

KONSTRUKČNÍ INTEGRITA ZÁSAHOVÝCH ODĚVŮ PRO HASIČE A OCHRANA PŘED ZPLODINAMI HOŘENÍ

Ing. Pavel Častulík, CSc., Ing. Lukáš Králík, Ing. Kamila Lunerová, Ph.D., Mgr. Jakub Vaněk, Ph.D.,
Ing. Jiří Chrástek, Mgr. Jiří Koželuh, MgA. Michaela Šeráková, Ing. Markéta Weisheitelová, Ph.D.

APROCHEM 2026, Hustopeče u Brna

Program Bezpečnostního výzkumu ČR SECTECH VBo2000034

„Snížení zdravotních rizik hasičů-prostředky ochrany povrchu těla proti průniku zplodin hoření s využitím nanokompozitních materiálů“

Agenda

- Rizika spalin hoření
- Konstrukční integrita zásahových oděvů pro hasiče
- Návrhy řešení zvýšení ochrany proti spalinám hoření
- Doplněk-Ochrana proti ztuženým zápalným látkám- napalm

Komíníci a
jejich přínos na
profesní
ochranu proti
zplodinám
hoření



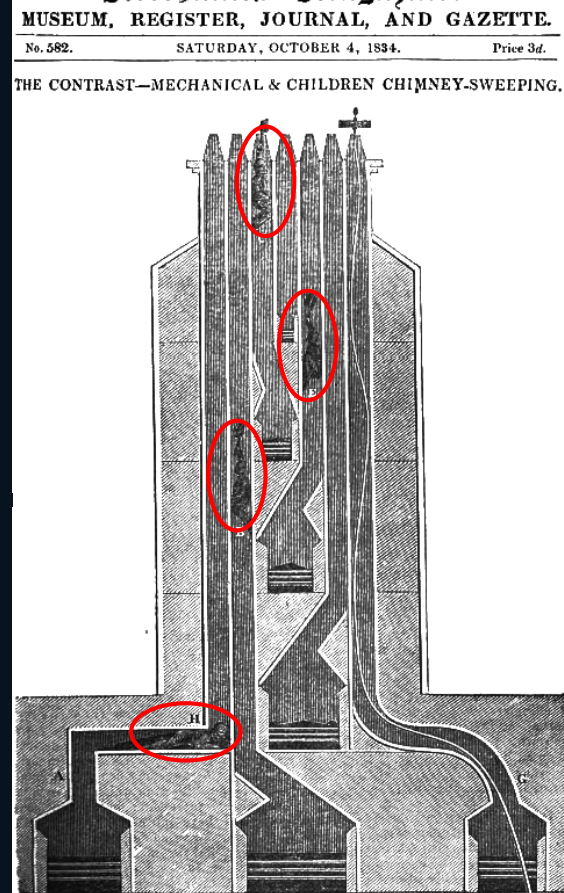
Kominíci a rakovina

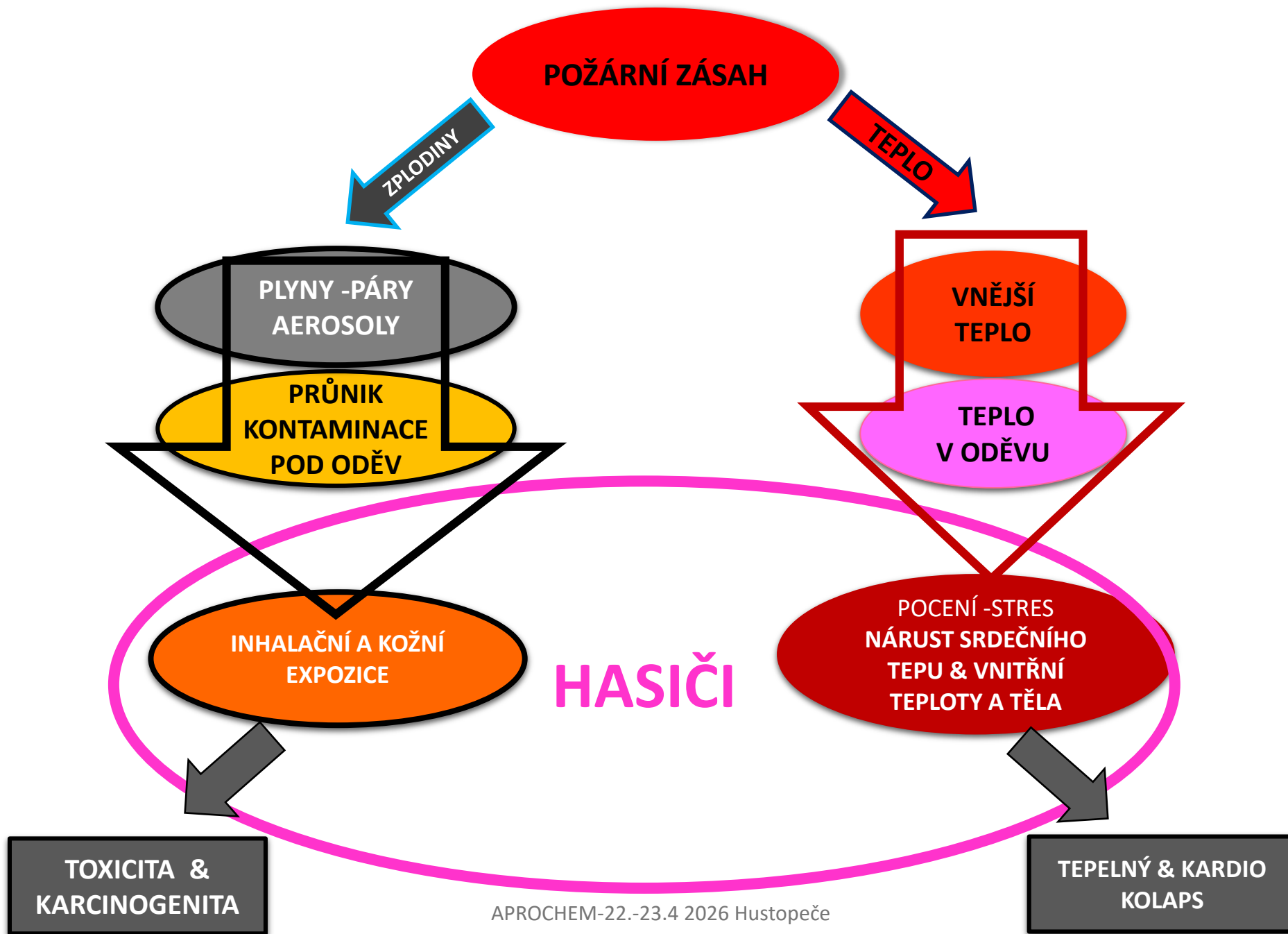
1775 Sir Percivall POTT
důkaz rakoviny

Dětští kominíci 4-6 let
1788 věk 8 let
1834 věk 10 let
1840 věk 16 let



POTT, F. R. S.
[1714-88]
Engraving from an Original Picture by Daniel
Published 7 June 1785, by E. Hedges, No. 92, Cornhill, London.






Kontaminace při požárech

- Požár
pneumatik
Uh. Brod
- Sklad
Otrokovice





Požár ve
výrobně plastů
Brno-Přízřenice
20.4.2026

Kontaminace při vnitřních požárech

- Zakouřený prostor při požárech uvnitř objektů
- Kontaminace produkty hoření ve formě **plynů, par a aerosolů** nebezpečných látek
- Omezená viditelnost-orientace-stres



Riziko kontaminace produkty hoření



Pracovní-tepelné zatížení a kontaminace zplodinami hoření



Dopravní havárie 28.4. 2025

- Železniční stanice
Hustopeče nad Bečvou
- Vykolejení vlaku s
převozen cisteren s
náplní 1.020 t benzenu



Vysoké
koncentrace
par benzenu v
sondážní jámě
a okolí při
odsávání
kapalné fáze
benzenu z
hladiny spodní
vody



Požáry v přírodě

Hřensko 2022



Řecko 2023



Rizikové produkty spalin hoření

Zplodiny hoření	Typ požáru			
	Stavby	Lesy	Skládky	Vozidla
Akrolein	X	X		
Amoniak	X	X	X	X
Azbest	X			
Oxid uhelnatý	X	X	X	X
Formaldehyd	X	X	X	X
Bromovodík	X		X	
Chlorovodík	X		X	X
Kyanovodík	X	X	X	X
Fluorovodík	X		X	
Izokyanáty	X			X
Kovy	X	X	X	X
Oxidy dusíku	X	X	X	X
Pevné částice	X	X	X	X
Saze	X	X	X	X
Perfluorované chemické látky	X			X
Polybromované a polychlorované dibenzo-para-dioxiny a furany (PBCD/F a PCCD/F)	X		X	X
Polychlorované bifenyly (PCB)	X		X	
Polybromované difenyletery (PBDE)	X		X	
Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)	X	X	X	X
Polotěkavé a těkavé organické látky (sVOC a VOC)	X	X	X	X
Oxid siřičitý	X	X	X	X
Syntetická skelná vlákna	X			

ROZKLADNÉ PRODUKTY HAŠENÍ LITHIOVÝCH BATERÍ		
Látka	Vzorec/zkratka	Skupenství/toxicita
fluorovodík	HF	plyn, vysoce toxický a korozivní
fluorid fosforu	POF ₃	plyn, toxický
kyselina fosforečná	H ₃ PO ₄	kapalina-aerosol, toxická a korozivní
fosfin	PH ₃	plyn hořlavý, vysoce toxický
kovy	Co, Ni, Mn, Li	aerosoly, vysoce toxické a korozivní
hexafluorofosforečnan lithný	LiPF ₆	aerosol, toxický
polycyklické aromatické uhlovodíky	PAH	aerosol, toxické a karcinogenní
těkavé látky	CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , C ₅ H ₁₂ , H ₂ , CO, CO ₂	plyny, hořlavé, výbušné
+ SPALINY HOŘENÍ KAROSERIE		

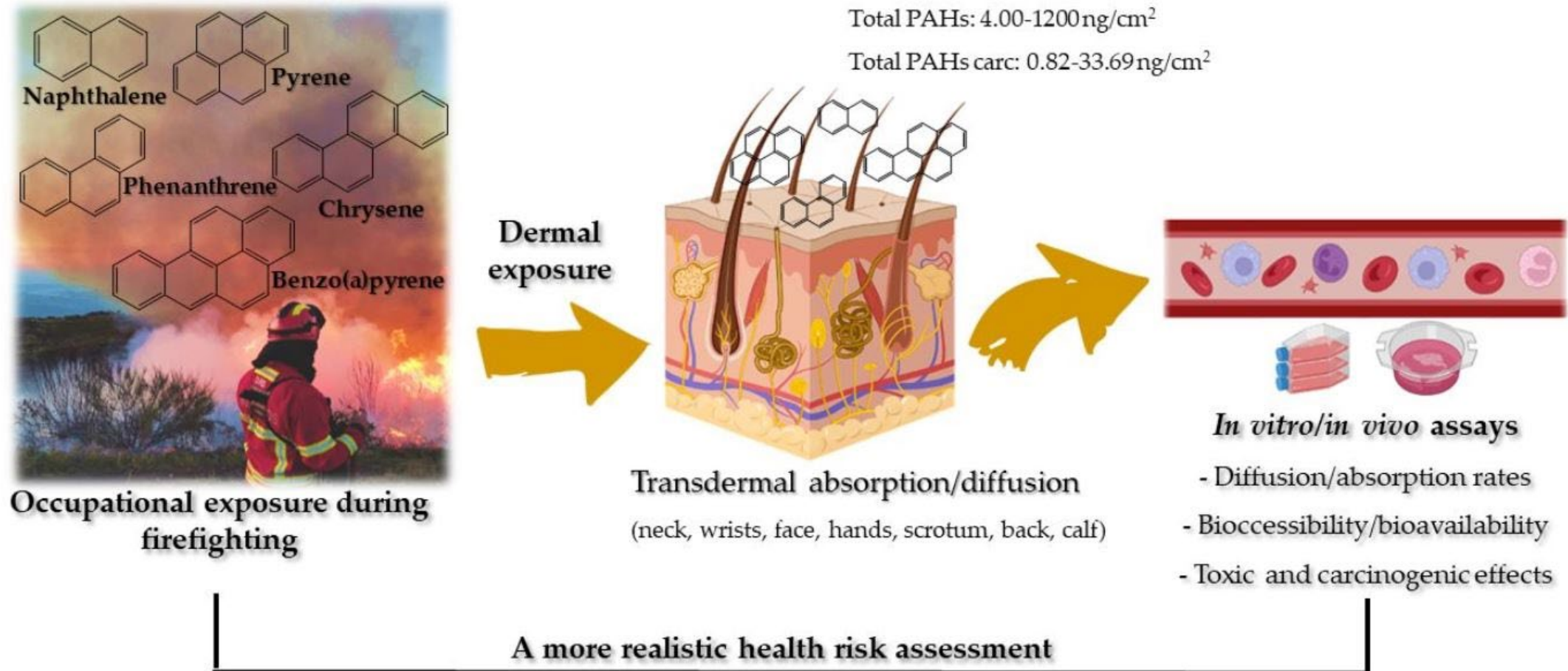
Chronická karcinogenita

Zplodiny hoření	Typ požáru			
	Stavby	Lesy	Skládky	Vozidla
Akrolein	X	X		

Chemická látka	Fyzická forma	Místo nálezu	IARC skupina
azbest	aerosol, částice	požářiště, ochranné prostředky	1
saze	částice	požářiště, ochranné prostředky	1
benzen	plyn/páry	požářiště	1
benzo(a)pyren	aerosol, částice	požářiště, ochranné prostředky	1
1,3-butadien	aerosol, částice	požářiště, ochranné prostředky	1
formaldehyd	plyn/páry	požářiště	1
dioxiny	aerosol, částice	požářiště, ochranné prostředky	1
výfukové plyny naftových motorů	aerosol, částice	požářiště, ochranné prostředky	1
spaliny dřeva	aerosol, částice	požářiště, ochranné prostředky	1
krezoláty	aerosol, částice	požářiště, ochranné prostředky	2A
polybromované difenyl estery	aerosol, částice	požářiště, ochranné prostředky, HZS stanice	2A

International Agency for Research on Cancer (IARC)

Dermální přenos produktů hoření do organismu



Rychlost a míra následné adsorpce a permeace látek pokožkou závisí na její teplotě: zvýšení o 5 °C znamená nárůst o 400 % !

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)

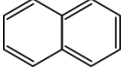
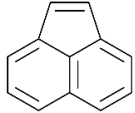
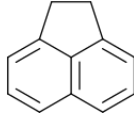
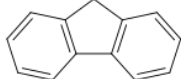
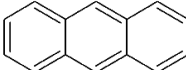
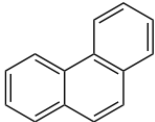
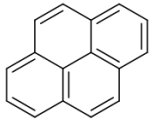
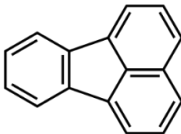
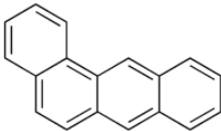
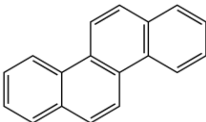
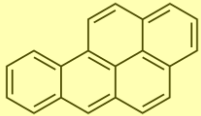
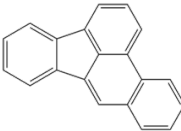
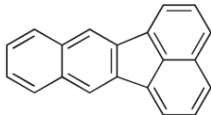
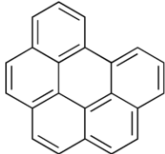
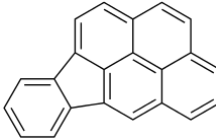
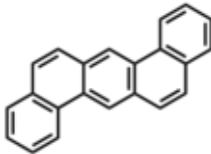
- Základní skupina PAH 16 – EPA výběr ze 70. let
- Tendence k rozšíření sledovaných látek:
 - další základní struktury
 - deriváty - alkylované deriváty, nitro...
 - substituované hetero deriváty N, S, O

PAH Compound	Toxic Equivalent Factor – TEF
Naphtalene *	0.001
Acenaphtene *	0.001
Acenaphtylene	0.001
Fluorene	0.001
Phenanthrene *	0.001
Anthracene	0.001
Fluoranthene *	0.001
Pyrene	0.001
Benzo[a]anthracene *	0.1
Chrysene *	0.001
Benzo[b]fluoranthene	0.1
Benzo[k]fluoranthene *	0.1
Benzo[a]pyrene *	1
Indeno [1,2,3-cd]pyrene	0.1
Dibenzo[a,h]pyrene	1
Benzo[ghi]perylene *	0.01

TEF = Toxic Equivalence Factor (Benzo[a]pyrene = 1)

* Prokázaný karcinogen

Applied Sciences 2023, 13, 6992. DOI:10.3390/app13126992.

Naftalen  MW = 128	Acenaftýlen  MW = 152	Acenaften  MW = 154	Fluorene  MW = 166
Anthracen  MW = 178	Fenanthren  MW = 178	Pyren  MW = 202	Fluoranthen  MW = 202
Benz(a)anthracen  MW = 228	Chrysen  MW = 228	Benzo(a)pyren  MW = 252	Benzo(b)fluoranthen  MW = 252
Benzo(k)fluoranthen  MW = 252	Benzo(ghi)perýlen  MW = 276	Indeno(1,2,3-cd)pyren  MW = 276	Dibenz(a,h)anthracen  MW = 278

Expozice – zdravotní rizika při požárech

Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (IARC) na základě výsledků mnoha studií uvádí, že lze prokázat souvislost mezi vyšším výskytem nádorových onemocnění a pracovní expozicí hasičů nebezpečným látkám a vlivům. Z hlediska typu/místa nádorového onemocnění byl **prokázán zvýšený výskyt rakoviny žaludku, tlustého střeva, plic, kůže, prostaty, varlat, ledvin, močového měchýře, mozku, štítné žlázy, mesotheliu (povrchová vrstva některých vnitřních orgánů) a non-Hodgkinova lymfomu.**

IARC (2023). Occupational exposure as a firefighter. IARC Monogr. Identif. Carcinog. Hazards Hum. 132:1–730.

Přehled typů nádorových onemocnění zjištěných u hasičů v porovnání s běžnou populací (IARC 2023)

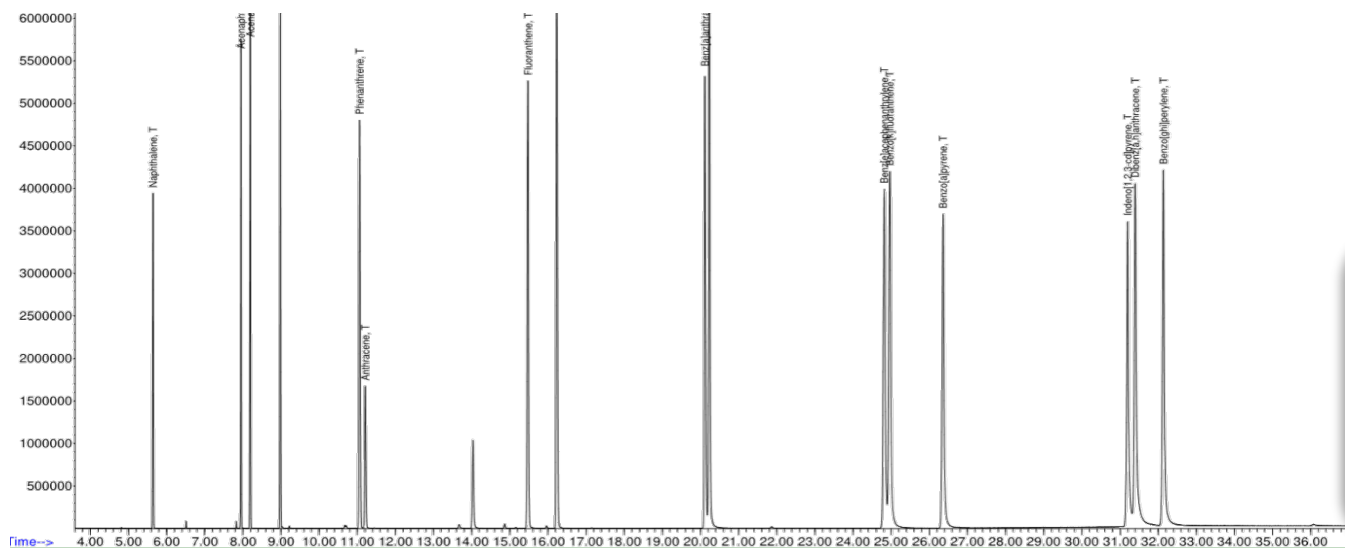
Čísla v tabulce udávají **kolikrát je vyšší výskyt sledovaného nádorového onemocnění**, resp. **kolikrát je vyšší úmrtnost na dané onemocnění při porovnání sledované skupiny se srovnatelnou skupinou v běžné populaci**

Typ/místo nádoru	Prokázaný výskyt	Úmrtnost
Všechny typy nádorů	1,05	0,96
Mezotheliom	1,56	1,75
Varlata	1,37	-
Melanom kůže	1,36	1,05
Štítná žláza	1,28	1,90
Prostata	1,21	1,07
Tlusté střevo	1,19	1,03
Močový měchýř	1,16	1,22
Non-Hodgkinův lymfom	1,12	1,20
Ledviny	1,09	1,10
Mozek a nervový systém	1,01	1,33
Žaludek	1,00	1,05
Plíce	0,85	0,96

Reálné testy přítomnosti zplodin hoření na zásahových oděvech Spolupráce s FBI VŠB-TUO

Analýza reálných vzorků

- Vzorkování zplodin hoření při požáru
- Odběr vzorků z ochranných hasičských oděvů po zásahu
- GC/MS analýza




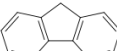
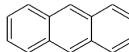
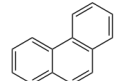
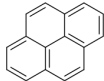
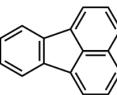
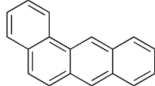
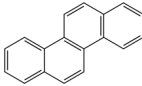
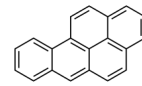
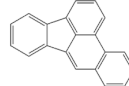
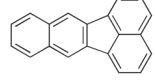
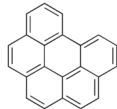
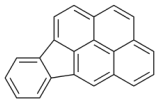
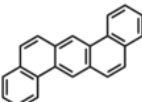


Expozice – reálné vzorky

Vzorek jednovrstvé ochranné kukly

navážka 13 g, ca 150 cm²

- Pasivní vzorkovače – PUF, ACF, PTFE membrána
- Odběry pevných matric
- Stěry z povrchů – prostředí, hasiči
- Vzorky ochranných oděvů

1 Naftalen  MW = 128	2 Acenaftilen  MW = 152	Acenaften  MW = 154	Fluorene  MW = 166
6 Anthracen  MW = 178	5 Fenanthren  MW = 178	8 Pyren  MW = 202	7 Fluoranthen  MW = 202
Benz(a)anthracen  MW = 228	Chrysen  MW = 228	Benzo(a)pyren  MW = 252	Benzo(b)fluoranthen  MW = 252
Benzo(k)fluoranthen  MW = 252	Benzo(ghi)perylen  MW = 276	Indeno(1,2,3-cd)pyren  MW = 276	Dibenz(a,h)anthracen  MW = 278

**Suma ve vzorku:
2 µg/g
resp. 17 ng/cm²**

Číslo vzorku	PAH	Obsah v navážce vzorku (µg/g)	Obsah přepočtený na plochu (ng/cm ²)
1	NN	0,60	5,2
2	ANL	0,20	1,7
3	AN	0,07	0,6
4	Fn	0,05	0,5
5	PhA	0,45	3,9
6	Anc	0,16	1,4
7	FA	0,15	1,3
8	Py	0,12	1,0
9	BAnc	0,03	0,3
10	Ch	0,04	0,3
11	BbFA	0,04	0,4
12	BkFA	0,01	0,1
13	BaPy	0,02	0,2
14	InPy	0,03	0,2
15	DBAnc	0,00	0,0
16	BgPe	0,02	0,2

V-MIST testy konstrukční integrity ochranných oděvů v plynové komoře

1. Detekční podvlek na Cl₂ (žlutý)
2. Ilustrace oblékání výstroje
3. Proband v kompletní testovací výstroji
4. Expozice probandů při dynamickém pohybu v plynové komoře 30min
5. Vizualizace průniku výstrojí chlóru na detekčním podvleku
6. Digitální zpracování primárního obrazu na detekčním podvleku



Dynamický test s probandy v atmosféře
6-10 ppm chlóru po dobu 30 minut



6

Normativní požadavky na ochranu hasičů proti zplodinami hoření - ODĚVY

- 1. Norma ČSN EN 469:2021** „Ochranné oděvy pro hasiče-technické požadavky na ochranné oděvy pro hasičské činnosti“ nevyžaduje ochranu proti průniku zplodin pod ochranný oděv přes bariérové materiály a zejména přes rozhraní:
 1. Ochranná kukla
 2. Rukávy vs rukavice
 3. Kabát vs kalhoty
 4. Nohavice vs boty
 5. Průnik přes textil
- 2. Norma ČSN EN ISO 15384:2018** „Ochranné oděvy pro hasiče pro likvidaci požárů v otevřeném terénu“ **zdůrazňuje potřebu ochranných oděvů volného střihu na snížení tepelného stresu při hašení v letních podmínkách, nestanovuje úroveň ochrany proti průniku zplodin hoření na povrch těla hasičů**
- 3. Norma ČSN EN 13034+A1** „Ochranný oděv proti kapalným chemikáliím - Požadavky na provedení pro ochranné oděvy proti chemikáliím poskytující omezenou ochranu proti kapalným chemikáliím“ neřeší průnik látek na molekulární úrovni, tedy permeaci, neřeší průnik zplodin hoření



Požadavky norem na vlastnosti ochranných kukel

EN 13911:2018 „Ochranné oděvy pro hasiče – Požadavky a zkušební metody pro hasičské kukly“

Požaduje ochranu proti šíření plamene a přenosu tepla plamenem a tepelným zářením. Umožňuje integraci větracího otvoru.

Nespecifikuje žádnou úroveň ochrany proti pronikání zplodin hoření k povrchu hlavy a krku.



NFPA 1971:2018 „Minimální požadavky na testování kukel“ Národní asociace protipožární ochrany v USA vyžaduje pro kukly ochranu proti aerosolům v rozmezí 0,1–1,0 μm s účinností alespoň 90 % po 20 pracích cyklech.

Nespecifikuje ochranu proti plynům a parám zplodin hoření.

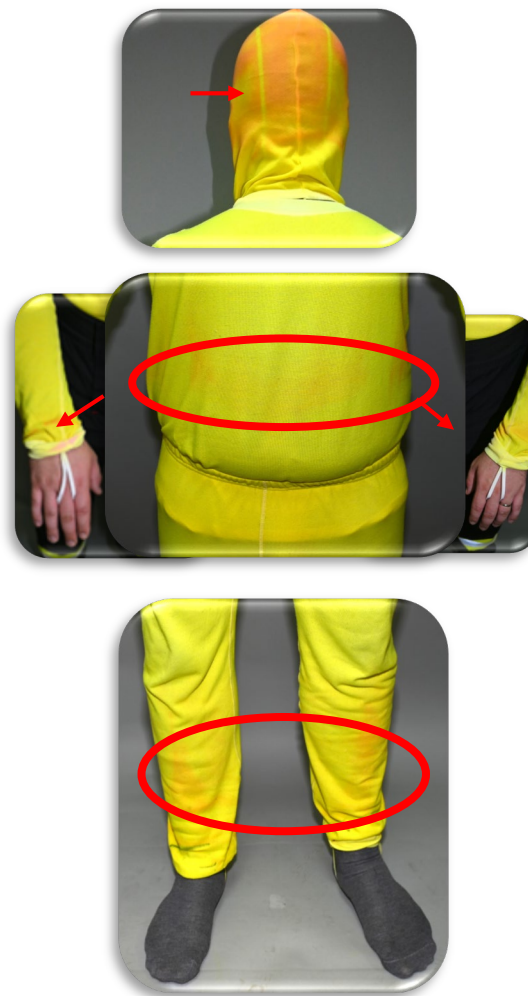
Problémy konstrukční integrity ochranných oděvů



1. Ochranná kukla-průnik textilií
2. Průnik na rozhraní rukáv-rukavice
3. Průnik na rozhraní kabát-kalhoty
4. Průnik na rozhraní nohavice-boty
5. Ochrana obuvi proti kontaminaci



Test integrity 3-vrstvého zásahového oděvu s membránou



Test integrity 1-vrstvého ochranného oděvu pro hasiče (hašení požárů v přírodě)-dominantní průnik textilním materiálem



Ochranná kukla DEVOLT (Spirit Hood Double) průnik plynné atmosféry pleteninou



Průnik plynné atmosféry přes ochrannou kuklu EAGLE FR



Zóny úprav zásahových oděvů na zvýšení ochrany proti průniku zplodin hoření

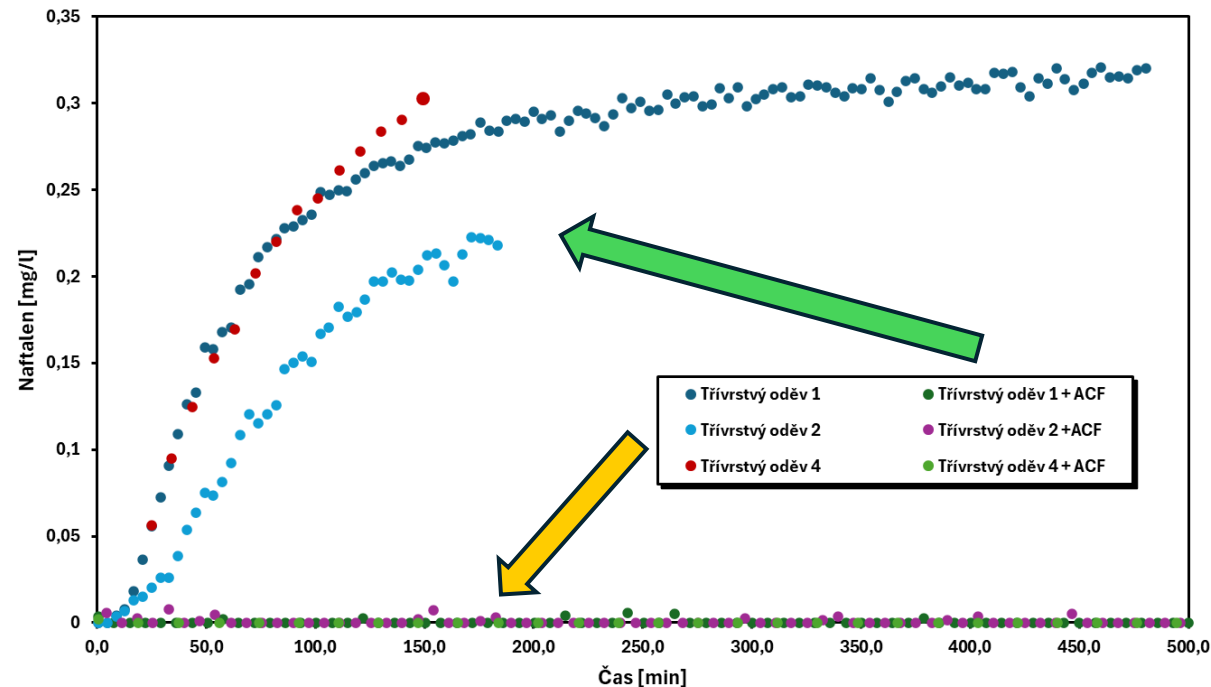
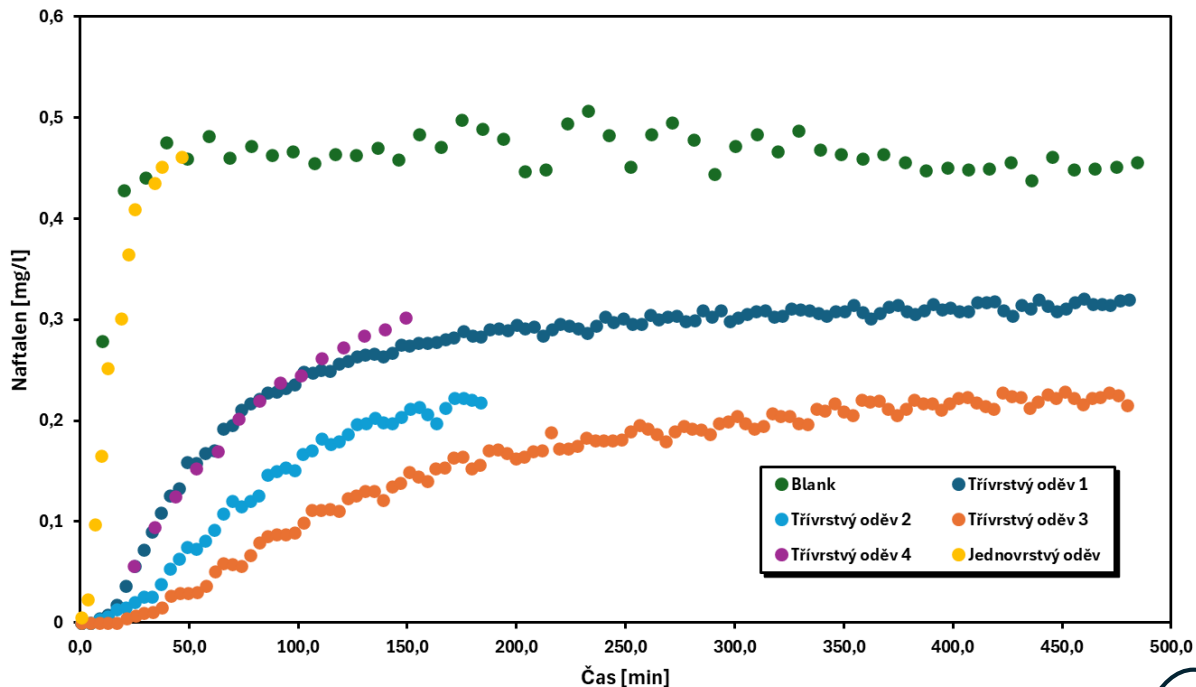


Textilní kompozit na záchyt aerosolů, plynů a par chemických látek



Materiálové testy – oděvy

- **Permeace naftalenu** konstrukčními materiály ochranných oděvů –difúzní pronikání
- **Přínos vrstvy adsorpční uhlíkové textilie**

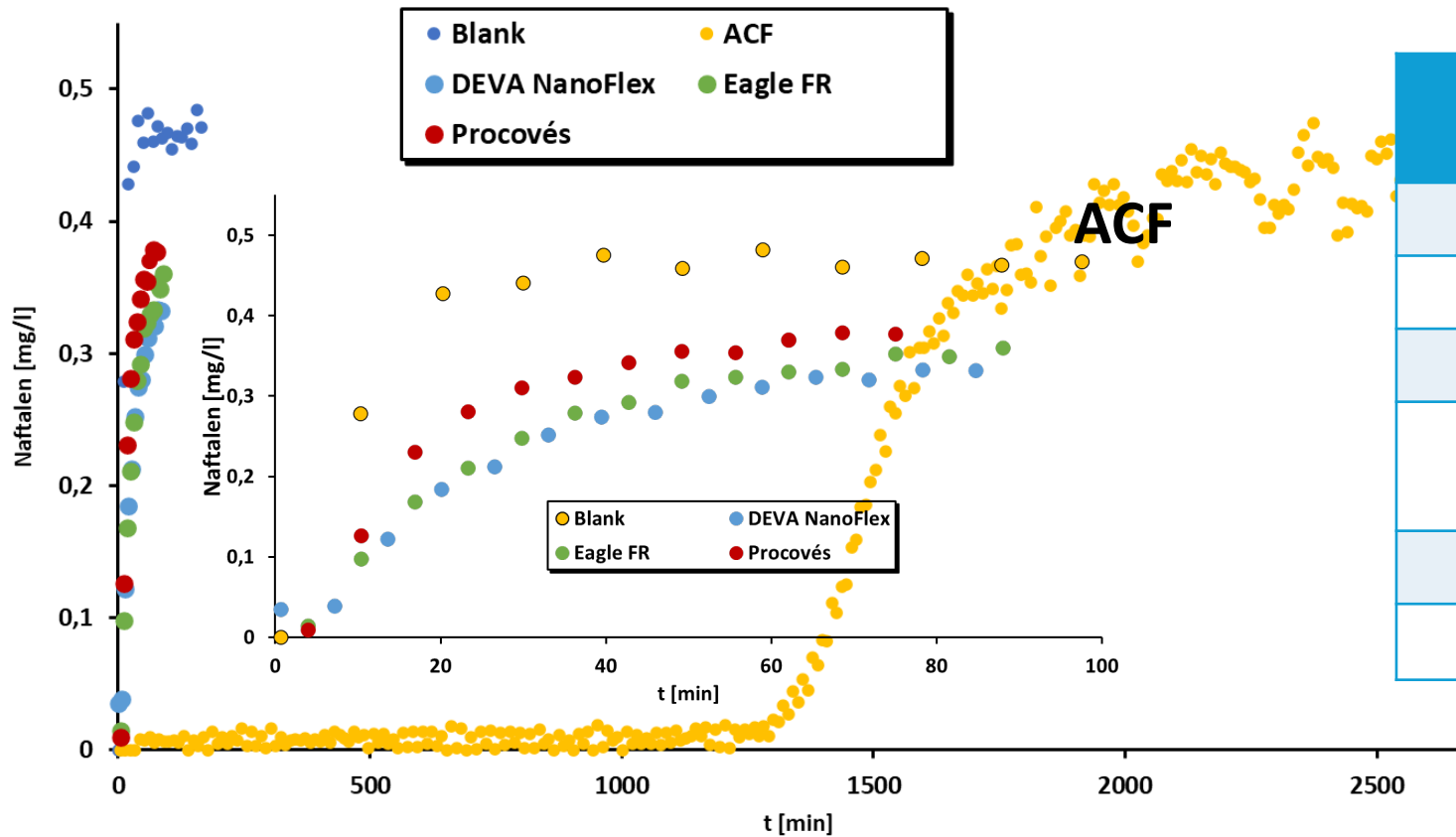


Vzorek	RD min	RD 10%
Jednovrstvý oděv	<2	<2
Třívrstvý oděv 1	<10	25
Třívrstvý oděv 2	<10	40
Třívrstvý oděv 3	<15	50
Třívrstvý oděv 4	<10	25
Kombinace s ACF	>480	>480

Materiálové testy – ochranné kukly

- **Permeace naftalenu** vybranými modely ochranných kukel – Statické podmínky difúzní pronikání
- **Přínos adsorpční vrstvy adsorpční uhlíkové textilie (ACF)**

Pronikání aerosolu vybranými modely ochranných kukel



Vzorek ochranné kukly	Záchyt aerosolu*
DEVA Nanoflex	94,5%
DEVA bez Nanoflex	38,8%
Devolt Safe GP269817a	37,0%
Provocoos PROHOODNANOFULL	95,9%
Eagle FR	95,5%
PGI Cobra Barriaire	91,8%

* Uhlíkový aerosol (kouř), střední velikost částic ca 100 nm, koncentrace částic ca 10^5 /cm³, průtok vzorkem 100 l/h, odpovídající čelní rychlost 2,2 cm/s

Ochranná kukla a přezůvky na boty a nohavice



Ochranná vesta s kuklou a návleky na předloktí a holeně



Účinek ochrany prodyšného podvleku z adsorpční uhlíkové textilie



Rukavice- krátké vs dlouhé-vliv na průniky do rukávů



Krátká rukavice



Dlouhá rukavice



Dekontaminace zásahových oděvů

Nejvyšší celkový obsah PAH byl zjištěn v membráně

- Dekontaminace PAH praním:

- 79 ± 14 % (52 – 96%) vnější vrstva
- 63 ± 25 % (18 – 97%) membrána
- 58 ± 14 % (33 – 71%) izolační vrstva

- Účinnost na PAH:

- **Praní 68%**

- Dekontaminace extrakcí kapalným CO₂ ; +15°C, 48 atm, 25 min.

- Dekontaminace oděvů, rukavic, bot a výstroje (chemické látky, aerosoly, infekční látky)

- Účinnost na PAH:

- **Extrakce kapalným CO₂ 95%**

• Ref.: S. Krzemińska, M. Szewczyńska, PAH contamination of firefighter protective clothing and cleaning effectiveness, Fire Safety Journal, Volume 131, 2022, 103610. DOI: 10.1016/j.firesaf.2022.103610

• Ref.: Girase, A.; Thompson, D.; Ormond, R.B. Comparative Analysis of the Liquid CO₂ Washing with Conventional Wash on Firefighters' Personal Protective Equipment (PPE). Textiles 2022, 2, 624–631. DOI: 10.3390/textiles2040036

Konstrukční integrita pracovního obleku ZZS

Průnik přes:

- ❖ textilní materiál a
- ❖ netěsnostmi na rozhraní
blůzy, rukávů a nohavic



Balistický oděv EOD 78 test integrity



Náměty na řešení

- Využití adsorpčních uhlíkových textilií a nanovláknenných filtračních vrstev
- Ochranná kukla na záchyt aerosolů, par a plynů zplodin hoření
- Úprava zásahových oděvů na omezení průniku zplodin hoření netěsnostmi na rozhraní rukavic-rukávů, bot-nohavic, kabátu-kalhot
- Ochranné přezůvky- jejich využití
- Účinná dekontaminace oděvů a prvků
- Zvýšení odolnosti zásahových oděvů proti plamenu s využitím adsorpčních uhlíkových textilií

Děkujeme za pozornost
pavel.castulik@dekonta.cz

dekonta



Program Bezpečnostního výzkumu ČR SECTECH VB02000034

„Snížení zdravotních rizik hasičů-prostředky ochrany povrchu těla proti průniku zplodin hoření s využitím nanokompozitních materiálů“

APROCHEM-22.-23.4 2026 Hustopeče

GoodPRO[®]
good protection

Zápalné prostředky

Co plamen dokáže.....



24.7.1943
Hamburg

13.-15.2.
1945
Drážďany

10.3.1945
Tokio

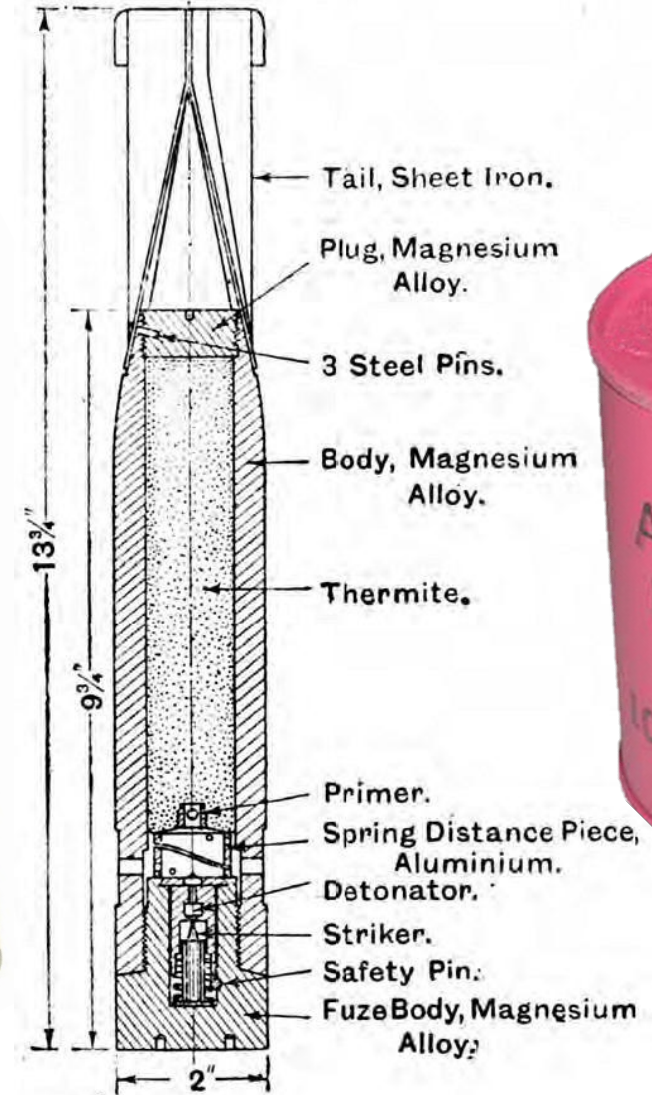


Bílý fosfor

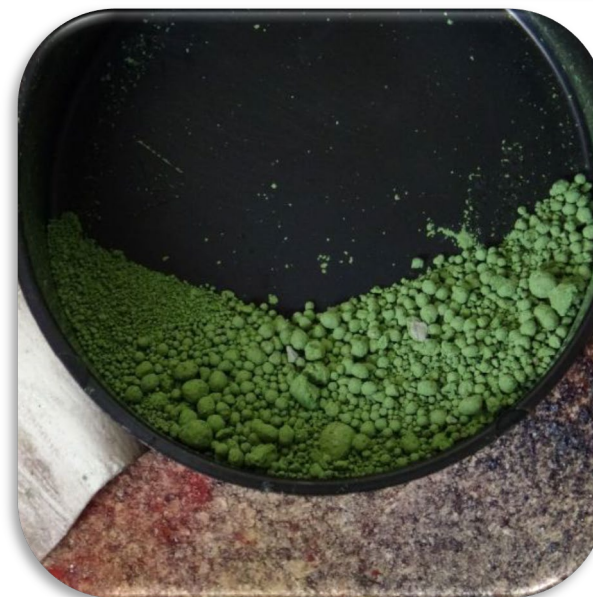
(WP -ve vojenském slangu Willie Pete)



Termitová zápalná munice



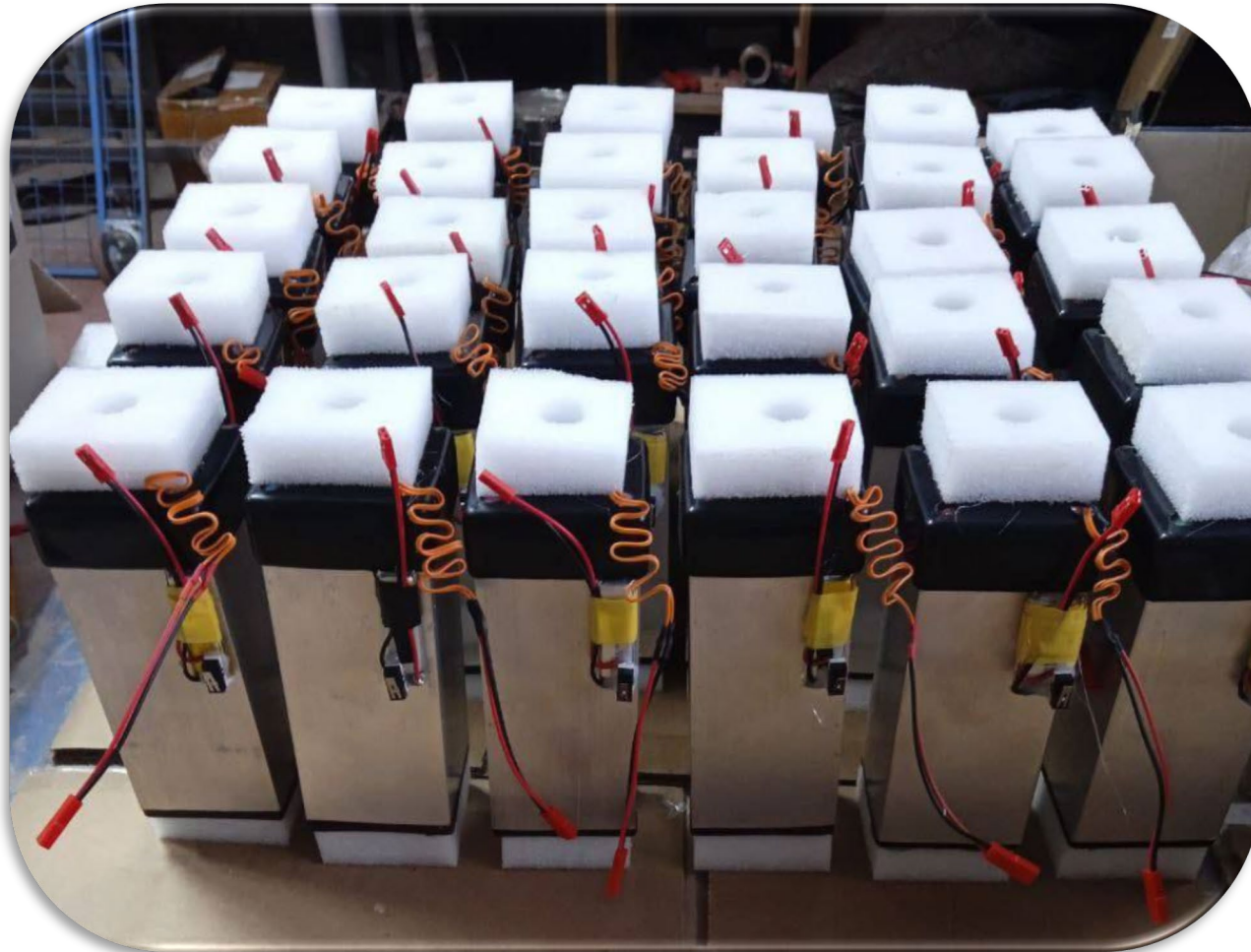
Průmyslové termity



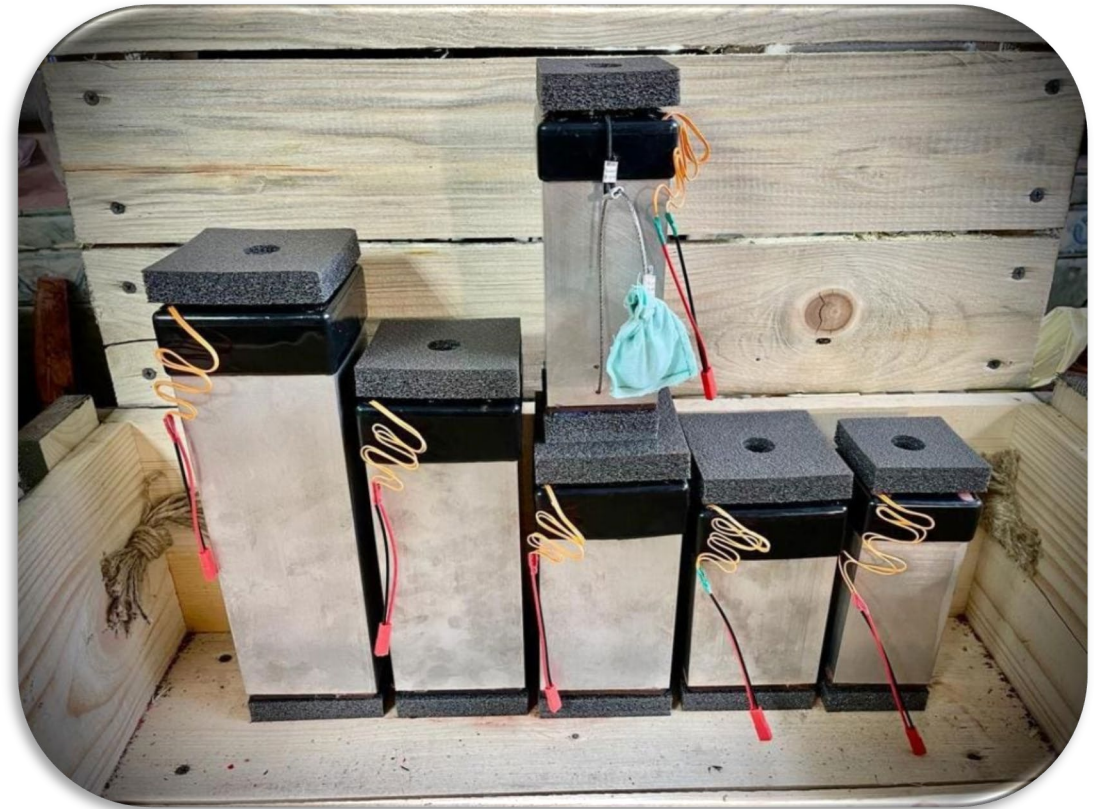
Termitové směsi-dvojího užití



Termitové náplně pro podvěs na dronech



*Ukraine. Photo credits:
eurosolidarity.org*



*Ref: Steel
Hornets*

Použití termitových složí pomocí dronů



Plamenometné prostředky a napalm



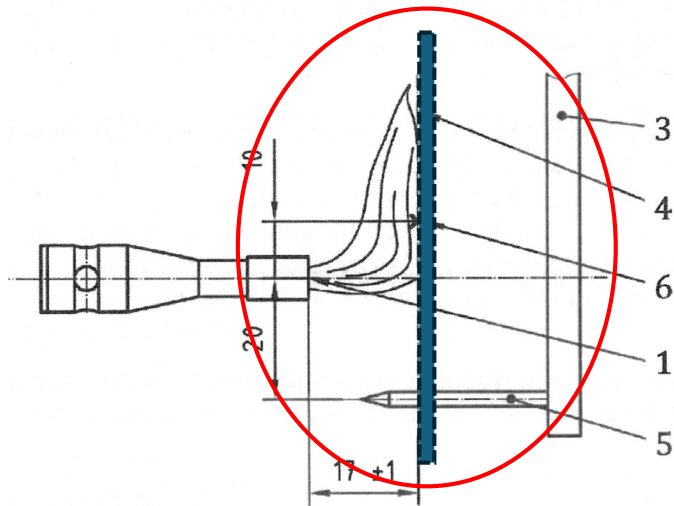
ČSN EN ISO 15025:2020

Ochranné oděvy – Ochrana proti teple a plamenu Testovací metoda pro **omezení šíření plamene**

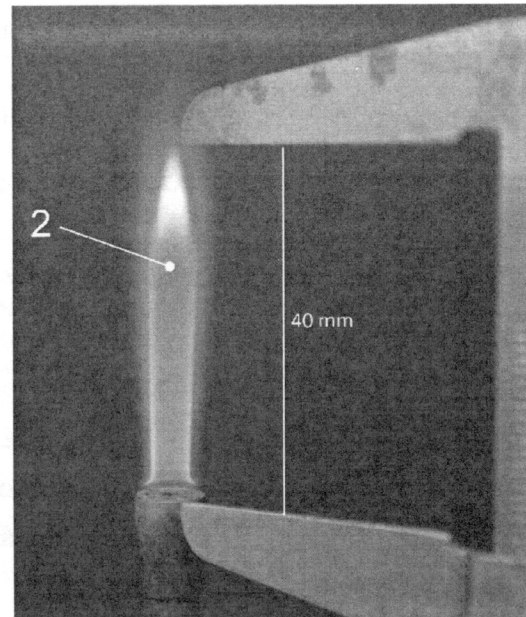
ČSN EN ISO 15025

Rozměry v milimetrech

**Postup A-zapálení povrchu
Plamen 10 sekund**



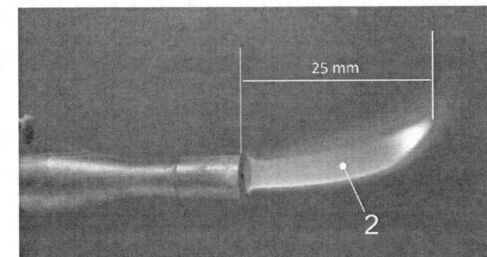
a) Zapálení povrchu



b) Výška plamene ve svislé pohotovostní poloze

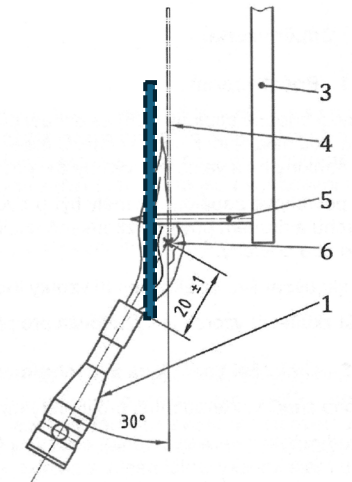
Postup B – Zapálení spodního okraje

a) Zapálení povrchu



c) Délka plamene ve vodorovné pohotovostní poloze

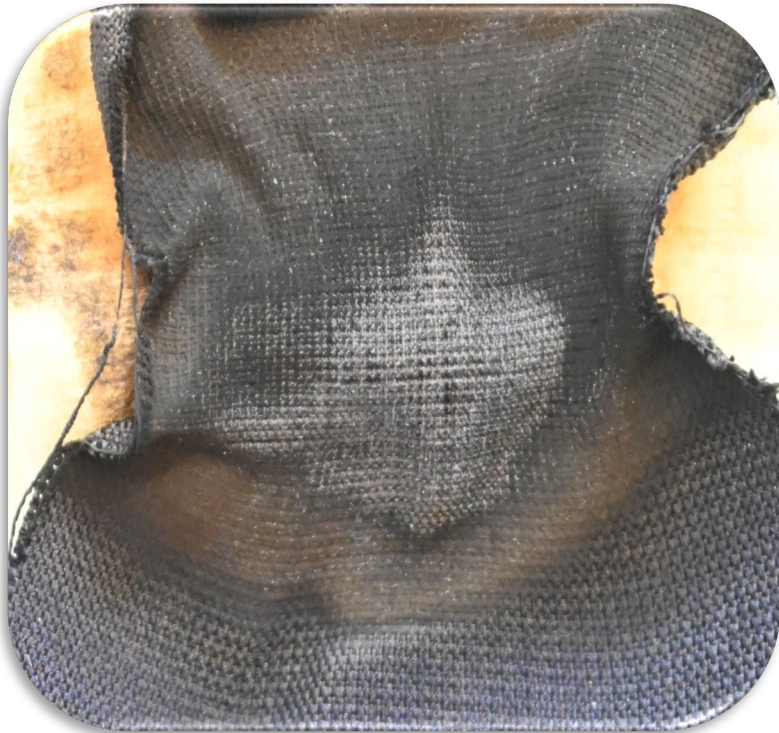
b) Výška plamene ve svislé pohotovostní poloze



d) Zapálení spodního okraje

3-vrstvý kompozit pro zásahové oděvy

Vnější vrstva



Vnitřní vrstvy

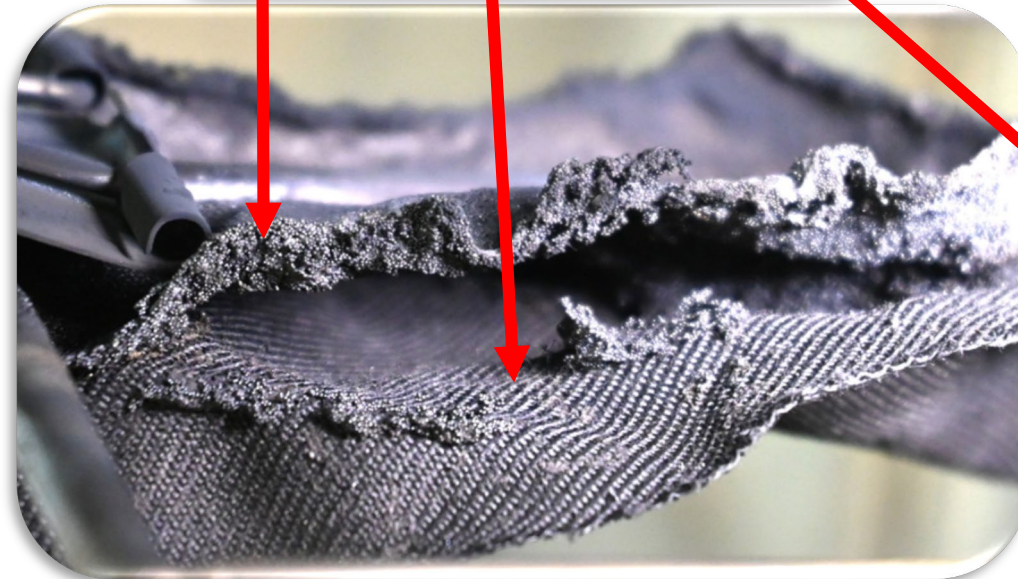
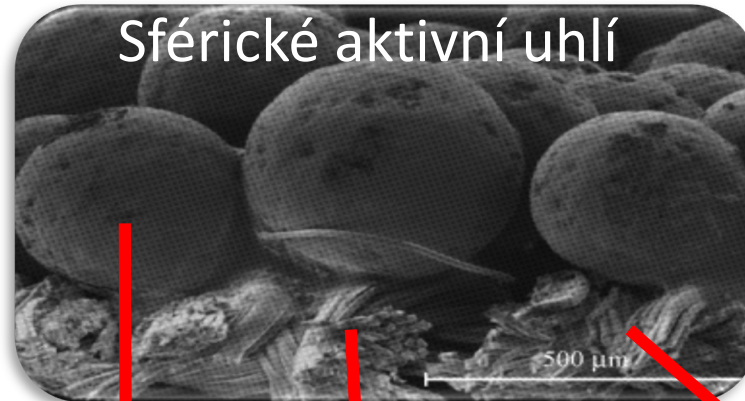


Podšívka



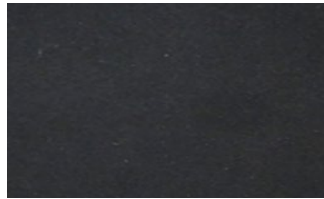
Odolnost adsorpční uhlíkové textilie (AUT) a textilie se sférickým aktivním uhlím proti plamenu

Vlákno 0,2-0,3 μm

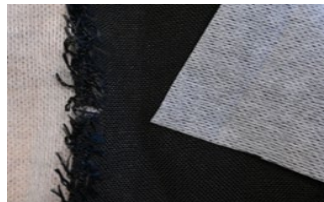


Adsorpční uhlíková textilie (AUT)

- 11 Laminační polyesterová vrstva je samozhášivá, avšak se odtaví. Adsorpční uhlíková pletenina je nehořlavá. Plamen nezpůsobí propal.



- 12 Laminační vrstva uhlíkové pleteniny snadno shoří. Adsorpční uhlíková pletenina nehoří. Plamen nezpůsobí propal.

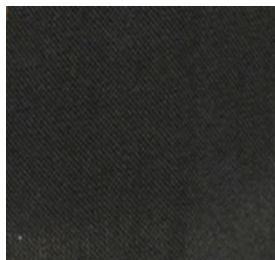


Adsorpční uhlíková textilie odolná plamenu

10 Adsorpční uhlíková tkanina
nebo pletenina je nehořlavá.

Při působení plamene se pouze
rozžhaví bez další degradace.

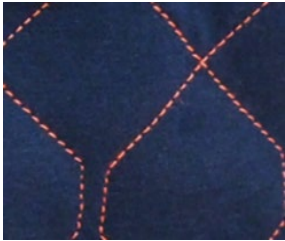
Plamen nezpůsobí propal.



Kompozit s adsorpční uhlíkovou textilií

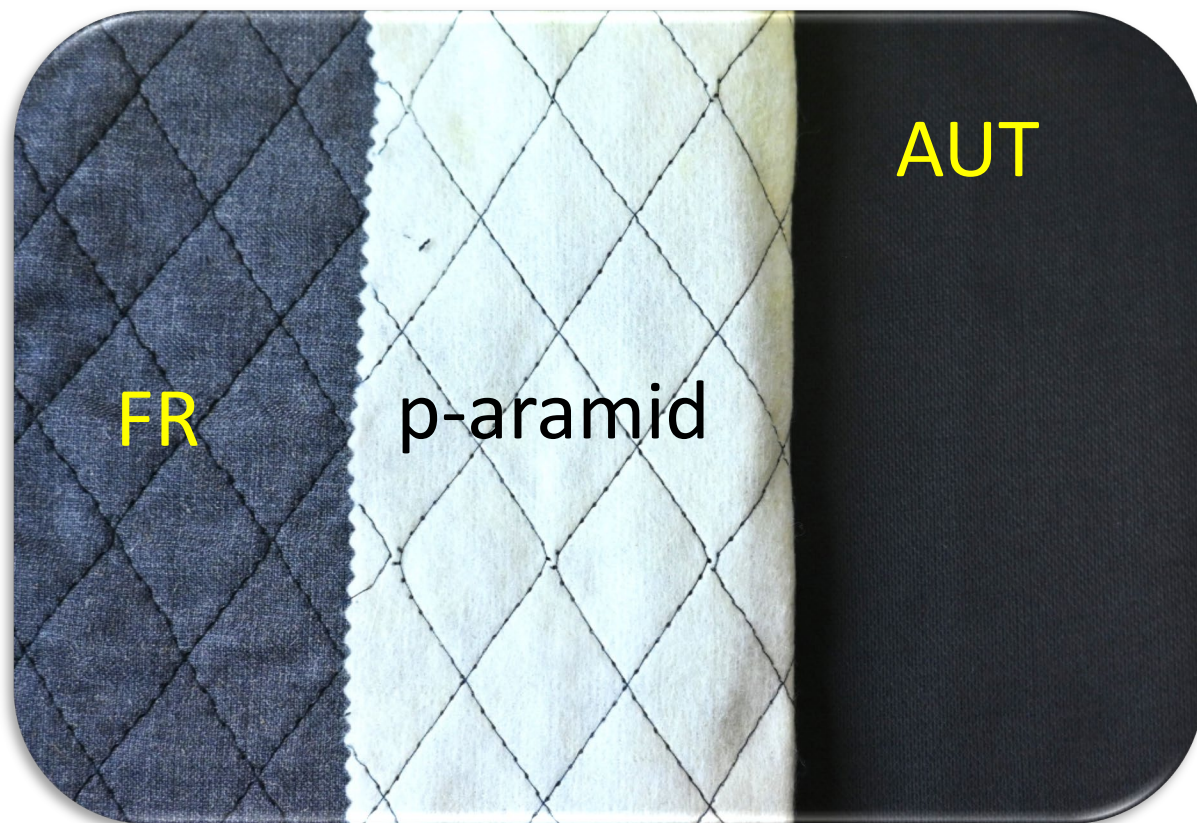
13

Svrchní tkaniny FR je samozhášivá, pouze zuhelnatí. Vnitřní adsorpční uhlíková pletenina není narušená. Nitě nešíří plamen. Plamen nezpůsobí propal.

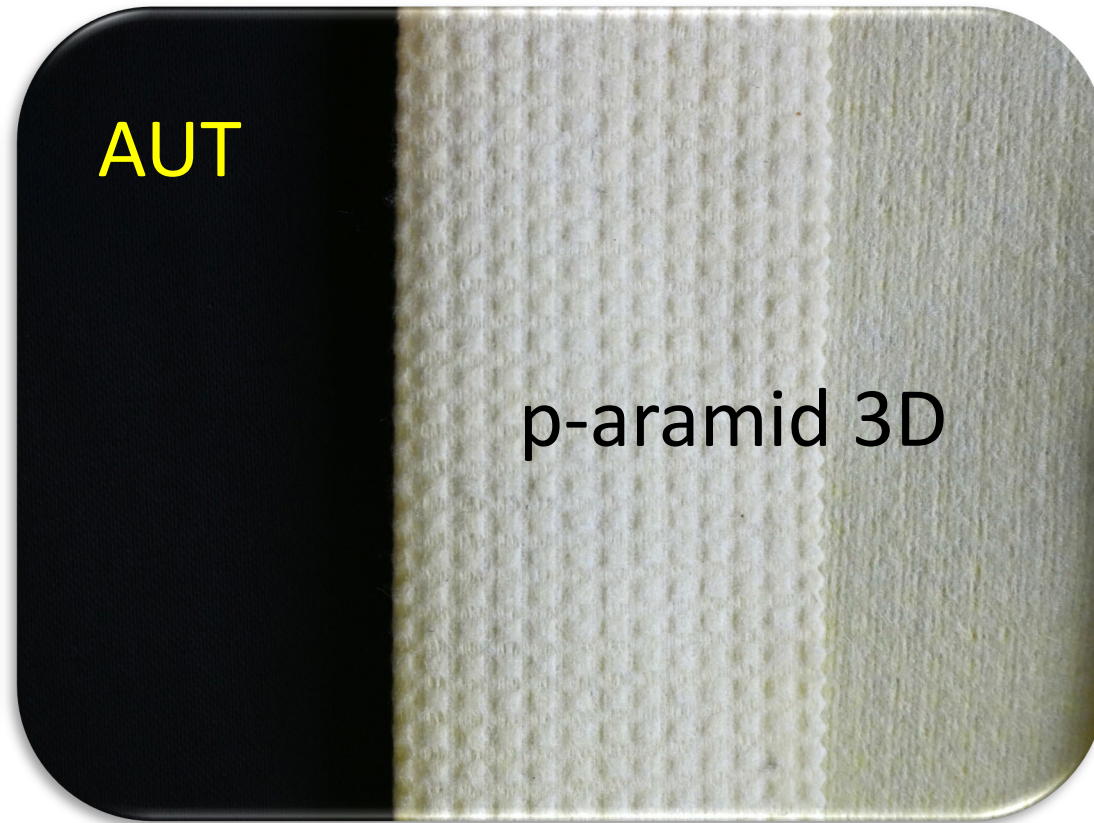


Zvýšení tepelné odolnosti prodyšných ochranných oděvů

Tepelně izolační podšívky



Tepelně izolační vložky



Individuální první pomoc proti zápalným látkám



Anatomické funkční prádlo

- 3D bezešvé pletení
- Odvod potu –
polypropylénové vlákno -
hydrofóbní
- Lze vytvářet různé druhy
struktury pleteniny podle
potních zón na těle k
účinnému odvodu potu pro
zvýšení ochlazovacího
účinku

• *PS.: Je to jediné „seamless“*

