

The Effect of Radiant Heat on Upholstery Fabrics Covering Polyurethane Foam

Vplyv sálavého tepla na pot'ahové textílie v skladbe s PUR penou

Emília Orémusová^{1,*}, Mária Šmidriaková², Vladimír Mozer³, Eduard Ivan¹

¹ Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, Department of Fire Protection, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic; email: emilia.oremusova@tuzvo.sk; xivan@is.tuzvo.sk

² Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, Department of Furniture and Wood Products T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic; email: smidriakova@tuzvo.sk

³ Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering, Department of Building Constructions, Thakurova 2077/7, 166 29 Praha 6, Czech Republic; email: Vladimir.Mozer@cvut.cz

* Corresponding author: emilia.oremusova@tuzvo.sk

Original scientific paper

Received: December 07, 2020; Accepted: December 21, 2020; Published: December 31, 2020

Abstract

The paper deals with the evaluation of the effect of radiant heat on upholstery fabrics covering polyurethane (PUR) foam, which are used in production of various upholstery products. The upholstery fabrics based on natural and synthetic fibres were tested; two fabrics contained a fire retardant. The fabrics were covering two types of PUR foam, Special and Nawapur. The samples were tested according to the proposed non-standard method; the source of radiant heat was an electric radiator. The measurements were taken at 15 cm and 10 cm distance of the radiator from the surface. Due to radiant heat, the samples were thermally degraded by smouldering and heating. The maximum temperatures measured on the surface of samples at the testing distance of 15 cm ranged from 186.45 °C for the mixed fabric PES/Ba to 246.65 °C for the PES FR; both fabrics combined with PUR S. Reducing the distance of radiator to 10 cm significantly increased the maximum temperatures. These ranged from 267.25 °C for the PES FR fabric with PUR NW to 357.95 °C for the cotton-based fabric with PUR S. The results obtained by this method could suitably complement the results from the standardized test methods of smouldering cigarette and match flame equivalent.

Keywords: upholstered furniture; upholstery fabrics; PUR foams; radiant heat; flammability; relative mass loss

1 Introduction

Upholstered furniture represents a risk in terms of fire protection and safety because, in the event of a fire, it is not only an abundant source of fuel influencing further spreading of the fire but also a source of many toxic combustion products [1]. Toxicity of combustion products is the most significant negative impact of fire [2]. The authors [3,4] state in their scientific works that the combustion products are the cause of most fire death.

1 Úvod

Čalúnený nábytok predstavuje riziko z hľadiska protipožiarnej ochrany a bezpečnosti, pretože v prípade požiaru je nielen výdatným zdrojom paliva, vplyvujúcim na ďalšie šírenie požiaru, ale tiež zdrojom množstva toxických spodín horenia [1]. Toxicita produktov horenia je najvýznamnejším negatívnym dopadom požiaru [2]. Autori [3,4] uvádzajú vo svojich vedeckých prácach, že

Many statistics show that a significant number of deaths occur during fires in flats, in the buildings where upholstered furniture is commonly used and can be exposed to accidental contact with ignition sources. Foreign reports state that at present firefighters are fighting interior fires that are larger and faster than ever before. Upholstery materials, especially upholstery fabrics and PUR foam fillings, contribute to this. When burning, they produce large number of various toxic fumes. According to NFPA statistics, upholstered furniture, either as the first material ignited by an initiation source, or as the main material contributing to the spread of a fire, has played a role in almost a quarter of all household fire deaths in recent years [5].

According to Thomas and Gandi [6], if a fire breaks out in a living spaces, there are only a few objects that have the potential to create unsustainable fire conditions as quickly as upholstered furniture. Residents of the house are threatened not only by heat, but also by toxic combustion products. In addition to the total number of fires, the individual ignition scenarios are also interesting when assessing the dangers associated with upholstered furniture and the fires on mattresses and bed linen. Research has shown that the fire hazard at upholstered furniture, mattresses and bed linen is a function of ignition source.

The Federation of the European Union Fire Officer Associations (FEU) entrusted a working group to carry out the research and draft an opinion on test methods for upholstered furniture (sofas and chairs) and mattresses. The results of research are the urgent recommendations of European fire services (associated in FEU) to manufacturers, suppliers, governments, and standardization bodies to ensure that only upholstered furniture and mattresses complying with the test methods mentioned in their report are in domestic areas. In the European Union, every year, around 5,000 people die of the consequences of fire. One way how to increase fire safety of upholstered furniture and mattresses is using fire barriers between the fabric and PUR foam [7].

An integral part of upholstered furniture [8] is the upholstery fabric, which is most often

produkty horenia sú príčinou väčšiny obetí požiaru.

Mnohé štatistiky dokladujú, že značné množstvo úmrtí je pri požiaroch v bytoch, budovách, kde sa čalúnený nábytok bežne používa a môže byť vystavený náhodnému kontaktu so zápalnými zdrojmi. Zahraničné zdroje uvádzajú, že v súčasnosti hasiči bojujú v interiéroch s požiarimi, ktoré sú väčšie a rýchlejšie ako kedykoľvek predtým. K tomuto prispievajú práve čalúnické materiály a to predovšetkým poťahové textílie a výplň vo forme PUR peny, ktoré pri horení vyprodukujú veľké množstvo rôznorodých toxických spodín. Podľa štatistík americkej agentúry NFPA práve čalúnený nábytok, buď ako prvý materiál, ktorý iniciačný zdroj zapálil, alebo ako hlavný materiál, prispievajúci k šíreniu požiaru, hral úlohu takmer v štvrtine všetkých úmrtí pri požiaroch v domácnostiach v posledných rokoch [5].

Podľa Thomasa a Gandiho [6], ak v obytných priestoroch dôjde k požiaru, existuje len málo predmetov, ktoré majú potenciál vytvoriť neudržateľné podmienky požiaru tak rýchlo, ako čalúnený nábytok. Obyvateľov neohrozuje iba teplo, ale aj produkované toxické spodiny horenia. Okrem celkového počtu požiarov sú pri posudzovaní nebezpečenstva spojeného s čalúneným nábytkom a požiarimi na matracoch a posteľnej bielizni zaujímavé aj jednotlivé scenáre zapalovania. Výskum ukázal, že nebezpečenstvo požiaru čalúneného nábytku, matracov a posteľnej bielizne je funkciou zdroja vznietenia.

Federácia združenia hasičov Európskej únie (FEU) poverila pracovnú skupinu, aby uskutočnila výskum a vypracovala stanovisko k súboru skúšobných metód čalúneného nábytku (pohovky a stoličky) a matracov. Výsledkom tohto výskumu sú naliehavé odporúčania európskych hasičov (združené v FEU) výrobcom, dodávateľom, vládám a normalizačným orgánom, aby zabezpečili, že v obydliach je umiestnený iba čalúnený nábytok a matrace, ktoré vyhovujú testovacím metódam uvedeným v ich správe. V súčasnosti každoročne zomiera okolo 5 000 ľudí na následky požiaru domu v Európskej únii.

Možnosťou ako zvýšiť požiaru bezpečnosť čalúneného nábytku a matracov, je použitie

used material. (A variant is leather and imitation leather.) Because it is visible, it is crucial for most customers. It contributes greatly to the aesthetic appearance of the product. In addition to the aesthetic point of view, other parameters which add the value to the given fabric are also important: strength, stain resistance, cleanability, thickness, properties in contact with human body, etc. The decorative fabrics used for upholstered furniture is a common offense. According to the author, these are totally unsuitable for these purposes.

However, the safety of the upholstery fabric is also important in terms of its fire safety. From the point of view of overall safety, flammability testing is an important area of testing of upholstered products. According to [9], the essence of the tests is always to define the ignition source, which simulates the potential danger in using of the product. Most often it is evaluated whether the material ignited, smouldered, or melted dripped. From a safety point of view, the melt is almost as dangerous as burning with a flame. An important parameter is the speed of flame spreading, which is important for a person to put out a fire or escape in time.

Hafez and Hawas [10] investigated the effect of some construction elements, including weave structure, hair length, and hair materials on the flammability of chenille fabrics used in upholstered furniture to improve its properties. This research shows that there is a direct relationship between the weight of the fabric, the thickness, the length of carbonized material and the fire resistance of the fabric.

Makovická Osvaldová et al. [11] investigated the selected upholstery materials using flammability tests for upholstered furniture with ignition source of a smouldering cigarette and match flame equivalent. They noticed significant differences in length of degradation among the samples. They also indicated the need to research the issue in a larger aspect.

In the Slovak Republic, the ignitability of upholstered furniture is assessed according to the standard STN EN 1021: Part 1: Ignition source smouldering cigarette and Part 2: Ignition source match flame equivalent. The analogy is the STN EN 597 standard for assessment of mattresses. However, there is no

protipožiarnych zábran medzi textíliou a PUR penou [7].

Neodmysliteľnou súčasťou čalúneného nábytku [8] je poťahová textília, ktorá sa najčastejšie používa v čalúnených výrobkoch (variantou je koža a koženka). Pretože je viditeľná, má pre väčšinu zákazníkov rozhodujúcu dôležitosť. Veľkou mierou sa podieľa na estetickom vzhľade výrobku. Okrem estetického hľadiska sú dôležité aj ďalšie parametre, ktoré danej textílii pridávajú na hodnotu napr. pevnosť, odolnosť voči špineniu, čistiteľnosť, hrúbka, pocit pri kontakte s ľudským telom atď. Častým prehreškom býva používanie dekoračných textílií na čalúnenom nábytku. Tie sú podľa autora absolútne nevhodné na tieto účely.

Dôležitá je však aj bezpečnosť poťahovej textílie z hľadiska jej protipožiarnej ochrany. Z pohľadu celkovej bezpečnosti dôležitou oblasťou skúšobníctva čalúnených výrobkov je skúšanie horľavosti. Podľa [9] podstatou skúšok je vždy predovšetkým definovanie zdroja zapálenia, ktorý simuluje potenciálne nebezpečenstvo pri používaní výrobku. Najčastejšie sa vyhodnocuje, či sa materiál zapálil, tlel alebo z neho odkvapkávala tavenina. Tá je z hľadiska bezpečnosti skoro rovnako nebezpečná ako horenie plameňom. Významným parametrom je rýchlosť šírenia plameňa, ktorá je dôležitá preto, aby mal človek šancu oheň uhasiť alebo včas uniknúť.

Hafez a Hawas [10] sa zaoberali skúmaním účinku niektorých konštrukčných faktorov, vrátane štruktúry väzby, dĺžky vlasu a vlasových materiálov na schopnosť spomaľovať horenie žienilkových tkanín, ktoré sa používajú pri aplikácii čalúneného nábytku, na zlepšenie jeho vlastností tak, aby vyhovovali funkčnému účelu, pre ktorý sa vyrába. Tento výskum ukazuje, že existuje priamy vzťah medzi hmotnosťou tkaniny, hrúbkou, dĺžkou zuhoľnateného materiálu a odolnosťou proti ohňu vyrobených textílií.

Makovická Osvaldová et al. [11] sa zaoberali výskumom vybraných poťahových materiálov skúškami horľavosti pre čalúnený nábytok so zdrojom zapálenia tlejúcou cigaretou a zápalkou. Dospeli k záveru, že medzi vzorkami boli pozorované významné rozdiely v dĺžke degradácie. Tiež uvádzajú, že výsledky ich prezentovaného výskumu

standard where the ignition source is radiant heat.

The aim of the paper is to evaluate the flammability of upholstery fabrics using an initiation source – an electric radiator – and to determine the effect of radiant heat on upholstery fabrics. The priority was to verify the suitability of the proposed procedure of non-standard method. Upholstery fabrics based on natural and synthetic fibres were tested. During measurements, the fabrics were placed on two types of PUR foams.

2 Materials and Methods

In the research, we focused on testing of upholstery fabrics based on natural and synthetic fibres covering PUR foam. During testing, the samples of fabrics, which were the primary subject of the research, were placed on a PUR foam substrate. Basic data on tested samples are given in table 1 and 2.

naznačujú potrebu pokračovať vo výskume v širšom aspekte.

V Slovenskej republike sa pre hodnotenie horľavosti čalúneného nábytku používajú metódy podľa normy STN EN 1021, kde v 1. časti je zdroj zapálenia tlejúca cigareta a v jej 2. časti je zdrojom zapálenia ekvivalent plameňa zápalky. Analógiou je norma STN EN 597 pre matrace. Neexistuje však norma, kde zdrojom zapálenia je sálavé teplo.

Cieľom príspevku je hodnotenie horľavosti poťahových textílií pomocou iniciačného zdroja - elektrického žiarica a zistiť vplyv sálavého tepla na poťahové textílie. Prioritným zámerom bolo overenie vhodnosti navrhnutého postupu nenormovanej metódy. Testovali sa poťahové textílie na báze prírodných aj syntetických vlákien, ktoré boli pri meraniach umiestnené na dva druhy PUR pien.

2 Materiál a metodika

Vo výskume sme sa zamerali na testovanie poťahových čalúnnických textílií na báze prírodných aj syntetických vlákien v skladbe s PUR penou. Vzorky textílií, ktoré boli primárnym predmetom výskumu boli pri testovaní umiestnené na podklad z PUR peny. Základné údaje o testovaných vzorkách sú uvedené v tab. 1 a 2. Textílie sú znázornené na obr. 1. V tab. 2 sú uvedené základné údaje o PUR penách.

Tab. 1 Upholstery fabrics
Tab. 1 Poťahové textílie

Sample Designation/ Označenie vzorky	Composition/ Zloženie	Area Weight (g/m ²)/ Plošná hmotnosť (g/m ²)	Note/ Poznámka
V1	61 % PES, 39 % Ba	186	
V2	100 % Ba	202	
V3	100 % PA	334	
V4	60 % Vs, 40 % V1	358	
V5	50 % PES, 50 % PP	158	FR
V6	100 % PES	198	FR

Notes: PES - polyester, Ba - cotton, PA - polyamide, Vs - viscose, V1 - wool, PP - polypropylene, FR - with fire retardant

Legenda: PES - polyester, Ba - bavlna, PA - polyamid, Vs - viskóza, V1 - vlna, PP – polypropylén, FR - s retardačnou úpravou

The fabrics are in Fig. 1.

Table 2 shows the basic data on PUR foams.

Polyurethane foams are in Fig. 2.

Textílie sú znázornené na obr. 1.

V tab. 2 sú uvedené základné údaje o PUR penách.

PUR peny sú znázornené na obr. 2.

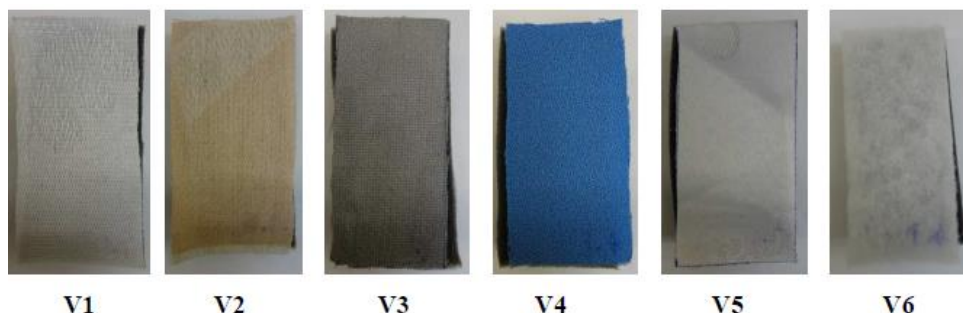


Fig. 1 Upholstery fabrics tested

Obr.1 Testované poťahové textílie

Tab. 2 Polyurethane foams

Tab. 2 PUR peny

Sample Designation/ Označenie vzorky	Type of PUR/ Typ PUR peny	Density (kg/m ³)/ Hustota (kg/m ³)	Hardness at 40%compression (kPa)/Tvrdosť pri 40% stlačení (kPa)	Note/Poznámka
S	Special (S 2832)	28	3.2	FR
NW	Nawapur wellness (4835)	48	3.5	polyols nahradené ricínovým olejom/ polyols replaced by castor oil



Fig. 2 Polyurethane foams (PUR) – Nawapur wellnes left, Special right

Obr. 2 PUR peny – Nawapur wellnes vľavo, Special vpravo

The tested samples consisted of:

- upholstery fabric (V1 to V6) + PUR foam Special 2832 (PUR S),
- upholstery fabric (V1 to V6) + PUR foam Nawapur wellness 4835 (PUR NW).

Testované vzorky pozostávali zo skladby:

- poťahová textília (postupne V1 až V6) + PUR pena Special 2832 (ďalej PUR S),
- poťahová textília (postupne V1 až V6) + PUR pena Nawapur wellness 4835 (ďalej PUR NW).

The samples were exposed to radiant heat according to the proposed non-standardized method. An infrared radiator was used as a source of radiant heat. The parameters of the radiator were: power input 1000 W, surface temperature of the heating elements 579.4 °C. The radiator was heated up for 15 minutes. It was placed in a metal holder in the distance of 15 cm from the surface of the sample (or in the distance of 10 cm). Exposition time was 300 seconds.

Given the temperature and dimensions of the heater, the approximate radiant heat flux from its surface is $I = 25 \text{ kW/m}^2$. The emitting surface was approximated as a rectangle and the radiative heat flux I calculated through the Stefan-Boltzman law using Equation (1):

$$I = A \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

Where:

I – radiative heat flux (kW/m^2),
 A – area of radiating surface (m^2),
 ε – surface emissivity (–),
 σ – Stefan-Boltzman constant $5.670373 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$,
 T – temperature of radiating surface (K).

The above calculated heat flux imposes an incident heat flux of approximately:

- 6.25 kW/m^2 when the sample is 10 cm away from the heater, and;
- 3.5 kW/m^2 when the sample is 15 cm away from the heater.

For all tests, samples with dimensions of 100 x 50 x 10 mm were used. After heating the radiator, the individual composite samples of fabrics (V1-V6) and PUR S were inserted into the stand. Then the same procedure was done with the fabrics and PUR NW. Before testing each sample was weighed. A NiCr-Ni thermocouple was attached to the surface of the sample (fabric) and the temperature throughout the test was recorded using an Almemo device. Each sample was placed in a rack on a grid with Al-foil. The measured values were evaluated using a PC. After testing and cooling, the samples were weighed again. For each sample, 3 measurements were performed. The testing device is shown in Figure 3.

Vzorky sme vystavili sálavému teplu podľa navrhutej nenormovanej metódy. Ako zdroj sálavého tepla sme použili infračervený žiarič, ktorého parametre boli: príkon 1000 W, povrchová teplota vyhrievacích telies 579,4 °C. Žiarič sme nechali zohriať po dobu 15 minút. Umiestnený bol v kovovom držiaku vo vzdialenosti najskôr 15 cm a potom 10 cm od povrchu vzorky, na ktorú pôsobil 300 sekúnd.

Pri danej teplote a rozmeroch žiariča je približná hustota vyžarovaného tepelného toku na úrovni jeho povrchu $I = 25 \text{ kW/m}^2$. Vyžarujúci povrch bol zjednodušene reprezentovaný ako obdĺžnik a hustota tepelného toku bola vypočítaná Stefan-Boltzmanovým zákonom podľa rovnice (1):

Kde:

I – hustota sálavého tepelného toku (kW/m^2),
 A – plocha sálajúceho povrchu (m^2),
 ε – emisivita sálajúceho povrchu (–),
 σ – Stefan-Boltzmanova konštanta $5,670373 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$,
 T – teplota sálajúceho povrchu (K).

Vyššie uvedený sálavý tepelný tok pôsobí na exponované strany vzoriek:

- $6,25 \text{ kW/m}^2$ pri vzdialenosti vzorky od žiariča 10 cm, a;
- $3,5 \text{ kW/m}^2$ pri vzdialenosti vzorky od žiariča 15 cm.

Pri všetkých skúškach sme použili vzorky o rozmere 100 x 50 x 10 mm. Po zohriatí žiariča sme do stojana postupne vkladali jednotlivé vzorky textílií (V1 – V6) v kombinácii s PUR S a v druhom prípade s PUR NW. Každú skúšobnú vzorku sme pred samotným testom odvážili. Na povrch vzorky (textílie) sme pripevnili termočlánok NiCr-Ni, ktorý v priebehu celej skúšky zaznamenával teplotu prístrojom Almemo. Každá vzorka bola v stojane umiestnená na mriežke s alobalom. Namerané výsledky sme vyhodnotili pomocou PC. Po skončení merania a vychladnutí vzoriek sme každú vzorku opätovne odvážili. Pre každú vzorku sme vykonali 3 merania. Schéma zariadenia je znázornená na obr. 3.

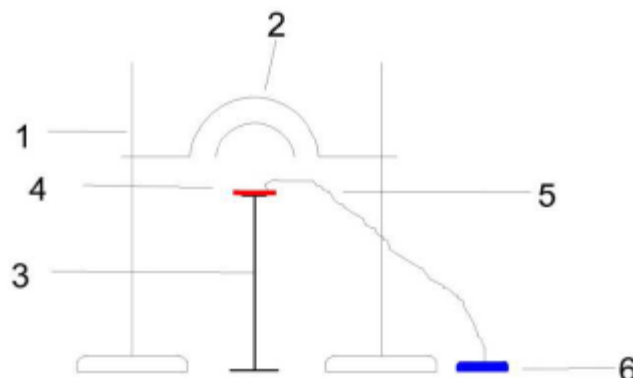


Fig. 3 The testing device

1. metal frame, 2. infrared radiator, 3. metal stand, 4. test sample, 5. thermocouple
6. measuring device Almemo 2290 – 8

Obr.3 Schéma testovacieho zariadenia

1. kovový rám, 2. infražiarič, 3. kovový stojan, 4. skúšobná vzorka, 5. termočlánok
6. meracie zariadenie Almemo 2290 – 8

Before testing, the samples were conditioned in a laboratory with a temperature of $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and a humidity of 65 % for one month. Under the same conditions they were tested.

The characteristics examined were: the surface temperature of the sample and the percentage relative weight loss of the sample calculated according to equation (2):

$$m_u = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (2)$$

Where:

- m_u – relative mass loss (%),
- m_1 – weight before testing (g),
- m_2 – weight after testing (g).

3 Results and Discussion

The samples were exposed to the radiant heat in the distance of 15 cm from heat source; there were 2 sets of test samples – one set with a PUR type S layer and the second set with PUR type NW. Figures 4 a 5 show the samples after testing; they are arranged from left to right, from sample V1 to sample V6.

Vzorky boli pred meraním kondicionované jeden mesiac v laboratóriu s teplotou $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a vlhkosťou 65 %. Pri týchto podmienkach sa aj testovali.

Skúmanými charakteristikami boli teplota na povrchu vzorky, percentuálny relatívny úbytok hmotnosti vzorky vypočítaný podľa vzťahu (2):

Kde:

- m_u – relatívny úbytok hmotnosti (%),
- m_1 – hmotnosť pred meraním (g),
- m_2 – hmotnosť po meraní (g).

3 Výsledky a diskusia

Vzorky sme podrobili najskôr vplyvu sálavého zdroja vo vzdialenosti 15 cm postupne s podkladovou vrstvou PUR typu S a nasledovne s PUR typu NW. Na obr. 4 a 5 sú zobrazené vzorky po testovaní, ktoré sú na jednotlivých obrázkoch vždy usporiadané zľava doprava od vzorky V1 až po vzorku V6.

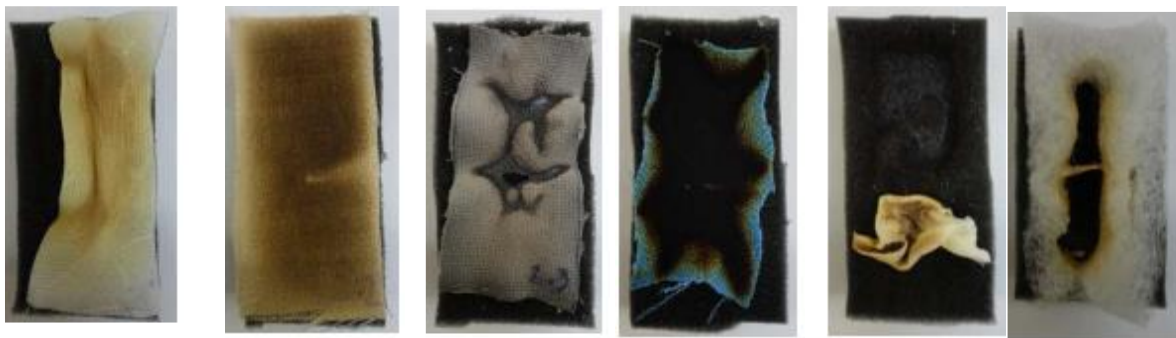


Fig. 4 Thermal degradation of samples (V1–V6 left to right) + PUR S – 15 cm

Obr. 4 Degradácia vzoriek (V1 –V6 sprava doľava) + PUR S – 15 cm



Fig. 5 Thermal degradation of samples (V1 –V6 left to right) + PUR NW – 15 cm

Obr. 5 Degradácia vzoriek (V1 –V6 sprava doľava) + PUR NW – 15 cm

Due to radiant heat, the samples began to degrade and smoke, the colour changed from light brown to dark brown. These characteristics varied depending on material composition of the fabrics. No sample was burning with flame neither was heating. All samples degraded by smouldering. Thermal degradation is the chemical decomposition under the action of heat, which can occur during both flame and flameless combustion – heating or smouldering [12].

The courses of the temperature on the surface of upholstery fabrics in the distance of 15 cm are shown in Figures 6 and 7. The temperature profile of each sample is averaged from three measurements.

Vplyvom sálavého tepla začali vzorky degradovať, dymiť, farba vzoriek sa zmenila od svetlohnedej až po tmavohnedú. Tieto charakteristiky sa líšili v závislosti od materiálového zloženia textílií. Ani jedna vzorka nehorela plameňom ani nežeravela. Všetky vzorky degradovali tlením. Termická degradácia je chemický rozklad látky za pôsobenia tepla, ku ktorej môže dôjsť pri plameňovom aj bezplameňovom horení – žeravení alebo tlení [12].

Priebeh vzostupu teplôt na povrchu poťahových textílií pri vzdialenosti 15 cm je zobrazený na obr. 6 a 7. Priebeh teplôt každej vzorky je spriemerovaný z troch meraní.

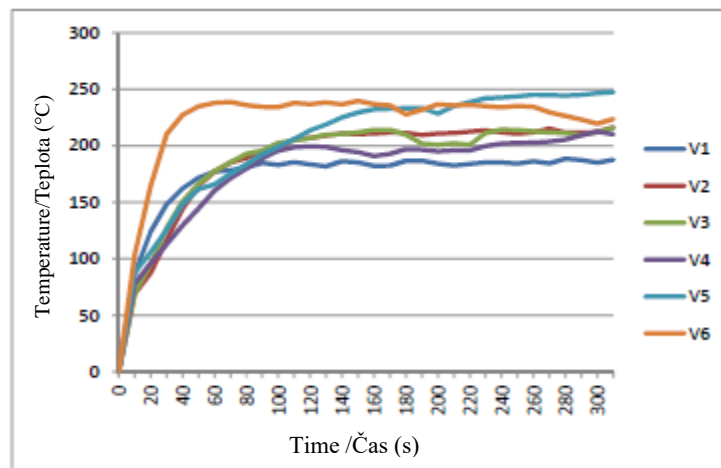


Fig. 6 Temperature on the surface of samples (V + S) – 15 cm

Obr. 6 Priebeh teplôt na povrchu vzoriek textílií (V + S) – 15 cm

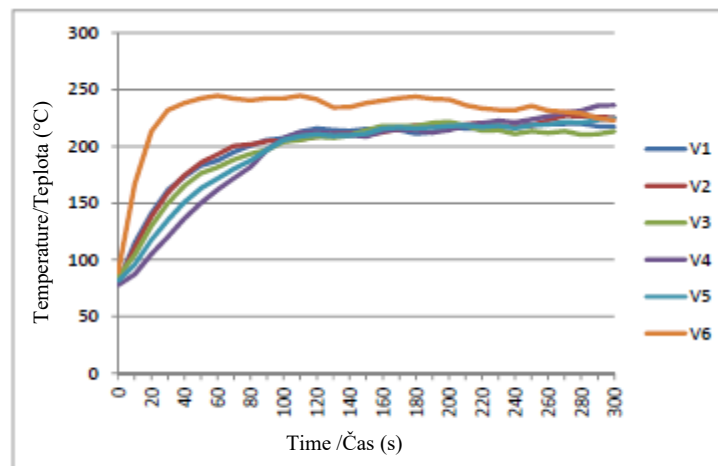


Fig. 7 Temperature on the surface of samples (V + NW) – 15 cm

Obr. 7 Priebeh teplôt na povrchu vzoriek textílií (V + NW) – 15 cm

Significantly different course of temperature was in sample V6, both for the PUR foam S and the PUR foam NW; a rapid increase in temperature is seen at the beginning of the test in time up to 60 sec when the temperature reached its highest value about 180 °C and then it stabilized in a slight decrease. Other samples (with PUR S) showed a similar course of temperature up to about 80 sec and only then they began to differentiate with the upward trend. In the case of PUR NW, the courses of temperature were interesting as if they stabilized evenly at time of 95 sec and then at time of 210 sec, they began to show bigger temperature differences.

Výrazne odlišný priebeh teplôt bol pri vzorke V6 a to pri oboch PUR penách S aj NW, kde je možné vidieť rýchly nárast teploty na začiatku skúšky v čase do 60. s., kedy teplota dosiahla najvyššiu hodnotu, približne 180 °C a potom sa ustálila s miernym klesaním. Ostatné vzorky približne do 80 s. mali podobný priebeh a až následne sa začali diferencovať s trendom stúpania. Pri podklade s PUR NW je zaujímavý priebeh teplôt, ktoré pri čase 95 s. akoby sa rovnomerne ustálili a následne sa začali prejavovať väčšie rozdiely teplôt v 210 s.

Na konci merania tj. v 300. sekunde je rozdiel medzi najnižšou a najvyššou

At the end of the measurement, in time of 300 seconds, the difference between the lowest and the highest temperature on samples with PUR S was 59.85 °C (V1 - 187.65 °C; V5 - 247.45 °C). At the samples with PUR NW, the difference between the lowest and the highest temperature was smaller – 23.2 °C (V3 - 213.10 °C; V4 - 236.30 °C).

Figures 8 and 9 show the samples after testing in the distance of 10 cm from heat source, the exposure time was the same – 300 seconds (samples in the picture are arranged from left to right: from V1 to V6).

dosiahnutou teplotou vzoriek s PUR S 59,85 °C (V1 – 187,65 °C, V5 – 247,45 °C) u vzoriek s PUR NW je menší rozptyl hodnôt, rozdiel je 23,2 °C (V3 - 213,10 °C, V4 – 236,30 °C).

Na obr. 8 a 9 sú znázornené vzorky po testovaní vo vzdialenosti 10 cm, čas ostal rovnaký 300 sekúnd (vzorky opäť usporiadané zľava doprava od V1 až po V6).



Fig. 8 Thermal degradation of samples (V1 –V6) + PUR S – 10 cm

Obr.8 Degradácia vzoriek (V1 –V6) + PUR S – 10 cm

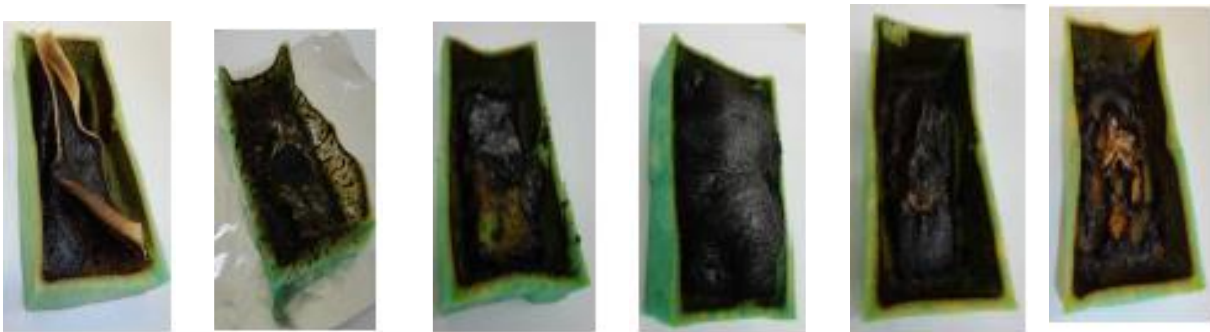


Fig. 9 Thermal degradation of samples (V1 –V6) + PUR NW – 10 cm

Obr. 9 Degradácia vzoriek (V1 –V6) + PUR NW – 10 cm

Reducing the distance of the radiator from the surface of samples to 10 cm, there were significant changes in degradation of the samples if compared to previous measurements. In this case, all samples released more intense and denser smoke after 2-3 seconds. The samples were not burning with flame, most of them smouldered and the samples V3 + PUR S

Znížením vzdialenosti žiariča od povrchu vzoriek na 10 cm, nastali výrazné zmeny v degradáciách vzoriek oproti predchádzajúcim meraniam. U všetkých vzoriek sa v tomto prípade prejavil intenzívnejší a hustejší dym už po 2-3 sekundách. Vzorky nehořeli plameňom, väčšina tlela, vzorky V3+PUR S a V2+PUR

and V2 + PUR NW heated. Only carbon residues remained of all the upholstery fabrics, which was a significant difference from the results of testing in the distance of 15 cm. When tested in the distance of 15 cm, the fabrics did not degrade completely, unburned residues remained. When tested in the distance of 10 cm, also the PUR foams significantly degraded, they began to melt, formed a viscid mass, and the degradation was significant also on the underside of the PUR foams. In the distance of 15 cm, the degradation on the underside did not occur.

The courses of temperature measured on the surface of upholstery fabrics are shown in Figures 10 and 11.

NW žeraveli. Zo všetkých pot'ahových textílií zostali len uhlíkové zvyšky, čo predstavuje podstatný rozdiel od meraní vo vzdialenosti 15 cm, kde textílie nedegradovali celé, ale zostali aj nezhořené zvyšky. Výrazne degradovali v tomto prípade aj PUR peny, ktoré sa začali topiť, vytvárali mazľavú hmotu a degradácia bola výrazná aj na spodnej strane PUR pien, čo sa pri vzdialenosti 15 cm neprejavilo.

Priebeh vzostupu teplôt na povrchu pot'ahových textílií je zobrazený na obr. 10 a 11.

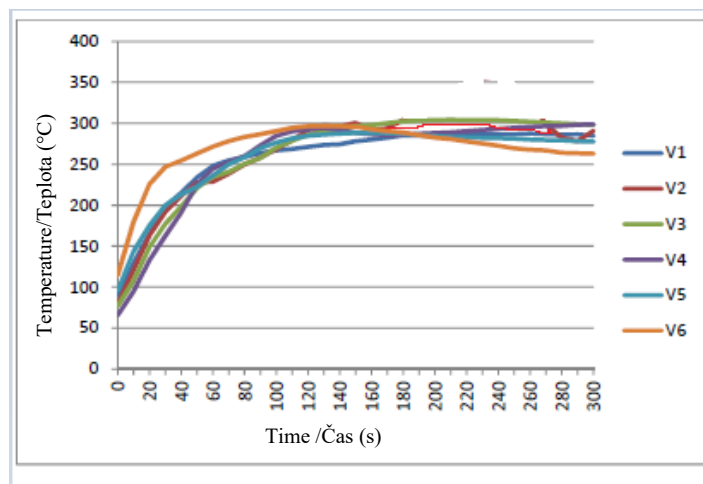


Fig. 10 Temperature on the surface of samples (V + S) – 10 cm

Obr. 10 Priebeh teplôt na povrchu vzoriek textílií (V + S) – 10 cm

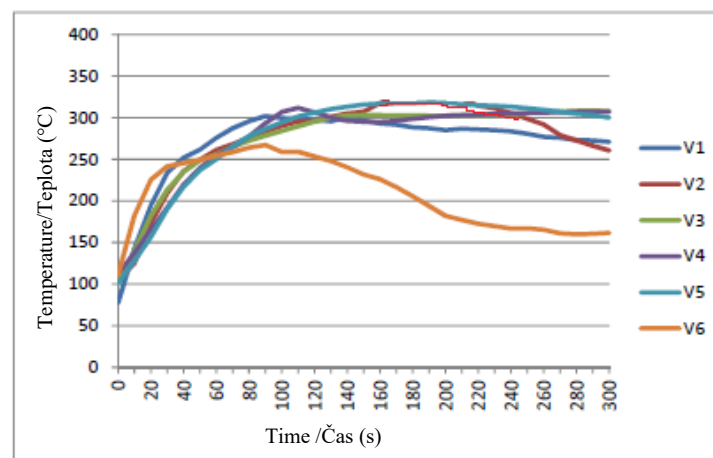


Fig. 11 Temperature on the surface of samples (V + NW) – 10 cm

Obr. 11 Priebeh teplôt na povrchu vzoriek textílií (V + NW) – 10 cm

At the end of the measurement, at time of 300 seconds, the difference between the lowest and the highest temperature on the samples with PUR S was 35.95 °C (V6 - 263.05 °C; V4 - 299.0 °C). For samples with PUR NW, the difference was 146.35 °C (V6 - 161.60 °C; V3 - 307.95 °C). A significant difference in course of temperature was again manifested at the sample V6, especially on PUR NW. If the "outlier" value of sample V6 was excluded from the comparison, the difference between the temperatures at the end of measurement would be 47.25 °C (V2 - 260.70 °C, V3 - 307.95 °C). The sample (V6+PURNW) was not tested 3 times as with the other samples, but 4 times. The course of temperature was always confirmed, so all values were kept in the evaluation.

The achieved maximum temperature for the individual samples are shown in Figures 12 and 13.

Výrazný rozdiel v priebehu teplôt sa znovu prejavil hlavne pri vzorke V6 predovšetkým na podklade NW. Na konci merania tj. v 300. sekunde je rozdiel medzi najnižšou a najvyššou dosiahnutou teplotou vzoriek s PUR S 35,95 °C (V6 – 263,05 °C, V4 – 299,0 °C). U vzoriek s PUR NW je rozdiel 146,35 °C (V6 – 161,60 °C, V3 – 307,95 °C). Ak by sme z porovnania vyňali „odľahlú“ hodnotu vzorky V6, rozdiel v teplotách na konci merania by bol 47,25 °C (V2 – 260,70 °C, V3 – 307,95 °C). Túto vzorku sme podrobili nie 3 meraniam ako pri ostatných vzorkách, ale 4 meraniam a vždy sa priebeh teplôt potvrdil, preto ponechávame pri hodnotení všetky hodnoty.

Najvyššie dosiahnuté maximá teplôt jednotlivých vzoriek sú zobrazené na obr. 12 a 13.

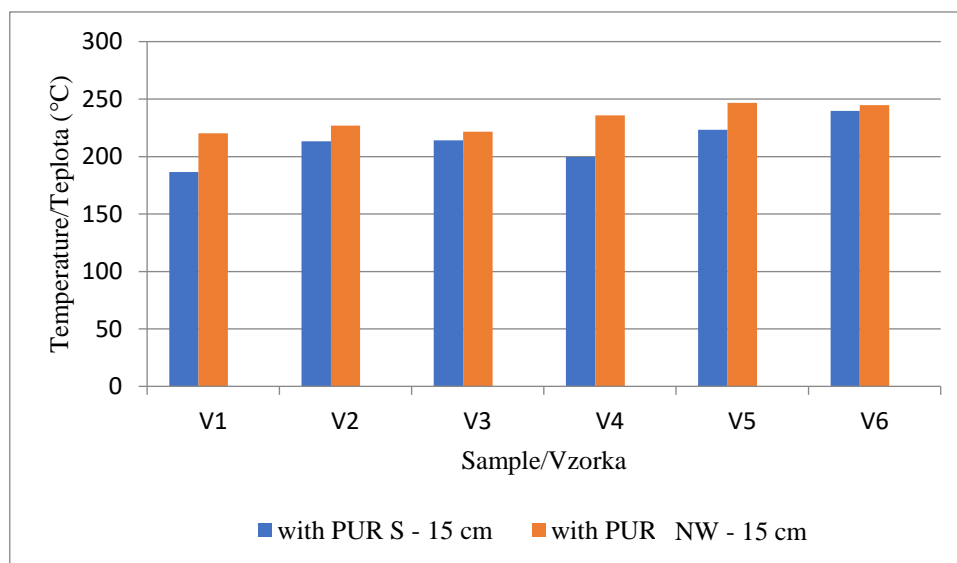


Fig. 12 Maximum temperature on the surface of samples tested in the distance of 15 cm

Obr. 12 Maximálne teploty vzoriek – 15 cm

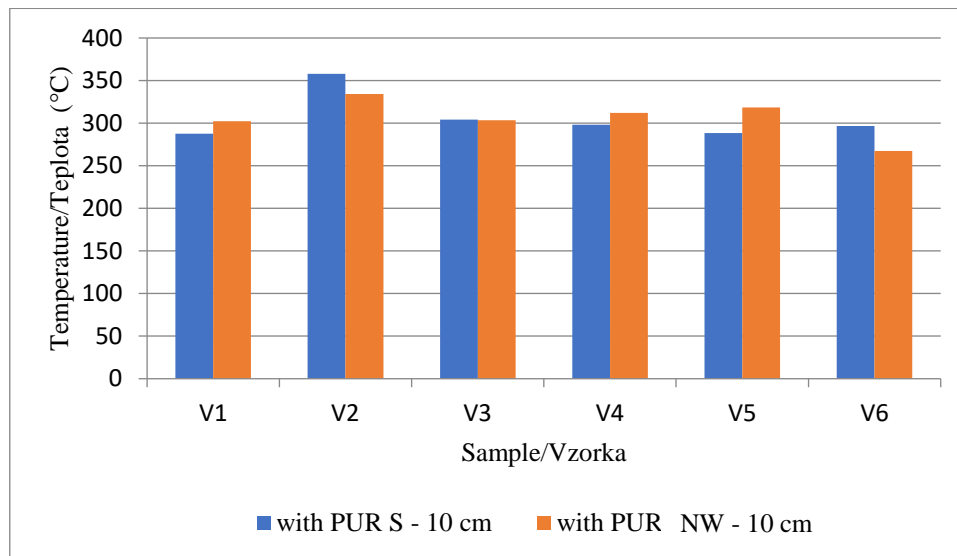


Fig. 13 Maximum temperature on the surface of samples tested in the distance of 10 cm

Obr. 13 Maximálne teploty vzoriek – 10 cm

When measured in the distance of 15 cm, higher values of maximum temperature were measured on samples with upholstery fabrics on the foam PUR NW. For both PUR foams, the highest temperatures were measured on samples V5 and V6. Maximum temperature ranged from 186.45 °C (V1+PUR S) to 246.65 °C (V6+PUR S).

When measured in the distance of 10 cm, the results were more differentiated. In this case, the temperatures on the samples with PUR NW were not significantly higher if compared to the samples with PUR S. The maximum temperatures were significantly higher, ranging from 267.25 °C (V6+PUR NW) to 357.95 °C (V2+PUR S). The increase in maximum temperature measured in the distance of 10 cm (if compared to the 15 cm) represented 43.34 % at the lowest values of maximum temperature and 45.13 % at the highest values of maximum temperature.

It is also important to note that the individual samples reached the maximum temperature at different time. For instance, in the distance of 15 cm, on the PUR NW substrate, the samples V5 and V6 reached similar value of maximum temperature. But sample V5 reached the highest temperature in time of 290 sec while the sample V6 reached it already at time of 110 seconds.

When evaluating the results of measurements in the distance of 15 cm, the relative mass loss for samples of the upholstery fabrics themselves

Vyššie hodnoty maximálnych teplôt pri vzdialenosti 15 cm dosiahli vzorky s poťahovými textíliami na podklade PUR peny NW. Pri oboch PUR penách dosiahli najvyššie teploty vzorky V5 a V6. Maximálne teploty sa pohybovali v rozmedzí od 186,45 °C (V1+PUR S) do 246,65 °C (V6+PUR S).

Pri vzdialenosti 10 cm boli výsledky diferencovanejšie. V tomto prípade neboli tak jednoznačne vyššie teploty vzoriek s PUR NW v porovnaní so vzorkami s PUR S ako pri 15 cm vzdialenosti. Hodnoty maximálnych teplôt boli podstatne vyššie, pohybovali sa v rozmedzí od 267,25 °C (V6+PUR NW) do 357,95 °C (V2+PUR S). Tento nárast maximálnych teplôt pri vzdialenosti 10 cm predstavoval 43,34 % pri najnižších hodnotách maxím teplôt a 45,13 % pri najvyšších hodnotách maxím teplôt.

Dôležitý je tiež poznatok, že maximálne teploty dosiahli jednotlivé vzorky v rôznych časoch. Napr. pri vzdialenosti 15 cm na podklade NW dosiahli vzorky V5 a V6 porovnateľné maximálne teploty, avšak vzorka V5 dosiahla najvyššiu teplotu v 290. s, zatiaľ čo vzorka V6 už v 110 s.

Pri hodnotení výsledkov meraní vo vzdialenosti 15 cm sme získali hodnoty relatívnych úbytkov hmotností vzoriek samotných poťahových textílií bez podkladov PUR pien S a NW (viď obr. 14).

(without PUR foams S nor NW) were calculated (see Fig. 14).

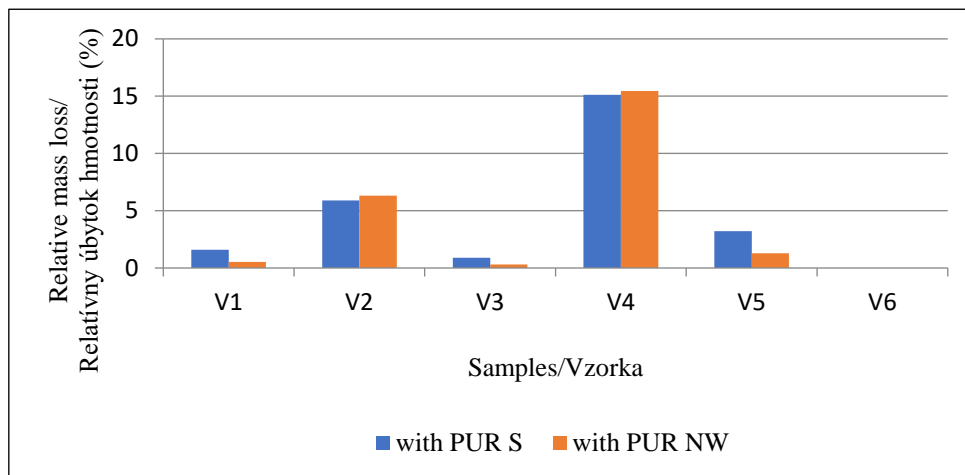


Fig. 14 Relative mass loss of upholstery fabrics tested in the distance of 15 cm
 Obr. 14 Relatívny úbytok hmotnosti poťahových textílií – 15 cm

Relative mass loss also showed significant differences. The largest percentage of relative mass loss of the upholstery fabric alone was measured for the sample V4 on both substrates; the difference between the substrates was minimal. No measurable relative mass loss was recorded for the upholstery fabric alone on the sample V6 – PES fabric. This may be attributed to melting and subsequent solidification of the fabric without much evaporation or pyrolysis.

When tested in the distance of 10 cm, it was not possible to determine the relative mass loss for the fabrics alone. Exposed to heat, the fabrics and PUR foams melted together and formed a greasy substance. Fig. 15 shows the weight loss of the whole assembly (fabric + PUR foam) tested at the distances of 15 cm and 10 cm.

Aj pri tomto parametri sa prejavili značné rozdiely. Najväčší percentuálny relatívny úbytok hmotnosti bol u vzorky samotnej poťahovej textílie V4 a to pri oboch podkladoch, pri ktorých navzájom boli rozdiely len minimálne. Pri samotnej vzorke poťahovej textílie V6 nebol zaznamenaný žiadny merateľný relatívny úbytok hmotnosti. Uvedené správanie môže byť dôsledkom roztavenia a následného vytvrdenia poťahovej textílie bez významného odparovania či pyrolýzy.

Pri meraniach vo vzdialenosti 10 cm sa nedali stanoviť relatívne úbytky hmotnosti samostatne u textílií, pretože PUR peny s textíliami sa vplyvom tepla roztavili a vytvorili zatavenú mazľavú hmotu. Na obr. 15 sú uvedené hodnoty relatívnych úbytkov hmotností celej skladby (textília + PUR pena) vo vzdialenosti 15 cm aj 10 cm.

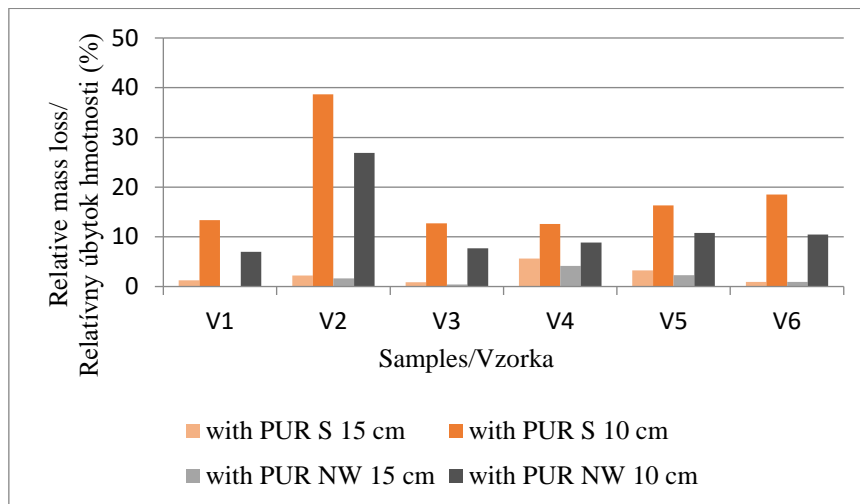


Fig. 15 Relative mass loss of upholstery composites (V+PUR)

Obr. 15 Relatívny úbytok hmotností skladieb

If tested in the distance of 15 cm, the highest percentage of relative mass loss was measured for the upholstery composites V4 with PUR S and NW. If tested in the distance of 10 cm, the highest values of relative mass loss were measured for sample V2, also with both PUR foams. For the sample V2, in both variants (PUR S and NW), the biggest difference between the values of relative mass loss was measured when the sample was tested in the distance of 10 cm. It was the biggest difference in relative mass loss between the two measurements (15 cm and 10 cm).

In the overall evaluation, it can be stated that the obtained results were influenced by the material composition of the fabrics and the PUR foams as a base. We expected better results for the fabrics with fire retardant and the foam PUR S, which was not clearly confirmed. The distance of the radiator from the surface of the samples showed a significant effect on the degradation of samples, which may be attributed to the decrease of incident heat flux by approximately 45 % (6.25 kW/m² at 10 cm to 3.5 kW/m² at 15 cm). In the distance of 15 cm, lower values of maximum temperature on the surface of samples were measured for the samples with PUR S. In the testing distance of 10 cm, it was not so clear; lower temperature maxima were reached by three samples with PUR S (V1, V4, and V5). When evaluating the relative mass loss of the fabrics themselves, (obtained only at testing in the distance of 15 cm) there were no significant differences in

Najvyššie percentuálne relatívne úbytky hmotnosti pri vzdialenosti 15 cm dosiahla skladba vzorky V4 s PUR S aj NW. Pri meraniach vo vzdialenosti 10 cm to boli najvyššie hodnoty u vzorky V2, taktiež aj v tomto prípade s PUR penou S aj NW. Pri tejto vzorke V2 sa v oboch variáciách s PUR S aj NW, prejavil najvyšší nárast relatívneho úbytku hmotností pri 10 cm vzdialenosti. Bol to najväčší rozdiel hodnôt relatívnych úbytkov hmotností medzi meraniami pri 15 cm a 10 cm.

Pri celkovom hodnotení je možné konštatovať, že na dosiahnuté výsledky vzoriek malo vplyv materiálové zloženie textílií aj PUR peny ako podklad. Predpokladali sme lepšie výsledky pri textíliách s retardačnou úpravou a PUR S, čo sa jednoznačne nepotvrdilo. Výrazný vplyv na degradáciu vzoriek mala vzdialenosť žiariča od povrchu vzoriek, čo môže byť pripísané redukcii hustoty dopadajúceho sálavého tepla na povrch vzorky o cca. 45 % (6,25 kW/m² pri 10 cm na 3,5 kW/m² pri 15 cm). Pri vzdialenosti 15 cm maximá teplôt na povrchu vzoriek dosiahli nižšie hodnoty vzorky s PUR S. Pri 10 cm to nebolo tak jednoznačné, nižšie maximá teplôt s PUR S dosiahli tri vzorky V1, V4, V5. Pri hodnotení relatívneho úbytku samotných textílií, ktorý sme získali len meraním vo vzdialenosti 15 cm, neboli výrazné rozdiely hodnôt medzi vzorkami s PUR S a vzorkami s PUR NW. Zrejmy rozdiel však bol pri hodnotení relatívneho úbytku hmotnosti celej skladby (textília + PUR). Znížením vzdialenosti

values between the samples with PUR S and the samples with PUR NW. However, the obvious difference was seen when evaluating the relative mass loss of the whole composition (fabric + PUR). Reducing the testing distance to 10 cm, the relative mass loss of all the samples was significantly higher. At both testing distances, the samples with PUR NW showed lower relative mass loss if compared to the samples with PUR S, which may be attributed to the higher initial weight of PUR NW sample substrates when compared to PUR S due to their different densities.

Based on comparison of the results by the method of sorting the fabrics themselves according to the best results in terms of flammability (lowest maximum temperature, lowest relative mass loss of fabrics), the following order of fabrics can be made: V1 (61 % PES, 39 % Ba), V3 (100 % PA), V6 (FR 100 % PES), V4 (60 % VS, 40 % V1), V5 (FR 50 % PES, 50 % PP), V2 (100 % Ba). In most parameters, a fabric based on 100% cotton showed the worst results. Wanna [13] pointed out the flammability of cotton and emphasized the need to treat it by a fire retardant, for example by using suitable salts.

These results are difficult to compare with results of other authors. There is a great variability in the composition of upholstery materials; we have not found a similar evaluation from the available sources, both in terms of methodology and in terms of the material composition of the samples. An analogy with our results can be seen in Šuleková and Kačíková [14], who researched the influence of radiant heat on selected types of PUR foams (testing distances 15 cm and 10 cm, exposure time 300 seconds). They concluded similarly that the samples did not ignite, degraded considerably, especially in the distance of 10 cm when they turned into a greasy substance. Surface temperature of the samples reached 250 - 300 °C, which is below the 350 °C at which the autoignition behaviour selected polymeric materials of this type (artificial fibres and foams) begins to manifest [15].

Conclusion

Several interesting results were obtained from the research. The results need to be analysed more deeply and be supported by the

merania na 10 cm sa výrazne zvýšil relatívny úbytok hmotností všetkých vzoriek. Vzorky s PUR NW dosiahli nižšie hodnoty relatívnych úbytkov v porovnaní so vzorkami s PUR S a to pri obidvoch vzdialenostiach merania, čo môže byť pripísané vyššej hmotnosti PUR NW vzoriek v porovnaní s PUR S z dôvodu rozdielnosti ich hustôt.

Na základe porovnania výsledkov metódou zoradenia vzoriek samotných textílií od najlepších dosiahnutých hodnôt z pohľadu horľavosti (najnižšia hodnota maximálnych teplôt, najnižší relatívny úbytok hmotností textílií) možno určiť nasledovné poradie vzoriek: V1 (61 % PES, 39 % Ba), V3 (100 % PA), V6 (FR 100 % PES), V4 (60 % VS, 40 % V1), V5 (FR 50 % PES, 50 % PP), V2 (100 % Ba). Vo väčšine parametrov dosiahla najhoršie výsledky textília na báze 100 % bavlny. Na horľavosť bavlny poukazuje Wanna [13], ktorý zdôrazňuje potrebu jej retardačnej úpravy, napríklad použitím vhodných solí.

Uvedené dosiahnuté výsledky je náročné porovnať s výsledkami iných autorov. V zložení čalúnnických materiálov je veľká variabilita, nenašli sme z dostupných zdrojov podobné hodnotenie, jednak čo sa týka metodiky, ale tiež materiálového zloženia vzoriek. Analógiu s našimi výsledkami vidíme u autoriek Šuleková a Kačíková [14], ktoré porovnávali vplyv sálavého zdroja tepla na vybrané druhy PUR pien vo vzdialenosti 15 cm a 10 cm po dobu 300 s. ako v našom výskume. Podobne dospeli k záveru, že vzorky sa nezapálili, ale značne degradovali predovšetkým pri vzdialenosti 10 cm, kedy sa menili na mazľavú hmotu. Teploty na povrchu vzoriek dosahovali 250 - 300 °C, čo je pod teplotou 350 °C, ktorá je spodnou hranicou, pri ktorej sa začína prejavovať samovznietenie vybraných polymérických materiálov tohoto typu (umelé tkaniny a peny) [15].

Záver

Uvedeným výskumom sme získali viacero zaujímavých výsledkov, ktoré bude potrebné ešte hlbšie analyzovať, podložiť tiež štatistickým vyhodnotením, zamerať sa na rozbor vplyvu sálavého tepla na textílie rôzneho materiálového zloženia. Cieľom tohto výskumu bolo však prioritne overiť vhodnosť navrhutej metodiky.

statistical evaluation. The effect of radiant heat on fabrics of various material composition can also be analysed. However, the priority aim of this research was to verify a suitability of the proposed methodology.

We can state that the methodology is suitable for testing of the effect of radiant heat on upholstery materials; it offered number of important findings. However, the procedure still needs to be innovated, improved, such as: to wrap the PUR foams with fabric also on sides, to use thermocouples with a flat end, to place them on the bottom side – away from the source of radiant heat, to increase the time of exposition to heat, etc. In future, we will test not only the fabrics, but entire assemblies – upholstery cover fabric, separating material, PUR foam. We want to point out the importance and need to test the flammability of upholstery materials also from the point of view of the method, where the initiating source is radiant heat. The results obtained by this method could suitably complement the results from the standardized test method of smouldering cigarette and the match flame equivalent.

Acknowledgements

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-17-0005 (50%) and Agency VEGA projekt č. V-1/0454/20 (50%).

References / Literatúra

- [1] Orémusová, E. 2016. Termická analýza vybraných čalúnnických materiálov. 1. vyd. - Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2016. - 79 s. [4,78 AH]. ISBN 978-80-228-2857-4
- [2] Martinka, J., Rantuch, P., Balog, K., Benko, D., Sulová, J. 2018. Toxicity of Combustion Products of Electrical Cables. Delta. FIRE PROTECTION & SAFETY Scientific Journal 12(1): 5–16, 2018. DOI:10.17423/delta.2018.12.1.34
- [3] Gann, RG, Bryner, NP. 2008. Combustion products and their effects on life safety. Pages 749-772 in Cote AE, ed. Fire Protection Handbook. 20th ed. National Fire Protection Association.
- [4] Purser, DA. 2016. Toxicity assessment of combustion products. Pages 300-388 in DiNenno PJ, ed. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 5th ed. Society of Fire Protection Engineers.
- [5] Durso, F. 2013. Furniture flammability and home fire losses, 2013. NFPA Journal. Official magazine of the National Fire Protection Association.
- [6] Fabian, Thomas, Z., Gandhi, P. D. 2013. Upholstered furniture flammability: Full-scale furniture and flashover experiments. Conference: Fire & Materials 2013. At: San Francisco, CA.
- [7] Hagen et al. 2017. Fire safety of upholstered furniture and mattresses in the domestic area European fire services recommendations on test methods. 2017. Available on <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20170501-FEU-Fire-safety-of-upholstered->

Môžeme konštatovať, že metodika je vhodná na testovanie vplyvu sálavého tepla na čalúnnické materiály, ponúkla nám množstvo významných poznatkov. Avšak postup je ešte potrebné inovovať, vylepšiť, ako napr. PUR peny obaliť textíliou aj z bočných strán, termočlánky použiť s plošným ukončením, umiestniť ich aj zo spodnej strany – odvrátenej od zdroja sálavého tepla, zvýšiť čas pôsobenia zdroja a pod. Postupne budeme testovať nielen textílie, ale celé skladby – poťah, separačný materiál, PUR peny. Príspevkom chceme poukázať na dôležitosť a potrebu testovania horľavosti čalúnnických materiálov aj z pohľadu metódy, kde iniciálnym zdrojom je sálavé teplo. Výsledky získané touto metódou, by mohli vhodne dopĺňať výsledky z normovaných metód cigaretového testu a ekvivalentu plameňa zápalky.

Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-17-0005 (50%) a agentúrou VEGA projekt č. V-1/0454/20 (50%).

[furniture-and-mattresses-in-the-domestic-area.pdf](#)

[8] Navrátil, V. 2014. Upholstery is a science. 2014. Available online:

<http://www.calunnictvo.info/2014/03/calunenie-veda.html>

[9] Flammability of upholstered furniture. Textile Testing Institute. Brno. Available online:

<http://tzu.cz/horlavost-odevu-a-bytoveho-textilu-CZ12419>

[10] Hafez S. Hawas. Effect of Some Construction Elements on the Flammability of Upholstery Fabrics. Helwan University. Egypt. DOI: [10.12816/0044478](https://doi.org/10.12816/0044478)

[11] Makovická Osvaldová, L., Marková, I., Vandlíčková, M., Gašpercová, S., Titko, M. 2020. Fire Characteristics of Upholstery Materials in Seats. Int. J. Environ. Res. Public Health 2020, 17, 3341; doi:10.3390/ijerph17093341

[12] Pitts, V. M. 2014. Applied Heat Flux Distribution and Time Response Effects on Cone Calorimeter Characterization of a Commercial Flexible Polyurethane Foam. In *Fire technology in Springer US*. ISSN 1572-8099, 2014, vol. 50 issue 3 p. 635-672.

[13] Wanna, J.T. Polo, A.; Schettino, D. The smoldering potential of used upholstery fabrics: Unsoiled vs soiled. J. Fire Sci. 1996, 14, 144–158. [CrossRef]

[14] Šuleková, M., Kačíková, D. 2016. Influence of radiant heat source on selected types of polyurethane foams. 5th International Scientific Conference Advances in Fire & Safety Engineering Fakulta bezpečnostného inžinierstva ŽU, Žilina 2016.

[15] Appendix 3. 2016. Fuel Properties and Combustion Data – Table A.36. Pages 3456-3458 in DiNenno PJ, ed. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 5th ed. Society of Fire Protection Engineers.