



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

Automaatne tulekustutussüsteem tööstushoones

Automatic fire extinguishing system in an industrial building

TELEMAATIKA JA ARUKATE SÜSTEEMIDE ÕPPEKAVA

LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Sergei Lopin

Üliõpilaskood: 190863

Juhendaja: Sergei Ponomar

Kohtla-Järve, 2022

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“23” mai 2022

Autor: Sergei Lopin / allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle esitatud nõuetele

“23” mai 2022

Juhendaja: Sergei Ponomar, lektor / allkiri /

Kaitsmisele lubatud “20” mai 2022

Kaitsmiskomisjoni esimees Mare Roosileht

/ nimi ja allkiri /

Allkirjastatud digitaalselt

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Sergei Lopin (sünnikuupäev: 08.08.1987)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

automaatne tulekustutusüsteem tööstushoones, mille juhendaja on Sergei Ponomar

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Sergei Lopin, 190863

Õppekava, peeriala: EDTR 17, Protsesside automatiseerimine

Juhendaja(d): lektor, Sergei Ponomar, sergei.ponomar@taltech.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Automaatne tulekustutussüsteem tööstushoones

(inglise keeles) Automatic fire extinguishing system in an industrial building

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Analüüsida ja hinnata tänapäevaseid tööstushoonete tuleohutuse praegust taset ning nende tulekustutussüsteeme tõhususe osas.
2. Kalkuleerida valitud hoone (konstruktsiooni) jaoks automaatne tulekustutussüsteem.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö struktuur	veebbruar. 2022
2.	Tööstushoonetes tuleohutuse praeguse taseme analüüs 1.1 Tulekahjude statistika analüüs Eesti Vabariigis 1.2 Kaasaegsete tööstushoonete tuleohutuse eripärad	märts. 2022
3.	Tänapäevaste tulekustutussüsteemide hindamine nende tõhususe seisukohast 2.1 Üldine teave automaatsete tulekustutussüsteemide kohta 2.2 Automaatsete tulekustutussüsteemide patendi analüüs 2.3 Automaatsete tulekustutussüsteemide efektiivsuse hindamise meetoodika väljatöötamine 2.4 Tulekustutussüsteemi valiku põhjendus	märts. 2022

SISUKORD

EESSÕNA	6
SISSEJUHATUS	7
1. TÖÖSTUSHOONETES TULEOHUTUSE PRAEGUSE TASEME ANALÜÜS	9
1.1. Tulekahjude statistika analüüs Eesti Vabariigis	9
1.2. Kaasaegsete tööstushoonete tuleohutuse eripärad	11
2. TÄNAPÄEVASTE TULEKUSTUTUSSÜSTEEMIDE HINDAMINE NENDE TÕHUSUSE SEISUKOHAST	14
2.1. Üldine teave automaatsete tulekustutussüsteemide kohta	14
2.1.1. Vahtsüsteem	14
2.1.2. Sprinklersüsteem	15
2.1.3. Veeudu kustutussüsteem	16
2.1.4. Kohtkustutussüsteem	17
2.1.5. Gaaskustutussüsteem	18
2.2. Automaatsete tulekustutussüsteemide standardi EVS-EN 12845:2915+A1:2020 analüüs	19
2.3. Automaatsete tulekustutussüsteemide efektiivsuse hindamine ja valiku põhjendus	21
3. AUTOMAATSE TULEKUSTUTUSSÜSTEEMI ARVUTAMINE VALITUD HOONE JAOKS	23
3.1. Automaatse sprinklersüsteemi paigaldamise arvutamine	23
3.2. Majanduslik efektiivsus	25
3.3. Keskkonnaohutus	26
3.4. Eluohutus	28
KOKKUVÕTE	29
SUMMARY	31
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	33
LISA 1. Sprinklersüsteemi esialgne paigutus	37

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema on automaatne tulekustutussüsteem tööstushoonetes oli valitud Forus Security AS tehnikaosakonna juhi algatusel. Autor leiab, et antud teema tänasepäeval väga aktuaalne sellepärast, et tulekahussüsteemide abil teostatakse tuleohutus tööstusobjektidel ja mitte ainult, kuid ka teistes avaliku objektides, mida aitab vähendada rahalised kulutused ning surma juhtumid. Põhiandmete kogumine oli läbi veebi allikate ja andmetega ja konsultatsioonidega abistas tehnikajuht Aksenti Nekraševitš. Tahan väga avalda tänu sõnad diplomitöö juhendajale Sergei Ponomar, Forus Security AS tehnikaosakonnajuhile Aksenti Nekraševitš ja keelte keskuse juhile Ingrid Prees.

Võtmesõnad: tuleohutus, tulekustutussüsteem, tulekahju, diplomitöö

SISSEJUHATUS

Päästeameti 2020. aasta analüüsist nähtub, et tööstushoonete tulekahjusid on iga aastaga järjest vähemaks jäänud. 2019. aastal teatati tulekahjust 56 tööstushoones ja 2020. aastal 49 tööstushoones [1]. Tööstushoonete tulekahjusid aitavad avastada ja kustutada automaatsed tulekustutusüsteemid. Kiire avastamine ja kustutamine vähendab tulekahjuga tekkivaid kahjustusi ja kulusid. [2] Tuleohutusekspertide sõnul aitab õigesti projekteeritud, paigaldatud ja hooldatud tulekustutusüsteem ennetada tulekahjust tulenevaid riske hoone konstruktsioonile ja inimeste ohutusele [3].

Tänapäeval kehtivad tööstushoonete tuleohutusele nõuded, mis on ka üheks põhjuseks, miks tööstushoonete tulekahjud on langustrendis. Hoone projekteerimisel ja ehitamisel tuleb arvestada tulekahju võimalikkust ja seega arvestada hoonesiseseid ja -väliseid mõjusid (sh tehnosüsteemid ning tule- ja plahvatusohtlikud seadmed). [4] Seega on kaasaegse tööstushoone ehitamisel vajalik arvestada tuleohutusele kehtivate nõuetega.

Ida-Virumaal, Kohtla-Järve vahetus läheduses asub ehitusjärgus tööstushoone, mille üldpind on ca 1500 m². Tööstushoone on alles ehitamisel, st tegemist on täiesti uue hoonega, mitte renoveeritud vana hoonega. Kuna hoone on alles ehitusjärgus ning tööstushoone omanik ei jaganud hoone plaane töö autoriga, ei ole hoone paigutustest või ruumide arvust täpsemat ülevaadet. Praeguseks probleemkohaks on tööstushoone automaatse tulekustutusüsteemi puudulikkus. Seega soovis hoone konstruktsiooni omanik esialgset kalkulatsiooni ja võimalusel ka hinnapäringuid, mis suurusjärku jäävad automaatsed tulekustutusüsteemid. Töö autor kitsendas kalkulatsiooni ja hinnapäringud asjaolule, et eelnevalt soovitatakse hoone omanikule, milline automaatne tulekustutusüsteem oleks antud hoone puhul kõige mõistlikum, arvestades kulusid, majanduslikku efektiivsust, keskkonnaohutust ja eluohutust, ning alles seejärel koostatakse kalkulatsioon ja tehakse vajalikud päringud.

Tööstushoone omanik alustas ehitustöid 2021. aastal ning pärast konstruktsiooni ehitamist võeti plaani automaatse tulekustutusüsteemi paigaldamine. Tööstushoone ehitus ei ole edasi arenenud turul valitseva majandusliku olukorra tõttu. Tööstushoone omanik peab tagama tuleohutusnõuetele vastavuse, seega on aktuaalne omavahel võrrelda ja analüüsida erinevaid turul pakutavaid automaatseid tulekustutusüsteeme ning tutvustada omanikule parimat võimalikku varianti.

Kuna tööstushoone omanik tegeleb spetsiifilise alaga, mille järgi on ettevõtet kerge tuvastada ning tööstushoones alles valmistatakse ruume äritegevuseks, siis palus ettevõtte ja tööstushoone omanik anonüümsust. Ettevõtte nime ja asukoha anonüümsus ei sega automaatse tulekustutusüsteemi sobivuse analüüsimist ja hindamist, sest töö autorile on tagatud piisavad lähteandmed.

Eelnevast lähtuvalt on töö eesmärgiks parandada kaasaegsete tööstushoonete tuleohutust. Eesmärgi täitmiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

1. Analüüsida tööstushoonete tuleohutuse praegust taset.
2. Hinnata tänapäevaseid tulekustutussüsteeme nende tõhususe osas.
3. Kalkuleerida valitud hoone (konstruktsiooni) jaoks automaatne tulekustutussüsteem.

Uurimise objektiks on kaasaegsed automaatsed tulekustutussüsteemid tööstushoones. Uurimisobjekti analüüsimiseks ja töö eesmärgi täitmiseks kasutati kvalitatiivset meetodit, täpsemalt juhtumi uuringut. Juhtumi uuring sobib tööga hästi, sest selle eesmärgiks on hoonet (konstruktsiooni) mitmekülgsest hinnata ning lähteandmetele toetudes läbi viia automaatsete tulekustutussüsteemide süvaanalüüs. Kvalitatiivne juhtumiuurimus võimaldab dokumentidele, erialasele kirjandusele, õigusaktidele ja statistilistele kokkuvõtetele toetuvalt teemat analüüsida. [5]

Töö on jaotatud kolmeks peatükiks. Esimene peatükk on sissejuhatavat laadi, mis annab statistilise ülevaate tulekahjust Eestis ja tutvustab tuleohutuse eripärasid kaasaegses tööstushoones. Selleks on töö autor analüüsinud statistilisi andmeid Eesti kohta ning õigusaktidest tulenevaid nõudeid.

Töö teine peatükk keskendub tuleohutusnõuetele ning tulekustutusüsteemide tõhususe hindamisele. Selleks võrdleb töö autor erinevaid automaatseid tulekustutussüsteeme. Lisaks tuuakse välja, milline automaatne tulekustutussüsteem on kaasaegsele tööstushoonele kõige optimaalsem.

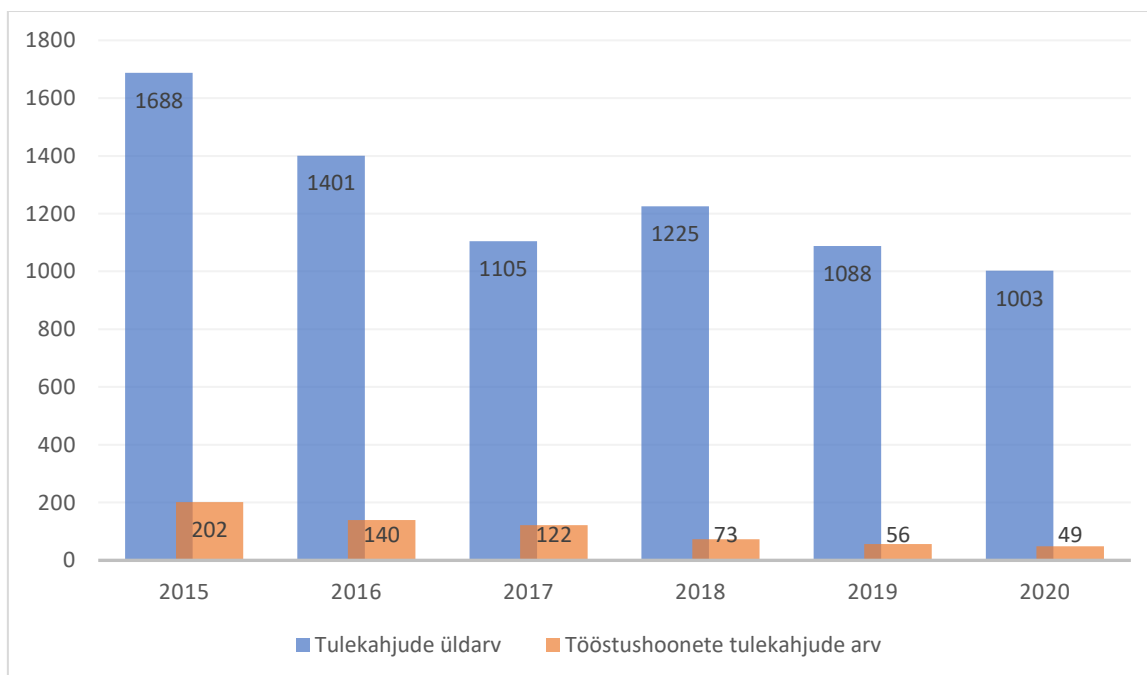
Kolmandas peatükis tutvustatakse automaatset tulekustutussüsteemi, mis osutus valituks ning analüüsitakse selle efektiivsust, keskkonnaohutust ja eluohutust ehitatava kaasaegse tööstushoone aspektist.

1. TÖÖSTUSHOONETES TULEOHUTUSE PRAEGUSE TASEME ANALÜÜS

1.1. Tulekahjude statistika analüüs Eesti Vabariigis

Päästeamet omab ülevaadet ja koostab statistikat Eesti Vabariigi tulekahjude kohta, mis on hästi välja toodud iga aasta koostatavates analüüsid. Päästeamet koostas eraldi tulekahjude analüüsi ka 2020. aastal [1]. Päästeameti koostatud statistilised dokumendid on olulised ja usaldusväärsed, millele toetudes saab analüüsida tulekahjude statistikat Eesti Vabariigis. Tulekahjude statistika ajakohaseks esitamiseks analüüsitakse viie aasta andmeid. 2021. aasta kohta ei olnud töö koostamise hetkeks piisavaid statistilisi andmeid ning 2022. aasta andmed olid samuti poolikud, mistõttu tugineti statistika kajastamisel ja analüüsimisel aastatele 2015-2020.

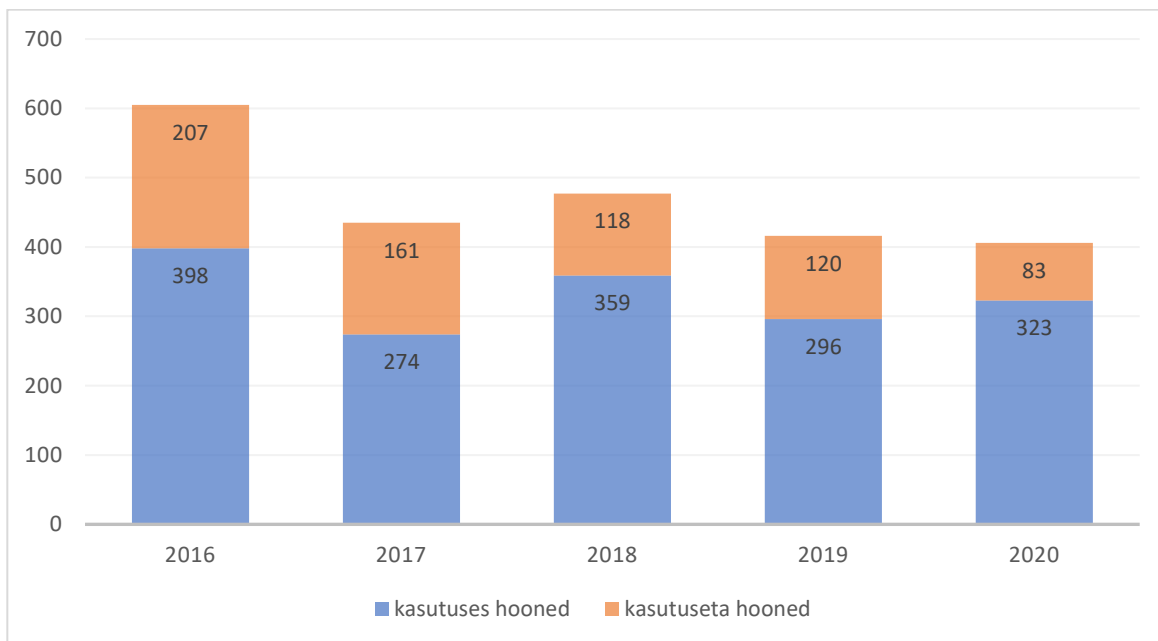
Antud töö kontekstis on oluline analüüsida hoonetega, sh ka tööstushoonetega seonduvat statistikat. Statistiliste andmete paremaks edastamiseks ja visualiseerimiseks on töö autor koostanud joonise 1, millest nähtub aastate 2015-2020 tulekahjude koguarv võrdluses tööstushoonete tulekahjude arvuga.



Joonis 1.1 Tulekahjude üldarv võrreldes tööstushoonete tulekahjude arvuga aastatel 2015-2020 [6-10]

Hoonetele kehtivad õigusaktidest tulenevad tuleohutusnõuded, mis on tööstushoonetel eriti karmid, mis kajastub ka iga-aastases statistikas. Jooniselt nähtub, et kõige rohkem tulekahjusid (nii üldarv kui ka tööstushoonete tulekahjude arv) oli 2015. aastal ning kõige vähem tulekahjusid 2020. aastal. Sellest järeldub, et üha vähemaks jääb hoonete tulekahjude arv, sh on languse trendis on ka tööstushoonete tulekahjude arv. 2016.

aastal moodustasid tööstushoonete tulekahjud üldarvust 12%, samas 2020. aastal oli vastav protsent langenud 4,8-le. Seega ainuüksi statistikale toetudes võib öelda, et tööstushoonete tuleohutusnõuete järgimine on tulekahjude ennetamise aspektist tähtsal kohal.



Joonis 1.2 Tulekahjude arv mitteeluhoonetes aastatel 2016-2020 [1]

Jooniselt 2 nähtub tulekahjude arvu jaotus mitteeluhoonetes nelja aasta jooksul. Kuna 2015. aasta kohta andmed puudusid, analüüsis töö autor aastate 2016-2020 tulekahjude juhtusid. Nelja aasta jooksul on mitteeluhoonete tulekahjude arv jäänud suhteliselt stabiilseks. Sealjuures võib öelda, et kasutuseta hoonete tulekahjude arv on langustrendis. Töö autor peab võimalikuks, et kasutuseta hoonete tulekahjude arv on languses, sest nende hoonete sissepääsud on paremini suletud ja varustatud ka vastavate alarmseadmetega, mis hoiab hoonetest võõrad inimesed (sh kodutud) eemale.

Kasutuses hoonete protsentuaalset jaotust võrreldes saab öelda, et 2016. aastal moodustasid hoonete tulekahjudest kasutuses hoonete tulekahjud 66%, 2017. aastal 63%, 2018. aastal 75%, 2019. aastal 71% ning 2020. aastal 80%. Siit järeldub, et kasutuses hoonete tulekahjude arv on püsinud ka protsentuaalselt kõrgel tasemel, moodustades 2020. aasta mitteeluhoonete üldarvust märkimisväärse osa. Töö autor on seisukohal, et suurema osa kasutuses olevatest mitteeluhoonetest on vanad hooned (kolhoosiaegsed ehitised, sh laudad jne), millel on elektrisüsteem aegunud ja välja vahetamata. Ka Päästeameti 2020. aasta aruandest nähtus, et mitteeluhoonete peamiseks tulekahju põhjuseks on viga elektri- või küttesüsteemis. [1]

Kokkuvõtlikult võib öelda, et tänu tuleohutusnõuetele on tulekahjude arv hakanud aastast-aastasse langema, kuigi suurenenud on kasutuses mitteeluhoonete tulekahjude arv. Siiski üldist statistikat vaadates saab järeldada, et tööstushoonete (nii vanemate kui ka uuemate seas) on tulekahjude arv langustrendis. Seega on tuleohutusnõuete järgimine tulekahjude ennetamise aspektist tähtsad ning seetõttu on tuleohutusnõudeid järgmises alapeatükis ka lähemalt käsitletud.

1.2. Kaasaegsete tööstushoonete tuleohutuse eripärad

Eestis on hoonetele, sh tööstushoonetele kehtinud läbi aegade erinevad tuleohutusnõuded. Tuleohutusnõuete eesmärgiks on vähendada ohtu vähendada ohtu inimese elule või tervisele, varale või keskkonnale. [4] Kaasaegsetele tööstushoonetele kehtivad tuleohutusnõuded olid veel ca 40 aastat tagasi leebemad, mille illustreerimiseks on koostatud tabel 1 [1]. Kuni 1990. aastani kehtisid NSV Liidu Ehituslikud normid ja eeskirjad, alates 1994. aastast hakati järgima Eurodirektiivi 89/106/EEC, millega paralleelselt andis Eesti Standardikeskus välja standardite seeria EVS 812 „Ehitise tuleohutus“ [11]. Alates 2004. aastast on Eesti Euroopa Liidu liige [9], mis tähendab, et lisaks siseriiklikele regulatsioonidele kehtivad tuleohutuse nõuetele ka Euroopa Liidu standardid.

Tabel 1.1 Tuleohutusnõuete areng erinevatel ajajärgudel [11]

	kuni 1990	alates 1994	alates 2005
tulekindlusaste, tulepüsivusklass, tuleohutusklass	+	+	+
tulepüsivus	-	+	+
pinnaklass, tulelevik	-	+	+
hoone tuleohu kategooria	+	+	+
suitsueemaldus	-	+	+
põlemiskoormus	-	+	+

Tabelist nähtub, et esimesel ajajärgul esitati hoonetele vaid kaks peamist tuleohutusnõuet: tööstushoonetel tuli määratleda tulekindlusaste, tulepüsivusklass ja tuleohutusklass. Selle määramiseks kasutati skaalat I-V. Samuti tuli määratleda hoone tuleohu kategooria, mille määramiseks kasutati skaalat A-Д. Alates 1994. aastast muutusid tuleohutusnõuded rangemaks, st lisandusid tulepüsivuse, tuleleviku, suitsueemalduse ja põlemiskoormuse määratlemine. Nimetatud kategooriatel on viimasel kahel aastal sarnane määratlemise skaala. Alates 2005. aastast muutusid mõned eelnimetatud skaalad detailsemaks (nt pinnaklassi ja tuleleviku määratlemise skaala). [11]

Eesti Vabariigis reguleerivad hoonetega, sh tööstushoonetega seonduvaid tuleohutusnõudeid tänasel päeval tuleohutuse seadus, Siseministri määrus „nõuded

tuleohutuse enesekontrollile ja tuleohutusaruandele ning tuleohutusaruande koostamise kohustuslikkuse kriteeriumid", Siseministri 16.02.2021 määrus nr. 7 „Tuleohutusülevaatuse toimingud, tuleohutusülevaatuse tegemise erisused, tuleohutusülevaatuse akti sisu ja teabevahetuse kord", Siseministri määrus „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded" [4, 12-14]. Lisaks kehtivad eelnimetatule ka standardisari 812 „Ehitise tuleohutus" [15]. Järgnevalt on välja toodud tööstushoonetele esitatavad tuleohutusnõuded.

Ehitisele esitatavate tuleohutusnõuete määruse § 3 lg 2 kohaselt peab hoone olema projekteeritud ja ehitatud nii, et tulekahju korral:

- 1) säilib ehitise kandevõime ettenähtud aja jooksul,
- 2) on tule ja suitsu teke ning levik ehitises piiratud,
- 3) on tule levimine naaberehitistele piiratud,
- 4) on tagatud ohutu evakuatsioon ning
- 5) on arvestatud päästemeeskonna ohutuse ja tegutsemisvõimalustega.

Vastavalt tööstushoone iseärasustele ning selles tegutseva ettevõtte tegevusele tuleb valida ka sobivad tuleohutuspaigaldised. Ehitise tuleohutusnõuete § 29 kohaselt peavad tööstushoonetes peavad olema tuleohutuspaigaldised ning neid tuleb regulaarselt hooldada ja kontrollida. Tuleohutuspaigaldiste alla kuuluvad tööstushoone tehnosüsteemid või tehnilised seadmed, mis on mõeldud tulekahju vältimiseks, avastamiseks ja/või kustutamiseks. [4] Seega saab tuleohutuspaigaldiseks lugeda nt tulekustutit, tulekustutusvoolikut, automaatset tulekustutussüsteemi, suitsuandurit, tulekustutustekki ja kõike muud, mis aitab vältida, piirata ja kustutada tule levikut [16].

Nagu ka eelnevalt mainitud, siis tuleohutusnõuetele vastavust kontrollitakse järgmiste kategooriatega: tulekindlusaste, tulepüsivusklass, tuleohutusklass; tulepüsivus; pinnaklass, tulelevik; hoone tuleohu kategooria; suitsueemaldus; põlemiskoormus [4]. Vastavalt erinevate kategooriate analüüsi läbi määratakse tööstushoonele ehitise tuleohutuse määruse § 5 kohaselt kolme tuleohutusklassi seast üks:

- 1) tulekindel (TP1) - tööstushoone kandekonstruktsioon ei varise ettenähtud aja jooksul tulekahju tõttu kokku,
- 2) tuldtakistav (TP2) – tööstushoone kandekonstruktsioon ei varise ettenähtud aja (see aeg on lühem kui tulekindla tööstushoone puhul) jooksul tulekahju tõttu kokku,
- 3) tuldkartev (TP3) – tööstushoone kandekonstruktsiooni tulepüsivus ei ole määratud.

Tuleohutusnõuetele lisaks on tööstushoone omanik kohustatud tuleohutuse seaduse § 3 lg 2 kohaselt läbi viima enesekontrolli ehk tööstushoonet ning kasutamise ohutust ja

nõuetekohasust. Siseministri määruse kohaselt on enesekontrolli eesmärgiks läbi tööstushoone tuleohutusnõuetele vastavuse tagada isikute ohutus, tulekahjude ennetamine ja tagajärgede leevendamine. Enesekontrolli käigus kontrollib tööstushoone omanik, kas hoonet kasutatakse tuleohutult. Samuti tuleb veenduda, et hoones töötavatel isikutel on vajalikud ja piisavad teadmised tuleohutuse tagamiseks ning nad teavad, kuidas tulekahju korral käituda. Enesekontrolli kord tuleb kehtestada ettevõtte kirjaliku tulekorraldusega. [13]

Lisaks tulekustutussüsteemide vajalikkusele on tööstushoone suuruselt tulenevalt on vastavalt tuleohutuse seaduse § 4² lg 1 punkti 2 ja sama paragrahvi lõike 2 kohaselt vajalik teha tuleohutusülevaatus iga kolme aasta tagant, kui tööstushoone on suurem kui 1000 m², mille korraldab hoone valdaja, mitme valdaja puhul hoone omanik. Tuleohutusülevaatus sisu, eesmärk ja regulatsioon on välja toodud Siseministri määruses, mille § 2 lõike 1 käigus teostatakse tuleohutusülevaatusel järgmised tegevused [14]:

- 1) kontrollitakse territooriumi, hoonet ja hoones aset leidvat tegevust visuaalselt ja selle vastavust tuleohutusnõuetele;
- 2) kontrollitakse nõutavate tuleohutuspaigaldiste olemasolu, nende toimivust ja hooldatust;
- 3) kontrollitakse tuleohutuslaseid dokumente;
- 4) hinnatakse hoones toimuva tegevuse vastavust hoonetele;
- 5) kontrollitakse hoone tuleohutust ja seal olevate isikute valmisolekut tegutseda tulekahju korral.

Euroopa Liidu direktiividest mõjutatud siseriiklikele regulatsioonidele lisaks kehtivad tuleohutusnõuetele ka standardisari 812 „Ehitise tuleohutus“. Tööstushoonetele kehtivate tuleohutusnõuete standardid määrab EVS 812-4:2018 [17].

Kokkuvõtvalt võib öelda, et tänapäeval on tööstushoonetele kehtestatud oluliselt rangemad tuleohutusnõuded kui ca 40 aastat tagasi. Tööstushoone tuleohutuse hindamiseks ja tuleohutusnõuetele vastavuse kontrollimiseks tuleb tööstushoone omanikul kontrollida ja hinnata erinevaid aspekte: projekteerimisnorme, hoone tuleohutusklassi ja kasutusotstarvet, tulepüsivust, tulekaitsetaset, inimeste tuleohutuslaseid teadmisi, asendiplaani, päästemeeskonna juurdepääsetavust, evakuaatsioonilahendusi, tuleohutuspaigaldisi, vee olemasolu ja muid tuleohutusabinõusid.

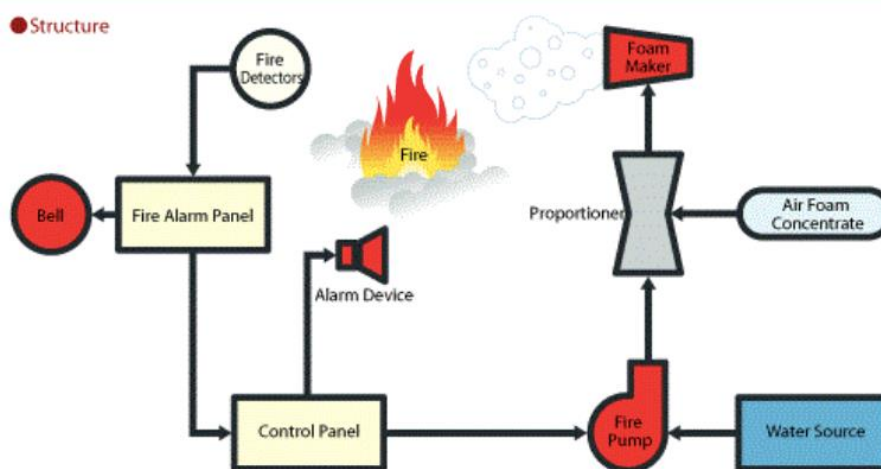
2. TÄNAPÄEVASTE TULEKUSTUTUSSÜSTEEMIDE HINDAMINE NENDE TÕHUSUSE SEISUKOHAST

2.1. Üldine teave automaatsete tulekustutussüsteemide kohta

Tulekustutussüsteemide eesmärgiks on avastada tulekahju, selle isoleerimine väliskeskkonnast ning selle kustutamine võimalikult varajases staadiumis. Tulekahju isoleerimine tagab, et tuli ei leviks naaberhoonetele ega -rajatistele. [18] Samuti on automaatse tulekustutussüsteemi eesmärgiks vähendada temperatuuri mõju objektidele ja hoonele. Automaatne tulekustutussüsteem lokaliseerib võimaliku tulekahju, sealjuures eeldatakse, et lõpliku kustutamise teostab päästemeeskond või hoone personal vastavalt ohutusmeetmetele ja tuleohutusjuhendis kehtivatele juhistele. [19] Järgnevalt käsitletakse erinevaid tüüpe automaatseid tulekustutussüsteeme: vahtsüsteemi, sprinklersüsteemi, veeudu kustutussüsteemi, kohtkustutussüsteemi ja gaaskustutussüsteemi.

2.1.1. Vahtsüsteem

Vahtsüsteemi puhul kasutatakse tulekahju kustutamiseks, nagu nimigi ütleb, vahtu. Vahul on suuremad märgamise omadused ja sobib väga hästi kasutamiseks spetsiifiliste tulekahjude korral. [18] Vahtsüsteem jahutab põlevat pinda kiirelt, seda on võimalik kasutada suurtel pindadel ja kustutamiseks piisab väiksemast veekogusest. Vahtsüsteem baseerub nii vahul, kui ka veel, sealjuures eemaldab vaht süüteallika. Vaht koosneb väikestest õhumullidest, millel on veest väiksem tihedus. Vaht koosneb veest, vahu kontsentraadist ja õhust. Vahtsüsteem koosneb pihustitest (või muudest vahutekitajatest), vahudosaatoritest, vahuainepaagist, tuletõrjepumbast. [20]



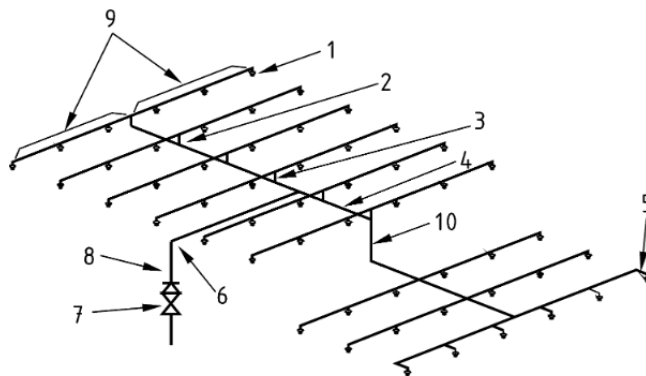
Joonis 2.1 Vahtsüsteemi struktuur ja skeem [22]

Erinevad tootjad kasutavad erinevaid vahu kontsentraate. Võrreldes tavalise veega sprinklersüsteemi kasutamisega, saab vahusüsteemiga vee kasutamist vähendada kuni 1000 korda. Kuna vaht on valgivate omadustega, on seda hea suurte pindade peal kasutada. Vahtkustutust soovitatakse põleva kütuse kustutamisel. Sealjuures tuleb jälgida, milline vahukordsus vahtsüsteemil on, st mida kõrgem vahukordsus (madal on kuni 20, kõrge alates 200-st), seda efektiivsem on vahtsüsteem tulekahju kustutamisel. [21]

Tulekahju korral käivitub peapump, elektriagamiga ventiil avaneb vahu doseerimisseadmel ja toimub veevahu emulsiooni tootmine. Peamise torujuhtme kaudu jõuab emulsioon vahugeneraatoritesse, kus väljutamisel lisatakse emulsioonile õhk ning moodustub tulekustutusvaht. [20]

2.1.2. Sprinklersüsteem

Sprinklersüsteem on tulekahju avastamise ja veega kustutamise süsteem. Sprinklersüsteemi abil on võimalik tulekahju lokaliseerida. Sprinklersüsteem on enimkasutatud ja populaarne automaatne tulekustutussüsteem, mis on väga efektiivne tulekahju kustutaja. [18] Sprinklersüsteemi efektiivsus seisneb selles, et tulekahju jahutatakse veega pihustamisel. [24]



Selgitused

1	sprinkleripea	6	peajaotustoru
2	püstik	7	juhtsõlm
3	projekteerimise lähtepunkt	8	püstik
4	jaotustoru haru	9	harutorud
5	varstoru	10	langustoru

Joonis 2.2 Sprinklersüsteemi skeem [24]

Sprinklersüsteemi toimimiseks on vajalik veevarustus ja ühte või mitut pihustit. Süsteem paigutatakse tavaliselt katuse või lae alla. Sprinklerid aktiveeruvad kindlale temperatuurile, mis sisaldab tavaliselt ka 30 kraadi varu. [25] Sprinkleri aktiveerudes pihustatakse vett allpool olevale alale. Sprinklerid võivad asuda nii laes kui seintel.

Tänapäeva sprinklerid rakenduvad soojuse olemasolul, st ei tulekahju kustutavad ainult selle läheduses asuvad sprinklerid. Sprinklersüsteemid töötavad tavaliselt ruumi kaupa, sealjuures ei tohiks nende olemasolul järeldada, et ei ole muid tuleohutusmeetmeid vaja kasutusele võtta. [26]



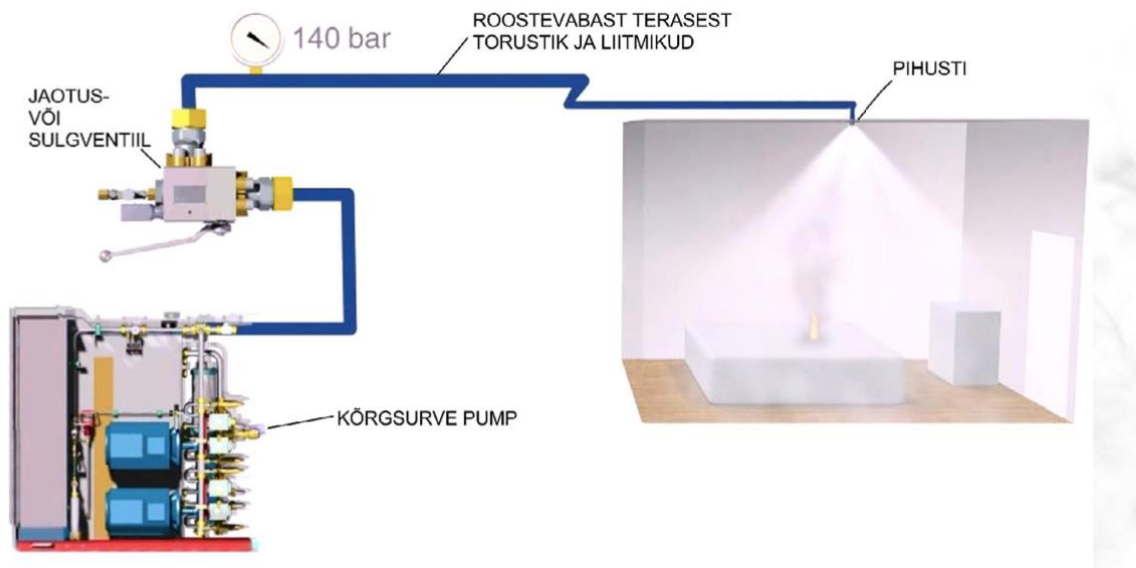
Joonis 2.3 Sprinklersüsteemi pihusti ehk sprinkler [23]

Sprinklersüsteemis on peatorustik, mis on varustatud veega. Süsteemis on rõhk vähemalt 3 bar. Piisava rõhu olemasolu tagab, et kõik pihustid töotaksid hästi ja pihustaksid ühtlase survega vett. Kui vähemalt üks sprinkler hakkab tööle, rakenduvad ka teised sprinklerid, mis on sama torustiku süsteemiga ühendatud. [25] Kui temperatuur tõuseb sprinkleri seadistuse piirini, puruneb sprinkleri klaasümbris, vedüüsilt eemaldub kork ning sprinkler hakkab vett pritsima.

2.1.3. Veeudu kustutussüsteem

Veeudu kustutussüsteem töötab samal põhimõttel nagu sprinklersüsteem, aga tekitatav rõhk on suurem. Kui sprinklersüsteemis on süsteemis rõhk kuni 3 bar, siis veeudu kustutussüsteemis on rõhk alates 60 bar. Selleks on ka spetsiaalsed pihustid, mis tekitavad veeudu. Rõhu suurus sõltub hoone ohuklassist. [27] Võrreldes tavaliste sprinkleritega, tarbib veeudu kustutussüsteem vähem vett. Paigaldatav torustik on samuti väiksema läbimõõduga. Ka pihustite tööraadius on suurem kui tavalise sprinklersüsteemi puhul. [25]

Kui andur registreerib tulekahju olemasolu, avanevad veeudu pihustid ja tekitatakse väga väikesed veetilgad (nagu udu, sellest ka nimi), mis neelavad põlemisel tekkivat energiat (st temperatuur langeb). Tulekahjus tekkiva kuumuse neelamisel muutuvad väikesed veetilgad auruks, suurendades vee mahtu 1680 korda. Auru eesmärk on suruda õhk tulekahjust välja ja jahutada põlemisgaase. Seega on veeudu kustutussüsteemid väga sobivad kohtadesse, kus on vähene veevarustus. [19]



Joonis 2.4 Sprinklersüsteemi pihusti ehk sprinkler [23]

Veeudu kustutussüsteemi skeem on sarnane sprinklersüsteemile, ainult, et kõikide osade mõõtmed on väiksemad. [23] Veeudu süsteeme soovitatakse tunnelite, maa-aluste rajatiste, muuseumide, arhiivide, kaabli kanalite, arvutite ja serveri ruumide ja muude elektrooniliste seadmetega ruumis aset leidva tulekahju kustutamiseks. [27]

2.1.4. Kohtkustutussüsteem

Kohtkustutussüsteem on ruumi osaline kustutamine automaatse tulekustutusseadme abil. Kohtkustutussüsteemi kasutatakse näiteks köögis (kubud, pliit jm võimalikult süttiva seadme juures) ning elektrikilpide ja liikumisvahendite mootorite (auto, buss, vedur jne) tulekahjude kustutamiseks. [3]



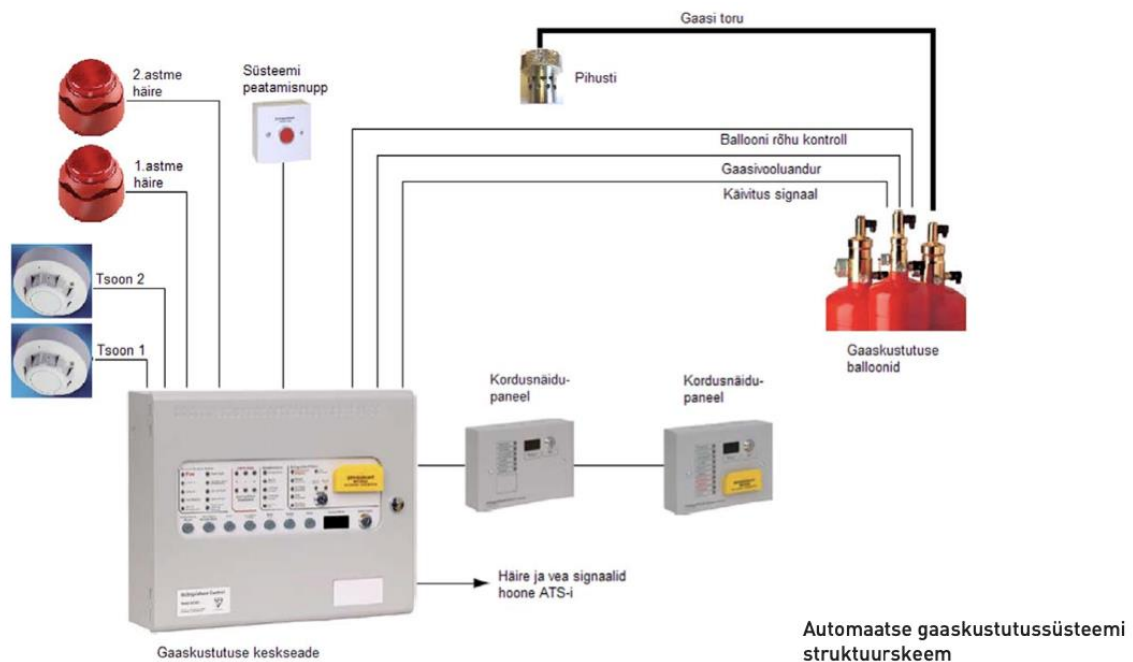
Joonis 2.5 Kohtkustutussüsteemi põhimõte köögis [23]

Kohtkustutussüsteem on efektiivne ja kustutab ainult konkreetse seadme, seega ei kaitse tulekustutussüsteem tervet ruumi, vaid kindlat tuleohuallikat. Kohtkustutussüsteemidel kasutatakse gaasi, vahtu, pulbrid ja vett, olenevalt seadme kasutusest ja omaniku eelistustest. [2]

2.1.5. Gaaskustutussüsteem

Gaaskustutussüsteem avastab tulekahju kiirelt ning likvideerib ohuallika. Gaassüsteem sobib kustutamiseks iga pinnaga aladel. Eelis vee ja vahuga kustutussüsteemide ees on see, et gaas ei tekita seadmetes korrosiooni. [27] Gaaskustutussüsteemides kasutatakse erinevaid gaase ja gaaside segusid, nt argooni, lämmastikku, argooni, nitrogeeni, süsihappegaasi [3].

Gaassüsteemi tööpõhimõte on rajatud põlemise keemilisele reaktsioonile. Gaaskustutussüsteem koosneb balloonidest või gaasimahutitest (vedel või kokkusurutud olek), torustikus ja pihustitest, juhtimisbaasist, tulekahju anduritest. [28] Gaaskustutussüsteemi skeem on toodud järgneval joonisel.



Joonis 2.6 Kohtkustutussüsteemi põhimõte köögis [23]

Gaaskustutussüsteemi on soovitatav kasutada ruumides, kus on veekartlikud seadmed, nt serverite ruumid, laod, televisiooni ruumid, laevad, väärtuslike asjadega muuseumid, väga kallite seadmetega alad, plahvatusohtlikud alad, raamatukogud ja arhiivid. Soovitatakse kasutada ka aku põlengute ärahoidmiseks. [27]

2.2. Automaatsete tulekustutussüsteemide standardi EVS-EN 12845:2015+A1:2020 analüüs

Käesolevas peatükis analüüsitakse standardit EVS-EN 12845:2015+A1:2020. [24] Eelmises alapeatükis käsitletud tulekustutussüsteemid on kõik efektiivsed, kuid näiteks gaaskustutussüsteem pole väga laialdaselt kasutatav, kuna inimeste evakuatsioon muutub gaasi kasutamisel keerukamaks [27]. Sprinklersüsteem on väga sarnane vahtkustutussüsteemile ja veeudu kustutussüsteemile, ainukese vahega, et vaht ja veeudu süsteemid on nõ sprinklersüsteemi edasiarendused [25]. Seega käsitleb ka analüüsitav standard automaatseid tulekustutussüsteeme sprinklersüsteemidest lähtuvalt.

Tuleohutusklassi määramisel ja sobiva automaatse tulekustutussüsteemi valikul tuleb arvestada hoone konstruktsiooniga, tulepüsivusega, evakuatsiooniteedega, signalisatsioonisüsteemiga, tuletõrje voolikusüsteemidega, järelevalvega ja hoone puhtusega. Tulekustutussüsteemi tuleb pidevalt hooldada, et mitte ohtu seada hoones töötavate inimeste elusid. [24]

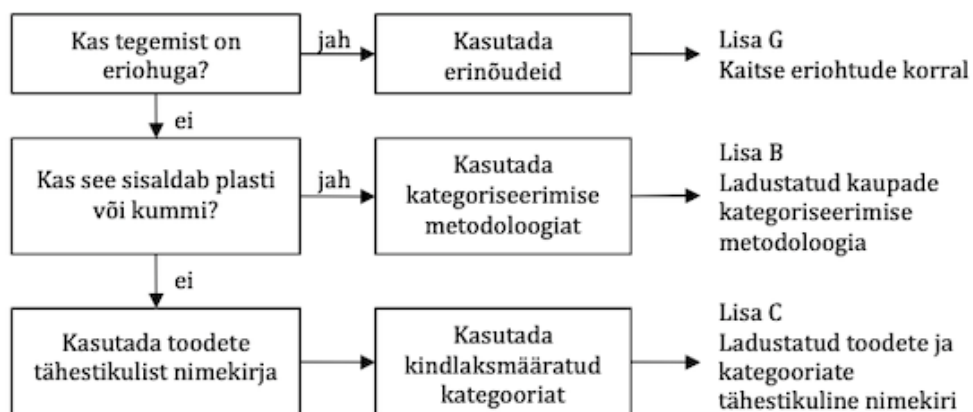
Tulekustutussüsteemi hindamisel tuleb määratleda selle üldine spetsifikatsioon ning lisama ka objekti asendiplaani, kus on kirjas installatsioonide tüübid ja tuleohutusklassid. Samuti tuleb märkida kaitsmata alad ja põhihoone läheduses olevad hooned. Lisaks tuleb märkida veervarustuse spetsifikatsioon, mis sisaldab andmeid surve ja vooluhulga kohta. [24] Sealjuures rõhutab töö autor, et automaatse tulekustutussüsteemi projekteerimine, hindamine ja paigaldamine peab olema teostatud sertifitseeritud isiku poolt, mistõttu on oluline eelnevalt nimetatud aspekte omanikul kaaluda ja hinnata, et spetsialistile võimalikult täpselt informatsiooni edastada.

Standard näeb ette, et kui planeeritakse sprinklersüsteemi kasutamist, tuleb nimetatud süsteemi kasutada terves hoones. Sprinklersüsteem ei pea olema pesemis- ja tualettruumides ning suletud trepikodades ja šahtides (nt liftides). Samuti pole nõutud sprinklersüsteemi kasutamine ruumides, mis on kaitstud muude tulekustutussüsteemidega (nt gaas, vaht jne). Sprinklersüsteemi ei pea paigaldama ka hoone nendesse osadesse, kus toimuvad mürgprotsessid. [24] Hoone esimesele korrusele on planeeritud töötajate puhkeruum koos riietusruumiga, millest saab dušinurka ja tualetti, seega riietusruumi ja hoone ladustamisosa on vajalik tulekustutussüsteem paigaldada. Samuti on ladustamisosa ehitatud teisele korrusele kontorihoone, kuhu on samuti vajalik tulekustutussüsteem projekteerida ja hiljem paigaldada. Mürgprotsesse ettevõttes ei toimu.

Standardi kohaselt ei tohi sprinklersüsteemi kasutada järgmistes hoonetes või seadmete alades: veega paisuvate ainete hoidlad; seadmed, mis kokkupuutel veega suurendavad tuleohtu (nt sulatusashjud, soolavannid); üldiselt aladel, kus vee kasutamine põhjustab ohtu. Nendel juhtudel on soovitatav kasutada gaaskustutussüsteeme või pulberlahendusi. [24] Kuna analüüsitava ettevõtte hoone ei vasta eelnimetatud tingimustele ning ei tegele sellise alaga, kus kasutatakse aineid või seadmeid, mis veega kokkupuutes muutuvad ohtlikuks, järeltab töö autor, et sprinklersüsteem sobib hoones kasutamiseks.

Ettevõtte ladustab tooteid ainult hoone sees ning omaniku sõnul ei ole plaanis tooteid välistingimustes ladustama hakata. Seega ei ole vajalik analüüsida standardi seda osa, mis käsitleb välistingimustes ladustamist ja kaitsmata hoone eraldamist, kuna ettevõttel on üks planeeritud hoone.

Järgnevalt tuleb standardi järgi analüüsida hoone tuleohtlikkusklassi. Jaotatakse enamasti neljaks klassiks: LH (madal), OH (keskmine tuleohtlikkus) ning HHS ja HHP (kõrge tuleohtlikkus). OH klassid jaotuvad neljaks, sealjuures võib materjale ladustada OH-klassiga hoonetes, kui kogu ruum on kaitstud vähemalt OH3 nõuetele kohaselt, ladustamiskõrgus ei ületa väärtuseid normi piires ja ladustamisploki pindala ei ületa 50m², ümber ploki vaba ruum vähemalt 2,4m. Toote ladustamiskõrgus sõltub ka sellest, millisesse kategooriasse toode kuulub. Suure ohuga tegevus ja ladustamine on selline, kus tegeletakse kiirelt süttiva materjaliga või võib areneda intensiivne tulekahju. [24]



Joonis 2.7 Ladustamisviisi ohuklassi määramine [24]

Töö autor analüüsis standardi lisaid ja tabelid ning omaniku esitatud andmeid ja leidis, et ladustatav materjal ja toode kuulub toote kategooriasse I ja ladustamisviisi ST1 (vaba paigutus ja plokkvirnastamine). I kategooria materjali ladustamiskõrgus võib olla kuni 4 meetrit [24], mis sobib ka omaniku antud kirjeldusega. Ettevõtte ja hoone omanik kinnitas, et toodete ladustamiskõrgus ei ulatu kõrgemale kui neli meetrit ning tegemist ei ole kergesti süttiva materjaliga. Eelnevast lähtuvalt hinnatakse hoone tuleohtlikkusklassiks OH1, seega tegemist on keskmise ohu grupiga.

Järgnevalt on tutvustatud standardi järgi nõudeid, mis kehtivad OH1 grupi hoonele. Projekteeritud pihustusintensiivsus peab olema vähemalt 5 mm/min. Pihusti peab katma märg- või eelrakendusüsteemiga 72m² ning sprinkleri kõrgus võib maksimaalselt olla 15m 55m³ veemahu juures, kuni 30m 70m³ veemahu juures ja kuni 45m 80m³ veemahu juures. Kuiv- või universaalsüsteemiga peab sprinkler katma 90m², sealjuures sprinkleri kõrgus võib 105m³ veemahu juures olla kuni 15m, 125m³ veemahujuures kuni 30m ja 140m³ veemahu juures kuni 45m. Märg- ja eelrakenduse puhul peab vooluhulk olema 375 l/min, surve vähemalt 1 bar, suurim vajalik vooluhulk 540 l/min. Kuiv- ja universaalsüsteemi puhul 725l/min, 1,4 bar ja suurim vooluhulk 1000 l/min. Kui kasutatakse veemahutit, siis väikseim veemaht survemahutis peab olema 23m³. [24]

2.3. Automaatsete tulekustutussüsteemide efektiivsuse hindamine ja valiku põhjendus

Käesoleva töös antakse soovitusi automaatse tulekustutussüsteemi valikul ehitatavale hoonele. Hoone omanik tagas piisavad lähteandmed, et analüüsi oleks võimalik läbi viia ja nendest lähtuvalt efektiivset tulekustutusmeetodit soovitada. Automaatsete tulekustutussüsteemide efektiivsuse hindamisel ja valikul lähtuti veekulust, kustutusajast (info teadusartiklites kättesaadav), hinnast, hoone iseloomust, ettevõtte tegevusalast (sh ladustatava materjali tuleohtlikkusest), süsteemi sobivust ohugrupiga.

Enimkasutatavad automaatsed tulesüsteemid on sprinklersüsteem, gaaskustutussüsteem ja veeudu kustutussüsteem. Vahtkustutussüsteem ei ole väga populaarne. [21] Sobiva automaatse tulekustutussüsteemi valimisel tuleb arvestada hoone ja seal ladustavate toodete iseloomuga. Sealjuures tuleb arvestada, milline süsteem on seadmete ja vara seisukohast mõistlik ning arvestada tuleb inimeste heaoluga. Automaatne tulekustutussüsteem ei tohi negatiivselt mõjuda tervisele (nt gaasi kasutamine). [27]

Olenevalt sprinkleri mudelist, on vahtkustutussüsteemi puhul tulekahju kustutamise aeg keskmiselt 60-120 sekundit. [21] Vahtkustutussüsteemid ja veeudu kustutussüsteemid on efektiivsemad kui tavaline sprinklersüsteem [20]. Gaas on samuti tõhus tulekustutussüsteem, seega tuleb arvestada hoiustavate toodete ja materjalide iseloomuga ja töötajate arvuga [28]. Sprinklersüsteemi edasiarendus on veeudu kustutussüsteem, mis tarvitab vähem vett ja on kustutusaja poolest efektiivsem. Ka veeudu kustutussüsteem on tõhus ning kustutab tulekahju 60-120 sekundi jooksul. [29] Sprinklersüsteem kasutab rohkem vett kui veeudu kustutussüsteem [26]. Vahtkustutussüsteemi puhul tuleb arvestada vahu kontsentraadi kasutamisega [20].

Hinnaklassi poolest on kõige odavam tavaliselt sprinklersüsteem ning kalleim vahtkustutussüsteem ja gaaskustutussüsteem [26].

Hoonel on kaks korrust, kus esimesel korrusel on suur ladustamisala ja ca veerand laohoone sisse on ehitatud teine korrus, kus asuvad kontoriruumid. Esimesel korrusel on puhkeruum koos riietusruumiga, kuskohast saab ka dušinurka ja tualetti. Seega esimene korrus on peamiselt mõeldud ladustamiseks ja teine osa mõne töötaja valduses, et ettevõtte tellimusi hallata ning kliente vastu võtta. Töövälisel ajal pole planeeritud hoone kasutamist. Tööaeg on tööpäevadel 8:00-18:00 ning laupäevadel 10:00-15:00. Pühapäeval pole planeeritud hoone kasutusaega.

Hoone ise kuulub OH1 klassi ning hoones ladustatakse madala põlemiskoormusega tooteid (kuni 600 MJ/m²). Automaatne tulekustutussüsteem on parim valik, et vähendada tulekahju levimist ja varaselt märgata ohu tekkimist [3]. Eriti oluline on kahju kiire likvideerimine ettevõtte hoones, et ettevõttele ei tekiks materjali kaotamise ja hoone hävimise näol suurt kahju. Kuna ladustamishoone on kõrge, siis inimeste ohutusest lähtuvalt on soovitatav projekteerida ja paigaldada automaatne tulekustutussüsteem, arvestades sealjuures projekteerimis-, paigaldus- ja hoolduskulusid. [24]

Töö autori analüüsi kohaselt on kõige mõistlikum projekteerida ja paigaldada tavaline sprinklersüsteem. Kuna hoone on ühendatud veevärgiga, milles on piisav surve ja veekogus saadaval ning hoones ladustatakse kergesti mittesüttivat toodet ja materjali, siis ei näe töö autor vajadust teha suuremaid kulutusi kallima automaatse tulekustutussüsteemi projekteerimiseks ja paigaldamiseks. Vahtkustutussüsteemi ja gaaskustutussüsteemi paigaldamine on keerulisem, kuna nendel on rohkem seadmeid ja osasid [20, 27]. Kuna laos hoiustatav toode pole vee poolt mõjutatav (sealjuures ei muutu veega kokkupuutel ohtlikuks), pole töö autori arvates vajalik kasutada vahtu või gaasi. OH1 ohugrupiga hoonete esitatavate nõuete kohaselt kui hoone poleks veevärgiga ühendatud ja veemaht oleks piiratud, siis oleks mõeldav kasutada ka veeudu kustutussüsteemi, mis tarbib vähem vett. Töö autor leiab, et kuna hoone on ühendatud veevärgiga, siis piisab ka tavaliselt sprinklersüsteemist. Kuna OH1 hoonete esitatavate nõuete kohaselt peab sprinklersüsteemi rõhk olema vähemalt 1-1,4 bar [24], sobib sprinklersüsteem automaatseks tulekustutussüsteemiks kõige paremini.

Sprinklersüsteemide projekteerimisel andis töö autor hoone omanikule informatsiooni erinevate automaatsete tulekustutussüsteemide osas, nt millised on nende peamised erinevused, millised automaatsed tulekustutussüsteemid on tõhusamad kui teised ja milline automaatne tulekustutussüsteem sobiks ettevõtte tegevusest ja hoone asukohast ja iseloomust lähtuvalt. Tulekustutussüsteemi paigaldamisel ja testimisel töö autor ei osale.

3. AUTOMAATSE TULEKUSTUTUSSÜSTEEMI ARVUTAMINE VALITUD HOONE JAOKS

3.1. Automaatse sprinklersüsteemi paigaldamise arvutamine

Töö autori soovitas projekteerida ja paigaldada uuritavasse hoonesse tavalise sprinklersüsteemi, millega oli ka hoone omanik nõus. Kuigi sprinklersüsteem tarbib rohkem vett kui veeudu sprinklersüsteem, leidsid nii töö autor kui ka hoone omanik, et sprinklersüsteem sobib võimaliku tulekahju kustutamiseks hästi. Kuna hoonel on piisava survega veevärgiühendus ja hoones ladustatakse kergesti mittesüttivat toodet ja materjali, siis ei näinud hoone omanik ega ka töö autor vajadust teha automaatse tuletõrjesüsteemi paigaldamiseks suuremaid kulutusi. Selleks, et anda hoone omanikule aimu, mis hinnaklassi sprinklersüsteemi projekteerimine ja paigaldus jääb, tegi töö autor esialgse kalkulatsiooni, mis annab aimu umbkaudsest hinnast ning ka hinnapäringuid erinevatesse automaatsete tulekustutussüsteemidega tegelevatesse ettevõtetesse.

Automaatse sprinklersüsteemi kalkulatsioonide puhul tuleb arvestada kolme põhilise elemendiga: veesüsteemiga, veevarustuse olemasoluga ja torustiku süsteemiga. Sealjuures on oluline arvestada, kui palju sprinklerpeasid ladu vajaks. Keskmiselt piserdab sprinklerpea 75-150 L/min, tagab veekihi 5 mm/min ning katab 9-12 m² suuruse ala [37].

Eelnevast lähtuvalt arvestame, et sprinklerpea katab ca 10,2 m² suuruse ala. Vajaminevate sprinklerpeade arvu (3.1) leidmiseks kasutame järgnevat valemit [38]:

$$\text{Sprinklerite üldarv} = \text{Lao suurus } m^2: \text{ ühe sprinkleri poolt kaetud ala} \quad (3.1)$$

Kui lao suurus on 1500m² ning üks sprinklerpea katab ära 10,2m² suuruse ala, siis arvutuste kohaselt läheb võimaliku tulekustutussüsteemi paigaldamiseks vaja vähemalt 147,05 sprinklerpead ehk 148 sprinklerpead. Arvestades lao suuruseks 50x30 meetrit, kujuneb sprinklerite torustik järgmiselt: 15 rida torusid paralleelselt laohoone lühema küljega, ühes reas 10 sprinklerit. Seega on kokku vaja 150 sprinklerpead. Seejärel tuleb arvutada minimaalne vooluhulk (3.2). Selleks on vaja sprinkleri tagatav veekiht (5mm/min) korrutada sprinklerite katvuse alaga (10,2m²). Arvutamiseks kasutame järgmist valemit [38]:

$$q = \text{tagatav veekiht } x \text{ sprinkleri katetav ala,} \quad (3.2)$$

kus q märgib konkreetse ala minimaalset vooluhulka. Arvutuse kohaselt saame, et minimaalseks vooluhulgaks 10,2 m² suuruse ala katmiseks peab olema 51 L/min. Sejärel arvutame sprinkleri minimaalse vooluhulga (3.3)[38].

$$q = kp^{0,5}, \quad (3.3)$$

kus q on sprinkleri minimaalne vooluhulk, k on sprinkleri K-faktor ning p on ohutusnõuete kohane minimaalne rõhk. Arvestame tulekustutussüsteemide projekteerimise ja paigaldamise ettevõtte arvamusel tuginedes sprinklerpea K-faktoriks 55. K-faktor näitab, kui palju vett sprinklerpea läbi laseb ehk mida väiksem number, seda rohkem takistab vee voolu. Mida suurem number, seda paremini laseb vett läbi. [39] Arvestame standardi järgi minimaalseks rõhuks 1,4 bar [24]. Seega kujuneks sprinklerpea minimaalseks vooluhulgaks:

$$q = 55 \times 1,4^{0,5} = 55 \times 1,183 = 65,07 \text{ L/min}$$

Valemite 3.1.2 ja 3.1.3 arvutusi võrreldes saab öelda, et minimaalselt tuleb arvestada vooluhulgaga 65,07 L/min. Seega saab arvutada ka minimaalset vajaminevat rõhku valemi 3.4 abil [38].

$$p = (q/k)^2 \quad (3.4)$$

Valemi kohaselt kujuneb minimaalseks rõhuks:

$$p = (65,07/55)^2 = 0,94 \text{ bar}$$

Kuna Eesti turul olevad sprinklerpead piserdavad keskmiselt 75-150 L/min, siis on minimaalse vooluhulga nõue täidetud. Iga 2,6m tagant asetseb liitmik koos sprinklerpeaga. Seega on lae alla vaja kokku vaja ca 390 m ning pumbasüsteemiga ühendamiseks ca 20 m torusid ning 150 liitmikku. Tulekustutussüsteemide projekteerimise ja paigaldamisega tegeleva ettevõttelt saadud informatsiooni põhjal maksab üks sprinklerpea keskmiselt 55 eurot, 32mm sisediameetriga keerrestatud tsinktoru meeter ca 13,2 eurot ning nendele sobiv liitmik ca 11 eur/tk. Seega kujuneb sprinklerpeade maksumuseks u 8250 eurot, laealuse torustiku maksumuseks 5412 eurot ja liitmike maksumuseks 1650 eurot. Ainuüksi laealuse sprinklersüsteemi materjalikuluks saab arvestada 15 312 eurot. Kuna laohoone on ühendatud veevõrgustikuga, mis tagab piisava veesurve ja rõhu, siis ei näe töö autor ega ka hoone omanik vajalikkus eraldi veemahutit soetada. Küll aga on vajalik sinna juurde soetada tuletõrjesüsteemi pump, mis tagab piisavaga rõhuga vee liikumise torustikku ja edasi sprinklerpeadesse. Kuna minimaalseks rõhuks on 0,94 bar ning standardi järgi võiks olla 1,4 bar, siis piisab töö autori arvates ka pumbast, mis tagab maksimaalseks rõhuks 2,2 bar. Tulekustutussüsteemide projekteerimise ja paigaldamisega tegeleva ettevõttelt saadud informatsiooni põhjal võib pumbasüsteemi keskmiseks hinnaks kujuneda 5289 eurot. Sprinklerpead, torustik, liitmikud ja pumbasüsteem kokku maksavad umbes

20 601 eurot, millele lisandub veel projekteerimis- ja paigaldustasud. Sprinklersüsteemi esialgne paigutus laos on kujutatud lisa 1.

Hinnapäringud saadeti 18. märtsil 2022 järgmistele ettevõtetele: Tondi Tulekaitse OÜ, Altemax OÜ (Safeline), Firetek OÜ, Antifire Tuleohutuslahendused OÜ, Budgetin OÜ, Elcomnet OÜ. Vastuseid ootas töö autor kuni 15. aprillini. Kuuest ettevõttest vastas neli ettevõtet, ettevõtete vastuste kohta on töö autor koostanud tabeli 3.1.

Tabel 3.1 Automaatse tulekustutussüsteemi hinnapäring [autori koostatud]

Ettevõte	Vastus
Tondi Tulekaitse OÜ	Ei vastanud
Altemax OÜ	Ei vastanud
Firetek OÜ	Suure töökoormuse tõttu ei võetud hinnapäringut töösse
Antifire Tuleohutuslahendused OÜ	Sprinklersüsteem 20 000 kuni 30 000 eurot
Budgetin OÜ	Sprinklersüsteem 40 000 eurot
Elcomnet OÜ	Sprinklersüsteem 35 000 eurot

Vastuse andnud ettevõtted vastasid juba esimese nädala jooksul ning Budgetin OÜ ja Elcomnet OÜ esindajad olid väga informatiivsed ja sõbralikud. Kuigi neil ei olnud kõiki vajalikke lähteandmeid hinnakalkulatsiooni tegemiseks, oskasid nad siiski anda suurusjärgu, millisesse vahemikku jäävad sprinklersüsteemide hinnad. Tabelist 3.1 nähtub, et enamjaolt jäävad sprinklersüsteemid suurusjärku 20 000 kuni 40 000 eurot. Töö autor leidis samuti arvutustele toetudes, et sprinklersüsteemi maksumuseks kujuneb ligi 21 000 eurot. Lähtuvalt hinnapäringutest suhtleb hoone omanik ettevõtetega edasi, annab neile täpsustavaid andmeid ning ka hoone omaniku otsustada jääb, millise ettevõtte teenuseid soovitakse kasutada.

Esialgse arvutuse juures osutus probleemseks see, et puudus hoone plaan ning sai koostada vaid umbkaudse joonise hoones asuva sprinklersüsteemi kohta. Teiseks probleemkohas oli asjaolu, et mitmed ettevõtted ei soovinud anda tagasisidet erinevate automaatsete tulekustutussüsteemide maksumuse osas ning nõudsid täpsustavad informatsiooni. Siiski leidis paar ettevõtet, kes olid nõus ja väheste detailide olemasolul umbkaudset hinnaklassi jagama.

3.2. Majanduslik efektiivsus

Sprinklersüsteemid on tõendanud end kui majanduslikult efektiivse automaatse tulekustutussüsteemina. Kuna sprinklersüsteem on üks odavamatest lahendustest, aitab see ettevõttel kokku hoida mitmekümneid tuhandeid eurosid.

Lisaks on võrreldes teiste automaatsete tulekustutussüsteemidega sprinklersüsteemide hoolduskulud suhteliselt madalad. Fraser-Mitchell jt (2013) leidsid enda uuringus, et sprinklersüsteemiga laohoonetes on keskmiselt 2-5 korda madalamad kulud kui

sprinklersüsteemita laohoonetes. Sprinklersüsteemid vähendada tuleohutusega seonduvaid kulusid. [30] Kuigi kulud seostuvad automaatselt rahalise ühikuga, siis ei pruugi kulud ja tulud olla ainult rahaliselt mõõdetavad.

Sprinklersüsteemi kui automaatse tulekustutussüsteemi majandusliku efektiivsuse hindamist saab läbi viia ka erinevatele teadusallikatele toetudes. Sprinklersüsteemi maksumust mõjutavad kogu süsteemi ulatus, veetorude materjal ja veevarustuse seisund ja selle olemasolu. Lisaks sõltub sprinklersüsteemi hind ka hoone kõrgusest. [30] Hoone kõrgus on suhteliselt standardne, mistõttu ei vaja sprinklersüsteemi projekteerimine ega ka paigaldamine erilahendeid. Kuna veevarustuse tase on analüüsitava piirkonnas piisav, siis ei ole vajadust lisamahutite järele, mis on samuti analüüsitava ettevõttele eeliseks ning aitab kulusid kokku hoida.

Majanduslikult efektiivseks teeb sprinklersüsteemi kasutamine märgtorudega, kus vesi on pidevalt valmisolekus ning tulekahju tekkimisel jõuab automaatne tulekustutussüsteem kiiremini reageerida ning väga kiiresti tekkinud ohu kõrvaldada. Seega kaasnevad kuivtorusüsteemi kasutamisega suuremad kulud. [31] Seega võib öelda, et majandusliku efektiivsuse seisukohalt on sprinklersüsteemiga kaasnevaid tulusid rohkem kui kulusid. Indrek Saare (2019) välja toodud kulude ja tulude võrdlus on toodud järgnevad tabelis.

Tabel 3.2 Sprinklersüsteemi tulud ja kulud [31]

Tulud	Kulud
Ärahoitud surmad	Süsteemi tootmine ja paigaldamine
Ärahoitud vigastused	Hooldus
Väiksem varakahju hoonele	Niiskuskahjustused süsteemi valehäire korral
Professionaalsete päästjate tegevuskulude säästmine	Süsteemi töös hoidmise energiakulu

Nagu tabelist nähtub, siis on võimalik sprinklersüsteemiga ära hoida inimeste surmasid, vigastusi ning varakahju. Sprinklersüsteem aitab kindlasti ära hoida varalist kahju, kuna aktiveerub ja alustab kustutustöid enne, kui päästeüksus kohale jõuab. [31] Seega saab öelda, et sprinklersüsteemi sotsiaalsed tulud ületavad sotsiaalsed kulud, mis muudab sprinklersüsteemi majanduslikult efektiivseks.

3.3. Keskkonnaohutus

Kaks kõige suuremat keskkonnaohutust mõjutavat tegurit on tulekahju korral vee kogus ja süsihappegaasi eraldumine. Sprinklersüsteemid kasutavad vett tõhusalt. Võrreldes tuletõrjevoolikuga kustutamist, on sprinklersüsteemid mitmeid korda tõhusamad, kuna kasutavad vähem vett. Kuna vesi on väärtuslik ressurss ja seda peab hoidma, siis on oluline tulekustutussüsteemi valikul hoida vett kokku. Samas ei ole sprinklersüsteemid

vee kokkuhoiu kohalt kõige parem lahendus, sest veeudu tulekustutussüsteem kasutab vett sadades kordades vähem. [24]

Samas kasutab sprinklersüsteem 50-91% vähem vett kui voolikuga kustutamine. Sprinklersüsteemi korral aktiveeruvad tulekahju lähedal olevad sprinklerid, mistõttu kasutatakse samuti vähem vett. [25] Siiski on sprinklersüsteem üks vähim ressursse ja elektrit tarbiv lahendus, mis ei mõju keskkonnale halvasti.

Sprinklersüsteem aitab kasvuhoonegaaside lendumist vähendada kuni 98%. Lisaks aitab sprinklersüsteem vähendada kõrge pH taseme tekkimist mullas, mis tavaliselt tekib voolikuga tulekahju kustutamisel. Eriti oluline on vähene vee kasutus just liivaste pinnaste põhjal, samuti ei tee üleujutus head ka mulla liigsele niisutamisele, kuna põlemisjäädid kantakse vee abil mulla sisse. Voolikusüsteem mõjutab ca 9 hektarit maad enda ümber, kuna vesi kandub maapinna abil ümbritsevasse keskkonda, mistõttu on sprinklersüsteemi kasutamine tõhusam. [32]

Sprinklersüsteem reageerib siis, kui tulekahju alles hakkab tekkima, mis tähendab, et tuli ja põlemisest eralduva suitsu saab kiiremini kustutatud. Seega väheneb tulest põhjustatud kahju hoonele endale kui ka keskkonnale selle ümber. Samuti väheneb märkimisväärselt erinevate materjalide põlemisest lenduvate ühendite arv. Samuti on sprinklersüsteemiga kahjustunud vee hulk väiksem ja üldine saaste tunduvalt madalam kui ainult voolikuga kustutamisel. [33] Sprinklersüsteem hoiab ära suitsust tekkiva kahju keskkonnale. Suitsu kinnitub hoone seintele ja lähiümbruses olevatele taimedele. Süsteem aga reageerib võimalikule tulekahjule kiirelt, vähendades suitsust tekkivaid kahjustusi. [32]

Teisest küljest seisneb keskkonnasäästlikkus ja -ohutus selles, kui palju uut materjali peab tootma pärast tulekahju, et taastada hoone esialgne seisund ja taastada materjalide ja toodete kogus laos. Samuti, kui palju energiat kulub eelnimetatud asjade tootmiseks ja taastamiseks ning millised kulud on nende asjade kohale toimetamisel. Seega on sprinklersüsteem keskkonnale ohutum, kuna varakult tuvastab ja kustutab tulekahju. [33]

Põlenud materjalid peab kokku koguma ja viima töötlemisse, kuid suure tõenäosusega visatakse põlenud materjal prügilasse. Seega, mida varem sprinklersüsteemid tulekahju avastavad, seda väiksem on põlenud materjalide hulk, mis viiakse prügilasse keskkonda rikkuma. Lisaks tuleb tulekahju korral arvestada ka remonttööde kuluga, nt kui katusesse põleb auk, siis ei tehta vaid auku korda, vaid vahetatakse kas osa katusest või terve katus välja. [32] Ka see on põhjus, miks sprinklersüsteemid on keskkonnale ohutumad variandid, kuna aitavad kokku hoida mitte ainult vee ressursi, vaid ka energiakulu, tööjõukulu, materjalikulu jm tulekahjuga seonduvaid kulusid.

3.4. Eluohutus

Sprinklersüsteem on üks usaldusväärsemad ja tõhusamad tulekahju kustutusmeetodeid, vähendades tulega seotud surmasid lausa 80% võrra. Siiski ei ole sprinklersüsteemide eesmärgiks laohoonetes ära hoida niivõrd inimkahjusid kui varakahjusid. Nagu ka varem mainitud, siis sprinklersüsteemi üheks suureks eeliseks on see, et süsteem märkab tulekahju suhteliselt varakult ning temperatuuri tõusu peale aktiveeruvad just tulekahju lähedal olevad sprinklerid. Tulekahjule kiire reageerimine ei lase tulel levida ega suureks areneda. Seega on suur roll sprinklersüsteemi omaduses alustada kustutustöödega enne päästemeeskonna jõudmist. [34]

Oluline on ka see, et veel endal ei ole inimese tervisele kahjulikke omadusi, mistõttu on sprinklersüsteemil eeliseid nt gaaskustutussüsteemi ja vahtkustutussüsteemi ees. Kuigi vahu koostisosad ei ole inimesele äärmiselt ohtlikud, võib vaht siiski sisaldada aineid ja keemilisi ühendeid, mille vastu osadel inimestel allergiline reaktsioon tekib. Gaaskustutussüsteemi kasutamine võib aga inimesi muuta uimasemaks või samuti osadel inimestel esile kutsuda allergilisi reaktsioone. [27]

Sprinklerite aktiveerumisest annab märku ka häirekell, mis annab lisa-aega ja võimaldab hoones olevatel isikutel kiiresti reageerida ning evakueerida. Sealjuures on hoonete omanikel oluline ka läbi mõelda, millised inimesed laohoones viibivad ning kas võib olla ka liikumispuudega inimesi või inimesi, kes ei suuda ohu korral kiiresti evakueerida. Evakueerimisplaanid on samuti soovitatav hoonesse märkida ning märgistada vastavalt ka hoonest väljumise kohad. See, et sprinklersüsteem annab varakult märku tulekahju olemasolust, ei tähenda, et hoones viibijaid tuleks sellevõrra aeglasemalt evakueerida. [35] Õnneks juhtub sprinkleritega laohoonetes väga vähe inimesid nõudvaid tulekahjusid.

Sprinklersüsteemi käivitumisel on tule põlemisel suitsu tekkimise aeg lühem, mistõttu on tal otsene positiivne mõju inimese tervisele. Seega kui võrrelda sprinklersüsteemita olukorda, siis hoones viibivad isikud võivad saada erinevaid tervisekahjustusi, nt sisse hingata liiga palju süsihappegaasi või põletushaavasid saada. Laohoone põlemisel on inimese tervisekahjustus ka sellest, mis hoone osa või materjalid põlevad ning milline suits keskkonda eraldub. Tulekahju varajane avastamine võimaldab kiirelt suitsusest keskkonnast eemalduda ning väljuda hoonest ka nii, et ei teki põletushaavasid või inimesed saavad minimaalseid vigastusi. Põletushaavade tekkimine on suuresti ka sellest, kus tulekahju aset leiab ning kas tulekahju on evakuatsiooniteele lähedal. Seega tuleb evakuatsiooniteede läbimõtlemisel analüüsida ka erinevaid hoonest väljumise võimalusi. [36] Sprinklersüsteemid muudavad inimeste töökeskkonna palju ohutumaks, mistõttu on soovitatav laohoonetes automaatset tulekustutussüsteemi kasutada.

KOKKUVÕTE

Tulekahjude arv on hakanud aastast-aastasse langema, mis võib olla seetõttu, et tuleohutusnõuded on aastatega karmimaks muutunud ning tulekustutustehnoloogia palju arenenud. Kuigi kasutuses mitteeluhoonete, sh ka laohoonete tulekahjude arv on suurenenud, jäävad numbrid marginaalseks ning inimkahju olematuks. Siiski üldine statistika näitab, et tööstushoonete tulekahjude arv on langustrendis. Seega on tuleohutusnõuete järgimine tulekahjude ennetamise aspektist tähtis.

Tulekustutussüsteemide eesmärgiks on avastada tulekahju ning vältida suuri kulusid. Siiski tuleb arvestada sellega, et lõpliku kustutamise teeb päästemeeskond või koolitatud personal, kes fikseerivad olukorra ja tagavad ohutuse. Automaatsed tulekustutussüsteemid jagunevad järgmiselt: vahtsüsteem, sprinklersüsteem, veeudu kustutussüsteem, kohtkustutussüsteem ja gaaskustutussüsteem. Selleks, et välja selgitada analüüsitava hoonele sobiv tulekustutussüsteem, võrdles töö autor esmalt erinevaid tulekustutussüsteeme ning nende efektiivsust.

Tänapäeva tulekustutussüsteemid on tõhusad ja valikul tuleb lähtuda hoone asukohast, veevarustusest ning ladustatavatest materjalidest. Sprinklersüsteem on enim levinud, selle edasiarendusteks on veeudu- ja vahtkustutussüsteemid, mis kasutavad vähem vett. Ida-Virumaal, Kohtla-Järve vahetus läheduses asub ehitusjärgus tööstushoone, mille üldpind on ca 1500 m². Tööstushoone on alles ehitamisel, st tegemist on täiesti uue hoonega, mitte renoveeritud vana hoonega. Kuna hoone on alles ehitusjärgus ning tööstushoone omanik ei jaganud hoone plaane töö autoriga, ei ole hoone paigutustest või ruumide arvust täpsemat ülevaadet. Selleks, et soovitada automaatset tulekustutussüsteemi, tuli eelnevalt töö autoril välja selgitada hoone tuleohtlikkusklass.

Hoone analüüsist selgus, et ladustatav materjal kuulub kategooriasse I ja ladustamisviisi ST1 (vaba paigutus ja plokkvirnastamine). Ettevõtte ja hoone omanik kinnitas, et toodete ladustamiskõrgus ei ulatu kõrgemale kui neli meetrit ning tegemist ei ole kergesti süttiva materjaliga. Eelnevast lähtuvalt hinnatakse hoone tuleohtlikkusklassiks OH1, seega tegemist on keskmise ohu grupiga. Seejärel tutvuti hoonele esitatavate nõuetega.

OH1 grupi hoonetele kehtivad standardist EVS-EN 12845:2015+A1:2020 tulenevad nõuded (pihustusintensiivsus 5 mm/min, katma märgrakendusüsteemiga 72m², kõrgus võib 80m³ juures olla maksimaalselt 45m. Sealjuures peab veesurve olema 1-1,4 bar. Lähtuvalt esitatavatest nõuetest ja automaatsete tulekustutussüsteemide

informatsioonist, leidis lõputöö autor, et kõige mõistlikum projekteerida ja paigaldada tavaline sprinklersüsteem. Kuna hoone on ühendatud veevärgiga, milles on piisav surve ja veekogus saadaval ning hoones ladustatakse kergesti mittesüttivat toodet ja materjali, siis ei näe töö autor vajadust teha suuremaid kulutusi kallima automaatse tulekustutussüsteemi projekteerimiseks ja paigaldamiseks. Kuna laos hoiustatav toode pole vee poolt mõjutatav (sealjuures ei muutu veega kokkupuutel ohtlikuks), pole töö autori arvates vajalik kasutada vahtu või gaasi.

Selleks, et anda hoone omanikule aimu, mis hinnaklassi sprinklersüsteemi projekteerimine ja paigaldus jääb, koostas töö autor esialgse kalkulatsiooni ning esitas hinnapäringud ka erinevatesse automaatsete tulekustutussüsteemidega tegelevatesse ettevõtetesse. Sprinklerpead, torustik, liitmikud ja pumbasüsteem kokku maksavad umbes 20 601 eurot. Hinnapäringute kohaselt jäävad enamjaolt sprinklersüsteemid suurusjärku 20 000 kuni 40 000 eurot. Lähtuvalt hinnapäringutest suhtleb hoone omanik ettevõtetega edasi, annab neile täpsustavaid andmeid ning ka hoone omaniku otsustada jääb, millise ettevõtte teenuseid soovitakse kasutada.

Töö kirjutamisel osutus probleemseks see, et hoone omanik ei jaganud hoone plaani ning töö autoril oli vaid mõningad näitajad, mille baasil hakata automaatse tulekustutussüsteemi kalkulatsiooni tegema. Seega sai töö autor koostada vaid umbkaudse joonise hoones asuva sprinklersüsteemi kohta. Teiseks probleemkohaks oli asjaolu, et mitmed ettevõtted ei soovinud anda tagasisidet erinevate automaatsete tulekustutussüsteemide maksumuse osas ning nõudsid täpsustavaid informatsiooni.

Sprinklersüsteemid on majanduslikult efektiivsed, sest on üks odavaim lahendus nii paigalduse kui hoolduse aspektist. Sprinklersüsteem aitab ära hoida surmasid ja vigastusi, suurt kahju hoonele ning kulutab vähem päästemeeskonna ressursi. Oluline on ka keskkonnaohutus, st et sprinklersüsteem kasutab kuni 91% vähem vett kui voolikusüsteem. Selle abil ennetatakse üleujutusi ning suitsust tekkivat kahju.

Sprinklersüsteem vähendab inimeste surmasid, kuna märkab tulekahju varakult ning tulekahju peale aktiveeruvad just tulekahju lähedal olevad sprinklerid. Kiire reageerimine ei lase tulel levida ega suureks areneda. Sprinklerite aktiveerumisest teavitab häirekell, mis võimaldab inimestel kiirelt reageerida ja evakueerida, st et ka inimeste poolt sisse hingatava suitsu kogus on vähene ja väheneb põletushaavade tekkimise tõenäosus. Sprinklersüsteemid muudavad inimeste töökeskkonna palju ohutumaks, mistõttu on soovitatav laohoonetes automaatset tulekustutussüsteemi kasutada.

SUMMARY

Automatic fire extinguishing system in an industrial building

The number of fires has started to decrease, which may be because fire safety requirements have become stricter over the years and firefighting technology has evolved a lot. Although the number of fires in non-residential buildings, including warehouses, has increased, the numbers remain marginal, and the number of human damages is non-existent. However, general statistics show that the number of fires in industrial buildings is on a downward trend. Compliance with fire safety requirements is therefore important from the point of view of fire prevention.

In Ida-Viru County, near Kohtla-Järve, is an industrial building under construction, with the capacity ca 1500m². The industrial building is still under construction, i.e., it is a completely new building, not a renovated old building. As the building is still under construction and the owner of the industrial building did not share the plans of the building with the author of the thesis, there is no more detailed overview of the layouts of the building or the number of rooms. The current problem is the inadequacy of the automatic fire extinguishing system of an industrial building.

Hence, the aim of the thesis is to improve the fire safety of modern industrial buildings. To achieve the objective, the author of the thesis set following tasks:

1. analyze the current level of fire safety in industrial buildings.
2. Assess modern fire extinguishing systems for their effectiveness.
3. Calculate the automatic fire extinguishing system for the selected building.

Nowadays there are significantly stricter fire safety requirements for industrial buildings than about 40 years ago. To assess the fire safety of an industrial building and check compliance with fire safety requirements, the author of the thesis evaluated various aspects: fire safety class, location, water supply etc.

Firstly the author evaluated different automatic fire extinguishing systems foam system, sprinkler system, water mist extinguishing system, local extinguishing system and gas extinguishing system. Regarding the aspect of the building, the author made suggestion to owner, which automatic fire extinguishing systems fits most.

The sprinkler system is very similar to the foam extinguishing system and the water mist extinguishing system, with the only difference that the foam and water mist systems are further development of the so-called sprinkler system and use many times less water. The analysis of the building in Ida-Viru County revealed that the stored material belongs to category I and the storage method ST1 (free layout and block

stacking). Based on the above, the building is assessed as the flammability class OH1, so it is an average hazard group.

According to the analysis of the author of the thesis, it is most reasonable to design and install an ordinary sprinkler system. Since the building is connected to a water supply in which sufficient pressure and a body of water is available, and a non-combustible product and material is stored in the building, the author of the work does not see the need to make higher costs for the design and installation of a more expensive automatic fire extinguishing system.

In order to give the owner of the building an idea of the price range, the author prepared an initial calculation and also submitted price inquiries to various companies engaged in automatic fire extinguishing systems. Sprinkler heads, piping, fittings, and a pumping system together cost around 20,601 euros. For the most part, various companies suggested that sprinkler systems range from 20,000 to 40,000 euros. Based on price inquiries, the owner of the building communicates with the companies, gives them clarifying information, and it is also up to the owner of the building to decide which company's services are to be used.

Sprinkler systems are economically efficient, as it is one of the cheapest solutions, the maintenance costs are low. Another important aspect is environmental safety, which also makes the sprinkler system effective, since it uses up to 91% less water, hence preventing flooding. The sprinkler system reduces people's deaths by noticing a fire early and by activating sprinklers near the fire. A quick response does not allow the fire to spread or develop. Sprinklers start the alerted that allows people to react quickly and evacuate, i.e. that the amount of smoke inhaled by people is also small and the likelihood of burns is reduced. Sprinkler systems make the working environment of people much safer, so it is recommended to use an automatic fire extinguishing system in warehouses.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Päästeamet. Tulekahjud 2020. aastal. [Online] <https://www.rescue.ee/files/2021-03/tulekahjudvaelisveebiversioonmaerts.pdf?311469723e> (17.03.2022).
2. Mahile, N., Chakole, D., Kotangale, N., Charde, M., Pendam, T., Sawwashere, S. Review on Existing Fire Monitoring and Extinguishing Systems In Various Domain Verticals. – Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2021, 23. [E-ajakiri] _____ (https://www.researchgate.net/profile/Supriya-Sawwashere/publication/349908397_Review_on_Existing_Fire_Monitoring_and_Extinguishing_Systems_In_Various_Domain_Verticals/links/61e91d93dafcdb25fd3a81ef/Review-on-Existing-Fire-Monitoring-and-Extinguishing-Systems-In-Various-Domain-Verticals.pdf)(16.03.2022).
3. Sarang, S., Kahane, S., Matsagar, M., Kokane, V., Varade, A. Automatic Fire Extinguisher system. – International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2019, 6. [E-ajakiri] (<https://www.irjet.net/archives/V6/i3/IRJET-V6I31308.pdf>)(18.03.2022).
4. Siseministri 30.03.2017 määrus nr 17 „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded”. [Online] <https://www.riigiteataja.ee/akt/123022021013> (11.03.2022).
5. Strömpl, J. Juhtumiuurimus. [Online] <https://samm.ut.ee/juhtumiuurimus> (12.03.2022).
6. Päästeamet. Hoonetetulekahjud. [Online] <https://www.rescue.ee/et/hoonetulekahjud> (13.03.2022).
7. Päästeamet. Kasutuses ja osaliselt kasutuses hoonete tulekahjud 2016. aastal. [Online] <https://www.rescue.ee/files/2016-hoonetulekahjud.pdf> (15.03.2022).
8. Päästeamet. Kasutuses ja osaliselt kasutuses hoonete tulekahjud 2017. aastal. [Online] <https://www.rescue.ee/files/2017-hoonetulekahjud.pdf> (15.03.2022).
9. Päästeamet. Tulekahjud 2019. aastal. [Online] <https://www.rescue.ee/files/2021-03/2019-tulekahjud.pdf> (17.03.2022).
10. Päästeamet. Kasutuses ja osaliselt kasutuses hoonete tulekahjud 2015. aastal. [Online] <https://www.rescue.ee/files/2015-hoonetulekahjud.pdf> (15.03.2022).
11. Käerdi, H., Angelstok, F., Luht, K., Valge, A., Ambel, A. Ehituslike tuleohutusnõuete asjakohasuse analüüs. [Online] https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjQmNSPgdt2AhXk_CoKHZTMD8EQFnoECAoQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.siseministeerium.ee%2Fmedia%2F302%2Fdownload&usg=AOvVaw0AdRYdpWVewuuWeGaY8tvw (18.03.2022).
12. Tuleohutuse seadus, RT I, 22.03.2021, 9. [Online] <https://www.riigiteataja.ee/akt/122032021009> (19.03.2022).

13. [Siseministri 10.02.2011 määrus nr 1 „Nõuded tuleohutuse enesekontrollile ja tuleohutusaruandele ning tuleohutusaruande koostamise kohustuslikkuse kriteeriumid“](https://www.riigiteataja.ee/akt/102022021003). [Online] (18.03.2022).
14. [Siseministri 16.02.2021 määrus nr 7 „Tuleohutusülevaatuse toimingud, tuleohutusülevaatuse tegemise erisused, tuleohutusülevaatuse akti sisu ja teavevahetuse kord“](https://www.riigiteataja.ee/akt/123022021007). [Online] (18.03.2022).
15. [Standardiseeria EVS 812](https://etel.ee/tegevusvaldkonnad/standardid/standardiseeria-evs-812). [Online] (18.03.2022).
16. [Lau, D., Qiu, Q., Zhou, A., Chow, C. L. Long term performance and fire safety aspect of FRP composites used in building structures. – Construction and Building Materials, 2016, 126.](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816314593) [E-ajakiri] (20.03.2022).
17. Ehitise tuleohutus. Osa 4: Tööstus- ja laohoonete ning garaažide tuleohutus: EVS-812-4:2018. [Online] <https://www.evs.ee/et/evs-812-4-2018> (20.03.2022).
18. Zakhmatov, V. V., Silnikov, M. V. Overview of impulse fire-extinguishing system applications. – Journal of Industrial Pollution Control, 2016, 32(2). [E-ajakiri] ([https://www.researchgate.net/publication/316696795 Overview of impulse fire-extinguishing system applications](https://www.researchgate.net/publication/316696795_Overview_of_impulse_fire_extinguishing_system_applications))(23.03.2022).
19. Mawhinney, J. R., & Back, G. G. Water Mist Fire Suppression Systems. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2016. [E-ajakiri] (https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-2565-0_46)(24.03.2022).
20. Chen, T., Fu, X., Bao, Z., Xia, J., & Wang, R. Experimental Study on the Extinguishing Efficiency of Compressed Air Foam Sprinkler System on Oil Pool Fire. – Procedia Engineering, 2018, 211. [E-ajakiri] (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817363713>)(25.03.2022).
21. Kamluk, A., Likhomanov, A. Increasing foam expansion rate by means of changing the sprinkler geometry. – Fire Safety Journal, 2019, 109. [E-ajakiri] (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379711219301559>)(25.03.2022).
22. Fire Suppression Systems. [Online] <https://www.yamatoprotec.co.jp/en/products/fss/foam-2/> (29.03.2022).

23. Tondi Tulekaitse OÜ. Tuleohutuspaigaldiste ja päästevahendite rakendamise juhend haiglatele ja hooldekodudele. [Online] <https://www.rescue.ee/files/2019-03/tuleohutuspaigaldiste-rakendamise-juhis.pdf?b7fdd4c477> (31.03.2022).
24. Paiksed kustutussüsteemid. Automaatsed sprinklersüsteemid. Projekteerimine, paigaldamine ja hooldus: EVS-EN 12845:2015+A1:2020. [Online] <https://www.evs.ee/et/evs-en-12845-2015%2Ba1-2020> (01.04.2022).
25. Wu, F., Cui, Y., Qu, F., & Mai, L. Experimental Study on Fire Extinguishing Characteristics of Automatic Sprinkler System. 2015 Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications, 2015. [E-ajakiri] <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7462641> (01.04.2022).
26. Park, J., Kwark, J. Experimental Study on Fire Sources for Full-Scale Fire Testing of Simple Sprinkler Systems Installed in Multiplexes. – Fire, 2021, 4. [E-ajakiri] <https://www.mdpi.com/2571-6255/4/1/8> (01.04.2022).
27. Cui, Y., Liu, J. Research progress of water mist fire extinguishing technology and its application in battery fires. – Process Safety and Environmental Protection, 2021, 149. [E-ajakiri] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582021001178> (02.04.2022).
28. Russoa, P., Barbib, C. D., Mazzaroc, M., Rosac, A. D., Morriellod, I. Effective Fire Extinguishing Systems for Lithium-ion Battery. – Chemical Engineering Transactions, 2018, 67. [E-ajakiri] https://iris.uniroma1.it/retrieve/handle/11573/1179727/865436/Russo_Effective-fire-extinguishing_2018.pdf (02.04.2022).
29. Zhou, Y., Bu, R., Gong, J., Zhang, X., Fan, C., Wang, X. Assessment of a clean and efficient fire-extinguishing technique: Continuous and cycling discharge water mist system. – Journal of Cleaner Production, 2018, 182. [E-ajakiri] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618303524> (02.04.2022).
30. Fraser-Mitchell, J., Williams, C. Cost Benefit Analysis of Residential Sprinklers, Final report, 2012. [Online] www.cfoa.org.uk/download/22311 (13.04.2022).
31. Saar, I. Tuletõrje sprinklersüsteemid mitteeluhoonetes: sotsiaalne tulu-kulu analüüs, 2019. [Online] https://digiriitul.sisekaitse.ee/bitstream/handle/123456789/2299/spinkler%20uuringuraport_FIN.PDF?sequence=1&isAllowed=y (13.04.2022).
32. Meyer, T. C., & Hancke, G. P. Design of a smart sprinkler system. TENCON 2015 - 2015 IEEE Region 10 Conference. [E-ajakiri] <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7372834> (13.04.2022).

33. Nursyahid, A., Aprilian, T., Setyawan, T. A., Helmy, Nugroho, A. S., & Susilo, D. Automatic Sprinkler System for Water Efficiency Based on LoRa Network. 2019 6th International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE). [E-ajakiri] <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8904278> (14.04.2022).
34. McCarthy, N. Fire protection and life safety analysis of a modern distribution facility. - Fire protection engineering, 2015, 44. [E-ajakiri] https://digitalcommons.calpoly.edu/fpe_rpt/44/ (15.04.2022).
35. Ding, L., Khan, F., & Ji, J. Risk-based safety measure allocation to prevent and mitigate storage fire hazards. - Process Safety and Environmental Protection, 2020, 135. [E-ajakiri] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582019308705> (15.04.2022).
36. Suvar, M. C., Simon-Marinica, A., Suvar, N-S., Ghicioi, E., Nicola, A. Numerical modeling of water sprinkler interaction with fire spread and smoke layers. - International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 2019, 19. [E-ajakiri] <https://www.proquest.com/openview/24fad8a5f1c4dabc7edaa9401a27fb5c/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1536338> (15.04.2022).
37. Budgetin. Sprinklersüsteemid. [Online] <https://www.budgetin.ee/sprinkler/> (10.05.2022).
38. Canute. How to calculate a fire sprinkler system. [Online] <https://canutesoft.com/hydraulic-calculation-for-fire-protection-engineers/how-to-calculate-a-fire-sprinkler-system?msclkid=1b6b70caaf9411ecabaaa423ddf338a9> (10.05.2022).
39. Engr. Kamal. Design of automatic fire sprinkler system. [Online] https://www.kamal-mech-engr.com/files/ugd/ef716f_a012aaa7fdc84a9d830e5a591bb459d8.pdf (10.05.2022).

