

Testování (ne)hořlavosti textilních materiálů



Odolnost proti hoření



- ❑ zkouškami lze ověřit a prokázat požární bezpečnost textilních výrobků
- ❑ analýza odolnosti materiálu vůči různým formám ohně a žáru, rychlosti a charakteru hoření (materiál se vzňal, doutnal nebo z něho odkapávala tavenina - z hlediska bezpečnosti je více nebezpečná jako hoření plamenem)
- ❑ mezi základní výrobní skupiny, u kterých se zkouší hořlavosti patří: ochranné pracovní oděvy (včetně spodního prádla) – hasiči, slévači/hutníci, svářeči, elektrikáři, pracovníci v chemickém průmyslu, noční oblečení – pyžama (UK), bytový textil – záclony, závěsy, lůžkoviny, koberce, podlahové textilní materiály, hračky, materiály používané v interiérech vozidel a letadel
- ❑ vyjádření výsledků - podle použité metodiky se hodnotí:
 - *doba zapálení*
 - *doba hoření*
 - *rychlost hoření*
 - *délka ohořené vzorku*
 - *chování textilie* - hoří, nehoří, doutná, žhne, taví se, odkapává tavenina

Hoření

Hoření je exotermní proces, při kterém dochází k vyvíjení tepelné energie a světelného záření.



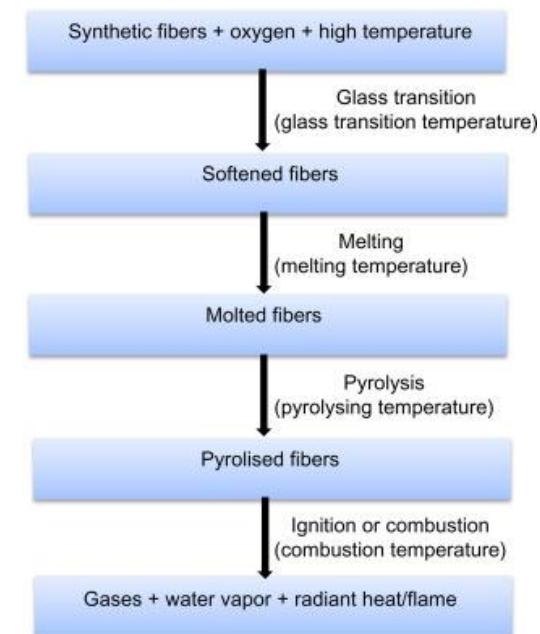
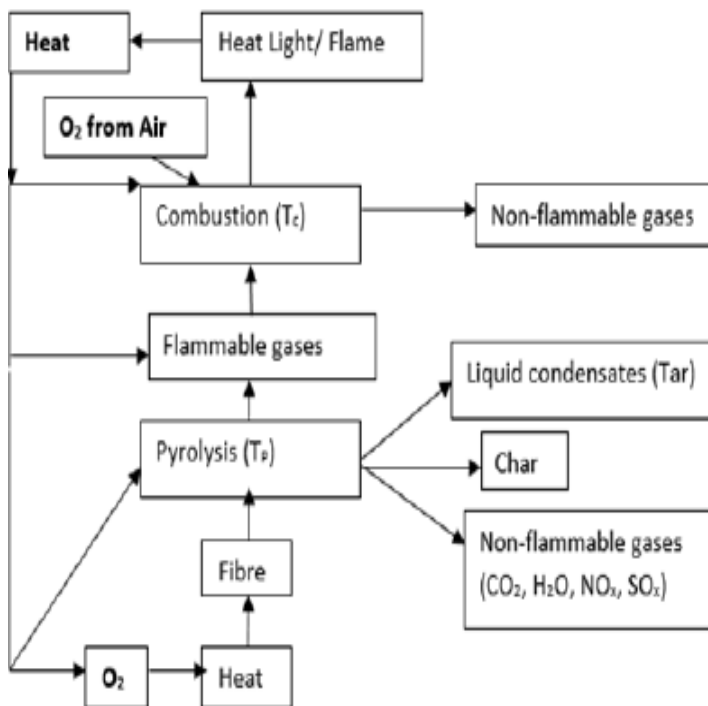
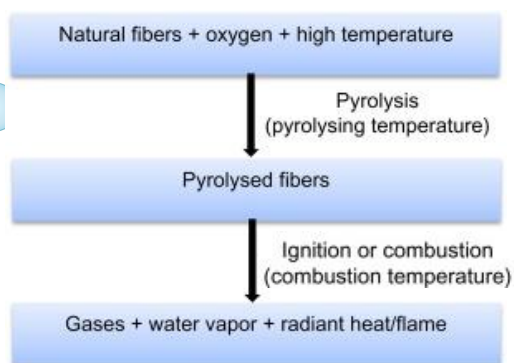
Proces hoření u textilních materiálů

- Při ohřevu (vznícení, hoření) vláken v přítomnosti kyslíku dochází k těmto procesům:
 - absorpce tepla a ztráta vlhkosti vláken
 - uvolňování mezimolekulárních vazeb – proces probíhá mezi T_g (teplotou skelného přechodu) a T_m (teplotou tání)
 - depolymerace - tepelný rozklad (pyrolýza) vláken (T_p – teplota pyrolýzy) následkem čeho jsou generovány hořlavé plyny jako zplodiny pyrolýzy
 - zapálení hořlavých plynů (radikálová reakce mezi hořlavým plynem a kyslíkem v plynné fázi) – T_c (teplota vzplanutí, hoření – combustion)
 - vývin tepla hoření, které dále zvyšuje vývin hořlavých plynů,
 - spalování probíhá ve smyčce dokud se nespotřebuje kyslík, zásoba paliva (vláken) nebo přebytečné teplo

Při pyrolýze se z textilií uvolňují tuhé, kapalné a plynné složky, nicméně hoří pouze plynné složky - hořlavé plyny (zplodiny pyrolýzy). V případě, že množství energie vzniklé spalováním plynných zplodin pyrolýzy je větší než energie potřebná k pyrolýze vlákenného materiálu, plamen, který vznikl zapálením, hoří i po oddálení zápalného zdroje.

Vysokou hořlavost mají polymery obsahující větší množství vodíkových atomů (PE, celulóza). Menší hořlavost mají polymery s aromatickými články a ty, co obsahují halogeny – halové prvky (Cl, F, Br, P).

Proces hoření textilních vláken



Fibres	T_g (°C)	T_m (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	LOI*
Wool	-	-	245	600	23-25
Cotton	-	-	350	350	15-18
Viscose	-	-	350	420	17-19
Nylon-6	47-50°C	215	431	460	20-21
Nylon-66	50°C	265	403	530	20-21
Polyester	78-80 or 80-90	255	420-447	480	20-22
Acrylic	100	>320	290*	>250	18.2
Polypropylene	-20	165	469	550	18.6
Nomex	275	375	410	>500	28-30
Kevlar	340	560	>590	>550	29-30
Jute	--	--	Hemi-Cellu-290°C Cellulose-360-370°C* Lignin - 425-450°C*	--	20-21

(Ne) Hořlavost textilních materiálů je určována schopností retardace (zpomalení, zbrzdění) hoření plamenu a obecně se stanoví limitním kyslíkovým číslem – LKČ (LOI).

Nehořlavost - LOI



- ❑ Limiting Oxygen Index LOI (limitní kyslíkové číslo, LKČ) znamená, jaké množství kyslíku v atmosféře je potřebné k podpoře hoření
- ❑ LOI vyjadřuje nejnižší koncentraci kyslíku ve směsi s dusíkem (v %), která ještě stačí k tomu, aby materiál při podmínkách zkoušky hořel
- ❑ pokud je hodnota LOI nízká znamená to, že materiál hoří i při malém podílu kyslíku ve směsi. O vláknech s LOI větším než 26 (28) se hovoří, že jsou retardérem plamenu, tj. plamen zhašející (ohnivzdorná).

$$LOI = \frac{O_2}{O_2 + N_2} * 100 \quad \%$$

kde O_2 - je objem kyslíku, N_2 – objem dusíku

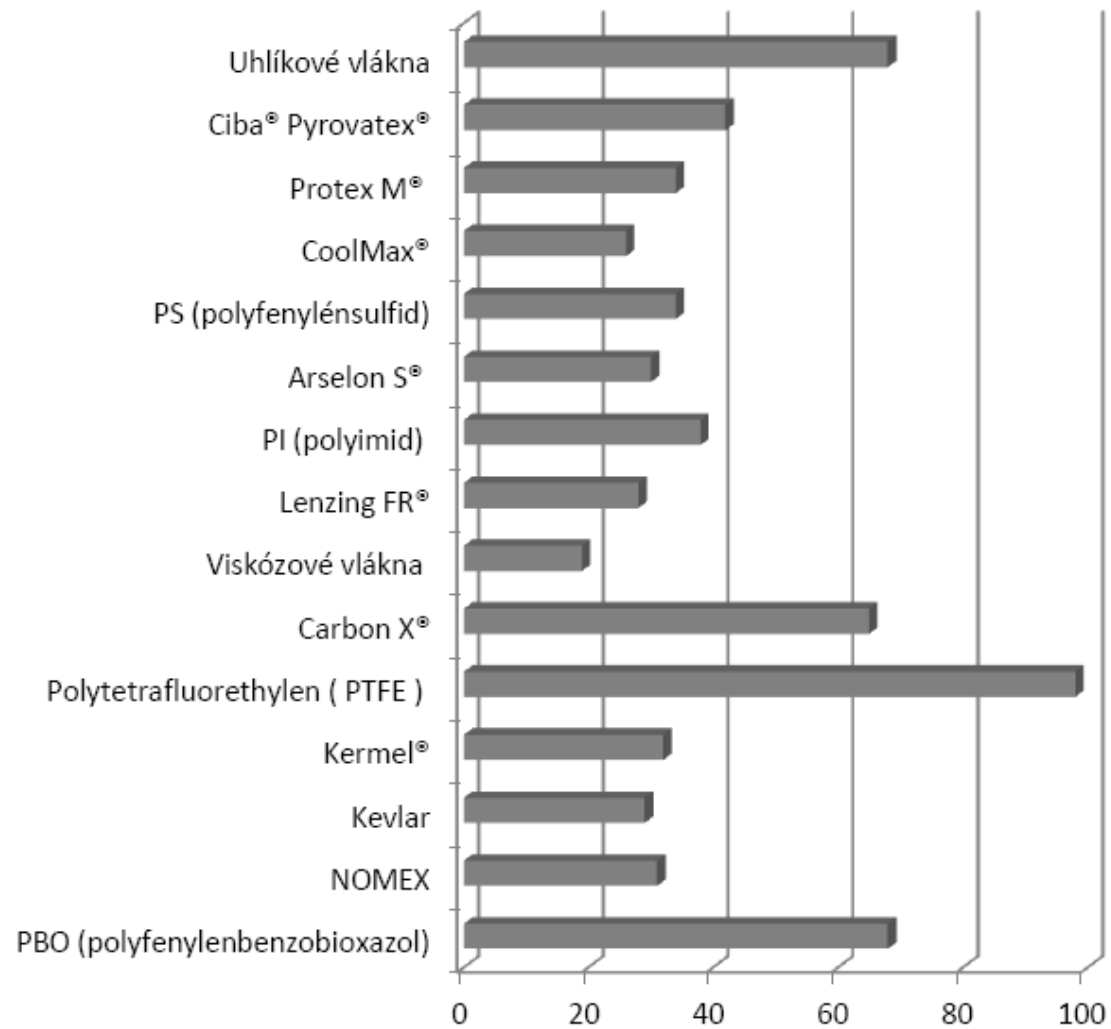
Nehořlavost - LOI

Klasifikace vláken dle odolnosti vůči hoření

- *vlákna hořlavá* - hoří i po vyjmutí z plamene, např. bavlna, len, viskóza, polyakrylonitril
- *vlákna samozhášející (LOI > 26)* - hoří, ale po vyjmutí z plamene zhasnou, např. vlna, přírodní hedvábí, polyester, polyamid, modakrylová vlákna
- *vlákna nehořlavá* - v plamenu se případně pouze taví, po vyjmutí z plamene ihned zhasínají, např. PVC, aramidové vlákna

LOI < 20.95	Flammable
LOI = 20.95	Marginally stable
21 < LOI < 28	Slow burning
28 < LOI < 100	Self extinguishing
100 < LOI	Intrinsically non-flammable

Nehořlavost - LOI



Hořlavost – textilní vlákna

Materiál	Teplota tání [°C] (temperature of melting)	Teplota vzplanutí [°C] (temperature of combustion)	LKČ [%] (LOI)
bavlna	-	350 - 400	19
bavlna FR			28-30
vlna	-	570 - 600	25
viskóza	-	420	20
viskóza FR			27
Lenzing™FR			28
Visil®			32
PES	250 - 292	485 - 560	22
PES FR	259		26
TreviraCS®			28
PP	164 - 170	450 - 500	18
PVC	190 - 210	390 - 450	37
chlorovlákná			45
PVC (Rhovyl®)			45
PAN	240	450 - 530	18
Carbon X™			55
oxidovaný PAN (Panox®)			50
Modakrylová vlákna	160 - 190		27 – 32
Protex M®			32
Kanecaron®			30 – 35
Melaminová vlákna (Basofil®)			32
Novoloidová vlákna (Kynol®)	350		30 – 34
PA	220	480 - 520	20
aromatické polyamidy			
m-aramidová vlákna			30 – 32
Nomex®	380	600	28
Conex	400		30
p-aramidová vlákna	350		29
Kevlar®	480		31
Twaron®	netaví se	500	29 - 37
polyamid-imid (Kermel®)			28 – 32
Polyimid (P-84®)	480		38
Polyoxadiazolová vlákna (Arselon®)	-		27 – 30
PTFE (Teflon®)	400	nehořlavé	nad 95
PBI	450		41
Celazole®			58
PBO (Zylon®)			68
skleněná vlákna	800		100

Vlákna se sníženou hořlavostí, nehořlavé vlákna

- *viskózová vlákna*, Lenzing™ FR (Rakousko), permanentní, samozhášení, netaví se, použití: zásahové oděvy pro IZS, prostěradla, atd.
- *polyesterová vlákna*, TreviraCS® (kyselina fosfinová v PET řetězci), Trevira FR® (Německo), permanentní, samozhášecí schopnost, použití: bytový textil, ochranné oděvy, atd.
- *polyvinilchloridová vlákna* (chlor, uhlík), Rhovyl®, se zvyšující se teplotou roste nehořlavost, nevytváří žhnoucí odkapávající částice, dobrý tepelný izolant, použití: spodní prádlo, interiérové doplňky, ložní prádlo, materiály pro filtry, atd.
- *polyakrylonitrilová vlákna*, Panox® (Německo) - excelentní odolnost vůči hoření, velmi dobrá odolnost vůči chemikáliím, vysoká tepelná stabilita, vysoký elektrostatický odpor, nízká tepelná vodivost, vlákna nehoří, netaví se, neodkapávají. použití: ochranné protipožární oděvy, pro interiérový nábytek budov a letadel, obalový materiál
- *uhlíkové vlákna*, CarbonX™ (USA), směsi vysoce nehořlavých vláken s využitím oxidovaných polyakrylonitrilových vláken, která neuhelnatí, neškvaří se, netají a ani nemění svůj tvar, příjemné na omak, prodyšné a rychleschnoucí, použití: oděvy pro svářeče, hasiče, materiály používané v petrochemickém, chemickém i plynárenském průmyslu
- *modakrylové vlákna*, Protex® (Japonsko), samozhášející schopnost, zároveň dobré komfortní vlastnosti a splývavost, použití: ochranné oděvy i běžné nošení
- *melaninová vlákna*, Basofil® (vývoj Německo, výroba USA), odolává působení teploty až do 200°C, netaví se, cenově výhodná, použití: ochranné oděvy, filtry, bytové doplňky, atd
- *novoloidová vlákna*, Kynol® (Německo), vysoká odolnost proti hoření, neuvolňuje toxické látky při spalování, tepelný izolant, použití: filtry

Nehořlavé vlákna nebo se sníženou hořlavostí

- *aromatické polyamidy*, meta – aramidová vlákna, Nomex[®], Conex[®] (TeijinConex[®]) (USA) dlouhodobě odolávají teplotám v rozmezí 200 - 250°C, krátkodobě teplotám v rozmezí 300 - 400°C, vysoká tepelná odolnost, nehoří, netaví se a ani neodkapávají, použití: hasičské oděvy, oblečení pro vojenské piloty, posádky bojových vozidel, automobilové závodníky, pracovní oděvy
- *aromatické polyamidy*, para – aramidová vlákna, Kevlar[®] (USA), odolnost vůči teplotám podobná jako meta – aramidová vlákna, lepší mechanické vlastnosti, použití: ochranné oděvy pro hasiče, polici, rukavice, boty a helmy
- *para – aramidová vlákna*, Twaron[®] (Nizozemsko), vysoká teplotní a rozměrová stabilita, použití: technický textil, lana, šňůry, lodní plachty, hadice, kompozity pro výztuž pneumatik
- *polyamid – imidová vlákna*, Kermel (Francie),
- *polyimidová vlákna a jiné*

Hořlavost textilních materiálů

Hořlavost textilních vláken a plošných útvarů z nich vyrobených ovlivňuje

- chemická a fyzikální konstituce vláken (\uparrow tepelná vodivost, \downarrow tepelná kapacita, rychlejší transport tepla v materiálu \rightarrow hoří rychleji)
- konstrukce plošné textilie– strukturní parametry textilních plošných útvarů (volná vazba, řídká dostava, malá tloušťka, vysoká pórovitost, chlupatost $\rightarrow \uparrow$ obsah vzduchu \rightarrow hoří rychleji)
- silueta oděvu – delší volný oděv $\rightarrow \uparrow$ přístup vzduchu \rightarrow hoří rychleji
- nános textilních pomocných prostředků
- okolní podmínky hoření (obsah kyslíku, teplota okolí)

Jak ovlivnit hořlavost textilních materiálů?

- snížit energii, která se uvolňuje při spalování
- zvýšit energii potřebnou pro spalování



Nehořlavé úpravy

- ❑ **dočasná** - neboli vypratelná úprava se provádí pomocí anorganických solí a to např. boraxem nebo síranem hlinitým.

- ❑ **trvalá** – úprava se provádí modifikací, fixací či chemicky, záleží ale na upravovaném typu vláken.
 - *úprava syntetických vláken* se provádí buď modifikací struktury, přidávkem vhodných chemikálií do zvlákněvané sloučeniny nebo povrchovou úpravou pomocí přípravků na bázi halogenů a různých oxidů (antimon, cín)
 - *úprava celulózových materiálů* se provádí buď fixací účinných substancí na vláknech za pomoci syntetických polymerů (nižší stálosti v praní, chemickém čištění, změna mechanických vlastností, prodyšnosti, zhoršení omaku ⇒ provádí se pouze u technických textilií,) nebo chemickou změnou celulózy za pomoci fosforových sloučenin (dochází ke snížení pevnosti až o 30 % , problém s odstraňováním fosforu z odpadních vod)
 - úprava vlněných materiálů se provádí pomocí sloučeniny titanu nebo zirkonu.

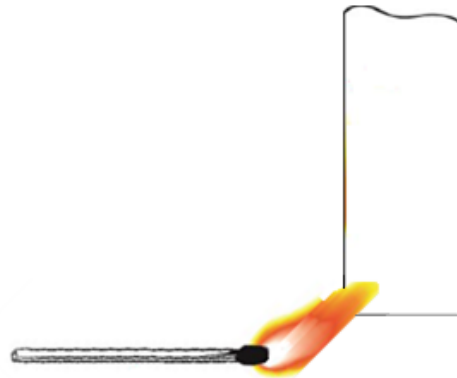
Typy úprav - Ignic, Pyrofix, Proban

Metody hodnocení hořlavosti

- metoda zápalková
- metoda LOI
- metoda zapálení přímým plamenem
- metoda zapálení doutnající cigaretou
- metoda sálavého tepla
- tabletový test
- maticový test
- jiné

Metoda zápalková

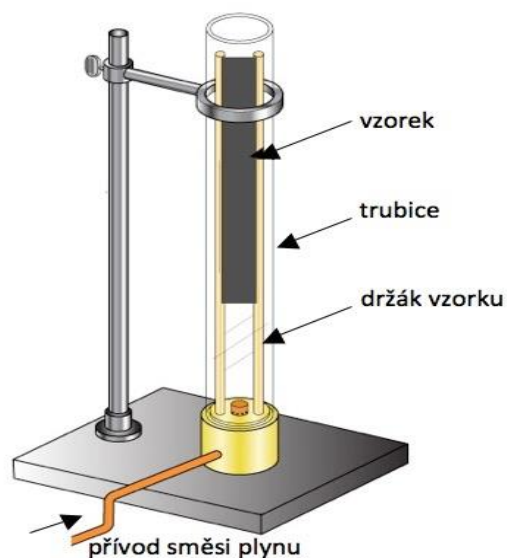
- informativní zkoušení hořlavosti dle ČSN 80 0824. Zkušební vzorek se upne do stojanu ve svislé poloze. Zapaluje se běžnou dřevěnou zápalkou, zápalka se drží ve vodorovné poloze ve vzdálenosti 10 mm pod dolním okrajem vzorku. Expozice plamene musí být dostatečná, přibližně do shoření dvou třetin shoření zápalky. Začne – li vzorek hořet, zápalka se oddálí, hodnotí se délka zuhelnatění. Délka zuhelnatění je dána rozdílem mezi délkou původního vzorku a hodnotou délky od začátku neporušeného konce vzorku až k místu úplného zuhelnatění.



Metoda LOI (Limiting Oxygen Index)

- ISO 4689, metoda založena na principu změny koncentrace kyslíku ve směsi kyslík – dusík, která proudí konstantní rychlostí okolo hořícího vzorku umístěného ve skleněném válci.

Vzorek se shora zapálí hořákem a hledá se minimální koncentrace kyslíku ve směsi O₂ + N₂, která je třeba k tomu, aby vzorek hořel. Taková směs plynu pak určuje LOI a je mírou hořlavosti daného materiálu



Classification

LOI < 20.95 - Flammable

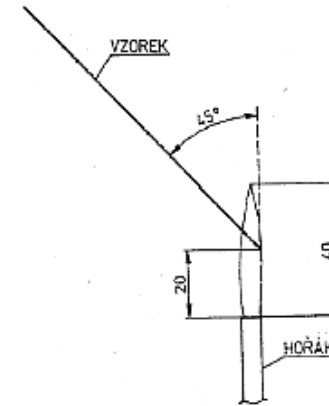
21 < LOI < 28 - Slow burning

28 < LOI < 100 - Self extinguishing

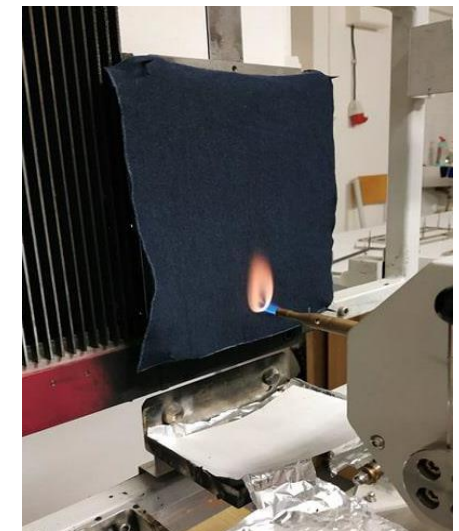
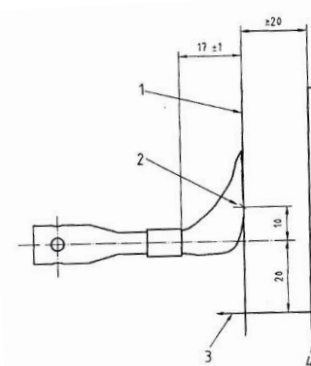
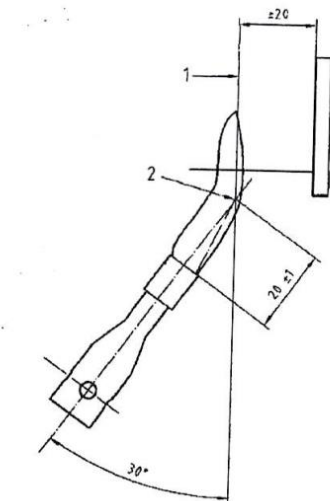
<https://www.youtube.com/watch?v=d5udld-dGIM>

Testování hořlavosti textilních materiálů přímým plamenem

- zkoušení hořlavosti dle geometrického uspořádání vzorků v prostoru horizontální, vertikální, šikmé (45° nebo 60°), obloukové

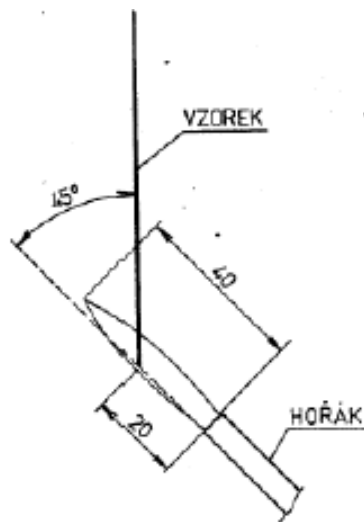


- zkoušení hořlavosti dle uspořádání způsobu zapálení vzorků na hranu, do povrchu



Metoda zapálení přímým plamenem

- aplikace přímého plamene do povrchu vzorku nebo do hrany, při hoření se posuzuje hořlavost a žhnutí působením plamene na vzorek textilie (po stanovenou dobu se vzorek textilie v definované pozici zapaluje a po uplynutí této doby se zjišťuje, zda vzorek hoří a zda probíhá žhnutí dáno příslušnou normou – např. ČSN EN ISO 6940, ČSN EN ISO 6941, ČSN EN ISO 15025, atd.)



hořlavost – je definována jako schopnost textilie vznítit se, hořet nebo žhnout po zapálení

žhnutí – bezplamenné hoření doprovázené světelným a tepelným efektem

rychlost hoření – rychlost vyjádřená délkou shořelé části vzorku [mm] za sledovanou dobu [s]

doba do zapálení – čas potřebný k zapálení vzorku [s]

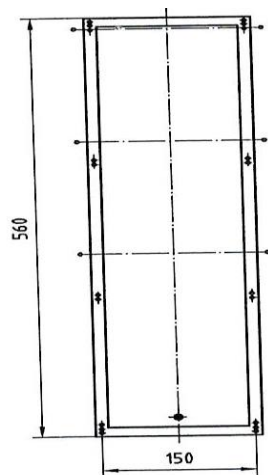
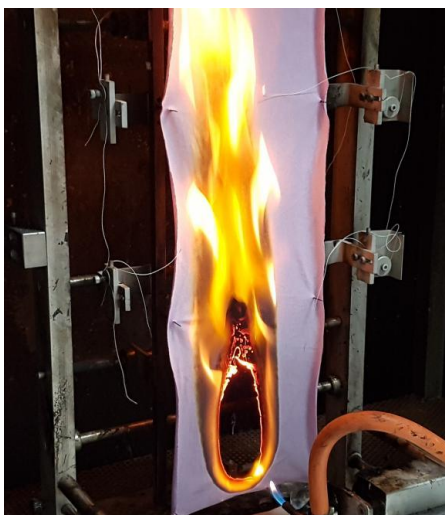
Metoda zapálení přímým plamenem

Přístroj M233B – AUTO FLAMM TESTER



ČSN EN ISO 6940 – zjišťování „snadnosti zapálení“ svisle umístěných vzorků, doba působení plamene 0-20s. Pokud se vzorek zapálí během 1 s působení plamene - záznam 0 s, pokud ne, zkouška se opakuje s navýšením času o 1 s až do doby zapálení (max 20 s), stanovení *průměrné doby zapálení*

ČSN EN ISO 6941 – zjišťování rychlosti šíření plamene u svisle umístěných vzorků, doba působení plamene 10 s, záznam *doby šíření plamene* v sekundách potřebných k tomu, aby část plamene přešla mezi značkovacími nitěmi, jež jsou umístěné nad povrchem vzorku

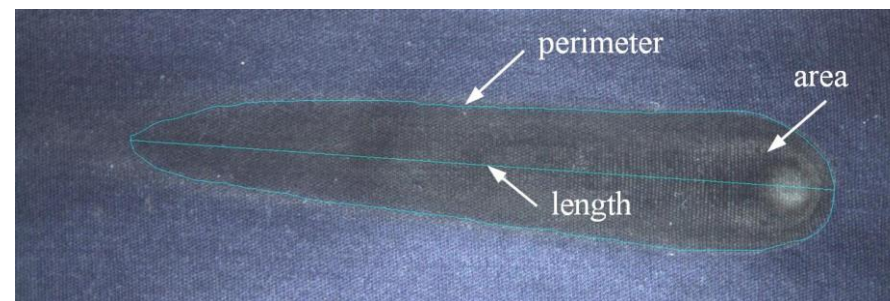
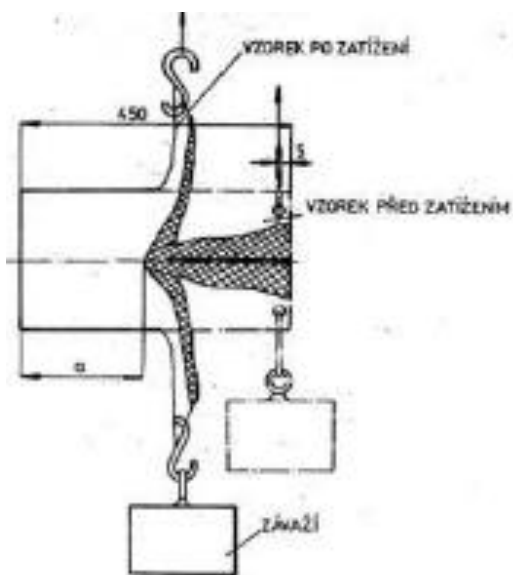


ČSN EN ISO 15025 – metoda zkoušení pro omezené šíření plamene, **hodnocení vlastností textilií** při krátkodobém kontaktu s malým plamenem, doba působení plamene 10 s, hodnocení: *doby dohořívání plamenem*
doby dohořívání žhnutím
výskyt odpadlé částice
výskyt plamenně hořící částice
vytvoření díry, atd.

Metoda zapálení přímým plamenem

○ Měření délky zuhelnatělého zbytku - dotrhávací zkouška

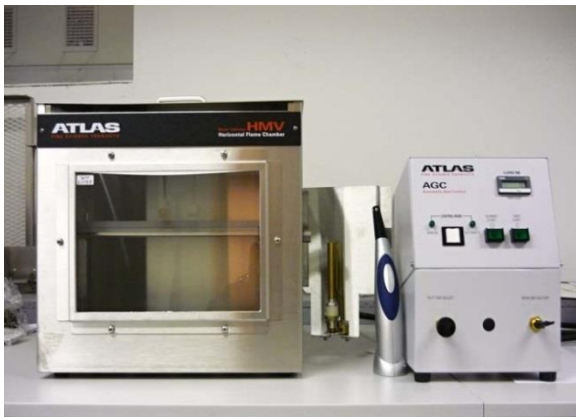
- je realizována zavěšením závaží (dle plošné hmotnosti) na ohořelý zbytek vzorku
- měří se délka zuhelnatění vzorku v [mm] – rozdíl mezi hodnotou délky původního vzorku textilie a hodnotou zjištěnou změřením vzdálenosti od začátku neporušeného vzorku k místu jeho roztržení



Metoda zapálení přímým plamenem

°Přístroj M233F - Atlas HMF Horizontal Flammability Tester

- ČSN ISO 3795, stanovení hořlavosti materiálů použitých v interiéru vozidla
- vodorovné zkoušení, zejména pro automobilový interiér - potahy v dopravních prostředcích, držák vzorku ve tvaru tvar U



- šíření plamene nejpomalejší, dobrá reprodukovatelnost, zapálení na hraně
- zapálí vzorek definovaným plamenem po dobu 30 s
- hodnocení: doba hoření, dožeh a zuhelnatělá plocha

Metoda zapálení doutnající cigaretou

○ Přístroj M233P1 - Flammability Test Rig (upholster\)

- ČSN EN 1021-1, 2 Nábytek – hodnocení zápalnosti čalouněného nábytku
- zdroj zapálení – plamen, žhnoucí normovaná cigareta



Tabletový test hořlavosti

Přístroj SL – FL090, Flooring Materials Flammability Test Apparatus

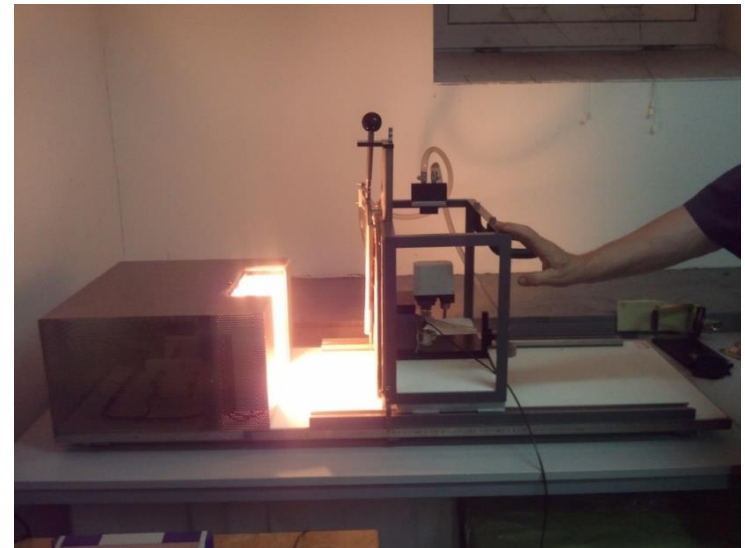
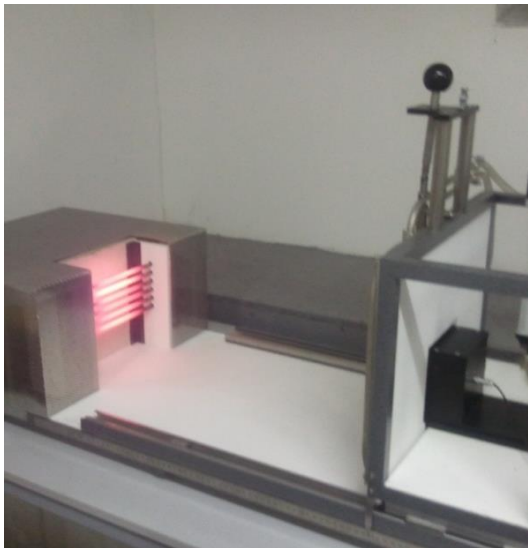
- test hořlavosti textilních podlahových krytin, ISO 6925 (BS 6307)
- box z nerezové oceli se žáruvzdornou deskou uvnitř + zrcadlo, vodorovná poloha zkoušeného vzorku, methenaminová tableta umístěná do středu materiálu, zapálení tablety dotykem zápalky, měření maximálního průměru vyhořelé plochy



Metoda hodnocení odolnosti vůči sálavému teplu

○ Přístroj X637 B – Protective clothing equipment (exposing of radiant heat)

- ČSN EN ISO 6942, Ochranné oděvy – Ochrana proti teplu a ohni, Zkušební metoda: hodnocení materiálu a kombinací materiálů vystavených sálavému teplu
- zkoušení textilních materiálů **sálavým teplem** vyvozeným šesti topných tyčí z karbidu křemíku (SiC), nastavitelná hustota tepelného toku 5-80 [kW/m²] (hasičské oděvy – hustota tepelného toku 40 [kW/m²]), ČSN EN ISO 6942
- zdroj sálání v činnosti 5 min – teplota kolem 1100°C
- **metoda A** – vizuální posouzení změn (poškození) vzorku
- **metoda B** – posouzení ochranného účinku testovaného materiálu s využitím kalorimetru, hodnocení času t_{12} [s] a t_{24} [s] potřebného ke zvýšení teploty vzorku o 12 °C res. 24 °C, stanovení hustoty tepelného toku prošlého vzorkem Q_c [kW/m²], součinitele prostupu tepla TF



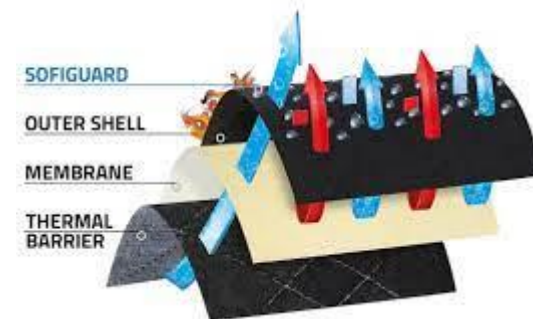
Ochranné oděvy – hasičské zásahové uniformy

○The structure of firefighter clothing assembly involves outer **shell, moisture barrier and thermal liner**.

- ❑ **The outermost layer is** configured to shield the interior components from thermal hazards, abrasion, sunlight and other parameters inculcating in fighting against hazardous fire. The outer shell defies ignition after being subjected to thermal radiation for a short period of direct flame contact. Materials for outer shell: aromatic polyamides (aramids), polybenzimidazole (PBI) are employed for the outer layers of firefighters' turnout suits.
- ❑ **Moisture barrier includes** moisture membranes which are vital element in protective clothing against heat and flame due to their dual role in preventing water penetration while permitting perspiration of water vapor to exit. The moisture barrier provides defense against liquid water as well as against many common liquids such as chemicals. Materials: Microporous moisture barriers (or hydrophilic) are generally synthesized from expanded polytetrafluoroethylene (e-PTFE) laminated to aramid fabric
- ❑ **The thermal liner** delivers the most thermal insulation by entrapment of air in either a conventional needle-punched batting or between multiple layers of fabric. The durability of this layer is enhanced by quilting these substrates to a woven facecloth fabric.

The range of heat fluxes and temperature linked to various firefighting situations.

Conditions	Heat flux (kW/m ²)	Air Temperature (°C)
Routine conditions	0.42 to 1.26	10-60
Hazardous conditions	1.26 to 8.37	60-300
Emergency conditions	8.37 to 125.6	300-1000



Jaké teplotě odolává lidská kůže?

Snesitelná kontaktní teplota je 43,5°C. Pokud teplota přesáhne 45°C začnou se poškozovat buňky a tkáně, při delší expozici pocítíme bolest. V rozpětí teplot od 45 do 55 °C mohou být změny vratné. Při zvýšení teploty nad 55 stupňů se mění struktura bílkovin a buňky odumírají a změny jsou již nevratné.

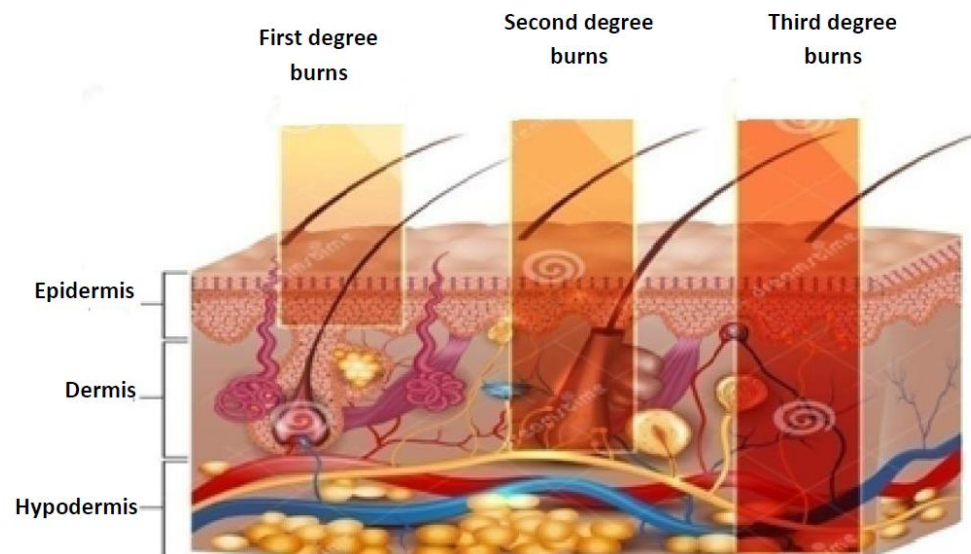


Figure 3: Schematic diagram of categorization of burns [63]

Flame manikins

- testování odolnosti ochranných oděvů vystavených kombinaci přímého plamene a sálavého tepla
- manekýn + komora simulující prostředí zásahu
- výrobci: Thermoman - Pyroman (Dupont, USA), Harry Burns, Ralph (British), Burnie (USA)



Flame Test Manikin - Burnie, Thermetrics (USA)



- ASTM F1930, ISO 13506
- povrch - unique ceramic composite (or flame-resistant fiberglass epoxy material) that is completely fireproof and will not degrade with use
- copper calorimeter heat-flux sensors (126 sensors, heat flux over a range from 0.0 to 4.0 cal/cm²•s (167 kW/m²) are integrated into the manikin shell
- applied heat flux intensity - 80kW/m²

Hořlavost - normy

- ❑ plošné textilie pro oděvy se zkouší nejčastěji podle ČSN EN 1103 (80 0804) -Textilie - Oděvní textilie - Podrobný postup pro zjišťování chování při hoření
- ❑ domácí a komerční praní před zkouškami hořlavosti - ČSN EN ISO 12138 (80 0808), ČSN EN ISO 10528
- ❑ zapalitelnost svisle umístěných vzorků - ČSN EN ISO 6940 (80 0805), ISO 6940, BS 5438
- ❑ rychlost šíření plamene svisle umístěných vzorků - ČSN EN ISO 6941 (80 0806), ISO 6941
- ❑ ochranné oděvy - stanovení vlastností při omezeném šíření plamene svisle orientovaných textilií - ČSN EN ISO 15025 (83 2750), hodnocení materiálu a kombinací materiálů vystavených sálavému teplu ČSN EN ISO 6942 (83 2744),
- ❑ bytový textil – zkušební metody vychází ze dvou hlavních norem - ČSN EN ISO 6940 (80 0805) - snadnost zapálení a ČSN EN ISO 6941 (80 0806) - rychlost šíření plamene
- ❑ záclony a závěsy - ČSN EN 1101 (80 6310), ČSN EN 1102 (80 6311), ČSN EN 13772 (80 6312)
- ❑ potahové textilie - ČSN EN 1021-1 a 2 (91 0232), lůžkoviny - ČSN EN 12952-1 a 2 (80 7615), matrace a lůžka s pevným čalouněním - ČSN EN 597-1 a 2 (91 0236), které vychází všechny ze zkoušení zápalnosti cigaretou a zápalkou