

Sisekaitseakadeemia

Päästekolledž

Silver Part

RK060

TULEKAHJU ARENGU MATEMAATILINE
MODELLEERIMINE JA KUSTUTAMISEKS
VAJAMINEVATE RESSURSSIDE ARVUTUS SOLARIS
KESKUSE NÄITEL

Lõputöö

Juhendaja:

Peeter Randoja, MA

Tallinn 2010

ANNOTATSIOON

Kolledž: PÄÄSTE	Kuu ja aasta: Märts 2010
Töö pealkiri: TULEKAHJU ARENGU MATEMAATILINE MODELLEERIMINE JA KUSTUTAMISEKS VAJAMINEVATE RESSURSSIDE ARVUTUS SOLARIS KESKUSE NÄITEL	
Töö autor: Silver Part	Olen nõus oma lõputöö kättesaadavaks tegemisega elektroonilises keskkonnas.
	Allkiri:
<p>Lühikokkuvõte:</p> <p>Töö koosneb 5 peatükist 39 lehel, sisaldab 4 tabelit. Lõputöö on koostatud eesti keeles ja võõrkeelne kokkuvõte vene keeles.</p> <p>Uurimisobjektiks on Solaris keskuses oletatava tulekahju arengu matemaatiline modelleerimine ja kustutamiseks vajamineva ressursi liik ja määr. Uurimismeetodina kasutati matemaatilist modelleerimist, uuriti asjakohast seadusandlust ning erialast kirjandust.</p> <p>Lõputöö eesmärgiks on püüda modelleerimise ja analüüsi teel selgitada antud objektile tulekahjude kustutamiseks vajaminevate ressursside hulk ja vastavus väljasõiduastme järgi reageerivale.</p> <p>Töö tulemusel arvutati välja Solaris keskuses kahes tuletõkkeseksioonis tulekahju likvideerimiseks vajalik ressurss ja seda tööd saab kasutada selle objekti kohta operatiivplaani koostamisel, samuti operatiivteenistuse õppematerjalide koostamisel.</p> <p>Välja selgitati ka, et matemaatilise modelleerimise meetodil väljaarvutatud ressurss ületab oluliselt väljasõiduastme järgi reageerivat ressurssi.</p>	
Võtmesõnad: tulekahju areng ja levimiskiirus, põlemispindala, kustutuspinna, kustutusaine andmise intensiivsus, matemaatiline modelleerimine	
Keywords: diffusion of fire and it's speed, burning area, extinguish area, grade of callout, intensity of giving extinguishing substance, mathematical modelling	
Säilitamise koht:	
Vastab lõputöö nõuetele	
Juhendaja:	Allkiri:
Kaitsemisele lubatud	
Kolledži direktor:	Allkiri:

SISUKORD

ANNOTATSIOON.....	2
SISUKORD	3
MÕISTETE JA LÜHENDITE SELGITUS.....	5
SISSEJUHATUS	7
1. ÜLDINE TEOORIA, MÕISTED JA VALEMID	8
1.1. Tulekahju	8
1.1.1. Põlemise joonlevimiskiirus.....	9
1.1.2. Põlemispindala ja selle suurenemine.....	9
1.1.3. Põlemise katkestamine.....	10
1.1.4. Tuldkustutavad vahendid.....	11
1.1.5. Tuldkustutavate vahendite kulu määramine	12
2. MEELELAHUTUS- JA KAUBANDUSHOONETE TULETÕRJETAHTIKALINE ISELOOMUSTUS	14
2.1. Võimalikud ohud	15
2.2. Taktika	16
2.2.1. Luure.....	16
2.2.2. Evakuatsioon.....	16
2.2.3. Kustutamine	17
2.2.4. PTJ-i meespea	18
3. SOLARIS KESKUSE TULEOHTLIKKUSE ISELOOMUSTUS.....	19
3.1. Üldine tuleohutusjuhend.....	19
3.2. Reageerivad jõud	23
3.3. Päästetehnika kogunemiskoht.....	24
3.4. Piirkonna vesivarustus	24
4. TULEKAHJU ARENGU MATEMAATILINE MODELLEERIMINE.....	25
4.1. Algandmed.....	25
4.2 Põlemispindala erinevatel ajahetkedel.....	27
4.2.1 Kaupluse põlemispindala esimese kustutusjoo andmisel	27
4.2.2. Lava põlemispindala esimese kustutusjoo andmisel	27
4.2.3. Kaupluse tulekahju pindala lisajugade andmisel.....	27
4.2.4. Lava tulekahju pindala lisajugade andmisel	28
4.3. Kustutuspiindala	28
4.3.1. Kaupluse tulekahju kustutuspiindala 22. minutil.....	28
4.3.2. Lava tulekahju kustutuspiindala 22. minutil.....	28
4.4. Veekulu.....	28
4.5. Vajaminev inimeste arv	29
4.5.1. Kaupluse tulekahju lokaliseerimiseks vajalik inimressurss.....	30
4.5.2. Kontserdisaali lava tulekahju lokaliseerimiseks	30
4.6. Vajaminev meeskondade arv	31
4.7. Vajaminev põhiautode arv	31
5. JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD.....	33
5.1. Järeldused	33
5.2. Ettepanekud	33
KOKKUVÕTE	35
TABELITE JA JOONISTE LOETELU	36
PEZIOME	36
VIIDATUD ALLIKATE LOETELU	38

Lisa 1. Solaris Keskuse 0-korruse plaan	38
Lisa 2. Solaris Keskuse 2. korruse plaan	39

MÕISTETE JA LÜHENDITE SELGITUS

ATS- automaatne tulekahjusignalisatsioonisüsteem – süsteem, mis annab automaatselt teate tekkinud tulekahjust, samuti oma töövalmidust ohustavst rikkest. (Siseministri 7. juuni 2002 a määrus nr 80. Nõuded tulekahjusignalisatsioonisüsteemidele 2003: § 2 p7. RTL 2002, 78, 1202. Edaspidi : Nõuded tulekahju-signalisatsioonisüsteemidele).

ATKS- automaatne tulekahjukustutusüsteem – automaatne nõuetekohastel vahekaugustel ja kõrgustel paigaldatud sprinkleripeadega survestatud tulekustutusveetorustiku süsteem, mis on ette nähtud tulekahju avastamiseks, lokaliseerimiseks ja kustutamiseks. Torustik on ühendatud seadmestiku juhtimise ventiilidega, häireseadmega ja kustutusvee allikaga. (Eesti Standard EVS 812-1:2002 Ehitise tuleohutus osa I : Sõnavara, lk. 14, edaspidi sõnavara)

Esmane tulekustutusvahend – ühe inimese poolt kasutatav tulekustutamiseks ettenähtud vahend. (Siseministri 30.06.1998 a määrus nr 19. Nõuded esmastele tulekustutusvahenditele ja nende vajadus 1998: § 2 p6. RTL 1998, 220/221, 875. Edaspidi: Nõuded esmastele tulekustutusvahenditele ja nende vajadus)

Keskseade – seade, mille abil antakse tulekahju anduritele nende tööks vajalik energia ja mida kasutatakse andurite poolt antud tulekahju teate vastuvõtmiseks, teate kuuldavaks ja nähtavaks tegemiseks ning tulekahjukolde asukoha kindlaksmääramiseks, teatedastamissüsteemi kaudu tulekahjust Häirekeskusse teatamiseks ning automaatse tulekahju-signalisatsioonisüsteemi korrasoleku kontrolliks ning rikke kuuldavaks ja nähtavaks tegemiseks. (Nõuded tulekahjusignalisatsioonisüsteemidele 2003: § 2 p11)

Põlemise joonlevimiskiirus - põlemise progresseeruva liikumise tee pikkus põlevaine pinnal ajaühiku vältel. (Danilov, M. Devlišev, F, Jevtjuškin, N., Kimstatš, I., 1976: lk 41, Tuletõrje taktika I osa. Edaspidi Danilov jt 1976)

Põlemise katkestamine - järjestikuliste ja sihipäraste toimingute füüsikaline või keemiline protsess, mille tulemusena põlemine katkeb. (Danilov jt 1976:52)

Päästeressursid – päästeteenistuses operatiivses valmisolekus olev isikkoosesis ning päästetehnika ja –vahendid. (Päästeameti kohalike päästeasutuste väljasõidukord 2007: p 1.1.2)

Tuldokumentavad vahendid - ained ja materjalid, mille abil luuakse põlemise lakkamist tagavad tingimused. (Danilov jt 1976:54)

Tuldokumentavate vahendite intensiivsus - tuldokumentava vahendi kogus, mida antakse ajaühiku (sekundi) jooksul põlemispindala või põleva ruumi mahu ühiku kohta. (Danilov jt 1976:71)

Tulekahju – väljaspool spetsiaalset kollet toimuv kontrollimatu põlemisprotsess, mida iseloomustab kuumuse ja suitsu eraldumine ning millega kaasneb varaline või muu kahju. (Sõnavara, lk 18)

Tulekaitsetase – hoone tulepüsivusklassi ning selle tulekustutus- ja häireseadmetega varustatuse ning nende tõhususe kokkuleppeline näitaja. (Sõnavara, lk 19)

Tuleohuklass – hoones (ruumis) toimuva tegevuse või tehnoloogilise protsessi iseärasuste, selles kasutatavate ainete või materjalide omadustel põhinev, ehitise sees tuleohtu klassifitseeriv näitaja, mida väljendatakse põlemiskoormusega. (Eesti Standard EVS 812-4:2005 Ehitise tuleohutus osa I : lk. 14)

Suitsusukeldumine - päästetöödel hingamisaparaadis sisenemine suitsu ja põlemisgaasidega täidetud keskkonda eesmärgiga päästa inimesi ja vara ning teha teisi vajalikke päästetöid. (Päästetööde suitsusukeldumise eeskiri. Vastu võetud siseministri 23.02.2000. a määrusega nr 5 2000: §1 lg 2 (RTL 2000, 32, 434), jõustunud 01.10.2000. Edaspidi Päästetööde suitsusukeldumise eeskiri)

SISSEJUHATUS

Taasiseseisvumise järgselt alanud ja kuni viimase ajani kestnud majanduskasvu tingimustes on kiiresti edenenud kinnisvaraarendus. Eluasemete kõrval on jõudsalt valminud ka suuri ärihooneid. Vaba turumajanduse tingimustes on ehitatavad hooned muutunud suuremaks ja keerulisemaks. Iga omanik püüab oma ärihoone erilise, teistest erineva projekti järgi rajada, et kliente meelitada. Päästeteenistusele teeb selline areng töö keerulisemaks, tuleb rohkem tutvumisõppuseid korraldada ja konkreetsete hoonete kohta praktilisi teadmisi omandada. Solaris keskus on hetkel uusim ja seega kaasaegseim meelelahutus- ja kaubandushoone Eestis. Keskuses on läbi viidud tutvumisõppuseid PEPK isikkooseisule. Operatiivplaani antud objektile aga ei ole koostatud. Keskuses ei ole toimunud suuremaid õnnetusi, mille puhul oleks PEPK meeskondade abi tarvis olnud (v.a. 13.10.09 sündmus, mis ei olnud seotud põlemisega). Töö tulemusel saadud teadmisi saab kasutada sellel objektil läbiviidavate õppuste korraldamisel ja reaalse õnnetuse likvideerimise kavandamisel. Töö võib olla abiks selle objekti kohta operatiivplaani koostamisel.

Töö eesmärgiks on koostada Solaris keskuse tuletõrjetaktikaline iseloomustus, analüüsida võimalike tulekahjude arenemist matemaatilise modelleerimise meetodil ja arvutada välja tulekahju likvideerimiseks vajalikud päästeressursid. Analüüsida sellele objektile käskkirja järgi antava väljasõiduastme ühtimist reaalse eeldatava vajadusega.

Esialgseteks uurimisülesanneteks on hinnata võimaliku tulekahjuga kaasnevate riskide laadi ja mahtu, päästetöödel tekkida võivaid raskuseid ning vajalikku päästeressurssi. Kas Tallinnas on sellel objektil suure tulekahju kustutamiseks vajalikud ressursid pidevalt operatiivses valmisolekus.

1. ÜLDINE TEOORIA, MÕISTED JA VALEMID

1.1. Tulekahju

Tulekahju on kontrollimatu põlemine väljaspool selleks ettenähtud tulekollet, mille tagajärjel kasutult ja tagastamatult hävivad või rikneb vara ning mis ohustab inimeste elu ja tervist. Tulekahjuga kaasnevad mitmed keemilised ja füüsilised nähtused: keemiline ahelreaktsioon, soojuse eraldumine ja ülekanne, põlemissaaduste eraldumine ja laialikandumine ning gaasivahetus. Kõik need nähtused on omavahel seotud ning kulgevad üldiste keemia- ja füüsikaseaduste põhjal. Iga nähtus avaldab tulekahju protsessile teatud mõju. Kõiki tulekahjul esinevaid nähtusi iseloomustavad geomeetrilised ja füüsilised näitajad ehk parameetrid. Parameetrite väärtused võimaldavad kindlaks määrata iga nähtuse arvilise näitaja, mis on vajalik tulekahju olukorra hindamiseks ja kustutamise otsuse vastuvõtmiseks. Tulekahjul esinevad nähtused võivad esile kutsuda uusi, olukorda raskendavaid tingimusi: konstruktsioonide ja tehnoloogilise seadmetiku deformatsiooni ja kokkuvarisemist; plahvatusi, /.../ (Danilov jt 1976:5)

Tulekahju võib areneda enne kustutustööde alustamist (vabaarenemine) ja kustutamise ajal. Kustutamise esmaseks ja põhiliseks ülesandeks on tulekahju arenemise tõkestamine. Olukorrast ja tuletõrje-allükstute võimalustest olenevalt võidakse see ülesanne lahendada kohe esimeste jõudude ja vahendite rakendamisega, kuid tavaliselt kulub selleks teatud aeg. Sel juhul jätkub tulekahju arenemine ka pärast jõudude ja vahendite tegevusserakendamist, kuigi väiksema intensiivsusega, kui vabaarenemise perioodil. (Danilov jt 1976:5)

Arenemine ja kustutamine on seotud kõigi tulekahjul esinevate nähtuste muutumisega. Füüsilised ja keemilised nähtused ei ole tulekahjul kogu aja ühtlased. Nad kas hoogustuvad või aeglustuvad, kuid võivad ka suhteliselt stabiilsed olla. (Danilov jt. 1976:38)

Kustutustöid alustatakse tulekahju arenemise ajal. Seepärast omab tulekahju olukorra hindamisel tähtsat rolli põhinähtuste, s.t. tulekahju arenemise olemuse õige ja põhjalik mõistmine. Seda on tarvis selleks, et vastu võtta õiged otsused, mis võimaldavad tulekahju kustutada nendes piirides, nagu see oli esimese tuletõrjeallüksise saabumise ajal. Tulekahju arenemine hoonetes oleneb nende konstruktsiooni- ja plaanilahendusest ning ruumides olevate põlevainete ja -materjalide omadustest. (Danilov jt. 1976:38)

1.1.1. Põlemise joonlevimiskiirus

Põlemine võib levida mitmesuguse joonkiirusega. Joonkiirus on põhiline füüsikaline suurus, mis määrab põlemise progresseeruva edasiliikumise põlevaine pinnal, eriti tulekahju vabaarenemise perioodil. Harilikult on põlemise joonlevimiskiirus nii ajaliselt kui ka suuna poolest ebaühtlane. See on ebaühtlane isegi ühes ja samas suunas. Tulekahju temperatuuri tõusuga joonlevimiskiirus aja jooksul suureneb. Ka ühel ja samal tulekahjul on põlemise joonlevimiskiirus eri suundadel erinev. Kui see teatud suundades võib saavutada maksimaalväärtuse, siis teistes suundades võrdub nulliga. See sõltub gaasivahetuse suunast ja kiirusest ning põlevainete paigutusest ja omadustest (Danilov jt 1976:41).

Põlemise joonlevimiskiirust nimetatakse põlemise progresseeruva liikumise tee pikkust põlevaine pinnal ajaühiku vältel:

$$v_1 = l / \tau_p$$

kus v_1 – põlemise joonlevimiskiirus m/min;

l – põlemise progresseruva liikumise tee pikkus m;

τ_p – põlemise kestus, arvates selle tekkimisest min.

(Danilov jt. 1976:41)

1.1.2. Põlemispindala ja selle suurenemine

Tulekahju arenemisel põlemispindala suureneb.

Põlemispindala suurenemist iseloomustavaks näitajaks on selle kasv ehk suurenemine ajaühiku jooksul. Põlemispindala suurenemiskiirus, mis oleneb põlemise

joonpõlemiskiirusest, määratakse kindlaks põlemispindala geomeetrilise kuju järgi. Sõltuvalt põlemispindala geomeetrisest kujust võib tulekahju arenemise jaotada ring-, nurk- ja külgarenemiseks.

Tulekahju ringarenemisel määratakse põlemispindala suurenemiskiirus valemist

$$v_s = \pi v_1^2 \tau_p,$$

kus v_s – põlemispindala suurenemis- ehk juurdekasvukiirus ajaühikus m^2/min ;

v_1 - põlemise joonlevimiskiirus m/min ;

τ_p – tulekahju puhkemisest möödunud aeg.

Siit järeldub, et mida kauem on tulekahju arenenud, seda suurem on põlemispindala juurdekasv. (Danilov jt. 1976:43)

Põlemispindala arvutamiseks teatud ajahetkel kasutatakse valemeid:

täisnurkse põrandapinnaga objektide puhul

$$S_p = n a v_1 \tau_p,$$

kus n – tulekahju arenemissuundade arv;

a – põlemise levimissuuna külje laius.

ringarenemisel $S_p = \pi v_1^2 \tau_p^2$,

poolring ja nurkarenemisel vastavalt $S_p = 0,5 \pi v_1^2 \tau_p^2$ ja $S_p = 0,25 \pi v_1^2 \tau_p^2$

Tulekahju arengu matemaatilisel modelleerimisel eristatakse järgmiseid ajahetki:

- a) τ_{vs} – meeskonna väljasõit tulekahju puhkemise hetkest (puhkemine, avastamine, teatamine, info töötlemine Häirekeskuses);
- b) τ_{kj} – esimese meeskonna kohalejõudmise aeg;
- c) τ_{jug} – esimese joa tulekoldesse andmise aeg;
- d) τ_{lok} – tulekahju lokaliseerimise aeg.

Erinevatel ajahetkedel on tulekahju areng erinev. Tulekahju puhkemisel on areng aeglasem, siis areng hoogustub ja kustutamise alustamisega areng pidurdub uuesti. Et tulekahju arengu hoogustamist ja pidurdamist adekvaatselt arvesse võtta, lisame valemisse koefitsendi k , mis tulekahju alguses ja kustutamise ajal on 0,5 ning muul ajal 1.

1.1.3. Põlemise katkestamine

Tulekahjuprotsess on lahutamatult seotud põlemise tekkimise ja arenemise olemusega. Seepärast on tulekahju kustutamine eelkõige tegevus, mis tagab põlemise

katkestamise. Viimane likvideerib ka kõik teised tulekahju nähtused. Põlemise katkestamise teooria annab põhjenduse tulekahju kustutamise toimingutele.

Põlemisprotsessi aluseks tulekahjul on põlevaine ja hapendaja (tavaliselt õhuhapnik) vastastikuse keemilise toimega kaasnev eksotermiline reaktsioon. Põlemise katkestamine tähendab seega eksotermilise reaktsiooni katkestamist. /.../

Põlemisreaktsiooni kiirus sõltub põlemistemperatuurist: mida kõrgem temperatuur, seda kiiremini põlemisreaktsioon kulgeb. Alanemisel võib temperatuur langeda kriitilise piirini ja põlemine lakkab. Kriitilist piiri nimetatakse kustumistemperatuuriks.

Kustumistemperatuur on põlemistsooni väikseim temperatuur, millest madalama temperatuuri korral soojuse eraldumise kiirus muutub soojusväljastuse kiirusest väiksemaks. Kustutamistemperatuur on põlevaine isesüttimistemperatuurist tunduvalt kõrgem, kuid leekpõlemise temperatuurist madalam. (Danilov jt. 1976:51)

Põlemise katkestamise mooduste all mõistetakse järjestikulisi ja sihipäraseid toiminguid, mille rakendamise tulemusena põlemine katkeb.

On olemas **neli** põlemise katkestamise moodust.

Põlemistsooni ja reageerivate ainete **jahutamise**. Põlemistsooni juhitakse madala temperatuuriga ja võimalikult suure soojusmahtuvusega aineid, mis neelavad osa põlemise jätkamiseks tarvilikust soojusest /.../.

Seetõttu põlevuskiirus aeglustub ja väheneb ka soojuse eraldumise kiirus.

Reageerivate ainete **isoleerimine põlemistsoonist**. Tõkestatakse lenduvate põlevainete (tahked osakesed, gaas ja aur) või õhu pääsemine põlemistsooni. Seejuures väheneb põlemisreaktsiooni kiiruse aeglustumise tagajärjel ka soojuse eraldumine.

Reageerivate ainete **lahjendamine**. /.../

Põlemisreaktsiooni **keemiline pidurdamine**. /.../ (Danilov jt. 1976:52)

1.1.4. Tuldkustutavad vahendid

Tuldkustutavateks vahenditeks nimetatakse aineid ja materjale, mille abil luuakse põlemise lakkamist tagavad tingimused. Niisuguseid aineid ja materjale leidub

looduses hulgaliselt, kuid tulekahjude kustutamiseks kasutatakse vaid neid, mis on:

a) kustutamisel efektiivsed, s.t. katkestavad põlemise kiiresti, kusjuures neid kulub suhteliselt vähe;

b) kättesaadavad ja odavad;

c) inimestele kahjutud ega tekita olulist kahju esemetele millele nad satuvad.

(Danilov jt. 1976:54)

Vesi, kuni temperatuurini 1700 °C termiliselt püsiv ühend. Vee põhiline tuldkustutav toime seisneb selles, et suure soojusmahtuvuse tõttu võib see intensiivselt neelata põlemisel eralduvat soojust. Normaalse atmosfäärirõhu korral saab 1 liitrist veest 1725 l kuiva küllastunud auru, mis vähendab põlemistsoonis hapniku protsentuaalset sisaldust. (Danilov jt. 1976:55). Väike viskoossus ja kokkusurutamatus võimaldavad vett juhtida voolikuliini ja veevarustusvõrgu kaudu kõrge surve all kaugemale ning tagada seejuures joa suure tegevusulatuse. (Danilov jt. 1976:58)

Tuldkustutavate vahendite intensiivsus tähendab tuldkustutava vahendi kogust, mida antakse ajaühiku (sekundi) jooksul põlemispindala või põleva ruumi mahu ühiku kohta. Tulekahju kustutamise edukus ei sõltu mitte ainult tuldkustutava vahendi õigest valikust, vaid ka vajaliku koguse arvutamisest. Tuldkustutavat vahendit võib anda väikeste doosidena pikema aja jooksul ja kulutada suurel hulgal, ent sellest hoolimata tulekahju mitte kustutada. Vahendite kasutamine suures koguses nõuab palju tehnikat ja jõudusid ning võib suurendada materiaalselt kahju. Tuldkustutavate vahendite koguse arvutamisel on aluseks nende andmise intensiivsus ja kustutamisaeg. /.../

Vee andmise intensiivsus on erinevate tulekahjuobjektide ja põlevainete puhul erinev – 0,02-st kuni 0,98-ni l/m²·s . Teatrilavad ja -saalid 0,1-0,3 ja mööbel 0,06-0,1 l/m²·s . Tulekahju kustutamiseks hoonetes arvestatakse praktiliselt 25 ... 30 minutit.

(Danilov jt. 1976:71)

1.1.5. Tuldkustutavate vahendite kulu määramine

Tuldkustutava vahendi kulu määramisel on aluseks vahendi andmise optimaalne intensiivsus. Tuldkustutava vahendi kulu on kogu tulekahju kustutamiseks ajaühikus

antava vahendi kaaluline või mahuline kogus.

Tuldkustutava vahendi kulu määratakse kas põlemispindala, põlevate ruumide mahu või põlemispindala übermõõdu järgi.

Põlemispindala järgi arvutatakse vahendi kulu valemist

$$Q_n = I_p \cdot S_p,$$

kus Q_n – tuldkustutava vahendi kulu l/s;

I_p – andmise pindintensiivsus $l/m^2 \cdot s$;

S_p – põlemispindala m^2 . (Danilov jt. 1976:72)

Tuldkustutava vahendi kulu arvutamiseks põleva ruumi mahu järgi kasutatakse valemit

$$Q_n = I_m \cdot V_p,$$

kus Q_n – tuldkustutava vahendi kulu l/s;

I_m – andmise mahtintensiivsus $l/m^3 \cdot s$ (selle väärtuseks võetakse tavaliselt 0,05 $l/m^3 \cdot s$)

V_p – põleva ruumi maht. (Danilov jt. 1976:72)

Tulekahju lokaliseerimise (likvideerimise) tingimusteks on tuldkustutava aine andmine tulekahjutsooni nõutava intensiivsusega ja kogu tulekahju likvideerime aja vältel. (Danilov jt. 1976:106-108)

Tulekahju loetakse lokaliseerituks, kui tule levik on piiratud ning on tagatud tulekahju likvideerimine olemasolevate jõudude ja vahenditega. Tulekahju loetakse likvideerituks, kui põlemine on katkestatud. (Povzik 1984:34)

2. MEELELAHUTUS- JA KAUBANDUSHOONETE TULETÕRJETAHTIKALINE ISELOOMUSTUS

Kaubanduskeskustes tekivad tulekahjud kõige sagedamini lao osas, kus asuvad erinevad mehanismid ning kus pind ja kõrgus maksimaalselt ära kasutatakse. Teatri- ja kontserdihoonetes tekivad tulekahjud sagedamini laval ja valgus- ning helitehnika paigaldamise kohtades ning ladudes, kus hoitakse rekvisiite, mis annavad suure põlemiskoormuse. Dekoratsioonid on tavaliselt valmistatud kergestisüttivatest materjalidest, ruumid on suured ja kõrged, õhuvahetus tule levikut soodustav. Tulekahjud levivad mööda dekoratsioone rohkelt suitsugaase ja soojust eraldades edasi. Lava, lavaportaal, vaatesaal ja kõrvalruumid täituvad kiiresti põlemissaadustega. Temperatuur tõuseb kiiresti ja järjest suureneb oht tule levimiseks hoone kõikidesse ruumidesse. (Šuvalov 1977:226) Põlemiskoormus võib sellistes ruumides ulatuda 1200 MJ/m^2 kohta. (Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded RT I: 2004 § 6 lg 5 p 1) Samuti mõlema kasutusala hoonete administratiivruumides, kus personali hooletusest tekivad tuleõnnetused. Tulekahju tekkepõhjused ei erine üldiselt levinud tulekahju tekkepõhjustest. Need on rikked elektrisüsteemis, hooletus ning ehitus- ja remonditööd.

Avalikuks kasutuseks avatud hoonetes ei saa välistada tulekahju põhjusena ka inimese tahtlikku tegevust süütamise või plahvatuse esilekutsumise näol. (Ambach, 1999:16)

Mõned võimalikud tulekahju arenemise viisid laval:

- Portaalikäigu sulgemisel tulekindla eesriidega ja suletud suitsuluukidega võib tuli 5-10 minutiga võtta enda alla terve ruumi levides põlevale sisseseadele ning dekoratsioonidele. Tule joonlevimiskiirus horisaantaal pinnal võib siis kasvada kolme meetrini ja vertikaalpinnal ka kuue meetrini minutis. Põlev

suure ruumalaga lava tekitab rõhu tulekindlale eesriidele, selle väärtus võib tõusta 60 kg/m^2 ja rohkem;

- Suletud portaalikäigu ja avatud suitsuluukide puhul toimub õhu imemine lavaruumist, mille tagajärjel väheneb oht tule levimiseks vaatesaali. (Šuvalov 1977:228)
- Suletud suitsuluukide ja avatud portaalikäigu puhul liiguvad kuumad gaasid, sädemed ja põlevad osakesed vaatesaali. Saal võib täituda põlemisgaasidega paari minutiga ja tekkinud rõhk avaldab saaliustele mõju. Väljapoole avanevad uksed avanevad ja sissepoole avanevaid uksed avanevad suure jõu rakendamisega; (Šuvalov 1977:228)
- Avatud portaalikäigu ja avatud suitsuluukide puhul liigub põlemissaaduste vool üles atmosfääri ja üksnes nende tühine osa võib liikuda saali. Lava ja saali madalam osa võivad olla hõrenduses, mis omakorda avab või sulgeb ukсед. Tuli võib siiski saali levida, selleks veetakse joad saali poolt. (Šuvalov 1977:228)
- Tulekahju puhkemisel vaatesaalis võib see levida mööda põlevaid konstruktsioone ja mööblit joonlevimiskiirusega $0,8-1,5 \text{ m/min}$. Tule levimisel vaatesaalis võib suure õhu koguse tõttu tulesurve olla kuni 50 kg/m^2 ja tuli levib intensiivselt istmetele ja rõdudele ning rippuvatele kaunistustele, mis omakorda saali kukuvad. Saalist levib tuli lavale, kui tulekindel eesriie ei ole langetatud. (Šuvalov 1977:228)

2.1. Võimalikud ohud

- Paanika tekkimine;
- Tule kiire levik lavalt saali või vastupidi;
- Tihe suits, kõrge temperatuur ja küllalt pikad vahemaad;
- Vaatesaali ripplagede, lava kohal olevate konstruktsioonide ja dekoratsioonide alla- ja ümberkukkumine.

2.2. Taktika

2.2.1. Luure.

Esimese päästemeeskonna sündmuskohale lähenemisel algab luure. Esiteks hinnatakse visuaalselt, kas on näha mingeid väliseid tulekahju tundemärke (suitsu, valguse kuma, deformeerunud konstruktsioone). Seejärel, vahetult sündmuskohale jõudes, otsustab meeskonnavanem (päästetööde juht, edaspidi PTJ) päästetehnika paiknemise sündmuskohal ja annab vastavad korraldused. Järgmisena tehakse kindlaks külastajate ja personali arv objektil, nende võimalik paiknemine ja seisund ning kas on alanud ja kes viib läbi evakuatsiooni. Juhul, kui päästemeeskonna saabumiseks ei ole evakuatsioon alanud, otsustab PTJ evakuatsiooni alustamise otstarbekuse ja määrab vajadusel seda läbiviiva inimressursi. Järgmiseks selgitab PTJ välja põlengu asukohta, suuruse ja võimalikud levikusuunad ning millised tuleohutuse seadmed on juba rakendatud (tulekindel eesriie, suitsuluugid, sprinklerid, drentšerid jms.). Vajadusel rekendab tööle või peatab nende töö. Seejärel hangib PTJ muu sündmuse lahendamisele asumiseks vajaliku teabe ja informeerib Häirekeskust jooksvalt vastuvõetud otsustest ja sündmuse kulust. (Päästetööde üldeeskiri, vastu võetud siseministri määrusega 23.02.2000. Edaspidi: Päästetööde üldeeskiri)

2.2.2. Evakuatsioon

Ohu ilmnemisel tuleb PTJ-il organiseerida inimeste evakuatsioon objektilt. Kui objektil viibijad ei ole teadlikud tulekahjust hoones, tuleb paanika vallandumise vältimiseks ruumid vabastada mõne muu põhjuse ettekäändeks toomisega. Seda võiks teha administratsioon või turvameeskonna liige. Kui inimesed on teadlikud tulekahjust, tuleb neid veenda, et tuli neid ei ohusta ja paanikata saalist ja muist ruumidest väljumine korraldada. Administratsiooni ja päästemeeskonna koostöona tuleb avada kõik evakuatsioonipääsud ja inimesed võrdselt kõikidesse pääsudesse suunata. Kogunevate põlemissaaduste ja tõusva temperatuuri tõttu tuleks alustada kõrgemal asuvatest ruumidest nagu rõdud, galeerid jms. sõltuvalt hoone iseärasustest. Paanika puhkedes tuleb kõik jõud evakuatsiooni läbiviimise kindlustamisele suunata. (Šuvalov 1977:227) Kuna inimeste päästmine on tingimusteta prioriteediks, ei tohi evakuatsiooniteid evakueerimise ajal kasutada voolikuliinide ja tuletõrjearustuse paigaldamiseks. Evakuatsiooni lõppedes tuleb kõik ruumid võimalikult põhjalikult

üle kontrollida. Evakueeritud inimesed võib vajadusel ajutiselt paigutada üle tee asuvas Estonia teatri hoones või samas lähedal asuvas Tallinna Reaalgümnaasiumis.

2.2.3. Kustutamine

Tulekahju algstaadiumis kasutatakse kustutamiseks statsionaarseid tulekustutusvahendeid (vesikardinad, sprinklerisüsteem, tuletõrjekraanid) ja esmaseid tulekustutusvahendeid (tulekustuti, tulekustutusvaip). Tulekahju arenedes ei saa tavaliselt statsionaarseid tulekustutusvahendeid kasutada, nad on kas ligipääsmatud või vigastatud. Sellisel juhul kasutatakse päästemeeskondade paigaldatud tulekustutusvahendeid.

Vee andmise intensiivsus laval 0,2-0,3, vaatesaalis 0,15, abiruumides 0,1-0,15, kaubanduskeskuses 0,2 l/m²/s. Vajadusel võib kasutada märgajat või vahtu.

Tulekahju kustutamisel lava piirkonnas tuleb joad anda saali poolt. Et tuli ei areneks saali, tuleb kasutada suure tootlikusega joatorusid (alates 7 l/s). Samal ajal peab vett andma ka lava kügedelt ja kõrvalruumisse ning lavaalustesse ruumidesse. Suitsuluukide avamise otsustab päästetööde juht.

Arenenud tulekahju korral moodustatakse vastavalt olukorrale ja PTJ-i korraldusel tööloigud. Tule ründamisega samal ajal tuleb tähelepanu pöörata ka tulest puutumata ruumide ja konstruktsioonide kaitsele. Kui põlemine leiab aset vaatesaalis, antakse joad lava poolt, sest vältida tuleb tule levimine lavale, kuna lava kustutamine on keerulisim ja nõuab kõige enam ressursse.

Nimetatud objektide kiire ja korrektne kustutamine sõltub juhtivkoosseisu ettevalmistusest nende objektide planeeringu- ja konstruktsiooniliste iseärasuste tundmisel. Siit tuleneb tutvumisõppuste praktiline vajadus ja tähtsus ning objektide personalile korraldatavate õppuste vajadus. Olenevalt aastaajast tuleb PTJ-il otsustada ja organiseerida evakueeritud inimeste transport ja ajutine paigutamine/majutamine. Operatiivplaani võib ära näidata esmased tegevused meeskondade kaupa, eritehnika väljakutsumise ja põhjendatud kõrgema väljasõiduastme andmise.

2.2.4. PTJ-i meelespea

- võimalikult kiire evakuatsioonivajaduse otsustamine ja selle läbiviimine;
 - paanika tekkimise vältimine;
 - Esmajärjekorras evakueerimine rõdudelt ja teistest kõrgemal asuvatest ruumidest;
 - voolikuliinid vedada kasutamata evakuatsiooniteid;
 - Laval puhkenud tulekahju puhul, kui tulekindel eesriie on langetamata, tuleb see langetada ja seda saali poolt jahutada. Samal ajal lava külgi ja kõrvalruume kaitstes;
 - suitsuluukide avamine, kui tuli ja suits ähvardavad vaatesaali;
 - langetada dekoratsioonid põrandale;
 - Tulekahju puhul saalis anda joad tulepessa ja lava kaitseks;
 - kontrollida ventilatsioonisüsteemi;
 - teadlikult ja kontrollitult kasutada kõiki objektil olemasolevaid statsionaarseid tulekustutussüsteeme.
-
- nõuda kõigilt meeskonnaliikmetelt konstruktsioonide ja üldise olukorra jälgimist, muutustest PTJ teavitamist. PTJ teavitab omakorda jooksvalt kõiki meeskondasid tekkinud ohtudest. (Danilov jt 1976)

tuleohutusnõuete täitmise eest üürilepingus ja käesolevas juhendis ettenähtud ulatuses.

Objekti tehnosüsteemide haldaja, sealhulgas tuleohutuspaigaldiste korrashoiu korraldaja on OÜ Ermeesia.

Hoone on funktsionaalselt jagatud kaheks. Nokia kontserdimajaks ja Solaris meelelahutuskeskuseks.

Hoone kuulub TP1 (tulekindel) tulepüsivusklassi, see , et hoone on ehitatud põhiliselt mittepõlevatest materjalidest ja selle kandekonstruktsioonid tulekahju korral tõenäoliselt ei varise. (Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded § 4 lg3 p1)

Kontserdi- ja universaalsaalide hoone, kauplus **IV** kasutusviis. (Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded, lisa 1)

Põlemiskoormus kaupluses ei ületa 1200 MJ/m^2 ja laval on see alla 600 MJ/m^2 . (Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded § 6 lg5)

Tabel 1. Evakuatsioonitee maksimaalne pikkus ja ruumi arvutuslik pindala ühe inimese kohta:

IV kasutusviis		
üldjuhul	45	3
kauplused	30	3
ajaviite-, kunsti- ja analoogsed kogunemisruumid	45	1

(Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded, lisa 8)

Tule ja suitsu leviku tõkestamiseks on hoone jagatud vastavalt kasutusotstarbele ja piirpindalale tuletõkkeseptsioonideks. Omaette tuletõkkeseptsioonideks on eraldatud teatrisaal, teatrilava ja -abiruumid, tantsustuudio, kinosaalid, bürooruumid, äripinnad, tehnilised ruumid, korrustevahelised kommunikatsioonišahtid, evakuatsioonitrepikojad ja parkla. Tule ja suitsu levikut takistatakse tuletõkkeseinte, tuletõkkeuste, tuletõkkeakende, tuletõkkekardinate ja veekardinate abil.

Tabel 2. Ehitises tuletõkkeseksioonide moodustamine:

IV ja V kasutusviis	2400 m ² *
---------------------	-----------------------

(Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded, lisa 5)

Hoone kuulub kord aastas kontrollitavate objektide hulka. (Siseministri 4. jaanuari 2006 a määrus nr 4. Objektide loetelu, mille tuleohutusülevaatus viiakse päästeasutuste poolt läbi vähemalt üks kord aastas 2006: § 2 p5. RTL 2006, 5, 87)

Tulekahju varajaseks avastamiseks on objektil automaatne tulekahju-signalisatsioonisüsteem (ATS). Kui tulekahjuandurid avastavad kontrollitaval alal tulekahju tundemärke, annab turvaruumis asuv süsteemi keskseade sellest teada. Turvatöötajatel on siis kolm minutit aega häire õigsuse kontrollimiseks, pärast seda

- rakenduvad objektil tööle häirekellad;
- lülituvad välja hoone ventilatsioonisüsteemid,
- laskuvad alla tuletõkkekardinad,
- avanevad tavaolekus lukustatud evakuatsiooniuksed,
- liftid sõidavad esimesele korrusele,
- häireteade edastatakse päästeameti häirekeskusesse.

Häiret on võimalik anda ka tulekahjuteate-nuppudest (punased karbid väljapääsude juures).

Objekt on varustatud suitsueemaldussüsteemidega, mis võimaldab tulekahju korral eemaldada mürgiseid põlemisgaase ohutu evakuatsiooni ja päästetööde tagamiseks. Suitsueemaldussüsteeme juhitakse turvaruumist. Suitsueemaldussüsteemid käivitatakse reeglina päästetööde juhi korraldusel. Kui tihe suits takistab inimeste evakueerumist, tuleb suitsueemaldussüsteem vastavas hooneosas käivitada viivitamatult.

Objekt on kaitstud automaatse vesikustutusüsteemiga ehk sprinklersüsteemiga, mis on mõeldud tulekahju piiramiseks ja kustutamiseks selle algusjärgus. Sprinkler rakendub ja hakkab kustutusalasse vett pritsima kui temperatuur sprinkleripea juures tõuseb üle lubatud piiri, reeglina üle 68°C. Sprinkleri rakendumisel läheb häiresse ka ATS. Hoone tehnilised ruumid on varustatud gaaskustutusseadmetega. 0-korrus ja parkla jagatakse häire korral tuletõkkekardinatega kaheks.

Objekt on varustatud esmaste tulekustutusvahenditega: tulekustutitega ja voolikusüsteemidega. Tulekustutid ja voolikusüsteemid asuvad vastava tuleohutusmärgiga tähistatud kappides. Tulekustutite ja voolikusüsteemide asukohad on märgitud ka evakuatsiooniskeemidele.

Objektile on paigaldatud turvavalgustusüsteem, mis tagab elektrikatkestuse korral vajaliku minimaalse valgustuse säilimise tegevuste lõpetamiseks ja ohutuks evakueerumiseks. Evakuatsioonivalgustitele on kleebitud roheline evakuatsioonimärk, millel nool näitab evakuatsioonitee suunda.

Turvaliseks evakuatsiooniks on ette nähtud tulekindlad trepikojad. Keldrikorrustelt evakueerumiseks on viis ja maapealsetelt korrustelt seitse suitsueemaldussüsteemidaga kaitstud evakuatsioonitrepikoda. Esimesel korrusel on kolm avarat peaust. Esimeselt maa-aluselt korrusel on lisaks 12m laiune välistrepp teatri- ja konverentsruumide fuajeedest Rävala puiesteele. Keldrikorruste evakuatsiooniteed on eraldatud pealmaakorruste evakuatsiooniteest. Evakuatsiooniteede ukсед avanevad evakuatsiooni suunas ja on varustatud ilma võtmeta avatavate evakuatsioonisulustega. Lukustatud evakuatsiooniuksed avanevad ilma võtmeta tulekahjusignalisatsiooni rakendumise korral. Objekti turvameeskonna jaoks on välja töötatud käitumisjuhend evakuatsiooni läbiviimiseks.

Keskus on reeglina avatud kell 09 - 23, sel ajal võib hoones viibida kuni 9600 inimest. Objektile on 24h mehitatud valve, päeval on ametis viis ja öösel kaks turvatöötajat. Öösel on ruumid täiendavalt kaitstud tehnilise valvega.

Hoones on helisüsteem, mis võimaldab ohu korral anda informatsiooni ja korraldusi.

Hoone turvameeskond omab üldist ülevaadet hoonesse toodava kauba üle. Kaup tuuakse majja saatelehtede alusel.

Elektrisüsteem on hoones jagatud mitmetasandiliselt. Elektrikilbid on igal rendipinnal, korrusel, Solaris keskuses ja Nokia kontserdimajas ning peakilp.

Tuleoht objektile on madal. Tulekahju võib põhjustada:

- üldiste tuleohutusnõuete, sh käesoleva juhendi eiramine;
- fritüüri, küpsetusahju, grilli või muu toiduvalmistamisseadme süttimine;
- hooletus lahtise tule kasutamisel;
- illegaalne suitsetamine;
- elektriseadmete ülekoormus või rike;
- sõiduki süttimine parklas;
- tahtlik süütamine või plahvatus.

3.2. Reageerivad jõud

Väljasõidukord p. 5.3.3.5. ja 5.3.3.9. alusel antakse kaubandus- ja teenindusasutustes ning ühiskasutatavates meelelahutuse hoonetes puhkenud tulekahjude korral III väljasõiduaste.

III- aste: saadetakse välja neli kuni viis päästemeeskonda (kokku vähemalt 12-meeskonnaliiget) ja operatiivkorrapidaja, välja saadav päästeressurss peab võimaldama kahe suitsusukeldumislüli töö samaaegselt. (Väljasõidukord p. 4.1.3.)

III- aste: saadetakse välja 2-4 kiiremini kohalejõudvat paakautot, olenevalt piirkonnale iseäralikest veehanke võimalustest ja sündmuskohale jõudmiseks kuluvast ajast;

1. saadetakse välja vähemalt 1 kiiremini kohalejõudvat redelautot,

(Väljasõidukord p. 6.1.3.)

Ülaltoodud loetelu ei ole ammendav, sest reageerivad ka kiirabi ja poitsei. Väljasõidu- või päästetöödejuhi korraldusel kutsutakse välja täiendavad jõud või saadetakse osa väljasõitnuist tagasi baseerumiskohta.

3.3. Päästetehnika kogunemiskoht

Päästetehnika kogunemiskohaks on hoone Sakala tänava poolne külg. Selles hoone küljes asuvad hoonesse paigaldatud tuletõrjevee torustiku otsad, objekti turvaruum, kus asuvad ATS ja suitsueemalduse juhtpuldid ning valvekaamerad ja mehitatud valve.

3.4. Piirkonna vesivarustus

Solaris keskus asub Estonia puiestee ja Rävåla puiestee vahel. Estonia puiesteel, objekti vahetus läheduses on kolm tuletõrjehüdranti Tallinna linna ühtses hüdrantide numeratsioonis numbrid 299, 300 ja 301. Rävåla puiesteel on hoone vahetus läheduses kaks tuletõrjehüdranti Tallinna linna ühtses hüdrantide numeratsioonis numbrid 571 ja 572. Mõlemad veeharud on ringvõrgus, torustiku läbimõõt on 300 mm. Sakala tänava alguses on hoone lähedal hüdrant numbriga 21, mis on 100 mm läbimõõduga tupikliini otsas. Rõhk Tallinna kesklinna toitvas veetorustikus on 0,4-0,5 MPa.

Tabel 3. Orjenteeruvad vooluhulgad (l/s) ringvõrgus ühisveevärgitorustikule paigaldatud tuletõrjehüdrantidest.

Rõhk veevõrgus, MPa	Tosustiku läbimõõt, mm	Torustiku läbimõõt, mm
	100	300
0,4	45	235
0,5	50	265

Lisa H. Tabel H.1 (EVS 812-6:2005, lk. 37)

4. TULEKAHJU ARENGU MATEMAATILINE MODELLEERIMINE

4.1. Algandmed

Matemaatilise modelleerimise jaoks on tarvis arvulisi väärtuseid, mille põhjal arvutada. Modelleerimisel ei võta autor arvesse objekti automaatset tulekustutussüsteemi, kuna viimane kaubanduskeskuse põlengu juhtum näitas, et isegi kaasaegne ja kontrollitud süsteem ei pruugi vajalikul hetkel toimida.

Teatavasti on tulekahju tunnuste ilmnemiseks vajalik teatud aeg. Kuna tulekahjud ja nende arenemine on väga erinevad, kõiki arenemise stsenaariume ei suudaks autor selles töös käsitleda, siis arvestades hoone ATS seadmete ja videovalvega varustatuse taset, on tõenäoline, et tulekahju vabaarenemise aeg, enne avastamist, ei ületa selles hoones kahte minutit.

Päästemeeskondade ja muu tehnika kohalejõudmise ajad saadi andmebaasi väljakutse nr 153381738 protkollist 13.10.2009 sündmusest Solaris keskuses asuvasse Cinamon kinosse, kus varises osa saali laest. Tegemist oli III väljasõiduastmega, millele reageeris 4 põhiautot, 3 juhtimisautot, autoreedel ja brontotõstuk, samuti 3 kiirabi ja mitu politseipatrulli.

Põhiautode kohalejõudmise ajad (arvutatuna alarmeerimisest):

Kesklinna 11 – 5 minutit

Kesklinna 12 – 6 minutit

Lilleküla 11 – 4 min. 30 sek.

Lilleküla 12 - 4 min. 8 sek.

Kui lisada kohalejõudmise ajale Häirekeskuse poolt kutsetöölusele kuluv lubatud minut, saame kohalejõudmise aegadeks 5-7 minutit.

Kohale jõudes kulub päästemeeskondadel enne kustutamise alustamist teatud aeg luureks, hargnemiseks, vajadusel evakueerimiseks ja muudeks toiminguteks. Arvestades Solaris keskuse mahukust, erineb seal lahinghargnemisele kuluv aeg oluliselt normharjutustel ettenähtust. Päästeameti peadirektori 08.03.2010 käskkirjaga nr 45 on kehtestatud hargnemiste normharjutuste normatiivajad:

- Hingamisaparaati lülitumine kuni 1 minut,
- Põhiliini hargnemine koosseisul alates 1+3 45 sekundit,
- Tööliini hargnemine kuni minut
- Tööliini hargnemine viie C voolikuga kuni 2 minutit

Vabapõlemisaeg kuni avastamiseni + teatamise aeg + alarmeerimise aeg + väljasõidu ja kohalejõudmise aeg + luure ja hargnemine + hingamisaparaati lülitumine, suitsusukeldumine ja esimese joa andmise aeg:

$$3+1+1+7+3+2 = \underline{\underline{17 \text{ minutit}}}$$

Solaris keskus on jaotatud tuletõkkeseptsioonideks. Tulekahju matemaatilise modelleerimise teostas töö autor kahes suuremas tuletõkkeseptsioonis hoone eri osades, mille kasutusala on erinev.

Hoone 0-korrusel asub toiduainetekauplus (supermarket), mis moodustab tuletõkkeseptsiooni üldpinnaga 1533 m². Hoone teisel korrusel asub kontserdisaali lava, mis koos kõrvalruumidega moodustab tuletõkkeseptsiooni pindalaga 555 m².

Tabel 4. Tulekahju matemaatilise modelleerimise algandmed.

Nr	Ruumi pindala (m ²)	Põlemise arenemise alguskoht	Joonpõlemiskiirus – V _j (m/min)	Kustutusvee andmise intensiivsus	I joa andmise aeg - τ _{jI} (min)
1.	1533 (34x45m)	Keskel	0,5-1,1*	0,2	17
2.	555 (15x37m)	Keskel	1-3*	0,2	17

*- kuna erialane kirjandus annab väärtused, mis erinevad teineteisest kordades, siis valis autor arvutuste tegemiseks keskmised väärtused.

4.2 Põlemispindala erinevatel ajahetkedel

Kuna tulekahju areneb erinevatel ajahetkedel erineva kiirusega, siis arvutatakse arenemise kiiruse koefitsendiks esimesel kümnel minutil 0,5. Edasi on koefitsent 1 ja kustutusjuga andmisel uuesti 0,5.

4.2.1 Kaupluse põlemispindala esimese kustutusjoga andmisel

$$S\tau_{17} = \pi (k \times V_j \times \tau_{10} + k_1 \times V_j \times \tau_7)^2 = 3,14 \times (0,5 \times 0,8 \times 10 + 1 \times 0,8 \times 7)^2 = 290 \text{ m}^2$$

Kuna joonpõlemiskiirus siin on väike ja ruumi külg on pikk, siis 17. minutiks jätkub ikka tulekahju ringareng pindalaga **290 m²**

4.2.2. Lava põlemispindala esimese kustutusjoga andmisel

$$S\tau_{17} = S\tau_{7,5} + S\tau_{2,5} + S\tau_7 = \pi (k \times V_j \times \tau_{7,5})^2 + k \times n \times a \times V_j \times \tau_{2,5} + k_1 \times n \times a \times V_j \times \tau_7 =$$

$$3,14 \times (0,5 \times 2 \times 7,5)^2 + 0,5 \times 2 \times 15 \times 2 \times 2,5 + 1 \times 2 \times 15 \times 2 \times 7 = 176 + 75 + 420 = 671 \text{ m}^2$$

ehk kogu lava pindala (**555 m²**)

4.2.3. Kaupluse tulekahju pindala lisajugade andmisel

Arvame lisahargnemiste teostamiseks 5 minutit ja arvutame tulekahjupindala 22. minutil

Kuna jätkub ringareng, siis on vaja leida tulekahju raadius 22. minutil. 17. minutil on raadius 9,6m (S=290, siis r=9,6). $r_{22} = r_{17} + k_1 \times V_j \times \tau = 9,6 + 2 = 11,6\text{m}$

Eelnevast nähtub, et põlemispindala 22. minutil on $\pi r_{22}^2 = \underline{423 \text{ m}^2}$

4.2.4. Lava tulekahju pindala lisajugade andmisel

Lava pind on ka 22. minutil täielikult tules (555 m²).

4.3. Kustutuspiindala

Kustutuspiindalaks loetakse põlemispindala osa, millele ulatub kustutusjuga. Kustutusjoga pikkuseks loetakse 10 m.

4.3.1. Kaupluse tulekahju kustutuspiindala 22. minutil

Kuna tulekahju on arenenud ringikujuliselt, ringi raadius on 22. minutil 11,6 m, siis kaupluse tulekahju kustutuspiindala on võrdne põlemise piindala miinus kustutusjoga ulatusest väljajääv piindala. Joga ulatusest jääb välja ringi raadiusega 11,6 – 10 = 1,6m. Selle ringi piindala on siis 8m², mis ei ole märkimist väärt. Sellepärast loeme kustutuspiindala võrdseks põlemispindalaga, s.o. 423 m².

4.3.2. Lava tulekahju kustutuspiindala 22. minutil

Kuna lava tulekahju on 22. minutiks enda alla võtnud kogu lava piindala ja kustutusjoad saab anda kahelt poolt, lühematest külgedest, on kustutuspiindala sellel ajahetkel $2 \times 15 \times 10 = \underline{300 \text{ m}^2}$.

Kuna tulekahju lokaliseerimise tingimuseks on vajaliku kustutusressursi olemasolu, on tarvis arvutada kustutamiseks vajaminev ressurss.

4.4. Veekulu

Kaupluse tulekahju kustutuspiindalaks 22. minutil on 423 m² ja kustutusvee andmise

nõutav intensiivsus on 0,2 l/s/m². Katusel asuvate suitsuluukide kaudu suitsu kontrollitud väljutamise turvamiseks 2 juga a' 7 l/s. Lokaliseerimiseks vajaminev veekogus Q₂₂ on seega:

$$423 \times 0,2 + 2 \times 7 = 85 + 14 \approx \underline{\underline{100 \text{ l/s}}}$$

Lava kustutuspindalaks 22. minutil on 300 m² ja intensiivsus 0,2 l/s/m². Katusel asuvate suitsuluukide kaudu suitsu kontrollitud väljutamise turvamiseks 2 juga a' 7 l/s. Lokaliseerimiseks vajaminev veekogus Q₂₂ on seega:

$$300 \times 0,2 + 2 \times 7 = 60 + 14 \approx \underline{\underline{75 \text{ l/s}}}$$

Hoone vahetus läheduses olevate hüdrantide tootlikkus tagab vajamineva veehulga olemasolu.

Kuna tegemist on hoone tulekahjuga, siis eeldab kustutamine suitsusukeldumist. Siit järeldub, et üht joatoru juhib suitsusukeldujate paar.

Vesi juhitakse tulekoldesse päästeteenistujate poolt joatorude kaudu. Käsijoatorude tootlikus Põhja-Eesti Päästkeskuse põhiautodel on 5-10 l/s, autor arvutab keskmise tootlikusega 7 l/s. Järelikult 85 l/s koldesse andmiseks on vaja $85/7=12$ (12+2) juga, s.o. 12 SS paari + 2 inimest katusel. 60 l/s koldesse juhtimiseks on tarvis $60/7 \approx 9$ (9+2) juga, s.o. 9 SS paari + 2 inimest katusel.

4.5. Vajaminev inimeste arv

Pikk suitsusukeldusteekond on raskendavaks ohufaktoriks suitsusukeldumisel, selle olemasolu tingib kõrgendatud riskikeskkonna. (Päästetööde suitsusukeldumise eeskiri §11 lg2 p1 ja lg3)

Kõrgendatud riskikeskkonna korral moodustatakse suitsusukeldujate ohutuse tagamiseks julgestuspaar. (Päästetööde suitsusukeldumise eeskiri §12 p1)

Igal suitsusukeldumisel määratakse suitsusukeldujate juht, kes on pädev ja võimeline juhtima suitsusukeldujate paari(de) tööd ning suutma vajadusel päästa ülesannet täitvaid suitsusukeldujaid. (Päästetööde suitsusukeldumise eeskiri §4)

Kuna modelleeritud tulekahjude lokaliseerimises osaleb palju SS paare, on mõistlik määrata vähemalt kaks suitsusukeldujate juhti ja moodustada vähemalt kaks julgestuspaari.

Peale vajalike hargnemiste teostamist on kaasaegne päästetehnika võimeline ilma inimese abita kustutusvett vajaliku tootlikusega edastama. Suure arvu päästetehnika koondumiskohas on siiski vajalik ühe või kahe operatiivautojuhi kohalolek. Seda selleks, et tehnikaga tekkida võivaid probleeme ennetada ja tekkinud probleeme lahendada.

Solaris keskuses on väljaehitatud suitsueemalduse süsteem. Põlemisgaaside kontrollitud väljutamisel lamekatusega hoonest on mõistlik seda protsessi turvata paari C joaga. Hoone on kohati kuni viiekorruseline. Sellepärast on vajalik tedelauto ja brontotõstuki kaasamine.

Tulemusliku töö tagamiseks on vaja päästetööde juhti, kes ei oleks koormatud kustutustööga, saaks ringi liikuda ja olukorda erinevatest vaatenurkadest vaagida.

4.5.1. Kaupluse tulekahju lokaliseerimiseks vajalik inimressurss

Kaupluses modelleeritud tulekahju lokaliseerimiseks on vaja:

12 SS paari x 2 inimest	=	24 inimest
2 suitsusukeldujate juhti	=	2 inimest
2 julgestuspaarid x inimest	=	4 inimest
Tehnika kogunemiskohas	=	2 inimest
Põlemisgaaside väljutamist turvamas	=	2 inimest
Autoredel 1 + brontotõstuk 2	=	3 inimest
PTJ	=	<u>1 inimene</u>

Kokku: **38 inimest** (neist 34 põhiautodel)

4.5.2. Kontserdisaali lava tulekahju lokaliseerimiseks

Laval modelleeritud tulekahju lokaliseerimiseks on vaja:

9 SS paari x 2 inimest	=	18 inimest
2 suitsusukeldujate juhti	=	2 inimest

2 julgestuspaari x inimest	=	4 inimest
Tehnika kogunemiskohas	=	2 inimest
Põlemisgaaside väljutamist turvamas		2 inimest
Autoredel 1 + brontotõstuk 2	=	3 inimest
PTJ	=	<u>1 inimene</u>

Kokku: **32 inimest** (neist 28 põhiautodel)

4.6. Vajaminev meeskondade arv

Tallinna linna päästekomandodes on põhiautodel operatiivarves tavaliselt vähemalt 1+4 meeskond, s.o. 5 päästetöötajat.

Väljasõidukorra järgi saadetakse kaubandus- ja teenindusasutustes ning ühiskasutatavates meelelahutuse hoonetes puhkenud tulekahjudele välja neli kuni viis päästemeeskonda (kokku vähemalt 12-meeskonnaliiget) ja operatiivkorrapidaja.

Viie 1+4 koosseisus päästemeeskonna liikmete arv kokku on $5 \times 5 = 25$.

Modelleeritud tulekahjude lokaliseerimiseks on seega vaja vastavalt vähemalt $34/5 \approx 7$ ja $28/5 \approx 6$ meeskonda.

4.7. Vajaminev põhiautode arv

Sündmusele reageerivate põhiautode arv on piisav vajaliku koguse kustutusvee juhtimiseks. Kaasaegsed põhiautod on varustatud autopumpadega tootlikkusega vähemalt 40 l/s. Modelleeritud tulekahjude lokaliseerimiseks piisaks ka kolmest põhiautost.

Põhiautodel on 200 meetrit B ja samapalju C tuletõrjevoolikuid. Sündmuskoha vahetus läheduses on piisavalt hüdrante ja voolikuliinid ei ole pikad. Juba neli põhiautot tagavad vajaliku koguse tuletõrjevoolikute olemasolu.

Suitsusukeldumiseks vajalikke hingamisaparaate on põhiautodel vähemalt samapalju kui meeskonnaliikmeid, seega piisav kogus suitsusukeldumise läbiviimiseks.

Kui mitte arvestada vajalikku inimressurssi, siis piisaks mõlema modelleeritud tulekahju lokaliseerimiseks vastavalt kolmest ja neljast põhiautost.

Modelleeritud tulekahjude lokaliseerimiseks on arvutuslikult vaja vastavalt 7 ja 6 koosseisuga vähemalt 1+4 mehitatud põhiautot.

Piisava päästeressursi õigeaegsel reageerimisel likvideeritakse modelleeritud tulekahjud kuni ühe tunni jooksul. Sellepärast ei ole mõistlik antud sündmustele peale redel- ja tõstuauto eritehnikat kaasata.

5. JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD

5.1. Järeldused

Autori järelduste kohaselt antakse esimesed kustutusjoad tulekoldesse 17. minutil. Põlemispindalad selleks ajaks on: kaupluses 290 m² ja laval 555 m². Tulekahju lokaliseerimiseks ei piisa väljasõidukorra alusel automaatselt välja saadetavast ressursist. Tulekahju kiireks lokaliseerimiseks on tarvis lisajõudusid. Lisajõud saabuksid sündmuskohale ja teostaksid hargnemise ja muud ettevalmistavad tegevused ning annaksid kustutusjoad tulekoldesse mitte enne 22. minutit. Selleks ajaks on tulekahju pindalad vastavalt 423 m² ja 555 m².

Kustutuspiindalad tulekahju 22. minutil on vastavalt 423 m² ja 300 m². Vajalik veekogus vastavalt 100 ja 75 l/s. Vesivarustusega piirkonnas probleeme ei ole, vett on arvutuslikult piisavalt.

Tulekahju kiireks lokaliseerimiseks vajalik minimaalne inimressurs on arvutuslikult vastavalt 38 ja 32 inimest. Väljasõidukorra järgi reageerib automaatselt autori käsitletud laadi sündmusele kuni 30. Väljasõidukorra järgi väljasaadetav ressurs on seega vajaminemast väiksem.

5.2. Ettepanekud

Matemaatilise modelleerimise tulemusel selgitas autor välja, et väljasõidukorra järgi automaatselt väljasaadetavast ressursist ei piisa tulekahju kiireks lokaliseerimiseks. Häirekeskuse Põhja-Eesti Keskusele oleks mõistlik teada anda, et selle teenistujad Solaris Keskust puudutavas dokumentatsioonis vastavad märkmed teeksid, et tulekahju korral automaatselt vähemalt kaks põhiautot juurde saadaksid. Objekti kohta koostatavas operatiivplaanis oleks samuti mõistlik ülaltoodud asjaolu ära märkida.

Tutvumisõppuseid peab antud objektil läbi viima peale Keslinna ja Lilleküla päästekomandode ka Nõmme, Pirita ja Kpoli päästekomandode päästeteenistujatele.

Tutvumisõppustel ja objektil korraldatavatel tulekahjuõppustel tuleb harjutada koostööd objekti personaliga.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli matemaatilise modelleerimise teel arvutada Solaris Keskuse erinevates ruumides puhkenud tulekahju areng ja tulekahju lokaliseerimiseks vajalik ressurss. Samuti võrrelda arvutuslikult vajamineva ja väljasõidukorra järgi väljasaadetava ressursi vahekorda.

Solaris keskus asub Tallinna kesklinnas. Selle vahetus läheduses asub Eesti Pank, Rahvusoper Estonia. Suurt päästeressurssi nõudev päästetöö halvab kesklinna niigi tiheda liikluse ja tekitab meedia kõrgendatud huvi ning elanikkonna pahameelt. Päästeteenistuse ülesandeks on tekkinud õnnetuse kiire ja asjatundlik lahendamine, kinnitamaks oma õiglaselt kõrget mainet.

Töö tulemusel selgus, et väljasaadetav ressurss ei ole piisav modelleeritud tulekahju kiireks lokaliseerimiseks. Kui välja saadetakse kuni viis põhiautot, autoreedel ja brontotõstuk ning operatiivkorrapidaja, s.o. keskmiselt 29 päästeteenistajat, siis kontserdisaali laval modelleeritud tulekahju lokaliseerimiseks on arvutuslikult vaja vähemalt 32 inimest ja kaupluses modelleeritud tulekahju lokaliseerimiseks minimaalselt 38 inimest.

Autor teeb töös ettepaneku Häirekeskuse Põhja-Eesti Keskuse ning Põhja-Eesti Päästkeskuse isikkoosseisu teavitamisest ülaloodud asjaolust, et häirekorraldaja ja väljasõidujuht kaaluksid aegsasti lisajõudude rakendamise vajadust. Samuti teeb autor ettepaneku viia läbi tutvumisõppused antud objektile mitte ainult Keslinna ja Lilleküla päästekomandode vaid ka teiste Tallinna päästekomandode isikkoosseisule.

TABELITE JA JOONISTE LOETELU

Tabel 1. Evakuatsioonitee maksimaalne pikkus ja ruumi arvutuslik pindala ühe inimese kohta	20
Tabel 2. Ehitises tuletõkkeseksioonide moodustamine.	21
Tabel 3. Tabel 3. Orjenteeruvad vooluhulgad (l/s) ringvõrgus ühisveevärgitorustikule paigaldatud tuletõrjehüdrantidest.....	24
Tabel 4. Tulekahju matemaatilise modelleerimise algandmed.....	27

РЕЗЮМЕ

Тема данной дипломной работы „Математическое моделирование развития пожара и вычисление минимального количества ресурсов для локализации на примере центра Соларис“. Работа содержит 4 таблицы. Дипломная работа составлена на эстонском языке. Резюме написано на эстонском и русском языках.

В основу данной работы взяты основные понятия такие как: тушение пожаров, минимально требуемое количество ресурсов, площадь горения, площадь тушения.

Автором использованы такие методы исследования как математическое моделирование и проработка соответствующих правовых актов и специализированной литературы.

Целью работы является выявление минимального количества ресурсов для тушения математически смоделированного пожара в супермаркете или на сцене концертного зала центра Соларис. Целью является также оценка соответствия количества автоматически реагирующего и минимально требуемого ресурса.

Автор данной работы проработал материалы, касающиеся характеристики противопожарной безопасности данного объекта, специализированную литературу, а также произвёл математические расчёты.

Конечным результатом работы является расчёт минимального требуемого количества ресурса для тушения смоделированных пожаров. Результаты работы могут быть использованы при составлении оперативного плана, а также при проведении пожарных учений в центре Соларис.

VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

Ambach, G. 1999, Tulekahju eeluurimine, Tallinn

Drysdale, D., 2003, Tulekahju dünaamika, Tallinn: Sisekaiseakadeemia kirjastus.

Danilov, M. Devlišev, F, Jevtjuškin, N., Kimstatš, I., 1976, Tuletõrje taktika I osa, Tallinn: Valgus

Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded. Vastu võetud Vabariigi Valitsuse 27. oktoobri 2004. a määrusega nr 315, jõustunud 1.01.2005, RT I 2004, 75, 525

Иванников, В., Справочник руководителя тушения пожара, Москва.

Кимстач, И., 1984, Пожарная тактика, Москва.

Objektide loetelu, mille tuleohutusülevaatus viiakse päästeasutuste poolt läbi vähemalt üks kord aastas. Vastu võetud siseministri 4. jaanuari 2006. a määrusega nr 4, jõustunud 14.01.2006, RTL 2006, 5, 87,

Повзик, Я., 1984, Пожарная тактика, Москва.

Повзик, Я., 2000, Справочник руководителя тушения пожара, Москва.

Päästeameti peadirektori 08.03.2010 käskkiri nr 45 „Kontrollharjutused ning nende ajaliste normatiivide kinnitamine“

Päästetööde sutsusukeldumise eeskiri. Vastu võetud siseministri 23.02.2000. a määrusega nr 5, jõustunud 01.10.2000, RTL 2000, 32, 434,

Päästetööde üldeeskiri, vastu võetud siseministri 23.02.2000 määrusega, jõustunud 01.10.2000 – RTL 2000, 32, 433 ... 2004, 150, 2278

Suurkivi, T., 2000, Tuletõrjuja-päästja ABC, MP Safety OÜ.

Šuvalov, V. 1977, Tuletõrje alused; Tallinn.

Теребнев, В., 2004, Справочник руководителя тушения пожара, Москва: ПожКнига.

Tuleohutuse üldnõuded. Vastu võetud siseministri 8. septembri 2000. a määrusega nr. 55, jõustunud 08.09.2000, RTL 2000, 99, 1559 .