



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**JUHA-PEKKA NIKKARILA  
TULIPALON HAVAINNOINTI SÄHKÖMAGNEETTISEN JA  
AKUSTISEN SPEKTRIN AVULLA**

Diplomityö

Tarkastaja: Prof. Lauri Kettunen,  
Prof. Reijo Kouhia  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekuntaneu-  
voston  
kokouksessa 9.12.2015

# TIIVISTELMÄ

**JUHA-PEKKA NIKKARILA:** Electromagnetic and acoustic spectrum in observing a fire hazard

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 51 sivua, 35 liitesivua

joulukuu 2015

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Pääaine: Teknistieteellinen mallintaminen

Tarkastajat: Prof. Lauri Kettunen,

Prof. Reijo Kouhia

Avainsanat: tulipalo, paloturvallisuus, paikannus, akustinen, sähkömagneettinen, spektri, tulipalonilmaisin, liekinilmaisin, sammutusjärjestelmä, keksintö, patentti

Kirjoituksessa käydään läpi tulipalon havainnointia akustista ja sähkömagneettista aaltoliikettä tarkkailemalla. Paikantamisen merkitystä ylipäänsä ihmisen toiminnassa avataan ja kerrotaan erityisesti sen ominaispiirteitä tulipalon torjunnan kannalta. Työssä esitellään GPS-järjestelmän toimintaperiaate pääpiirteittäin ja kerrotaan kuinka se liittyy tulipalon paikantamiseen. Lisäksi työssä esitellään kirjoittajan keksimä tulipalon paikantamiseen liittyvä keksintö, joka perustuu tulipalon audiovisuaaliseen tarkkailemiseen ja hyödyntää paikantamisessa samaa periaatetta kuin GPS-järjestelmä (Global Positioning System).

## ABSTRACT

**JUHA-PEKKA NIKKARILA:** Electromagnetic and acoustic spectrum in observing a fire hazard

Tampere University of Technology

Diplomityö, 51 pages, 35 Appendix pages

December 2015

Master's Degree Programme in Electrical Engineering Technology

Major: Scientific Modelling

Examiner: Prof. Lauri Kettunen,

Prof. Reijo Kouhia

Keywords: Fire hazard, fire safety, positioning technique, acoustic, electromagnetic, spectrum, fire detector, flame detector, suppression system, invention, patent

In the thesis, it is explained how a fire can be studied via observing acoustic and electromagnetic waves emitted by the fire. Positioning oneself and the localization of many interesting issues as well as the navigation have been in a very important role in human history. The role of localization is described generally and especially from the perspective of fighting against a fire. The working principle of the GPS (Global Positioning System) is briefly introduced and an invention invented by the author is also presented in the thesis. The invention is related in observing and localizing a fire via observing the acoustic and electromagnetic radiation emitted by the fire.

Riihimäki, 4.12.2015

Juha-Pekka Nikkarila

## TABLE OF CONTENTS

1. Johdanto . . . . .	1
2. Tulipalojen aiheuttamia tuhoja –tutkimuksen suurempi viitekehys . . . . .	9
3. ”Teoriaosuus –jättiläisen olkapäillä” . . . . .	12
3.1 Tulen ja tulipalon olemus . . . . .	12
3.2 Tulipalon paikannuksen ABC . . . . .	12
3.3 Tulipalon lähettämä sähkömagneettinen säteily ja sitä mittaavat sensorit . . . . .	13
3.3.1 Infrapuna eli IR-säteily (Infra Red) . . . . .	15
3.3.2 Ultravioletti eli UV-säteily (Ultra Violet) . . . . .	16
3.3.3 UV/IR . . . . .	17
3.3.4 IR2 ”dual sensor type” . . . . .	18
3.3.5 IR3 ”triple sensor type’ . . . . .	18
3.3.6 CCTV ”image processing type’ . . . . .	18
3.3.7 Multi IR ”multi IR sensor type’ . . . . .	18
3.3.8 Mikroaallot . . . . .	19
3.3.9 Muu säteily . . . . .	19
3.4 Tulipalon lähettämät akustiset aallot ja sitä mittaavat sensorit; akustiset sensorit . . . . .	19
3.4.1 Tulipalon äänimaailma . . . . .	20
3.4.2 Tulipaloa havainnoivat akustiset sensorit . . . . .	21
3.4.3 Muita tapahtumia havainnoivia akustisia sensoreita . . . . .	22
3.5 GPS-järjestelmän toimintaperiaate . . . . .	22
3.6 GPS-järjestelmän toimintaperiaatteen kopiointimahdollisuus tulipalon havainnointiin . . . . .	24
4. Tulokset, keksintö1: Akustiseen ja sähkömagneettiseen säteilyyn perustuva tulipalon paikannusmenetelmä . . . . .	26
4.1 Keksinnön 1 yhteenveto . . . . .	26

4.2	Keksinnön 1 eri ilmentymiä . . . . .	27
4.3	Tarkennettu kuvaus keksinnöstä 1 . . . . .	27
4.4	Kuvaus keksinnön 1 tulipalon paikannusjärjestelmästä . . . . .	28
4.5	Kuvaus tulipalon paikannuksen toimintaperiaatteesta . . . . .	32
4.6	Keskustelua keksinnöstä 1 . . . . .	34
4.7	Keksinnön 1 johtopäätökset . . . . .	34
5.	Tulokset, keksintö2: Lämpötiladerivaattaan perustuva tulipalon sammutusjärjestelmän laukaisumenetelmä . . . . .	35
5.1	Keksinnön 2 yhteenveto . . . . .	35
5.2	Keksinnön 2 eri ilmentymiä . . . . .	36
5.3	Tarkennettu kuvaus keksinnöstä 2 . . . . .	36
5.4	Kuvaus keksinnön 2 tulipalon paikannusjärjestelmästä . . . . .	38
5.5	Keskustelua keksinnöstä 2 . . . . .	41
6.	Keksintöjen 1 ja 2 johtopäätökset . . . . .	42
7.	Johtopäätökset . . . . .	44
	Bibliography . . . . .	46
	APPENDIX A. Invention: Sound and Light Intensity Profile Analysis for Fire Location Detection . . . . .	52
	APPENDIX B. Invention: Temperature Derivative Based Launch Method for Fire Suppression Systems . . . . .	69

## LIST OF FIGURES

2.1 Tulipalokuolemat . . . . .	10
2.2 Pelastusviranomaisia työssään. . . . .	11
3.1 Nuotioesimerkki. [40] . . . . .	13
3.2 Mustan kappaleen säteilyä ja hiilidioksidin ominaissäteilypiikki. . .	14
3.3 Näkyvän valon ja läheisten aallonpituuksien alue . . . . .	15
3.4 Liekinilmaisimen näkemä alue . . . . .	16
3.5 Liekinilmaisimen näkemä alue, este . . . . .	17
3.6 Äänennopeus ilmassa vaihtelee usean tekijän, kuten ilman lämpötilan, kosteuden ja paineen funktiona. Kuva on lainattu lähteestä [5] . . . . .	20
3.7 Akustisten aaltojen ja tutkasäteilyn välinen vuorovaikutus RASS-järjestelmässä. . . . .	21
3.8 Yleiskuva GPS-järjestelmän satelliiteista. Lähde NASA/WikimediaCommons [58]. . . . .	23
3.9 Periaatekuva GPS-satelliittipaikannuksesta. Lähde WikimediaCommons [59] . . . . .	23
3.10 Tulipalo on aina uhka infrastruktuurille ja itse tulipaloa havainnoiville järjestelmillekin. Kuvassa on Glasgowin yliopiston rakennus Maclay Hall, joka kärsi pahoja vahinkoja tulipalossa 13.6.2006. Lähde WikimediaCommons [57] . . . . .	25
4.1 Kaaviokuva palonsammutusjärjestelmästä sen erään ilmenemismuodon mukaisesti. [40] . . . . .	29

4.2	Kaaviokuva osasta palonsammutusjärjestelmää sen eräässä ilmene- mismuodossa. [40] . . . . .	30
4.3	Yksityiskohtainen kuvaus ohjausyksikön suorittamasta laskennasta kuvion 2 mukaisessa palonsammutusjärjestelmässä. [40] . . . . .	33
5.1	Kaaviokuva palonsammutusjärjestelmästä sen erään ilmenemismuo- don mukaisesti. . . . .	37
5.2	Kaaviokuva palonsammutusjärjestelmästä sen erään ilmenemismuo- don mukaisesti. . . . .	39



# LIST OF TABLES

## LIST OF ABBREVIATIONS AND SYMBOLS

# 1. JOHDANTO

Paikannuksen merkitys on aina ollut tärkeää ihmisen toiminnassa ja eri asioiden sekä tapahtumien paikannukseen onkin nähty paljon vaivaa. Paikantamisen merkityksen vuoksi siihen liittyvien tekniikoiden kehityksessä onkin saavutettu merkittäviä edistysaskeleita, joista yksi eniten tunnetuista on satelliitteihin perustuva *maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä* eli tunnetummin GPS-järjestelmä. Siinä Maapallon pinnalla oleva toimija saa signaalin vähintään neljältä satelliitilta ja signaalin kulkuaikaerojen perusteella järjestelmä selvittää kolmiomittauksella toimijan sijainnin. Venäjä on rakentanut GPS-järjestelmää vastaavan ja toimintaperiaatteeltaan samanlaisen paikannusjärjestelmän, *Global Navigation Satellite System* (GLONASS). Tässä opinnäytetyössä maailmanlaajuiselle paikannusjärjestelmällä käytetään yleisnimen kaltaisesti nimitystä GNSS -järjestelmä.

Tässä työssä käsitellään akustisen ja sähkömagneettisen spektrin käyttöä tulipalon havaitsemisessa ja paikannuksessa; työn kirjoittaja on tulipalon paikannukseen liittyvän keksinnön *Sound and light intensity profile analysis for fire location detection* [40] (suom. tulipalon paikannus analysoiden palon valo- tai äänispektriä) keksijä. Keksinnön kansainvälinen viitenumero on *WO 2014/076349 A1* ja sen oikeudet omistaa Marioff Corporation oy. Keksinnön innoittajana on toiminut muun muassa aiemmin mainittu GPS-järjestelmä.

GPS-järjestelmän toiminnasta esitetään tarkempi kuvaus myöhemmin. Tässä vaiheessa lukijan tarvitsee tiedostaa lähinnä se, että järjestelmän toimintaperiaatteessa olennaista on yhtenevä tieto sekä paikannettavan kohteen (Maan pinnalla oleva toimija), että paikantavien laitteiden (satelliitit) ajasta. Aikatiedon yhtenevyydestä käytetään tässä työssä (ja yleisestikin) nimitystä "kellojen synkronointi". Aikatiedon yhtenevyys on tärkeää, jotta järjestelmän eri toimijoiden lähettämien signaalien ja mittausten avulla päästään käsille paikannettavan kohteen lähettämän signaalin *tarkkaan alkuhetkeen*. GPS-järjestelmässä paikannettavan kohteen ja paikantajien kellojen synkronoinnista huolehtii itse järjestelmä. Tulipalon paikannuksessa ongelma on monimutkaisempi siltä osin, että tulipalon "kello" ei ole

synkronoitu paikantajien kellojen kanssa vaan järjestelmän täytyy selvittää myös tulipalon ”aika”. Patenttihakemuksessa selvitetään seikkaperäisesti muutama eri menetelmä tulipalon ajan ja paikantimien aikojen synkronoimiseksi. Lisäksi hakemuksessa esitellään sovellus, jossa tulipalon aikaa ei eksplisiittisesti selvitetä vaan tulipalon sijainti selvitetään signaalien kulku-aikerojen avulla.

Tulipalon olemassaolo voidaan todeta useilla muillakin menetelmillä kuin esimerkiksi tulipalon sähkömagneettista spektriä analysoimalla. Markkinoilla käytössä olevia menetelmiä ovat esimerkiksi kaasu-, lämpö- ja savuilmaisimet. [54, 7, 8] Eräs mielenkiintoinen, kohtalaisen uusi menetelmä on palon toteaminen videokuvasta eli tietyssä mielessä optinen tulipalon toteamismenetelmä. [32] Myös tulipalon paikannus voi perustua esimerkiksi näihin menetelmiin tai kyseisten menetelmien yhdistämiseen. [68, 41] Tässä työssä ei perehdytä erityisen tarkasti muihin tulipalon toteamiseen tai paikantamiseen tarkoitettuihin menetelmiin, mutta lukijan on hyvä pitää mielessä tällaisten menetelmien olemassaolo. Toisaalta on tärkeää tiedostaa työssä tarkemmin käsiteltyjen menetelmien olevan osa muiden menetelmien joukkoa saman asian, tulipalon olemassaolon toteamisen ja mahdollisesti paikan määrittämisen, ratkaisemisessa.

Lukijan ei kannata tehdä mielessään poissulkevia rajauksia eri toteamis- ja paikantamismenetelmien paremmuudesta. Tämä siksi, koska johonkin tiettyyn kohteeseen soveltuvimman järjestelmän ratkaisee pääsääntöisesti kohteen erityispiirteet, sekä järjestelmän tarkempi käyttötarkoitus, suoritusvaatimukset ja hinta. Toisin sanoen johonkin tiettyyn kohteeseen voi soveltua parhaiten järjestelmä, joka johonkin toiseen kohteeseen on aivan liian järeä sekä suorituskyvyltään, että erityisesti hinnaltaan. Lisäksi järjestelmien hinnat muuttuvat tekniikan kehittyessä ja samalla muuttuvat myös järjestelmien käyttötarpeet. Kehityksen seurauksena esimerkiksi viiden tai kymmenen vuoden päästä mikä tahansa mainituista paikannusmenetelmistä voi olla kilpailukykyinen järjestelmä joko itsenäisenä järjestelmänä tai integroituna esimerkiksi tulipalon sammutusjärjestelmään, ohjausjärjestelmään tai johonkin aivan toiseen, tässä ennakoimattomaan järjestelmään.

Hyvä esimerkki sovellusten kehityksestä (eri tekniikan alalta tosin) on älypuhelinien suosion kasvu niiden hintojen laskettua ja suorituskyvyn parannettua. Seurauksena on kokonaan uusia sovelluskohteita ja tekniikan kehitystä palveluliiketoiminnan muodossa. Uudet toimintatavat ovat tuoneet ratkaisuja ongelmiin, joiden koko olemassaoloa ei välttämättä ole tiedetty olevan olemassakaan. Pikaviestipalvelut ovat paraikaa syrjäyttämässä tekstiviestipalveluja, seuranhakusovellukset ovat

siirtyneet puhelimen kautta operoitaviksi (jotkut jopa sisältäen paikkatiedon!). Ei ole aivan tavatonta, jos tulevaisuuden nuoret ihmettelisivät, että mihin ihmeeseen on tarvittu yökerhoja. Kehityksen vauhdissa on joskus jopa vaikea pysyä mukana ja havaitun kehityksen ennustaminen oikein esimerkiksi kymmenen vuotta sitten olisi ollut vähintäänkin haastavaa. Samalla tavalla tulevaisuuden tarkka ennustaminen on haastavaa muillakin tekniikan aloilla. Ennakkoimattomuuden vuoksi on tärkeää selvittää eri järjestelmien toimintaperiaatteita, ajatella omaa tai asiakkaan tarvetta (esimerkiksi kohteen suojauksessa), antaa tilaa ajatuksille ”laatikon ulkopuolelta” ja lopulta parantaa olemassaolevia järjestelmiä. Vasta tulevaisuus ja markkinat ratkaisevat parhaimman järjestelmän ja sekin tulee aikanaan jäämään jonkin vielä paremman tekniikan tai toimintatavan syrjäyttämäksi.

Sähkömagneettiseen tai akustiseen aaltoliikkeeseen perustuvia paikannusmenetelmiä on mainitun GPS-järjestelmän lisäksi olemassa useita erilaisia ja useisiin käyttötarkoituksiin soveltuvia.

Iso-Britanniassa kehitetty *Gee*-järjestelmä (alunperin ilmeisesti koodinimi, joka viittaa sanaan "grid", koordinaatisto), jolla pystyttiin paikantamaan kohteita radioaaltojen avulla. Sen edeltäjä kehitettiin jo ennen toista maailmansotaa apuvälineeksi lentokoneen laskeutumiselle pimeässä. Toisen maailmansodan aikana paikannusjärjestelmän tarkkuuden todettiin riittävän hyvin suurten kohteiden (esimerkiksi kaupunkien) pommitukseen. Järjestelmän avulla kohteita voitiin paikantaa 560 km päähän. *Gee*-paikannusjärjestelmä oli ensimmäinen hyperboliseen paikannukseen perustuva menetelmä eli vastaanotajat eivät suoraan mitanneet omaa etäisyyttään paikannettavaan kohteeseen vaan siinä useiden eri vastaanottimien etäisyyksien erot paikannettavaan kohteeseen mitattiin ja sillä perusteella määritettiin paikannettavan kohteen sijainti. [61].

Toisen maailmansodan melskeisiin kehitettiin myös LORAN -paikannusjärjestelmä, (*long range navigation*). Menetelmä kehitettiin Yhdysvalloissa ja oli muuten vastaava kuin brittien *Gee*-järjestelmä, mutta se käytti *Gee*:tä matalempia radiotaajuuksia, minkä johdosta järjestelmän kantama oli merkittävästi parempi (2400 km).[64] LORAN on saanut toisen maailmansodan jälkeen useita versioita (A, B, C, D, E ja F) ja näistä versio C on vuodesta 1974 lähtien ollut käytössä siviilipaikannusjärjestelmänä. Sen käyttö on korvautunut GPS-järjestelmän myötä, mutta sen lähettimiä ei ole vielä suljettu ilmeisesti sen seikan vuoksi, että GPS-järjestelmä on altis häirinnälle. [64]

Paikannusjärjestelmänä edellisten ohella on käytetty myös OMEGA-järjestelmää (kehitetty Yhdysvalloissa), joka käytti niinkään matalampia radiotaajuuksia (n. 10kHz). Järjestelmä oli ensimmäinen käytännössä maailmanlaajuinen paikannusjärjestelmä. Sen lähetinasemat lähettivät kolmea keskenään lähellä olevaa radiotaajuutta ja vastaanottaja selvitti oman paikkansa useilta eri lähettimiltä saatujen signaalien vaihe-eroista. Järjestelmän paikannusperiaate on hyperbolinen eli vastaanottaja ei mittaa suoraan omaa etäisyyttään lähettimiin vaan etäisyyseronsa useisiin eri lähettimiin. [65]

Sisätiloissa tapahtuvaan paikannukseen kehitetty *Indoor positioning system* (IPS). Markkinoilla on useita sovelluksia ja eri toimintaperiaatteella toimivia, joissa rakennuksen sisällä olevat ihmiset ja kohteet paikannetaan sähkömagneettisen säteilyn (esim. radioaallot), magneettikenttien tai akustisten aaltojen avulla. Ratkaisut voivat perustua esimerkiksi WiFi -lähettimiin, Bluetooth-tekniikkaan tai muihin, esimerkiksi mobiililaitteiden käyttämiin teknologioihin. Tässäkin teknologiassa sovellukset voivat olla kiinnostavia sekä siviili- että sotilaskäytössä. Sovelluksia kaavaillaan käyttöön tai on jo käytössä esimerkiksi pelastusviranomaiskäytössä, ostoskeskus- ja parkkihallisuunnistuksessa. [63]

Tulipalo on aina potentiaalisesti katastrofaalinen tapahtuma eikä sen syttymispaikkaa tai -aikaa voi varmuudella tietää etukäteen. Erityisen uhkaava tulipalo on paikassa, josta ihmisten evakuointi on hidasta, esimerkiksi matkustajalavalla, maantietunnelissa tai korkeassa rakennuksessa. Tuhoisina esimerkkeinä voidaan mainita Mont Blancin tunnelipalo v. 1999 (38 kuolonuhria), auto- ja matkustajalautan MS Scandinavian Starin tulipalo Italiassa v. 1999 (159 kuollutta) sekä Santa Marian yökerhopalo Brasiliassa v. 2013 (ainakin 242 menehtynyttä). Välittömästi tapahtuvien ihmishenkien menetyksen lisäksi tulipalossa voi vammautua ihmisiä pysyvästi, vaikutukset inhimillisinä tragedioina ovat suuria. Lisäksi tulipaloissa voi tuhoutua merkittävästi omaisuutta, mikä tarkoittaa tappioita kansantalouteen ja sitä myötä valtioiden kokonaisvaltaista köyhtymistä. Toisin sanoen valtiollisilla toimijoilla on merkittävät intressit suojella kansalaisiaan ja omaisuutta tulipaloilta.

Suurten katastrofaalisten tulipalojen lisäksi tapahtuu paljon tulipaloja, joissa menehtyy yksi tai muutama ihminen ja/tai tuhoutuu omaisuutta. Tulipalojen ihmisuhrien vähentämiseksi on useissa maissa käytetty merkittävästi resursseja ja onnettomuuksia onkin saatu vähennettyä. Tässä työssä esitellään lyhyesti, miten esimerkiksi Vancouverissa on saatu palokuolemia vähennettyä viimeisten neljän vuosikymmenen aikana ja peilataan sitä Suomen kehitykseen. Viimeisten neljän

vuosikymmenen aikana palokuolemien määrä Suomessa ei ole merkittävästi vähentynyt. Samaan aikaan tekniikka on kuitenkin kehittynyt nopeasti ja samassa ajassa esimerkiksi vuosittainen tieliikenneonnettomuuksissa kuolleiden määrä on tippunut yli tuhannesta uhrista noin kolmeensataan [53].

Eräs tapa varautua tulipaloo vastaan on suojata kohde automaattisella tulipalon sammutusjärjestelmällä ja jotkut kohteet on sellaisella suojattava joko kansallisten tai kansainvälisten lakien, tai muuten velvoittavien sääntöjen nojalla. Esimerkiksi matkustaja-alukset on suojattava automaattisella tulipalon sammutusjärjestelmällä; säännöt asettaa sekä valvoo International Maritime Organization (IMO). [44]

Perinteisesti automaattisessa tulipalojärjestelmässä on sprinklereitä tai yleisemmin suihkutussuuttimia asennettuna suojattavalle alueelle. Paloa sammuttava neste (yleensä vesi), tai järjestelmästä riipuen esimerkiksi kaasu tai vaahto, siirtyy pumpun puskemana putkistoa pitkin suuttimelle. Sammutusneste ohjautuu tulipaloon näiden suutinten läpi. Joissakin järjestelmissä, esimerkiksi vesisumujärjestelmissä nestesuihkun olemusta muutetaan suuttimessa (tehdään vedestä vesisumua). [49] Suuttimet on asennettu strategisesti sellaisiin paikkoihin ja järjestelmä muuttenkin mitoitettu siten, että kohdetta uhkaava tulipalo saataisiin sammutettua (extinguishment), rajattua (suppression) tai hallittua (control). Vaihtoehtoisesti järjestelmä voi olla tarkoitettu ympäristön lämpötilan hallintaan sekä säteilyn absorboimiseen (exposure). [35, 49]

Automaattinen tulipalon sammutusjärjestelmä on tyypillisesti ”epäaktiivisessa” tilassa suurimman osan ajasta, mutta tulipalon syttyessä järjestelmän täytyy toimia nopeasti ja varmasti. Pelkistetysti sanottuna järjestelmän täytyy olla kattava ja sen tulee toimia riittävän nopeasti siten, että missä tahansa sen vaikutuspiirin sisällä syttyvä tulipalo saadaan sammutettua (tai esim. hallittua). Sen vuoksi järjestelmän mitoituksessa täytyy ottaa huomioon esimerkiksi, että järjestelmän havaitessa tulipalon tämä on mahdollisesti kehittynyt jo verrattain suureksi. Edelleen pelkistetysti ajateltuna järjestelmän täytyy toimia paitsi havaitussa tulipalon syttymiskohdassa, myös sitä ympäröivällä (riittävän laajalla) alueella. Jotta tulipalon sammutusjärjestelmät toimisivat halutulla tavalla, niitä toimittavien yritysten toimintaa valvotaan kansallisesti ja järjestelmien toiminnalle asetetaan vaatimuksia. Olemassaolevat vaatimukset (standardit) perustuvat uhka-arvioihin tulipaloista sekä tutkimustuloksiin, mittaustietoon ja arvioihin järjestelmien vaikutuksesta tulipaloon.

Olellainen osa jokaista sammutusjärjestelmää on tulipalon havaitseminen ja (mahdollisesti) paikantaminen. Peruseriaatteena voidaan pitää sitä, että syttynyt tulipalo on paikannettava mahdollisimman nopeasti niin, että sen sammuttaminen voidaan aloittaa riittävän aikaisessa vaiheessa. Tulipalon syttyminen havainnoidaan perinteisesti joko lämpöön, savuun tai sähkömagneettiseen säteilyyn reagoivalla (mitta)laitteella. [54] Tässä työssä käytetään palon ilmaisevalle ja paikantavalle laitteistolle nimitystä järjestelmän instrumentaatio.

Tulipalon paikantaminen on monitahoisempi ongelma kuin pelkkä tulipalon olemassaolon toteaminen. Tieto palon olemassaolosta johtaa järjestelmän käynnistymiseen ja tieto palon sijainnista antaa järjestelmälle sammuttavan nesteen määrän. Sammutusjärjestelmä on voitu rakentaa osastoimalla se erikokoisiin alueisiin venttiileiden avulla ja tulipaloa havainnoivat ilmaisimet pystyvät yksilöimään tulipalon sijainnin osaston tarkkuudella. Ohjausjärjestelmä huolehtii, että oikea venttiili on auki ja palosta kaukana oleville osastoille ei kuljeteta sammutusnestettä. Toinen mahdollisuus on, että palon sijainnista saadaan suoraan suuttimen passiiviselta (lämpö)elementiltä, joka rikkoutuu lämpötilan noustessa tietyn rajan yli ja nestettä alkaa virrata suuttimen läpi paloon, tai ainakin lähelle paloa. Tällöin suuttimesta käytetään nimitystä sprinkleri ja sammutusjärjestelmästä lyhyesti sprinklerijärjestelmä.

Karkeasti ajateltuna edellisen kappaleen ensiksimainitun tapaisen järjestelmän on mahdollista aktivoitua verrattain nopeasti tulipalon syttymisestä, koska palon olemassaolosta on mahdollisuus saada tieto ripeästi käyttäen esimerkiksi herkkiä liekinilmaisimia. Kuitenkin tulipalon sijainti saattaa jäädä tarkemmin selvittämättä, minkä vuoksi järjestelmä on rakennettu laukeamaan osasto kerrallaan eikä yksittäinen suutin kerrallaan. Jälkimmäisenä mainittu järjestelmä puolestaan paikantaa palon hyvin ja vain paloa lähinnä oleva sprinkleri laukeaa. Koska lämpötila voi vaihdella normaalioloissakin useita kymmeniä asteita, hälytysrajaa ei voi asettaa kovin alas. Seurauksena palo on voinut kehittyä useita minutteja ja kasvaa suurehkoksi ennen kuin sprinkleri aktivoituu.

Osittain molempien mainittujen toimintavaihtoehtojen ”puutteiden” vuoksi, eli joko epätarkan tiedon palon sijainnista tai tulipalon syttymisen ja järjestelmän aktivoitumisen välisen (verrattain pitkän) viiveen, järjestelmät täytyy ylivoimaisesti taistelussa tulipaloa vastaan. Seurauksena järjestelmien hinnat voivat olla todennäköiseen uhkaskenaarioon nähden liian kalliita ja kohdetta ei välttämättä sen vuoksi suojata lainkaan automaattisella sammutusjärjestelmällä. Tulipalon suo-



jauksessa asiakkaan vaihtoehtoina ovat myös passiivinen palosuojaus, esimerkiksi rakennusmateriaalien avulla; tulipalon varoitusjärjestelmä, jollaisia on tyypillisesti esimerkiksi yksityistalouksissa; tai ohjaamalla palosta syntyvät savukaasut pois kohteesta erillisellä savunpoistolla.

Viimeiseksi mainittua käytetään useimmiten joka tapauksessa suojaamaan kohteessa olevat ihmiset, mutta savukaasujen poisohjaus ei suojaa itse kohdetta varsinaiselta tulipalolta. Järjestelmien toimittajat pyrkivät luonnollisesti tuotekehityksen avulla pitämään hinnat riittävän alhaisella tasolla, jotta potentiaaliset asiakkaat ottaisivat automaattisen sammutusjärjestelmän asentamisen huomioon kohteen tulipalosuojauksessa. Tilanteeseen vaikuttaa kuitenkin myös vakuutusyhtiöiden mielipide sekä kutakin erityisalaa säätelevät standardit. Ainakin joissakin tapauksissa palotestistandardissa ei huomioida aikaisen tulipalon havainnoinnin vaikutusta uhkaskenaarioon.

Jos tulipalon syttymispaikka saataisiin selvitettyä tarkasti ja nopeasti tulipalon syttymisestä, itse sammutusjärjestelmä voitaisiin mahdollisesti mitoittaa toimimaan pienempää tulipaloa vastaan kuin mitä nykyisin. Todistustaakka kyseisen järjestelmän toimivuudesta halutulla tavalla olisi kyseisen järjestelmän toimittajalla ja järjestelmän edut pitäisi osoittaa esimerkiksi vakuutuslaitoksille. Järjestelmien pienempi mitoitus vaatisi mahdollisesti muutoksia palotestistandardeihin ja keskittymisen nykyistä enemmän tulipalon syttymiseen.

Nykyisin standardit asettavat vaatimuksia esimerkiksi tulipalon havaitsemisen ja järjestelmän aktivoitumisen väliselle aikaviiveelle, vaikka tiettyssä mielessä luonnollisempi vaatimus olisi tulipalon syttymisen ja järjestelmän aktivoitumisen välinen aikaviive. Toisin sanoen, sammutusjärjestelmän hinta voisi olla pienempi vaikka osa siitä, eli instrumentaatio-osa, olisi kalliimpi. Tietoa tarkasta tulipalon sijainnista voidaan käyttää myös esimerkiksi pelastustoiminnan suunnitteluun ja savukaasujen ohjaukseen. Yleisemmin, tieto tulipalon sijainnista voidaan integroida mihin tahansa järjestelmään ja järjestelmä voisi taistella tulipaloa vastaan *aktiivisemmin* kuin mitä perinteinen *aktiivinen* tulipalonsammutusjärjestelmä tekee. Tarkan sijainnin avulla voitaisiin periaatteessa ohjata järjestelmän toimintaa esimerkiksi suutin kerrallaan.

Joka tapauksessa tulipalon paikantaminen mahdollisimman tarkasti, nopeasti ja luotettavasti on tärkeä osa minkä tahansa kohteen tulipalosuojauksista. Tässä opinäytetyössä keskitytään tulipalon havainnointiin ja paikantamiseen erityisesti (tu-

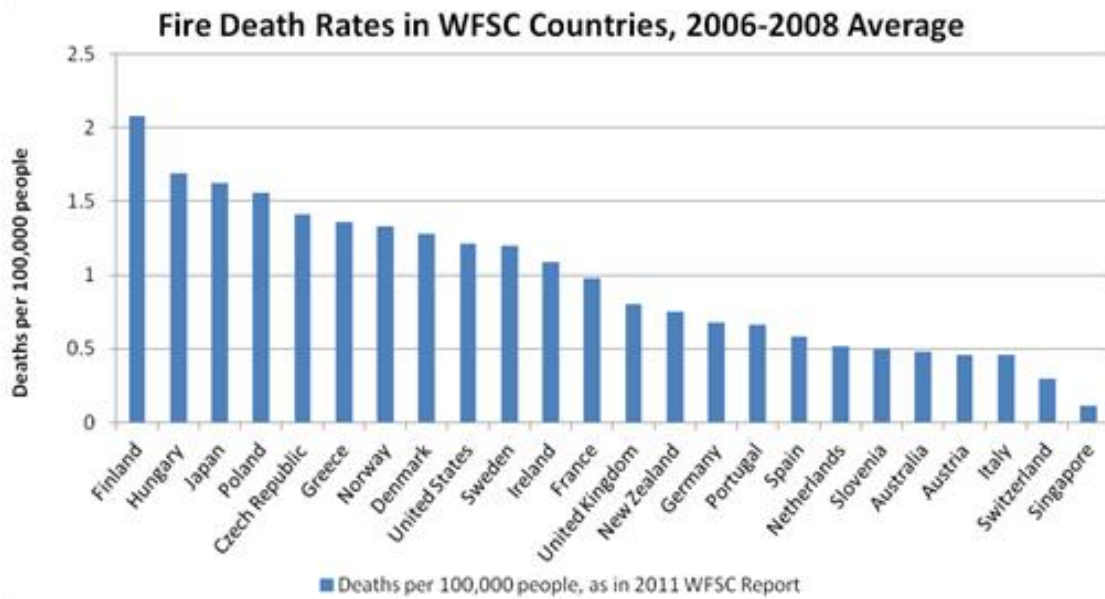
lipalon lähettämän) akustisen ja sähkömagneettisen spektrin avulla. Työ sivuaa myös tulipalon paikantamiseen liittyvää problematiikkaa ja työssä käsitellään lisäksi tulipalon paikantamista lämpötilan muutosnopeutta mittaamalla.

## 2. TULIPALOJEN AIHEUTTAMIA TUHOJA –TUTKIMUKSEN SUUREMPI VIITEKEHYS

Tulipalot aiheuttavat paljon inhimillistä kärsimystä ja tappioita kansantaloudelle, mutta niiden esiintyvyyteen ja aiheuttamiin tuhoihin voidaan vaikuttaa. Esimerkiksi Vancouverissa on vuosien 1970 ja 1990 välillä kiristetty merkittävästi kiinteistöjä (myös yksityisasuntoja) koskevia määräyksiä ja tuloksena on merkittävä vähentyminen tulipalokuolemissa. Vuonna 1973 vaadittiin mm. hotellien ottavan käyttöön savunilmaisimet, -hälyttimet ja sprinklerit, ja useita muita parannuksia. Asteittain tiukennukset on otettu käyttöön myös yksityisasuntojen suojaamisessa ja nykyään kaikkiin uusiin asuntoihin tulee asentaa aktiivinen tulipalonsuojajärjestelmä. Vielä 1970 -luvulla Vancouverissa menehtyi noin 20-30 ihmistä vuosittain tulipaloissa ja 2000 -luvun alkuun mennessä tulipalokuolemien määrä on tippunut tasaisesti noin alle viiteen vuotuisen kuolonuhriin. [24]

Myös Suomessa tulipalosuojaukseen liittyviin määräyksiin on tullut tiukennuksia ja esimerkiksi palovaroitin on ollut pakollinen 1.9.2000 alkaen myös asuinhuoneistoissa. [47] Palokuolemien määrä Suomessa on kuitenkin tasaisesti pysynyt korkeana, hieman alle 100 ihmistä vuosittain vaihteluvälin ollessa noin 60-140. Kansainvälisessä vertailussa Suomi sijoittuu huonosti eli verrattuna väkilukuun Suomessa tapahtuu vuosittain paljon tulipalosta johtuvia kuolemia, mikä nähdään esimerkiksi kuvasta 2.1. [46, 66, 67]

Tutkimusten mukaan suurimmassa vaarassa ovat vanhukset ja muuten liikuntarajoitteiset ihmiset. [46] Pelastusviranomaisen voi määrätä esimerkiksi johonkin tiettyyn hoitolaitokseen asennettavan automaattisen tulipalon sammutusjärjestelmän, mutta yksityisasuntojen omistajia ei ole mahdollista velvoittaa investoimaan automaattiseen tulipalon sammutusjärjestelmään. Ainakin valtion kannalta lisähaastetta tuo ennakoitu väestön ikääntyminen seuraavien vuosikymmenten aikana. Toisin sanoen, kuinka turvataan esimerkiksi kotonaan asuvien toimintakyvyltään alentuneiden ihmisten turvallisuus mahdollisessa tulipalossa? 2.2



*Kuva 2.1 Tulipalokuolemat Suomessa verrattuna muihin. Kuvan mukaan Suomessa kuolee tulipaloissa väkilukuun suhteutettuna varsin paljon ihmisiä. Kuva on lainattu lähteestä [67].*

Muissakin maissa on samat perushaasteet tulipalosuojauksessa. Esimerkiksi Yhdysvaltojen Mittatekniikan Keskusta vastaavan organisaation eli NIST (National Institute of Standards and Technology) raportin [23] mukaan tulipalojen aiheuttama taloudellinen taakka Yhdysvalloille on noin 280 miljardia dollaria. Se vastaa noin kahta prosenttia Yhdysvaltojen vuotuisesta BKT:sta. Pelkistettynä voidaan ajatella tulipalojen osuuden alentavan vuotuista bruttokansantuotetta vastaavalla määrällä. Edelleen pelkistäen voidaan väittää tulipalojen aiheuttavan (ainakin Yhdysvalloissa) sen että BKT:ssa menetetään kaksinkertaistuminen noin 35 vuoden ajanjaksolla ( $1,02^{35} \approx 2$ ). Samassa NIST:n raportissa todetaan uusien teknologioiden tuovan mahdollisuuksia muun muassa parantuvan anturiteknologian ja sen yhdistämisen automaattisen tulipalonsuojauksen kanssa.

Voisi odottaa, että tulipaloihin ja sammutusjärjestelmiin liittyvä teknologia herättäisi Suomessakin enemmän kiinnostusta ja toivottavasti tämä työ voisi osaltaan lisätä tulipaloihin liittyvän teknologian kiinnostavuutta.



*Kuva 2.2 Pelastusviranomaisia työssään, tulipalon syttyessä avun on hyvä olla ripeästi oikeassa paikassa. Kuva on lainattu lähteestä [2].*

### 3. ”TEORIAOSUUS –JÄTTILÄISEN OLKAPÄILLÄ”

Tuli on ihmisen palveluksessa monella tekniikan rintamalla, mutta kuten edellä kuvattiin, se voi hallitsemattomana aiheuttaa katastrofeja. Se aiheuttaa lisäksi joka päivä merkittävän määrän pienempiä vahinkoja, joiden yhteenlaskettu vaikutus on mittava sekä kansantalouksien köyhtymisen että inhimillisen kärsimyksen muodossa.

#### 3.1 Tulen ja tulipalon olemus

Palava tuli aiheuttaa ympärilleen akustisen ja sähkömagneettisen häiriön. Yksinkertaisen esimerkin mainitusta häiriöstä saa kuvittelemalla nautinnollisen hetken nuotion äärellä; kokemus on audiovisuaalinen hivellen lisäksi hajua- ja tuntoaisteja

3.1. Kun halutaan havaita tulipalon olemassaolo ääni- tai näkösignaalien avulla, täytyy tietää tuleen liittyviä karakteristisia ilmiöitä. Esimerkiksi ihmisen aivot pysyvät todennäköisesti tekemään päätelmän nuotiosta myös pelkän kuulohavainnon perusteella ja viimeistään jos kokemukseen liitetään nuotion tuottama (sähkömagneettinen) lämpösäteily, päätelmä on aika helppo tehdä.

Kun kyse on tulipaloa havainnoivasta sensorista, ongelma on perusluonteeltaan samanhenkinen: sensorin täytyy osata päätellä kokemansa (audio)visuaalisen maiseman perusteella, onko sen vaikutuspiirissä tulipaloa vai ei. Sensorin täytyy lisäksi tehdä päätelmä paitsi luotettavasti (ei vääriä hälytyksiä) myös nopeasti, koska tulipalo on aina potentiaalinen katastrofi eikä aikaa ei ole hukattavaksi.

#### 3.2 Tulipalon paikannuksen ABC

Tulipaloa paikannettaessa akustisen tai sähkömagneettisen spektrin avulla on hyvä perustua tarkemmin neljään asiaan liittyvään ilmiöön tai sen sovellukseen.



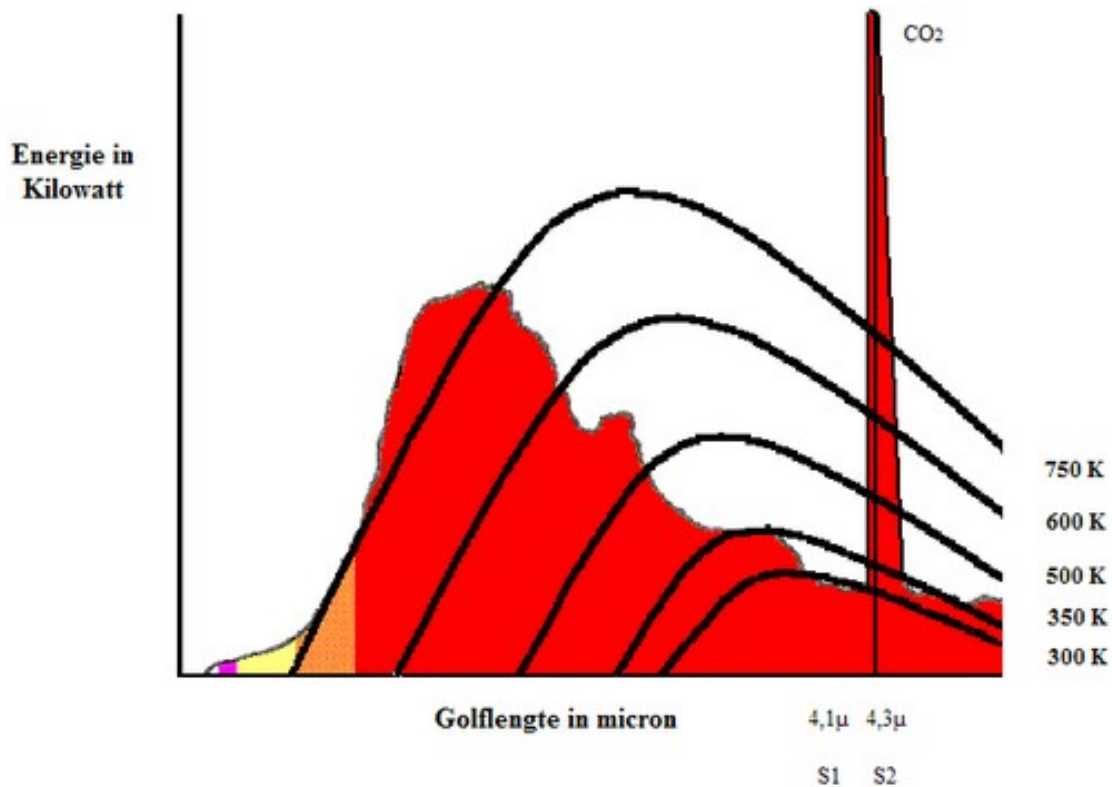
*Kuva 3.1 Nuotio herättää paljon tunteita ja tunteitakin.*

- Tulipalon lähettämä sähkömagneettinen säteily ja sitä mittaavat sensorit
- Tulipalon lähettämä akustinen emissio ja sitä mittaavat sensorit (jos niitä on)
- GPS-järjestelmän toimintaperiaate
- GPS-järjestelmän toimintaperiaatteen "kopiointimahdollisuus" tulipalon havainnointiin

### **3.3 Tulipalon lähettämä sähkömagneettinen säteily ja sitä mittaavat sensorit**

Tulipalon lähettämä sähkömagneettinen (SM) säteily on syntymekanismiltaan kahdenlaista: 1) karakteristista säteilyä eli palavien alkuaineiden ja molekyylien ominaissäteilyä tai 2) lämpösäteilyä eli liekin oman lämpötilansa mukaan emittoimaa säteilyä, ns. *mustan kappaleen säteilyä*. Toiseksi mainitun luokan säteilyä tulee kaikkialta ympäristöstä ja sen vuoksi sitä ei juuri voi käyttää tulipalon olemassaolon toteamiseen. Ensimmäisen mainitun luokan säteily on sellaista, joiden säteilyn aallonpituudet tiedetään jo ennalta tarkalleen, jos tiedetään palavat aineet (alkuaineet ja molekyylit). Vaikka palon kaikkia alkuaineita (tai molekyyliä) ei

tiedettäisi etukäteen, voidaan määrittää aineita, jotka esiintyvät (lähes) kaikissa paloissa. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi hiilidioksidi ( $CO_2$ ) ja hydroksyyliiryhmä ( $OH$ ). Molempien luokkien säteilystä yleiskuva saada oheisesta kuvasta 3.2, jossa mustan kappaleen säteily näkyy kaarevana kupumaisena alueena ja ominais säteily terävänä piikkinä aallonpituus vs. intensiteetikuviossa.

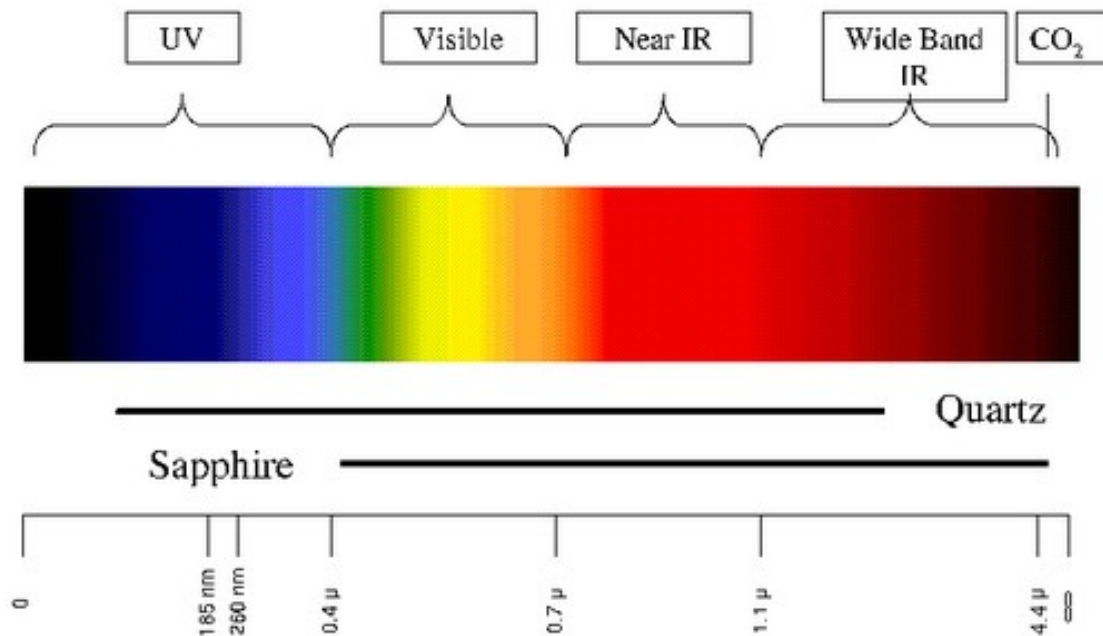


**Kuva 3.2** Mustan kappaleen säteilyä ja hiilidioksidin ominais säteilypiikki. Kuva on lainattu lähteestä [39], [Copyright © 2006] [Jan Nijkamp]

Sekä pieni että suuri liekki lähettää suurimmalla intensiteetillä lämpösäteilyä ja karakteristinen säteily täytyy ”poimia” lämpösäteilyn (mustan kappaleen säteilyn) seasta. VTT:n raportin [54] mukaan ”liekki-ilmaisimia käytetään suurissa tiloissa, joissa palo on alusta alkaen liekehtivää”. Liekinilmaisimien mittaamat valon aallonpituudet ovat tyypillisesti ultraviolettisäteilyn (UV) alueella ja/tai infrapunasäteilyn (IR) alueella (esim. kuva 3.3). Lyhennykset UV- ja IR- säteily tulevat englanninkielisistä sanoista ultraviolet ja infrared (radiation). [9]

Tulipalon paikannus on merkittävää erityisesti suurissa tiloissa, koska esimerkiksi sammutusjärjestelmät tyypillisesti mitoitetaan siten, että kerralla aktivoidaan osasto, johon kuuluu kymmeniä suihkutussuuttimia. Toisaalta paikannus suurissa





**Kuva 3.3** Näkyvän valon, ultravioletti- ja infrapunasäteilyn alueet. Kuva on lainattu lähteestä [36], [Copyright © 2006] [Jan Nijkamp]

kohteissa voi olla kiinnostavaa esimerkiksi ihmisten evakuoinnin ja sen suunnan kannalta tai pelastushenkilökunnan mahdollisimman nopean paikallelöytämisen kannalta.

### 3.3.1 Infrapuna eli IR-säteily (Infra Red)

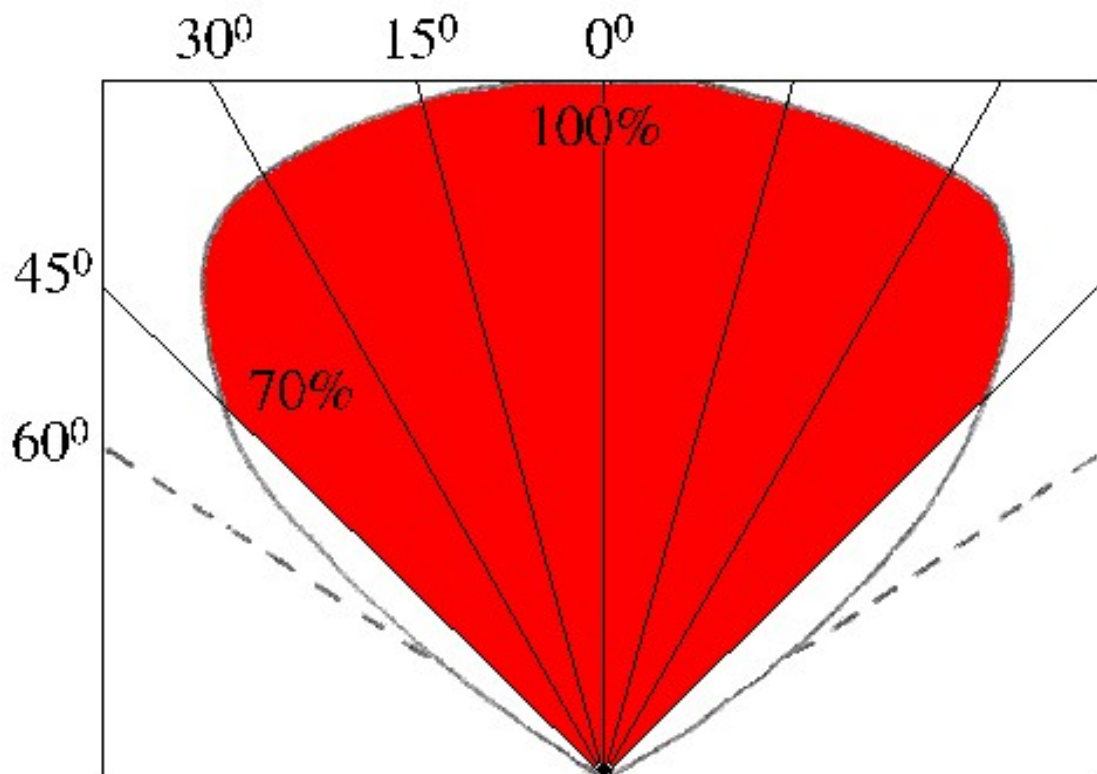
Jos tulipalossa palaa hiiliyhdisteitä, palo lähettää säteilyä esimerkiksi hiilidioksidin ( $CO_2$ ) ominaisen emissiopiikin kohdalla ( $4.3\mu m$ ) ja tämä piikki on tyypillisesti intensiteetiltään suuri. Myös hydroksyyliiryhmä (OH) lähettää ominaissäteilyä IR-alueella, noin  $2.7\mu m$  kohdalla. Yksikanavaisten IR-sensoreiden huonoimpana puoleena voidaan mainita se, että niiden kantamat eivät ole erityisen suuria. Tämä johtuu siitä, että kauempana olevan keskimääräisen tulipalon intensiteetti jäisi lähempänä sijaitsevan ”normaalissa lämpötilassa olevan objektin” tai jopa taustan lämpösäteilyä (mustan kappaleen säteilyä) alemmalle tasolle. Toisin sanoen hälytysrajaa ei voi laittaa tarpeeksi alas kauempana olevien palojen havaitsemiseksi ja ratkaisuna sensorin operointietäisyyttä on tiputettava. [54, 33, 43]

On odotettavissa, että IR-sätelyä havainnoivat anturit tulevat halvemmaksi tekniikan kehittyessä. Tällainen kehitys on havaittavissa esimerkiksi älypuhelin-

osalta jo nykyään (esim. [52] yksi monien joukosta). Tekniikan halpeneminen voi tarkoittaa sitä, että ilmaisia voitaisiin käyttää rutiininomaisesti tulevilla tulipalon ilmaisu- ja sammutusjärjestelmissä.

### 3.3.2 Ultravioletti eli UV-säteily (Ultra Violet)

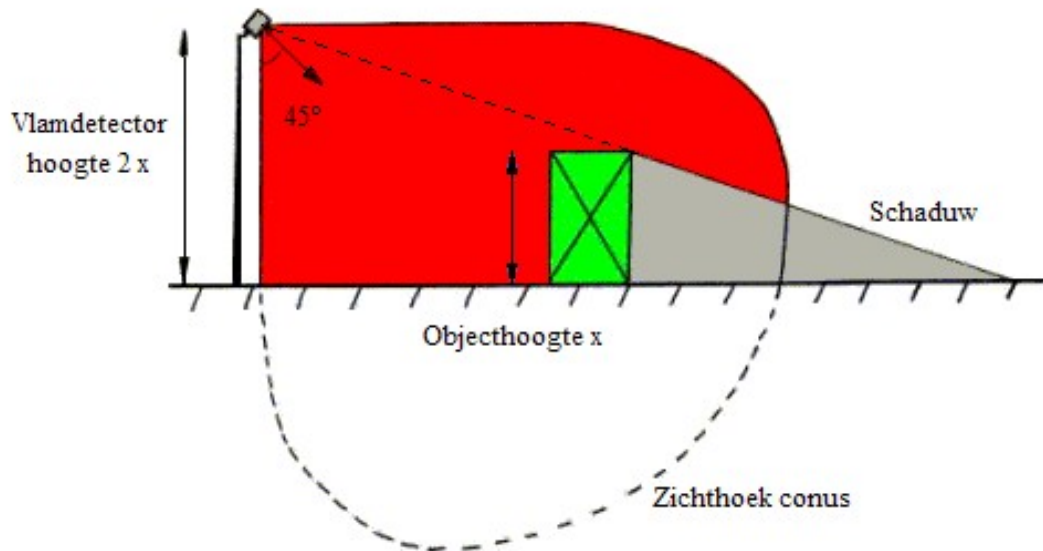
UV-säteilynä pidetään sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituus on välillä  $0.1\mu\text{m} \dots 0.35\mu\text{m}$ . Tulipalossa UV-säteilyä tuottaa esimerkiksi hydroksyyliyhdyntien (OH) ominainen emissiopeikki  $0.3\mu\text{m}$  kohdalla. Yleensä UV-säteilyilmaisimena on valo-sähköiseen ilmiöön perustuva Geiger-Muller -putki. Kun ilmaisimeen osuu valokvantti, seurauksena on irtoavia elektroneja ja sitä myöten sähkövirtaa. Kun valokvantteja osuu paljon, sähkövirtaa syntyy lopulta yli kynnysvirran ja liekinilmaisin antaa hälytyksen tulipalosta. Tiettyjen palojen ”sormenjäljet” eli ominaispiikit ovat sellaisia, että ne on helppo erottaa taustasäteilystä.



*Kuva 3.4 Skemaattinen kuva tulipaloilmaisimen näkemästä alueesta. Kuva on lainattu lähteestä [37], [Copyright © 2006] [Jan Nijkamp]*

UV-ilmaisimia käytetään esimerkiksi sellaisissa kohteissa, joissa todennäköinen palo ei sisällä hiiliyhdyntien. Muuten IR-ilmaisimien voi olla soveltuvampi johtuen erityi-

sesti hiilidioksidin ominaispiikin suuresta intensiteetistä (parempi havaittavuus). UV-ilmaisimet voivat tuottaa väärän hälytyksen esimerkiksi halogeenivalon, auringon hiukkaspurkausten tai hitsausliekin UV-säteilyn aiheuttamana. Lisäksi ulkotiloissa ilmaisinten pinta voi likaantua noen ja savusumun johdosta, ja UV-ilmaisimia käytetäänkin yleensä tulipalojen toteamiseen sisätiloissa. [9, 54, 34, 26]



**Kuva 3.5** Skemaattinen kuva tulipaloilmaisimen näkemästä alueesta, tulipalo voi jäädä esteen taakse. Kuva on lainattu lähteestä [38], [Copyright © 2006] [Jan Nijkamp]

Ilmaisimien näkemä rajoitetun alueen kerrallaan, minkä vuoksi ilmaisimia pitää olla käytännössä useita. Sekä UV- että IR- ilmaisimissa pitää ottaa huomioon se, että potentiaalinen tulipalo saattaa myös jäädä esteen taakse.

### 3.3.3 UV/IR

Sensoreiden, jotka mittaavat sekä UV- että IR- säteilyä, sanotaan olevan tarkkoja ja epäherkkiä virrehälytyksille. Ne hälyttävät tulipalosta havaittuaan intensiteetti- ja aallonpituuksilla UV- ja IR-alueilla, ja vertaavat signaaleita mahdollisesti keskenään. UV-ilmaisimet ovat tyypillisesti nopeita ja herkkiä havaitsemaan palon, mutta siitä seuraa myös alttius virrehälytyksille. Jos IR-signaalia käytetään varmistuksena (ehtona) UV-signaalin ohella ja lisäksi UV/IR-suhde täytyy olla tietynsuuruinen, voidaan välttyä virrehälytyksiltä. UV/IR-sensoreiden kehitys on nopeaa sekä tieteen että tekniikan saralla. [3, 48, 33, 26]

### 3.3.4 IR2 "dual sensor type"

IR2 eli "IR/IR dual sensor" on sensoripari, joka tarkkailee kahta eri aallonpituusalueetta infrapunasäteilyn alueella. Tyypillisesti toinen alue on hiilidioksidin ominaissäteilyn alueella (noin  $4,4 \mu\text{m}$ ) toisen anturin tarkkaillessa jotakin vertailuaallonpituutta. [29, 30, 26]

### 3.3.5 IR3 "triple sensor type"

IR3 eli "Triple-IR flame detector" sensoriryhmä vertailee kolmea eri aallonpituusalueetta infrapunasäteilyn alueella. Sensoriryhmän avulla saadaan paitsi jokaisen alueen intensiteetin taso, myös alueiden intensiteettien keskinäiset suhteet. Tässäkin yksi sensori mittaa hiilidioksidin ominaissäteilyn aallonpituutta ( $4,4 \mu\text{m}$ ) ja muiden alueiden avulla saadaan referenssiaallonpituuden intensiteetti ja kohdekohtaisen todennäköisen tulipalon (esim. lentopetrooli) palamistuotteiden ominaissäteilyaallonpituus. Useimmat infrapunasensorit on suunniteltu jättämään huomiotta taustasäteily (infrapuna-alueelta) ja huomioimaan mieluummin äkillisiä muutoksia tietyillä aallonpituusalueilla. Jos kohdealueella on paljon luonnollista vaihtelua säteilyn intensiteettitasossa (esim. ajoittainen auringonpaiste tms.), IR3 -sensoriryhmä on vähemmän herkkä antamaan vääriä hälytyksiä kuin IR2 tai UV/IR -sensorit, ollen samalla myös hitaampi antamaan hälytyksen oikeasta tulipalosta. [30, 26]

### 3.3.6 CCTV "image processing type"

CCTV:n (Close Circuit Television) tekniikkaa käytetään useaan sovellukseen esimerkiksi muutosten havainnoinnissa. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi liikenteen tai tulvan seuraamiseen, ja hälyttämään poikkeuksista normaalitasosta. Tulipalon havainnoinnissa tekniikkaa käytetään esimerkiksi savun generoinnin havaitsemiseen. [16]

### 3.3.7 Multi IR "multi IR sensor type"

Edellisten lisäksi on vielä kehitymässä useaan eri aallonpituusalueiden (sekä IR-että UV -alueella), ja muidem fysikaalisten (ja ei-fysikaalisten) suureiden mittaustietoa yhdistäviä järjestelmiä. Kehitys alalla on ilmeisen nopeaa eikä tässä työssä perehdytä tämän enempää uusimman teknologian kehitykseen. [56]

### 3.3.8 Mikroaallot

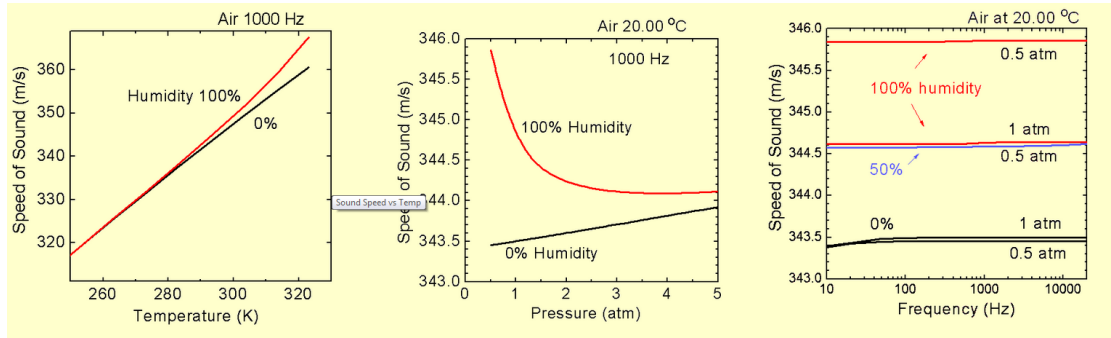
Myös mikroaaltosäteilyn käyttöä tulipalon tunnistamisessa on tutkittu 2000-luvulla [27, 28] ja tutkimusten mukaan mikroaaltoalueen etuina olisi esimerkiksi se, että mikroaaltosäteily ei häiriintyisi/estyisi niin helposti ympäristötekijöiden (kuten vesipisarat/vesisumu) vaikutuksesta. Toisaalta on olemassa myös argumentteja mikroaaltosäteilyn käyttöä vastaan (tai rajoittaen käyttöä) kuten esimerkiksi pidemmästä aallonpituudesta johtuva huonompi paikkaresoluutio. Tekniikankin puolella kehityksen tuloksena on tullut muutamia patenteja [25, 6] ja näyttäisi siltä, että tekniikka alalla on juuri alkamassa kehittymään. Erityisesti Tennesseeen yliopisto (University of Tennessee Research Foundation) on ollut aktiivinen patenttien hakemisessa (n. 10 kpl vuosina 2009-2013) mikroaaltosäteilypohjaisten sensoreiden / järjestelmien kehitystyössä. Tämä voi ennakoida nopeaa kehitystä tekniikassa seuraavan kymmenen vuoden sisällä, samaan tapaan kuin esimerkiksi nano- ja bioteknologia ovat kehittyneet aluksi melkein pelkästään yliopistomaailman ansiosta.

### 3.3.9 Muu säteily

Muitakin säteilyaallonpituuksia (esim radiotaajuiset tai korkeat taajuudet) voitaisiin mahdollisesti käyttää tulipalon havainnoinnissa, mutta muut aallonpituusalueet jätetään tarkastelussa tämän työn ulkopuolelle.

## 3.4 Tulipalon lähettämät akustiset aallot ja sitä mittaavat sensorit; akustiset sensorit

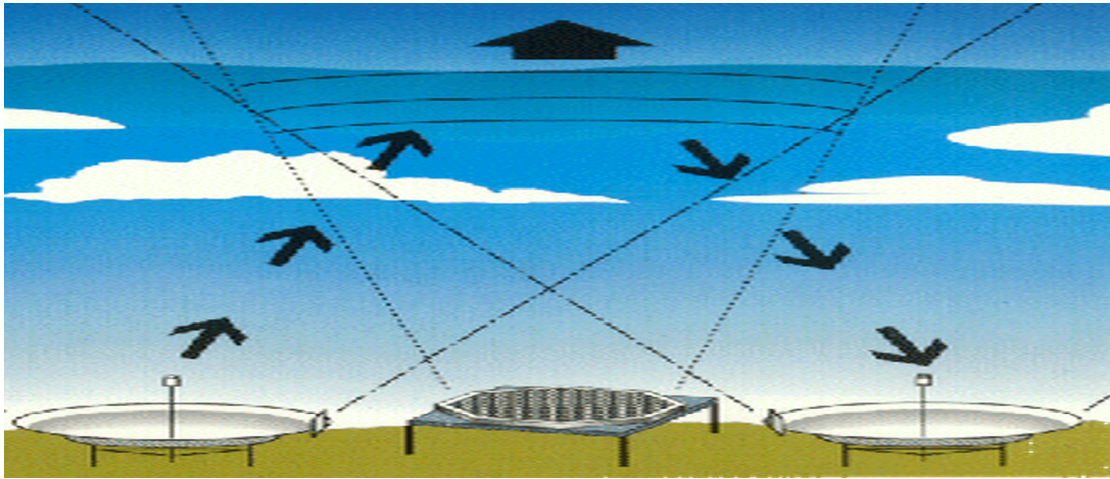
Hyvin mielenkiintoinen, vasta viime aikoina kehittymään lähtenyt ala, on tulipalon havainnointi akustisesti. Mielenkiintoa lisää akustisten sensorien edullisuus verrattuna optisiin sensoreihin. Toisaalta epäilystä aiheuttaa tulipalon karakterisointi akustisesti. Tulipalon sähkömagneettisessa havainnoimisessa havainnointia helpottaa eri alkuaineiden ominaissäteilyt ja niiden tiedetyt aallonpituudet sekä taajuudet. Lisäksi SM-säteilyn aallonpituus ei muutu ilmankosteuden, lämpötilan, paineen ja muiden ympäristötekijöiden muuttuessa. Äänennopeus ilmassa vaihtelee kaikkien edellä mainittujen fysikaalisten suureiden funktiona, ja koska taajuus on vakio, voi vakiotaajuuisenkin tapahtuman aallonpituus vaihdella useita prosentteja.



**Kuva 3.6** Äänennopeus ilmassa vaihtelee usean tekijän, kuten ilman lämpötilan, kosteuden ja paineen funktiona. Kuva on lainattu lähteestä [5], <http://www.phy.mtu.edu/suits/SpeedofSound.html>

### 3.4.1 Tulipalon äänimaailma

Kun tulipalo syttyy, ilma sen ympärillä lämpenee, mikä aiheuttaa pienen paineaallon palopaikan ympärille. Ääni on paineaaltojen etenemistä väliaineessa (tässä lähinnä ilmassa). Kun tulipalo on jo käynnissä, liekin liikehdintä ja ilman lämpötilavaihtelut jatkavat akustisen häiriön olemassaoloa. Tähän sekoittuu tulipalossa palavan aineen jännitystilojen laukeamiset, jotka havaitaan pokahteluina. Esimerkiksi kuusi paukkuu palaessaan johtuen ilmeisesti pihkan sulkeutumisesta solurakenteen sisään ja sen vapautuessa vasta lämpötilanousun ja paineen avustamana. Tulipalo ympärilleen lähettämä akustinen häiriö on välttämätön ehto sille, että tulipaloa olisi mahdollista havainnoida myös akustisesti. Se ei kuitenkaan ole sinällään riittävä ehto, koska toisin kuin SM-säteilyn kanssa, häiriön taajuus ja aallonpituus ei ole samalla tavalla perustavanlaatuinen. Kaikilla alkuaineilla ja yhdisteillä on olemassa SM-säteilyn ominaistajuudet, jotka on löydettävissä kirjallisuudessa. Vaikka akustisia alkuaine- tai molekyylikohtaisia ominaistajuuksia ei ilmeisesti ole olemassa, voi esimerkiksi palavaan materiaaliin tai palopintaan liittyen muuten olla mahdollista löytää ominaistajuuksia. Esimerkiksi kun tiedetään todennäköinen palotapahtuma jo ennalta (kuten esimerkiksi kerosiini lentokonehallissa tai rasvapalo suurkeittiössä), sitä voidaan tutkia ennalta. Tutkimustulosten perusteella akustiset sensorit voidaan mitoittaa löytämään juuri halutussa kohteessa syntyvät, ennalta tiedossa olevat palotapahtumatyyppit. [20]



*Kuva 3.7 Akustisten aaltojen ja tutkasäteilyn välinen vuorovaikutus RASS-järjestelmässä. Kuva on lainattu lähteestä [15], <http://www.ecs.umass.edu/ece/sdp/sdp04/frasier/pdr.html>*

### 3.4.2 Tulipaloa havainnoivat akustiset sensorit

Eritajuisiin SM-säteilyyn perustuvia optisia sensoreita on kehitetty kymmeniä vuosia. Tulipaloa havainnoivat akustiset sensorit ovat näihin suhteessa verrattain tuore osa-alue tekniikassa. Toisaalta palotekniikassa akustisia sensoreita on käytetty palamistehokkuden analysoinnissa jo ainakin 1950-luvulla [4, 45]. Liekin olemassaolon toteamiseksi palokammiossa on ollut akustinen sovellus jo ainakin 1960-luvun lopussa [12]. Patenttietokantoja louhimalla nähdään, että ääneen (ultraääneen) perustuvia lämpötilasensoreita on ollut käytössä jo ainakin 1980-luvulta lähtien [55, 31] ja sovelluskohteina mainitaan erityisesti tulipalon havainnointi. Tutkimusraportteja läpikäymällä voidaan päätellä, että tulipalon havainnointiin akustiset sensorit ovat realisoituneet 1990-luvulla. [19, 18, 21, 20]

Kehitys tutkimuksessa onkin ollut 1990-luvulla ripeää; ensimmäiseksi mainitussa tutkimuksessa [19] käsiteltiin tapoja mitata tulipalon indusoimia pieniä paineaaltoja (kuumenevalle kaasulle akustista ominaissäteilyä). Toiseksi mainitussa tutkimuksessa [18] selvitettiin miten tulipalo voidaan todeta lämpötilan nousun indusoimasta lämpöjännitysten purkautumisesta (kiinteät aineet). Kolmannessa tutkimuksessa [21] osoitettiin palotesteillä kuinka akustiseen emissioon perustuva tulipalonilmaisujärjestelmä voi olla nopeampi hälyttämään verrattuna savukaasujen muodostumisen toteavaan tai lämpötilanousua mitaavaan hälytysjärjestelmään. Eräässä keksinnössä [14] tulipalo jopa paikannetaan akustisesti, mutta ei suoraan tulipaloa havainnoimalla vaan epäsuorasti putkistossa virtaavan veden ääntä ha-

vainnoimalla. Metsäpalojen havaitsemiseen on kehitetty akustisen ja radiotaajuisen SM-säteilyn yhdistelmää (Radio acoustic sounding system, RASS) [50, 60], skemaattinen kuva 3.7. Menetelmässä lähetetään akustista signaalia tutkasäteilyn (SM-säteilyä) läpi ja tutkitaan tutkasta takaisin siroavaa sähkömagneettista, radiotaajuista säteilyä. Takaisinsiroavan säteilyn taajuusero antaa tiedon esimerkiksi ilman nopeudesta ja lämpötilasta.

### 3.4.3 Muita tapahtumia havainnoivia akustisia sensoreita

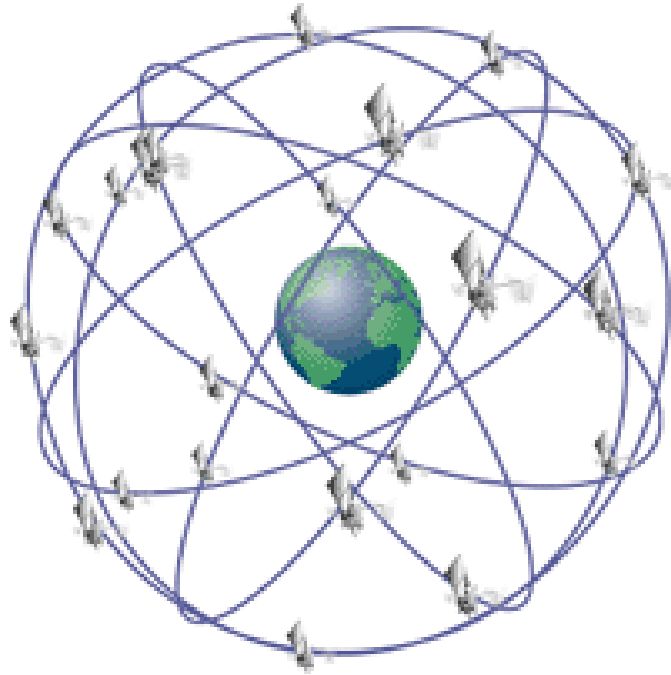
Akustisten sensoreiden verrattain edullisesta hinnasta johtuen eri tapahtumien akustinen havainnointi on ollut tekniikassa jo pitkään ajankohtaista. Sensorien käyttö on laajaa eikä tässä tutkimuksessa voida mitenkään analysoida sovelluskohteiden koko kirjoa. Muutamia mielenkiintoisia turvallisuuteen liittyviä sovelluskohteita: aseiden laukeamisesta varoittava järjestelmä [51], jollaiseen liittyen markkinoilla on useita kaupallisia toimijoita, esimerkiksi [1]. Samantapainen järjestelmä on käytössä esimerkiksi myös sotatekniikassa vastustajan tarkka-ampujien paikantamiseksi [10] ja mahdollisuudet kyseisellä tekniikan alalla ovat miltei rajattomat.

## 3.5 GPS-järjestelmän toimintaperiaate

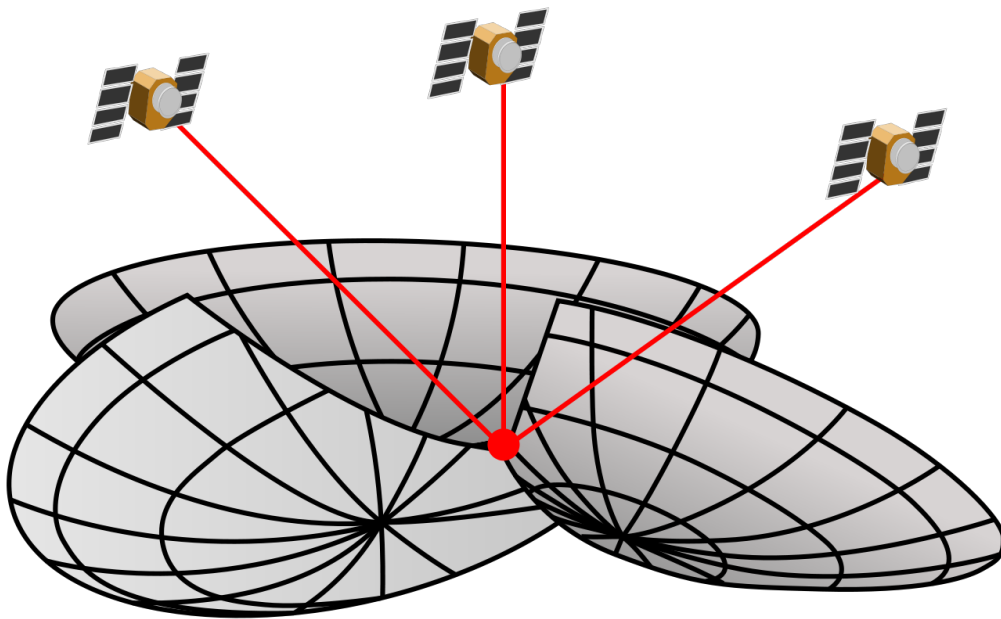
Usein paikannuksesta puhuttaessa GPS-järjestelmä mainitaan yhtenä tärkeimmistä innovaatioista ja sovelluksista. Tosiasiassa ennen GPS-järjestelmän käyttöönottoa paikannusjärjestelmiä on ollut useita (joista muutamista lyhyt kuvaus aiemmin) ja useita paikannusjärjestelmiä kehitetään edelleen. Muista edelleen kehityksenalaisista paikannusjärjestelmistä voidaan mainita esimerkiksi GLONASS [62] ja sisäpaikannuksessa useita toimintaperiaatteita [11]. Tämän työn kannalta riittää kuitenkin käydä läpi tarkemmin vain GPS-järjestelmän toimintaperiaate. Mainittu järjestelmän toiminta perustuu Maata kiertäviin satelliitteihin 3.8, joiden hetkellinen sijainti on tiedossa.

Oletetaan Maan pinnalla olevan kohteen, joka haluaa paikantaa itsensä. Kohde ottaa yhteyden GPS-järjestelmään ja järjestelmä mittaa kohteen etäisyyden useaan (vähintään kolmeen) satelliittiin. Kun jokaisen satelliitin paikka on tiedossa, mainittujen satelliittien ympärille voidaan piirtää kuvitteellinen pallopinta, jonka säde on kohteen ja kyseisen satelliitin välinen etäisyys.





*Kuva 3.8 Yleiskuva GPS-järjestelmän satelliiteista. Lähde NASA/WikimediaCommons [58].*



*Kuva 3.9 Periaatekuva GPS-satelliittipaikannuksesta. Lähde WikimediaCommons [59]*

Kohteen sijainti maapallon pinnalla on näiden pallopintojen leikkauspiste (punainen piste kuvassa 3.9). Eräs olennainen asia, jota ei aina mainita GPS-järjestelmän

yhteydessä, että kaikilla sateliiteilla ja paikannettavalla täytyy olla "yhteinen aika" paikantamisen onnistumiseksi. Käytännössä ongelma on ratkaistu siten, että GPS-järjestelmä jakaa oman aikatietonsa kaikille sitä käyttäville laitteille (kohteille).

### **3.6 GPS-järjestelmän toimintaperiaatteen kopiointimahdollisuus tulipalon havainnointiin**

Edellä on kuvattu lyhyesti GPS-järjestelmän toimintaperiaate ja on toisaalta kerrottu lukuisia esimerkkejä sähkömagneettisista ja akustisista sensoreista tulipalon olemassaolon toteamiseksi. Sensoreiden käyttämisessä tulipalon sijainnin määrittämiseksi on eräs perustavanlaatuinen ongelma, joka on otettava huomioon. Tulipalo ei pelaa sitä havainnoivan järjestelmän kanssa samoilla säännöillä eikä se ole yhteistyöhaluinen, useimmissa tapauksissa se on jopa uhka sitä havainnoivalle kohteelle. On eri asioita havaita tulipalon olemassaolo, määrittää sen sijainti ja taistella sitä vastaan. Jos mainituista asioista vain kaksi ensimmäistä toteutuu, tulipalon havainnointijärjestelmä voi tuhoutua yhdessä tulipalossa tuhoutuvan muun infrastruktuurin kanssa (Kuva 3.10).

Käytännössä tulipalon yhteistyökyvyttömyys tarkoittaa sitä, että sen "kello" ei lähtökohtaisesti ole synkronoitu samaan aikaan kuin sitä havainnoivan järjestelmän "kello". Toisin sanoen tulipaloa havainnoivan järjestelmän täytyy kerätä tulipalosta tietoa ilman, että tulipalo auttaa asiaa millään tavalla.



*Kuva 3.10 Tulipalo on aina uhka infrastruktuurille ja itse tulipaloa havainnoiville järjestelmillekin. Kuvassa on Glasgown yliopiston rakennus Maclay Hall, joka kärsi pahoja vahinkoja tulipalossa 13.6.2006. Lähde WikimediaCommons [57]*

## 4. TULOKSET, KEKSINTÖ1: AKUSTISEEN JA SÄHKÖMAGNEETTISEEN SÄTEILYYN PERUSTUVA TULIPALON PAIKANNUSMENETELMÄ

### 4.1 Keksinnön 1 yhteenveto

Keksintö [40] liittyy yleisesti palonsammutusjärjestelmiin ja erityisesti tulipalon havaitseviin järjestelmiin.

Perinteisissä palonsammutusjärjestelmissä sprinklerit tai yleisemmin suihkutussuuttimet on sijoitettu strategisesti alueelle, jossa tulipalo halutaan torjua, kuten rakennuksen sisällä. Sprinklerit ovat suurimman osan ajasta näennäisesti toimettomia. Tunnetut järjestelmät tulipalon havaitsemiseksi voivat riippua palonsammutusjärjestelmän tyypistä. Palon havaitseminen voi perustua esimerkiksi lämpötilan nousuun, nousunopeuteen tai tulipalon suoraan havaitsemiseen. Perinteiset palonsammutusjärjestelmät eivät kykene yhtäaikaisesti sekä havaitsemaan palon olemassaoloa nopeasti että palon paikantamaan tulipalon sijaintia tarkasti.

Tulipalon sammutusjärjestelmät joudutaan ylimitoittamaan korvaamaan palon havaitsemisen hitaus ja epätarkkuus, koska sillä ajanhetkellä kun sammutusjärjestelmä on "löytänyt" tulipalon "oikeasta paikasta" tai "oikealta alueelta", tulipalo on ehtinyt kehittyä ja kasvaa jo jonkin aikaa. Käytännössä ylimitoittaminen tarkoittaa järjestelmän suunnittelemista ja rakentamista käyttäen suurempaa sammutusnesteen tuottoa paloalueelle kuin olisi välttämättä tarpeen. Ylimitoittaminen nostaa merkittävästi järjestelmän kuluja, koska joudutaan käyttämään tehokkaampia pumppuja ja ylimääräisiä, kalliita komponentteja sekä käyttämään suuremman halkaisijan putkea järjestelmän putkivedoissa.

## 4.2 Keksinnön 1 eri ilmentymiä

Keksinnön yhden ilmentymän mukaisesti, palonsammutusjärjestelmään kuuluu vähintään yksi suihkutuspää. Sammutusnesteen lähde on liitetty kyseiseen suihkutuspäähän sammutusnesteen syöttöjohdolla, jota pitkin sammutusneste siirretään lähteeltä suihkutuspäähän. Järjestelmä sisältää myös useita paloilmaisimia, jotka on konfiguroitu havaitsemaan tulipalon. Järjestelmä on suunniteltu siten, että mikä tahansa suojattavan kohteen sisällä oleva tulipalo havaitaan yhtäaikaisesti useilla ilmaisimilla. Järjestelmää ohjaa ohjausyksikkö ja se on kytketty saamaan tieto ilmaisimilta. Ohjausyksikkö selvittää tulipalon sijainnin ilmaisimien mittaamien signaalien kulkuajakerojen perusteella.

Keksinnön toisen ilmentymän mukaan ilmaisimet mittaavat suoraan tulipalon intensiteettiä eri ilmaisimien mittaamien intensiteettien voimakkuuseroista ohjausyksikkö selvittää tulipalon sijainnin.

Keksinnön vielä erään ilmentymän perusteella ohjausyksikkö käyttää tulipalon paikannäilytyksessä itse tulipalon lähettämää spektriä ja erityisesti siinä esiintyvää vaihtelua ilmaisimien synkronointiin. Ohjausyksikkö tunnistaa, millä ajanhetkillä eri ilmaisimet ovat vastaanottaneet saman signaalin ja laskee signaalien kulkuajakerojen erotukset palon ja ilmaisimien välillä. Kulkuajakerojen perusteella ohjausyksikkö selvittää kunkin ilmaiseimen etäisyyden palosta ja koska ilmaisinten paikat tiedetään, myös palon absoluuttisen sijainnin.

Keksinnön kuvaus käy ilmi erityisesti piirrustuksista 4.1- 4.3.

## 4.3 Tarkennettu kuvaus keksinnöstä 1

Kuvassa 4.1 on esitetty tulipalon sammutusjärjestelmä (10), sen pumppuyksikkö (20) ja joukko suihkutussuuttimia (40). Keksinnön eräessä ilmenemismuodossa suihkutussuuttimissa on pienet aukot, jotka tuottavat vesisumua kun niiden läpi kulkee vesi suurella paineella. Suihkutussuuttimet (40) voivat olla joko samassa tilassa kuin käyttölähteet tai ne voivat olla eri tiloissa tai niiden välissä voi olla esimerkiksi seinä. Sammutusneste kuljetetaan käyttölähteeltä (20) suihkutussuuttimille (40) syöttöjohtoa (15) pitkin. Keksinnön yhdessä ilmenemismuodossa järjestelmän (10) sammutusnesteenä toimii vesi. Järjestelmän käyttölähteen (20) osana voi olla pumppu ja moottori, ja se on kytketty sammutusväliaineen lähteeseen, kuten putkistoon tai säiliöön. Järjestelmän toimintaa ohjaa ohjausyksikkö

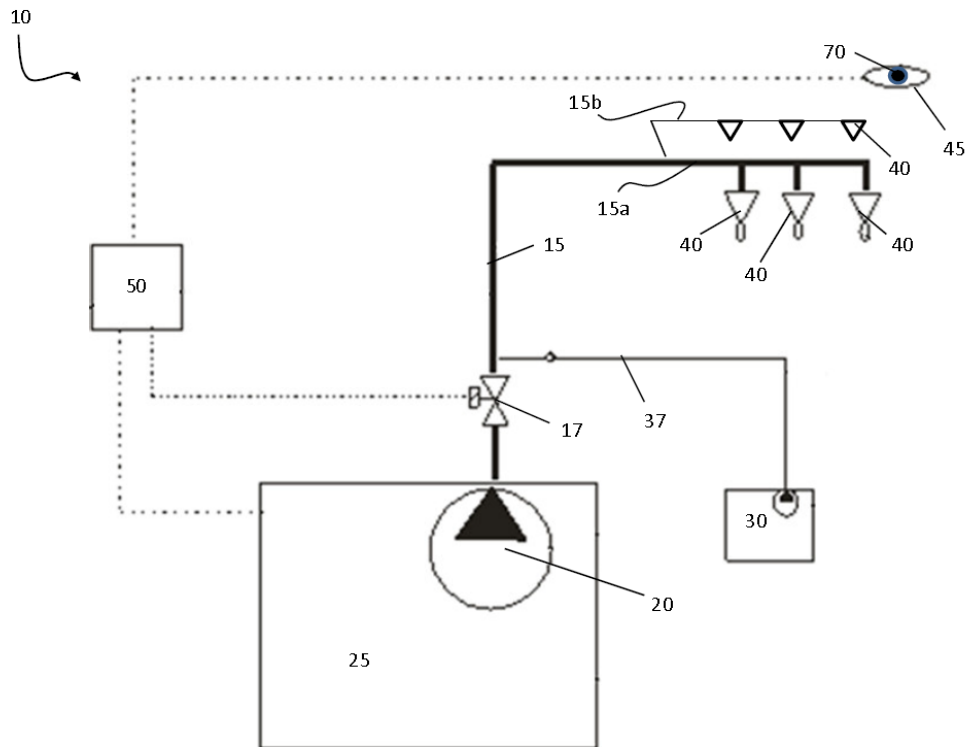
(50) ja se on kytketty käyttölähteeseen (20) antaen sille käynnistyskomennon, jos palo havaitaan.

Syöttöjohdosta haarautuvat linjat 15a ja 15b johtavat suuttimille (40) ja linjat voivat olla täytetty jollakin kaasulla, esimerkiksi jollain palamattomalla kaasulla kuten typellä, tai ilmalla. Kaasutäytteinen järjestelmä estää linjojen 15a ja 15b jäätyksen, joten se soveltuu esimerkiksi ulkoparkkihalleihin. Vaihtoehtoisesti vain loppuosa syöttölinjasta 15 voi olla kaasutäytteinen ja syöttölinjan osa, joka on lähimpänä syöttölähdettä, on nestetäytteinen. Neste- ja kaasutäytteisten osien välissä on kontrolliventtiili (17), joka estää nesteen ja kaasun sekoittumisen normaalioloissa. Kontrolliventtiili (17) voi olla solenoidiventtiili, ohjausventtiili tai mikä tahansa venttiili, jota voidaan ohjata olemaan suljettuna ja avattuna. Kontrolliventtiili voidaan asentaa mihin tahansa syöttöjohtoa (15) käyttölähteen (20) ja suihkutussuuttimien (40) väliin. Ohjausyksikkö (50) ohjaa kontrolliventtiiliä (17) antaen sille tarvittavat käskyt, esimerkiksi käskyn avautua (ja päästää sammutusnesteen venttiilin läpi suihkutussuuttimille (40)), kun käyttölähde (20) on käynnistetty.

Järjestelmään (10) voi kuulua myös kaasukompressori (30) yhdistettynä syöttölinjaan (15) erillisellä liitäntälinjalla (37). Kompressoria (30) käytetään syöttölinja (15) kaasutäytteisen osion täyttämiseksi kaasulla ja kaasun lisäämiseen tarvittaessa. Kompressorin (30) avulla pidetään yllä syöttölinjan (15) stand by -painetta, kun syöttölähde (20) ei ole aktiivoituna. Kun kaasun paine laskee ennalta määritellyn alarajan alitse esimerkiksi johtuen pienistä vuotoista järjestelmässä (10), kompressori (30) korottaa syöttölinjan (15) paineen halutulle tasolle. Järjestelmään (10) voi kuulua myös useampia tulipalonilmaisimia (45) asennettuna suihkutussuuttimien (40) läheisyyteen ja niiden tehtävänä on havaita palo. Tulipalon ilmaisimet (45) voivat olla esimerkiksi savu-, lämpötila-, tai infrapunailmaisimia, tai esimerkiksi muita sähkömagneettiseen säteilyyn tai akustiseen aaltoliikkeeseen reagoivia ilmaisimia, jotka välittävät havainnon tulipalosta eteenpäin sähköisenä signaalina. Tulipaloa indikoiva signaali välitetään ohjausyksikköön (50), joka laukaisee järjestelmän (10). Kuvattu järjestelmä (10) on esimerkinomainen ja tarkka toteutus voi poiketa kuvatusta, järjestelmä (10) voi olla esimerkiksi kokonaan nestetäytteinen.

#### **4.4 Kuvaus keksinnön 1 tulipalon paikannusjärjestelmästä**

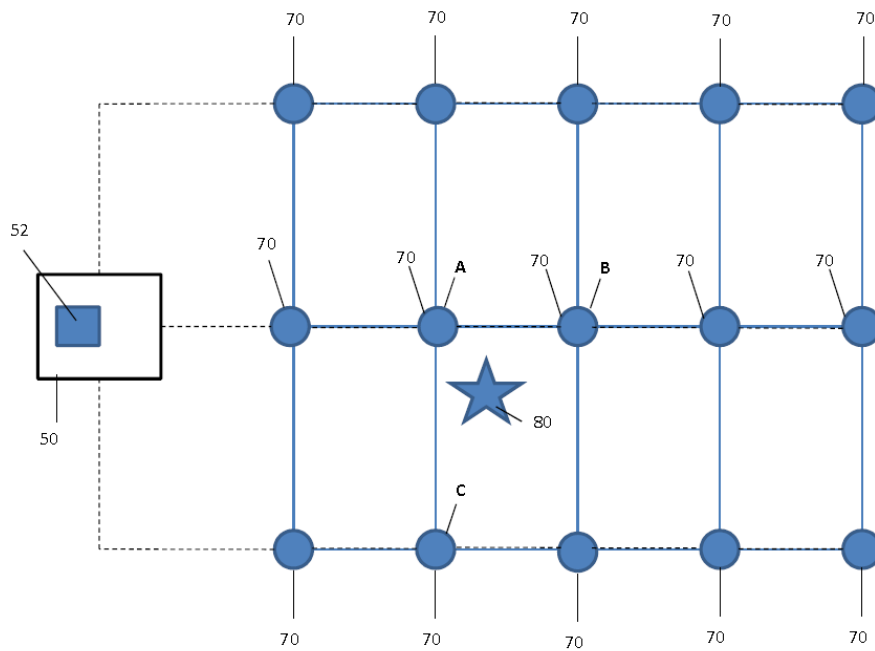
Seuraavaksi kuvataan tarkemmin tulipalon paikannusjärjestelmä, annetaan esimerkinomainen kuvaus sen ilmaisimista ja esitetetään paikannuksen ohjausjärjestelmä.



**Kuva 4.1** Kaaviokuva palonsammutusjärjestelmästä sen erään ilmenemismuodon mukaisesti. [40]

Tulipalon sammutusjärjestelmä (10) sisältää useita tulipalon paikannukseen tarkoitettuja ilmaisimia (70). Keksinnön eräässä ilmenemismuodossa ilmaisimet (70) ovat optisia sensoreita mitaten tulipalon lähettämää (esimerkiksi) lämpösäteilyä. Keksinnön eräässä toisessa ilmenemismuodossa ilmaisimet (70) ovat akustisia sensoreita mitaten tulipalon lähettämää ääntä. Tulipalon paikantavat ilmaisimet (70) voidaan asentaa muusta osasta järjestelmää (10) erilleen tai ne voivat olla liitettyinä esimerkiksi tulipaloilmaisimiin (45) tai suihkutussuuttimiin (40).

Kuvassa 4.2 esitetään tarkemmin järjestelmän (10) tulipalon paikannusjärjestelmän rakennetta. Useiden tulipalon paikantimien (70) mittaama tieto lähetetään ohjausyksikköön (50), jossa tiedot analysoidaan. Tieto itse sensoreiden (70) sijainnista on ennalta ohjelmoitu ohjausyksikön (50) prosessoriin (52). Jokainen tulipalon paikannussensori (70) mittaa olennaisesti oman etäisyytensä suhteessa tulipalloon.



**Kuva 4.2** Kaaviokuva osasta palonsammutusjärjestelmästä sen eräässä ilmenemismuodossa. [40]

Sähkömagneettisen spektrin analysointiin on olemassa sensoreita, näistä esimerkiksi voidaan mainita liekinilmaisimet. Äänispektriä analysoivia antureita on myös markkinoilla, esimerkiksi nykyaikaisten älypuhelimien mikrofonit, mutta tulipalon spektrin analysoinnissa niitä on huomattavasti vähemmän, jos lainkaan. Yksi mielenkiintoinen akustisen spektrin analysointiin erikoistunut sovellus on maantietunneleihin tarkoitettu ”akustinen tunnelin monitorointi”, jonka avulla saadaan esimerkiksi hälytys siitä, jos joku avaa ajoneuvon oven jossakin kohtaa tunnelia. [13, 17, 22] Ajoneuvon pysäyttäminen ja jalkautuminen tunneliin voi olla hengenvaarallista sekä henkilölle itselleen että muille tunnelin käyttäjille. Spektrin vaihtelua mittaavien antureiden osalta voidaan päätellä seuraavaa. Koska äänen nopeus on pienempi kuin valon nopeus, äänen spektriä mittaavat sensorit (70) voisivat olla jopa helpompia valmistaa kuin sähkömagneettista säteilyä mittaavat. Tämä johtuu olennaisesti siitä, että akustisten sensorien aikasyntonointi voi olla epätarkempi tarvittavien etäisyyserojen havaitsemiseksi. Sen osalta akustisilla sensoreilla on tässä tarkoituksessa edellytys olla jopa edullisempi kuin sähkömagneettiseen



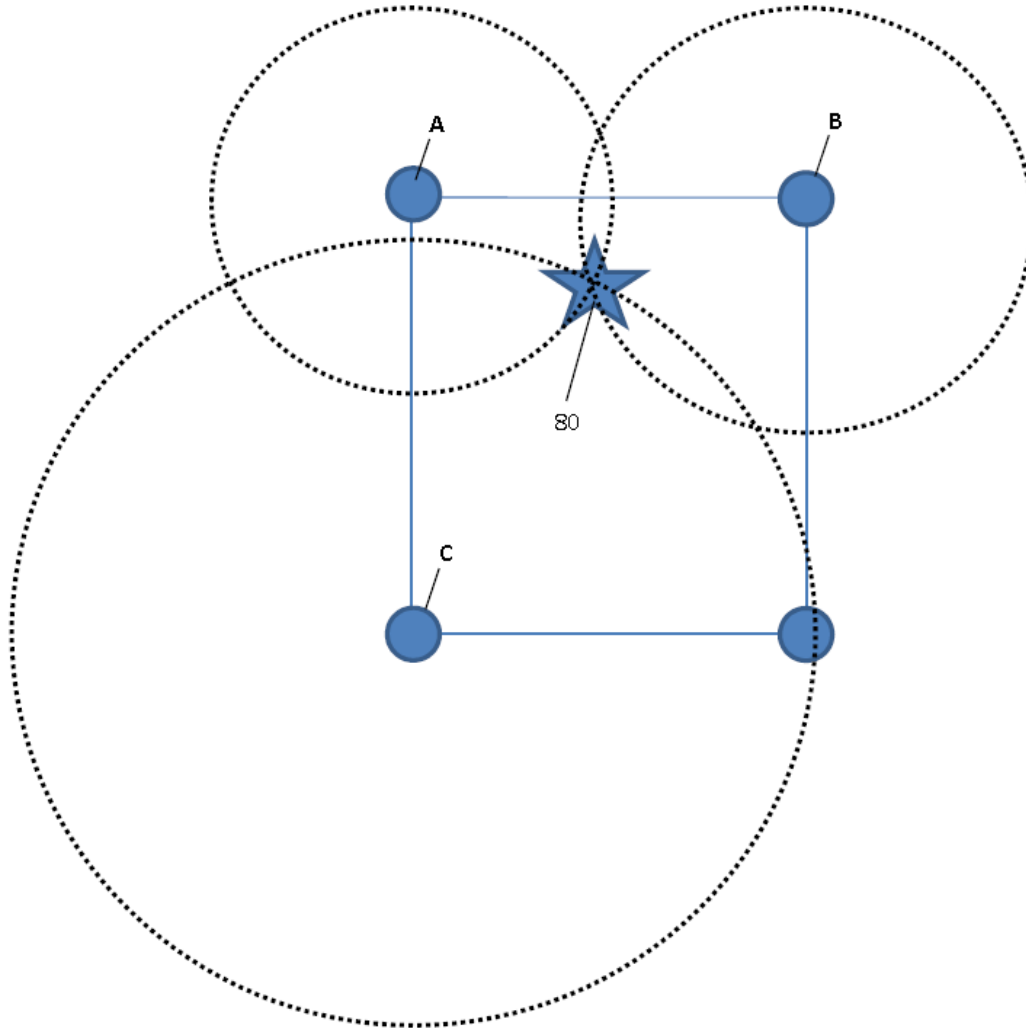
säteilyyn perustuvilla sensoreilla.

## 4.5 Kuvaus tulipalon paikannuksen toimintaperiaatteesta

Kun tulipalo (80) syttyy rakennuksessa, johon on asennettu tulipalon sammutusjärjestelmä (10), palon liekit ja rätinä lähettävät ääni- ja sähkömagneettisia aaltoja ympärilleen. Näitä aaltoja havainnoivat tulipalon paikantimet (70). Keksinnön eräässä ilmenemismuodossa palon paikannusilmaisimet voidaan asettaa mittaamaan edellä mainittua aaltoliikettä rajoitetulla alueella, joka on karakteristista tulipalolle. Kun palo lähettää tietyn rajoitetun alueen aaltoliikettä tulipalon paikantimien (70) läheisyydessä, niin esimerkiksi paikantimet A, B ja C mittaavat palon lähettämän säteilyn intensiteetin. Paikantimet lähettävät intensiteettilukemat ohjausyksikölle (50).

Kuten kuvassa 4.3 esitetään, tulipalon (80) ja kunkin tulipalon paikantimen (70) välinen etäisyys voidaan esittää pallona (tai kahdessa ulottuvuudessa ympyränä) kunkin paikantimen ympärillä ja tämä etäisyys on selvitetty esimerkiksi sensorin mittaamista intensiteeteistä. Laskennan perusteella tulipalon paikan selvitetään olevan paikantimien ympärille piirrettyjen ympyröiden leikkauspisteessä. Koska tulipalon (80) paikka sijaitsee ympyröiden leikkauskohdassa, paikan selvittämiseksi yksiselitteisesti tarvitaan etäisyyslukema vähintään kolmelta sensorilta (70). Keksinnön eräässä ilmenemismuodossa ohjausyksikkö (50) laskee tulipalon sijainnin käyttäen multilaterointialgoritmia (esim GPS), jossa paikantimet eivät selvitä absoluuttista etäisyyttään tulipalosta vaan ainoastaan etäisyyksien välisen erotuksen. Tällaisessa tapauksessa ohjausyksikkö ”piirtää” jokaisen sensorin ympärille hyperbelin ja kun se on saanut yhteensä neljän sensorin (70) ja tulipalon (80) etäisyyksien väliset erotukset, tulipalo (80) saadaan paikannettua neljän hyperbelin leikkauskohtaan.

Keksinnön eräässä toisessa ilmenemismuodossa ohjausyksikkö (50) määrittää tulipalon (80) tarkan sijainnin siten, että paikannusanturit (70) mittaavat palosta lähtevän pulssin matkaansa käyttämän ajan. Ohjausyksikkö (50) on asetettu mittaamaan aikaa, jolloin kukin anturi (70) mittaa palosta (80) lähteneen keskenään samassa vaiheessa olevan akustisen tai sähkömagneettisen pulssin. Kun jokin antureista (70) selvittää palon (80) olemassaolon, ohjausyksikkö (50) tallentaa kyseisen ajankohdan ja tiedon siitä, mikä antureista havaitsi palon. Esimerkiksi sensori (B) voi mitata signaalin ajan  $t_{AB}$  verran myöhemmin kuin sensori (A), koska on kauempana palosta (80). Ohjausyksikkö selvittää aikaeroa vastaavan etäisyyseron ja tekee saman myös esimerkiksi antureiden C ja D osalta (aikaerot  $t_{AC}$ ,  $t_{AD}$ ,  $t_{BC}$ ,  $t_{BD}$  ja  $t_{CD}$ ).



**Kuva 4.3** Yksityiskohtainen kuvaus ohjausyksikön suorittamasta laskennasta kuvion 2 mukaisessa palonsammutusjärjestelmässä. [40]

Pulssien aikaerojen perusteella päästään käsiksi etäisyyseroihin ja tulipalon tarkka sijainti lasketaan 'time difference of arrival' -laskenta-algoritmin (TDOA) avulla. TDOA määrittää jokaisen anturin (70) ympärille hyperboloidin (hyperbelin 2D:ssä) ja tulipalo saadaan paikannettua neljän (kolmen) hyperboloidin (hyperbelin) leikkauskohtaan. Käytännössä ohjausyksikkö (50) suorittaa laskennan tulipalon paikantamiseksi.

## 4.6 Keskustelua keksinnöstä 1

Yleisesti ottaen pelkkä idea ei ole patentoitavissa vaan patentin saamiseksi tarvitaan käytännön tekninen toteutus. Edellä on kuvattu seikkaperäisesti keksinnön *tulipalon paikannus analysoiden palon valo- tai äänispektriä (WO 2014/076349 A1)* idea ja esitetty idealle muutama ilmenemismuoto eli käytännön toteutus.

Esitetyn keksinnön käytännön sovellus voidaan toteuttaa jonkin edellämainitun ilmenemismuodon mukaisesti, mutta keksintö itsessään ei rajoitu mainittuihin ilmenemismuotoihin. Sen sijaan keksintö voidaan modifioida sisällyttämään minkä tahansa määrän muunnelmia, muutoksia tai vastaavia sovelluksia, joita ei ole tässä yksilöity, mutta jotka on toteutettu mainitun keksinnön hengessä.

## 4.7 Keksinnön 1 johtopäätökset

Keksinnössä [40] käytetään tulipalon akustista ja sähkömagneettista spektriä paikantamaan tulipalo. Keksinnössä on olennaisesti kopioitu GPS-järjestelmän toimintaperiaate tulipalon paikantamiseksi.

## 5. TULOKSET, KEKSINTÖ2: LÄMPÖTILADERIVAATTAAN PERUSTUVA TULIPALON SAMMUTUSJÄRJESTELMÄN LAUKAISUMENETELMÄ

### 5.1 Keksinnön 2 yhteenveto

Keksintö [41] liittyy yleisesti palonsammutusjärjestelmiin ja erityisesti tulipalon havaitseviin järjestelmiin sekä sammutusjärjestelmän aktivoiviin järjestelmiin.

Tulipalon sammutusjärjestelmät, jotka aktivoituvat putken sisään asennettujen il-mavirtausmittareiden mittaustulosten perusteella ovat nopeita havaitsemaan sprinkle-rin aktivoitumisen. Ilmavirtausmittaukseen perustuvat järjestelmät ovat kuitenkin osoittautuneet epäluotettaviksi ja aiheuttavat usein virrehälytyksiä. Paineen muu-tokseen reagoivat järjestelmät ovat niinkään nopeita havaitsemaan sprinklerin ak-tivoitumisen, mutta ovat myös osoittautuneet ongelmallisiksi mittaustarkkuudessa johtuen tulipalosalon sammutusjärjestelmän korkeasta lepopaineesta ("stand by pressu-re" eli paine, joka on putkijärjestelmän sisällä koko ajan).

Tavalliset tulipalon sammutusjärjestelmät eivät pysty yhtäaikaaisesti sekä toteaa-maan tulipalon olemassaoloa että sen sijaintia. Tästä johtuen tulipalon sammu-tusjärjestelmät joudutaan mitoittamaan taistelemaan suurempia paloja vastaan (eli koska tulipalo on jo kehittynyt suureksi ennen kuin järjestelmä on ehtinyt ha-vaita sen ja erityisesti havaita sen sijainnin). Kuten on tunnettua, ylimeritys kas-vattaa minkä tahansa järjestelmän hintaa, koska joudutaan käyttämään enemmän ja kalliimpia komponentteja. Tulipalon sammutusjärjestelmien osalta ylimeritys tarkoittaa esimerkiksi suurempaa putkihalkaisijaa sekä tehokkaampia ja kalliimpia pumppuja.

## 5.2 Keksinnön 2 eri ilmentymiä

Keksinnön yhden ilmentymän mukaisesti, palonsammutusjärjestelmään kuuluu vähintään yksi suihkutuspää. Sammutusnesteen lähde on liitetty kyseiseen suihkutuspäähän sammutusnesteen syöttöjohdolla, jota pitkin sammutusneste siirretään lähteeltä suihkutuspäähän. Järjestelmä sisältää myös vähintään yhden lämpötilailmaisimen, joka mittaa oman ympäristönsä lämpötilaa. Järjestelmää ohjaa ohjausyksikkö ja se on kytketty saamaan tieto lämpötilailmaisimelta. Ohjausyksikkö seuraa lämpötilaa ja lämpötilan muutosta sekä pääättelee tulipalon sijainnin.

Keksinnön toisen ilmentymän mukaan tulipalon sijainti saadaan selville useiden suutinten läheisyyteen asennettujen lämpötilailmaisinten avulla. Kun lämpötilailmaisimet antavat jossakin päin järjestelmää lämpötilamuutokseksi suuremman arvon kuin kynnsarvo, järjestelmä aktivoituu ja ohjausyksikkö selvittää tulipalon sijainnin.

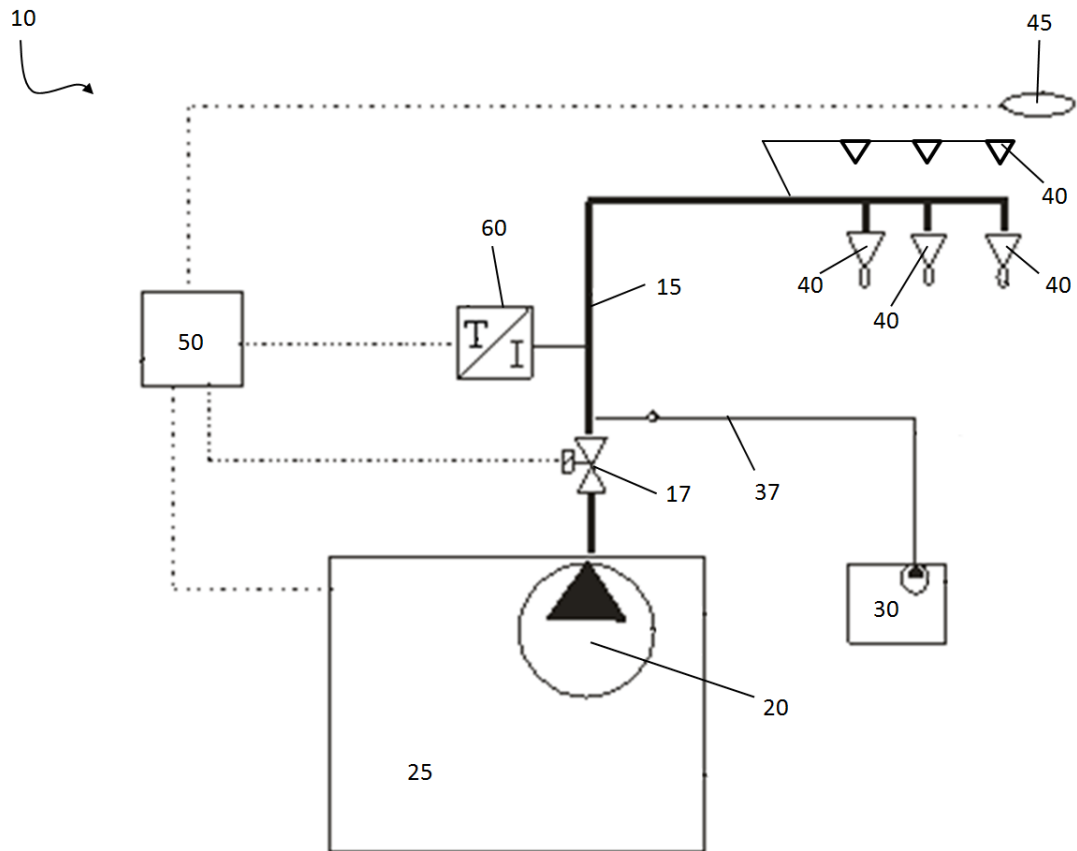
Keksinnön vielä erään ilmentymän perusteella mukaisesti järjestelmän lämpötilailmaisimet (jotka on asennettu suutinten läheisyyteen), toimivat yhdessä jonkin muun tulipalon ilmaisujärjestelmän kanssa. Järjestelmän aktivoituminen voidaan tehdä tämän jonkin muun järjestelmän (esimerkiksi liekinilmaisinjärjestelmä) avulla ja tulipalon sijainti päätellään lämpötilojen muutosvauhdin perusteella lämpötila-antureiden avulla.

Keksinnön kuvaus käy ilmi erityisesti piirrustuksista 5.1 ja 5.2.

Nämä ja järjestelmän muut edut käyvät selville piirrustuksista ja keksinnön 2 tarkemmasta kuvauksesta.

## 5.3 Tarkennettu kuvaus keksinnöstä 2

Kuvassa 5.1 on esitetty tulipalon sammutusjärjestelmä (10), sen pumppuyksikkö (20) ja joukko suihkutussuuttimia (40). Keksinnön eräessä ilmenemismuodossa suihkutussuuttimissa on pienet aukot, jotka tuottavat vesisumua kun niiden läpi kulkee vesi suurella paineella. Suihkutussuuttimet (40) voivat olla joko samassa tilassa kuin käyttölähde tai ne voivat olla eri tiloissa tai niiden välissä voi olla esimerkiksi seinä. Sammutusneste kuljetetaan käyttölähteeltä (20) suihkutussuuttimille (40) syöttöjohtoa (15) pitkin. Keksinnön yhdessä ilmenemismuodossa järjestelmän (10) sammutusnesteenä toimii vesi. Järjestelmän käyttölähteen (20) osa-



**Kuva 5.1** Kaaviokuva palonsammutusjärjestelmästä sen erään ilmenemismuodon mukaisesti. [41]

na voi olla pumppu ja moottori, ja se on kytketty sammutusvälianeen lähteeseen (25), kuten putkistoon tai säiliöön. Järjestelmän toimintaa ohjaa ohjausyksikkö (50) ja se on kytketty käyttölähteeseen (20) antaen sille käynnistyskomennon, jos palo havaitaan.

Syöttöjohdosta haarautuvat linjat 15a ja 15b johtavat suuttimille (40) ja linjat voivat olla täytetty jollakin kaasulla, esimerkiksi jollain palamattomalla kaasulla kuten typellä, tai ilmalla. Kaasutäytteinen järjestelmä estää linjojen 15a ja 15b jäätyksen, joten se soveltuu esimerkiksi ulkoparkkihalleihin. Vaihtoehtoisesti vain loppuosa syöttölinjasta 15 voi olla kaasutäytteinen ja syöttölinjan osa, joka on lähimpänä syöttölähdettä, on nestetäytteinen.

Neste- ja kaasutäytteisten osien välissä on kontrolliventtiili (17), joka estää nesteen ja kaasun sekoittumisen normaalioloissa. Kontrolliventtiili (17) voi olla solenoidi-

venttiili, ohjausventtiili tai mikä tahansa venttiili, jota voidaan ohjata olemaan suljettuna ja avattuna. Kontrolliventtiili voidaan asentaa mihin tahansa syöttöjohtoa (15) käyttölähteen (20) ja suihkutussuuttimien (40) väliin. Ohjausyksikkö (50) ohjaa kontrolliventtiiliä (17) antaen sille tarvittavat käskyt, esimerkiksi käskyn avautua (ja päästää sammutusnesteen venttiilin läpi suihkutussuuttimille (40)), kun käyttölähde (20) on käynnistetty.

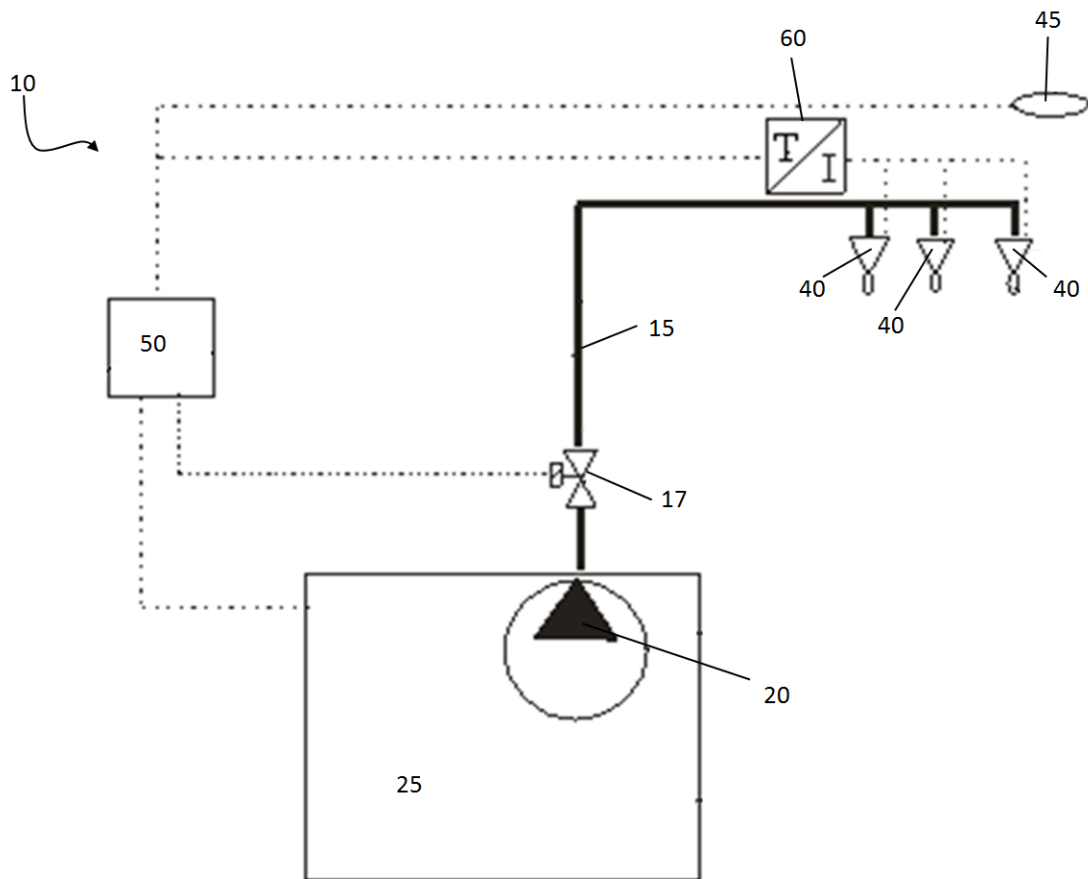
Järjestelmään (10) voi kuulua myös kaasukompressori (30) yhdistettynä syöttölinjaan (15) erillisellä liitäntälinjalla (37). Kompressoria (30) käytetään syöttölinja (15) kaasutäyteen osion täyttämiseksi kaasulla ja kaasun lisäämiseen tarvittaessa. Kompressorin (30) avulla pidetään yllä syöttölinjan (15) stand by -painetta, kun syöttölähde (20) ei ole aktiivoituna. Kun kaasun paine laskee ennalta määritellyn alarajan alitse esimerkiksi johtuen pienistä vuotoista järjestelmässä (10), kompressori (30) korottaa syöttölinjan (15) paineen halutulle tasolle. Järjestelmään (10) voi kuulua myös useampia tulipalonilmaisimia (45) asennettuna suihkutussuuttimien (40) läheisyyteen ja niiden tehtävänä on havaita palo. Tulipalon ilmaisimet (45) voivat olla esimerkiksi savu-, lämpötila-, tai infrapunailmaisimia, tai esimerkiksi muita sähkömagneettiseen säteilyyn tai akustiseen aaltoliikkeeseen reagoivia ilmaisimia, jotka välittävät havainnon tulipalosta eteenpäin sähköisenä signaalina. Tulipaloa indikoiva signaali välitetään ohjausyksikköön (50), joka laukaisee järjestelmän (10). Kuvattu järjestelmä (10) on esimerkinomainen ja tarkka toteutus voi poiketa kuvatusta, järjestelmä (10) voi olla esimerkiksi kokonaan nestetäyteen.

## 5.4 Kuvaus keksinnön 2 tulipalon paikannusjärjestelmästä

Seuraavaksi kuvataan tarkemmin tulipalon paikannusjärjestelmä, annetaan esimerkinomainen kuvaus sen ilmaisimista ja esitetään paikannuksen ohjausjärjestelmä.

Tulipalon sammutusjärjestelmä (10) voi sisältää useita lämpötilailmaisimia (60). Keksinnön eräessä ilmenemismuodossa ilmaisimet (60) ovat termopareja tai muita ympäristönsä lämpötilaa mittaavia ilmaisimia. Esimerkiksi kuivaputkijärjestelmässä lämpötilailmaisimia voi olla asennettuna myös putkilinjaan (15), ohjausventtiili (17) ja suuttimien (40) väliin, mittaamaan paineistetun kaasun lämpötilaa. Keksinnön eräessä toisessa ilmenemismuodossa lämpötila-anturi (60) voidaan asentaa syöttöjohdosta (15) haarautuviin putkilinjoihin 15a ja 15b, lähelle suihkutussuuttimia (40) tai niiden välittömään läheisyyteen, tai ne voivat olla jopa kiinteä osa suihkutussuuttimia.





**Kuva 5.2** Kaaviokuva palonsammutusjärjestelmästä sen erään ilmenemismuodon mukaisesti. [41]

Keksinnön vielä eräässä ilmentymässä, jota havainnollistettu kuvassa 5.2, yhtä tai useampaa lämpötilailmaisinta (60) voidaan käyttää mittamaan suihkutussuuttimien (40) välittömässä läheisyydessä olevan ulkoympäristön lämpötilaa. Kunkin lämpötila-antureista (60) voi olla asennettu suihkutussuuttimien (40) välittömään läheisyyteen joko putkilinjaan (15) tai sen ulkopuolelle. Ilmentymissä, joissa lämpötila-anturit on asennettu putkilinjaan, järjestelmä (10) voi olla joko märkä- tai kuivaputkijärjestelmä.

Lämpötilailmaisimet (60) voivat mitata lämpötilaa jatkuvasti tai ne voivat mitata lämpötilalukemia tietyin väliajoin. Lämpötilailmaisinten (60) mittaamat lämpötilat välitetään ohjausyksikölle (50), johon lämpötilalukemat tallennetaan ja niiden aikamuutosta seurataan (kullekin lämpötilailmaisimelle erikseen). Ilmentymissä, joissa lämpötilailmaisimet (60) on asennettu syöttöjohdon (15) sisäpuolelle, ennalta asetettua lämpötilamuutosarvoa suuremmat muutokset kertovat siitä, että

jokin järjestelmän (10) sprinklereistä (40) on aktivoitunut. Lämpötilamuutos on suurempi lähimpänä aktivoitunutta sprinkleriä (40). Sen vuoksi suurinta lämpötilamuutosta indikoiva lämpötilailmaisimien (40) on (putkijonossa) lähimpänä aktivoitunutta sprinkleriä (40) ja sitä kautta tulipalon sijainti tulee selvitettyksi. Sovelluksissa, joissa lämpötilailmaisimet on asennettu putkijonon (15) ulkopuolelle suihkutussuuttimien (40) läheisyyteen (tai kiinteään yhteyteen), niin ikään suurin lämpötilamuutos indikoi tulipalon sijainnin.

Sovelluksissa joissa lämpötilailmaisimet (60) on asennettu putkijonon (15) sisälle, suurimman lämpötilamuutoksen lukema kertoo myös vuotokohdan sijainnin (vuototapahtuman alussa). Lisäksi tulipalon sammutusjärjestelmä (10) saa myös tiedon viallisesta lämpötilailmaisimesta (60) ja antaa (huolto)hälytyksen tarvittaessa. Esimerkiksi silloin, kun ohjausyksikkö (50) ei saa lämpötilatietoa joltakin lämpötilailmaisimelta (60) vaikka sen läheisiltä ilmaisimilta (60) tulee mittaustieto, ohjausyksikkö voi päätellä kyseisen ilmaisimen olevan epäkunnossa.

Kun tulipalon sammutusjärjestelmä (10) on "tarkkailutilassa", pumppuyksikkö (20) ei ole aktiivinen, mutta lämpötilasensoreit (60) mittaavat aktiivisesti ympäristöjensä lämpötilaa. Jos ohjausyksikkö (50) havaitsee jossakin päin järjestelmää lämpötilan muutosnopeuden olevan on suurempi kuin ennalta asetettu hälytysraja, se päättää tulipalon olemassaolon ja sijainnin olevan lähellä kyseistä lämpötilailmaisinta (60). Ohjausyksikkö (50) antaa käynnistyskäskyn pumppuyksikölle (20) ja avautumiskäskyn ohjausventtiilille (17) siten, että sammutusväliaine voidaan ohjata paloalueelle aktivoituneiden suihkutussuuttimien (40) läpi.

Kokonaan toinen keksintö *Intelligent Sprinkler System Section Valve* [42] käsittelee ohjausyksikön (50) toimintojen siirtämistä ohjausventtiilin (17) yhteyteen. Sen motivaationa on toimintojen yksinkertaistaminen ja kulujen vähentäminen muun muassa signaalikaapelivetojen vähentymisen kautta. Tässä diplomityössä ei kyseistä keksintöä käydä sen tarkemmin läpi.

Keksinnön eräessä toisessa ilmenemismuodossa sekä pumppuyksikkö (20) että lämpötilailmaisimet (60) ovat epäaktiivisia ja vain erilliset tulipaloilmaisimet (45) ovat aktiivisia. Silloin kun tulipaloilmaisimet (45) havaitsevat tulipalon olemassaolon, ne antavat hälytysignaalin ohjausyksikölle (50). Tulipaloilmaisimet antavat siten järjestelmälle (10) yleishälytyksen ja tiedon tulipalon paikantamisen tarpeesta. Ohjausyksikkö (50) antaa pumppuyksikölle (20) käynnistyskäskyn ja lämpötilailmaisimille (60) käskyn aloittaa omien ympäristöjensä lämpötilojen seuraamisen.

Lisäksi ohjausyksikkö (50) itse aloittaa lämpötilalukemien aikamuutosten seuraamisen ja jos se toteaa jossakin päin järjestelmää lämpötilan muuttuvan nopeammin kuin ennalta asetettu raja-arvo, toteaa tulipalon sijainnin olevan siellä. Vaihtoehtoisesti ohjausyksikkö (50) voidaan ohjelmoida siten, että se toteaa tulipalon sijainnin olevan siellä, missä lämpötilan muutosnopeus on suurin (toisin sanoen ilman raja-arvon ylittymistäkin). Ohjausyksikkö (50) käynnistää pumppuyksikön (20) ja avaa ohjausventtiilin (17), jotta sammutusväliaine voidaan välittää paloalueelle aktivoituneen suihkutussuuttimen (tai -suutinten) (40) kautta.

## 5.5 Keskustelua keksinnöstä 2

Yleisesti ottaen pelkkä idea ei ole patentoitavissa vaan patentin saamiseksi tarvitaan käytännön tekninen toteutus. Edellä on kuvattu seikkaperäisesti keksinnön *Lämpötilan muutosnopeuteen perustuva tulipalon sammutusjärjestelmän laukaisumenetelmä ja tulipalon paikannusmenetelmä (WO 2014/076348 A1)* idea ja esitetty idealle muutama ilmenemismuoto eli käytännön toteutus.

Esitetyn keksinnön käytännön sovellus voidaan toteuttaa jonkin edellämainitun ilmenemismuodon mukaisesti, mutta keksintö itsessään ei rajoitu mainittuihin ilmenemismuotoihin. Sen sijaan keksintö voidaan modifioida sisällyttämään minkä tahansa määrän muunnelmia, muutoksia tai vastaavia sovelluksia, joita ei ole tässä yksilöity, mutta jotka on toteutettu mainitun keksinnön hengessä.

## 6. KEKSINTÖJEN 1 JA 2 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulipalosalvutussysteemi, joka määrittää lämpötilan muutosta (lämpötiladerivaattaa) systeemin eri osissa, pystyy määrittämään tulipalon sijainnin nopeammin ja tarkemmin kuin systeemit ilman tällaista ominaisuutta. Samoin tekee tulipalon salvutussysteemi, joka antaa tiedon tulipalon sijainnista analysoiden tulipalon ääni- ja sähkömagneettista spektriä.

Kuvattujen keksintöjen yksi tärkeimmistä parannuksista verrattuna olemassaolevaan teknologiaan liittyy turvallisuuteen. Kun tulipalon sijainti saadaan selville nopeammin ja tarkemmin, taistelu tulipaloa vastaan voidaan suorittaa tehokkaammin ja aloittaa aiemmin. Näin ihmiset ja omaisuus saadaan osaltaan suojattua paremmin tulipaloja vastaan.

Kuvatut tulipalon salvutussysteemit voivat välittää tiedon tulipalon sijainnista (joko manuaalisesti tai automaattisesti) sitä tietoa tarvitseville, muille systeemeille. Esimerkiksi paikallinen pelastusviranomaisella hyötyy tulipalon sijainnin nopeasta ja tarkasta tiedosta. Tulipalon ollessa kyseessä jokainen säästetty minuutti lisää onnellisen lopputuloksen todennäköisyyttä.

Nopea ja tarkka tulipalon sijaintitieto antaa mahdollisuuden systeemien kulujen tiputtamiseen ja sitä kautta uusiin markkinoihin. Miten tämä toteutuu voidaan jakaa muutamaaan välivaiheeseen. Ensimmäinen askel on se, että tarkan ja nopean sijaintitiedon antava tulipalon salvutussysteemi voidaan mitoittaa keveämmin kuin ilman tällaista mahdollisuutta oleva systeemi. Systeemien mitoitus säätelevät kuitenkin standardit, esimerkiksi palotestistandardit. Käytännössä vastuu systeemien toimivuudesta on viime kädessä järjestelmien valmistajilla itsellään. Tällaisen "keveämmin"mitoitettujen tulipalon salvutussysteemin kehittävä yritys voisi esittää uudenlaisia palotestistandardia, jonka mukaisissa palotesteissä osoitetaan tulipalon paikan nopeasti ja tarkasti määrittävän systeemin tehokkuus olevan vähintään yhtä hyvä kuin jonkin kilpailevan systeemin (joka on hyväksytty jonkin olemassaolevan palotestistandardin mukaan).

Palotestistandardin muuttaminen ja sen avulla järjestelmän hyvyyden osoittaminen ei ole erityisen yksinkertainen prosessi eikä tässä työssä perehdytä sen tarkemmin sen käytännön toteutukseen (tai edes toteutusmahdollisuuteen). Työn kirjoittajan mielestä se kuitenkin voisi olla järkevä tie jollekin tulipalosuojausalan muutosta haluavalle yritykselle. On lähinnä yrityksen riskinottokyvystä kiinni, haluaako tätä tietä lähteä kokeilemaan, mutta yhtenä hyvänä esimerkkinä onnistuneesta palotestistandardien muuttamisesta ja uusien markkinoiden hakemisesta voidaan pitää Marioff Corporation Oy:n tarinaa. Tässä työssä ei sen tarkemmin perehdytä yrityksen historiaan kuin, että parissa vuosikymmenessä yritys käytännössä loi uusia palotestistandardeja vesisumujärjestelmilleen, jollaisia ei kukaan muu markkinoilla ollut rakentanut. Parin vuosikymmenen aikana yritys niin ikään loi itselleen markkinat ja onnistui kasvamaan vuositasolla (liikevaihdon mukaan laskettuna) satojen miljoonien yritykseksi. Valtaosa maailman matkustaja-aluksista on edelleen suojattu kyseisen yrityksen tulipalon sammutusjärjestelmillä.

Kun järjestelmän toimivuuteen liittyvä todistustaakka on kunnossa, päästään visioimaan järjestelmän teknisiä ja taloudellisia etuja sekä järjestelmän toimittajan että ostajan näkökulmasta. Aloitetaan etujen arvioiminen asiakkaan näkökulmasta. Keveämmällä mitoituksella järjestelmän kuluja saadaan karsittua, mikä järjestelmän ostajalle näkyy edullisempänä ostohintana. Toisaalta edullisempi ostohinta on todellinen etu ainoastaan siinä tilanteessa, jossa asiakas olisi joka tapauksessa ostanut tuotteen kalliimmallakin hinnalla.

mikä avaa uusia markkinoita tulipalon sammutusjärjestelmien käytölle. Tekniikan kehittyminen antaa kiinteistöjen omistajille vaihtoehtoja passiiviselle, eli pelkkien rakenteiden, tulipalosuojaukselle.

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä käytiin läpi tulipalon havainnointia akustisen ja sähkömagneettisen spektrin avulla ja esiteltiin sensoreita. Työssä kuvattiin lyhyesti maailmanlaajuisen paikannusjärjestelmän eli GPS-järjestelmän toimintaperiaate. Lisäksi esiteltiin näiden yhdistämiseen liittyvä keksintö *Sound and light intensity profile analysis for fire location detection*, kansainväliseltä tunnukseltaan *WO 2014/076349 A1* [40]. Keksintö olennaisesti kopioi GPS-järjestelmän toimintaperiaatteen ja soveltaa sitä tulipaloo havainnoiviin sensoreihin, jotka toimivat satelliittien tavoin ja niiden sijainnit tiedetään. Sensorit huomaavat syttyneen tulipalon ja alkavat miittaamaan palosta tulevaa säteilyä. Kun kolme sensoria saa mitattua oman etäisyytensä tulipaloon, tulipalon tarkka sijainti saadaan selville. Mittausjärjestelmää voidaan käyttää sellaisenaan tai yhdistää esimerkiksi savunpoistojärjestelmän kanssa tai aktiivisen tulipalon suojaukseen. Lisäksi mittausjärjestelmän avulla voidaan saada tieto palon sijainnista pelastusviranomaisille.

Tulipalon syttyessä aika on usein kriittinen tekijä vahinkojen merkittävyyden kannalta. Se on tärkeä tekijä esimerkiksi yksittäisen ihmisen selvitymisen kannalta (poistuminen), tulipalon laajenemisen ja sammuttamisen osalta. Myös pelastusviranomaisten paikalle löytäminen ja palon tarkan sijainnin selvittäminen ovat merkittäviä tekijöitä vahinkojen suuruuteen. Palon nopea havainnointi ja tarkka paikantaminen ovat nyt ja tulevat edelleen olemaan tärkeitä ihmisten ja omaisuuden suojaamisessa. Muualta (esim. Vancouver) saadut kokemukset rohkaisevat parantamaan myös yksityisasuntojen tulipalosuojauksia. Tekniikan kehittyminen siirtyminen käytäntöön edellyttää, että kehittyminen otetaan huomioon myös päivitettäessä standardeja. Paikannusjärjestelmiä voidaan käyttää joko erikseen tai yhdistettynä aktiiviseen sammutusjärjestelmään tai savunpoistojärjestelmään.

Kun tulipalon paikantaminen saadaan tekniikan kehittyessä tehtyä yhä halvemminkin ja riittävän luotettavasti, on odotettavissa että paikannusta sovelletaan myös nyt ennalta-arvaamattomilla tavoilla. Palokuolemien vuosittainen suuri määrä ja paloissa tuhoutuva omaisuus luovat tarpeen tulipalosuojaukselle ja siihen liittyvän

tekniikan kehitykselle. Liikennekuolemien väheneminen tekniikan halventuessa (ja sääntöjen kiristyessä) on hyvä, tosin analoginen, vertailukohta. Eräs mahdollisuus olisi ”keventää” aktiivisten tulipalosuojajärjestelmien vaatimuksia. Esimerkiksi tarkentuvan tulipalon paikannuksen, joka olisi edelleen nopea, avulla voitaisiin sammutusjärjestelmästä saada enemmän interaktiivinen. Voisi olla perusteltua mitoitaa järjestelmä taistelemaan pienempää tulipaloa vastaan, jos (ja kun) tulipalon olemassaolo voitaisiin todeta nykyistä aiemmin ja se voitaisiin samaan aikaan paikantaa nykyistä tarkemmin.

Tieto tulipalon paikasta voitaisiin periaatteessa integroida mihin tahansa sisäiseen tai ulkoiseen järjestelmään. Sovellusmahdollisuutena voisi olla esimerkiksi, että pelastusviranomaisella saisi jo ennen palopaikalle saapumistaan tiedon palon tarkasta sijainnista ja voisi aloittaa pelastustyöhön valmistautumisen jo matkalla, ajaa ajoneuvot optimaaliseen asemaan. Jatkossa olisikin mielenkiintoista tutkia esimerkiksi mallinnuksen avulla, mikä tarkemman tulipalon paikannuksen vaikutus olisi esimerkiksi evakuoinnin tai viranomaisten paikalle saapumisen nopeuteen.

Suomessa tulipalojen tuhot ja henkilövahinkojen määrä on ollut suuri verrattuna muihin länsimaihin. Yksi tapa vähentää vahinkoja on investoida tulipaloja havainnoiviin ja niitä vastaan taisteleviin järjestelmiin. On odotettavissa että ainakin sensoritekniikka halpenee ja paranee tulevina vuosikymmeninä siten, että tulevaisuuden ihmiset ja infrastruktuuri voidaan suojata paremmin.

Tämä työ tuo esiin yhden näkökulman, teknologian kehittymisen, tulipalosuojauksen parantamiseksi. Työssä esitellään tapausluonteisesti tarkemmin kahden innovaation fysikaalisia perusteita ja keksinnön vaikutuksia tulipalosuojaukseen. Jatkossa olisi mielenkiintoista tutkia erityisesti eri lähteistä saatavan sensoritiedon yhdistämistä tulipalosuojauksen parantamiseksi. Tutkittavia aiheita voisivat olla tilannekuvan muodostaminen sekä järjestelmän sisällä että muiden (pelastusviranomaisena) järjestelmien kanssa.

## BIBLIOGRAPHY

- [1] “Shotspotter.” [Online]. Available: <http://www.shotspotter.com/>
- [2] L. Angeli, “Skyboom 2 is a 2007 pierce enforcer pumper topped with a 55ft. telescoping water delivery platform.” 2008, [Online; accessed 4-September-2015]. [Online]. Available: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SkyBoom2.jpg>
- [3] A. Ate and Z. Tang, “Ultrafast and high sensitive uv/ir photodetector based on a single sno 2 nanowire,” *International Journal of Optoelectronic Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 6–10, 2014.
- [4] F. B and R. G, “Sonic control for burners,” Oct. 23 1956, uS Patent 2,767,783. [Online]. Available: <https://www.google.com/patents/US2767783>
- [5] M. T. U. B.H. Suite, Physics Department, “Speed of sound in air,” 1998. [Online]. Available: <http://www.phy.mtu.edu/~suits/SpeedofSound.html>
- [6] J. Birdwell, T. Wang, D. Icove, S. Horn, and M. Rader, “Method and apparatus for predicting object properties and events using similarity-based information retrieval and modeling,” Feb. 12 2013, uS Patent 8,375,032. [Online]. Available: <http://www.google.com/patents/US8375032>
- [7] P. Burry, “The principles of fire detection: Part 1 introduction,” *Fire Surveyor*, pp. 46–53, 1980.
- [8] ———, “The principles of fire detection: Part 2 heat detectors,” *Fire Surveyor*, pp. 21–27, 1980.
- [9] A. E. Cote, *Operation of Fire Protection Systems*. Jones & Bartlett Learning, 2003.
- [10] D. Crane, “Anti-sniper/sniper detection/gunfire detection systems at a glance,” 7 2006. [Online]. Available: <http://www.defensereview.com/anti-snipersniper-detectiongunfire-detection-systems-at-a-glance/>
- [11] D. Dardari, A. Conti, U. Ferner, A. Giorgetti, and M. Z. Win, “Ranging with ultrawide bandwidth signals in multipath environments,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 97, no. 2, pp. 404–426, 2009.



- [12] S. De Corso and M. Meyer, "Flame detector," Jan. 18 1972, uS Patent 3,635,018. [Online]. Available: <https://www.google.com/patents/US3635018>
- [13] J. R. Digital, "Akut acoustic tunnel monitoring," 2015, [Online; accessed 21-August-2015]. [Online]. Available: <http://www.joanneum.at/fileadmin/DIGITAL/Downloads/digprm1501AKUT8SWEB2.pdf>
- [14] A. Faltsek, "Acoustic fire sensing system," Jul. 28 2009, uS Patent 7,567,182. [Online]. Available: <https://www.google.com/patents/US7567182>
- [15] S. Frasier, "Preliminary design review of the radio acoustic project," 2003. [Online]. Available: <http://www.ecs.umass.edu/ece/sdp/sdp04/frasier/pdr.html>
- [16] A. Goedeke, B. Drda, S. Viglione, and H. Gross, "Fire detection system," Oct. 6 1992, uS Patent 5,153,722. [Online]. Available: <https://www.google.com/patents/US5153722>
- [17] F. Graf, H. Rainer, B. Rettenbacher, and G. Rattei, "3rd congress of the alps adria acoustics association."
- [18] W. Grosshandler and M. Jackson, "Acoustic emission of structural materials exposed to open flames," *Fire safety journal*, vol. 22, no. 3, pp. 209–228, 1994.
- [19] W. L. Grosshandler, "An assessment of technologies for advanced fire detection," *Heat and Mass Transfer in Fire and Combustion Systems*, vol. 223, pp. 1–10, 1992.
- [20] ———, *A review of measurements and candidate signatures for early fire detection*. National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD, 1995.
- [21] W. L. Grosshandler and E. Braun, "Early detection of room fires through acoustic emission," *Fire Safety Science*, vol. 4, pp. 773–784, 1994.
- [22] M. Gruber and G. Ruhdorfer, "Highway and tunnel control centre s35 at bruckmur and safety standards for tunnels along the s35 expressway."
- [23] A. P. Hamins, J. D. Averill, R. G. Gann, N. P. Bryner, R. D. Davis, D. T. Butry, A. Maranghides, J. C. Yang, D. Madrzykowski, M. F. Bundy, S. L. Manzello, J. W. Gilman, F. K. Amon, and W. E. Mell, "Strategic roadmap for fire risk reduction in buildings and communities," *Special Publication (NIST SP) - 1130l*, 2010.

- [24] R. Holdgate, "A mandate for sprinklers?" *Fire prevention*, no. 348, pp. 42–43, 2001.
- [25] D. Icove and C. Lyster, "Passive microwave fire and intrusion detection system," May 25 2010, uS Patent 7,724,134. [Online]. Available: <http://www.google.com/patents/US7724134>
- [26] S. Inc, "Fire detection types," 2015, [Online; accessed 27-August-2015]. [Online]. Available: [http://spectrex-inc.com/files/sharpeye/presentations/firedetectiontypes\\_may08.pdf](http://spectrex-inc.com/files/sharpeye/presentations/firedetectiontypes_may08.pdf)
- [27] T. Kaiser and T. Kempka, "Is microwave radiation useful for fire detection?" *NIST SPECIAL PUBLICATION SP*, pp. 107–121, 2001.
- [28] T. Kempka, T. Kaiser, and K. Solbach, "Microwaves in fire detection," *Fire safety journal*, vol. 41, no. 4, pp. 327–333, 2006.
- [29] A. Kirkham, "Dual field-of-view objects system for the infrared," Jul. 23 2002, uS Patent 6,424,460. [Online]. Available: <https://www.google.com/patents/US6424460>
- [30] P. Kiunke, R. Kebo, and C. Chen, "Dual field of view multi wavelength sensor," Nov. 8 1994, uS Patent 5,363,235. [Online]. Available: <https://www.google.com/patents/US5363235>
- [31] K. Kulczyk, M. Perks, and G. Smith, "Ultrasonic temperature sensors, and ultrasonic waveguide connectors for use therewith," Jun. 4 1991, uS Patent 5,022,014. [Online]. Available: <http://www.google.com/patents/US5022014>
- [32] M. Li, W. Xu, K. Xu, J. FAN, and D. HOU, "Review of fire detection technologies based on video image." *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*, vol. 49, no. 2, 2013.
- [33] Z. Liu and A. K. Kim, "Review of recent developments in fire detection technologies," *Journal of Fire Protection Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 129–151, 2003.
- [34] E. Munoz, E. Monroy, J. Pau, F. Calle, F. Omnes, and P. Gibart, "Iii nitrides and uv detection," *Journal of Physics: Condensed Matter*, vol. 13, no. 32, p. 7115, 2001.

- [35] NFPA, “Nfpa 750 standard for water mist fire suppression systems,” *Quincy, MA, USA: NFPA*, 2000.
- [36] J. Nijkamp, “Spectrum dutch, sense-ware fire and gas detection bv,” 2006, [Online; accessed 3-September-2015]. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Vlamdetectie\\_spectrum.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Vlamdetectie_spectrum.jpg)
- [37] —, “Vlammenmelder, zichthoek dutch, sense-ware fire and gas detection bv,” 2006, [Online; accessed 4-September-2015]. [Online]. Available: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vlamdetectie\\_zichthoek.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vlamdetectie_zichthoek.jpg)
- [38] —, “Vlammenmelder, zichthoek dutch, sense-ware fire and gas detection bv,” 2006, [Online; accessed 4-September-2015]. [Online]. Available: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vlamdetectie-bereik.jpg>
- [39] —, “Warmtestraling (black body radiation) dutch, sense-ware fire and gas detection bv,” 2006, [Online; accessed 3-September-2015]. [Online]. Available: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vlamdetectie\\_warmtestraling.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vlamdetectie_warmtestraling.jpg)
- [40] J.-P. Nikkarila, “Sound and light intensity profile analysis for fire location detection,” Patent WO 2014076 349 A1, 11 13, 2012.
- [41] —, “Temperature derivative based launch method for fire suppression systems,” Patent WO 2014076 348 A1, 11 12, 2012.
- [42] J.-P. Nikkarila and P. Pennanen, “Intelligent sprinkler system section valve,” 11 2012, wO Patent App. PCT/FI2012/051,187. [Online]. Available: <http://www.google.com/patents/WO2014083235A1?cl=en>
- [43] D. Norrie, “Infra-red optical systems,” Jul. 15 1986, uS Patent 4,600,265. [Online]. Available: <https://www.google.com/patents/US4600265>
- [44] I. M. Organization, “History of solas fire protection requirements,” 2015, [Online; accessed 1-September-2015]. [Online]. Available: <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/FireProtection/Pages/History-of-fire-protection-requirements.aspx>
- [45] H. Palmer, “Combustion efficiency analyzer, acoustic,” Sep. 25 1990, uS Patent 4,959,638. [Online]. Available: <https://www.google.com/patents/US4959638>
- [46] Pelastustoimi, “Palokuolemat,” 2015, [Online; accessed 21-August-2015]. [Online]. Available: <http://www.pelastustoimi.fi>

- [47] —, “Palovaroitin,” 2015, [Online; accessed 21-August-2015]. [Online]. Available: <http://www.pelastustoimi.fi>
- [48] J. Plimpton and G. L. Minott, “Uv/ir fire detector with dual wavelength sensing ir channel,” Patent US 5 311 167, 05 10, 1994.
- [49] T. Rinne and J. Vaari, “Uudet sammutteet ja sammutusteknologiat,” *Espoo VTT, kirjallisuustutkimus*, 2005.
- [50] Y. G. Sahin and T. Ince, “Early forest fire detection using radio-acoustic sounding system,” *Sensors*, vol. 9, no. 3, pp. 1485–1498, 2009.
- [51] G. Salisbury, “Apparatus for detecting the discharge of a firearm and transmitting an alerting signal to a predetermined location,” Jun. 29 1999, uS Patent 5,917,775. [Online]. Available: <https://www.google.mg/patents/US5917775>
- [52] S. Thermal, “Seek thermal,” 2015, [Online; accessed 3-September-2015]. [Online]. Available: <http://www.thermal.com/thermal-cameras/>
- [53] L. Tilastokeskus, “Tieliikenneonnettomuudet 2011,” *Suomen virallinen tilasto*, 2012.
- [54] M. Tuomisaari, “Vesisumujärjestelmät sammutustekniikassa,” *VTT TIEDOTEITA*, 1996.
- [55] D. Varela, “Ultrasonic thermometer,” Nov. 20 1984, uS Patent 4,483,630. [Online]. Available: <http://www.google.mg/patents/US4483630>
- [56] S. Verstockt, A. Vanoosthuysse, S. Van Hoecke, P. Lambert, and R. Van de Walle, “Multi-sensor fire detection by fusing visual and non-visual flame features,” vol. 6134, pp. 333–341, 2010. [Online]. Available: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-13681-8\\_39](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-13681-8_39)
- [57] Wikimedia, “Maclay hall fire, june 2006,” 2006, [Online; accessed 28-August-2015]. [Online]. Available: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maclay\\_Hall\\_Fire,\\_June\\_2006.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maclay_Hall_Fire,_June_2006.jpg)
- [58] —, “Gps-24 satellite,” 2009, [Online; accessed 28-August-2015]. [Online]. Available: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GPS-24\\_satellite.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GPS-24_satellite.png)
- [59] —, “Gps spheres,” 2010, [Online; accessed 28-August-2015]. [Online]. Available: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GPS\\_Spheres.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GPS_Spheres.svg)

- [60] Wikipedia, “Radio acoustic sounding system — wikipedia, the free encyclopedia,” 2014, [Online; accessed 28-August-2015]. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Radio\\_acoustic\\_sounding\\_system&oldid=625804960](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Radio_acoustic_sounding_system&oldid=625804960)
- [61] —, “Gee navigation,” 2015. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Geenavigation>
- [62] —, “Glonass — wikipedia, the free encyclopedia,” 2015, [Online; accessed 28-August-2015]. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=GLONASS&oldid=677168178>
- [63] —, “Indoor positioning system — wikipedia, the free encyclopedia,” 2015, [Online; accessed 1-September-2015]. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Indoor\\_positioning\\_system&oldid=678746417](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Indoor_positioning_system&oldid=678746417)
- [64] —, “Loran,” 2015, [Online; accessed 21-August-2015]. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/LORAN>
- [65] —, “Omega (navigation system),” 2015, [Online; accessed 21-August-2015]. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Omega\\_\(navigation\\_system\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Omega_(navigation_system))
- [66] R. Wilmot, “Information bulletin of the world fire statistics,” *Geneva: The Geneva Association*, 2002.
- [67] —, “Information bulletin of the world fire statistics,” 2011. [Online]. Available: <https://www.genevaassociation.org/media/186303/ga2011-fire27.pdf>
- [68] Z. Xiong, R. Caballero, H. Wang, A. M. Finn, M. A. Lelic, and P.-Y. Peng, “Video-based smoke detection: possibilities, techniques, and challenges,” in *IF-PA, fire suppression and detection research and applications-a technical working conference (SUPDET)*, Orlando, FL, 2007.

# APPENDIX A. INVENTION: SOUND AND LIGHT INTENSITY PROFILE ANALYSIS FOR FIRE LOCATION DETECTION



- (51) **International Patent Classification:**  
A62C 37/36 (2006.01) G08B 17/12 (2006.01)
- (21) **International Application Number:**  
PCT/FI2012/051104
- (22) **International Filing Date:**  
13 November 2012 (13.11.2012)
- (25) **Filing Language:** English
- (26) **Publication Language:** English
- (71) **Applicant:** MARIOFF CORPORATION OY [FI/FI];  
Virnatie 3, FI-01300 Vantaa (FI).
- (72) **Inventor:** NIKKARILA, Juha-Pekka; Kirkkotie 4, FI-  
12400 Tervakoski (FI).
- (74) **Agent:** HEINÄNEN OY; Äyritie 8 D, FI-01510 Vantaa  
(FI).
- (81) **Designated States** (unless otherwise indicated, for every  
kind of national protection available): AE, AG, AL, AM,  
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,  
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,

KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Designated States** (unless otherwise indicated, for every  
kind of regional protection available): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), European (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Declarations under Rule 4.17:**

- as to applicant's entitlement to apply for and be granted a patent (Rule 4.17(ii))

**Published:**

- with international search report (Art. 21(3))

(54) **Title:** SOUND AND LIGHT INTENSITY PROFILE ANALYSIS FOR FIRE LOCATION DETECTION

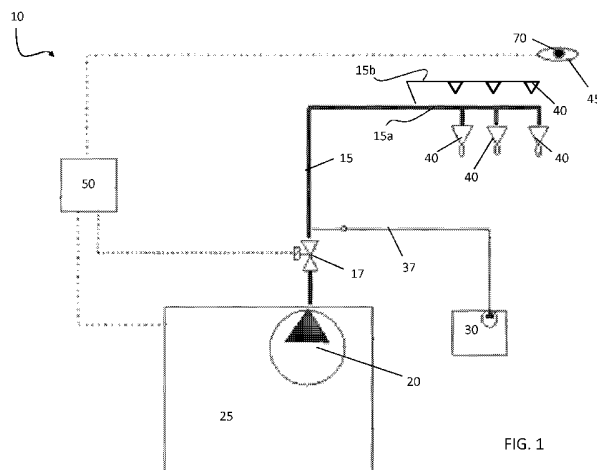


FIG. 1

(57) **Abstract:** A fire suppression system is provided including at least one spray head. A drive source is coupled to the at least one spray head by a supply line. The supply line delivers an extinguishing medium to the at least one spray head. The system also includes at least three fire location sensors arranged at known positions and configured to detect waves emitted during a fire condition. A control unit is operably coupled to the drive source and the at least three fire location sensors. The control unit determines a position of the fire based on the known positions of the at least three fire location sensors and data collected by the at least three of fire location sensors adjacent the fire.

## SOUND AND LIGHT INTENSITY PROFILE ANALYSIS FOR FIRE LOCATION DETECTION

### BACKGROUND OF THE INVENTION

[0001] The invention relates generally to fire suppression systems and, more particularly, to the detection of the location of a fire by a fire suppression system.

[0002] Conventional fire suppression systems typically include sprinklers or spray nozzles positioned strategically within an area where fire protection is desired, such as inside a building. The sprinklers remain inactive most of the time. Existing methods for detecting a fire may depend on the type of fire suppression system used. For example, detection in a dry pipe system may be based on the air flow or rate of change in pressure, and detection in wet pipe systems may be based on fire or smoke detection or activation of the spray nozzles as a direct result of the heat present. Conventional fire suppression systems fail to quickly and accurately detect the location of a fire. As a result, systems are over-designed to compensate for the slowness and inaccuracy of the system. Such over-designing adds significant cost to the system because additional and more costly components, such as larger diameter pipe for example, are included in the system.

### BRIEF DESCRIPTION OF THE INVENTION

[0003] According to one embodiment of the invention, a fire suppression system is provided including at least one spray head. A drive source is coupled to the at least one spray head by a supply line. The supply line delivers an extinguishing medium to the at least one spray head. The system also includes at least three fire location sensors arranged at known positions and configured to detect waves emitted during a fire condition. A control unit is operably coupled to the drive source and the at least three fire location sensors. The control unit determines a position of the fire based on the known positions of the at least three fire location sensors and data collected by the at least three of fire location sensors adjacent the fire.

[0004] According to another embodiment of the invention, a method for determining a location of a fire in a building having a fire suppression system is provided including



detecting a wave emitted by the fire at a plurality of fire location sensors. The plurality of fire location sensors are arranged at known positions. Each of the plurality of fire location sensors measures the intensity of the detected wave. A distance between each of the plurality of fire location sensors and the fire is calculated, and a position of the fire is determined.

[0005] According to yet another embodiment of the invention, a method for determining a location of a fire in a building having a fire suppression system is provided including synchronizing a plurality of fire location sensors arranged at known positions. A wave emitted by the fire is then detected at each of the plurality of fire location sensors. The time at which each of the plurality of fire location sensors detected the wave is recorded. Multiple pairs of sensors are identified and a difference in time at which the fire location sensors in the pair detected the wave is calculated. The position of the fire is then determined.

[0006] These and other advantages and features will become more apparent from the following description taken in conjunction with the drawings.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWING

[0007] The subject matter, which is regarded as the invention, is particularly pointed out and distinctly claimed in the claims at the conclusion of the specification. The foregoing and other features, and advantages of the invention are apparent from the following detailed description taken in conjunction with the accompanying drawings in which:

[0008] FIG. 1 is a schematic diagram of a fire suppression system according to an embodiment of the invention; and

[0009] FIG. 2 is a schematic diagram of a portion of a fire suppression system according to an embodiment of the invention; and

[0010] FIG. 3 is a detailed view of the fire suppression system of FIG. 2.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

[0011] Referring now to FIG. 1, an exemplary fire suppression system 10 including a drive source 20 and a plurality of spray heads 40 is illustrated. In one embodiment, the spray

heads 40 include nozzles with small openings arranged to spray an aqueous liquid mist. The spray heads 40 of the fire suppression system 10 may be positioned in the same general area of a building as the drive source 20, or alternatively, may be separated from the drive source 20 by a barrier, such as a wall for example. A supply line 15 extends from the drive source 20 to the plurality of spray heads 40 to supply an extinguishing medium thereto. In one embodiment, the extinguishing medium used in the system 10 is water. The drive source 20 may include a pump and a motor for operating the pump and is connected to an extinguishing medium source 25, such as a pipeline network or a tank. A control unit 50 is operably coupled to the drive source 20 to activate the drive source 20 when a fire has been detected.

[0012] The supply line 15, including branch supply lines 15a and 15b leading to the spray heads 40, may be filled with a gas, for example an incombustible gas such as nitrogen or air. The gas prevents the supply line 15 and the branch supply lines 15a, 15b from freezing. Instead of filling the entire supply line 15 including the branch supply lines 15a and 15b with gas, it is possible to fill only the portion of the supply line 15 closest to the spray heads 40. In such instances, the end of the supply line 15 adjacent the drive source 20 includes a liquid. The portion of the supply line 15 that includes a gas is separated from the portion of the supply line 15 having a liquid by a control valve 17 to prevent mixing of the gas and the liquid. The control valve 17 may be a solenoid control valve, a pilot valve, or any other type of valve having a control mechanism for opening the valve. The control valve 17 may be located at any position along supply line 15 between the drive source 20 and the spray heads 40. The control valve 17 is operably coupled to the control unit 50, such that when the drive source 20 is active, the control unit 50 opens the control valve 17 to allow extinguishing medium to flow to the spray heads 40.

[0013] As illustrated, the system 10 may include a gas compressor 30 connected to the supply line 15 by an output pipe 37. The gas compressor 30 is used to initially fill the supply line 15 and to refill the supply line 15 to a desired pressure when necessary. The gas compressor 30 is also used to maintain a standby pressure in the supply line 15 when the drive source 20 is inoperative. If the standby pressure decreases with time to a level below a predetermined threshold, such as due to leaks in the system 10 for example, the gas compressor 30 increases the pressure within the supply line 15. The fire suppression system 10 may also include one or more fire detectors 45, located in the vicinity of the spray heads

40 to detect a fire condition. Exemplary fire detectors 45 include smoke detectors, temperature sensors, infrared or other light detectors which are used to sense a fire condition and generate an electrical signal indicative thereof. Such signals are transmitted to the control unit 50 to activate the fire suppression system 10. The fire suppression system 10 described herein is exemplary and other fire suppression systems, such as “wet pipe” systems for example are also within the scope of this invention.

[0014] The fire suppression system 10 also includes a plurality of fire location sensors 70. In one embodiment, the fire location sensors 70 are optical sensors configured to detect the infrared radiation emitted by a fire. In another embodiment, the fire location sensors 70 are acoustic sensors configured to detect the noise emitted by a fire. The fire location sensors may be located independently from the remainder of the system 10, or alternatively may be integrated into another component of the system 10, such as the fire detectors 45 or the spray heads 40 for example.

[0015] Referring now to FIG. 2, the plurality of fire location sensors 70 in a fire suppression system 10 are coupled to a control unit 50 such that the output of the fire location sensors 70 is transmitted to the control unit 50 for analysis. Because the control unit 50 is coupled to each of the plurality of fire location sensors 70, the control unit 50 may be used as a reference to synchronize the fire location sensors 70. In one embodiment, the position of each fire location sensor 70 is known, and the control unit 50 includes a processor 52 configured to store the position of each fire location sensor 70 within the system 10. For example, the position of each of the plurality of fire location sensors 70 may be correlated with the building structure, or may be identified relative to the control unit 50 using a global positioning system. The position of at least one of the fire location sensors 70 is known absolutely. The position of the remainder of the plurality of fire location sensors 70 may be known either absolutely, or alternatively, may be known relative to the fire location sensor 70 having a known absolute position. Each of the fire location sensors 70 is configured to generate a signal based on data recorded by the sensor 70 indicative of the sensor's location relative to the fire.

[0016] When a fire event, illustrated by star 80, occurs in a building including the fire suppression system 10, the light and crackling of the flames emit waves detectable by the fire location sensors 70 positioned near the fire 80. The fire location sensors 70 may be

configured to detect sound or light waves having a wavelength within a limited range. The detection range may be optimized to detect wavelengths characteristic to most common fire hazards. In one embodiment, the fire location sensors 70 may be configured to detect light waves having a wavelength between 100 nanometers and 5 micrometers. When a wave having a wavelength within the detection range is emitted, each of the nearby fire location sensors 70, for example sensors A, B, and C, measures the intensity of the wave emitted by the fire 80 at that sensor. The intensity recorded at each of the surrounding sensors A, B, C is then transmitted to the control unit 50 for analysis. Because sound travels at a speed slower than the speed of light, the sensors 70 used to detect a change in intensity of a sound wave may need not be as precise, and therefore as expensive, as the sensors 70 used to detect a change in intensity of a light wave. The intensity of a light or sound wave is inversely proportional to the square of the distance from the source to the sensor. Therefore, the control unit 50 may convert each of the intensities measured by the fire location sensors 70 into relative distances between each respective sensor 70 and the fire source 80.

[0017] As illustrated in FIG. 3, the distance of each fire location sensor 70 from the fire source 80 may be graphically represented by a sphere (shown in 2D) having a radius equal to the distance calculated based on the measured intensity. Because the fire source 80 is located at the intersection of these spheres, the information from multiple fire location sensors 70 is necessary to accurately determine the position of the fire 80. In one embodiment, a multilateration algorithm is stored within the processor 52 of the control unit 50 such that the respective distances of the fire location sensors 70 from the fire 80 and the stored position of each of the fire location sensors 70 in the building is used to accurately determine the position of the fire 80. The multilateration algorithm may be adapted to calculate either a three-dimensional or a two-dimensional location of the fire 80. To calculate a three-dimensional position, the distance information from at least four fire location sensors 70 is input into the multilateration algorithm. Alternatively, by assuming that each of the plurality of fire location sensors 70 is arranged at the same, known height, the multilateration algorithm may be simplified to a two-dimensional calculation. This simplified multilateration algorithm uses the input from at least three fire location sensors 70, as well as the stored position information of the at least three fire location sensors 70 to accurately determine the position of the fire 80.

[0018] In another embodiment, the control unit 50 determines an accurate location of the fire 80 based on the time it takes for a pulse emitted by the fire 80 to reach each of the nearby fire location sensors 70. The control unit 50 is configured to measure the time at which each fire location sensor 70 detects a pulse of light or sound emitted by the fire 80. When each of the fire location sensors 70 measures a first wave, indicating the occurrence of a fire, the control unit 50 stores the time at which the wave was detected by that respective sensor 70. For example, sensor B may detect the wave .8 seconds after sensor A detects the wave because sensor B is a further distance from the fire 80 than sensor A. The control unit 50 then calculates the difference in time it takes for a wave emitted by the fire 80 to reach multiple pair of sensors 70. For example, the control unit 50 may calculate the time difference between sensors A and B, the time difference between sensors B and C, and the time difference between sensors C and D.

[0019] The time difference calculated between a pair of sensors 70 as well as the known location of each of the pair of sensors 70 may be input into a known time difference of arrival (TDOA) algorithm. The TDOA algorithm generates a graphical representation of possible locations of the fire 80 based on the information from that pair of sensors 70. Similar to the multilateration algorithm, the TDOA algorithm may be adapted to perform either a two-dimensional or a three-dimensional calculation. By using four pairs of sensors 70 including four sensors 70 at unique positions, four distinct hyperboloids are generated by the TDOA algorithm. The four hyperboloids will intersect at a unique point in space that accurately defines the three-dimensional position of the fire 80. The control unit 50 will determine the intersection point of these hyperboloids and identify that point as the location of the fire. In the simplified algorithm, the height of each of the plurality of fire location sensors 70 within the building is assumed to be substantially identical. Using the information from at least three pairs including three sensors 70 at unique positions, the two-dimensional TDOA algorithm generates a hyperbola, rather than a hyperboloid, of possible locations of the fire 80 for each pair of sensors 70. The location of the fire 80 is determined by the intersection of these hyperbolas.

[0020] While the invention has been described in detail in connection with only a limited number of embodiments, it should be readily understood that the invention is not limited to such disclosed embodiments. Rather, the invention can be modified to incorporate

any number of variations, alterations, substitutions or equivalent arrangements not heretofore described, but which are commensurate with the spirit and scope of the invention. Additionally, while various embodiments of the invention have been described, it is to be understood that aspects of the invention may include only some of the described embodiments. Accordingly, the invention is not to be seen as limited by the foregoing description, but is only limited by the scope of the appended claims.

## CLAIMS:

1. A fire suppression system comprising:
  - at least one spray head;
  - a drive source coupled to the at least one spray head by a supply line that delivers an extinguishing medium to the at least one spray head;
  - at least three fire location sensors arranged at known locations configured to detect waves emitted during a fire condition; and
  - a control unit operably coupled to the drive source and the plurality of fire location sensors, wherein the control unit determines a position of the fire condition based on the known location of the fire location sensors and data collected by the at least three fire location sensors.
2. The fire suppression system according to claim 1, wherein the at least three fire location sensors are integrally formed with a plurality of fire detectors.
3. The fire suppression system according to claim 1, wherein the at least three fire location sensors are optical sensors.
4. The fire suppression system according to claim 1, wherein the at least three fire location sensors are acoustic sensors.
5. The fire suppression system according to claim 1, wherein each of the at least three fire location sensors measures an intensity of a wave detected by the fire location sensor.
6. The fire suppression system according to claim 1, wherein each of the at least three fire location sensors provides a signal to the control unit based on the detected wave.
7. The fire suppression system according to claim 1, wherein the control unit includes a timer for each of the at least three fire location sensors, the timer being configured to determine a time at which each fire location sensor detects a wave.

8. The fire suppression system according to claim 1, wherein the control unit stores the location of the at least three of fire location sensors.

9. The fire suppression system according to claim 8, wherein the control unit includes a processor configured to execute a multilateration algorithm.

10. A method for determining a location of a fire in a building having a fire suppression system comprising:

detecting a wave emitted by the fire at a plurality of fire location sensors, each of which is arranged at a known position;

measuring an intensity of the detected wave at each of the plurality of fire location sensors;

calculating a distance between each of the plurality of fire location sensors and the fire; and

determining a position of the fire.

11. The method according to claim 10, wherein the position of each of the plurality of fire location sensors in the building is stored within a control unit.

12. The method according to claim 11, wherein each of the plurality of fire location sensors provides a signal to the control unit indicative of the intensity measured at that sensor.

13. The method according to claim 12, wherein the control unit calculates the distance between each of the plurality of fire location sensors and the fire based on the signal generated by each sensor.

14. The method according to claim 13, wherein the control unit is configured to execute a multilateration algorithm for determining the position of the fire.

15. The method according to claim 14, wherein the distance between at least three fire location sensors and the fire is input into the multilateration algorithm to determine a position of the fire.



16. A method for determining a location of a fire in a building having a fire suppression system comprising:

synchronizing a plurality of fire location sensors, each of which is arranged at a known location;

detecting a wave emitted by the fire at a plurality of fire location sensors;

recording the time at which each of the plurality of fire location sensors detected the wave emitted by the fire;

identifying multiple pairs of sensors and calculating a difference in time at which the fire location sensors in each of the pairs detected the wave; and

determining a position of the fire.

17. The method according to claim 16, wherein the position of each of the plurality of fire location sensors in the building is stored within a control unit.

18. The method according to claim 17, wherein the control unit includes a timer for determining a time at which each fire location sensor detects the first wave.

19. The method according to claim 18, wherein the control unit includes a time difference of arrival algorithm.

20. The method according to claim 19, wherein difference in the time for a pair of fire location sensors as well as the location of those fire location sensors is input into the time difference of arrival algorithm.

21. The method according to claim 20, wherein the information for three pairs including four unique fire location sensors is input into the time difference of arrival algorithm.

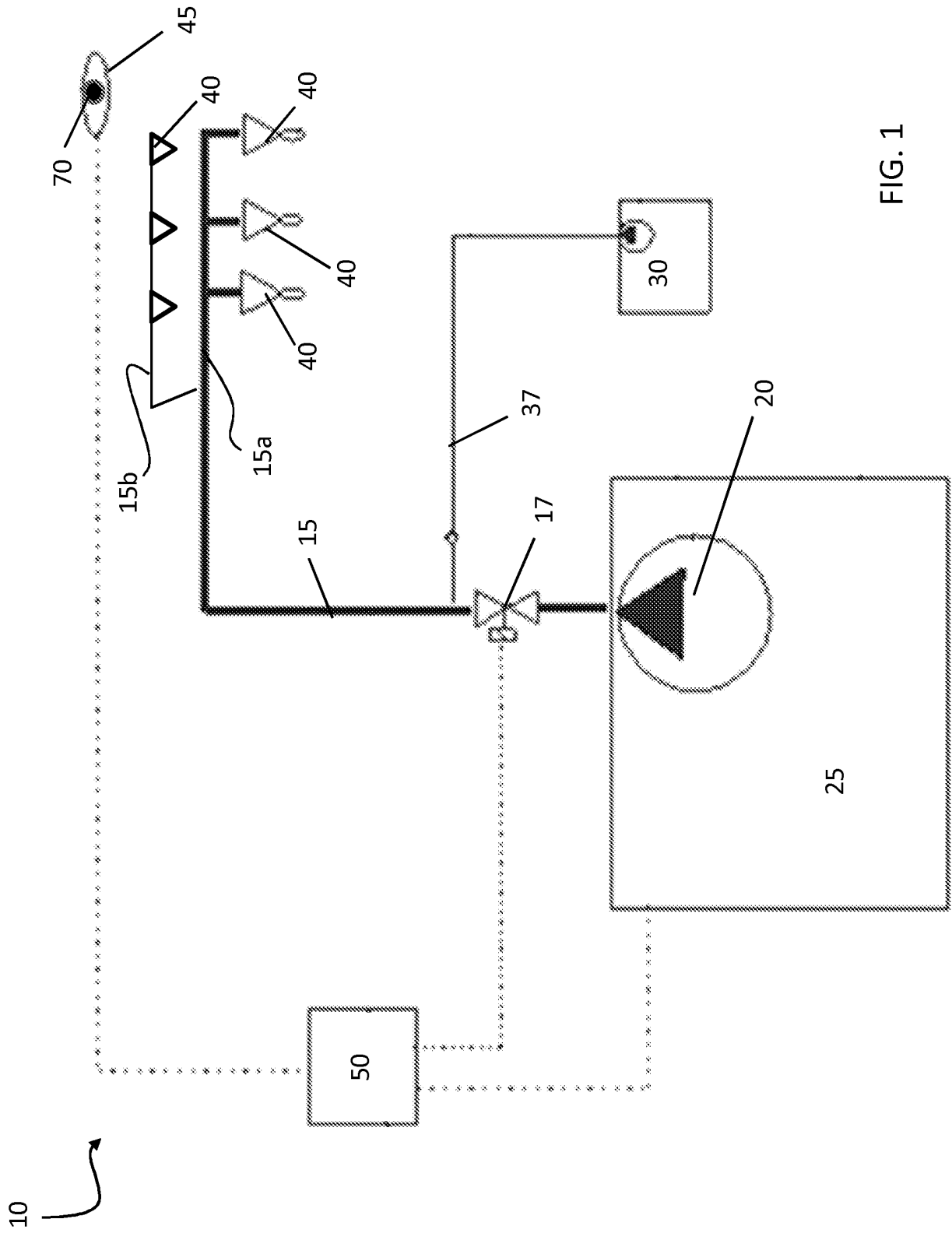


FIG. 1

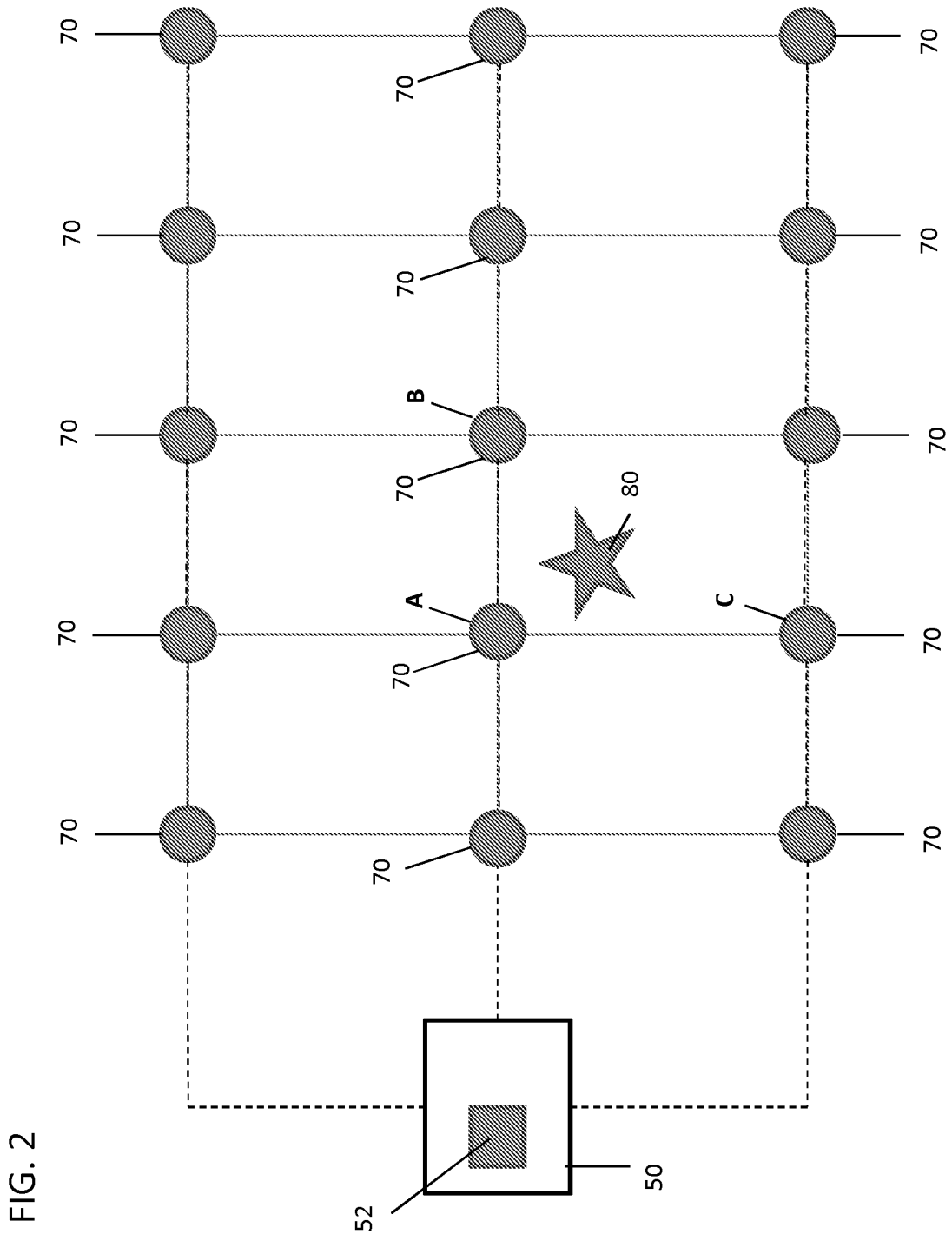


FIG. 2

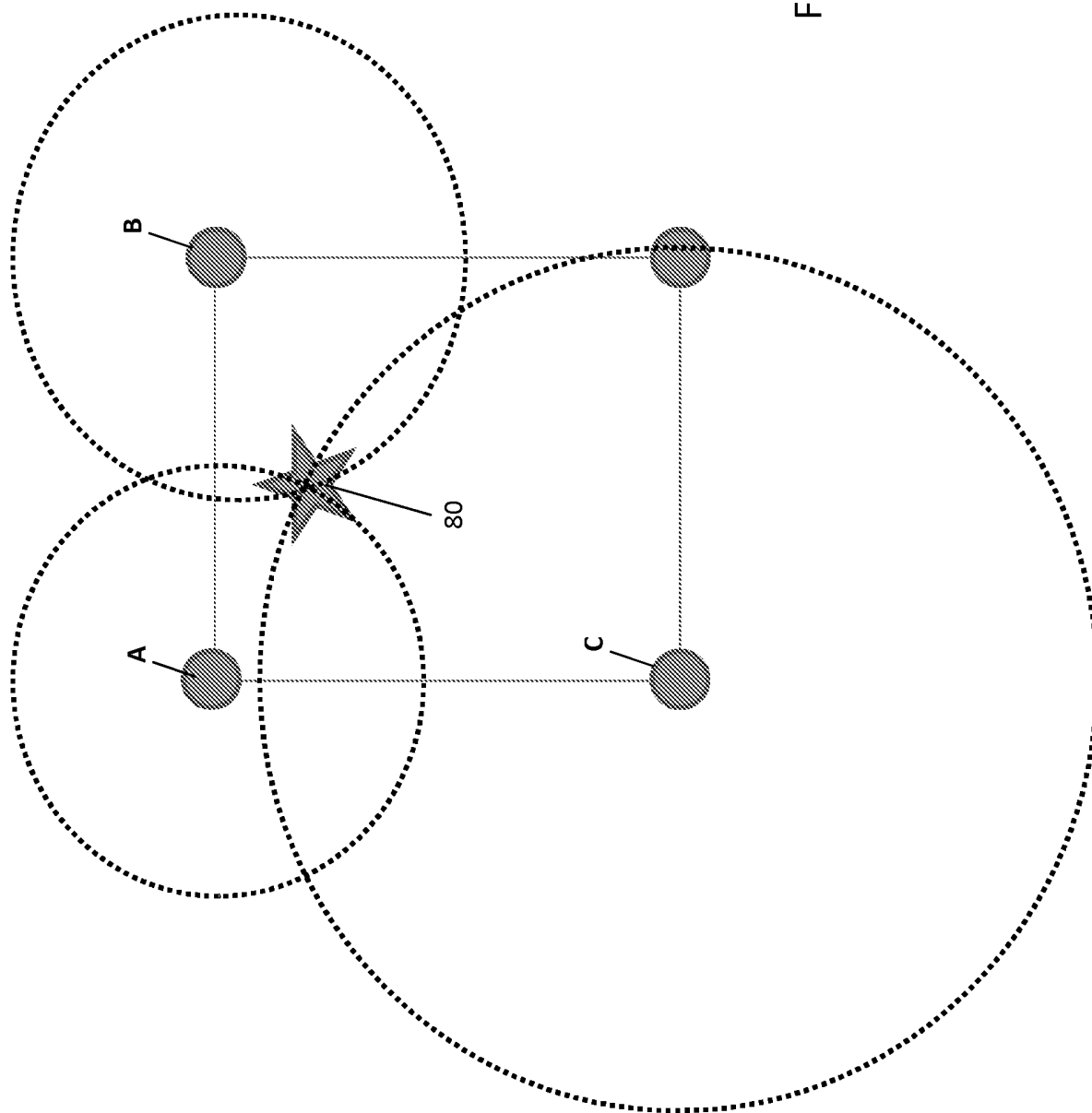


FIG. 3

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. A62C37/36 G08B17/12 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) A62C G08B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 821 805 A (SAITO YOSHIFUSA [JP] ET AL) 18 April 1989 (1989-04-18)	1-3,5-21
Y	column 1, line 1 - column 2, line 22; figures 1-7	4
Y	----- US 2005/110632 A1 (BEREZOWSKI ANDREW G [US] ET AL) 26 May 2005 (2005-05-26) paragraphs [0011], [0014] - [0016]; figures	4
A	----- GB 2 247 584 A (SECR DEFENCE [GB]) 4 March 1992 (1992-03-04) page 1; figures	1-21
	-----	
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search  12 August 2013		Date of mailing of the international search report  28/08/2013
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Vervenne, Koen

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4821805	A	18-04-1989	DE 3374174 D1 03-12-1987
			EP 0098235 A2 11-01-1984
			US 4821805 A 18-04-1989
-----			
US 2005110632	A1	26-05-2005	EP 1687787 A2 09-08-2006
			US 2005110632 A1 26-05-2005
			WO 2005052873 A2 09-06-2005
-----			
GB 2247584	A	04-03-1992	NONE
-----			

## APPENDIX B. INVENTION: TEMPERATURE DERIVATIVE BASED LAUNCH METHOD FOR FIRE SUPPRESSION SYSTEMS



- (51) International Patent Classification:  
A62C 37/36 (2006.01) G08B 17/06 (2006.01)
- (21) International Application Number:  
PCT/FI2012/051103
- (22) International Filing Date:  
13 November 2012 (13.11.2012)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (71) Applicant: MARIOFF CORPORATION OY [FI/FI];  
Virnatie 3, FI-01300 Vantaa (FI).
- (72) Inventor: NIKKARILA, Juha-Pekka; Kokonkatu 2 A,  
FI-11311 Riihimäki (FI).
- (74) Agent: HEINÄNEN OY; Äyritie 8 D, FI-01510 Vantaa  
(FI).
- (81) Designated States (unless otherwise indicated, for every  
kind of national protection available): AE, AG, AL, AM,  
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,  
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,

KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,  
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,  
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,  
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ,  
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,  
ZM, ZW.

- (84) Designated States (unless otherwise indicated, for every  
kind of regional protection available): ARIPO (BW, GH,  
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,  
UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,  
TM), European (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,  
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,  
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,  
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Declarations under Rule 4.17:**

- as to applicant's entitlement to apply for and be granted a  
patent (Rule 4.17(ii))
- of inventorship (Rule 4.17(iv))

**Published:**

- with international search report (Art. 21(3))

(54) Title: TEMPERATURE DERIVATIVE BASED LAUNCH METHOD FOR FIRE SUPPRESSION SYSTEMS

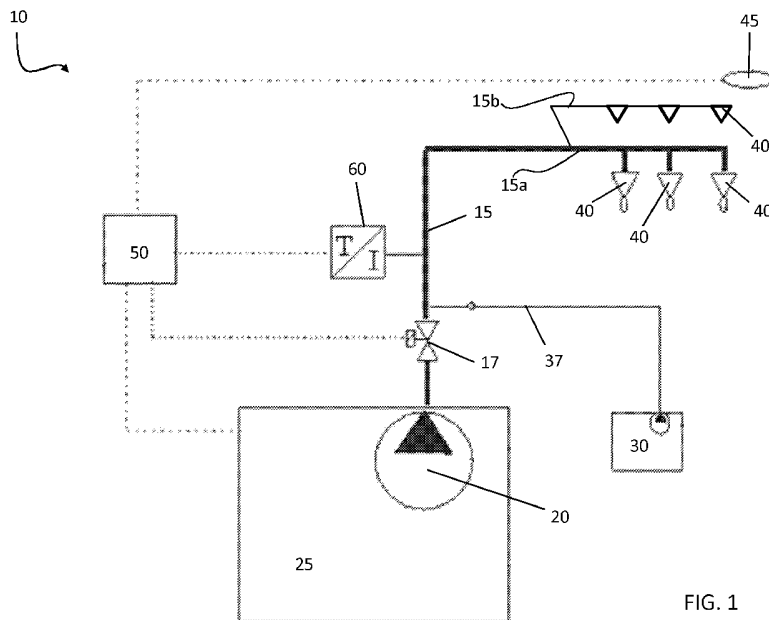


FIG. 1

(57) Abstract: A fire suppression system is provided including at least one spray head. A drive source is coupled to the at least one spray head by a supply line that delivers an extinguishing medium thereto. A control valve is connected to the supply line between the drive source and the at least one spray head. The system includes at least one temperature indicator for measuring a surrounding temperature. A control unit is operably coupled to the drive source, the control valve, and the at least one temperature indicator. The control unit monitors a rate at which the temperature measured by the at least one temperature indicator changes to determine a location of a fire.



## TEMPERATURE DERIVATIVE BASED LAUNCH METHOD FOR FIRE SUPPRESSION SYSTEMS

### BACKGROUND OF THE INVENTION

[001] The invention relates generally to fire suppression systems and, more particularly, to the detection of the location of a fire by a fire suppression system.

[002] Conventional fire suppression systems typically include sprinklers or nozzles positioned strategically within an area where fire protection is desired, such as inside a building. The sprinklers remain inactive most of the time. In some fire suppression systems, such as dry pipe systems, methods of detecting a fire may be based on the air flow or rate of change in pressure in the system. In other systems, a fire may be detected using flame or smoke detection, or alternatively, the sprinklers may detect a fire and activate as a direct result of the heat.

[003] Fire suppression systems that activate in response to air flow are quick to activate, however, these systems are unreliable and frequently generate false alarms. Fire suppression systems responsive to the rate of change of a pressure within the system are quick to activate, but have problems with measurement reliability due to the high pressure in the system. Conventional fire suppression systems fail to quickly and accurately detect the location of a fire. As a result, systems are over-designed to combat larger fires to compensate for the slowness and inaccuracy of the system. Such over-designing adds significant cost to the system because additional components and more costly components, such as larger diameter pipe for example, are included in the system.

### BRIEF DESCRIPTION OF THE INVENTION

[004] According to one embodiment of the invention, a fire suppression system is provided including at least one spray head. A drive source is coupled to the at least one spray head by a supply line that delivers an extinguishing medium thereto. A control valve is connected to the supply line between the drive source and the at least one spray head. The

system includes at least one temperature indicator for measuring a surrounding temperature. A control unit is operably coupled to the drive source, the control valve, and the at least one temperature indicator. The control unit monitors a rate at which the temperature measured by the at least one temperature indicator changes to determine a location of a fire.

[005] According to another embodiment of the invention, a method of detecting and determining a location of a fire with a fire suppression system having a plurality of temperature indicators positioned adjacent a plurality of spray heads is provided including measuring a surrounding temperature at each of the plurality of temperature indicators. A change in temperature over time is calculated for each of the plurality of temperature indicators. The temperature indicators having a change in temperature over time greater than a predetermined threshold are identified.

[006] According to another embodiment of the invention, a method of activating a fire suppression system having a plurality of temperature indicators positioned adjacent a plurality of spray heads and a plurality of fire sensors coupled to the system is provided including detecting a presence of a fire. A drive source and the plurality of temperature indicators are activated. The surrounding temperature at each of the plurality of temperature indicators is measured. A change in temperature over time is calculated for each of the plurality of temperature indicators. The temperature indicators having a change in temperature over time greater than a predetermined threshold are identified. The fire suppression system is activated once temperature indicators having a change in temperature greater than a predetermined threshold are identified.

[007] These and other advantages and features will become more apparent from the following description taken in conjunction with the drawings.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[008] The subject matter, which is regarded as the invention, is particularly pointed out and distinctly claimed in the claims at the conclusion of the specification. The foregoing and

other features, and advantages of the invention are apparent from the following detailed description taken in conjunction with the accompanying drawings in which:

[0009] FIG. 1 is a schematic diagram of a fire suppression system according to an embodiment of the invention; and

[0010] FIG. 2 is a schematic diagram of another fire suppression system according to an embodiment of the invention.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

[0011] Referring now to FIG. 1, an exemplary fire suppression system 10 including a drive source 20 and a plurality of spray heads 40 is illustrated. In one embodiment, the spray heads 40 include nozzles with small openings arranged to spray an aqueous liquid mist. The spray heads 40 of the fire suppression system 10 may be positioned in the same general area of a building as the drive source 20, or alternatively, may be separated from the drive source 20 by a barrier, such as a wall for example. A supply line 15 extends from the drive source 20 to the plurality of spray heads 40 to supply an extinguishing medium thereto. In one embodiment, the extinguishing medium used in the system 10 is water. The drive source 20 may include a pump and a motor for operating the pump and is connected to an extinguishing medium source 25, such as a pipeline network or a tank. A control unit 50 is operably coupled to the drive source 20 to activate the drive source 20 when a fire has been detected.

[0012] The supply line 15, including branch supply lines 15a and 15b leading to the spray heads 40, may be filled with a gas, for example an incombustible gas such as nitrogen or air. The gas prevents the supply line 15 and the branch supply lines 15a, 15b from freezing. Instead of filling the entire supply line 15 including the branch supply lines 15a and 15b with gas, it is possible to fill only the portion of the supply line 15 closest to the spray heads 40. In such instances, the end of the supply line 15 adjacent the drive source 20 includes a liquid. The portion of the supply line 15 that includes a gas is separated from the portion of the supply line 15 having a liquid by a control valve 17 to prevent mixing of the gas and the liquid. The control valve 17 may be a solenoid control valve, a pilot valve, or

any other type of valve having a control mechanism for opening the valve. The control valve 17 may be located at any position along supply line 15 between the drive source 20 and the spray heads 40. The control valve 17 is operably coupled to the control unit 50, such that when the drive source 20 is active, the control unit 50 opens the control valve 17 to allow extinguishing medium to flow to the spray heads 40.

[0013] As illustrated, the system 10 may include a gas compressor 30 connected to the supply line 15 by an output pipe 37. The gas compressor 30 is used to initially fill the supply line 15 and to refill the supply line to a desired pressure when necessary. The gas compressor 30 is also used to maintain a standby pressure in the supply line 15 when the drive source 20 is inoperative. If the standby pressure decreases with time to a level below a predetermined threshold, such as due to leaks in the system 10 for example, the gas compressor 30 increases the pressure by refilling the supply line 15. The fire suppression system 10 may also include one or more fire sensors 45, located in the vicinity of the spray heads 40 to detect a fire condition. Exemplary fire sensors 45 include smoke detectors, temperature sensors, infrared or other light detectors which are used to sense a fire condition and generate an electrical signal indicative thereof. Such signals are transmitted to the control unit 50 to activate the fire suppression system 10. The above described fire suppression system 10 is exemplary and other fire suppression systems are within the scope of this invention.

[0014] The fire suppression system 10 may also include one or more temperature indicators. Exemplary temperature indicators 60 include thermocouples and other temperature sensors. In dry pipe fire suppression systems, the temperature indicators 60 may be disposed within a portion of the supply line 15 between the control valve 17 and the spray heads 40. In one embodiment, the temperature indicators 60 are positioned in the branch supply lines 15a, 15b adjacent each of the spray heads 40. In another embodiment, illustrated in FIG. 2, the one or more temperature indicators 60 may be used to measure the ambient temperature adjacent the exterior of the spray heads 40. Each temperature indicator 60 may be located in the vicinity of a spray head 40 outside of the supply line 15 or alternately, may be mounted to a portion of each spray head 40. In embodiments where the temperature

indicators 60 are located external to the supply line 15, the fire suppression system 10 may be either a dry pipe or a wet pipe system.

[0015] The temperature indicators 60 may continuously measure, or alternately, may sample at intervals the surrounding temperature. The temperatures measured by each of the temperature indicators 60 are communicated to the control unit 50, where they are monitored over time to determine the rate of change of the temperature at each device 60. In embodiments where the temperature indicators 60 are located in the supply line 15, a rate of temperature change greater than a predetermined threshold indicates that an adjacent spray head is open. Thus, the temperature indicator 60 measuring the fastest change in temperature over time identifies which spray heads 40 in the system are open, and therefore the general location of a fire. In embodiments where the temperature indicators 60 are attached to or adjacent the exterior of the spray heads 40, a temperature indicator 60 having a rate of change greater than a predetermined threshold indicates the presence of a fire near that temperature indicator 60.

[0016] In embodiments where the temperature indicators 60 are disposed within the supply line 15, the rate of temperature change measured at each device 60 may also be used to detect and identify the location of a gas leak. In addition, the fire suppression system 10 can easily identify and generate an alarm to indicate that a temperature indicator 60 has malfunctioned. If the control unit 50 does not receive a signal from a temperature indicator 60 but does receive signals from the surrounding temperature indicators 60, the system 10 can determine that the temperature indicator 60 not providing a signal to the control unit 50 has failed.

[0017] When the fire suppression system 10 is in a "detection mode," the drive source 20 is inactive, but the temperature indicators 60 are actively measuring the surrounding temperature. If the control unit 50 determines that the rate of temperature change at any of the temperature indicators 60 is greater than a predetermined threshold, the control unit 50 will identify those temperature indicators 60 as the location of a fire. The control unit 50 will

activate the drive source 20 and open the control valve 17 so that extinguishing medium may be supplied to the open spray heads 40.

[0018] In another embodiment, during a normal detection mode, both the drive source and the temperature indicators 60 are inactive; only the fire sensors 45 are operative. When one of the fire sensors 45 detects the presence of a fire, the fire sensor 45 sends a signal to the control unit 50. The fire sensors 45 act as a general alarm, indicating to the fire suppression system 10 a need to determine the location of the fire. In response to the signal from the fire sensor 45, the control unit 50 starts the drive source 20 and activates the temperature indicators 60 connected to the fire suppression system 10. The control unit 50 will monitor the change in temperature over time measured by each temperature indicator 60. If the control unit 50 determines that the rate of temperature change at any of the temperature indicators 60 is above a predetermined threshold, the control unit 50 will identify those temperature indicators 60 as adjacent the general location of a fire. Alternatively, the control unit 50 may identify the temperature indicators 60 having the greatest rate of temperature change as adjacent the general location of the fire. The control unit 50 will activate the drive source 20 and open the control valve 17 so that extinguishing medium may be supplied to the open spray heads 40.

[0019] A fire suppression system 10 responsive to a temperature rate of change or temperature derivative will more efficiently and accurately determine the location of a fire. By quickly providing exact information to a building owner about the location of a fire, it may be possible to manually combat the fire at an earlier stage. The system 10 may also be capable of manually or automatically sharing the fire location information with an external group responsive to fire alarms, such as a nearby fire department for example. In addition, the improved fire detection accuracy allows the system to be more appropriately dimensioned for a space, such that additional components, and therefore cost, may be removed from the system 10.

[0020] While the invention has been described in detail in connection with only a limited number of embodiments, it should be readily understood that the invention is not limited to

such disclosed embodiments. Rather, the invention can be modified to incorporate any number of variations, alterations, substitutions or equivalent arrangements not heretofore described, but which are commensurate with the spirit and scope of the invention. Additionally, while various embodiments of the invention have been described, it is to be understood that aspects of the invention may include only some of the described embodiments. Accordingly, the invention is not to be seen as limited by the foregoing description, but is only limited by the scope of the appended claims.

## CLAIMS:

1. A fire suppression system comprising:  
  
at least one spray head;  
  
a drive source coupled to the at least one spray head by a supply line that delivers an extinguishing medium thereto;  
  
a plurality of temperature indicators for measuring a surrounding temperature; and  
  
a control unit operably coupled to the drive source and the plurality of temperature indicators, wherein the control unit monitors a rate of change of the temperature measured by each of the plurality of temperature indicators to determine a location of a fire.
2. The fire suppression system according to claim 1, wherein the control unit identifies which temperature indicators have a highest rate of temperature change to determine the location of the fire.
3. The fire suppression system according to claim 1, wherein the control unit identifies which temperature indicators have a rate of temperature change above a predetermined threshold to determine the location of the fire.
4. The fire suppression system according to claim 1, wherein the plurality of temperature indicators are disposed within the supply line adjacent the at least one spray head.
5. The fire suppression system according to claim 4, further comprising a control valve connected to the supply line between the drive source and the at least one spray head, wherein a portion of the supply line extending from the control valve to the at least one spray head is filled with a gas.
6. The fire suppression system according to claim 1, wherein the plurality of temperature indicators measure an ambient temperature adjacent the at least one spray head.



7. The fire suppression system according to claim 6, wherein the plurality of temperature indicators are mounted to a portion of the at least one spray head.

8. The fire suppression system according to claim 6, wherein the plurality of temperature indicators are located in a vicinity of the at least one spray head, externally from the supply line.

9. The fire suppression system according to claim 1, further comprising:

a plurality of fire sensors operably coupled to the control unit, wherein activation of one of the plurality of fire sensors provides a general alarm to the fire suppression system.

10. The fire suppression system according to claim 1, wherein the plurality of temperature indicators are thermocouples.

11. A method of activating a fire suppression system having a plurality of temperature indicators positioned adjacent a plurality of spray heads, comprising:

measuring a surrounding temperature at each of the plurality of temperature indicators;

calculating a change in temperature at each of the plurality of temperature indicators over time;

determining a location of a fire based on a rate of temperature change of each of the plurality of temperature indicators; and

activating the fire suppression system.

12. The method according to claim 11, wherein a control unit operably coupled to the plurality of temperature indicators calculates the change in temperature at each of the plurality of temperature indicators over time.

13. The method according to claim 11, wherein the temperature indicators having a rate of temperature change greater than a predetermined threshold indicate the location of the fire.

14. The method according to claim 11, wherein the temperature indicators having a fastest rate of temperature change indicate the location of the fire.

15. A method of detecting and determining a location of a fire using a fire suppression system having a plurality of temperature indicators positioned adjacent a plurality of spray heads and a plurality of fire sensors coupled to the system, comprising:

detecting a presence of a fire;

activating a drive source and the plurality of temperature indicators;

measuring a surrounding temperature at each of the plurality of temperature indicators;

calculating a rate of change in temperature at each of the plurality of temperature indicators;

determining a location of a fire based on a rate of temperature change of each of the plurality of temperature indicators; and

activating the fire suppression system.

16. The method according to claim 15, wherein the plurality of fire sensors detect the presence of a fire.

17. The method according to claim 15, wherein a control unit activates the drive source and the plurality of temperature indicators after receiving a signal from at least one of the plurality of fire sensors.

18. The method according to claim 15, wherein a control unit operably coupled to the plurality of temperature indicators calculates the rate of change in temperature at each of the plurality of temperature indicators.

19. The method according to claim 15, wherein the temperature indicators having a rate of temperature change greater than a predetermined threshold indicate the location of the fire.

20. The method according to claim 15, wherein the temperature indicators having a fastest rate of temperature change indicate the location of the fire.

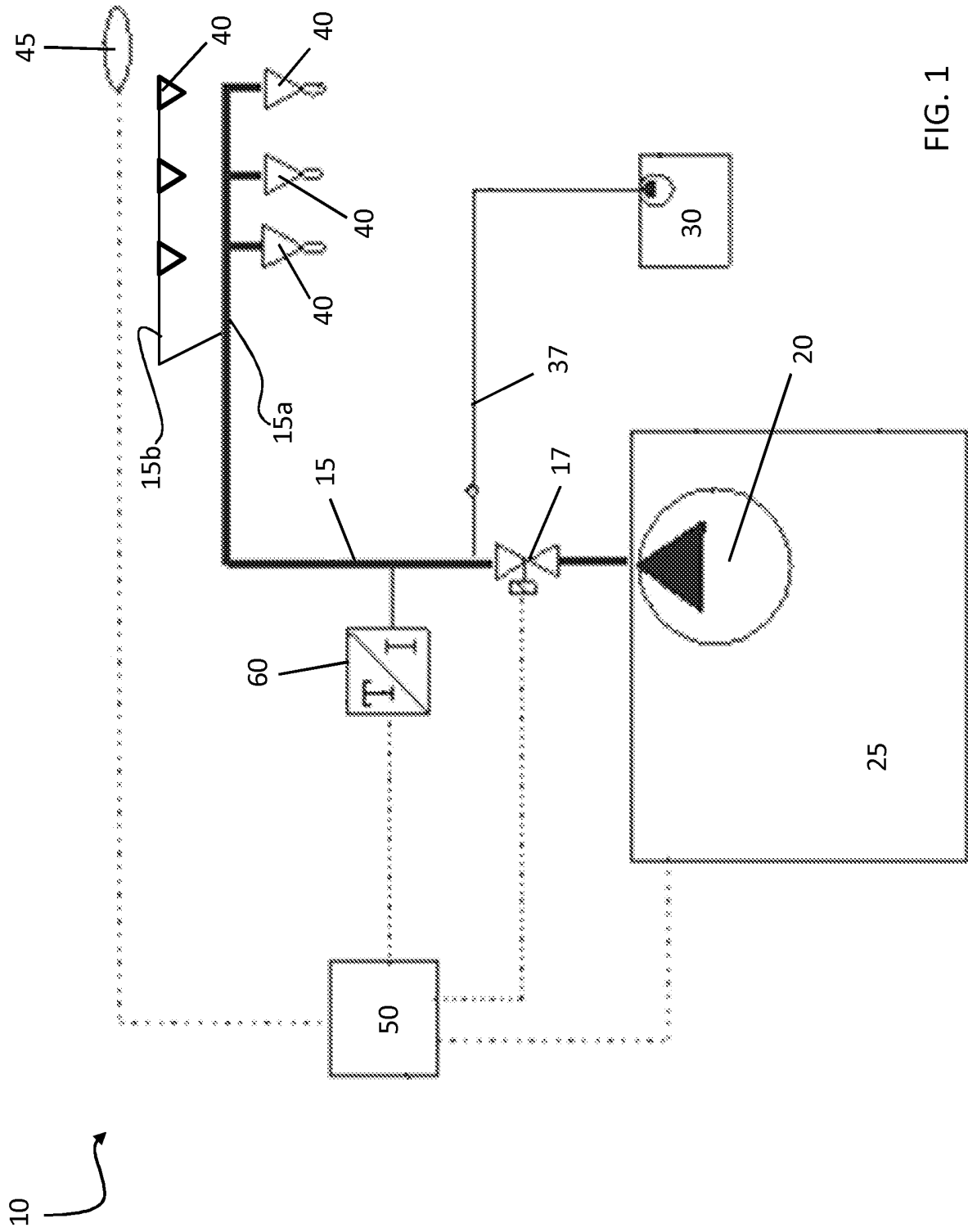


FIG. 1

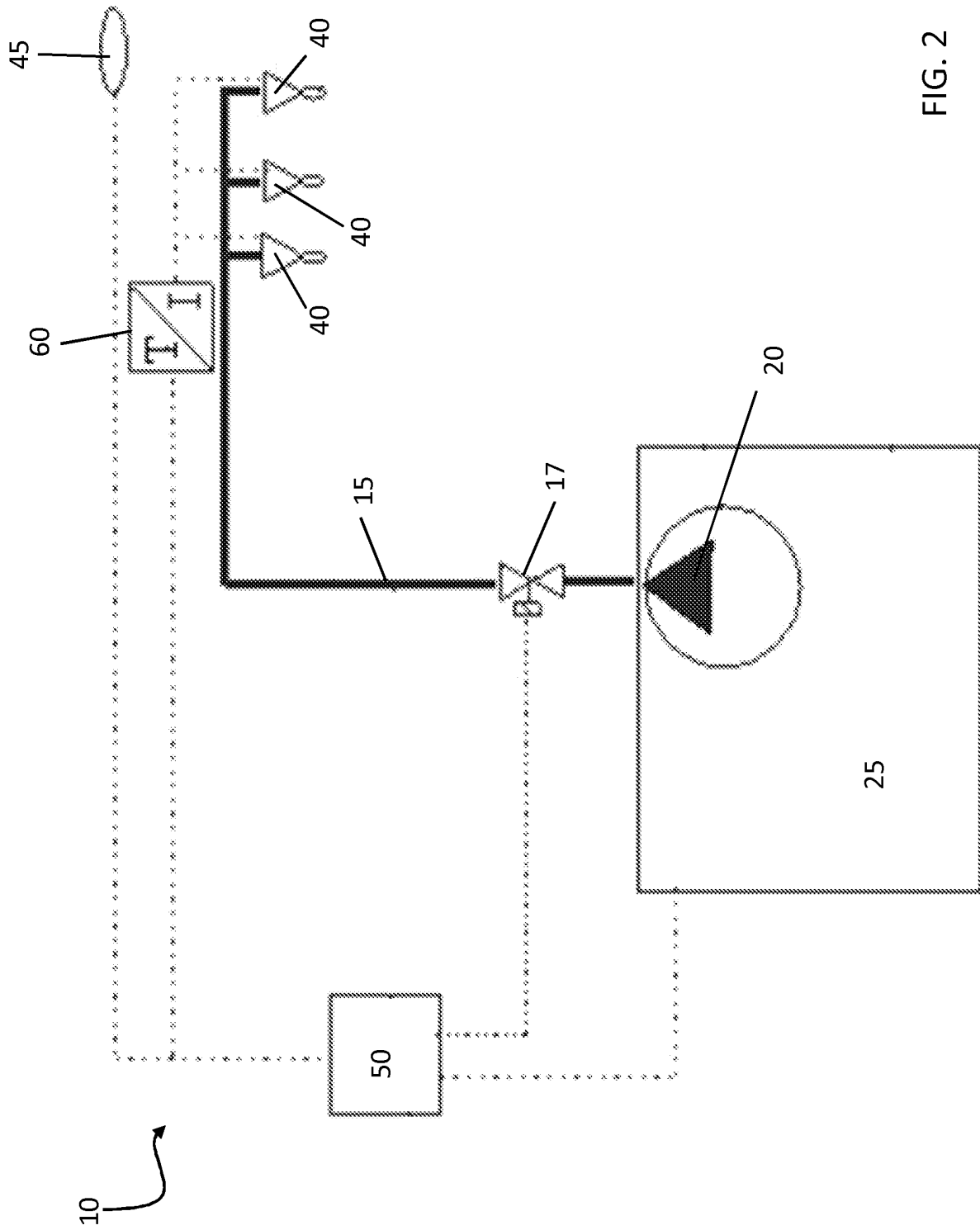


FIG. 2

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. A62C37/36 G08B17/06 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) A62C G08B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GB 2 262 444 A (GRAVINER LTD KIDDE [GB]) 23 June 1993 (1993-06-23) page 7, line 10 - page 8, line 4 page 11, line 3 - page 12, line 15 page 12, line 16 - page 13, line 10 page 14, line 22 - page 15, line 7 page 17, line 13 - line 19 -----	1-20
X	US 2007/221388 A1 (JOHNSON GARY L [US]) 27 September 2007 (2007-09-27) paragraphs [0009], [0025]; figures -----	1,6,8
A	EP 0 443 240 A1 (AUTOGUARD SECURITY SYSTEMS LIM [GB]) 28 August 1991 (1991-08-28) column 1, line 55 - column 2, line 1; figures ----- -/--	1-20
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		
<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search  12 August 2013	Date of mailing of the international search report  26/08/2013	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Vervenne, Koen	

1

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 428 434 A (GELAUE JONATHON L [US]) 31 January 1984 (1984-01-31) column 2, line 39 - line 51; figures -----	1-20

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 2262444	A	23-06-1993	GB 2262444 A	23-06-1993
			WO 9312839 A1	08-07-1993
-----				
US 2007221388	A1	27-09-2007	AT 520445 T	15-09-2011
			AU 2007227116 A1	27-09-2007
			CA 2646078 A1	27-09-2007
			DK 1996298 T3	26-09-2011
			EP 1996298 A1	03-12-2008
			EP 2022536 A2	11-02-2009
			NZ 570766 A	28-05-2010
			US 2007221388 A1	27-09-2007
			WO 2007109454 A1	27-09-2007
-----				
EP 0443240	A1	28-08-1991	EP 0443240 A1	28-08-1991
			US 5361847 A	08-11-1994
-----				
US 4428434	A	31-01-1984	NONE	
-----				