

613.693:612.014.41:656.08

HAVÁRIE V BAROKOMORÁCH V UPLYNULÝCH 70 LETECH

MUDr. Vladimír DOLEŽAL, CSc.

Bouřlivý rozvoj leteckého průmyslu, výzkum kosmického prostoru a letů do kosmu s lidskou posádkou, výzkum moří a oceánů a v posledních letech konstrukce léčebných přetlakových komor s sebou přinesl řadu rizik.

Při konstrukci kosmických kabin se studoval účinek umělé atmosféry na výkonnost člověka a jeho bezpečnost. V počátcích byl pro umělou atmosféru použit čistý kyslík, např. v projektu Mercury a Gemini, později se počítalo s kyslíkovou atmosférou i pro projekt Apollo. Avšak po havárii Apolla v r. 1967 se pozornost zaměřila na takovou atmosféru, která by byla maximálně bezpečná.

Studovaly se především způsoby prevence požáru, materiály pro vnitřní zařízení a přístroje z hlediska odolnosti vůči ohni.

Všechny tyto zkušenosti byly později využity při konstrukci léčebných přetlakových komor. Největší nebezpečí, které v barokomorách hrozí, je tedy nebezpečí požáru uvnitř barokomory. Nastane-li tato situace, pak je velmi pravděpodobné, že všichni přítomní v barokomoře zahynou. Jediná možnost se naskytá v tom, že ošetřující personál a nemocní přestoupí z léčebné části barokomory do předkomory (vstupní části barokomory), a tak se mohou teoreticky vyhnout tragickým následkům. Avšak i v nejpříznivějších situacích je nutno počítat s určitým zpožděním (zdržením), které nebezpečí pro osazenstvo barokomory zvyšuje.

Abychom vyloučili pravděpodobnost vzplanutí a hoření v prostředí obohaceném o kyslík, musíme vyloučit všechny potenciální zdroje hoření a atmosféru, která hoření podporuje. V praxi je to však téměř neuskutečnitelné. Proto se snažíme eliminovat všechny faktory, které by mohly sloužit jako potenciální zdroj vzplanutí, zmenšit počet hořlavých materiálů v barokomoře a koncentraci kyslíku snížit na minimum.

Pro tyto účely byla provedena řada pokusů. Studovaly se zejména tyto situace:

- vliv parametrů prostředí na rychlost hoření standardních materiálů,
- minimální koncentrace kyslíku nezbytná k zapálení tuhých hořlavých látek v přítomnosti inertních plynů,
- kategorizace hořlavosti materiálů použitých v prostředí zvýšeného atmosférického tlaku (bavlněné výrobky, plastické hmoty, izolační materiály).

Na schématu 1 je znázorněna rychlost hoření papíru v prostředí obsahujícím 15-100 % kyslíku při tlaku 0,1-1,0 MPa. Z grafu je patrné, že rychlost

hoření stoupá se zvyšujícím se obsahem kyslíku a se stoupajícím tlakem (1).

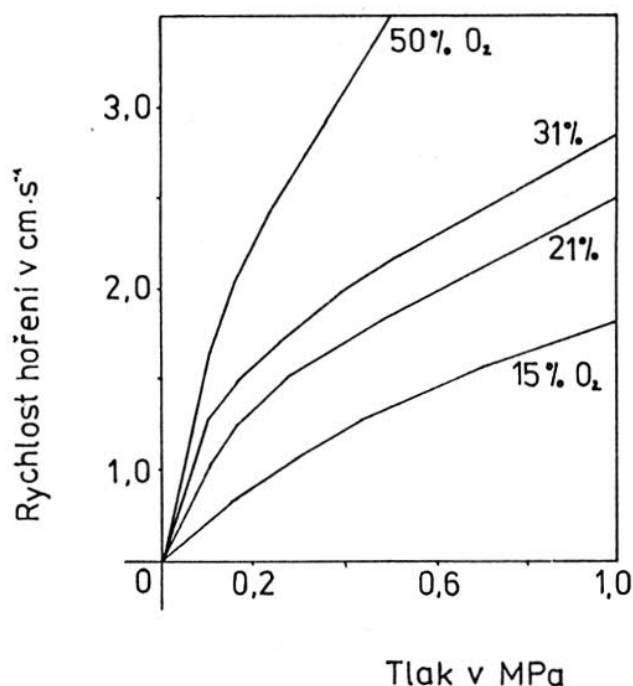


Schéma 1

Například rychlost hoření papíru ve vzduchu (21% O₂) stoupá z 1,1 cm/s na 3 cm/s při vzestupu tlaku z 0,1 na 1,0 MPa.

Zvýší-li se procento inertního plynu ve směsi na 50 %, rychlost hoření klesne na 1,1 cm/s při tlaku 0,33 MPa. Rychlost hoření je funkcí koncentrace kyslíku a jeho dílčího tlaku.

Nízká koncentrace kyslíku v prostředí může také ovlivnit vnitřní atmosféru, takže za určitých přesně definovaných podmínek nemůže podporovat hoření. Klesne-li koncentrace kyslíku v prostředí pod 6 %, ke vznícení nedojde, ale již při koncentraci 12 % kyslíku v prostředí materiál kompletně shoří. Podle americké „Národní požární preventivní asociace“ (National Fire Preventive Association) se za atmosféru obohacenou o kyslík pokládá ta atmosféra, v níž je koncentrace kyslíku vyšší než 23,5 % (5).

V prostředí obohaceném o kyslík hoření probíhá takto (2):

- vznícení nastane při nižší energii,
- plamen (oheň) se šíří rychleji,

- vzestup teploty způsobuje rychlý vzestup tlaku v barokomoře
- v prostředí čistého kyslíku se oheň podobá ohnivé kouli.

Protože únik z barokomory při požáru je velmi problematický, je nutné pozornost zaměřit na prevenci. Z technického hlediska se musí z barokomory odstranit zdroje vznícení, snížit koncentrace O_2 , snížit množství hořlavých materiálů, zavést efektivní systém hašení a možnost úniku z barokomory. Zdravotnický i technický personál musí znát dokonale všechna potenciální nebezpečí, musí být neustále v pohotovosti, aby těmto nehodám mohl lépe čelit.

Častým zdrojem ohně v barokomoře je jiskření, statická elektřina a jiskry vzniklé zkratem vodičů.

Všetchna elektrická zařízení (motory), pokud je jejich přítomnost v barokomoře nezbytná, musí být uzavřena ve vzduchotěsném kontejneru naplněném inertním plynem. Další, např. vypínače, mají být umístěny mimo barokomoru. Tato opatření sníží pravděpodobnost jiskření. Izolanty elektrických vodičů všech typů mají být zhotoveny z nehořlavých materiálů (teflon, kapton) a uloženy v

kovových pouzdech. Osvětlení vnitřního prostředí barokomory by mělo být umístěno mimo barokomoru.

Databáze americké společnosti Undersea and Hyperbaric Medical Society, se sídlem v Kensingtonu ve státě Maryland, shrnuje všechny nehody v barokomorách tak, jak byly ohlášeny a zaznamenány (5).

V potápěčských kesonech zahynuli 4 potápěči, příčinou požáru byl elektrický zkrat s následnou tvorbou toxických dýmů a spotřebou kyslíku. V druhém případě byla příčinou požáru porucha na svařovacím zařízení. V podtlakových komorách zahynulo celkem 13 osob.

Ve výzkumných komorách zahynuli 3 astronauté (Grisson, White, Chaffee) v projektu Apollo 1 AS-204 a další 2 osoby zahynuly ve výzkumné podtlakové komoře (tab. 1).

Nehody v přetlakových léčebných barokomorách si vyžádaly od r. 1923 do r. 1996 71 obětí a 8 zranění.

V tomto přehledu je zahrnuta i nehoda, která se udála v r. 1997 v Miláně a při níž zahynulo 11 osob.

Tabulka 1

Havárie v kesonech a podtlakových komorách

Kesony				
rok, stát	typ barokomory	atmosféra	oběti	příčina
1974 Ja	vícemístná	He- O_2	2	elektrický zkrat, tvorba toxických dýmů konstruktér - sebevražda
1976 ?	vícemístná	He- O_2	2	porucha svařovacího zařízení
Podtlakové komory				
1939 US	vícemístná	vzduch	4 zranění	vznícení interiéru od cigaret při otevření komory
1945 US	vícemístná	vzduch	2 + 1 zraněný	jiskra ventilátoru zapálila dřevěný strop
1953 UK	vícemístná	vzduch	5	kryt dveří zapálila žárovka, toxické dýmy
1965 US	vícemístná	% O_2 = 28	2	přehřátý motor zapálil filtr
1969 US	vícemístná	20-28 % O_2	1	150W žárovka zapálila vlněný kryt nad ní
1970 Ja	vícemístná	% O_2 ?	1	300W lampa zažehla matraci a pokrývku
1975 Ca	vícemístná	40 % O_2	1	elektrostat. výboj při odstraňování svetru ze syntetického materiálu ležícího na dřevěné podložce
1979 US	vícemístná	vzduch	1	jiskra při svařování zapálila oděv
Podtlakové komory, astronautika				
1962 US	výzkum	100 % O_2	1 zraněný	elektrický zkrat zapálil izolaci
1962 US	výzkum	100 % O_2	4 zranění	zkrat v elektrické lampě zapálil izolaci
1967 US	Apollo	100 % O_2	3 oběti	elektrický zkrat zapálil izolaci
1967 US	výzkum	100 % O_2	2 oběti	vznícení oděvu od elektrického zkratu
Celkem 22 obětí a 10 zranění				

Tabulka 2

Požáry v barokomorách

Nehoda					
rok, stát	typ barokomory	% O ₂	úmrtí	zranění	pravděpodobná příčina
1923 US	mono	21	0	/	vnější plynový hořák - hustý dým v barokomoře, evakuace
1967 Ja	mono	50	1		ohříváč rukou zapálil oblečení
1967 Č	multi	100	2	/	kouření
1969 Ja	multi	73	4		jiskření - vznícení novin
1973 Fr	mono	100	1		příčina neuvedena
1976 US	mono	100	/		elektr. zkrat vznítil matraci
1978 VB	mono	100	0		elektr. zkrat vznítil matraci
1979 Ja	multi	100	1	6	pacient se pokusil zapálit cigaretu
1983 Č	mono	100	1		statická elektřina
1984 Č	mono	100	1		statická elektřina
1986 Č	mono	100	1		statická elektřina
1986 Č	mono	100	1		elektr. zkrat v telefonu
1987 Č	mono	100	1		statická elektřina
1987 Č	multi	100	8		jiskra v dětské hračce
1987 It	mono	100	1		jiskra vyvolaná třením dětské hračky vznítila povlečení
1989 Ja	mono	60-90	1		ruční ohříváč rukou - vznícení oblečení
1989 US	multi	23,5	0		mikrovlnný ohříváč vznítil pokrývku
1989 Č	mono	100	1		statická elektřina
1993 Ja	mono	100	1		ohříváč rukou - vznícení oděvu
1993 Č	multi	100	5		kouření
1993 Č	multi	% O ₂ ?	8		elektr. zkrat v air condition
1994 Č	multi	% O ₂ ?	7		elektr. zkrat v air condition
1994 Č	multi	% O ₂ ?	11		elektr. zkrat v air condition
1995 Ru	mono	% O ₂ ?	1		neuvedeno
1996 Ja	multi	100	2	2	chem. ohříváč rukou - vznícení pokrývky
1997 It	multi	% O ₂ ?	11		ohříváč rukou - vznícení pokrývky
Celkem obětí			71	8	

Pozn.:

US = USA, Ja = Japonsko, Č = Čína, Fr = Francie, Ru = Rusko,

VB = Velká Británie, It = Itálie

mono = jednomístná komora, multi = vícemístná komora

% O₂ ? = % kyslíku v barokomoře nebylo udáno

Také požár, který vypukne mimo barokomoru, může pacienty během hyperbarické oxygenoterapie ohrozit. Podle zveřejněného přehledu vypukl požár u léčebné barokomory v 7 případech a ve 4 potápěčských zařízeních.

Většina požárů vznikla ve vysokotlakém kyslíkovém rozvodu při rychlém otevření ventilu. Rozbor těchto příčin ukázal, že v USA došlo ke 2 požárům v léčebných barokomorách, ale bez lid-

ských obětí. V Evropě za sledované období zahynulo 14 osob, včetně neštěstí, ke kterému došlo v barocentru v Miláně. K 19 požárům došlo v Asii s 58 lidskými oběťmi.

Analýza příčin požárů v barokomorách ukázala, že na vypuknutí požáru se podílela kombinace těchto faktorů:

- velký počet hořlavých materiálů v barokomoře
- zvýšená koncentrace kyslíku v barokomoře

- chybná elektrická zařízení a jejich komponenty
- nedostatečné systémy hašení
- nedostatečná ostražitost při obsluze barokomory a kontroly nemocných před vstupem do barokomory
- lidský faktor: hrubé zanedbání trvalého kon-

taktu a kontroly osob v barokomoře, vizuálně a pomocí interkomunikace.

Častým zdrojem vzplanutí a ohně bylo elektrické jiskření a jiskra vzniklá při zkratu elektrických vodičů (4).

Tabulka 3

Příčiny požárů v přetlakových komorách

Zdroj vznícení	léčebné barokomory počet	kesony	podtlakové komory	výzkum	celkem
elektrická jiskra, zkrat	5	6	3	1	15
statická elektřina	7	1	-	-	8
ohřívače rukou	4	-	-	-	4
kouření	3	1	-	-	4
dětská hračka	2	-	-	-	2
vnější zdroj	2	-	-	-	2
svařování	-	2	-	-	2
příčina neznámá	2	-	-	-	2
	25	10	3	1	39

Procento kyslíku v prostředí barokomory

% O ₂	léčebné barokomory počet	kesony	podtlakové komory	výzkum	celkem
21-23,5	2	-	-	-	2
více než 28	19	3	4	-	26
složení neznámé	4	7	-	-	11
	25	10	4		39

Jako zdroje vznícení při 35 požárech barokomor byly zjištěny (5):

- elektrostatický výboj a elektrický zkrat ve 23 případech
- přehřáté povrchy: 3 lampy, 1 součást motoru, 3 ohřívače rukou
- exotermická chemická reakce (chemický ohřívač rukou)
- ve 2 případech nebyl zdroj identifikován.

Kouřením uvnitř nebo vně barokomory byly způsobeny 4 požáry, při nichž zahynulo 8 osob a 10 bylo zraněno. Tyto případy jednoznačně potvrzují, že kouření v blízkosti barokomory je na-prosto nepřijatelné a musí být zakázáno.

Rozbory příčin požárů dále ukázaly, že před rokem 1980 byla v 58 % příčinou ohně chybná elektrická instalace, proto byly potenciální zdroje elektrického vznícení z přetlakové komory odstraněny, kromě Číny, kde v 83 % případů požár způsobilo vznícení chybných elektrických komponent a sta-

tická elektřina.

K požárům v barokomoře došlo také tím, že si nemocní s sebou přinesli do barokomory např. ohřívače rukou, jiskřící hračky, zapálenou cigaretu a v jednom případě mikrovlnný ohřívač.

Aby se zabránilo možnému vznícení v barokomoře, je nutné odstranit zdroje jiskření, statickou elektřinu a všechny vodiče se mají umístit do nehořlavých izolačních materiálů. Dále je nutno odstranit všechny syntetické materiály jako možný zdroj jiskření.

Vlhkost v barokomoře by se měla udržovat na 50-60% relativní vlhkosti. Doporučuje se také zvlhčování kyslíku před přívodem do plicní automatiky, masky pacientů.

Podaří-li se v prostředí barokomory udržet koncentraci O₂ pod 6 %, ke vznícení ani hoření nemůže dojít. Při koncentraci O₂ v prostředí 6-12 % je hoření neúplné a při koncentraci nad 12 % materiál kompletně shoří.

Pokud vypukne požár v barokomoře plněné

kyslíkem, rychlost hoření je taková, že se objeví „ohnivá koule“, takže přežití v těchto podmínkách není možné. Pro léčebné barokomory plněné čistým kyslíkem platí speciální bezpečnostní předpisy. Požáry vícemístných barokomor plněných čistým kyslíkem - jsou v provozu pouze v Číně - nehody skončily také ve všech případech tragicky.

Rozbor nehod s letálním koncem, ke kterým v uplynulém období došlo, ukázal, že ve všech případech bylo v barokomorách velké množství hořlavého materiálu, jako dřevo, plátno, noviny, knihy, oblečení, příkrývky, lůžkoviny, plastické hmoty.

V 70. letech zpracovala NFPA (National Fire Preventive Association) směrnice pro systémy hašení pro vícemístné barokomory. Hasicí systémy musí být konstruovány tak, aby je bylo možné použít (spustit) i z vnitřku barokomory.

Pro systémy hašení v barokomoře se doporučují např. hasicí přístroje s CO_2 , dále CF_3Br (monobromo trifluorometan) - tato látka však za určitých okolností produkuje toxické látky. Za nejlepší prostředek k hašení je pokládána voda.

Pro hašení vodou musí být v barokomoře speciální konstrukce, kdy se voda pod tlakem v podobě sprchy nebo mlhy vstříkuje do prostředí podle aktuálního tlaku. V rozprašovací systému jsou vertikální i horizontální trysky, které jsou schopny vydat 2-3 ml vody na každých 6 cm^2 plochy podlahy. Tento systém musí pracovat nezávisle na centrálním přívodu elektrické energie. Dále by v každé barokomoře měla být hadice o průměru 3 až 3,5 cm s možností rychlého otevření kohoutu. Voda se přivádí z nádrže, kde je vyšší tlak, než je aktuální tlak v barokomoře.

Vypukne-li v barokomoře požár, musí všichni přítomní stále dýchat pomocí masky, aby nedýchali toxické produkty hoření. Na centrálním přívodu kyslíku do masek pacientů by měl být ventil, který by umožnil okamžité přepnutí přívodu kyslíku na vzduch. Přepínací mechanismus by měl být synchronizován s hasicím systémem.

V hyperbarických centrech umožňujících léčení více než 10 pacientů současně by z preventivních

důvodů měla být léčebná barokomora propojena s dalšími barokomorami tak, aby v případě havárie mohli nemocní do nich přestoupit, a vyhnout se tak tragickým následkům.

Závěr

- koncentrace kyslíku v prostředí barokomory nemá přesáhnout 23,5 %,
- materiály použité v barokomoře, sedátka, polohy, lehátka apod. musí být z nehořlavého materiálu,
- nemocní vstupující do barokomory nesmí mít s sebou žádné hořlavé materiály (krémy, masti, zapalovače, zápalky, oblečení atd.),
- relativní vlhkost má být vyšší než 50 %,
- nemocní mají vstupovat do barokomory v antistatické obuvi,
- vnitřní nátěry barokomory musí být z nehořlavého materiálu,
- osvětlení interiéru umístit mimo barokomoru.

Literatura

1. DORR, VA., et al.: Combustion phenomena in oxygen-enriched environments. Proc. of IVth Internat. Congr. Hyperbar. Med., Sapporo Japan, ed.: Igaku Shoin Ltd. Tokyo, Bailliere Tindal, Cassel Ltd. London, 1970.
2. KINSLEY, JH.: Flammable and toxic materials in the oxygen atmosphere of manned spacecraft. NASA Technical note, D-3415, Washington D.C., 1968.
3. ROTH, EM. - KNAUF, GM.: Space-cabin atmospheres: part II - fire and blast hazards. NASA, SP-48 Sci. and Techn. Inform. Div., Washington D.C., 1964.
4. BONNURA, MS., et al.: Engineering criteria for spacecraft cabin atmosphere selection. NASA CR-891, Washington D.C., 1967.
5. SHEFFIELD, P.J. - DESAUTELS, DA.: Hyperbaric and hypobaric chamber fires: a 73- years analysis. Undersea Hyperbar. Med., 1997, vol. 24, no. 3, p. 153-164.

Klíčová slova: Barokomory; Havárie; Příčiny; Opatření.

Do redakce došlo 2. 4. 1998