

Sisekaitseakadeemia

Päästekolledž

Lennart Ambos

TULEKAHJU ARENGU MATEMAATILINE
MODELLEERIMINE RAHVUSOOPER „ESTONIA“
HOONE NÄITEL

Lõputöö

Juhendaja:

Peeter Randoja

Tallinn 2008

ANNOTATSIOON

| | |
|--|-----------------------|
| Kolledž : Pääste | Kuu ja aasta: 04.2008 |
| Töö pealkiri: Tulekahju arengu matemaatiline modelleerimine Rahvusooper „Estonia“ näitel | |
| Töö autor: Lennart Ambos | allkiri: |
| <p>Lõputöö maht on 41 lehekülge. Kirjutamise keeleks on eesti keel. Lõputöö eesmärk on välja selgitada tulekahju arenemise kiirus Rahvusooper Estonias ja ressursside vajadus alanud tulekahju kustutamiseks, kasutades selleks tulekahju arengu matemaatilist modelleerimist. Autor püstitas järgmise hüpoteesi – võimaliku tulekahju korral Rahvusooper „Estonia“ hoones ei piisa reageerivast päästeressursist tulekahju kiireks ja efektiivseks kustutamiseks. Võimaliku tulekahju tekke asukohaks võttis autor lava, kuna läbi ajaloo on kõige enam saanud tulekahjusid teatrites ja ooperihoonetes alguse lavalt. Arvutustest nähtub, et tulekahju puhkemisel Rahvusooper Estonia pealaval võivad ilma õigeaegse vahelesegamiseta olla tõsised tagajärjed ja ASTE 3 järgi sündmusele reageerivast pääste ressursist ei piisa tulekahju kiireks ja efektiivseks kustutamiseks. Puudu jääb eelkõige päästjatest ja ka vajaliku kustutusvee tagamisest, viimast just tulekahju algus järgus, mil ei ole piisavalt põhiautosid. Eelnevaga kinnitas autor püstitatud hüpoteesi. Arvutuste tulemuste põhjal tehtud järeldustele toetudes on autori poolne peamine ettepanek olukorra parendamiseks - väljasõidukorra muutmine antud objekti puhul ASTE 4. Sellega tagatakse vajaminev päästeressurs. Lisaks pakub autor välja tuleohutusmeetmete tõhustamist hoones, eelkõige ohutumate materjalide kasutamisel lava dekoratsioonides ja personalile suunatud evakuatsiooniõppus, millesse oleks kaasatud ka operatiivteenistus.</p> | |
| Võtmesõnad : tulekahju arengu matemaatiline modelleerimine, tulekahjud teatri-ja ooperihoonetes, Rahvusooper „Estonia“ | |
| Keywords : mathematical modeling of fire development, Theater and Opera house fires, Estonian National Opera | |
| Säilitamise koht: | |
| Kaitsmisele lubatud: | |
| Juhendaja allkiri: | |

SISUKORD

| | |
|---|----|
| TABELITE JA JOONISTE LOETELU | 5 |
| SISSEJUHATUS | 6 |
| 1. OOPERI- JA TEATRIHOONETE TULETÕRJETAHTIKALINE ISELOOMUSTUS..... | 7 |
| 1.1. Ehituslikud iseärasused..... | 7 |
| 1.2. Ooperi- ja teatrihoonete tuleohutus..... | 8 |
| 1.3. Taktika | 8 |
| 1.3.1. Luure..... | 8 |
| 1.3.2. Evakuatsioon..... | 8 |
| 1.3.3. Kustutamine | 9 |
| 1.4. Ooperi- ja teatrimajades toimunud tulekahjud..... | 10 |
| 2. RAHVUSOOPER „ESTONIA“ TULETÕRJETAHTIKALINE ISELOOMUSTUS..... | 13 |
| 2.1. Hoone iseloomustus | 13 |
| 2.2. Tuleohutusmeetmed..... | 14 |
| 2.2.1. Automaatne tulekahju-signalisatsioonisüsteem | 14 |
| 2.2.2. Automaatne vesikustutusüsteem | 14 |
| 2.2.3. Suitsu eemalduse seadmestik..... | 15 |
| 2.2.4. Tuletõrje voolikusüsteemid..... | 15 |
| 2.2.5. Lava | 15 |
| 2.2.6. Evakuatsioon..... | 16 |
| 2.2.7. Objekti väline tuletõrje vesivarustus..... | 16 |
| 2.3. Personal..... | 16 |
| 3.RAHVUSOOPER „ESTONIA“ VÕIMALIKU TULEKAHJU ARENGU MATEMAATILINE MODELLEERIMINE JA RESSURSSIDE ARVESTUS..... | 18 |
| 3.1. Tulekahju vabaarengu aja arvutamine | 19 |
| 3.2. Tulekahju areng ja ressursside vajadus 9-ndal minutil..... | 21 |
| 3.2.1. Tulekahju pindala 9-ndal minutil..... | 21 |
| 3.2.2. Tulekahju kustutuspiindala 9-ndal minutil | 23 |
| 3.2.3. Tulekahju tuleleviku peatamiseks ja kõrvalruumide kaitsmiseks vajalik veekulu 9-ndal minutil..... | 25 |
| 3.2.4. Jugade arvu määramine tule leviku tõkestamiseks, kustutamiseks ja kaitseks 9-ndal minutil..... | 27 |
| 3.2.5. Isikkoosseisu vajadus..... | 28 |
| 3.2.6. Jugade arvust lähtuv tegelik veekulu 9-ndal minutil | 29 |
| 3.2.7. Põhiautode arvu määramine 9-ndal minutil autopumpade järgi | 29 |
| 3.3. Tulekahju areng ja ressursside vajadus 11-ndal minutil..... | 31 |
| 3.3.1. Tulekahju pindala 11-ndal minutil..... | 31 |
| 3.3.2. Tulekahju kustutuspiindala 11-ndal minutil | 32 |
| 3.3.3. Tulekahju tuleleviku peatamiseks ja kõrvalruumide kaitsmiseks vajalik veekulu 11-ndal minutil..... | 34 |
| 3.3.4. Jugade arvu määramine tule leviku tõkestamiseks, kustutamiseks ja kaitseks 11-ndal minutil..... | 36 |
| 3.3.5. Isikkoosseisu vajadus..... | 37 |
| 3.3.6. Jugade arvust lähtuv tegelik veekulu 11-ndal minutil | 38 |

| | |
|--|----|
| 3.3.7. Põhiautode arvu määramine 11-ndal minutil autopumpade järgi | 38 |
| 4. JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD | 40 |
| 4.1. Järeldused..... | 40 |
| 4.2. Ettepanekud | 41 |
| KOKKUVÕTE | 43 |
| SUMMARY | 44 |
| VIIDATUD ALLIKATE LOETELU | 45 |
| LISA 1. Rahvusoper „Estonia“ ehitusjoonised..... | 46 |
| LISA 2. Sündmusele reageerivad jõud | 47 |
| LISA 3. Hüdrantide paiknemise skeem | 48 |
| LISA 4. Tehnika paigutuse skeem..... | 49 |

TABELITE JA JOONISTE LOETELU

1. Lk 12 Tabel nr 1 - Rahvusooper Estonia tuletõkkeseksioonide loetelu
2. Lk 15 Joonis nr 1 - Rahvusooper Estonia oletatava tulekahju tulekolde asukoht
3. Lk 19 Joonis nr 2 - Tulekahju pindala 9-ndal minutil
4. Lk 20 Joonis nr 3 - Tulekahju kustutuspindala 9-ndal minutil
5. Lk 28 Joonis nr 4 - Tulekahju pindala 11-ndal minutil
6. Lk 29 Joonis nr 5 - Tulekahju kustutuspindala 11-ndal minutil

SISSEJUHATUS

Läbi ajaloo on toimunud hävitavaid ja ohvrite rohkeid tulekahjusid ooperi- ja teatrihoonetes. Tänapäeval mil ehitusmaterjalid on muutunud tulekindlamaks ja on võetud kasutusele nii aktiivsed kui ka passiivsed tulekaitse meetmed, ei olda ikkagi täielikult kaitstud laastavate tulekahjude ees. Eks meie oma rahvuslik uhkus Rahvusoper Estonia ole selline hoone, mis on möödunud viieteistkümne aasta jooksul kolm tuleõnnetust läbi elanud. Kõik need tuleõnnetused lõppesid õnnelikult tänu kvalifitseeritud turvameeskonna kiirele tegutsemisele. Kuid samas tekib küsimus, mis juhtub siis kui tulekahju algfaasis ei suudeta kustutada? Kas päästemeeskonnad, kes esmajärjekorras sündmusele reageerivad, suudavad tulekahju kustutada kiiresti ja efektiivselt, nii et säiliks kultuurimälestise väärtus?

Käesolev lõputöö püüabki nendele küsimustele vastata, kasutades selleks tulekahju arengu matemaatilist modelleerimist. Kuna antud hetkel puudub Rahvusoper Estonia kohta operatiivplaan, võib juhtuda, et reaalse sündmuse korral jääb reageerivast ressursist väheks. Lõputöös analüüsitakse arvutuste tulemusi ja tehakse ettepanekud operatiivplaani väljatöötamiseks ja evakuatsiooni õppuste korraldamiseks võimaliku tulekahju korral.

1. OOPERI- JA TEATRIHOONETE TULETÕRJETAKTICALINE ISELOOMUSTUS

1.1. Ehituslikud iseärasused

Teatrihoone jaguneb kahte ossa: lavapoolne osa ja vaatesaal. Lavapoolse osa moodustavad peale lava veel näitlejate ruumid, juuksurite ruumid, mööblilaod, dekoratsioonide ruumid, triikimistoad jne. Lavapõrand valmistatakse üldjuhul puidust ja lava pindala jääb 300-600 m² vahele. Lavakarbi seinad on tehtud mittepõlevatest materjalidest, seinte kõrgus on 25-40 m. Lavalael puudub pööning ja sinna on ehitatud suitsuluugid. Nende juhtimine toimub lavapõrandal olevast masinaruumist ja kohalikust tuletõrjevalve ruumist. Lava ülemises osas on ehitatud restidest kitsad käigurajad. Nende materjalideks on prussid ja laudad. Mõnedes teatrites tehakse käiguradade põrandad metallrestidest. Töögaleriide põrandad tehakse prussidest ja laudadest aga piirded tehakse raudbetoonist. Keerdtrepid galeriidesse ja käiguradadele on tehtud mittepõlevatest ehitusmaterjalidest. Kui sellised väljakäigud puuduvad siis käigurajad ja galeriid ühendatakse välise tuletõrjeredelitega. (Повзик 1984:375)

Lavatrümm, mis asub lava all, võib olla 1-3 astmeline, iga astme põrand on ehitatud puitmaterjalist. Lavatrümmis asuvad pöördlava ja lava mõnede osade tõste-ja allalaskmise seadmed. Sisenemine lavatrümmi toimub tavaliselt mõnest lavapoolsest abiruumist. Mõnedes lavatrümmides hoitakse ka dekoratsioonide elemente. Lavatrümmi ühes osas asub lava ja vaatesaali valgustuse juhtimise pult. Valgustuse puldi juurde pääseb kahest kohast, s.o trümmi ja vaatesaali poolt. (Повзик 1984:375)

Vaatesaal on eraldatud teistest ruumidest mittepõlevate seintega. Vaatesaal on ühendatud lavaga suure ava kaudu, mille mõõtmed võivad olla: laius 12-20m ja kõrgus 8-12m. Üle 800 kohaga teatrites lastakse tulekahju korral alla tuletõkkekardin. Lagi ja pööning vaatesaali kohal võib olla raskesti põlev või (kergesti) põlev. Vaatesaali põranda all on suuremas osas tühimikud. Vaatesaalis on olemas ventilatsioon, mille kanalid asuvad pööningul. Vaatesaali pääsudega on nii arvestatud, et tulekahju korral oleks tagatud võimalikult kiire vaatajate evakueerimine. Tulekahju koormuse vaatesaalis moodustavad põlevad konstruktsioonid nagu põrand, toolid mis on kinnitatud põranda külge, vaate rõdud jm. Üldine tulekahju koormus

võib olla 30-50 kg m². Vaatesaali mahutavus võib olla 600-1500 inimest. Levinumate teatrite mahtuvus on 800-1000 kohta ja maht 40-70000 m³. (Повзик 1984:375-376)

1.2. Ooperi- ja teatrihoonete tuleohutus

Statsionaarseteks kustutusvahenditeks teatrites on sprinklersüsteemid ja drentšerid. Neid seadmeid kasutatakse lavapealse osa ja kõrvalruumide kaitseks. Lisaks kasutatakse sisemisi tulekustuskraane ja lafette. Kõik need tulekustutussüsteemid peale sisemiste tuletõrjekraanide käivitatakse tuletõrje valveruumist.

1.3. Taktika

1.3.1. Luure

Kõigepealt tehakse kindlaks vaatajate, artistide, teenindava personali arv. Nende abil tehakse kindlaks, kuidas on organiseeritud ja läbiviidud evakuatsioon. Kui tuletõrje saabumiseks evakuatsiooni pole alustatud peab päästetööde juht (edaspidi PTJ) tegema kindlaks selle otstarbekuse. (Danilov jt 142-143)

Inimeste puudumisel hoones (või kui päästjate saabumisel on evakuatsioon lõppenud) selgitab PTJ välja: tulekahju koha suuruse ja tule levikul vaatesaali, lavale või ümbritsevatesse ruumidesse. Lisaks veel, kas tulekindel eesriie on alla lastud, suitsuluukide olukord, millised kohalikud kustutusvahendid on pandud tööle.

Luure käigus võib vajadusel alla lasta tulekindla eesriide ja tööle panna statsionaarsed tulekustutusvahendid. (Повзик 1984:377)

1.3.2. Evakuatsioon

Ohu korral inimestele tuleb organiseerida koheselt nende evakueerimine. Kui vaatajad ei ole taibanud, et hoones on tulekahju, tuleb saal evakueerida mõnel muul põhjusel just paanika vältimiseks. Seda peaks tegema keegi administratsioonist. Kui inimesed on taibanud, et on tulekahju, tuleb neile selgitada, et tuli neid veel ei ohusta ja paluda neil rahulikult saalist lahkuda. Teenindava personali ja päästemeeskonna poolt tuleb avada kõik väljapääsud ja juhtida inimeste vool võrdselt kõikidesse väljapääsudesse.

Kõigepealt on hädavajalik viia kiiresti inimesed välja galeriidest, rõdudelt, ülakorrustelt, sealt kuhu kogunevad põlemisproduktid ja kus temperatuur tõuseb kiiresti. Tuleb võtta kasutusele ohutusmeetmed paanika vastu. Kui ilmnevad paanika tundemärgid, tuleb kõik jõud suunata evakuatsiooni organiseerimisele ehk isikkoosseis jagada laiali evakuatsiooniteedele organiseerima inimeste rahulikku väljumist.

Üheaegselt sellega ja pärast evakuatsiooni lõppu on vaja saal korralikult üle kontrollida. Samuti ruumid artistidele ja teenindavale personalile.

Publiku evakueerimise ajal ei tohi evakuatsiooniteid kasutada voolikuliinide paigaldamiseks ja tuletõrjearustuse ülesseadmiseks. (Šuvalov 1977:227)

1.3.3. Kustutamine

Teatrites puhkevad tulekahjud kõige sagedamini laval, kus nad kiiresti levivad mööda dekoratsioone, tekitavad rohkesti suitsu, gaase ja eraldavad soojust. Põlemisproduktid täidavad peagi lavaruumi, tungides lavaportaali ja teiste avade kaudu vaatesaali ning muudesse lavaga külgnevatesse ameti- ja kõrvalruumidesse. (Šuvalov 1977:226) Seda võimaldab suur lavaosa ruumala. Sellega kaasneb temperatuuri kiire tõus inimestele ohtliku tasemeni. Ühtlasi tekib reaalne oht tulekahju levimiseks teatri kõikidesse ruumidesse, ka põõningule. (Šuvalov 1977:226) Suits, leegid ja kuumad põlemisgaasid tungivad vaatesaali lavaportaali ülaosast, ohustades rõdudel viibivat publikut. (Šuvalov 1977:227)

Sõltuvalt tuleallika olemasolust, paigutusest ja läbikäikude olekust (kinni, lahti) võivad olla erinevad tule leviku variandid laval.

Kui portaalkäik sulgeda tulekindla eesriidega ja suitsuluugid sulgeda (või puuduvad) siis tuli võib levida 5-10 min jooksul dekoratsioonidele ja põlevale sisseseadele ja võtta enda alla kogu lava ruumala. Tule laienemise lineaarne kiirus mööda lava võib tõusta 3m/min, aga vertikaalselt üles mööda dekoratsioone kuni 6 m/ min. Lava ruumala annab märkimisväärse rõhu tulekindlale eesriidele, see võib tõusta 40- 60 kg/m² ja rohkem.

Suletud portaalläbikäigu ja avatud tuletõrjeluukidega või purunenud lavakatte puhul (see võib toimuda 25- 30 min peale tulekahju algust) toimub õhu imemine lavaruumist, mis kutsub esile muutusi gaaside voolus ja kiiret tulesurve ärapõlemist. Väheneb oht tule levikuks vaatesaali.

Avatud läbipääsuga ja suletud suitsuluukide puhul sädemed ja hõõguvad tükid võivad kanduda vaatesaali läbi avatud portaalläbipääsu. Kuumade gaaside voolud koos leekidega pöörduvad vaatesaali poole, tekitades ohu inimestele, sisustusele ja pööningule. Vaatesaal täitub 1-2 min jooksul põlemisproduktidega. Moodustades lavakarbist rõhu, võivad avaneda ukse, mis viivad vaatesaalist fuajeesse, aga ukse, mis avanevad lava poole ei ole võimalik avada ilma mitme inimese jõuta.

Avatud portaalläbipääsu ja avatud suitsuluukidega põlemisproduktide vool liigub üles atmosfääri ja ainult väike osa neist läheb saali. Lava ja madalam vaatesaali osa võivad olla hõrenduse all, mis on võimeline sulgema saali ukse. Oht tule levikuks saali on siiski, kuid võib olla välistatud jugade andmisega saali poolt. Vajaduse korral kustutamisel võib muuta gaasivoolude liikumist avades- sulgedes suitsuluuke, samuti tulekindla eesriide abil kui ei ole toimunud selle deformatsiooni.

Tulekahju puhkemisel vaatesaalis võib ta levida ruttu mööda põlevaid konstruktsioone ja mööblit. Lineaarne kiirus tule levikul kõigub 0,8- 1,5 m/min vahel. Tulesurve vaatesaalis tekitavad põlevad konstruktsioonid: põrand, istmed, kerged ülestõstetud katted ja rõdud. Üldine tulesurve on 30- 50 kg/ m. Tuli laieneb intensiivselt suure õhu ruumala arvelt. Tule levikul vaatesaalis levib tuli rõdudele, loožidesse ja pööninguruumidesse mööda läbikäike, samuti ventilatsiooni kaudu. Tekib oht põlevatele ripplagedele, mis võivad alla kukkuda. Avatud portaali läbipääsu puhul (tuletõkke kate avatud või puudub) võib tuli vaatesaalist laieneda lavale ja mööda avatud ukse lavataguste ruumidele.

1.4. Ooperi- ja teatrimajades toimunud tulekahjud

Teatri- ja ooperihoonetes on läbi ajaloo toimunud tulekahjusid. Ameerika Ühendriikide ajaloo kõige suuremate hukkunute arvuga hoone tulekahjuks on siiani 30-ndal detsembril 1903 aastal Chicagos Iroquois teatris toimunud tulekahju, mis tappis 602 ja vigastas lisaks veel 250 inimest. Iroquois teatri näol oli tegemist oma aja kõige moodsama ja uuema teatriga USA-s, milles oli natuke üle 1600 istekoha. Kahjuks oli tuleohutusele teatris vähe tähelepanu pööratud: personal oli koolitamata, teatrisse paigaldatud vesikustutussüsteem ei toiminud, lava ja publiku osa eraldav asbestist tuletõkke kardina allalaskmise mehhanism ei töötanud korralikult.

Saatuslikul 30-ndal detsembril pulbitses maja rahvast, kõik istekohad olid täidetud, lisaks paljud veel istusid toolidel vahekaikudes. Arvatakse, et kokku võis vaatesaalis viibida kuni 2100 inimest. Tulekahju sai alguse lava prožektori pirmi läbipõlemisest, mis süütas lavakardinad ja seejärel dekoratsioonid. Kaks lavatöötajat ei suutnud tulekahju kustutada, ega ka lava ja publiku vahelist asbestist tuletõkke kardinat alla lasta, mistõttu arenes tulekahju väga kiiresti ka vaatesaali. 8 minutiga hukkus 500 inimest, suurem osa neist trambiti treppidel surnuks. (Garboden 1995)

1994 a. 12 augustis toimus Hiinas Karamay linna teatris 324 hukkunuga tulekahju. Traagiliseks teeb selle tulekahju asjaolu, et 288 hukkunut olid koolilapsed, kes olid koos oma õpetajatega näitetükki vaatama tulnud. Tulekahju sai alguse ka seekord lava valgustitest, mis lühisesse läksid ja dekoratsioonid ning kardinat süütasid. Personal, kes oleks pidanud rahvast evakueerima hakkama, põgenes ise leekide eest. Ka olid paljud evakuatsioonipääsud suletud, mistõttu inimesed ei suutnud pääseda mürgise suitsu eest. (Sheridan 2007)

Kõige tõsisem põleng Rahvusooper Estonia hoones toimus 1998 aasta 4. septembril, mille arengule suudeti tänu turvameeskonna kiirele tegutsemisele piir panna. Tulekahjus hävisid täielikult „Tuleingli“ balleti dekoratsioonid. Dekoratsioon pidi imiteerima telliskiviseina ning olema tagant valgustatav, mistõttu oli selle peale kleebitud kolme-nelja millimeetri paksune telliskive meenutav kiht vahtkummi.

Tuld märkasid esimesena valgustajad, kes töötasid teatrisaali rõduloožides, kus paiknevad valgusboksid. Alarmid hakkasid tööle, tulekahju häiresüsteem registreeris alarmi kell 12.45. Esimesena reageerisid teatrisaali teise rõdu alused andurid, siis hakkasid tööle laeandurid. Tulekahju arenes väga kiiresti. Turvakaamera mis on paigutatud portaali ülanurka ja mis umbes 25 sekundiga teeb 360-kraadise tiiru, salvestas täisringi lõpus lava, mis oli juba paksu musta suitsu täis. Tulekahju puhkedes olid tööle kolm turvatöötajat, turvaülem ning valvelauas üks administraator. Üks turvamees pidas turvaruumis sidet, kaks võitlesid laval tulega ja kolmas tuli pärast lisaks. Oleks turvamehed hilinenud kaks-kolm minutit siis poleks nad suutnud enam tule levikule piiri panna, ka kustutid oleksid otsa lõppenud. Dekoratsioon põles ülespoole ära ja kui tuli kinnitusteni jõudis, kukkus kõik uuesti alla lavale tagasi, jätkates seal põlemist. Kasutada olid pulber- ja süsihappegaasikustutid: üldse oli kokku 64 kustutit, neist 52 kasutati ära ja ehitajatelt saadi ka mõned juurde(samal ajal käisid ehitustööd ja suitsuluukide paigaldamine pealava kohal). 70 000 - 80 000 krooni väärtuses kustuteid lasti tühjaks mõne

hetkega. Tulekahju saadi kontrolli alla 8 minuti pärast. Hinnatav kahju oli suurusjärgus pool miljonit krooni. Tulekahju uurimisel selgus, et tulekahju oli alguse saanud laval toimunud keevitustöödest, mille käigus lendunud sädemed süütasid dekoratsioonid. (Lilander jt 2008)

2. RAHVUSOOPER „ESTONIA“ TULETÕRJETAHTIKALINE ISELOOMUSTUS

2.1. Hoone iseloomustus

Rahvusoper „Estonia“ asub Tallinna linnas, aadressiga Estonia pst 4. Rahvusoperi maja võeti esmakordselt kasutusele 1913 aastal, 1944 a märtsi pommitamiste ajal hävines hoone täielikult ja renoveeriti 1951 aastaks. Viimase renoveerimise käigus 2005 aastal, renoveeriti kogu publiku osa ja lava kaitsesüsteemid, tänapäevaseid tuleohutusnorme järgides. Rahvusoperi hoonel on seitse maapealset ja üks maalune korrus. Majas on kaks põhiitiiba, millest ühes asub Eesti Kontserdi kontserdisaal ja teises Rahvusoper. Vastavalt Vabariigi Valitsuse määrusele kuulub hoone TP1 klassi s.t. et hoone kandekonstruktsioonid ei tohi etteantud aja jooksul tulekahjus variseda. Kandekonstruktsioonid on põhiliselt tehtud looduslikust kivist, vahelaed on monoliitsetest raudbetoonist. Katuse kandekonstruktsioonid on liimpuidust ja dimensioneeritud vastavalt kehtivale ehitus standardile, katuse materjaliks on kasutatud kivi. Hoone kogumaht on 130280 m³.

Hoone on jagatud tuletõkkeseksioonideks nii vertikaalselt (korruste kaupa) kui ka horisontaalselt. Ükski seksioon ei ületa pealmaakorrusel 2400 m² ja keldrikorrusel 800 m². Seksioonide piirdetarindite tulepüsivusklassid on määratud eripõlemiskoormusega.

Tabel 1. Rahvusoper Estonia tuletõkkeseksioonide loetelu

| Ruumirühm | Eripõlemiskoormus MJ/m ² | Tulepüsivusklass | | |
|-------------|-------------------------------------|--|--------------------|-------------------------------|
| | | Korruste vert. ja horisontaalsed kandetarindid | tuletõkkeseksiooni | |
| | | | piirdetarindid | avade täited piirdetarandites |
| hoidlad | >1200 | R180 | EI 120 | EI 60 |
| lavakarp | 600-1200 | R120 | EI 90 | EI 60 |
| muud ruumid | <600 | R60 | EI 60 | EI 30, EI 60* |

*evakuatsioonipääsude uksed keldrikorrusel

Kogu majas on istekohti külalistele 2033, maksimaalne külastajate hulk saab olla u. 2700.

2.2. Tuleohutusmeetmed

2.2.1. Automaatne tulekahju-signalisatsioonisüsteem

Rahvuskooper „Estonia“ hoone on täielikult kaetud automaatse tulekahju-signalisatsioonisüsteemiga, mille juhtpult asub turvaruumis. Süsteemis on kasutusel nii optilised suitsuandurid kui ka temperatuuriandurid. Tulekahju häire korral on häirekellade rakendumiseks jäetud viiteaeg, mille jooksul peab turvapersonal välja selgitama kas tegu on reaalse häirega või mitte.

2.2.2. Automaatne vesikustutussüsteem

Rahvuskooperi hoone on osaliselt varustatud automaatse vesikustutussüsteemiga. Kustutussüsteem on paigaldatud kõige suurema põlemiskoormusega ruumidesse (vt tabel 1). Kasutusel on nii sprinkler- ja drenšersüsteem. Ruumid on kaetud järgnevalt:

Keldri korrus

- Metallitöökoda
- Puusepatöökoda
- Puumaterjalide ladu

I korrus

- Dekoratsioonide vastuvõtu ruum koos vahekoridoriga
- Lavatrümm(drenšersüsteem)

II korrus

- Dekoratsioonide ladu
- Pehme materjalide ladu
- Mööbli ladu
- B poole külglava
- Rekvisiitide ladu
- Tagalava
- Pealava (drenšersüsteem)
- A poole külglava

IV korrus

- Dekoratsioonide valmistamise ruum
- Värviköök ja selle esine koridor
- õmblustöökoda

V korrus

- drapeerijate ruum

VI korrus

- nõörpööning

Lavatorni teenindusrõdud

- I tasapind – drentšersüsteem
- Kõrgemad tasapinnad – sprinklersüsteem

Veekardinad

- Pealava ja saali vahel
- Külglavade ja pealava vahel(külglavasid on 2tk, mõlemal on veekardinad)
- Tagalava ja pealava vahel

Sprinkleri keskus asub majast väljas, omaette maaalus ehitises. Drentšersüsteemid toimivad käsilülitusepeal, nende juhtimine käib valveruumist.

2.2.3. Suitsu eemalduse seadmestik

Pealavalt ja 2003a. jõuludeks valminud kammersaalis on suitsu eemaldamiseks ettenähtud suitsuluugid, millest esimeste juhtimine käib valveruumist ja viimase juhtimine käib kammersaali viiva trepikoja juures. Ülejäänud ruumidest s.h ka evakuatsiooni trepikodadest toimub suitsu eemaldamine läbi akende.

2.2.4. Tuletõrje voolikusüsteemid

Kõik Rahvusooper „Estonia“ teatrihoone korrused on varustatud tuletõrje vooliku kappidega. Kasutusel on 2,5 l/s tulekustutus vee andmiseks ettenähtud voolikud ja joatorud. Sellise tootlikkusega voolikusüsteemid kuuluvad esmaste tulekustutusvahendite kategooriasse.

2.2.5. Lava

Rahvusooper „Estonia“ lava ja publiku osa eraldamiseks tulekahju korral on kasutuses raudne eesriie, mille tõstmine ja langetamine toimub elektrimootorite abil. Kardina juhtimine toimub käsitsi ja kahest kohast. Lava vahetus läheduses ja lava juures koridoris.

2.2.6. Evakuatsioon

Kõik evakuatsiooniteed ja publikuruumid on kaetud turvalgustusega. Evakuatsioonivalgustite toimimisaeg on elektrikatkestuse korral minimaalselt üks tund. Publikut teenindav personal on väljakoolitatud tulekahju olukorras aitama inimestel ohutult evakueerida kasutades selleks ettenähtud evakuatsioonitrepikodasid. Evakuatsioonipääsud suunduvad kas otse välja või tulekindlatesse trepikodadesse. Evakuatsiooniteid tähistavad evakuatsioonivalgustid, samuti on evakuatsiooniteedele paigaldatud paanikavältimisvalgustid. Uste lukud on evakuatsiooniteedel seestpoolt võtmeta avatavad, paarisüksed on varustatud kiirriividega. Evakueeritud inimesed paigutatakse halbade ilmastiku tingimuste korral Eesti Draamateatri hoonesse.

2.2.7. Objekti väline tuletõrje vesivarustus

Rahvuskooper „Estonia“ lähim hüdrant (nr. 299) asub u. 28 m kaugusel peasissepääsust Estonia puisteel. Tegemist on Tallinn tüüpi hüdrandiga, mille toide tuleb Ø 300 mm läbimõõduga veetrassilt. Samal trassil asuvad veel kaks Tallinn tüüpi hüdranti nr 69 u. 58m kaugusel ja nr 300 u. 40 m kaugusel rahvuskooperi peasissepääsust. G. Otsa nimelises tänavas u. 75 m kaugusel Pärnu maantee poolsest personali peasissepääsust asub Tallinn tüüpi hüdrant nr. 123. Antud hüdrandi toide tuleb Ø 250 mm läbimõõduga veetrassilt.

2.3. Personal

Rahvuskooper „Estonia“ objektil on tagatud ööpäevaringne mehitatud valve. Kogu turvapersonal on läbinud tuleohutusosalased koolitused, mis käsitlesid endas ka praktilisi tulekustutus harjutusi esmaste tulekustutusvahenditega (tulekustutid ja tuletõrje voolikusüsteemid). Päevasel ajal turvab hoonet 3-4 turvatöötajat, öisel ajal aga 2 turvatöötajat. Rahvuskooperis toimivate etenduste ajal viibib hoones minimaalselt 3 turvatöötajat, kellest üks asub turvaruumis, teised siis vastavalt pealaval ja publiku poolses osas. Võimaliku tulekahju korral on turvaruumis viibiva turvatöötaja ülesandeks koheselt teavitada häirekeskust alanud tulekahjust. Juhul kui tulekahju on saanud alguse lavalt ja tulekahju kustutamine esmaste

tulekustutusvahenditega ei ole võimalik, peab ta käivitama drentšer süsteemi ja avama lava suitsuluugid. Lisaks võtab turvatöötaja kontakti objekti vastutava isikuga ja teavitab ka juhtkonda alguse saanud tulekahjust.

Laval viibiva turvatöötaja ülesanneteks on esmajärgus raudse eesriide langetamine, selleks et tulekahju ja põlemisgaasid ei leviks publiku ossa. Koheselt raadioside teel teavitama turvaruumis viibivat turvatöötajat tulekahjust ja andma korralduse suitsuluukide avamiseks, selleks, et juhtida põlemisgaasid ja suits lavalt ära. Seejärel asub laval viibiv turvatöötaja tulekahju kiiret kustutamist, kasutades selleks esmaseid tulekustutusvahendeid.

Publiku poolel viibiv turvatöötaja, saanud raadioteel teada alanud tulekahjust, alustab koheselt küllastajate evakueerimist, andes külalisi teenindavale personalile käsu evakuatsiooni alustamiseks. Seejärel suundub turvatöötaja appi lavale tulekahju kustutama.

Päästemeeskonnad võtab vastu valveruumis viibiv turvatöötaja, kes annab vajalikku teavet tulekahju asukoha ja suuruse kohta, edastab objekti skeemid, avab vajalikud ukсед, teavitab PTJ peakilbi asukoha ning annab juhiseid kuidas kõige kergemini tulekahju kolde juurde pääseb. (Lilander jt 2008)

3.RAHVUSOOPER „ESTONIA“ VÕIMALIKU TULEKAHJU ARENGU MATEMAATILINE MODELLEERIMINE JA RESSURSSIDE ARVESTUS

Autor kasutab tulekahju arengu matemaatilisel modelleerimisel vene metoodikat. (Повзик 2000) Rahvusoper „Estonia“ hoone ehitati uuesti peale 1943 a. märtsi pommitamisi, tollaegsete N-Liidu tuleohutusnormide järgi. Seetõttu on metoodika kasutatav antud hoone puhul ka tänapäeval.

Tulekahju arengu matemaatilisel modelleerimisel võtab autor aluseks kõige raskema stsenaariumi. Ehk sellise juhu, kui automaatsed tulekustutussüsteemid ei rakendu tööle, turvapersonal ei ole võimeline reageerima alanud tulekahjule ja publiku osa kaitsvat raudkardinat ei langetata.

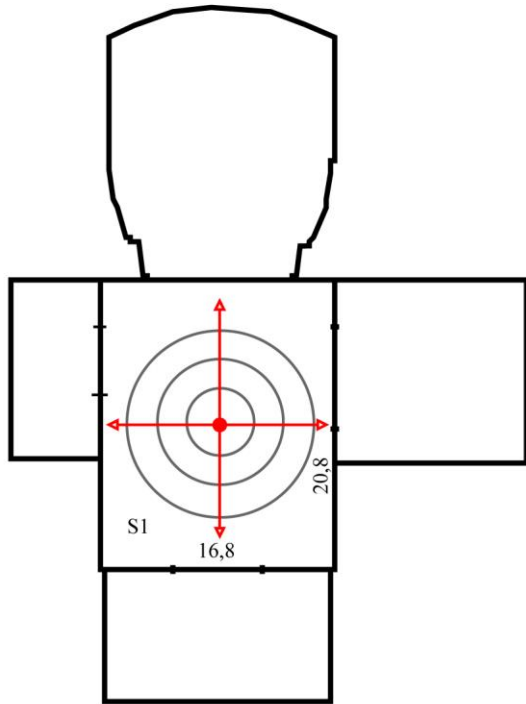
Kõige põhjalikumast statistilist ülevaadet automaatsete tulekustutussüsteemide kohta omab Ameerika Ühendriikide Rahvuslik Tulekaitse Agentuur (NFPA), Eestis selline statistika puudub. 7% juhtudel kui hoones oli olemas automaatne tulekustutussüsteem, see ei rakendunud või osutus tulekahju kustutamiseks ebapiisavaks. (Hall 2007:13)

Kõige tõenäolisemaks tulekahju tekkimise kohaks on lava. Seda on näidanud ka eelnevad tuleõnnetused, mis on teatri- ja ooperihoonetes ning ka rahvusoperis juhtunud.

Teatri- ja ooperimajades on tulekahju joonlevimiskiirus 1-3 m/min. (Повзик 2000:18)

Lava dekoratsioonide tootmisel kasutatakse suurel hulgal vahtpolüstüreenist EPS soojustusplaate, mis on kaetud ainult ühelt poolt vesipõhise värviga, mis aga ei taga piisavat kaitset süttimise eest. (Behaviour... 02.03.2008) Lisaks kasutatakse veel puitu ja puitlaastplaate. Kuna tegu on suure põlemiskoormusega, siis võtab autor tulekahju joonlevimiskiiruseks $V_j = 2\text{ m/min}$.

Autor püstitab hüpoteesi – võimaliku tulekahju puhkemise korral Rahvusoper „Estonia“ hoones ei piisa reageerivast päästeressursist tulekahju kiireks ja efektiivseks kustutamiseks. Selle hüpoteesi kinnitamist või ümberlükkamist püüab autor arvutuste abil tõestada.



↑ - tulekahju arenemise suund

• - tulekahju kolle

⊙ - tulekahju ringikujuline arenemine

$$S = 349,44 \text{m}^2$$

Joonis 1. Rahvusooper Estonia oletatava tulekahju tulekolde asukoht

3.1. Tulekahju vabaarengu aja arvutamine

Esimesena asjana tulekahju arengu matemaatilise modelleerimise juures tuleb välja arvutada aeg, millal tulekahju saab vabalt, ilma päästemeeskonna sekkumiseta, areneda.

Tulekahju vabaarengu aeg leitakse järgmise valemiga:

$$\tau_{va} = \tau_{ae} + \tau_{vs} + \tau_{s.aeg} + \tau_{kjl} \quad ,\text{kus}$$

τ_{va} - tulekahju vabaarengu aeg (min),

τ_{ae} - tulekahju avastamise aeg koos häirekeskusesse teatamise ja teate töötlemisega (edastus + töötlemine s.o 1 min) ,

τ_{vs} - meeskonna väljasõiduaeg depoost (1 min),

$\tau_{s.aeg}$ - esimese meeskonna sõiduaeg sündmuskohale (min) vt LISA 2 päästemeeskondade sõiduajad sündmuskohale

τ_{kjl} - aeg hargnemiseks ja esimese joa andmiseks (5 min).

Lisades valemisse vajalikud arvud, saame tulekahju vabaarengu aja:

$$\tau_{va} = 1 + 1 + 2 + 5 = 9 \text{ min}$$

Meeskonna sündmuskohale sõiduaja leitakse järgmise valemi abil:

$$\tau_{s.aeg} = \frac{60 \cdot L}{V_{\text{kesk.sk}}} \quad ,\text{kus}$$

L – tulekahju koha kaugus depoost (km)

$V_{\text{kesk.sk}}$ - keskmine sõidukiirus (kõvakattega teel 45 km/h)

Rahvusoooper „Estonia“ lähim komando asub Raua tänaval (kesklinna keskkomando). Hoone kaugus komandost on 840 m.

Leiame lähima meeskoha sõiduaja sündmuskohale:

$$\tau_{s.aeg} = \frac{60 \cdot 0,84}{45} = 1,12 \text{ min} \approx 2 \text{ min}$$

Komakohad väljasõidu aja puhul ümardatakse täisühikuni.

3.2. Tulekahju areng ja ressursside vajadus 9-ndal minutil

3.2.1. Tulekahju pindala 9-ndal minutil

Tulekahju alguse kohaks võtab autor lava keskpunkti, kuna see on kõige tõenäolisem tulekahju tekkekoht. Lava keskelt hakkab tulekahju levima ringikujuliselt. Selleks, et arvutada tulekahju pindala 9 minutil, mil jõuab esimene päästemeeskond kohale ja on hargnemised teinud, tuleb kasutada järgmist valemit:

$$S_T = \pi r^2 = \pi (k \times V_j \times \tau)^2, \text{ kus}$$

S_T - tulekahju pindala valitud ajaühikul

V_j - joonlevimiskiirus

τ - põlemise kestvus (min)

k - koefitsient

Koefitsient võetakse tulekahju puhul mis on kestnud alla 10 minuti 0,5. Seda just seetõttu, et tulekahju areneb esimesel 10 minutil aeglasemalt. Üle 10 minuti kestnud tulekahju puhul võetakse koefitsiendiks 1,0.

Leiame tulekahju pindala 9 minutil:

$$S_T^9 = \pi (0,5 \times 2 \times 9)^2 = 255m^2$$

Tulekahju raadiuseks on:

$$r = 0,5 \times 2 \times 9 = 9m$$

Kuna arvutuse raadius ületab lavakarbi mõõtmed, siis peame leidma aja, mil tulekahju jõuab seinani. Seinani jõudes toimub tulekahju areng edasi külgsuunas. Aja, mil tulekahju jõuab seinani arvutame järgmise valemiga:

$$\tau x = \frac{r - 5V_j}{V_j}, \text{ kus } \tau x = \frac{r}{0,5 \cdot V_j}, \text{ kus}$$

τx - aeg millal tulekahju jõuab seinani

r – pool ruumi laiust

V_j - joonlevimiskiirus

Leiame aja, millal tulekahju jõuab seinani:

$$\tau x = \frac{r}{0,5 \cdot V_j} = \frac{8,4}{1} = 8,4 \text{ min}$$

Jõudes seinani hakkab tulekahju edasi arenema külgsuunaliselt. Leiame tulekahju tegeliku pindala 9 minutil, arvestades juba külgsuunalist arenemist. Selleks tuleb kasutada järgmist valemit:

$$S_T = m^2 + k \times n \times a \times V_j \times \tau, \text{ kus}$$

S_T - tulekahju pindala mingil ajahetkel

m^2 - eelnevalt leitud tulekahju pindala

k - konstant

n - tulekahju arengu suundade arv

a - frondi pikkus

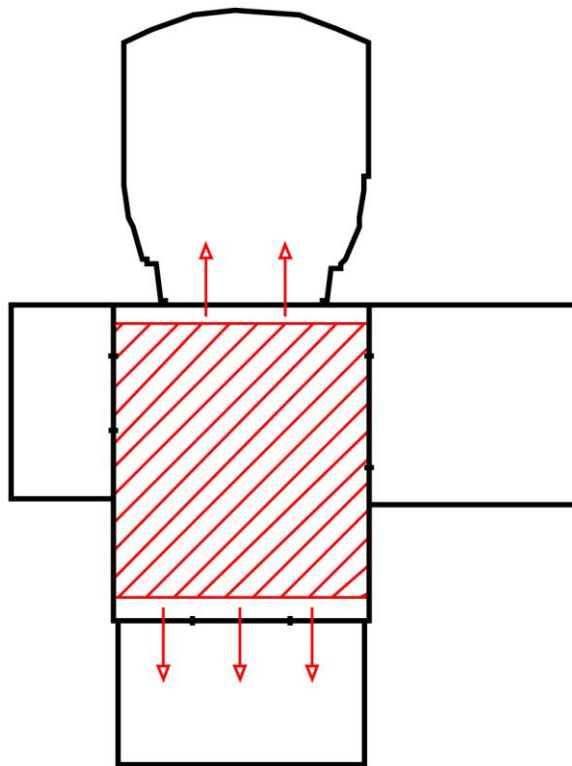
V_j - joonpõlemiskiirus

τ - tulekahju arengu aeg

$$S_T^9 = 282,24_{8,4\text{min}} + 0,5 \times 2 \times 16,8 \times 2 \times 0,6 = 302,4 m^2$$

$$S = a \times b \rightarrow b = \frac{302,4}{16,8} = 18 m$$

Üheksandaks minutiks on peaaegu kogu pealava lausleekides.



- tulekahju pindala



- tulekahju arenemise suund

Joonis 2. Tulekahju pindala 9-ndal minutil. Allikas: autori arvutused, 2008, Ambos

3.2.2. Tulekahju kustutuspindala 9-ndal minutil

Rahvuskooper Estonia hoone kuulub kõrgendatud riskiga objektide hulka ja tulekahjule reageerimine toimub antud objekti puhul ASTE 3 alusel.

9-ndal minutil on sündmuskohal ja hargnemised teinud Kesklinna 11 ja 12 ning Kesklinna 41 ja 42. Kahe päästemeeskonna ja kahe redelauto peale on kokku võimalik moodustada 3 suitsusukeldus (edaspidi SS) paari + SS juht ja Kesklinna 11 rühmapealik jääks tööloigu juhiks. Valvevahetuse operatiivkorrapidaja (Põhja 51) hakkab päästetöödejuhina (edaspidi

PTJ) päästetöid juhtima. Kuna 1 SS paar jääb julgestuspaariks, siis esimene rünnak antakse kahe SS paari poolt „B“ jugadega ainult ühest küljest s.o. publiku poolset küljelt.

Tulekahju kustutuspindala leitakse järgmise valemi abil:

$$S_K = n \times a \times h, \text{ kus}$$

S_K -kustutuspindala (m²)

n -kustutuskülgede arv

a -lühima külje pikkus (m)

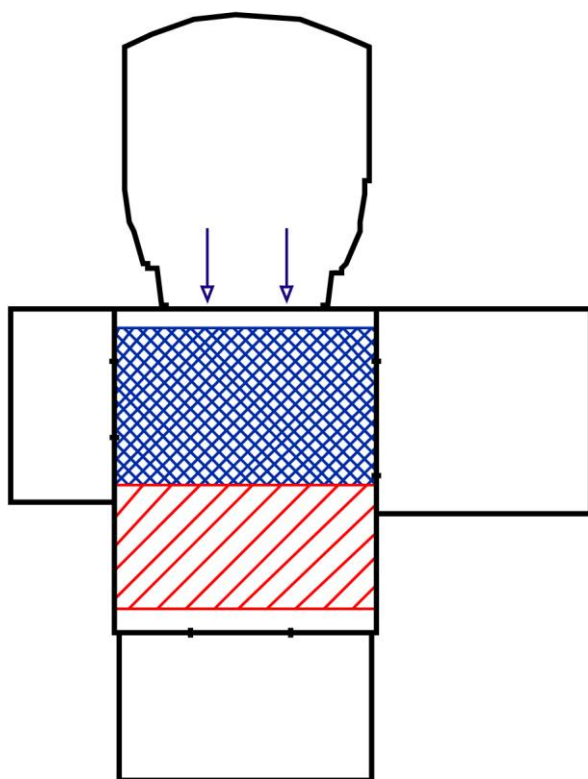
h -kustutussügavus (m)

„C“ joal on kustutussügavus maksimaalselt 5 meetrit ja „B“ joal 10 meetrit

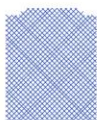
Põhja-Eesti Päästkeskuse kasutatakse käsijoatorusid, mille tootlikkus on 5-8 l/s. „C“ vooliku kasutamisel on vooluhulk 5 l/s. (J.Otsla 2007:36)

Leian tulekahju kustutuspindala 9-ndal minutil:

$$S_K^9 = 1 \times 16,8 \times 10 = 168 m^2$$



- tulekahju pindala



- tulekahju kustutuspindala



- tulekahju kustutamise suund

Joonis 3. Tulekahju kustutuspindala 9-ndal minutil. Allikas: autori arvutused, 2008, Ambos

3.2.3. Tulekahju tuleleviku peatamiseks ja kõrvalruumide kaitsmiseks vajalik veekulu 9-ndal minutil

Tuleleviku tõkestamiseks vajaliku vooluhulga välja arvutamiseks tuleb kasutada järgmist valemit:

$$Q_{i\bar{o}} = 0,25 \times Q_{kp}, \text{ kus}$$

Q_{kp} -vajalik vooluhulk kustutuspindala kohta

Vajaliku vooluhulga kustutuspindala Q_{kp} kohta, leiame kasutades valemit:

$$Q_{kp} = Q_{m2} \times A_p \times k_s, \text{ kus}$$

Q_{m2} - vajalik vooluhulk kustutuspindala kohta (l/s)

A_p - põleva ruumi pindala (m²)

k_s - süttimiskonstant (kui tulekahju hõlmab 10% ruumi pindalast, siis $k_s=0,1$)

Arvutan 9-ndal minutil vajaliku vooluhulga kustutuspindala kohta. Vajaliku vooluhulga kustutuspindala kohta võtan 0,2 l/s (J.Otsla 2007:34)

Kuna tulekahju pindala moodustab ruumi pindalast 87% siis, süttimiskonstandi võtan 0,87.

$$Q_{kp}^9 = 0,20 \times 349,44 \times 0,87 = 61 \text{ l/s}$$

Leian 9-ndal minutil tuleleviku tõkestamiseks vajaliku vooluhulga.

$$Q_{i\bar{o}} = 0,25 \times 61 = 15 \text{ l/s}$$

Lisaks eelnevala tuleb arvestada ka kõrvalruumide kaitsega. Kõrvalruume on kolm, millest vaid kahele on ligipääs kõrvalruumidest. Kaitseks kasutatakse 5 l/s tootlikkusega joatorusid. Kõrvalruumide kaitseks vajaliku vooluhulga leidmiseks tuleb kasutada järgmist valemit:

$$Q_{ka} = Q_j \times a, \text{ kus}$$

Q_j - joatoru tootlikus l/s

a - kaitstavate ruumide arv

Leian 9-ndal minutil kõrvalruumide kaitsmiseks vajaliku vooluhulga:

$$Q_{ka} = 5 \times 2 = 10 \text{ l/s}$$

Olles leidnud tuleleviku tõkestamiseks, tulekahju kustutamiseks ja kõrvalruumide kaitseks vajaliku veehulga, saame leida kogu veehulga, kasutades järgmist valemit:

$$Q_{\Sigma} = Q_{kp} + Q_{tõ} + Q_{ka}$$

Leian 9-ndal minutil vaja mineva veehulga tuleleviku tõkestamiseks, tulekahju kustutamiseks ja kõrvalruumide kaitsmiseks.

$$Q_{\Sigma} = 61 + 15 + 10 = 86 \text{ l/s}$$

9-ndal minutil kohale jõudvad põhiautod suudavad tagada maksimaalselt 80 l/s vooluhulga, mis aga ei ole piisav veehulk.

3.2.4. Jugade arvu määramine tule leviku tõkestamiseks, kustutamiseks ja kaitseks 9-ndal minutil

Jugade arvu määramisel võtab autor tule leviku tõkestamiseks ja kustutamiseks „B“ joatoru tootlikkusega 8 l/s, kõrvalruumide kaitseks aga „C“ joatoru tootlikkusega 5 l/s.

Jugade arvu määramiseks tuleb kasutada järgmist valemit:

$$N_{juga} = Q/q_j, \text{ kus}$$

N_{juga} - jugade arv

Q - nõutav veekulu (l/s)

q_i - joatoru veekulu (l/s)

Leian vajaliku jugade arvu tule leviku tõkestamiseks 9-ndal minutil

$$N_{juga.tõ}^9 = 15/8 = 1,8 = 2 \text{ „B“ juga}$$

Leian vajaliku jugade arvu tule kustutamiseks 9-ndal minutil

$$N_{juga.ku}^9 = 61/8 = 7,6 = 8 \text{ „B“ juga}$$

Leian vajaliku jugade arvu kõrvalruumide kaitsmiseks 9-ndal minutil

$$N_{juga.ka}^9 = 10/5 = 2 \text{ „C“ juga}$$

Keslinna 11 ja 12 meeskondadega suudetakse tagada 2 „B“ joa (2 SS paari üheaegne töötamine), 2 „C“ joa andmine tule leviku peatamiseks ja kõrvalruumide kaitseks, kuid isikkoosseisust ei piisa, et tagada tulekahju kustutamiseks vajalik jugade arv.

3.2.5 Isikkoosseisu vajadus

Isikkoosseisu arv määratakse kasutuses olevate jugade arvu alusel. Lisaks võetakse arvesse päästetöid juhtivad isikud (PTJ, LJ). Selleks, et leida vajalik isikkoosseis tule kustutamiseks ja kõrvalruumide kaitsmiseks, kasutame järgmist valemit:

$$N_{isikkoosseis} = N_{juga.ku} \times 2 + N_{juga.ka} \times 1 + N_{pump} \times 1 + PTJ + LJ \text{ ,kus}$$

$N_{isikkoosseis}$ - vajalik isikkoosseisu arv

$N_{juga.ku}$ – jugade arv tulekahju kustutamiseks. „B“ joaga töötab korraga kaks päästjat.

$N_{juga.ka}$ - jugade arv kaitseks. „C“ joaga töötab 1 päästja.

N_{pump} – kasutuses olevate autopumpade arv. Ühte pumpa teenindab üks päästja, äärmisel juhul, kui autod asuvad ligistikku on üks päästja võimeline korraga töötama kahe autopumbaga. Autopumpade arv leitakse arvutuslikult (vt 3.2.7)

PTJ – päästetöödejuht

LJ – lõigujuht

Leian isikkoosseisu vajaduse 9-ndal minutil tule kustutamiseks ja kõrvalruumide kaitseks.

$$N_{\text{isikkoosseis}} = 8 \times 2 + 2 \times 1 + 3 \times 1 + 1 + 1 = 23 \text{ päästetöötajat}$$

9-ndaks minutiks on sündmuskohal 15 päästetöötajat, mis ei taga arvutustest nähtuvat vajalikku päästetöötajate arvu.

3.2.6. Jugade arvust lähtuv tegelik veekulu 9-ndal minutil

Leitud jugade arvu teades, tuleb leida tegelik veekulu. Selleks kasutame järgmist valemit:

$$Q_{\text{tegelik}} = N_{\text{juga.tõ}} \times q_i + N_{\text{juga.ku}} \times q_i + N_{\text{juga.ka}} \times q_i, \text{ kus}$$

Q_{tegelik} - tulekahju tegelik veekulu,

$N_{\text{juga.tõ}}$ - jugade arv tule leviku tõkestamiseks,

$N_{\text{juga.ku}}$ - jugade arv tulekahju kustutamiseks,

$N_{\text{juga.ka}}$ - jugade arv kõrvalruumide kaitseks,

q_i - joatoru tootlikkus (l/s).

Leian tegeliku veekulu 9-ndal minutil:

$$Q_{\text{tegelik}} = 2 \times 8 + 8 \times 8 + 2 \times 5 = 90 \text{ l / s}$$

Kohalolevatest põhiautodega on võimalik tagada vee voolu hulk 80 l/s, mis aga ei taga vajalikku 90 l/s

3.2.7. Põhiautode arvu määramine 9-ndal minutil autopumpade järgi

Selleks, et leida põhiautode arvu autopumpade järgi tuleb kasutada järgmist valemit:

$$N_{\text{pump}} = Q_{\text{tegelik}} / q_{\text{pump}}, \text{ kus}$$

N_{pump} - autopumpade arv

$Q_{tegelik}$ -kustutusvee kulu (l/s)

q_{pump} -autopumba tootlikkus

Põhja-Eesti Päästkeskuses kasutatavate põhiautode autopumba tootlikkus on 50 l/s. Selleks et tagada suurt vooluhulka põhiautolt tulekahju kustutamiseks kasutatakse paralleeltüviliini. Paralleeltüviliini („B“ voolikud) puhul on maksimaalne vooluhulk 40 l/s, mille võtab autor oma arvutustes ka aluseks. (J.Otsla 2007:48)

Autopumpade määramine nende tootlikkuse järgi:

$$N_{pump} = Q_{tegelik} / q_{pump} = 90 / 40 = 2,25 \text{ pumpa ehk kolm põhiautot}$$

Selleks, et tagada katkematu vesivarustus kustutustöödel ja vajalik vooluhulk tuleb pumpade arv ümardada suurenemise suunas.

Lisaks autopumpade tootlikkuse järgi, on võimalik põhiautode arvu määrata hüdrandi tootlikkuse järgi.

Tallinn tüüpi hüdrandi püstiku maksimaalne tootlus on 50 l/s. Võttes aluseks autopumba tootluse, mis paralleeltüviliini puhul on 40 l/s, on selge, et piiravaks teguriks saab paralleeltüviliin. Seetõttu on hüdrandi tootlikkus sama, mis autopumbal.

Eelnevatest arvutustest nähtub, et vajalik põhiautode arv 9-ndal minutil on 3 põhiautot. 9-ndaks minutiks on sündmuskohal aga kaks põhiautot (Kesklinna 11 ja 12), millega aga ei suudeta antud nõuet tagada. Seetõttu ei saa ka tagada kogu veehulka kustutustöödeks.

3.3. Tulekahju areng ja ressursside vajadus 11-ndal minutil

3.3.1. Tulekahju pindala 11-ndal minutil

11 minutiks on sündmuskohal Lilleküla 11, Lilleküla 12 ja Lilleküla 21 ja põhiautodelt ning paakautolt on tehtud vajalikud hargnemised.

Selleks, et leida tulekahju pindala 11-ndal minutil, tuleb kasutada järgmist valemit:

$$S_T = m^2 + k \times n \times a \times V_j \times \tau, \text{ kus}$$

S_T - tulekahju pindala mingil ajahetkel

m^2 - eelnevalt leitud tulekahju pindala

k - konstant

n - tulekahju arengu suundade arv

a - frondi pikkus

V_j - joonpõlemiskiirus

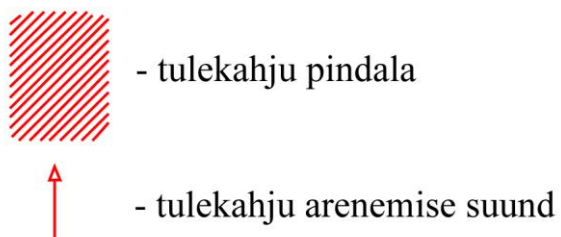
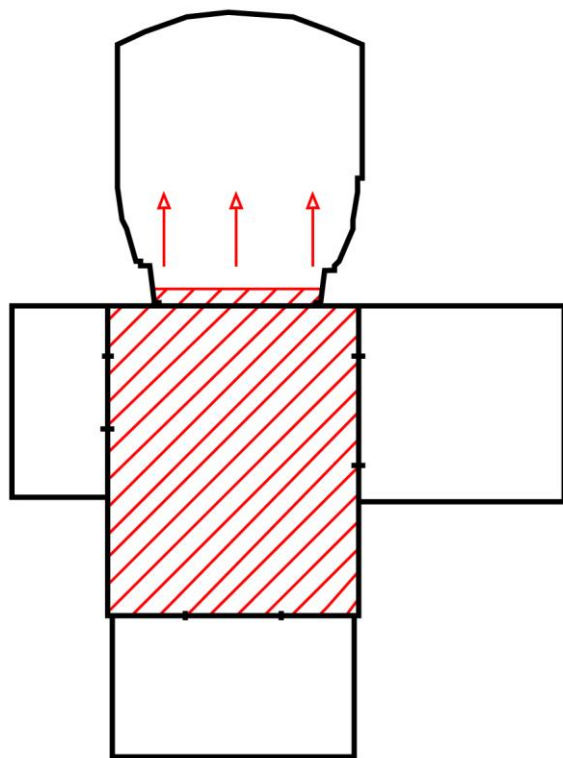
τ - tulekahju arengu aeg

Leian tulekahju pindala 11-ndal minutil:

$$S_T^{11} = 302,4_{9\min} + 0,5 \times 2 \times 16,8 \times 2 \times 2 = 369,6m^2$$

$$S = a \times b \rightarrow b = \frac{369,6}{16,8} = 22m$$

Nagu jooniselt 4. nähtub on kogu pealava tulest haaratud, samuti on tuli tunginud vaatesaali.



Joonis 4. Tulekahju pindala 11-ndal minutil. Allikas: autori arvutused, 2008, Ambos

3.3.2. Tulekahju kustutuspindala 11-ndal minutil

11-ndal minutil on sündmuskohal lisaks Kesklinna 11, 12, 41 ja 42-le veel Lilleküla 11, 12 ja 21, kus kahe päästemeeskonna ja paakauto peale on võimalik PTJ moodustada kokku 3 SS paari ja määrata Lilleküla 11 ja 12 rühmapealik ja meeskonnavanem lõigujuhtideks vastavalt piirkonna järgi (kustutusrünnak pealava külgedelt). Päästeautode autojuhid jäävad töötama pumpadega.

Tulekahju kustutuspindala leitakse järgmise valemi abil:

$$S_K = n \times a \times h \quad , \text{ kus}$$

S_K -kustutuspindala (m^2)

n -kustutuskülgede arv

a -lühima külje pikkus (m)

h -kustutussügavus (m)

„C“ joal on kustutussügavus maksimaalselt 5 meetrit ja „B“ joal 10 meetrit

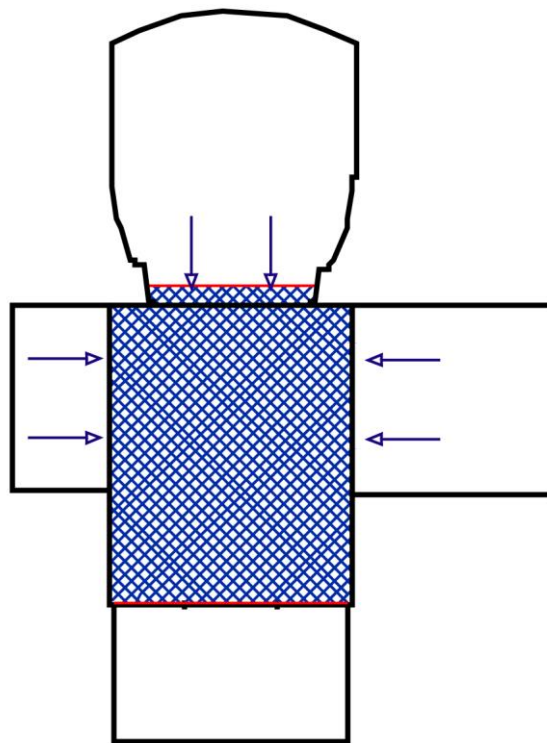
Leian kustutuspindala 11-ndal minutil.

$$S_K^{11} = 3 \times 16,8 \times 10 = 504 m^2$$

Kui tulekahju kustutuspindala on suurem, kui tulekahju pindala siis kustutuspindala on võrdne tulekahju pindalaga.

$$S_K^{11} = 369,6 m^2$$

Kuna tulekahju pindala ja kustutuspindala on võrdsed, siis võib lugeda tulekahju lokaliseerituks. Selleks, et välja selgitada, kas tulekahju on võimalik ka likvideerida lisandunud päästemeeskondadega, tuleb arvutada jugade arv kustutamiseks.



- tulekahju kustutuspindala



- tulekahju kustutamise suund

Joonis 5. Tulekahju kustutuspindala 11-ndal minutil. Allikas: autori arvutused, 2008, Ambos

3.3.3. Tulekahju tuleleviku peatamiseks ja kõrvalruumide kaitsmiseks vajalik veekulu 11-ndal minutil

Tuleleviku tõkestamiseks vajaliku vooluhulga välja arvutamiseks tuleb kasutada järgmist valemit:

$$Q_{i\bar{o}} = 0,25 \times Q_{kp}, \text{ kus}$$

Q_{kp} -vajalik vooluhulk kustutuspindala kohta

Vajaliku vooluhulga kustutuspindala Q_{kp} kohta, leiame kasutades valemit:

$$Q_{kp} = Q_{m2} \times A_p \times k_s, \text{ kus}$$

Q_{m2} - vajalik vooluhulk kustutuspindala kohta (l/s)

A_p - põleva ruumi pindala (m²)

k_s - süttimiskonstant (kui tulekahju hõlmab 10% ruumi pindalast, siis $k_s = 0,1$)

Arvutan 11-ndal minutil vajaliku vooluhulga kustutuspindala kohta. Vajaliku vooluhulga kustutuspindala kohta võtan 0,2 l/s (J.Otsla 2007:34)

Kuna tulekahju pindala ületab ruumi mõõtmed st on arenenud edasi publiku ossa, siis võtan süttimiskonstandi 1.

$$Q_{kp}^{11} = 0,20 \times 369,6 \times 1 = 74 \text{ l/s}$$

Leian 11-ndal minutil tuleleviku tõkestamiseks vajaliku vooluhulga.

$$Q_{i\bar{o}} = 0,25 \times 74 = 18,5 \text{ l/s}$$

Lisaks eelnevale tuleb arvestada ka kõrvalruumide kaitsega.. Kaitseks kasutatakse 5 l/s tootlikkusega joatorusid. Kõrvalruumide kaitseks vajaliku vooluhulga leidmiseks tuleb kasutada järgmist valemit:

$$Q_{ka} = Q_j \times a, \text{ kus}$$

Q_j - joatoru tootlikus l/s

a - kaitstavate ruumide arv

Leian 11-ndal minutil kõrvalruumide kaitsmiseks vajaliku vooluhulga:

$$Q_{ka} = 5 \times 2 = 10 \text{ l/s}$$

Olles leidnud tuleleviku tõkestamiseks, tulekahju kustutamiseks ja kõrvalruumide kaitseks vajaliku vee hulga, saame leida kogu vee hulga, kasutades järgmist valemit:

$$Q_{\Sigma} = Q_{kp} + Q_{i\bar{o}} + Q_{ka}$$

Leian 11-ndal minekul vaja mineva vee hulga tuleleviku tõkestamiseks, tulekahju kustutamiseks ja kõrvalruumide kaitsmiseks.

$$Q_{\Sigma} = 74 + 18,5 + 10 = 102,5 \text{ l/s}$$

11-ndal minutil on kohal 4 põhiautot, millelt paralleeltüviiniiga antav vooluhulk on 40 l/s. Nelja põhiautoga suudetakse tagada vooluhulk 160 l/s.

3.3.4. Jugade arvu määramine tule leviku tõkestamiseks, kustutamiseks ja kaitseks 11-ndal minutil

Jugade arvu määramisel võtab autor tule leviku tõkestamiseks ja kustutamiseks „B“ joatoru tootlikkusega 8 l/s, kõrvalruumide kaitseks aga „C“ joatoru tootlikkusega 5 l/s.

Jugade arvu määramiseks tuleb kasutada järgmist valemit:

$$N_{juga} = Q/q_j, \text{ kus}$$

N_{juga} - jugade arv

Q - nõutav veekulu (l/s)

q_i - joatoru veekulu (l/s)

Leian vajaliku jugade arvu tule leviku tõkestamiseks 11-ndal minutil

$$N_{juga.tõ}^{11} = 18,5 / 8 = 2,3 = 3 \text{ „B“ juga}$$

Leian vajaliku jugade arvu tule kustutamiseks 11-ndal minutil

$$N_{juga.ku}^{11} = 74 / 8 = 9,3 = 10 \text{ „B“ juga}$$

Leian vajaliku jugade arvu kõrvalruumide kaitsmiseks 11-ndal minutil

$$N_{juga.ka}^{11} = 10 / 5 = 2 \text{ „C“ juga}$$

11-ndal minutil sündmuskohal olevate meeskondadega on võimalik tagada tule leviku tõkestamine. Üheksa SS paari (9 „B“ juga), ei ole piisav, et tagada pealava tulekahju kustutamine.

3.3.5 Isikkoosseisu vajadus

Isikkoosseisu arv määratakse kasutuses olevate jugade arvu alusel. Lisaks peab arvestama päästetööde juhi ja lõigujuhtidega.

$$N_{isikkoosseis} = N_{juga.ku} \times 2 + N_{juga.ka} \times 1 + N_{pump} \times 1 + PTJ + LJ, \text{ kus}$$

$N_{isikkoosseis}$ - vajalik isikkoosseisu arv

$N_{juga.ku}$ – jugade arv tulekahju kustutamiseks. „B“ joaga töötab korraga kaks päästjat.

$N_{juga.ka}$ - jugade arv kaitseks. „C“ joaga töötab 1 päästja.

N_{pump} – kasutuses olevate autopumpade arv. Ühte pumpa teenindab üks päästja, äärmisel juhul, kui autod asuvad ligistikku on üks päästja võimeline korraga töötama kahe autopumbaga.

PTJ – päästetöödejuht

LJ – lõigujuht

Lilleküla päästemeeskondade ja paakauto saabumisega on päästetööde juhil võimalik rakendada saabuvaid meeskondi kahe uue lõigu moodustamiseks. Tulekahju kustutamiseks külgedelt. Kasutades selleks G. Otsa tänava poolset sissepääsu ja Pärnu mnt poolset töötajate sissepääsu. Kokku tekib kolm lõiku, eelpool nimetatutele on lisaks esialgne vaatesaali lõik.

Leian isikkoosseisu vajaduse 11-ndal minutil:

$$N_{isikkoosseis} = 10 \times 2 + 2 \times 1 + 5 \times 1 + 1 + 3 = 31 \text{ päästetöötajat}$$

Kohale on saabunud 11 minutiks 25 päästetöötajat.

3.3.6. Jugade arvust lähtuv tegelik veekulu 11-ndal minutil

Leitud jugade arvu teades, tuleb leida tegelik veekulu. Selleks kasutame järgmist valemit:

$$Q_{tegelik} = N_{juga.tõ} \times q_i + N_{juga.ku} \times q_i + N_{juga.ka} \times q_i, \text{ kus}$$

$Q_{tegelik}$ - tulekahju tegelik veekulu

$N_{juga.tõ}$ - jugade arv tule leviku tõkestamiseks

$N_{juga.ku}$ - jugade arv tulekahju kustutamiseks

$N_{juga.ka}$ - jugade arv kõrvalruumide kaitseks

q_i - joatoru tootlikkus (l/s)

Leian tegeliku veekulu 11-ndal minutil:

$$Q_{tegelik} = 3 \times 8 + 10 \times 8 + 2 \times 5 = 114 \text{ l/s}$$

Nelja põhiautoga tagatakse 11-ndal minutil vooluhulk 160 l/s.

3.3.7. Põhiautode arvu määramine 11-ndal minutil autopumpade järgi

Selleks, et leida põhiautode arvu autopumpade järgi tuleb kasutada järgmist valemit:

$$N_{pump} = Q_{tegelik} / q_{pump}, \text{ kus}$$

N_{pump} - autopumpade arv

$Q_{tegelik}$ -kustutusvee kulu (l/s)

q_{pump} -autopumba tootlikkus

Leian autopumpade arvu 11-ndal minutil nende tootlikkuse järgi:

$$N_{pump} = Q_{tegelik} / q_{pump} = 108 / 40 = 2,7 \text{ pumba ehk kolm põhiautot}$$

Hüdrantide tootlikkuse järgi jääb põhiautode arv samaks, mis autopumpade tootluse puhul.

11-ndaks minutiks on vajalik arv põhiautosid ka sündmuskohal.

4. JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD

4.1. Järeldused

Tulekahju kõige tõenäolisem tekkekoht on pealava keskosa, kust tulekahju hakkab edasi arenema ringikujuliselt.

Esimeste päästemeeskondade kohale jõudmise ajaks ja lahinghargnemisteks on tulekahju saanud vabalt areneda juba 9 minutit. Tulekahju pindala on 302,4 m² ja see moodustab pealavast 86%, millest võib järeldada, et peaaegu kogu pealava ja selle dekoratsioonid ja muud esemed on tulest haaratud. Tulekahju kustutuspinna, kasutades „B“ jugasid ja rünnates esimeste jõududega vaatesaali poolt, on 168 m². See ei ole esialgu piisav, et lokaliseerida ja kustutada põlengut. Tuleleviku peatamiseks, tulekahju kustutamiseks ja kõrvalruumide kaitsmiseks vajalik veekulu, võttes aluseks kustutuspinna 9-ndal minutil, on 86 l/s, millest 61 l/s kulub tulekahju kustutamiseks, 15 l/s tuleleviku tõkestamiseks ning 10 l/s kõrvalruumide kaitseks. Jugade arvuks saadi vastavalt 8 „B“, 2 „B“ ja 2 „C“ juga. Lähtudes jugade arvudest, leidis autor tegeliku veekulu 9-ndal minutil, mis oli 90 l/s. Selleks, et taolist vooluhulka tagada peab kasutama vähemalt kolme põhiautot, kohapeal on lahinghargnemised teinud kaks põhiautot, millega ei tagata vajalikku kustutusvee hulka. Tänu heale piirkonna veevarustusele (kasutada on Ø 250-300 mm läbimõõduga trassidel paiknevad Tallinn tüüpi hüdrandid) saab hüdrantidest vajalik vooluhulk tuleleviku tõkestamiseks ja kõrvalruumide kaitseks tagatud. 9-ndaks minutiks on sündmuskohal ja voolikuliinide hargnemised teinud põhiautod Kesklinna 11 (1+4), Kesklinna 12 (1+4). Lisaks on kohal ka Kesklinna 41 (0+2), Kesklinna 42 (0+2) ja Põhja 51 (1+0). Põhja 51 juhib päästetöid. Antud isikkoosseis ei ole piisav, et tagada kogu vajalik isikkoosseis (23 päästetöötajat) ja tulekahju kustutamine, küll aga on võimalik tagada tule leviku tõkestamine ja kõrvalruumide kaitse.

11-ndal minutil on sündmuskohal lisaks Kesklinna põhiautodele ja redelautoidele veel Lilleküla 11, 12 ja 21. Tulekahju pindala on selleks ajaks arenenud 369,6m² suuruseks ja ületab pealava mõõtmeid. Uute ressursside saabumisega sündmuskohale, on PTJ võimalik anda käsk kustutusrünnaku tegemiseks lava külgedelt. Sellega suureneb kustutuspinna 504 m²-ni, mis on suurem kui tulekahju pindala. Lilleküla päästemeeskondade kustutusrünnakuga

külgedelt on võimalik tulekahju lokaliseerida. Küll aga on vajalik silmas pidada seda, et kustutusrännaku alustamisega ei loodaks olukorda, kus töötajatelt võetakse võimalus evakueerumiseks evakuatsiooni trepikodade kaudu. See tähendab, et põlemisgaasidel ja suitsul ei tohi lasta sattuda evakuatsioonitrepikodadesse.

Vajalik vooluhulk kustutuspiindala kohta on 74 l/s, tuleleviku tõkestamiseks 18,5 l/s ja kõrvalruumide kaitseks 10 l/s. Kogu vajalik vooluhulk on 102,5 l/s. Võttes aluseks vooluhulgad, leiti jugade arvud, mis tuleleviku tõkestamiseks on 3 „B“ juga, tulekahju kustutamiseks 10 „B“ juga ja kõrvalruumide kaitseks 2 „C“ juga. 9 SS paariga suudetakse tagada 9 „B“ joa andmine pealavale, mis aga ei ole piisav tulekahju kustutamiseks. Teades vajalikku jugade arvu leidis autor tegeliku veekulu 11-ndal minutil, mis on 114 l/s. Selleks, et taolist vooluhulka tagada, tuleb kasutada kolme põhiautot. Kuna PTJ poolt tuli korraldus kustutusrännakuks külgedelt, siis tagatakse vajalik tootlikkus Lilleküla 11 paigutamisega hüdrant nr 300 peale ja Lilleküla 21 paigutamisega hüdrant nr 123 peale.

11-ndal minutil sündmuskohale saabunud Lilleküla 11 (1+3), Lilleküla 12 (1+3) ja Lilleküla 21 (0+2) isikkoosseisust ei piisa, et tagada vajalik isikkoosseis (31 päästetöötajat) tulekahju efektiivseks kustutamiseks ja kõrvalruumide kaitsmiseks. Seetõttu peab päästetöödejuht kuulutama välja ASTE 4, millega kaasneks Kopli 11, Nõmme 21 ja Pirita 61 kaasamine päästetöödele.

4.2. Ettepanekud

Tulekahju puhkemine Rahvuskooper Estonia laval võib automaatsete kustutussüsteemide mitte käivitumisel ja turvapersonali vahele segamiseta osutada muinsuskaitse all olevale arhitektuurimälestisele katastroofiliseks. Seetõttu on vajalik tagada süsteemide korrapärane hooldus ja kontroll pädevust omavate isikute poolt. Personali tuleb pidevalt koolitada tuleohutusalaselt. Lisaks kustutussüsteemidele, tuleb tagada korrapärane hooldus ATS-ile, suitsueemaldussüsteemidele, tuletõkkeustele (järelevalve nende suletuse tagamiseks) ja esmastele tulekustutusvahenditele.

Rahvuskooper Estonia puhul on tegemist keerulise põhiplaani hoonega, mistõttu tuleks operatiivkorrapidajatel viia koos antud objekti väljasõidu piirkonna meeskondadega läbi

objekti tutvumisõppused. Seda tehes tutvutakse antud objekti eripäradega ja võimalike ohtudega, mis võivad varitseda päästetöid tegevaid päästetöötajaid.

Väga tähtis on korraldada evakuatsiooniõppus koostöös päästkeskusega, kus tulekahju puhkemist simuleeritaks lava keskelt. Taoline õppus tuleks läbi viia koos suitsupumpade kasutamise, et selgitada välja laval ja vaatesaalis suitsu levimine nii suletud kui ka avatud raudse eesriidega. Kasutades seejuures veel lava suitsueemaldust suitsu ärajuhtimiseks lavalt. Nii on võimalik päästetöötajatel näidata objekti turvapersonalile efektiivset ja õiget suitsueemalduse kasutamist tulekahju korral ja vaatesaali kaitsmist põlemisgaaside ja suitsu eest. Ka annaks taoline õppus hea ülevaate päästeressursi reageerimise kiirusest võimaliku tulekahju korral ning võimaldaks autori poolt tehtud arvutuste kontrollimiseks ja hilisemaks täpsemaks korrigeerimiseks. See omakorda võimaldaks põhjaliku operatiivplaani väljatöötamise Rahvusoper Estonia hoone kohta, võttes aluseks autori lõputöö.

Taoline evakuatsiooniõppus on tähtis ka objekti personali seisukohast, et selgitada välja turva- ja teenindava personali võimekus evakuatsiooni läbiviimiseks võimaliku tulekahju korral.

Autor teeb ettepaneku kasutada tulekahju arengu matemaatilist modelleerimist ASTE 3 objektide puhul Põhja-Eesti Päästkeskuse väljasõidupiirkonnas. See aitaks välja selgitada kas väljasõidu aste on piisav või mitte.

Rahvusoper Estonias tuleks võtta kasutusele kaitsemeetmed lava dekoratsioonide tuleohutuse suurendamiseks, kasutades selleks mittepõlevaid materjale või katta põlevad materjalid tulekaitse värvide või lakkidega. Sealhulgas tuleks tähelepanu pöörata asjaolule, et kasutades vahtpolüstüreenist EPS soojustusplaatide, peaks need sisaldama tuld tõkestavaid aineid (Behaviour... 02.03.2008). Sellised EPS soojustusplaadid ei suudaks ka olemasoleva tuleallika korral iseeneslikult põleda. (Baker 2002:89)

Eeltoodust lähtuvalt teeb autor ettepaneku vastavasisulise normatiivse õigusakti väljatöötamiseks Päästeameti poolt, millega oleks reguleeritud kultuuriasutuste lavadel kasutatavad materjalid ja nende võimalik kaitsmine tulekahju eest.

Nagu järeldustest nähtus jääb tänases olukorras isikkoosseisust väheseks, et efektiivselt ja kiiresti kustutada alanud tulekahju. Seetõttu teeb autor ettepaneku rakendada Rahvusoper Estonia puhul koheselt ASTE 4-ja, mis tagaks vajaliku isikkoosseisu sündmuskohal. Nii on võimalik minimeerida tule kahjustusi muinsuskaitsele objektile.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli välja selgitada võimaliku tulekahju korral Rahvusoper Estonia hoones tule leviku kiirus ja mastaap ning vaja minevate päästeressursside hulk antud tulekahju kustutamiseks. Selleks, et antud eesmärki täita, kasutas autor tulekahju arengu matemaatilist modelleerimist. Autori poolt püstitati ka järgmine hüpotees – sündmusele reageerivast päästeressursist ei piisa võimaliku tulekahju kiireks ja efektiivseks kustutamiseks Rahvusoper „Estonia“ hoones. Nagu autori arvutustest selgus ei piisanud 9-ndal minutil, mil esimesed meeskonnad sündmuskohale jõuavad, põhiautodest vajaliku kustutusvee tagamiseks, kui ka isikkoosseisust, mida oli ilmselgelt vähe. 11-ndal minutil saavad vastavalt väljasõiduplaanile sündmuskohale Lilleküla komando masinad. Kuid jällegi näitavad autori arvutused, et kustutustööde edukaks läbiviimiseks jääb puudu isikkoosseisust. Eelnevalt lähtudes võib järeldada, et autori püstitatud hüpotees leidis kinnitust.

Selleks, et ressursi vähesuse probleeme lahendada pakub autor välja väljasõiduastme tõstmist ASTE 3-lt ASTE 4-le. Nii oleks võimalik tagada vajalik isikkoosseis tulekahju kustutamiseks.

Autor pöörab oma ettepanekutes tähelepanu veel tuleohutusmeetmete tõhustamiseks Rahvusoper Estonia hoones. Nii lava dekoratsioonide tuleohutumaks muutmisega kui ka evakuatsiooniõppuse korraldamisega personalile, millesse oleks kaasatud ka operatiivteenistus.

SUMMARY

The purpose of this paper is to find out how fast will a possible fire advance in Estonian National Opera house. How big will the fire be and how much rescue resources will be needed to extinguish such a fire. To accomplish this goal, author of this paper used mathematical modeling for fire development. The calculations show that without proper and timed intervention, there can be very serious consequences to the fire. And that the rescue resource dispatched to the scene isn't enough to put out the fire quickly and efficiently. Because of that, the author of this paper proposes to increase the number of rescue resources dispatched to the scene. Also the author proposes to increase the level of fire safety in the building, using safer materials in stage decorations and having evacuation training with the rescue workers.

VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

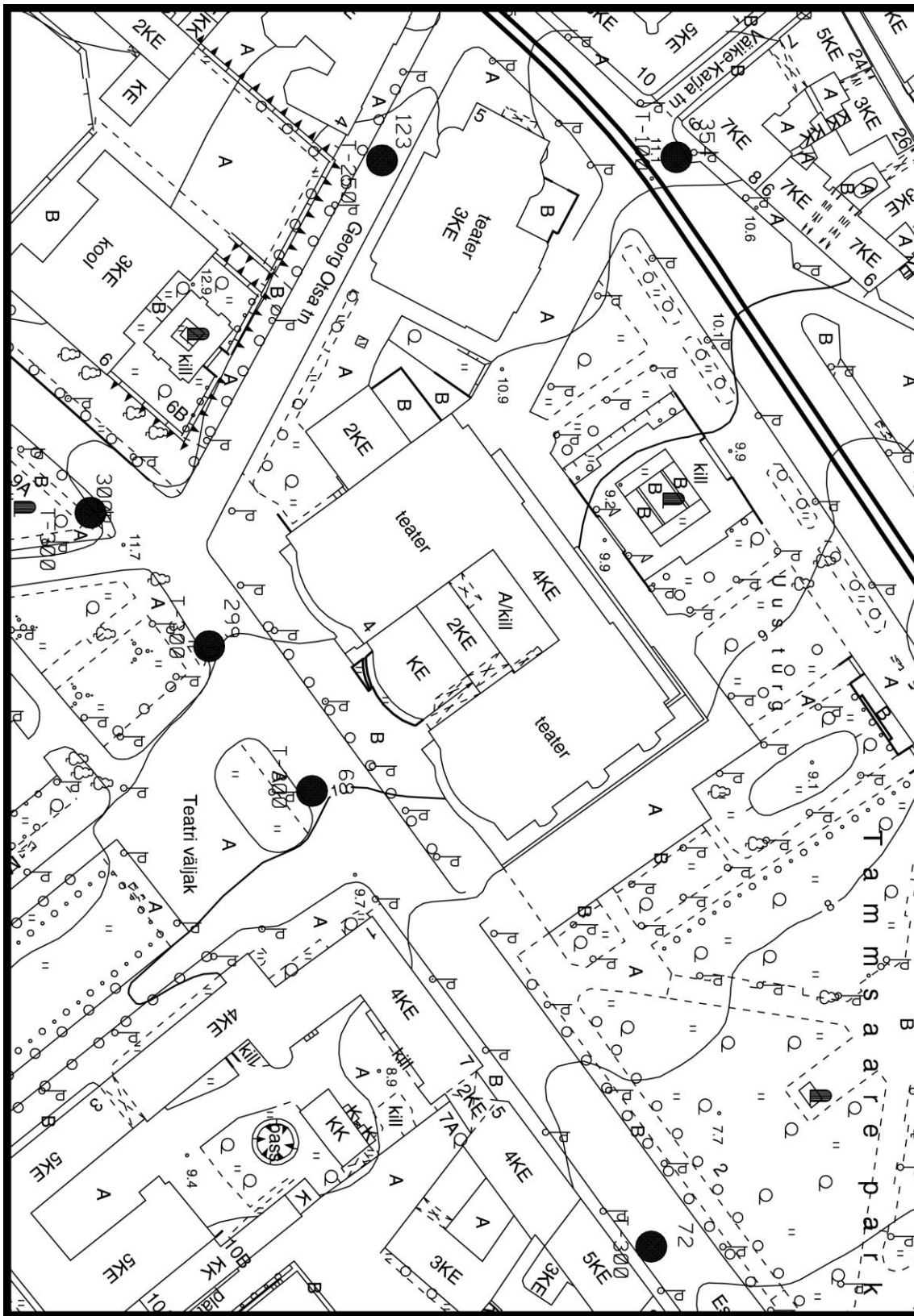
1. Garboden, C. 1995. A Tragedy Remembered. - NFPA Journal, 4, 75-80
2. Sheridan, M. 2007. China aghast at 'sacrifice' of 288 pupils. - The Sunday Times, 05.06.2007
3. European Manufacturers of Expanded Polystyrene. Behaviour of EPS in case of fire. <http://www.eumeps.org/pdfs/behaviour.pdf> 02.03.2008
4. Baker, G.B. 2002. Performance of Expanded Polystyrene Insulated Panel Exposed to Radiant heat [Fire Engineering Research Report] Christchurch: University of Canterbury Department of Civil Engineering
5. Повзик, Я. 1984. Пожарная тактика. Москва
6. Lilander, K., Eriit, T. 2008. Rahvusooper Estonia personali käitumine tulekahju korral ja varemalt toimunud tulekahjud. Autori üleskirjutis. Tallinn, 13.03.2008
7. Повзик, Я. 2000. Справочник руководителя тушения пожара. Москва.
8. Šuvalov, M. 1977. Tuletõrje alused, Tallinn: Valgus
9. Otsla, J., Suurkivi, T., Marvet, T. 2007. Tuletõrje hüdraulika. Tallinn
10. Danilov, M., Devlišev, P., Jevtjuškin, N., Kimstatš, I. 1976. Tuletõrje taktika. Tallinn: Valgus
11. Hall, J.R.Jr. 2007. U.S. Experience with sprinklers and other automatic fire extinguishing equipment. Quincy: Fire Analysis and Research Division NFPA

LISA 1. Rahvusooper „Estonia“ ehitusjoonised

LISA 2. Sündmusele reageerivad jõud

| Komando | Tehnika | Isikkoosseis | Kaugus objektist (km) | Kohale jõudmise aeg (min) |
|---------------|--------------|--------------|-----------------------|---------------------------|
| Kesklinna KK | Kesklinna 11 | 1 + 4 | 0,84 | 2 |
| Kesklinna KK | Kesklinna 12 | 1 + 4 | 0,84 | 2 |
| Kesklinna KK | Kesklinna 41 | 0 + 2 | 0,84 | 2 |
| Vana-Viru EPM | Kesklinna 42 | 0 + 2 | 0,51 | 2 |
| Lilleküla KK | Lilleküla 11 | 1 + 3 | 2,45 | 4 |
| Lilleküla KK | Lilleküla 12 | 1 + 3 | 2,45 | 4 |
| Lilleküla KK | Lilleküla 21 | 0 + 2 | 2,45 | 4 |
| Kesklinna KK | Põhja 51 | 1 + 0 | 0,84 | 2 |

LISA 3. Hüdrantide paiknemise skeem



LISA 4. Tehnika paigutuse skeem

