

3 KOUŘ JAKO NEBEZPEČNÝ FAKTOR POŽÁRU S OBSAHEM ŠKODLIVIN

3.1 VZNIK KOUŘE

Definice kouře není jednotná. Zatímco západoevropské státy označují kouřem aerosol nebo kondenzovanou fázi komponentu produktů při spalování, americká společnost ASTM (American Society for Testing and Materials) zahrnuje do pod pojem kouř také vyvinuté plyny. Kouřový aerosol mění široce svůj vzhled a strukturu, a to od světle černé (pro kapičky vzniklé během kouření a tepelného rozkladu paliva) až k černé (pro pevné uhlíkaté částice či saze vzniklé v průběhu plamenného hoření). Velká část záření vydávaného z ohně je způsobena černým tělesem pokrytým sazemi v plameni. Účinek kouře vyvinutého ohněm závisí na jeho množství a vlastnostech. Nejdůležitější fyzikální vlastností kouře je rozložení a velikost jeho částecek.

Vývoj kouře je jedním ze základních faktorů charakterizující znečištěné ovzduší. Spalování, ve kterém kouř vzniká, je planoucí pyrolýza ovlivňující kouřový účinek, množství a charakter kouře. Vyzařování kouře z plamene reprezentuje rovnováhu mezi narůstajícími rozkladnými procesy v palivu provázenými plamenem a vyhořelým palivem s kyslíkem. Nelze předpokládat kouřovou emisi jako chemickou funkci paliva a podmínek spalování, neboť je známo, že aromatické polymery (např. polystyrén) produkují více kouře než uhlovodíky s jednoduchými vazbami uhlíku (např. polypropylén). Kouř vyvíjející se z plamenného hoření zahrnuje velký obsah elementárního (grafitového) uhlíku.

Pyrolýza se vyskytuje na povrchu paliva vlivem zvýšené teploty zářivého toku tepla na jeho povrchu. Teplota pyrolýzy cca 600 – 900 °C je o mnoho menší než teplota plynné fáze plamene v rozmezí 1200 – 1700°C. Vodní pára vyvinutá z povrchu může zahrnovat monomer paliva, částečně zoxidované produkty a polymerní vazby. V důsledku stoupající páry její podstatná část s nízkým tlakem může kondenzovat a formované kouřové kapičky se mohou projevit jako světle zbarvený dým.

Doutnající spalování také produkuje kapičky dýmu, ale v tomto případě je spalování udržuje samo, kdežto pyrolýza vyžaduje externí tepelný zdroj. Zatímco většina materiálů může být štěpena teplem, jen málo materiálů včetně celulózových (dřevo, papír, lepenka atd.) a pružná polyuretanová pěna jsou schopny doutnat. Teplota v průběhu doutnání dosahuje 600 – 1100°C.

Pro hodnocení množství uvolněného kouře se používá kouřový stupeň konverze (směšování) ϵ , který je dán poměrem hmotnosti vyprodukovaného kouře ke hmotnosti spalovaného paliva. V mnoha případech tento stupeň konverze je ovlivňován dosahem zářivého toku, koncentrací kyslíku, orientací vzorku, okolní teplotou apod. V tab. 3.1 je uveden při plamenném hoření a pyrolýze pro dřevo a plasty.

3.2 ROZLOŽENÍ KOUŘE

Vlastnosti kouře závisí především na rozložení jeho částic a množství. Velikost rozložení částic je určeno geometrickým počtem rozdělení $\frac{\Delta N}{\Delta \log d}$ proti $\log d$, kde d představuje průměr částic.

Množství ΔN reprezentuje počet částic [cm^3] s průměrem mezi $\log d$ a $\log d + \Delta \log d$. Příkladem velikosti rozložení kouřových částic vzniklých doutnáním vonné pryskyřičné tyčinky (kadidla) je obr. 3.1, kde $\Delta \log d$ pro každý rozměrový rozsah je roven 0,25. V tomto případě celkové číslo koncentrace pro danou velikost rozsahu je rovno $0,25 \frac{\Delta N}{\Delta \log d}$. Je zřejmé, že logaritmické měřítko je nezbytně nutné širokým rozsahem ve velikosti částic a koncentrace.

Tab. 3.1 Uvolňování kouře ze dřeva a plastů [7]

Druh vzorku	Kouřový stupeň konverze ϵ	Spalovací podmínky	Plocha paliva [m^2]
Jedle	0,03 – 0,17	Pyrolýza	0,005
Jedle	< 0,01 – 0,025	Plamenné hoření	0,005
Lisovaná dřevovláknitá deska	0,0004 – 0,001	Plamenné hoření	0,0005
Nelisovaná dřevovláknitá deska	0,005 – 0,01	Plamenné hoření	0,0005
Polyvinylchlorid	0,03 – 0,12	Pyrolýza	0,005
Polyvinylchlorid	0,12	Plamenné hoření	0,005
Polyuretan měkký	0,07 – 0,15	Pyrolýza	0,005
Polyuretan měkký	< 0,01 – 0,035	Plamenné hoření	0,005
Polyuretan tuhý	0,06 – 0,19	Pyrolýza	0,005
Polyuretan tuhý	0,09	Plamenné hoření	0,005
Polystyren	0,17	Plamenné hoření	0,0005
Polystyren	0,15	Plamenné hoření	0,07
Polypropylen	0,12	Pyrolýza	0,005
Polypropylen	0,016	Plamenné hoření	0,005
Polymetylmetakrylát	0,02	Plamenné hoření	0,07
Celulózové izolace	0,01 – 0,12	Doutnání	0,02

Pro mnohé aplikace jsou nejdůležitějšími charakteristikami velikosti rozložení průměr velikostí částic a šířka jejich rozložení. Často užívaná míra průměru velikosti je geometrický střední číselný průměr d_{gn} určený vztahem

$$\log d_{gn} = \sum_{i=1}^n \frac{N_i \cdot \log d_i}{N} \quad (3.1)$$

kde N – celková číselná koncentrace,

N_i – číslo koncentrace v i -tém intervalu,

$\log d_i$ – dekadický logaritmus průměru částice v i -tém intervalu.

Na obr.3.1 je zobrazena velikost rozložení částic hodnotou $d_{gn} = 0,072 \mu\text{m}$. Odpovídající míra šířky velikosti rozložení částic je geometrická standardní odchylka σ_g , pro níž platí:

$$\log \sigma_g = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\log d_i - \log d_{gn})^2 \cdot N_i}{N} \right]^{1/2} \quad (3.2)$$

Na obr. 3.1 je uvedena velikost rozložení částic $\sigma_g = 1,75$. Dokonalé monodisperzní rozložení by odpovídalo hodnotě $\sigma_g = 1$. Parametry d_{gn} a σ_g jsou výhodné, jelikož aktuální velikosti rozložení v logaritmickém vyjádření jsou přibližně stejné jako normální Gaussovo uspořádání. Důležitou

charakteristikou pro normální logaritmické

rozložení je skutečnost, že 68,3 % celkových částic jsou rozsahu velikosti $\log d_{gn} \pm \log \sigma_g$; pro $d_{gn} = 0,072 \mu\text{m}$ a $\sigma_g = 1,75$ toto odpovídá rozsahu velikosti od 0,041 do 0,126 μm .

Příklad 1

Vypočítejte d_{gn} pro údaje uvedené v tab. 3.1 a σ_g pro hodnoty uvedené v tab.3.2.

Tab. 3.2 Podklady pro d_{gn}

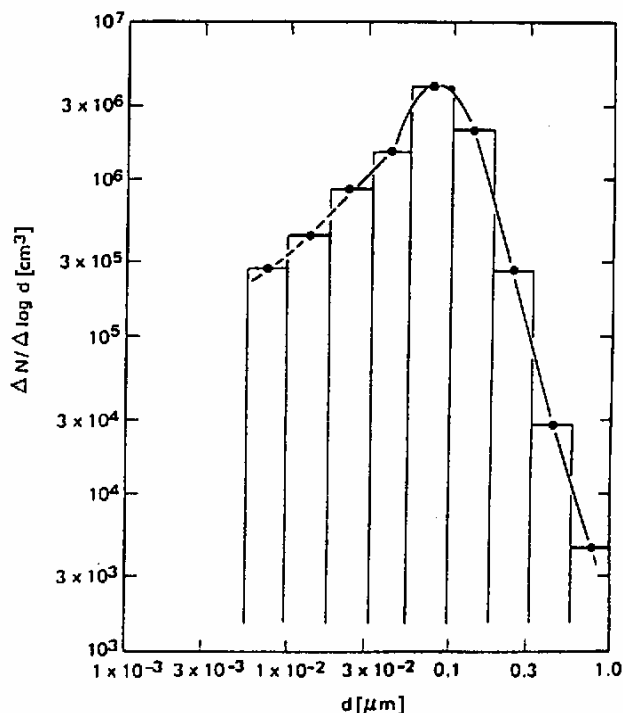
Interval [μm]	d_i	$N_i [\text{cm}^{-3}]$	$\log d_i$	$N_i \cdot \log d_i [\text{cm}^{-3}]$
0,0056 – 0,01	0,0078	$6 \cdot 10^4$	-2,00	$-1,27 \cdot 10^5$
0,010 – 0,018	0,014	$2 \cdot 10^5$	-1,85	$-3,7 \cdot 10^5$
0,018 – 0,032	0,025	$4 \cdot 10^5$	-1,60	$-6,40 \cdot 10^5$
0,032 – 0,056	0,044	$9 \cdot 10^4$	-1,36	$-1,22 \cdot 10^5$
0,056 – 0,10	0,078	$3 \cdot 10^4$	-1,11	$-3,33 \cdot 10^4$
0,10 – 0,18	0,14	$1 \cdot 10^3$	-0,85	$-0,852 \cdot 10^3$
Celkem $7,81 \cdot 10^5$			Celkem $-1,30 \cdot 10^6$	

$$d_{gn} = 10^{(-1,30 \cdot 10^6 / 7,81 \cdot 10^5)} = 0,022 \mu\text{m}$$

Tab. 3.3 Podklady pro σ_g

$N_i [\text{cm}^{-3}]$	$\log d_i$	$\log d_i - \log d_{gn}$	$N_i \cdot (\log d_i - \log d_{gn})^2$
$6 \cdot 10^4$	-2,00	-0,45	$1,22 \cdot 10^4$
$2 \cdot 10^5$	-1,85	-0,19	$7,2 \cdot 10^3$
$4 \cdot 10^5$	-1,60	0,06	$1,40 \cdot 10^3$
$9 \cdot 10^4$	-1,36	0,30	$8,10 \cdot 10^3$
$3 \cdot 10^4$	-1,11	0,55	$9,10 \cdot 10^3$
$1 \cdot 10^3$	-0,85	0,81	$6,50 \cdot 10^2$
$\Sigma = 7,81 \cdot 10^5$		$\Sigma = 3,87 \cdot 10^4$	

$$\sigma_g = 10^{(3,87 \cdot 10^4 / 7,81 \cdot 10^5)^{0,5}} = 1,67$$



Obr.3.1 Velikost rozložení kouře měřeného elektrickým analyzátozem

3.3 STRUKTURA KOUŘE

Kouř zahrnuje ve své struktuře saze, a to v závislosti na jejich průměru vzhledem k celkové velikosti shluku, jak to dokládá např. obr. 3.2. U kouřového aerosolu (např. doutnáním celulózové izolace) je možno objem rozložení kouřových částic určit ze vztahu

$$V_i = N_i \cdot \frac{1}{16} \pi \cdot d_i^3 \quad (3.3)$$

Vzájemný vztah objemu kouře a velikosti rozložení jeho částic lze vyjádřit geometrickým středním objemovým průměrem d_{gv} vyjádřeným obdobným výrazem jako u d_{gn} podle vztahu

$$\log d_{gv} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot \log d_i}{V_T} \quad (3.4),$$

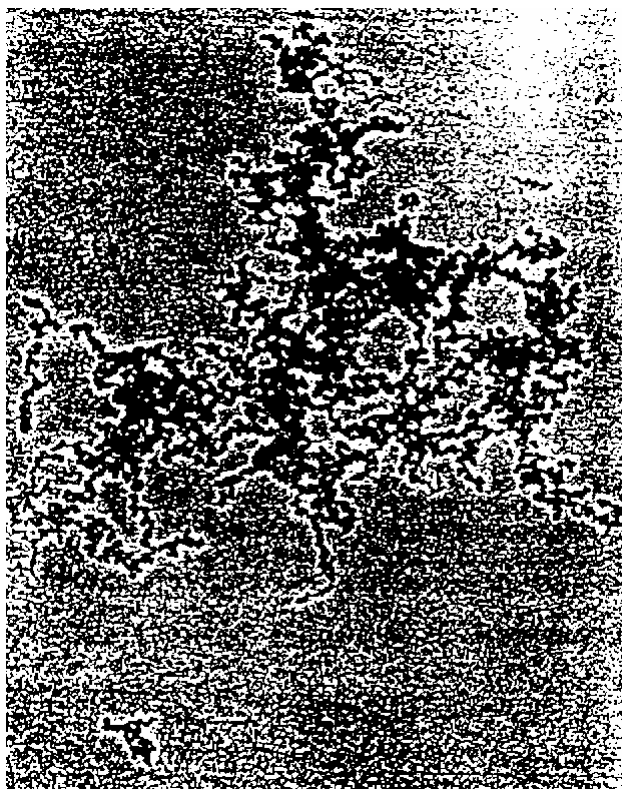
kde V_T – celková objemová koncentrace kouřového aerosolu.

Pro normální logaritmické rozdělení lze vztah mezi geometrickým středním objemovým průměrem d_{gv} a geometrickým středním číselným průměrem d_{gn} vyjádřit následujícím výrazem

$$\log d_{gv} = \log d_{gn} + 6,9(\log \sigma_g)^2 \quad (3.5)$$

Tab. 3.4 Velikost kouřových částic ze spalování dřeva a plastů [7]

Druh spalované hmoty	d_{gv} [μm]	d_{32} [μm]	σ_g	Podmínky spalování
Jedle	0,5 – 0,9	0,75 – 0,8	2,0	Pyrolýza
Jedle	0,43	0,47 – 0,52	2,4	Plamenné hoření
Polyvinylchlorid	0,9 – 1,4	0,8 – 1,1	1,8	Pyrolýza
Polyvinylchlorid	0,4	0,3 – 0,6	2,2	Plamenné hoření
Polyuretan měkký	0,8 – 1,8	0,8 – 1,0	1,8	Pyrolýza
Polyuretan měkký		0,5 – 0,7	2,2	Plamenné hoření
Polyuretan tvrdý	0,3 – 1,2	1,0	2,3	Pyrolýza
Polyuretan tuhý	0,5	0,6	1,9	Plamenné hoření
Polystyren		1,4		Pyrolýza
Polystyren		1,3		Plamenné hoření
Polypropylen		1,6	1,9	Pyrolýza
Polypropylen		1,2	1,9	Plamenné hoření
Polymethylmetakrylát		0,6		Pyrolýza
Polymethylmetakrylát		1,2		Plamenné hoření
Celulózové izolace	2 – 3		2,4	Doutnání



Obr.3.2 Elektronický snímek částec sazí o průměru jednotlivých kuliček cca 0,03 μm s celkovou velikostí shluku cca 6 μm

V případě doutnajícího kouře σ_g se pohybuje nad 2,4. Tato velká hodnota vyplývá ze značného rozdílu mezi d_{gn} a d_{gv} , a to 0,2 μm proti 2 μm . Některá zařízení, např. ionizační typy hlásičů mají výkon v první řadě závislý na d_{gn} , zatímco světlo rozptylující hlásiče více na d_{gv} . Experimentálně byly zjištěny velikosti kouřových částic pro plamenné hoření a pyrolýzu dřeva a plastů, které jsou uvedeny v tab. 3.4.

Množství kouřových částic d_{32} lze získat optickými měřeními podle vztahu

$$d_{32} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot d_i^3}{\sum_{i=1}^n N_i \cdot d_i^2} \quad (3.6)$$

Kouřové aerosoly s ohledem na jejich funkci rozložení velikosti částic jsou dynamické. Kouřové částice nebo kapičky s Brownovým pohybem se srážejí a slepí se. Výsledek tohoto chování ve stabilním prostoru se projevuje snížením počtu částic při celkové nezměněné hmotnosti aerosolu. Tento proces je označován jako koagulace. Základním parametrem pro proces (srážení) je koagulační koeficient konstantní rychlosti Γ pro následující rovnici

$$\frac{dN}{dt} = -\Gamma \cdot N^2 \quad (3.7)$$

Pro kouř produkovaný z vonné pryskyřičné tyčinky (kadidla) Γ dosahuje hodnoty cca $4 \cdot 10^{-10} [cm^3 \cdot s^{-1}]$, pro kouř vzniklý z celulózy (dřeva) cca $1 \cdot 10^{-9} [cm^3 \cdot s^{-1}]$. Proces srážení má výrazně účinek na větší počet rozložení než na jeho hmotnost, poněvadž malé částice se srazí a tvoří větší formaci.

Příklad 2

Vypočítejte změnu v počtu koncentrace v 5-ti minovém intervalu pro jednotně rozložený kouř vzniklý z hořící celulózy dané počáteční koncentrací $1 \cdot 10^7$ částic. cm^{-3} .

Integrací rovnice (3.7) vychází

$$\begin{aligned} \int \frac{dN}{N^2} &= \int -\Gamma \cdot dt \\ \int N^{-2} dN &= -\int \Gamma \cdot dt \\ -\frac{1}{N} &= -\Gamma \cdot t + C \end{aligned}$$

Konstantu C lze určit z okrajové podmínky: pro $t = 0$ $C = -\frac{1}{N_0}$

Potom rovnice (3.6) dostane tvar

$$\frac{1}{N} = \Gamma \cdot t + \frac{1}{N_0} = \frac{N_0 \cdot \Gamma \cdot t + 1}{N_0}$$

$$\text{a po dosazení } N = \frac{N_0}{1 + \Gamma \cdot N_0 \cdot t} = \frac{1 \cdot 10^7}{1 + (10^{-9}) \cdot 10^7 \cdot 300} = \frac{10^7}{1 + 3} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ částic.cm}^{-3}$$

V tomto příkladu dochází při koagulaci ke čtyřnásobné snížení počtu koncentrace.

3.4 VLASTNOSTI KOUŘE

Prioritním hodnocením kouře je jeho světelné zhášení, viditelnost a detekce. Vlastnosti kouře mohou být dále charakterizovány:

- difúzním koeficientem,
- rychlostí sedimentace,
- průměrem aerosolových částic,
- elektrickou vodivostí,
- tepelnou vodivostí,
- koeficientem zhášení,
- kondenzací / vypařováním.

Z fyzikálního hlediska je nejdůležitější vlastností kouře extinkční koeficient světla (koeficient zhášení světla), jehož měření je založeno na Beer-Lambert-Bouguerově zákoně ve vztahu:

$$\frac{I_{\lambda}}{I_{\lambda}^0} = e^{-KL} \quad (3.8)$$

kde K - extinkční koeficient světla [m^{-1}],

I_{λ}^0 - intenzita dopadajícího monochromatického světla o vlnové délce λ ,

I_{λ} - intenzita světla přenesená délkou cesty kouře L ,

L - délka cesty kouře

Když v tomto výrazu se zamění e za základ **10**, rovnice (3.8) dostane tvar

$$\frac{I_{\lambda}}{I_{\lambda}^0} = 10^{-DL} \quad (3.9)$$

kde množství **D** je určeno jako optická hustota [m^{-1}], pro kterou platí:

$$D = \frac{K}{2,3} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (3.10)$$

Extinkční koeficient **K** je možno vyjádřit vztahem:

$$K = K_m \cdot m \quad [\text{m}^{-1}] \quad (3.11)$$

kde K_m – specifický extinkční koeficient na jednotku hmoty [$\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$]

m - hmotnostní koncentrace kouřového aerosolu [$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]

Specifický extinkční koeficient K_m závisí na velikosti rozdělení a optických vlastnostech kouře (pro plamenné hoření dřeva a plastů lze uvažovat $K_m = 7,6 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, pro jejich pyrolýzu $K_m = 4,4 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$).

Specifická optická hustota kouře D_s je měřena standardním laboratorním kouřovým testem. Tato hodnota je dána vztahem

$$D_s = \frac{D \cdot V_c}{A} \quad (-) \quad (3.12)$$

kde D – optická hustota [m^{-1}],

V_c – objem měřené komory [m^3],

A – plocha vzorku [m^2]

Bude-li měřena hmotnostní ztráta kouře, potom hmotnostní optická hustota D_m je přiměřená měření viditelného kouře podle následujícího vztahu

$$D_m = \frac{D \cdot V_c}{\Delta M} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}] \quad (3.13),$$

kde ΔM – hmotnostní ztráta kouře [g].

Specifická optická hustota D_s a hmotnostní optická hustota pro plasty a dřevo D_m je uvedena v tab. 3.5.

Tab. 3.5 Specifická optická hustota D_s a celková optická hustota D_m pro dřevo a plasty [7]

Druh vzorku	Max. D_s	D_m [$\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$]	Tl.vzorku [cm]	Podmínky hoření
Jedle	$6,2 \cdot 10^{-2}$	0,28	0,6	Pyrolýza
Lisovaná tvrdá dřevovláknitá deska	$6,7 \cdot 10^{-1}$		0,6	Plamenné hoření
Lisovaná tvrdá dřevovláknitá deska	$6,0 \cdot 10^{-2}$		0,6	Pyrolýza
Překližka	$1,1 \cdot 10^{-2}$		0,6	Plamenné hoření
Překližka	$2,9 \cdot 10^{-2}$		0,6	Pyrolýza
Polystyren	> 660		0,6	Plamenné hoření
Polystyren	$3,7 \cdot 10^{-2}$		0,6	Pyrolýza
Pěnový polystyren		0,82	0,6	Plamenné hoření
Tuhý pěnový polyuretan	$2,0 \cdot 10^{-1}$		1,3	Plamenné hoření
Tuhý pěnový polyuretan	$1,6 \cdot 10^{-1}$		1,3	Pyrolýza
Měkký pěnový polyuretan		0,22		Plamenné hoření
Polyvinylchlorid tvrdý	> 660		0,6	Plamenné hoření
Polyvinylchlorid tvrdý	$3,0 \cdot 10^{-2}$		0,6	Pyrolýza
Polyvinylchlorid měkčený	$3,5 \cdot 10^{-2}$	0,64	0,6	Pyrolýza
Polymethylmetakrylát	$7,2 \cdot 10^{-2}$	0,15	0,6	Pyrolýza
Polypropylen	$4,0 \cdot 10^{-2}$	0,53	0,4	Plamenné hoření
Polyetylen	$2,9 \cdot 10^{-2}$	0,29	0,4	Plamenné hoření
Druh vzorku	Max. D_s	D_m [$\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$]	Tl.vzorku [cm]	Podmínky hoření
Styren		0,96	0,4	Plamenné hoření
Nylonový koberec	$2,7 \cdot 10^{-2}$		0,8	Plamenné hoření
Nylonový koberec	$3,2 \cdot 10^{-2}$		0,8	Pyrolýza
Akrylát	$1,1 \cdot 10^{-2}$		0,6	Plamenné hoření
Akrylát	$1,6 \cdot 10^{-2}$		0,6	Pyrolýza
Neopren	$8,8 \cdot 10^{-2}$	0,55	0,6	Pyrolýza
Parafinový vosk	$2,3 \cdot 10^{-2}$	0,23	0,4	Plamenné hoření
Latex		0,65		Plamenné hoření
ABS (akrylonitrilbutadienstyren)		0,52		Plamenné hoření
Vlna	$2,2 \cdot 10^{-2}$		0,9	Plamenné hoření
Bavlna		0,17		Plamenné hoření

3.5 VIDITELNOST KOUŘE

Při vypuknutí požáru záchrana osob velmi závisí na viditelnosti značek únikových cest, oknech a dveřích. Viditelnost objektu vyžaduje spolehlivé měřítko kontrastu mezi předmětem a jeho pozadím. Tento kontrast C může být definován pomocí vztahu

$$C = \frac{B}{B_0} - 1, \quad (3.14)$$

kde B – jas předmětu,

B_0 – jas pozadí.

Viditelnost v prostoru závisí na mnoha faktorech, především rozptylu a absorpci kouře, osvětlení v místnosti, vyzařující či odrážející značce únikové cesty, vlnové délce světla atd. Dále je ovlivňována individuální rozlišovací schopností lidského zraku a jeho adaptabilitě. Nicméně správnou korelaci mezi viditelností zkušebních předmětů S [m] a extinkčním koeficientem kouře (koeficientem zhášení světla) lze vyjádřit těmito vztahy:

a) $K \cdot S = 8$ pro světlo vyzařující značku (3.15a),

b) $K \cdot S = 3$ pro světlo odrážející značku (3.15b),

jejichž průběh je vyjádřen graficky na obr. 3.3. Z obr. 3.3 vyplývá, že viditelnost světla vyzařující značky je dva až čtyřikrát větší než u světla odrážející značky.

Příklad 3

Odhadněte viditelnost světla odrážející značky únikové cesty ve čtvercové místnosti o délce 6 m a výšce 2,5 m následkem plamenného hoření molitanového polštáře o hmotnosti 200 g. Kouřová vydatnost při plamenném hoření pro měkký polyuretan podle tab. 3.1 je cca 0,03.

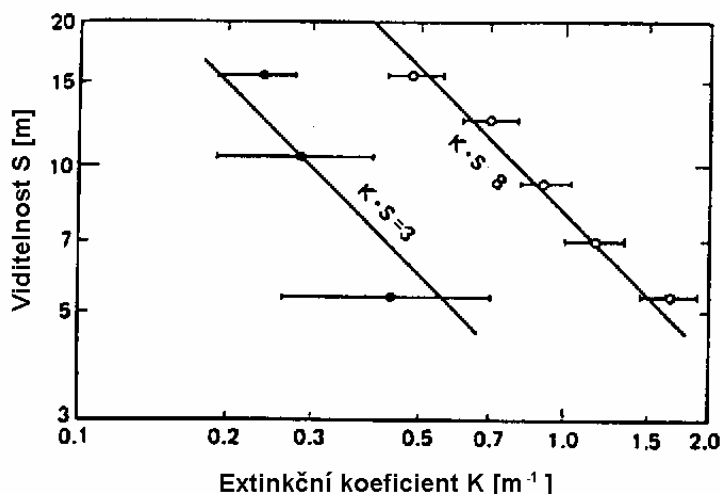
a) Orientační (méně přesný) výpočet:

Emise kouře je potom rovna

$$M = \varepsilon \cdot m_g = 0,03 \cdot 200 = 6 \text{ g}$$

Odpovídající hmotnostní koncentrace v místnosti m potom vychází

$$m = \frac{M}{V} = \frac{6}{6^2 \cdot 2,5} = 0,067 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$$



Obr. 3.3 Korelace mezi extinkčním koeficientem a viditelností:
a) světla vyzařující značky
b) světla odrážející značky

Uvažujeme-li pro plamenné hoření

$K_m = 7,6 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, získáme z rovnice (3.11) hodnotu

$$K = 7,6 \cdot 0,067 = 0,51 \text{ m}^{-1}$$

Viditelnost pro světlo odrážející značku podle vztahu (3.15b) potom dosahuje hodnoty

$$S = \frac{3}{K} = \frac{3}{0,51} = 5,9m$$

Provedený orientační výpočet byl proveden na základě následujících předpokladů:

- Kouř je uzavřený v místnosti a je dobře promíchaný – ve skutečnosti jeho koncentrace bude vyšší pod stropem a nižší pod plamenem;
- Kouřový stupeň konverze $\epsilon = 0,03$ je odhadnutou hodnotou v horní části rozsahu (0,01 – 0,035) pro obecně pružné polyuretanové pěny změřeny v experimentech menšího rozsahu a nemusí být vhodná pro polštář. V reálném případě by molitanový polštář pravděpodobně doutnal dříve než hořel a ϵ v procesu doutnání vykazuje větší hodnotu;
- Hodnota K_m je založena na omezeném počtu experimentů menšího rozsahu s polychromatickým zdrojem světla;
- Rozsah platnosti vztahu (3.15b) nebyl široce studován.

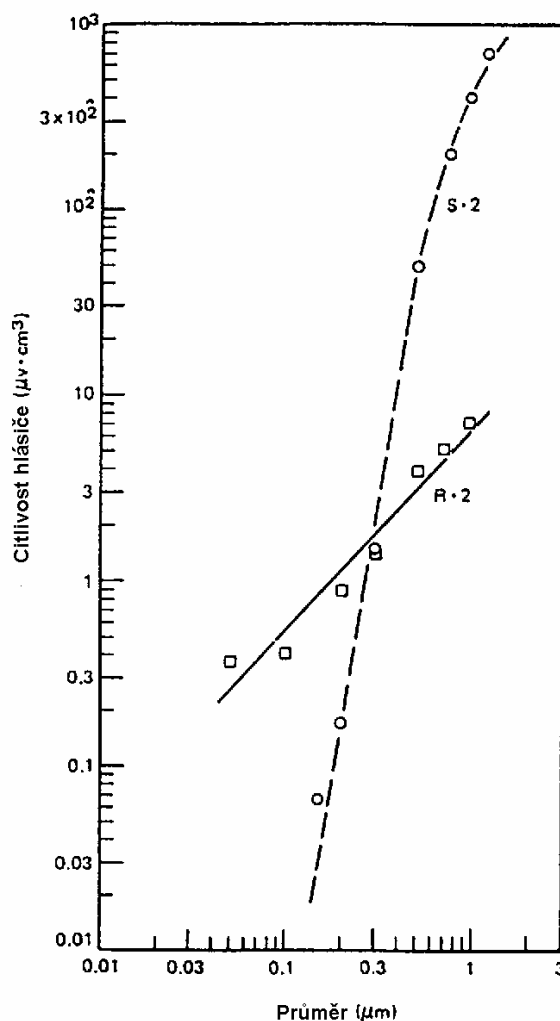
b) Přesnější výpočet:

Další způsob odhadu viditelnosti je založený na hmotnostní optické hustotě D_m uvedené v tab. 3.5 pro pěnový polyuretan při plamenném hoření hodnotou $0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Z rovnice (3.13) pak vychází

$$D = \frac{D_m \cdot \Delta M}{V_c} = \frac{0,22 \cdot 200}{6^2 \cdot 2,5} = 0,49 \text{ m}^{-1}$$

Kouřový extinkční koeficient lze vypočítat z výrazu (3.10)

$$K = D \cdot 2,3 = 0,49 \cdot 2,3 = 1,127$$



Obr.3.4 Funkce citlivosti hlásiče $R(d)$ v závislosti na velikosti částic pro hlásič S-2 světlo rozptylující a R-2 ionizující

Stejně jako v předchozím případě

$$S = \frac{3}{K} = \frac{3}{1,127} = 2,66m \cong 2,7m$$

Ve srovnání s variantou a) je tato metoda spolehlivější, neboť je průměšší.

3.6 DETEKCE KOUŘE

Kromě odhadu viditelnosti měření zhášení světla jsou široce používána v konstrukci detektorů (hlásičů), které indikují kouř. Laboratorní zkoušení hlásičů je částečně založeno na minimu citlivosti odvozené z optické hustoty $D = 0,06 \text{ [m}^{-1}\text{]}$ pro šedý (celulózový) kouř a $D = 0,14$ pro černý (petrolejový) kouř. Elektrický výkon hlásiče **P** ze světla rozptylujícího nebo ionizujícího typu detektoru může být reprezentován velikostí rozdělovací funkce a základní citlivostí hlásiče **R(d)** podle vztahu

$$P = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} R(d) \cdot \frac{\partial N}{\partial d} \partial d \quad (3.16)$$

Rozdělovací funkce pro dva kouřové hlásiče na obr. 3.4. Z obr. 3.4. je zřejmé, že ionizační typ kouřového detektoru je více citlivý na kouřové částice menší než $0,3 \mu\text{m}$ a světlo rozptylující typ detektoru naopak citlivější na částice větší než $0,3 \mu\text{m}$.

Základním principem ionizačních detektorů je zachycení plynových iontů kouřovými částicemi redukujícími iontový proud až do dosažení nastavené signalizační polohy. Funkce citlivosti detektoru je přibližně úměrná zplodinám číslu koncentrace **N** a průměru částic **d**. Pro jeden hlásič je funkce citlivosti dána výrazem

$$R(d) = c \cdot d \quad (3.17)$$

kde *c* – hodnota $[\mu\text{V}]$ pro koncentraci malých částic v $\mu\text{m} [\mu\text{V} \cdot \text{cm}^3 \cdot \mu\text{m}^{-1}]$

Takové hlásiče jsou nejcitlivější na vysoké koncentrace malých částic jako je např. z hořícího papíru či dřeva, a nejméně citlivé na nízké koncentrace velkých kouřových kapiček v doutnajícím ohni. Hlásiče požáru založení na rozptylu světla mají vysokou citlivost na kouřové částice s průměrem přibližně rovným vlnové délce světla λ a nízkou citlivost k částicím podstatně menším než λ .

Funkce citlivosti **R(d)** závisí na vlnové délce světelného zdroje v kouřovém hlásiči, na úhlu a objemu rozptylu. Pro kouřové částice s průměrem větším než cca $0,3 \mu\text{m}$ produkce několika světlo rozptylujících kouřových hlásičů je přibližně úměrná hmotnostní koncentraci kouře. Ionizační hlásiče doplňují detektory na bázi rozptylu světla tím, že vykazují vysokou citlivost na doutnající ohně a nízkou citlivost na plápolající ohně s nízkým vývinem kouře (např. spalování papíru a dřeva).

Příklad 4 Výpočet času na spuštění signálu s použitím velikosti rozložení kouřových částic a funkci citlivosti hlásičů

Uvažujme hoření molitanového polštáře z předchozího příkladu 3 s ustálenou rychlostí $50 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$. Jak dlouho by trvalo ionizačnímu hlásiči s funkcí citlivosti danou rovnicí (3.17) než by sepnul poplachový signál? Za předpokladu, že napětí v poplachovém zařízení je 2,5 V kolik času bude mít jednotlivec pro únik než se viditelnost sníží na nebezpečnou úroveň?

Řešení:

Nejdříve je třeba vycházet z rovnic (3.16) a (3.17) založených na rozložení kouře

$$P = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} R(d) \cdot \frac{dN}{dd} dd = c \cdot \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} d \cdot \frac{dN}{dd} dd \quad (3.18)$$

Pro normální rozložení kouře logaritmicky vyjádřeném platí následující tři výrazy [9]:

$$\int_0^{\infty} d \cdot \frac{dN}{dd} dd = N_0 \cdot d_{gn} \cdot e^{\left(\frac{1}{2} \ln^2 \sigma_g\right)} \quad (3.19a)$$

$$d_{32} = \frac{\int_0^{\infty} d^3 \cdot \frac{dN}{dd} dd}{\int_0^{\infty} d^2 \cdot \frac{dN}{dd} dd} = d_{gn} \cdot e^{\left(\frac{5}{2} \ln^2 \sigma_g\right)} \quad (3.19b)$$

$$\int_0^{\infty} d^3 \cdot \frac{dN}{dd} dd = N_0 \cdot d_{gn}^3 \cdot e^{\left(\frac{3}{2} \ln^2 \sigma_g\right)} \quad (3.19c)$$

Zde N_0 určuje množství koncentrace. Vezmeme-li (dN/dd) jako normální rozložení kouře logaritmicky vyjádřené a použijeme-li rovnici (3.1), dostaneme

$$P = c \cdot N_0 \cdot d_{gn} \cdot e^{\left(\frac{1}{2} \ln^2 \sigma_g\right)} \quad (3.20)$$

Odhadneme-li $\sigma_g = 2,0$ (průměr mezi 1,8 a 2,2) a $d_{32} = 0,6 \mu\text{m}$ z tab.3.4 pro měkký polyuretan, d_{gn} je určeno rovnicí (19b)

$$d_{gn} = d_{32} \cdot e^{-\frac{5}{2} \ln^2 \sigma_g} = 0,6 \cdot e^{-\frac{5}{2} (0,69)^2} = 0,18 \mu\text{m}$$

Po dosazení d_{gn} a c do výrazu (20) pro vydatnost P vychází

$$P = c \cdot N_0 \cdot d_{gn} \cdot e^{\frac{1}{2} \ln^2 \sigma_g} = 7 \cdot N_0 \cdot 0,18 \cdot e^{\frac{1}{2} (0,69)^2} = 1,6 \cdot N_0$$

Nakonec je třeba stanovit N_0 založené na rychlosti tvorby kouře. V jedné mině 50 g polštáře produkuje kouř o hmotnosti

$$M = \varepsilon \cdot m_g = 0,03 \cdot 50 = 1,5 \text{ g}$$

To odpovídá hmotnostní koncentraci m

$$m = \frac{M}{V} = \frac{1,5}{6^2 \cdot 2,5} = 0,0167 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} = 1,67 \cdot 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}.$$

Za předpokladu, že hmotnost jednotkové kuličky kouře:

$$M_k = V_k \cdot \rho = \frac{\pi}{6} \cdot \rho,$$

kde $V_k = \frac{\pi}{6}$ - objem kuličky,

ρ - hustota kuličky,

Ize podle rovnice (18c) uvést hmotnostní koncentraci m jako

$$m = \int_0^\infty \frac{1}{6} \pi \cdot \rho \cdot d^3 \frac{dN}{dd} dd = \frac{1}{6} \pi \cdot \rho \cdot N_0 \cdot d^3 \cdot e^{\left(\frac{3}{2} \ln^2 \sigma_g\right)} \quad (3.21)$$

Pokud hustotu kouře budeme uvažovat $\rho = 2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, potom koncentraci kouřových částic na jednotku objemu vypočteme z předchozí rovnice (3.20)

$$N_0 = \frac{6 \cdot m}{\pi \cdot \rho \cdot d_{gn}^3} \cdot e^{-\frac{3}{2} \ln^2 \sigma_g} = \frac{6 \cdot 1,67 \cdot 10^{-8}}{3,14 \cdot 2 \cdot (1,8 \cdot 10^{-5})^3} \cdot e^{-\frac{3}{2} \ln^2 2} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ kouřových částic} \cdot \text{cm}^{-3}$$

Jelikož v našem případě ve výše uvedeném vztahu $P = 1,6 N_0$ a $N_0 = 1,3 \cdot 10^6$, potom

$$P = 1,6 \cdot (1,3 \cdot 10^6) = 2,1 \cdot 10^6 \text{ V} = 2,1 \text{ } \mu\text{V},$$

což reprezentuje napětí po 1 mině. Odhadovaný čas dosáhne horní hranice poplachového signálu 2,5 V za cca **1,2 min**. Pro hmotnost molitanového polštáře 200 g (viz příklad 3) při rychlosti hoření 50 g.min⁻¹ shoří celý polštář ve 4 minách. Čas pro únik jednotlivce z uvažovaného prostoru je roven nebezpečnému času pro hoření zdroje kouře sníženém o čas na aktivaci poplachového zařízení. V našem případě vychází potřebný čas 4 min – 1,2 min = 2,8 min.

Tento příklad sice odhaduje čas potřebný k vyhlášení poplachu, avšak v praxi postrádá údaje o velikosti rozložení kouřových částic a funkci citlivosti hlásičů. Také v tomto rozboru není zahrnut čas, který je zapotřebí k tomu, aby se kouř dostal do snímané plochy hlásiče, který by měl být v celkové době zahrnut.

Mnohem jednodušší metoda jak odhadnout čas pro spuštění poplachového signálu spočívá v době, ve které optická hustota uvažovaná na 1 m kouře překročí hodnotu $D = 0,06 \text{ [m}^{-1}\text{]}$ pro šedý kouř a $0,14 \text{ [m}^{-1}\text{]}$ pro černý kouř. Nevýhodou tohoto způsobu adjustace je skutečnost, že hlásič je nastaven na signál v jednotlivé optické hustotě pro jeden typ kouře, avšak nemusí reagovat stejným způsobem na rozdílný způsob rozložení kouře a jinou hodnotu indexu lomu světelného záření.

Příklad 5 Výpočet času na spuštění signálu s použitím optické hustoty kouře

Zadání příkladu zůstává stejné jako v příkladu 4. V příkladu 3b je optická hustota molitanu uvažována hodnotou $D = 0,49 \text{ m}^{-1}$. Tato hodnota odpovídá vyhoření celého polštáře. Potom při ustálené tvorbě kouře je možno např. pro černý kouř ($D = 0,14$) vypočítat dobu, kdy je překročena minimální citlivost hlásiče z následujícího vztahu

$$t = \frac{D_s}{D_i} \cdot t_s$$

kde D_s - srovnávací optická hustota pro daný typ kouře (šedý, černý),

D_i - optická hustota pro měřený typ kouře

t_s - čas potřebný ke spálení hořlavé látky

V našem případě $t = \frac{0,14}{0,49} \cdot 4 = 1,1 \text{ min.}$ Tato hodnota je srovnatelná s odhadnutou dobou z příkladu 4 (1,2 min).

3.7 UVOLŇOVÁNÍ OXIDŮ DUSÍKU PŘI SPALOVÁNÍ DŘEVA

Obsah dusíku v přírodním dřevu se nachází v rozmezí od 0,04 do 0,5 % (dřevo bez vody a bez popela). Pro bukové a borovicové dřevo může být tento obsah i zvýšen, a to v průměru od 0,2 do 0,16 %. Tento dusík je především vázán v proteinech, aminokyselinách, alkaloidech a chlorofylu. Obsah dusíku podléhá velkým výkyvům a je závislý na typu dřeva, na množství alkaloidů, roční době, místě výskytu, části kmene atd.

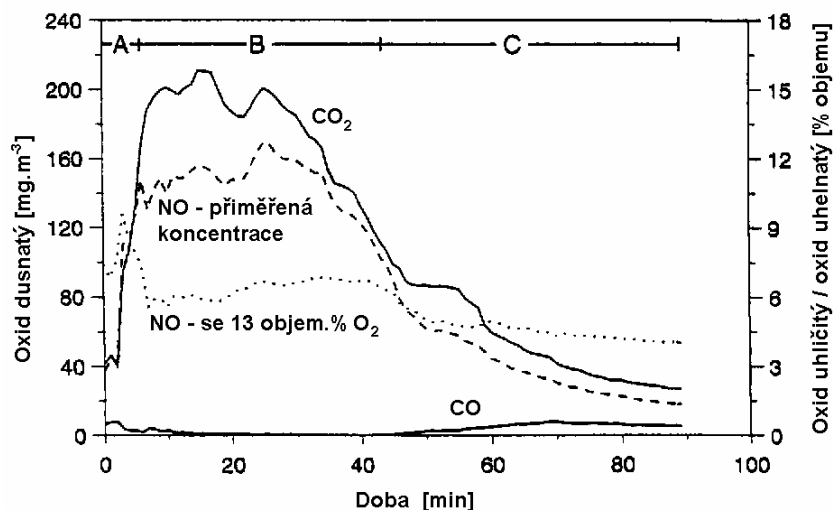
Při tepelném rozkladu dřeva se převádí největší část dusíku na plynové formy ($\text{N} - \text{H} \Rightarrow \text{NH}_3$, $\text{C} = \text{N} \Rightarrow \text{HCN}$), které mohou v další fázi se přeměňovat na oxidy dusíku. Podíl oxidu dusitého na celkově vytvořených oxidech dusíku je při spalování přírodního dřeva většinou 95 % nebo více. Zbývající část je hlavně oxid dusičitý a nepatrné množství dvojvazného oxidu dusnatého.

Po vložení dřeva na ohniště nastávají fyzikální a chemické procesy, a to:

- ohřívání a vysušování dřeva,
- tepelný rozklad součástí dřeva,
- transport rozkladových produktů z povrchu dřeva do okolního plynného prostředí a mísení rozkladových produktů s okolním médiem,
- homogenní oxidační a redukční reakce rozpadových produktů,

- heterogenní shoření
pevného paliva
zbývajících dřevěného
uhlí atd.

Tyto procesy probíhají po vložení dřeva do ohniště současně, ale s rozdílnou intenzitou. Nejdříve lze rozeznat fázi zapalování s nízkými teplotami ohně a nízkými koncentracemi CO_2 (tedy s vysokým přebytkem vzduchu). Tato fáze



Obr.3.5 Typický průběh NO, CO_2 a CO s koncentracemi ve spalovacím prostoru [10]; fáze hoření: A – zapalovací fáze, B – intenzivní spalování, C – fáze dohořívání

nejčastěji rychle přechází do fáze intenzivního hoření. V této fázi zřetelně stoupají teploty spalování a obsah CO_2 dosahuje svého maxima při odpovídajícím nízkém přebytku spalovacího vzduchu. U kusového dřeva probíhají výše uvedené fyzikální a chemické procesy stejnoměrně. Zóna tepelného rozkladu se posunuje od povrchu dřeva k jeho středu. Když dosáhne zóna tepelného rozkladu středu, rychle ubývá přeměny paliva a obsahu CO_2 , teploty klesají a nastane dohořívání dřevěného uhlí. Na obr. 3.5 jsou typické průběhy oxidů dusíku a uhlíku v průběhu hoření 10 kg bukového dřeva. Konkrétní hodnoty uvolněných oxidů jsou uvedeny v tab. 3.6.

Tab. 3.6 Koncentrace oxidů dusíku v závislosti na fázích hoření dřeva [10]

Fáze hoření			Střední koncentrace NO při 13 objem.% O_2		Množství paliva
	[min]	[%]	[mg.m ⁻³]	[%]	[%]
A	7	8	108	11	24
B	41	46	85	50	56
C	41	46	65	39	20
Celkem	89	100	80	100	100

3.8 UVOLŇOVÁNÍ ŠKODLIVIN PŘI ROZKLADU PLASTŮ

Podstatným nedostatkem plastů je toxicita produktů rozkladu a hoření. Struktura produktů tepelného rozkladu mnohých plastů závisí na jejich chemickém složení, na množství a druhu paliva a na teplotě zahřívání. Mnohé plasty uvolňují při poměrně nízkých teplotách (a některé dokonce při normálních teplotách) složitý komplex sloučenin ve formě zbytků nepolymerizovaných monomerů a dalších produktů.

Při požáru nedosahuje teplota plastů teploty vznícení okamžitě, ale narůstá postupně, a to různou rychlostí za přítomnosti vzdušného kyslíku. Látka se při zahřívání rozkládá a uvolňuje produkty mající

různé skupenství. Množství plynů a par se zvyšováním teploty zvětšuje, jelikož dochází k hlubšímu termooxidačnímu rozkladu hmoty. Hmoty začíná po zahřátí na teplotu vznícení hořet.

V tab. 3.7 až 3.16 jsou uvedeny významné plynné zplodiny rozkladu a hoření některých plastů a údaje o jejich koncentraci zjištěné analýzami směsí plynných produktů. Jde o údaje z literatury nebo výsledky měření získané na některých domácích pracovištích. V tabulkách jsou rozlišeny pojmy tepelný rozklad a termooxidační rozklad. Produkty tepelného rozkladu (tab. 3.7 až 3.12) byly získány při zahřívání vzorku plastu ve vakuu nebo v inertní atmosféře, produkty termooxidačního rozkladu (tab. 3.12 – 3.16) při zahřívání plastů ve vzduchové atmosféře. Rovněž tabulkovou formou jsou uvedeny údaje o toxicitě produktů s působením na lidský organismus.

Tab.3.7 Produkty tepelného rozkladu polystyrenu [11]

Označení	Toxicita	Množství produktů ve hmotn. % vzorku při teplotě [°C]		
		825	925	1025
Styren	b	73,7	62,9	63,7
Benzen	b	8,1	13,4	12,0
Toluen a etylbenzen	b	2,5	5,6	6,4
Etylen	b	4,1	6,9	6,9
Acetylen	0,5 % a,b,c	4,1	6,9	6,8
Toxicita: a – doporučená koncentrace z důvodů výbušnosti směsi se vzduchem, nikoli z hygienických důvodů b - narkotické a dráždivé účinky c - v podstatě nejedovatý				

Tab.3.8 Produkty tepelného rozkladu polyakrylonitrylu [11]

Označení	Toxicita	Koncentrace produktů v mol.% při teplotě [°C]		
		286	379	456
Kyanovodík	e	0,03	0,49	20,97
Dikyan	d	0,01	0,01	0,46
Akrylonitril	e	94,73	59,26	3,85
Acetonitril	b	5,23	1,02	2,42
Toxicita: b - narkotické a dráždivé účinky d - pouze dráždivý účinek e - dusivý účinek				

Tab.3.9 Produkty tepelného rozkladu polyamidu [11]

Označení	Toxicita	Poměrné zastoupení produktu ve směsi při teplotě [°C]		
		510	610	770
Kaprolaktam	e	0,03	0,49	20,97
Uhlovodíky do C ₅	d	0,01	0,01	0,46
Acetonitril	e	94,73	59,26	3,85
Toxicita: d - pouze dráždivý účinek, e - dusivý účinek				

Tab.3.10 Produkty tepelného rozkladu polyetyleny [12]

Označení produktu	Toxicita	Koncentrace produktů v mol % při 420°C
Etan	0,62 % a	12,4
Propan	0,42 % a, b	14,8
Butan	0,37 % a, b	19,1
Pentan	c	6,2
Hexan	b	1,2
Heptan	b	0,4
Etylen	b	4,3
Propylen	0,4 % a, b	5,2
Penten	b	7,5
Hexen	b,c	3,2
Propadien	b	0,3
Pentadien		0,4
Hexadien		0,3
Toxicita: a – doporučená koncentrace z důvodů výbušnosti směsi se vzduchem, nikoli z hygienických důvodů, b - narkotické a dráždivé účinky, c - v podstatě nejedovatý		

Tab.3.11 Produkty tepelného rozkladu polyuretanu [3]

Označení produktu	Toxicita	Koncentrace produktů v µg/2 mg vzorku při teplotě 500 °C
Oxid uhličitý		12,47
Metan	c	1,42
Etan	0,62 % a	0,84
Etylen		0,36
Propylen	0,4 % a, b	31,17
Acetaldehyd	b	16,05
Etylalkohol		1,13
Propionaldehyd	b	10,73
Propylalkohol		1,75
Toxicita: a – doporučená koncentrace z důvodů výbušnosti směsi se vzduchem, nikoli z hygienických důvodů b - narkotické a dráždivé účinky c - v podstatě nejedovatý		

Tab.3.12 Produkty tepelného rozkladu polvinylchloridu [3]

Označení produktu	Toxicita	Poměrné zastoupení produktu ve směsi při teplotě 500°C
Alifatické uhlovodíky	b	3,6
Benzen	b	70,23
Toluen	b	4,98
O-xylen	b	1,12
Styren	b	1,63
Naftalen		6,22
Chlorbenzen	b	3,64
Toxicita: b - narkotické a dráždivé účinky		

Tab.3.13 Produkty termooxidačního rozkladu polystyrenu [6]

Označení produktu	Toxicita	Koncentrace vzorku [mg.g ⁻¹] při 200 - 600°C
Oxid uhličitý		1848
Styren	b	51
Benzen	b	19
Toluen	b	10
Alfa-metylstyren	b	8
Benzaldehyd	d	4
Toxicita: b - narkotické a dráždivé účinky d - pouze dráždivý účinek		

Tab.3.14 Produkty termooxidačního rozkladu polyamidu [1]

Označení	Toxicita	Koncentrace vzorku [$\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$] při teplotě [$^{\circ}\text{C}$]		
		800	900	1000
Kyanovodík	e	95,6	110	116
Oxid uhelnatý	e	143	305	436
Toxicita: e – dusivý účinek				

Tab.3.15 Produkty termooxidačního rozkladu polyetyleny [11]

Označení produktu	Toxicita	Poměrné zastoupení produktů ve směsi
Butan	b	3,2
Penten	b	24,6
Hexan	b, c	2,1
Hepten	b, c	2,3
Butadien	b	3,2
Nenasycené a nasycené uhlovodíky $\text{C}_8 - \text{C}_{17}$	b	8,4
Cyklohexan	b, c	4,3
Toluen	b	1,3
Etylbenzen	b	1,3
Butylaldehyd	b	16,1
Valeraldehyd	b	10,5
Hexanal	b	5,3
Heptanal	b	3,8
Aldehydy $\text{C}_8 - \text{C}_{15}$	b	4,8
Metylizobutylketon		2,5
Toxicita: b - narkotické a dráždivé účinky c - v podstatě nejedovatý		

Údaje o koncentraci produktů jsou uvedeny v $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ původního vzorku plastu, v molárních a hmotnostních % nebo v poměrném zastoupení. Nejčennější jsou údaje v $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ vzorku, které umožňují přímý výpočet koncentrací produktů vzniklých při tepelném rozkladu a hoření známého množství plastu v prostoru o známém objemu. Z ostatních údajů lze dospět k reálným koncentracím nepřímo při zanedbání hmotnosti zbytku po rozkladu a hoření plastu. Všechny posuzované plasty jsou bez plniv, neboť plniva ovlivňují jejich hořlavost.

Nejběžnější toxické produkty vznikající při hoření nejpoužívanějších materiálů, ve vztahu k nejvyšší přípustné koncentraci pro lidský organismus (NPK) jsou uvedeny v tab. 3.17. Účinek nejrozšířenějších toxických produktů oxidů uhlíku na lidský organismus závisí na jejich koncentraci, ztrátě kyslíku a času expozice (tab.3.18 a 3.19). Vzhledem ke skutečnosti, že oxid uhelnatý blokuje hemoglobin v krvi, je nutno dokonce sledovat vliv rozdílných koncentrací karboxyhemoglobinu na lidský organismus, jak to dokládá tab. 3.20.

Tab.3.16 Produkty termooxidačního rozkladu polyvinylchloridu [1]

Označení produktu	Toxicita	Koncentrace vzorku [mg.g ⁻¹] při 200 - 600°C
Oxid uhličitý		861,20
Oxid uhelnatý	e	357,00
Metan	c	6,70
Etylen	b	0,76
Etan	0,62 % a	2,60
Propylen	0,40 % a, b	0,80
Propan	0,42 % a, b	1,30
Nenasycené a nasycené uhlovodíky C ₄ –C ₆	b	1,60
Benzen	b	35,00
Toluen	b	1,50
Vinylchlorid	b	0,51
Chlorovodík	d	580,00
Toxicita: a – doporučená koncentrace z důvodů výbušnosti směsi se vzduchem, nikoli z hygienických důvodů b - narkotické a dráždivé účinky c - v podstatě nejedovatý d - pouze dráždivý účinek e - dusivý účinek		

Tab.3.17 Toxické produkty vznikající rozkladem plastů [4]

Druh materiálu	Toxické produkty	Nejvyšší přípustná koncentrace (NPK) [mg.m ⁻³]
všechny hmoty obsahující uhlík	oxid uhelnatý oxid uhličitý	30 9 000
Polyuretany, celuloid	NO, NO ₂ , N ₂ O ₂	10
Polymery obsahující dusík (polyamidy, polyuretany, polyakrylonitrily)	kyanovodík	3
Celulozové deriváty a materiály	kyselina octová	25
dřevo, papír	akrolein	0,5
pryž, thiokoly	oxid siřičitý	10
PVC, retardované plasty	chlorovodík	5
Melaminoformaldehydové pryskyřice, dřevo, polyamid	čpavek	40
Fenolformaldehydové pryskyřice, dřevo, polyamid	acetaldehyd	200
Polyester	formaldehyd	2
Polystyrén	benzen	50
Fenolformaldehydové pryskyřice	fenol	20

Tab.3.18 Citlivost lidského organismu na oxid uhelnatý [2]

Množství [ppm]	Doba [min]	Ppm za dobu v minách	Účinek
200	120 - 180	24,000 - 36,000	mírné bolení hlavy
800	45	36,000	mírné bolení hlavy
3,200	10 - 15	32,000 - 48,000	závrať
3,200	30	96,000	možná smrt
6,900	1 - 2	6,900 - 13,800	závrať
12,800	1 (2 - 3 dechy)	1,280	bezvědomí
12,800	1 - 3	12,800 - 38,400	smrt

Tab.3.19 Účinek vyčerpání kyslíku na lidský organismus [2]

Procento O ₂	Čas	Účinek
21 – 17	neurčitý	zhoršené dýchání; ztráta koordinace; potíže v myšlení
17 – 14	2 hodiny	zrychlení tepu; závratě
14 – 11	30 min	mdloba; zvracení; ochrnutí
9	5 min	ztráta vědomí
6	1 - 2 min	smrt

Tab.3.20 Důsledky nasycení karboxyhemoglobinem (COHb) [2]

Nasycení COHb [%]	Příznaky v lidském organismu
0 – 10	žádné
10 – 20	napětí na čele, roztažení kožních cév
20 – 30	bolení hlavy a pulsující skráně
30 – 40	silné bolení hlavy, únava, zvracení, oslabené vidění, nauzea, dávení a zhroucení
40 – 50	stejně jako v předchozím případě + zhoršení dýchání a pulsu, dušení z nedostatku vzduchu a úplné zhroucení
50 – 60	stejně jako předtím + hluboké bezvědomí, křeče
60 – 70	hluboké bezvědomí, křeče, slabé dýchání a puls, možná smrt
70 – 80	zpomalení až zastavení dýchání, smrt během několika hodin;
80 – 90	smrt do jedné hodiny
90 – 100	smrt během několika min

Literatura

- [1] Boetner, E.A., Ball, G.J.: Appl. Polym. Sci 13/377, 1969
- [2] Custer, R.L.P., Brian I.M.: Introduction to Performance - Based Fire Safety, Society of Fire Protection Engineers and National Fire Protection Association, USA, 1997.
- [3] Iida, T., Nakanishi, M.: J. Polymer. Sci ,12,737, 1974.
- [4] Kupilík, V.: Konstrukce pozemních staveb 80 - Požární bezpečnost staveb - přednášky, Učební texty ČVUT, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2004.
- [5] Kupilík, V.: Produkty tepelného hoření plastů při jejich hoření, Pozemní stavby, roč.30, 1982, č.2, str.70 – 72.
- [6] Masařík, I., Světlík, J.: Nepublikované výsledky měření.
- [7] Mulholland, G.W.: Smoke Production and Properties, Section 1/Chapter 25, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Society of Fire Protection Engineers Boston, Massachusetts, USA, ISBN 0-87765-353-4, pp.368-377.
- [8] Pozemní stavby č.9, roč.23, 1975, str.396-397.
- [9] Reist, P.C.: Introduction to Aerosol Science, Macmillan, New York, 1984.
- [10] Struschka, M., Sprung, J., Baumbach, G.: Stickstoffoxid-Emissionen, Beitrag der BWK, Düsseldorf, Band 47, 1995, Nr.11/12, str.2-8.
- [11] Výzkum zplodin hoření plastů, výzkumná zpráva Ústavu pro výzkum rud, Praha, 1975,
- [12] Zeman, A.: Makromolekulární chemie, 31.1.1973.

QUALITY RECORD

Název	Kouř jako nebezpečný faktor požáru s obsahem škodlivin
Kategorie	Požární ochrana 2008
Název souboru	7-3_Kour.pdf
Datum vytvoření	18. 12. 2007
Autor	Doc. Ing. Václav Kupilík, CSc. Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze
Literatura	Boetner, E.A., Ball,G.J.: Appl.Polym.Sci 13/377, 1969. Custer, R.L.P., Brian I.M.: Introduction to Performance - Based Fire Safety, Society of Fire Protection Engineers and National Fire Protection Association, USA, 1997. Iida, T., Nakanishi, M.: J.Polymer.Sci ,12,737, 1974. Kupilík, V.: Konstrukce pozemních staveb 80 - Požární bezpečnost staveb - přednášky, Učební texty ČVUT, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2004. Kupilík, V.: Produkty tepelného hoření plastů při jejich hoření, Pozemní stavby, roč.30, 1982, č.2, str.70 – 72. Masařík,I., Světlík,J.: Nepublikované výsledky měření. Mulholland,G.W.: Smoke Production and Properties, Section 1/Chapter 25, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Society of Fire Protection Engineers Boston, Massachusetts, USA, ISBN 0-87765-353-4, pp.368-377. Pozemní stavby č.9, roč.23,1975, str.396-397. Reist, P.C.: Introduction to Aerosol Science, Macmilan, New York, 1984. Struschka, M., Sprung, J., Baumbach, G.: Stickstoffoxid-Emissionen, Beitrag der BWK, Düsseldorf, Band 47, 1995, Nr.11/12,str.2-8. Výzkum zplodin hoření plastů, výzkumná zpráva Ústavu pro výzkum rud, Praha, 1975. Zeman,A.: Makromolekulární chemie, 31.1.1973.