

ÚVOD DO PROBLEMATIKY A VÝBUŠNOST LÁTEK

Přehled základních pojmů a definic a jejich vysvětlení

Hořlavá látka

Hořlavá látka je látka ve formě plynu, páry, kapaliny, pevné látky nebo jejich směsi, která, pokud dojde k iniciaci, může vyvolat exotermickou reakci s oxidačním prostředkem (nejčastěji se vzduchem).

Výbuch

Výbuch je náhlá oxidace nebo rozkladná reakce vyznačující se vzrůstem teploty, tlaku nebo vzrůstem obou těchto veličin současně.

Deflagrace

Deflagrace je výbuch šířící se podzvukovou rychlostí.

Detonace

Detonace je výbuch šířící se nadzvukovou rychlostí a vyznačující se rázovou vlnou.

Rozsah výbušnosti

Rozsah výbušnosti je rozsah koncentrace hořlavé látky ve vzduchu, při které může nastat výbuch.

Meze výbušnosti

Meze rozsahu výbušnosti.

Dolní mez výbušnosti LEL (lower explosion limit)

Dolní mez výbušnosti je dolní mez rozsahu výbušnosti.

Horní mez výbušnosti UEL (upper explosion limit)

Horní mez výbušnosti je horní mez rozsahu výbušnosti.

Dolní mez výbušnosti DMV

Dolní mez výbušnosti je nejnižší koncentrace par ve vzduchu, pod níž se plamen, za přítomnosti zdroje zapálení nešíří

Horní mez výbušnosti HMV

Horní mez výbušnosti je nejvyšší koncentrace par se vzduchem, nad níž se již plamen nešíří

Dolní mez výbušnosti plynů, par a prachů

Dolní mez výbušnosti plynů, par a prachů je nejnižší koncentrace směsi plynů, par nebo prachů se vzduchem, při které je směs již výbušná.

Horní mez výbušnosti plynů, par a prachů

Horní mez výbušnosti plynů, par a prachů je nejvyšší koncentrace směsi plynů, par nebo prachů se vzduchem, při které je směs ještě výbušná.

Bod vzplanutí FP (flash point)

Bod vzplanutí je minimální teplota, za stanovených podmínek zkoušky, při které kapalina vytvoří dostatečné množství plynů nebo par, že se po aplikaci iniciačního zdroje okamžitě vzplane.

Bod výbušnosti (explosion limits)

Dolní a horní bod výbušnosti vymezují rozsah výbušnosti.

Dolní bod výbušnosti LEP (lower explosion point)

Dolní bod výbušnosti je teplota hořlavé kapaliny, při které je koncentrace nasycených par ve vzduchu rovna dolní mezi výbušnosti.

Horní bod výbušnosti UEP (upper explosion point)

Horní bod výbušnosti je teplota hořlavé kapaliny, při které je koncentrace nasycených par ve vzduchu rovna horní mezi výbušnosti.

Mezní koncentrace kyslíku LOC (*limiting oxygen concentration*)

Mezní koncentrace kyslíku je nejvyšší koncentrace kyslíku ve směsi hořlavé látky, vzduchu a inertního plynu, při které nemůže dojít, za určitých stanovených podmínek zkoušky, k výbuchu.

Odolnost proti výbuchu (*explosion-resistant*)

Odolnost proti výbuchu je vlastnost nádob a zařízení konstruovaných tak, že jsou buď odolná proti výbuchovým tlakům, nebo proti výbuchovým rázům.

Odolnost proti výbuchovým tlakům (*explosion-pressure-resistant*)

Odolnost proti výbuchovým tlakům je vlastnost nádob a zařízení konstruovaných tak, aby odolávaly očekávanému výbuchovému tlaku bez trvalé deformace.

Odolnost proti tlakovým rázům při výbuchu (*explosion-pressure-shock resistant*)

Odolnost proti tlakovým rázům při výbuchu je vlastnost nádob a zařízení konstruovaných tak, aby odolávaly očekávanému výbuchovému tlaku bez roztržení, ale dovolující trvalou deformaci.

Výbušná atmosféra (*explosive atmosphere*)

Výbušná atmosféra je směs vzduchu a hořlavých látek ve formě plynů, par, mlh nebo prachů při atmosférických podmínkách, ve které se po vzniku iniciace rozšíří hoření do celé nespálené směsi.

Nebezpečná výbušná atmosféra (*hazardous explosive atmosphere*)

Nebezpečná výbušná atmosféra je výbušná atmosféra, která, dojde-li k výbuchu, je příčinou škody.

Prostředí s nebezpečím výbuchu (*potentially explosive atmosphere*)

Prostředí s nebezpečím výbuchu je atmosféra, která může být na základě místních a provozních podmínek výbušná. Rozlišujeme vnitřní a vnější prostředí strojů a zařízení.

Vnitřní prostředí s nebezpečím výbuchu

Vnitřní prostředí s nebezpečím výbuchu tvoří uzavřené prostory strojů a zařízení, kde se v důsledku provozních podmínek může vytvářet nebezpečná výbušná atmosféra.

Vnější prostředí s nebezpečím výbuchu

Vnější prostředí s nebezpečím výbuchu tvoří nebezpečná výbušná atmosféra.

Zóny

Prostředí s nebezpečím výbuchu se v závislosti na pravděpodobnosti výskytu nebezpečné výbušné atmosféry dělí na zóny.

Hybridní směs (*hybrid mixture*)

Hybridní směs je směs vzduchu a hořlavých látek rozdílných fyzikálních stavů. (např. směs metanu, uhelného prachu a vzduchu, nebo směs benzinových par a benzinových kapiček se vzduchem).

Inertizace (*inerting*)

Inertizace je přidávání inertní látky tak, aby bylo zabráněno vzniku výbušných atmosfér.

Obvyklý provozní stav - běžný provoz (*normal operation*)

Obvyklý provozní stav je dodržován technologický režim, pracovní a provozní předpisy, těsnost zařízení a předepsané větrání - situace, kdy zařízení, ochranné systémy a součásti vykonávají předpokládanou funkci v rozsahu svých konstrukčních parametrů. Menší úniky

hořlavé látky mohou být součástí běžného provozu. (Například unik těsněními.) Poruchy (jako je např. roztržení těsnění čerpadla, těsnicí vložky příruby nebo únik látek, které mohou být příčinou úrazů), které vyžadují opravu nebo odstavení zařízení, nejsou považovány za součást běžného provozu.

Neobvyklý provozní stav - selhání (malfunction)

Neobvyklý provozní stav nastane porušením technologického režimu, narušením těsnosti nebo jinou poruchou, kdy ochranné systémy resp. Součásti nevykonávají předpokládanou funkci, vzniká tedy nebezpečí výbuchu unikající látky ze zařízení. (např. změnou vlastností nebo rozměrů zpracovávaného materiálu nebo obrobku, špatnou funkcí jedné nebo více součástí, vlivem vnějších vlivů jako jsou nárazy, vibrace, elektromagnetické pole atp., chybou v projektu nebo softwaru, přerušáním dodávky energie, ztrátou ovládní stroje obsluhou).

Havárie zařízení

Havárie zařízení je takové porušení těsnosti a funkce zařízení, že zařízení musí být ihned odstaveno za případného použití ochranných a bezpečnostních opatření.

Kubická nádoba

Kubická nádoba má poměr délky k průměru menší než 1:2.

Podlouhlá nádoba

Podlouhlá nádoba je svislá nebo vodorovná nádoba, jejíž délka je větší než dva průměry.

Maximální experimentální bezpečná spára MESG (maximum experimental safe gap)

Maximální experimentální bezpečná spára je maximální spára mezi dvěma částmi ve vnitřní komoře zkušebního zařízení, která, je-li plynná směs iniciována za stanovených podmínek, zamezí iniciaci vnější plynné směsi 25 mm dlouhou spárou pro všechny koncentrace zkušebního plynu nebo páry ve vzduchu; MESG je vlastnost příslušné směsi plynu.

Minimální iniciační energie MIE (minimum ignition energy)

Minimální iniciační energie je nejnižší nahromaděná elektrická energie v kondenzátoru, která je při vybití právě schopna vyvolat iniciaci nejsnadněji zápalné atmosféry při stanovených zkušebních podmínkách.

Minimální teplota vznícení výbušné atmosféry (minimum ignition temperatur of an explosive atmosphere)

Minimální teplota vznícení výbušné atmosféry je teplota vznícení hořlavého plynu nebo páry hořlavé kapaliny nebo minimální teplota vznícení oblaku rozvířeného prachu, při stanovených zkušebních podmínkách.

Teplota vznícení hořlavého plynu nebo hořlavé kapaliny $t_{vzníc}$ (ignition temperature of a combustible gas or of a combustible liquid)

Teplota vznícení hořlavého plynu nebo hořlavé kapaliny je nejnižší teplota horké stěny, určená za stanovených zkušebních podmínek, při které dojde ke vznícení směsi plynu nebo páry se vzduchem.

Minimální teplota vznícení oblaku rozvířeného prachu t_{min} (minimum ignition temperature of a dust cloud)

Minimální teplota vznícení oblaku rozvířeného prachu je nejnižší teplota horkého povrchu, při které dojde ke vznícení nejsnadněji zápalné směsi prachu se vzduchem při stanovených zkušebních podmínkách.

Minimální teplota vznícení usazené vrstvy prachu $t_{u,min}$ (minimum ignition temperature of a dust layer)

Minimální teplota vznícení usazené vrstvy prachu je nejnižší teplota horkého povrchu, při které dojde ke vznícení v usazené vrstvě prachu při stanovených zkušebních podmínkách.

Výbuchové parametry

Výbuchové parametry jsou ukazatele výbušnosti stanovené standardizovanými zkušebními postupy.

Výbuchový tlak $p_{výb}$

Výbuchový tlak je tlak vznikající v uzavřené nádobě při výbuchu výbušné atmosféry o dané koncentraci.

Rychlost narůstání výbuchového tlaku $(dp/dt)_{výb}$

Rychlost narůstání výbuchového tlaku je směrnice tečny v inflexním bodě výbuchové křivky (závislosti tlaku na čase při dané koncentraci v uzavřené nádobě).

Maximální výbuchové parametry

Maximální výbuchové parametry jsou: maximální výbuchový tlak p_{max} , maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku $(dp/dt)_{max}$ a kubická konstanta K_G resp. K_{st} jsou měřítkem energie resp. výkonu dané výbušné směsi.

Maximální výbuchový tlak p_{max} (maximum explosion pressure)

Maximální výbuchový tlak je maximální tlak vznikající v uzavřené nádobě při výbuchu výbušné atmosféry za stanovených podmínek zkoušky (při optimální koncentraci směsi).

Maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku dp/dt_{max} (maximum rate of explosion pressure rise)

Maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku je maximální hodnota nárůstu tlaku za jednotku času při výbuchu všech výbušných atmosfér v rozsahu výbušnosti hořlavé látky v uzavřené nádobě za stanovených zkušebních podmínek.

Redukovaný výbuchový tlak p_{red} (reduced explosion pressure)

Redukovaný výbuchový tlak je tlak vznikající při výbuchu výbušné atmosféry v nádobě chráněné buď odlehčením výbuchu, nebo potlačením výbuchu.

Maximální redukovaný výbuchový tlak $p_{red,max}$

Maximální redukovaný výbuchový tlak je maximální výbuchový tlak (při optimální koncentraci) v odlehčené nádobě, nebo v nádobě, ve které byl výbuch potlačen.

Maximální redukovaná rychlost narůstání výbuchového tlaku $(dp/dt)_{red,max}$

Maximální redukovaná rychlost narůstání výbuchového tlaku je maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku (při optimální koncentraci) v odlehčené nádobě, nebo v nádobě, ve které byl výbuch potlačen.

Odlehčovací plocha A v m^2

Odlehčovací plocha je plocha otvoru pro odlehčení výbuchu (může se skládat z několika dílčích ploch).

Statický reakční (pojistný) tlak p_{stat}

Statický reakční /pojistný tlak je tlak, při kterém zareaguje pojistný odlehčovací prvek (klapka, membrána, ventil, okno, dveře, stěna apod.) při rychlosti nárůstu tlaku menší než $10 \text{ kPa} \cdot \text{min}^{-1}$.

Specifický únikový poměr A/V

Specifický únikový poměr je poměr odlehčovací plochy A k chráněnému (odlehčenému) objemu V .

Maximální dosah plamene L_F

Maximální dosah plamene je největší vzdálenost dosahu čela plamene od ústí odlehčovacího otvoru.

Bezpečnostní zóna

Bezpečnostní zóna je prostor, ve kterém se vyskytují nebezpečné účinky výbuchu (plamen, tlaková vlna, horké plyny)

Ochranný systém (*protective system*)

Ochranné systémy jsou konstrukční jednotky určené k potlačení výbuchu v počátečním stadiu nebo pro omezení rozsahu účinků výbuchových plamenů a výbuchových tlaků.

Samovznícení prachu volně ložených materiálů (*self-ignition of dust in bulk*)

Samovznícení prachu volně ložených materiálů je iniciace prachů vyvolaná teplem vznikajícím oxidačními reakcemi nebo rozkladnou destilací prachu rychlostí, která je větší než ztráty tepla do okolí.

Ekvivalentní průměr D_E v m

Ekvivalentní průměr je průměr kruhu, jehož plocha je rovna ploše průřezu nádoby A v m²:

$$D_E = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Prach

Prach jsou malé pevné částice ve vzduchu, které se usazují vlastní vahou, avšak mohou zůstat rozprášeny ve vzduchu po nějakou dobu.

Poznámka: Obecně maximální velikost částic nepřekročí 500 μm.

Hořlavý prach

Hořlavý prach je prach, který je schopen se vzduchu po vznícení vytvořit exotermickou reakci.

Zpoždění iniciace t_i

Zpoždění iniciace je doba mezi začátkem rozvířování prachu a aktivací iniciačního zdroje.

Počáteční tlak p_i

Počáteční tlak je tlak ve výbuchové komoře v okamžiku iniciace.

Počáteční teplota T_i

Počáteční teplota je teplota ve výbuchové komoře v okamžiku iniciace.

Kubická konstanta K_{max} , K_{st}

Kubická konstanta je objemově závislý parametr daného prachu, který se počítá pomocí rovnice kubického zákona:

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{max} \cdot V^{\frac{1}{3}} = konst. = K_{st} = K_{max}$$

Minimální iniciační energie MIE

Minimální iniciační energie je minimální množství energie, které je nutno dodat hořlavé látce, aby se na vzduchu zapálila.

Disperzní soustava

Disperzní soustava je rozvířený prach v plynném médiu, obvykle se vzduchem.

Výbuchová charakteristika

Výbuchová charakteristika je tabelární nebo grafické zpracování výbuchových veličin v závislosti na koncentraci disperzní soustavy.

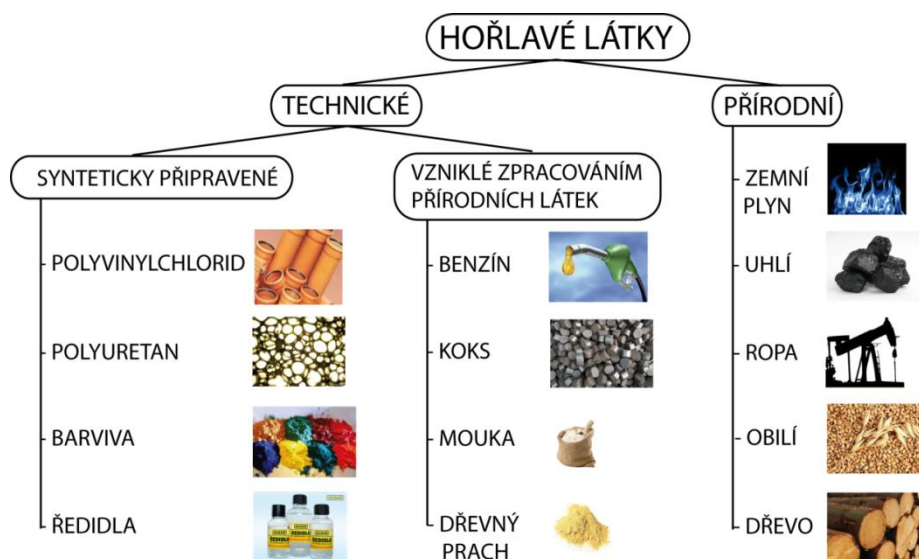
Optimální koncentrace c_{opt}

Optimální koncentrace je koncentrace disperzní soustavy, při níž dochází k nejvyššímu výbuchovému tlaku, nejvyšší rychlosti nárůstu tlaku, nejrychlejšímu průběhu výbuchu a

nejnižší iniciační energii vznícení. V praxi vychází vždy vyšší než teoretická, která odpovídá stechiometrické směsi. Uvádí se v $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

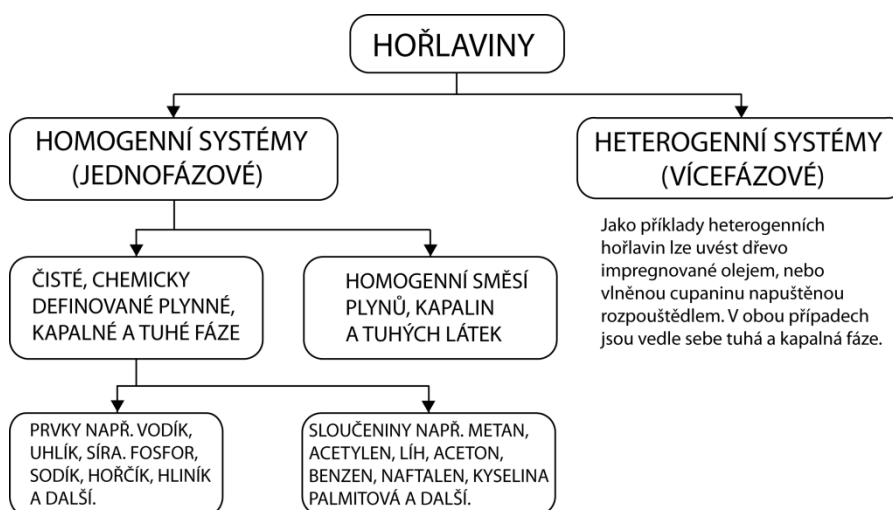
Dělení hořlavých látek

Hořlavé látky lze dělit podle několika kritérií. Nejjednodušší dělení hořlavých látek je na látky PŘÍRODNÍ a TECHNICKÉ. K přírodním hořlavým látkám patří např.: zemní plyn, ropa a různé typy uhlí, obilí dřeva a dalších přírodních produktů. K technickým hořlavým látkám patří dvě podskupiny a to látky vzniklé zpracováním přírodních produktů např. benzín, motorová nafta, dehet, koks, mouka, dřevný prach atd. Do druhé podskupiny technických hořlavých látek patří látky synteticky připravené kde patří např. polyvinylchlorid, polyuretany, syntetický kaučuk, barviva, ředidla rozpouštědla a další látky. Základní dělení hořlavých látek je zobrazeno na obrázku č. 1.



Obrázek č. 1 – Základní dělení hořlavých látek

Dále je možné dělit hořlavé látky podle jejich fyzikálně-chemických vlastností nebo podle požadavků technické praxe. Rozdělení hořlavých látek podle fyzikálně-chemických vlastností je uvedeno na obrázku č. 2.



Obrázek č. 2 – Rozdělení hořlavých látek podle nauky o fázích

Hoření a výbuch

Hoření je složitý děj založený na fyzikálně-chemických přeměnách, probíhajících v reakčním pásnu, doprovázený uvolňováním tepla a obvykle i světla. Pro vznik hoření jsou nutné tři základní podmínky a to přítomnost hořlavé látky, oxidačního prostředí a dostatečně silného iniciačního zdroje. Tento soubor podmínek tak tvoří tzv. POŽÁRNÍ TROJÚHELNÍK, který je zobrazen na obrázku č. 3.



Obrázek č. 3 - Požární trojúhelník

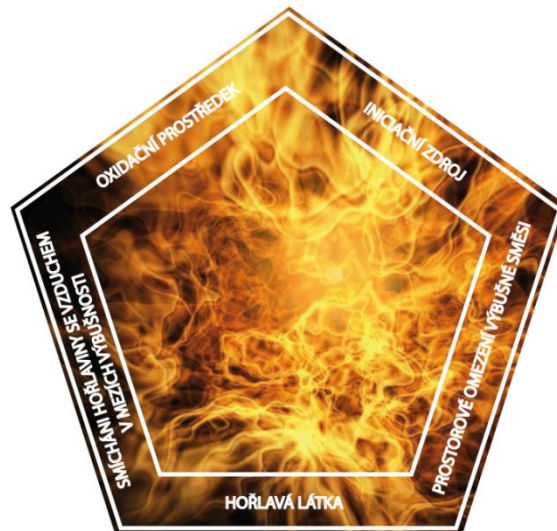
Hoření je komplikovaný pochod jak z hlediska makrostruktury, tak i z hlediska mikrostruktury plamene, respektive reakčního pásma. Z hlediska makrostruktury je hoření pochod, při kterém nastává výměna hmoty mezi reagujícím systémem a okolím. Lze rozlišit dva základní typy hoření:

- 1) **SPALOVÁNÍ** – což je proces technicky využívaný pro získávání energie a/nebo chemických produktů. Spalování se obvykle vyznačuje regulovaným dávkováním hořlaviny a oxidačního prostředí do reakčního prostoru.
- 2) **POŽÁR** – je nežádoucí jev založený na hoření spalitelných látek.

Oba výše uvedené jevy se vyznačují výměnou hmoty s okolím. Při spalování je do reakčního pásma dávkováno palivo a hořlavina odděleně nebo se těsně před reakčním pásmem mísí. Příkladem takového spalování může být hoření paliva v topeništi parních kotlů, ve spalovacích turbínách, v průmyslových hořácích, v kamnech nebo i v plamenu svíčky. Při požáru je do plamene (reakčního pásma) transportován vzduch nebo vzdušný kyslík prouděním nebo difúzí. Oba výše uvedené procesy je možno ovlivnit přívodem hořlaviny nebo oxidačního prostředí do reakčního pásma.

Z hlediska makrostruktury lze od hoření odlišit výbuch. Výbuch je fyzikálně-chemický jev, někdy pouze fyzikální jev, spojený s uvolněním energie, v případě chemických výbuchů obvykle uvolněním tepla a světla. Výbuch na rozdíl od prostého hoření se vyznačuje tím, že při něm nedochází k výměně hmoty s okolím nebo je tato výměna nedostatečná.

Tak jako základní soubor hoření tvoří požární trojúhelník (hořlavá látka, oxidační prostředí a dostatečně silný iniciační zdroj) tak pro výbuch prachu přibývají ještě další dva faktory. Je to smíchání hořlaviny se vzduchem v mezích výbušnosti a prostorové omezení této směsi, které doplňují požární trojúhelník na výbuchový pentagon, který je zobrazen na obrázku č. 4.



Obrázek č. 4 – Výbuchový pentagon

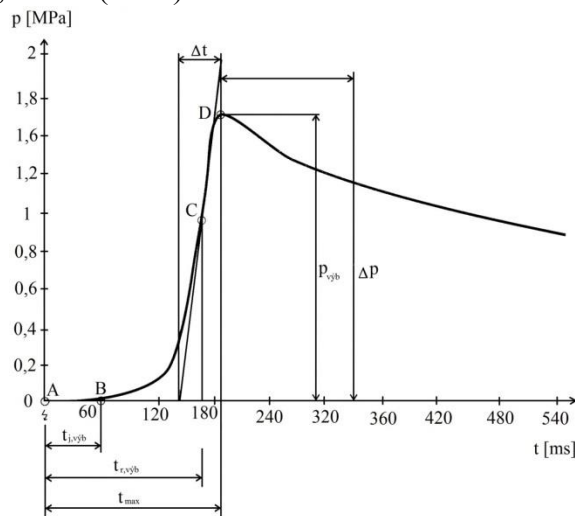
Technicko-bezpečnostní parametry – požárně technické charakteristiky PTCH

Výbuchová křivka

Po iniciaci dochází k velkému vývinu tepla v důsledku exotermické reakce, teplo, které se vyprodukuje, nestačí být odváděno, a proto vlivem rostoucí teploty dochází k nárůstu tlaku. Obrázek č. 5 znázorňuje výbuchovou křivku, tj. závislost nárůstu tlaku v čase.

V bodě A dochází k iniciaci. Po iniciaci začíná běžet tzv. indukční doba periody označená $t_{i,výb}$, kde zatím nedochází k nárůstu tlaku. Úsek AB je přípravnou fází výbušné směsi k hoření. V bodě B dochází k nárůstu tlaku, reakční rychlost roste vlivem zvyšování teploty až do bodu C, kde je rychlost narůstání výbuchového tlaku nejvyšší. V úseku CD dochází ke snižování rychlosti narůstání výbuchového tlaku vlivem úbytku reakčních složek (paliva a oxidačního činidla). V bodě D (maximum křivky) je pak reakční rychlost nulová. Konečně dochází ke snižování tlaku vlivem kondenzace par a poklesu teploty spalin.

Křivka je znázorněna pro koncentraci CH_4 v O_2 rovné 66%, při iniciační energii 10J a počátečním přetlaku 0,1 MPa (1 bar).



Obrázek č. 5 - Výbuchová křivka

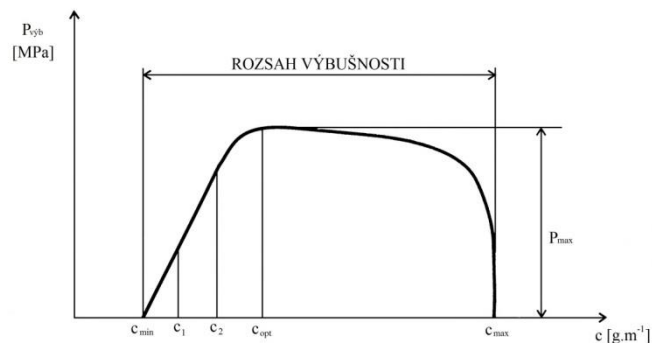
Jak již bylo zmíněno výše, v bodě C je rychlost narůstání tlaku nejvyšší. Velikost nárůstu výbuchového tlaku se vypočítá podle vztahu:

$$tg \alpha = \frac{\Delta p}{\Delta t} \cong \left(\frac{dp}{dt} \right)_{výb}$$

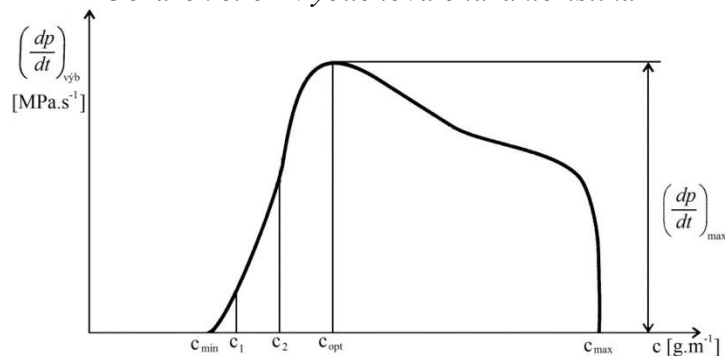
, kde výraz $(dp/dt)_{výb}$ představuje rychlost narůstání výbuchového tlaku při výbuchu směsi v uzavřeném objemu V a koncentraci c_x .

Výbuchová charakteristika

Se změnou koncentrace se výrazně mění rychlost narůstání tlaku $(dp/dt)_{výb}$ (viz. obrázek č. 7) a výbuchový tlak $p_{výb}$ (viz. obrázek č. 6), a proto se mění i tvar výbuchové křivky. Jak již bylo zmíněno výše, při optimální koncentraci c_{opt} je dosaženo nejvyššího výbuchového tlaku a rychlosti narůstání výbuchového tlaku. Tyto maximální hodnoty značíme $(dp/dt)_{max}$ a p_{max} .



Obrázek č. 6 - Výbuchová charakteristika



Obrázek č. 7 - Výbuchová charakteristika

U prachů je optimální koncentrace vyjádřena podle následujícího vztahu: $c_{opt} = (2 \text{ až } 3) \cdot C_{stech}$. U plynů a par je optimální koncentrace c_{opt} o něco vyšší než stechiometrická. Se snižováním koncentrace od hodnot c_{opt} k hodnotám c_{min} rychlost narůstání výbuchového tlaku i výbuchový tlak klesá k dolní mezi výbušnosti (LEL). Pokud koncentrace klesá od hodnot c_{opt} k hodnotám c_{max} , výbuchové parametry klesají až k horní mezi výbušnosti (UEL). Pokud koncentrace klesne pod c_{min} nebo naopak stoupne nad c_{max} , tak v této směsi není šíření výbuchu možné. Pod hranicí c_{min} je nedostatek hořlavé látky ve směsi s oxidačním činidlem naopak nad hranicí c_{max} je nedostatek oxidačního činidla.

Faktory ovlivňující meze výbušnosti

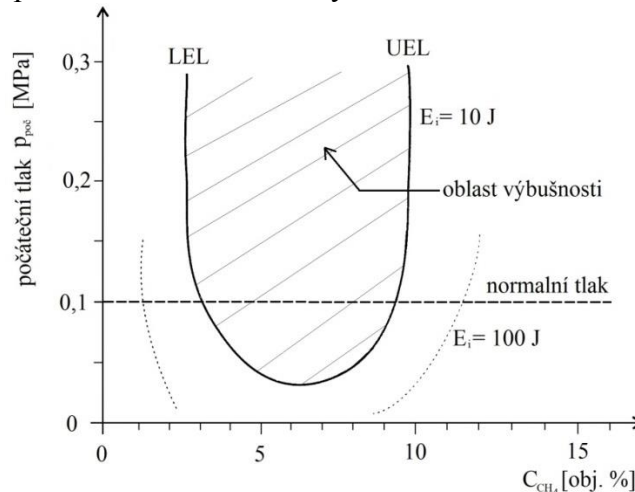
V následující kapitole jsou uvedeny vybrané faktory, které ovlivňují meze výbušnosti. Jedná se o počáteční tlak p_{poc} v okamžiku, kdy dojde i iniciaci, dále počáteční teplota T_{prac} , velikost iniciační energie E_i a vlhkost Φ .

Meze výbušnosti mají velký význam v praxi při určování prostředí, kde hrozí nebezpečí výbuchu. Pokud je jakékoliv prostředí označeno za prostředí s nebezpečím výbuchu, dá toto

označení impuls k řešení otázek protivýbuchové ochrany. Jelikož se pracovní podmínky většinou liší od těch laboratorních, je zapotřebí vzít v potaz také faktory, které ovlivňují meze výbušnosti a s tím spojené stanovování prostředí s nebezpečím výbuchu.

Počáteční tlak v době iniciace

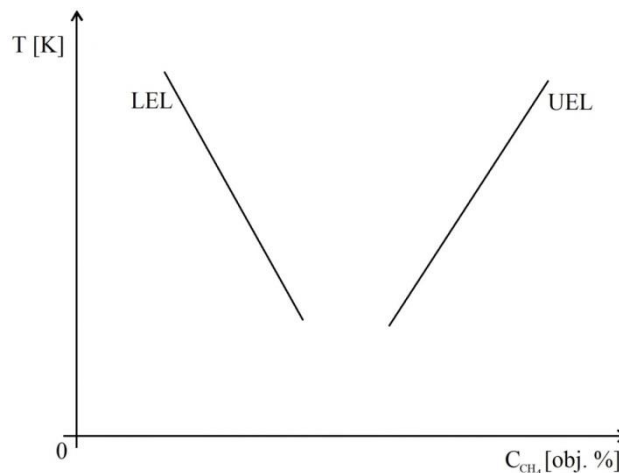
S rostoucím počátečním tlakem se meze výbušnosti rozšiřují. Zvyšuje se však především horní mez, dolní se snižuje pouze slabě. S klesajícím počátečním tlakem dochází k jevu opačnému, meze se k sobě přibližují, tím se oblast výbušnosti zmenšuje. Z toho vyplývá, že při sníženém tlaku, tedy podtlaku, není možno některé směsi iniciovat. Proto je možné použít podtlak jako opatření proti výbuchu. Na obrázku č. 8 je znázorněno, jaký vliv má iniciační energie a počáteční tlak na meze výbušnosti směsi vzduchu s propanem.



Obrázek č. 8 - Vliv iniciační energie a počátečního tlaku na meze výbušnosti

Počáteční teplota

Rozsah výbušnosti se s počáteční teplotou rozšiřuje. Horní mez se zvyšuje a dolní klesá (viz. obrázek č. 9) Závislost je lineární, avšak pro různé hořlavé látky existuje jiná směrnice přímky.



Obrázek č. 9 - Vliv teploty na meze výbušnosti

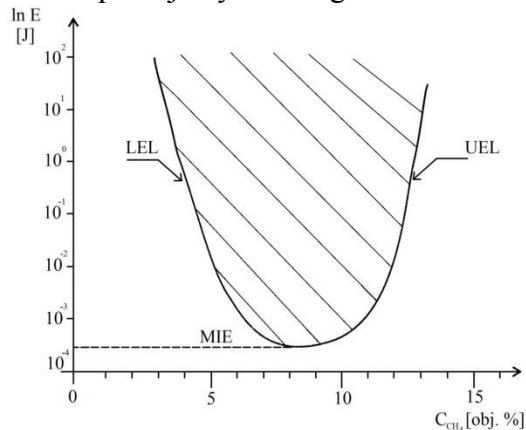
U hořlavých kapalin můžeme vliv teploty na meze výbušnosti vyjádřit podle vztahů:

$$LEL_T = LEL_{298} \cdot \left(1 - \frac{T_{PRAC} - 298}{1260}\right)$$

$$UEL_T = UEL_{298} \cdot \left(1 - \frac{T_{PRAC} - 298}{800}\right)$$

Velikost iniciační energie

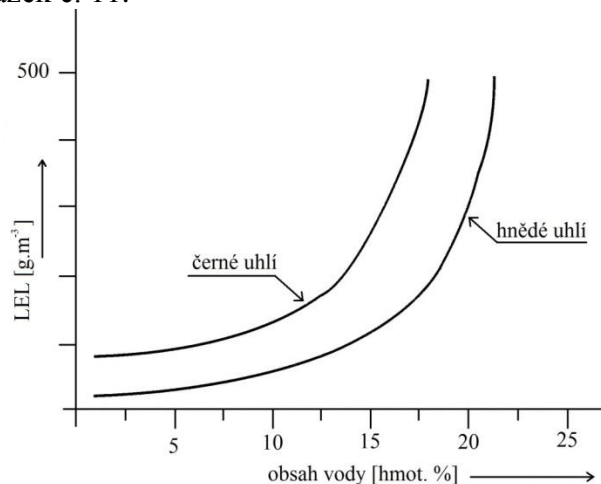
Rozsah výbušnosti se s rostoucí iniciační energií E_i rozšiřuje, především se zvyšuje horní mez. Vliv iniciační energie na meze výbušnosti směsi vzduchu s metanem je znázorněn na obrázku č. 10. Meze výbušnosti se zjišťují za běžného tlaku (atmosférického), pokojové teplotě a standardní energii ($E_{\text{prach}} = 10\text{KJ}$, $E_{\text{plyn,pára}} = 10\text{J}$). Pro některé látky tyto energie nejsou schopny iniciace, proto se použije vyšší energie.



Obrázek č. 10 - Velikost iniciační energie a její vliv na meze výbušnosti

Vlhkost

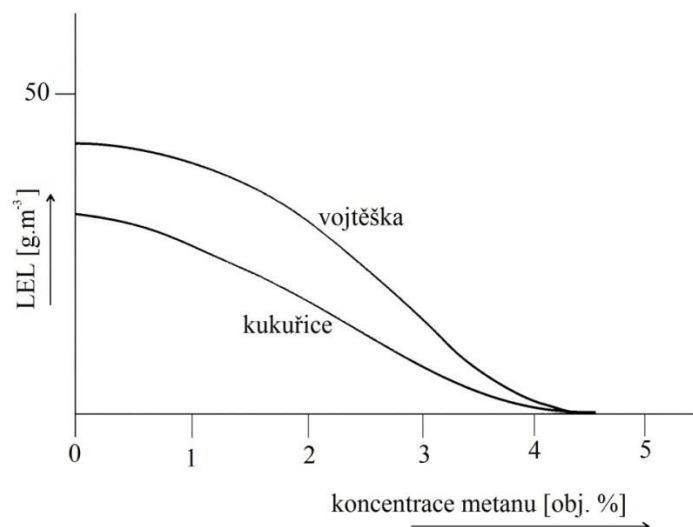
Relativní vlhkost směsi vzduchu s plynem rozsah výbušnosti neovlivňuje, pouze nevýrazně. U prachů má zvyšování vlhkosti za následek zvyšování dolní meze výbušnosti, pokud vlhkost, tedy obsah vody v prachu, přesáhne 20% obj., prach se stává nevýbušným. Toto lze chápat jako další možné protivýbuchové opatření, ovšem je potřeba vzít v úvahu, že prach může vyschnout a stát se opět výbušným. Vliv vlhkosti na spodní mez výbušnosti prachů znázorňuje obrázek č. 11.



Obrázek č. 11 - Vliv vlhkosti na spodní mez výbušnosti prachů

Hybridní směs

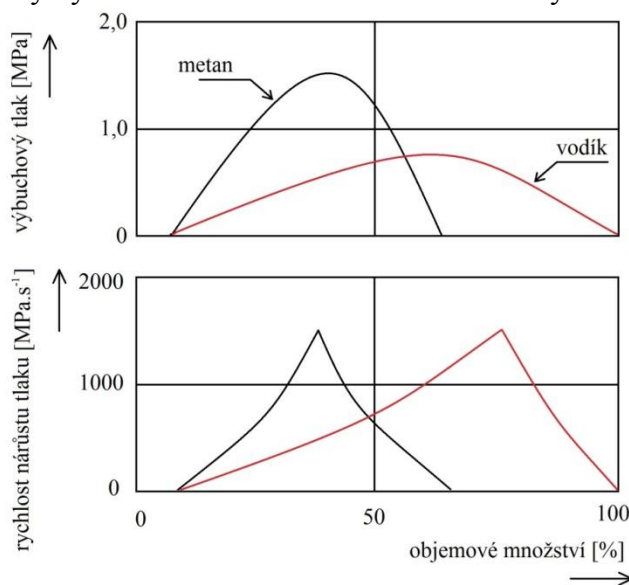
Dolní mez výbušnosti kapek hořlavé kapaliny se vzduchem nebo směsí hořlavého prachu, je možno prudce snížit přidáním již malého množství hořlavé páry hořlavé kapaliny nebo hořlavého plynu. Pokud takto snížíme dolní mez výbušnosti, k výbuchu může dojít i přesto, že nebylo dosaženo dolní meze výbušnosti plynovzduchové nebo prachovzduchové směsi. Přidáním metanu do zemědělských prachů dojde k posunutí spodní meze výbušnosti, jak lze vidět na obrázku č. 12.



Obrázek č. 11 - Spodní meze výbušnosti hybridní směsi zemědělských prachů a metanu

Obsah kyslíku

Horní mez výbušnosti se s rostoucím obsahem kyslíku zřetelně posouvá k vyšším hodnotám, dolní mez výbušnosti zvyšující se obsah kyslíku neovlivní. Na obrázku č. 12 jsou zobrazeny charakteristiky výbuchu vodíku a metanu ve směsi s kyslíkem.



Obrázek č. 12 - Charakteristiky výbuchu vodíku a metanu ve směsi s kyslíkem

Faktory ovlivňující průběh výbuchového děje

Existuje mnoho faktorů, které mohou ovlivnit průběh výbuchu. Následující kapitola se zajímá o vybrané z nich. Faktory jako tvar a objem nádoby, počáteční tlak v době iniciace, počáteční teplota, iniciační energie, turbulence směsi a další, ovlivňují jak průběh výbuchového děje, tak i maximální výbuchové parametry.

Tvar a objem nádoby

V běžné praxi můžeme rozlišovat dva základní typy nádob a to nádoby kubické a podlouhlé. Kubická nádoba je speciální typ nádoby, jež má přesně dán poměr délky (výšky) k průměru, konkrétně $1L \leq 2D$, jinak řečeno, délka je maximálně rovna, nebo menší dvěma průměrům. Pokud je splněna výše zmíněná podmínka a jedná se o kubickou nádobu, můžeme

řict, že rychlost výbuchového tlaku klesá s rostoucím objemem nádoby. Tato závislost je popsána pomocí tzv. kubického zákona a je ji možno vyjádřit dle následujícího vztahu:

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{max} \cdot V^{\frac{1}{3}} = konst. = K_G, \text{respektive } K_{st}$$

Kde:

V objem nádoby v [m³]

(dp/dt)_{max} maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku v [MPa.s⁻¹] nebo [bar.s⁻¹]

K_{st} Kubická konstanta pro prachy [MPa.m.s⁻¹] nebo [bar.s⁻¹]

K_G Kubická konstanta pro plyny [MPa.m.s⁻¹] nebo [bar.s⁻¹]

Tento zákon je platný pokud objem nádoby u prachovzduchových směsí přesáhne 40 litrů a u směsí plynů a par hořlavých kapalin se vzduchem je objem větší než 5 litrů. Je zjištěno, že s rostoucím objemem se maximální výbuchový tlak p_{max} nemění. Rychlost, kterou se může plamen šířit, byla stanovena, až na 500 m.s⁻¹, přičemž u hořlavých plynů bývá v kubických nádobách dosahováno tlaku až 1 MPa a u hořlavých par a plynů až 1,3 MPa. Kubická konstanta je důležitý technicko-bezpečnostní parametr. Vyjadřuje brizanci směsi (schopnost tříštit materiál) a jako parametr není závislý na objemu, ve kterém byl stanoven. Aby bylo možno kubickou konstantu použít jako technicko-bezpečnostní parametr, je zapotřebí splnit následující podmínky. Musí být dodržena optimální koncentrace výbušné směsi, dále pak, zajištěn shodný tvar nádoby, stupeň turbulence směsi a druh a velikost energie iniciačního zdroje. V následující tabulce č. 1 jsou uvedeny hodnoty maximálního výbuchového tlaku p_{max} a kubické konstanty K_G vybraných plynů a par hořlavých kapalin.

Tabulka č. 1 – Hodnoty K_G a p_{max} vybraných plynů a par hořlavých kapalin

Látka	P _{max} [MPa]	K _G [MPa.m.s ⁻¹]	Látka	P _{max} [MPa]	K _G [MPa.m.s ⁻¹]
Acetylen	1,06	141,5	Metanol	0,75	7,5
Butan	0,8	9,2	Vodík	0,68	55,0
Etan	0,78	10,6	Toluen	0,78	9,4

S prachovzduchovými směsmi je spojena kubická konstanta označována K_{st}, podle této konstanty prachy dělíme do následujících tříd viz. tabulka č. 2.

Tabulka č. 2 – Třídy hořlavých prachů

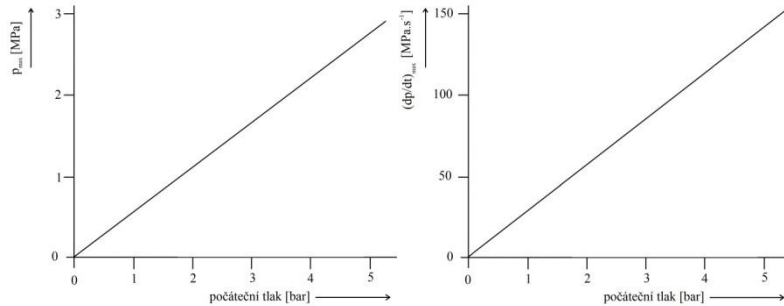
Třída	K _{st} [MPa.m.s ⁻¹]	Prach	p _{max} [MPa]	K _{st} [MPa.m.s ⁻¹]
St1	0 - 20	PVC	0,85	9,8
		PE	0,88	13,1
St2	20 - 30	Celulóza	0,98	22,9
		dřevo	1,05	23,8
St3	> 30	Pigment	1,07	34,4
		hliník	1,25	200,0

Pro potrubní systémy a podlouhlé nádoby kubický zákon neplatí. Se zvětšující se délkou potrubí a nádob se zvyšují také maximální výbuchové parametry a začíná se projevovat směrový účinek výbuchového tlaku. Rychlost, kterou se může šířit čelo plamene, se zvýší až na detonační rychlost 2000 m.s⁻¹ doprovázeno působením osových tlaků velikosti až 9 MPa a radiálních tlaků až 3 MPa.

Počáteční tlak v době iniciace

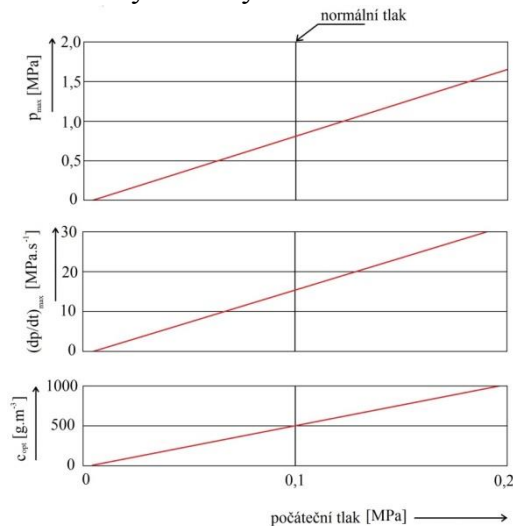
Pro plyny se rostoucím počátečním tlakem výbuchové parametry rovnoměrně zvyšují a optimální koncentrace není ovlivněna. Je tomu tak proto, že dochází ke zvyšování množství směsi o optimální koncentraci c_{opt}. V opačném případě, kdy se tlak sníží, dojde ke zmenšení

maximálních výbuchových parametrů. Snížení tlaku tedy můžeme chápat, jako jedno z protivýbuchových opatření, které má za úkol snížit následky výbuchu. Na obrázku č. 13 je znázorněno, jaký má vliv počáteční tlak na výbuchové parametry směsi vzduchu s metanem.

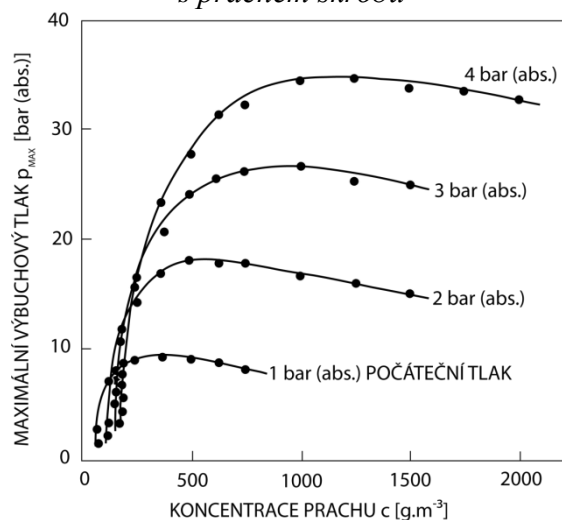


Obrázek č. 13 - Vliv počátečního tlaku na maximální výbuchové parametry směsi vzduchu s metanem

U prachů se optimální koncentrace zvyšuje s rostoucím počátečním tlakem, protože ve stlačené atmosféře je větší množství vzdušného kyslíku a pro dosažení optimální koncentrace je zapotřebí dodat více prachu. Obrázek č. 14 znázorňuje vliv počátečního tlaku na prachovzduchovou směs, konkrétně směs vzduchu a prachu škrobu. Na obrázku č. 15 je zobrazen vliv počátečního tlaku na výbuchový tlak hnědého uhlí.



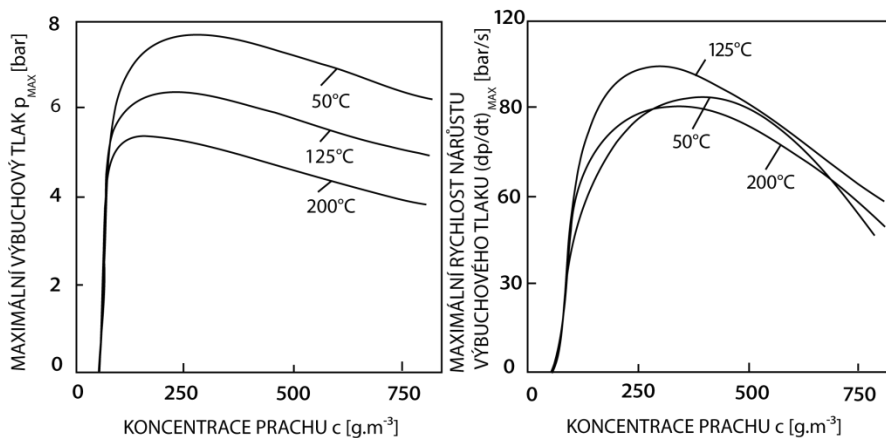
Obrázek č. 14 - Vliv počátečního tlaku na maximální výbuchové parametry směsi vzduchu s prachem škrobu



Obrázek č. 15. - Vliv počátečního tlaku na maximální výbuchový tlak hnědého uhlí se vzduchem

Počáteční teplota

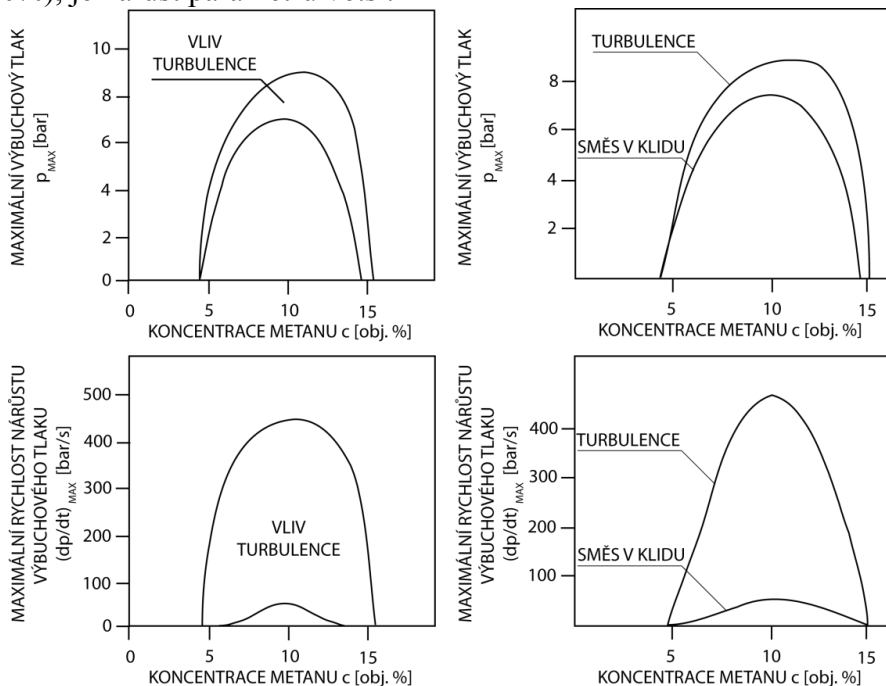
Reakční rychlost s teplotou roste. Maximální rychlost nárůstu výbuchového tlaku se proto s rostoucí teplotou zvyšuje. Vliv počáteční teploty na výbuchové parametry černého uhlí je zobrazen na obrázku č. 16.



Obrázek č. 16- Vliv počáteční teploty na maximální výbuchové parametry prachu černého uhlí

Turbulence směsi

Výbuchové parametry s rostoucí turbulencí v okamžiku iniciace rostou. Zvyšuje se především maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku. U plynů a par, které mají nízkou hodnotu kubické konstanty KG v klidovém stavu (např. u směsi metanu se vzduchem zvýšení dosahuje 700%), je nárůst parametrů větší.

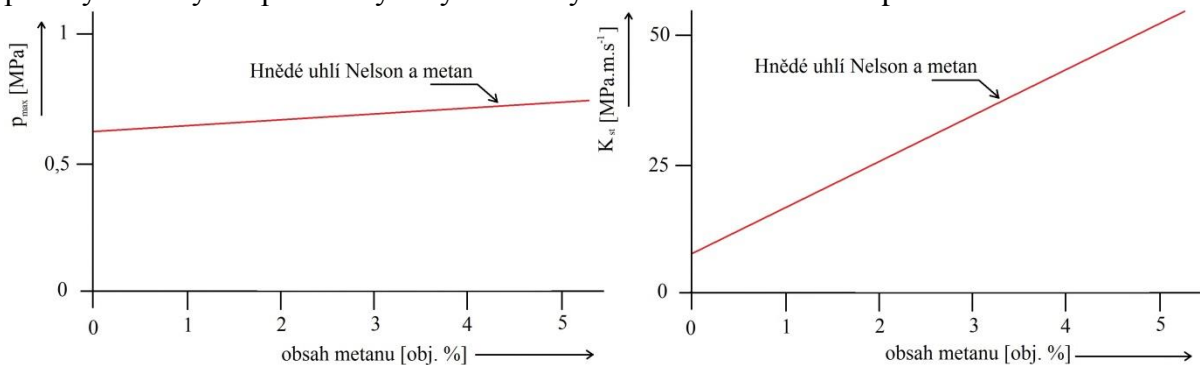


Obrázek č. 17 – Vliv turbulence na výbuchové charakteristiky metanu

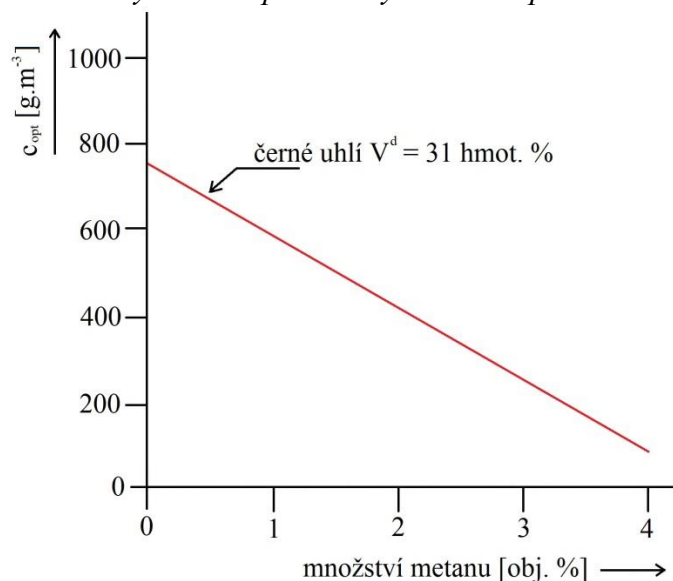
Hybridní směs

Výbuchové parametry prachovzduchových směsí může také výrazně ovlivnit velmi malé množství přidané hořlavé páry nebo plynu pod dolní mez výbušnosti. Maximální výbuchové parametry rostou (viz. obrázek č. 18). Vznik hybridní směsi je zásadním nebezpečím, výbuch je totiž možný již při malém množství přidaného plynu. Také iniciační energie, kterou je potřeba pro iniciaci takto vytvořené hybridní směsi, je podstatně menší, než

kteřá je potřeba pro iniciování původní směsi prachu se vzduchem. Již při minimálních koncentracích prachu je dosahováno maximálních výbuchových parametrů (viz. obrázek č. 19). Tato skutečnost představuje vysoké nebezpečí a je zapotřebí, aby při navrhování protivýbuchových opatření bylo vytváření hybridních směsí vzato v potaz.



Obrázek č. 18 - Maximální výbuchové parametry uhlého prachu a vliv přídavku metanu



Obrázek č. 19 - Optimální koncentrace a vliv příměsi metanu

Iniciační energie

Především maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku je zvýšeno s velikostí počáteční iniciační energie. Pokud je energie příliš malá, nejsou některé směsi schopny iniciovat. Standartní energie používaná pro zkoušení výbušnosti plynů a par je 10J, pro prachu je to až 10 KJ. Existují však látky, u kterých je potřeba energii zvýšit, z toho důvodu, aby nebyly nedopatřením označeny za nevýbušné.

Velikost prachových částic

S klesající velikostí měrného povrchu neboli s rostoucí velikostí částic klesají maximální výbuchové parametry. Pokud střední velikost částic přesahuje 0,4 mm, většina prachů již není schopná iniciace. Důležité je vzít na vědomí, že přidáním pouhých 5-10% prachu o střední velikosti částic přibližně 0,04 mm způsobí, že směs se stává opět výbušnou. Nevýbušný prach se může stát výbušným i v případě, kdy postupem času dochází ke zmenšení částic vlivem obrušování.

Obsah kyslíku v oxidační atmosféře

Zvýšení maximálních výbuchových parametrů zajistí zvýšený obsah kyslíku v oxidační atmosféře. Horní mez výbušnosti se zřetelně zvyšuje, ale dolní mez výbušnosti zůstane zachována. Ve směsi kyslíku a hořlavého plynu reaguje větší množství látky, s tím je spojena vyšší teplota plamene, vyšší $p_{výb}$ a $(dp/dt)_{max}$. Tabulka č. 3. znázorňuje rozdíl mezi výbuchovými parametry v oxidační atmosféře naplněné vzduchem a kyslíkem.

Tabulka č. 3 – Výbuchové parametry vodíku a metanu v kyslíkové a vzdušné atmosféře

Oxidační prostředek	Kyslík		Vzduch	
	P_{max} [MPa]	K_G [MPa.m.s ⁻¹]	P_{max} [MPa]	K_G [MPa.m.s ⁻¹]
Vodík	0,71	55,0	0,85	29
Metan	0,74	5,5	1,60	270

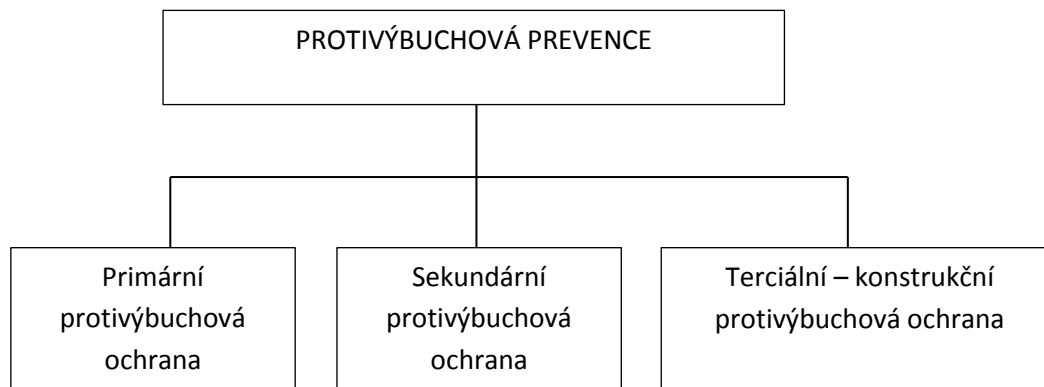
Potrubí

Průběh výbuchového děje v potrubích je zcela odlišný od průběhu v kubických nádobách. Šíření čela plamene je ovlivňována mnoha faktory, jako je umístění iniciačního zdroje, druhu a rychlosti proudění směsi, zejména pak délkou a průměrem potrubí, či různými překážkami v potrubí. Šíření plamene a celý mechanismus výbuchu v potrubí na jedné straně uzavřeném, je závislý na místě vzniku. Je rozdíl, zda dojde k výbuchu na volném konci nebo na uzavřeném konci potrubí. Pokud dojde k iniciaci na volném konci potrubí, výbuch se šíří poměrně nízkou rychlostí směrem do čerstvé směsi. V případě, že dojde k iniciaci uvnitř potrubí, plamen se šíří směrem ven z potrubí. V potrubí vyhoří pouze část směsi, zhruba 1/7. V potrubí, které je uzavřené na obou stranách, je rychlost šíření čela plamene menší a maximálních hodnot není dosaženo na konci potrubí. Pouze u vodíku, jakožto plynu s vysokou brizancí není rychlost ovlivněna.

PROTIVÝBUCHOVÁ PREVENCE

Dojde-li při posuzování nebezpečí výbuchu provozovatel k závěru, že provozní soubor, jednotlivá zařízení nebo celá technologie představují reálné nebezpečí výbuchu, je nutné, aby byly přijaty adekvátní opatření vedoucí k minimalizaci tohoto rizika.

Obecně se protivýbuchové prevence dělí do tří základních skupin, jak je znázorněno na obrázku č. 20.



Obrázek č. 20 – Dělení protivýbuchové prevence

Protivýbuchová prevence je založena na následujících možnostech:

1. Odstranění látkových předpokladů výbuchu - vzniku **výbušné atmosféry**.
2. Omezení energetických zdrojů, tj. omezení možnosti iniciace výbušné směsi.
3. Konstrukční opatření pro omezení účinku výbuchu. V tomto případě je výbuch připuštěn, ale účinky výbuchu jsou eliminována na minimum díky konstrukčním úpravám zařízení.

Realizace opatření uvedených v bodech 1 a 2 zabraňují vzniku výbuchu. Nelze-li spolehlivě vyloučit vznik výbuchu pomocí opatření spadajících do výše uvedených bodů 1 a 2, je nutné použít konstrukčních opatření pro omezení účinků výbuchu uvedené v bodě 3.

Nebezpečí výbuchu hrozí všude tam, kde jsou splněny základní předpoklady výbuchu:

1. Je k dispozici hořlavá látka, která se může vyskytovat ve formě plynu, páry hořlavé kapaliny, aerosolu hořlavé kapaliny nebo prachu.
2. V posuzovaném prostoru se vyskytuje oxidační prostředek.
3. Poměr hořlavé látky a oxidačního prostředku je takový, že se může tvořit nebezpečná koncentrace.

Vyloučíme-li jeden z těchto tři základních předpokladů vytváření výbušné atmosféry, pak vyloučíme nebezpečí výbuchu.

PRIMÁRNÍ PROTIVÝBUCHOVÁ OCHRANA

Vyloučení vzniku výbušné atmosféry

Tato metoda je používána především při skladování hořlavých kapalin a je založena na myšlence vyplnění prostoru nad skladovanou hořlavou kapalinou. Pokud se nebude nad hladinou hořlavé kapaliny nacházet volný prostor, nebude tím pádem existovat prostor, kde by se výbušná koncentrace par hořlavé kapaliny mohla vytvořit.

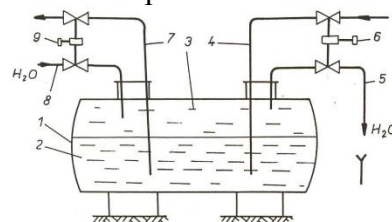
Jako příklady lze uvést následující způsoby řešení:

a) Skladování pod nebo nad vrstvou ochranné kapaliny

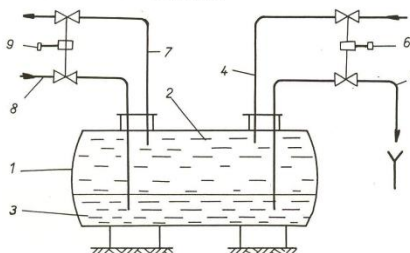
Princip zařízení, resp. nádrže, v nichž jsou hořlavé kapaliny skladovány pod, nebo nad vrstvou vody je zobrazen na obrázku č. 21.

Toto řešení má omezené použití, protože musí být splněny dvě podmínky:

- hořlavá kapalina musí být naprosto nerozpustná ve vodě,
- voda nesmí hořlavou kapalinu rozkládat.



- 1 - nádrž
- 2 - hořlavá kapalina
- 3 - voda
- 4 - přívod hořlavé kapaliny
- 5 - odvod vody
- 6 a 9 - přívodní potrubí s blokováním
- 7 - odvod hořlavé kapaliny
- 8 - přívod vody



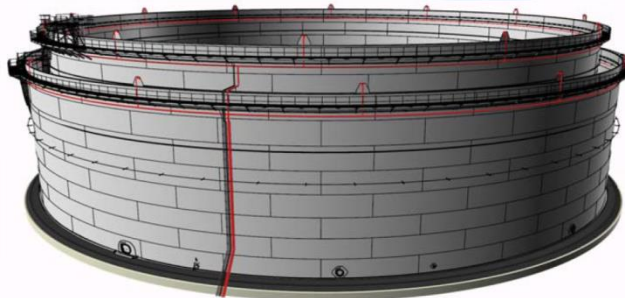
Obrázek č. 21 - Skladování hořlavé kapaliny pod nebo nad vrstvou vody

System funguje tak, že voda je do nádrže doplňována pod tlakem vyšším, než je tlak nasycených par dané hořlavé kapaliny. Proto není možné, aby se nad horní hladinou vytvářela vrstva par hořlavé kapaliny.

V případě, že je splněna ještě další podmínka, a to, že hustota hořlavé kapaliny je větší než hustota vody, je možno chránit hořlavou kapalinu pod vrstvou vody.

Ochranné kapaliny se s úspěchem používají také u samovznětlivých prachů (např. voda nebo alkoholy u pyroforických kovových prášků). Při volbě kapaliny je nutné mít na zřeteli také fakt, že mnohé kovové prachy s těmito kapalinami reagují za vývoje vodíku.

b) Nádrže s „plovoucím víkem“ nebo s „pontonovým víkem“.



Plovoucí víko je kruhový disk z ocelového plechu tloušťky 2 až 5 mm. Aby víko plavalo na hladině, je rozděleno přehradami na několik sekcí vyplněných vzduchem. Průměr plovoucího víka je menší než průměr nádrže. Utěsnění víka proti stěnám nádrže je tvořeno speciální konstrukcí, která zajišťuje spolehlivou hermetizaci i při pohybech víka nahoru a dolů. Příklad skladovacích nádrží s plovoucím víkem je uveden na obrázku č. 22. Jedná se o centrální tankoviště ropy v Nelahozevsi.



Obrázek č. 22 – Nádrže s plovoucím víkem

Centrální tankoviště ropy Nelahozeves má celkovou skladovací kapacita 1 550 000 m³:

- 4 nádrže o objemu 50.000 m³
 - průměr 60,3 m
 - výška 18,8 m
- 6 nádrží o objemu 100.000 m³
 - průměr 84,5 m
 - výška 19,2 m
- 6 nádrží o objemu 125.000 m³
 - průměr 84,5 m
 - výška 24,1 m

Centrální tankoviště ropy Nelahozeves slouží jako krátkodobý mezisklad pro ropu přepravovanou ropovody Družba a IKL dále k míchání různých druhů ropy podle požadavků zákazníků – rafinerií a skladování strategických nouzových zásob ropy.

c) Nádrže z pogumované tkaniny.

Nádrž je úplně naplněna kapalinou. Stěna nádrže se „skládá“ v závislosti na množství hořlavé kapaliny v nádrži, tj. na stupni naplnění, jako „harmonika“.

d) Použití stabilních pěn, emulzí a dutých mikrokuliček.

Při užití tohoto systému musí být splněny podmínky obdobné podmínkám pro skladování pod nebo nad vrstvou ochranné kapaliny, tj. hořlavá kapalina nesmí s ochrannou vrstvou reagovat, nesmí ji rozpouštět a musí mít větší hustotu než ochranná vrstva.

Pro dosažení hermetizace musí mít ochranná vrstva určitou potřebnou tloušťku. Duté mikrokuličky o rozměrech 10 až 120 mikrometrů se vyrábějí např. z fenolformaldehydových pryskyřic. Pro ochranu nádrže s benzínem objemu 100 m³ je zapotřebí cca 36 kg mikrokuliček.

Vhodnou volbou hořlavé látky nebo ovlivnění jejich výbuchových vlastností

Plyny a páry hořlavé kapaliny

Vyloučit nebezpečí výbuchu je možné také odstraněním hořlavé látky resp. její náhradou látkou nehořlavou nebo alespoň látkou méně hořlavou.

Tato náhrada přirozeně není možná v případech, jestliže látku používáme z důvodu jejího chemického složení. Je-li látka použita pro své fyzikální vlastnosti jako pomocný prostředek, lze ji mnohdy nahradit bezpečnou látkou podobných vlastností.

Používá-li se hořlavý plyn jako vytvrzovací nebo přepravní prostředek, je možná jeho náhrada např. vzduchem, dusíkem nebo oxidem uhličitým. Jde-li o použití hořlavé kapaliny např. jako rozpouštědla, není vždy nutno sáhnout po benzínu, éteru nebo alkoholu, ale je možno nejprve vyzkoušet jiné nehořlavé, méně hořlavé nebo saponáty. Přitom je nutné dbát na to, aby v důsledku této náhrady nevzniklo nebezpečí jiného druhu. Např. náhradou za lehký benzín bylo mnohdy doporučováno použití halogenovaného uhlovodíku o podobném bodu varu. Při použití jedovatého chloridu uhličitého došlo k několika neštěstím. Jako výhodnější náhrada se pak ukázalo použití vysoko vroucích frakcí benzínu s vysokým bodem vzplanutí.

Nelze-li hořlavou látku odstranit nebo nahradit méně hořlavou látkou, je možno větráním snížit její koncentraci na bezpečnou mez, tj. pod nebezpečnou koncentraci.

Přirozeným větráním lze dosáhnout výměny vzduchu v místnosti jednou za hodinu, to znamená, že jednou za hodinu se zde vymění vzduch. Koeficient výměny vzduchu je tedy $n = 1 \text{ h}^{-1}$. Ve sklepních prostorách je z důvodu menší konvekce možno uvažovat $n = 0,4 \text{ h}^{-1}$. Přídavnými otvory lze tyto hodnoty cca zdvojnásobit.

V ideálním případě, známe-li unikající množství hořlavé látky za jednotku času a za předpokladu, že se hořlavé plyny a páry hořlavé kapaliny rovnoměrně mísí se vzduchem (mají hustotu stejnou nebo jen málo odlišnou od hustoty vzduchu), je možno vypočítat průměrnou koncentraci v místnosti pomocí následujícího vztahu:

$$c = \frac{\sum Q_m}{n \cdot V}$$

kde:

c	průměrná koncentrace hořlavé látky [g.m ⁻³]
$\sum Q_m$	celkové množství uniklých hořlavých látek do místnosti [g.h ⁻¹]
n	koeficient výměny vzduchu [h ⁻¹]
V	objem místnosti [m ³]

Bohužel výše uvedené informace jsou spíše idealizovaným modelem a skutečnost je obvykle složitější a je nutné uvažovat proudění v prostoru. Zejména u plynů a par, které jsou těžší než vzduch, je nutno zjistit, zda přirozené větrání stačí a zda se lokálně nevytváří nebezpečné množství výbušné atmosféry. Většinou přirozené větrání jako opatření proti vzniku nebezpečného množství výbušné atmosféry nestačí.

Technické, nebo také umělé větrání, jehož rozdělení je znázorněno na obrázku č 23 umožní ve srovnání s přirozeným větráním větší přísun vzduchu a to cíleně s usměrněním do nebo z míst chráněného prostoru, kam je to nejvhodnější.



Obrázek č. 23 - Dělení umělého větrání

Účinnost usměrnění je nutno prokázat (usměrňovací plechy, umístění otvorů či kanálů přívodu vzduchu, účinnost ventilátoru).

Vhodnějším řešením je odsávání nebezpečné látky. Sací trubici je nutno umístit pokud možno do místa vzniku nebo úniku hořlavé látky. Z hygienických důvodů nesmí nikdy unikající a odsávaný plyn, pára hořlavé kapaliny nebo prach proudit kolem obsluhy. Např. páry z otevřené vany s hořlavou kapalinou, u níž pracuje obsluha, je nutno odsávat po obvodě u hladiny nádrže a nikoliv nad nádrží. Je-li odsávání z místa úniku nebo vzniku nevhodné z důvodu velkého počtu míst, pak je možno použít odsávání celého prostoru. Těžké páry je nutno odsávat ze spodní části prostoru, lehké a teplem nadlehčené páry pak z horní části prostoru. Odsátý vzduch z místního nebo celkového odsávání je nahrazen přísávaním čerstvého vzduchu. Potřebné množství odsávaného resp. přísávaného vzduchu se stanoví na základě znalostí množství unikající nebo vznikající hořlavé látky dle vztahu následujícího vztahu:

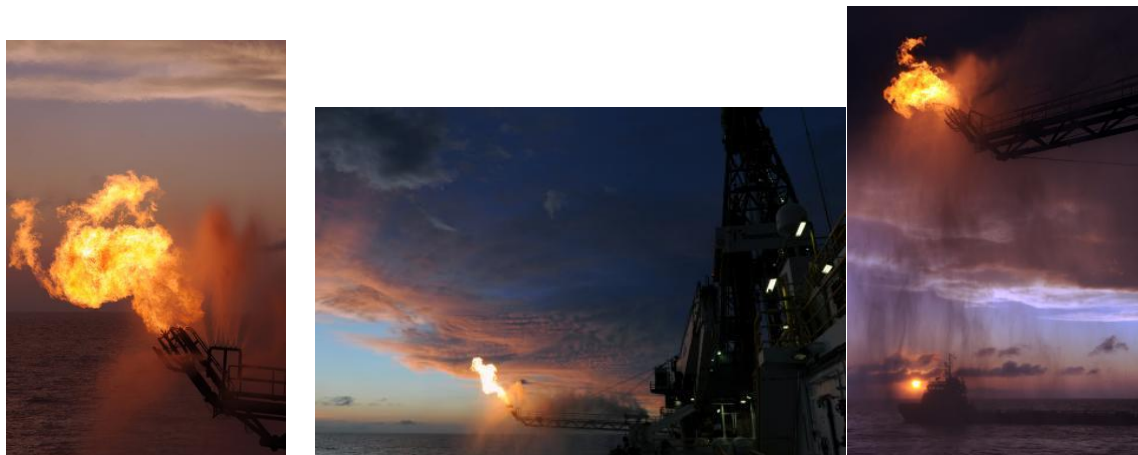
$$Q = \frac{\sum Q_{m,i}}{c_{dov} - c_0}$$

kde:

- Q potřebné množství přísávaného vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]
- $Q_{m,i}$ celkové množství všech hořlavých látek unikajících nebo vznikajících v daném prostoru (místnosti) [$\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$]
- c_{dov} přípustná koncentrace hořlavých látek ve vzduchu [$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]
- c_0 koncentrace hořlavých látek v čerstvém vzduchu [$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]

Nezbytnou součástí odsávání je zneškodnění odsátého množství. Volně rozptýlit do atmosféry je možno jenom malá množství, pokud to není z hygienických důvodů nepřipustné. Avšak i při rozptýlu velmi nízkých koncentrací je nutná opatrnost. Odsávací potrubí nesmí ústít v blízkosti otvoru (okna), jímž by mohla být látka nasáta zpět do místnosti. Zvláštní opatrnosti je třeba v blízkosti nasávacího potrubí pro zařízení na dělení (rozklad) vzduchu. Zde mohou být již stopy kondenzovatelných plynů nebo par nebezpečné, pokud se dostanou následně do styku s čistým kyslíkem.

Při vyšších koncentracích musí být odsávané plyny spalovány. K tomu slouží tzv. fakule (fléra), tj. koncový atmosférický hořák vybavený pomocným plamenným hořákem, umožňující regulované vyhořívání zbytkových hořlavých plynů. Na obrázcích č. 24 až č. 26 je zobrazena fléra na vrtu Deepwater Horizon.

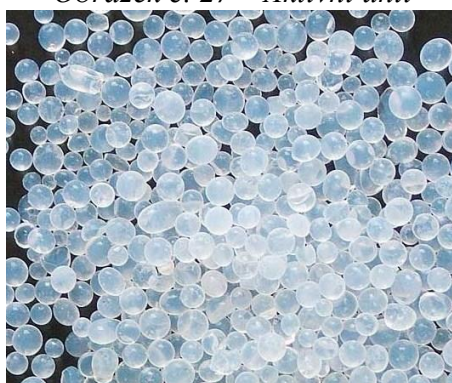


Obrázek č. 24-26 – Fléra Deepwater Horizon

Jinou a šetrnější metodou je postup, kdy se páry vážou na adsorpčním zařízení a mohou se odtud dopravit k novému použití. Nejužívanějšími sorbenty jsou aktivní uhlí zobrazené na obrázku č. 27 a silikagel zobrazený na obrázku č. 28. Z těchto adsorpčních prostředků je možno naadsorbované páry vypudit vodní parou. Po vysušení vzduchem je adsorpční zařízení opět připraveno k dalšímu provozu. Tato zařízení jsou dokonalá a pracují spolehlivě.



Obrázek č. 27 – Aktivní uhlí



Obrázek č. 28 – Silikagel

Hořlavé prachy

U hořlavých prachů je třeba odlišit některé zvláštnosti.

Náhrada výbušného prachu za nevýbušný nebo méně výbušný je možná jen málokdy.

U prachů je nutno zdůraznit, že skutečná koncentrace může být významně ovlivněna poměrem rozvířeného prachu (aerosol) a usazeného podílu prachu (aerogel).

Při plnění zásobníků prachem je nad hladinou sedimentovaného prachu vysoká koncentrace nejjemnějších podílů prachu. Mnohdy vyšší než 300 g.m^{-3} , tj. v blízkosti optimální koncentrace.

Udržování koncentrace pod spodní mezí výbušnosti prachu jako jediné opatření je možné pouze tehdy, je-li v zařízení nebo potrubí dosahováno stálé koncentrace (např. v odsávacím vedení, ve vedení vyčištěného vzduchu za filtrem apod.). Časem se mohou v potrubí tvořit usazeniny, které je nutno pravidelně odstraňovat (čistit).

Jednoduchý výpočet průměrné koncentrace prachu, jako celkového množství k celému objemu zařízení, nevyjadřuje v důsledku možné nehomogenity rozdělení skutečnou koncentraci v každé části objemu.

Zkušenosti ukazují, že i v případech, kdy průměrná koncentrace nedosahuje spodní meze výbušnosti, je nutno počítat s možným výbuchem v té části zařízení, kde místní koncentrace může být v rozsahu výbušnosti.

Provoz při koncentraci nad horní mezí výbušnosti u prachů nelze považovat za bezpečný. Nikdy nelze zaručit dokonalou homogenitu prachového mraku a vyloučit, že nebudou v zařízení existovat místa s koncentrací nižší (v rozsahu výbušnosti). Přitom hodnoty horní meze výbušnosti jsou velmi vysoké (až několik kg/m^3) a proto se v zařízení jenom málokde vyskytují, výjimku tvoří např. pneumatická doprava. Při najíždění a odstavování takového zařízení se přirozeně musí „projít“ rozsahem výbušnosti.

Jak bylo výše zmíněno, lze výskyt nebezpečného množství výbušné směsi prachu omezit ovlivněním velikosti částic prachu. Přitom si je nutno uvědomit, že poměrně malá příměs jemných podílů (5-10 hmot. %) může způsobit výbuch hrubého nevýbušného prachu. Jemné podíly se tvoří při pohybu částic otěrem, a proto nelze považovat za bezpečné ani manipulaci s hrubým prachem, tedy prachem, jehož průměrná velikost zrna se pohybuje nad 0,4 mm.

Zabránit rozvíření a vzniku výbušné koncentrace jemných částic lze také omezením rozvířitelnosti. Toho lze dosáhnout zkrápěním vodou nebo oleji, případně, pokud to technologické podmínky umožní, jemnou granulací.

Přitom si je ale nutno uvědomit, že při výskytu intenzivního energetického zdroje, např. výbuchu se kapalina může odpařit a pak se vysušený prach může rozvířit a podílet na výbuchu.

Ventilace má u hořlavých prachů smysl a znamená dostatečnou ochranu jenom tehdy, jestliže je prach účinně odsáván z místa jeho vzniku a přitom je spolehlivě zabráněno současnému usazování prachu v okolí.

Prachy se odloučí v odlučovačích prachu (filtrech vzduchu). Ty mohou být různé konstrukce (mokrý, suchý, elektrofiltry).

Hybridní směsi

U hybridních směsí většinou nelze uplatnit opatření udržovat skutečnou koncentraci pod spodní mezí výbušnosti hybridní směsi. Je také obtížné bezpečně stanovit hodnotu spodní meze výbušnosti hybridní směsi.

SEKUNDÁRNÍ PROTIVÝBUCHOVÁ OCHRANA

Základem sekundární protivýbuchové prevence je zamezení možnosti iniciace výbušné směsi. Iniciačním zdrojem jsou předměty nebo látky, které jsou schopny odevzdat takové množství energie, které je potřeba k iniciaci výbušného souboru. Základní iniciační zdroje jsou definovány v ČSN EN 1127-1 ed. 2.

Mezi obecné zdroje iniciace patří:

- Horký povrch
- Plameny a horké plyny (včetně horkých částic)
- Mechanicky vznikající jiskry
- Elektrická zařízení
- Statická elektřina

- Samovznícení prachu
- Úder blesku
- Elektromagnetické vlny od 3.1011 Hz do 3.1015 Hz
- Ionizující záření
- Ultrazvuk
- Adiabatická komprese a rázové vlny
- Rozptylové elektrické proudy, katodová ochrana proti korozi

Zdroje iniciace

Horké povrchy

Horký povrch, ale také vrstva prachu nebo hořlavé pevné látky mohou při styku s horkým povrchem a následným vznícením působit jako zdroj iniciace výbušné atmosféry. Na obrázku č. 29 je znázorněno monitorování motoru pomocí termovize.



Obrázek č. 29 – Monitorování teploty motoru pomocí termovize

Plameny, horké plyny (včetně horkých částic)

Plameny jsou spojené se spalovacími reakcemi při teplotách vyšších než 1000°C. Horké plyny vznikají jako produkty reakcí a v případě prašných a nebo sazovitých plamenů jsou také produkovány rozžhavené pevné částice. Na obrázku č. 30 můžete vidět plamen hořící zápalky.



Obrázek č. 30 – Plamen hořící zápalky

Mechanicky vznikající jiskry

Následkem tření, nárazu nebo abrazivních procesů. Na obrázku č. 31 je zobrazen vznik jisker při řezání kovu.

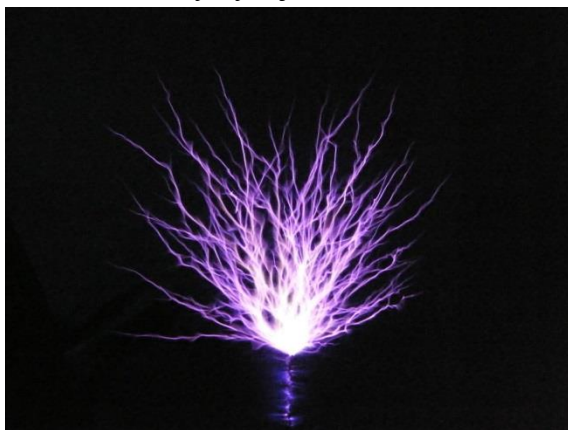


Obrázek č. 31 – Vznik jisker při řezání kovu

Elektrická zařízení

- Elektrické jiskry při zapínání a vypínání elektrických obvodů, při uvolnění spojů, či rozptylovými proudy.
- Rozptylové elektrické proudy, katodová ochrana proti korozi.
- Zpětné proudy v zařízeních pro výrobu energie, následkem zkratu nebo zemního zkratu při závadě v elektrických instalacích, výsledek magnetické indukce, následek úderu blesku

Na obrázku č. 32 je znázorněn elektrický výboj.



Obrázek č. 32 – Elektrický výboj

Statická elektřina

Výboj z nabitých izolovaných vodivých částí může snadno vést k zápalným jiskrám.

Úder blesku

Při úderu blesku dochází k značnému toku proudů a tyto proudy mohou vyvolat jiskry v blízkosti úderu blesku. Blesk je zobrazen na obrázku č 33.



Obrázek č. 33 - Blesk

Vysokofrekvenční elektromagnetické vlny

Výše uvedené vlny jsou vyzařovány všemi systémy, které generují a používají vysokofrekvenční rádiovou elektrickou energii.

Elektromagnetické vlny

Vyzařování v tomto optickém spektru se může stát zdrojem vznícení absorpcí ve výbušných atmosférách nebo pevnými povrchy.

Ionizující záření

Ionizující záření může být příčinou chemického rozkladu nebo jiných reakcí, které mohou vést k tvorbě vysoce reaktivních radikálů nebo nestabilních chemických sloučenin.

Ultrazvuk

Látka vystavená ultrazvuku se může zahřát na takové hodnoty, že v extrémních případech může dojít ke vznícení.

Adiabatická komprese a rázové vlny

V případě adiabatické komprese a při rázových vlnách mohou vznikat tak vysoké teploty, že může dojít ke vznícení výbušné atmosféry.

Exotermické reakce včetně samovznícení prachů

Exotermické reakce mohou působit jako zdroj iniciace pokud je produkce tepla větší než tepelné ztráty do okolí.

Kategorie a skupiny zařízení

Na základě četnosti a doby výskytu výbušné atmosféry se nebezpečné prostory dělí do kategorií a zón, které vychází z Evropské směrnice 94/9/EC - ATEX 100, která je do české legislativy přijata jako nařízení vlády č. 23/2003 Sb. kterým se stanoví technické požadavky na zařízení a ochranné systémy určené pro použití v prostředí s nebezpečím výbuchu a je přijato jako přesný překlad směrnice ATEX 100.

Nařízení vlády č. 23/2003 Sb. – ATEX 100

Cílem tohoto nařízení vlády je zajistit shodnou minimální úroveň bezpečnosti výrobků určených do prostředí s nebezpečím výbuchu. Definuje proto povinnosti pro výrobce a dodavatele zařízení, ti musí zajistit odpovídající procedury pro uvedení výrobku na trh a vydání správného ES prohlášení o shodě, musí zajistit odpovídající značení a zajištění všech jeho náležitostí.

Kritéria pro zařazení zařízení do skupin a kategorií

1. Skupina zařízení I

a) Kategorie M 1 zahrnuje zařízení, které je konstruováno, a kde je to nutné, vybaveno dodatečnými speciálními ochrannými prostředky tak, aby bylo schopno provozu ve shodě s provozními parametry stanovenými výrobcem a zajišťovalo velmi vysokou úroveň ochrany.

Zařízení této kategorie je určeno pro ***použití v podzemních částech dolů ohrožených metanem nebo hořlavým prachem*** a v těch částech povrchového vybavení těchto dolů, které jsou ohroženy metanem nebo hořlavým prachem.

Po zařízení této kategorie se vyžaduje, aby zůstávalo funkční i v případě výjimečných událostí ve vztahu k zařízení, za přítomnosti výbušné atmosféry, a aby se vyznačovalo takovými prostředky ochrany proti výbuchu, že

aa) buď v případě poruchy jednoho z použitých prostředků ochrany zajišťuje dostatečnou úroveň bezpečnosti alespoň jeden další nezávislý prostředek ochrany, nebo

ab) v případě vzniku dvou vzájemně nezávislých poruch je zajištěna dostatečná úroveň bezpečnosti.

b) Kategorie M 2 zahrnuje zařízení, které je konstruováno tak, aby bylo schopno provozu ve shodě s provozními parametry stanovenými výrobcem a zajišťovalo vysokou úroveň ochrany.

Zařízení této kategorie je určeno pro použití v podzemních částech dolů s **pravděpodobným ohrožením metanem nebo hořlavým prachem** a v těch částech povrchového vybavení těchto dolů, kde je ohrožení metanem nebo hořlavým prachem pravděpodobné.

U tohoto zařízení se předpokládá, že bude v případě vzniku výbušné atmosféry vypnuto.

Ochranné prostředky pro zařízení této kategorie musí zajistit dostatečnou úroveň ochrany při normálním provozu a také v případě těžších provozních podmínek vznikajících zejména hrubým zacházením a změnami okolního prostředí.

2. Skupina zařízení II

a) Kategorie 1 zahrnuje zařízení, které je konstruováno tak, aby bylo schopno provozu ve shodě s provozními parametry stanovenými výrobcem a zajišťovalo velmi vysokou úroveň ochrany. Zařízení této kategorie je určeno pro použití v prostorech, ve kterých je **výbušná atmosféra** tvořená směsí vzduchu s plyny, párami nebo mlhami nebo prachovzdušnou směsí **přítomna trvale, po dlouhou dobu nebo často**. Zařízení této kategorie musí zajišťovat dostatečnou úroveň ochrany i v případě výjimečných událostí ve vztahu k zařízení a vyznačuje se takovými prostředky ochrany proti výbuchu, že

aa) buď v případě poruchy jednoho z použitých prostředků ochrany zajišťuje požadovanou úroveň bezpečnosti alespoň jeden další nezávislý prostředek ochrany, nebo

ab) v případě vzniku dvou vzájemně nezávislých poruch je zajištěna požadovaná úroveň bezpečnosti.

b) Kategorie 2 zahrnuje zařízení, které je konstruováno tak, aby bylo schopno provozu ve shodě s provozními parametry stanovenými výrobcem a zajišťovalo vysokou úroveň ochrany.

Zařízení této kategorie je určeno pro použití v prostorech, ve kterých je **občasný vznik výbušné atmosféry** tvořené směsí vzduchu s plyny, párami nebo mlhami nebo prachovzdušnou směsí **pravděpodobný**.

Ochranné prostředky pro zařízení této kategorie zajišťují dostatečnou úroveň ochrany i v případě častého rušení nebo častých poruch zařízení, se kterými se musí běžně počítat.

c) Kategorie 3 zahrnuje zařízení, které je konstruováno tak, aby bylo schopno provozu ve shodě s provozními parametry stanovenými výrobcem a zajišťovalo běžnou úroveň ochrany.

Zařízení této kategorie je určeno pro použití v prostorech, kde **vznik výbušné atmosféry** tvořené směsí vzduchu s plyny, párami nebo mlhami nebo prachovzdušnou směsí **není pravděpodobný**, a pokud výbušná atmosféra vznikne, bude přítomna pouze zřídka a pouze po krátké časové období.

Konstrukce zařízení této kategorie musí zajistit požadovanou úroveň bezpečnosti při běžném provozu.

Obrázek č. 34 znázorňuje vazby mezi kategoriemi a jejich možnosti použití v prostorech s nebezpečí, výbuchu.

Skupina I (zařízení pro podzemní doly s výskytem metanu)					
Kategorie	Označení zařízení	ZAŘÍZENÍ LZE POUŽÍ V PROSTORECH			Množství metanu v jednotlivých prostorech SNM: SNM 3: > 1,5% metanu v ovzduší SNM 2: 1,5% metanu v ovzduší SNM 1: 0,5% metanu v ovzduší SNM 0: 0,25% metanu v ovzduší
		Nebezpečné atmosférické podmínky 2 (prostředí s nebezpečným výbuchem)		Nebezpečné atmosférické podmínky (výbušná atmosféra)	
		SNM 1	SNM 2	SNM 3	
M1	I M1	OK	OK	OK	
M2	I M2	OK	OK	nelze použít	

Pozn.: 1) zařízení kategorie M1 a M2 lze automaticky používat ve všech důlních prostorech s výskytem uhlíkového prachu. 2) SNM 1,2,3 je zařízení důlních prostor z hlediska nebezpečí výbuchu metanu. Je určeno ČSN 341430:01/1985 (zrušena, nahrazena EN 1127-2:05/2003) a vyhláškou ČBÚ č. 22/1989 Sb. (dosud platí). Vztah mezi nebezpečnými (atmosférickými) podmínkami a SNM nebyl dosud ČBÚ vysvětlen, proto bylo výše uvedenou tabulku jako informativní.

Skupina II (zařízení pro prostory s nebezpečím výbuchu jiné než podzemní doly s výskytem metanu)						
Kategorie	Označení zařízení*	ZAŘÍZENÍ LZE POUŽÍT V PROSTORECH			PRÁVĚPODOBNOST VÝSKYTU NEBEZPEČNÉ KONCENTRACE V ZÓNÁCH	
Plyny (Gas):	1	II 1G	ZÓNA 0	ZÓNA 1	ZÓNA 2	Trvale nebo po dlouhé období (více než 1000 h/rok)
	2	II 2G	-	ZÓNA 1	ZÓNA 2	Příležitostně v normálním provozu (10 až 1000 h/rok)
	3	II 3G	-	-	ZÓNA 2	Zřídka při neobv. provozních podm. (0,1 až 10 h/rok)
Prachy (DUST):	1	II 1D	ZÓNA 20	ZÓNA 21	ZÓNA 22	Trvale nebo po dlouhé období (více než 1000 h/rok)
	2	II 2D	-	ZÓNA 21	ZÓNA 22	Příležitostně v normálním provozu (10 až 1000 h/rok)
	3	II 3D	-	-	ZÓNA 22**	Zřídka při neobv. provozních podm. (0,1 až 10 h/rok)

* zařízení vhodné pro plyny i prachy zároveň bývá označeno zkráceně: II 2GD apod.
** zařízení kategorie 3 nelze použít v prostorech zóny 22 s přítomností vodivého typu prachu

Obrázek č. 34 – Kategorie zařízení a jejich použití v prostorách s nebezpečím výbuchu

Klasifikace nebezpečných prostorů

Na základě četnosti a doby výskytu výbušné atmosféry se nebezpečné prostory dělí do zón.

Pro určení rozsahu opatření nezbytných k vyloučení zdrojů iniciace, nebezpečné prostory se klasifikují do zón, které jsou založeny na četnosti a trvání nebezpečné výbušné atmosféry.

Prostor, ve kterém není očekáván výskyt výbušné atmosféry v takovém rozsahu, že by musela být požadována zvláštní bezpečnostní opatření, je považován za prostor bez nebezpečí.

S ohledem na usazování prachu a možné vytváření výbušné atmosféry od rozvířených usazených vrstev prachu, jsou definovány různé zóny pro plyny/páry a prachy.

Z téhož důvodu jsou požadována jiná opatření k vyloučení účinných zdrojů iniciace u hořlavých prachů v porovnání s hořlavými plyny/párami.

U provozů a zařízení s výskytem hořlavých prachů se stanovují zóny, které mají následnou návaznost na projekt a zabezpečení. Zóny u hořlavých prachů jsou následující:

Zóna 20

Zóna 20 je prostor, ve kterém je výbušná atmosféra vytvořena oblakem zviřeného hořlavého prachu ve vzduchu, který **je přítomen trvale nebo dlouhou dobu nebo často**.

POZNÁMKA – Zpravidla se tyto podmínky vyskytují uvnitř zásobníků, potrubí a nádob, atd.

Zóna 21

Zóna 21 je prostor, ve kterém je výbušná atmosféra vytvořena oblakem zviřeného hořlavého prachu ve vzduchu, vznikající **při běžném provozu příležitostně**.

POZNÁMKA – Tato zóna může zahrnovat mimo jiné prostory v bezprostředním okolí, např. plnicí a vyprazdňovací místa práškových materiálů, a prostory, kde vznikají vrstvy prachu, které jsou pravděpodobně vznikem výbušné koncentrace hořlavého prachu ve směsi se vzduchem při běžném provozu.

Zóna 22

Zóna 22 je prostor, ve kterém je nepravděpodobný vznik výbušné atmosféry vytvořené oblakem zvířeného hořlavého prachu ve vzduchu při běžném provozu a pokud se tato atmosféra vyskytne, pak pouze **po velmi krátkou dobu**.

POZNÁMKA – Tato zóna může zahrnovat mimo jiné prostory v okolí zařízení, ochranných systémů a dalších součástí obsahujících prach, ze kterých může prach unikat netěsnostmi a vytvářet vrstvy prachu (např. mlecí prostory, ve kterých prach uniká z mlecích zařízení a pak se usazuje).

Není-li důsledně proveden rozbor prachových materiálů v různých provozech, postrádá se jakákoli možnost technicky, hospodárně a bezpečně proti eventuálním rizikům působit, což, jak praxe ukazuje, přináší mnohdy nedozírné materiální a morální škody.

Z různých technologií průmyslu vyplývá, že uvnitř těchto zařízení se vyskytují hořlavé částice různé velikosti.

Z pohledu hodnocení nebezpečí výbuchu je právě jemný sedimentovaný prach nebezpečný a v případě, že sedimentovaný jemný prach bude rozvířen a spojen s iniciačním zdrojem dojde k explozi. Množství jemného prachu na vytvoření optimální koncentrace disperzní směsi prachu se vzduchem je ve vnitřním prostoru takových zařízení (cyklóny, filtry, zásobníky, drtiče, pseudopravy, sila, apod.) dostačující.

U provozu a zařízení s výskytem hořlavých plynů a par se rovněž stanovují zóny. Zóny u hořlavých plynů a par jsou následující:

Zóna 0

Zóna 0 je prostor, ve kterém je výbušná atmosféra směsi hořlavých látek ve formě plynu, páry nebo mlhy se vzduchem **přítomna nepřetržitě nebo dlouhou dobu nebo často**.

POZNÁMKA: Zpravidla se tyto podmínky vyskytují uvnitř zásobníku, potrubí, nádob, atd.

Zóna 1

Zóna 1 je prostor, ve kterém je při běžném provozu pravděpodobnost výskytu výbušné atmosféry směsi hořlavých látek ve formě plynu, páry nebo mlhy se vzduchem **příležitostná**.

POZNÁMKA: Tato zóna může zahrnovat, mimo jiné:

- Bezprostřední okolí zóny 0.
- Bezprostřední okolí přírodních otvorů.
- Bezprostřední okolí kolem plnicích a vyprazdňovacích otvorů.
- Bezprostřední okolí kolem křehkých zařízení, ochranných systémů součástí vyrobených ze skla, keramiky a podobně.
- Bezprostřední okolí kolem nedostatečných těsnících ucpávek, např. u čerpadel a ventilů s ucpávkami.

Zóna 2

Zóna 2 je prostor, ve kterém je při běžném provozu nepravděpodobný výskyt výbušné atmosféry směsi hořlavých látek ve formě plynu, páry mlhy se vzduchem a **pokud se tato atmosféra vyskytuje, pak pouze po velmi krátkou dobu**.

POZNÁMKA: Tato zóna může zahrnovat, mimo jiné, prostory obklopující zóny 0 nebo 1.

V tabulce č. 4 jsou uvedeny vztahy mezi úrovní zabezpečení, kategorií zařízení, provedením ochrany a provozními podmínkami.

Tabulka č. 4 – Kategorie zařízení a jejich ochrana

Úroveň ochrany	Kategorie skupina I a skupina II		Provedení ochrany	Podmínky provozu
Velmi vysoká	M1		<i>Dva nezávislé prostředky ochrany nebo bezpečné při dvou vzájemně nezávislých poruchách</i>	<i>Zařízení zůstane v provozu a ve funkci i po vzniku výbušného prostředí</i>
Velmi vysoká		1	<i>Dva nezávislé prostředky ochrany nebo bezpečné při dvou vzájemně nezávislých poruchách</i>	<i>Zařízení zůstane v provozu a ve funkci v zónách 0,1,2 (G)a/nebo 20,21,22(D)</i>
Vysoká	M2		<i>Vhodné pro normální provoz a nepříznivé provozní podmínky</i>	<i>Zařízení bude vypnuto po vzniku výbušného prostředí</i>
Vysoká		2	<i>Vhodné pro normální provoz a často vznikající poruchy zařízení, se kterými je nutno normálně počítat</i>	<i>Zařízení zůstane v provozu a ve funkci v zónách 1,2 (G)a/nebo 21,22(D)</i>
Normální		3	<i>Vhodné pro normální provoz</i>	<i>Zařízení zůstane v provozu v zónách 2 (G) a 22 (D)</i>

TERCIÁLNÍ (KONSTRUKČNÍ) PROTIVÝBUCHOVÁ OCHRANA

Není-li možné pravděpodobnost vzniku nebezpečné výbušné atmosféry řádně vyhodnotit, vychází se z toho, že tato nebezpečná výbušná atmosféra existuje. Obdobně platí i tato zásada v případě hodnocení pravděpodobnosti vzniku iniciačního zdroje. Pokud není možné řádně vyhodnotit pravděpodobnost vzniku účinného iniciačního zdroje, vychází se z toho, že iniciace je možná.

Nelze-li zabránit vytváření nebezpečné výbušné koncentrace a vyloučit nebezpečí výbuchu opatřeními aktivní protivýbušové prevence, nebo nejsou-li takovéto opatření vhodná, musí být zařízení, ochranné systémy a součástí konstruovány tak, aby byly účinky výbuch omezeny na bezpečnou míru.

Opatření konstrukční protivýbušové ochrany tedy nezabrání výbuchu, ale slouží k tomu, aby nedošlo k poškození zařízení, ohrožení osob a aby bylo zařízení v co nejkratší možné době opět provozuschopné.

Konstrukční opatření omezující účinky výbuchu na únosnou míru rozdělujeme:

- 1) konstrukce odolné výbuchu,

- 2) odlehčení výbuchu,
- 3) potlačení výbuchu,
- 4) zabránění přenosu plamene a výbuchu.

Konstrukce odolné výbuchu

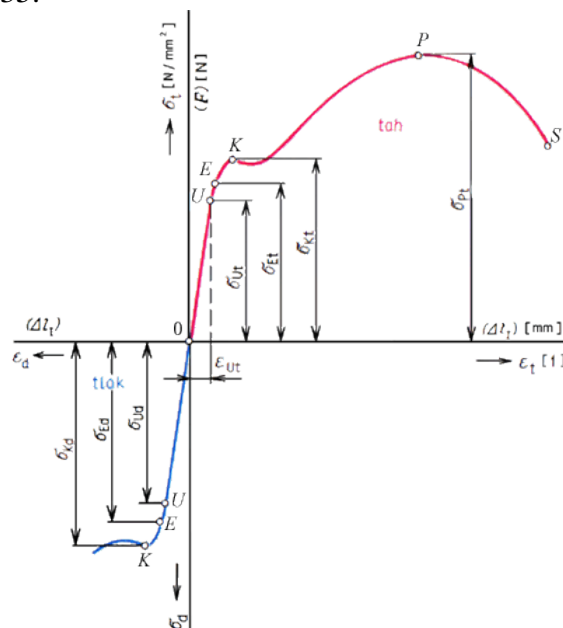
Konstrukce odolné výbuchu se dále dělí na dvě skupiny a to na nádoby odolné výbuchovému tlaku a nádoby odolné výbuchovému rázu.

Nádoby odolné výbuchovému tlaku

V některých případech je vhodné nadimenzovat nádobu, potrubí nebo zařízení tak, aby bezpečně odolaly výbuchu. Je to vhodné zejména v těch případech, kdy se jedná o dopravu, skladování nebo zpracování látek jedovatých a dalších látek nebezpečných pro životní prostředí. Další případem, kdy je toto opatření vhodné je případ, kdy jsou jiná ochranná opatření neúčinná nebo nevhodná například z důvodu vysoké rychlosti nárůstu výbuchového tlaku.

Zařízení je dimenzováno tak, že odolává maximálnímu výbuchovému tlaku (deflagračnímu nebo detonačnímu). U nádob odolným výbuchovému tlaku nejsou přípustné žádné trvalé deformace nebo netěsnosti.

Nádoba odolná výbuchovému tlaku se dimenzuje tak, že skutečné napětí vyvolané výbuchem při optimálních podmínkách je nižší, než dovolené namáhání použitého konstrukčního materiálu. Pro volbu namáhání se vychází z meze kluzu daného materiálu zobrazené na obrázku č. 35.



Obrázek č. 35 – Diagram závislosti napětí na relativním prodloužení u materiálu s výraznou mezí kluzu

Se zvyšujícím se napětím roste prodloužení přímo úměrně až do hodnoty napětí σ_{Ut} :

- σ_{Ut} - **mez úměrnosti**: po překročení meze úměrnosti přestává být relativní prodloužení přímo úměrné normálovému napětí.
- σ_{Et} - **mez pružnosti**: po překročení meze pružnosti přestává být deformace pružná a materiál už se nevrátí do původního stavu.
- σ_{Kt} - **mez kluzu**: po překročení meze kluzu se zvětšuje relativní prodloužení, aniž by se zvětšovalo normálové napětí (materiál se prodlužuje bez zvětšování síly – tečení materiálu), mění se fyzikální vlastnosti materiálu.
- σ_{Pt} - **mez pevnosti**: po překročení meze pevnosti se materiál přetrhne.

Dovolené namáhání σ_D se volí jako část meze kluzu:

$$\sigma_D = \frac{\sigma_{Kt}}{k_B}$$

kde:

σ_D dovolené namáhání [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$]

σ_{Kt} mez kluzu [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$]

k_B koeficient bezpečnosti

(koeficient bezpečnosti se pro nádoby odolné výbuchovému tlaku pro ocele a tavné litiny volí $k_B = 1,5$)

U nádob odolných výbuchovému tlaku musí být všechny součásti tj. tloušťka stěny, dvířka kontrolních otvorů, připojené armatury atd. navrženy tak, aby platilo:

$$\sigma_{skut} < \sigma_D$$

kde:

σ_D dovolené namáhání [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$]

σ_{skut} skutečné napětí ve stěně materiálu [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$]

Pro výpočet skutečného napětí se zde uvažuje maximální možné zatížení výbuchem tj. zatížení maximálním výbuchovým tlakem p_{max} .

I když nádoby odolné výbuchovému tlaku nejsou tlakové nádoby v pravém slova smyslu, protože nejsou tlakem namáhány trvale, při výpočtu se postupuje podle normy ČSN 69 0010 pro tlakové nádoby.

Výpočet pro válcové části

Výpočet tloušťky stěny dle ČSN 69 0010

$$s_r = \frac{p_{max} \cdot d}{(2 \cdot \sigma_{DOV} \cdot \varphi) - p_{max}}$$

kde:

p_{max} maximální výbuchový tlak [MPa]

d vnitřní průměr nádoby [mm]

σ_D dovolené namáhání [$\text{MN}\cdot\text{m}^{-2}$], [MPa]

φ součinitel hodnoty podélného svaru

(obvykle se volí $\varphi = 0,85$)

Výpočet tloušťky stěny dle dovoleného mechanického namáhání

$$t = \frac{p_{max} \cdot d}{2 \cdot \sigma_{Dov}}$$

kde:

p_{max} maximální výbuchový tlak [MPa]

d vnitřní průměr nádoby [mm]

σ_D dovolené namáhání [$\text{MN}\cdot\text{m}^{-2}$], [MPa]

Nádoby odolné výbuchovému rázu

V případech, kdy výbuch nelze vyloučit, ale lze předpokládat, že k výbuchům nebude docházet příliš často, je vhodné dimenzovat nádobu nebo zařízení jako odolné výbuchovému rázu. Tyto konstrukce se liší od konstrukcí odolných výbuchovému tlaku tím, že jsou zde přípustné plastické deformace, tj. namáhání je přípustné až na mez kluzu. Není ovšem přípustné aby došlo k porušení těsnosti. Při dimenzování konstrukce na odolnost proti výbuchovému rázu se ušetří materiál a sníží se tím jak hmotnost zařízení, tak i jeho cena.

Princip je v tom, že u těchto nádob je dovolené namáhání rovno mezi kluzu.

Dovolené namáhání σ_D se volí jako část meze kluzu:

$$\sigma_D = \frac{\sigma_{Kt}}{k_B}$$

$$\sigma_D = \sigma_{Kt}$$

kde:

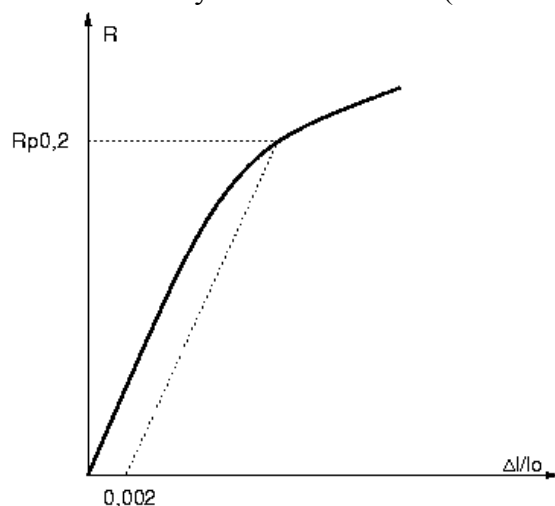
σ_D dovolené namáhání [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$]

σ_{Kt} mez kluzu [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$]

k_B koeficient bezpečnosti

(koeficient bezpečnosti pro nádoby odolné výbuchovému rázu se volí $k_B = 1$)

Při použití oceli bez výrazné meze kluzu, může být namáhání $\sigma_D = \sigma_2$, tj. trvalá deformace po zatížení výbuchem může být až 2%. Na obrázku č. 36 je znázorněna závislost napětí na prodloužení pro materiál bez výrazné meze kluzu (AUSTENITICKÉ OCELI).



Obrázek č. 36 – Závislost napětí na relativním prodloužení u materiálu bez výrazné meze kluzu (AUSTENITICKÁ OCEL)

Jak je vidět z obrázku č. 2, je zde pořád značná rezerva do meze pevnosti. Zatížení na mez kluzu však způsobí trvalou deformaci. Většinou však tato trvalá deformace nemá zásadní vliv na funkci zařízení. Většinou se jedná o vyboulení stěny, která byla před výbuchem rovná apod. V žádném případě však nesmí dojít k porušení těsnosti zařízení ani k uvolnění žádné součásti zařízení či nádoby.

Odlehčení výbuchu

Odlehčení výbuchu znamená, že v případě výbuchu dojde po krátké době trvání výbuchu většinou po dosažení určitého tlaku k otevření původně uzavřené nádoby a to buď na krátkou dobu, nebo natrvalo. Odlehčovací zařízení musí zareagovat tak, aby zařízení nebo nádoba nebyla v žádném případě namáhána nad svou rázovou pevnost.

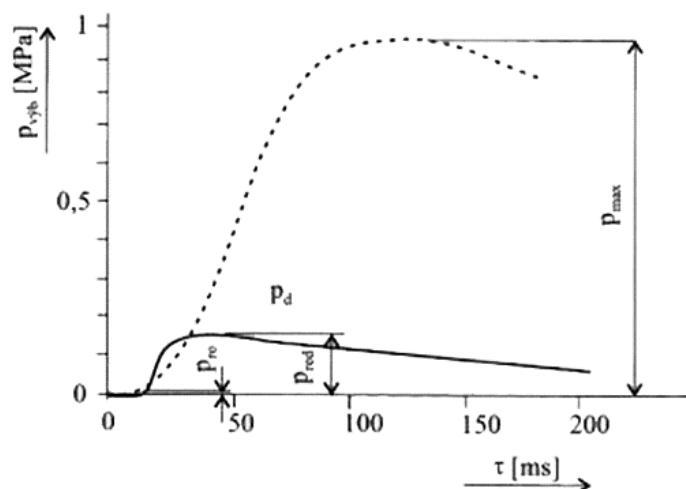
Princip ochrany u odlehčení výbuchu tedy spočívá v tom, že se při rozvoji výbuchu a dosažení relativně nízké hodnoty reakčního tlaku odlehčovacího prvku otevře odlehčovací otvor a tím pádem dojde k uvolnění výbušné směsi případně spalin z původně uzavřeného zařízení do volného prostoru. Rychlost uvolnění je taková, aby se vyrovnal nárůst objemu uvnitř zařízení a vyvinutý tlak tzv. maximální redukovaný tlak nepřekročil danou přípustnou hodnotu, která je výrazně nižší než maximální výbuchový tlak, který by se vyvinul v neodlehčené nádobě. Otevření odlehčovacího prvku může být trvalé u odlehčovacích membrán nebo jen po dobu přetlaku v zařízení a úniku do volného prostoru v případě odlehčovacích klapek a ventilů.

Snížení tlaku při výbuchu v nádobě či zařízení z maximálního výbuchového tlaku p_{\max} na maximální redukovaný tlak $p_{\text{red,max}}$ umožní podstatně snížit tloušťku stěny nádoby či zařízení a tím pádem snížit hmotnost a cenu.

Tloušťka stěny respektive pevnost jednotlivých součástí zařízení nebo nádoby se dimenzuje buď jako u nádob a zařízení odolných výbuchovému tlaku nebo jako u nádob

odolných výbuchovému rázu. Rozdíl v dimenzování je v tom, že se neuvažuje maximální výbuchový tlak p_{\max} ale maximální redukovaný tlak $p_{\text{red,max}}$.

Výbuchová křivka, která znázorňuje průběh tlaku v odlehčené nádobě v porovnání s průběhem tlaku v uzavřené nádobě je znázorněna na obrázku č. 37.



Obrázek č. 37 – Výbuchová křivka v odlehčené nádobě

Velikost maximálního redukovaného tlaku závisí na dostatečně rychlém otevření odlehčovacího otvoru teda na statickém reakčním tlaku odlehčovacího prvku p_{stat} a ploše odlehčovacího otvoru A .

Čím je reakční tlak odlehčovacího prvku vyšší tím větší objem výbušné směsi zreaguje – prohoří v nádobě do okamžiku otevření a tím pádem bude i vyšší maximální redukovaná tlak $p_{\text{red,max}}$.

Čím je plocha odlehčovacích prvků větší, tím účinnější je odvádění narůstajícího objemu a tím nižší je výsledný maximální redukovaný tlak $p_{\text{red,max}}$.

Z těchto důvodů je vhodné volit velikost statického reakčního tlaku p_{stat} co nejnižší. Problém ovšem nastává při kolísání pracovního tlaku uvnitř zařízení. Statický reakční tlak je proto nutné volit tak, aby byl vyšší než nejvyšší možný pracovní tlak.

Musí tedy být splněno:

$$p_{\text{stat}} > p_{\text{prac}}$$

Kdyby tato nerovnost nebyla splněna, docházelo by k nechtěnému otevírání zařízení respektive k praskání (trhání) pojistných membrán.

Potlačení výbuchu

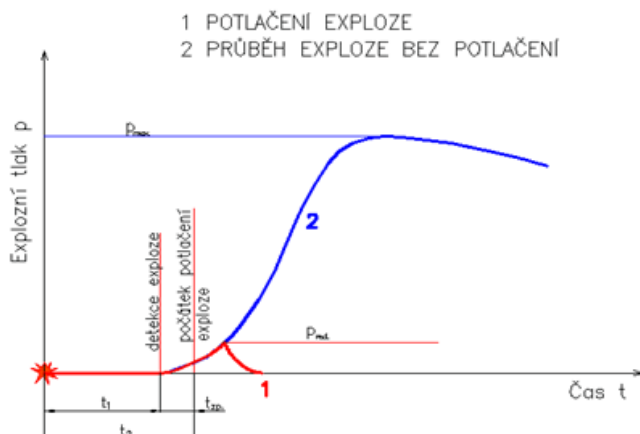
Potlačení výbuchu je vhodné uplatnit při ochraně nádob tak, že vhodné hasivo pomocí příslušného zařízení potlačí výbušné hoření již v počátečním stadiu, zabrání tak vzniku nedovoleného výbuchového tlaku.

Toto preventivní opatření předpokládá odpovídající konstrukční opatření pro chráněné nádoby a aparáty do redukovaného výbuchového tlaku, jako při uvolnění výbuchu.

Ochranné zařízení HRD (High Rate Discharge) je hasící technika, která se vyznačuje extrémně rychlým vnesením hasícího prostředku do chráněného zařízení, kde dochází k potlačení a utlumení vznikajícího výbuchu nebo explozivního hoření. Tento proces probíhá v jednotkách milisekund. Tím je možno zasáhnout výbuch již v počáteční fázi vzniku.

Potlačení výbuchu je technika, při které se v uzavřené nebo téměř uzavřené nádobě detekuje hoření, výbušné atmosféry a potlačí se v počáteční fázi, s cílem zabránit vzniku škodlivých tlaků.

Řídící a indikační zařízení CIE aktivuje HRD - hasicí jednotku a hasicí látka se v co nejkratším možném čase rozpraší do chráněné nádoby. Výbuch se považuje za potlačený, pokud je buď maximální výbuchový tlak omezen na redukovaný výbuchový tlak, který je nižší než konstrukční pevnost nádoby, nebo šíření plamene je omezeno na maximální stanovenou velikost ve volném prostoru. Maximální výbuchový tlak p_{\max} se obvykle sníží na maximální redukovaný výbuchový přetlak $p_{\text{red,max}}$ typicky mezi 0,2 až 1 bar. Průběh výbuchového tlaku s potlačením a bez potlačení je znázorněn na obrázku č. 38



Obrázek č. 38 – Průběh výbuchového tlaku s potlačením a bez potlačení výbuchu
Základními prvky ochranného zařízení HRD jsou zobrazeny na obrázku č. 42:

1. Vysoce citlivé detektory



Obrázek č. 39– Dynamický tlakový senzor

2. Láhev s hasivem a rozprašovací hubice

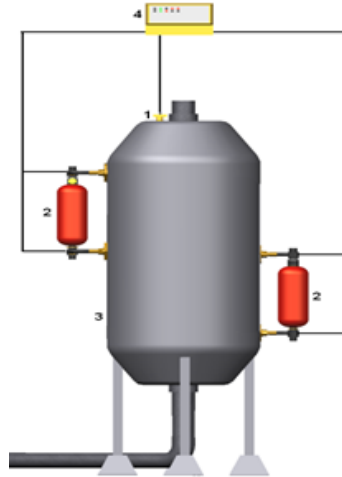


Obrázek č. 40 – Láhev s hasivem



Obrázek č. 41 – Rozprašovací hubice

- 3. Chráněné zařízení
- 4. Řídicí ústředna



Obrázek č. 42 – Instalace HRD systému na chráněné nádobě

Pro nejběžnější aplikace potlačení výbuchu se stanoví maximální redukováný výbuchový tlak $p_{\text{red,max}}$, který může vzniknout v nejhorsím případě. Účinné potlačení výbuchu je možné zajistit za předpokladu, že tento redukováný výbuchový přetlak je nižší, než je konstrukční pevnost technologického zařízení a dále za předpokladu, že potlačení je dosaženo s dostatečnou mírou bezpečnosti.

Praktická ukázka návrhu HRD systému a následně jeho aplikace v praxi je znázorněna na obrázku č. 43 a č. 44, kde je provedena aplikace HDR systému na filtrační jednotce na odsávání uhlénoho prachu.



Obrázek č. 43 - Návrh HRD zařízení na potlačení exploze na filtrační jednotce na odsávání uhlénoho prachu



Obrázek č. 44 - Realizace HRD zařízení na potlačení exploze na filtrační jednotce na odsávání uhelného prachu

Pro účely stanovení účinnosti musí být nebezpečí výbuchu definováno jako reprezentativní nejhorší případ výbuchu, který může vzniknout při iniciaci v ohroženém sektoru. Prvním krokem pro určení nejhoršího případu výbuchu musí být stanovení výbuchových vlastností paliva.

Minimálním kritériem pro účinnost systému pro potlačení výbuchu musí být, že redukovaný tlak při potlačeném výbuchu musí být nižší, než je známá tlaková odolnost nejslabšího komponentu chráněného zařízení.

Účinnost systému pro potlačení výbuchu závisí na:

- a) objem nádoby (volný objem, V);
- b) tvar nádoby (povrchová plocha a poměr délky /výšky/ k průměru);
- c) výbušná látka (plyn, prach, hořlavé kapaliny, jejich směsi);
- d) homogenita a vnitřní turbulence výbušné atmosféry;
- e) turbulence způsobená interakcí čela plamene s vnitřními překážkami a odraženými tlakovými vlnami;
- f) počáteční tlak;
- g) teplotní podmínky;
- h) výbuchové parametry výbušné látky:
 - 1) maximální výbuchový tlak, p_{\max} ;
 - 2) maximální konstanta výbuchu, K_{\max} ;
 - 3) rychlost hoření;
 - 4) minimální teplota vznícení, MIT.
- i) hasicí látka:
 - 1) druh hasicí látky;
 - 2) hmotnost rozprášené hasicí látky;
 - 3) účinnost potlačení hasicí látky.
- j) detekce – účinný systém aktivace tlaku, p_a ;
- k) HRD – hasicí jednotka:
 - 1) počet HRD hasicích jednotek, N_s ;
 - 2) objem HRD hasicí jednotky, V_s ;
 - 3) průměr výfuku HRD hasicí jednotky, D_s ;
 - 4) otevírací doba HRD hasicí jednotky, t_s ;
 - 5) dávka hasicí látky v HRD hasicí jednotce, M_s ;
 - 6) tlak pro rozprášení hasicí látky, p_s ;
 - 7) rozprašovací zařízení pro HRD hasicí jednotku;
 - 8) umístění HRD hasicí jednotky na nádobě.

Relativní význam každého z těchto parametrů závisí na konkrétní aplikaci.

Stanovení účinnosti daného systému pro potlačení výbuchu vyžaduje systematické zkoušky, při kterých se nezávisle na sobě mění následující proměnné:

- prudkost výbuchu (např. K_{max})
- nastavená úroveň detekce výbuchu
- objemové množství rozprašované hasicí látky
- rozprašovací tlak hasicí látky

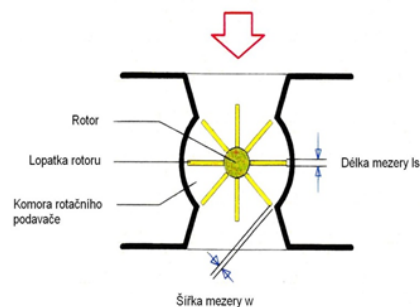
Zařízení na zabránění přenosu výbuchu

Zpravidla je nutné při použití ochranných protivýbuchových opatření v rámci komplexních systémů, uvnitř kterých se vyskytuje nebezpečí výbuchu, z důvodu zabránění přenosu výbuchu systému rozpojit. Rozšíření výbuchu u komplexu přes spojovací potrubí, dopravní systémy případně jiné zařízení, jakož i výšlehu plamene ze zařízení lze rovněž zabránit pomocí rotačních podavačů, rychlouzavíracích ventilů, šoupátek, klapek a odlehčovacích komínů.

Jsou-li tato zařízení řízena detektory, je nezbytné zajistit mezi detektory a prevenčním prvkem odstup tak, aby byla splněna reakční funkce prevenční ochrany.

Přenosu výbuchu lze zabránit použitím ochranných protivýbuchových opatření u komplexních systémů a technologických úseků. Rozšíření výbuchu přes spojovací potrubí, dopravní systémy a jiné prvky, i výšlehu plamene ze zařízení lze zabránit pomocí:

- rotačních podavačů (obrázek č. 45 a č. 46)



Obrázek č. 45 – Schéma rotačního podavače



Obrázek č. 46 – Rotační podavač

- rychlouzavíracích ventilů (obrázek č. 47)



Obrázek č. 47 – Rychlouzavírací ventil

- šoupátek (obrázek č. 48)



Obrázek č. 48 – Rychlouzavírací šoupátko

- klapek (obrázek č. 49 a č 50)



Obrázek č. 49 – Princip funkce zpětné klapky



Obrázek č. 50 – Zpětná klapka

- odlehčovacích komínů (obrázek č. 51 a č 52)



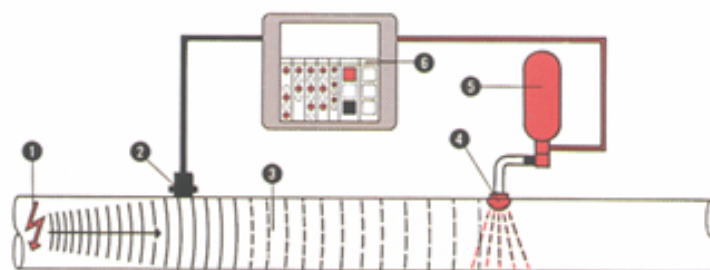
Obrázek č. 51 – Odlehčovací protiexplozivní komín I.



Obrázek č. 52 – Odlehčovací protiexplozivní komín II.

- protiexplozních bariér obrázek č. 53

1. šířící se exploze
2. detektor exploze
3. potrubní úsek
4. hasící hubice
5. tlaková láhev s hasivem
6. řídicí centrála



Obrázek č. 53 – Protiexplozivní bariéra