

Sisekaitseakadeemia

Päästekolledž

Jarmo Juhanson

**BLEVE OHU TUVASTAMINE TERMOKAAMERAGA
MAJAPIDAMISGAASI BALLOONI NÄITEL**

Lõputöö

Juhendaja: Anders Talvari, PhD

Kaasjuhendaja: Feliks Angelstok, PhD

Tallinn 2015

SISEKAITSEAKADEEMIA LÕPUTÖÖ ANNOTATSIOON

Päästekolledž	Kaitsmine: juuni 2015
Töö pealkiri eesti keeles: BLEVE ohu tuvastamine termokaameraga majapidamisgaasi ballooni näitel	
Töö pealkiri võõrkeeles: Thermoimaging BLEVE hazard on household LPG cylinders	
Töö maht on 31 lk, töös on 2 tabelit ja 12 joonist. Käesoleva töö eesmärgiks on välja selgitada BLEVE ohu tuvastamise võimalused termokaamera abil. Seal hulgas jäädvustada ning välja selgitada balloonide tuvastatavus tulekahju ajal termokaameraga. Kokku analüüsiti 108 (sada kaheksa) fotot ja 11 (üksteist) videot.	
Eksperimendi käigus selgitati välja kas:	
•Uued gaasiballoonid on ohutumad kui vanad GOST-tüüpi balloonid	
•Gaasiballooni kontuurid on tulekahju ajal eristatavad, nivoo tuvastatav	
•Kas gaasiballooni plahvatuse ajal saab välja selgitada ligikaudse temperatuuri plahvatuse hetkel	
Teostati audio- ja videomaterjalide analüüs ning viidi läbi eksperiment. Uutele standarditele vastavate balloonide puhul ei tuvastatud BLEVE ohtu. Eesmärk tuvastada termokaameraga ballooni ning jälgida ballooni õnnestusid, samuti oli võimalik tuvastada osades katsetes vedelgaasi nivood. Ballooni asetus – püsti/külili ei mõjutanud eksperimendi tulemusi.	
Lisad (nt CD, DVD jms): DVD	
Võtmesõnad: LPG, vedelgaas, BLEVE, termokaamera, infrapuna kaamera, majapidamisgaas, plahvatus	
Võõrkeelsed võtmesõnad: LPG, liquified gases, BLEVE, IR camera, household gas, explosion	
Lõputöö seos riiklike arengukavade ja prioriteetidega:	
Säilitamise koht:	
Töö autor: Jarmo Juhanson	
Olen koostanud lõputöö iseseisvalt. Kõik lõputöö koostamisel kasutatud teiste tööde autorite tööd, seisukohad, kirjalikest allikatest ja mujal allikates saadud info on nõuetekohaselt viidatud. Olen nõus oma lõputöö avaldamisega elektroonilises keskkonnas.	
Allkiri:	
Vastab lõputöö nõuetele	
Juhendaja: Andres Talvari	Allkiri:
Vastab lõputöö nõuetele	
Kaasjuhendaja: Felix Angelstok	Allkiri:
Kaitsmisele lubatud	
Kolledži direktor Ain Karafin::	Allkiri:

SISUKORD

MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU.....	5
SISSEJUHATUS	6
1. Majapidamisgaas, selle ohtlikus ja tuvastamisvõimalused termokaameraga	8
1.1. Vedelgaas.....	8
1.1.2.BLEVE/ KVPAP	9
1.2. Vedelgaasi ohutusnõuded	11
1.3. Infrapunakaamera kasutamise kasulikkus tulekahjude korral	12
2. EKSPERIMENT JA KIRJELDUS	15
2.1. Uurimustöö metoodika ja läbiviimise kord	15
2.2. Eelkatsetus	16
2.3. Eksperiment	18
2.4. Eksperimendi etapid	18
2.4.1. Esimene eksperimendi päev.....	18
2.4.2. Teine eksperimendi päev	19
2.5. Eksperimendi kokkuvõte	20
2.5.1.Katse 1 järeldused ja kokkuvõte	21
2.5.2.Katse 2 järeldused ja kokkuvõte	22
2.5.3.Katse 3 järeldused ja kokkuvõte	23
2.5.4.Katse 4 järeldused ja kokkuvõte	24
2.5.5.Katse 5 järeldused ja kokkuvõte	25
3. JÄRELDUSED NING ETTEPANEKUD	27
KOKKUVÕTE	28
SUMMARY.....	29

VIIDATUD ALLIKATE LOETELU.....	30
LISA1 RAPLA PK PÄÄSTJAGA JUHTUNUD TÖÖÕNNETUS.....	32

MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU

- BLEVE – boiling liquid expanding vapor explosion (Маршал, В., 1989)
- Kuum BLEVE – keemiline plahvatus, kus energia vabastamise põhjuseks on eksotermiline keemiline reaktsioon kütuse ja oksüdeerija vahel (Маршал, В., 1989)
- KVPAP – vedelgaasi keeva vedeliku paisuvate aurude (aurupilve) plahvatus (BLEVE)
- LPG – (*liquefied petrooleum gas*) vedeldatud naftagaasid (Talvari, 2006)
- Vedelgaas – on maailmas laialt kasutust leidnud energiaallikas, mida toodetakse kahel viisil: LNG - 60% eraldatakse maagaasi maardlatest, kus see on valmiskujul koos metaaniga ja LPG - 40% saadakse toornafta rafineerimisel, kus kaastootena valmivad veel bensiinid ja diiselkütused (Talvari, 2006)
- Infrapunakaamera/termokaamera – mitmesuguste objektide termopildi ehk soojuspildi valmistamine ning temperatuuride mõõtmine, nimi *infra* tuleneb ladinakeelsest sõnast tagapool, seega *infrared* tähendab tagapool punast (Soodla, 2010)
- Propaan – kolme süsinikaatomiga alkaan, mille molekulivalem on C_3H_8 , värvitu ja lõhnatu gaas, mis on väga kergesti süttiv ning plahvatav (Talvari, 2006)
- Butaan – molekulivalemiga on C_4H_{10} , värvitu gaas, mis on vedelgaasi komponent (Talvari, 2006)
- Plahvatus – aine või tema oleku ülikiire muutus, millega kaasneb suure energiahulga vabanemine, temperatuuri järsk tõus ning lööklaine (Talvari, 2006)
- Eksperiment – katse, kus uuritavat objekti mõjutatakse uuringute kaudu või kutsutakse nähtus kindlates tingimustes ise esile (Laherand, 2008)
- Keemistemperatuur – temperatuur, mille juures vedeliku aururõhk saab võrdseks välisrõhuga (atmosfäärirõhul), see tähendab aine hakkab keema (Talvari, 2006)

SISSEJUHATUS

Eesti kodudes on kasutusel majapidamisgaas (propaani ja butaani segu, vahekorras 90:10). Gaasi kasutatakse toidu tegemiseks, vee soojendamiseks, majade kütmiseks. Gaasi laialdane kasutamine on tingitud nii gaasi suhtelisest odavusest võrreldes elektriga kui ka lihtsast käsitlusest. Samas on gaasiseadmete kasutamine mitmeti ebamugavam ja ka ohtlikum. (Päästeamet, 2015) Vedelgaas on nafta ümbertöötlemise kõrvalprodukt, mida esindab süsivesinikkude grupp (propaan ja butaan/isobutaan), mida kasutatakse surveanumates (balloonides) rõhu all veeldatud olekus (Talvari, 2006, lk 145). Gaas on väga tule- ja plahvatusohtlik, lekke korral võib põhjustada inimese lämbumist (Talvari, 2006, lk 37; Päästeamet, 2015). Gaasiballooni lõhkedes on eralduv gaas tavaliselt süttimispiirides, õhuga segunedes toimub isesüttimine - seetõttu kujutab gaasiballoonide lõhkemine üht kõige tõsisemat põlengutes ettetulevat ohtu (Talvari, 2006, lk 37) Võimaliku ballooni lõhkemise tagajärjel võivad elanikud, päästjad saada eluohutlikke vigastusi, plahvatus intensiivistab tulekahu, võib mõjuda ka kolmandate isikute varale, suurendades see läbi hoone tulekahjus tekkivat varalist kahju. Viiendikus majapidamistes kasutatakse maagaasi, ca 17% elanikkonnast. Enamasti kasutavad majapidamisgaasi balloone hajaasustuses elav elanikkond (Raudjärv & Kuskova, 2013)

Varasemast olid Eestis kasutusel GOST- standardile vastavad punast värvi nõukogudeaegsed balloonid. Punastel balloonidel puudus Euroopa Liidu poolt nõutav survetesti kinnitus ning balloon võis olla tulekahju tingimustes eluohutlik. Kuna keevituskohad ja ühendused olid vananenud, siis enamus balloone lõhkesid survetestidel. Vanade balloonide keevitatud ühenduskohad olid kohati auklikud ja mikromõradega. Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrusega nr 129, jõustus 30.12.2013, keelustati tööstusgaasidega täita ja turul kättesaadavaks teha balloone, mis ei vasta Euroopa nõukogu direktiivi 76/767/EMÜ, 84/525/EMÜ, 84/526/EMÜ, 84/527/EMÜ, 1999/36/EÜ või Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivi 2010/35/EL nõuetele alates 01.07.2014. Eeltoodud direktiivide nõuetele mittevastavate balloonide kasutamine on alates 01.07.2015 keelatud. (Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, 2014)

Autor uurib uutele nõuetele vastavaid terasest majapidamises kasutatavaid gaasiballoone lõputöö raames, Eestis varasemalt autorile teadaolevalt ei ole neid uuritud lõputöö raames.

Eestis on olnud päästesündmusi, kus tulekahju ajal on GOST- standardile vastavad gaasiballoonid plahvatanud. Plahvatuse käigus on eraisikud vigastada saanud või raskemal juhul surma saanud. Tulekustutustööde ajal plahvatas gaasiballoon, mille tõttu sai kannatada üks päästja (Päästeamet, 2012) Hoonetulekahju korral on nii päästjad kui ka elanikud ohus tules oleva gaasiballooni tõttu, näiteks 9kg ballooni lõhkemisel on hinnanguline tulekera mõõt 12 meetrit (Talvari, 2006, lk 37). Mis moodi käituvad aga uutele standartitele vastavad balloonid, kuidas on nad tuvastatavad ja kas esinb BLEVE ohtu.

Käesoleva töö **eesmärgiks** on välja selgitada BLEVE ohu tuvastamise võimalused termokaamera abil. Seal hulgas jäädvustada ning välja selgitada balloone tuvastatavus tulekahju ajal termokaameraga.

Töö eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgnevad uurimisküsimused:

- 1) Milliseid järeldusi võib eksperimendi tulemuste põhjal teha?
- 2) Kas balloone, nende kujumuutusi ja vedelgaasi nivood balloonis on võimalik tuvastada termokaameraga? See tähendab, et selgitatakse välja balloone tuvastatavus termokaameraga (FLIR K-50) ning antakse ülevaade balloone käitumisest tulekahjus
- 3) Kui töökindel on ballooni ventiili ülerõhuklapp?

Experimendi käigus kasutati viite gaasiballooni. Experimendis kasutati nelja gaasiballooni, mis sisaldavad 17 kilogrammi vedelgaasi, mis on asendus vanale punasele 21 kilogrammisele ballooni. Lisaks kasutati võrdlusena ühte gaasiballooni, mis ei vastanud nõuetele, kuna ventiilil puudus Euroopa Liidu direktiivi nõuetele vastav Pii-märgistus.

Lõputöö uurimismeetodina on kasutatud struktureeritud ja struktureerimata uurimismeetodeid. Esimene andmekogumismeetod on audio- ja videomaterjalide analüüs. Teine on eksperiment ning selles tulemustest lähtuvad andmed, mis on eksperimendi katsete kaupa grupeeritud.

1. MAJAPIDAMISGAAS, SELLE OHTLIKUS JA TUVASTAMISVÕIMALUSED TERMOKAAMERAGA

1.1. Vedelgaas

Vedelgaas on nafta ümbertöötlemise kõrvalprodukt, mida esindab süsivesinike grupp (propaan ja butaan/isobutaan), mida kasutatakse surveanumates (balloonides) rõhu all veeldatud olekus (Talvari, 2006, lk 145). Gaas on väga tule- ja plahvatusohtlik, lekke korral võib põhjustada inimese lämbumist (Talvari, 2006, lk 37; Päästeamet, 2015). Vedelgaas on standardtingimustes (20°C juures) gaasilises olekus (propaani keemistemperatuur on -42°C ja butaanil -0,5°C), kuid juba suhteliselt väikese rõhutõusu puhul läheb üle vedelasse olekusse. Rõhku alandades läheb kergesti üle gaasilisse olekusse ehk aurufaasi. Seetõttu võib neid gaase vedada veeldatud olekus ja hoida mitmesugustes mahutites, balloonides, reservuaarides. Vedelgaasi balloonid sisaldavad propaani ja butaani segu, segule on juurde lisatud tugevalõhnlisi aineid, et välja tuua spetsiifiline lõhn lekke avastamiseks. (Meyer, 1990; Talvari, 2006, lk 145-146)

Propaan on kolme süsinikaatomiga alkaan, molekulvalemiga C_3H_8 , värvitu ja lõhnatu gaas, mis on väga kergesti süttiv ning plahvatav. Normaalolekus gaas, kuid kokkusurutav vedelasse olekusse, kasutatav kütusena, õhust raskem. Kriitiliseks temperatuuriks on 96,8°C (Talvari, 2006, lk 145).

Butaan, molekulivalemiga C_4H_{10} , värvitu gaas, mis on vedelgaasi komponent. Kergesti süttiva gaas, kriitiliseks temperatuuriga 152°C. Õhuga moodustab plahvatusohtliku segu, mis süttib kergelt kokkupuutel kuumade pindade, leegi või sädemega., süttimise võib põhjustada ka kokkupuude staatilise elektriga. Suur gaasihulk butaani võib esile kutsuda lämbumise, vedel butaan võib esile kutsuda külmumise. (Talvari, 2006, lk 145)

Tabel 1: Propaani ja butaani füüsikalised omadused (Talvari, 2006, lk 146)

Omadused	Propaan	Butaan
Keemistemperatuur	-45°C	-0,5°C
Sulamistemperatuur	-187°C	-138°C
Tihedus, g/cm ³	0,58	0,60
Auru tihedus	1,56	2,04
Leekpunkt (<i>flashpoint</i>)	-104°C	-60°C
Isesüttimistemperatuur	468°C	405°C
Alumine plahvatuspiir	2,2%	1,9%
Ülemine plahvatuspiir	9,5%	8,5%

1.1.2.BLEVE/ KVPAP

KVPAP ehk vedelgaasi keeva vedeliku paisuvate aurude (aurupilve) plahvatus ning BLEVE – *boiling liquid expanding vapor explosion*, kujutab endast plahvatust, mis toimub siis, kui hermeetilises mahutis oleva aine temperatuur tõuseb märksa kõrgemaks selle keemistemperatuurist ning sellega kaasnev rõhu tõus purustab ballooni. BLEVE mõiste võttis kasutusele ameeriklane Uilber Uolls, 1960ndatel aastatel. Kui normaalses tingimustes tõuseb anum rõhk üle projekteerimisnormi, siis väljalaskeklapp võib seda kaitsta. Kuid osa anuma seintest, mis asub ülalpool vedeliku taset, hakkab ülekuumenemise tõttu oma tugevust kaotama. Selle tulemusena läheb anum katki ja sisu lendab plahvatuslikult laiali. Kui anuma sisuks on tuleohtlik aine, siis plahvatuse korral tekib äkiline süütamine, mis omakorda viib tulekera tekkimisele. Kuigi anuma plahvatuse tagajärjel tekib lööklaine, mis on võimeline tekitama kahjustusi, on suurimaks ohuks sel juhul soojuskiirgus ja kildude laialilendamine (veeldatud tuleohtlike gaaside puhul). Sarnased nähtused võivad esineda ka kokkusurutud gaasiballoonides, kuid sellisel juhul ei teki hetkeline aurustumine. (Маршал, B., 1989, lk. 160-161, Talvari, 2006, lk 36-37)

Kuum BLEVE on keemiline plahvatus, kus energia vabastamise põhjuseks on eksotermiline keemiline reaktsioon kütuse ja oksüdeerija vahel. Keemiliste plahvatuste korral energiaallikateks on iseenesest kiirenduvad eksotermilised reaktsioonid põlevate ainete ja oksüdeerija vahel, või termilise lagunemise reaktsioon ebastabiilsete ühenditega. Mahuliste plahvatuste puhul hajub kütus (tahkes, vedelas või gaasilises faasis) oksüdeerija-hapniku sisaldavas õhus ja tekivad tolmupilved, aurupilved (kütuse-

õhu segud) või gaasisegud (Маршал, B., 1989, lk 244) 16.05.2012 juhtus Kohila vallas, Loone külas Rapla päästekomando päästjaga tööõnnetus. Tööõnnetus juhtus gaasiballooni plahvatuse tagajärjel kui päästja kustutas elumaja tulekahju. Päästja sai põletushaavu. Tööõnnetuse kokkuvõtte on välja toodud LISA 1 (Päästeamet, 2012)

Päästeameti andmebaasi alusel on Eestis mitmed inimesed ja sh päästjad gaasiballooni plahvatuse käigus saanud vigastusi või koguni surma. (Päästeamet, 2015)

- 29.august 2004 – viljakuivati tulekahju, mille tagajärjel plahvatas gaasiballoon, päästja sai vigastada, lööklainest paiskus 2-3meetri kaugusele, tuvastati vasaku reie põrutus ja esimese astme põletus
- 10.mai 2005 – Pärnus toimus gaasiplahvatus korteris, mille järel korter süttis, ballooni plahvatuse hetkel avasid päästjad ust, päästjad kannatada ei saanud
- 27.mai 2008 – Viljandi kohvikus toimus ballooni plahvatus, mille tagajärjel purunesid hoone aknad, ukсед ning söögikoha sisustus, esines üksikuid tulekoldeid, kannatanuid polnud
- 14.märts 2011 – Narva-Jõesuus põles kahekordne maja lausleegiga, samuti plahvatas gaasiballoon, kannatanuid polnud
- 11.aprill 2014 – gaasiplahvatus ja põleng Kundas, Lääne-Virumaa, 5 vigastatud, kortermaja muutus varisemisohhtlikuks

1.2. Vedelgaasi ohutusnõuded

Terasballoone tuleb üldiselt hoida püstises asendis, kinnitatuna ning kaitstuna kõrgete temperatuuride eest, balloon ei tohi kuumeneda üle 40°C. Toatemperatuuri tingimustes on nad üldiselt hoitud ohutult. Nõude täitmiseks tuleb balloon paigutada ahjust, pliidist, radiaatorist ning teistest sarnastest küttekehadest minimaalselt ühe meetri kaugusele. Eluruumide ühes ruumis ei tohi paikneda arvestuslikult rohkem kui 25 kilogrammi vedelgaasi. (Vedelgaasi ohutusnõuded, 2013) Varasemalt kasutusel olnud GOST-standardile vastanud gaasiballoonid on asendatud uute Pii-märgistusega balloonidega. Uued balloonid on halli värvi. Ballooni silt on peamine viis balloonis oleva gaasi omaduste kindlakstegemiseks ning värvikodeering on ballooni korpusel lisasuuniseks.

Balloonidega viiakse läbi tulekindluseteste, üks sellistest katsetest on järgnev:

Tulekindluse katse, milles kasutatakse kahte silindrit. Üks silinder asetatakse horisontaalasendisse, teine vertikaalasendisse. Selleks, et silindrid saaksid katsetuses osaleda, pidid nad olema järgnevate asjadega varustatud:

- hooldusklapiga, või
 - puruneva membraaniga, mis peab vastu 30 - 34,5 bar'ini, või
 - ventiilid on täiendatud selliste otsikutega, mis ei sula minimaalselt 100°C juures.
- Silindrid täideti kaubanduslikku propaaniga maksimaalses lubatud koguses. Silindrid pidid olema tulest ümbritsetud minimaalselt 30 (kolmkümmend) minutit, kuid tulekahju ei tohtinud kahjustada ventiiliklapi. Seetõttu võis ventiiliklappe katta ning kaitsta tule eest. Kriteeriumiteks oli pandud järgnevad punktid:

- Katse ajal ei tohtinud silinder erakordselt/katastroofiliselt puruneda
- Silindrid võivad lekkida läbi rõhuvabastusseadme (ventiiliklapi) või siis läbi silindri seina/korpuse

Katsetuse ajal jälgiti rõhuvabastusseadmete (ventiiliklapi) liike ja omadusi, esialgset survet ning aega ja gaasivabastust vajaduse korral (Fire Resistance Test, 2014).

1.3. Infrapunakaamera kasutamise kasulikkus tulekahjude korral

Infrapuna tehnoloogiana tunneme infrapuna kaamerate kasutamist mitmesuguste objektide termopildi ehk soojuspildi valmistamiseks ning nende temperatuuride mõõtmiseks. Sisetulekahju arengule omases nullnähtavusega ruumides on infrapunakaamera asendamatu töövahend, mis võimaldab päästjatel informatsiooni hankida ümbritsevast keskkonnast normaalse nägemismeele kaudu, parandades oluliselt kannatanute päästmise võimalusi ja kiirust (Soodla, 2010, lk. 28-30).

Iga keha, mille temperatuur on üle absoluutse nulli (-273°C), kiirgab soojusenergiat. Soojuskiirguse lainepikkus on valdavas osas suurem kui nähtava valguse lainepikkus. Seetõttu nimetatakse soojuskiirgust ka infrapuna kiirguseks. Ta asub kiirguse spektris punasest valgusest tagapool. Infrapunakaamera tööpõhimõtte seisneb objektilt kiirgunud soojusest termopildi ehk inimsilmale nähtava pidli loomises (Soodla, 2010, lk. 28-30). Tulekahjudel on võimalik infrapunakaamerate kaasabil hõlpsasti ja kiirelt avastada tulekolde asukohta, hoides kokku väärtuslikku aega ning õigesti määrata otsustavaid rünnakusuunad. Olenevalt hoone ehitusmaterjalidest võimaldab infrapunakaamera tehnoloogia kasutamine sageli avastada tulekolde asukohta isegi hoonesse sisenemata (Soodla, 2010, lk 28-30).

Päästealal kasutauavad infrapunakaamerad on kõrge temperatuuritaluvusega, seega võimaldab kõnealune tehnoloogia avastada hoones olevad tulekolded kiirelt ja turvaliselt. Infrapunakaamera võimaldab päästjate turvalisuse tagada kahel põhilisel viisil. Esiteks võimaldab tulekahju olukorras jälgida hoone kandvate konstruktsioonide vastupidavust, ennetades aegsasti varinguohte. Teiseks avastada avausi põrandas, tuvastada rõhu all olevaid ohtlikke gaasiballoone, ennetada põlemisgaaside plahvatuse ohtu (Soodla, 2010, lk 28-30) .

Balloonid peaksid teoorias olema tuvastatavad kergesti oma iseloomuliku kuju tõttu, suure tõenäosusega on tuvastatav ka teatud tingumustes vedeliku nivoo, kuni aine balloonis pole jõudnud aurustumistemperatuurini. (Department for Communities and Local Government, 2012)

Infrapuna kaameraid on kasutatud Suurbritannias toimunud sündmustel, tuvastamaks majapidamisgaasi balloone.

17.veebruar 2011 majapõlengul, kus kasutati termokaamerat tuvastamaks kas kaks 25-kilost ballooni on piisavalt mahajahutatud (Fire & Rescue Services, West Sussex, 2011),

4.aprill 2014 põles kanafarm, kaheksa gaasiballooni tuvastati ning jälgiti termokaameraga põlengu ajal (Devon & Somerset Fire & Rescue Service, 2014),

21.juuni 2014 lauda põleng, tules olid ka majapidamisgaasi balloonid ja asbest (Greaves, 2014)

Infrapuna kaamerad on kasutusel ka erinevate naftatöötlemistehase ning mahutiparkides ennetusmeetmena. Kaameraga on võimalik tuvastada gaasilekkeid kiiremini ja paremini kui „gaasininadega“. Tuvastada reaalajas lekkeid ja kõrvalekaldeid, jälgides kaugusest tsentraalsete kaamerate abil ning vähendades riski töötajatele. Lisandväärtusena aitab vähendada kasvuhoone gaaside paiskamist atmosfääri ning vähendades hooldus ja remondikulusid. (Tegstam & Danjoux, 2007) Sõltuvalt kaamerate tüübist ja mudelistest on võimalik tuvastada ligikaudu 15 erineva gaasi lekkeid (Tegstam & Danjoux, 2007; Flir, 2015) Lehtede tuvastamise põhimõttena kasutatakse lekkiva gaasi temperatuuri erinevust, inimsilmale nähtamatu gaasi pilv või jääta märkamatuks, kuid termokaamera vaates on näha selgelt eralduvad laigud, mille alusel on siis võimalik lekke kiirelt tuvastada. Samuti on võimalik termokaameraga tuvastada vedeliku taset mahutites. Seega peaks olema teoreetiliselt võimalik tuvastada ka vedeliku nivood majapidamisgaasiballoonis. Samas pole teada, kuidas on võimalik ja kuidas näeb välja termopilt, kui majapidamisgaasi balloon asub tulekahjus, kas balloon, nivii on tuvastatavad.

Termokaamera võimaldab näha täielikus pimeduses ning ka läbi suitsu ja veeauru kus nähtavus inimsilmale on alla 1 meetri. Päästealal vähendab termokaamera ruumi läbiotsimiseks ja kannatanute leidmise aega kordades. Termokaamerat ehk infrapunakaamerat kasutatakse päästealal veel olukorra hindamiseks, tule kustutamisel, päästjate ohutuse kindlustamiseks, järelkontrollis, ohtlike materjalide avastamiseks ning olukorra hindamiseks, tulekollete avastamiseks avamaastikul. Päästeametis ning Väike-

Maarja Päästekoolis on kasutusel FLIR K-50 termokaamerad. FLIR K-50 termokaamera puhul on tegemist kõrge resolutsiooniga tuletõrje infrapunakaameraga. Kaamerate tootmine ja hooldus asub Eestis (FLIR, 2015).

FLIR K-50 tehnilised andmed:

- Mõõtmed < 120 x 125 x 180 mm
- Kaal 1,1 kg koos akuga
- Veekindlus IP 67
- Põrutuskindlus kukumisest 2 meetri kõrguselt betoonpõrandale
- Kuumuskindlus: -20°C kuni +85°C lõpmatult, +260°C 5 minutit
- Aku tööaeg ühe laadimisega on 4 tundi
- USB liidesega
- Piltide salvestamise võimalus
- 5 erinevat mõõtereziimi
- Objekti mõõdetav temperatuur -20°C kuni 650°C
- Värviline 4" LCD displei
- Digitaalne suum 2x
- Fikseeritud fookus
- Kaadrirsagedus 60 Hz
- Vaateväli 51° x 38°
- Sensori resolutsioon 320 x 240 pikslit

2. EKSPERIMENT JA KIRJELDUS

2.1. Uurimustöö metoodika ja läbiviimise kord

Lõputöö uurimismeetodina on kasutatud kahte uurimismeetodit. Esimene on struktureerimata andmekogumismeetod, mida kajastab audio- ja videomaterjalide analüüs. struktureeritud andmekogumismeetod, mida kajastab eksperiment.

Kvalitatiivne analüüs on selline, kus andmed, andmete töötlemine ja järeldused ei ole seotud arvuliste näitajatega. Kvalitatiivse uurimise käigus keskendutakse ühe objekti süvaanalüüsile, uuritakse toimuva sisu. Kvalitatiivse uurimuse korral: (Laherand, 2008)

- Püütakse vastata küsimustele miks ja kuidas
- Tegeletakse objektide sõnaliste kirjeldustega
- Saadakse andmeid vaatluse kaudu

Kvalitatiivsete andmete kogumine toimub visuaalsete materjalide alusel. Visuaalseteks materjalideks on fotod ning videod. Uurida saab kompositsiooni, sisu, video puhul on vaatlev salvestamine (Laherand, 2008)

Eelkatsetusest saadud materjalide analüüsimisel kasutati 21 (kakskümmend üks) fotot ja 0 videot. Eksperimendist saadud materjali analüüsimisel kasutati 87 (kaheksakümmend seitse) fotot ja 11 (üksteist) videot. Kokku analüüsiti 108 (sada kaheksa) fotot ja 11 (üksteist) videot. Eksperimendi käigus selgitati välja kas:

- Uued gaasiballoonid on ohutumad kui vanad GOST-tüüpi balloonid
- Gaasiballooni kontuurid on tulekahju ajal eristatavad, nivoo tuvastatav
- Kas gaasiballooni plahvatuse ajal saab välja selgitada ligikaudse temperatuuri plahvatuse hetkel

Kvantitatiivsete meetodite all mõeldakse arvudes väljendatud uurimistulemuste tõlgendamist. Eesmärgiks on saada võimalikult palju objektiivseid empiirilisi andmeid täpselt piiritletud objektide kohta. Uurimismaterjali kogumine toimub meetodiga, mis võimaldab arvulist mõõtmist ja mõõtmistulemuste saamist, näiteks eksperiment.

Järeldused tehakse uurimismaterjali statistilise analüüsi põhjal. Kvantitatiivse meetodina kasutatakse töös gaasiballooni temperatuuri mõõtmist eksperimendi ajal. Selgitatakse välja gaasiballooni temperatuuri muutused eksperimendi ajal.

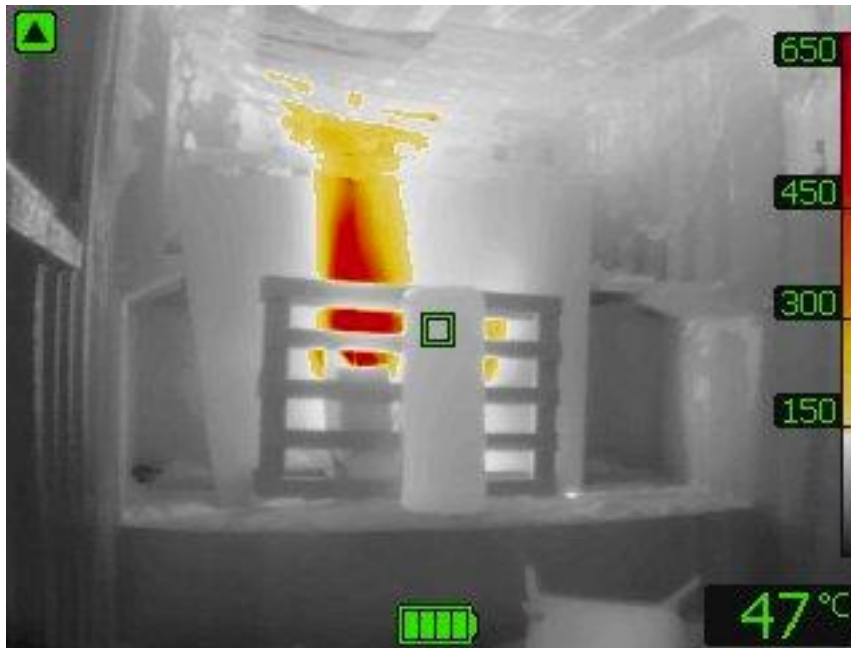
2.2. Eelkatsetus

Eelkatsetus viidi läbi 24.11.2014, Kohtla-Järve linnas, Järve linnaosas aadressil Lai tänav 7, Kohtla-Järve päästekomando territooriumil. Eelkatsetus viidi läbi, et välja selgitada kas tulekahju ajal on gaasiballooni kontuurid eristatavad või mitte. Ilmastiku tingimused olid tol päeval head. Külma oli -2°C kraadi, sajuta ning pilves selgimistega ilm. Eelkatsetusel osales lisaks töö autorile Jõhvi päästekomando teine põhiauto täiskoosseisuga turvalisuse tagamiseks. Katse läbiviimise ajal oli Jõhvi päästemeeskond valmis kustutama ning lahinghargnemine (põhiliin) oli loodud. Mõõtetööriistadena kasutati tol päeval Väike-Maarja päästekooli termokaamerat FLIR K50 ning autori fotokaamerat Canon EOS 550D.



Joonis 1. Ida päästkeskuse suitsusukeldumiskonteiner

Katse viidi läbi Ida päästkeskuse suitsusukeldumiskonteineris, kus imiteeriti eluhoone sisetulekahju. Konteineri sisse konstrueeriti põlevast materjalist seinad ja lagi, mis iseloomustavad eluhoone ühte ruumi. Üks sein ja lagi ehitati puitlaastplaadist ning seinale lisati üks euroalus, et puitlaastplaadid paremini põlema läheksid. Gaasiballoon paigaldati külje sein suhtes keskele ja otsa seinast 30 cm kaugusele põlevast materjalist. Eelkatsetuses kasutati vana punast GOST-standardile vastavat gaasiballooni, millel oli maha keeratud ventiil. Ohutuse tagamiseks oli ballooni korduvalt täidetud veega, et vältida vedelgaasi jääke balloonis. Eelkatsetuse eesmärgiks oli uurida, kas Päästeameti poolt soetatud termokaameratega on võimalik tuvastada tulekahjus gaasiballooni. Eelkatsetus sooritati edukalt. Eelkatsetus tõestas, et tulekahjus on gaasiballoon eristatav ning gaasiballooni temperatuur tuvastatav termokaameraga.



Joonis 2. Pildistatud termokaameraga FLIR K-50'ga

2.3. Eksperiment

Uuritavat objekti mõjutatakse uuringute kaudu või kutsutakse nähtus kindlates tingimustes ise esile. Eksperimendi käigus mõjutatakse uurimisalust objekti, siis mõju väljaselgitamiseks tuleb jälgida/mõõta ka selliseid objekte mida ei mõjutata. Mõõtmine on kvantitatiivne uurimismeetod. Teaduslikes uuringutes kasutatavad mõõtevahendid peavad olema kontrollitud (taadeldud). Käes olevas uuringus kasutatud mõõtevahendid olid taadeldud.

2.4. Eksperimendi etapid

Eksperimendiks ettevalmistus algas 24.11.2014, kui sai läbi viia edukalt õnnestunud eelkatse. Väike-Maarja päästekolledži õppepolügonil Ebaveres viidi läbi kahes etapis katsetused. Esimene katsetuse etapp toimus 18.02.2015 ning teine etapp toimus 12.03.2015. Järgnevates punktides on välja toodud, millisena näeb välja eksperimendi katse:

1. Konteineri ettevalmistamine. Konstrueeritakse seinad ja lagi
2. Valmistatud rakis termokaamera kinnitamiseks
3. Põlevmaterjali kogumine, paika panemine
4. Gaasiballooni paigutamine
5. Süütamine
6. Iga etapi jäädvustamine erinevate tehnoloogiliste vahenditega

2.4.1. Esimene eksperimendi päev

Esimene eksperimendi päev toimus 18.02.2015, katsete läbiviimise koht Ebavere, Väike-Maarja päästekolledži õppepolügonil. Sel päeval viidi läbi kokku 3 katset, igas katses kasutati 0.4m³ põlevmaterjali (okaspuidu saematerjal) ning süütevedelikuna diiselmootorit 4 liitrit. Katse nr.1 algusaeg 11:04 ning lõpuaeg 12:10. Tegemist oli päikesepaistelise päevaga, selge taevast, 5°C soojas. Põlevmaterjal kustus katsetuse algustaadiumis ära, seega tuli lisasüütamine teha. Ballooni gaasi kaal oli 17 kg ehk 100% täis. Katse nr.2 algusaeg 13:37 ning lõpuaeg 14:10. Päikesepaisteline päev, selge taevast, 2°C soojas. Ballooni gaasi kaal oli 12 kg ehk

70,5% täis. Katse nr.3 algusaeg 15:05 ning lõpuaeg 15:15. Selge taevas, 2°C sooja. Ballooni gaasi kaal oli 4,9 kg ehk 28,8% täis.

2.4.2. Teine eksperimendi päev

Teine eksperimendi päev toimus 12.03.2015, katsete läbiviimise koht Ebavere, Väike-Maarja päästekolledži õppepolügonil. Sel päeval viidi läbi kokku 2 katset. Katse nr.4 kasutati 0.22 m³ põlevmaterjali ning süütevedelikuna diiselmootorit 2 liitrit. Katse nr.5 kasutati 0.4m³ põlevmaterjali (okaspuidu saematerjal) ning süütevedelikuna diiselmootorit 4 liitrit. Katse nr. 4 algusaeg 10:47 ja lõpuaeg 11:07. Päikesepaisteline ilm, 2°C sooja, Ballooni gaasi kaal oli 8,7kg ehk 51% täis. Katse nr. 4 ajal oli ballooni asetus külili, sealt tulenevalt vähendati põlevmaterjali ja diiselmootori koguseid. Katse nr.5 algusaeg 12:40 ja lõpuaeg 13:00. Päikesepaisteline ilm, 4°C sooja. Ballooni gaasi kaal oli 10,2 kg ehk 60% täis.

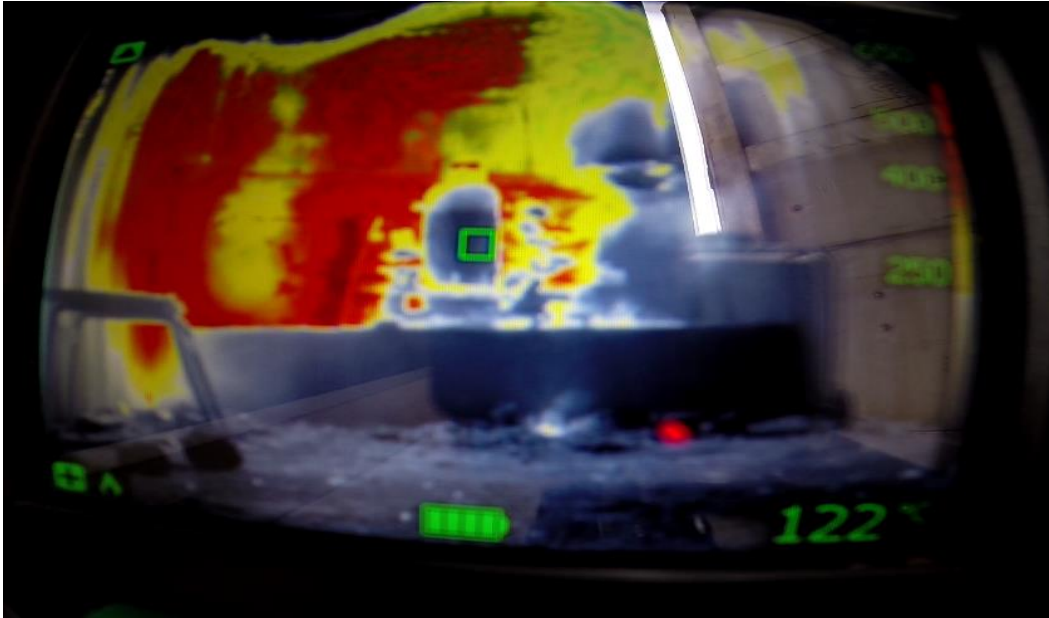
Eksperimendi käigus kasutati 4 (nelja) gaasiballooni, mis vastavad uutele nõuetele ning mis mahutavad 17 (seitseteist) kilogrammi vedelgaasi. Vedelgaasi kogused katsetel varieerusid, kuna majapidamises kasutatav gaas võib olla erinevas koguses. Propan AS vahetas 1 (ühe) uue ballooni ventiili vana ventiiliga, mis ei vasta uutele nõuetele. Eksperimendis kasutati kokku 5 (viite) gaasiballooni. Eksperimendi jäädvustamiseks kasutati fotokaamerat Canon EOS 550D, infrapunakaamerat FLIR K-50, infrapunakaamera MSA ja GoPro Hero 3 kaamerat. Tabelis on välja toodud kilogrammides ballooni täituvus balloonides. Eksperimendi ülesandeks oli välja selgitada ballooni, nivoo ja võimaliku BLEVE teke erinevate täituvusastmetega ballooni tuvastamine ning nende käitumine sisetulekahju põlemiskoormuses.

2.5. Eksperimendi kokkuvõte

Eksperimendi valim oli 5 (viis) gaasiballooni. Igas eksperimendis kasutati 0.4m³ põlevmaterjali (okaspuidu saematerjal) ning süütevedeliku (diiselnõud) 4 liitrit, välja arvatud katses nr. 4 kus kasutati 0.22m³ põlevmaterjali (okaspuidu saematerjal) ning süütevedeliku (diiselnõud) 2 liitrit kuna gaasiballooni asetus ei võimaldanud rohkem põlevmaterjali ladusta. Gaasi kogust gaasiballoonis muudeti enne igat eksperimenti, sest kodustes tingimustes on gaasiballoonide täituvus varieeruv. Katses nr. 4 muudeti gaasiballooni asetust kuna tulekahju tingimustes ei pruugi gaasiballoonid jääda ettenähtud asendisse ehk püstises asendisse, sest füüsiline jõud võib neid mõjutada. Katses nr. 5 kasutati uut tüüpi gaasiballooni, millele paigaldati vana GOST-tüüpi gaasiballooni ventiil, millel puudus Pii-märgistus ja ülerõhuklapp. Ventiilide vahetuse eesmärgiks oli välja tuua võrdlus vanade GOST- tüüpi gaasiballoonide ja uute gaasiballoonide käitumine tulekahju ajal. Tehtud katsete alusel on keskmine ülerõhuklapi rakendumise temperatuur 136°C. Tehtud katsete alusel on keskmine ülerõhuklapi rakendumise aeg 6 (kuus)minutit ja 30 (kolmkümmend) sekundit. Katse nr.1 puhul tuli teha korduv süütamine kuna põlevmaterjali leek kustus. Katset nr. 1 alustati 2 liitri diiselnõuduga, kuna leek kustus lisati veel 2 liitrit ning järgnevat katsetes kasutati 4 liitrit nõud. Katsetes nr. 1-4 esines igal ballooni jugatuli, jugatulede arv oli 2 (kaks) tükki. Katsetes nr. 1-4 BLEVE ei tekkinud, kuna gaasiballoonid vastasid täies ulatuses Euroopa nõukogu direktiividele. Katse nr.5 gaasiballoon ei vastanud täies ulatuses Euroopa nõukogu direktiividele, välja oli vahetatud gaasiballooni ventiil, millel puudus Pii-märgistus ning ülerõhuklapp, tekkis BLEVE. Igal gaasiballooni rakendus esimesena ülerõhuklapp, kus siis suure surve all vabanes gaas mis omakorda süttis. Gaasiballooni ventiili kumm põles läbi, siis avanes ka ventiili poolne ava mille tulemusel süttis samuti gaas ning tekitas 2 (teine) jugatuli. Kõik katsetes kasutatud gaasiballoonid olid tuvastatavad ja eristatavad termokaameraga. Gaasiballooni kuumenemisel on võimalik termokaameraga tuvastada ballooni täituvust gaasiga, kuni selle hetkeni kuni kogu vedelgaas on aurustunud, kuid sellele vaatamata on ülejäänud ballooni tuvastav. Kui nivoo on tuvastatav võib esineda riske, nt jugatule teke või kui jugatuli juba on tekkinud, siis võivad esineda jugatule vahepeal pausid millele järnevad „pahvakud“. Nende „pahvakutega“ väljub ja süttiv vedelgaasi viimane jääk balloonis.

2.5.1. Katse 1 järeldused ja kokkuvõte

Joonis 3 on video hetktõmmisel arusaadavalt välja joonistuv ballooni välisjooned, samuti ballooni krae. Tuvastatav on vedelgaasi nivoo, on aru saada et ülemine osa balloonest on heledam, kui alumine osa, milles veel on see vedelgaas.



Joonis 3. Katse 1 video hetktõmmis

Katses 1 kasutati täisballooni, hetktõmmisel on juba rakendunud ülerõhklapp ning suure rõhuga väljunud gaas on põlema süttinud ning on tekkinud jugatuli. Ventili kummi läbipõlemisel tekkis ka teine jugatuli. Sel hetkel kui tekivad joatuled, joonistub veel selgemalt välja vedeliku nivoo, kuna kuum vedelgaasi aur väljub balloonest. Ligikaudu 115°C juures on võimalik termokaameraga tuvastada gaasi nivood. Katse tulemusel BLEVEt ei tekkinud. Katse järgne tulemus on nähtav joonistel 4 ja 5. Gaasiballooni värvkatte osaliselt põlenud ja kobrutanud temperatuuri mõjul, ventiil tahmunud, deformatsioonid puuduvad



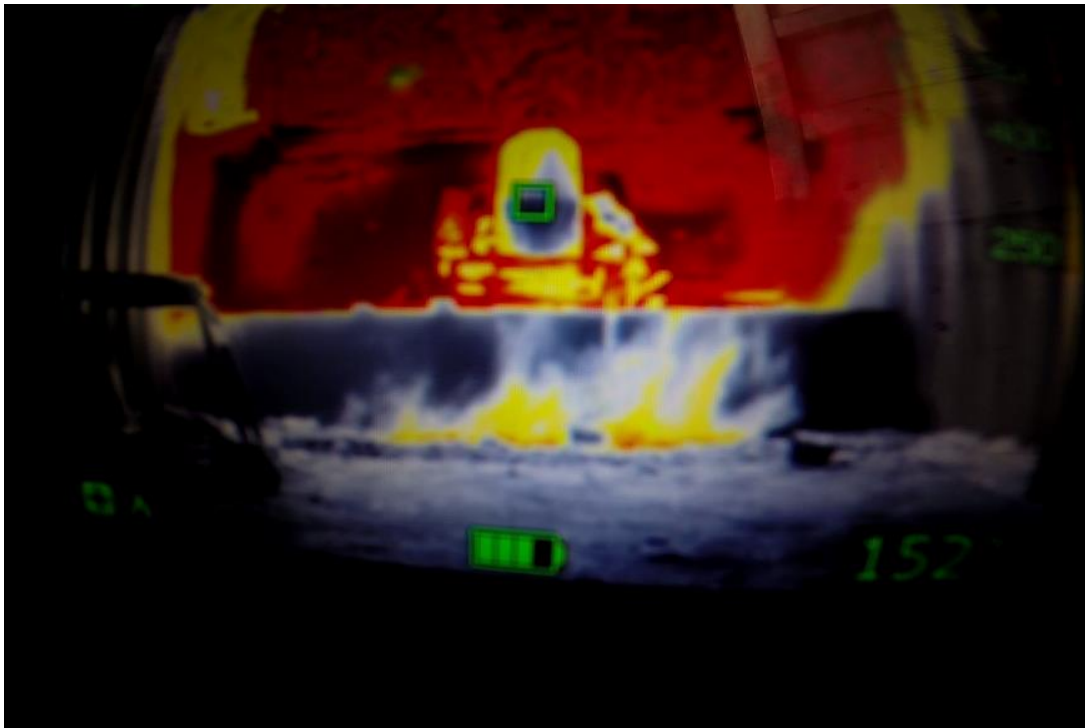
Joonis 4. Balloon Katse 1 järel



Joonis 5: Balloon katse 1 järel

2.5.2. Katse 2 järeldused ja kokkuvõte

Katsel 2 kasutati pooltäis gaasiballooni, video hetktõmmisel on arusaavad ballooni välisjooned. Balloon on pika ajaliselt olnud kõrges kuumuses seetõttu on ballooni krae osa pea samas spektris, mis tuligi. Mida kauem on balloon kõrgenenud temperatuurides, tõusevad ka spektriväärtused termokaameraga tuvastamisel, kuid võrreldes ülejäänud põlengu keskkonnaga, mis on peaaegu tumepunane, on balloon siiski vaid helekollane, samuti on tuvastatav nivoo.



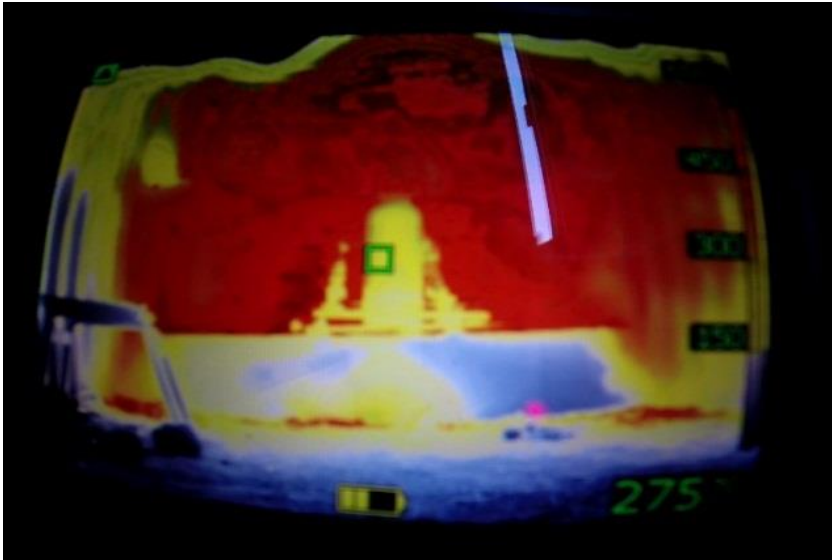
Joonis 6. Katse 2 video hetktõmmis

Mida vähemaks jääb gaasi, seda hägusemaks muutub varem selgelt välja joonistunud nivoo. Gaas on ballooni jahutaja, surve all olev kuum gaas paiskub välja, tekkis 2 jugatuld, rakendus ülerõhuklapp ning põles läbi ventiili kumm, kuid vedelas olekus gaas oli pea kogu katse lõpuni tuvastatav. BLEVEt ei toimunud.

Ballooni värvkatte oli täielikult põlenud ja kobrutanud temperatuuri mõjul, ventiil õrnalt tahmunud, deformatsioonid puudusid. Välimuselt olid ventiil ja ülerõhku klapp peaaegu samasugused nagu katse 1 korral, joonisel 4 ja 5.

2.5.3. Katse 3 järeldused ja kokkuvõte

Katse 3 hetktõmmistel termokaamera videost on selgelt nähtav ballooni kuju, katse sooritati peaaegu tühja ballooniga, seega on nivoo tuvastamine raskendatud, katse alguses on nivoo täiesti nähtav, kuid kui keskkonnatemperatuuri mõjul on kogu vedelas olekus gaas aurustunud, pole võimalik tuvastada ka nivood.



Joonis 7. Katse 3 video hetktõmmis

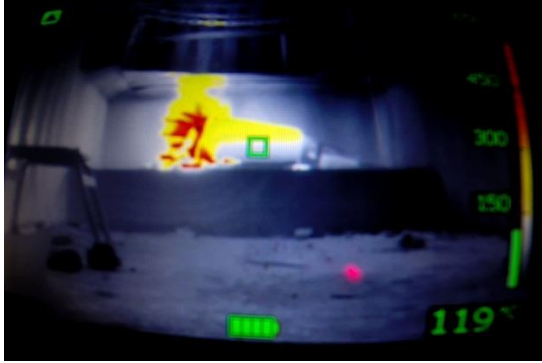
Temperatuur tõuseb küll katse lõppedes kõrgeks, kuid olenemata sellest, et balloon on gaasist tühi ning on viibinud kõrge temperatuuriga keskkonnas, on see siiski selgelt eristatav ülejäänud keskkonnast. Gaas paiskus välja, tekkis 2 jugatuld, rakendus ülerõhuklapp ning põles läbi ventiili kumm. Tekkinud jugatuld inimsilmale iseloomustab joonis 6. Katse tulemusel BLEVEt ei tekkinud. Gaasiballooni värvkatte oli osaliselt põlenud ja kobrutanud temperatuuri mõjul, ventiil täiesti tahmunud, deformatsioonid puudusid. Välimuselt sama nagu katsetes 1 ja 2, nähtav jooniselt 4 ja 5.



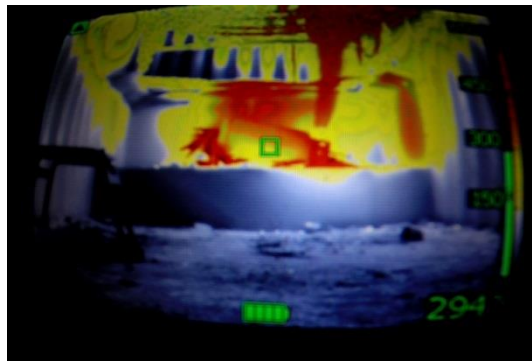
Joonis 8. Katse 3 video hetktõmmis

2.5.4. Katse 4 järeldused ja kokkuvõte

Katses 4 kasutati võrdleva momendi tekitamiseks ballooni külili. Ei saa olla kindel, et balloon on alati hoone tulekahju korral püstises asendis, seega oli ka vajalik tuvastada, kas külili asendis on lisaks ballooni tuvastamisele võimalik tuvastada vedeliku nivood.



Joonis 9. Katse 4 video hetktõmmis



Joonis 10. Katse 4 video hetktõmmis

Vedelgaasi nivoo oli tuvastatav alates 117°C kuni aurustumiseni. Ka kogu aurustumise korral on balloon selgelt eristatav ülejäänud keskkonnast, ballooni krae eristub veel selgemalt, kuna jugatulest tingutuna on metalli temperatuur tõusnud kõrgeks. Katse järel oli gaasiballooni värvkatte osaliselt põlenud ja kobrutanud temperatuuri mõjul, ventiil oli üleni pigine, deformatsioonid puudusid. Ventiili pigisus tekkis vaid sellel katsel, kus oli balloon asetatud külili.



Joonis 11: Ballooni välimus peale katset 4



Joonis 12: Ballooni välimus peale katset 4

2.5.5.Katse 5 järelused ja kokkuvõte

Katsetes nr. 1-4 BLEVE ei tekkinud, kuna gaasiballoonid vastasid täies ulatuses Euroopa nõukogu direktiividele. Kuna katse nr.5 gaasiballoon ei vastanud täies ulatuses Euroopa nõukogu direktiividele, välja oli vahetatud gaasiballooni ventiil, millel puudus Pii-märgistus ning ülerõhuklapp, tekkis BLEVE. Ventiil vahetati välja taotluslikult, et tekkiks võrdlusmoment uute ja vana tüüpi balloonide vahel.



Joonis 13: Balloon katse 5 järel

Joonis 14: BLEVE katse 5 järel

Gaasiballooni värvkatte oli osaliselt põlenud, ventiil katki ja täiesti deformeerinud, balloon purunenud kolmeks tükiks (ballooni küljed ja põhi ühes tükis, ballooni ülemine osa koos ventiiliga teises tükis ning ballooni ventiili kaitse krae eraldi kolmanda tükina). Teostatud katsed eelnevalt kirjeldatud tingimustes kinnitasid seisukohta, et vanad GOST tüüpi balloonid on ohtlikumad ning nende sattumisel tulekahjusse on BLEVE oht reaalne, mis võib põhjustada hoones viibijatele eluohtlikke vigastusi. Gaasiballoonidel mida kasutati katsetel nr.1-4 ei tekkinud ühtegi deformatsiooni. Seega võib väita teostatud katsete tulemusel, et isegi kui gaasiballoon viibib tulekahjus ka suurel põlemiskoormusel, rakenduvad ennetusmeetmed ning need ei kujuta täiendavat ohtu hoones viibijatele BLEVE näol.

Tabel 2: Eksperimendi tulemuste analüüs

	Katse nr. 1	Katse nr. 2	Katse nr. 3	Katse nr. 4	Katse nr. 5
Gaasi kogus balloonis / kg	17	12	4,9	8,7	10,2
Ballooni asend	Püsti	Püsti	Püsti	Külili	Püsti
Ventiil ülerõhuklapiga / Jah/Ei	Jah	Jah	Jah	Jah	Ei
Ülerõhuklapi rakendumise temperatuur / °C FLIR-K50	52°C	131°C	225°C	136°C	Andmed puuduvad
Ülerõhuklapi rakendumise aeg	15.43 minutil / korduva süütamise aeg 7.41 minutil	3.48 minutil	2.17 minutil	12.05 minutil	Andmed puuduvad
Jugatule esinemine / Jah/Ei	Jah	Jah	Jah	Jah	Ei
Tulejegade arv kokku	2	2	2	2	0
Gaasiballooni tuvastatavus termokameraga / Jah/EI	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah
Nivoo tuvastamine	Alates klapi rakendumisest / 134°C	Alates 121°C	Ebamäärane / vähene gaasi kogus	Alates 113°C	Alates 92°C
BLEVE tekkimine / Jah/Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Jah
BLEVE tekkimise aeg ja temperatuur / °C	-	-	-	-	10.24 minutil, temperatuur ebamäärane
Gaasiballooni visuaalne välimus peale katset	Gaasiballooni värvkatte osaliselt põlenud ja kobrutanud temperatuuri mõjul, ventiil tahmunud, deformatsioonid puuduvad	Ballooni värvkatte täielikult põlenud ja kobrutanud temperatuuri mõjul, ventiil õrnalt tahmunud, deformatsioonid puuduvad	Gaasiballooni värvkatte osaliselt põlenud ja kobrutanud temperatuuri mõjul, ventiil täiesti tahmunud, deformatsioonid puuduvad	Gaasiballooni värvkatte osaliselt põlenud ja kobrutanud temperatuuri mõjul, ventiil üleni pigine, deformatsioonid puuduvad	Gaasiballooni värvkatte osaliselt põlenud, balloon purunenud kolmeks fragmendiks (ballooni küljed, põhi ühes tükis, ballooni ülemine osa ventiiliga teises tükis ballooni ventiili kaitse krae eraldi kolmanda tükina)

3. JÄRELDUSED NING ETTEPANEKUD

Eksperimendi käigus selgitas töö autor välja, et tulekahju korral on võimalik gaasiballooni tulekahjus tuvastada termokaamera FLIR K-50'ga. Gaasiballooni kuumenemisel on võimalik termokaameraga tuvastada ballooni täituvust gaasiga, majapidamises on gaasiballoonide täituvus varieeruv, kuid vaatama selle olid kõikide katsete tulemusel võimalik tuvastada balloon. Kui vedelgaas oli balloonis, oli see eristatav.

Eksperimentide tulemustele põhinedes saab väita, et Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivi 2010/35/EL nõuetele vastavad uut tüüpi gaasiballoonid on ohutumad kui vanad GOST-tüüpi punased gaasiballoonid. Uute gaasiballoonide ventiilid on varustatud ülerõhuklapiga ning neil on peal Pii-märgistus. Katse nr. 5 näitas, et ka uut tüüpi gaasiballoonid võivad olla ohtlikud nii päästjatele kui ka elanikele/majaomanikele. Uued balloonid on ohutud just seetõttu, et gaasiballooni ventiil on varustatud ülerõhuklapiga, vanematel ventiilidel selline variant puudus. Seega kui lisada uuele gaasiballoonile vana ventiil, siis on suur risk BLEVE tekkeks. Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivi 2010/35/EL nõuetele vastavad uued gaasiballoonid on ohutud, kui need mõistlikel kasutustingumustel, arvestades kasutusiga ning paigaldus- ja hooldusnõudeid.

Töö autor loodab, et eksperimendist saadud tulemuste alusel vaadatakse üle suitsusukeldumise tegevus tulekahju korral ning koostatakse uus õppemapp mis võib vähendada töökeskkonna riske.

Ettepanekud: Koostada päästjatele õppematerjalid, vajadusel viia läbi lõputöö raames teostatud eksperimendi laadne katse.

KOKKUVÕTE

Kaasajal on potentsiaalsete tuleohuprobleemide lahendamiseks kindlates situatsioonides vajalikud arhitektide, teadlaste, inseneride, päästjate ja teiste ühendatud jõupingutused. Selliste jõupingutuste tulemusena on kehtima pandud vastavad standardid, direktiivid ja seadused ohutuse tagamiseks. See ei tähenda, et kõik tuleohutuse probleemid on lahendatud. Autor uuris oma töös majapidamisgaasina kasutatavat vedelgaasi. Gaas on väga tule- ja plahvatusohtlik, lekke korral võib põhjustada inimese lämbumist.

Katsetati uutele nõuetele vastavaid terasest majapidamises kasutatavaid gaasiballoone esmakordselt lõputöö raames. Uurimustöö eesmärgiks on välja selgitada BLEVE ohu tuvastamise võimalused infrapunakaamera abil. Kodutulekahju korral on nii päästjad kui ka majaomanik/elanikud ohus tules oleva gaasiballooni tõttu, seetõttu on vaja teada kuidas uued gaasiballoonid põlengus käituvad. Viidi läbi katsed uute gaasiballoonidega sisetulekahju põlemiskoormusel. Selgitati välja gaasiballoonide tegevus tulekahju korral ning selle tulemusel on võimalik edaspidiselt koostada juhendmaterjali päästjatele, seeläbi vähendades töökeskkonna riske. Eksperimendi käigus ei tuvastatud nõuetele vastava ballooni purunemist, ülerõhuklapid rakendusid tööle ning balloonid olid tulekahjust tuvastatavad, samuti oli tuvastatav gaasiballoonide nivoo. Kõik katsetes kasutatud gaasiballoonid olid tuvastatavad ja eristatavad termokaameraga. Gaasiballooni kuumenemisel on võimalik termokaameraga tuvastada ballooni täituvust vedelgaasiga, kuni selle hetkeni kuni kogu vedelgaas on aurustunud, kuid sellele vaatamata on ülejäänud balloon tuvastav. Kõikide katsete puhul oli erinev põlemiskoormuses viibimise aeg ja temperatuur, seega ei saa teha ühest järeldust, millal ülerõhuklapp rakendub.

Uutele standarditele vastavate balloonide puhul ei tuvastatud BLEVE ohtu. Eesmärk tuvastada termokaameraga ballooni ning jälgida ballooni õnnestusid, samuti oli võimalik tuvastada osades katsetes vedelgaasi nivood. Ballooni asetus – püsti/külili ei mõjutanud eksperimendi tulemusi, küll tekkis omapärane pigistumine ventiili ümbrusesse, mis püstises olekus balloonidel ei tekkinud.

SUMMARY

On nowadays there are for potential fire-hazardous on certain circumstances ways to manage the problems, in aid of joint achievements of architects, engineers, scientists, firefighters and others. There are to preserve safety - standards, directives and laws, regulations That doesn't mean, that all of the firesafety problems are solved. Author explored in his work liquified petroleum gasses that are used in household. LPG is highly flammable and explosive, on case of leak, may cause suffocation.

There were made test about new LPG cylinder tanks, used in household. The aim of this paper was to thermoimage BLEVE-hazard with infrared camera. In case of a fire, people, firefighter are in danger if there's any LPG cylinders, therewhy it's important to explore how up to standard LPG cylindertanks react in case of a fire. In these experiments, it was confirmed that thermoimaging LPG cylinder is possible, and therefore a guidelines can be given to firefighters to minimise workhazard. During test, there were no BLEVE hazard on correct cylinders, the valves worked, there was a jetfire, while the gas leaked from a tank. With a infrared camera, the level of LPG was seen. The temperature and time was in every test different, so there no conclusive fact about when and how long the cylinders can be in a fire untill the gas escapeps throught valve. It was a success to thermoimage a LPG cylinder, and the position of the cylinder did'nt make any difference, there was only a slight smudging on the horizontal cylinder near a valve.

VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

Department for Communities and Local Government, Great Britain. , 2012. *Fire and Rescue Service Operational Guidance – Incidents involving hazardous materials*, London: Norwich.

Devon & Somerset Fire & Rescue Service, 2014. *Incident - Fire in Chicken Shed*. [Online] Available at: <https://www.dsfire.gov.uk/news/newsdesk/IncidentDetail.cfm?IncidentID=28597&siteCategoryId=3&T1ID=26&T2ID=35> [Kasutatud 29 04 2015].

Fire & Rescue Services, West Sussex, 2011. *Reported West Sussex incident summaries - February 2011*. [Online] Available at: http://www.gravelroots.net/4q_5.html [Kasutatud 29 04 2015].

Fire resistance test, 2014. *LPG equipment and accessories – Transportable refillable fully wrapped composite cylinders for LPG – Design and construction..* s.l. Patent No. EVS-EN 14427:2014. LPG equipment and accessories - Fire resistance test.

Flir, 2015. *Thermal Cameras for Gas Imaging*. [Online] Available at: <http://www.flir.com/thermography/americas/ca/content/?id=14522> [Kasutatud 30 04 04].

FLIR, n.d. [Online] Available at: www.flir.com [Kasutatud 15.01.2015].

Greaves, P., 2014. *Fire destroys barn and caravan at East Ogwell near Newton Abbot*. [Online] Available at: <http://www.torquayheraldexpress.co.uk/destroys-barn-caravan-East-Ogwell-near-Newton/story-21282367-detail/story.html> [Kasutatud 29 04 2015].

Laherand, M.-L., 2008. *Kvalitatiivne uurimisviis*. Tallinn: s.n.

Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, 2014. *Uudised*. [Online] Available at: <https://www.mkm.ee/et/uudised/juulist-kehtiva-vastavushindamiseta>

toostusgaasiballoonide-taitmine-ja-muuk-keelatud

[Kasutatud 23 01 2015].

Meyer, 1990. *Chemistry of hazardous materials..*

Päästeamet, 2012. *Rapla PK päästjaga juhtunud tööõnnetus*, Jõhvi: Päästeamet.

Päästeamet, 2015. *Ohud majapidamisgaasiga*. [Online]

Available at: <http://www.rescue.ee/gaasilekked>

[Accessed 05 01 2015].

Päästeamet, 2015. *PÄVIS*, Tallinn: Päästeamet.

Raudjärv, R. & Kuskova, L., 2013. Energiatarbimine kodumajapidamistes. *Eesti Statistika Kvartalikirj*, 13(1), p. 20.

Soodla, H., 2010. *Päästejuhised tulekustutustöödel (PÄTU)*, Tallinn: Sisekaitseakadeemia,

Talvari, A., 2006. *Ohtlikud ained*. 2 toim. Tallinn: Sisekaitseakadeemia.

Tegstam, J. F. & Danjoux, R., 2007. Gas leak detection in the oil and gas industry.

Thermografie-Kolloquium, Issue 3, p. 10.

Vedelgaasi ohutusnõuded (2013) Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium.

Маршал, В., 1989. *Основные опасности химических производств*. Москва "Мир".

Москва:

LISA1 RAPLA PK PÄÄSTJAGA JUHTUNUD TÖÖÕNNETUS

Kokkuvõte Rapla PK päästjaga 16.05.2012 juhtunud gaasiballooni plahvatuses seotud tööõnnetusest.

Tööõnnetus juhtus graafikujärgses valvevahetuses 16.05.2012 kella 22.30 ajal Loone külas Kohila vallas toimunud talumaja põlengul. Rapla päästekomando meeskonna sündmuskohale jõudes põles elumaja täisleegiga. Kustutama hakati väljastpoolt. Rapla päästekomando päästja kustutas maja parempoolsel küljel, umbes 5 m temast vasakul toimus gaasiballooni plahvatus. Kuna majaomanikku kohal ei olnud, siis ei olnud infot ka võimalike balloonide kohta hoones. Päästja jätkas kustutamist, arvestades balloonide plahvatamise võimalusega. Kui päästja hakkas hoone veranda aknast sissepoole kustutama ning hetkel kui ta hakkas ülevalt allarippuvaid juhtmeid kõrvale lükkama ja üles vaatama, toimus teine gaasiballooni plahvatus. Kuna päästja vaatas üles, siis tuli plahvatuses tekkinud leek talle otse kiivriklaasi alla, lüües kiivrisuka ninapealt suule. Kuigi kiivrisukk oli peas ja kiivriklaas alla tõmmatud, sai ta põletushaavu. Rapla päästekomando meeskonnavanema ja töökeskkonnavoliniku seletuse kohaselt kasutas kogu meeskond sündmuse vältel tulekustutusriietust korrektselt. Pärast sündmust kontrollis töökeskkonnavolinik kannatada saanud päästja tulekustutusriietuse üle, mis oli terve, korras ja korrektselt hooldatud.

Tööõnnetuseni viis teadmatus, et majas on hoiul gaasiballoonid ning nende olemasolu ei suudetud tuvastada, kuna majaomanikku ei olnud sündmuskohal.

Teenistujaid tutvustati tööõnnetuse asjaoludega.

Kokkuvõtte koostas:

Vaike Haavalaid

+372 5307 8871

vaike.haavalaid@rescue.ee