Kuvio 13 havainnollistaa päättelypuun toimintaperiaatetta. Piirreavaruudessa (katso kuvio 14) kappaleella on piirrevektori, jonka koordinaattien numeraaliset arvot on korvattu piirteiden avulla. Neuroverkossa luokat opetellaan piirrevektoreiden avulla. Tällöin tulee olla edustettuna kaikki erilaiset variaatiot piirteistä ja ne luokiteltuna oikeisiin kategorioihin. Kun opetus on tehty, uusi kohde luokitellaan neuroverkon avulla oikein. (Rantapuska 2012, 33–37)



Kuvio 13. Päätelypuun toimintatapa (Rantapuska 2012, 34)



Kuvio 14. Piirreavaruuden toimintatapa (Rantapuska 2012, 35)

## 6 Kaatumiset

### 6.1 Esiintyvyys, syyt ja seuraukset

”Kaatuminen määritellään tapahtumaksi, jossa henkilö loukkaa itsensä päätyessään tarkoituksettomasti lattialle, maahan tai muulle alemmalle tasolle” (Tiirikainen 2009, 126). Kaatumisia tapahtuu Suomessa vuosittain lähes 300 000,

joista vajaassa puolessa tarvitaan sairaala- tai lääkärihoitoa. Näistä noin 1200 johtaa kuolemaan. Vuonna 2006 15,4 % hoitoa vaativista kaatumisista tapahtui kodin sisätiloissa. Sisällä kaatumistapaturmia tapahtuu erityisesti ikääntyneille. (Tiirikainen 2009, 126–129) Kaatuminen onkin ikääntyville yleisin tapaturman syy: neljä viidestä tapaturmasta johtuu kaatumisesta tai putoamisesta. Yli 50-vuotiaiden kaatumisista syntyneet vammat ovat moninkertaistuneet Suomessa vuosien 1970–2006 välillä. Samalla aikavälillä 75 vuotta täyttäneiden osuus väestöstä on kolminkertaistunut 8 %:iin. Arvioidaan, että heidän osuus tulee kasvamaan 14 %:iin vuoteen 2030 mennessä. (Honkanen, Luukinen, Lüthje, Nurmi-Lüthje & Palvanen 2008, 6-7) Näin ollen voidaan olettaa, että myös vanhusten kaatumistapaturmat tulevat lisääntymään tulevaisuudessa.

Kaatumisen syyt jaetaan ulkoisiin ja sisäisiin tekijöihin. Ulkoisia eli ympäristöön liittyviä riskitekijöitä ovat esimerkiksi kynnykset, portaat, liukkaus, epätasaisuus ja epäsopivat jalkineet. Sisäiset syyt johtuvat henkilöstä itsestään. Näitä syitä ovat esimerkiksi huono tasapainon säätely, lihasvoiman heikkous, aikaisemmat kaatumiset, sairaudet, lääkkeet ja kiire. Mitä vanhemmasta henkilöstä on kyse, sitä useammin kaatumisen syy on sisäinen. Yli 80 vuotta täyttäneillä sisäiset tekijät ovat syy kaatumisille 80 %:ssa tapauksista. Usein iäkkäällä henkilöllä kaatuminen johtuu useasta osatekijästä, joiden takia kaatumisriski on kohonnut. (Tiirikainen 2009, 129,185; Tilvis, Pitkälä, Strandberg, Sulkava & Viitanen 2010, 330–331)

Kaatumisen seurauksia voivat olla kuolema, fyysinen vammautuminen ja psykososiaaliset traumat. Vuonna 2006 yli 75 vuotta täyttäneistä kuoli noin 700 kaatumisen tai putoamisen seurauksena. Kuolleisuuteen vaikuttaa usein kaatumisen kanssa samaan aikaan ilmenevä muu sairaus esimerkiksi keuhkokuume tai sydänsairaus. Fyysisiin vammoihin luetaan murtumat, päänalueen vammat, pehmytkudosvauriot, nyrjähdykset ja repeämät. Yleisimpiä murtumatyyppejä ovat lantion ja käsivarren murtumat. Kaatumistapaturmista vain 2,9 % aiheuttaa lonkamurtuman, mutta näissä tapauksissa merkittävässä osassa seurauksena on menehtyminen tai toimintakyvyn radikaali heikentyminen. Päähän kohdistuvissa vammoista yleisimpiä ovat ruhjeet, repeämät ja sisäiset verenvuodot. Nämä vammat ovat ikääntyneillä yleisempiä aivojen tilavuuden

pienentymisen johdosta. Kaatumiset aiheuttavat myös psykologisia traumoja. Kaatuminen voi vaikuttaa minäkuvaan ja luoda kaatuneelle henkilölle tunteen hauraudesta ja kyvyttömyydestä. Kaatunut henkilö voi kokea, ettei ole enää kykenevä tekemään päivittäisiä askareita ja näin ollen heidän toimintakykynsä alenee. Samalla henkilöistä voi tulla entistä varovaisempia ja pelokkaampia, mikä puolestaan vaikuttaa heidän kaatumis- ja loukkaantumisalttiuteen. (Ti-deiksaar 2005,16–20)

## 6.2 Teknologia kaatumisten seuraamiseen

Kaatumisia seurataan useilla erilaisilla teknologisilla ratkaisuilla. Osa ratkaisuista on automaattisia, kun taas osassa ratkaisuista käyttäjän tarvitsee itse ilmoittaa kaatumisesta. Seuraavaksi on esitelty erilaisia markkinoilla olevia ratkaisuja niin Suomesta kuin muualtakin maailmalta. Lisäksi lopussa kerrotaan lupaavimmista tutkimuksista, joita löydettiin liittyen kaatumisten tarkkailuun. Osassa tutkimuksista on hyödynnetty myös konenäköjärjestelmää.

### **Turvarannekkeet**

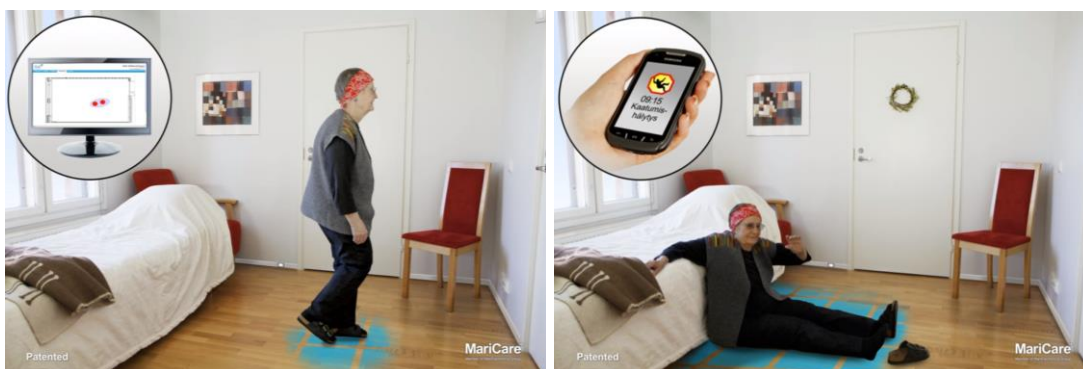
Erilaiset turvarannekeratkaisut ovat yleisimpiä ja palveluntarjoajia löytyy paljon ympäri maailmaa. Turvarannekkeen toiminnan pääperiaate on, että ihminen tekee itsenäisesti hälytyksen silloin, kun hän kokee tarvitsevansa apua. Turvarannekkeen sijasta hälytinsikkö voi olla käyttäjällä esimerkiksi kaulalla. Turvarannekkeeseen on liitetty erillinen turvapuhelin, jolla otetaan yhteyttä apua tarvitsevaan henkilöön ennen avun lähettämistä. Näin saadaan tietää millainen avuntarve henkilöllä on. Kuviossa 15 on esitelty Philipsin turvaranneke- ja turvapuhelinratkaisu. Vivagon tarjoamassa ratkaisussa hälytys voidaan tehdä automaattisesti. Ratkaisussa tarkkaillaan henkilön kehon tuottamia aktiviteettitietoja pitkällä aikavälillä ja jos toiminnassa huomataan poikkeavuuksia, tehdään hälytys. (Mielenrauhaa ja lisäturvaa 2015; Vivagon automaattisten hälytysten avulla vanhus saa apua myös yllättävissä tilanteissa n.d.)



Kuvio 15. Philipsin turvaranneke- ja turvapuhelinratkaisu (HomeSafe n.d.)

### Lattia-anturit

Suomalainen MariCare entinen Elsi Technologies markkinoi ratkaisua, jossa seurataan käyttäjän liikkeitä älylattian avulla. Älylattian toimintaperiaate on samanlainen kuin älypuhelimien kosketusnäytöissä. Älylattia havaitsee liikkeen ja ihmisen asennon lattian pinnassa. Näin lattia pystyy havaitsemaan, onko ihminen seisaallaan vai kaatuneena. Ihmisen kaatuessa lähetetään hälytys halutulle taholle. Kuvio 16 havainnollistaa tilannetta. Älylattia asennetaan samoin kuin kokolattiamatot. Lattian päälle asennetaan vielä haluttu lattiapinoite. Näin älylattia on käyttäjälle täysin huomaamaton. (Kuinka Elsi-teknologia toimii 2015)

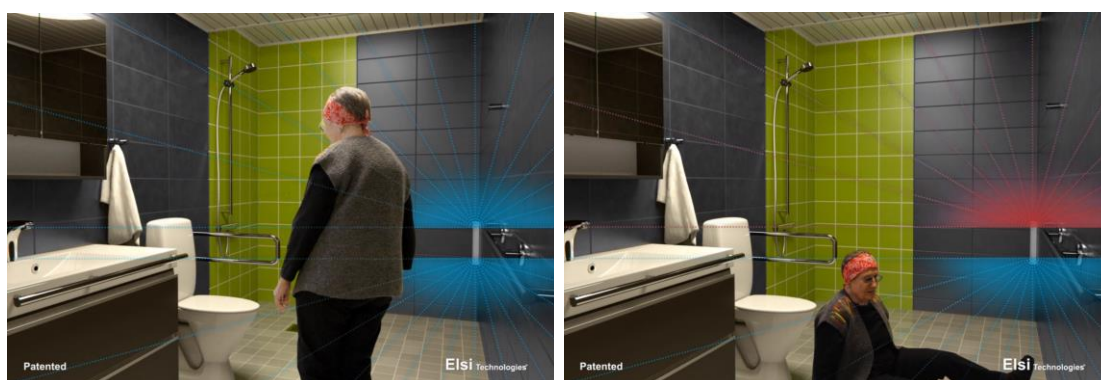


Kuvio 16. Elsi-lattian toimintaperiaate (Kuinka Elsi-teknologia toimii 2015)



### Vertikaalisesti sijoitetut anturit

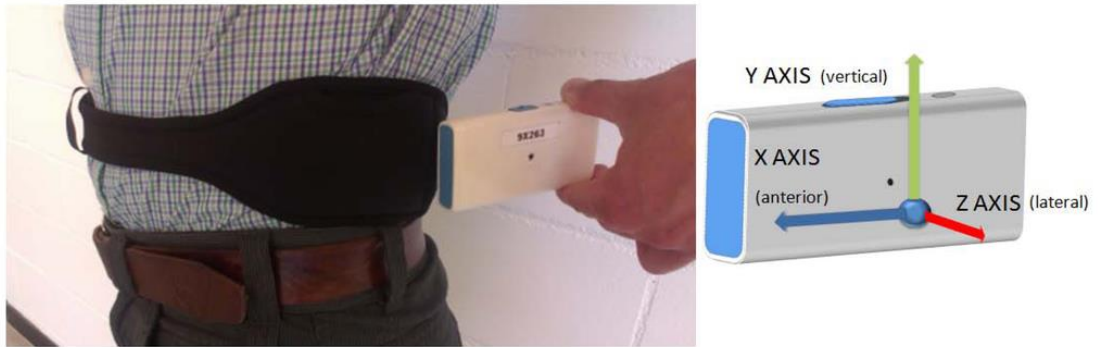
Suomesta löytyy ainakin kaksi markkinoilla olevaa ratkaisua, joilla seurataan kaatumisia pystysuuntaisesti asennettujen liiketunnistimien avulla. Laitteita myyvät MariCare ja Seniortek. Tunnistimet ovat laitteessa, joka on sijoitettu pystysuuntaisesti haluttuun paikkaan. Antureita on laitteessa kahdella eri korkeudella, josta ne havaitsevat liikettä (katso kuvio 17). Laite tekee hälytyksen, jos ylempi anturi ei enää havaitse liikettä. Kyseisellä tekniikalla toimivaa menetelmää on myös tutkittu Utahin yliopistossa. (Kukkatolppa n.d.; Kuinka eLea-hälytys toimii 2015; Mager, Patwari & Bocca 2013)



Kuvio 17. eLea-hälytysjärjestelmän toimintaperiaate (Kuinka eLea-hälytys toimii 2015)

### Puettavat anturit

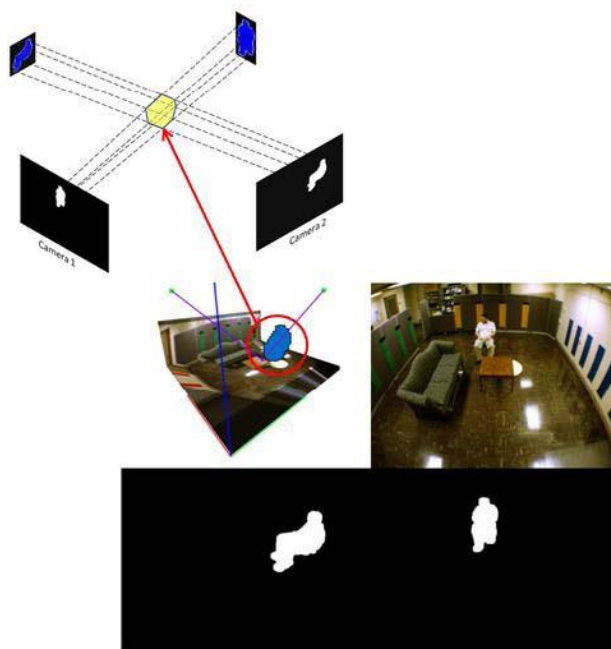
Erilaisia puettavien antureiden hyödyntämismahdollisuuksia on myös tutkittu. Oulun yliopistossa tehdyn tutkimuksen mukaan kiihtyvyysanturia voidaan hyödyntää kaatumisten havaitsemiseen. Kyseisessä menetelmässä anturi kiinnitetään vyötärölle. Laitteen avulla tehdään hälytys vain kaatumistapauksissa eikä se hälytä arkipäivän askareista. Katalonian teknillisessä yliopistossa on tehty samankaltainen tutkimus, jossa hyödynnetään myös kiihtyvyysanturia. Lisäksi laitteessa on antureita, jotka tarkkailevat asentoa. Kuviossa 18 on kuvattu, kuinka tarkkailtavan ihmisen on tarkoitus pukea laite päällensä. (Veräjänkorva 2011; Rodrigues-Martin, Perez-Lopez, Sama, Cabestany & Catala 2013)



Kuvio 18. Kiihtyvyyssanturin pukeminen (Rodrigues-Martin, Perez-Lopez, Sama, Cabestany & Catala 2013)

### Konenäköjärjestelmät

Maailmalta löytyy myös tutkimuksia konenäköjärjestelmällä toimivista kaatumisilmaisimista. Suomessa asiaa on tutkittu Aalto-yliopistossa, mutta toteutus on koettu vaikeaksi. Suomessa on myös uutisoitu Missourin yliopiston tekemästä järjestelmästä, jossa henkilöä tarkkaillaan usean kameran avulla. Kameroiden avulla saadaan muodostettua kolmiulotteinen malli, jonka avulla havaitaan henkilön kaatuminen. Kuviossa 19 on havainnollistettu järjestelmän toimintatapaa. (Partanen 2011; Sulopuisto 2008)



Kuvio 19. Missourin yliopiston suunnitteleman järjestelmän toimintaperiaate (Anderson, Luke, Skubic, Keller, Rantz & Aud 2008)

Kolmiulotteisen mallin hyödyntämistä on käytetty muissakin tutkimuksissa. Kameraan lisättävän syvyysanturin avulla informaatiosta saadaan kolmiulotteista. Tämän jälkeen ihminen voidaan tunnistaa ja määrittää kaatuneeksi. ihmisen tunnistuksessa käytetään erilaisia algoritmeja, minkä jälkeen ihmistä voidaan tehdä rautalankamalli. Microsoftin Kinect -liikeohjaimen toimintaperiaate on samanlainen ja siitä johtuen sitä on hyödynnetty tutkimuksissa. Kun ihmisestä on saatu rautalankamalli, voidaan laskea ihmisen massan keskipiste ja tätä tietoa hyödyntäen hänet voidaan määrittää kaatuneeksi. (Mundher & Zhong 2013; Josemans, Englebienne & Kröse 2013)

Toisenlainen lähtökohta kaatumisten tunnistamiseen on kuvata kameralla kaksiulotteista kuvaa. Tällöin ihmisen tunnistuksessa hyödynnetään ihmisen muotoja. Järjestelmä voi esimerkiksi tunnistaa seurattavan henkilön pään. Jos pään ja ruumiin lävitse tehty akseli on kohtisuorassa lattiaa vastaan, henkilö on pystyssä. Jos taas näin ei ole, henkilö on kaatunut. Vaihtoehtoisesti ohjelma voi tunnistaa koko ihmisen. Ohjelmalle on opetettu tunnistamaan kuvien avulla positiiviset ja negatiiviset tapahtumat, joissa positiivinen on kaatuminen ja negatiivinen ei kaatuminen. Näiden tilastojen avulla ohjelma pystyy tekemään päätelmän kaatumisesta. (Hazelhoff, Han & deWith 2008; Zhang, Becker, Arora & Athitsos 2010)

Lämpökameraa on myös hyödynnetty eräässä tutkimuksessa. Tutkimuksessa käytetty kamera on kallis ammattikäyttöön tarkoitettu Flir Thermo Vision A-20M. Tutkimuksessa kamera kuvaa kohdetta sivulta. Ohjelma ilmoittaa ihmisen kaatuneen, jos lämmönlähteen muoto vaakasuunnassa on suurempi kuin pystysuunnassa. (Wong, Lim, Loo & Lim 2010)

Merkittävimmiksi ongelmiksi tutkimuksissa on ilmoitettu tutkimustavasta riippuen taustan muutosten tunnistaminen ja ihmisen tunnistaminen taustasta. Tähän ongelmaan ratkaisua ovat etsineet Spehr, Gövercin, Winkelbach, Steinhagen-Thiessen ja Wahl tutkimuksessaan. Tutkimuksessa taustan muutokset ratkaistaan hybrid background subtraction -menetelmällä, jossa verrataan kahta peräkkäistä kuvaa. Vertailussa huomioidaan samanaikaisesti ihmisen ja taustan tunnistus. Ihminen tunnistetaan kuvasta algoritmilla, joka on luotu tähän tarkoitukseen. Kun tiedetään oletetun ihmisen sijainti kuvassa,

voidaan vertailla kahden kuvan taustaa. Vertailun avulla saada selville minkälainen nykyinen tausta on. (Spehr, Gövercin, Winkelbach, Steinhagen-Thiessen, and Wahl 2008)

## 7 Työn toteutus

### 7.1 Lähtökohdat

Työn lähtökohtana on löytää vaihtoehtoinen ratkaisu havaita kaatunut ihminen tarkkailtavassa tilassa. Ratkaisun tärkeimpiä vaatimuksia on, että ratkaisun on oltava edullinen, yksinkertainen ja varma. Esimerkiksi edellä esitetty turvalattia on kallis ja sen asentaminen vaatii lattiapintojen uusimisen. Turvarannekkeiden käytön heikkoutena sen sijaan on epävarmuus. Jos kaatumisen seurauksena henkilö on tajuton, käyttäjä ei pysty lähettämään avunpyyntöä.

Kiinteistö- ja kotiautomaation lisääntyminen luo uudenlaisia mahdollisuuksia myös turvallisuuden näkökulmasta. Automaatiojärjestelmiin on mahdollista kytkeä erilaisia ratkaisuja. Tämä synnytti ajatuksen konenäköjärjestelmän hyödyntämisestä kaatumistilanteiden seuraamisessa. Konenäköjärjestelmän potentiaalina voi nähdä myös, että sen avulla voidaan mahdollisesti lisätä turvallisuutta muillakin tavoin. Esimerkiksi tulipalon sattuessa on mahdollista havaita tilat, joissa on ollut ihminen ja näin ollen suunnata pelastusoperaatio oikeaan kohteeseen.

Nämä kaikki edellä mainitut asiat vaikuttivat siihen, että päädyttiin ryhtyä kehittämään konenäköjärjestelmää, jonka avulla havaitaan kaatuminen. Työssä lähtökohtaisena ajatuksena on, että järjestelmässä kuvan lähde on kattoon sijoitettu kamera, joka kuvaa alle levittyvää tilaa kuvion 20 osoittamalla tavalla. Työssä keskitytään ihmisen tunnistamiseen ympäristöstä ja tätä kautta havaitsemaan mahdollinen kaatumistilanne.



Kuvio 20. Kameran sijoittelu järjestelmässä

## 7.2 Vaiheet

Ensimmäiseksi työssä lähdettiin etsimään ratkaisua kuluttajille sopivan web-kameran avulla. Web-kamerat ovat useimmiten yhteensopivia ohjelmoinnissa hyödynnetyn Vision Assistant ohjelman kanssa ja tekevät niistä näin ollen varteen otettavan vaihtoehdon. Testauksessa on käytössä Logitech webcam C905. Kuva-alue kamerassa on testauksen kannalta riittävä. Kamera on asetettu 2,7 m korkeuteen ja tällöin kuvattava alue on noin 2,4 m x 3,1 m. Näin ollen koehenkilö mahtuu kuvaan kokonaan asennostaan huolimatta. Web-kameralla saadaan myös riittävän tarkkaa kuvaa tähän tarkoitukseen.

Web-kameran soveltuvuutta konenäkö-tarkoitukseen tutkittiin vision Assistant konenäköohjelmistolla. Analyysiä varten otettiin 20 erilaista kuvaa, joissa koehenkilö oli eri asennoissa ja valaistusominaisuuksia vaihdeltiin. Lisäksi osassa kuvista oli myös muita esineitä. Jotta on mahdollista havaita kuvissa olevat kohteet, verrataan kahta kuvaa toisiinsa. Ensimmäisessä kuvassa on alkutilanne, jolloin tilassa ei ole ylimääräisiä esineitä tai henkilöitä. Toisessa kuvassa taas on joko henkilö tai jokin muu esine. Ohjelmiston avulla pystytään ver-

taamaan kuvien eroavaisuus ja näin saadaan selville, mitä muutoksia kahden kuvan välillä on. Kuviossa 21 on näkyvillä lähtötilanne, tilanne hetken päästä, kuvien eroavaisuudet ja viimeiseksi kuva, jossa on tehty tarvittavat kuvankäsittelyt tarkan segmentoidun kuvan saamiseksi. Kuviossa 22 on samanlainen havainnollistettu tilanne, jossa henkilön sijasta tilaan on tuotu muita esineitä.

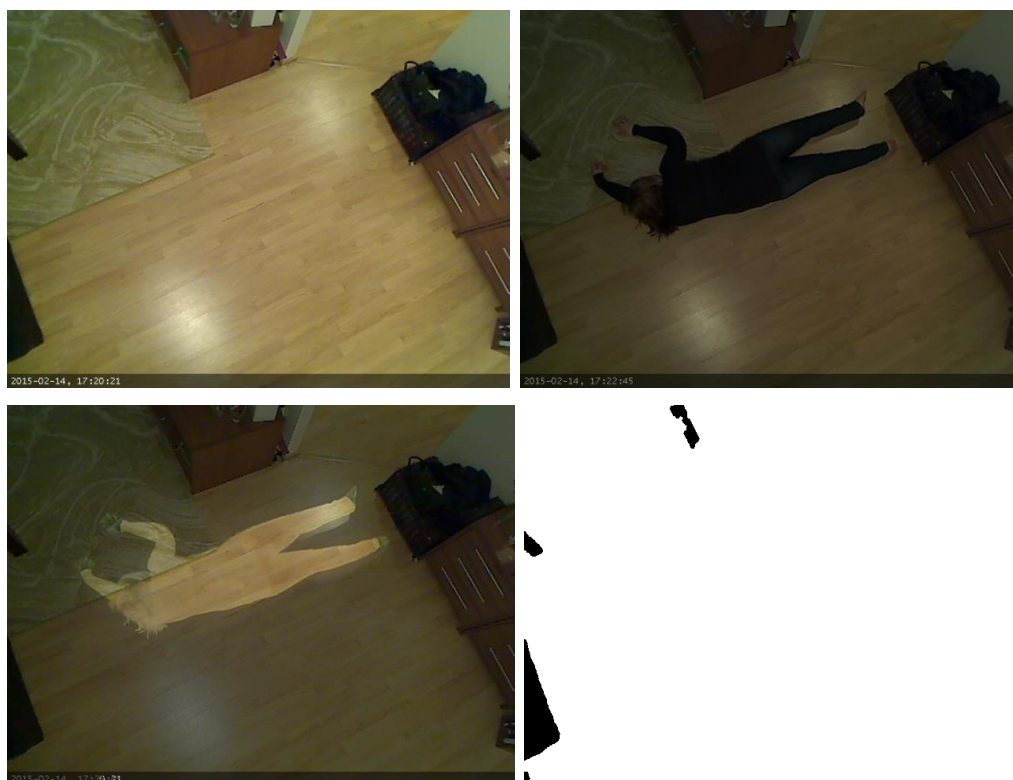


Kuvio 21. Vaiheet muutoksen havaitsemiseksi – kuvassa ihminen



Kuvio 22. Vaiheet muutoksen havaitsemiseksi – kuvassa muu kappale

Pienet esineet on mahdollista pois sulkea kuvista esimerkiksi laskemalla muutoksen pinta-ala ja määrittämällä jokin raja-arvo, jonka alittavat kuvat jätetään huomioimatta. Tämä ei kuitenkaan ole varma menetelmä, sillä kuvassa oleva esine voi olla myös ihmisen kokoinen ja näin ollen tulokset eivät ole varmoja. Testausvaiheessa heräsi kysymys myös siitä, miten tulkitaan tilanteet, joissa huoneen huonekalujen järjestystä muutetaan. Kyseisessä tilanteessa huonekalut, jotka eivät ole alkuperäisillä paikoillaan ilmaisevat myös huoneessa tapahtuneen liikettä. Lisäksi konenäköohjelmalla kuvia analysoitaessa huomattiin, että valaistuksen muuttuessa aikaisemmin tehdyt asetukset eivät enää toimineetkaan kyseisissä kuvissa, kuten kuvio 23 osoittaa. Vaikka konenäköohjelmasta onkin mahdollista tehdä sellainen, että se havaitsee valoisuuden muutokset ja muuttaa parametreja tilanteeseen sopivaksi, kyseisellä ohjelmalla ei pystytä kuitenkaan havaitsemaan kohteita täysin pimeässä. Jotta ohjelma saataisiin toimimaan täysin pimeässä huoneessa, järjestelmään olisi liitettävä esimerkiksi infrapunavalvoja, joiden avulla olisi mahdollista nähdä myös pimeässä. Tämä taas tekisi järjestelmästä ja laitteistosta monimutkaisen.



Kuvio 23. Valaistuksen muuttumisen vaikutus ohjelmaan

Edellä mainituista huomioista johtuen oli etsittävä vaihtoehtoisia ratkaisutapoja. Tässä vaiheessa nousi esiin ajatus hyödyntää ihmisen luovuttamaa lämpöä tutkimuksen perustana. Markkinoilla olevat lämpökamerat ovat kuitenkin vielä liian kalliita, eivätkä näin ollen täytä työlle asetettuja vaatimuksia. Tästä johtuen päätettiin tutkia mahdollisuutta hyödyntää suotimia ratkaisussa. Suotimilla on mahdollista suodattaa kameran kennolle menevää valoa (Azad ym. 2008, 23). Kyseisessä tilanteessa vaihtoehdoksi tuli suodin, joka suodattaa näkyvän valon aallonpituudet. Näin ollen kameran kenno vastaanottaa vain näkyvän valon yläpuolella olevia aallonpituuksia ja koska kameroiden kennotekniikka havaitsee valon aallonpituudet välillä 350 nm – 1000 nm, on kameralla mahdollista havaita pieni osa infrapuna-aalloista. Tämän onnistumiseksi kamerasta on kuitenkin poistettava suodin, joka estää näkyvän valon ylimenevän osan. Näiden toimenpiteiden jälkeen oli mahdollista tutkia, onko kyseisellä tekniikalla mahdollista saada haluttuja tuloksia. Nopean testauksen jälkeen oli havaittavissa, että ihmisen tuottama lämpö ei näy vielä kyseisillä aallonpituuksilla.

Yllämainittujen tutkimustulosten perusteella näytti siltä, että tutkimukseen oli otettava mukaan lämpökamera. Tarkempaa tutkimusta lämpökameroista teh-



dessä havaittiin, että lämpökameroista oli tulossa markkinoille myös kuluttajahintaisia tuotteita. Ammattikäyttöiset lämpökamerat maksavat 1000 – 30 000 €, mutta markkinoilta löytyi älypuhelimiin liitettäviä lämpökameroita, joiden hinnat ovat noin 300 € luokkaa (Lämpökamerat n.d.). Lämpökameraksi valittiin Seek thermal compact lämpökamera. Puhelimeen liitettävä lämpökamera ei ole ideaali, sillä sitä ei pysty suoraan liittämään pc-pohjaiseen konenäköohjelmaan. Kyseisen lämpökameran avulla pystytään kuitenkin selvittämään, onko lämpökamera ylipäättään toimiva ratkaisu kaatumisten seuraamiseen. Tässä tapauksessa jäätäisiin siis odottamaan, että kyseisen tekniikan omaavat kuluttajahintaiset kamerat tulisivat myös pc-pohjaisille laitteille, mikä tekniikan kehityksen johdosta ei toivon mukaan olisi enää kaukana. Lämpökameran kuva-ala ei ole yhtä suuri, mitä web-kameran vastaava ala on, mutta testaus-tarkoitukseen tämäkin on soveltuva. Vision Assistant-ohjelman avulla havaitaan nopeasti, että web-kameran kanssa olleet ongelmat ovat ratkaistavissa lämpökameran avulla. Lämpökameralla otetuissa kuvissa tilassa olevat muut esineet eivät vaikuta kuva-analyysiin. Lisäksi valon määrällä ei ole merkitystä; lämpökamerasta saatu kuva on siis yhtä varma sekä päivällä että yöllä.

## 8 Työn tulokset

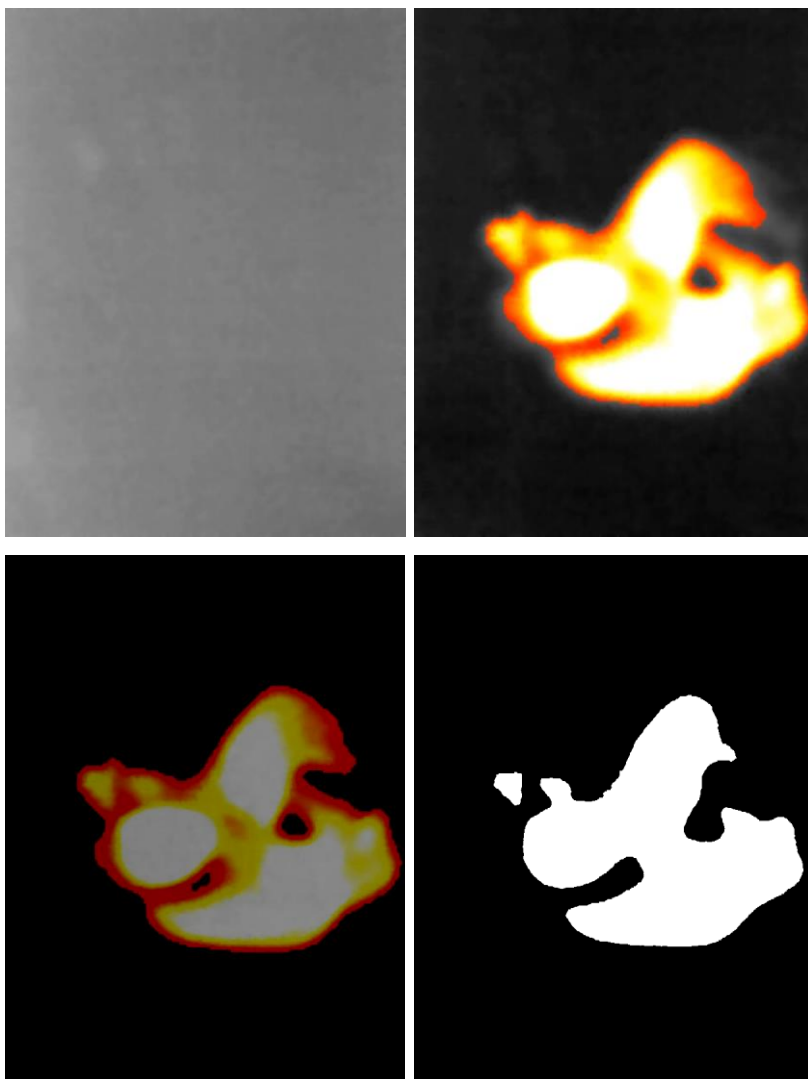
### 8.1 Ohjelman esittely

Lämpökameran valikoiduttua kuvien lähteeksi, otettiin ensimmäiseksi 25 erilaista kuvaa, jossa koehenkilö on eri asennoissa. Kuviin on haluttu mahdollisimman paljon muuntelua, joten niissä on otettu huomioon valoisuuden eri asteet, henkilöstä syntyvien lämpöjäämien kuvaaminen ja pienempien lämmönlähteiden, kuten lemmikkien sisällyttäminen kuvaan. Kameran mukana tulleessa sovelluksessa pystyttiin määrittämään lämpörajat. Yli 25 celsiusasteen pinnat näkyvät värillisinä ja alhaisemmat lämpötilat harmaina kuvion 24 osoittamalla tavalla. Näin ollen kuvia on jo esikäsitelty kynnystämällä ennen kuin kuvat on viety Vision Assistant konenäköohjelmaan.



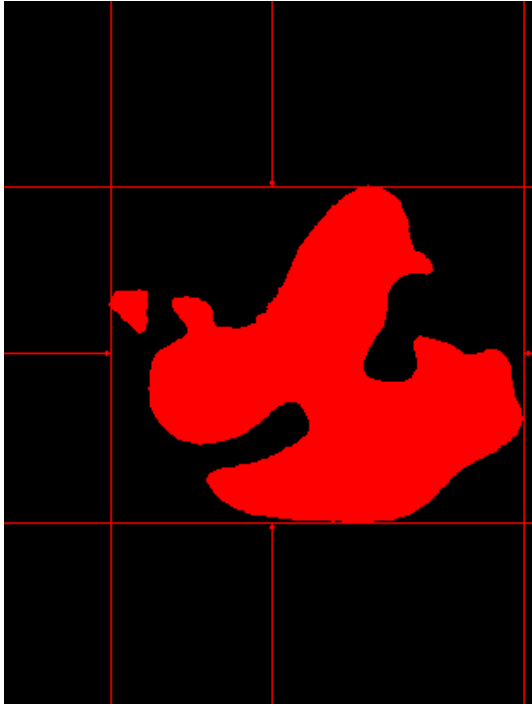
Kuvio 24. Lämpökameran tuottama kuva

Testitilanteessa hyödynnetään ennalta otettuja kuvia, sillä android-pohjaisen kameran kuvien saaminen reaaliaikaisesti konenäköohjelmalle ei ole mahdollista. Kuvia käytetään kuitenkin samalla logiikalla, kuin kuvat olisi otettu reaaliajassa. Kuvien oton välillä on ennalta määritetty ajanjakso, joka voi olla esimerkiksi 20 sekuntia. Konenäköohjelmassa ensimmäinen vaihe on sama kuin web-kameralla otetuissa kuvissa. Tilasta otetaan lähtökuvaa, jota verrataan toisella ajan hetkellä otettuun kuvaan. Tämän jälkeen muutosta ilmaisevaa kuvaa kynnystetään ja parannetaan kuvan laatua sulkemalla eli täyttämällä pikselin kokoisia aukkoja, poistamalla pieniä kohteita ja täyttämällä reikiä. Näin kuvista saadaan tarkempirajaisia ja täytettyjä. Kuvio 25 havainnollistaa edellä mainittuja vaihteita.



Kuvio 25. Vaiheet muutoksen havaitsemiseksi – lämpökamerakuva

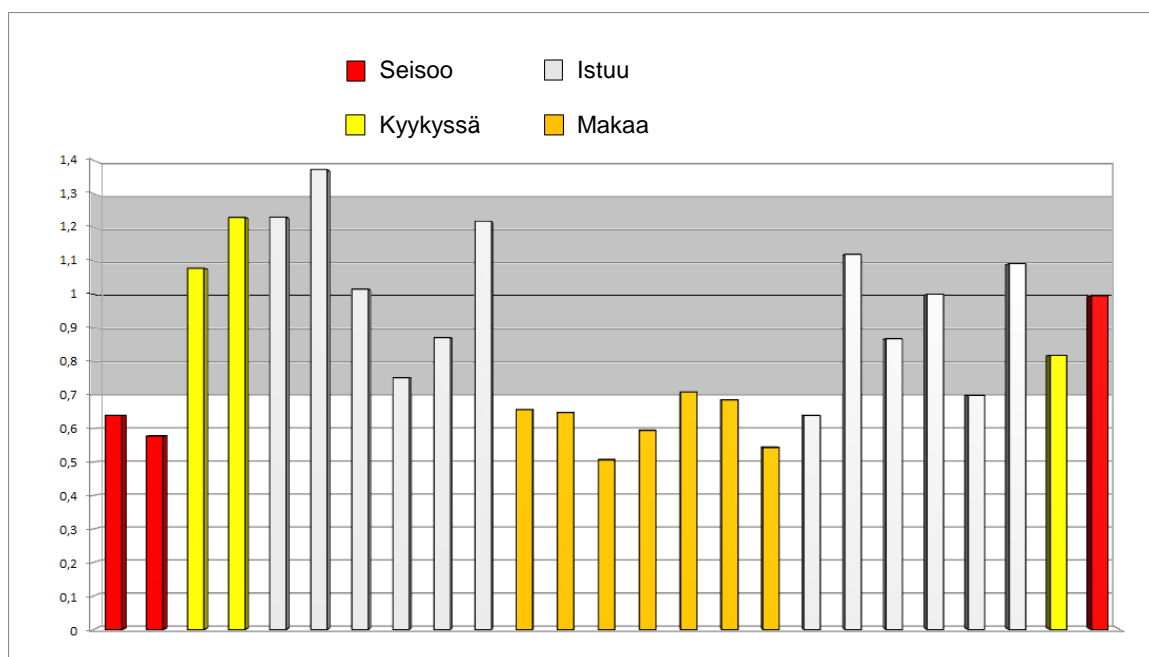
Jotta turhia hälytyksiä voidaan karsia mahdollisimman paljon pois, selvitetään missä asennossa henkilö on kuvassa. Asento voidaan määrittellä vertaamalla hahmon luomien ulkoreunojen pituuksien suhdetta. Reunat muodostuvat vaaka- ja pystysuunnassa siten, että ohjelma havaitsee kuvassa olevan ensimmäisen ja viimeisen pikselin ja laskee niiden välimatkan kuvion 26 osoittamalla tavalla.



Kuvio 26. Kohteen ulkoreunan pituuksien mittaus

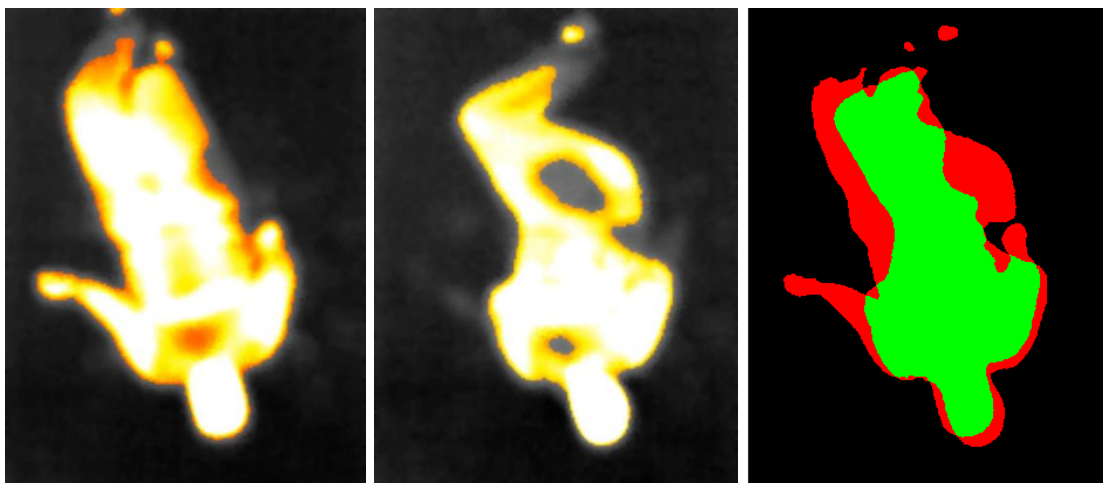
Testikuvissa olevien hahmojen reunojen pituuksien suhde on koottu taulukoon 3. Taulukosta selviää pituuksien suhteiden tulos sekä asento, jossa koehenkilö on kyseisellä hetkellä ollut. Analysoimalla tuloksia voidaan määrittää raja-arvot, joista riippuen hahmo on joko istuma-asennossa tai kaatuneena. Tässä tapauksessa raja-arvoksi on määritetty  $1 \pm 0,3$ . Eli arvon ollessa pienempi kuin 0,7 tai suurempi kuin 1,3 hahmo on kaatunut.

Taulukko 3. Reunojen pituuksien suhde ihmisen ollessa eri asennoissa



Turhia hälytyksiä voidaan vähentää myös suodattamalla pienet lämmönlähteet, kuten lemmikit. Suodatus tapahtuu laskemalla lämmönlähteen pinta-ala ja jättämällä huomioimatta kohteet, joissa pinta-ala ei ole riittävän suuri. Raja-arvoa määriteltäessä on pääasia, ettei ohjelma jätä huomioimatta ihmistä lämmönlähteenä. Näin ollen ohjelmalla voidaan poistaa korkeintaan keskikokoiset koirat ja sitä pienemmät lemmikit tai muut lämmönlähteet. Työn tässä vaiheessa ei kuitenkaan määritetty tarkkaa raja-arvoa, sillä tarvittaisiin suuri otanta erikokoisia ihmisiä ja lemmikkejä, jotta tarkan raja-arvon määrittäminen onnistuisi.

Jotta saadaan selville onko tarpeen tehdä hälytystä, täytyy selvittää, kuinka pitkään henkilö pysyy samassa asennossa. Tämä voidaan selvittää vertaamalla kahden eri aikaan otetun kuvan muutosta. Kuviossa 27 on ensimmäisenä kuva, joka on otettu ajanhetkellä x, seuraava kuva on otettu esimerkiksi 20 sekunnin päästä ja viimeisessä kuvassa on osoitettu edellisten kuvien muutos.



Kuvio 27. Verrattujen kuvien yhtäläisyydet ja eroavaisuudet toisiinsa nähden

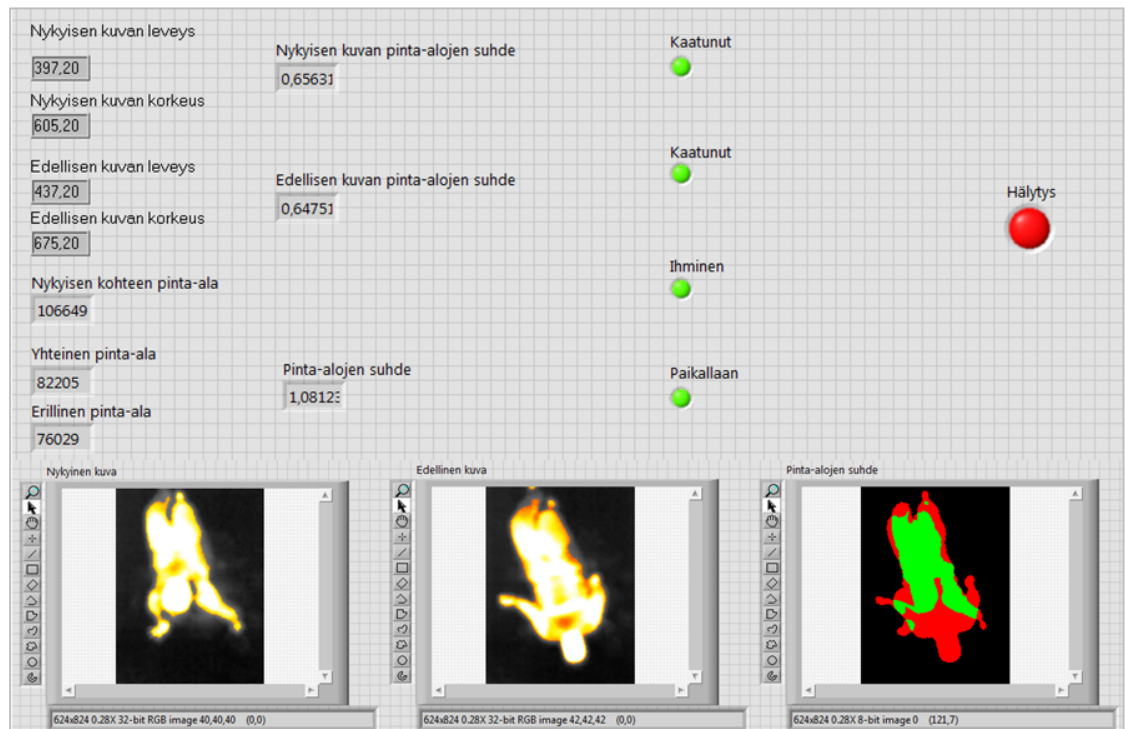
Hälytys tehdään, jos edellä mainittujen kriteerien lisäksi kahden kuvan välinen muutos on riittävän pieni. Muutosta voidaan mitata vertailemalla pinta-aloja kuvion 27 viimeisen kuvan kaltaisista kuvista. Kuvassa vihreä väri ilmaisee alaa, joka on kuville yhteinen ja punainen taas ilmaisee aloja, jotka ovat eriäviä. Jotta pinta-alat pystytään laskemaan, on punavihreää kuvaa kynnystettävä. Kynnestyksen avulla saadaan kaksi erillistä kuvaa, joista toisessa on yhteinen pinta-ala ja toisessa eriävät. Tämän jälkeen kuville voidaan laskea pinta-alat. Kun yhteinen pinta-ala jaetaan eriävällä pinta-alalla, voidaan määrittää raja-arvo. Raja-arvon yli menevillä arvoilla hälytys tehdään. Alle jäävillä arvoilla voidaan päätellä, että henkilö on liikkeessä ja hälytystä ei tarvitse tehdä. Taulukossa 4 on koottu pinta-alojen suhteiden vertailun tulokset, joiden avulla voidaan määrittää raja-arvo. Pinta-alojen suhteiden vertailussa vertailtiin viittä kuvaa kymmeneen kuvaan. Vertailun perusteella raja-arvoksi määriteltiin 1. Tällöin hälytys lähtee, jos henkilö on pysynyt kaatuessaan paikallaan. Henkilöltä sallitaan kuitenkin tilanteessa pään ja käsien liikuttelu. Taulukossa harmaa väri kertoo siitä, että vertailtavissa kuvissa ainakin toisessa henkilö ei makaa ja näin ollen hälytystä ei tarvita. Keltainen väri tarkoittaa, että hälytys on turha, kun raja-arvo on määritetty yhdeksi. Punainen väri kertoo kaatumisesta, jolloin henkilö on lähes paikoillaan ja tällöin hälytys tehdään. Oranssi väri kertoo kaatumisesta, jolloin henkilö liikkuu voimakkaasti ja tästä johtuen hälytystä ei lähde.

Taulukko 4. Kuvien pinta-alojen vertauksesta saadut arvot raja-arvon määrittämiseksi

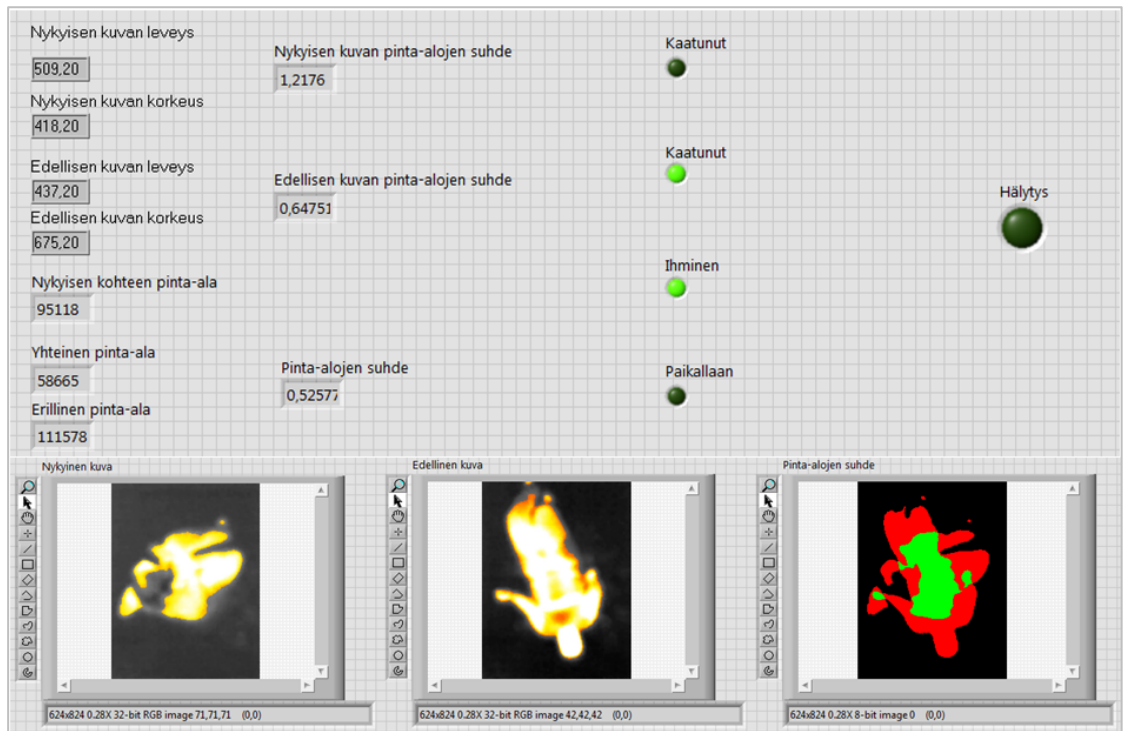
	Kuva 1	Kuva 2	Kuva 3	Kuva 4	Kuva 5	Kuva 6	Kuva 7	Kuva 8	Kuva 9	Kuva 10
Kuva 11	0,46	0,46	0,47	0,31	0,64	1	0,7	0,79	0,82	0,88
Kuva 12	0,3	0,41	ääretön	0,74	0,63	0,34	0,56	0,67	0,48	0,42
Kuva 13	0,55	0,59	0,56	0,55	0,53	1,08	ääretön	1,99	1	0,45
Kuva 14	0,36	0,47	0,56	0,58	0,46	0,23	0,51	0,66	0,84	0,32
Kuva 15	0,23	0,05	0,01	0,03	0,05	0,22	0,1	0,12	0,3	0,15

Vertailtavissa kuvissa ihminen ei makaa     Kaatuminen, voimakasta liikettä  
 Kaatuminen, paikallaan     Turha hälytys     Ei kaatumista

Vision Assistant konenäköohjelmalla saadaan käsiteltyä kuvia, mitattua sivujen pituudet ja laskettua pinta-alat. Kaikki muu ohjelman käsittely on tehty National Instruments LabVIEW ohjelmistolla. Tällä ohjelmistolla on tehty esimerkiksi jakolaskut, vertailut ja Boolean-lausekkeet. Kuvio 28 havainnollistaa, mitä kaikkia osatekijöitä tarvitaan, jotta hälytys syntyy. Vertailun vuoksi kuviossa 29 hälytystä ei synny.



Kuvio 28. Osatekijät, jotka tarvitaan hälytyksen lähtemiseksi



Kuvio 29. Esimerkki tilanteesta, jolloin hälytys ei lähde

## 8.2 Koetilanteen tulokset

Tehdyn ohjelman luotettavuutta testattiin ottamalla uusia kuvia, jotka eivät olleet vaikuttamassa ohjelman tekoon. Kuvissa oleva henkilö ei ollut tietoinen millaista analyysimenetelmää on käytetty, joten hän ei pystynyt omalla toiminnallaan vaikuttamaan kokeen lopputulokseen. Koetta varten otettiin 30 kuvaa. Koetilanteessa on vertailtu viittä kuvaa kymmeneen kuvaan. Taulukkoon 5 on koottu kokeen tulokset. Lisäksi liitteeseen 1 on koottu kaikki vertailussa olleet kuvat.

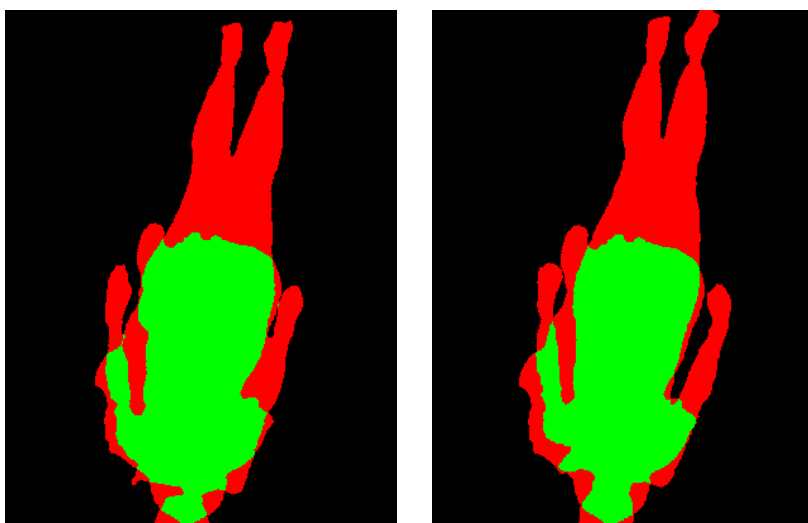


Taulukko 5. Kuvien pinta-alojen vertauksesta saadut tulokset

	Kuva 1	Kuva 2	Kuva 3	Kuva 4	Kuva 5	Kuva 6	Kuva 7	Kuva 8	Kuva 9	Kuva 10
Kuva 11	0,35	0,91	0,69	0,92	0,84	0,71	0,4	1,13	1,11	0,29
Kuva 12	0,18	1,04	0,78	0,86	0,66	0,64	2,37	0,61	0,84	0,4
Kuva 13	0,31	1,24	0,8	1,33	ääretön	4,29	0,63	0,61	0,66	0,55
Kuva 14	0,18	1,02	0,76	1,09	1,08	1,16	0,6	0,58	0,61	0,37
Kuva 15	0,18	0,75	0,41	0,56	1,2	1,07	0,56	0,53	0,67	0,8

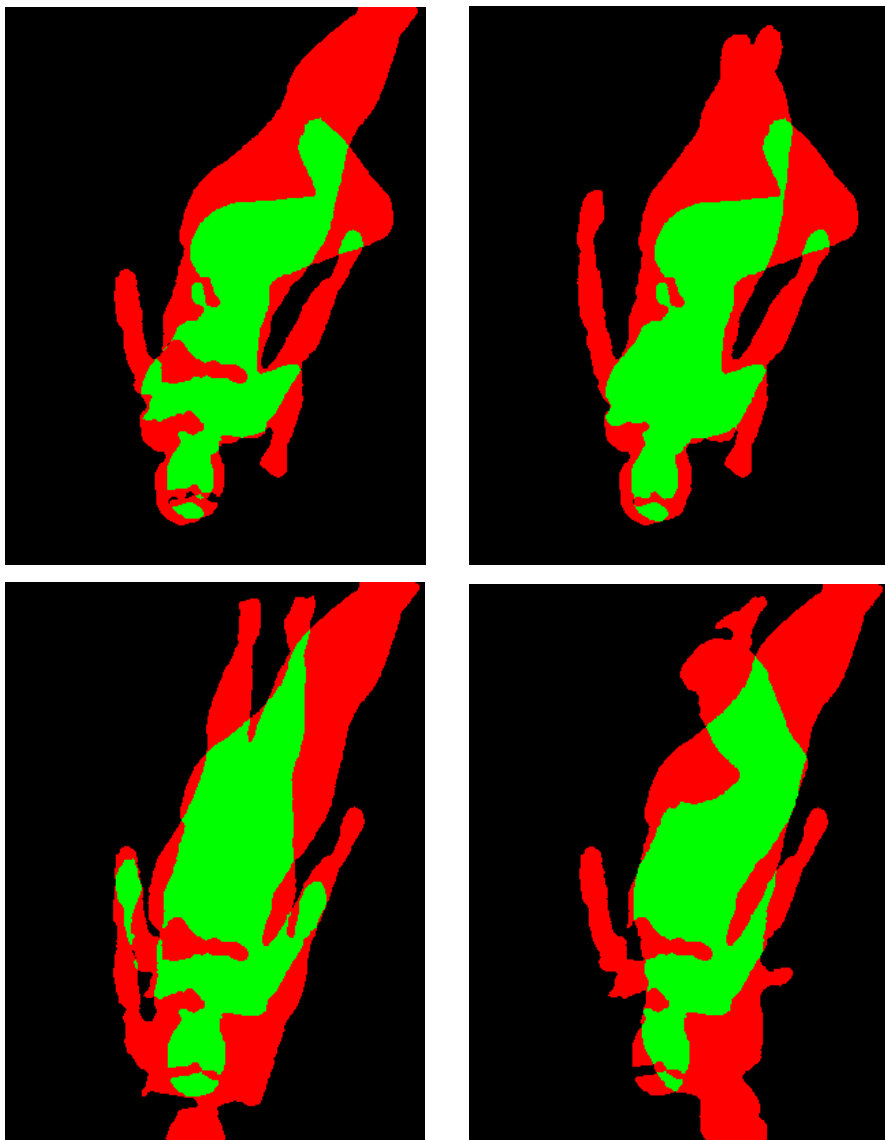
Vertailtavissa kuvissa ihminen ei makaa     Kaatuminen, voimakasta liikettä  
 Kaatuminen, paikallaan     Turha hälytys     Ei kaatumista

Tuloksista voidaan huomata, että kahdessa tapauksessa 12 syntyy turha hälytys. Hälytykset ovat lähteneet tilanteessa, jossa koehenkilö on ollut ensin maakaamassa ja tämän jälkeen hän on ollut nousemassa ylös kuvion 30 osoittamalla tavalla. Tällaisessa tilanteessa keskiruumis on pysynyt paikallaan, joten suurin osa havaitusta pinta-alastakin on pysynyt paikoillaan.



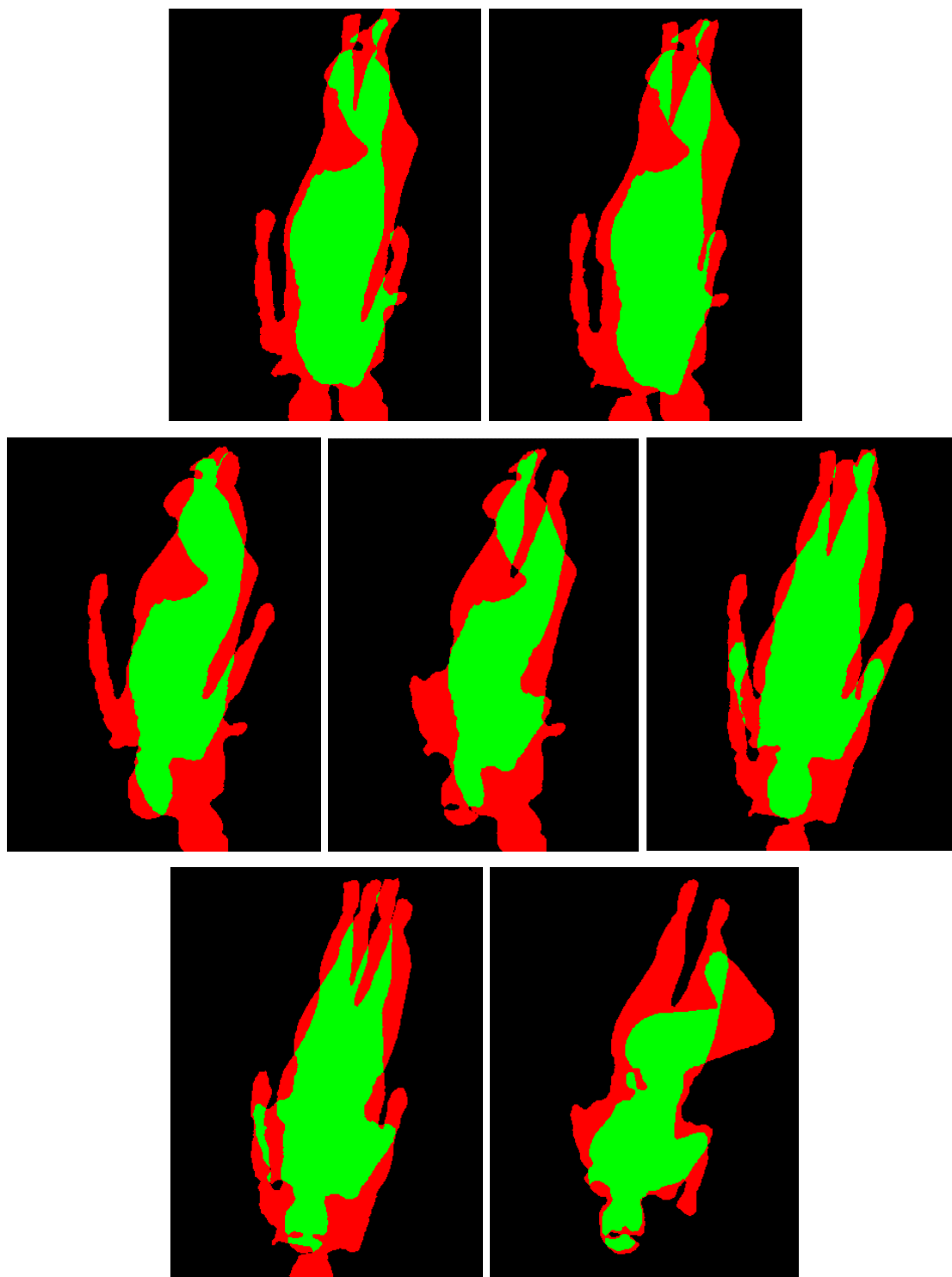
Kuvio 30. Tilanteet, joissa lähtee turha hälytys

Neljässä tapauksessa 14:ta henkilö on ollut kaatuneena, mutta hän on joko siirtänyt ruumistaan paikasta toiseen tai muuttanut asentoaan voimakkaasti kuvion 31 mukaisesti. Näistä syistä johtuen hälytystä ei ole syntynyt.



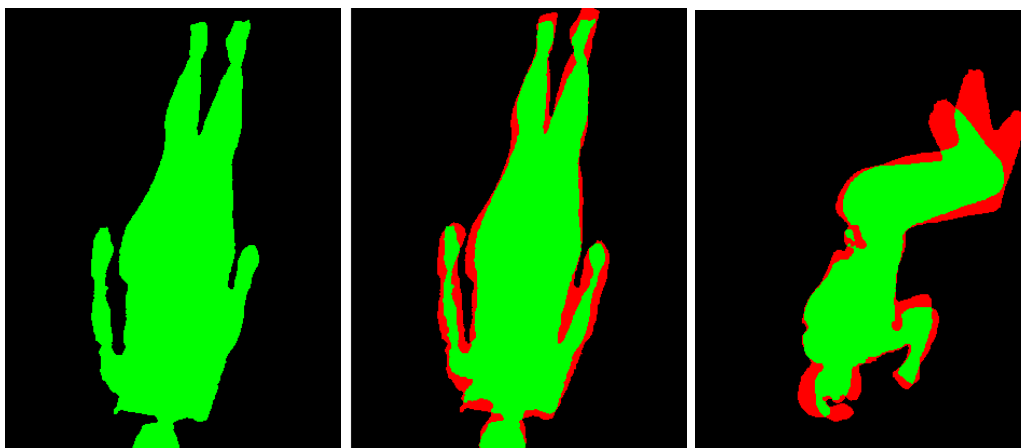
Kuvio 31. Tilanteet, joissa ei lähde hälytystä

Seitsemässä tapauksessa 14:ta pinta-alojen suhde on hieman suurempi kuin raja-arvo ja näin ollen hälytys on lähtenyt. Näissä tapauksissa henkilö on muuttanut asentoaan jonkin verran, mutta pitänyt esimerkiksi raajansa samansuuntaisesti koko ajan. Kuviossa 32 on koottuna nämä seitsemän tapaus-ta.



Kuvio 32. Tilanteet, joissa lähtee hälytys – henkilö liikkunut

Kolmessa tapauksessa 14:ta pinta-alojen suhteeksi on saatu selkeästi suurempi luku kuin mitä raja-arvo oli. Myös näissä tapauksissa hälytys on lähtenyt. Näissä tapauksissa henkilö on pysynyt joko täysin paikallaan tai lähes liikkumatta, kuten kuvioista 33 huomataan.



Kuvio 33. Tilanteet, joissa lähtee hälytys – henkilö pysynyt lähes paikallaan

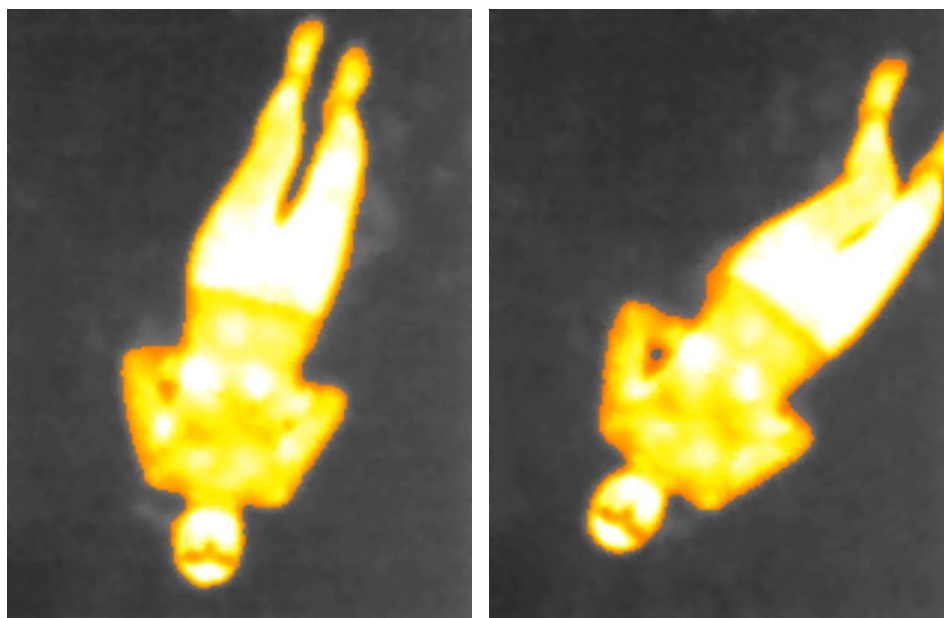
## 9 Tulosten tarkastelu

Koetilanteessa saadut tulokset olivat suurimmaksi osaksi odotusten mukaiset. Oletuksena oli, että koehenkilön pieni liikehdintä on sallittua, mutta suuri liikehdintä estää hälytyksen lähtemisen. Näin myös koetilanteessa tapahtui. Pitää kuitenkin muistaa, että todellisessa tilanteessa kuvia vertaillaan pidemmällä ajanjaksolla ja tällöin todennäköisyys suurenee, että ohjelma havaitsee kaatumisen jossain välin. Tulokset on saatu pienellä otannalla ja tästä johtuen ei voida olla varmoja, ettei ohjelmaan ole jäänyt jotain aukkoja. Nämä aukot voisivat esimerkiksi estää hälytyksen lähtemisen tilanteessa, jossa sen pitäisi lähteä.

Koetilanteessa pinta-alojen suhteiden raja-arvo oli määritetty yhdeksi. Tarkasteltaessa koetilanteen tuloksissa esitettyä taulukkoa 5 voidaan kuitenkin todeta, että kyseisessä tilanteessa raja-arvo olisi voinut olla myös pienempi. Jos raja-arvoksi olisi määritelty 0,8, olisi hälytysten määrä lisääntynyt kolmella. Kahdessa tapauksessa kolmesta hälytys olisi lähtenyt tilanteessa, jolloin henkilö on ollut kaatuneena, mutta hänen liikehdintänsä on ollut voimakasta. Yhdessä tapauksessa kolmesta olisi taas lähtenyt turha hälytys. Ohjelman varmuuden kannalta turhat hälytykset ovat pienempi ongelma kuin se, että hälytyksiä jää lähtemättä. Toisaalta turhat hälytykset voivat häiritä käyttäjiä ja näin ollen oikea ratkaisu voisi olla ohjeistaa tarkkailtavaa henkilöä toimimaan halu-

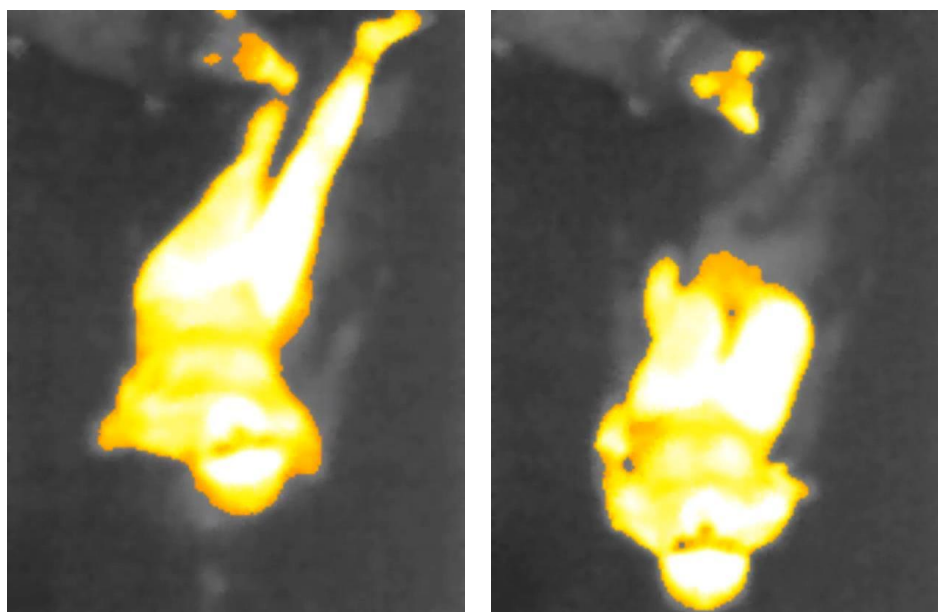
tulla tavalla kaatumisen sattuessa. Kaatunutta henkilöä voitaisiin kehottaa pysymään mahdollisimman paikallaan, jos hän selkeästi tietää, ettei ylö nousu yksin ole mahdollista.

Koetilanteen kuvia lähemmin tarkasteltaessa heräsi ajatus siitä, onko neliömäisyyden analysointi paras tapa havainnoida ihmisen asentoa. Tällä hetkellä ohjelmassa määritellään kaatuminen sivujen suhteita tarkkailemalla. Koska sivut mitataan pysty- ja vaakasuunnassa, ohjelma voi tulkita väärin kaatumisen, joka on tapahtunut 45 asteen kulmassa pysty- tai vaaka-akselin suhteen. Kuviossa 34 on verrattu kahta erilaista kaatumistilannetta, joissa toisessa ohjelma määritteli ihmisen kaatuneen ja toisessa ei. Ohjelmassa raja-arvo sivujen suhteeksi oli määritelty  $1 \pm 0,3$ . Ensimmäisessä kuvassa arvoksi tulee 0,43 eli henkilö on kaatunut ja toisessa 0,76, jolloin ohjelma ei havaitse kaatumista. Ongelma on merkittävä ja siihen on puututtava, jotta on mahdollista saada kaikki kaatumistilanteet selville. On kuitenkin tärkeää huomata, että lämmönkohteen sivujen pituuden määrittäminen ei ole välttämätöntä kaatumisten seuraamiseen. Tällä on ainoastaan haluttu vähentää turhia hälytyksiä, jotka syntyvät siitä, että henkilö seisoo tai istuu paikallaan.



Kuvio 34. Henkilön asennon vaikutus hälytyksen lähtemiseen: ensimmäisessä kuvassa hälytys lähtee, jälkimmäisessä ei

Koetilanteen kuvia otettaessa paikalla oli myös koehenkilön koira, joka näkyy muutamassa kuvassa (katso kuvio 35). Koska kyseisellä koiralla on paksu turkki, siitä jääneet lämpöjäljet, jotka ylittävät 25 celsiusasteen rajan, ovat pääsääntöisesti vain kuonon ja kypälien alueella. Ohjelmassa on määritelty poistettavaksi pienet lämpöjäljet ja näin ollen koira ei ole vaikuttanut tuloksiin.



Kuvio 35. Tilassa useampi lämmönlähde

Kuvien perusteella kuitenkin heräsi kysymys, minkälainen vaikutus kahdella eri lämmönlähteellä on ohjelman toimivuuteen. Lämmönlähde voi esimerkiksi vaikuttaa siihen, minkä muotoiseksi ohjelma arvioi kohteen. Esimerkiksi kaatumistilanteessa toinen lämmönlähde voi vaikuttaa ohjelmaan siten, että se havaitsee kohteen neliömäisenä ja näin ollen olettaa, ettei kohde ole kaatunut. Lisäksi toinen lämmönlähde voi vaikuttaa laskettaessa pinta-alojen suhteita. Riippuen siitä pysyykö toinen kohde liikkeellä vai ei, voi se vaikuttaa ratkaisevasti siihen, mikä arvo pinta-alojen suhteiksi saadaan. Tässä tapauksessa hälytys voi jäädä lähtemättä, vaikka varsinainen kohde pysyisi paikallaan, sillä toissijainen kohde on liikkeellä ja näin kasvattaa eriäviä pinta-aloja. Ohjelmalla on kuitenkin tarkoitus pääasiallisesti seurata yksinäisiä vanhuksia tai muuten heikon toimintakyvyn omaavia henkilöitä. Tästä johtuen on mietittävä, kuinka merkittävästä ongelmasta on kyse, mietittäessä lemmikkien vaikutusta ohjelman tuloksiin.

Useammasta lämmönlähteestä nousi myös ajatus, voiko esimerkiksi ulkoa tuleva suora auringonvalo lämmittää lattiapintaa niin paljon, että se vaikuttaisi tulokseen. Tätä tekijää ei ole tutkittu työssä. Ongelma on helppo korjata ainakin väliaikaisesti estämällä suoran valon pääsyn tarkkailtavaan tilaan esimerkiksi sälekaihtimilla.

## 10 Tulosten vertaaminen muihin tutkimuksiin

Vaikka markkinoilta ei löydykään tuotteita, joissa hyödynnetään konenäköä kaatumisten havaitsemiseen, tutkimusten perusteella voidaan huomata, ettei konenäön hyödyntäminen ole itsessään uusi ajatus. Erilaisia ratkaisuja on tutkittu ja osassa tulokset vaikuttavat lupaavilta. Opinnäytetyön tutkimuksessa on joitain samoja piirteitä, mitä löydetyissä tutkimuksissa. Tämä toisaalta on täysin ymmärrettävää, sillä onhan ongelma jokaisessa tutkimuksessa sama. Opinnäytetyön tutkimus eroaa merkittävästi muista tutkimuksista, sillä siinä käytetään kuluttajahintaista lämpökameraa informaation keräämiseen. Näin ollen opinnäytetyön tutkimuksella on kuitenkin merkittävästi uutuusarvoa.

Osassa tutkimuksista on monimutkaisia algoritmeja, joiden ymmärtämiseksi tarvitaan merkittävää alan osaamista. Lämpökameran avulla saadaan helposti tarkkaa informaatiota ja tästä johtuen ohjelma on voitu tehdä yksinkertaisilla algoritmeilla. Lisäksi osassa tutkimuksista on käytetty kallista ja monimutkaista tekniikkaa, missä tarkkojen tulosten saamiseksi järjestelmään on liitettävä muitakin sensoreita. Näin ollen toimeksiantajan tavoitteet eivät täyty helppokäyttöisyyden ja hinnan osalta näissä ratkaisuissa, mikä osaltaan vaikeuttaisi tuotteistamista.

Toimeksiantajalla on myös muita visioita, joiden avulla voidaan parantaa kodin turvallisuutta. Visiot ovat sen kaltaisia, että ne saadaan parhaiten toteutettua ratkaisulla, jossa hyödynnetään lämpökameraa. Lämpökamera mahdollistaa esimerkiksi liesien ylikuumentumisen tarkkailun, alkavien tulipalojen havaitsemisen ja henkilöiden löytämisen tulipalotilanteissa. Tästä johtuen muissa tutkimuksissa esitetyt ratkaisumallit eivät ole toimivia kyseisessä tilanteessa.

## 11 Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet

Ensimmäinen johtopäätös on, että konenäköjärjestelmän avulla näyttäisi olevan mahdollista tarkkailla ihmistä ja tehdä hälytys. Hälytys tapahtuu, kun henkilö on kaatuneena ja pysyy paikallaan. Jotta järjestelmä on toimiva ja täyttää annetut vaatimukset, on kuvaaminen tapahduttava lämpökameralla.

Ohjelmaa on testattu tällä hetkellä pienessä mittakaavassa. Jatkokehitystä varten ohjelmaa tulisi testata suuremmassa mittakaavassa. Tämä tarkoittaa sitä, että ohjelmaan olisi liitettävä useampi lämpökamera, jotta saadaan kuvattua koko huone kerrallaan. Tällöin huomioon on otettava myös paikat, joissa paikallaan olo on sallittua, esimerkiksi sohvat, sängyt ja tuolit. Tässä vaiheessa ohjelmaan on lisättävä maskeja, joiden avulla voidaan määrittää alueita, joissa tarkkailua ei suoriteta. Jotta raja-arvoista on mahdollista saada mahdollisimman tarkkoja, olisi tärkeää analysoida tarkemmin ihmisen liikehdintää huoneistossa. Tutkimus voitaisiin suorittaa esimerkiksi kuvaamalla huoneistoa ennalta määritetyn ajanjakson ajan.

Toinen johtopäätös on, että ohjelmassa on vielä pieniä epävarmuuksia, jotka voivat vaikuttaa hälytyksen lähtemiseen. Jotta ohjelman toimintavarmuutta saadaan lisättyä, on ohjelmaa kehitettävä vielä eteenpäin. Ensimmäisenä kehitettävänä asiana on ratkaista, kuinka voidaan tarkasti määrittää ihmisen asento. Tällä hetkellä ohjelmassa se on ratkaistu mittaamalla kohteen neliömäisyyttä. Ongelman ratkaisemiseksi voisi olla kaksi vaihtoehtoa. Ensimmäinen vaihtoehto voisi olla tarkkailla kohteen pitkulamaisuutta. Tällöin ellipsi muodostuu kohteen reunojen ympärille. Jos kohde on voimakkaasti ellipsimäinen, kohde on kaatunut, jos taas kohde on pyöreä, kaatumista ei ole tapahtunut. Toinen vaihtoehto on edelleen tarkkailla kohteen neliömäisyyttä, mutta tarkkailu ei olisi rajoittunut vaaka- ja pystyakselin suuntaisesti. Tällöin käytettäisiin bounding box –työkalua, jonka avulla suorakaide kääntyisi kohteen mukaisesti. Toinen kehitettävä asia on kahden lämpöpisteen tarkkailu. On löydettävä keino erottaa kaksi lämpöpistettä toisistaan niin, että niitä voidaan analysoida omina kokonaisuuksinaan. Viimeinen kehitettävä asia on auringonvalon tuottamien lämpöjälkien havaitseminen ja huomiotta jättäminen ohjelmassa. Ikkunasta sisään pääsevä auringonvalo tekee usein lattiaan suo-



rakaiteen muotoisia alueita, joten ohjelmassa voitaisiin jättää huomioimatta kohteet, joissa on selkeästi havaittavissa suorja reunoja.

Kun ohjelma on saatu toimimaan halutulla tavalla, on seuraavaksi mietittävä suuremmassa mittakaavassa tuotteen kehitystä. Tässä vaiheessa on mietittävä ohjelman käyttöliittymää. Pohdittavia asioita on esimerkiksi millä tavoin ohjelmasta lähtevä hälytys saavuttaa halutut tahot tai liitetäänkö ohjelmaan esimerkiksi jotain kytkimiä, joilla tarkkailtava kohde voi peruuttaa turhan hälytyksen. Jatkotoimenpiteenä voidaan pitää myös sitä, että on tarkkailtava markkinoille tulevia lämpökameroita ja analysoida niiden soveltuvuutta kuvan lähteeksi. Vaihtoehtoisesti voidaan tutkia myös mahdollisuutta kasata itse komponenteista kamera, joka täyttää määritetyt vaatimukset.

## 12 Pohdinta

Jo aiemmin todettiin vaikuttavan sille, että konenäköjärjestelmällä on mahdollista ilmoittaa ihmisen kaatuminen. Näin ollen opinnäytetyössä saatiin vastaus tärkeimpään kysymykseen. Vastauksen ollessa vielä myönteinen, voidaan tutkimukseen olla erityisen tyytyväisiä. Opinnäytetyötä tehdessä näytti pitkään siltä, ettei myönteisen tuloksen saaminen ole mahdollista toimeksiantajan vaatimukset huomioon ottaen. Tästä johtuen työtä jouduttiin tarkkailemaan useasta eri näkökulmasta ennen kuin oikea ratkaisuvaihtoehto löytyi.

Koska ratkaisuvaihtoehtoa ei tahtonut löytyä, jouduttiin myös hieman joustamaan ennakkoon asetetuista vaatimuksista kustannusten osalta. Toisaalta tämä mahdollisti suunnittelemaan sellaisen ohjelman, jossa ennakoidaan tulevia markkinoita. Tekniikan kehittyessä on jo olemassa ratkaisu, joka voidaan lanseerata heti ja näin ollen saadaan paras mahdollinen markkinarako tuotteelle. Koska järjestelmään on näillä näkymin liitettävä ainoastaan kamera ja mahdollisesti kytkimiä, on se myös helposti asennettavissa. Järjestelmästä saadaan käyttäjälle helppokäyttöinen sen automaattisuuden takia. Käyttäjien tarvitsee ainoastaan osata tulkita saatua hälytystä sekä mahdollisesti kuitata hälytys turhaksi kytkimen avulla. Koska käytetään konenäköjärjestelmää, se

luo itsessään jo mahdollisuuden muunneltavuudelle. Periaatteessa ohjelma on mahdollista räätälöidä jokaiselle käyttäjällä erikseen ja uusien ideoiden syntyessä niitä on mahdollista lisätä ohjelmaan sitä mukaan. Järjestelmän varmuuteen voidaan vaikuttaa jatkokehityksellä ja se onkin avainasemassa, jotta kehitysideasta saataisiin valmis tuote.

Työn suuntaa jouduttiin muuttamaan useampaan kertaan, jotta löydettiin ratkaisu, joka toimii. Tästä johtuen itse ohjelman luontiin jäi vähemmän aikaa ja osa ratkaistavista ongelmista oli jätettävä kehitettäväksi jatkossa. Samasta syystä työn tuloksiin ei voida olla täysin tyytyväisiä. Onhan tietysti totta, että tällaisissa projekteissa riittää aina kehitettävää, mutta työn tekijä olisi halunnut päästä pidemmälle työn ratkaisun kehittämisessä. Rajausta on kuitenkin tehtävä johonkin pisteeseen tai muuten työ laajenee liikaa ja näin ollen ylittää opinnäytetyölle määritetyn laajuuden. Tämän kaltaiselle työlle on muutenkin vaikea määrittää tarkkoja rajoja, jotka on tavoitettava, koska työtä suunnitellaan käytännössä tyhjältä. Tällöin on vaikea ennustaa, miten työ tulee etenemään.

Työn etenemistä hidasti varmasti myös se, että työn tekijällä ei ollut ennalta paljon kokemusta kyseisestä aiheesta. Työtä varten jouduttiin opiskelemaan alusta alkaen uudenlainen ohjelmointikieli. Työ eteni ajoittain hitaasti, sillä uusien ideoiden löytyminen vei oman aikansa. Tekijän oli ajoittain vaikea luopua vanhoista ideoista, sillä tällöin käytännössä jouduttiin aloittamaan työ uudelleen tyhjältä pöydältä. Lopulta työssä uskallettiin rohkeasti koittaa erilaisia ratkaisumenetelmiä, mikä mahdollisti halutun tuloksen saamisen. Työskentelystä teki mielenkiintoisen aihe ja tieto siitä, että työssä kehitetään uudenlaista ratkaisua menetelmällä, joka on aikaisemmin suomalaisessa tutkimuksessa hylätty toimimattomana. Loppujen lopuksi työn tekijä on kuitenkin tyytyväinen työn etenemiseen ja saatuihin lopputuloksiin.

## Lähteet

- Ahlroth H. 2010. Konenäköjärjestelmät. Opetusmateriaali. Aalto-yliopisto. Sähkötekniikan korkeakoulu. Sähkötekniikan ja automaation laitos. Kappale-tavaratuotannon automaatio -kurssi. Viitattu 14.10.2015.  
[https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-116.1100/luennot/AS-116\\_1100\\_luentokalvot\\_\\_konenako.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-116.1100/luennot/AS-116_1100_luentokalvot__konenako.pdf)
- Ala-Kokko V. 2008. Savusukellusopas. Pelastusopiston julkaisu.
- Anderson D., Luke R., Skubic M., Keller J., Rantz M. & Aud M. 2008. Evaluation of a Video-Based Fall Recognition System for Elders Using Voxel Space. Tutkielma. University of Missouri. Viitattu 4.11.2015.  
[http://www.eldertech.missouri.edu/files/Papers/Anderson/Evaluation\\_of\\_a\\_Video-Based\\_Fall\\_%20Recognition\\_System.pdf](http://www.eldertech.missouri.edu/files/Papers/Anderson/Evaluation_of_a_Video-Based_Fall_%20Recognition_System.pdf)
- Azad P., Gockel T. & Dillman R. 2008. Computer vision: Principles and practice. United Kingdom: Elektor International Media
- Elintarviketeollisuus. N.d. Kine robot solutions OY:n sivusto. Referenssit. Viitattu 2.12.2015. <https://kine.fi/fi/references/food>
- Firefighting. N.d. Flir:n sivusto. Kuvamateriaali. Viitattu 2.12.2015.  
<http://www.flir.com/fire/display/?id=60239>
- Hazelhoff L., Han J. & deWith P. 2008. Video-Based Fall Detection in the Home Using Principal Component Analysis. Tutkielma. Viitattu 4.11.2015.  
<http://vca.ele.tue.nl/publications/data/LHazelhoff2008a.pdf>
- HomeSafe. N.d. Philips Liflinen sivusto. Viitattu 29.10.2015.  
<https://www.lifeline.philips.com/safety-solutions/homesafe>
- Honkanen R., Luukinen H., Lüthje P., Nurmi-Lüthje I. & Palvanen M. 2008. Ikäihmisten kaatumistapaturmat ja niiden ehkäisy: Opas sosiaali- ja terveydenhuollon ammattilaisille.
- Hyyti H. 2014. Konenäkö robotin ohjauksessa. Opetusmateriaali. Aalto-yliopisto. Sähkötekniikan korkeakoulu. Sähkötekniikan ja automaation laitos. Automaatio- ja systeemitekniikan laboratoriotyöt -kurssi. Viitattu 18.8.2014.  
[https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-0.2230/materiaali/AS-0\\_2230\\_tyon\\_3\\_tyoohe\\_ja\\_esiselostustehtavat.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-0.2230/materiaali/AS-0_2230_tyon_3_tyoohe_ja_esiselostustehtavat.pdf)
- Härmä O. N.d. Kuvat. Opetusmateriaali. Peda.net. e-Opin oppikirjat. eFysiikka 7. II Tähdet, avaruus ja maailmankaikkeus. Viitattu 14.11.2015.  
<https://peda.net/sastamala/sylvaan-koulu/e-opin-oppikirjat/efysiikka-722/itja/kuvat/kuvagalleria-ii/ss>
- Josemans W., Englebienne B. & Kröse B. 2013. Fusion of Color and Depth Camera Data for Robust Fall Detection. Tutkielma. Proceeding of the 8<sup>th</sup> international joint conference on computer vision, imaging and computer graphics theory and applications 608-613. Viitattu 4.11.2015.  
<http://www.digitallifecentre.nl/redactie/resources/josemans2013visapp.pdf>

Kinnunen T. 2015. Digitaalinen kuvatekniikka: Kameran optiikka ja sensorit. Opetusmateriaali. Aalto-yliopisto. Perustieteiden korkeakoulu. Tietotekniikan laitos. Digitaalinen kuvatekniikka -kurssi. Viitattu 28.10.2015. [https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/t-75.4100/luennot/T-75\\_4100\\_optiikka\\_ja\\_sensorit.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/t-75.4100/luennot/T-75_4100_optiikka_ja_sensorit.pdf)

Konenäkö. 2013. Opetusmateriaali. Aalto-yliopisto. Sähkötekniikan korkeakoulu. Sähkötekniikan ja automaation laitos. Automaatio 2 -kurssi. Viitattu 18.8.2014 [https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/elec-c1220/lisatty12383/ELEC-C1220\\_konenako.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/elec-c1220/lisatty12383/ELEC-C1220_konenako.pdf)

Kuinka eLea -hälytys toimii. 2015. MariCare Oy:n sivusto. Viitattu 29.10.2015. <http://www.maricare.com/elea/index.php/fi/kuinka-elea-toimii/kuinka-elea-haelytykset-toimivat>

Kuinka elsi-teknologia toimii. 2015. MariCare Oy:n sivusto. Viitattu 29.10.2015. <http://www.maricare.com/elsi/index.php/fi/kuinka-se-toimii/kuinka-elsin-teknologia-toimii>

Kukkatolppa. N.d. Seniortek Oy:n sivusto. Viitattu 29.10.2015. <http://www.seniortek.fi/ratkaisu/kukkatolppa7>

Lämpökamera. N.d. Oppimateriaali. Kunnossapito. Mekaniikka. Viitattu 2.12.2015. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka.html>

Lämpökamerat. N.d. Tuoteluettelo. Yleiselektronikka Oyj:n sivusto. Viitattu 19.10.2015. <http://www.yeint.fi/index.php?main=64 & productCat=1480>

Lämpökameran toiminta. N.d. Infradex Oy:n sivusto. Viitattu 28.10.2015. <http://www.infradex.com/yleistietoa/kuinka-lampokamera-toimii/>

Lämpösäteily ja infrapuna. N.d. Infradex Oy:n sivusto. Viitattu 28.10.2015. <http://www.infradex.com/yleistietoa/mita-on-lamposateily-ja-infrapuna/>

Mager B., Patwari N. & Bocca M. 2013. Fall detection. University of Utah. Department of Electrical and Computer Engineering. SPAN: Sensing and Processing Across Networks. Viitattu 29.10.2015. <http://span.ece.utah.edu/fall>

Mielenrauhaa ja lisäturvaa. 2015. Debora Oy:n sivusto. Viitattu 29.10.2015 <http://www.debora.fi/palvelut/palvelut-kotiin/turvaranneke/>

Mundher Z. & Zhong J. 2014. A Real-Time Fall Detection System in Elderly Care Using Mobile Robot and Kinect Sensor. Tutkielma. International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing 2, 2. Viitattu 4.11.2015 <http://www.ijmmm.org/papers/115-X1003.pdf>

Paloniitty S. & Kauppinen T. 2006. Rakennusten lämpökuvaus. Jyväskylä: Rakennusteollisuuden kustannus RTK.

Partanen P. 2011. Turvalattia hälyttää APUA. Artikkelit TEK –verkkolehti sivustolla 17.3.2011. Viitattu 3.11.2015. <http://arkisto.lehti.tek.fi/node/1184>

Rantapuska S. 2012. Konenäköpäivät 11.10.2012: Konenäön perustekniikat. Esitysmateriaali Konenäköpäiviltä. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Rodrigues-Martin D., Perez-Lopez C., Sama A., Cabestany J. & Catala A. 2013. A Wearable Inertial Measurement Unit for Long-Term Monitoring in the Dependency Care Area. Artikkele sivustolla MDPI. Viitattu 29.10.2015. <http://www.mdpi.com/1424-8220/13/10/14079>

Semkina S. 2015. Terveysteknologian vienti rikkoi ennätyksiä. Kauppalehti uutiset 9.4.2015. Viitattu 23.10.2015. <http://www.kauppalehti.fi/uutiset/terveysteknologian-vienti-rikkoi-ennatyksia/AjFvuGRg>

Soini A. N.d. Konenäkö. Raportti. Suomen automaatioseura ry. Viitattu 6.8.2014. <http://www.automatioseura.fi/index/tiedostot/Konenako.pdf>

Sonka M., Hlavac V. & Boyle R. 2008. Image processing, analysis and machine vision. 3 p. USA: Cengage learning.

Spehr J., Gövercin M., Winkelbach S., Steinhagen-Thiessen E., and Wahl F.M. 2008. Visual Fall Detection in Home Environments. Tutkielma. <http://www.gerontechnology.info/Journal/Proceedings/ISG08/papers/047.pdf>

Sulopuisto O. 2008. Konenäkö vahtii vanhusten kaatumisia. Digitoday uutiset 28.6.2008. Viitattu 3.11.2015. <http://www.digitoday.fi/tiede-ja-teknologia/2008/06/28/konenako-vahtii-vanhusten-kaatumisia/200817305/66>

Tideiksaar R. 2005. Vanhusten kaatumiset: Opas hoidosta vastaaville. Helsinki: Edita.

Tiirikainen K. 2009. Tapaturmat Suomessa. Helsinki: Edita. Tilvis R., Pitkälä K., Strandberg T., Sulkava R. & Viitanen M. 2010. Geriatria. 2 Uud. p. Porvoo: WS Bookwell.

Valokuvauksen peruskäsitteitä N.d. Käsitteitä sivustolla Digitaalikuvaus. Viitattu 12.8.2014. <http://www.digitaalikuvaus.com/kasitteet.html>

Vanhala-Nurmi V. 2010. Tietokonegrafiikka. Opetusmateriaali. Haaga-Helia ammattikorkeakoulu. Viitattu 26.8.2014 [https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCAQFjAAahUKEwja\\_eGFgZHJAhUrkXIKHZCUA\\_U&url=http%3A%2F%2Fmyy.haaga-helia.fi%2F~vanvu%2Fphoto%2Ftkgrafiikka.doc&usg=AFQjCNHLqoyQVBQvRyA-9u2gMAzqYPNUJA](https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCAQFjAAahUKEwja_eGFgZHJAhUrkXIKHZCUA_U&url=http%3A%2F%2Fmyy.haaga-helia.fi%2F~vanvu%2Fphoto%2Ftkgrafiikka.doc&usg=AFQjCNHLqoyQVBQvRyA-9u2gMAzqYPNUJA)

Veräjänkorva A. 2011. Laite havaitsee vanhuksen kaatuneen. Yle uutiset 15.12.2011. Viitattu 29.10.2015. [http://yle.fi/uutiset/laite\\_havaitsee\\_vanhuksen\\_kaatuneen/5468200](http://yle.fi/uutiset/laite_havaitsee_vanhuksen_kaatuneen/5468200)

Vivagon automaattisten hälytysten avulla vanhus saa apua myös yllättävissä tilanteissa. N.d. Vivago Oy:n sivusto. Viitattu 29.10.2015.  
<http://www.vivago.fi/vivago-ominaisuudet/automaattiset-halytykset/>

Voutilainen P. 2003. Konenäkö. Oppimateriaali. Puutuoteteollisuus. Automaatio. Viitattu 3.11.2015.  
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/automaatio/konenako/index.html>

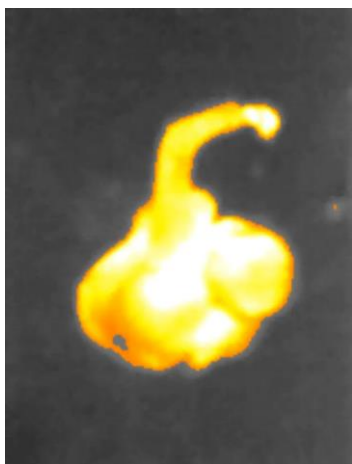
Wong W., Lim H., Loo C. & Lim W. 2010. Home Alone Faint Detection Surveillance System Using Thermal Camera. Tutkielma. Multimedia university. Faculty of Engineering and Technology. Viitattu 5.11.2015.  
[http://www1.mmu.edu.my/~wkwong/index\\_files/Publication/T114publish.pdf](http://www1.mmu.edu.my/~wkwong/index_files/Publication/T114publish.pdf)

Zhang Z., Becker E., Arora R. & Athitsos V. 2010. Experiments with Computer Vision Methods for Fall Detection. Tutkielma. University of Texas at Arlington. Computer Science and Engineering Department. Viitattu 4.11.2015.  
[http://vlm1.uta.edu/~athitsos/publications/zhang\\_petra2010.pdf](http://vlm1.uta.edu/~athitsos/publications/zhang_petra2010.pdf)

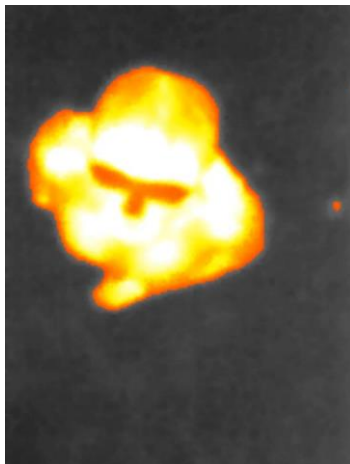
## Liitteet

### Liite 1. Koetilanteet tulokset kuvina

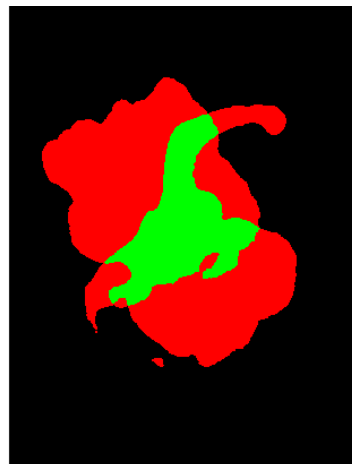
Kuva 11



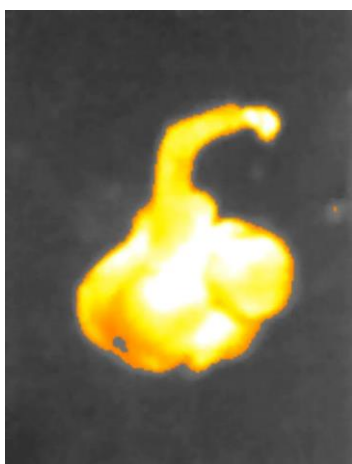
Kuva 1



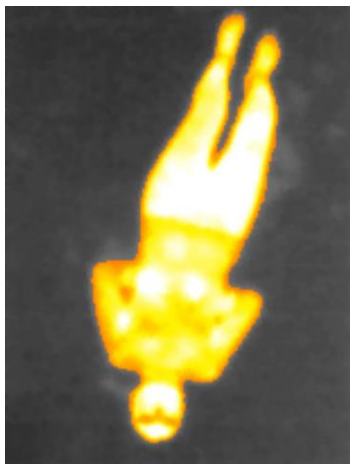
Kuvien vertailu



Kuva 11



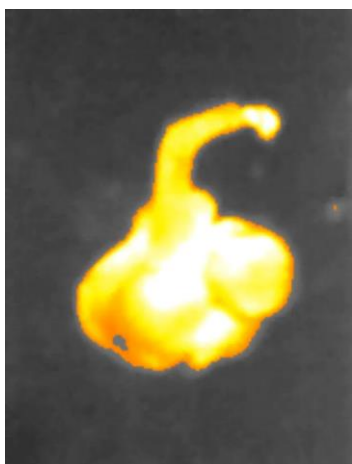
Kuva 2



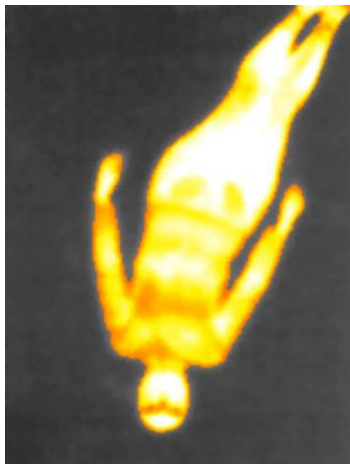
Kuvien vertailu



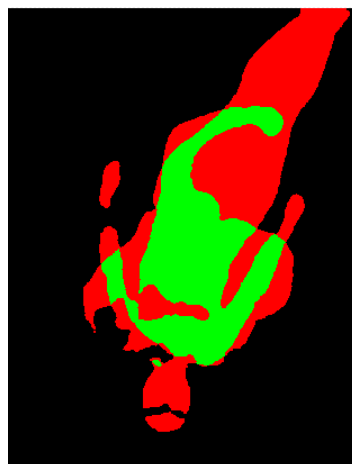
Kuva 11



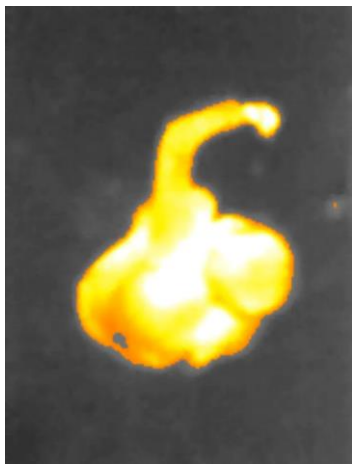
Kuva 3



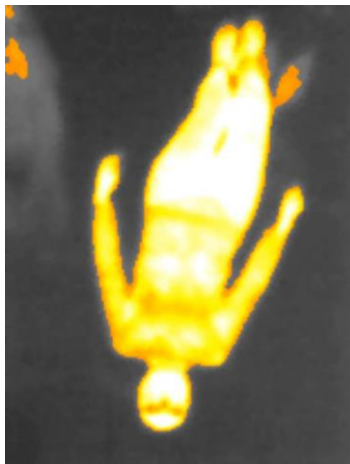
Kuvien vertailu



Kuva 11



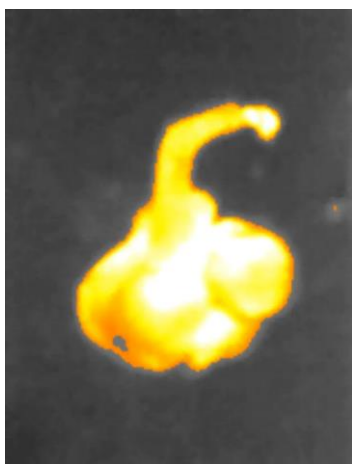
Kuva 4



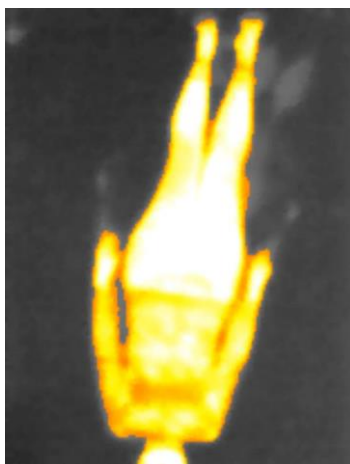
Kuvien vertailu



Kuva 11



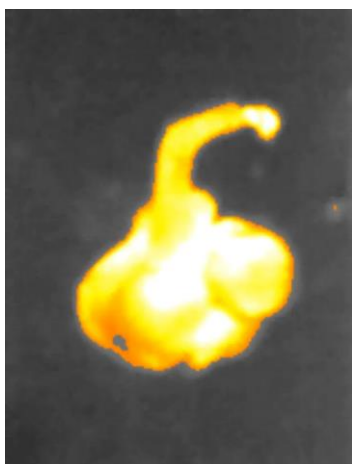
Kuva 5



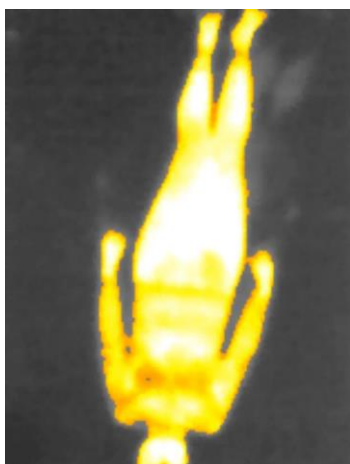
Kuvien vertailu



Kuva 11



Kuva 6

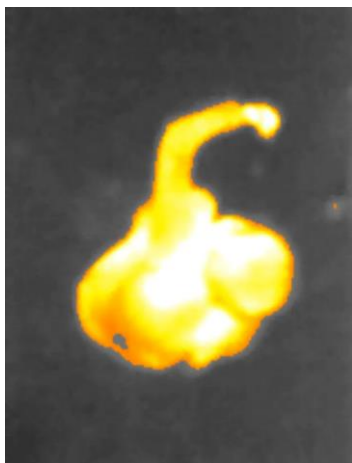


Kuvien vertailu





Kuva 11



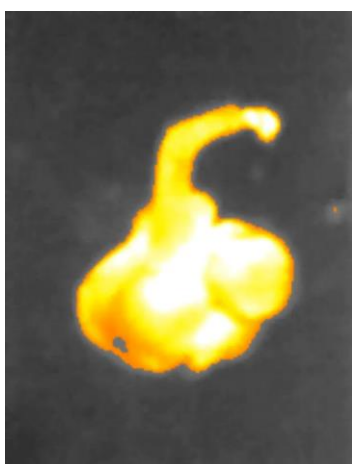
Kuva 7



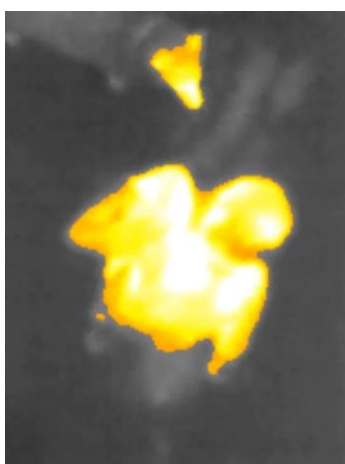
Kuvien vertailu



Kuva 11



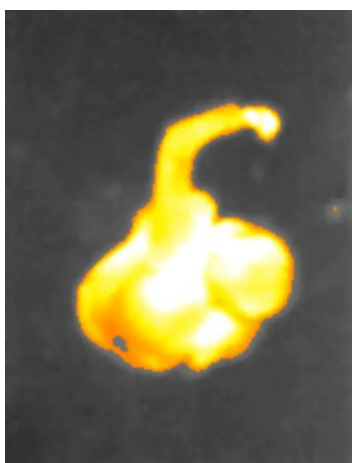
Kuva 8



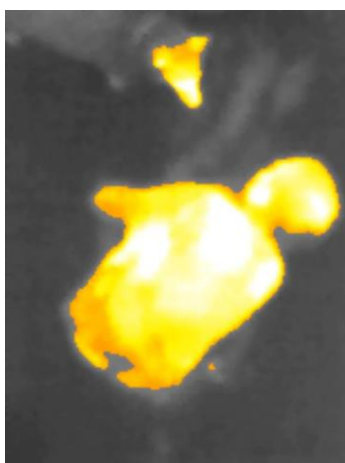
Kuvien vertailu



Kuva 11



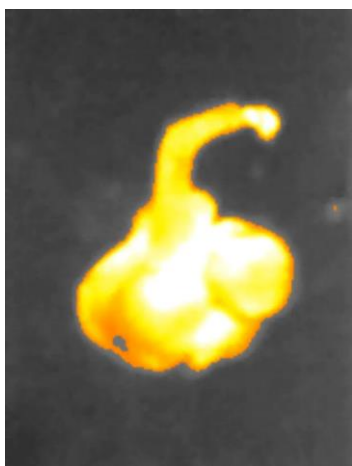
Kuva 9



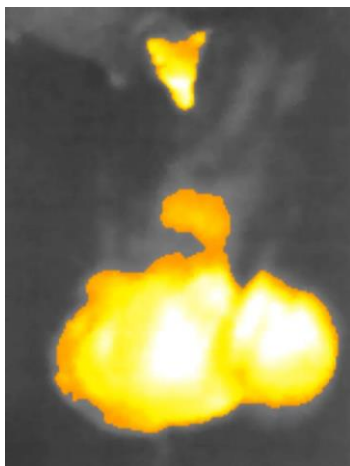
Kuvien vertailu



Kuva 11



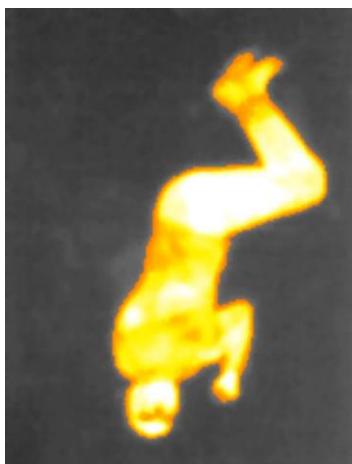
Kuva 10



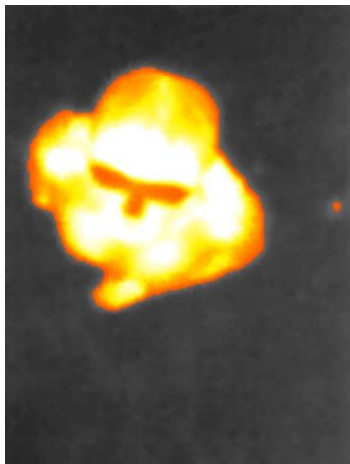
Kuvien vertailu



Kuva 12



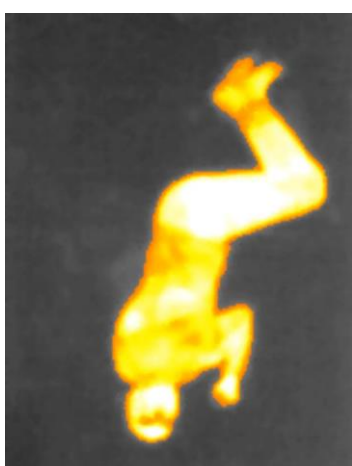
Kuva 1



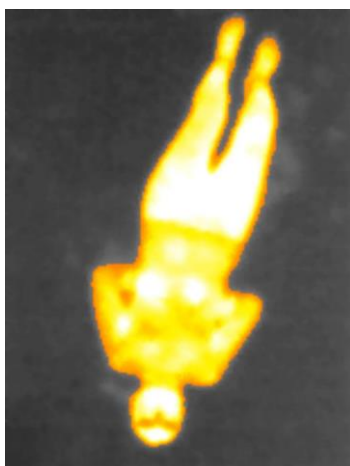
Kuvien vertailu



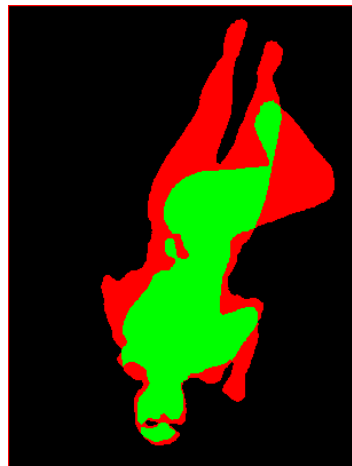
Kuva 12



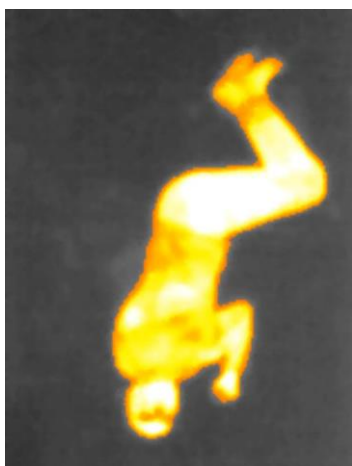
Kuva 2



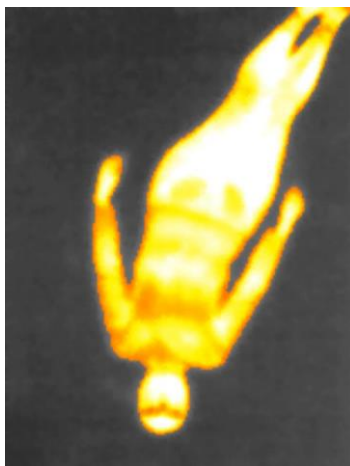
Kuvien vertailu



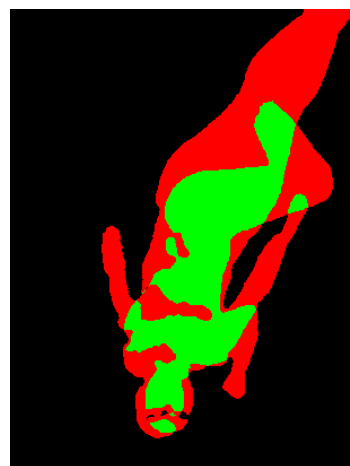
Kuva 12



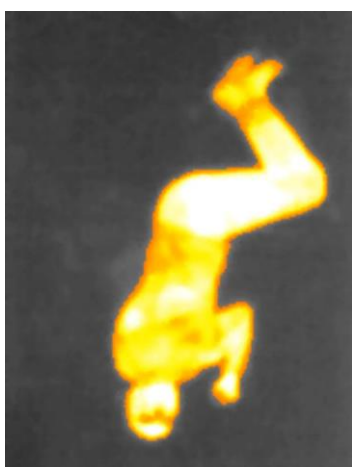
Kuva 3



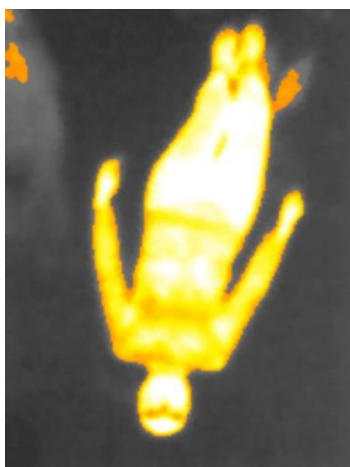
Kuvien vertailu



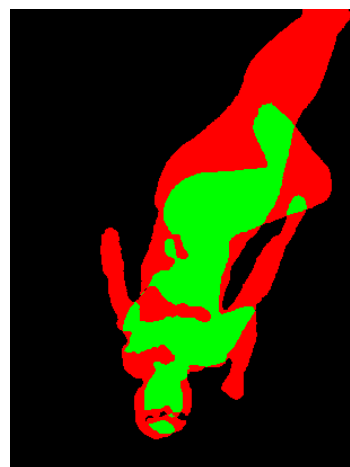
Kuva 12



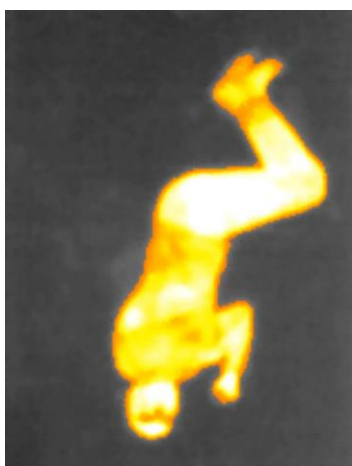
Kuva 4



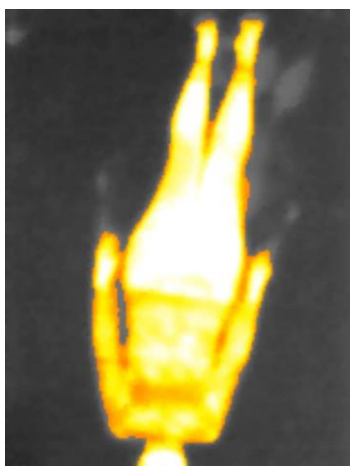
Kuvien vertailu



Kuva 12



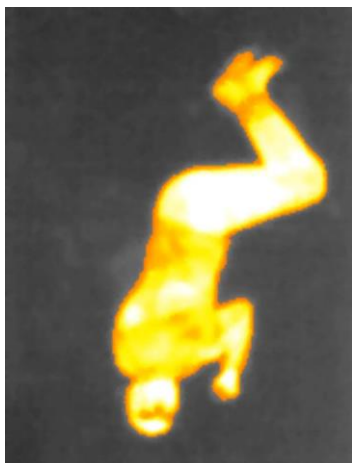
Kuva 5



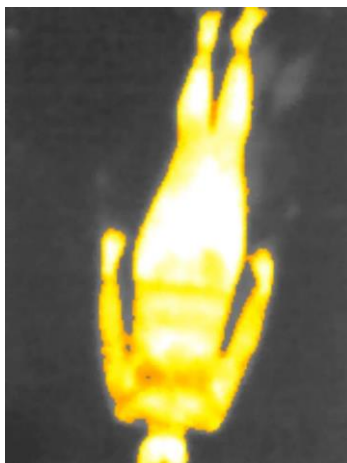
Kuvien vertailu



Kuva 12



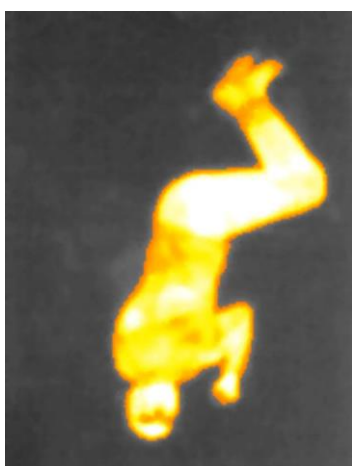
Kuva 6



Kuvien vertailu



Kuva 12



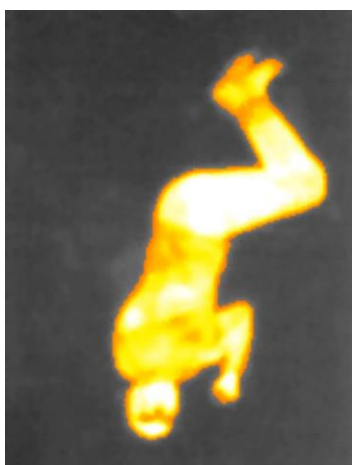
Kuva 7



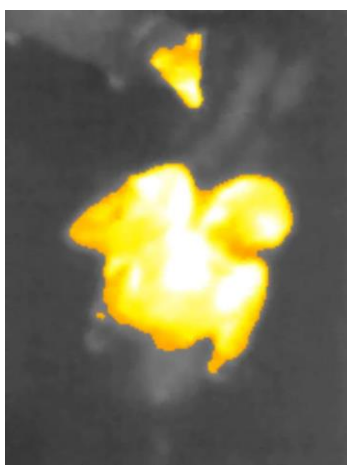
Kuvien vertailu



Kuva 12



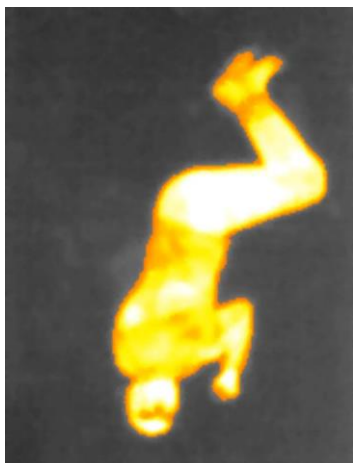
Kuva 8



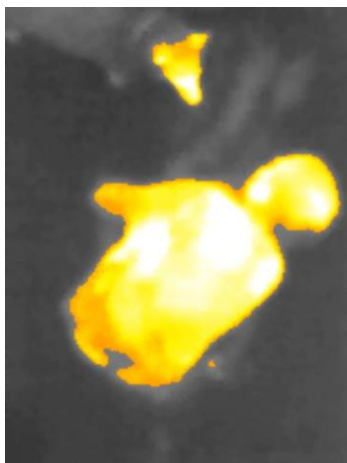
Kuvien vertailu



Kuva 12



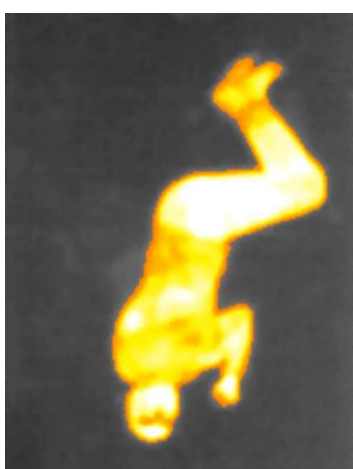
Kuva 9



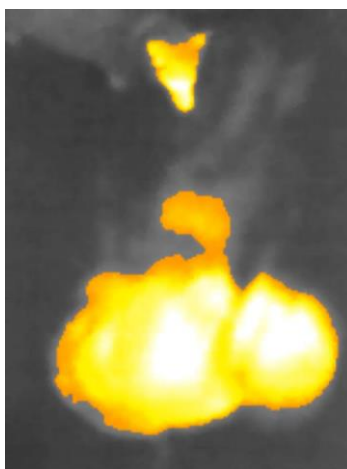
Kuvien vertailu



Kuva 12



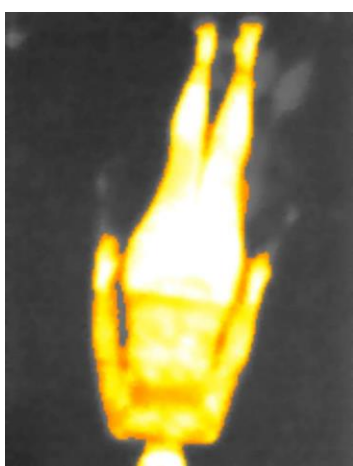
Kuva 10



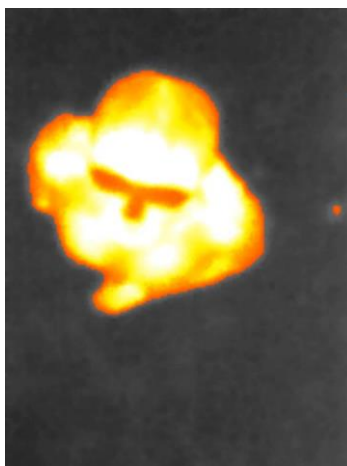
Kuvien vertailu



Kuva 13



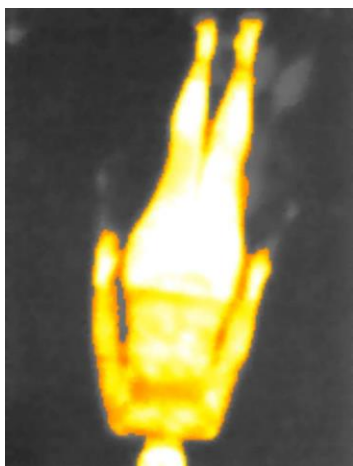
Kuva 1



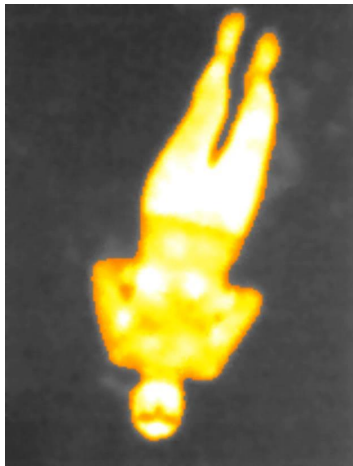
Kuvien vertailu



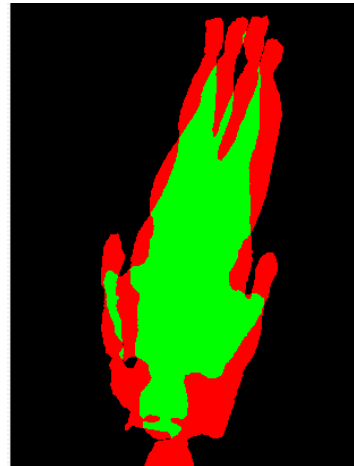
Kuva 13



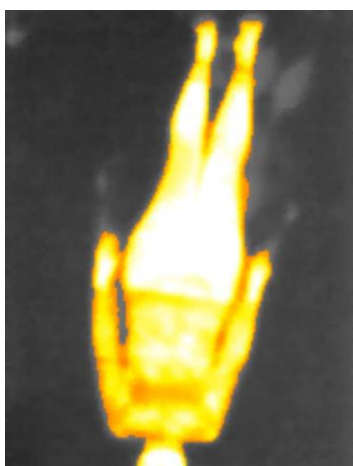
Kuva 2



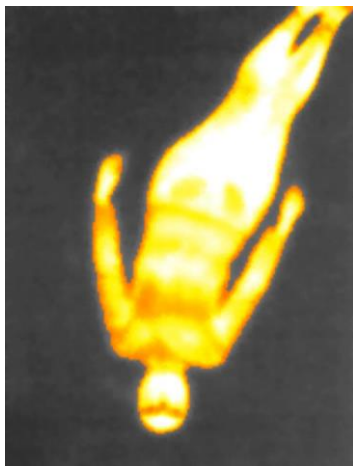
Kuvien vertailu



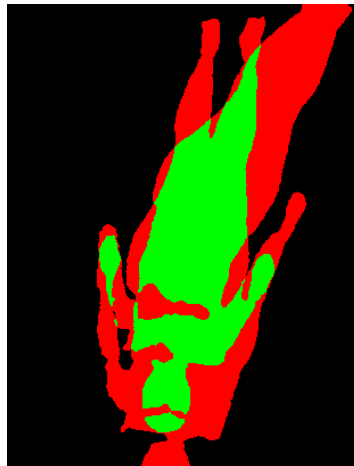
Kuva 13



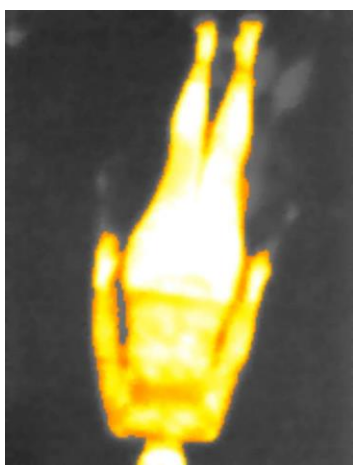
Kuva 3



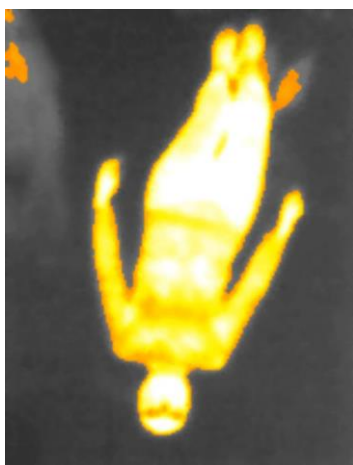
Kuvien vertailu



Kuva 13



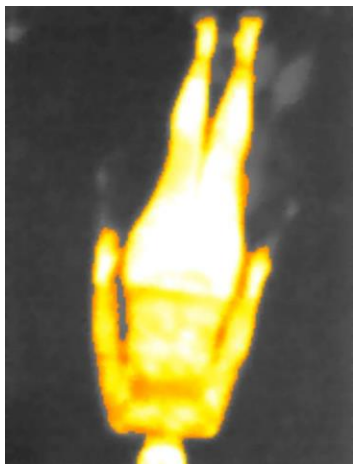
Kuva 4



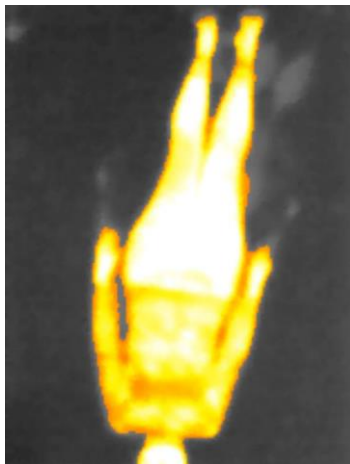
Kuvien vertailu



Kuva 13



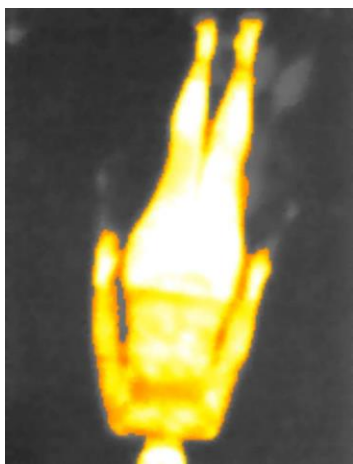
Kuva 5



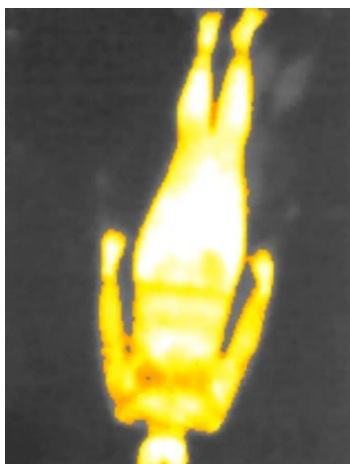
Kuvien vertailu



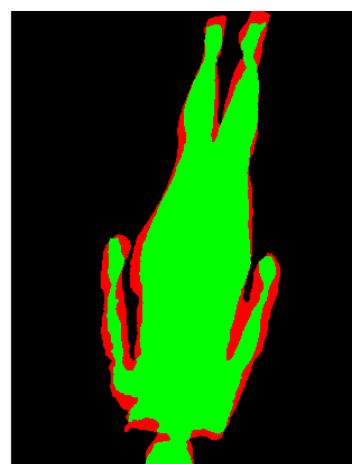
Kuva 13



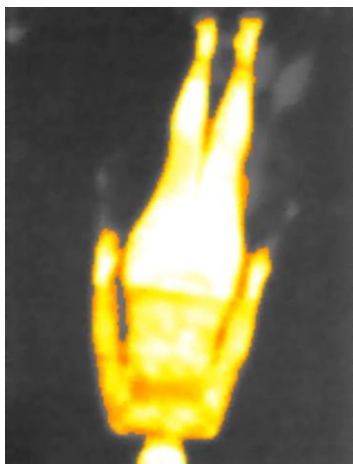
Kuva 6



Kuvien vertailu



Kuva 13



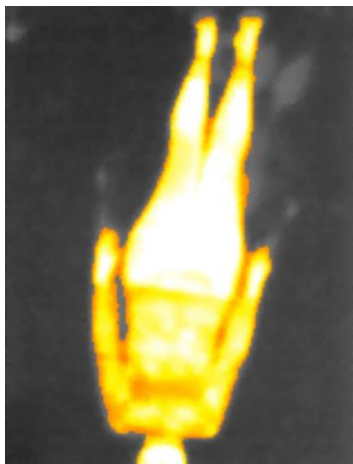
Kuva 7



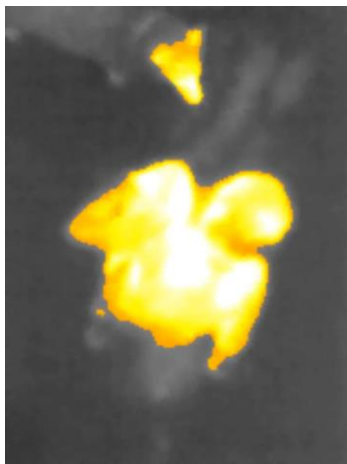
Kuvien vertailu



Kuva 13



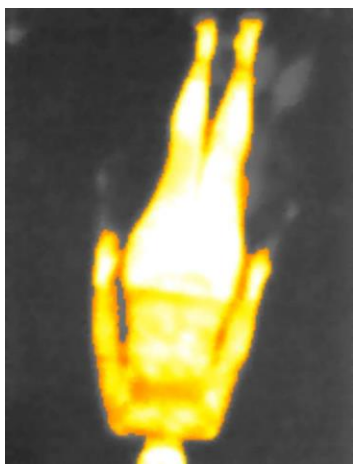
Kuva 8



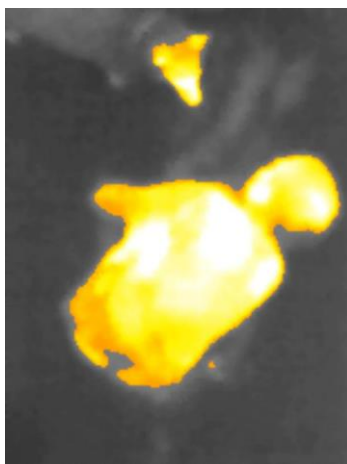
Kuvien vertailu



Kuva 13



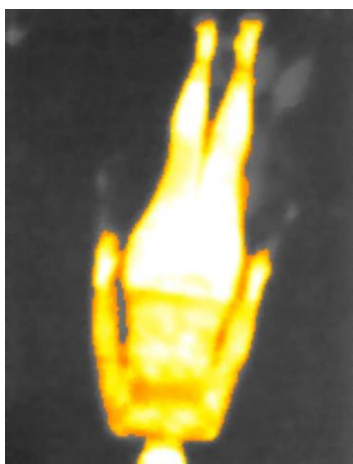
Kuva 9



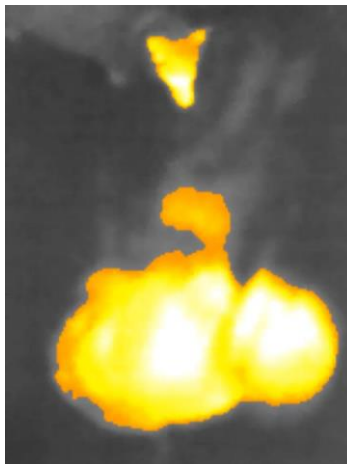
Kuvien vertailu



Kuva 13



Kuva 10

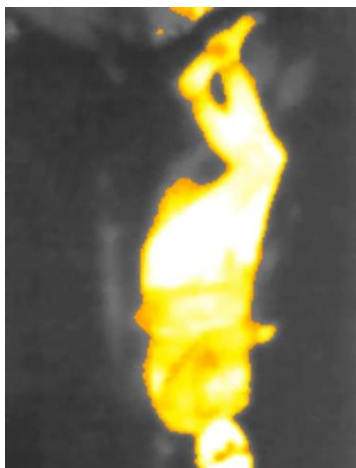


Kuvien vertailu

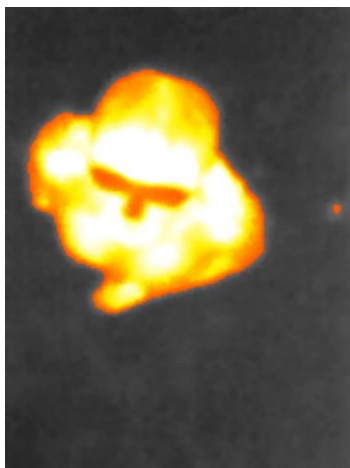




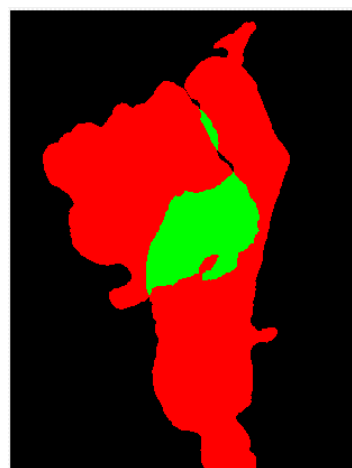
Kuva 14



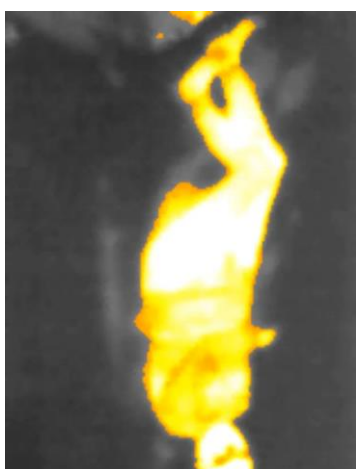
Kuva 1



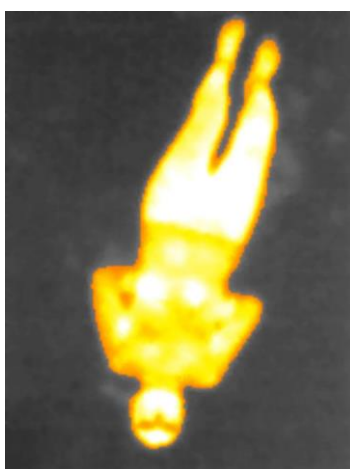
Kuvien vertailu



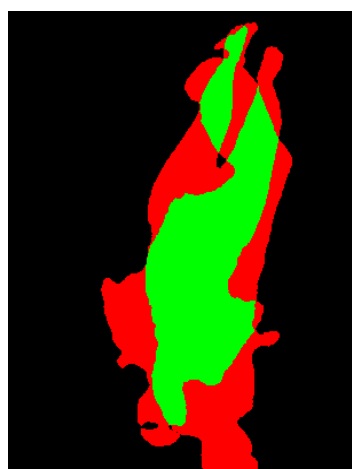
Kuva 14



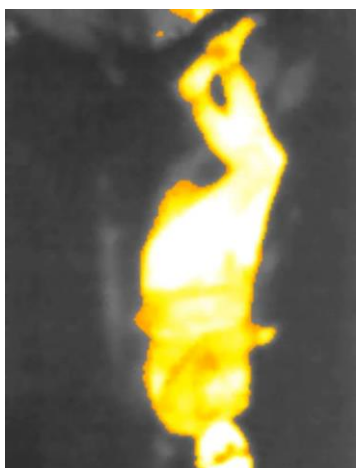
Kuva 2



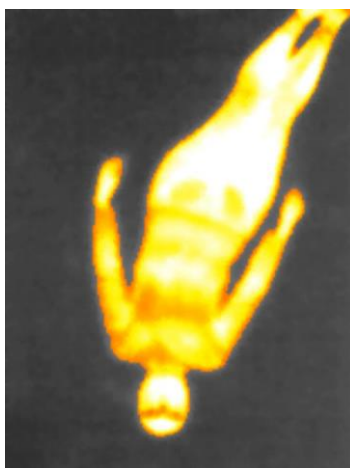
Kuvien vertailu



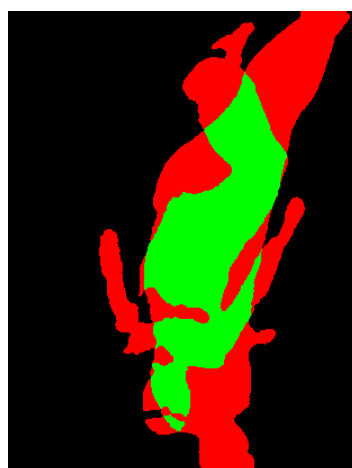
Kuva 14



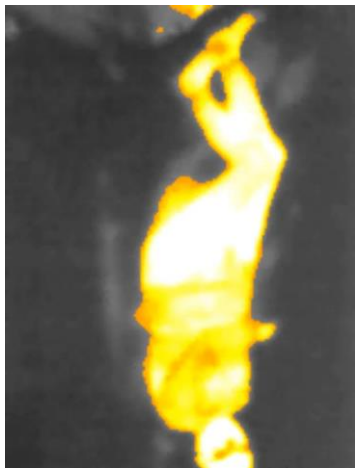
Kuva 3



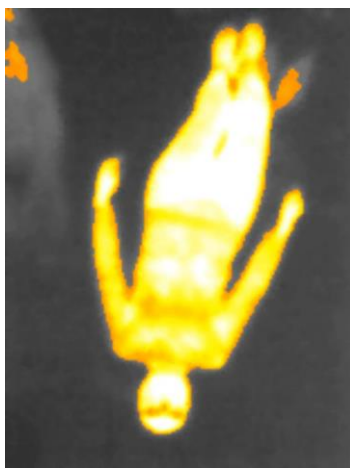
Kuvien vertailu



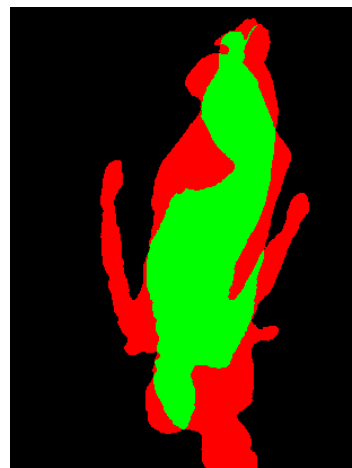
Kuva 14



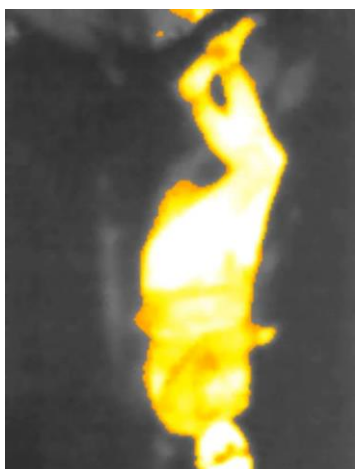
Kuva 4



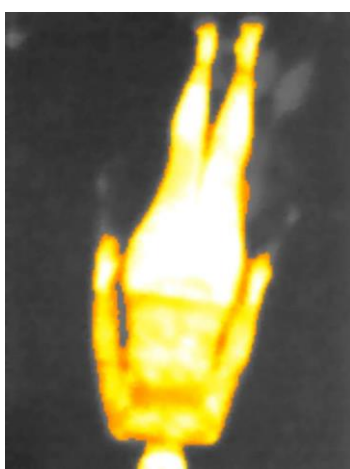
Kuvien vertailu



Kuva 14



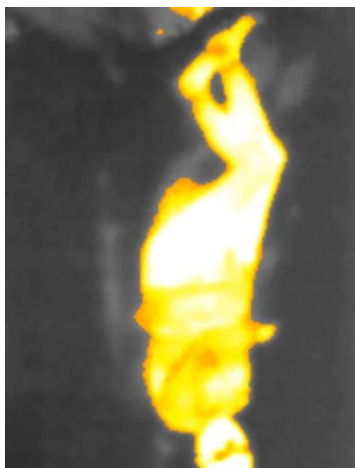
Kuva 5



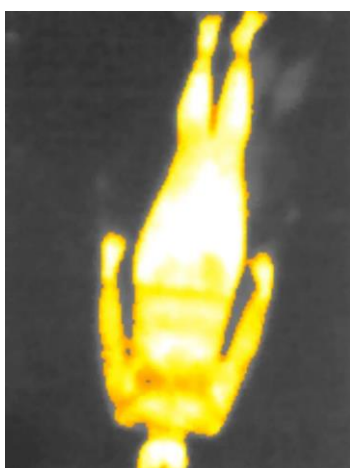
Kuvien vertailu



Kuva 14



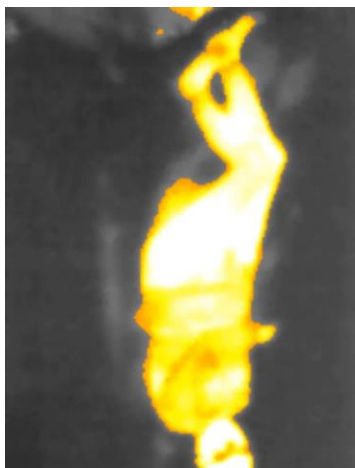
Kuva 6



Kuvien vertailu



Kuva 14



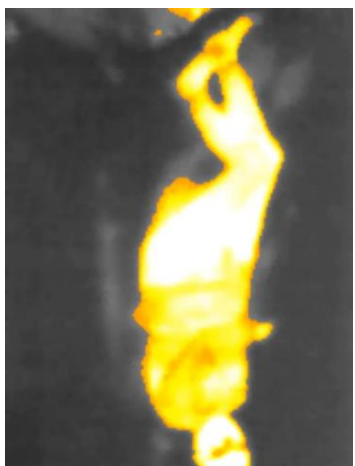
Kuva 7



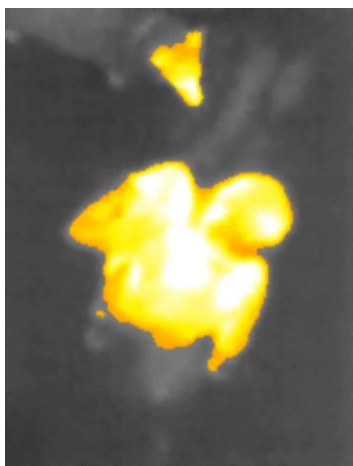
Kuvien vertailu



Kuva 14



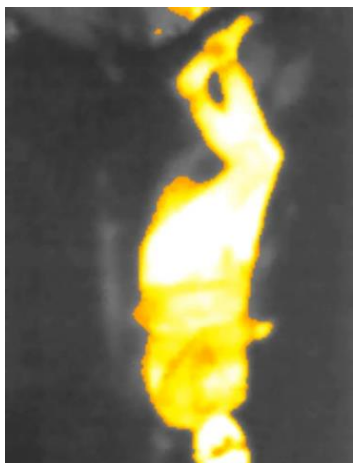
Kuva 8



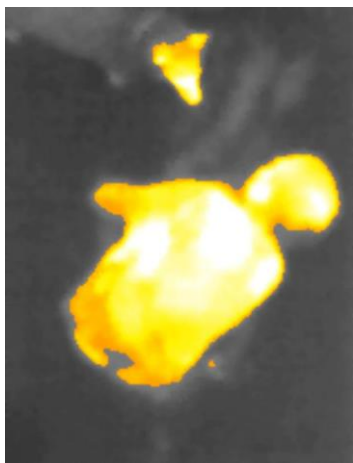
Kuvien vertailu



Kuva 14



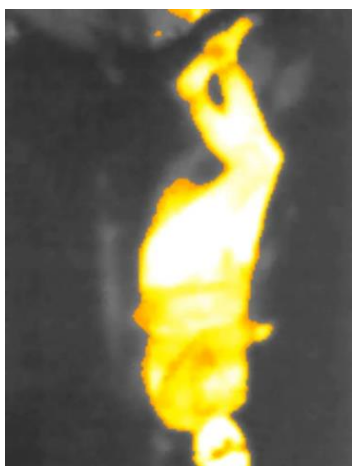
Kuva 9



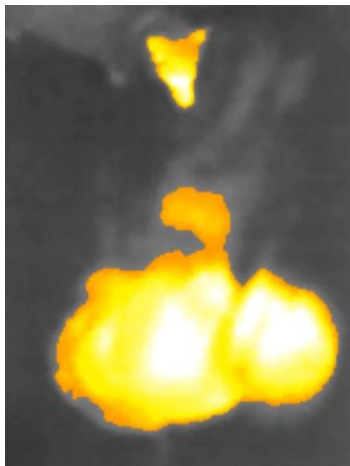
Kuvien vertailu



Kuva 14



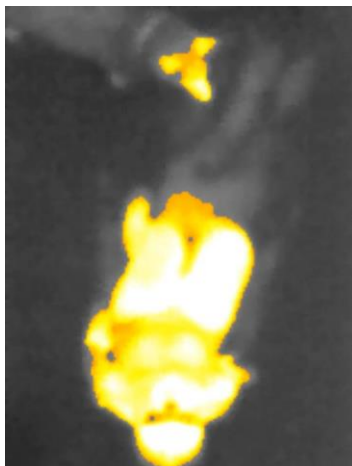
Kuva 10



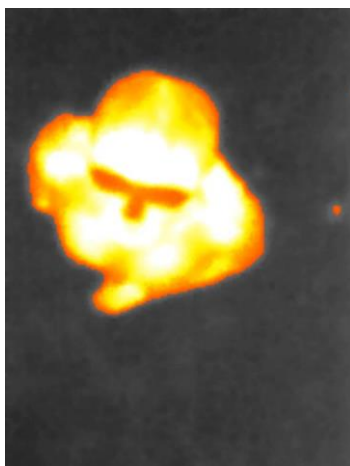
Kuvien vertailu



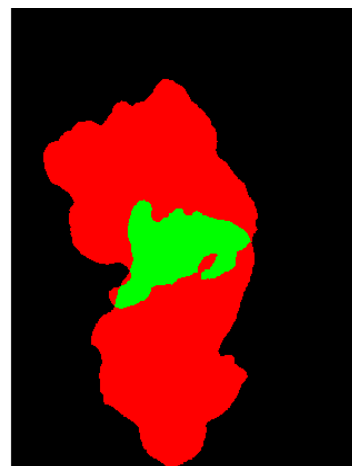
Kuva 15



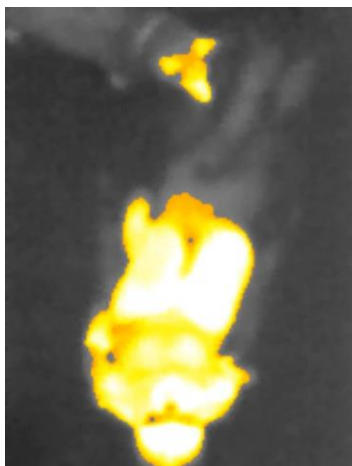
Kuva 1



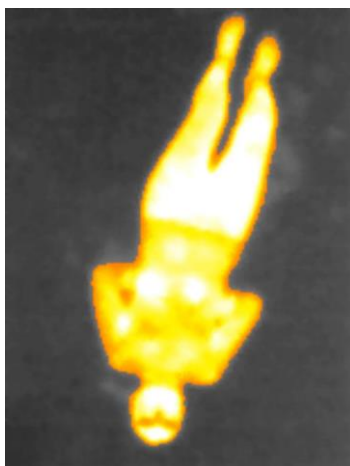
Kuvien vertailu



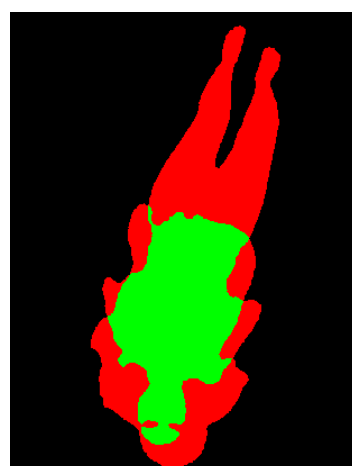
Kuva 15



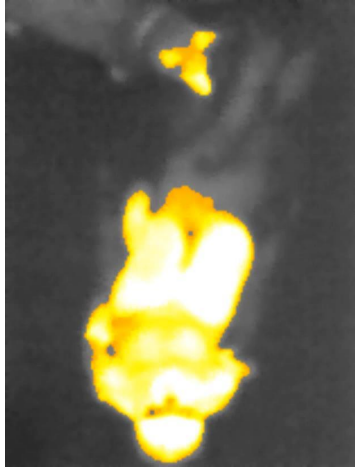
Kuva 2



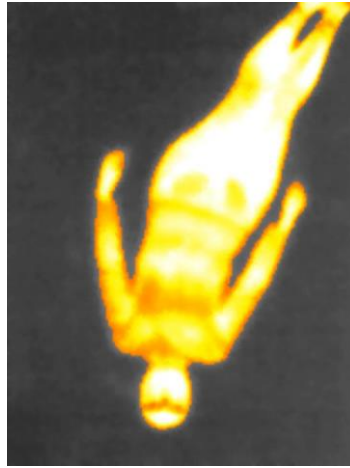
Kuvien vertailu



Kuva 15



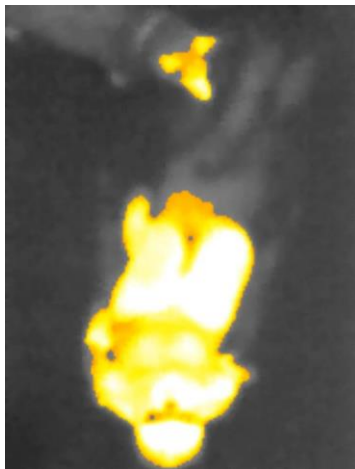
Kuva 3



Kuvien vertailu



Kuva 15



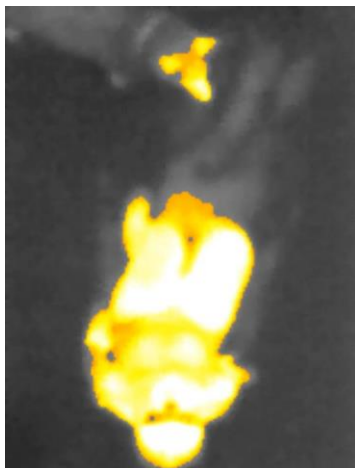
Kuva 4



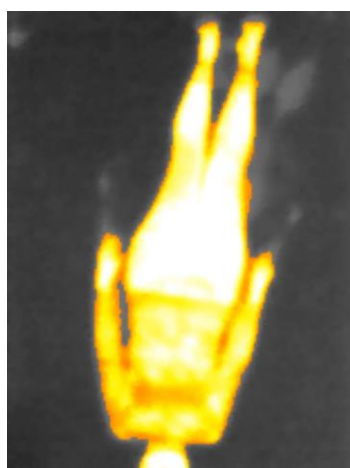
Kuvien vertailu



Kuva 15



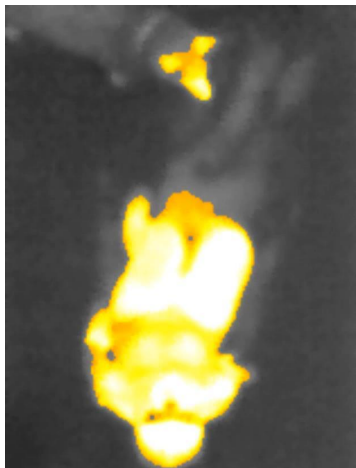
Kuva 5



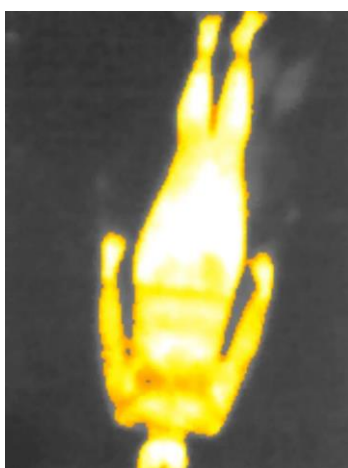
Kuvien vertailu



Kuva 15



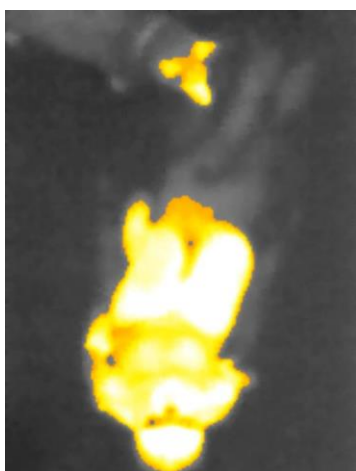
Kuva 6



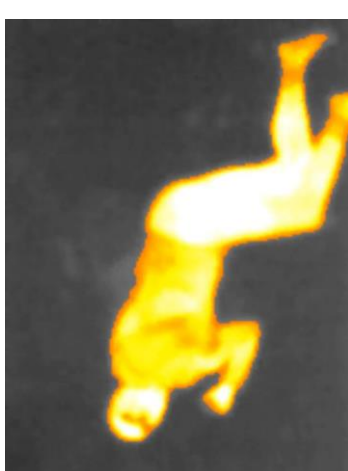
Kuvien vertailu



Kuva 15



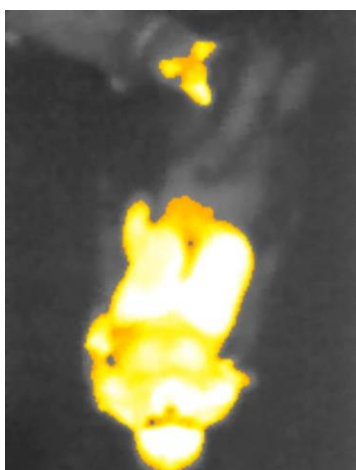
Kuva 7



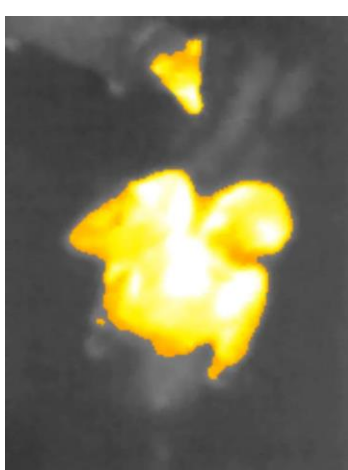
Kuvien vertailu



Kuva 15



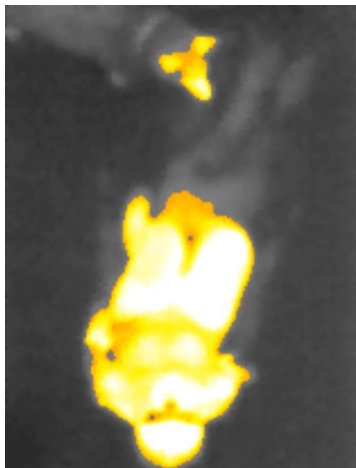
Kuva 8



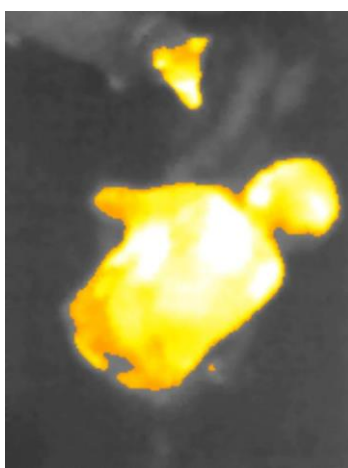
Kuvien vertailu



Kuva 15



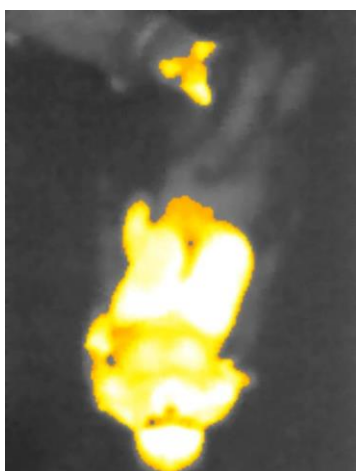
Kuva 9



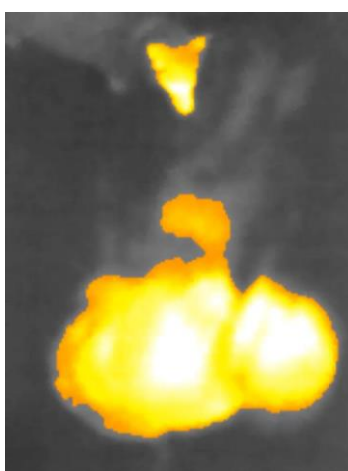
Kuvien vertailu



Kuva 15



Kuva 10



Kuvien vertailu

