

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
Факултет заштите на раду у Нишу

**ОПТИМАЛНИ ИЗБОР ВАТРОГАСНЕ ЗАШТИТНЕ ОПРЕМЕ
ПРИ ИНТЕРВЕНЦИЈАМА ГАШЕЊА ПОЖАРА**

- магистарски рад -

Ментор:
Др Света Цветановић, доцент

Кандидат:
Срђан Николић, дипл. инж.

Ниш, 2018. године

САДРЖАЈ

Увод	1
1. ПРОСТИРАЊЕ ТОПЛОТЕ У ПОЖАРИМА	4
1.1. ОСНОВЕ ПРОСТИРАЊА ТОПЛОТЕ У ПОЖАРИМА	5
1.1.1. Пренос топлоте кондукцијом	6
1.1.2. Транспорт топлоте конвекцијом	11
1.1.3. Простирање топлоте зрачењем	16
1.2. РАЗМЕНА ТОПЛОТЕ ПРЕМА ПОДЕЛАМА ПОЖАРА	21
1.2.1. Размена топлоте по фазама пожара	23
1.2.2. Размена топлоте према величини пожара	30
1.2.3. Размена топлоте према простору одвијања пожара	33
1.2.4. Размена топлоте према врсти гориве материје	35
2. ОТПОРНОСТ ЧОВЕКА НА ТОПЛОТУ У ПОЖАРИМА	38
2.1. ГРАЂА КОЖЕ	39
2.2. ОСОБИНЕ КОЖЕ	44
2.3. ДЕЈСТВО ТОПЛОТЕ НА КОЖУ	45
3. ТОПЛОТНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ВАТРОГАСНИХ ЗАШТИТНИХ ОДЕЛА	51
3.1. ВАТРОГАСНА ЗАШТИТНА ОДЕЛА	52
3.1.1. Радно заштитна одећа и обућа	53
3.1.2. Интервентна заштитна опрема	54
3.2. ЗАШТИТНА ОПРЕМА ОД ПЛАМЕНА И ТОПЛОТЕ	66
3.2.1. Одела за пролаз кроз ватру	66
3.3. ПРИМЕНА СТАНДАРДА ЗА ЗАШТИТНУ ОДЕЋУ ЗА ВАТРОГАСЦЕ.....	68
3.4. ОДЕЋА ЗА ЗАШТИТУ ОД ТОПЛОТЕ ПРОИЗВОЂАЧА„ПТС“,РУСИЈА ...	73
3.4.1. Ватрогасна одећа	74
3.4.2. Заштитна одећа од термалних ефеката	78
4. МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЕ У ПОЖАРИМА КАО МОГУЋНОСТ СМАЊЕЊА ШТЕТНОГ УТИЦАЈА ТОПЛОТЕ НА ЧОВЕКА	80
4.1. МЕРЕЊЕ ТЕМПЕРАТУРЕ У ПОЖАРИМА	81
4.1.1. Употреба термовизијских камера за мерење температуре у пожарима	82
4.1.2. Други начини мерења температуре у пожарима	85
4.2. МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЕ У ПОЖАРИМА	86
5. ЗАКЉУЧАК	88
ЛИТЕРАТИРА	90

За израду овог магистарског рада захваљујем се:

Свом ментору, др Свети Цветановићу,
на исказаној максималној подршци и датој помоћи у току израде,
без које можда не би ни било овог рада .

Професору др Жарку Јанковићу,
за помоћ у обликовању рада и давању корисних сугестија,
што је било од посебног значаја током израде.

Захваљујем се и свима другима,
који су ми несебично пружали сталну подршку,
за истрајност у остваривању овог за мене важног циља.

На крају, захваљујем се својој породици,
на подршци и разумевању,
за све што смо можда пропустили у току израде овог рада.

Увод

Незаустављиви развој човечанства у свим сегментима живота и рада, данас је такав да се одражава и на промене у вези схватања самих захтева у вези интервенисања при гашењу пожара. Другим речима, данашње интервенције гашења пожара имају нове, односно строжије захтеве и критеријуме по питању сложености, брзине и квалитета интервенисања у односу на нека претходна времена, а у исто време знамо да ће се у будућности такав тренд наставити. Спасити друге и њихову имовину у све сложенијим условима и изазовима који долазе, а у исто време заштитити и сачувати личну безбедост ватрогасаца, биће главни изазов у будућем развоју гашења пожара и спасавања.

Ово је довољан разлог за стално праћење и прилагођавање новим условима рада ватрогасаца спасиоца на интервенцијама гашења пожара. Промене су неминовне, не само на возилима и опреми за гашење пожара, већ и у примени строжијих захтева за заштиту ватрогасаца од топлоте како заштитним униформама, тако и свим другим начинима и могућностима организационе и техничке природе, рачунајући ту и промене у самој тактици гашења пожара.

У раду су најпре изложени делови поглавља основа простирања топлоте, којима се на најприближнији начин, практично могу објаснити све појаве и термодинамички процеси који се јављају у пожарима. Први део рада се може посматрати и као увод или неопходно предзнање, које је потребно за дубље упуштање у тематику простирања топлоте у пожарима.

Методологија даљег приступања простирању топлоте у пожарима, прилагођена је поделама и сврставању свих пожара у одређене групе, онако како их дели тактика гашења пожара и то према: фази развоја пожара, величини пожара, простору одвијања пожара и врсти гориве материје. То је урађено из два разлога: први је због свеобухватности, а други је због препознатљивости или могућности лакшег проналажења одговора на сва питања везана за простирање топлоте у пожарима.

У пракси је доказано да не постоје два иста пожара, а самим тим ни две исте интервенције, ма колико све то слично изгледало. Разлике, мале или велике, увек постоје. Оне се могу уочавати на више начина, све у зависности од праваца из којих се посматра пожар као догађај. Поред већ поменутих основних подела, постоји и низ других фактора који иду у прилог различитости пожара. То су свакако влажност гориве материје, влажност и температура ваздуха, правац и снага ветра са свим другим временским условима (киша, снег, притисак ваздуха), затим распоред, положај и могућност приступа горивој материји, специфичности грађевинских објеката и друго.

Узимајући све ово у обзир, можемо унапред закључити да ће и у погледу простирања топлоте у пожарима, поред очекиваних и унапред познатих претпоставки, бити и оних за које не можемо унапред знати, што ће дати значај тврдњи о различитости сваког пожара посебно.

Познавање топлотних карактеристика људске коже је важно за успешну заштиту од штетног дејства топлоте у пожарима. Отпорност човека у пожарима без опреме за заштиту од топлоте је веома мала. Штетно дејство топлоте у пожарима испољава се повредама на кожи у виду опекотина и компликација у органима за дисање изазваних врелим гасовима и димом. Последице могу бити са смртним исходом још у току пожара или током лечења.

У раду је дат приказ ватрогасних заштитних одела која користе ватрогасци-спасиоци на интервенцијама гашења пожара и спасавања, која имају на личном задужењу у виду радно заштитне одеће и обуће и интервентне заштитне опреме, као и заједничке заштитне опреме која је на задужењу ватрогасне јединице, у виду заштитне опреме од пламена и топлоте у коју спадају одела за пролаз кроз ватру.

Затим су дати основни захтеви Српског стандарда, SRPS EN 469:2010, Заштитна одећа за ватрогасце – Захтеване перформансе за заштитну одећу за ватрогасце, који је идентичан са Европском стандардом EN 469:2005, у коме су прописани најмањи нивои захтева за перформансе заштитне одеће коју треба носити у току операције гашења пожара и сличних активности, као што су спасилачки рад или помоћ у току катастрофа.

Представљена је одећа за заштиту од топлоте произвођача „ПТС“ из Русије, са основним параметрима и карактеристикама отпорности на топлотни флуks, отпорност на утицај температуре, отпорност на контакт са чврстим загрејаним површинама, отпорност на отворени пламен и другим подацима.

У тактици гашења пожара може се отворити питање: да ли недостатак података о тренутним температурама којима су ватрогасци-спасиоци изложени у току интервенција гашења пожара, може да утиче на смањење њихове безбедности, успешност интервенције и могућност спасавања угрожених лица?

Односно, осим облачења и коришћења комплета заштитних униформи на интервенцијама, да ли увођењем мониторинга температуре при гашењу пожара, можемо побољшати заштиту ватрогасаца од топлоте и квалитет интервенције у свим њеним сегментима?

Ако су одговори на оба питања „да“, онда треба наћи оптимална решења мониторинга температуре у пожарима на свим нивоима, и то за:

- појединачно праћење температуре у сопственом окружењу интервенисања од стране самих ватрогасаца,
- праћење температуре у окружењима свих учесника на месту интервенисања од стране руководиоца интервенције,
- праћење података о температурама изложености свих учесника на месту интервенисања од стране командно оперативних центара, а по потреби и других заинтересованих и

- меморисање података о температурама изложености свих учесника на месту интервенисања у циљу израда квалитетнијих анализа гашења пожара, едукативне и друге сврхе.

Циљ овог рада је да се из различитих углова посматрања пожара као догађаја, у вези простирања топлоте, уоче и идентификују како тренутне, тако и све оне опасности до којих ће тек доћи, како би се дошло до одговора на многа питања у овој области. Пре свега на одговоре у вези смањења ризика од штетног утицаја топлоте на човека у пожарима и повећања нивоа безбедности свих који се у њима буду нашли, наравно рачунајући ту и ватрогасце.

Циљ рада биће остварен ако се сагледавањем на једном месту, свих питања у вези ватрогасних заштитних одела и заштитне опреме од пламена и топлоте, затим важећих стандарда из те области, као и расположиве заштитне опреме на тржишту, омогући бржи и јаснији увид у широку област заштитне опреме од топлоте коју користе ватрогасци-спасиоци на интервенцијама гашења пожара и спасавања.

Такође, циљ овог рада је и да укаже на оправданост увођења нове врсте опреме за мерење температуре окружења на интервенцијама којом су изложени ватрогасци, као и опреме за пренос тих података до свих заинтересованих, а све у циљу побољшања квалитета интервенција гашења пожара и повећања нивоа заштите од штетног дејства топлоте на људе.

Инплементацијом предложених решења, која би се одвијала у практичном раду на интервенцијама гашења пожара, вероватно би се дошло и до потребе за одређеним изменама и у самим тактичким наступима у односу на наступе ватрогасних јединица у досадашњој пракси.

То значи да у коначном смислу, реализација предложених решења у практичном раду ватрогасаца на интервенцијама гашења пожара, не би била сама себи циљ, већ би представљала пут до стварања нових могућности за конкретне промене у самој тактици гашења пожара, са циљем ефикаснијег, бржег и безбеднијег интервенисања ватрогасних екипа.

За оптимални избор ватрогасне опреме за гашење пожара при високим температурама користиће се аналитичке и статичке методе

У истраживању се полази од хипотезе да ће примена најбољих заштитних одела у гашењу пожара при високим температурама резултирати смањењем негативних утицаја и последица на ватрогасце при интервенцијама.

1. ПРОСТИРАЊЕ ТОПЛОТЕ У ПОЖАРИМА

И пре настанка пожара у неком простору, стално постоји простирање топлоте. Одвија се најчешће, према већ очекиваној, односно устаљеној динамици размене топлоте између медија и предмета.

Очекивана динамика простирања топлоте условљена је термодинамичким променама које се понављају под утицајем појава као што су: доба дана, годишњег доба, режима грејања простора, производних процеса, природних процеса, режима рада или мировања уређаја и слично.

То су свакако одржива стања, која могу дуго да трају и по правилу дају корист. Простирање топлоте у неком простору, може се одвијати и по неочекиваној динамици размене топлоте између медија и предмета и дешава се свакако под утицајем догађаја и околности које су у стању да мењају устаљену динамику размене топлоте. Под њиховим утицајем може бити промењен сам ток преноса топлоте или могу бити промењене до тада постигнуте максималне или минималне вредности температуре.

Неочекивана динамика простирања топлоте може бити изазвана кваровима на уређајима, отказима уређаја за контролу, нестручним руковањем уређајима, намером или непажњом, несвакидашњим природним појавама - на пример ударом грома или активирањем вулкана и слично, као и пожаром.

Оваква стања су теже одржива, због тога краће трају и по правилу изазивају штету.

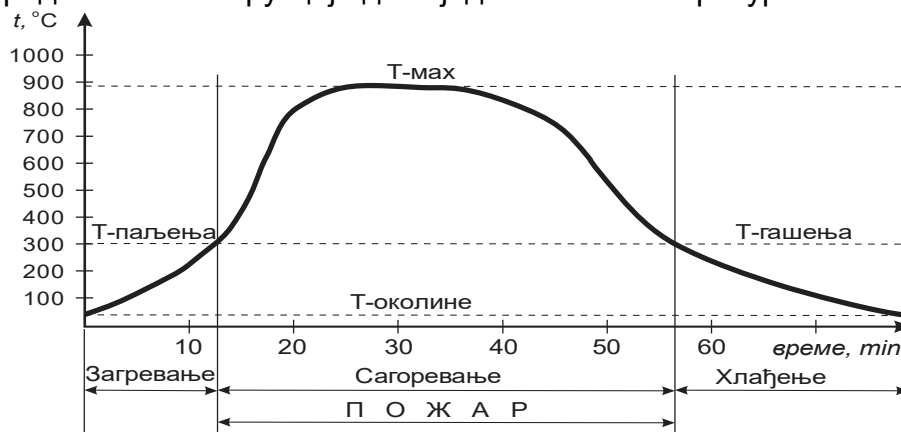
Према томе, пожар као термодинамичка појава, свакако не спада у догађај који очекујемо да се деси у нашем окружењу, односно на објекту или предмету. Зато, када се догоди пожар, људи су по правилу неспремни да се баш тада, у том тренутку одупру многим опасностима као што су појава штетних гасова и продуката дима, рушење објекта, паника, страх и слично, а свакако неспремни и у погледу опасности од дејства топлоте и последица које од ње могу настати.

Простирање топлоте у пожарима је стално променљива категорија, догађа се и пре самог тренутка настанка пожара, постоји у свим фазама пожара, као и након гашења пожара, све до потпуног хлађења делова конструкција објекта и предмета.

За настанак сваког пожара потребна је топлотна енергија, створена и доведена однекуд, да у краћем или дужем временском периоду, још и пре самог тренутка отпочињања процеса сагоревања изврши загревање гориве материје и оксиданса до потребног нивоа енергије активације.

Током сагоревања врши се стално ослобађање „вишка“ топлотне енергије створене у реакцијама оксидације гориве материје и кисеоника.

Након гашења, односно ликвидације пожара, када престане процес сагоревања и даље се наставља ослобађање топлоте и траје све време хлађења гориве материје, загрејаних предмета и конструкције до изједначења температуре са околином.



Слика 1.1. Дијаграм температуре у пожарима

На основу наведеног, слободно се може закључити, да термодинамички процеси простирања топлоте у пожарима, односно промене температуре, трају дуже од самог процеса неконтролисаног сагоревања, што је приказано на слици 1.1.

1.1. ОСНОВЕ ПРОСТИРАЊА ТОПЛОТЕ У ПОЖАРИМА

Топлотни флуks се јавља свуда где постоји градијент температуре, а познавање расподеле температуре у систему је главни проблем у простирању топлоте. Када се зна температурско (скаларно поље) онда се лако одређује поље топлотних флуksева (векторско поље), на основу Fourier-овог закона који повезују топлотне флуksеве са градијентима температуре.

Простирање топлоте у пожарима је веома сложен процес који у најопштијем случају садржи три различита начина простирања :

- кондукција (провођење),
- конвекција (струјање) и
- зрачење (радијација).

У стварности температурско поље у неком медијуму контролисано је комбинованим деловањем ова три механизма и немогуће је изоловати само један механизам простирања топлоте, а да се друга два не идентификују. Може се у одређеним случајевима сматрати да један механизам транспорта топлоте преовладава у односу на остала два.

У многим случајевима транспорт топлоте протиче истовремено са транспортом материје (масае) на молекуларном нивоу. Простирање масе је је блиско повезана са простирањем топлоте [3].

1.1.1. Пренос топлоте кондукцијом

По својој суштини провођење топлоте је микропроцес транспорта (преноса) топлотне енергије између елементарних честица материје. За постизање температуре паљења потребан је одређен проток топлоте кроз гориву материју.

Простирање топлоте је **нестационарно**, ако се температурско поље мења са временом, тј. ако је функција не само просторних координата x, y, z већ и времена τ , односно, [3].

$$T = f(x, y, z, \tau). \quad (1.1)$$

Простирање топлоте је **стационарно** ако се температурско поље не мења са временом, већ је оно функција само просторних координата:

$$T = f(x, y, z), \quad \frac{\partial T}{\partial \tau} = 0. \quad (1.2)$$

Зависно од броја координата простора, од којих зависи температурско поље, оно може бити једно, дво или тродимензионално.

Температурско поље је скаларно, пошто је за његово потпуно описивање потребно да се зна само вредност температуре.

Ако је поље температуре неуниформно, у њему ће се појавити транспорт топлоте. Однос елементарне количине топлоте dQ и времена трајања $d\tau$ транспорта те количине назива се топлотним флуksom:

$$\Phi = \dot{Q} = \frac{dQ}{d\tau} \quad (1.3)$$

Φ – топлотни флуks, $J/s, W$

$\dot{Q}$ – проток топлоте, $J/s, W$

Ако је транспорт топлоте стационаран, онда је:

$$\Phi = \frac{Q}{\tau} \quad (1.4)$$

Топлотни флуks је као и количина топлоте скаларна величина, а може се ипак говорити о томе да се топлота транспортује у правцу пада температуре.

Специфични топлотни флуks је вектор нормалан на изотермску површину елементарне површине dA , усмерен у правцу пада температуре и са модулом:

$$q = \frac{d^2Q}{dAd\tau} = \frac{d\Phi}{d\tau} \quad (1.5)$$

q – специфични топлотни флуks

A – површина

У специјалном случају специфични топлотни флуks је константан по датој површини:

$$q = \frac{Q}{A\tau} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (1.6)$$

Количина топлоте која се транспортује у јединици времена кроз изотермску површину коначне величине A , може се одредити као:

$$\Phi = \dot{Q} = \int_A q dA \quad (1.7)$$

Количина топлоте пренета топлотним флуksом Φ за коначни интервал времена τ је:

$$Q = \int_0^\tau \int_A q dA d\tau \quad (1.8)$$

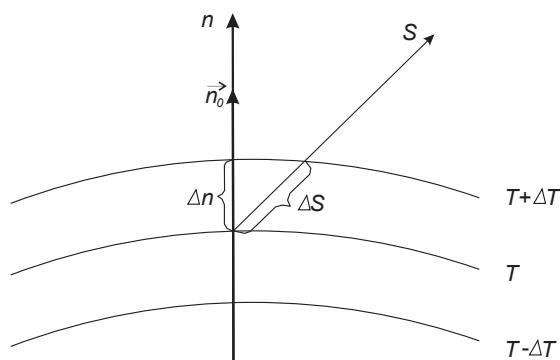
Поред површинског специфичног топлотног флуksа, могу се дефинисати још и запремински и линијски интензитет ницања односно понирања топлоте.

Запремински интензитет ницања, односно понирања топлоте је количина топлоте која извире или понире у јединици запремине тела за јединицу времена:

$$q_v = \frac{d^2 Q}{dV d\tau}, \quad \left[\frac{W}{m^3} \right] \quad (1.9)$$

Линијски интензитет ницања или понирења топлоте је количина топлоте која се транспортује у јединици времена кроз затворену изотермску површину јединичне дужине, независно од величине њеног попречног пресека:

$$q_l = \frac{d^2 Q}{dl d\tau}, \quad \left[\frac{W}{m} \right] \quad (1.10)$$



Слика 1.2. Изотерме у равни, [3]

Температура тела се мења само у правцима који пресецају изотермске површине. При томе највећа промена температуре сведена на јединицу дужине, уочава се у правцу нормалном на изотермске површине. Ова промена назива се градијент температуре. **Градијент температуре** је вектор, са правцем нормале на изотермску површину и усмерен ка порасту температуре, бројно је једнак изводу температуре у правцу нормале (Сл.1.2):

$$\left(\frac{\Delta T}{\Delta s}\right)_{max} = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta T}{\Delta n}\right)_{max} = \frac{\partial T}{\partial n} \vec{n}_0 = grad T, \quad \left[\frac{K}{m}\right] \quad (1.11)$$

при чему је $\vec{n}_0$ јединични вектор нормале n на изотермску површину са смером у правцу пораста температуре.

У систему Декартових координата (x, y, z) , градијент температуре је вектор са компонентама:

$$grad T = \nabla T = \vec{n}_0 \frac{\partial T}{\partial n} = \frac{\partial T}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial T}{\partial z} \vec{k} \quad (1.12)$$

Односно: $(\nabla T)_x = \frac{\partial T}{\partial x}, (\nabla T)_y = \frac{\partial T}{\partial y}, (\nabla T)_z = \frac{\partial T}{\partial z} \quad (1.13)$

Израчунавајући провођење топлоте у чврстим телима, Fourier је утврдио експерименталним путем, да је специфични топлотни флуks q пропорционалан градијенту температуре и у складу са другим принципом термодинамике има супротан смер.

$$q = -\lambda grad T = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \vec{i} - \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \vec{j} - \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \vec{k}, \quad \left[\frac{W}{m^2}\right] \quad (1.14)$$

Ова релација је математички израз основног закона провођења топлоте познатог као Fourier-ов закон.

Коефицијент пропорционалности λ у једначини (1.14) је коефицијент провођења топлоте, који представља физичко својство материје.

Коефицијент провођења топлоте одређује се пре свега експерименталним путем; само за идеалне гасове он се може одредити теоријски. За најважније материјале који имају значаја у техничкој пракси, вредности овог коефицијента су дате у одговарајућим приручницима у облику таблица и дијаграма.

Диференцијална једначина провођења топлоте у чврстим телима даје општу везу између температуре, времена и просторних координата, слика 1.3.

По својој суштини диференцијална једначина провођења топлоте изражава закон о одржању енергије за произвољну елементарну (диференцијалну) запремину $dV = dx dy dz$ и за диференцијални интервал времена $d\tau$. Овај закон се изражава релацијом:

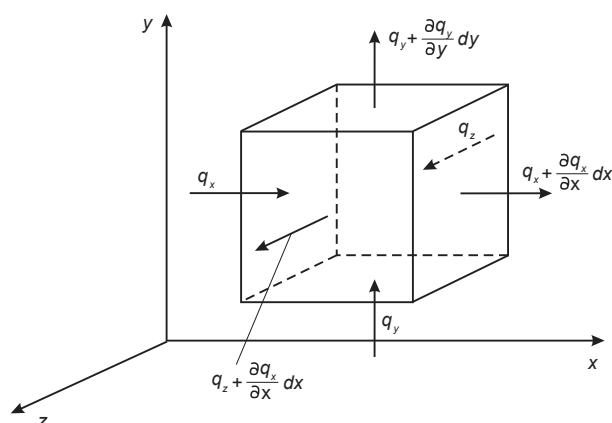
$$dQ = dQ_t + dQ_v \quad (1.15)$$

где је:

dQ_t – количина топлоте унета (или изнета) у диференцијалну запремину dV механизмом провођења за време $d\tau$,

dQ_v – количина топлоте која није (или понире) у запремини dV за време $d\tau$ због постојања извора или понора топлоте,

dQ – пораст (смањење) топлотне енергије у диференцијалној запремини за време $d\tau$.



Слика 1.3. Извођење диференцијалне једначине провођења топлоте, [3]
Пораст топлотне енергије у запремини dV изражава се релацијом:

$$dQ = \rho C \frac{dT}{d\tau} dV d\tau \quad (1.16)$$

dQ – пораст топлотне енергије, J

ρ – густина, kg/m^3

T – температура, K

C – специфична топлота, J/kgK

V – запремина, m^3

τ – време, s

Извод $dT/d\tau$ изражава суму локалне и конвективне промене температуре у елементарној запремини dV и износи:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{\partial T}{\partial \tau} + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{dx}{d\tau} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{dy}{d\tau} + \frac{\partial T}{\partial z} \frac{dz}{d\tau} \quad (1.17)$$

Изводи координата по времену у горњој релацији имају значење брзинских компоненти:

$$\frac{dx}{d\tau} = W_x \quad ; \quad \frac{dy}{d\tau} = W_y \quad ; \quad \frac{dz}{d\tau} = W_z.$$

За случај провођења топлоте у непокретној средини је $W_x = W_y = W_z = 0$ те је онда $\frac{dT}{d\tau} = \frac{\partial T}{\partial \tau}$.

Количина топлоте која је ушла у елементарну запремину механизмом провођења добија се сабирањем топлота које уђу кроз стране елементарног паралопипеда у правцу координатних оса. Количина топлоте која је ушла у елементарну запремину у правцу x –осе је:

$$dQ_x = q_x dy dz d\tau \quad (1.18)$$

на супротној излази количина топлоте

$$dQ_{x+dx} = \left(q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \right) dydzd\tau. \quad (1.19)$$

Израз у заградама у горњој релацији представља прва два члана развоја функције q_x у Тајлор-ов ред у околини тачке x , ако је она (функција) непрекидна на интервалу dx :

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx + \frac{\partial^2 q_x}{\partial x^2} \frac{dx^2}{2!} + \dots$$

Разлика између (1.18) и (1.19) је пораст топлоте у елементарној запремини узрокован транспортом топлоте провођењем у x -правцу за време $d\tau$:

$$dQ_{tx} = dQ_x - dQ_{x+d} = -\frac{\partial q_x}{\partial x} dx dy dz d\tau. \quad (1.20)$$

Аналогно овоме, у правцу остале две координатне осе прираштаји топлоте износе:

$$dQ_{ty} = -\frac{\partial q_y}{\partial y} dx dy dz d\tau, \quad (1.21)$$

$$dQ_{tz} = -\frac{\partial q_z}{\partial z} dx dy dz d\tau. \quad (1.22)$$

Укупан пораст топлоте узрокован провођењем топлоте у запремини dV за време $d\tau$, добија се сабирањем три последња израза:

$$dQ_t = dQ_{tx} + dQ_{ty} + dQ_{tz} = -\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) dV d\tau. \quad (1.23)$$

Вредност топлоте која извире (или понире) одређује се на основу саме дефиниције запреминског интензитета ницања топлоте q_v износи:

$$dQ_v = q_v dV d\tau \quad (1.24)$$

Заменом (1.16), (1.23) и (1.24) у (1.15) и скраћивањем са $dV d\tau$ добија се:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = -\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + q_v \quad (1.25)$$

Ако се има у виду Fourier-ов закон (1.14) и претпоставка да је $\lambda = const$, израз (1.25) добија облик:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q_v \quad (1.26)$$

или

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{\rho_v}{\rho c} \quad (1.27)$$

Ово је Fourier-ова диференцијална једначина провођења топлоте. Величина $\alpha = \lambda/\rho c$ је **коэффициент температурске водљивости** или **коэффициент топлотне дифузије**. Коэффициент дифузије је термофизичко својство чврстог тела и зависи од његове структуре и температуре [3].

1.1.2. Транспорт топлоте конвекцијом

Конвекција је процес преношења топлоте који је непосредно повезан са кретањем (струјањем) флуида. Кретање флуида само по себи има велики значај при транспорту конвективним механизмом. Стога је за одређивање температурског поља у струји флуида неопходно претходно познавање брзинског поља.

Провођење топлоте и конвекција су две потпуно различите физичке појаве. Као што је из кинетичке теорије простирања топлоте познато, провођење топлоте се реализује кроз размену енергије између молекула веће и молекула мање енергије, према томе то је молекуларна појава, док је конвекција макроскопска појава, код које у размени учествују цели слојеви флуида различитих температура који се мешају струјом флуида који се креће.

Према томе, под конвекцијом у ширем смислу подразумева се транспорт топлоте макроскопским кретањем делића флуида различитих температура уз истовремену размену кондукцијом између самих делића.

За термотехнику много већи значај има конвекција у ужем смислу, односно размена топлоте између флуида који струји и чврсте површине, која се назива прелазом топлоте. Специфични топлотни флукс прелажења топлоте одређен је Newton-овим законом [3]:

$$q = \alpha(T_z - T_f) \quad (1.28)$$

q – специфични топлотни флукс, W/m^2

α – коефицијент прелаза топлоте, W/m^2K

T_z – температура површине зида, K

T_f – температура флуида, K

Једноставност израза (1.28) вара. Коефицијент прелаза топлоте је функција многих променљивих. Он зависи од термофизичких особина флуида као што су: густина, специфична топлота, коефицијент вискозности, коефицијент провођења топлоте, које су са своје стране зависне од температуре и притиска флуида. На вредност коефицијента прелаза топлоте значајно утичу брзина и карактер струјања флуида, а такође и облик и геометрија разматране површине преко које се врши размена топлоте. Струјање је ламинарно (слојевито), ако се честице флуида крећу дуж паралелних путања. Струјање је турбулентно, када се честице крећу по путањама које се међусобно пресецају, при чему долази до пулзационих промена величина и праваца брзина као и до пулзационих промена осталих параметара флуида.

На вредност коефицијента прелаза топлоте веома утиче промена агрегатног стања флуида (испаривање течности, кондензација пара) на површини размене топлоте. Треба подвући значајне разлике између вредности коефицијената прелаза топлоте при стационарним и настационарним условима, које су повезане са променама брзине и температуре флуида у времену.

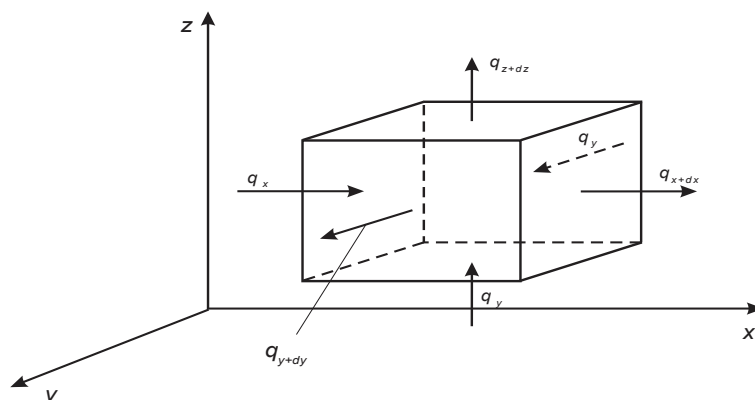
Конвекција је могућа само при кретању флуида. Да би се флуид кретао, потребно је да на њега делује нека сила. Силе могу бити запреминске (сила гравитације, сила електричног поља) и површинске (силе притиска, трења). Кретање флуида услед сила може бити принудно и слободно. Слободно је услед дејства запреминских сила. Ако се флуид са неравномерном расподелом густине налази у пољу Земљине теже, долази до слободног гравитационог кретања. Транспорт топлоте који се остварује при оваквом кретању флуида назива се **слободном (природном) конвекцијом**. Принудно кретање флуида је последица дејства површинских сила на граничним површинама (на пример, дејство пумпе или вентилатора на флуид). Транспорт топлоте који се остварује оваквим кретањем флуида назива се **принудном конвекцијом**. Често се кретање флуида изводи под дејством истовремено запреминских и површинских сила, када се има тзв. **мешовита конвекција**. Размена топлоте између зидова канала и струје флуида која протиче кроз канал назива се **унутрашњом конвекцијом**, а између чврстог тела и флуида који га опструјава **спољашњом конвекцијом**.

Конвекција представља транспорт топлоте у виду унутрашње енергије са струјом флуида. При томе се пренос топлоте реализује и механизмом конвекције и механизмом кондукције. Конвекција је могућа само у флуидној средини, и транспорт топлоте је овде непосредно повезан са транспортом саме материје.

Ако је $\rho \vec{W}, kg/m^2s$, где је ρ – густина флуида а $\vec{W}$ – брзина струје флуида, представља проток флуида у јединици времена кроз јединичну површину онда се специфични топлотни флукс конвекције дефинише изразом:

$$\vec{q}_{konv} = \rho \vec{W} h, \quad \left[\frac{J}{m^2s} \right], \quad (1.29)$$

при чему је h – енталпија флуида.



Слика 1.4. Извођење диференцијалне једначине енергије, [3]

Транспорт топлоте конвекцијом праћен је увек и кондукцијом, слика 1.4, те је стога укупни топлотни флукс конвекције у ширем описан једначином:

$$q = \vec{q}_{kond} + \vec{q}_{konv} = -\lambda grad T + \rho \vec{W} h. \quad (1.30)$$

Простирање топлоте при слободној (природној) конвекцији. Транспорт топлоте при слободној (природној) конвекцији повезан је са кретањем флуида под дејством спољних запреминских сила као што су сила тежине, центрифугалне силе или силе електромагнетног поља, које делују на порције флуида различитих густина. Ове разлике у густинама узроковане су разликама у температурама флуида које су последице размене топлоте на површинама чврстих тела која су у контакту са разматраним флуидом. Слободна конвекција може настати на површини чврстог тела потопљеног у неограниченој запремини флуида или у флуиду који се налази у затвореном (ограниченом простору. При слободној конвекцији формира се на површини тела гранични слој, што омогућава теоријско разматање проблема размене топлоте у дводимензионалном координатном систему. При слободној конвекцији брзине струјања флуида су углавном мале, тако да ће најчешће да се формира ламинарни гранични слој [3].

Простирање топлоте у порозном материјалу. Већина чврстих тела природног или вештачког порекла може се подвести под појам „порозни материјал“. Порозним телима се називају чврста тела која имају већи број шупљина, релативно мале величине у поређењу са карактеристичном димензијом самог тела. Ове шупљине, независно од њиховог облика, називају се порама, а чврсти садржај назива се скелетом или носачем. Специфична карактеристика порозних тела је способност захватања течности и гасова а мера те способности је порозност тела. Простор пора је често делимично или потпуно испуњен са једним или више флуида. Уколико у неком вишефазном систему постоји више различитих флуида, они се могу међусобно мешати или не, хемијски реаговати са чврстом фазом или бити хемијски неактивни. То зависи од специфичних физичких, термичких, дифузионих и хемијских особина флуида и чврсте фазе, као и струјних и термичких услова под којим се процес одвија.

У зависности од степена повезаности пора између себе и околине разликују се пролазне (отворене) поре, непролазне (слепе) поре и затворене поре. Поједини простори пора могу бити међу собом повезани, чинећи систем спојених судова. Струјање течности и гасова могуће је само кроз отворене поре. Проток флуида кроз такве поре може бити праћен стационарном и нестационарном разменом топлоте, филтрацијом, апсорпцијом као и хемијском реакцијом. Из тих разлога запремина повезаних пора назива се активном запремином пора (или ефективном запремином). Запремина свих пора се назива укупном запремином пора. У зависности од начина настанка пора, разликује се примарна и секундарна порозност. Примарна порозност настаје као резултат удруживања и повезивања зрна материјала. Пример за то је слој песка, талог на филтру, чађ и др.

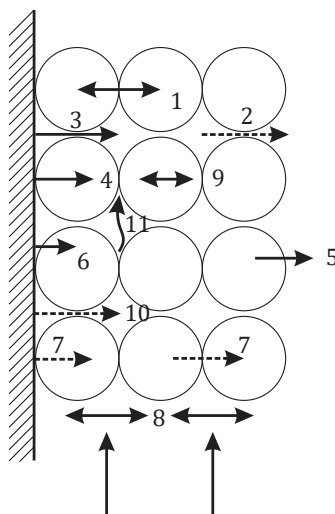
1. Простирање топлоте у пожарима

Разлог настајања структуре секундарне порозности су процеси, који се могу одигравати како у порозним тако и у непорозним телима као што су ветрење, екстракција, ерозија, селективно растварање, сагоревање, хидрауличко разарање, хемијске реакције које прати настајање течне или гасне фазе. Пример материјала природног порекла секундарне порозне структуре су неке графитне стене, гранити, пешчари и вулканска лава.

Пример материјала код којих је секундарна порозна структура настала вештачки су: спечени перлит, пенасто стакло, цигла, бетон, катализатори, разне филтрационе преграде и др.

Све моделе порозних тела могуће је условно поделити на две основне групе: на капиларне и сфероидне моделе.

Основни феномени преноса у порозном материјалу су: кондукција, конвекција, зрачење и дисперзија и у оквиру сваког од њих могуће је уочити више различитих механизма. Јасноће ради они ће бити приказани и анализирани на једном моделу порозне материје фиктивне основе који у суштини представља слој монодисперзних сфера правилне геометријске форме паковања или слободно насутих, који је у контакту са чврстом, загрејаном непропусном, граничном површином. Сваки од уочених механизма на слици 1.5. појединачно је означен од 1 до 11.



Слика 1.5. Механизми преноса топлоте у порозном материјалу, [3]

Пренос топлоте кондукцијом остварује се:

- директним контактом чврсте загрејане површине и сфера уз њу (означено бројем 4);
- директни контакт сфера унутар порозног слоја (означено бројем 1);
- кроз саму сферу (означено бројем 9);
- у флуиду, између међупорозних простора уз саму граничну површину и међупорних простора даље унутар порозног слоја (означено бројем 3);

Пренос топлоте конвекцијом остварује се:

- између загрејане површине и флуида непосредно уз њу (означено бр. 6);
- између флуида и сфере даље од површине (означено бројем 5);
- између различитих делова флуида (означено бројем 8);

Пренос топлоте дисперзијом остварује се:

- међупорним мешањем флуида које настаје као последица кретања флуида по закривљеним порним просторима сложене геометрије (означено бр. 11);

Пренос топлоте зрачењем остварује се:

- између површи и флуида (означено бројем 10);
- између сфера у слоју и флуида (означено бројем 2);
- између површи сфера и између самих сфера (означено бројем 7);

Мора се нагласити да је постојање ових 11 механизма евидентно, али да је ниво њиховог утицаја на доминантни облик преноса топлоте, испољен на макро нивоу, различит. Геометријски, струјни и термички параметри процеса који се одвија у порозном материјалу имају пресудан значај на испољавање одређеног механизма [3].

Пренос топлоте при промени агрегатног стања флуида – кондензацији.

Размена топлоте при промени агрегатног стања је процес до кога долази у случају размене топлоте између флуида и чврсте материје, ако се флуид који контактира дату површину налази истовремено и у течном и у парном стању.

Размена топлоте при кондензацији паре условљена је променом агрегатног стања паре тј. њеним прелазом из гасовите у течну фазу, при чему се ослобађа значајна количина топлотне енергије познате као топлота кондензације.

Кондензација се реализује одвођењем топлоте од паре, при чему се тај процес најчешће одвија при изобарској промени стања, што наравно не искључује било коју другу произвољну промену стања. Кондензација може да се одиграва по целој запремини коју заузима пара а исто тако и на чврстој површини са којом је пара у контакту. Кондензација паре (засићене или прегрејане) на чврстој површини дешава се само ако је температура површине нижа од температуре кондензације за притисак на коме се налази пара. Добијени кондензат се хвата на хладној површини и под дејством силе гравитације слива према нижим положајима [3].

Пренос топлоте при испаравању течности. Стварање паре из течности која је достигла температуру испаравања за дати притисак, на рачун доведене топлоте за фазно претварање (латентна топлота испаравања), назива се **испаравањем**. Топлота испаравања може да се доводи по целој запремини течности помоћу унутрашњих извора топлоте, када цела запремина течности под дејством неког

енергетског поља има улогу извора, или помоћу термичког зрачења када се енергија зрачења на путу од међуфазне површине пара-течност апсорбује од стране течности.

Пара настаје на измењивачкој површини (површини грејања) у облику мехурова који се формирају („клијају“), нарастају, откидају (када они достигну димензију при којој се узгонска сила изједначи са силама површинског напона и адхезије) и подиже ка слободној површини течности. Овај вид испаравања назива се **кључањем** (*boiling*) [3].

1.1.3. Простирање топлоте зрачењем

Термичко зрачење је процес транспорта (простирања) унутрашње енергије емитирујућег тела посредством електромагнетних таласа.

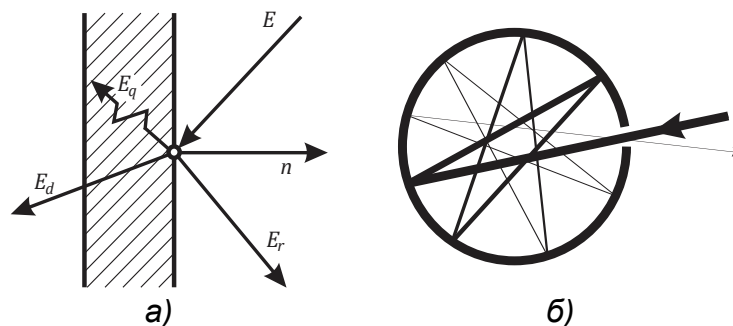
Свако тело дате температуре зрачи (емитује) енергију. Исто тако, оно делимично апсорбује, рефлектује или пропушта енергију дозрачену од других тела (Слика 1.6.), при чему је:

$$\frac{Q_a}{Q} = \frac{Q_r}{Q} = \frac{Q_d}{Q} = a + r + d = 1 \quad (1.31)$$

где је:

- Q – укупно дозрачена енергија,
- Q_a – део те енергије који је тело апсорбовало,
- Q_r – део дозрачене енергије који је тело апсорбовало (рефлектовало),
- Q_d – део дозрачене енергије који је тело пропустило у виду ослабљеног зрака,
- a – коефицијент апсорпције,
- r – коефицијент рефлексије,
- d – коефицијент прозачности (дијатермије).

Коефицијенти a , r и d се називају **интегралним коефицијентима** јер изражавају односе појединих енергија зрачења за цео интервал таласних дужина, [3].



Слика 1.6. а) Расподела дозрачене енергије у једном семитранспарентном (полупрозрачном) телу, б) модел апсолутно црног тела, [3]

Површинска густина интегралног зрачења или емисиона способност:

$$E = \frac{d\dot{Q}}{dF} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1.32)$$

E – емисиона способност, W/m^2

F – површина, m^2

Интегрално зрачење са целе површине, може се онда израчунати у облику:

$$\dot{Q} = \int_F E dF \quad (1.33)$$

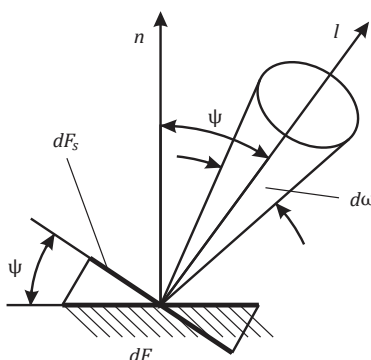
Ако је површинска густина интегралног зрачења константна по целој површини, онда (1.33) се своди на:

$$\dot{Q} = EF \quad (1.34)$$

Површинска густина интегралног зрачења која се са површине тела односи са зрацима бесконачно малог опсега таласних дужина (тј. од λ до $\lambda + d\lambda$) назива се спектралном густином зрачења:

$$E_\lambda = \frac{dE}{d\lambda} \left[\frac{W}{m^3} \right]. \quad (1.35)$$

Величина флукса зрачења у општем случају зависи од правца. Количина енергије емитоване у правцу l (одређеном углом ψ који заклапа са са нормалом n на површину (слика 1.7.) са јединичне површине у јединици времена у јединичном просторном углу, назива се угаоним интензитетом зрачења.



Слика 1.7. Зрачење у произвољном правцу, [3]

Угаони интензитет зрачења на основу горње дефиниције изражава се релацијом:

$$J_\psi = \frac{d^2\dot{Q}_\psi}{dFd\omega} = \frac{dE_\psi}{d\omega}, \quad (1.36)$$

а спектрални угаони интензитет зрачења релацијом:

$$J_{\psi} = \frac{d^2 \dot{Q}_{\psi\lambda}}{dF d\omega} = \frac{dE_{\psi\lambda}}{d\omega}, \quad (1.37)$$

Количина зрачења може да се мења како у зависности од таласне дужине, тако и од правца у коме се врши распрострањавање зрака. Ради описивања ове неравномерности уводи се појам тзв. „сјаја зрачења“ (*brightness of radiation*) или једноставно интензитета зрачења (*radiation intensity, radiositi, radiance*).

Интензитет зрачења дефинише се као количина енергије зрачења емитоване у одређеном правцу (дефинисан углом ψ сл. 1.5) у јединици времена са елементарне површине у границама јединичног просторног угла, сведене на пројекцију ове површине на раван која је нормална на правац зрачења:

$$J = \frac{d^2 \dot{Q}_{\psi}}{dF_{\psi} d\omega} = \frac{d^2 \dot{Q}_{\psi}}{dF \cos\psi d\omega} = \frac{dE_{\psi}}{d\omega \cos\psi} = \frac{J_{\psi}}{\cos\psi} \quad (1.38)$$

Спектрални интензитет зрачења износи:

$$J_{\lambda} = \frac{d^2 \dot{Q}_{\psi\lambda}}{dF_{\psi} d\omega} = \frac{d^2 \dot{Q}_{\psi\lambda}}{dF \cos\psi d\omega} = \frac{dE_{\psi\lambda}}{d\omega \cos\psi} = \frac{J_{\psi\lambda}}{\cos\psi} \quad (1.39)$$

Релације (1.38) и (1.39) дају једноставну везу између интензитета зрачења (сјаја зрачења) и угаоног интензитета зрачења.

У зависности од међусобног односа чврстих површина које учествују у размени топлоте зрачењем, може се увести следећа класификација протока енергије зрачења:
 E — **сопствено зрачење** — тј. површинска густина интегралног зрачења, које настаје као резултат сопствене температуре тела и својстава његове површине;

E_{in} — **површинска густина интегралног дозрачивања**, која је резултат зрачења околних тела и која пада на површину разматраног тела;

E_a — **површинска густина апсорбованог интегралног зрачења**, које је претворено у топлоту; $E_a = aE_{in}$;

E_r — **површинска густина рефлектованог интегралног зрачења**; $E_r = rE_{in}$.

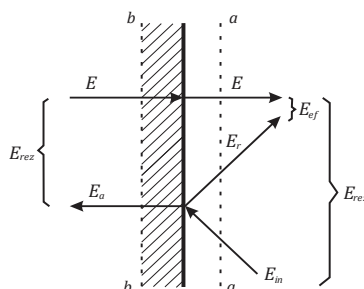
Збир сопственог зрачења једне површине и рефлектованог зрачења (које она од дозрачене енергије рефлектује) је ефективно зрачење, које се за случај да тело није прозрано даје у облику:

$$E_{ef} = E + E_r = E + rE_{in} = E + (1 - a)E_{in} \quad (1.40)$$

Ефективно зрачење зависи од:

- оптичких својстава и температуре разматраног тела;
- оптичких својстава и температуре околних тела;
- димензија и међусобног размештаја тела у простору.

Размењена енергија зрачењем између два тела је **резултујуће зрачење** E_{rez} . Веза између резултујућег зрачења и осталих зрачења одређује се на основу енергијског биланса за замишљену површину $b - b$ која се налази непосредно испод површине датог тела, као и за замишљену површину $a - a$ која је непосредно изнад (слика 1.8).



Слика 1.8. Шема за одређивање резултујућег зрачења, [3]

Stefan-Boltzmann-ов закон. Овај закон је први експериментом утврдио **Stefan** (1879), а касније је до њега теоријским путем дошао **Boltzmann** (1884). Енергија, коју зраче тела у целом интервалу таласних дужина од $\lambda = 0$ до $\lambda = \infty$ при $T = const$, је интегрално зрачење усмерено у свим правцима полусфере простора. Зависност њене густине од вредности апсолутне температуре за апсолутно црно тело, дефинисана је управо овим законом.

Stefan-Boltzman-ов закон има облик:

$$E = \sigma_c T^4 \quad [W/m^2], \quad (1.41)$$

при чему је: $\sigma_c = C_1 \pi^4 / 15 C_2^4 = 5,67 * 10^{-8}$, $W/m^2 K^4$ - Stefan-Boltzmann-ова константа или константа зрачења апсолутно црног тела,

$C_1 = 0,374 * 10^{-15}$, Wm^2 - прва Planck-ова константа,

$C_2 = 1,44 * 10^{-2}$, mK - друга Planck-ова константа,

T - апсолутна температура тела, K .

Уместо (1.41), чешће се Stefan-Boltzmann-ов закон пише у облику:

$$E_c = C_c \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (1.42)$$

при чему је: $C_c = 5,67$, $W/m^2 K^4$ - константа зрачења апсолутно црног тела за случај изражавања закона у облику (1.42), [3]

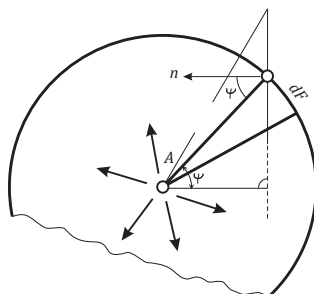
Kerpler је установио, да је површинска густина дозрачене енергије са тачкастог извора, обрнуто пропорционална квадрату растојања. Ако извор A довољно малих димензија (слика 1.9.) и укупне снаге $\dot{Q}$ зрачи равномерно у свим правцима, густина дозрачене енергије на површини сфере радијуса r износи:

$$E_{in} = \frac{\dot{Q}}{4\pi r^2}. \quad (1.42)$$

Ако обасјани (озрачени) елемент површине није део сфере. Онда флуks зрачења који долази до њега износи:

$$d\dot{Q}_{in} = \frac{\dot{Q}}{4\pi r^2} \cos\psi dF. \quad (1.43)$$

Горња релација је позната као Lambert-ов закон пропорционалности квадрату растојања. Величина E_{in} за случај сунчевог зрачења на површини Земље је соларна константа C ($C \approx 1300, W/m^2$) [3].



Слика 1.9. Озрачивање површине од тачкастог извора, [3]

1.2. РАЗМЕНА ТОПЛОТЕ ПРЕМА ПОДЕЛАМА ПОЖАРА

Заступљеност начина простирања топлоте у пожарима није увек иста. Којим ће начином (кондукцијом, конвекцијом, зрачењем, или комбинацијом два или сва три начина) бити извршен пренос топлоте у пожарима зависи од многих фактора. У сваком случају је стално присутна променљивост односа самих начина преноса топлоте, што директно условљава и различитост односа количина топлоте и укупне количине топлоте у одређеном простору. На овај начин могуће је, са добром прецизношћу, одредити топлотне услове у било којој тачки у простору одвијања пожара.

Ради поједностављења, бољег разумевања, а уједно и због свеобухватнијег приступа, простирање топлоте у пожарима може се посматрати из различитих углова или у деловима, онако како тактика гашења пожара врши поделе свих пожаре, према:

- | | |
|------------------------------|--|
| 1. Фазама пожара: | 2. Величини пожара: |
| а) почетна фаза, | а) мали пожари, |
| б) разбуктала фаза и | б) средњи пожари, |
| в) фаза живог згаришта; | в) велики пожари и |
| | г) блоковски или катастрофални пожари; |
| 3. Простору одвијања пожара: | 4. Врсти гориве материје: |
| а) унутрашњи пожари и | а) пожари класе „А“, |
| б) спољашњи пожари; | б) пожари класе „В“, |
| | в) пожари класе „С“ и |
| | г) пожари класе „D“. |

На овај начин могу се дати важни одговори по питању преноса топлоте у пожарима, од значаја за људе који су се нашли у простору захваћеном пожаром или од значаја за ватрогасце који треба да дођу и уђу у тај простор.

Одговорима на питања преноса топлоте у пожарима не могу се у потпуности елиминисати штетни утицаји топлоте на људе, али у циљу смањења тих утицаја, можемо добити важне информације о термодинамичким условима за сваки део простора одвијања пожара у сваком тренутку тока интервенције. Одговори на питања преноса топлоте у пожарима могу нас довести до:

- смерница за нова техничка решења за израду заштитних униформи и делова заштитне опреме ватрогасаца,
- решења за нове начине праћења и управљања токова интервенција гашења пожара,
- другачијих и безбеднијих тактичких наступа ватрогасних екипа и
- нових поглавља саме тактике гашења пожара.

Пожар као догађај има своје учеснике, место и време дешавања.

Учесници су сва лица која пре или за време пожара, директно на месту пожара или индиректно ван места пожара, утичу на сам настанак пожара, његов даљи ток и гашење пожара.

Поред опреме и средстава за гашење пожара којом располажу, као и ватрогасним заштитним униформама које ватрогасци спасиоци имају на задужењу, од изузетног значаја је и како је извршено пожарно-тактичко оспособљавање, планирање и психолошка припрема припадника ватрогасно спасилачких јединица. Ово је посебна и веома сложена област професионалног оспособљавања која захтева висок ниво научно-психолошке припремљености руководиоца обуке и висок ниво методолошког умећа, као и матеијално-техничког обезбеђења [6].

Место дешавања пожара је простор у коме су испољени сви штетни утицаји топлоте и дима насталих у процесу неконтролисаног сагоревања гориве материје, а то су:

- деструкција и губитак или смањење употребне вредности свих горивих и негоривих материја изазваних дејством продуката сагоревања, односно топлотом и димом насталих у пожару,
- штета на објектима и стварима као последица интервенције гашења пожара настала употребом воде или рушењем делова објекта и
- повреде људи и животиња са последицама привременог или трајног карактера или са трагичним исходом.

Место дешавања пожара је знатно већи простор од простора одвијања самог процеса неконтролисаног сагоревања, пре свега због дејства топлоте, кретања дима и рушења конструкција, а сходно томе, ограничен је околином незахваћеном било каквим утицајима пожара.

Време трајања пожара смештено је између два важна временска периода, који су увек везани за сам пожар, а то су:

- период стварања услова за настанак пожара и
- период последица након гашења пожара.

Временски период пре настанка пожара, односно период у коме се стварају услови за настанак пожара укључујући и сам период загревања гориве материје, може се назвати пред почетном фазом пожара. У овом временском периоду, услед појединих радњи или догађаја, долази до стварања услова за појаву и пренос топлоте на гориву материју и њеног загревања, а која је уобичајено већ у контакту са кисеоником. Он се завршава када се довољном количином топлоте постигне енергија активације гориве материје и кисеоника.

Период после ликвидације пожара, или период последица пожара, представља временски период у коме се након престанка процеса сагоревања и гашења жара, наставља хлађење жара и несагорене гориве материје, као и предмета и конструкција

делова објекта захваћених пожаром. У овом периоду су присутне све видљиве или директне последице и у коме ће пре или касније уследити још увек невидљиве, односно индиректне последице пожара.

1.2.1. Размена топлоте по фазама пожара

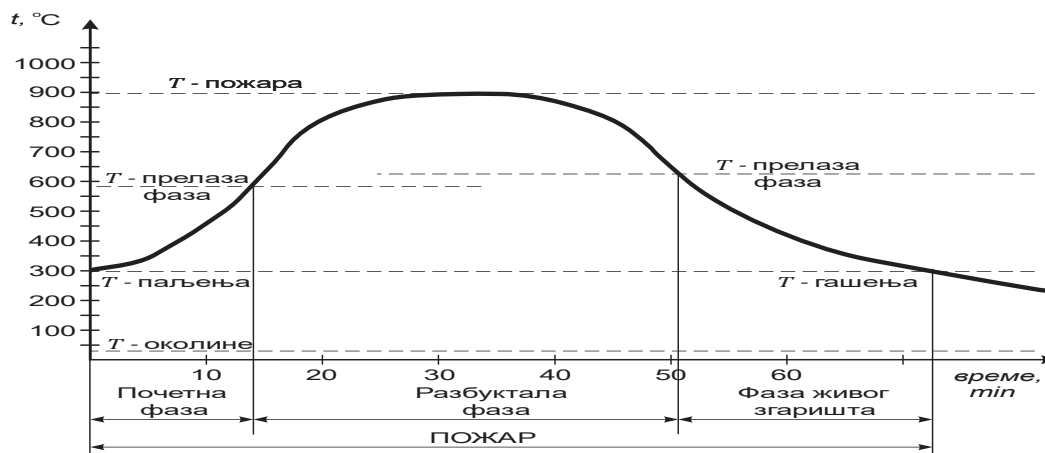
У временском периоду трајања пожара, врши се размена топлоте уз сталне промене интензитета размене, што у ствари простор одвијања пожара чини нестационарним пољем преноса топлоте. Размена топлоте врши се у све три фазе пожара:

- а) почетна фаза пожара,
- б) разбуктала фаза пожара и
- в) фаза живог згаришта.

Почетна фаза пожара означава временски период од тренутка настанка пожара, односно отпочињања процеса неконтролисаног сагоревања са појавом веће количине дима, до тренутка преласка у разбукталу фазу пожара

Разбуктала фаза пожара је наставак почетне фазе пожара, а прелаз се дешава у тренутку у коме је пожар прешао у развијену фазу која се истиче по највећим вредностима брзине ширења пламена, температуре и интензитета горења, а траје све до преласка у фазу живог згаришта,

Фаза живог згаришта почиње када, под утицајем гашења или без гашења, престaje појава пламена, док и даље постоје унутрашња жаришта, а траје све до потпуног престанка сагоревања или гашења жара (сл.2.1).



Слика 2.1. Дијаграм фаза пожара

Овакав опис фаза пожара заснива се пре свега на видљивим ефектима пожара као што су пламен и дим, узимајући у обзир и интензитет размене топлоте, за коју је већ речено да траје дуже од самог процеса неконтролисаног сагоревања.

Познато је у пракси је да је отежано прецизно и поуздано одредити тренутак прелаза из једне фазе у другу. До непрецизности одређивања прелаза из једне у другу фазу долази пре свега због чињенице што се одређивање заснива на:

- визуелним проценама, а не на мерљивим подацима,
- субјективним перцепцијама појединаца које се разликују и које могу довести до другачијих резултата и
- могућности увида само у неке делове пожаром захваћеног простора а немогућности увида у скривене и недоступне делове пожара.

Мерење температура пожара на прелазима између фаза је отежано из више разлога:

- најпре морамо рећи да вредности температура при прелазу из почетне у разбукталу и прелазу из рабуктале у фазу живог згаришта нису исте,
- постоји проблем одређивања самог места мерења температуре, како би се дошло до унифициране методе за што тачније дефинисање прелаза из једне у другу фазу,
- динамика развоја пожара врло често је таква да долази до промена које доводе до тога да места настанка, затим прелаза из почетне у разбукталу, или из разбуктале у фазу живог згаришта нису иста.

Одговори на сва питања која су везана за размену топлоте у пожарима, на пример, који су начини преноса топлоте, који су токови и интензитети преноса топлоте по фазама пожара, могу помоћи у схватању какав ће бити утицај топлоте у пожарима на човека у свакој од фаза пожара и како смањити штетан утицај на најмању могућу меру.

а) Размена топлоте у почетној фази пожара. Познато је да ће процес неконтролисаног сагоревања отпочети увек, ако у довољним количинама и контакту имамо:

- гориву материју,
- кисеоник и
- топлоту.

За гориву материју и кисеоник може се рећи да су неопходни услови материјалне природе за настанак пожара, а да топлотна енергија представља извор паљења. И топлотна енергија извора паљења има материјално порекло из процеса сагоревања неке гориве материје, из егзотермне реакције двеју супстанци, трења и слично.

Знамо да се температура ($t[^\circ\text{C}]$, $T[^\circ\text{K}]$) обично дефинише као степен загрејаности тела. Међутим, њену суштину, представља кретање честица – молекула и атома у њима. На крају, нема топлоте без извора топлоте, а сам извор топлоте је увек материјалне природе.

1. Простирање топлоте у пожарима

Значи процес горења је потпуно у зависности од материје. Горива материја и кисеоник су директно материјалне природе а топлота, као извор паљења, је у ствари продукт стања у одређеној материји, јер температура заправо представља меру средње кинетичке енергије трансляторног кретања молекула.

Неопходне услове материјалне природе (гориву материју и кисеоник) за настанак пожара можемо имати бесконачно дуго, а пожар ће настати тек након појаве извора паљења, односно топлоте.

Исто важи и обрнуто, можемо имати извор паљења, односно довољно топлоте, бесконачно дуго, а да без неопходна оба услова материјалне природе (гориве материје и кисеоника) неће доћи до пожара.

Између ове две бесконачности, за сваку гориву материју посебно и за кисеоник из ваздуха са којим је у контакту, постоји неко коначно време, за које ће услед дејства довољне количине топлоте отпочети процес неконтролисаног сагоревања.

Ако би одвојено посматрали период термодинамичких промена пред сам почетак процеса неконтролисаног сагоревања, тај период би се могао назвати пред почетна фаза пожара. Ова фаза може трајати веома дуго, кратко или тренутно, што је у директној зависности од врсте гориве материје, извора паљења и тренутног стања гориве материје.

Поред времена размене топлоте пре настанка пожара, односно времена потребног за загревање гориве материје и кисеоника до температуре паљења, од кључног значаја је наравно и сама величина температуре тела или медија који врши загревање, да ли је она већа, или је тек довољна за постизање **енергије активације**, односно паљења гориве материје.

Arenius-ова једначина даје зависност константе брзине хемијске реакције од температуре и енергије активације. [3]

$$k = Ae^{-Ea/RT} \quad (2.1)$$

R – универзална гасна константа ($R = 8,314 \text{ J/Kmol}$)

A – пред-експоненцијални фактор

Ea – енергија активације

T – температура (K).

Из Arenius-ове једначине, у којој се Ea налази као експонент, следи да мало смањење енергије активације доводи до знатног повећања брзине реакције. [3]

Типичан пример за претходну констатацију је присуство, односно тачније речено, одсуство влаге у горивој материји. За влажну гориву материју потребно је знатно више топлотне енергије, да би дошло до активирања елементарних честица и њихово ступање у реакције сагоревања, у односу на суву материју.

У случају дејства знатно већом температуром од температуре паљења, пожар ће настати за краће време и обрнуто, дејством температуром која је тек изнад или једнака температури паљења, биће потребно дуже време за настанак пожара.

Може се одмах рећи, да су температура којој је изложена горива материја и неопходно време за изазивање пожара у обрнуто пропорционалним односима.

Увек постоје довољно кратки временски периоди у којима горива материја, иако је изложена температурама већим од температуре паљења, неће примити довољно топлоте за постизање температуре паљења.

Затим следе нешто дужи временски периоди после којих ће, дејством на гориву материју и тек нешто вишом температуром од температуре паљења, процес горења отпочети.

На крају, до пожара неће доћи и ако, бесконачно дуго вршимо загревање гориве материје недовољном температуром.

Закључак је да су, температура којој је изложена горива материја и време потребно за њено паљење, величине које су у зависности једна од друге и да се из те зависности може утврдити и потребна количина топлотне енергије утрошене за паљење одређене гориве материје.

Важне физичко-хемијске особине су свакако између осталих, агрегатно стање и стабилност хемијских веза.

Такође, тренутна стања у којима се налази горива материја као што су влажност и уситњеност, од значаја су за почетак горења. Тренутна стања гориве материје при настанку пожара, могу имати утицај у толикој мери да утичу на промену вредности дијаграма времена и температура настанка пожара.

За уситњене и суве чврсте гориве материје, као и гориве материје у парној фази, вредности времена и температура настанка пожара су мање, што значи да ће бити потребно мање топлоте за почетак процеса сагоревања.

За укрупњене и влажне чврсте гориве материје, као и гориве материје у течној фази, вредности времена и температура настанка пожара су веће, што значи да ће бити потребно више топлоте за почетак процеса сагоревања.

До почетка процеса сагоревања, односно паљења, може доћи довођењем топлоте горивој материји, једним или комбинацијом два или сва три начина преноса топлоте – кондукцијом, конвекцијом или зрачењем. Без обзира на које начине се преноси топлота горивој материји, процес горења ће отпочети када збир свих количина примљене топлотне енергије доведе до подизања температуре тој материји, или једном њеном делу, до температуре паљења.

Вредности температура паљења чврстих горивих материја које се чешто срећу у стамбеним и другим објектима, производним погонима, магацинима, саобраћајним средствима и на отвореном простору, а које су најчешће присутне у већини пожара су релативно ниске и лако се постижу отвореним пламеном, грејним уређајима, варницама и слично. Крећу се већ од 184°C за папир, а од 250-300°C за разне врсте дрвета.

Тачке запаљивости течних горивих материја које се најчешће користе или чувају у складиштима могу бити за бензин -20°C , дизел 55°C , а њихове температуре samozапалења су за бензин 550°C , дизел 350°C .

У свим фазама пожара важна је улога дима у укупном топлотном билансу преноса топлоте. Улога дима код преноса топлоте у почетној фази пожара огледа се пре свега у чињеници да су у тој фази вредности температуре, брзине ширења пламена и интензитета горења знатно ниже у односу на вредности које ће уследити у разбукталој фази пожара. Код почетних пожара жариште често није уочљиво, удаљено је или је иза неког заклона, па самим тим не представља опасност. Тада је дим главни носиоц који конвекцијом може да пренесе топлоту на удаљеније тачке у објекту.

Мањи интензитет ослобађања топлоте у почетној фази пожара је некад тек довољан за наставак процеса сагоревања, која се тада углавном троши на разлагање гориве материје на гориве и негориве компоненте. Недовољна количина топлоте у почетној фази пожара не обезбеђује довољну енергију активације свим честицама у зони горења, које се као такве „неспремне за сагоревање“ удаљавају и напуштају зону горења. Ово проузрокује појаву веће количине дима у почетној фази пожара у односу на преостале фазе које ће уследити. Кретањем у већим количинама врели дим учествује у преносу топлоте до места која су удаљенија од жаришта пожара, до којих топлота настала у самом жаришту пожара не допире.

По питању могућности повређивања људи проузрокованих топлотом у почетној фази пожара, може се закључити да опасности од топлоте још увек нису изражене у пуној мери у односу на опасности у фазама пожара које ће уследити. Могло би се чак рећи, да је у почетној фази пожара у неким случајевима израженија опасност од дејства топлоте самог извора паљења од дејства топлоте материје која буде захваћена на самом почетку процеса неконтролисаног сагоревања.

У почетној фази пожара још увек је могуће, у циљу гашења, прићи жаришту довољно близу без униформе за заштиту од топлоте. При кретању дима, неутрална раван је високо са тенденцијом спуштања наниже, његова температура је још увек релативно ниска, тако да је и кроз такав делимично задимљен простор могућа и изводљива евакуација без додатне заштите од топлоте.

б) Размена топлоте у разбукталој фази пожара. Већ је речено да је разбуктала фаза наставак почетне фазе пожара, као и да се прелаз из почетне фазе дешава у тренутку у коме је пожар прешао у развијену фазу која се истиче по највећим вредностима интензитета горења, температуре и брзине ширења пламена, а траје све до преласка у фазу живог згаришта.

1. Простирање топлоте у пожарима

У зависности од врсте гориве материје, објекта који гори или простора у коме се пожар одвија, може се ближе дефинисати када настаје, када се завршава и шта тачно представља разбуктала фаза пожара. За разне просторе одвијања пожара и различите врсте горивих материја, разбуктала фаза пожара ће имати другачије параметре:

- брзине њеног настанка, односно прелаза из почетне фазе,
- брзине сагоревања гориве материје,
- интензитета ослобађања топлоте,
- максималне постигнуте температуре и
- времена трајања.

Код свих врста пожара, у разбукталој фази долази до ослобађања највеће количине топлоте од укупно ослобођене топлоте у току процеса сагоревања, од његовог почетка до потпуног изгарања или до прекида сагоревања услед гашења од стране ватрогасних екипа.

Познато је да са порастом температуре расте брзина хемијских реакција, што важи и за сагоревање. За пораст температуре за сваких 10°C , брзина хемијске реакције ће се удвостручити. Овакав однос увећаће брзину реакције око 1000 пута, ако се температура увећа за само 100°C . Количина топлоте која се ослободи у разбукталој фази пожара приближна је укупној топлотној моћи горива, јер се највећи део топлотне енергије свих горивих материја у пожарима, ослободи у овој фази.

Разбуктала фаза карактеристична је и по максималним вредностима постигнутих температура у пожарима.

У табели 1. дате су вредности топлотних моћи горивих материја које су често срећу у пожарима.

Табела 1. Топлотна моћ горивих материја

Назив материје	Топлотна моћ $[MJ/kg]$
Дрво	16
Полиуретан	23
Гума	35
Бензин	42
Дизел	44
Земни гас	36-41 $[MJ/m^3]$

Брзине сагоревања се знатно разликују код чврстих, течних и гасовитих горивих материја. Чврсте сагоревају спорије, течне брже, а експлозивне прашине, паре запаљивих течности и запаљивих гасова могу сагоревати експлозивно.

Опасности од повређивања, изазваних топлотом и димом, најизраженије су у разбукталој фази. У циљу ефикасног гашења, немогуће је безбедно прићи довољно близу жаришту пожара, без употребе заштите униформе и апарата за заштиту дисајних органа.

в) Размена топлоте у пожарима у фази живог згаришта. Пожар ће из разбуктале, прећи у фазу живог згаришта уз постепено смањење интензитета сагоревања, чиме се уједно смањује и величина пламена све до његовог потпуног нестанка, а то може бити изазвано недостатком гориве материје, дејствовањем ватрогасних екипа или природним појавама (киша или снег). Ослобађање топлоте у овој фази је још увек интензивно, нарочито код пожара чврстих горивих материја, због присуства велике количине жара.

У овој фази се и даље врши ослобађање преосталих количина од укупних топлотних моћи горивих материја, све до потпуног хлађења жара и продуката сагоревања. Ослобађа се и топлота из загрејаних конструктивних елемената објекта и предмета захваћених пожаром.

Ослобађање топлоте у фази живог згаришта може у неким случајевима трајати дуго, некад и више дана, нарочито ако дође до стварања већих наслага жара, помешаних са негоривим и горивим остацима који се често могу наћи у скривеним и недоступним местима. Овакво стање пожара условљено је пре свега због недовољног прилива ваздуха горивој материји, при чему долази до значајног успоравања процеса сагоревања, али не и до његовог потпуног заустављања.

Дуже трајање наведеног стања је један од предуслова и могућност за поновну појаву пламена и разбуктавања пожара и након неколико дана од прелаза из разбуктале у фазу живог згаришта. До разбуктавања пожара доћи ће у тренутку када се због неких промена на згаришту омогући прилив ваздуха до несагорелих остатака гориве материје. Прилив ваздуха и контакт са горивом материјом може се догодити на површини згаришта или у његовим дубљим слојевима. У дубину згаришта ваздух улази кроз ниже отворе, шупљинама се креће кроз слојеве и насlage згаришта, ступа у контакт са горивом материјом, а дим излази кроз горње отворе. Такође, до прилива ваздуха до несагорених остатака може доћи и приликом дејствовања ватрогасних екипа у току интервенисања и тражења жаришта, као и при чишћењу места пожара у фази санације.

Све опасности од повређивања изазване топлотом и димом су и даље присутне, али је евидентно њихово смањење у складу са смањењем интензитета горења, температуре и количине дима.

1.2.2. Размена топлоте према величини пожара

У зависности од величине пожара, односно количине и топлотне моћи гориве материје, биће ослобођена и сразмерна количина топлоте.

Знамо да се у ватрогасној тактици пожари према величини деле на следеће:

- а) мали пожари,
- б) средњи пожари,
- в) велики пожари и
- г) катастрофални (блоковски) пожари.

Развој пожара се управо и дешава преласком из једне величине пожара у другу величину наведеним редоследом. Важно је напоменути да се не развијају сви пожари до највишег нивоа.

Да би смо пратили развој пожара према величини, или се упустили у предвиђање његовог даљег развоја, морамо размотрити све параметре који се односе на гориву материју и ваздух.

За гориву материју важно је знати:

- количину,
- врсту,
- топлотну моћ,
- положај (распоред) и
- влажност.

За ваздух је важно знати:

- количину (прилив) и
- влажност.

Наведени параметри имају одлучујућу улогу у развоју пожара. Појединачно је њихова улога мање значајна, а у неким случајевима и безначајна, док под утицајем више параметара истовремено расте и значај појединачног параметра. На пример, можемо имати лако запаљиву гориву материју, али ако је у малој количини, неће доћи до значајног развоја пожара. Затим, можемо имати гориву материју у великим количинама, али са великом влажношћу, где такође неће доћи до развоја пожара, односно може доћи и до његовог гашења.

У случајевима када су сви параметри повољни за развој пожара, можемо предвидети и очекивати развоја пожара према величини до највишег нивоа.

Основни услов за развој пожара до нивоа катастрофе, односно блоковског пожара, је свакако количина гориве материје сконцентрисане на једној површини.

Постављају се питања:

- где су разграничења у наведеној класификацији, односно када кажемо да пожар у свом развоју прелази из једне у другу величину,
- какав утицај има сам пренос топлоте у пожарима на његов даљи развој по величини,
- да ли се утицајем на пренос топлоте у пожару, може вршити и утицај на његов развој,
- да ли се начини преноса топлоте у пожарима мењају у зависности од величине пожара и
- како смањивати утицај топлоте на човека у зависности од величине пожара.

а) Размена топлоте код малих пожара. Према тактици гашења пожара, малим пожарима захваћени су појединачни предмети, делови просторија или мања количина гориве материје на отвореном простору.

Ако у насталом пожару имамо ограничену, односно малу количину гориве материје, неће доћи до његовог значајнијег развоја и пожар ће као такав остати мали или евентуално средњи све до његовог гашења. Сви пожари чврстих материја у почетној фази развоја, су по величини истовремено и мали пожари.

Пожари појединих врста материја, пре свега лакозапаљивих течности, гасова и пара, врло брзо из почетне прелазе у разбукталу фазу, што уједно значи да ће за кратко време прерасти из мале у средње, затим велике или чак у катастрофалне, све у зависности од расположиве количине гориве материје. Код ових пожара, прелаз из једне величине у другу дешава се брзо, трајање мале и средње величине пожара је кратко, односно дешава се толико брзо да може бити мерено секундама. Брзина промена величина пожара ће директно зависити од брзине ширења пламена по површини запаљиве течности или у запремини запаљивих гасова и пара.

Због мање количине захваћене гориве материје код малих пожара, сразмерно томе биће ослобођена и мања количина топлоте, која може представљати опасност по човека само уз непоштовање минималног растојања и у случају директног контакта са пламеном, жаром и продуктима горења.

б) Размена топлоте код средњих пожара. Код средњих пожара захваћена је једна просторија или више њих или већа количина гориве материје на отвореном простору.

За разлику од малих пожара и пожара у почетној фази развоја, код којих простор одвијања још увек нема утицај на развој пожара, код средњих пожара ће простор одвијања испољити значајан утицај на утрошак кисеоника, стварање дима и преноса топлоте и у случајевима када имамо приближно исте количине гориве материје.

Код средњих пожара на отвореном простору, штетан утицај топлоте на човека, може се избећи безбедним растојањем, а за прилаз жаришту пожара неопходна је употреба одела за заштиту од топлоте.

Код средњих пожара у затвореном простору постоје ограничења која су условљена грађевинским конструкцијама, односно димензијама просторија, због којих често нећемо бити у могућности да се безбедним растојањем осигурамо од штетног утицаја топлоте. Просторије захваћене пожаром, а често и суседне просторије, у целокупној својој запремини изложене су дејству топлоте где је неопходна заштита од топлоте и дима.

в) Размена топлоте код великих пожара. Код великих пожара гори кров, спрат или подрум веће зграде или већа количина гориве материје на отвореном простору (већа складишта, пожар разливеног течног горива, велики пољски и шумски пожари итд.).

Достигнуте температуре код великих пожара у простору њиховог одвијања зависе од материје која гори, али свакако је код оваквих пожара достигнута температура стандардног пожара (око 900°C).

У пожарима који су достигли димензије великих пожара неопходно је поштовати безбедносна растојања уз обавезну употребу одела за заштиту од топлоте, укључујући и одела за прилаз и пролаз кроз пламен.

Достигнуте температуре могу угрозити стабилност објекта, као и омогућити преношење пожара на суседне објекте.

г) Размена топлоте код катастрофалних (блоковских) пожара. Катастрофални пожари су они код којих гори више зграда или насеље, или су њиме захваћена велика шумска подручја, велика складишта или постројења на отвореном.

Брзина ширења пожара, вредности достигнутих температура и количине ослобођене топлоте су највише код пожара који достигну катастрофалне размере.

Евакуација из зоне пожара је неопходна и хитна радња, коју треба спровести без одлагања, јер одела и опрема за заштиту од топлоте не могу пружити адекватну заштиту у дужем временском периоду.

1.2.3. Размена топлоте према простору одвијања пожара

Простор одвијања пожара може бити:

- а) отворен и
- б) затворен.

Од кључног је значаја за даљи развој пожара, из разлога што има одлучујући утицај на основне параметре пожара, који се односе на количине:

- ослобођене топлоте,
- утрошеног кисеоника и
- створеног дима.

Наведени параметри пожара, посматрани у одређеном тренутку, могу нам указати на тренутну величину пожара.

а) Размена топлоте у пожарима на отвореном простору. Код пожара на отвореном простору имамо слободне услове:

- прилива свежег ваздуха као доносиоца кисеоника,
- одвођења дима и
- одвођења топлоте.

Довољна количина кисеоника омогућиће потпуно сагоревање, што значи ослобађање веће количине топлоте.

Слободно ступање омогућиће ефикасно одвођење дима. На отвореном простору неће доћи до акумулирања топлоте, већ до њеног распростирања у простору.

Пренос топлоте од жаришта у околину врши се:

- зрачењем – у свим правцима,
- конвекцијом – у смеровима струјања дима и продуката горења, и
- кондукцијом – преноси се претежно кроз подлогу и предмете на отвореном простору.

Зрачење топлоте врши се директно из жаришта пожара и зоне горења, односно пламена.

Конвекцијом се топлота на отвореном простору преноси струјањем загрејаног ваздуха, дима и продуката горења у околину пожара.

Подлога и сви предмети изложени дејству топлоте жаришта и пламена примају и преносе топлоту.

Опасност од топлоте од пожара на отвореном простору, за жива бића и људе, је вишеструко мања у односу на пожаре у затвореном простору.

б) Размена топлоте у пожарима у затвореном простору. Код пожара у затвореном простору услови одвијања у односу на услове на отвореном простору су различити, могло би се рећи супротни. Сходно томе значајно ће се разликовати и динамика развоја пожара због ограничења која постоје у затвореним просторима, везана за прилив ваздуха, одвођење дима и одвођење топлоте.

Може се једноставно рећи да се у затвореном простору врши акумулација свега створеног у процесу сагоревања, и продуката сагоревања и топлоте. Прилив ваздуха код затворених пожара може бити ограничен у толикој мери да често срећемо случајеве код којих је расположива количина ваздуха за учешће у сагоревању ограничена само на количину у тој просторији, без додатног прилива. То се дешава у просторијама без отвора или у просторијама код којих су отвори затворени. То су такозвани невентилирани простори, у њима владају невентилирани услови одвијања пожара.

Одвођење дима код пожара у затвореним просторима је занемарљиво. У пракси се за пожаре у невентилираним условима каже, да се у току њиховог одвијања врши пуњење простора димом и продуктима непотпуног сагоревања. Докле ће трајати акумулација дима и продуката, зависиће од полазних количина гориве материје и кисеоника, тачније њиховог односа. Динамика развоја пожара у таквим просторима се значајно разликује у односу на отворене или вентилиране просторе. Свакако да ће због недостатка кисеоника доћи до значајног успоравања процеса сагоревања. Али то уједно не значи да ће доћи и до смањења деструктивног дејства пожара. Дим и продукти непотпуног сагоревања код невентилираних пожара представљају продужену руку његовог штетног дејства, које није испољено само на ближу околину око жаришта пожара, већ уз њихову помоћ се испољава на све делове простора, ма колики он био.

Поред дима, посебну опасност код пожара у невентилираним условима, представљају продукти непотпуног сагоревања. Њихово присуство не само да погоршава услове које ствара дим, већ представља и изузетну опасност од наглог убрзања динамике развоја пожара која може уследити наглим приливом веће количине ваздуха. Такве околности доводе до наглог развоја пожара из мале у развијене, а у екстремним условима и до појава налик експлозијама, које се у пракси зову „*flashover*“.

У затвореним пожарима се постижу највеће концентрације дима са свим штетним продуктима које он носи.

Одвођење топлоте код пожара у затвореном простору ограничено је грађевинским конструктивним елементима који у ствари представљају препреке на путевима простирања топлоте. Зато се у пожарима у невентилираним просторима постижу и највише температуре. Оне не само да далеко надмашују издржљивост живих бића, већ лако и брзо доводе до оштећења свих предмета и доводе их у неупотребљиво стање а на грађевинским објектима проузрокују делимично или потпуно рушење.

Због свих наведених разлога, пожари у затвореним просторима носе са собом и највеће опасности за све који се ту затекну и за ватрогасце који у њима улазе.

1.2.4. Резмена топлоте према врсти гориве материје

Врсте горивих материја које сагоревају у пожарима, имају пресудну улогу на њихов ток и развој. Сазнања о томе, које су гориве материје захваћене у пожарима, даће нам важне податке, на основу којих унапред можемо у великој мери знати, како ће се пожар даље развијати. Познавање динамике развоја пожара, различитих горивих материја, даће нам низ драгоцених података, од којих су свакако најзначајнији:

- могућност стварања експлозивних смеша,
- брзине сагоревања горивих материја,
- продукти сагоревања и њихове штетности,
- количине ослобођене топлоте и
- максималне температуре сагоревања,

На основу познавања наведених карактеристика горивих материја, унапред можемо знати или одредити:

- токове развоја пожара,
- опасности и последице по жива бића и окружење,
- смернице за начине спровођења интервенција гашења и
- потребне снаге, опрема и средства за гашење.

Зависности размене топлоте у пожарима од врсте горивих материја, свакако постоје и карактеристичне су за сваку материју посебно. Према врсти гориве материје разликујемо:

- а) пожаре класе „А“,
- б) пожаре класе „В“,
- в) пожаре класе „С“ и
- г) пожаре класе „D“.

а) Размена топлоте у пожарима класе „А“. У пожарима класе „А“ сагоревају чврсте гориве материје које у свом саставу имају угљеник и код којих се као продукт горења, поред дима јавља и пепео као остатак. Највећи број пожара, од укупног броја, су пожари класе „А“.

Брзина сагоревања је различита за разне врсте горивих материја, а разликује се и за исте врсте материја у зависности од уситњености и влажности. Уситњене и суве материје ће сагоревати брже и интензивније уз ослобађање веће количине топлоте, док ће крупније и влажне материје сагоревати спорије са мањим интензитетом јер ће се део топлоте трошити на испаравање воде. Ако су довољно уситњене да могу лебдети, могу са ваздухом стварати експлозивне прашине.

Процес сагоревања одвија се у три фазе (разлагање, испаравање и сагоревање) што значи да ће се значајан део топлотне енергије трошити за одржање

процеса горења. Управо та чињеница има пресудну улогу и код начина заустављања процеса сагоревања, хлађењем гориве материје испод тачке паљења.

Са недовољном количином кисеоника долази до стварања продуката непотпуног сагоревања, који уз прилив свежег ваздуха могу бурно сагоревати, при чему долази до „fleshover“-а.

Штетан утицај на жива бића, објекте и ствари свакако има пламен својим топлотним дејством, а велике количине створеног дима и остатка жара, тај утицај додатно повећавају. Ово указује да је потребна комплетна опрема за заштиту од топлоте и заштиту органа за дисање.

б) Размена топлоте у пожарима класе „В“. У пожарима класе „В“ сагоревају запаљиве течности, најчешће деривати нафте. Њихове паре могу са ваздухом стварати и експлозивне смеше.

Брзина сагоревања је велика, пламен се врло брзо шири на целу површину запаљиве течности.

Процес сагоревања одвија се у две фазе (испаривање и сагоревање) што значи да ће се део топлотне енергије трошити за испаривање. На површини запаљиве течности брзо ће доћи до кључања, које се код неких одвија већ на око 80°C. Њихове специфичне тежине су мање у односу на воду. Због ових чињеница, вода није погодно средство за гашење, јер их не може охладити испод тачке кључања и пропада кроз њих, док оне испливавају на површину и настављају да горе. Може доћи до појава које се у пракси зову „закаснило врење“, услед којих може из резервоара бити избачена већа количина запаљиве течности у околину резервоара.

Опасности по жива бића, објекте и ствари су израженије у односу на чврсте гориве материје због већ поменутих фактора брзине сагоревања и изливања, што доводи до брзог ширења пожара, уз могућност стварања експлозивних смеша.

а) Размена топлоте у пожарима класе „С“. У пожарима класе „С“ сагоревају формиране смеше запаљивих гасова и пара. Сагоревање може бити у виду пламена или експлозије.

Сви запаљиви гасови и паре имају своје доње и горње границе запаљивости, односно експлозивности. Највише енергије ослободиће се, или најјаче експлозије дешаваће се када су запаљиви гасови или паре у стехиометријским односима са кисеоником из ваздуха.

Поред топлотног дејства, експлозије запаљивих смеша гасова и пара имају и изразито испољено дејство великог притиска продуката сагоревања, до чијег повећања долази готово тренутно. После примарног ударног таласа, одмах долази до појаве секундарног, повратног таласа.

Температуре у простору одвијања експлозије далеко надмашују могућност заштите заштитних одела. Другим речима, не постоји адекватна заштита од топлотног

дејства у експлозијама запаљивих гасова и пара, већ постојећа заштитна одећа могу само до некле ублажити последице дејства топлоте.

а) Размена топлоте у пожарима класе „D“. У пожарима класе „D“ сагоревају лаки метали (алуминијум, магнезијум) и земноалкални метали (натријум). Сврставање ових чврстих горивих материја у посебну групу, извршено је због њихове неупоредиво веће температуре сагоревања у односу на материје из класе „A“. На пример магнезијум при сагоревању достиже температуру и до 3100°C.

Важно је напоменути да сагоревање горивих материја класе „D“ у великој мери зависи од величине и облика комада. Крупнији комади ће се теже палити, док се комади у облику листова пале лакше. Приликом горења не формирају висок пламен, код магнезијума на пример не прелази 30cm. На температурама које се јављају у пожарима класе „D“, долази до пиролитичког разлагања воде на водоник и кисеоник и стварања праскавог гаса, тако да се она из тог разлога не може користити за гашење. Заштита од топлоте спроводи се уз употребу комплет опреме за заштиту од топлоте и сигурносним растојањима од жаришта пожара.

2. ОТПОРНОСТ ЧОВЕКА НА ТОПЛОТУ У ПОЖАРИМА

Без опреме за заштиту од топлоте, отпорност човека у пожарима је веома мала. Штетно дејство топлоте у пожарима испољава се повредама на кожи у виду опекотина и компликацијама у органима за дисање изазваних врелим гасовима и димом, а последице могу бити и са смртним исходом у току пожара или касније током лечења.

Здравствени проблеми везани за опекотине које покривају велике површине тела, укључују огроман губитак течности и екстремни су потенцијал за инфекције, после губитка великог дела заштитних слојева коже. Преживљавање здравих одраслих особа и тинејџера, могу се нормално очекивати када мање од 20% површине тела има опекотине другог и трећег степена (проценат делова тела: глава 7%, руке 14% и дланови 5%). Стопа преживљавања брзо опада за лица која имају више од 50% површине тела покривено дубоким опекотинама, па чак и уз интензивну медицинским негу мало је вероватно да ће преживети.

Биолошки материјали су веома сложени јер се састоје од више различитих врста ћелија, које су саме по себи нехомогене у функционалном, структурном и електромагнетном смислу. У смислу простирања топлотног електромагнетног таласа, овакве средине се сврставају у групу полупроводних средина [9].

Кожа представља 14-16% од укупне телесне масе одраслог човека и највећи је орган у људском телу. Кожа је веома сложен орган и има више улога у организму и то:

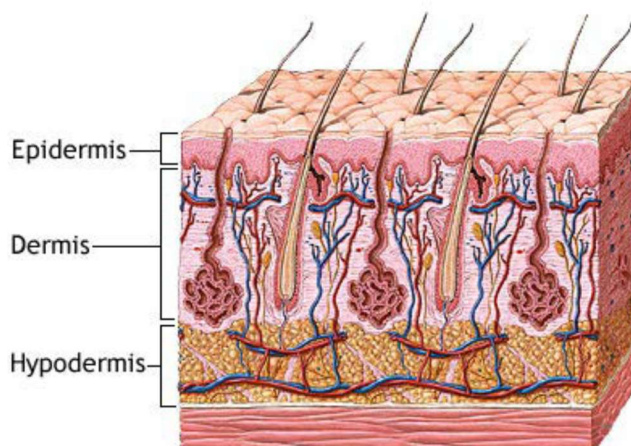
- сензорску – служи као орган за контактна чула као што су бол, топлота, хладноћа, притисак, додир;
- терморегулациону – термички гледано служи као генератор, апсорбер, трансмитер, проводник и испаривач топлоте;
- заштитну – спречава улазак страних тела као што су микроорганизми и штити основна ткива од различитих повреда, као што су механички утицаји, топлота, хладноћа, биолошке повреде итд.
- складишну – кожа делује као резервоар за воду и храну, масно ткиво и спречава сувишан губитак воде из организма;
- кожа помаже процесу излучивања воде, соли, уреје, млечне киселине и служи као складиште витамина D.

Међутим, у екстремном окружењу, људи могу да осећају непријатност или чак бол због екстремне топлоте или хладноће, а у неким случајевима може доћи и до повређивања ткива коже, што за последицу може имати фаталан исход. Очигледно, кожа не може да заштити људско тело када је температура ван нормалног физиолошког опсега.

Да би смо разумели физиологију опекотина коже, потребно је прво схватити функцију и грађу коже. Компоненте коже, могу се поделити на три основна слоја: епидермис, дермис и хиподермис [9].

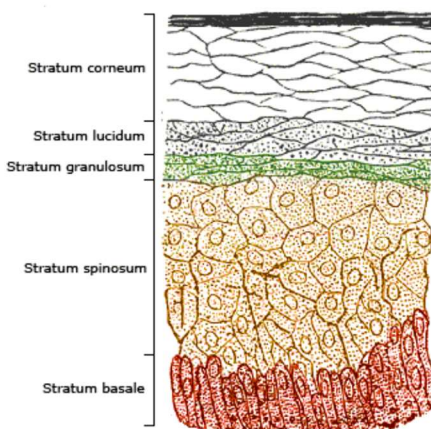
2.1. ГРАЂА КОЖЕ

Три главна слоја коже приказана су на слици 2.1, док дебљина ових слојева зависи од локације коже [9].



Слика 2.1. Слојеви коже – 3 главна слоја, [9]

Епидермис је дебљине од 75 - 150 μ m (осим на длановима и табанима где је то од 0.4 - 0.6mm) и то је спољни слој коже. Овај слој коже садржи и живе и мртве ћелије [10,11].



Слика 2.2. Вишеслојан плочаст кератизован епител коже човека, [10,11]

Танка кожа изграђена је од четири, а у дебелој има пет слојева ћелија.

Дермис сачињава већи део људске коже и чини 15% до 20% од укупне телесне тежине. Дермис је много дебљи (1~4 mm), [11], од епидермиса и састоји се од три фибринска протеина: колагена, еластина и мало ретикулина. У дермису има крвних судова, нерава, лимфних судова, као и додатака коже, као што су фоликуле, мали

коси мишићи, лојне жлезде и знојне жлезде, који се држе заједно колагеном. Дермис игра важну улогу у терморегулацији и васкуларној мрежи за снабдевање неваскуларизованог епидерма хранљивим састојцима. Дермис је генерално подељен на два слабо препознатљива слоја и то папиларни слој и доњи ретикуларни слој. Папиларни дермис је танки спољашњи део дермалног везивног ткива и представља око 10% дебљине дермиса. Он садржи мање и више лабавија еластична и колагена влакна од основног ретикуларног дермиса. Ретикуларни дермис представља већи део дермиса. Ово густо колагено и еластично везивно ткиво, садржи релативно малу количину ћелија и вена [8].

Кожно-епидермална баријера је важан интерфејс механичке везе између епидермиса и дермиса. Састоји се од базалне мембране која је таласастог облика и обезбеђује физичку баријеру за ћелије и велике молекуле. Чврстоћа везе одређена је деловима епидерма који продире у папиларни дермис.

Колаген је прилично крут и тежак протеин који је главни састојак екстрацелуларног матрикса везивног ткива и главни је структурни елемент разних меких ткива, преко којег се обезбеђује структурни интегритет.

У дермису је колаген главни састојак и чини приближно 60% до 80% масе коже без масти тј. 18% до 30% од запремине дермиса [11]. Улога колагена је да кожи омогући затезна својства.

Еластин је један од најстабилнијих нерастворљивих протеина у телу, и заузима јако мали удео у укупној запремини коже. Дебљине је око 100 μ m и по грађи је уврнутији него влакна колагена.

Еластин се налази у кожи, зидовима артерија и вена, и плућном ткиву. Ова влакна поседују изузетну еластичност, што објашњава и њихово име. Према понашању то су еластомери тј. имају мали еластични модул и враћају се њиховој изворној величини, чак и после значајног истезања. Структуре ткива са еластином, као основним градивним материјалом, интересантне су због својих специфичних биомеханичких својстава. Еластин има аморфну мрежну структуру која омогућава високу еластичност његових влакана која су изграђена од дугих флексибилних ланаца молекула.

Аморфна везивна супстанца чини око 20% тежине суве коже и 70% до 90% запремине коже [12]. То је геласти супстанца, даје кожи карактеристике сличне гуми. Све заједно, ове супстанце овако повезане, заузимају форму гела, који не цури при некој повреди коже, чак и под дејством великог притиска.

Хиподермис је трећи главни слој коже (такође се назива и поткожна маст), који се састоји од растреситог масног везивног ткива. Дебљина масти варира од скоро ништа у појединим областима до 1.5 - 2,0 cm у другим областима. Хиподермис, поред масти, садржи велике крвне судове и нерве. Дебљина слојева знатно варира по површини тела [11], а такође зависи и од старости, пола, расе и ухрањености појединца. Делује као изолациони слој и заштитни јастук и чини око 10% укупне телесне тежине [13].

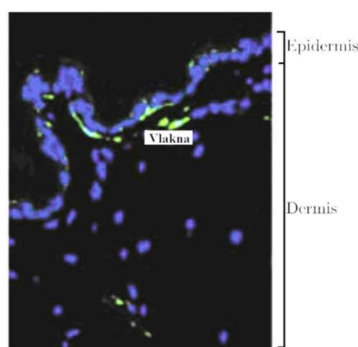
2. Отпорност човека на топлоту у пожару

Додаци у кожи су коса, знојне жлезде и рецептори и имају веома важну улогу у терморегулацији. Знојне жлезде су једноставне, јако савијене, цевасте жлезде, слика 2.3, [14]. Генерално, простиру се дубоко у кожи и састоје се од три дела: секреторног дела, који је савијени регион знојне жлезде и налази се у дермису; канала за излучивање, и спирале у епидерму, која пролази кроз ћелије епидерма све до површине коже. Кожа је јако осетљив орган према екстерним утицајима. Бројни инкапсулирани и слободни сензорни нервни завршеци су без одговора при стимулацији температуром (топлота и хладноћа), притиском и додиром.



Слика 2.3. Знојна жлезда у кожи, [14]

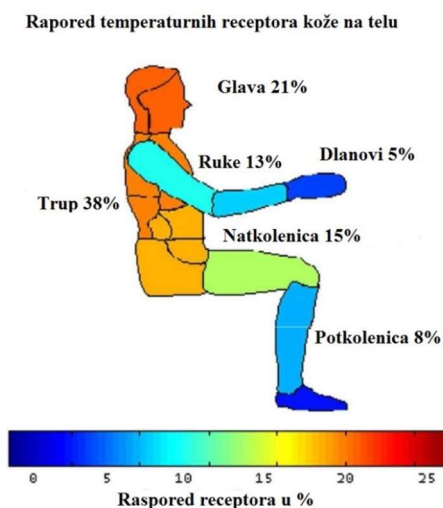
На слици 2.4 - приказани су нервни завршеци за бол и за епидермис и за дермис.



Слика 2.4. Хистолошка секција слободних нервних завршетака у кожи, [15]

Нервни завршеци су присутни у различитим слојевима коже, као и да терморептори могу да информишу централни нервни систем не само о апсолутној температури, већ и о вредности и правцу топлотног протока кроз кожу.

Рецептори и за топлоту и за хладноћу налазе унутар дермиса, али су за хладноћу смештени мало дубље у односу на рецепторе за топлоту. Оба типа рецептора су апроксимативно око 1mm у пречнику и рецептора за хладноћу има има од 3-10 пута више, распоређених кроз ткиво коже, слика 2.5, [15].

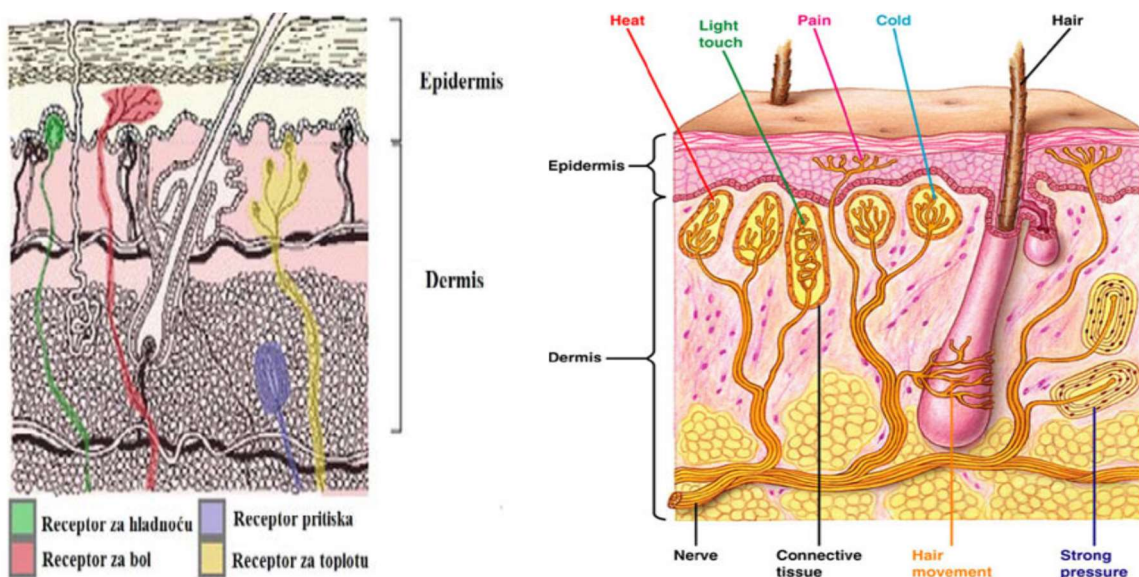


Слика 2.5. Распоред кожных температурних рецептора, [15]

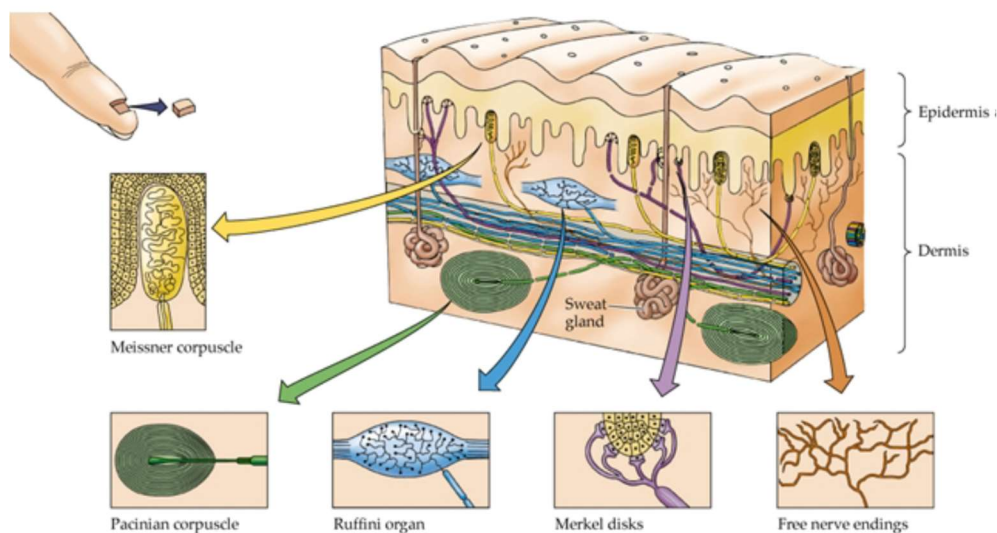
Рецептори бола се активирају само на граничним вредностима опсега хладноће или топлоте, док су рецептори за топлоту и хладноћу активни унутар целог температурног опсега, слика 2.6 [8].

Генерално гледајући рецепторе у кожи можемо поделити у неколико основних група слика 2.7. и то су:

- **Слободни нервни завршеци.** Функција: емитују информације о болу у мозак у потенцијално опасним ситуацијама. Локација: налазе се у већини површинских слојева коже у епидермалном слоју.
- **Meissner-ова телашца.** Функција: преносе информације о лаганом додиру и имају важну улогу у одређивању облика, ивица, и текстура. То су фазни рецептори са малим рецепторним пољем, дају осећај финих тактилних стимулација и омогућавају просторну дискриминацију. Локација: налазе се у већини површинских слојева коже у врху дермиса и посебно у великом броју на врховима прстију, усана и спољашњих гениталија.
- **Pacinian (Lamellar)-ова телашца.** Функција: оптимизована су за откривање осећај вибрација. Ови рецептори се брзо адаптирају на стимуланс и не реагују на стални стимуланс и имају велико рецепторно поље. Локација: налазе се дубље у кожи у поткожном слоју.
- **Ruffini-јеви завршеци.** Функција: одговори на притисак на кожу и то су рецептори за топлоту и то су споро-адаптирајући рецептори. Локација: налазе се у дубљем слоју дермиса.
- **Krause-ово телашце.** Функција: реагује на притисак и ниску температуру. Локација: налази се у дермису усана, језика и гениталија [8].



Слика 2.6. Распоред рецептора унутар коже, [8]



Слика 2.7. Пресек коже са рецепторима, [16]

Васкуларни систем, преко кога се остварује терморегулациона функција коже остварује се углавном модификованим протоком крви, која се огледа у микроциркулацији кроз артерије, магистралне и венске капиларе и вене. Већина микроваскуларног система налази се у папиларном дермису на 1 до 2 μm испод епидермиса [16].

2.2. ОСОБИНЕ КОЖЕ

Кожа као покривач, поред заштитне улоге од разних штетних дејства која долазе из спољне средине, има и извесну заштитну улогу од топлоте. Пренос топлоте у кожи се одвија углавном процесом кондукције, а мањим делом и зрачењем у површинским слојевима, у зависности од врсте и снаге, тј. дубине пенетрације електромагнетних таласа. Процеси преноса топлоте у кожи спојени су са компликованим физиолошким процесима који укључују циркулацију крви, знојење, метаболичко стварање топлотне енергије, а понекад и одвођење топлоте путем длака изнад површине коже. Топлотна својства коже варирају у различитим слојевима, чак и у неком истом унутрашњем слоју постоји велика нехомогеност и анизотропија због присуства крвних судова. И физиолошки процеси и термичка својства коже су под утицајем већег броја фактора, као што су температура, оштећење, притисак и старење итд.. Кожа је активан, само-регулишући систем, тако нпр. пренос топлоте кроз кожу драматично утиче на стање коже и може довести до прерасподеле у протоку крви кроз кожу која се налази изнад кожно васкуларне мреже и на тај начин утицати на укупан пренос топлоте у ткиву коже [8].

У односу на механичко понашање ткиво коже може бити хетерогено, анизотропно, нелинеарно и високоеластично (ако је јако нехомогене структуре и састава). Такође је и под утицајем много фактора, као што су старост, пол, хидратација и сл.

Главни састојак суве коже је колаген. Током загревања, услед термичке денатурације колагена, долази до термички индукованог механичког стреса, који доводи до термичког скупљања. Термичка скупљања могу се користити за мерење термичког оштећења [17, 18] доказано је да бруто скупљање пружа исте информације о кинетици денатурације као и биохемијске анализе. Утврђено је да је механичко оптерећење исто тако важно као и вредност температуре током скупљања [19]. Шта више, током денатурације, не долази само до структурних промена, већ и до промена у хидратацији колагена, дакле, није изненађујуће да термичка денатурација колагеног ткива може да доведе до изузетне промене у механичким, термичким, електричним и оптичким својствима. Из овога следи да су повреде, напрезања и температура тесно повезани.

Рефлексија коже варира са садржајем влаге у њој, а садржај влаге у кожи од релативне влажности околине [20]. Нормална људска кожа рефлектује преко 20 % инцидентне енергије у блиском инфрацрвеном делу спектра. Људска кожа нормално садржи одређени проценат воде, која је позната као добар апсорбент.

Проценат апсорпције топлотног флуksа од стране коже, варира са таласном дужином зрачења и дебљином коже. Примећено је да је да се фракција спектралне енергије која улази у кожу и апсорбује, повећава са дебљином коже. Људска кожа апсорбује зрачење у блиском инфрацрвеном делу спектра апсорпционом фракцијом, која је у зависности од таласне дужине.

2.3. ДЕЈСТВО ТОПЛОТЕ НА КОЖУ

Пренос топлотне енергије у живом ткиву је сложен процес који обухвата више феноменолошких механизма, укључујући проводљивости, конвекцију, зрачење, метаболизам, испаравање, и фазну промену. Термичке појаве или пренос топлоте у кожи, су углавном процеси топлотног провођења, заједно са компликованим физиолошким процесима, као што су циркулација крви, знојење, метаболичко стварање топлотне енергије, и понекад, одвођење топлоте преко косе или површине коже.

Када се кожа загрева до температуре изнад критичне вредности ($\approx 44^{\circ}\text{C}$), јавља се болна сензација (непријатано сензорно и емоционално искуство). Сходно томе, термичко оштећење ткива коже узрокује деструкцију ћелија уз ослобађање бројних споредних продуката ткива и медијатора који ће активирати и сензибилизирати рецепторе бола, што се огледа у продуженом, постстимулативном осећају бола (Hiperpathia) и повећању одговора на нормално болан стимулус (Hiperalgezija). Термички индуковани стрес приликом загревања, због неуједначне расподеле температуре може довести до осећаја термичког бола. Подаци из праксе показују да при истом нивоу активности рецептора бола, топлотни стимуланс изазива више бола него механички стимуланс и да деформација ткива због грејања и хлађења може да објасни порекло бола [21].

Када се биолошко ткиво излаже температурама већим од физиолошких, структура протеина и ћелијских органела може бити измењена, резултирајући одумирање ћелија, а затим и некрозу ткива. Термичка оштећења коже или опекотине су најчешће тип трауме које сусрећемо у цивилству и у војсци и настала су најчешће контакт са врућим течностима и површинама, пламеном, хемикалијама, електричним изворима и неадекватном применом термичких третмана у медицинске сврхе.

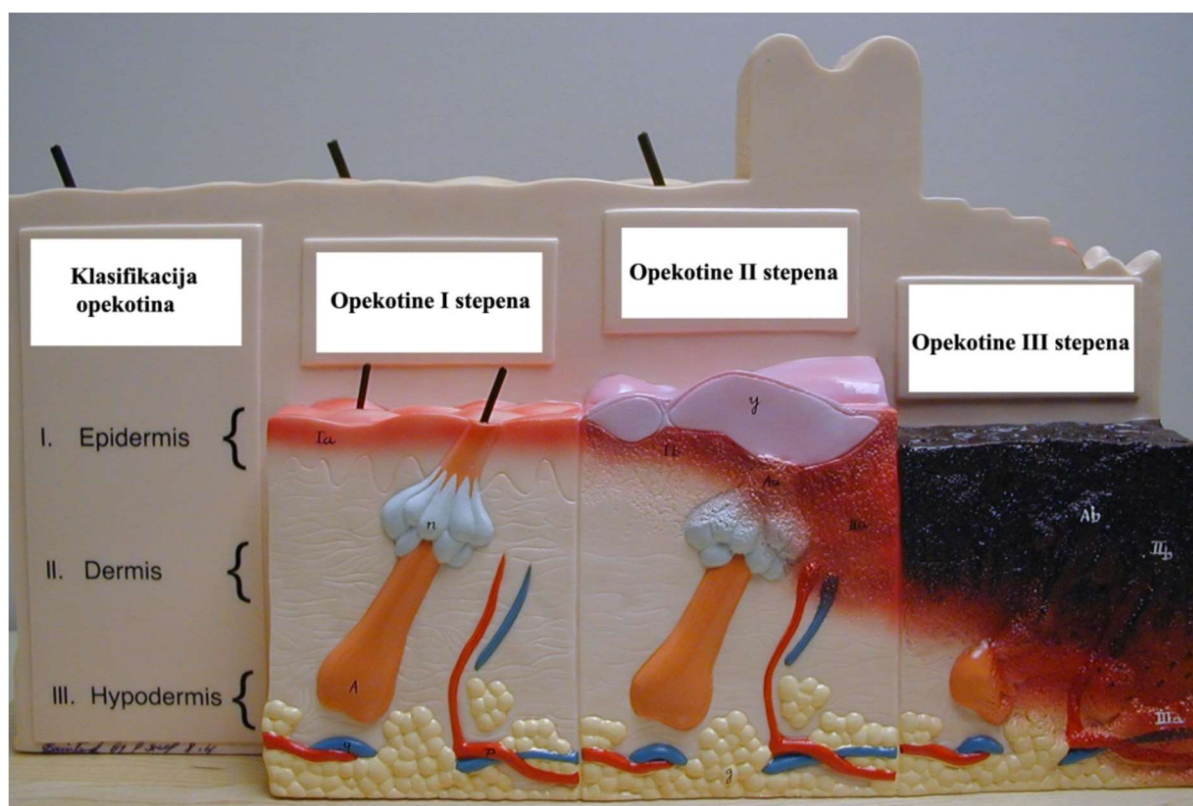
Када се кожа загрева изнад критичне температуре (44°C), долази до оштећења ћелија уз појаву великог броја нуспродуката ткива и медијатора који ће активирати рецепторе бола. Оштећење ткива опекотинама изазива велику болну сензацију, коју је тешко контролисати, а такође може довести и до оштећења рецептора узрокујући хладну алодинију (каузалгију) и хроничну бол, као и посттрауматски стресни психички поремећај.

Проток крви има велики утицај на процес преноса топлоте у живим ткивима. Број крвних судова у васкуларној мреже ткива је обично велики и проток крви кроз њих има различите утицаје на пренос топлоте. Ефекат крвних судова на пренос топлоте снажно повезан са величином крвних судова.

Патологија опекотина, њихов опис и ефекти појединачног термичког зрачења, поређани према растућој јачини, дати су у табели 2.1, а класификација опекотина приказана је на слици 2.8.

Табела 2.1. - Ефекти термичког зрачења на кожу, [8]

Тип опекотине	Манифестација
Први степен	Дуготрајно црвенило
Други степен: - Блажи - Дубљи	Мање изражена појава пликова Пуна појава пликова
Трећи степен	Калцинација, спаљеност



Слика 2.8. - Класификација опекотина, [8]

Опекотине првог степена укључују епидермис. Код њих постоји црвенило услед ширења (вазодилатације) субпапиларних крвних судова али не и пликови. Остали пропратни ефекти су појава минималног површинског едема насталог акумулацијом серума и иритација нервних завршетака у слојевима дубљим од *stratum corneum*-а. Такође се осећа и извесна пролазна непријатност. Већина опекотина од сунца спада у ову групу.

Опекотине другог степена могу бити површинске и дубинске. Прве оштећују епидермис и део дермиса, укључујући мању појаву пликова уз оштећење само површинског слоја коже. Дубинске опекотине продиру дубље у дермис и озбиљније га оштећују.

Опекотине трећег степена уништавају и епидермис и дермис, а са некрозом може да се протеже и до поткожног ткива. Код опекотина трећег степена нема појаве пликова, али је зато кожа сува, сиве боје и тврда, губе се перцептивна својства са малом могућношћу регенерације.

Појмови опекотина другог и трећег степена су увелико омогућили карактерисање опекотина по питању дубине, препоручујући поделу на потпуне дубинске опекотине и друге опекотине.

У литератури [22] се може пронаћи подела која укључује и постојање опекотина четвртог степена, које захтевају пресађивање коже, па чак и петог и шестог степена, које укључују оштећење мишића и кости.

Повреде од опекотина су тесно повезане са температуром коже. Бол се осећа при температури од 44°C . Повреде настају изнад ове температуре.

Степен повређивања изнад температуре од 44°C убрзано расте са порастом температуре. Део оштећења настаје и током периода расхлађивања, пошто се уклони извор топлоте.

Постоји приближни однос стопе повређивања за сваких 1°C пораста температуре. Тако је стопа повређивања на 50°C неких 100 пута већа него на температурама од 44-45°C. Одавде следи да је степен оштећења коже, функција температуре коже и времена за које је кожа била излагана температури изнад 44°C. Ово даље значи да до опекотина долази и при фази загревања и при фази хлађења. При излагању нижим интензитетима термичког зрачења 90% оштећења настаје током фазе загревања, а при излагањима високим интензитетима 65%. Са практичног становишта, ово не изгледа чудно, јер се при брзој употреби леда у превенцији настанка плика, може смањити повреда од опекотина за трећину.

Када се већ осети бол, у ситуацији пожара, може бити прекасно да уклоните заштитну одећу на време да би спречили опекотине. Ово је можда један од разлога што многи искусни ватрогасци одбијају да носе заштитне капуљаче које покривају њихове уши. Традиционално су ватрогасци користили уши као индикатор опасно високе температуре. Иако постоје предности у заштити лица, ушију и врата, посебан опрез мора да постоји. Додатна заштитна опрема може да дозволи ватрогасцу да уђе у собу у којој је опасно вруће и да проведе дуго времена у таквом простору. Време за које осети бол, често је предуго да се избегну опекотине у таквој ситуацији. При флуксу од око 1.7kW/m², бол се не осећа, без обзира колико времена трајало излагање.

Пликови почињу да се формирају на дну базалног слоја, приближно 80 μ m испод површине коже, а може се дефинисати као одвајање епидерма од дермиса.

Табеле 2.2. и 2.3. показују неке границе бола и повреда које су дате у литератури под појмовима термичке радијације.

Табела 2.2. Неке границе бола и повреда од термичке радијације, [23]

Интезитет термичке радијације, [kW/m ²]	Повреде
1	Ниво који је толерантан само за одевеног човека
1,5	Праг бола
2,1	Ниво на ком се осећа бол после 1 минута
4,7	Праг бола. Просечно време да се осети бол, 14.5 s
8	Ниво који проузрокује смрт за неколико минута

Табела 2.3. Време појаве бола и праг појављивања пликова, [23]

Интезитет термичке радијације, [kW/m ²]	Време појаве бола, [s]	Интезитет термичке радијације, [kW/m ²]	Време појаве пликова, [s]
4,2	13,5	4,2	33,8
5,2	10,1	5,6	20,8
6,3	7,8	6,3	16,8
8,4	5,5	7,8	13,4
12,6	2,9	8,4	12,6
16,8	2,2		

Опекотине другог и трећег степена настају ако се субјекат излаже топлотном флуксу од 60kW/m² у трајању од 1s, односно при излагању топлотном флуксу од 10kW/m² за 10s. Али треба бити опрезан у примени овог критеријума за вредности топлотног флукса изнад 50kW/m² и испод 10kW/m², јер овај критеријум није обухватио ове опсеге излагања, а познато је и да при дуготрајом излагању нижим вредностима топлотног флукса проток крви кроз ткиво и знојење има велики утицај на укупно сагледавање проблема [23].

Код високих интезитета термичке радијације сувишна топлота утиче на испаравање течности из ткива, а овај ефекат је познат као аблација (одстрањивање). Повреде које настају у овим условима су означене као „пликови паре (воде)“. Хистолошка испитивања у овим експериментима су показала да је термичка радијација била сувише снажна да проузрокује формирање „пликова паре“ што доприноси умањењу ткивног оштећења.

Реакција човека на пожар зависи од: природе пожара и од свесности особе. Примарно, везано за опекотине, разматра се случај појаве ватрене лопте, а затим случај убрзаног ширења пламена. За друге случајеве, попут груписаног пожара, обично се сматра, да се појављују постепено, тако да дозвољавају више времена за

удаљавање, мада ово не мора увек бити тако. Прорачуни о повредама опекотина говоре да је време реаговања човека 5 секунди.

Заштита коју пружа одећа је ограничена чињеницом да се овде разматрају интезитети термичке радијације који су у опсегу запаљивости. Треба правити разлику између свакодневне одеће и ватрогасних одела. Ватрогасна одела су дизајнирана да буду отпорна на пожар.

Табела 2.4. - Смртност у случајевима који су хоспитализовани са повредама опекотина и опрљотина у функцији степена изложености површине тела и старосне групе (J.C.Lawrence, 1991), (Courtesy of the Fire Safety Journal)

Спољна површина тела (%)	Старост (година)																	
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85+
93+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
88-92	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
83-87	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
78-82	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
73-77	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
68-72	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1
63-67	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1
58-62	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1
53-57	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1
48-52	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1
43-47	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,9	1	1	1	1	1
38-42	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,8	0,9	1	1	1	1
33-37	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,7	0,9	1	1	1	1
28-32	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8	0,9	1	1	1
23-27	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	1
18-22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9
13-17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,3	0,5	0,6	0,6	0,7
8-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4
3-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
0-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1

Смртност од опекотина приказана је у табели 2.4. која показује смртност међу особама примљеним са опекотинама или опрљеном кожом, која је у функцији старосне доби и процента изложеног тела. Број случајева у седмогодишњем истраживачком раду је 3044.

Удео жртава од опекотина који су умрли, а да нису примљени у болницу је вероватно врло мали, и немогуће га је навести. Зна се да су један значајан део таквих случајева жртве пожара у зградама који су умрли од последица дима и опекотина. Табела 2.4 узима у обзир повређене по старосним групама. Старије особе су нарочито ризична група код овог типа повреда.

3. ТОПЛОТНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ВАТРОГАСНИХ ЗАШТИТНИХ ОДЕЛА

Учествовање ватрогасаца-спасилаца на интервенцијама гашења пожара, обукама и увежбавањима без неопходне заштитне опреме је незамисливо, јер ће у тим случајевима бити директно изложени опасностима од:

- топлоте,
- продуката сагоревања,
- хемијских супстанци и
- повређивања.

Наведене опасности стално су присутне, само се у појединим тенуцима мењају њихови нивои заступљености, односно доминације. Коришћењем заштитне опреме се умањују опасности и штетна дејства којима су изложени ватрогасци, али одмах треба нагласити да потпуна заштита не постоји.

Први разлог за такву констатацију, лежи у чињеници да једноставно постоје ограничења у квалитету материјала који се користе за израду заштитне опреме, и то пре свега у погледу њихових термодинамичких и механичких својстава. И поред тога што се тежи изради заштитне опреме за ватрогасце са што бољим карактеристикама квалитета, она ипак може пружити ограничену заштиту, односно заштиту до одређеног нивоа у односу на екстремне услове који владају у пожарима, пре свега високе температуре, агресивне материје и механичка напрезања.

Други разлог је тај што, обезбеђивање вишег нивоа заштите истовремено представља и могућност за улазак ватрогасаца-спасилаца у зону превеликог ризика, који би врло лако услед отказа опреме или најмање људске грашке могао доћи до пуног изражаја са свим опасностима, са тешким или фаталним последицама по њихову безбедност.

Зато је стално присутна, најпре потрага за квалитетнијом заштитном опремом са што бољим техничким карактеристикама и свим другим перформансама, а упоредо са тим и процена о потребном нивоу квалитета заштите за учествовање ватрогасаца-спасиоца на одређеним врстама интервенција и извршавању различитих и све сложенијих задатака.

Заштитна опрема пружиће могућност за коришћење унапред познатих и већ одређених нивоа заштите који се од ње очекује на интервенцијама и извршавању разних задатака, а та очекивања биће испуњена само у случајевима када се поштују основни услови за коришћење заштитне опреме и то:

- користити опрему која испуњава све захтеве квалитета у складу са важећим стандардима,
- упознавање свих корисника пре употребе са карактеристикама и могућностима које пружа заштитна опрема је предуслов за њено безбедно коришћење и
- користити комплетну заштитну опрему са свим неопходним деловима у зависности од врсте интервенција.

3.1. ВАТРОГАСНА ЗАШТИТНА ОДЕЛА

Коришћење непрописне заштитне опреме, непознавање њених карактеристика или изостанак само једног дела заштитне опреме може бити разлог за повређивање са лакшим или тежим последицама или разлог за неуспешност интервенисања појединца, што по правилу доводи и до неуспешности екипе, а на крају и целе интервенције. Зато је на интервенцијама гашења и пожара и спасавања неопходна употреба комплетне заштитне опреме, у коју спада:

- **Лична заштитна ватрогасна опрема** – која је на задужењу сваког ватрогасца-спасиоца, коју чини:
 - Радно заштитна одећа и обућа и
 - Интервентна заштитна опрема.
- **Заједничка заштитна ватрогасна опрема** – којом располаже ватрогасна јединица, коју чини:
 - Заштитна опрема од пламена и топлоте,
 - Опрема за заштиту органа за дисање.
 - Опрема за заштиту од киселина, база и агресивних материја и
 - Опрему за заштиту од радиоактивности.

У овом раду биће речи само о заштитној ватрогасној опреми која пре свега штити ватрогасце-спасиоце од штетног дејства топлоте у пожарима, која истовремено има и заштитну улогу од механичких и других повреда и то:

1. **Радно заштитна одећа и обућа**, лична заштитна ватрогасна опрема за гашење пожара на отвореном простору,
2. **Интервентна заштитна опрема**, лична заштитна ватрогасна опрема за гашење пожара у затвореном простору и учествовање у свим другим интервенцијама,
3. **Заштитна опрема од пламена и топлоте**, заједничка заштитна ватрогасна опрема, коју чине одела за пролаз кроз ватру.

3.1.1. Радно заштитна одећа и обућа

Радно заштитна одећа и обућа, коју имају сви ватрогасци-спасиоци на личном задужењу, користи се за рад ватрогасаца-спасиоца при обављању редовних активности у току смена, прегледу и одржавању ватрогасних возила и опреме, извођењу наставе и обуке, а може се користити и за учествовање на интервенцијама гашења пожара на отвореном простору (пожара траве, ниског растиња, шумских пожара и слично). Изглед радно заштитне одеће и обуће дат је на слици 3.1.

У личну радно заштитну одећу и обућу спада:

- Јакна од ватроотпорног материјала са улошком,
- Панталоне од ватроотпорног материјала са улошком,
- Термо мајица, кратак рукав (Т мајица),
- Мајица, кратак рукав (памук 100%),
- Поло мајица са крагном, кратак рукав,
- Поло мајица са крагном, дуги рукав,
- Џемпер са рол крагном (термо дуксерица),
- Каиш за панталоне,
- Качкет,
- Зимска капа,
- Полудубоке кожне ципеле,
- Силиконске и платнене функционалне чичак ознаке.



Слика 3.1. Радно заштитна одећа и обућа

Радна заштитна јакна и панталоне морају обезбедити адекватну заштиту ватрогасаца-спасиоца при интервенцијама на отвореном у свему према стандарду SRPS EN 15614 (EN 15614) и SRPS EN ISO 11612. Општи захтеви морају бити према стандарду SRPS EN 340 (EN 340).

Радно заштитно одело осигурава заштиту горњем и доњем торзу ватрогасца-спасиоца, врату, рукама и ногама, искључујући главу, доручје и стопала. Дизајнирано је тако да буде компатибилно са другим деловима заштитне опреме.

Одело је дводелно и састоји се од јакне и панталона са преклапањем од око 30 см. Јакна и панталоне имају термоуложак који се скида.

Чичак трака, рефлектујућа трака према SRPS EN 471 и патент затварачи морају бити отпорни на високе температуре (нетопиви и незапаљиви).

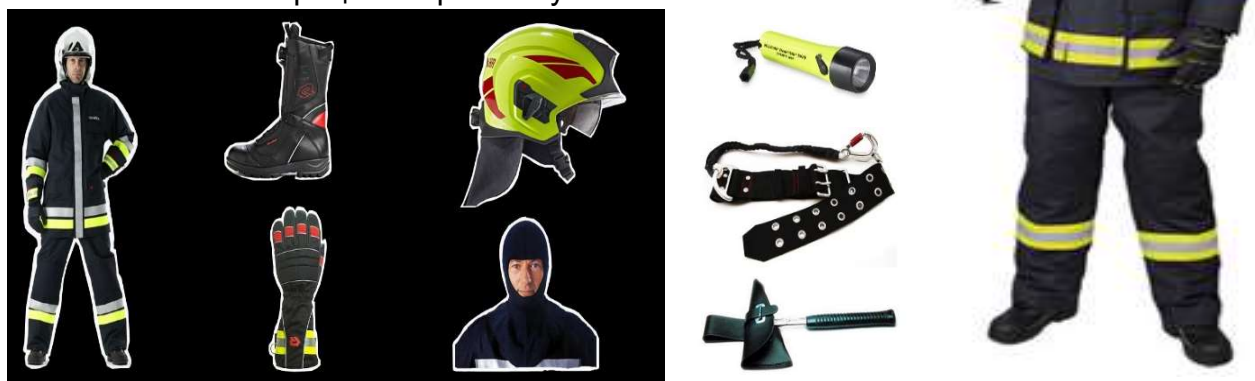
Одело је дизајнирано тако да минимализује ограничења приликом кретања. Тежина одела треба да буде што је могуће лакша, пропорцијално са постизањем захтеваном нивоу перформанси.

3.1.2. Интервентна заштитна опрема

Интервентна заштитна опрема, коју такође имају сви ватрогасци-спасиоци на личном задужењу, користи се на свим интервенцијама, а изглед је дат на слици 3.2.

У интервентну заштитну опрему спада:

- а) Ватрогасна заштитна одећа (јакна и панталоне),
- б) Ватрогасне заштитне рукавице,
- в) Ватрогасне заштитне чизме,
- г) Ватрогасни заштитни шлем са марамом, поткапом и лампом,
- д) Ватрогасно-спасилачки опасач са секирицом и кратким ужетом.



Слика 3.2. Интервентна заштитна опрема

Извор: <http://www.mipexautors.com>; <http://www.zastitnaoprema.rs>; <http://vatropromet.hr>;

а) Ватрогасна заштитна одећа (јакна и панталоне)

Ватрогасна заштитна одећа је дводелна и састоји се од јакне и панталона са преклапањем, слика 3.3. Мора обезбедити адекватну заштиту ватрогасаца спасиоца при интервенцијама, у свему према стандарду SRPS EN 469 (ниво квалитета X2,Y2,Z2). Општи захтеви морају бити према SRPS EN 340. Осигурава заштиту горњем и доњем торзу ватрогасца, врату, рукама и ногама, искључујући главу, доручје и стопала.

Због неизоставне употребе на интервенцијама у пракси се означава и под називом интервентна заштитна униформа.



Слика 3.3. Ватрогасна заштитна јакна и панталоне; Извор: <http://driker.rs>

Дизајнирана је тако да буде компатибилна са другим деловима заштитне опреме. Боја основног материјала је теget плава, а израђује се и у другим бојам, нпр. црвена или жута.

Ватрогасна заштитна одећа дизајнирана је тако да минимализује ограничења приликом кретања. Тежина интервентне заштитне униформе треба да буде што је могуће мања, пропорцијално са постизањем захтеваног нивоа перформанси.

Унутрашња постава, која омогућава додатну топлотну заштиту је фиксирана за спољну тканину.

Спојеви (шавови) су изведени тако да се постигне најмањи губитак у јачини и заштити “заварени”.

Чичак трака, рефлектујућа трака према SRPS EN ISO 20471:2015 и патент затварачи морају бити отпорни на високе температуре (нетопиви и незапаљиви).

Са унутрашње стране, између поруба и постава, убачена је „водена баријера“ чија функција је да омогући својствима слојева да буду у складу са захтевима који се тичу хидростатичког притиска и пропустљивости водене паре. Код јакне је ширина водене баријере мин. 5 cm, а на панталонама 15 cm, на рубовима јакне и панталонама се налазе отвори за истицање воде из унутрањег дела.

Сви делови униформе укључујући и конач за шивење морају испуњавати услове из стандарда SRPS EN 469.

1. СПОЉНА ТКАНИНА (слична Nomex Tough)

- Састав : 75 % m - арамид, 23% p – арамид, 2% антистатик влакно
- дорада: хидрофобна, олеофобан
- задовољава: SRPS EN 469; SRPS EN 11612

2. БАРИЈЕРА ЗА ВЛАГУ

- клима – мембрана двослојна
- први слој 100% Арамид, други слој 100% ПТФЕ
- СРПС ИСО 11092 Рет≤8,

3. ПОСТАВА (топлотна баријера)

- Састав – 99% Арамид , 1% антистатик влакно
- лице (незапаљива постава) – 98% Арамид 2% антистатик влакно , рип-стоп
- изолациони незапаљиви слој 100% арамид

4. ВОДЕНА БАРИЈЕРА

- састав: 100% m – арамид инпрегниран са PU

5. КОНАЦ ЗА ШИВЕЊЕ

- састав: 100% Nomex

6. ЧИЧАК ТРАКА

- Тип FR (смањена запаљивост)

7. РЕНДЕР (Nomex)

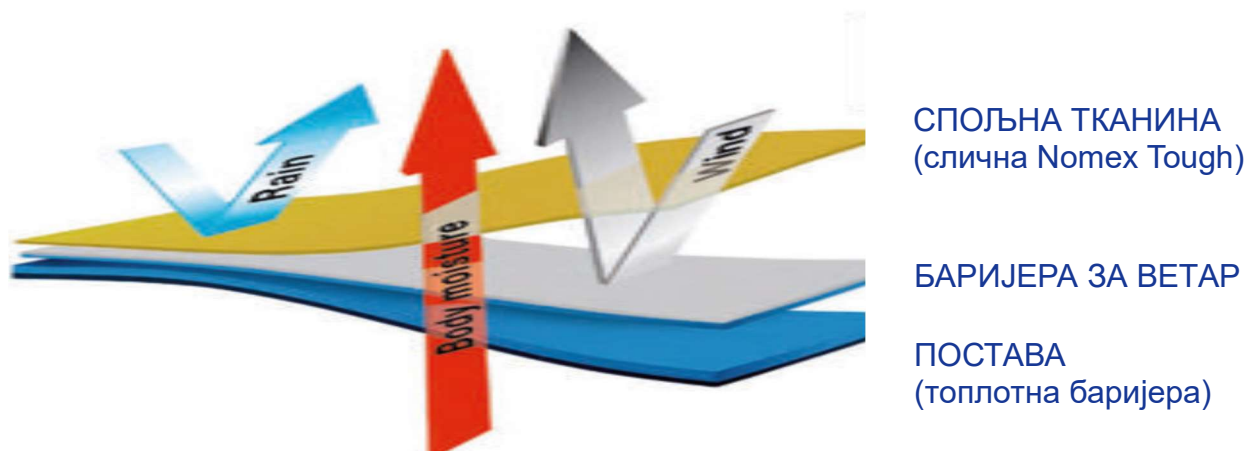
- састав: 93% Nomex; 5% Кевлар 2% p 140

8. РЕФЛЕКТУЈУЋА ТРАКА (ТРАНСФЕР ФИЛМ)

- боја - жуто-сиво-жута
- ретрорефлексија: SRPS EN ISO 20471 (класа 2)
- ограничено ширење пламена:
- задовољава : SRPS EN 469,

9. ОЈАЧАЊЕ ЗА РАМЕНА ЛАКТОВЕ И КОЛЕНА

- Састав: Арамид са полиуретаном - и еластином (мин 3%)

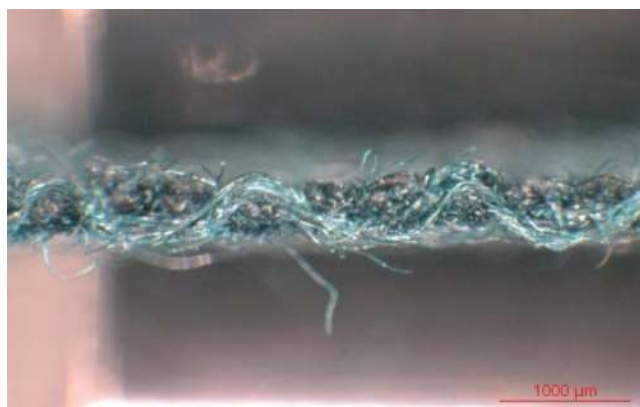


Слика 3.4. Слојеви ватрогасно заштитне одеће

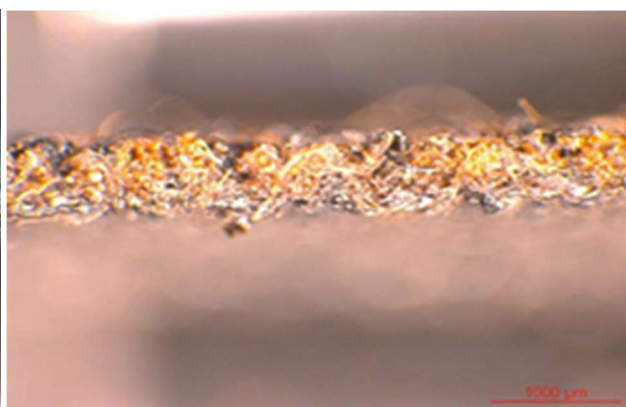
Nomex се користи као решење за одела која су лагана, отпорна на топлоту и ватру. На слици 3.4. приказани су слојеви ватрогасно заштитне одеће.

Nomex је паметан материјал због специјалних карактеристика влакна код којег долази до задебљања приликом излагања извору топлоте и пламену и на тај начин повећава изолациону баријеру, слике 3.5. и 3.6. Не топи се, не цури, нити потпомаже сагоревање. До карбонозације влакна Nomex® долази на температури од 350-430°C.

Влакно **Nomex** има усађену и трајну заштиту, која је „уграђена“ у молекуларну структуру самог влакна и која не може да се спере или похаба.



Слика 3.5. Оригиналнo стање



Слика 3.6. Након излагања извору топлоте (до 46 % дебље)

За практично испитивање ватрогасних заштитних одела користи се пожарна лутка у природној величини направљена од епоксидне смоле/смеше стаклених влакана, на којој су инсталирана 122 термичка сензора, слика 3.7.

Пламен даје 12 гасних горионика, који раде на пропан, а стварају топлотну енергију од $2 \text{ cal/cm}^2/\text{s}$.

Температуре у комори за излагање током буктећег пожара досежу од $600\text{-}1000^\circ\text{C}$.

Могућа су излагања у интервалу од 3-25 секунди.

Софистициран пријем података трансформише информације од сензора у опекотине другог и трећег степена, помоћу модела повреда коже које су развили америчка војска и научно истраживање.



Слика 3.7. Пожарна лутка

Количина, место и степен опекотина приказују се на графиконима и даје се процена шанси за преживљавање на основу истраживања спроведеног од стране Америчког удружења за опекотине, слика 3.8.

Резултати испитивања се дају у облику следећих параметара:

- % опекотина другог и трећег степена,
- Место настанка опекотина,
- Проценат укупних опекотина на телу (уvek урачунајте 6.6 % за незаштићену главу)
- Развој опекотина током времена мерења,
- % шанси за преживљавање.



Слика 3.8. Резултати испитивања

Одело израђено од влакана Nomex не топи се и не цури. Има уграђене ваздушне јастуке који омогућују влакну да се карбонизује и задебља, чиме се повећава изолациона баријера. **Видљиви доказ:** Након што је одело на одговарајући начин заштитило лице које га је носило приликом буктећег пожара, одело може да се самоуништи када се охлади.

Одела израђена од влакана Nomex не настављају да горе након што престану да буду изложена пламену.

Настаје ограничена количина дима и гасова услед одсуства хемијских супстанци за успоравање ширења пламена.

б) Ватрогасне заштитне рукавице

Ватрогасне заштитне рукавице, приказане на слици 3.9, морају обезбедити адекватну заштиту руку ватрогасца при акцијама гашења пожара, техничким и другим врстама интервенција.

Оне морају пружити заштиту од топлотног зрачења и продора воде и влаге у унуташњост рукавице.

Имају антистатичка и антибактеријска својства, а поседују и терморегулаторна својства.

Рукавице морају да штите руке од удара, посекотина и дејства хемикалија, са појачањима на длановима, надланицама и зглобовима шаке и морају имати ергономска својства.



Слика 3.9. Ватрогасне заштитне рукавице
Извор: <http://kuna-visoko.com>; <http://www.tehpro.rs>;

Заштитне рукавице морају бити израђене према норми SRPS EN 659:2010.

Карактеристике ватрогасних заштитних рукавица:

- Боја: тамно плава или црна,
- Повећан ниво заштите, односно ојачана цела површина подланице (длан и прсти) и врхови прстију,
- Поставка: клима паропропустљива мембрана са поставом од Nomex-а и/или Кевлара,
- Учвршћивање рукавице у зглобу шаке и на средини подлактице,
- Модел: продужена рукавица са пет прстију, укупне дужине 35-40 cm и рефлектујућом траком минималне ширине око 2 cm са лица и алкама са карабином за качење рукавица за опасач,
- Одржавање: лако периво водом на температурама $<40^{\circ}\text{C}$.

в) Ватрогасне заштитне чизме

Ватрогасне заштитне чизме, приказане на слици 3.10, обезбеђују адекватну заштиту ногу ватрогасца спасиоца при интервенцијама. Оне пружају заштиту од топлотног зрачења, продора воде и влаге у унуташњост чизме, удара електричне струје и отпорне су на минерална уља и друге материје.

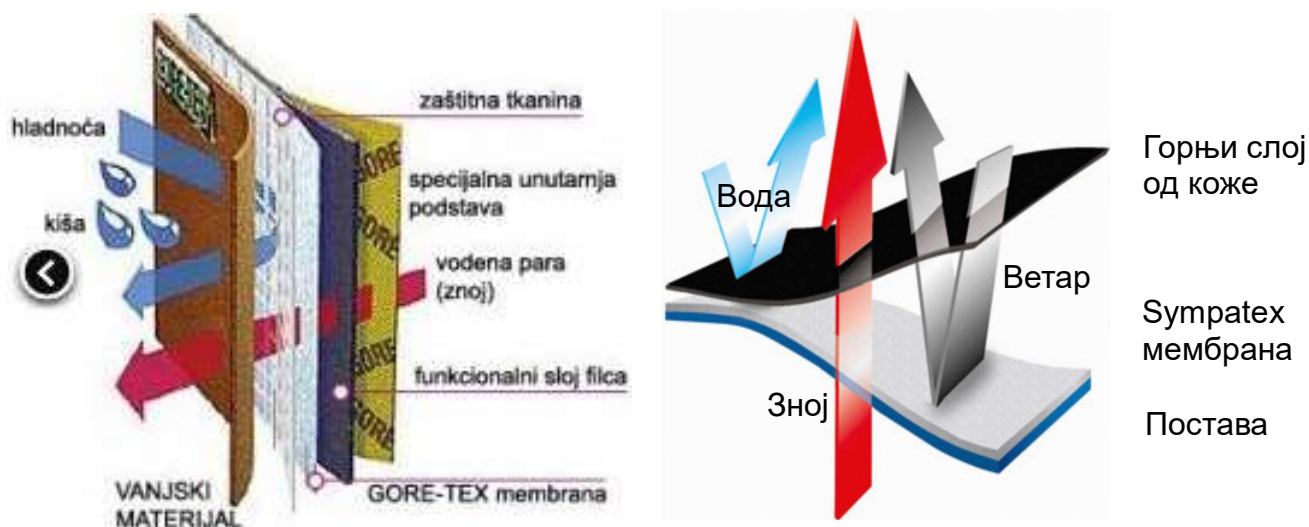


Слика 3.10. Ватрогасне заштитне чизме

Извор: <http://www.zastitnaoprema.rs>; <https://www.mmoc.rs>; <http://www.jelen.com>;

Конструкција чизме је таква да обезбеђује заштиту ноге ватрогасца од механичких повреда прстију, табана, чланка, петне тетиве, корена стопала и цеванице. Чизма је дизајнирана тако да ергономски минимализује ограничења приликом кретања. Слојеви ватрогасних заштитних чизми приказани су на слици 3.11.

Заштитне чизме морају бити израђене према нормама SRPS EN 15090:2014.



Слика 3.11. Слојеви ватрогасних чизми

Извор: <https://klprotektion.hr/proizvod/kommandant-pro-vatrogasne-cizme/>

Карактеристике чизме:

- Боја: црна,
- Горњиште: кожа, водоодбојна (време пробоја воде >6сати) и ниско запаљива,
- Постава: водонепропусна са мембраном,
- Шавови: водонепропусни и водоотпорни са концем од NOMEX-а,
- Ђон: гума отпорна на клизање, са антистатичким својством, отпорном на уља и масти и који издржава контакт са топлотом на 300°C,
- Заштита од пробоја: заштитни уложак у ђону и капна на прстима,
- Модел везивања: двоструки систем везивања са пертлама и патент затварачем који има заштиту од механичких нечистоћа и оштећења,
- Чизме испуњавају функционални услов брзог обувања;
- Висина: максимална висина чизме мерено од унутрашњости газишта пете до највише тачке на сари чизме не сме прећи 26cm,
- Обележавање: има рефлектујућу траку са стране чизама.

г) Ватрогасни заштитни шлем са марамом за заштиту врата, заштитном поткапом и лампом

Ватрогасни заштитни шлем по конструкцији израде треба да осигура заштиту главе и врата ватрогасаца од механичких и топлотних повреда приликом интервенција. Шлем и елементи шлема израђени су од вештачких чврстих композитних материјала високих перформанси.

Ватрогасни заштитни шлем има своје додатке, и то:

- мараму за заштиту врата,
- заштитну поткапу и
- лампу.

Ватрогасни шлем својим обликом мора да омогући ношење маске и апарата за заштиту органа за дисање, комуникационих уређаја и лампе за осветљење, а да не смањује чујност, слика 3.12.

Ватрогасни шлем мора бити израђен према норми SRPS EN 443:2011.



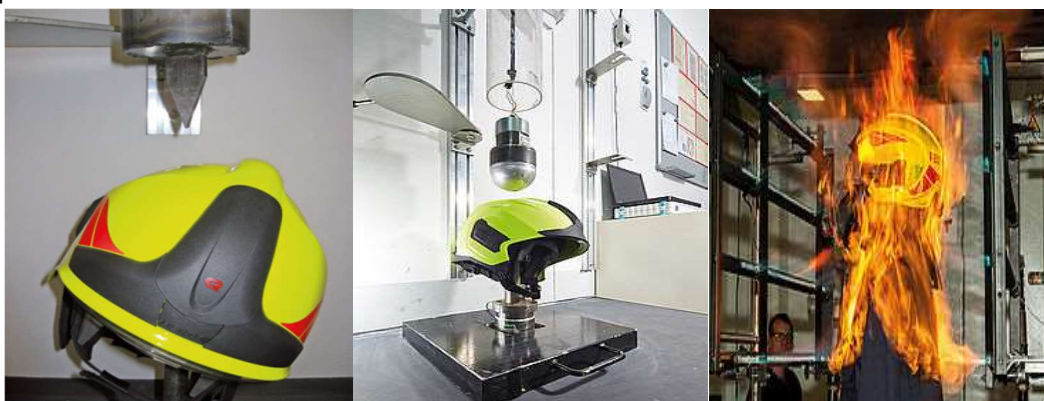
Слика 3.12. Ватрогасни шлем са марамом и ватрогасном лампом

Извор: <http://www.matica.rs>;

Карактеристике шлема:

- Кацига дупла (двостука) - обухвата целу главу
- Предња страна шлема треба да поседује два покретна визира, са што мањом дисторзијом, и да су у складу са SRPS EN 14458:2008 (увлаче се унутар шлема) за механичку и топлотну заштиту очију и дела лица. Предњи визир је са метализираном термалном заштитом и напарен златом са 9% провидности у складу са SRPS EN 171:2008 степен 4-4 и са сигурносно техничким захтевом у складу са SRPS EN 166:2008, и мора имати систем заштите од повреде лица услед ударца.
- Материјал шлема је са повећаном отпорношћу на природно старење, добре флексибилности шлема на ниским температурама и да је отпоран на киселине и хлориде растварача, ергономски дизајниран и да има решен систем дренаже зноја.
- Унутрашњи део шлема мора да омогући брзо подешавање величине и оптимално држање шлема на глави.
- Шлем треба да омогући постављање уређаја за радио комуникацију (ларингофон, слушалица и микрофон, те њихову везу са радио станицом).
- Подбрадна трака орјентисана и подесива са аутоматском копчом за лако и брзо отварање
- Шлем треба да омогући качење вишеположајног носача и ношење одговарајуће батеријске светилке за рад у мраку.
- Шлем треба да омогући интеграцију са марамом за заштиту врата.
- Шлем је обојен рефлектујућом бојом (жутом или црвеном).
- Тежина: максимално 1700g.

Испитивање ватрогасног шлема приказано је на слици 3.13, а саставни делови на слици 3.14.



Слика 3.13. Испитивање ватрогасног шлема



Слика 3.14. Саставни делови ватрогасног шлема

Марама за заштиту врата од пламена и топлоте намењена је за заштиту врата и предњег дела лица од топлотног дејства и воде треба да је изведена од незапаљивог материјала.

Мора бити у складу са SRPS EN 443:2011 и SRPS EN 13911:2010.

Карактеристике мараме за потпуну заштиту врата:

- облик и материјал израде еквивалент је производу „Холандска марама“ ,
- изведена је од незапаљивог материјала сличног производу NOMEX.
- марама је тако урађена да може да заштити врат и интегрисана је са шлемом помоћу копчи и чичак траке смањене запаљивости.

Заштитна поткапа треба да буде отпорна на топлоту и ватру, израђена од негоривог материјала која ватрогасцу спасиоцу пружа додатну заштиту непокривених делова главе и врата. Поткапа треба имати могућност коришћења са шлемом и апаратом за заштиту дисајних органа, слика 3.15. Заштитна поткапа треба да буде у складу са стандардом SRPS EN 13911 : 2010.



Слика 3.15. Заштитна поткапа

Извор: <http://tehprojekt.com>; <http://www.ergo-tehnika.com>;

Лампа за ватрогасни шлем – ЛЕД

- Израда лампе мора бити таква да је лампа водонепропусна,
- Задовољава стандарде АТЕХ директиве категорије 2 зона 1,
- Израђена од ватроотпорних компоненти, смањене запаљивости са повећаном отпорношћу на механичку нечистоћу,
- Укључивање и искључивање лампе је предвиђено за рад са рукавицом,
- Тело лампе не проводи електричну енергију и отпорно је на корозију,
- Јачина светлости: минимум 40 лумена,
- Аутономан рад - интензивно светло: 4h ± 5 %,
- Батерије: пуњиве батерије,
- Сијалица: Лед,
- Домет: минимум 100 m,
- Тежина са батеријама: максимум 250 g,
- Држач лампе израђен од ватроотпорних компоненти, подметач који се лако монтира на ватрогасни шлем који фиксирају лампу у одговарајућем положају,
- Понуђени модел лампе треба да се лако качи на понуђени ватрогасни шлем, слика 3.16.



Слика 3.16. Лампе за ватрогасни шлем – ЛЕД

<http://www.zastitnaoprema.rs>; <http://www.ergo-tehnika.com>;

д) Ватрогасно-спасилачки опасач са секирицом и кратким ужетом

Ватрогасно-спасилачки опасач као део личне радно заштитне опреме ватрогасца, служи да омогући несметан рад, спасавање и самоспавање, на висинама и из дубина.

Ватрогасни опасач поседује:

- ватрогасну секирицу са футролом,
- кратко уже,
- карабинер,
- десендер (осмица).

Опрема на опасачу је позиционирана адекватним држачима, слика 3.17.

Опасач је израђен у складу са стандардом SRPS EN 358



Слика 3.17. Ватрогасно-спасилачки опасач
<https://www.comterra.eu>;

Карактеристике опасача:

- Материјал опасача мора издржавати силу већу од 20 kN и заштићен је на полукружном крају руба (језичку) опасача додатним кожним ојачањем,
- Боја опасача је црна,
- Минимална ширина опасача је 80 mm,
- Копчање је дупло на шнали са два језичка и остварује се преко дворедних отвора постављених у минимално 7 врста,
- Дворедни отвори на опасачу су ојачани металним прстеном (нитном),
- Опасач има минимално једну фиксну алку за осигурање кратким ужетом и једну „S“ алку за карабинер,
- Опасач има додатне вишенаменске држаче – алке за ношење универзалне додатне опреме (ручне лампе, држаче црева, кључеве, ...).

Ватрогасна секирица са футролом, слика 3.18, се користи као део личне опреме сваког ватрогасца спасиоца и служи за разбијање, сечење и разваљивање препрека прилоком интервенисања. Ватрогасна секирица и футрола морају бити израђени у складу са важећим стандардом.

Карактеристике секирице:

- Сечиво је израђено од високо легираног челика и лучно заобљено, са горње стране налази се конусни благо повијени радни шиљак – трнокоп;
- Држаља секире је израђен од метала, рукохват је обложен неклизацијом гумом, отпорном на повишене температуре, уља и остале агресивне материје;
- Држаља секире на свом супротном крају има утиснут троугласти имбус кључ за хидрантски вентил;

3. Топлотне карактеристике ватрогасних заштитних одела

- Футрола секире је израђена од коже у црној боји која је прилагођена опасачу. Унутрашњост футроле мора бити ојачана лимом у пределу сечива и радног шиљка.



Слика 3.18. Ватрогасна секирица са футролом

Извор: www.zastitnaoprema.rs;

Кратко спасилачко уже, слика 3.19, служи за радно позиционирање и осигурање од пада са висина. Кратко уже је минималне дужине 1,2 m са два карабинера на себи и компатибилно је са ватрогасним опасачем. Материјал је од негоривог материјала (NOMEX) који издржава високе температуре и који издржава затезну силу од минимално 300daN.



Уже мора бити у складу са SRPS EN 354:2012.

Слика 3.19. Кратко уже на опасачу

Извор: <http://www.oprema-varnost.si>

3.2. ЗАШТИТНА ОПРЕМА ОД ПЛАМЕНА И ТОПЛОТЕ

Заштитна опрема од пламена и топлоте спада у заједничку заштитну ватрогасну опрему, која је на задужењу ватрогасне јединице.

У заштитну опрему од пламена и топлоте у примени су одела за пролаз кроз ватру, која су намењена за заштиту од високих температура рефлексijом топлотног и светлосног зрачења. Алуминизована тканина рефлектује 93-95 % светлосног и топлотног зрачења. При изради тих одела основа је памучна или вискозна тканина обрађена против горења, односно тканина од стаклених влакана. Тканина је алуминизирана и површински обрађена, тако да се највећи део топлотног и светлосног зрачења одбија од ње.

Та одела се одликују добром заштитом од високих температура, издрљивошћу на абразију, отпорна су на ужарене искре метала и непропустљиве су за ваздух и воду.

3.2.1. Одеа за пролаз кроз ватру

Алуминизовано петоделно одело од алуминизоване тканине са стакленим влакнима и унутрашњом поставом, слика 3.20, састоји се из следећих делова:

- јакна и панталоне,
- капуљача са ватросталним стаклом,
- рукавице,
- обућа и
- заштитна кацага.

Капуљача широког облика омогућава употребу маске и система за довод ваздуха. Унутрашња заштитна кацага у скаладу са EN 397 са визиром од ватропорног стакла.



Слика 3.20. Одеа за пролаз кроз ватру

Извор: <http://www.dar-fer.co.rs>; www.zastitnaoprema.rs;

У прошлости, као материјал за израду одела за пролаз кроз ватру, користио се азбест, али је због његових штетних дејства по здравље ватрогасаца избачен из употребе и потпуно замењен другим материјалима.

Постоји више верзија материјала за израду одела за пролаз кроз ватру. Специјално трослојно алуминизирано одела за пролазак кроз ватру има спољашњи слој од алуминизираниог материјала на бази стаклених влакана. Средишња топлотна баријера се састоји од три слоја који су комбинација арамида и меламина, док је последњи, унутрашњи слој од Nomex® материјала. Капуљача поседује интегрисан визир. Јакна има проширени леђни део, за ношење опреме за дисање. Одело садржи и алуминизиране ватроотпорне чизме и рукавице са пет прстију направљене од исте комбинације материјала као одело.

Према DIN-у 4842, при одређеном топлотном оптерећењу пропушта мале количине топлоте, што се може видети из следећег испитивања узорака:

1. При $Q_I=20,32\text{kJ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, пропуштање Q_T износи 7,3%, а тачка осећања бола није се јавила ни после 1278s,
2. При $Q_I=40,65\text{kJ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, пропуштање Q_T износи 8,4%, а осећање бола јавља се после 21s,
3. При $Q_I=80,43\text{kJ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, пропуштање Q_T износи 8,4%, а осећање бола јавља се после 9s.

Поред основне верзије, која подразумева панталоне и блузу, одела за пролаз кроз ватру доступна су и у верзији једноделног комбинезона.

3.3. ПРИМЕНА СТАНДАРДА ЗА ЗАШТИТНУ ОДЕЋУ ЗА ВАТРОГАСЦЕ

За заштитну опрему за ватрогасце примењује се Српски стандард, Заштитна одећа за ватрогасце – Захтеване перформансе за заштитну одећу за ватрогасце (**SRPS EN 469:2010**)

Идентичан је Европском стандарду EN 469:2005, који је одобрио ЕВРОПСКИ КОМИТЕТ ЗА СТАНДАРДИЗАЦИЈУ, 22.07.2005. године,

У Србији носи ознаку **SRPS EN 469:2010**, назив стандарда је **Заштитна одећа за ватрогасце — Захтеване перформансе за заштитну одећу за ватрогасце**, а донео га је директор Института за стандардизацију Србије решењем бр. 917/29-52-02/2010 од 30.06.2010. године, доношењем Саопштења о проглашавању: „Европски стандард *EN 469:2005, Protective clothing for firefighters – Performance requirements for protective clothing for firefighting*, укључујући и његову исправку *AC:2006* и измену *AI:2006*, прихвата се без икаквих модификација као српски стандард SRPS EN 469 на енглеском језику. Европски стандард може се набавити у Институту за стандардизацију Србије.“

У апстракту на Српском језику пише: „Овим стандардом утврђени су најмањи нивои захтева за перформансе заштитне одеће коју треба носити у току операције гашења пожара и сличних активности, као што су спасилачки рад или помоћ у току катастрофа. Овим стандардом обухваћена је конструкција опште одеће, најмањи нивои перформансе за материјал који се користи и методе за испитивање које се користе за одређивање нивоа перформанси. Нивои захтеваних перформанси могу бити достигнути коришћењем једног или више одевних предмета.“

Дана 22.06.2015. године, био је усвојен SRPS EN 469:2015, који је био идентичан европском стандарду EN 469:2014 CEN/TC 162, али је тај стандард повучен 28.07.2015. године, Назив тог стандарда био је исти: Заштитна одећа за ватрогасце — Захтеване перформансе за заштитну одећу за ватрогасце,

То је урађено на основу одлуке „DECISION BT 11/2015“ Европске организације за стандардизацију – CEN, повучен је стандард *EN 469:2014 “Protective clothing for firefighters - Performance requirements for protective clothing for firefighting”* и поново је активиран стандард *EN 469:2005*; Исти поступак спроведен је и у случају преузетих SRPS стандарда, тј. SRPS EN 469:2015 (EN 469:2014, IDT) је повучен а поново је ступио на снагу SRPS EN 469:2010 (EN 469:2005, IDT).

Европски стандард EN 469:2005, који сада у примени, заменио је до тада важећи стандард EN 469:1995.

У Опису Европског стандарда EN 469:2005, пише:
„Заштитна одећа за ватрогасце - Захтеви за перформансу заштитне одеће за ватрогасце - Овај Европски стандард одређује минималне нивое захтева заштитну одећу која се носи током ватрогасних радњи и пратећих активности као нпр. спаса-

чки рад, помоћ током катастрофа. Описана одећа није намењена за заштиту од хемијског и/или гасног чишћења. Овај европски стандард обухвата дизајн општег дизајна, минималне перформансе употребљених материјала и методе испитивања које ће се користити за одређивање ових перформанси. Потребни нивои учинка могу се постићи коришћењем једне или више одећа. Овај европски стандард покрива догађај случајног прскања хемијских или запаљивих течности, али не покрива посебну одећу која се користи у другим ризичним ситуацијама, нпр. рефлектујућа заштитна одећа. Не обухвата заштиту главе, руку и стопала или заштиту од других опасности, нпр. хемијске, биолошке, радиолошке и електричне опасности. Ови аспекти могу бити покривени другим европским стандардима.

Ово је један од неколико стандарда за одећу која је развијена за заштиту особа од топлоте и пламена.

У даљем тексту биће дат кратак опис Европског стандарда EN 469:2005, односно Српског стандарда SRPS EN 469:2010.

Сврха овог европског стандарда је да обезбеди минималне захтеве за заштитну одећу ватрогасаца у току интервенција гашења пожара. У оквиру овог европског стандарда, дата су два захтева перформанса - ниво 1 је нижи ниво, ниво 2, виши ниво. Ниво личног избора заштите треба да се заснива на основу процене ризика. Дат је и прилог који наводи многе опасности на које могу наићи ватрогасци и поставља смернице за спровођење анализе процене ризика.

Наглашено је да током интервенција, према овом европском стандарду, могу се наћи опасности за које одећа није намењена, на пример: хемијске, биолошке, радиолошке и електричне. Ако процена ризика идентификује да је изложеност таквим опасностима вероватна, може се захтевати заштита одговарајућом личном заштитном опремом, било уместо или као додатна заштитна одећа покривене овим европским стандардом.

За адекватну свеобухватну заштиту од ризика којима су ватрогасци вероватно изложени, такође треба носити додатну личну заштитну опрему за заштиту главе, лица, руку и стопала, заједно са одговарајућим респираторним средством заштите, тамо где је то потребно.

Наведени контролисани лабораторијски тестови који се користе за утврђивање усклађености са захтевима за перформансе овог Европског стандарда не подразумевају ситуације у којима могу бити изложени ватрогасци.

Одређује минималне нивое захтева за перформансама за заштитну одећу коју треба носити током ватрогасних послова и пратећих активности као нпр. спасилачки рад, помоћ током катастрофа. Описана одећа није намењена заштити при интервенцијама чишћења хемикалија и/или гаса.

Овај европски стандард обухвата догађај случајног прскања хемијских или запаљивих течности, али не обухвата специјална одела за употребу у другим

ризичним ситуацијама, нпр. рефлектујућу заштитну одећу. Не покрива заштиту глава, руке и стопала или заштита од других опасности, нпр. хемијски, биолошки, радиолошки и електрични опасности. Ови аспекти могу бити обухваћени другим европским стандардима.

Дати су референтни документи неопходни за примену европских стандарда.

У Стандарду за заштитну одећу за ватрогасце дато је 20 термина и дефиниција који се примењују за потребе овог стандарда: заштитна преграда, систем затварања, комплетна гарнитура, компонента монтажа, заштитна одећа ватрогасаца, одећа, додаци, унутрашњи слој, уметак, материјал, комбинација материјала, баријера за влагу, вишеслојна одећа, спољна одећа, спољни материјал, шав, структурални шав, торзо, стезници.

Ознака величине мора бити у складу са захтевима EN 340.

Заштитна одећа за ватрогасце треба да обезбеди заштиту трупа, врата, руку зглобовима и ноге током ватрогасних активности. Не обухвата заштиту главе, руку и ногу или заштиту против других опасности, нпр. хемијске, биолошке, радиолошке и електричне опасности.

Број и величина узорака за различите тестове у складу је са одговарајућим Европским стандардима. Описана је рипрема узорака и намештање узорака.

Дати су следећи захтеви испитивања:

1. Ширење пламена,
2. Пренос топлоте – пламеном (у складу са EN 367),
3. Пренос топлоте – зрачењем (према EN ISO 6942, топлотни флуks 40kW/m^2),
4. Преостала затезна чврстоћа материјала када је изложен топлотом зрачењу (EN ISO 13934-1 или EN ISO 1421:1998, метода 1, при густини топлотног флуksа од 10kW/m^2 , сваки примерак мора имати затезну чврстоћу $\geq 450\text{N}$).
5. Отпорност на топлоту (према ISO 17493, на температури од $180\pm 5^\circ\text{C}$),
6. Затезна чврстоћа (спољни материјал $\geq 450\text{N}$, главни шавови $\geq 225\text{N}$),
7. Сила кидања (у складу са EN ISO 13934-1 или EN ISO 1421: 1998, 125N),
8. Површинско влажење (спољни материјал приликом тестирања према EN 24920 на 20°C , овај тест се обавља и ако одећа поседује преграду за влагу)
9. Промена димензија (мора бити једнака или мања од $\pm 3\%$)
10. Отпорност на пенетрацију течним хемикалијама (треба тестирати за време хемијског ношења од 10s, коришћењем течних хемикалија NaOH, HCl, H_2SO_4 , о-ксилен и у сваком случају, неће дати никакав продор у унутрашње површине и степен одбијања више од 80%),
11. Отпорност на пенетрацију воде (отпор ношења воде када се брзина притиска повећава $0,98 \pm 0,05\text{kPa/min}$, ниво 1 и ниво 2),
12. Отпорност на воду (дата је напомена да висока отпорност на воду може довести до већег ризика од опекотина воденом паром),

13. Ергономске перформансе (треба обавити практично тестирање перформанси, погодни тестови за ове услове још увек нису валидовани на међународном нивоу),

14. Видљивост (флуоресцентни материјали),

15. Опциони тест - тестирање целе одеће (ради се на инструментованој лутки, никад не на особи, које користе услове изложености: **8s, 84kW/m²**).

Ватрогасна заштитна одећа у складу са овим европским стандардом обележава се бројем и датум овог европског стандарда, тј. EN 469: 2005.

Постигнути ниво учинка, приказан на пиктограму причвршћеном за одећу. На пиктограму се приказују четири нивоа перформансе - за заштиту од топлоте (пламен и зрачење) и односи се на целу одећу; за отпорност на пенетрацију воде и за отпорност на водену пару.

Напоменуто је да су јакна и панталоне дизајниране да се носе заједно, јакна или панталоне могу бити ниво 1 или ниво 2.

Заштитна одећа ватрогасаца мора се доставити клијенту с информацијама написаним и на службени језик државе дестинације.

Затим су дати анекси:

Анекс А – Неизвесност мерења.

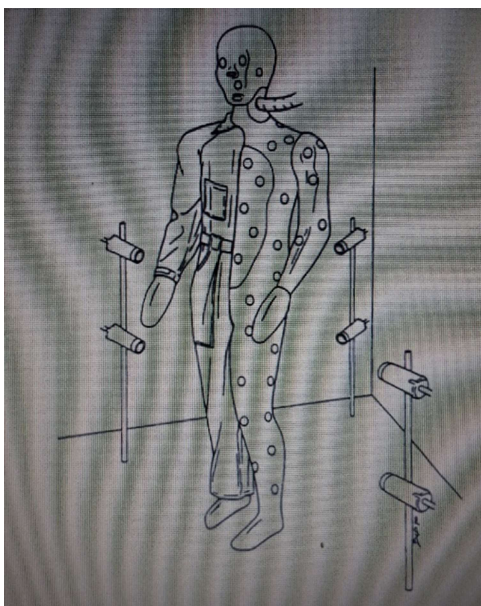
Анекс Б – Захтеви за видљивост,

Анекс Ц – Предвиђање повреда опекотина помоћу инструменталне лутке.

Анекс Д – Провера основних ергономских карактеристика заштитне одеће.

Практични тестови перформанси.

Анекс Е – Метода испитивања комплетне одеће.



На слици 3.21. приказана је инструментална лутка са горионицима и сензорима за мерење топлотног флукса.

- У комори за излагање пламену користи се гориво пропан, са 8 или 12 горионика,
- Потребан топлотни флукс од најмање 84kW/m², за време експозиције од најмање 8s,
- Користи се опрема за снимање,
- Листа провера сигурности,
- Припрема узорка,
- Процедура,
- Записати идентификацију узорка, услове тестирања и тестне напомене,
- Испитивање узорка,
- Извештај о тестирању.

Слика 3.21. Инструментална лутка

Додатак Ф - Опасности од физиолошког/топотног стреса. У току је измена.

Анекс Г - Смернице за процену ризика

Додатак Х - Смернице о електричним опасностима

Додатак ЗА - Однос између овог европског стандарда и основног

Захтеви Директиве ЕУ 89/686/ЕЕС и Библиографија.

Детаљније о свим овим наведеним поступцима испитивања ватрогасних заштитних одела дато је у Српском стандарду SRPS EN 469: 2010 [24].

3.4. ОДЕЋА ЗА ЗАШТИТУ ОД ТОПЛОТЕ ПРОИЗВОЂАЧА „ПТС“, РУСИЈА

АО "ПТС" је водећи руски произвођач и снабдевач апарата за дисање са компримованим ваздухом, апарата за дисање са компримованим кисеоником, специјалне заштитне одеће, система за вежбе гашења и спасавања, компресора високог притиска, метал композитних и челичних цилиндара за компримовани ваздух, као и друге опреме за спасавања у ванредним ситуацијама!

АО "ПТС" је члан Општеруског гранског удружења послодаваца „ФЕДЕРАЛНА КОМОРА ЗА СПАСАВАЊЕ ИЗ ПОЖАРА И БЕЗБЕДНОСТ У ИНДУСТРИЈИ", као и Удружење произвођача "Унија 01".

Овај приказ дат је на основу личног увида у производне погоне АО "ПТС", а коришћени су подаци из извора: <http://www.pto-pts.ru>.

Програм специјалне заштитне одеће намењене за учествовање у интервенцијама гашења пожара и спасавања има два нивоа опреме приказаних на сликама 3.22. и 3.23, и то:

1. Ватрогасна одећа и
2. Заштитна одећа од термалних ефеката



Слика 3.22. Ватрогасна одећа



Слика 3.23. Заштитна одећа од термалних ефеката

3.4.1. Ватрогасна одећа

Ватрогасна одећа производи се у следећим програмима:

- Интервентна одећа за ватрогасце,
- Ватрогасна одећа за северне регионе,
- Ватрогасни плашт.

а) Интервентна одећа за ватрогасце

У табели 3.1. дате су основне карактеристике које испуњава интервентна одећа за ватрогасце прозвођача „ПТС“.

Основни параметри и карактеристике:	Време (s)	Маса (kg)
Отпорност на утицај температуре околине: до +300°C, не мање од	300	
Отпорност на топлотни флукс: 5kW/m², барем 40kW/m², не мање од	240 5	
Отпорност на контакт са чврстим површинама: загрејаној до + 400°C, не мање од	7	
Отпорност на отворени пламен, не мање од	15	
Тежина, не више од		5

Табела 3.1. Основне карактеристике интервентне одеће за ватрогасце "БОП-1-А, Б",



Слика 3.24. Интервентна одећа за ватрогасце "БОП-1-А, Б"

"БОП-1-М"

Карактеристике:

- Горњи материјал - ватроотпорна тканина од Nomex влакана са водонепропусном импрегнацијом и повећаном чврстоћом (прекидно оптерећење не мање од 1000N),
- Потпуно водоотпорна конструкција услед употребе ефикасне водонепропусне баријере,
- Побољшана ергономија,
- Компатибилност са свим врстама ватрогасне и техничке опреме и апарата за дисање.



Слика 3.25. Интервентна одећа за ватрогасце "БОП-1-М"

„БОП-1-СПАС“

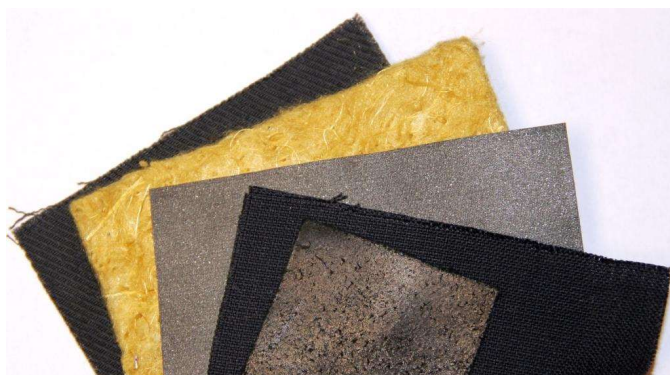


Слика 3.26. Интервентна одећа за ватрогасце "БОП-1-СПАС"

Карактеристике интервентне опреме "БОП-1-СПАС":

Опције 1 и 4

- Горњи материјал **«Nomex»** полиамидна влакна.
- Тканина тамно плаве или црвене боје,
- Површинска густина: 200g/m^2 ,
- Отпорност на кидање, не мање од: 100N , цепање не мање од: 1000N .



Слика 3.27. Опције 1 и 4

Опција 2

- Горњи материјал **«Advance»**
- Ватроотпорни материјал тамно плаве боје од пара и мета-арамидних влакана.
- Има антистатична својства.
- Површинска густина: 200g/m^2 .
- Отпорност на кидање, не мање од: 140N , кидање, не мање од: 2000N .



Слика 3.28. Опција 2

Опција 3

- Горњи материјал **«Millenia Light™»**
- Ватроотпорна тканина жуте боје од пара-арамидних влакана (Кевлар) и ПБО (полипарфенилен бензобизоксазол).
- То је ултралаки заштитни материјал због површинске густине од 180g/m^2 .
- Има бољу отпорност на трење и високе температуре.
- Отпорност на кидање, не мање од: 200N , кидање, не мање од: 2000N .



Слика 3.29. Опција 3

б) Ватрогасна одећа за северне регионе

"БОП-1-С-50"

- Горњи материјал **«Nomex»**
- Са водоотпорном импрегнираном ефикасном заштитном водонепропусном баријером
- Одећа такође штити од неповољних климатских утицаја (ветар, падавине, ниске температуре до -65°C)



Слика 3.30. Интервентна одећа за ватрогасе "БОП-1-С-50"

в) Плашт за ватрогасце

- Одећа такође штити од неповољних климатских утицаја (ветар, падавине, ниске температуре до -50°C)



Слика 3.31. Плашт за ватрогасце

3.4.2. Заштитна одећа од термалних ефеката

Табела 3.2. Основне карактеристике заштитне одеће од термалних ефеката

Основни параметри и карактеристике "ТК-800-40-Т":	Време (s)	%	Маса (kg)
Отпорност на топлотни флуks: • 40kW/m², не мање од • 25kW/m², барем • 18kW/m², не мање од	120 240 960		
Отпорност на утицај температуре: • +300°C, не мање од	960		
Отпорност на температуре од: • +800°C, не мање од	20		
Отпорност на контакт са чврстим површинама: • загрејан до +400°C, не мање од	15тх		
Отпорност на отворени пламен, не мање од	30		
Време стављања, не више од	180		
Коефицијент слабљења инфрацрвеног зрачења, не мање од		70	
Тежина, не више од			16

КОМПЛЕТ ЗА ЗАШТИТУ ОД ТОПЛОТЕ "ТК-800-40-Т"



Слика 3.32. Изглед комплета за заштиту од топлоте "ТК-800-40-Т"

Садржи:

- комбинезони метализираног ватроотпорног материјала одељком за респираторне апарате;
- унутрашња топлотна изолација;
- покривке ципела са носима;
- унутрашње рукавице; паковање врећа.

Дизајнирана је заштити ватрогасце од ефеката топлотног зрачења, високих температура, краткотрајног контакта отвореног пламена, штетних супстани насталих током ликвидације пожара нафте и нафтних деривата.

4. МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЕ У ПОЖАРИМА КАО МОГУЋНОСТ СМАЊЕЊА ШТЕТНОГ УТИЦАЈА ТОПЛОТЕ НА ЧОВЕКА

Интервенције гашења пожара су догађаји који се одвијају у затвореним или на отвореним просторима код којих је температура највећа у делу простора у коме се налази жариште пожара, а удаљавањем од жаришта у свим правцима температура опада. Већ је наглашено да жариште пожара заузима мањи део простора одвијања пожара. Пад температуре у простору око жаришта пожара није уједначен у свим правцима. За сваку тачку у простору зависиће пре свега од растојања од жаришта и висине од пода или тла, а и од других фактора, међу којима су значајнији смер и брзина струјања ваздуха, кретање дима и продуката сагоревања, положај и величина препрека које се налазе у окружењу, а зависиће и од времена које је протекло од настанка пожара, односно од фазе развоја пожара.

Сва ова питања описана су у стручној литератури, а позната су и ватрогасцима спасиоцима из искуства стечених на интервенцијама гашења пожара. То би на неки начин било довољно као предуслов за учествовање на интервенцијама по питањима успешности гашења пожара и безбедности ватрогасаца спасиоца.

Међутим, зато што знамо да не постоје два иста пожара, а самим тим ни две исте интервенције, ватрогасци спасиоци не могу на основу теоријских знања и стеченог искуства знати величину температуре којој су тренутно изложени, ни време трајања излагања, као основне параметре штетног утицаја топлоте на човека. Углавном се до тих сазнања долази са закашњењем, најчешће када су последице већ наступиле, а у неким случајевима и након завршетка интервенције када су последице накнадно постале видљиве.

Недостатак података о тренутној температури у простору интервенисања, у случајевима када топлота не представља велику опасност по безбедност ватрогасаца спасиоца, због опрезности може довести до одустајања или привременог одлагања спровођења одлучујућих тактичких радњи у циљу ефикасног и брзог гашења пожара, а тиме довести у питање и успешност интервенције.

Супротно од тога, при брзом и енергичном наступу ватрогасних екипа, недостатак података о тренутној температури којој су изложени ватрогасци спасиоци, може повећати опасност од штетног утицаја топлоте.

Сталним мониторингом температуре којој су изложени ватрогасци спасиоци у свим фазама интервенције гашења пожара, створиле би се могућности за праћење, контролу и управљање изложености штетном дејству топлоте на човека. Тако би се на најбржи начин могло директно утицати на смањење штетног утицаја топлоте у пожарима на ватрогасце спасиоце, а и све друге који се буду нашли у њиховом непосредном окружењу.

Поређења ради, мерење температуре је неопходно у многим другим областима. Врло често је у пракси потребно праћење и меморисање добијених података. На пример, температура се мери на уређајима као што су системи грејања, хлађења и климатизације, затим у прехранбеној, хемијској, металној, гумарској, петрохемијској и другим индустријама, у метеорологији, медицини, кулинарству и многим другим областима. Знамо да је рад мотора СУС важна контрола и стално регулисање температуре а многи електромотори имају уграђену термозаштиту од прегревања услед преоптерећења или кратког споја. Свакодневно су нам преко медија доступни подаци о дневним и прогнозираним температурама, просечним периодичним и историјски максималним и минималним температурама. Наведене и многе друге области незамисливе су без мерења и регулисања температуре.

4.1. МЕРЕЊЕ TEMПЕРАТУРЕ У ПОЖАРИМА

Постоји више начина којим можемо мерити температуру у пожарима, са циљем да нам добијени подаци помогну у повећању нивоа безбедности ватрогасаца спасиоца, односно дају могућност за смањење штетног утицаја топлоте на човека.

Да би то постигли, најпре морамо одредити:

- места у простору одвијања пожара за која желимо да знамо податке о величини температуре;
- време настанка и трајања одређеног нивоа температуре у пожарима и
- учеснике догађаја као кориснике тих података.

Пошто су као предуслови за мерење температуре у пожарима набројани место, време и учесници, можемо промене температуре у пожару посматрати као посебан догађај. Зато у пракси често кажемо да се у току пожара у неком простору догодио нагли скок температуре или након изгарања гориве материје или стварања услова за вентилацију простора десио се пад температуре.

Промене температуре у простору одвијања пожара се увек догађају, али за нас су најзначајније промене које се дешавају у простору у коме су штетном утицају топлоте изложени ватрогасци спасиоци. Ако се догоди излагање температури изнад нивоа који угрожава безбедност ватрогасаца спасиоца, доћи ће до последица повређивања. А ако излагање траје дуже, последице повређивања биће веће, сразмерно времену излагања.

Значи, у циљу безбедности и заштите ватрогасаца спасиоца од штетног утицаја топлоте у пожарима, подаци о температурама којим су они конкретно изложени су од ваћег значаја од података о температури жаришта пожара или неких угрејаних површина грађевинске конструкције и слично. Ово је тако из разлога, што се удаљавањем од жаришта температура смањује у свим правцима, а безбедним

растојањем од жаришта пожара, можемо да утичемо на ниво изложености штетном дејству топлоте у пожарима. Само је остало нејасно, колико је безбедно растојање од жаришта пожара и како одредити то растојање у фази проналажења жаришта пожара!?

Контролу нивоа изложености штетном дејству топлоте у пожарима можемо постићи сталним праћењем података о тренутној температури окружења у коме се налазе ватрогасци спасиоци и времену задржавања у тим условима, односно сталним мониторингом температуре у окружењу свих који се приближавају жаришту пожара.

У пракси, на интервенцијама гашења пожара, увелико је у примени употреба термовизијских камера, о чему ће овде бити речи.

Али за потребе мониторинга температуре у пожарима којој су ватрогасци спасиоци директно изложени, треба тражити нова решења која могу ићи у правцу сталног мерења, праћења и меморисања података о величини температуре у непосредном окружењу ватрогасаца спасиоца. То би значи била температура којој су они директно изложени а подаци о томе би били доступни у истом тренутку не само њима, већ би могли бити доступни руководиоцу интервенције, командно оперативном центру и свим заинтересованим.

4.1.1. Употреба термовизијских камера за мерење температуре у пожарима

Индустријска примена инфрацрвене термографије је почела средином шездесетих година. Начини коришћења ове технологије су неограничени, при чему је основна претпоставка на којој се она заснива, да сви објекти изнад апсолутне нуле ($-273,16^{\circ}\text{C}$) емитују невидљиви инфрацрвени спектар зрачења, који представља функцију више различитих карактеристика објекта, од којих се само једна односи на температуру. Са повећањем температуре објекта, расте и интензитет емитованог ИС зрачења. Инфрацрвени уређаји (радиометри, ИС камере) не мере директно температуру објекта, али детектују енергију зрачења која представља функцију температуре, тако да она може веома прецизно да се израчуна.

Термовизијске или ИС камере представљају неконтактне сензоре температуре. То су уређаји који генеришу слику на основу инфрацрвеног спектра зрачења. Принцип рада је такав да се инфрацрвени спектар зрачења (невидљив за људско око) који емитује неки објекат, преводи у видљиву слику (термограм) на коме се добија податак о температури и класификују се површине које емитују различите количине инфрацрвеног зрачења (веће зрачење – светлије боје), док исте боје представљају изотермалне површине које емитују једнаке количине топлоте.

Примена ИС камера уско је везана за случајеве где промена термичке слике може указати на неку аномалију. У циљу детектовања енергетских губитака, нарочито

4. Мониторинг температуре у пожарима као могућност смањења штетног утицаја топлоте на човека

у урбаним срединама, могућа је примена ове методе као део интегрисаног система прикупљања просторних података

На тржишту постоји велики избор термовизијских камера, са све напреднијим техничким карактеристикама и могућностима, мерним распоном температуре од -40°C до $+2000^{\circ}\text{C}$, термалном осетљивошћу од $0,02^{\circ}\text{C}$ и тачности мерења: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ или 2%, при температури од 25°C .

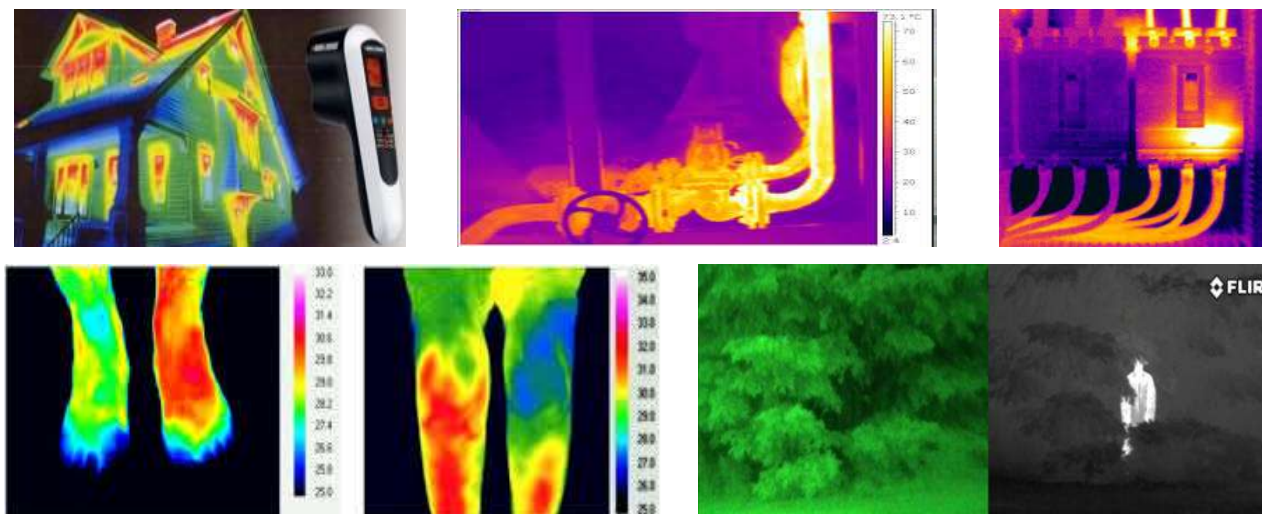
На слици 4.1. приказани су неки од многобројних доступних модела термовизијских камера.



Слика 4.1. Термовизијске камере

Извор: <http://www.metroteh.rs/flir-e5-wifi>

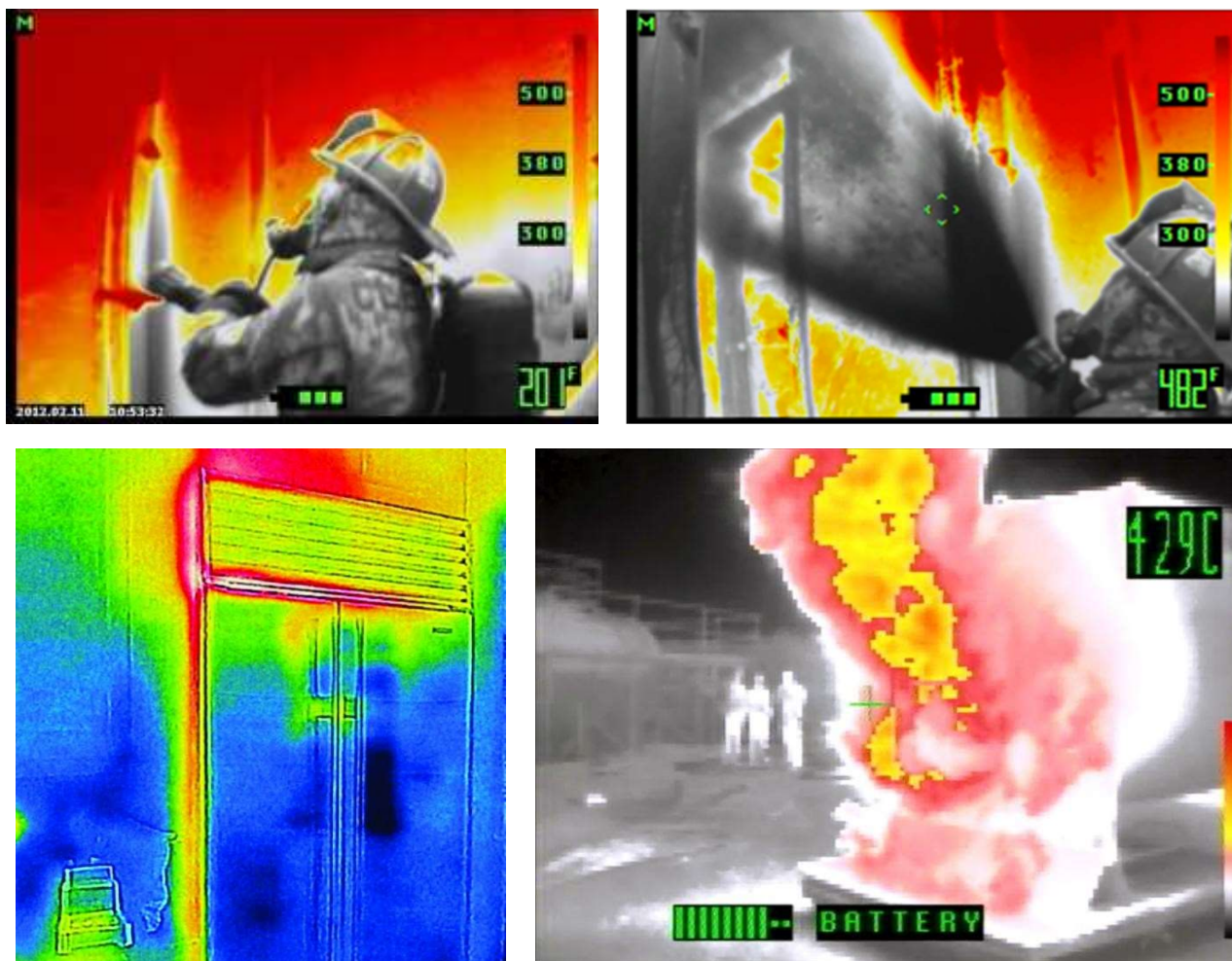
Примена је увелико заступљена у многим областима грађевине, термотехнике, електротехнике, медицине, и другим, а користе се и за ноћног осматрање, претраге терена, обезбеђење граница и слично, што је приказано на слици 4.2.



Слика 4.2. Примена термовизијских камера у разним областима

Извор: <http://mehatronnika.blogspot.com/2012/10/termovizijaska-analizatermografija-i.html>, <http://www.sesshudesign.com/5-tips-for-green-remodeling-from-top-eco-architect-2/>, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0967-3334/33/3/R33>

Термовизијске камере пружају изузетне могућности праћења температура свих површина приликом пожара.



Слика 4.3. Примена термовизијских камере у пожарима

Извор: <http://tehprojekt.com/product/161/termovizijska-kamera-isg-e380>

Употребом термовизијских камера на интервенцијама гашења пожара омогућава се брже проналажење жаришта још у фази извиђања пожара, што олакшава и убрзава доношење одлуке и правилно концентрисање и усмеравање ватрогасних екипа у правцима дејства у којима ће њихов ефекат бити највећи.

4.1.2. Други начини мерења температуре у пожарима

За мерење температуре у пожару могу се користити контактни температурни сензор, који у ствари мере своју властиту температуру, а то је уједно и температура објекта са којим је сензор у контакту, под претпоставком да су у топлотној равнотежи. Њихов принцип рада заснива се на физичким особинама материјала који се користе за њихову израду. Најчешће се користе:

- запремински термометри,
- електрични термопарови,
- отпорнички детектори температуре,
- термистори,
- диоде и други.

Запремински термометри раде на основу појава да се физичка тела загревањем шире, а хлађењем скупљају, и да топлота прелази са тела више температуре на тело са нижом температуром. Користе се живини, алкохолни и биметални термометри.

Електрични термопарови раде на основу појаве кретања електрона у електричним проводницима термопарова, уколико се њихови спојеви налазе на различитим температурама. Услед разлике у температурама на спојевима термопарова долази до појаве напона – разлике потенцијала на прикључцима термопарова.

Отпорнички детектори температуре раде на основу физичког принципа позитивног температурног коефицијента електричног отпора метала. Дакле, што су топлији то им је отпор већи. У главном се користи платина као материјал за њихову израду. Готово да су линеарни преко широког подручја температура, а неки толико мали да дају одзив у делићу секунде. Они су међу најпрецизнијим температурним сензорима с резолуцијом и мерном несигурношћу до ± 0.1 °C или чак и боље у посебним условима.

Термистори су специјални чврсти температурни сензори који се понашају као температурно-осетљиви електрични отпорници. Термистори типично раде у релативно малом температурном подручју, у односу на остале температурне сензоре. Могу бити врло тачни и прецизни унутар датог опсега. Термистор је термички осетљив отпорник који показује промене у отпору с променом његове температуре. Отпор се мери пуштањем мале, мерене једносмерне струје кроз термистор и мерењем пада напона којег она проузрокује.

Диодни температурни сензори је уопштен назив за класу сензора који се базирају на температурно осетљивим полупроводничким спојевима. Принцип њиховог рада се заснива на промени пада напона на PN споју у зависности од

промене температуре. Промена напона с температуром зависи од материјала. Најчешће се користи силицијум, али и галијум-арсенид и галијум-алуминијум арсенид.

Могућности за мерење и стални мониторинг температуре у пожарима су велике. У овом раду се неће упуштати у избор оптималног начина мерења и избор инструмента, али је важно напоменути да је неопходно изабрати онај начин који би обезбедио податке о температури у облику дигиталних нумеричких вредности погодних за коришћење, меморисање и слање тих података свим заинтересованим у истом тренутку, у току саме интервенције гашења пожара.

4.2. МОНИТОРИНГ TEMПЕРАТУРЕ У ПОЖАРИМА

Ватрогасна заштитна одела пружају заштиту од топлоте у складу са могућностима која су унапред позната, на која можемо да утичемо само у фази набавке истих. У току интервенције имамо успостављен ниво заштите од топлоте на који тада не можемо да утичемо.

Интензитет топлотног флукса и време изложености сваког ватрогасца спасиоца на интервенцији гашења пожара, представљаће ниво опасности од штетног дејства топлоте у пожарима у том тренутку.

Као што је већ речено, реакције ватрогасаца спасиоца у вези нивоа изложености штетном дејству топлоте у пожарима, могу бити различите:

- од уздржаних и превише опрезних – које доводе до успоравања интервенције или чак одустајања од одлучних наступа ватрогасних екипа.
- до исхитрених и превише храбрих – које директно угрожавају безбедност ватрогасаца спасиоца и на тај начин воде интервенцију у други правац, који због могућих ризика од повређивања ватрогасаца спасиоца изазваних штетним дејством топлоте може бити још већи неуспех.

У таквим ситуацијама неопходно је брзо и правовремено, на основу прецизних података који су релевантни у том тренутку, одредити наступ ватрогасне екипе који неће угрозити безбедност ватрогасаца спасиоца, нити одвести ток интервенције у неуспех.

Пођимо од претпоставке да је на најпогоднији начин извршено мерење температура у непосредним окружењима сваког ватрогасца спасиоца и да су измерени подаци у сваком тренутку доступни:

- за своје окружење у пожару – сваком учеснику интервенције понаособ,
- за окружења свих учесника у пожару – руководиоцу интервенције и командно оперативном центру, а и другим.

Подацима о температурама и њиховим променама којима су изложени ватрогасци спасиоци у интервенцијама гашења пожара, најпре требају бити доступни њима самим. Увид у температуру окружења у сваком тренутку може се остварити једноставном уградњом термометра са дигиталним дисплејом у шлем ватрогасца спасиоца.

Праћење температура окружења свих чланова ватрогасних екипа од стране руководиоца интервенције гашења пожара, командно оперативног центра и других, може се омогућити савременим средствима за пренос података, чиме би се истовремено омогућило и њихово меморисање.

Тиме би било успостављено стално праћење температуре у окружењима свих ватрогасаца спасиоца који учествују у интервенцији гашења пожара, што би у ствари представљало мониторинг температуре којој су изложени сви ватрогасци спасиоци појединачно у реалном времену.

Располагањем подацима о температурама којима су изложени сви ватрогасци спасиоци у току интервенције, била би дата додатна могућност да у сваком тренутку можемо позитивно утицати на ток интервенције гашења пожара у више праваца:

1. У случају уласка ватрогасаца спасиоца у зону са повећаним опасностима од топлоте, имали би смо могућност брзог реаговања у циљу смањења нивоа изложености штетном дејству топлоте у пожарима,
2. Подаци температурама који су тренутни и релевантни и нису засновани на слободним проценама, повећала би се најпре брзина и исправност донетих одлука а на крају и квалитет и успшност интервенција. и
3. Створиле би се могућности бржег реаговања у случају потребе слања додатних екипа на месту интервенисања.

Након интервенције гашења пожара, меморисани подаци нашли би примену најпре у анализама гашења пожара, затим у даљем проучавању пожара и тактике гашења пожара и у друге сврхе.

5. ЗАКЉУЧАК

У доступној литератури и пракси, многе теме поменуте у овом раду су, мање или више, обрађене и познате. То нарочито важи за теме везане за термодинамику и ватрогасну тактику.

Називи неких тема одређени су и дати према сазнањима и искуствима из досадашње праксе, уз коришћење прилике да се на тај начин пренесу запажања о преносу топлоте у пожарима и утицају на човека, као и да се уједно укаже на сва важна питања из ове области. Ово је покушај давања одговора на њих, а нарочито на она питања која су новопостављена у овом раду.

Познавање топлотних особина коже и последица до којих долази услед излагања штетном дејству топлоте у пожарима, а које могу бити видљиве већ у току пожара или у периоду опоравка када долази до настанка многих компликација, неопходно је предзнање у овој комплексној области, које нам може послужити у доношењу одлука у току интервенције или у фази опоравка.

На основу разматрања топлотних и механичких карактеристика ватрогасних заштитних одела, намењених за заштиту ватрогасаца-спасиоца од топлоте и других опасности које се јављају при учествовању у интервенцијама гашења пожара и спасавања, може се рећи да при обављању наведених послова пружају заштиту до одређеног нивоа. За потпуну безбедност ватрогасаца спасиоца у интервенцијама гашења пожара, у циљу заштите од штетног дејства топлоте на човека, неопходно је спроводити и друге мере, као што су пре свега, мере заштите које пружа тактика гашења пожара, затим присуство медицинских екипа на сложенијим интервенцијама и друге.

Приказ ватрогасних заштитних одела, у која спадају радно заштитна одећа и обућа и интервентна заштитна опрема са свим својим елементима, које чине личну заштитну опрему на задужењу сваког ватрогасца-спасиоца, као и приказ заштитне опреме од пламена и топлоте у виду одела за пролаз кроз ватру, која спадају у заједничку заштитну опрему на задужењу ватрогасне јединице, даје једну комплетну слику неопходних захтева како за опремање сваке ватрогасне јединице, тако и за потребе сталног занављања заштитном опремом.

Коришћење заштитне опреме за заштиту лица која бораве и интервенишу у угроженом простору даће очекиван ниво заштите од топлоте и других штетних дејстава само ако примењена опрема одговара прописима важећих стандарда који обухватају ту област.

Српски стандард, SRPS EN 469:2010, Заштитна одећа за ватрогасце – Захтеване перформансе за заштитну одећу за ватрогасце, који је потпуно у складу са

4. Закључак

Европским стандардом EN 469:2005, даје све потребне параметре за заштитну одећу за ватрогасце јер како се наводи у апстракт: „Овим стандардом утврђени су најмањи нивои захтева за перформансе заштитне одеће коју треба носити у току операције гашења пожара и сличних активности, као што су спасилачки рад или помоћ у току катастрофа. Овим стандардом обухваћена је конструкција опште одеће, најмањи нивои перформансе за материјал који се користи и методе за испитивање које се користе за одређивање нивоа перформанси. Нивои захтеваних перформанси могу бити достигнути коришћењем једног или више одевних предмета“.

Дат пример комплетног програма одећа за заштиту од топлоте произвођача „ПТС“, Русија, са основним карактеристикама која испуњава ватрогасна одећа и заштитна одећа од термалних ефеката из њиховог програма.

На крају је дат предлог мониторинга температуре у пожарима као могућност смањења штетног дејства топлоте у пожарима на човека, што подразумева стално праћење тренутне температуре којој су изложени сви ватрогасци спасиоци појединачно, од стране руководиоца интервенције и у командно оперативним центрима.

Вероватно ће циљ овог здруженог текста из неколико важних области, које се редовно преплићу у пожарима, бити испуњен, ако се успе да се, на једном месту, заокружи изношење свих питања и проблема везаних за утицај топлоте у пожарима на човека и за њих нађу одговори, односно решења истих.

И мали допринос овог рада, за стицање до тешко достижног квалитетног решења, у циљу смањења штетног утицаја топлоте у пожарима на човека, био би од значајније користи.

Може се закључити да ће успех интервенције гашења пожара и спасавања, поред правилно изабраног тактичког наступа и избора опреме и средстава за гашење, зависити и од неизоставне и правилне употребе комплетне заштитне опреме од штетног топлотног дејства и других опасности, која мора бити у складу прописима и стандардима из те области.

Такође се може закључити и да је неопходно стално трагати и за другим, односно новим могућностима и начинима побољшања нивоа заштите ватрогасаца спасиоца од штетног дејства топлоте.

Другим речима, ако успемо да заштитимо ватрогасце-спасиоце на интервенцијама гашења пожара и спасавања од штетног дејства топлоте и од других опасности, успећемо да заштитимо и све друге којима је помоћ у тим тренуцима најпотребнија.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Драгомир Љ. Малић: Термодинамика други део, Грађевинска књига, Београд, 1956.
- [2] Драгомир Љ. Малић: Термодинамика и термотехника, Грађевинска књига, Београд, 1963.
- [3] Градимир Илић, Ненад Радојковић, Ивана Стојановић: Термодинамика II – основе простирања топлоте, Машински факултет, Ниш, 1996.
- [4] Добросав Б. Милинчић: Простирање топлоте, Машински факултет, Београд, 1979.
- [5] Слободан Милутиновић, Радивоје Манчић: Заштита зграда од пожара, Издавачка јединица Универзитета у Нишу, Ниш, 1997.
- [6] Млађан Драган: Пожарно-тактичко оспособљавање, планирање и психолошка припрема ватрогасних јединица, Београд, 1994.
- [7] ЈАНКОВИЋ, Ж. : Опрема и уређаји за гашење пожара, Материјал за припрему испита из наведеног предмета, Факултет заштите на раду, Ниш, 1998.
- [8] ЗИГАР. Д. : Нови метод за одређивање безбедног растојања људи од пожара као извора топлотног зрачења – докторска дисертација, Факултет заштите на раду у Нишу, Ниш, 2015.
- [9] Medical Center University of Maryland, Kevin Berman, "Skin Layers", Available at Pregledano 15.juna 2015, Dostupno na: <http://www.umm.edu/imagepages/8912.htm>
- [10] Silver F H, Siperko L M, Seehra G P. Mechanobiology of force transduction in dermal tissue. Skin Research and Technology, 2003, 9 (1): 3–23.,
- [11] Odland G F. Structure of the skin - Goldsmith L A. Physiology, Biochemistry, and Molecular Biology of the Skin. Oxford: Oxford University Press, 1991.
- [12] Sanjeevi R. A viscoelastic model for the mechanical properties of biological materials. Journal of Biomechanics, 1982, 15 (2): 107–109.
- [13] Burton J L, Cunliffe W J. Subcutaneous fat// Champion R H, Burrington J L, Ebling F J G. Textbook of Dermatology. New York: Blackwell Scientific Publications, 1992.
- [14] Patapoutian A, Peier A M, Story G M, et al. Thermo TRP channels and beyond: Mechanisms of temperature sensation. Nature Reviews Neuroscience, 2003, 4 (8): 529–539
- [15] <http://openwaterchicago.com/wp-content/uploads/2008/06/receptors.jpg>
- [16] Ivanov K P, Konstantinov V A, Danilova N K. Thermoreceptor localization in the deep and surface skin layers. Journal of Thermal Biology, 1982, 7 (2): 75–78.

- [17] Fung Y C. Biomechanics: Motion, Flow, Stress, and Growth. New York: Springer-Verlag, 1990
- [18] Homann H, Schlebusch H. Reversible and irreversible denaturation of collagen fibers. Biochemistry, 1971, 10 (6): 932–937
- [19] Chen S S, Wright N T, Humphrey J D. Phenomenological evolution equations for heatinduced shrinkage of a collagenous tissue. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1998, 45 (10): 1234–1240.
- [20] K. Martin, In vivo measurements of water in skin by near IR reflectance, J. Appl. Spectrosc. 52 (July (7)) (1998).
- [21] Van Hees J, Gybels J. C, Nociceptor activity in human nerve during painful and non painful skin stimulation. Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry, 1981, 44 (7): 600–607, Reuck A V S, Knight J. Touch, Heat and Pain. London: Churchill, 1966.
- [22] SFPE, Engineering Guide for Predicting 1st and 2nd Degree Skin Burns from Thermal Radiation, Society of Fire Protection Engineers, Bethesda MD, 2000
- [23] Stoll A.M., Chianta M.A., “Method and Rating System for Evaluation of Thermal Protection”, Aerospace Medicine, 1969
- [24] Прописи и стандарди:
- Правилник о професионалним ватрогасним јединицама локалне самоуправе („Сл. Гласник РС“, бр. 100/2011)
 - Правилник о организовању заштите од пожара према категорији угрожености од пожара („Сл. Гласник РС“, бр. 92/2011)
 - Правилник о личној заштитној опреми („Сл. Гласник РС“, бр. 100/2011)
 - Стручни коментар, Међународни стандарди – лична заштитна опрема за ватрогасце
 - Српски стандард, SRPS EN 469:2010, Заштитна одећа за ватрогасце – Захтеване перформансе за заштитну одећу за гашење пожара, („Сл. Гласник РС“, бр. 48/2010)
 - Списак српских стандарда из области личне заштитне опреме („Сл. Гласник РС“, бр. 19/2016)
 - Каталог произвођача ватрогасне опреме: АО "ПТС", Русија, <http://www.pto-pts.ru> (виђено 10.02.2018. године)

[25] Интернет адресе:

- <http://openwaterchicago.com/wp-content/uploads/2008/06/receptors.jpg>; (виђено 10.03.2018. године)
- <http://www.mipexautors.com>; (виђено 10.03.2018. године)
- <http://www.zastitnaoprema.rs>; (виђено 15.03.2018. године)
- <http://vatropromet.hr>; (виђено 04.04.2018. године)
- <http://driker.rs>; (виђено 05.04.2018. године)
- <http://kuna-visoko.com>; (виђено 06.04.2018. године)
- <http://www.tehpro.rs>; (виђено 06.04.2018. године)
- <https://www.mmoc.rs>; (виђено 08.04.2018. године)
- <http://www.jelen.com>; (виђено 08.04.2018. године)
- <https://klprotektion.hr/proizvod/kommandant-pro-vatrogasne-cizme>; (виђено 08.04.2018. године)
- <http://www.matica.rs>; (виђено 10.04.2018. године)
- <http://tehprojekt.com>; (виђено 10.04.2018. године)
- <http://www.oprema-varnost.si>; (виђено 10.04.2018. године)
- <http://www.ergo-tehnika.com>; (виђено 10.04.2018. године)
- <https://www.comterra.eu>; (виђено 25.08.2018. године)
- <http://www.dar-fer.co.rs>; (виђено 10.04.2018. године)
- <http://www.pto-pts.ru>; (виђено 10.02.2018. године)
- <http://tectra.hr/wp-content/uploads/2017/11/FLIR.jpg>; (виђено 10.06.2018. године)
- <http://www.geoservis.ftn.uns.ac.rs/downloads/EnEfikasnost/Primena%20IR%20kamera%20u%20industrijskim%20aplikacijama.pdf> (виђено 10.04.2018. године)
- <http://www.metroteh.rs/flir-e5-wifi>; (виђено 10.04.2018. године)
- <http://www.seshhdesign.com/5-tips-for-green-remodeling-from-top-eco-architect-2/>; (виђено 10.04.2018. године)
- <http://mehatronnika.blogspot.com/2012/10/termovizijaska-analizatermografija-i.html>; (виђено 15.04.2018. године)
- <http://www.seshhdesign.com/5-tips-for-green-remodeling-from-top-eco-architect-2/>; (виђено 15.04.2018. године)
- <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0967-3334/33/3/R33> (виђено 15.04.2018. године)
- <http://tehprojekt.com/product/161/termovizijska-kamera-isq-e380> (виђено 15.04.2018. године)