



SISEKAITSEAKADEEMIA  
ESTONIAN ACADEMY OF SECURITY SCIENCES



# **SUITSU JA PÕLEMISGAASIDE EEMALDAMINE TULEKAHJUDEL**

IGOR ŠARIN  
MARKO SOONTALU





SISEKAITSEAKADEEMIA  
ESTONIAN ACADEMY OF SECURITY SCIENCES

Igor Šarin  
Marko Soontalu

**SUITSU JA  
PÕLEMISGAASIDE  
EEMALDAMINE  
TULEKAHJUDEL**

Tallinn 2015

Raamat on koostatud Sisekaitseakadeemia 2014. aasta teadus-, arendus- ja loometegevuse (TAL) projekti raames.

Retsensendid: Feliks Angelstok, Kristel Toom

Toimetaja: Feliks Angelstok

Joonised: Kristina Vennikas

Keeletoimetaja: Siiri Soidro

Korrektor: Siiri Soidro

Küljendus: Ivi Piibelegt

Esikaas: Ivi Piibelegt

© Sisekaitseakadeemia, 2015

[www.sisekaitse.ee](http://www.sisekaitse.ee)

ISBN 978-9985-67-259-4 (trükis)

ISBN 978-9985-67-260-0 (pdf)

# SISUKORD

MÕISTED .....	7	
EESSÕNA .....	11	
SISSEJUHATUS .....	12	
1. TULEKAHJU ARENG JA TSOONIDE MOODUSTUMINE		
TULEKAHJUL .....	14	
1.1. Sisetulekahju areng .....	15	
1.1.1. Süttimisfaas .....	15	
1.1.2. Puhkefaas ehk hingamisfaas .....	17	
1.1.3. Täis põlengufaas .....	19	
1.2. Põlemisgaaside ohtlikud süttimisviisid .....	21	
1.2.1. Pistleek .....	21	
1.2.2. Tagasitõmme .....	22	
1.2.3. Põlemisgaaside plahvatus varjatud ruumides .....	24	
1.3. Põlemisgaaside ohtlike süttimisviiside vältimine .....	26	
KÜSIMUSED KORDAMISEKS .....	29	
2. TULEKAHJU MÕJUTSOONID .....		30
2.1. Põlemistsoon .....	31	
2.1.1. Põlemistsooni parameetrid .....	31	
2.2. Soojustoime tsoon .....	33	
2.3. Suitsutsoon .....	36	
2.3.1. Suitsu omadused .....	37	
2.3.2. Suitsu eriteke, suitsususaste ja suitsu optiline tihedus .....	39	
KÜSIMUSED KORDAMISEKS .....	41	
3. GAASIVAHETUS TULEKAHJUL .....		42
3.1. Gaasivahetuse intensiivsus sisetulekahjul .....	44	
3.1.1. Välistegurite mõju gaasivahetusele .....	45	
3.2. Suitsu väljalaskeavade asukoht sisetulekahjul .....	48	
KÜSIMUSED KORDAMISEKS .....	49	
4. SUITSUEEMALDUSMEETODID .....		50
4.1. Loomulik suitsutuulutus (aeratsioon) .....	51	
4.1.1. Avade kaherealine paigutus .....	52	

Näidisülesanne .....	54
Näidisülesanne .....	55
4.1.2. Avade üherealine paigutus .....	56
Näidisülesanne .....	58
KÜSIMUSED KORDAMISEKS .....	59
5. MEHAANILINE SUITSUEEMALDUS .....	60
5.1. Ülerõhuline suitsutuulutus .....	61
5.1.1. Ülerõhuventilaator (ÜRV) .....	61
5.1.2. Suundrõhuline suitsutuulutus .....	63
5.1.3. Vasturõhuline suitsutuulutus .....	70
5.1.4. Ülerõhustamine .....	71
5.2. Mitme ülerõhuventilaatori kasutamine .....	73
5.3. Efektiiitse ülerõhulise suitsutuulutuse tingimused .....	74
KÜSIMUSED KORDAMISEKS .....	75
5.4. Alarõhuline suitsueemaldus .....	76
5.4.1. Elektrilised suitsupumbad .....	76
5.4.2. Alarõhuline suitsutuulutus joatoruga .....	80
Näidisülesanne .....	84
5.4.3. Alarõhuline suitsutuulutus ülerõhuventilaatoriga .....	85
KÜSIMUSED KORDAMISEKS .....	87
6. SUITSUEEMALDUSE JUHTIMINE SUURES RUUMIS .....	88
7. KATUSETÜÜBID, KATUSEMATERJALID JA SUITSUTUULUTUSAVADE TEGEMINE .....	92
7.1. Enim levinud katusetüübid Eestis .....	96
7.1.1. Katusematerjalid .....	97
7.2. Töövahendid tuulutusavade tegemiseks .....	100
7.2.1. Suitsutuulutusava lõikamine .....	100
7.3. Pööningute ja katusealuste põlengute analüüs .....	103
KÜSIMUSED KORDAMISEKS .....	105
KASUTATUD KIRJANDUS .....	106
LISA. Eestis enim kasutatavad ülerõhuventilaatorid .....	108

## MÕISTED

**Aeratsioon** – ruumide loomulik õhuvahetus, mis leiab aset välis- ja sise-õhu temperatuuri vahe ning välispiiretele mõjuva tuule toimel.

**Alarõhuline tuulutus** – suitsu eemaldamine ruumis hõrenduse tekitamisega.

**Alumine tsoon** – ala, kus rõhk on atmosfäärirõhust väiksem.

**Avade kaherealine paigutus** – alumised avad on värske õhu sissevooluavad ja ülemised suitsu väljatõmbeavad.

**Avade üherealine paigutus** – avad on nii värske õhu sissevooluavad kui ka suitsu väljatõmbeavad.

**Eripõlemiskoormus** (*fire load density*) – põlemisel põranda pinnauhiku kohta eralduv soojushulk (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Gaasivahetus** – põlemisest tingitud gaasimasside liikumine.

**Gaasivahetuse intensiivsus** – ajaühikus põlemispindalale saabuva õhu kaaluline kogus.

**Konvektsioon** – soojuse ülekandumine põlemisest tingitud gaaside liikumise teel.

**Mehaaniline suitsueemaldussüsteem** (*smoke extraction system*) – kohtkindlalt hoonesse paigaldatud suitsueemaldussüsteem, mis koosneb suitsuväljaviigust, suitsuväljatõmbe ventilaatorist, käivitusseadisest jne (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Mehaaniline suitsutõrje** või **suitsueemaldus** (*mechanical smoke control*) – suitsu eemaldamine mehaaniliste seadmete abil (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Neutraalrõhutasand** (*neutral pressure plane*) – tasand hoones, kus siserõhk võrdub välisrõhuga (Eesti Standard EVS-ISO 8421-5:1998 Tuleohutus. Sõnavara Osa 5: Suitsutõrje).

**Plahvatus** (*explosion*) – energia ülikiire vabanemine, millega kaasnevad aine oleku muutus ning temperatuuri ja rõhu järsk tõus (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Põlemine** (*combustion*) – aine ja oksüdandi vaheline eksotermiline (soojust eraldav) reaktsioon, millega tavaliselt kaasneb leegitsemine ja/või hõõgumine ja/või suitsu eraldumine (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Põlemisgaasid** – põlemisel või pürolüüsil eralduvad gaasid.

**Põlemiskoormus** (*fire load*) – summaarne soojushulk, mis vabaneb kõikide põlevate materjalide põlemisel ruumis, kaasa arvatud seinte, põrandate ja lagede pinnakatted (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Põlemistsoon** – ala, kus toimub põlemisainete ja materjalide termiline lagunemine, mille tunnusteks on leek, hõõgumine ning kõrge temperatuur.

**Sisselaskeava** – ava, mille kaudu lisandub ruumi õhku.

**Soojusjuhtivus** – soojuse ülekandumine molekulide liikumisenergia ülekandumise teel. Toimub peamiselt tahketes kehtes, näiteks ehituskonstruksioonides.

**Soojuskiiirus** – soojuse ülekandumine kiirguse teel elektromagnetiliste lainete näol infrapunasel lainepikkusel.

**Soojustoime tsoon** – põlemistsooni ümbritseva ruumi osa, kus edasiantav soojus avaldab tulekahju olukorrale tunduvat mõju.

**Suits** (*smoke*) – tahkete ja/või vedelate osakeste nähtav suspensioon põlemise või pürolüüsi tagajärjel moodustunud gaasis (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Suitsu eemaldamine** (*smoke extraction*) – tulekahju ajal ruumis tekkinud või kõrvalt sinna imbunud suitsu ja kuuma põlemisgaasi väljajuhtimine kas hoone konstruksioonides olevate avade, mehaaniliste seadmete või päästemeeskonna poolt kasutatavate seadmete ja vahendite abil (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Suitsu eraldumine, suitsu teke** (*generation (genesis) of smoke*) – suitsu ja/või gaasi tekkimine tule ja/või süttimisallika toimel kuumenenud materjalist (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Suitsu eriteke** – põlemispindala ühikult ajaühikus tekkiv suitsu maht.

**Suitsu ja soojuse eemaldamise süsteem** (*smoke and heat extraction system*) – hoonesse rajatud süsteem, mille ülesanne on tulekahjus tekkinud suitsu ja kuumade gaaside temperatuuri alandamine ja nende väljatõmbe parandamine. Suitsu ja kuumade gaaside eemaldamise süsteem võib põhineda sundventilatsioonil või loomulikul tõmbel (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Suitsu optiline tihedus** – suitsu läbipaistvus.

**Suitsu tihedus** – suitsu mass ühes mahuühikus.



**Suitsu väljatõmbe ventilaator** (*smoke exhaust fan*) – tulekahju ajal suitsu ja kuumade gaaside eemaldamiseks kasutatav ventilaator. See võib olla teisaldatav (tavaliselt toob selle päästemeeskond) või paikne (ehitises asuv) (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Suitsueemaldusava, suitsuava** (*smoke vent*) – hoone välisseinas või katuses paiknev ava suitsu ja kuumade gaaside eemaldamiseks tulekahju ajal. Tavaliselt suletud luugiga (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Suitsukardin, suitsuekraan, suitsutõke** (*smoke curtain, smoke screen*) – vertikaalne konstruktsioon või kardin, mis ulatab ruumi laest alla-poolle ja mille ülesanne on suitsu või kuumade gaaside levimise piiramine lae all horisontaalsuunas (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Suitsuluuk** (*smoke hatch*) – hoone või ruumi spetsiaalne avatav ja suletav luukava, mille kaudu eemaldatakse tulekahju korral ruumist suitsu ja liigne kuumus (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Suitsususaste** – suitsu tihedus ja kontsentratsioon õhus.

**Suitsutsoon** – põlemistsooni ja soojustoime tsooni ümbrisev ruumi osa.

**Suitsutuulutus** – protsess, kus tulekahju olukorras eemaldatakse ruumidest kuum õhk, suits ja põlemisgaasid ning tagatakse värske õhu juurdepääs.

**Suitsutõkesti** (*smoke damper*) – tehniline lahendus, seade või konstruktsioon, mille abil tulekahju olukorras, selle algstaadiumis, takistatakse põlemisgaaside (suitsu) levimist ettenähtud aja jooksul ühest tuletõkkesektsioonist või ruumist teise (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Suundrõhuline suitsutuulutus** – suitsu ja põlemisgaasid eemaldatakse kontrollitult väljalaskeava(de) kaudu mehaaniliste töövahendite abil.

**Sprinkler** (*sprinkler*) – soojustundlik seadis, mis reageerib etteantud temperatuurile ettenähtud alale automaatse veevoo vabastamisega määratud viisil ja koguses (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Süttimistemperatuur** (*ignition temperature*) – aine madalaim temperatuur, mille puhul võib standardsetes katsetingimustes tekkida pidev põlemine (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Süüteallikas** (*ignition source*) – soojusallikas, mida kasutatakse põleva aine või toote süütamiseks. Algsäde, leek või kuum ese, mis põhjustab süttimise (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Tule levik** (*spread of fire*) – tulekahju laienemine nii tekkeruumis kui ka ruumist ruumi või ehitiselt ehitisele (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Tulekahju** (*fire*) – väljaspool spetsiaalset kollet toimuv kontrollimatu põlemisprotsess, mida iseloomustab kuumuse ja suitsu eraldumine ning millega kaasneb varaline või muu kahju (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Tuletõkkeseksioon** (*fire compartment*) – hoone osa või ruum(id) läbi ühe või mitme korruse, mis on ümbritsevatest ehitisosadest eraldatud nii, et tule levik välja- või sissepoole seda hoone osa või ruumi on ettemääratud aja jooksul takistatud (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Vasturõhuline suitsutuulutus** – suitsu eemaldamine ülerõhu abil samast avausest.

**Väljalaskeava** – ava, kust suits ja põlemisgaasid väljuvad ruumist.

**Ülemine tsoon** – ala, kus gaasiliste põlemisproduktide rõhk on atmosfäärirõhust suurem.

**Ülerõhu tekitamine** (*inducting of redundant air pressure, pressurization*) – rõhuvahe tekitamine piirdekonstruktsiooni eri poolte vahel, et kaitsta ruumi suitsu sissetungimise eest (Eesti Standard EVS 812-1:2013 Ehitiste Tuleohutus. Osa 1: Sõnavara).

**Ülerõhuline suitsutuulutus** – ülerõhu loomine ruumi, kus tehakse suitsutuulutus.

**Ülerõhustamine** – positiivse rõhu (ületab atmosfääri ja tulekahju põlemisgaaside rõhu) tekitamine ruumi eesmärgiga takistada tulekahju levikut.

**Ülerõhuventilaator (ÜRIV)** – seade, mida kasutatakse suitsuste ruumide ülerõhuliseks suitsutuulutamiseks või ruumides ülerõhulise olukorra loomiseks.

## EESSÕNA

Iga tulekahju arengu ja likvideerimisega kaasneb suitsu tekkimine, mis raskendab oluliselt päästetöid ja tekitab lisakahjustusi. Õigesti tehtud suitsutuulutus lihtsustab ja kiirendab päästeoperatsiooni: parandab nähtavust, mis võimaldab varakult avastada tulekahju põlemiskoldeid, vähendab pistleegi võimalust ja põlemisgaaside plahvatusohtu. Nõuetekohaselt korraldatud suitsutuulutus vähendab kuumuse- ja suitsukahjustusi ning veekahjustusi, mis on seotud tulekahju kustutamisega. Suitsutuulutusega eemaldatakse suitsu ja põlemisgaase, mis ähvardavad tulekahju olukorras lõksus olevaid või teadvuseta inimesi.

Eesti päästeteenistusel puudus seni kokkuvõtlik õppematerjal, kus oleks kirjeldatud suitsueemaldust tulekahjude likvideerimisel. Varem (1976–2004) on ilmunud vene keeles tulekahju likvideerimise taktika kohta mitme autori teoseid (vt kasutatud kirjanduse loetelu), kus vähesel määral kirjeldatakse suitsueemaldamisega seotud aspekte. Selle õppevahendi koostamisel on autorid toetunud soomekeelse raamatu „Palofysiikka” kahele väljaandele (Hyttinen, V. 2000 ja Hyttinen, V., Tolonen, P., Väisänen, T. 2014), vene keelest tõlgitud monograafiale „Tuletõrje taktika” (Danilov, Devlišev, Jevtuškin & Kimstatš, 1976), ingliskeelsetele veebimaterjalidele ning eelmainitud venekeelsetele allikatele. Koostatud õppematerjal on esimene eestikeelne raamat, mis on mõeldud kasutamiseks päästjate taseme- ja täiendkoolitamiseks Sisekaitseakadeemias ja Eesti päästeteenistuses.

Raamatu koostajad ei kirjelda taktikalisi lahendusi, mis on seotud suitsutuulutuse meetodi valikuga tulekahju likvideerimise käigus, kuna õige suitsueemaldamise meetodi valik sõltub konkreetsest olukorrast sündmuskohal. Teoses antakse lühiülevaade tulekahju arengust ja ohtudest, mis on seotud gaasivahetusega tulekahjul, ning käsitletakse aeratsiooni ja mehaanilisi suitsueemaldamise meetodeid.

Raamatu koostajad on töötanud Eesti päästesüsteemis üle 15 aasta. Marko Soontalu on lõpetanud Sisekaitseakadeemia päästeteenistuse eriala 2008. aastal ja Igor Šarinil on lisaks päästeharidusele Tartu Ülikooli sotsiaalteaduse magistri kraad koolijuhtimise erialal.

## SISSEJUHATUS

Iga hoone tulekahju likvideerimisel seisavad päästjad silmitsi teatud ohuteguritega, nagu:

- kõrge temperatuur põlevas hoones (ruumis), kuhu kogunevad suits ja põlemisgaasid;
- paks suits vähendab nähtavust, mis raskendab oluliselt päästjate tööd kannatanute otsingul ja põlemiskollete avastamisel;
- hoones (ruumis) suureneb mürgiste gaaside ja ainete (süsinikoksiidkloriid, vesiniktüsaniidhape, lämmastikoksiidid, väveldioksiid, süsinikoksiid jt) kogus, väheneb hapniku sisaldus õhus, mis ohustab inimeste elu ja tervist (vt tabel 1, lk 37).

Neid ohte on võimalik vähendada või elimineerida korrektselt tehtud suitsutuulutusega.

Suitsutuulutus päästetööde mõistes on protsess, kus tulekahju olukorras eemaldatakse ruumidest kuum õhk, suits ja põlemisgaasid ning samal ajal tagatakse värske õhu juurdepääs.

Õigesti korraldatud ja tehtud suitsutuulutusega on võimalik:

- hõlbustada inimestel evakuaatsiooniteede leidmist ja tulekahju piirkonnast eemaldumist;
- takistada tule levimist, juhtides kuumad põlemisgaasid ja suitsu välja;
- lokaliseerida kahjustusi tulekahju piirkonnas, takistades kuumuse, tahma ja sööbivate gaaside levimist;
- hõlbustada kustutus- ja päästemeeskonna tegevust, moodustades tulekahjust haaratud ruumi värske õhu tsooni, kus on parem nähtavus, talutavam temperatuur ja puhtam õhk;
- vähendada põlemisgaaside ja suitsu põhjustatud järelkahjustusi.

Suitsutuulutuse tähtsus moodsat tehnoloogiat kasutavas keskkonnas kasvab iga päevaga. Tänapäeval levinud sünteetilised materjalid põlevad sisetulekahju olukorras kõrgema temperatuuriga ja eraldavad põlemisel rohkem suitsu. Hooned muutuvad aina hermeetilisemaks, mis takistab oluliselt tulekahju arengut, kuid piisava põlemiskoormuse puhul on sellised

hooned väga ohtlikud nii päästjatele kui ka ruumides viibivatele inimestele. Hästi isoleeritud ja soojustatud kandekonstruksioonid ning pöönin-  
gud tagavad selle, et tulekahju soojusenergia akumuleerub nendes kiire-  
mini ja suuremas mahus. See raskendab oluliselt tulekahju likvideerimist  
ning tekitab lisaohte päästjatele ja teistele hoones olevatele inimestele.  
Seega, tänapäeval on suurenenud suitsutuulutuse roll tulekahju ja sellega  
seotud ohtude likvideerimisel. On tekkinud vajadus teha suitsutuulutust  
kiiremini ja efektiivsemalt.

Suitsu eemaldamine võib toimuda loomuliku tõmbega (aeratsiooniga)  
või mehaaniliselt – ülerõuventilaatoriga, suitsupumbaga või vastavate  
seadmete käivitamisega.

**Aeratsiooni all mõistetakse ruumide loomulikku õhuvahetust, mis  
toimub välis- ja siseõhu temperatuuri vahe ning välispiiretele mõjuva  
tuule toimel.**

Suitsu eemaldamise moodus valitakse arvutuste ja kaalutluste alusel  
vastavalt ruumis (hoones) olevatele tingimustele. Suitsutuulutuse tege-  
misel tulekahju ajal ja ka pärast põlengu likvideerimist on väga oluline  
hinnata tule võimalikku levikut ja sellega seotud ohte. Päästetööde juht  
sündmuskohal peab suitsutuulutuse korraldamisel arvestama väga paljude  
faktoritega.

- Kas suitsutuulutus on võimalik ja vajalik?
- Tuleb arvestada kuumuse, suitsu ja põlemisgaaside levikuga hoo-  
nes, ehitise eripäraga ja ohuga inimeste elule.
- Kuhu ja kui suured tuleb teha värske õhu sisselaske- ja suitsu  
väljalaskeavad?
- See sõltub hoone ehitusest, hoone ehitismaterjalidest, põleva  
objekti asukohast, tuule suunast, tulekahju intensiivsusest ja põle-  
miskollete asukohast.
- Millist suitsueemaldamismeetodit saab kasutada?
- Kas saab teha loomulikku suitsutuulutust (aeratsiooni) või tuleb  
rakendada mehaanilist suitsueemaldust (Weider, Smith & Brackage,  
1994).

Nendele ja paljudele teistele küsimustele vastamiseks tuleb päästjatel  
arvesse võtta mitmeid tegureid, mida on käsitletud järgmistes peatükkides.

## 1. TULEKAHJU ARENG JA TSOONIDE MOODUSTUMINE TULEKAHJUL

Tulekahju võib areneda enne kustutustööde algust (vabaarenemine) ja kustutustööde ajal. Kustutamise esmane ja põhiline ülesanne on tulekahju arenemise tõkestamine. Tulekahju olukorrast ja päästjate võimalustest olenevalt võidakse see ülesanne lahendada kohe esmaste vahendite ja jõududega. Kuid tulekahju arenemise peatamiseks kulub teatud aeg. Nii võimegi öelda, et tulekahju arenemine jätkub ka kustutustööde käigus, ehkki väiksema intensiivsusega kui vabaarenemise perioodil.

Kustutustöid alustatakse tulekahju arenemise ajal. Seepärast etendab tulekahju olukorra hindamisel tähtsat osa tulekahju arenemise olemuse õige ja põhjalik mõistmine. See aitab vastu võtta otsuseid, mis võimaldavad tulekahju kustutada piirides, mis ei ole olulisemalt suuremad kui kustutustööde algfaasis.

Tulekahju arenemise protsess on seotud põlemispindala ja põlemiskiiruse suurenemisega. Tulekahju arenemine sõltub põlevainete kogusest, keemilistest omadustest, agregaatolekust, põlemisel eraldunud soojuse ülekandumise tingimustest ja gaasivahetuse iseärasustest. Need faktorid määravad tulekahjupindala mõõtmed.

Tulekahju arenemine, suitsu ja põlemisgaaside levimine hoonetes oleneb nende konstruktsioonist ja plaanilahendusest ning ruumides olevate põlevainete omadustest. Ühekorruselistes hoonetes levivad tuli ja põlemisgaasid peamiselt rõhtsuunas (horisontaalne levik), mitmekorruselistes hoonetes nii rõht- kui ka püstsuunas (vertikaalne levik). Sektsioonhoonetele, kus on liftid, avad vahelagedes, trepikojad ja ventilatsioonikanalid, on iseloomulik põlemise ja põlemisgaaside ning suitsu kiire levimine vertikaalsuunas.

## 1.1. Sisetulekahju areng

Piiratud tingimustega tulekahju ehk sisetulekahju erinevus piiramata tingimustega tulekahju ehk lahtise välistulekahjuga võrreldes seisneb ruumi piiravate pindade soojuse neelamise ja peegeldamise võimes. See väljendub selles, et:

- tulekahjul vabanev energia püsib suhteliselt hästi põlevas keskkonnas ega levi mujale;
- ümbruskonda levinud lekidest eraldunud energia tõstab tulekollele temperatuuri (soojuskiirgus);
- põleva ruumi ja tulekolde temperatuur tõuseb kiiremini võrreldes piiramata tingimustes põleva tulekahjuga.

Piiratud ja piiramata tingimustega tulekahjud arenevad algfaasis sarnaselt. Kinnises ruumis tekkiva tulekahju arenemisega kaasneb samal ajal kuumade süttimiskõlblike põlemisgaaside kogunemine.

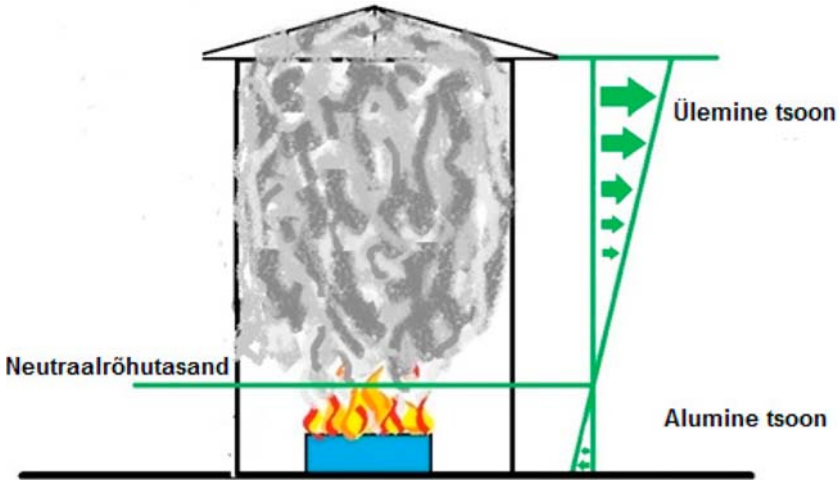
### 1.1.1. Süttimisfaas

Enamik tulekahjusid saab alguse väikesest tulepesast. Tulepesaks on tavaliselt mõni ruumis paiknev ese, mis põleb hõõgudes või leegitsedes. Tulekahju algfaasis on ruumis olevad aknad terved, õhk ei voola väljastpoolt ruumi ning selle tulemusena pole piisavalt hapnikku. Süttimisfaasis on temperatuur suhteliselt madal, alla 300 °C. Piiratud tingimustel hapnikuvaene põlemine ja temperatuuri tõus soodustavad rohket põlemiskõlblike põlemisgaaside moodustumist. Mittetäieliku põlemise tulemusena tekib põlemiskõlblik vingugaas (CO – süsinikmonooksiid).

Tulekahju eraldab soojust, mis läheb peamiselt lae- ja seinakonstruktsioonide soojendamiseks ning ruumi üldine temperatuur tõuseb aeglaselt. Algfaasi ajaline kestus on keskmiselt 1–4 minutit (oleneb põlevast materjalist, hapniku kontsentratsioonist ja ehituskonstruktsioonide eripäradest). Põlevas ruumis tekib kolm eri rõhuga tsooni (vt joonis 1):

- ülemine tsoon, kus gaasiliste põlemisproduktide rõhk on atmosfäärirõhust suurem;
- alumine tsoon, kus see rõhk on atmosfäärirõhust väiksem;
- neutraalrõhutasand, kus mõlemad rõhud on võrdsed.

Lae alla tekib esialgu läbipaistev suitsupadi, mille värvus hakkab aegamööda tumenema. Põlemisgaaside kontsentratsioon selles faasis hakkab suurenema ja põranda poole langema. Suitsupadja piir on ühtlasi neutraalrõhutasand ruumis (vt joonis 1).



Joonis 1. Rõhutasandid sisetulekahjul

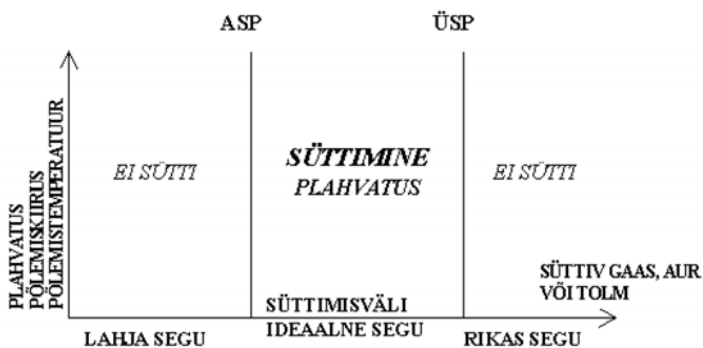
(Иванников & Ключ 1987)

**Ülemine tsoon** täitub tavaliselt põlemisproduktidega ja moodustab ala, kus on kõrge temperatuur ja suur suitsu kontsentratsioon. Selle tsooni kõrgema rõhu toimel püüavad kuumenenud gaasilised põlemisproduktid tungida põlevast ruumist mitmesuguste avade ja pragude kaudu välisõhku ja kõrgemal paiknevatesse hoone osadesse. Kõrgetes ruumides võib põlemisproduktide tekitatud manomeetriline rõhk (üleriõhk) olla üsna suur, seda tõendab aknaklaaside purunemine ja uste avanemine surve mõjul. **Alumise tsooni** kaudu liigub värske õhk põlevasse ruumi, seetõttu on ruumi alumises osas parem nähtavus ja madalam temperatuur.

Süttimisfaasis oleva sisetulekahju põlemine intensiivistub, järjest rohkem hakkab ümbritsevasse keskkonda eralduma põlemisgaase. Põlemisgaaside kontsentratsioon saavutab alumise süttimispiiri (vt joonis 2) ja toimub eraldunud põlemisgaaside süttimine. Süttimispiirid on piirid, mille vahel gaasi, auru või tolmu segu õhuga võib süttida. Gaasi ja õhu segu süttib ainult sel juhul, kui segus on gaasisaldus



mahuprotsentides alumise ja ülemise süttimispiiri vahel. Mida laiem on see vahemik, seda tõenäolisem on süttimisohtliku segu tekkimine. Väikseimat gaasi kontsentratsiooni õhus mahuprotsentides, mille juures aine võib süttida, nimetatakse alumiseks süttimispiiriks (ASP) ja suurimat kontsentratsiooni ülemiseks süttimispiiriks (ÜSP). ASP ja ÜSP vahelist ala nimetatakse süttimisväljaks. Näiteks süsinikmonooksiidi (CO), mida sisaldavad tulekahju põlemisgaasid, süttimisväli on vahemikus 12,5–74% segu mahust. (Põlemine 2014)



Joonis 2. Süttimispiirid  
(Hyttinen, Tolonen & Väisänen 2014)

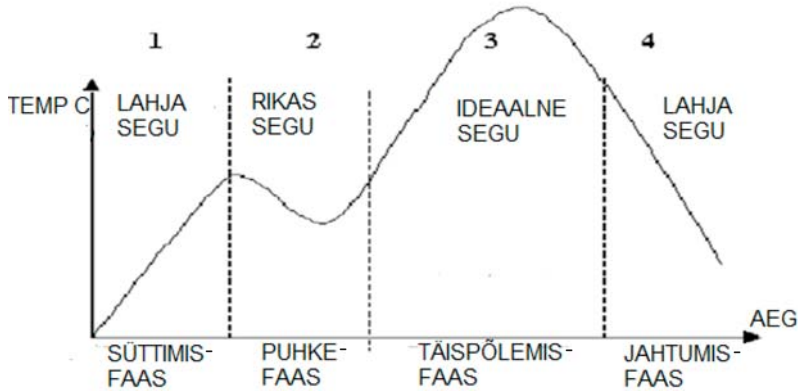
ASP – alumine süttimispiir; ÜSP – ülemine süttimispiir;  
lahja segu – gaaside osa mahuprotsentides õhus on süttimiseks ebapiisav;  
rikas segu – gaaside osa mahuprotsentides õhus on süttimiseks liiga suur.

### 1.1.2. Puhkefaas ehk hingamisfaas

Puhkefaasi tekkimine on iseloomulik suhteliselt hermeetilistele ruumidele. Näiteks elumajadele, büroodele ja kontoriruumidele, mis on suletud ustega, kuid konstruktsiooni eripärast tingituna (uste ja akende praod, ventilatsioon) pole täielikult hermeetilised.

Puhkefaasis on põlenud ära ahelreaktsiooniks vajalik õhuhapnik ja tulekahju hakkab kustuma, põlemisgaase ei lisandu ja keskkond hakkab

jahtuma. Kui keskkond jahtub alla 300 °C, siis süttimist ei toimu ning juhul kui ruum jääb hermeetiliseks, võib põlemine täielikult kustuda. Üldjuhul ei ole ruumid piisavalt hermeetilised ja põlengutel tekib nähtus, mida nimetatakse tulekahju **puhkefaasiks** ehk **hingamisfaasiks** (joonis 3).



Joonis 3. Sisetulekahju areng  
(Hyttinen 2000)

Puhkefaasis oleva põlengu puhul tõmbuvad jahtunud põlemisgaasid põlevas keskkonnas kokku ja tekitavad ruumis alarõhu, mille tulemusel imetakse seintest, akna- ja uksepragudest ruumi täiendavalt õhuhapnikku. See hapnikukogus on väga väike, kuid piisav selleks, et põlemisprotsess saaks jätkuda. Põlemisprotsess jätkub senikaua, kuni hapniku kontsentratsioon on piisav põlemise toetamiseks. Kui see langeb alla ~14% kogu ümbritseva keskkonna gaasilisest kooslusest, siis põlemine vaibub taas. Rõhk ruumi ja väliskeskkonna vahel tasakaalustuvad taas ning õhuhapniku juurdevool lakkab. Põlemisgaasid hakkavad jahtuma ja tõmbavad jälle põlemistsooni uut õhuhapnikku. Kuid selline jada ei kesta lõpmatult. Tavaliselt ei pea aknaklaasid kuigi kaua põlemisgaaside hingamisel tekitava rõhu ja temperatuuri vaheldumistele vastu ning purunevad. Samas uued tänapäevased hooned, mis on varustatud mitmekordsete klaasidega (plast- ja puitpakettaknad), peavad tulekahjule suhteliselt kaua vastu ning sellest tulenevalt kestab puhkefaas ka kauem (Tulekahju areng 2010).

## Akende purunemine tulekahjul

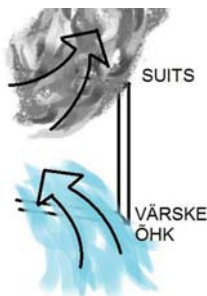
Sisetulekahju arenemisel ja levimisel on otsustava tähtsusega akende purunemine ja uste läbipõlemine. Tulekahju arenedes purunevad üldjuhul võrreldes muude tarinditega kõige kiiremini aknaklaasid. Leekide soojuskiirgus kuumendab aknaklaase juba märgatavalt varem leekkontaktist. Klaas kannatab soojuskiirgust tunduvalt vähem kui muu ehitusmaterjal. Hapra materjalina mõraneb klaas kuumas keskkonnas kergesti. Mõrade lisandumisel aknaklaas puruneb.

Akna purunemispõhjused võivad olla:

- tugev soojuskiirgus. Tugeva soojuskiirgusega kokkupuutunud aknaklaasi esiküljel kuumeneb rohkem kui tagaküljel ning klaasi paksuse suunal kiiresti muutuv temperatuur võib põhjustada purunemise;
- rõhu ja temperatuuri erinevus. Akna esi- ja tagakülje temperatuurierinevused tekitavad kuumapingeid, aknaraamid takistavad klaasi kuju muutumist, klaasi äärtes tekivad tõmbepinged. Kuumapinged tekitavad ka ebahütlase soojenemise tõttu, näiteks on klaasi äär aknaraami sees ja ühtlasi kaitstud soojuskiirguse eest. Klaasi keskosa kuumeneb äärtest kiiremini, mille tulemusena tekivad tõmbepinged, mis purustavad aknaklaasi;
- põlemisgaaside plahvatus (lööklaine). (Tulekahju areng 2010)

### 1.1.3. Täispõlengufaas

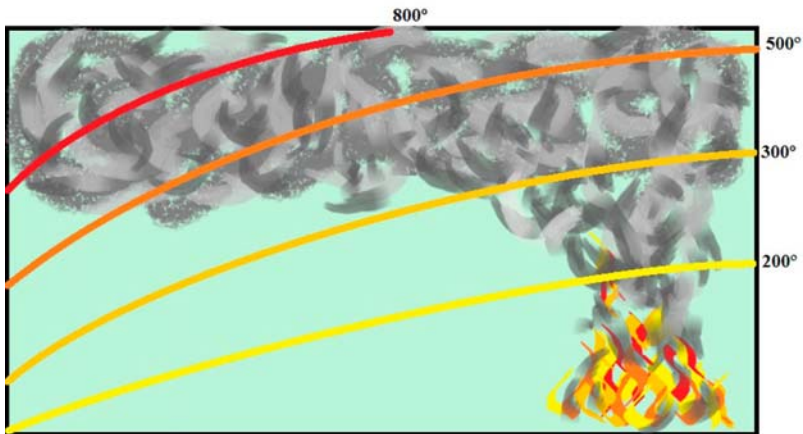
Akende või konstruktsiooniosade purunemine avab hapnikule juurdepääsu tulekoldesse ning tulekahju läheb üle täispõlengufaasi. Sellisel juhul tulekahju intensiivsus ja temperatuur tõusevad jõudsasti. Gaaside liikumine aknaavas toimub tulekahju korral alljärgneva skeemi (joonis 4) kohaselt.



Joonis 4. Täispõlengufaasis toimuv gaasivahetus

(Danilov *et al.* 1976)

See on tulekahju arengufaas, kus on olemas ideaalne gaasivahetus väliskeskkonnaga. Hapnikurikas õhk liigub avauste madalamast osast põlemiskoldesse, kust see tõuseb tsirkulatsiooni põhimõttel üles. Avauste kõrgematest osadest paisatakse ülerõhu toimel välja kuumad ja põlevad põlemisgaasid, mis võivad süüdata kergesti süttiva pinnakihiga ehitiskonstruktsioone ning suurendada seeläbi tulekahju ulatust. Üldjuhul areneb leek mööda ehitise välisseina ning tungib ülalpool asuvatesse korteritesse või läbi tuulekasti ehitise põõningule. Selliselt väljaarenenud sisetulekahjul võib laealune temperatuur olla 800–1200 °C. Joonisel 5 on esitatud arenenud sisetulekahju temperatuurivahemikud vastavalt ruumi kõrgusele.



Joonis 5. Arenenud sisetulekahju temperatuurivahemikud vastavalt ruumi kõrgusele

(Danilov *et al.* 1976)

### Jahtumisfaas

Tulekahju jahtumine saab toimuda mitmel viisil:

- kogu põlevaine põleb ära;
  - päästemeeskond jahutab keskkonna ja kustutab põlevad materjalid;
  - hapniku puudumise tõttu lämbub tulekahju ja keskkond jahtub.
- (Hyttinen 2000)

## 1.2. Põlemisgaaside ohtlikud süttimisviisid

Sisetulekahju arengu eri faasides võib olenevalt tingimustest toimuda erinevat laadi põlevgaaside süttimist: pistleek, tagasitõmme, põlemisgaaside plahvatused, mis ohustavad otseselt päästjate elu ja tervist (Tulekahju areng 2010).

### 1.2.1. Pistleek

Pistleek (*flashover*) ehk põlemisgaaside kiire üldsüttimine on iseloomulik mittehermeetilistele (avatud ustega) ruumidele, kus vabaks põlemiseks on kõik vajalikud komponendid olemas. Ruumi ülaosas tekkinud lõpuni oksüdeerimata ainetest moodustunud gaasipadi süttib järsult põlema kui saavutab selleks vastava temperatuuri (üle 300 °C).

Pistleek tekib siis, kui põlemisgaasid ruumi ülemises osas põlemiskoldeesse suubuva õhu tõttu kuumenevad, see tõstab põlemise intensiivsuse ja põlemisgaaside temperatuuri ning muudab põlemisgaaside seose ideaalseks. Selle tulemusena toimub ruumisisene üldsüttimine, mis areneb leegi kiire liikumisena kindlas sihis põlevast ruumist välja ava suunas (joonis 6).



Joonis 6. Pistleek  
(Tulekahju areng 2010)

Üldsüttimise võimsus sõltub sellest, millises süttimisvälja osas süttimine toimub, kui suurt energiahulka põlemisgaasid sisaldavad ning milline on õhu ja põlemisgaaside ringlus ruumis. Üldsüttimine on tavaline

nähtus väikeste ja suletud ruumide, nagu korterid jm, tulekahjudel ja harvaesinev suuremates ruumides, nagu tööstushallide põlengud.

Pistleek mõjutab võimsalt tulekahju arengut, kus tagasihoidlikule vaiksese põlengule võib hetkega järgneda üldsüttimine, mille tagajärjel levib tulekahju ümberkaudsetesse ruumidesse.

Kokkuvõttes tekib pistleegi situatsioon järgmistel tingimustel:

- on tagatud värske õhu juurdepääs (ruum ei ole hermeetiline);
- põlemiskoldes on põlevaine ja hapnik, kuid puudub põlemisgaaside süttimiseks vajalik temperatuur, mis tingiks põlemise plahvatusliku arenemise (värske õhu juurdevool soodustab põlemise intensiivsuse kasvu – tõstab temperatuuri);
- põlemiskoldes on kõrge temperatuur, kuid põlemisgaaside segu ei ole ideaalne (värske õhu juurdevool muudab segu ideaalseks) (Hyttinen, 2000).

### 1.2.2. Tagasitõmme

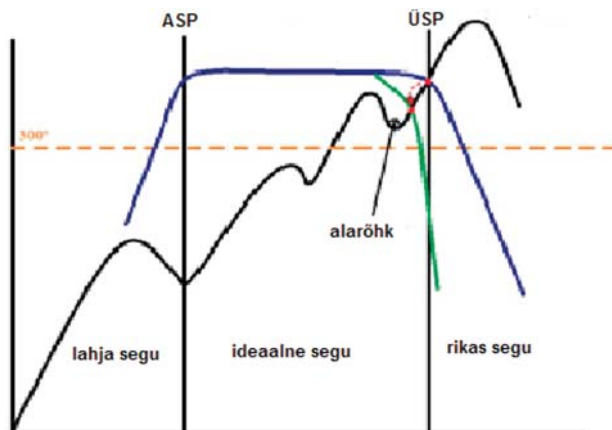
Tagasitõmme (*backdraft*) on iseloomulik suhteliselt hermeetilistele ruumidele, kus sisetulekahju arenemine on jõudnud puhkefaasi. Põlemiskoldes on olemas põlevaine (põlemisgaas – rikas segu) ja kõrge temperatuur, kuid puudub hapnik, mis toetab põlemist. Kui sellistes tingimustes jõuab põlemistsooni värske õhk (hapnik), siis võib tulekahju areneda plahvatusena kiirusega.

Tagasitõmbe plahvatuslikud tagajärjed võivad olla eriti suured, kui reageerijad (päästjad) avavad konstruktsiooni või ukse tulekahju puhkefaasis, kus põlemine on hakanud lämbuma ning põlemisgaaside padi osaliselt jahtunud, mis omakorda on kaasa toonud alarõhu. Negatiivse rõhu toimel tekib ruumi tõmme, mille tulemusena tungib õhuhapnik suure kiirusega põlemisgaasidesse.

Põlemisgaaside temperatuur ruumis on üle isesüttimistemperatuuri ning gaaside segunemisel süttimisväljas toimub iseeneslik süttimine, millele järgneb tugev plahvatuslik põlemisgaaside üldsüttimine. Plahvatusel jõud oleneb segunenud õhuhapniku ja põlevgaaside kontsentratsioonist.

Olukorrad, kus põlemisgaaside kontsentratsioonivahemikud saavutavad ideaalse segu, on küll harvad, kuid kõige tõenäolisemalt võivad tekkida kinnistes ja suhteliselt hermeetilistes ruumides, kus materjalidest eraldunud põlemisgaasid on kuumenenud kõrge temperatuurini.

Tõenäolisemalt võib tagasitõmbe situatsioon tekkida tihedate ja hermeetiliste plastakendega varustatud uusehitistes (Tulekahju areng 2010).



Joonis 7. Tagasitõmbe tekkimine

(Tulekahju areng 2010)

Tagasitõmbe enim levinud tunnused on järgmised:

- paks must suits muutub halliks ja kollaseks;
- on vähe leeki või leeki puudub üldse;
- aknad on suitsunud (tahmunud);
- suits tuleb hoonest välja ja läheb sisse tagasi (tulekahju hingab);
- hoones on ülemäärane kuumus, kuid leeki ei ole näha.

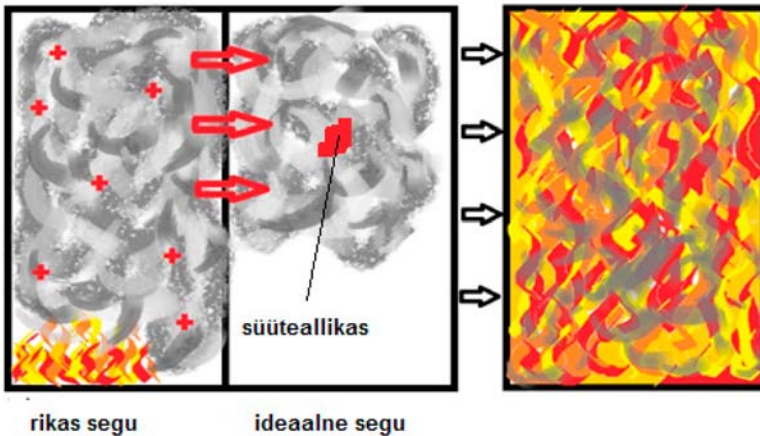
Tagasitõmbe situatsiooni elimineerimiseks on võimalik kasutada ainult üht meetodit, mis seisneb põlemisgaaside kiires jahutamises ja põlemisgaaside kontsentratsiooni väljatoomises süttimisvälja piirkonnast. Enne kõrge temperatuuriga ruumi sisenemist tuleb jahutada põlemisgaasid alla isesüttimistemperatuuri (alla 300 °C).

Kuid põlemisgaaside jahutamisega ruumis joatoruga tekitab üks probleem: päästja peab avama ukse, et selle kaudu jahutada põlemisgaase. Tagajärjeks on põlemisgaaside rikka segu juhtimine süttimisvälja piirkonda, alarõhulisse ruumi voolab värsk õhk (vt joonis 7), mille tõttu tekib tulekahju hoogne arenemine või plahvatuslik areng ehk tagasitõmme (Grimwood 2003).

### 1.2.3. Põlemisgaaside plahvatus varjatud ruumides

Kõrvalruumides toimuv põlemisgaaside üldsüttimine või plahvatus on sageli võimsam, kui tulekoldega ruumis. Põlemisgaaside plahvatusi varjatud ruumides (kõrvalruumides) võib tekkida kahes olukorras.

Sisetulekahju põlemine toimub ühes konkreetses ruumis, kuid põlemisgaaside levimine kõrval asuvasse ruumi ei ole takistatud. Gaaside liikumine toimub näiteks ventilatsioonišahti või mõne muu avause kaudu. Sellisel juhul tekib olukord, kus kõrvalruumis olev põlemisgaas võib kergesti seguneda õhuhapnikuga (gaaside segu muutub süttimiseks ideaalseks), kuna ruumis põlemist ei toimu ja seega hapniku tarbimist ei ole. Puudub ainult süüteallikas, milleks võib saada konvektsioonivoogudega leviv säde või mõni muu juhuslik süüteallikas. Põlemisgaaside ja hapniku ideaalsegu plahvatus toob kaasa suured purustused (aknad ja ukсед lendavad eest).



Joonis 8. Põlemisgaaside plahvatus varjatud ruumis

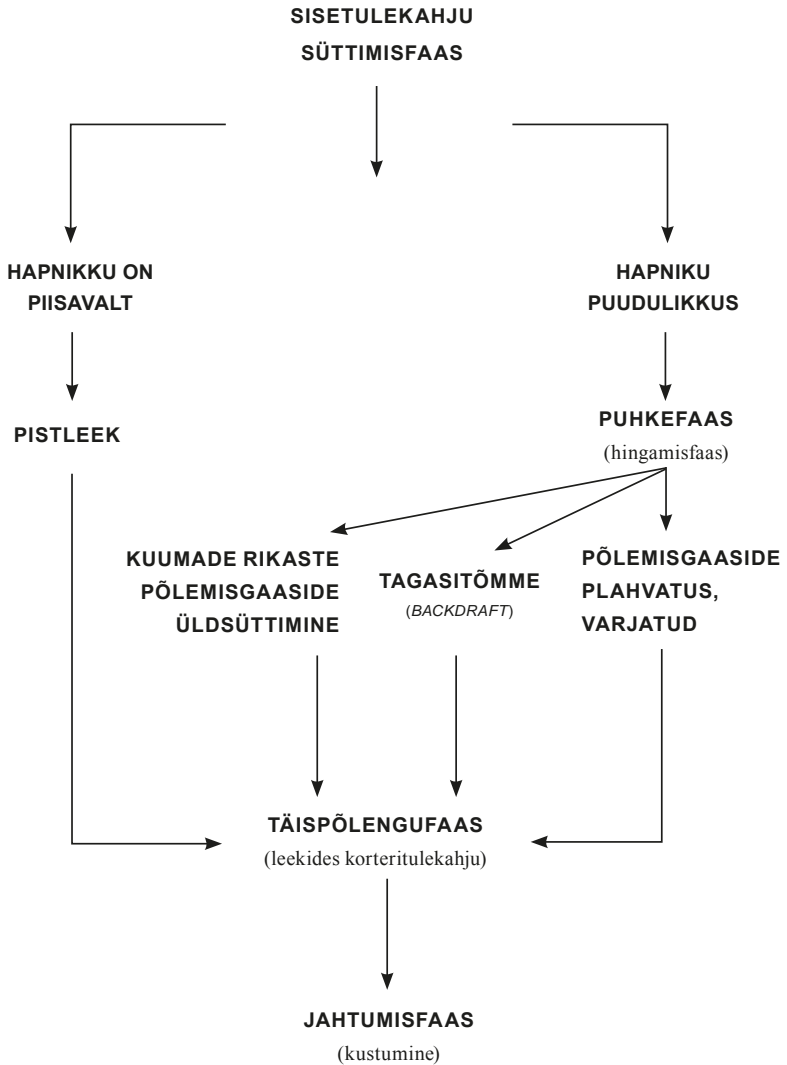
(Hytinen *et al.* 2014)

Sisetulekahju arenemine toimub ruumis, kus lagi on ehitatud soojust hästi juhtivast materjalist (näiteks metall, betoon). Sellisel juhul toimub tulekahjust ülalpool oleva ruumi kuumutamine soojusjuhtivuse teel. Põrandamaterjalidest ja mööbliesemetest hakkab temperatuuri tõusu toimel eralduma põlemisgaase, tekib tahke aine pürolüüs. Pürolüüsi lahjad põlemisgaasid rikastuvad põlengu käigus ja muutuvad süttimiseks ideaalseks. Seega on süttimistemperatuuri saavutamisel ülemine ruum



plahvatusohtlik. Puudu on jällegi süüteallikas, milleks võib saada sisselülitatud elektritarbija või muu juhuslik süüteallikas (vt joonis 8).

Sisetulekahju arenguvõimalused on esitatud joonisel 9.

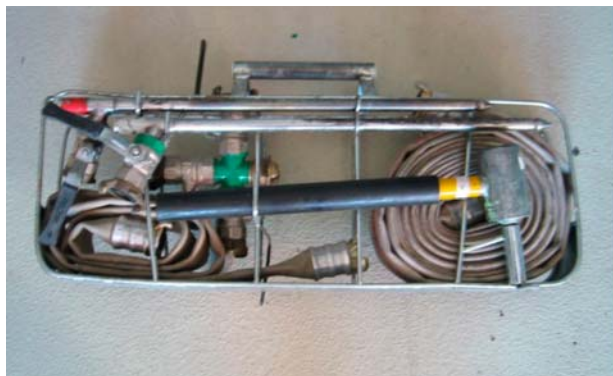


Joonis 9. Sisetulekahju arenguvõimalused  
(Tulekahju areng 2010)

## 1.3. Põlemisgaaside ohtlike süttimisviiside vältimine

### Naeljoatorude kasutamine

Põlemisgaaside jahutamiseks sisetulekahju korral võib ohtlike situatsioonide vältimiseks kasutada naeljoatorusid.



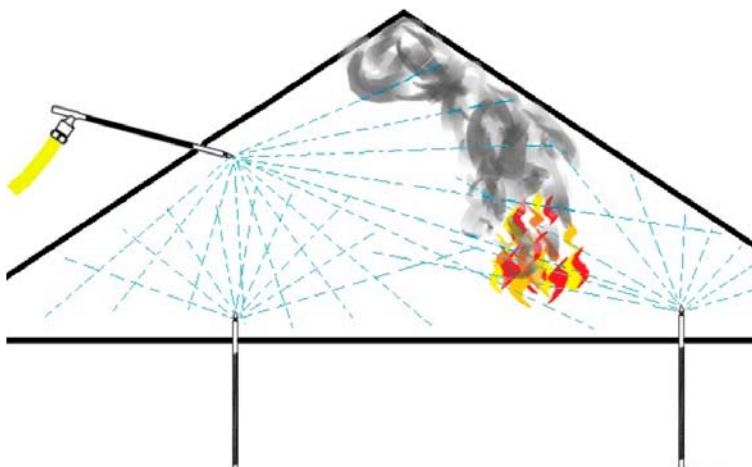
Joonis 10. Naeljoatorude komplekt (autori foto)

Kui kombineeritud joatoruga põlemisgaaside jahutamiseks on vaja avada uks, siis naeljoatoru puhul on vaja teha väike ava, mille kaudu jahutatakse põlemisgaase. Sellega piiratakse värske õhu juurdevoolu põlevasse ruumi ja vähendatakse ohtlike situatsioonide tekkimist. Kõige enam leiavad naeljoatorud kasutamist pööningute ja katusealuste tulekahjude likvideerimisel. Naeljoatoruga on võimalik kiiresti läbistada plekk-katust, õhemaid ehituskonstruktsioone ja jahutada põlemisgaase või kustutada tulekahju. Naeljoatorusid on võimalik kasutada enne tuulutusava tegemist põlemisgaaside jahutamiseks ja piiramisliini (naeljoatorude jadaühendus) moodustamiseks. Samas tuleb naeljoatorude kasutamisel arvestada sellega, et suhteliselt hermeetilise pööningu puhul surub veeaurust tingitud rõhutõus tule ehituskonstruktsioonidesse. Tuulutusava tegemise järel on naeljoatorude kasutamine väga hea võimalus põlemisgaaside jahutamisel. Piiramisliini ülespanek katusel ei nõua palju aega ega vahendeid, nii et naeljoatorusid võib pärast tuulutusava tegemist julgesti katusel kasutada. Naeljoatorudest väljuv pihustatud juga on võimeline siduma väga suurt osa põlemisgaasides olevast soojusest.

Kahjuks ei ole naeljoatorud leidnud laialdast kasutust päästeteenistuses mitmel põhjusel:

- aeganõudev ja raskendatud ehituskonstruksioonide läbimine (puurimine);
- olemasolevate naeljoatorude väike tootlikkus (kuni 2 l/s), mis ei taga piisavalt intensiivset põlemisgaaside jahutamist.

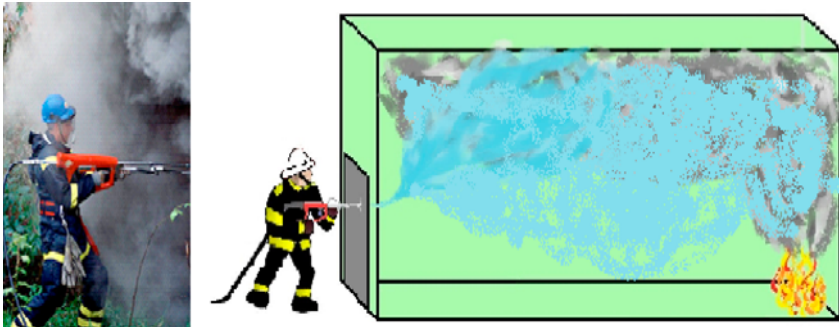
Samas on piisava tootlikkusega (5–8 l/s) naeljoatorude kasutamine põõningute ja keldrite tulekahjude kustutamisel õigustatud ning küllalt efektiivne. Keldrite põlengute puhul, kuhu koguneb tavaliselt palju põlemisgaase, võimaldab uste avamine õhu juurdepääsu ning soodustab sellega tulekahju arengut ja ohtlike situatsioonide tekkimist. Piisava vee-tootlikkusega naeljoatoru abil on võimalik alandada temperatuuri läbi väikeste ventilatsioonivade ega pea tekitama suuri avasid.



Joonis 11. Naeljoatoru kasutamine katusealusel tulekahjul  
(Gontsarenko 2014)

## Külmlõikamissüsteemide kasutamine

Naeljoatorude põhimõttel töötavad külmlõikamissüsteemid, mis on võimelised läbima ehituskonstruksioone ja samas täitma kombineeritud joatoru funktsioone. Tänu sellele süsteemile ei pea päästjad võideldes tulega sisenema hoonesse ja riskima oma eludega. Nad võivad alustada tulekustutamist, jäädes objektidest väljapoole.



Joonis 12. Külmlõikamissüsteemi kasutamine põlemisgaaside jahutamiseks (Coldcutsystems 2013)

Külmlõikamissüsteemi abil on võimalik läbistada ja lõigata mistahes materjalist hoone katuse- ja seinakonstruksioone. Selle kaudu saab jahutada põlemisgaase ja kustutada põlenguid hoone sees.

Külmlõikamissüsteemi tööpõhimõte seisneb selles, et pump segab abrasiivset pulbrit veega ja annab segu suure surve all joatorusse. Seadme poolt toodetud juga levib suure kiirusega (kuni 300 m/s) ja on võimeline läbima nii betoonseina kui ka raudust. Ruumi sissetungiv vesi alandab kiiresti temperatuuri ruumis, mis vähendab oluliselt pistleegi, tagasitõmbe ja põlemisgaaside plahvatuse võimalust. Näiteks sellisel põhimõttel töötab Rootsis loodud külmlõikamissüsteem CCS (*Cold Cut Systems*) – „Cobra”.

Külmlõikamissüsteemi kasutamisega kaasnevad teatud eelised:

- väike sisselaskeava ja vee sissepritse hoiavad ära lisaõhu sisseime-mise hoonesse;
- väikeste veepiiskade suurepärase jahutav toime;
- väike veekulu – minimaalne veekahju tekitamise risk;
- päästjad asuvad ohutus kohas (väljaspool põlevat ruumi);
- ukсед, aknad jäävad suletuks – ei ole sädemete ülekandumise ega tagasitõmbe riski (Coldcutsystems, 2013).

## KÜSIMUSED KORDAMISEKS

1. Milles seisneb sisetulekahju ja välistulekahju erinevus?
2. Millised on sisetulekahju arenguvõimalused?
3. Millised faasid iseloomustavad tulekahju arengut suhteliselt hermeetilises ruumis?
4. Missugused rõhutsoonid moodustuvad sisetulekahjul?
5. Mida tähendavad ainete süttimispiirid ASP ja ÜSP?
6. Millised protsessid toimuvad tulekahju puhke- ehk hingamisfaasis?
7. Kuidas levivad tuli ja põlemisgaasid ühekorruselistes ning mitmekorruselistes hoonetes?
8. Nimeta põlemisgaaside ohtlikud süttimisviisid.
9. Mis on tagasitõmme, selle tekke eeldused ja ärahoidmismeetodid?
10. Mis on pistleek, selle tekke eeldused ja ärahoidmismeetodid?
11. Mis on plahvatus, selle tekke eeldused ja ärahoidmismeetodid?
12. Millistes olukordades on otstarbekas kasutada naeljoatorusid?
13. Millised eelised on CCS Cobra kasutamisel võrreldes naeljoatorudega?
14. Nimeta suitsu eemaldamise eesmärgid.

## 2. TULEKAHJU MÕJUTSOONID

Kõikidel tulekahjunähtustel on tulekahju olukorras teatud ruumilised mõjutsoonid. Igal tulekahjul kujuneb välja tinglikult kolm omavahelises sõltuvuses olevat tsooni (joonis 13):

- 1 – põlemistsoon,
- 2 – soojustoime tsoon,
- 3 – suitsutsoon.



Joonis 13. Tsoonide moodustumine tulekahjul

(Повзник 2001)

Põlemistsoon on osa soojustoime tsoonist ja soojustoime tsoon osa suitsutsoonist. Seega mõistetakse tulekahju korral põlemistsooni all ruumi osa, kus toimub põlemine, eraldub ja kandub üle soojust, levib suits ning esineb gaasivahetus. Igal tulekahju tsoonil on oma iseärasused, mis kujundavad vastastikuse koosmõju tulekahju olukorra tervikuna. Kõige keerukam ja ohtlikum olukord tekib tavaliselt põlemistsoonis, mis on iga tulekahju põhiline tsoon.

## 2.1. Põlemistsoon

Põlemistsoon on ala, kus toimub põlevainete ja materjalide termiline lagunemine. Selle tsooni tunnusteks on leek, hõõgumine ja kõrge temperatuur. Leekpõlemisel moodustab põlemistsooni ruumiosa, kus toimub põlevainete ettevalmistamine põlemiseks (aurustumine, lagunemine) ja põlemine. Seda ruumiosa täidavad aurud ja gaasid ning piiravad õhuke leegikiht ja põlevaine pind. Mõne tulekahju puhul võivad põlemistsooni piirideks olla ehitiste piirdekonstruktsioonid, reservuaari seinad jne.

Mida kõrgem on leek, seda suurem on soojuskiirus ja seda ohtlikumas piirkonnas asuvad objektid. Olukorda põlemistsoonis iseloomustavad:

- geomeetrilised parameetrid: põlemistsooni kõrgus, ruumala ja pindala;
- füüsikalised parameetrid: põlevainega täitumus (põlemiskoormus), põlemiskiirus ja põlemistemperatuur.

### 2.1.1. Põlemistsooni parameetrid

Neil parameetritel, mis on iseloomulikud leekpõlemisega tulekahjudele, on eriline tähtsus üksikute lahtiste tulekahjuliikide olukorra hindamisel. Näiteks põlemistsooni suur ruumala on iseloomulik arenenud tulekahjudele elamutes, metsamaterjaliladudes, kergesti süttivate ja põlevvedelike reservuaaride põlemisel.

#### Põlemistsooni kõrgus

Mida kõrgem on leek, seda suurem on soojuskiirus ja seda ohtlikumas olukorras on lähedal asuvad objektid. Arenenud välistulekahju põlemistsooni kõrgust iseloomustab leegisamba kõrgus. Kui gaasi põlemisel on leegisammas suure rõhu tõttu suhteliselt püsiv ja püstsuunaline, siis näiteks metsamaterjali või laialivalgunud põlevvedeliku põlemisel kaldub leegisammas tuule mõjul püstasendist kergesti kõrvale, mistõttu muutub olukord tuulealusel küljel märksa keerukamaks.

#### Põlemistsooni pindala

Põlemis- ehk tulekahju pindalaks nimetatakse tahkete või vedelate ainete põleva pinna projektsiooni maapinnale või ruumi põrandale. Mõnikord võib tulekahju pindalaks arvestada ka põleva pinna projektsiooni vertikaaltasapinnale, näiteks vaheseina põlemisel.

### **Põlemistsooni põlevainega täitumus (eritäitumus)**

Põlemistsooni võimalikud mõõtmed ja tulekahju tagajärjel tekkiva materiaalse kahju suurus sõltub põlevaine üldkogusest. Tahkete ainete põlemisel kasutatakse tiheduse ehk eritäitumuse mõistet. Eritäitumuseks nimetatakse kõikide põlevainete ja materjalide kaalulist kogust võimaliku põlemispindala ühiku kohta. Mitmekorruseliste hoonete puhul määratakse põlevainega eritäitumus iga korruse kohta. Põlevainega eritäitumusest oleneb tulekahju kestus ilma kustutamiseta, seega ka tulekahju soojus- toime kestus keskkonnale.

### **Põlemiskiirus põlemistsoonis**

Põlemiskiiruseks nimetatakse ajaühiku jooksul ühelt pinnaühikult ärapõleva materjali kogust ja eristatakse sõltuvalt põlevmaterjali agregaat- olekust (tahked ained, vedelikud, gaasid):

- masspõlemiskiirust – tahkete ainete põlemisel ajaühiku jooksul ühelt pinnaühikult ärapõleva põlevaine kogust;
- joonpõlemiskiirust – vedeliku pinna alanemine ajaühiku jooksul;
- mahtpõlemiskiirust – gaaside põlemisel väljendab mahtpõlemis- kiirus ajaühiku jooksul ärapõlenud gaasi mahtu.

Mida suurem on põlemiskiirus, seda keerukamaks kujuneb tulekahju olukord, sest eraldub rohkem soojust, tõuseb põlemistemperatuur ja mate- riaalsed väärtused hävivad kiiremini.

### **Temperatuur põlemistsoonis**

Kõikide ainete põlemisel tekib põlemistsoonis kõrge temperatuur. Selle tunnuseks on leegid ja tsoonist eemalduvad põlemisaadu- sed. Põlemistemperatuur sõltub põlemissoojusest ja põlemiskiirusest. Põlemissoojuseks nimetatakse soojushulka, mis eraldub 1 kg tahke aine või vedeliku põlemisel.



## 2.2. Soojustoime tsoon

Edasikanduv soojus avaldab mõju põlemistsooni ümbritsevale keskkonnale, mistõttu õhk, esemed, konstruktsioonid jne soojenevad. Põlemistsoonist kaugemal asuvates vööndites ei mõjuta soojustoime oluliselt üldist olukorda. Mida lähemal põlemistsoonile, seda ohtlikumaks ja keerukamaks soojustoime muutub.

**Soojustoime tsoon on põlemistsooni ümbritsev ruumi osa, kus edasiandav soojus avaldab tulekahju olukorrale tunduvat mõju.** See tsoon ohustab inimelusid ning seab hävimisohtu materiaalsed väärtused, ehituskonstruktsioonid ja seadmed ning loob seega eeldused tulekahju edasiarenemiseks. Soojustoime tsooni mõõtmed olenevad tulekahju liigist, põlemistsooni suuruselt, tulekahju erisoojusvoost, põlemistemperatuurist ning soojuse edasikandumise viisist ja tingimustest. Muude võrdsete tingimuste korral on agressiivse soojustoime tsooni mõõtmed välistulekahjul alati suuremad kui sisetulekahjul. See pole seotud mitte ainult kiirguse ja konvektsiooni teel soojuse edasikandumise iseärasustega, vaid ka sädemete lendlemisega kaugemale.

Sisetulekahjul piirdub soojustoime tsoon tavaliselt põlevate ruumide mahuga. Soojustoime võib ulatuda ka väljapoole põlevaid ruume, näiteks lahtiste avade ja luukide kaudu, vahelagede ja seinte läbipõlemisel või kokkuvarisemisel ning konstruktsioonide tugeval kuumenemisel.

Põlemistsoonist väljumisel on põlemissaaduste temperatuur 1100–1300 °C. Liikumisel segunevad need õhuga ja annavad sellele osa soojust. Nõnda tekib tulekahjul kõrge temperatuuriga gaasilise keskkonna liikumine. Põlemissaadused annavad neeldunud soojuse edasi nii õhule kui ka põlevmaterjalile. Kui põlemissaaduste temperatuur on tõusnud üle 300–400 °C, muutub soojuse ülekandumine eriti ohtlikuks, sest nii kõrgel temperatuuril muutuvad põlemisgaasid ja materjalid süttimisvõimelisteks ja süttivad.

Suhteliselt kinnistes ruumides (keldrid, lastiruumid, kuivatuskambriid) ei kandu põlemisel tekkinud soojus tulekahju korral konvektsiooniga välja, vaid koguneb ruumi, st toimub soojuse akumulatsioon. Seetõttu iseloomustab niisugust tulekahjuolukorda ruumide keskkonna kõrge temperatuur ja piirdekonstruktsioonide tugev kuumenemine.

Väljaarenenud välistulekahjul võib soojustoime tsooni piir asuda põlemistsoonist üsna kaugel, seda kiirguse teel soojuse ülekandumise tagajärjel. On esinenud juhtumeid, kus kiirgustoime mõjul süttisid hooned

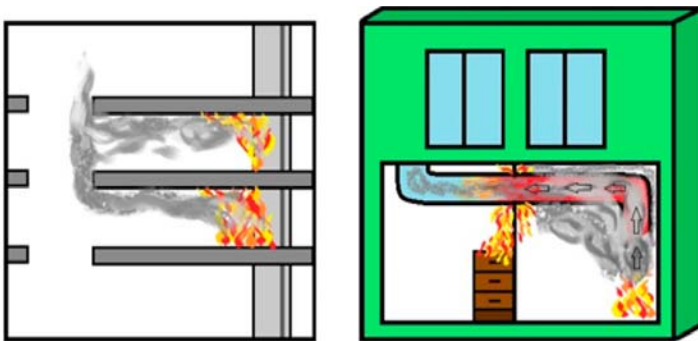
ja ehitised, mis asuvad põlemistsoonist kaugemal kui 30 meetrit. Üldjuhul loetakse soojustoime tsooni välispiiriks ala, kus põlemissaaduste temperatuur on 60–80 °C. Seejuures võib niisuguse temperatuuriga piirkond asuda põlemistsoonist küllalt kaugel.

Seeja kandub soojus põlemistsoonist väliskeskkonda kolmel viisil:

- soojusjuhtivuse,
- konvektsiooni,
- kiirguse teel.

### Soojusjuhtivus

Sisetulekahjul kandub soojus põlevast ruumist naaberruumidesse soojusjuhtivuse teel ehituskonstruktsioonide, metalltorude jne kaudu, st materjalide kaudu, mis juhivad soojust edasi.

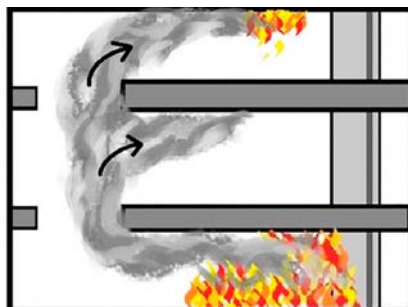


Joonis 14. Tulekahju areng soojusjuhtivuse kaudu

(Tulekahju alused 2010)

### Konvektsioon

Konvektsioon kui üks soojuse edasikandumise mooduseid avaldab välis- ja sisetulekahju olukorrale erinevat toimet. Sisetulekahjul kandub konvektsiooni teel edasi tunduvalt rohkem soojust kui välistulekahjul. See asjaolu avaldab tulekahju olukorrale märgatavat mõju. Hoonesisesel põlemisel kandub soojus konvektsiooni teel edasi koridoride, trepikodade, liftišahtide, ventilatsioonikanalite jne kaudu. Liikumisel annavad põlemissaaduste kuumad konvektsioonivoolud soojust edasi esemetele, materjalidele, konstruktsioonidele jt objektidele, millega nad kokku puutuvad.

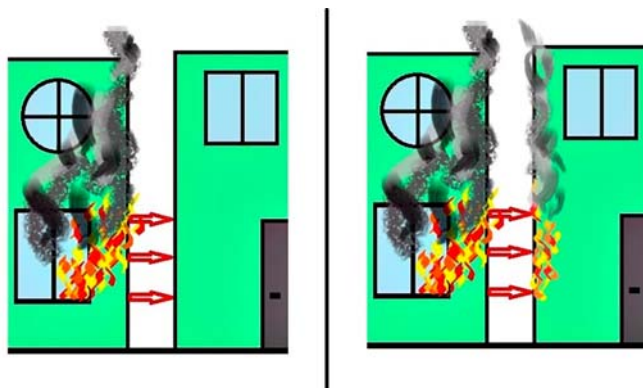


Joonis 15. Tulekahju areng konvektsiooni teel  
(Tulekahju alused 2010)

Mida suurem on konvektsioonivoolude liikumiskiirus ja kõrgem põlemis- ja saaduste temperatuur, seda rohkem soojust kandub üle keskkonnale.

### Soojuskiirgus

Soojuse ülekandumine kiirguse teel on iseloomulik välistulekahjule. Mida suurem on leegi või hõõguse pind ning kõrgem põlemistemperatuur, seda rohkem soojust kandub üle kiirguse teel. Sisetulekahjul piiravad põlevate ruumide ehituskonstruksioonid ja suits ekraanina soojuskiirguse toimet.



Joonis 16. Tulekahju areng soojuskiirguse kaudu  
(Tulekahju alused 2010)

### 2.3. Suitsutsoon

Tulekahju korral võib suits õhuga segunedes kanduda üsna kaugele ja täita suuremahulisi ruumiosi. Seejuures ei avalda suits mõnes kohas tulekahju olukorrale kuigi olulist mõju, kuid teisalt võib ohustada inimesi ja raskendada kustutustöid. Seepärast ongi tarvitusele võetud suitsutsooni mõiste. **Suitsutsoon on ala, kus põlemis- ja lagunemissaadused avaldavad tulekahju olukorrale tunduvat mõju. Selle tsooni välispiiri määravad mürgiste põlemis- ja lagunemissaaduste väiksem oht, suitsu väike optiline tihedus (nähtavus 6–12 m) ja hapniku kontsentratsioon suitsus mitte alla 16%.**

Välis- ja sisetulekahju korral ületab suitsutsooni maht tavaliselt tunduvalt põlemistsooni mahu. Välis- ja sisetulekahjul olenevad suitsutsooni maht ja asetuse põlemispindala juurdekasvust, põlemiskiirusest ja ilmastikutingimustest. Seejuures mõjutavad põlemispindala kasv ja põlemiskiirus peamiselt suitsutsooni mahtu, ilmastikutingimused (tuul, õhurõhk ja sademed) aga suitsutsooni tihedust ja paiknemist. Välis- ja sisetulekahju puhul on eriline tähtsus tuule kiirusel. Kui tuule kiirus on kuni 8 m/s, asub suitsutsoon tavaliselt põlemistsoonist kõrgemal ja suits on tihe. Tuule kiiruse tõusmisel üle 8 m/s langeb suits maa lähedale, kusjuures suitsu tihedus väheneb.

Sisetulekahjul oleneb nii suitsu kui ka põlemistsooni maht põlevate ruumide ja nendega ühenduses olevate ruumide konstruktsiooni- ja plaanilahendusest. Tulekahju olukorra hindamisel ei ole oluline mitte ainult suitsutsooni maht, vaid ka selle paiknemine põlemistsooni suhtes. Tavaliselt asub suitsutsoon põlemistsoonist kõrgemal või sellega ühel tasapinnal. Suitsutsooni asukoht sisetulekahjul sõltub paljudest asjaoludest. Tulekahju algstaadiumis asub suitsutsoon põlemistsoonist kõrgemal, lahtise, eriti aga varjatud põlemise korral laskub suitsutsooni alumine piir põlemistsooni tasemeni või isegi madalamale.

Tulekahju olukorda ei mõjuta mitte ainult suitsutsooni maht, vaid ka selle moodustumise kiirus. Ulatuslik suitsutsoon kujuneb lühikese aja (10–12 minutit pärast tulekahju algust) tulekahjudel, mis on puhkenud koridorisüsteemiga hoonete suurtes eraldi asetsevates ruumides. Eriti kiiresti moodustub suure tihedusega suitsutsoon kõrgete ruumide ülaosas, näiteks teatrilaval.

Suitsutsooni paiknemisele avaldab mõju gaasivahetus, mis omakorda sõltub sissevoolu- ja väljatõmbeavade olemasolust, asetusest ja suuruselt. Tuule mõjul moodustub suitsutsoon põlemistsooni allatuulepoolel küljel.

Suitsutsooni asukohta ja mahtu võib mõjutada aeratsioon ning suitsu-pumpade ja ülerõhuventilaatorite töötamine. Nii suurendab värske õhu juurdevool põlevasse ruumi naaberruumide suitsusust, suitsutsoon suureneb kiiresti ja põlemise levimiskiirus tõuseb. Seevastu õhu juurdevool põleva ruumi naaberruumidesse vähendab nendes suitsutsooni mahtu.

### 2.3.1. Suitsu omadused

Üks tulekahju arengut iseloomustav tegur on põlemissaaduste eraldumine. Põlemisega kaasneb alati põlemissaaduste soojuslagunemine. Enamiku ainete põlemisel jaotuvad põlemissaadused põlemistsooni ümbritsevas keskkonnas ja täidavad selle suitsuga.

Suitsu koostis sõltub põlevainete koostisest ja põlemise tingimustest. Kõige sagedamini põlevad tulekahju ajal süsinikku, vesinikku ja hapnikku sisaldavad orgaanilised ained: puit, paber, riie, naftasaadused jne. Sellest tulenevalt kuuluvad suitsu koostisse tavaliselt lämmastik, hapnik, süsinikoksiid (vingugaas), süsinikdioksiid (süsihappegaas), veeaur ja vaba süsinik imeväikeste tahkete osakeste kujul. Ainete ja materjalide mittetäielikul põlemisel tekivad osakesed, mis teatud põhjusel, kõige sagedamini hapniku vähesuse tõttu, ei jõua ära põleda ning kanduvad koos kuumade gaasivooludega põlemistsoonist välja. Hõljuvas olekus moodustavad need koos veeauruga suitsu, seega **nimetatakse suitsuks nähtavat tahkete ja/või vedelate põlemis- ja soojuslagunemise osakeste segu õhuga**. Paljud suitsu kuuluvad põlemis- ja soojuslagunemise saadused on toksilised, st inimorganismile ohtlikult toimivate omadustega (vt tabel 1).

Tabel 1. Suitsu toksiliste ainete mõju inimesele (Danilov *et al.* 1976)

Toksiline aine	Surmav 5–10 min jooksul		Ohtlik 30–40 min pärast		Ohutu 30 min jooksul	
	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l
Süsinikoksiidkloriid	0,005	0,25	0,0025	0,1	0,0001	0,004
Vesiniktsüaniidhape	0,02	0,2	0,01	0,1	0,005	0,05
Lämmastikoksiidid	0,05	1	0,01	0,2	0,005	0,01
Vääveldioksiid	0,3	8	0,04	1,1	0,01	0,3
Süsinikoksiid	0,5	6	0,2	2,4	0,1	1,2
Süsinikdioksiid	6	162	5	90	3	54

Kui suitsu koostisesse kuuluvad mittetäieliku põlemise saadused, näiteks süsinik, süsinikoksiid, võivad need õhuga segunemisel moodustada mitte ainult põlev-, vaid ka plahvatusohtlikke segusid. Suhteliselt kinnetes keldriruumides, kuivatuskambrites, lastiruumides ja mujal esineb tulekahju kustutamisel mittetäieliku põlemise produktide ja õhu segu süttimist ning isegi plahvatusi.

Välis- ja sisetulekahjul ei ole suitsu tihedusel tavaliselt praktilist tähtsust. Kõige tihedam on suits sisetulekahjul, eriti põlevate ja nendega ühenduses olevate ruumide ülaosas. Suits, nagu kõrge temperatuuri, takistab päästjate tegutsemist, raskendab tunduvalt päästjate orienteerumist ja ohustab nende elu.

Teatud mõju suitsu omadustele ja iseloomule avaldab temperatuur. Selle tõusmisel suitsu toksilisus suureneb ja mahukaal väheneb. Seepärast on suitsu tihedus sisetulekahjul kõige suurem lae all. Temperatuuri alanemisel langeb suits allapoole. Seda soodustab õhurõhu vähenemine ja suitsu niiskusesisalduse tõus. Nii välis- kui ka sisetulekahjul tungib suits algul ülespoole ja pärast esimest jahutamist hakkab täitma madalamaid kohti.

See, et suits tungib algul ülespoole, on tingitud soojenenud gaasiliste põlemissaaduste õhuga võrreldes väiksemast mahukaalust (tihedusest), mistõttu need tõusevad ülespoole ja kutsuvad õhurõhu toimel esile õhu juurdevoolu põlemistsooni alumisse ossa. Tihedus on füüsikaline suurus, mis näitab aine massi ruumalaühikus. Seda tähistatakse üldjuhul sümboliga  $\rho$  (roo) ning mõõdetakse ühikutes  $\text{kg/m}^3$  (SI-süsteemi põhiühikutes) või  $\text{g/cm}^3$ . Definitsiooni järgi on tihedus

$$\rho = \frac{m}{V},$$

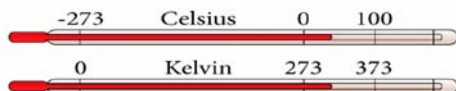
kus  $\rho$  – tihedus,  $V$  – ruumala,  $m$  – aine mass ruumalas  $V$ .

Aine tihedus sõltub üldiselt rõhust ja temperatuurist. Gaasiliste ainete korral on see sõltuvus väga tugev: tavatingimustes on tihedus ligilähedase võrdeline rõhuga ning pöördvõrdeline absoluutse temperatuuriga. Näiteks välisõhu tihedus 20 °C juures on 1,2  $\text{kg/m}^3$  ning 600 °C juures 0,4  $\text{kg/m}^3$ . Suitsu tiheduse  $\rho_s$  leidmiseks eri temperatuuride juures kasutatakse valemit

$$\rho_s = 1,29 \times \frac{273}{T_s} \quad (1),$$

kus  $\rho_s$  – suitsu tihedus, 1,29 – õhu tihedus 273 °K (Kelvini kraad) juures,  $T_s$  – suitsu temperatuur °K (Danilov *et al.* 1976).

SI-mõõdetühikute süsteemis kasutatakse temperatuuri mõõtmiseks Kelvini temperatuuriskaalat. Kelvini temperatuuriskaala alguspunkti on absoluutne nulltemperatuur ja selles võib temperatuur olla ainult positiivne.



Joonis 17. Celsiuse ja Kelvini temperatuuriskaalad

(Allikas: Kõo, õpik.füüsika)

Suitsu tihedus mõjutab oluliselt neutraalrõhutasandi paiknemist sisetulekahjul, eriti kui tehakse suitsutuulust. Mida väiksem on suitsu tihedus, seda parem on nähtavus ruumis, kuid seda kõrgem on temperatuur. Suitsu tiheduse määramine vastavalt temperatuurile on oluline arusaamiseks, kuidas mõjutab suitsu temperatuur ja põlemisgaaside jahutamine (temperatuuri alandamine) neutraalrõhutasandi paiknemist ruumis ehk nähtavust (vt valem 2, lk 52).

### NÄIDISÜLESANNE

Arvutage suitsu tiheduse 800 °C juures. Selleks kasutame valemit (1)

$$\rho_s = 1,29 \times \frac{273}{T_s} \quad (1)$$

Suitsu temperatuur Kelvini järgi on  $T_s = 800 + 273 = 1073$  °K. (vt joonis 17). Nüüd saame välja arvutada suitsu tiheduse:

$$\rho_{800} = 1,29 \times 273/1073 \approx \mathbf{0,33 \text{ kg/m}^3}.$$

### 2.3.2. Suitsu eriteke, suitsususaste ja suitsu optiline tihedus

Suitsusust iseloomustavateks füüsikalisteks parameetriteks on suitsu eriteke, suitsu tihedus, eralduvate gaaside põlemine, suitsu koostisse kuuluvate ainete toksilisus, värvus, maitse ja lõhn, suitsu temperatuur,

liikumiskiirus ja suund. Kõik need parameetrid mõjutavad suuremal või vähemal määral tulekahju olukorda.

### Suitsu eriteke

Suitsu tekkimine oleneb ainete suitsueraldamisvõimest ja põlemiskiirusest. Suitsu tekkimise võime määratakse kindlaks suitsu eritekke põhjal. Näiteks on võrdsete tingimuste korral enamiku naftasaaduste põlemisel suitsu eriteke kõrgem kui puidu põlemisel. Suitsu eritekkeks nimetatakse põlemispindala ühikult ajaühiku jooksul tekkiva suitsu mahtu.

### Suitsususaste

Inimesele ei ole ohtlikud mitte ainult põlemis- ja lagunemissaaduste toksilised omadused, vaid ka suitsususaste. Suitsususastmeks nimetatakse suitsu tihedust ja kontsentratsiooni õhus. Suitsu koostises olevate põlemis- ja lagunemissaaduste suur kontsentratsioon vähendab hapniku protsentuaalset sisaldust suitsus. Kontsentratsioon on hapniku ja põlemisproduktide protsentuaalne sisaldus suitsus.

### Suitsu optiline tihedus

Suitsu optilise tiheduse all mõeldakse nähtavust suitsus või suitsu läbi paistvust. Suitsu optilist tihedust mõjutavad vaba süsiniku, magneesiumoksiidi ja difosforpentoksiidi tahkete osakeste ning veeauru ja teiste ainete hulk selle koostises, samuti gaasivahetuse intensiivsus (Drysdale 2003). Suitsu optilise tiheduse määramiseks valgustatakse esemeid suitsustes tingimustes valgusallikaga. Vastavalt esemete nähtavusele võib suits olla suure, keskmise või nõrga tihedusega. Tabelis 2 on esitatud suitsu tihedus ja sellele vastav nähtavus.

Tabel 2. Suitsu optiline tihedus ja sellele vastav nähtavus  
(Danilov *et al.* 1976)

Suitsu optiline tihedus	Nähtavus
suur	kuni 3 m
keskmise	3–6 m
väike	6–12 m



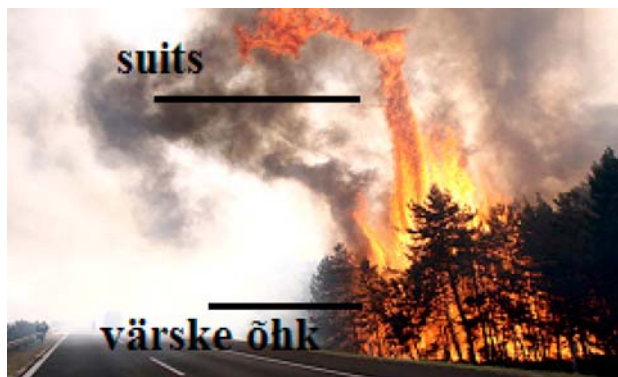
## KÜSIMUSED KORDAMISEKS

1. Millised kolm omavahelises sõltuvuses olevat mõjutsooni moodustuvad tulekahjul?
2. Mis on põlemistsooni tunnuseks?
3. Millised parameetrid iseloomustavad põlemistsooni?
4. Millest sõltub soojustoime tsooni suurus?
5. Millist temperatuurivahemikku loetakse soojustoime välispiiriks?
6. Millisel viisil toimub soojuse ülekandumine põlemistsoonist?
7. Millised faktorid mõjutavad suitsutsooni paiknemist sise- ja välistulekahjul?
8. Millised parameetrid iseloomustavad suitsutsooni välispiiri?
9. Mida nimetatakse suitsuks?
10. Kuidas mõjutab suitsu omadusi tulekahju temperatuur?
11. Mis on suitsu tihedus ja millest see sõltub?
12. Arvuta suitsu tihedus 600 °C juures.
13. Mida nimetatakse suitsu eritekkeks?
14. Mida tähendab suitsususaste?
15. Mida mõeldakse suitsu optilise tiheduse all ja kuidas see jaguneb?

### 3. GAASIVAHETUS TULEKAHJUL

Eelnevalt käsitletud suitsu tiheduse valemist (lk 38) järeldub, et mida suurem on põlemis- ja õhutemperatuuri vahe, seda suurem on gaasiliste põlemissaaduste ja õhu tiheduse vahe. Soojenenud gaasilistel põlemissaadustel on õhuga võrreldes väiksem mahukaal, mistõttu püüavad nad tungida ülespoole, kutsudes õhurõhu toimel esile õhu juurdevoolu põlemistsooni alla. Tulekahjukohal tekib nn õhutõmbus. Tiheduste erinevus etendab gaasivahetuse tekkimises ja kiiruses põhilist osa. **Gaasivahetuseks tulekahjul nimetatakse põlemisest tingitud gaasimasside liikumist: kuumenenud gaasiliste põlemis- ja soojuslagunemise saaduste suundumist põlemistsoonist välja ning õhu voolamist põlemistsooni.** Koos põlemissaadustega liigub soojustoime tsoonis soojenenud õhk.

Gaasivahetuse põhiline koostisosa on õhu voolamine põlemistsooni, sest juurdevoolanud õhu hulgast sõltub põlemiskiirus ja järelikult ka põlemissaaduste moodustumine. Seetõttu võetakse gaasivahetuse intensiivsuse määramisel aluseks õhu liikumine põlemistsooni.



Joonis 18. Gaasivahetus välistulekahjul  
(Metsatulekahjud 2010)

Igal tulekahjul kujuneb välja kohapealsetest tingimustest sõltuvalt oma gaasivahetuse skeem. Selle tundmine hõlbustab tulekahju olukorra hindamist. Välis- ja sisetulekahju gaasivahetusel on oma teatud iseärasused.

Välistulekahjul sõltub gaasiliste ainete liikumise kiirus põlemissaaduste ja õhu temperatuuri vahest ning tuule mõjust. Välistulekahju

gaasivahetuse skeemi iseloomustab ülespoole kerkiv või liikuv gaasiliste põlemissaaduste samm. Samba kõrguse määrab kuumenenud põlemissaaduste rõhu ja õhurõhu vahe. Eriti intensiivselt ja suure kiirusega toimub gaasivahetus metsamaterjaliladude, metsa ja laialivalgunud põlevvedelike ulatuslikul põlemisel. Neil tulekahjudel võib gaasivahetusvoolude liikumiskiirus olla kuni 50 km/h. Tuule kiirusest sõltuvalt võib põlemiskiirus ja seega gaasivahetuse intensiivsus suurenedada.

Märksa suuremat tähtsust tulekahju arengule etendab gaasivahetus sisetulekahjul. Hoonesisesel tulekahjul oleneb gaasivahetus eeskätt sissevoolu- ja väljatõmbeavadest, põlevate ruumide kõrgusest, põlevmaterjaliga eritaitumisest ning hoone ja selle ruumide arhitektuurilisest ja plaanilahendusest.

### 3.1. Gaasivahetuse intensiivsus sisetulekahjul

Gaasivahetuse põhiline koostisosa on õhu voolamine põlemistsooni, sest juurdevoolanud õhu hulgast sõltub põlemiskiirus ja järelikut ka põlemisaaduste moodustumine. Seetõttu võetakse gaasivahetuse intensiivsuse määramisel aluseks õhu liikumine põlemistsooni. **Gaasivahetuse intensiivsuseks nimetatakse ajaühiku jooksul põlemispindalale saabuva õhu kogust ( $\text{kg}/\text{m}^2 \times \text{s}$ ).**

Siit võib järeldada, et välistulekahju puhul on gaasivahetuse intensiivsuse absoluutväärtused suuremad kui sisetulekahjul, sest sisetulekahjul avaldab gaasivahetuse intensiivsusele mõju põleva ruumi sissevooluavade  $S_a$  ja põrandapinna  $S_p$  suhe ning ruumi kõrgus (tabel 3).

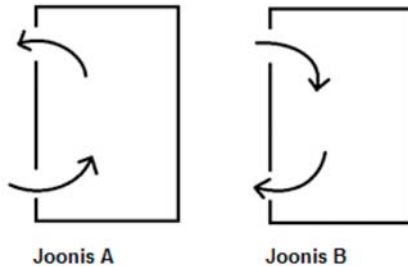
Tabel 3. Gaasivahetuse intensiivsus sõltuvalt ruumi kõrgusest, sissevooluavade ja põrandapindala suhtest  
(Danilov *et al.* 1976)

Ruum	Ruumi kõrgus, (m)	Gaasivahetuse intensiivsus	$S_a / S_p$
keldrid, tunnelid, külmkambrid	kuni 6	kuni 1,5	väiksem kui 1 : 12
kinosaalid, šahtid, tornid	üle 6	kuni 3	väiksem kui 1 : 12
eluruumid, abi- ja tootmisruumid	kuni 6	kuni 3,5	suurem kui 1 : 12
teatrisaalid, jaamahooned, angaarid	üle 6	kuni 6	suurem kui 1 : 12

Ruumis, kus  $S_a/S_p$  suhe on väiksem kui 1 : 12, eraldub tulekahjul soojust aeglaselt ja mittetäieliku põlemise saadusi tekib suures koguses. Seevastu ruumis, kus  $S_a/S_p$  suhe on suurem kui 1 : 12, muutub suitsu temperatuur ja kontsentratsioon ruumi kõrguse ulatuses olulisel määral, soojust eraldub rohkem ja mittetäieliku põlemise saadusi tekib vähem.

### 3.1.1. Välistegurite mõju gaasivahetusele

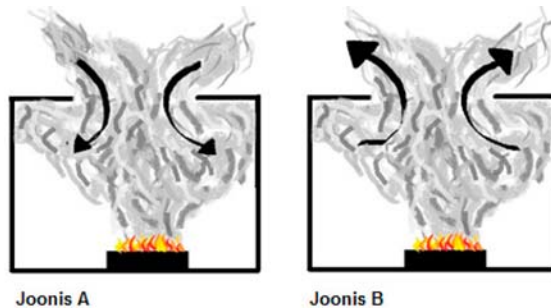
Õhu liikumine põlemistsooni sõltub välisõhu ja põlemisgaaside **temperatuuride vahest**. Kui välistemperatuur on sisetemperatuurist madalam, siis toimub gaasivahetus tavalise skeemi järgi (joonis 19A), kus suits tõuseb üles. Juhul kui temperatuuride vahe on vastupidine (näiteks konditsioneerid hoones soojal ajal), tekib olukord, kus põlengu algfaasis liigub suits alla (joonis 19B) (Drysdale 2003).



Joonis 19. Välistemperatuuri mõju gaasivahetusele  
(Drysdale 2003)

### Atmosfäärirõhu mõju gaasivahetusele

Gaasivahetusel avaldab gaasimasside liikumiskiirusele olulist mõju ka atmosfäärirõhk. Kui katusel on tuule mõjul positiivne rõhk, vähendab see paremal juhul suitsutuulutuse kiirust. Mida suurem see on, seda väiksemaks muutub gaasiliste põlemissaaduste liikumiskiirus ja kui rõhk on küllaltki suur, võib ventilatsioon hakata tööle vastupidiselt (joonis 20A).

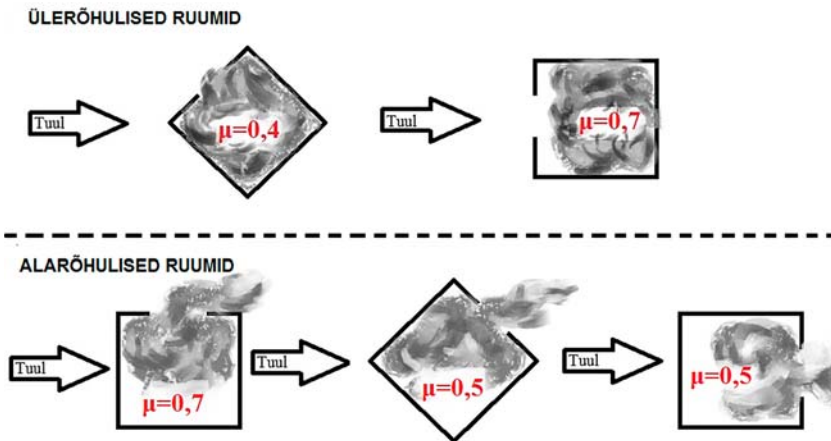


Joonis 20. Atmosfäärirõhu mõju gaasivahetusele  
(Danilov *et al.* 1976)

### Tuule mõju gaasivahetusele

Välispiirete lahtitegemisel võib neutraalrõhutasandi asukohta mõjutada **tuule suund ja tugevus**. Tuulepealsel küljel tõuseb neutraalrõhutasand kõrgemale, tuulealusel küljel laskub allapoole. Seepärast ei saa neutraalrõhutasandit käsitleda kui rangelt horisontaalset tasandit, sest see võib võtta märksa keerukama kuju. Samas suurendab tuul õhu liikumiskiirust gaasivahetusel ja võib muuta gaasivoolude liikumissuunda ning oluliselt kiirendada suitsutuulust.

Tuule toime hoone seinapindadele tekitab hoones ülerõhulisi ja alarõhulisi alasid vastavalt tuule suunale. Need alad on suitsutuulustel väga olulised, vastavalt sellele tehakse loomulikult suitsutuulustel sisse- ja väljalaskeavad. Vastavalt tuule suunale ja olemasolevatele avadele tekib ruumis kas ala- või ülerõhk. Joonise 21 abil saab määrata, kas hoonete olemasolevad avad sobivad suitsu eemaldamiseks. **Mida suurem on aerodünaamiline koefitsient  $\mu$  (müü) ja tuule kiirus, seda efektiivsem on gaasivahetus** (vt joonis 21, tabel 4) (Hyttinen 2000).



Joonis 21. Ruumide alarõhustamine või ülerõhustamine vastavalt tuule suunale ja avade paiknemisele

(Hyttinen *et al.* 2014)

Joonisel 21 ülerõhuliste ruumide puhul suitsutuulutust ei toimu, vaatamata sellele, et aerodünaamiline koefitsient  $\mu = 0,7$ , kuna avad asuvad ülerõhulises alas.

Tabel 4 annab ülevaate tuule kiiruse mõjust ja vastavalt sellele tekkinud üle- või alarõhu suurusest.

Tabel 4. Üle- või alarõhu suurus sõltuvalt tuule kiirusest  
(Hytinen 2000)

Tuule kiirus (m/s)	Dünaamiline rõhk (Pa)	Tuule rõhumõju vastavalt $\mu$ (Pa)			
		$\mu = 0,4$	$\mu = 0,5$	$\mu = 0,6$	$\mu = 0,7$
1	0,6	0,3	0,3	0,4	0,4
2	2,5	1,0	1,3	1,5	1,8
3	5,7	2,3	2,9	3,4	4
4	10	4	5	6	7
5	16	6	8	10	11
6	23	9	11	14	16
7	31	12	16	19	22
8	41	16	20	24	28
9	51	21	26	31	36
10	64	25	32	38	44

### 3.2. Suitsu väljalaskeavade asukoht sisetulekahjul

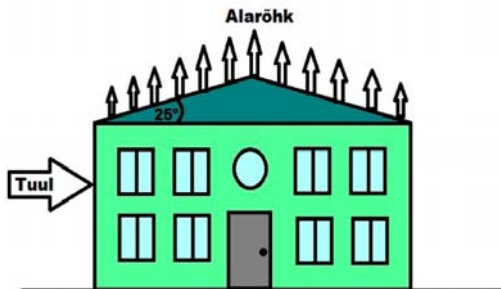
Üldjuhul tehakse avad suitsutuulutuseks katuse või konstruktsioonide alarõhulises osas. Suitsu väljalaskeavad tehakse võimalikult hoone ülemisse ossa, et tõsta neutraalrõhutasand maksimaalselt kõrgele. Üks võimalus on teha suitsu väljalaskeavad katusele. Joonistel 22, 23 ja 24 on esitatud ala- ja ülerõhulised tsoonid katustel kaldega 45° ja alla 30° ning lamekatusel.



Joonis 22. Ala- ja ülerõhulised tsoonid katusel kaldega 45°

(Hyttinen et al. 2014)

Kui katuse kaldenurk on alla 30°, moodustub kogu katuse ulatuses alarõhuline tsoon ja suitsu väljalaskeava tehakse katuse kaugemasse ossa tuule suhtes. Kui katuse kaldenurk on üle 30°, asub alarõhuline tsoon allatuulepoolsel küljel. Kui tuul on piki katuse harja, moodustub alarõhuline tsoon kogu katuse ulatuses sõltumata katuse kaldenurgast.



Joonis 23. Rõhutsoonid katusel, kaldenurk on alla 30°

(Hyttinen et al. 2014)

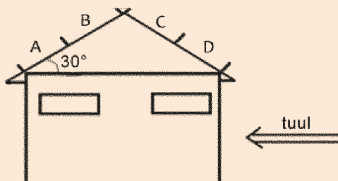




Joonis 24. Rõhutsoonid lamekatusel  
(Hyttinen *et al.* 2014)

### KÜSIMUSED KORDAMISEKS

1. Mida nimetatakse gaasivahetuseks tulekahjudel?
2. Millest sõltub gaasivahetuse intensiivsus tulekahjudel?
3. Millised parameetrid mõjutavad gaasivahetust sisetulekahjul?
4. Millest sõltub gaasivahetuse intensiivsus sisetulekahjul?
5. Millest sõltub suitsu väljalaskevade asukoht suitsutuulutuse teostamisel?
6. Kuidas mõjutab katuse konstruktsioon ja tuule suund rõhutsoonide paiknemist katusel?
7. Millises katuse osas (A, B, C või D) on väljalaskeava optimaalne asukoht antud hoone aeratsiooni puhul?



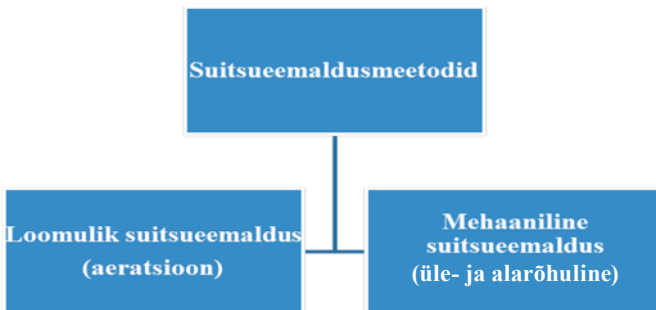
## 4. SUITSUEEMALDUSMEETODID

Suure pindalaga ja mahukates ehitistes tuleb pöörata gaasivahetuse juhtimisele erilist tähelepanu. Gaasivahetust saab juhtida nii põlevate ja suitsu mattunud ruumide sissevoolu- ja väljatõmbeavade pindala ning asetuse muutmise teel kui ka tehniliste vahendite abil.

Tulekahju olukorras on oluline tähtsus sellel, kui kõrgel asub põlevas ruumis neutraalrõhutasand. Mida madalamal on neutraalrõhutasand, seda suurem on suitsutsoon ja suitsu tihedus ning seda kergemini võivad naaberruumid mattuda suitsu. See muudab tulekahju olukorra oluliselt keerulisemaks.

Suitsu saab eemaldada kahel meetodil:

- eemaldada suitsu aeratsiooni abil (loomulik suitsueemaldus);
- kasutada mehaanilist suitsueemaldust.



Joonis 25. Suitsueemaldusmeetodid

Põlemisgaaside kontrollitud ja õigeaegne eemaldamine nõuab teatud algteadmisi. Õige tuulutusmeetodi valimine on osa kustutusaktikast ning oleneb tulekahju arengustaadiumist, kasutada olevast tehnikast, kannatanute asukohast ja tulekoldest. Erinevaid rünnakuliike on vaja väga täpselt koordineerida ja teada nende mõju tulekahju arengule, sest iga vale päästetegevus või valele hetkele ajastatud rünnak võib kaasa tuua hoopis vastupidise efekti (Hyttinen 2000).

## 4.1. Loomulik suitsutuulutus (aeratsioon)

Loomuliku tuulutuse all mõistetakse ruumi akende ja uste avamist ning asendusõhu juhtimist ruumi. Niimoodi saab teha loomulikku õhuvahetust ja viia kuumad põlemisgaasid ruumist välja.

Kinnise ruumi tulekahju korral põlemisgaasid ning suits soojenevad ja liiguvad ülespoole ning põhjustavad rõhu tõusu. Arvestades, et soojenenud suits tõuseb tulekahju korral üles, on kasulik teha väljalaskeava suitsu ja põlemisgaaside eemaldamiseks põleva ruumi ülemisse ossa, allatuult ning piisavalt suur, arvestades põlevat ruumi. Alati ei ole see võimalik, seepärast tuleb läbi mõelda, mismoodi mõjub tule levikule ava rajamine.

Loomulik suitsutuulutus rahuldab suurte põlemiskoormuste korral ainult osaliselt, sest toimib liiga aeglaselt, pole piisavalt kontrollitav ega taga ohutut keskkonda. Seepärast tuleb loomulikku suitsutuulutust toetada mehaanilise sundtuulutusega.

Tulekahju olukord muutub märgatavalt siis, kui olemasolevate avade seisund muutub (need avanevad) või kustutustööde ajal tekib uusi avasid, sest see loob tingimused põlemiskiiruse ja põlemispindala suurenemiseks. Seejuures muutub aeratsiooniskeem ja kujuneb uus gaasivahetuse skeem. Gaasivahetuse intensiivsus ja gaasimasside liikumiskiirus suureneb. Enamikul juhtudel kasutatakse neutraalrõhutasandi tõstmiseks **aeratsiooni, mis on ruumis organiseeritud loomulik õhuvahetus välis- ja siseõhu temperatuuri vahe mõjul ning piiretele toimiva tuule tagajärjel**. Õhuvahetus toimub hoone piiretes olevate avade kaudu. Aeratsiooniga saab neutraalrõhutasandit tõsta kolmel viisil:

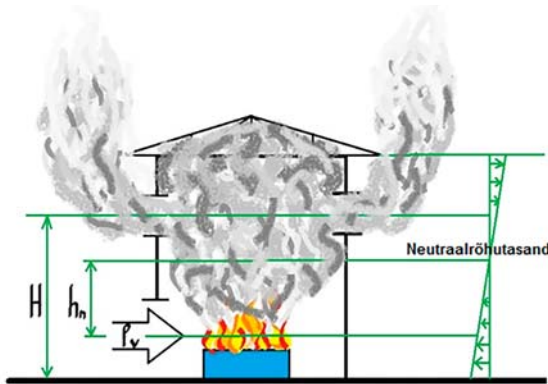
- suurendades ruumist põlemissaaduste väljatõmbamisel töötavaid ülemisi avasid (katusekatte, suitsuluukide ja šahtide avamine ning muude avade loomine ruumi ülaosas);
- vähendades alumisi avasid, mille kaudu voolab ruumi värsket õhku (uste ja ruumide allosas paiknevate avade sulgemine);
- suurendada võimaluse korral alumiste ja ülemiste avade vahelist kaugust (tehes suitsu väljalaskeava kõrgemale).

Ülemiste väljatõmbeavade pindala suurenemisega kaasneb põlemisproduktide ja õhu liikumise kiiruse tunduv kasv. Avade pindala muutmisega saab lisaks neutraalrõhutasandi asukohale muuta ka põlemiskiirust.

Näiteks paikneb neutraalrõhutasand sissevooluavade pindala vähendamisel ümber põleva ruumi ülaossa ja põlemiskiirus väheneb. Sõltuvalt paigutusest põleva ruumi põranda suhtes jagunevad avad alumisteks (värske õhu sissevooluavad) ja ülemisteks (suitsu väljatõmbeavadeks).

#### 4.1.1. Avade kaherealine paigutus

Kaherealise paigutuse korral loetakse alumised avad sissevoolu- ja ülemised väljatõmbeavadeks (vt joonis 26).



Joonis 26. Avade kaherealine paigutus  
(gaasivahetus avatud ülemiste ja alumiste avade korral)

(Danilov *et al.* 1976)

Kui ülemised ja alumised avad on lahti, arvutakse põleva ruumi neutraalrõhutasandi asukoht vastavalt valemile (2):

$$h_n = \frac{H}{\left(\frac{S_a}{S_u}\right)^2 \frac{\rho_v}{\rho_s} + 1} \quad (2)$$

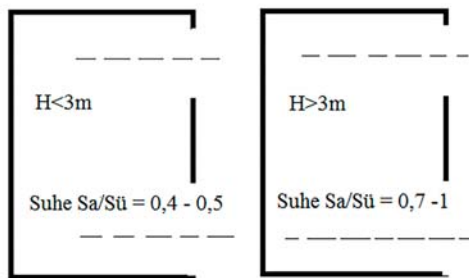
kus  $h_n$  – vahemaa alumiste avade teljest neutraalrõhutasandini (m),  $H$  – ülemiste ja alumiste avade telgedevaheline kaugus (m),  $S_a$  – alumiste sissevooluavade pindala ( $\text{m}^2$ ),  $S_u$  – ülemiste väljatõmbeavade pindala ( $\text{m}^2$ ),  $\rho_v$  – välisõhu tihedus ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $\rho_s$  – gaasiliste põlemisproduktide tihedus ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) (Danilov *et al.* 1976).

Esitatud võrrandist saab teha järgmised järeldused:

- mida suurem on alumiste ja ülemiste avade telgedevaheline kaugus, seda kõrgemal asub neutraalrõhutasand;
- neutraalrõhutasand on alati lähemal neile avadele, mille pindala on suurem;
- kui ülemiste ja alumiste avade kogupindala on võrdne ning mahukaalud (temperatuurid) erinevad suuresti, asub neutraalrõhutasand lähemal alumistele avadele.

Ruumis neutraalrõhutasandit määravast valemist (2) võib järeldada, et avade võrdse pindala korral paikneb neutraalrõhutasand umbes poolel avade kesktasandite vahelisel kõrgusel. Avade pindala suurenemisel või vähenemisel paigutub neutraalrõhutasand suurematele avadele lähemale.

Neutraalrõhutasandi paiknemist põleva ruumi ülasaosas mõjutab ka ruumi kõrgus ja avade telgedevaheline kaugus. Selleks, et tagada piisav nähtavus ruumis, **peab kuni 3 m kõrgustes ruumides suhe  $S_a/S_{ii}$  ( $S_a$  – alumiste sissevooluavade pindala,  $S_{ii}$  – ülemiste väljatõmbeavade pindala) olema vähemalt 0,4 : 0,5 ja üle 3 m kõrgustes ruumides (avade telgedevahelise kauguse) puhul vähemalt 0,7 : 1** (vt joonis 27).



Joonis 27. Ruumi kõrguse (avade telgedevahelise kauguse) mõju avade pindalale

(Danilov et al. 1976)

Lähtudes valemist 2 on päästjatel sündmuskohal avade kaherealise paigutuse puhul nähtavuse parandamiseks ja neutraalrõhutasandi tõstmiseks järgmised võimalused:

- suurendada ülemiste avade (väljalaskeavade) pindala;
- vähendada alumiste avade (õhu sisselaskeavade) pindala;
- suurendada avade telgede vahelist kaugust, teha väljalaskeava kõrgemale.

### NÄIDISÜLESANNE

Kui kõrgel asub neutraalrõhutasand ( $h_n$ ), kui:

- ülemiste ja alumiste avade telgedevaheline kaugus (H) on 3 m;
- alumiste sissevooluavade ( $S_a$ ) pindala on 2 m<sup>2</sup>;
- ülemiste väljatõmbeavade ( $S_ü$ ) pindala on 3 m<sup>2</sup>;
- välisõhu temperatuur on 0 °C;
- tulekahju suitsu temperatuur on 200 °C.

Kui ülemised ja alumised avad on lahti, arvutatakse põleva ruumi neutraalrõhutasandi asukoht vastavalt valemile (2)

$$h_n = \frac{H}{\left(\frac{S_a}{S_ü}\right)^2 \frac{\rho_v}{\rho_s} + 1} \quad (2)$$

Suitsu tihedus, nagu eelnevalt on öeldud, on 0 °C juures on **1,29 kg/m<sup>3</sup>**. Suitsu tiheduse leidmiseks 200 °C juures kasutame valemit 1:

$$\rho_s = 1,29 \times \frac{273}{T_s} \quad (1)$$

Suitsu temperatuur Kelvini järgi on  $T_s = 200 + 273 = 473$  °K. Nüüd saame välja arvutada suitsu tiheduse:

$$\rho_{200} = 1,29 \times \frac{273}{473} \approx 0,74 \text{ kg/m}$$

Välisõhu tiheduse  $\rho_v$  ja suitsu tiheduse  $\rho_s$  suhe võrdub  $\frac{\rho_v}{\rho_s} = \frac{1,29}{0,74} = 1,74$

Alumiste ja ülemiste avade suhe võrdub

$$\left(\frac{S_a}{S_ü}\right)^2 = \left(\frac{2}{3}\right)^2 \approx 0,44$$

Nüüd saame välja arvutada, kui kõrgel asub neutraalrõhutasand alumise ava teljest

$$h_n = \frac{3}{0,44 \times 1,74 + 1} = 1,7 \text{ m}$$

**Vastus:** Neutraalrõhutasand asub ca 1,7 m kõrgusel alumise ava teljest.

## NÄIDISÜLESANNE

Neutraalrõhutasandi paiknemist põleva ruumi ülaosas mõjutas ruumi kõrgus ja avade telgede vaheline kaugus. Selleks, et tagada piisav nähtavus ruumis, peab kuni 3 m kõrgustes ruumides suhe  $S_a : S_{\bar{a}}$  ( $S_a$  – alumiste sissevooluavade pindala,  $S_{\bar{a}}$  – ülemiste väljatõmbeavade pindala) olema vähemalt 0,4 : 0,5 ja üle 3 m kõrguste ruumide (avade telgede vaheline kaugus) puhul vähemalt 0,7 : 1.

### Küsimus 1

Kui suur peab olema suitsu väljalaskeava  $S_{\bar{a}}$ , kui alumine ava  $S_a$  on suurusega 2 m<sup>2</sup> ja avade telgede vaheline kaugus on 3 m?

Avade suhe, kui telgedevaheline kaugus on 3 m, peab olema 0,4 : 0,5. Sellest lähtuvalt

$$\frac{2}{x} = 0,4 \div 0,5 \quad x = \frac{2}{0,5} = 4 \text{ m} \quad x = \frac{2}{0,4} = 5 \text{ m}$$

**Vastus:** Selleks et tagada piisav nähtavus ruumis, peab ülemine ava olema kaks korda suurem kui alumine ava ehk 4–5 m<sup>2</sup>.

### Küsimus 2

Kui suur peab olema suitsu väljalaskeava  $S_{\bar{a}}$ , kui alumine ava  $S_a$  on suurusega 2 m<sup>2</sup> ja avade telgede vaheline kaugus on 5 m?

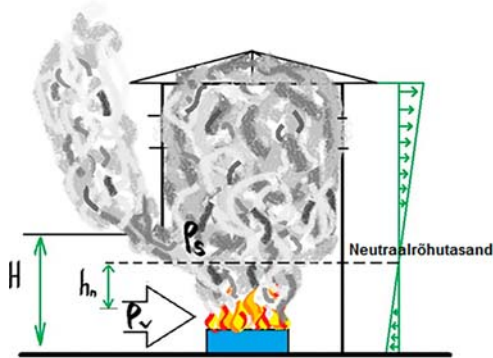
Avade suhe, kui telgedevaheline kaugus on üle 3 m, peab olema 0,7 : 1. Sellest lähtuvalt

$$\frac{2}{x} = 0,7 \div 1 \quad x = \frac{2}{1} = 2 \text{ m} \quad x = \frac{2}{0,7} = 2,85 \text{ m}^2$$

**Vastus:** Selleks et tagada piisav nähtavus ruumis, peab ülemise ava suurus olema vahemikus 2–2,85 m<sup>2</sup>.

#### 4.1.2. Avade üherealine paigutus

Üherealise paigutuse puhul on avad nii värske õhu sissevoolu- kui ka suitsu väljatõmbeavadeks, st gaasivahetus toimub sama ava kaudu. Kui lahti on ainult alumised avad (joonis 28), st kui need on nii sissevoolu- kui ka väljatõmbeavadeks, määratakse neutraalrõhutasandi asukoht valemi 3 abil:



Joonis 28. Avade üherealine paigutus  
(gaasivahetus avatud alumiste avade kaudu)  
(Danilov *et al.* 1976)

$$h_n = \frac{0,5H_a}{\sqrt[3]{\frac{\rho_v}{\rho_s} + 1}} \quad (3)$$

kus  $h_n$  – vahemaa alumiste avade teljest neutraalrõhutasandini (m),  
 $\rho_v$  – välisõhu tihedus ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\rho_s$  – gaasiliste põlemisgaaside tihedus ( $\text{kg/m}^3$ ),  $H_a$  – ava kõrgus (m).

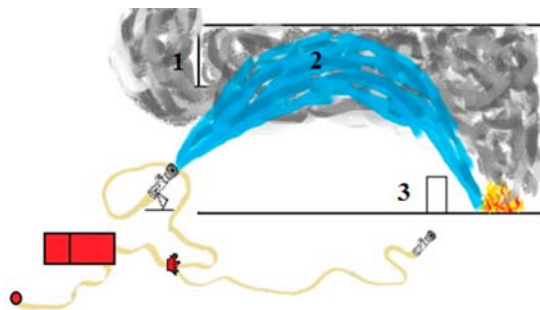
Valemist 3 võib järeldada, et neutraalrõhutasandi tõstmiseks hoonetes, kus on olemas ainult üks ava (nt uks angaari tulekahju puhul), on päästjatel kaks võimalust:

- teha ava (uks) kõrgemaks (vt joonis 29 (1)), millega tagatakse efektiivsem gaasivahetus (suitsu kontsentratsiooni vähenemine seoses ülerõhuga ruumis);
- jahutada suitsu ja põlemisgaase, tuua need ruumi alumisse ossa (vt joonis 29 (2)), tagades sellega efektiivsema suitsutuulutuse.



Lisaavade tegemine katusele, näiteks metallangaaride puhul, on seotud lisaohutudega (põlemisgaaside süttimine, suitsu kõrge temperatuur, angaari konstruktsioonide kokkuvarisemine kõrge temperatuuri toimel) ja üldjuhul neid toiminguid ei tehta.

Praktikas leidub angaari ja tööstushoone tulekahju korral siiski veel üks moodus neutraalrõhutasandi tõstmiseks, mis ei ole otseselt seotud suitsu eemaldamisega: lisaavade tegemine hoone alumisse ossa. Need avad tehakse võimalikult lähedale põlemiskoldele. Eesmärk on likvideerida põlevmaterjali põleng, alandada sellega temperatuuri ja vähendada suitsu teket (vt joonis 29 (3)). Arvestama peab sellega, et soojustatud metallangaaride puhul on mõned soojustusmaterjalid süttivad. Süttimise vältimiseks avade tegemise ajal peab moodustama survestatud vooliku-liini tehtava ava juurde või kasutama muid kustutusvahendeid (Šarin 2004).



Joonis 29. Neutraalrõhutasandi tõstmine  
avade üherealisel paigutusel  
(Šarin 2004)

## NÄIDISÜLESANNE

Kui lahti on ainult alumised avad (joonis 29), st kui nad on nii sissevoolu- kui ka väljatõmbeavadeks, määratakse neutraalrõhutasandi asukoht valemi abil

$$h_n = \frac{0,5H_a}{\sqrt[3]{\frac{\rho_v}{\rho_s} + 1}}$$

Küsimus: Kui kõrgel asub neutraalrõhutasand ( $h_n$ ) angaari tulekahju puhul, kui:

- ava kõrgus  $H_a = 3$  m;
- välisõhu temperatuur on  $20$  °C;
- gaasiliste põlemisproduktide temperatuur on  $400$  °C.

Välisõhu tiheduse  $\rho_{20}$  leidmiseks  $20$  °C juures kasutame valemit 1

$$\rho_s = 1,29 \times \frac{273}{T_s}$$

Välisõhu temperatuur Kelvini järgi

$$\rho_{20} = 1,29 \times \frac{273}{293} \approx 1,20 \text{ kg/m}^3$$

on  $T_s = 20 + 273 = 293$  °K. Nüüd saame välja arvutada välisõhu tiheduse

Suitsu tiheduse  $\rho_{400}$  leidmiseks  $400$ °C juures teisaldame temperatuuri Kelvini skaalale:

$T_s = 400 + 273 = 673$  °K. Nüüd saame välja arvutada suitsu tiheduse

$$\rho_{400} = 1,29 \times \frac{273}{673} \approx 0,52 \text{ kg/m}^3$$

Nüüd saab välja arvutada kui kõrgel asub neutraalrõhutasand ava teljest

$$h_n = \frac{0,5 \times 3}{\sqrt[3]{\frac{1,2}{0,52} + 1}} = 1 \text{ m}$$

**Vastus:** neutraalrõhutasand  $h_n$  asub kõrgusel **2,5 m** (ava telje kõrgus on 1,5 m).

## KÜSIMUSED KORDAMISEKS

1. Kuidas jagunevad suitsueemaldusmeetodid?
2. Mida mõistetakse loomuliku suitsueemalduse all?
3. Kuidas jaguneb mehaaniline suitsueemaldus?
4. Mida tähendab avade kaherealine paigutus?
5. Mis võimalused on neutraalrõhutasandi tõstmiseks avade kaherealisel paigutusel (aeratsioon)?
6. Mida tähendab avade üherealine paigutus?
7. Mis võimalused on neutraalrõhutasandi tõstmiseks avade üherealisel paigutusel (aeratsioon)?
8. Kui suur peab olema suitsu väljalaskeava suitsutuulutusel (aeratsioon), kui:
  - alumine ava  $S_a = 2 \text{ m}^2$  ja avade telgede vaheline kaugus on 6 m?
  - ülemine ava  $S_u = 2 \text{ m}^2$  ja avade telgede vaheline kaugus on 2,5 m?
9. Millisele avale lähemal asub neutraalrõhutasand, kui alumised ja ülemised avad on võrdse pindalaga ning ruumis on temperatuurierinevused?
10. Arvuta neutraalrõhutasandi kõrgus põrandast avade kaherealisel paigutusel.

### Ülesanne (a):

- alumise ava kõrgus on 2 m ja ava pindala  $2 \text{ m}^2$ ;
- ülemise ava pindala  $4 \text{ m}^2$ ;
- avade telgede vaheline kaugus 6 m;
- suitsu temperatuur on  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ , õhutemperatuur  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

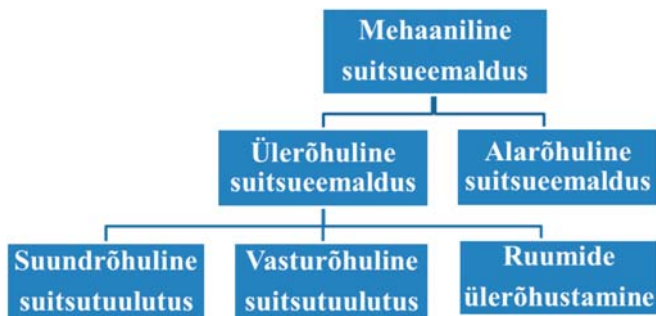
### Ülesanne (b):

- alumise ava pindala  $3 \text{ m}^2$ ;
- ülemise ava pindala  $2 \text{ m}^2$ ;
- avade telgede vaheline kaugus 3 m;
- suitsu temperatuur on  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ , õhutemperatuur  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 5. MEHAANILINE SUITSUEEMALDUS

Kui aeratsiooniga ei ole võimalik suitsu eemaldada, siis tuleb gaasivood mehaaniliselt ümber paigutada. Seda moodust on võimalik rakendada kahel viisil:

- ruumidesse tekitatakse ülerõhk, mis ületab atmosfääri rõhu, ja suits (põlemisgaasid) juhitakse kontrollitult välja (ülerõhuline suitsutuulutus);
- ruumidesse tekitatakse alarõhk ja suits juhitakse kontrolli all välja (alarõhuline suitsutuulutus).



Joonis 30. Mehaanilise suitsueemalduse liigid

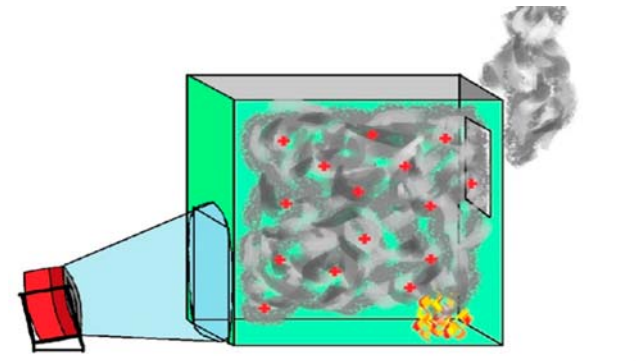
Õige tuulutusmeetodi valimine on osa kustutustaktikast. Mehaanilise suitsutuulutuse liigi valimine oleneb kasutusel olevast suitsutuulutuse jaoks mõeldud tehnikast, tulekahju arengust, ruumi suurusest ning asukohast hoones. Selleks, et teha mehaanilist suitsueemaldust, on vaja vastavaid töövahendeid. Tänapäeva päästeteenistuses kasutatakse mehaanilise suitsueemalduse tegemiseks ülerõhuventilaatorit (ÜRUV), suitsupumpa ja kombineeritud joatoru (vt joonis 31).



Joonis 31. Töövahendid mehaaniliseks suitsueemaldamiseks (autori foto)

## 5.1. Ülerõhuline suitsutuulutus

Ülerõhulise suitsutuulutuse all mõistetakse positiivse (ületab atmosfääri rõhu) ülerõhu loomist ruumi, kus tehakse suitsutuulutust. Kui rõhk ruumis tõuseb, hakkab ruumis olev õhk liikuma madalama rõhuga tsooni poole, otsides läbi avade väljapääsu (joonis 32).



Joonis 32. Ülerõhuline suitsutuulutus

(Hyttinen *et al.* 2014)

Ülerõhulist suitsueemaldust on võimalik teha kas ülerõhuventilaatoriga (ÜRV) või suitsupumbaga (jäab oma tootlikkuselt alla ülerõhuventilaatorile).

### 5.1.1. Ülerõhuventilaator (ÜRV)



Joonis 33.  
Ülerõhuventilaator  
(autori foto)

Ülerõhuventilaatoreid kasutatakse tulekahjul suitsuste ruumide ülerõhuliseks suitsutuulutamiseks või ruumides ülerõhulise olukorra loomiseks. Ülerõhu loomisega ruumis parandatakse nähtavust, viiakse ruumi värsket jahedat õhku, alandatakse temperatuuri, suurendatakse päästjate turvalisust, vähendatakse põlemisgaaside tekitatud lisakahjustusi, hõlbustatakse evakueerimist ning lühendatakse tulekustutus- ja päästetöödeks kuluvat aega (Suurkivi & Marvet 2000).

Ülerõhuventilaatori abil saame luua ruumi ülerõhulise tsooni, kui asetame ülerõhuventilaatori tuulutatava ruumi ukse ette. Avades samal ajal ka aknad, ukсед või vajaduse korral isegi mõned ukсед sulgeda (suitsu teekonna loomiseks), saame kiiresti ja efektiivselt eemaldada hoonest suitsu ja põlemissaadused. See tähendab, et suitsu eemaldamisega tekitame vähem lisakahjustusi inimestele ja varale. Lisaks loome ülerõhulise suitsutuulutusega päästjatele paremad töötingimused, sest selle tegevusega alandame temperatuuri ja parandame nähtavust tulekahjul.

### Ülerõhuventilaatori ehitus

Ülerõhuventilaatori põhilised osad on sisepõlemismootor ja ventilaatori-osa. Mootoriteks on tavaliselt neljataktilised 5–10-hobujõulised bensiinimootorid. Mootori käivitamiseks kasutatakse käivitusnööri. Mootori pöördeid saab reguleerida kas tühikäigupööretele, tööasendisse või suretusasendisse. Ülekanne mootorilt ventilaatorile toimub veorihma abil või läbi otseülekande võlliga. Labadega ventilaator on turvalisuse tagamiseks paigutatud ventilaatorikambrisse, mis on nii eest kui ka tagant kaetud metallvõrguga. Kõik ülerõhuventilaatori osad on kinnitatud raamile või asetatud ühte korpusesse. Suurematel ventilaatoritel on transportimise hõlbustamiseks raami külge monteeritud nii rattad kui ka käepide. Raami küljes oleva spetsiaalse lukustusmehhanismi abil on võimalik muuta ventilaatori kaldenurka maapinna suhtes. Vibratsiooni vältimiseks on osale ülerõhuventilaatoritele paigaldatud raami ning ventilaatori ja mootoriosa vahele kummipuksid või vedrud. Eesti päästeteenistuses kasutatavate ülerõhuventilaatorite mass jääb üldjuhul 30–50 kg vahele, tootlikkuseks on neil keskmiselt 16 000 – 25 000 m<sup>3</sup>/h (Suurkivi & Marvet 2000).

### Ülerõhuventilaatori kasutamine sündmusel

Ülerõhuventilaator rakendatakse tööle ainult päästetöödejuhi (edaspidi *PTJ*) korraldusel. Selleks et ülerõhuventilaator ruttu kasutusele võtta, tuleb see enne paigaldada sisselaskeava ette ning käivitada väikestel pööretel ja suunata eemale. Nii toimides saab ülerõhuventilatsiooni alustada kõige kiiremini.

Kui suitsu väljalaskeava on avatud, tuleb ülerõhuventilaator pöörata sisselaskeava poole ja suurendada mootori pöördeid. Kui ülerõhuventilaator on ava ette paigaldatud, ei tohi selle ees ega taga seista, sest sellega takistatakse suitsutuulutuse efektiivsust, kuna osa sisselaskeavast on suletud.

Suurtel pööretel töötava ülerõhuventilaatori juures viibides tuleb kaitsta oma silmi kivide ja prügi eest, mida ülerõhuventilaator võib maast haarata ja lendu paisata.

Ülerõhuventilaator tuleb alati paigaldada kindlale alusele.

Pärast igat kasutamist tuleb

- ülerõhuventilaator korralikult puhastada mustusest ja sodist;
- tankida sisepõlemismootori kütusepaak.

Lisaks tuleb kontrollida ülerõhuventilaatori osade korrasolekut:

- veorihma pingust;
- ventilaatorilabade korrasolekut;
- nurga seadistamise mehhanismi korrasolekut.

### Ülerõhuventilaatori eelised ja puudused suitsutuulutusel

Ülerõhuventilaatori eelised:

- võimaldab hoida suitsuvabana primaarsed ja sekundaarsed evakuatsiooniteed;
- kiire kasutuselevõttuaeg;
- võimaldab eemaldada põlemisgaasid;
- võimaldab suunata põlemisgaase ja suitsu vastavalt olukorrale.

Ülerõhuventilaatori puudused:

- vajab korralikku luuret ja koordineerimist teiste operatsioonidega (kõrvalruumide kindlustus, kontroll);
- oskamatul kasutamisel võib intensiivistada tule levikut;
- kuhjab ukseava varustusega;
- kõrgetes, üle 6-meetrites, suuremahulistes ruumides (angaarid) ei ole efektiivne;
- ei ole võimalik kasutada suitsuses keskkonnas.

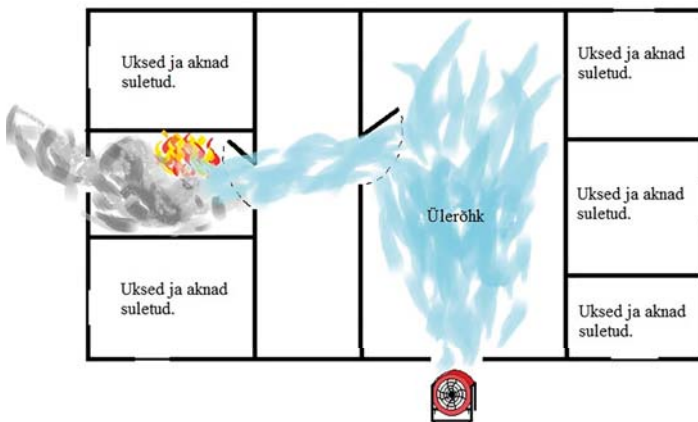
#### 5.1.2. Suundrõhuline suitsutuulutus

Suundrõhulisel suitsutuulutusel eemaldatakse suits ja põlemisgaasid, pumbates ruumi õhku ülerõhuventilaatoriga, juhtides suitsu ja põlemisgaasid kontrollitult väljalaskeava(de) kaudu ruumist välja tingimusel, et värske õhu sisselaskeava ja suitsu väljalaskeava(d) peavad olema eri kohtades (vt joonis 34).



Joonis 34. Suundrõhuline suitsutuulutus  
(Hyttinen *et al.* 2014)

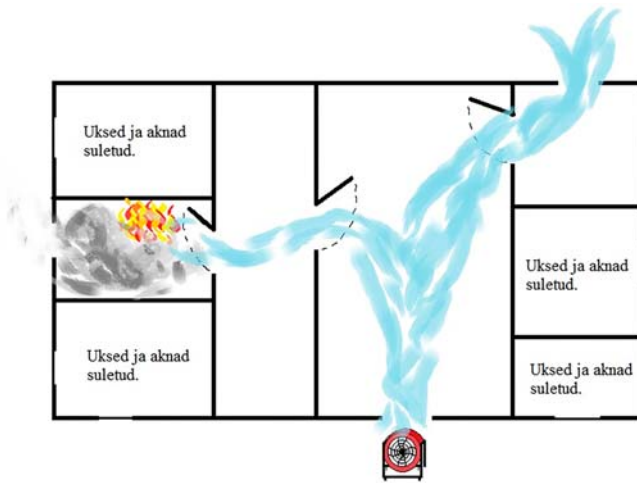
Suundrõhuline suitsutuulutus sobib hästi korruselamute puhul (trepi-kojad), kuna võimaldab hoida esmased evakatsiooniteed suitsuvabana. Väljalaskevavad võivad asuda kas üleval või vastasseinas ning suitsuteekonda on võimalik muuta ka ruumis olevate uste ja akende abil. Väljalaskevaks sobivad suitsuluugid, aknad, ukсед või päästjate poolt katusele tehtud suitsutuulutusaugud. Korrekse suundrõhulise suitsutuulutuse puhul liigub suits kontrollitult uste ja akende kaudu välja (vt joonis 35).



Joonis 35. Õige suundrõhuline suitsutuulutus (Smoke ventilation ... 2014)

Tüüpiline viga, mida tehakse suundrõhulise suitsutuulutuse puhul, on kontrollimatu ja vale suitsu väljumisteedkonna loomine, kus ülerõhuventilaatori suitsueemaldamise tootlikkust kasutatakse ebaefektiivselt (joonis 36).

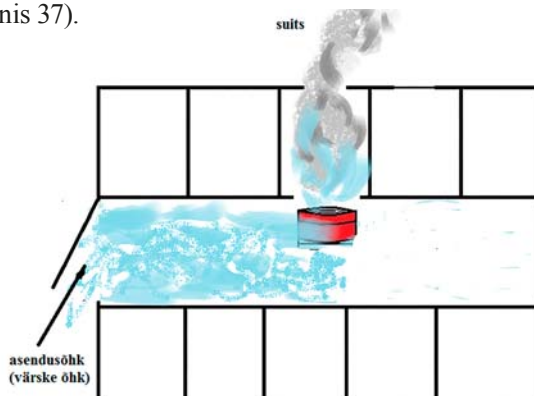




Joonis 36. Vale suundrõhuline suitsutuulutus (Smoke ventilation ... 2014)

Antud juhul liigub ülerõhuventilaatorist väljuv värske õhk ebakorrapäraselt ega tekita suitsususesse ruumi piisavalt ülerõhku, sest osa rõhust väljub avatud uste ja akende kaudu, mis ei ole päästjate kontrolli all.

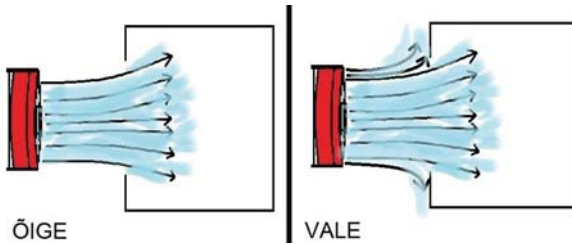
Teine tüüpiline viga on seotud ülerõhuventilaatori kasutamisega suitsu eemaldamisel siseruumide tulekahjudel. Ülerõhuventilaatori tootlikkuse tagamisel osaleb teatud hulk nn asendusõhku, ventilaatori taga on hõrendus (vt joonis 37). Juhul, kui kasutada ülerõhuventilaatorit siseruumides ja värske asendusõhu teekond läbib uksi, mis võivad sulguda tõmbetuule tõttu, siis peab tagama, et ukсед jääksid avatuks. Kui kasutada ülerõhuventilaatorit siseruumides, peab lähtuma gaasivahetuse reeglist: ruumist läheb välja nii palju suitsu, kui tuleb värsket õhku asemele. Ebapiisav õhuvahetus mõjutab ka ülerõhuventilaatori sisepõlemismootorit, mis ei saa töötada täisvõimsusega (joonis 37).



Joonis 37. Ülerõhuventilaatori kasutamine siseruumides (Autorid 2014)

## Ülerõhuventilaatori paigutamine ava ette suundrõhulisel suitsutuulutusel

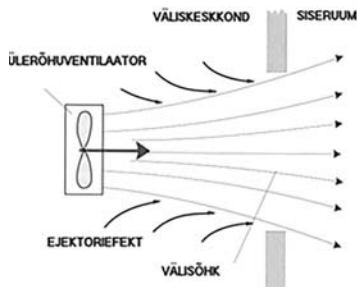
Üheks peamiseks võtteks suundrõhulisel suitsutuulutusel on ülerõhuventilaatori paigutamine ava ette väljapoole hoonet. Kindlasti tuleb arvestada ülerõhuventilaatorist tuleva õhukoonusega, mis peab olema suunatud avast sisse ega tohi jääda seina või mõne muu piirde taha, sest sellega väheneb suitsutuulutuse efektiivsus (vt joonis 38). Tõhusamaks suitsutuulutuseks tuleb võimaluse korral arvestada ka tuule suunaga.



Joonis 38. Ülerõhuventilaatori paigutamine ukseavale suundrõhulisel suitsutuulutusel

Nagu eespool öeldud, tuleb ülerõhuventilaatori paigaldamisel suundrõhulisel suitsutuulutusel ava ette arvestada sellega, et ülerõhuventilaatorist väljuv õhukoonus jääks ava sisse. Ülerõhuventilaator tuleb paigaldada avast nii kaugele, et ülerõhuventilaatori õhukoonus tõmbaks kaasa ka välisõhku, suurendades sellega õhu juurdevoolu tuulutatavasse ruumi (imiefekt).

Tundes suundrõhulise tuulutuse põhimõtteid, on õige kasutamise korral võimalik tõsta ülerõhuventilaatori tootlikkust kuni kaks korda (joonis 39).



Joonis 39. Imiefekt suundrõhulisel suitsutuulutusel

(Hyttinen *et al.* 2014)

Imiefekti saavutamiseks suundrõhulisel suitsutuulutusel peab arvestama vähemalt kahe teguriga:

- tuulutusava suurusega (laiusega),
- ülerõhuventilaatori diameetriga.

Teoses „Palofysiikka” (Hyttinen *et al.* 2014) on soovitatud imiefekti saavutamiseks kasutada järgmist valemit (4):

$$Q_k = \frac{2l}{kd} \times Q_v \quad (4)$$

kus  $Q_k$  – ülerõhuventilaatori (ÜRV) kogutootlikkus (ÜRV tootlikkus + imiefekt) ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $2l$  – ÜRV kaugus avast (m),  $l$  – ava laius (m),  $k$  – turbulentsi koefitsient,  $k \approx 4$ ,  $d$  – ÜRV diameeter (m),  $Q_v$  – ÜRV tootlikkus ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

Eeltoodud materjalist ja valemist 4 võib järeldada:

- mida kitsam on õhu sisselaskeava, seda väiksem peab olema ülerõhuventilaatori diameeter;
- väga laiade õhu sisselaskeavade puhul tuleb kasutada mitut kõrvuti asetsevat ülerõhuventilaatorit.

Toetudes valemile 4, saab järeldada ja paika panna teatud põhireeglid ülerõhuventilaatori paigutamiseks suundrõhulisel suitsutuulutusel imiefekti saavutamiseks ava ette (vt tabel 5).

Tabel 5. Põhireeglid ÜRV paigutamisel avale suundrõhulisel suitsutuulutusel imiefekti saavutamiseks

ÜRV diameeter (m)	Ava laius (m)	ÜRV kaugus avast (m)
0,4	0,9	1,8–2,4
0,5	1,2	2,4–3,0
0,6	1,2–1,5	1,8–3,0

### Väljalaskeavade suurus suundrõhulisel suitsutuulutusel

Suundrõhulisel tuulutusel peab sisselaskeava suurus olema optimaalses suhtes väljalaskeava suurusega. See tähendab, et suitsu väljalaskeavade suuruseks peab olema vähemalt **3/4 värske õhu sissepääsuava suurus**est, et tagada suundrõhulise suitsutuulutuse piisav efektiivsus. Kui värske õhu

siselaskeava pindala suundrõhulisel suitsutuulutusel on näiteks 2 m<sup>2</sup>, siis suitsu väljalaskeava pindala peab olema vähemalt 1,5 m<sup>2</sup>, et oleks tagatud piisav suitsutuulutuse efektiivsus. Mida suurem on väljalaskeavade pindala või rohkem väljalaskeavasid, seda efektiivsem on suitsutuulutus, sest väiksema väljalaskeava puhul pikeneb oluliselt suitsutuulutusele kuluv aeg ja on oht tulekahju levimiseks kõrvalruumidesse (Šarin 2004–2012).

Tabelis 6 on esitatud suitsutuulutuse ajad erinevate suitsu väljalaskeavade puhul suundrõhulisel suitsutuulutusel. Andmed on saadud praktiliste katsetuste tulemusena SKA päästekolledži päästekoolis aastatel 2004–2012.

Tabelist 6 saab järeldada, et mida väiksem on suitsu väljalaskeavade pindala, seda pikem on suitsutuulutuse aeg ja väiksem ülerõhuventilaatori töö efektiivsus. Juhul, kui suitsu väljalaskeava on ebapiisava suurusega, siis kaasneb sellega rõhu tõus siseruumides, mis võib tulekahju levikut soodustada ja tekitada lisakahjustusi.

Tabel 6. ÜRV tootlikkus sõltuvalt väljalaskeavade suurusest

(Šarin 2004–2012)

V(m <sup>3</sup> )	S <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	S <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> )	Suitsu- tuulutusaeg (s)	Tootlikkus suitsu eemaldamisel (m <sup>3</sup> /s)*
73	1,3	2,1	67	1,08
73	1,3	4,2	55	1,32
40	1,8	0,5	60	0,66
40	1,8	1,5	45	0,88

V – ruumi ruumala, S<sub>s</sub> – värske õhu sisselaskeava pindala, S<sub>v</sub> – suitsu väljalaskeava pindala.

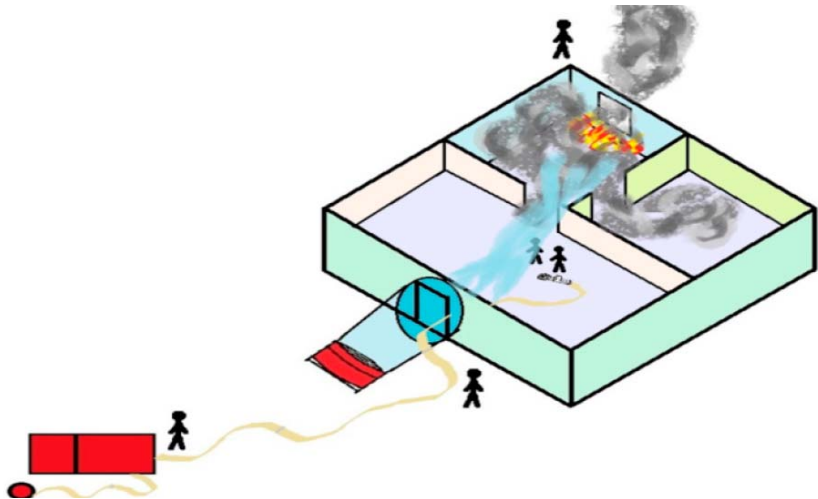
### USA ründav tulekustutustaktika

Suundrõhulist tuulutust saab kasutada koos ründava kustutustehnikaga, kui põlemisgaaside eemaldamine ja tulekustutustööd toimuvad samal ajal. See tehnika vajab võimsaid ülerõhuventilaatoreid, mille tootlikkus on üle 50 000 m<sup>3</sup>/t.

Selline taktika eeldab väga korralikku tuleluuret ja põlemiskolde asukoha kindlat määramist väljastpoolt hoonet. Põlemiskolde tehakse

\* Katsed on tehtud külma suitsuga ja ülerõhuventilaatoriga TEMPEST 2000 Turbo. Ülerõhuventilaator asus katse ajal trepikoja sissekäigu juures ja suitsutuulutust vajavad ruumid hoone teisel korrusel.

kindlaks kas välisvaatluse teel, lugedes tulekahju märke, või näiteks infra-punakaamera abil. Tulekolde asukoha järgi määratakse ära põlemisgaaside väljalaskeava asukoht ning ründav sisenemistee (vt joonis 40).



Joonis 40. USA ründav kustutustaktika  
(Tempest technology 2014)

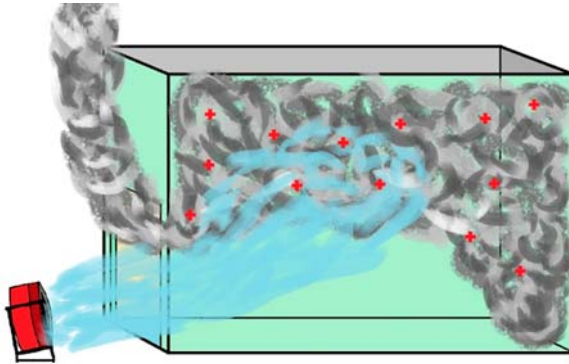
Kui tulekolde asukoht, sisenemistee ja põlemisgaaside väljalaskeava on täpselt kindlaks määratud, ollakse valmis kustutusrännakuks. Saades PTJ korralduse kustutusrännakuks, tehakse väljalaskeavad (nt purustatakse aknad) ja ülerõhuventilaator suunatakse sisenemisteele. Samal ajal sisenetakse hoonesse, kus tänu ülerõhuventilaatori loodud ülerõhule ja põlemisgaaside väljalaskevadele on tagatud hea nähtavus ja madalam temperatuur, survestatud tööliiniga. Kogu taktika on püstitatud asjaolule, et põlemisgaasid ei jõua sissepumbatava õhuhapnikuga süttimiskõlblikuks seguneda. Suure tootlikkusega ülerõhuventilaatorite õhuvoolud viivad põlemisgaasid hoonest välja, enne kui need jõuavad süttimisväljale. Päästjate tegevus põlemiskolde likvideerimisel on kiire ja efektiivne tänu loodud keskkonnale (Soodla 2010).

Selline taktika ei ole Euroopas leidnud kasutust mitmel põhjusel. Väliste luurega võib eksida põlemiskolde asukoha ja põlemisgaaside väljalaskeava määramisel. Väljastpoolt hoonet on raske määrata täpset ruumide paigutust ja uste asendit (kas need on kinni või lahti). Seega tekib risk, kus

põlemisgaaside väljalaskeava on küll õigel kohal, kuid sissepumbatav õhk ei jõua suletud uste tõttu väljalaskeavadeni ja toimub rikaste põlemisgaaside segunemine õhuga (ideaalsegu), mille tulemuseks on pistleek, tagasitõmme või põlemisgaaside plahvatus. Sisetulekahju arengust tulenevalt on ruumis põlevgaasid temperatuuriga 600–800 °C, mis tähendab, et plahvatuse tekkeks ei ole vaja välist süüteallikat, selleks on kõrge temperatuur. Põlemisgaasid on võimelised plahvatuslikult süttima, kui temperatuur on üle 300 °C ja ruumis on piisavalt õhuhapnikku (Soodla 2010). Samuti on palk- või saepuruvoodriga hooned suhteliselt hõredad ning sellise ründava taktika rakendamisel võidakse kuumad ja rikkad põlemisgaasid suruda ülerõhuventilaatoritega seinte vahele ja teistesse tühimikesse ning sellega suurendada tulekahju levikut (Soodla 2010).

### 5.1.3. Vasturõhuline suitsutuulutus

**Vasturõhuline suitsutuulutus on suitsu eemaldamine ülerõhu abil samast avausest, kust sissetulev õhk pumbatakse ülerõhuventilaatori abil ruumi (joonis 41).**

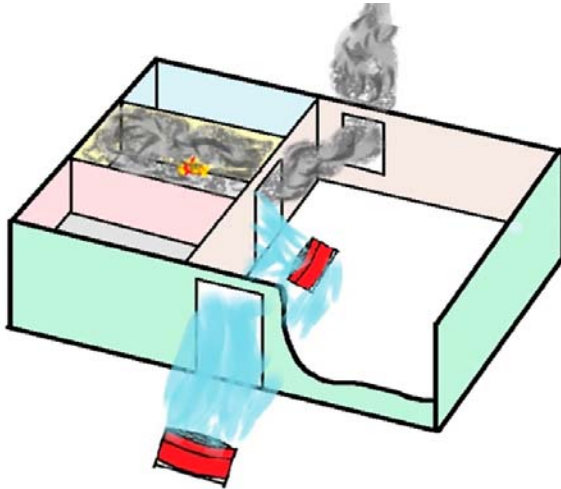


Joonis 41. Vasturõhuline suitsutuulutus (Hyttinen *et al.* 2014)

Vasturõhuline suitsutuulutus sobib hästi ruumidesse, kus ei ole teisi väljalaskeavasid, kui ainult sisenemisteed päästjatele (nt keldriruumid).

Kasutades ülerõhuventilaatorit siseruumides vasturõhulise suitsutuulutuse tegemisel, tuleb silmas pidada väljamineva suitsu segunemist välisõhuga (suits takistab sissepõlemismootoriga ülerõhuventilaatori töötamist).

Segunemist saab takistada teise ventilaatori kasutamisega (joonis 42) või kui lisaks vasturõhulisele suitsutuulutusele teha võimaluse korral alarõhulist suitsutuulutust joatoruga suitsu eemaldamiseks.

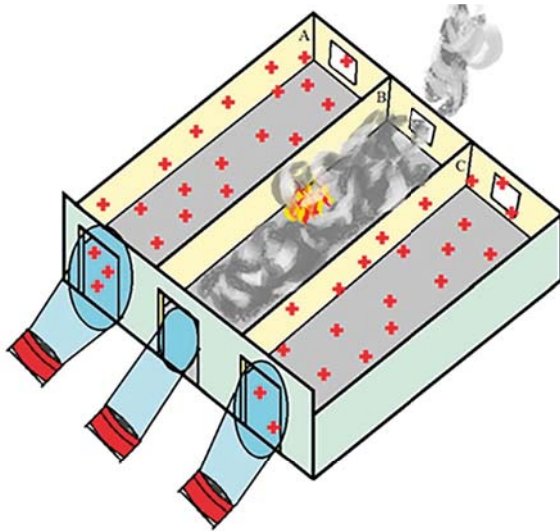


Joonis 42. Vasturõhuline suitsutuulutus siseruumides (Hyttinen *et al.* 2014)

Vasturõhulise suitsutuulutuse ohuks on tulekahju levimine, kui ruum ei ole piisavalt hermeetiline: ruumi loodud ülerõhk pressib põlemisgaasid ja varjatud süüteallikad ehituskonstruktsioonidesse (palk- ja saepurutäidisega hooned jt).

#### 5.1.4. Ülerõhustamine

Ülerõhustamisel tekitatakse ruumis teatud positiivne rõhk, mis ületab atmosfääri ja tulekahju põlemisgaaside rõhu, takistades sellega tulekahju levikut (Hyttinen 2000). Kui suundrõhulisel ja vasturõhulisel tuulutusel on tähtsaimaks tingimuseks asendusõhu kindlustamine ja väljalaskeava olemasolu, siis ülerõhustamisel kaetakse ülerõhuventilaatori õhukoonusega kogu ava, tagades sellega, et loodud ülerõhk ei pääseks ruumist välja (joonis 43).



Joonis 43. Ruumi ülerõhustamine (Hyttinen *et al.* 2014)

Selle suitsutuulutuse liigi kasutamine on otstarbekas juhul, kui tulekahju võib levida ruumidesse, kus kustutusvahendite (vesi) kasutamine on komplitseeritud ja neid ruume on vaja kaitsta tulekahju ja veekahjustuste eest (arhiivid, serveriruumid jne). Ohustatud ruumidesse tekitakse ülerõhuventilaatori abil ülerõhk, mis ületab oluliselt põleva kõrvalruumi rõhu ja takistab sellega tulekahju levikut kaitsvatesse ruumidesse. Kaitstavasse ruumi piisava ülerõhu tagamiseks peab jälgima, et ülerõhuventilaatori õhukoonus kataks terve ava.

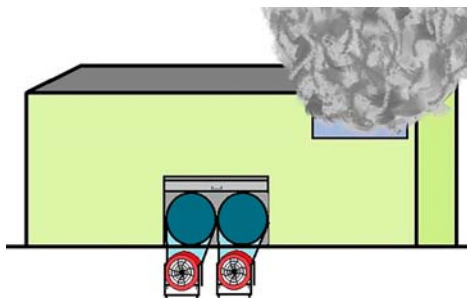


## 5.2. Mitme ülerõhuventilaatori kasutamine

Mitme ülerõhuventilaatori kasutamine suurendab värsket õhu juurdevoolu ja kiirendab ülerõhulise suitsutuulutuse kulgu. Tegelik suitsutuulutuse efektiivsus sõltub ülerõhuventilaatorite võimsusest, läbimõõdust, sisse- ja väljalaskeavade suurusest.

### Ülerõhuventilaatorite paigutamine kõrvuti

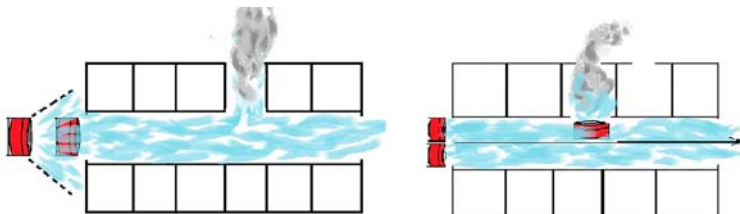
Seda paigutust kasutatakse laiate uste puhul, kus ülerõhuventilaatorid asetatakse kõrvuti nii, et nende õhukoonused osaliselt kattuksid (joonis 44).



Joonis 44. Mitme ülerõhuventilaatori paigutamine kõrvuti  
(Smoke ventilation ... 2014)

### Ülerõhuventilaatorite paigutamine järjestikku

See on alternatiivne meetod eelnevale kombinatsioonile. Sel juhul kaetakse avaus ülerõhuventilaatori poolt tekitatud õhujoaga ning selle õhukoonusesse asetatakse teine ülerõhuventilaator. Sellega tagatakse suurem õhuhulk, mis lühendab oluliselt suitsutuulutuseks kuluvat aega (joonis 45).



Joonis 45. Ülerõhuventilaatorite paigutamine järjestikku  
(Smoke ventilation ... 2014)

### 5.3. Efektiivse ülerõhulise suitsutuulutuse tingimused

- Tuleb kasutada töökorras töövahendit.
- Efektiivseks suitsutuulutuseks tuleb kasutada piisavalt suure tootlikkusega või mitut ülerõhuventilaatorit.
- Töövahendist maksimaalse kasu saamiseks tuleb tagada kvaliteetne väljaõpe.
- Tuleb kasutada suitsu üles tõusmist eelisena (aeratsioon).
- Tuleb kasutada tuule suunda nii palju kui võimalik.
- Õhu liikumise ja suitsu väljumise teekond tuleb hoida vaba.
- Tuleb eemaldada väljalaskeavadelt takistused ning jälgida, et avad ei sulguks.
- Kui on vaja tuulutada rohkem kui üks korrus, siis tuleb alustada alt ja liikuda üles.
- Suitsuses keskkonnas ei saa kasutada sisepõlemismootoriga ülerõhuventilaatorit.
- Tuleb kontrollida ülerõhulise tuulutuse kulgu kogu aeg (vajaduse korral kindlustada kõrvalruume).

## KÜSIMUSED KORDAMISEKS

1. Kuidas jaguneb mehaaniline suitsueemaldus?
  2. Kuidas jaguneb ülerõhuline suitsutuulutus?
  3. Milliste töövahenditega on võimalik teha mehaanilist suitsueemaldust?
  4. Mida tähendab ülerõhuline suitsutuulutus?
  5. Milleks kasutatakse ülerõhuventilaatorit suitsutuulutusel?
  6. Mida tähendab suundrõhuline suitsutuulutus?
  7. Milles seisneb imiefekti tekitamine suundrõhulisel suitsutuulutusel?
  8. Millest sõltub suundrõhulisel suitsutuulutusel ülerõhuventilaatori kaugus avast?
  9. Kui suur peab olema väljalaskeava suundrõhulisel suitsutuulutusel?
  10. Mida tähendab termin „vasturõhuline suitsutuulutus“?
  11. Mida tähendab ruumide ülerõhustamine ja millal seda kasutatakse?
12. On vaja teha suundrõhulist suitsutuulutust.
- a) Sündmuskohal saab kasutada sisselaskeavana ust laiusega 1,5 m, pindalaga 3,0 m<sup>2</sup> ja ülerõhuventilaatorit läbimõõduga 0,4 m, 0,5 m, 0,6 m:
- Milline oleks parim ülerõhuventilaator?
  - Kui kaugel peab paiknema ÜRV?
  - Kui suur peab olema väljalaskeava?
- b) Sündmuskohal saad kasutada sisselaskeavana ust laiusega 0,9 m ja kõrgusega 2,1 m ja ülerõhuventilaatorit läbimõõduga 0,4 m, 0,5 m, 0,6 m:
- Milline oleks parim ülerõhuventilaator?
  - Kui kaugel peab paiknema ÜRV?
  - Kui suur peab olema väljalaskeava?

## 5.4. Alarõhuline suitsueemaldus

**Alarõhulise suitsueemalduse all mõistetakse hõrenduse tekitamist ruumi, kust eemaldatakse suitsu ja kuhu juhatakse asemele värsket õhku (asendusõhk).** Alarõhulist suitsutuulutust tehakse kas suitsupumpade või joatoru veevoolust tekitatud hõrenduse abil, imedes ruumist suitsu ja põlemisgaasid välja. Alarõhuline tuulutus sobib eriti hästi põlemisjärgseks suitsutuulutuseks põlengu vähese levimisohu tõttu. Alarõhuline suitsutuulutus on ideaalne üksikute ruumide ventileerimisel ja väikestel tulekahjudel.

Alarõhulise suitsutuulutuse puhul kasutatavad vahendid:

- elektrilised suitsupumbad;
- kombineeritud joatorud;
- ülerõhuventilaatorid

### 5.4.1. Elektrilised suitsupumbad

Alarõhulise tuulutuse puhul kasutatakse üldjuhul elektrilisi suitsupumpasid, mille toide tuleb päästeauto generaatorilt. Elektriliste suitsupumpade eelisteks on see, et need ei eralda vingugaasi, töötavad hapnikuvaeses keskkonnas ja on suhteliselt kerged (joonis 46).

Elektrilised suitsupumbad leiavad enim kasutust keldritest, tunnelitest ja muudest maa-alustest ehitistest suitsu eemaldamisel, kus on võimatu rakendada teist moodust suitsuvaba tsooni loomiseks. Enim kasutatavate suitsupumpade elektriline võimsus on kuni 1000 W volupingega 230 V. See võimaldab neid ühendada nii statsionaarse elektrivõrguga kui ka päästeauto generaatoriga. Vastavalt olukorrale, avade olemasolule jne saab suitsupumpa kasutada nii suitsuses keskkonnas kui ka väljaspool suitsust ruumi imisuka abil. (Suurkivi & Marvet 2000)



Joonis 46. Suitsupumba komplekt (autori foto)

Suitsupumba komplekti kuuluvad (vt joonist 46):

1. elektriline suitsupump,
2. suitsu imisukk,
3. suitsu väljalaske kilesukk,
4. tungraud suitsupumba paigaldamiseks uksele,
5. pikendusjuhe.

**Suitsutuulutamisel suitsupumbaga on kõige tähtsam see, et põlemisgaasid peavad olema jahutatud ehk ruumis peab olema suits.** Kõrge temperatuuri puhul võib sulada suitsu väljalaskesukk või põleda läbi elektrimootor.

#### **Suitsupumba eelised suitsutuulutusel:**

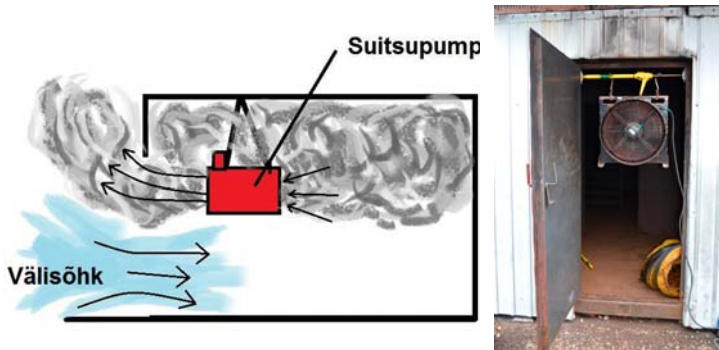
- suur suitsutuulutuse taktika varieerimise võimalus (ülarõhuline ja alarõhuline suitsutuulutus);
- suitsutuulutusega seotud situatsioonide ohutum lahendamine;
- võimaldab teha suitsutuulutust hapnikuvaeses keskkonnas;
- võimaldab eemaldada õhust raskemad gaasid.

#### **Suitsupumba puudused:**

- sõltub vooluvõrgust;
- ei kannata kuumust;
- väike tootlikkus suitsueemaldamisel (Šarin 2004).

#### **Suitsupumpade kasutamise võimalused suitsutuulutusel**

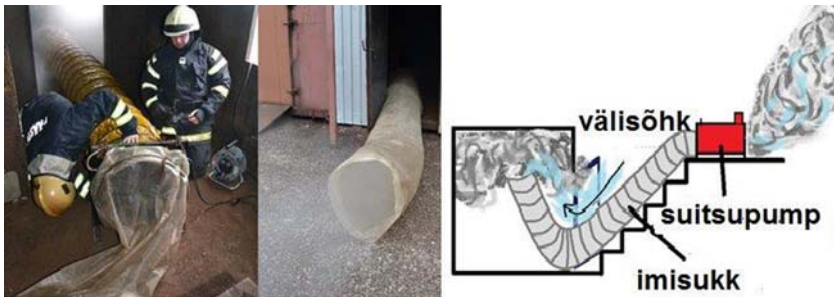
Alljärgnevalt on esitatud põhilised võimalused suitsu eemaldamiseks suitsupumbaga. **Suitsupump paigaldatakse tungraua abil avasse, mille kaudu eemaldatakse suits ja juhatakse asendusõhk asemele** (joonis 47). Selle variandi puhul on suitsutuulutuse efektiivsus väga väike, kuna gaasivahetus toimub lühemat teed pidi (värske õhk liigub ukseavast otse suitsupumpa). Suurema ruumi puhul on suitsu eemaldamine kaugemast osast peaaegu võimatu või võtab palju aega.



Joonis 47. Suitsupumba paigaldamine avasse

(Hyttinen *et al.* 2014)

Veidi parema tulemuse annab variant, kus suitsu eemaldamiseks kasutatakse komplekti kuuluvat imisukka pikkusega 5–10 meetrit ja suitsu väljalaske kilesukka (joonis 48).

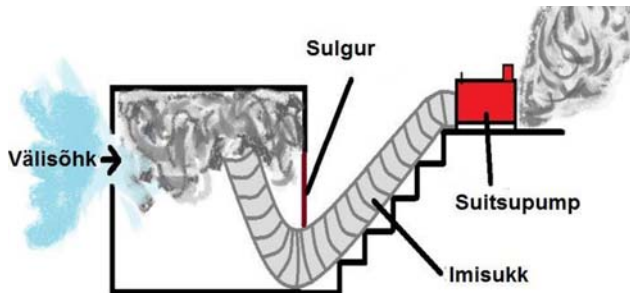


Joonis 48. Imisuka ja suitsu väljalaskesuka kasutamine.

Asendusõhk tuleb samast avast (Hyttinen 2014)

Imisuka kasutamine suurendab suitsutuulutuse efektiivsust, kuna selisel juhul on gaasivahetuse teekond pikem ja ruumid saavad suitsuvabaks lühema aja jooksul (tabel 5, p 2). Imisuka abil on võimalik suitsu eemaldada ruumidest, kus vahemaa asendusõhu ja imisuka ava vahel on kuni 25 meetrit (sõltub suitsu väljalaskesuka pikkusest) (Šarin 2004–2012). Näiteks keldri tulekahju puhul tuleb jälgida, et suitsu temperatuur oleks piisavalt madal ja suitsu väljalasesuka teekonnal ei oleks kuumi esemeid, kuna suka kilematerjal ei kannata kuumust.

Nagu eespool öeldud, tagab parimad tulemused suitsueemaldamisel gaasivahetus, kus värske õhu sissevooluava (asendusõhk) asub kõige kaugemas punktis (vt tabel 5, p 2), st **suitsupump paigaldatakse suitsu väljalaskeavasse ja asendusõhk juhitakse väljast teise ava kaudu sisse.**



Joonis 49. Suitsupumba kasutamine, asendusõhk teisest avast  
(Danilov *et al.* 1976)

Selle variandi puhul tuleb väljatõmbeava ülejäänud osa sulgeda sulguriga (present, tekk) ja seega vähendada värske õhu (asendusõhu) juurdevooluavade pindala. Kui sisselaskeava pindala on suurem väljalaskeava (imisuka) pindalast, võib gaasivahetus toimuda vastupidiselt. Suitsutuulutuse efektiivsuse tõstmiseks (gaasivahetuse kiirendamiseks) võib paigutada sisselaskeavasse ülerõhuventilaatori. See kombineeritud moodus on üks kiiremaid viise suitsutuulutuseks suitsupumbaga (tabel 7, p 3).

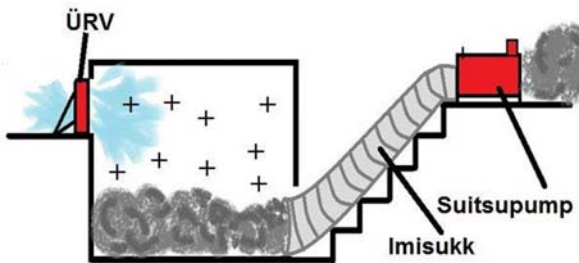
Tabel 7. Suitsupumba suitsutuulutuse efektiivsus  
(Šarin 2004–2012)

$V$ (m <sup>3</sup> )	$S_s$ (m <sup>2</sup> )	$S_v$ (m <sup>2</sup> )	Tuulutusaeg (s)	Tootlikkus (m <sup>3</sup> /s)	Märkused
39,3	1,2	0,2	152	0,25	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sisse- ja väljalaskeava ukseavast</li> <li>• asendusõhk teisest avast</li> <li>• ÜRV sisselaskeavast</li> </ul>
	0,1	0,2	100	0,39	
	0,5	0,2	38	1,03	

Tabelis 7 on  $V$  – ruumi ruumala (m<sup>3</sup>),  $S_s$  – värske õhu sisselaskeava pindala (m<sup>2</sup>),  $S_v$  – suitsu väljalaskeava pindala (m<sup>2</sup>). Suitsupump ELCO, mudel R13R-5030-4M-7055 (570 W, 1350 p/min, imisuka pikkus 5 m).

## Mürgiste gaaside eemaldamine

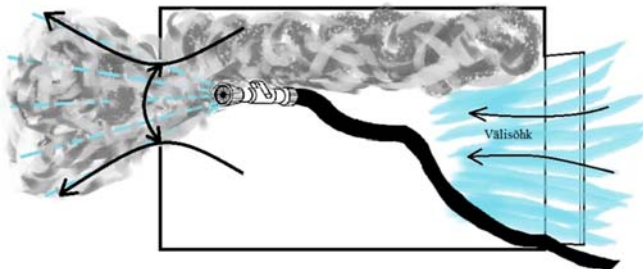
Suitsupumba abil saab eemaldada ehitistest õhust raskemaid gaase (mürgised gaasid šahtides, kaevudes). Eemaldades ehitistest õhust raskemaid mürgiseid gaase, tuleb nendes teha samal ajal õhuvahetust teiste pumpadega või ülerõhuventilaatoriga. Ideaalis peaks olema ka teine, võimsam pump või ventilaator, mis varustab ruumi puhta õhuga. See ventilaator loob ülerõhu selleks, et ruumi ei tungiks või imenduks reostavad ained (joonis 50). Kui suitsu eemaldamisel peab imisukk olema ruumis võimalikult kõrgel (suits on õhust kergem), siis raskete gaaside eemaldamisel peab imisukk olema võimalikult madalal, et tagada eemaldamise efektiivsust.



Joonis 50. Õhust raskemate gaaside eemaldamine (Šarin 2004)

### 5.4.2. Alarõhuline suitsutuulutus joatoruga

Joatoruga suitsutuulutus on kõige levinum ja praktilisem moodus suitsu eemaldamiseks. See põhineb imiefektil, kus joatoru veevool viib suitsu ruumist välja (joonis 51). Joatoruga suitsutuulutuse eelis on kiire kasutuselevõtt pärast tulekolde likvideerimist, mis omakorda võimaldab suitsu-sukeldumislülil teha otsekohe suitsutuulutust.



Joonis 51. Joatoruga suitsutuulutus (Hyttinen 2000)



Joatoruga suitsutuulutus tulekahjul toimub järgmiselt:

- tuleb jahutada põlemisgaasid;
- võimaluse korral kustutada (lokaliseerida) tulekolle;
- küsida luba päästetööde juhilt suitsutuulutamise alustamiseks;
- avada aken või muu ava, mille kaudu hakatakse tegema suitsutuulutust, asetada joatoru ava keskele, avast väljapoole;
- avada joatoru ja reguleerida lehviku koonus 70–90°;
- tuua joatoru sissepoole, reguleerides joatoru lehviku nurka, kuni on saavutatud kõige parem suitsutuulutuse efekt (joatoru lehviku nurk sõltub ava kujust ja suuruselt);
- kindlustada asendusõhk (välisõhu juurdepääs) – praakil olev uks (sissepääs) on piisav kombineeritud joatoruga suitsutuulutuse läbi viimiseks (tabel 8 p 3 ja 4).



Joonis 52. Joatoruga suitsutuulutuse etapid

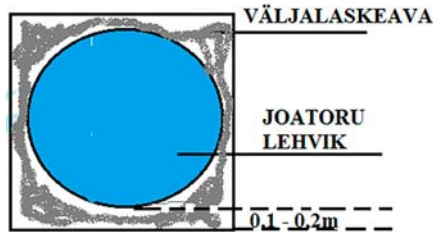
(autori foto)

Joatoruga suitsutuulutuse efektiivsus sõltub järgnevatest teguritest:

- joatoru asukohast avas;
- joatoru joa rõhust, läbivast veehulgast ja lehviku nurgast;
- takistustest (klaasikillud, trellid) väljalaskevades.

Joatoru kaugus avast suitsutuulutusel sõltub ava suuruselt ja kujust. Optimaalne kaugus, kus imieffekt on kõige suurem, leitakse katsetuste teel. Tuleb jälgida, et joatoru lehviku ja ava piirete vahel oleks vaba ruumi suitsu väljapääsuks (tabel 8, p 2 ja 4). Väike-Maarja päästekoolis

läbiviidud katsetused näitasid, et kõige parem suitsutuulutuse intensiivsus saavutatakse siis, kui joatoru kaugus avast on vahemikus 0,4–0,6 meetrit (vt joonis 51) ning joatoru lehviku ja ava piirete vahe on 0,1–0,2 meetrit suitsu väljalaske tagamiseks (vt joonis 53). Katsetuste tulemused ühtivad Läti päästeteenistuse õppematerjalides kirjeldatud joatoruga suitsutuulutuse tulemustega (Rugājs 2012).



Joonis 53. Joatoru lehviku asetus avas suitsutuulutusel  
(Rugājs 2012)

Kui vähendada joatoru veehulka, siis väheneb suitsutuulutuse efektiivsus ja suureneb suitsutuulutuse aeg. Näiteks, kui suitsutuulutamisel joatoruga ROSENBAUER nimivooluhulgaga 8 l/s vähendati vooluhulka kuni 2 l/s, pikenes suitsutuulutuse aeg poole võrra, kuid samas vähenes veekulu neli korda. (tabel 8, p 5 ja 6). Kombineeritud joatorud reguleeritava veehulgaga lubavad paindlikumalt teha suitsutuulutust sündmuskohal, kus on sageli veevarustusega probleeme.

Suitsu väljalaskeavades ja nende kõrval ei tohi olla takistusi. Katkised klaasid aknaraamis või trellid võivad vähendada suitsutuulutuse efektiivsust kuni 30% ja suurendada veekulu, mis ei ole otseselt seotud tulekahju kustutamisega.

Tabel 8. Joatoruga suitsutuulutuse efektiivsus

(Šarin 2004–2012)

	$V$ ( $m^3$ )	$S_s$ ( $m^2$ )	$S_v$ ( $m^2$ )	Tuulutusaeg (s)	Tootlikkus ( $m^3/s$ )	Märkused
1*	62,7	0,13	2,2	150	0,42	joatoru avaga paralleelne
2*	62,7	1,6	2,2	116	0,54	joatoru avaga paralleelne
3*	62,7	0,13	2,2	70	0,89	joatoru 0,4 m sees
4*	62,7	1,6	2,2	57	1,1	joatoru 0,4 m sees
5**	50	1,6	2,2	60	0,83	joatoru 0,4 m sees. $Q = 8$ l/s
6**	50	1,6	2,2	100	0,5	joatoru 0,4 m sees. $Q = 2$ l/s

$V$  – ruumi ruumala,  $S_s$  – asenduseõhu ava pindala,  $S_v$  – suitsu väljalaskeava pindala.

Tabelist 8 järeldub, et suitsutuulutusel kombineeritud joatoruga on võimalik suitsusest ruumist eemaldada kuni  $1\ m^3$  suitsu. Tulemused on abiks päästetöödejuhile veekulu planeerimisel sündmuskohal tulekahju lokaliseerimise faasis. Näiteks, kui on vaja teha suitsutuulutust joatoruga tootlikkusega  $8\ l/s$  ruumis  $V = 100\ m^3$ , siis on suitsutuulutusega seotud veekulu 800 liitrit.

Joatoruga tuulutamise eelised:

- kustutus ja suitsutuulutus toimuvad peaaegu samal ajal;
- ei vaja eriseadmeid;
- hea kasutegur suitsu eemaldamisel.

Joatoruga tuulutamise puudused:

- veekadu, mis ei ole otseselt seotud tulekahju kustutamisega;
- suurte ruumide puhul on efektiivsus väike;
- nõuab pumba pidevat tööd.

Märkus. Katsed on tehtud külma suitsuga.

\* Joatoru FOGFIGHTER 5 l/s, 600 kPa (põhiliini hargnemine – tüviliin  $\varnothing 76$  mm, tööliin  $\varnothing 38$  mm,  $P_p = 1000$  kPa)

\*\* Joatoru Rosenbauer 8 l/s, 500 kPa (põhiliini hargnemine – tüviliin  $\varnothing 76$  mm, tööliin  $\varnothing 38$  mm,  $P_p = 1000$  kPa)

## NÄIDISÜLESANNE

Põleb korter  $V = 300 \text{ m}^3$ . Kustutusvee tagavara sündmuskohal on 7000 l. Tulekahju lokaliseerimise aeg joatoruga Fogfighter oli 7 min (joatoru kasutamise intensiivsus 100%). Kas vee tagavarast piisab ruumi suitsutuulutuseks joatoruga Fogfighter (5 l/s)?

Leia suitsutuulutuseks vajalik veehulk?

Leiame tulekahju lokaliseerimiseks vajaliku veekoguse

$$Q_{lok} = Q_j \times t$$

$$Q_{lok} = 5 \times 420 = 2100l$$

kus  $Q_{lok}$  – veekulu tulekahju lokaliseerimiseks,

$Q_j$  – joatoru tootlikkus,

$t$  – tulekahju lokaliseerimise aeg (s).

**Vastus:** Tulekahju lokaliseerimiseks kulub 2100 l vett. Suitsutuulutuseks joatoruga jääb 4900 l vett.

Tabelist 8 leiame, et suitsutuulutusel kombineeritud joatoruga tootlikkusega 5 l/s on võimalik suitsusest ruumist eemaldada kuni  $1 \text{ m}^3$  suitsu.

Leiame suitsutuulutuseks vajaliku veehulga

$$Q_s = Q_j \times V$$

$$Q_s = 5 \times 300 = 1500l$$

kus  $Q_s$  – veekulu suitsutuulutuseks,

$Q_j$  – joatoru tootlikkus,

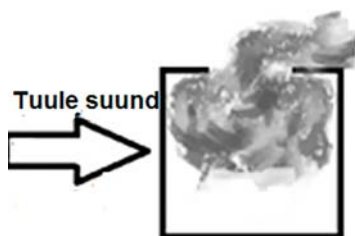
$V$  – ruumi ruumala.

**Vastus:** Vee tagavarast (4900 l) piisab ruumi suitsutuulutuseks. Suitsutuulutuseks kulub 1500 l vett.

### 5.4.3. Alarõhuline suitsutuulutus ülerõhuventilaatoriga

Päästjad puutuvad tihti kokku olukorraga, kus ülerõhuline suitsutuulutus on keeruline (nt hoonete keldrid) ja alarõhuline suitsutuulutus võimatu, kuna tänapäeva Eesti päästeteenistuses puuduvad põhiautode varustuses suitsupumbad. Joatoruga suitsutuulutuse tegemine teatud olukordades on keeruline ja sõltub hoonete ehituslikust eripärast.

Üks võimalus on kasutada alarõhuliseks suitsueemaldamiseks ülerõhuventilaatorit loomuliku suitsutuulutuse efektiivsuse tõstmiseks. Tuule toime hoone seinapindadele tekitab hoones ülerõhulisi ja alarõhulisi alasid vastavalt tuule suunale. Loomuliku suitsutuulutuse efektiivsus sõltub tuule kiirusest ja suitsu väljalaskeava asukohast (vt joonis 21) ja on kõige efektiivsem juhul, kui väljalaskeava asub tuule suunaga paralleelsel hooneküljel, mille tulemusena tekib imiefekt (joonis 54).



Joonis 54. Väljalaskeava asukoht tuule suunaga paralleelsel hooneküljel

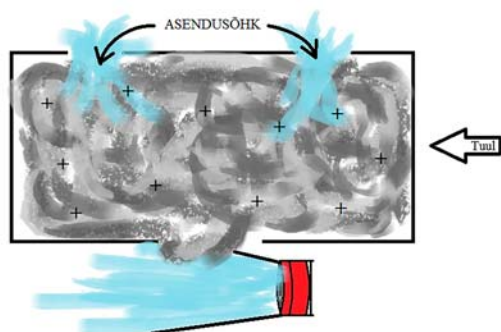
(Hyttinen *et al.* 2014)

Tuule kiiruse (suitsutuulutuse efektiivsuse) suurendamiseks on päästjatel võimalik kasutada ülerõhuventilaatorit. Ülerõhuventilaatori paigutamisel tuleb lähtuda:

- tuule suunast (vastu tuult ei ole võimalik suitsutuulutust teha);
- ülerõhuventilaatori asukohast ava juures.

Katsetused Väike-Maarja päästekoolis (Šarin 2004–2012) näitasid, et kõige efektiivsem suitsutuulutus on siis, kui ülerõhuventilaator paikneb vahetult ukse juures ja ventilaatori õhukoonus on paralleelne hoone seinaga. Kuna tegemist on alarõhulise suitsutuulutusega, siis tuleb tagada asendusõhu juurdepääs kõige kaugemast punktist (vt joonis 55).

Asendusõhu ava(de) pindala ei tohi kindlasti olla suurem suitsu väljalaskevast, muidu liigub suits kontrollimatult asendusõhu avade kaudu välja.



Joonis 55. Alarõhuline suitsutuulutus ülerõhuventilaatoriga  
(Šarin 2004–1012)

### KÜSIMUSED KORDAMISEKS

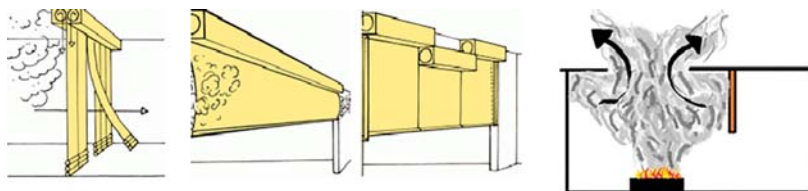
1. Mida tähendab alarõhuline suitsueemaldus?
2. Milliste töövahenditega saab teha alarõhulist suitsueemaldust?
3. Millised vahendid kuuluvad suitsupumba komplekti?
4. Kuidas saab kasutada suitsupumpa suitsutuulutuse tegemisel?
5. Kuidas toimub õhust raskemate gaaside eemaldamine suitsupumbaga?
6. Mis tingimus peab olema kindlasti täidetud alarõhulisel suitsutuulutusel?
7. Nimeta suitsupumba eelised ja puudused.
8. Millest sõltub joatoruga suitsutuulutuse efektiivsus?
9. Nimeta joatoruga suitsueemaldamise eelised ja puudused.
10. Põleb korter ruumalaga 600 m<sup>3</sup>, ruumi kõrgus on 3 m. Kustutusvee tagavara sündmuskohal on 5200 l. Tulekahju lokaliseerimise aeg joatoruga Fogfighter on 6 min. Arvuta, kas vee tagavarast piisab suitsutuulutuseks joatoruga Fogfighter, ja leia suitsutuulutuseks vajalik veehulk.

## 6. SUITSUEEMALDUSE JUHTIMINE SUURES RUUMIS

Selleks et takistada suitsu eluohtliku kontsentratsiooni tekkimist suure hoone osas, on kaks võimalust:

- suits kinni pidada,
- suits välja ajada.

Suitsu saab hoida kinni tõkete: seinte, akende ja uste, aga ka suitsukardinate ja suitsutõkete abil.



Joonis 56. Suitsu leviku takistamine suitsukardina abil

(Eurovent Est 2014)

Suitsutõkkekardin on seadmestik suitsu levimise tõkestamiseks, see sisaldab samasuguseid konstruktsioonelemente nagu loomulikud ja sunnitud suitsu- ja soojuseemaldussüsteemid. Suitsutõkkekardinad piiravad suitsu ja põlemisgaaside liikumist hoones tulekahju korral.

Suitsu väljatõmmet võib kavandada nii, et hoida suitsu tase ülalpool pea kõrgust või vähendada pääste- ja evakatsiooniteel suitsu kontsentratsiooni vastuvõetava tasemeni. Suitsu võib eemaldada nii loomuliku ventilatsiooniga kui ka mehaaniliste vahenditega (vt joonis 57), kuid **igal juhul peab oleme kindlustatud õhu juurdepääs, et väljatõmbesüsteem saaks töötada nii, nagu see on kavandatud.**





Joonis 57. Suitsu eemaldamise ventilaatorid  
(Eurovent Est 2014)

Tootmishooned ja suured kauplused ehitatakse tavaliselt ühekorruseliseks ja sektsioonideta. Sellises hoones võib olla sprinklerite süsteem (vt joonis 58) tulekahju kustutamiseks, nii on tagatud, et tuli ei jõua kaugele, kuid suits võib levida üle kogu hoone.



Joonis 58. Sprinkler  
(Eurovent Est 2014)

Päästemeeskonna esimene ülesanne sündmuskohale saabudes peab olema suitsu ärajuhtimine, selleks tehakse näiteks katusesse ava. See suurendab nähtavust põranda tasandil. Juhul, kui sobiva suurusega automaatsed ventilatsioonivahendid sulavelemendi või suitsuanduri signaali peale avatakse, ei täitu hoone suitsuga ja päästemeeskonna läbipääs tulekoldeni lihtsustub. Lisaks sellele ei kogune suits lae alla, mis suurendaks põlengukoha läheduses pistleegi tekkimise võimalust.

Suitsu eemaldamiseks ja neutraalrõhutasandi tõstmiseks võib kasutada järgmisi võimalusi:

- kasutada ruumi ülemises kolmandikus paiknevaid kergesti avanevaid aknaid ja luuke ning kõrgeid ukseavasid;
- kasutada peamiselt suitsueemalduseks ettenähtud avasid (vähemalt 2/3 avade kogupindalast) ja lisaks tasemel 1 nimetatud avasid;
- kasutada automaatselt avanevaid suitsuluuke (joonis 59).

Avade avamisel tuleb arvestada järgmiste teguritega:

- põlengu suurus,
- hoone kõrgus,
- katuse tüüp,
- rõhu jaotus katusel.



Joonis 59. Suitsuluugid  
(Eurovent Est 2014)

Tulekahjusignalsatsiooni süsteemi rakendamisel avaneb suitsuluuk automaatselt või juhitud vastava avamiseadme poolt:

- iga üksiku suitsuluugi juures paikneva sulavkaitsme või muu vastava seadme poolt juhitud;
- käsitsi juhitud (vt joonis 60);



Joonis 60. Ventilatsioonisüsteemi käsitsi rakendamise nupp  
(Eurovent Est 2014)

Suitsuluugid paigutatakse üldjuhul katuse kõrgeimasse ossa ja nende pindala on 1–6 m<sup>2</sup>. Erijuhtudel (kaarhallid, teatrid) võivad suitsuluugid olla suuremad (EVS 812-4:2011). Kui tahetakse suures jaotusteta ruumis suitsu levimist tõkestada, võib automaatventilatsiooni ja suitsukardinate koos rakendamine olla parim lahendus.

Meetodi miinused:

- Selleks et kuumad gaasid ventilatsiooniavadest vabalt välja pääseksid, peab põranda tasapinnal olema värske õhu sisselaskeava. See aga suurendab põlengu kasvu ja kiirendab tule levimist.
- Kui seda meetodit ühitada sprinkleritega, võib ventilatsiooniavade varane avamine juhtida kuumade gaaside voo sprinklerilt ära, mis omakorda takistab nende aktiveerimist.

## 7. KATUSETÜÜBID, KATUSEMATERJALID JA SUITSUTUULUTUSAVADE TEGEMINE

Iga tulekahju kustutamine on seotud teatud riskidega, aga tulekustutus-tööd katusekonstruktsioonides ja pööningutel on seotud kõrgendatud riskidega. Selles alapeatükis tutvustatakse sellist liiki sündmuste eripärasid. Järgnevalt on vaatluse all ohufaktorid, mis on seotud just kõrgustes töötamisega. Ohufaktorite valik on erialases kirjanduses küllaltki suur, raamatu autorid toovad neist välja valikulise loetelu:

- katuse kõrgus;
- tulekollele peal töötamine;
- evakuatsiooniteede tagamine;
- tulekahju ootamatu areng;
- katusekonstruktsioonide sissekukkumine (Теребнев, 2004)

Pööningu tulekahjul tekkiv suur põlemiskoormus tingib temperatuuri kiire tõusu ja rohke põlemisgaaside tekke. Seetõttu on pööningu tulekahju kustutamise algstaadiumis tähtsaim ülesanne põlemisgaaside jahutamine ja suitsutuulutus (katuseava tegemine), kuna kuumad põlemisgaasid takistavad kustutusrünnaku läbiviimist. Kuumad põlemisgaasid loovad eeldused pööningu plahvatuslikule süttimisele lisaõhu juurdevoolu korral. See tähendab, et suur kuumus ja põlemisgaaside süttimine ohustavad päästjaid juba ukse avamisel. Ukse avamisega kaasneb oht, et ülerõhulised kuumad põlemisgaasid pääsevad trepikotta ja süttivad kokkupuutel õhuga põlema. Eelöeldust võib järeldada, et põlemisgaaside jahutamisega sündmuskohal on kiire ning suitsutuulutusega (katuse avamisega) tuleb kindlasti alustada enne, kui tulekahju areneb ja tekib rohkem põlemisgaase.

Põlemisgaaside jahutamine tuulutusaugust on väga raske ja ohtlik tegevus, seetõttu tuleks seda vältida. Põlemisgaaside tuulutusava võib teha siis, kui pööningul olevate põlemisgaaside kontrolli all hoidmiseks ja tule leviku tõkestamiseks puuduvad muud võimalused.

Parim suitsutuulutuse ja põlemisgaaside eemaldamise efekt saadakse juhul, kui suitsu tuulutusava tehakse kõrgeimale ja kuumimale kohale ning allatuult. Päril katuseharjale on tuulutusava raske teha, seetõttu tehakse ava töö hõlbustamiseks katuseharjast allapoole. Samuti on kõige kuumemale paigale ava tegemine raske turvalisuse reegleid arvestades.

Seetõttu võib tuulutusava teha kuumimast kohast allapoole ja allatuult, et tuul hakkaks imiefekti põhimõttel põlemisgaase ruumist välja tõmbama (vt joonis 22). Tuulepealsele (ülerõhulisele) alale tehtud ava kiirendab tule levikut sellega, et surub tulekahjule lisaõhku juurde. Tuulutusava suuruse määrab värske õhu ava ja suitsu väljalaskeava telgede vaheline kaugus ja nende pindalade suhe (vt joonis 26). Suurematel tulekahjudel tuleb tuulutusava suurus otsustada kohapeal tulekahju olukorra arengut arvestades. Alati tuleb meeles pidada, et katuse avamine on nii aega- kui ka vaevanõudev töö. Kui tuli on jõudnud pööningule, saab katuse värvi muutuse või kuju järgi otsustada, millised katuseosad on kuumad. Seda tuleb arvesse võtta, et katusele jõudes ei selguks, et vajalikku punkti jõudmine on kuumuse tõttu võimatu.



Joonis 61. Suitsutuulutusava katusel

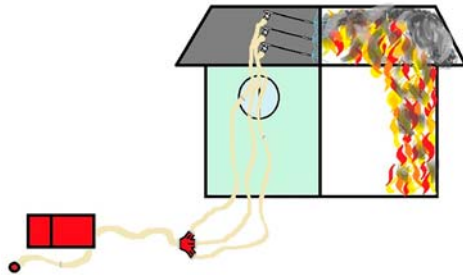
(Sacfire 2014)

Jahutades põlemisgaase tuulutusavast, ei saavutata efekti kogu ruumi ulatuses ja kaugemal olevad põlemisgaasid jäävad jahutamata. Samas muutuvad takistuseks ka avast jahutamisel väljuvad põlemisgaasid. Selleks et jahutada tuulutusaugu kaudu põlemisgaase, tuleb laskuda augu kaudu pööningule ja sealt jahutada, kuid see on väga riskantne tegevus ja sellisel moel põlemisgaaside jahutamist tuleks põhjalikult kaaluda. Parem võimalus põlemisgaaside jahutamiseks on jahutada neid pööningule viiva ukse kaudu. See on efektiivsem ja vähem riskantsem.

Ohutum võimalus põlemisgaaside jahutamiseks on kasutada naeljoatorusid enne tuulutusaugu tegemist ning vajaduse korral piiramisliini moodustamiseks. Enne naeljoatorude kasutamist tuleb mõelda, kuhu veeaurust tingitud rõhutõus suruma hakkab. Kui pööning on küllalt tihe, surub kuum ülerõhuline veeaur hoone konstruktsioonidesse, millega kaasneb

temperatuuri ja varjatud süüteallikate levik. Samas on tuulutusaugu tegemise järel naeljoatorude kasutamine väga hea võimalus põlemisgaaside jahutamisel. Naeljoatorudest väljuv pihustatud juga seob väga suure osa põlemisgaasides olevast soojusest (Töötamine katustel 2000).

Tule piiramisliini moodustamist on vaja olukorras, kus tuli on jõudnud juba pööningule ja ähvardab sealt horisontaalsuunas edasi levida. Sellisteks kohtadeks on näiteks ridaelamute pööningud, kus puuduvad tuld tõkestavad vaheseinad. Piiramisliini õigeks paigutamiseks on vaja rohkesti täpseid luureandmeid. Piiramisliini tegemiseks on kaks võimalust: katuse ristipidi avamine kogu katuse ulatuses või piiramisliini moodustamine naeljoatorude abil (joonis 62).



Joonis 62. Tuleleviku piiramisliin katusel  
(Gontsarenko 2014)

Piiramisliini ülespanek katusel ei nõua palju aega ega vahendeid ja naeljoatorusid võib pärast tuulutusauga tegemist julgesti katusel kasutada.

Katusele pääsemise võimaluste vahel valides on otsustavaks kasutusel olev varustus ning katuse kuju ja kõrgus. Madalate majade katustele pääsemiseks on mitu võimalust:

- tõusta redelitega maja otsast otse katuseharjale;
- püstitada redel maja küljele ja sealt edasi asetada konksredel (katuseredel) üle katuseharja;
- kasutada katusele tõusmiseks maja statsionaarset redelit.

Kõrgus aeglustab alati tööde läbiviimist. Mida kõrgem on katus, seda aeglasem on sinna minek ja seda raskem on sinna viia töövahendeid. Eri kõrgusega majade juures võib tekkida vajadus kasutada eri pikkusega redevleid. Jätkredeliga (2 jätku) on võimalik tõusta kuni teise korruseni (4–4,5

meetrit), tõmberedeliga kuni kolmanda korruseni (7–8 meetrit). Veel kõrgemale tõusmiseks on vaja juba autoredelit või korvtõstukit (Töötamine katustel 2000).

Üldjuhul tuleb katusele minna väljastpoolt, kuid teatud olukordades võib selleks kasutada trepikoda või muud siseruumi. Selline võimalus tuleb aga väga hoolikalt läbi mõelda, kuna tulekahju võib laienedes ära lõigata päästjate taganemistee. Väljastpoolt katusele minnes tuleb alati võimaluse korral kasutada korvtõstukit või redelautot. Katusele minnakse tavaliselt jahedama poole pealt. Korvtõstuk või redelauto suurendab oluliselt turvalisust. Maja statsionaarsed redelid jäetakse viimaseks võimaluseks, kuna nende tehniline seisukord on teadmata (Töötamine katustel 2000).

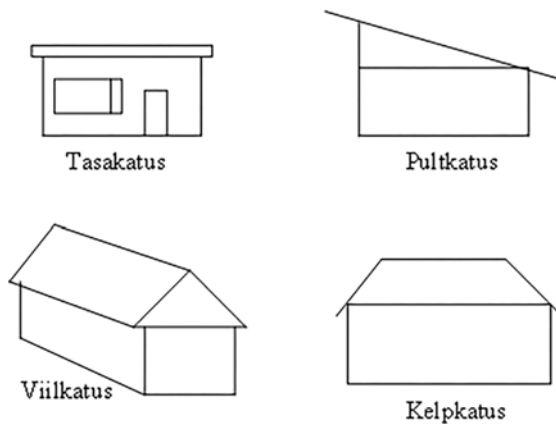


Joonis 63. Katusele pääsu võimalused  
(Countryplans; Cabinfever; Gardenlightsguru 2014)

## 7.1. Enim levinud katusetüübid Eestis

Katusele pääsul on suur tähtsus katuse kõrguse kõrval ka katuse kujul. Mida tasasem on katus, seda lihtsam on sinna pääseda ja turvalisem tööd teha. Eestis on enim levinud järgmised katusetüübid (vt joonis 64):

- tasa- ehk lamekatus,
- kelpkatus,
- viilkatus,
- pultkatus.



Joonis 64. Katusetüübid Eestis  
(Töötamine katustel 2000)

### Katuse vastupidavus temperatuurile

Katusel töötamisel tagab turvalisuse muu hulgas katuse vastupidavus temperatuurile ehk tulepüsivusklass. Tuleohutusnõuetega on hoonetele antud teatud tingimused, mis puudutavad ka katust. On arusaadav, et mida rangemad on hoonetele esitatud tuleohutusnõuded, seda vastupidavam tulele on ka katus. Siinjuures tuleb meele pidada, et katuse temperatuurikestvus ei määra niivõrd katuse materjal, kui just katuse kandekonstruktsioonide materjal ja jämedus (Töötamine katustel 2000).



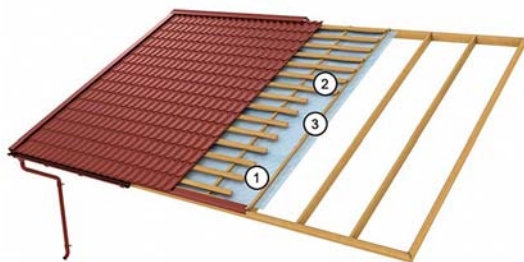
### 7.1.1. Katusematerjalid

Väga suurt osa tuulutusava tegemisel katusesse etendab katusematerjal. Eestis on enim levinud katusematerjalid plekk, eterniit, pemiit, tõrvapapp ja katusekivid. Allpool on esitatud nende materjalide omadused just katuse avamise seisukohalt.

#### Plekk-katused

Plekk-katuseid on mitmesuguseid. Sõltuvalt valmistajast vaheldub nii pleki paksus kui ka vorm. Katusepleki paksus on 0,4–0,9 mm. Lisaks sellele jaotub plekk siledaks ja profileeritud plekiks. Plekialuseks materjaliks katustel on peaaesjalikult puit. Erandi moodustavad vanad majad, millel võib olla plekk-katus eelmisele katusematerjalile peale löödud. Katuse avamise seisukohalt on selline katus väga raske, kuna peab kasutama selliseid tööriistu, mis oleksid võimelised lõikama plekki (ketaslõikur) ega läheks umbe eelmist katusematerjali (nt tõrvapapp) lõigates. Selliste katuste avamisel on soovitatav avada katust kihi kaupa. Ainult plekk-katuse avamisel saab edukalt hakkama ketaslõikuriga. (Töötamine katustel 2000)

Teine võimalus plekk-katuse avade tegemisel ja pleki eemaldamisel on kasutada akutrelli, mille abil saab hõlpsasti eemaldada pleki kinnituskruvid. Akutrelli kasutamine kiirendab oluliselt katuste avamist.

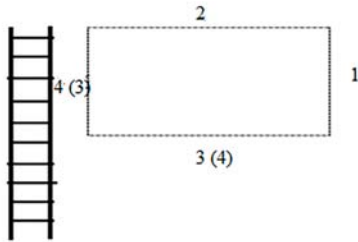


Joonis 65. Plekk-katus.

1. Aluskate 2. Roovitis 3. Tuulutusliist

(Ruukkikatus 2014).

Tuulutusava lõigates tuleb tööde järjekord läbi mõelda enne lõikamist. Nii saab vältida hilisemat astumist juba lõigatud pinnale. Soovitatavaks lõikamise järjestuseks on:



Joonis 66. Ava lõikamise soovitatav järjestus  
(Autori joonis)

Juhul kui katusepleki ava ei taheta lõpuni lõigata, siis võib jätta lõikamata lõike 3 (4) ja painutada katuseplekk allapoole.

### Eterniitkatused

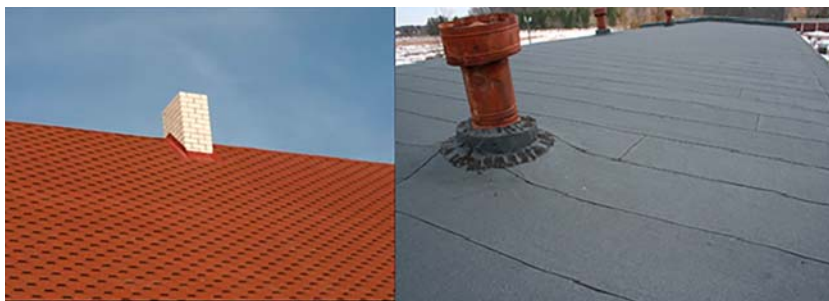
Eterniitkatused on avamise seisukohalt ühed kõige ohtlikumad. Temperatuuri toimel tekivad eterniidis pinged ja eterniit lendab tükkideks, kusjuures tükid võivad lennata suure hooga ja kaugemale ning need kujutavad endast tõsist ohtu päästjatele. Seepärast tuleb meeles pidada, et kaugemale arenenud tulekahju korral on eterniitkatusele minek keelatud. Kui tulekahju pole veel arenenud ohtlikku staadiumi ja katust avatakse ennetava meetmena, siis tuleb eterniitkatuse avamisel jälgida, et eterniitahvlite allaheitmisel et tekkiks lisaohu inimestele ja tehnikale. Aluskatet (puitu) saab edukalt lõigata mootorsaega. (Töötamine katustel 2000)



Joonis 67. Eterniitkatuse  
(Katuseportaal 2014)

## Pemiit- ja tõrvapappkatused

Pemiit- ja tõrvapappkatused ei erine teineteisest katuse avamise seisukohalt vaadatuna. Nende katuste puhul tuleb meeles pidada asjaolu, et mootorsaega katust avades läheb kett kindlasti umbe. Kergeim moodus katuse avamiseks on sellisel puhul kirvega katusematerjali lõikumine. Tõrvapapil piisab sellest, kui teha kirvega tõrvapappi sälk, edasi saab eemaldada juba käega. Alusmaterjal (tavaliselt puit) lõigatakse jällegi mootorsaega (Töötamine katustel 2000).



Joonis 68. Bituumensindel ja tõrvapappkatused  
(Kpartner 2014)

## Kivikatus

Kivikatus on eespool nimetatud katustest kõige lihtsamini avatav. Seda tööd saab edukalt teha käsitsi, eemaldades kivid ükshaaval. Meeles tuleb pidada vaid turvalisust kivide alla heitmisel või kuhugi mujale ohutusse kohta paigutamisel. (Töötamine katustel 2000)



Joonis 69. Kivikatus  
(Monier 2014)

## 7.2. Töövahendid tuulutusavade tegemiseks

Enne katusele minekut peab täpselt läbi mõtlema, milliseid töövahendeid läheb katusel tööd tehes vaja ja mida mitte, nii saab vältida tarbetu varustuse kaasaskandmist või ajakulu. Kuna katusematerjalid ja katusetüübid on erinevad, läheb vaja erinevaid töövahendeid sõltuvalt õnnetuse iseloomust ja töö eripärasest. Enamik vajaminevaid töövahendeid on olemas põhi-auto varustuses. Enim levinud töövahendid tuulutusavade tegemiseks on:

- hooligan kang /kirves,
- ketaslõikur/mootorsaag,
- akutrell,
- pootshaak,
- tõmberedel.



Joonis 70. Töövahendid tuulutusavade tegemiseks  
(autori fotod)

### 7.2.1. Suitsutuulutusava lõikamine

Tuulutusava tegemiseks vajalik varustus sõltub otseselt katusematerjalist. Katusel suitsutuulutusava tegemisel tuleb meeles pidada et:

- tuulutusava tegemisega kaasneb alati praht;
- sõltuvalt olukorrast tuleb välja valida koht, kuhu paigutada eemaldatud katusematerjal;

- tavaliselt on kõige turvalisemaks võimaluseks heita praht avast sisse pööningule, kuid see ei ole alati otstarbekas. Samas saab sellega vältida olukorda, kus eemaldatud katusematerjal võib alla kukkuda ja tekitada vigastusi päästjatele ja tehnikale.

Tuulutusava tegema hakates peab kaitseks kindlasti valmis olema survestatud tööliin. Sellega saab kaitsta end avast väljuvate kuumade põlemisgaaside ja leekide eest. Juba enne augu avamist on teada tuule suund ja sellega arvestades tuleb auku tehes püsida niipalju kui võimalik üleval pool tuult, et vältida kuumadele põlemisgaasidele ettejäämist, kui need avast välja paiskuvad.



Joonis 71. Tuulutusava katusel

(Sanduskyregister 2014)

Põhiautode peal on mitmesuguseid käsitöövahendeid (nt kirves, hooligan kang), mis võimaldavad teha päästjate töötamise katusel ohutumaks (vt joonis 72).



Joonis 72. Hooligan kangi ja kirve kasutamine avade tegemisel

(autori fotod)

Kahjuks on aastate jooksul põhiautode varustusest kadunud konksredelid, mis võimaldasid ohutumalt töötada kaldkatusel. Tänapäeval konksredelite asemel pakutakse kaldkatusel töötamiseks spetsiaalseid reदेleid (katuseredelit) (vt joonis 73).



Joonis 73. Konksredel ja katuseredel  
(Home Improvement 2014)

### 7.3. Pööningute ja katusealuste põlengute analüüs

Selles peatükis on esitatud SKA päästekolledži üliõpilase Aleksander Gontšarenko lõputöös „Tegevusjuhise väljatöötamine elamute katuste tulekahjude korral” tehtud katusealuste tulekahjude analüüs olukordadest, kus päästjad on kasutanud tulekahju likvideerimiseks konksreदेleid ja naeljoatorusid (Gontšarenko 2014).

#### Sündmus A

Häirekeskus sai teada, et kahekorruselises elumajas on tunda põlemislõhna ning alt keldrist tuleb kergelt suitsu. Sündmuskohale jõudes märkas PTJ, et keldris on põlemine, andis käsu ja päästjad kustutasid põlengu. Samal ajal märkas väljas ootav meeskond, et korstnatest ja räästast tuleb kergelt valget suitsu. Eeldatavasti levis tuli läbi ventilatsioonilõõri üles (pööningule). Probleemiks oli see, et kaks maja oli ehitatud kõrvuti ja oli oht, et ühest majast, kust tulekahju sai alguse, levib tuli teise maja pööningule. PTJ andis päästjatele korralduse minna kõrvalmajja, vajaduse korral kustutada tuli ning jälgida olukorda. Pärast seda avastas PTJ, et majas, kus oli tulekahju puhkenud, põlevad juba lahtise leegiga pööning ja katusekonstruktsioonid (räästas). PTJ andis käsu hakata seal tuld kustutama. See tegevus ebaõnnestus ja PTJ otsustas, et on vaja kohale kutsuda redelauto. Kahjuks ei olnud tehnika valmis ja lähim redel asus 120 km kaugusel. Selle aja jooksul, kuni redel oli teel sündmuskohale, ei leidnud PTJ teist kustutamiski varianti, sest puudus vajalik varustus (antud juhul konksredel) katuse kustutustööde tegemiseks. Redeli saabumisel hakkasid päästjad PTJ korraldusel tegema tuulutusavasid katusesse ning pärast seda saadi tulekahju kontrolli alla.

Tegevus/Varustus	Sündmuskohal
Tuulutusavade tegemine (katuse avamine)	Ei tehtud õigel ajal
Autoredeli kasutamine	Ei kasutatud õigel ajal
Termokaamera tulekolde otsimine	+
Tegevusjuhendi olemasolu	-
Naeljoatoru kasutamine	
Spetsiaalne varustus	-

- *Kahju:* pööning põles maha, hoone sai tahma- ja veekahjustusi, katus oli suures ulatuses lõhutud.

Lõputöö autor on seisukohal, et kui kõik eeldused oleksid täidetud ja tegevused õigel ajal tehtud, siis oleks tulekahju likvideerimise aeg olnud lühem. Sellest tulenevalt oleks ka varaline kahju olnud väiksem.

## Sündmus B

Häirekeskus sai teate, et kahekorruseline maja on suitsu täis. Sündmuskohale saabudes avastas PTJ, et korstnast ja katuse alt väljub kollast värvi suitsu. Vahetult pärast luure tegemist ja veendumist, et hoone sees ei ole kedagi, ning hinnates hetkeolukorda, tõstis PTJ sündmuse astet, hakkas kehtima aste 3. Sel hetkel, kui PTJ tegi otsuse, oli juba näha, et põlemine toimub pööningul ja katusel. Arvestades sellega, et lisaressurss on tellitud, andis PTJ korralduse püstitada autoreedel ja samal ajal teha suitsusukeldumine pööningule, et korraldada kustutusrünnak. Kuna tegemist oli viilkatusega, mille kaldenurk oli väga ebamugav tuulutusavade tegemiseks, võttis PTJ vastu otsuse, et pööningul olevate põlemisgaaside jahutamiseks peab kasutama naeljoatoru. Sel hetkel, kui redelauto korvist oli rakendatud tööle naeljoatoru, kustutas SSL (suitsusukelduslülili), kes oli sees, tulekolde. Pärast seda tehti termokaamerat kasutades kontrollavad, et likvideerida viimased tulepesad.

- *Kahju:* pööning põles osaliselt maha, ülemine korrus sai tahma- ja veekahjustusi, väikeses ulatuses eemaldati katuseplekki.

Tuulutusavade tegemine (katuse avamine)	Ei tehtud õigel ajal
Autoredeli kasutamine	+
Termokaameraga tulekolde otsimine	+
Tegevusjuhendi olemasolu	-
Naeljoatoru kasutamine	+
Spetsiaalne varustus	-

Võrreldes sündmusega A tehti sündmusel B õigel ajal mitu toimingut, nagu naeljoatoru kasutamine, kuna puudus spetsiaalne varustus katusekalde peal töötamiseks (konksredel), ja rakendati tööle autoreedel. Lõputöö autori arvates olid need toimingud väga tulemuslikud. Aeg, mis kulus tulekahju lokaliseerimiseks ja likvideerimiseks pärast sündmuskohale saabumist, oli üsna lühike ja võib eeldada, et varaline kahju oli märgatavalt väiksem võrreldes sündmusega A.



### **KÜSIMUSED KORDAMISEKS**

1. Millised ohud on seotud kõrgustes töötamisega suitsutuulutuse tegemisel?
2. Milleks luuakse piiramisliin katusele pööningute tulekahju korral?
3. Loetle võimalused katusele pääsemiseks.
4. Millised on Eestis enim levinud katusetüübid?
5. Millised on Eestis enim levinud katusematerjalid?
6. Milliseid töövahendeid läheb vaja tuulutusava tegemisel?
7. Kuhu tehakse suitsutuulutuse ja põlemisgaaside eemaldamiseks tuulutusava katusel?
8. Milline on katusekatte (plekk) löikamisjärjestus suitsutuulutusava löikamisel?

## KASUTATUD KIRJANDUS

- Cabinfever. [http://www.cabinfeververmont.com/2009\\_02\\_01\\_archive.html](http://www.cabinfeververmont.com/2009_02_01_archive.html). 10.08.2012.
- Coldcutsystems. [http://www.ccs-cobra.com/en/main\\_eng.asp](http://www.ccs-cobra.com/en/main_eng.asp). 14.02.2013.
- Countryplans. <http://countryplans.com/smf/index.php?topic=8038.100>. 10.08.2012.
- Danilov, M., Devlišev P., Jevtjuškin N. & Kimstatš I. 1976. *Tuletõrje taktika*. Tallinn: Valgus.
- Drysdale, D. 2003. *Tulekahju dünaamika*. Tallinn: AS Ühiselu.
- Eesti Katuseportaal. <http://www.katuseportaal.ee/laineplaaat.htm>. 10.08.2014.
- Eesti standard EVS 812-1:2013. *Ehitiste tuleohutus. Osa 1. Sõnavara*. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
- Eesti standard EVS 812-4:2011. *Ehitiste tuleohutus. Osa 4: Tööstus- ja laohoonete ning garaažide tuleohutus*. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
- Eurovent Est. <http://eurovent.ee/tooted-ja-susteemid/suitsueemaldussusteem/suitsuluugid/>. 14.09.2014.
- Eurovent Est. <http://eurovent.ee/tooted-ja-susteemid/suitsueemaldussusteem/keskused-ja-nupud/>. 14.09.2014.
- Gardenlightsguru. <http://gardenlightsguru.com/what-is-a-roof-ladder/>. 11.08.2012.
- Gontšarenko, A. 2014. *Tegevusjuhise väljatöötamine elamute katuste tulekahjudel korral*. SKA lõputöö, Tallinn: Sisekaitseakadeemia.
- Grimwood, P. 2003. Flashover – a firefighter's worst nightmare. [www.firetactics.com](http://www.firetactics.com) <http://www.google.ee/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CD8QFjAF&url=http%3A%2F%2F202.206.176.66%2Frsx%2Fzy%2Fsyjx%2F%25E5%258F%258C%25E8%25AF%25AD%25E6%2589%25A9%25E5%25B1%2595%25E5%25AD%25A6%25E4%25B9%25A0%25E8%25B5%2584%25E6%2596%2599%2Fflashover1.pdf&ei=t5K-VJ2wCaGiyAOL9YCAA&usq=AFQjCNHjgXEcf3njMEjrq23K13yI5sz7EQ>. 14.10.2014.
- Home Improvement. <http://diy.stackexchange.com/questions/4009/how-do-i-put-up-a-roof-ladder>. 11.08.2012.
- Hoonete tulekahjud*. 2004. SKA Päästekolledži päästekooli õppematerjal.
- Hyttinen, V. 2000. *Palofysiikka*. Tammer – Paino Oy.
- Hyttinen, V., Tolonen, P., Väisänen, T. 2014. *Palofysiikka*. Tampere: Tammerprint Oy.
- Kpartner. <http://www.kpartner.ee/tood/lamekatus/lamekatus7.jpg> 11.08.2014

- Kõo, H. Celsiuse skaala Koduleht: <http://õpik.füüsika.ee/index.php/slide/run/1480>. Välja otsitud 14.08.2014
- Monier. <http://www.monier.ee/tooted/katuse-aluskatted.html> 11.08.2014
- Põlemine. [https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/soojustehnika-instituut/oppematerjalid/kyte-ventilatsioon/12.\\_Polemine.pdf](https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/soojustehnika-instituut/oppematerjalid/kyte-ventilatsioon/12._Polemine.pdf). 14.01.2015.
- Rugājs, G. 2012. Ventilācija. Lāti Riikliku Tuletõrje- ja Päästeteenistuse (*Valsts ugunsdzēsības un glābšanas dienesta* (VUGD) õppematerjal.
- Ruukkikatus. <http://www.ruukkikatus.ee/Koik-katustest/Vana-katuse-asendamine-teraskatusega>. 10.08.2014.
- Sacfire. <http://www.sacfire.org/about-sfd/faq/>. 10.08.2012.
- Sanduskyregister. <http://www.sanduskyregister.com/article/fire-ems/5893351>. 10.08.2012.
- Smoke ventilation. Super Vaci koduleht. <http://www.supervac.com/wp-content/uploads/2013/01/SV-Training-Manual.pdf>. 14.08.2012.
- Soodla, H. 2010. *Firefight II -projekt kui uue tulekustutustaktika arendaja Euroopas*. Häire 112, 2.
- Suurkivi, T. Marvet, T. 2000. *Tuletõrjuja-päästja ABC*. Tallinn: AS Pakett.
- Šarin, I. 2004–2012. *Praktilised katsetused*. SKA Päästekolledži päästekool.
- Šarin, I. 2004. *Suitsu ja põlemisgaaside eemaldamine*. SKA Päästekolledži päästekooli õppematerjal.
- Tempest Technology. <http://www.tempest.us.com/training/ppa-ppv.cfm>. 14.08.2012.
- Tulekahju areng*. 2010. SKA Päästekolledži päästekooli õppematerjal.
- Töötamine katustel*. 2010. SKA Päästekolledži päästekooli õppematerjal.
- Weider, M., Smith, C. & Brackage, C. 1994. *Essentials of Fire Fighting, International Fire Service Training Association, Third Edition*. Fire Protection Publications, Oklahoma State University.
- Vententersearch. <http://www.vententersearch.com/tips.htm>. 14.08.2012.
- Иванников, В., Ключ П. 1987. *Справочник руководителя тушения пожара*. Москва: Стройиздат.
- Кимстач, И., Девлишев П. & Евтюшкин Н. 1984. *Пожарная тактика*. Москва: Стройиздат.
- Повзик, Я. 2001. *Справочник руководителя тушения пожара*. Москва: ЗАО „Спецтехника”.
- Теребнев, В. 2004. *Справочник руководителя тушения пожаров*. Москва: Пожкнига.

## LISA. Eestis enim kasutatavad ülerõhuventilaatorid

### ÜLERÕHUVENTILAATOR SWEFAN 21"



**Tootjaandmed:**

Mootor: Honda GX-160 5,5 hj (4,0 kW;  
3600 p/min)

Tootlikkus: kuni 28791 m<sup>3</sup>/h

Ventilaatori diameeter 56 cm

Allikas: [http://www.hemmingfire.com/news/archivestory.php/aid/404/SweFan\\_21\\_-\\_a\\_PPV\\_fan\\_developed\\_with\\_Swedish\\_firefighters.html](http://www.hemmingfire.com/news/archivestory.php/aid/404/SweFan_21_-_a_PPV_fan_developed_with_Swedish_firefighters.html)

### ÜLERÕHUVENTILAATOR TEMPEST BD 24 T 5.5



**Tootjaandmed:**

Mootor: Techumsen 5,5 hj (3190 p/min)

Tootlikkus: kuni 17 314 m<sup>3</sup>/h

Ventilaatori diameeter 60 cm

Allikas:

<http://www.tempest.us.com/blowers/firefighting.cfm>

### ÜLERÕHUVENTILAATOR FANERGY RB GF 165



**Tootjaandmed:**

Mootor: Honda GX200 seeria 5,5 hj (4,5kW)

Tootlikkus: kuni 21940 m<sup>3</sup>/h

Ventilaatori diameeter 40 cm

Allikas:

<http://www.ramfan.de/Feuerwehr/GF165/GF165.html>

#### ÜLERÕHUVENTILAATOR LEADER MT 236 V



**Tootjaandmed:**

Mootor: Vanguard 6 hj  
Tootlikkus: kuni 26 000 m<sup>3</sup>/h  
Ventilaatori diameeter 45 cm

Allikas:

[http://www.leadernorthamerica.com/upload/medias/b\\_easypowair\\_ppv\\_ventilators\\_zp03.031.us.4.pdf](http://www.leadernorthamerica.com/upload/medias/b_easypowair_ppv_ventilators_zp03.031.us.4.pdf)

#### ÜLERÕHUVENTILAATOR TEMPEST BD-21-T-5,5



**Tootjaandmed:**

Mootor: Techumsen, 5,5 hj, 3350 p/min  
Tootlikkus: kuni 18673 m<sup>3</sup>/h  
Ventilaatori diameeter 54 cm

Allikas:

<http://www.tempest.us.com/blowers/firefighting.cfm>

#### ÜLERÕHUVENTILAATOR SUPER VAC 724G4



**Tootjaandmed:**

Mootor: Honda 8 hj (5,9kW, 3200 p/min)  
Tootlikkus: kuni 20920 m<sup>3</sup>/h  
Ventilaatori diameeter 63 cm

Allikas:

<http://www.fire-end.com/svacgas.html>

#### ÜLERÕHUVENTILAATOR LEADER MT296 (BIG BABY)



**Tootjaandmed:**

Mootor: Vanguard Briggs & Stratton, 18 hj  
Tootlikkus: kuni 96 000 m<sup>3</sup>/h  
Ventilaatori diameeter 54 cm

Allikas:

[http://www.leader-group.eu/upload/medias/ds\\_mt\\_296\\_easy\\_pow\\_air-zf03.036.en.3.pdf](http://www.leader-group.eu/upload/medias/ds_mt_296_easy_pow_air-zf03.036.en.3.pdf)