

Ing. Jan Pohludka
Ing. Jaromír Hrubý

Elektrická zařízení v prostorách s nebezpečím výbuchu hořlavých plynů, par a prachů

(třetí – aktualizované vydání)



www.iisel.com

Internetový Informační Systém pro Elektrotechniky





EX-TECHNIK

sídlo: Na Pečonce 1903/21
710 00 Ostrava, Česká republika
tel.: +420 596 242 548
e-mail: technik@ex-technik.cz



Již více než čtvrt století jsme vaším specialistou pro prostředí s nebezpečím výbuchu!

- EX LED, zářivková, výbojková nebo přenosná svítidla a ruční baterky
- EX svorkové a ovládací skříně, rozvaděče, instalační materiál
- EX pevné i mobilní telefony, optická a akustická signalizace, zařízení MaR
- EX elektrické ohřívače, doprovodné ohřívače, ventilátory
- EX návrhy, dodávky a montáže topných kabelů
- EX servis včetně dodávek náhradních dílů
- EX dodávky systémů nouzových osvětlení, včetně centrálních baterií
- EX spolupráce při tvorbě Protokolů o stanovení vnějších vlivů a prostředí
- EX rekonstrukce manipulační techniky pro použití v prostředích s nebezpečím výbuchu



ex-technik.cz

Ing. Jan Pohludka
Ing. Jaromír Hrubý

Elektrická zařízení v prostorách s nebezpečím výbuchu hořlavých plynů, par a prachů

(třetí – aktualizované vydání)

Text k inzerátu na první straně obálky:

Celosvětově aktivní firma FINDER s více než 60letou tradicí výroby elektrotechnických a elektronických přístrojů:

pro spínání:

- relé do plošných spojů
- průmyslová relé
- reléové vazební členy
- polovodičová relé

pro ovládání a kontrolu:

- relé s nuceně vedenými kontakty
- časová relé
- elektronické elektroměry
- kontrolní a měřicí relé
- snímače hladiny
- spínané napájecí zdroje
- přepětové ochrany
- termostaty a hydrostaty

pro instalace budov:

- impulzně ovládané spínače
- soumrakové spínače
- pohybová čidla
- schodišťové automaty
- spínací hodiny
- stmívače
- modulární stykače

pro drážní aplikace

pro fotovoltaické aplikace

**přístroje sběrnicevého systému KNX,
přístroje automatizačního systému YESLY
pro ovládání technologií domů a budov**

Kontakt:

Finder CZ, s. r. o., Radiová 1567/2 b, 102 00 Praha 10
tel.: 286 889 504, fax: 286 889 505
finder.cz@findernet.com, www.findernet.com

**Elektrická zařízení
v prostorách s nebezpečím výbuchu
hořlavých plynů, par a prachů**
(třetí – aktualizované vydání)



Moravský svaz elektrotechniků

Geislerova 3, 615 00 Brno,

Sekretariát:

Tel.: +420 548 533 850

Mobil: +420 602 520 975

URL: <http://www.mssebrno.cz>

e-mail: sekretariat@mssebrno.cz

Školení elektrotechniků

- Novinka!** - školení a zkoušky § 9 v rozsahu E-4/A „Zkoušky a revize el. spotřebičů“
- přípravu na zkoušky dle vyhlášky č. 50/1978 Sb. ukončené zkouškou
 - přípravný kurz a zkoušky na výkon funkce revizního technika § 9 vyhlášky 50/1978 Sb.
 - opakovací kurz a přezkoušení revizních techniků po 5 letech dle § 9

Organizuje:

- mezinárodní konference
- školení
- Dny nové techniky

Prodává:

- technických norem
- technických pomůcek pro diagnostiku
- odborné literatury
- měřicích přístrojů

Technickou podporu:

- poradenskou činnost
- vypracování znaleckých posudků
- montáže elektrických zařízení na klíč
- revize elektrických zařízení bez omezení napětí
- kalibrace měřicích přístrojů
- vypracování podkladů pro „Prohlášení o shodě“
- příprava pro zavedení systému jakosti ISO 9000/2000
- analýza sítě dle zákona 169/1997 Sb. hodnocení EMC
- elektrotechnickým cechům – živnostenským společenstvím

Oblast určování prostorů s nebezpečím výbuchu hořlavých plynů, par a prachů a konstrukčních a instalačních požadavků pro nevýbušná elektrická zařízení prochází neustálými změnami, které jsou ovlivňovány jak novými technickými znalostmi, tak měnící se legislativou, normami a předpisy.

Třetí vydání této unikátní příručky je aktualizováno podle legislativních předpisů a technických norem, které byly vydány od roku 2012.

Příručka obsahuje praktické rady a poznatky související se zařazováním nebezpečných prostorů, a to jak s nebezpečím výbuchu plynů a par, tak prostorů s nebezpečím výbuchu prachů i prostorů s nebezpečím výbuchu výbušnin.

Obecná část uvádí vlastnosti hořlavých látek, jejich vztah k zařazování prostorů a k jednotlivým typům ochrany před výbuchem. Tato část je doplněna praktickými návody pro určování typu a velikosti jednotlivých zón s nebezpečím výbuchu hořlavých plynů, par a prachů. Obsahuje i řadu příkladů s praktickými výpočty pro konkrétní situace a zařízení. Další část je zaměřena na nové požadavky týkající se konstrukce a neustále se měnícího označování elektrických zařízení pro prostory s nebezpečím výbuchu včetně základních požadavků pro kombinaci strojního a elektrického zařízení v těchto prostorech.

Následují požadavky pro instalaci jednotlivých typů ochrany před výbuchem včetně nových požadavků pro elektrické instalace v prostorech s nebezpečím výbuchu prachů. Zmíněny jsou též zásady pro praktické provádění revizí, oprav a údržby nevýbušných elektrických zařízení.

Nově byla doplněna kapitola týkající se požadavků na elektrická zařízení pro výbušinářské provozy.

Závěrečná část uvádí stručný přehled nejnovějších změn v certifikačních postupech pro zařízení a ochranné systémy určené pro použití v prostorech s nebezpečím výbuchu, a to především ve vztahu k evropské legislativě a mezinárodnímu certifikačnímu systému IECEx.

Příručka je doplněna přílohami s praktickými tabulkami, v nichž jsou uvedeny základní technicko bezpečnostní parametry hořlavých plynů, par a prachů. V závěru je uveden seznam platných i připravovaných norem vztahujících se k dané problematice.

Nově jsou na konci jednotlivých kapitol uvedeny kontrolní otázky včetně stručných odpovědí.

Příručka je určena jak projektantům, montážním firmám a revizním technikům, tak provozovatelům elektrických zařízení v prostorech s nebezpečím výbuchu hořlavých plynů, par a prachů. Zároveň poslouží jako studijní materiál pro přípravu elektrotechniků ke zkouškám odborné způsobilosti pro elektrická zařízení v objektech třídy B.



Partner všech elektrotechniků

www.in-el.cz
obchod.in-el.cz

Vydavatelství odborné literatury

pro elektrotechniky, Normativních dokumentů ESČ, tiskopisu Protokolu o revizích a kontrolách elektrických spotřebičů a elektrického ručního nářadí.

Jako první v České republice vydáváme odborné příručky pro elektrotechniky i v elektronické podobě. **Naše e-knihy** umožňují standardní funkce, jako interaktivní obsah v levém rámci, přímé odkazy v celém textu na zmiňované kapitoly, obrázky, tabulky, přílohy, literaturu, webové stránky. Více na **obchod.in-el.cz**. E-knihy si můžete zakoupit jednotlivě, nebo si můžete pořídit **roční předplatné**, ve kterém máte ke stažení nejen všechny aktuální e-booky našeho vydavatelství, ale i ty, které vyjdou během platnosti vašeho předplatného.

Každý rok vydáváme 3 až 5 nových nebo starších – aktualizovaných příruček.



Tištěná literatura elektro

- Odborné příručky
- Dílenské příručky
- Normativní dokumenty

E-knihy

- Elektronické verze tištěných knih
- Předplatné e-knih

Informační systém iiSEL

- Vzdělávací portál pro elektrotechniky
- Informační servis pro zkoušky elektrotechniků
- Tříměsíční a roční předplatné

Bezpečnostní tabulky nejen pro elektrotechniky

- Značky výstrahy
- Příkazové, zákazové a informační
- Sdružené tabulky

Sledujte nás na sociálních sítích

- facebook.com/vydavatelstvi.INEL
- twitter.com/INELsro
- Zaregistrujte se na **www.in-el.cz** a získáte kompletní přehled v oboru.
- Literaturu a e-knihy koupíte na **obchod.in-el.cz**.

Obsah

1.	ÚVOD	13
2.	PODMÍNKY PRO VZNIK VÝBUCHU, ZÁKLADNÍ ČLENĚNÍ A ZNAČENÍ NEVÝBUŠNÝCH ZAŘÍZENÍ	15
2.1	Fyzikální vlastnosti	15
2.1.1	Výbuch	15
2.1.2	Hořlavá látka	15
2.1.3	Výbušná atmosféra	16
2.2	Klasifikace výbušné atmosféry	25
2.3	Zdroje iniciace	30
2.3.1	Horké povrchy	30
2.3.2	Obecná ochranná opatření pro všechny zóny	31
2.3.3	Plameny a horké plyny	33
2.3.4	Mechanické jiskry	34
2.3.5	Elektrická zařízení	36
2.3.6	Elektrické vyrovnávací proudy a katodické ochrany	36
2.3.7	Ochranná opatření pro zařízení s katodovou ochranou	37
2.3.8	Statická elektřina	38
2.3.9	Ochrana před bleskem	39
2.3.10	Elektromagnetické pole v rozsahu frekvencí 9 kHz až 300 GHz	40
2.3.11	Elektromagnetické záření v rozsahu frekvencí 300 GHz až 300 THz	42
2.3.12	Ionizující záření	43
2.3.13	Ultrazvuk	43
2.3.14	Adiabatická komprese	44
2.3.15	Chemické reakce	44
2.4	Rozdělení do zón	46
2.4.1	Pravděpodobnostní princip hodnocení nebezpečí výbuchu	48
2.4.2	Koncepce ochrany proti výbuchu	49
2.5	Požadavky na zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu	54
2.6	Způsoby označování nevýbušných elektrických zařízení	56
2.6.1	Značení starších elektrických zařízení podle evropských směrnic starého přístupu	58
2.6.2	Značení elektrických zařízení podle americké NEC (National Electric Code)	58
	Kontrolní otázky ke kapitole 2	59
3.	URČOVÁNÍ VNĚJŠÍCH VLIVŮ – PROSTORY S NEBEZPEČÍM VÝBUCHU	63
3.1	Hořlavé plyny a páry hořlavých kapalin	63
3.1.1	Příklady určení typu nebo velikosti zóny	75

3.2	Hořlavé prachy	81
3.2.1	Příklady zařazení prostorů s hořlavým prachem do zón	86
	1. Násypka zásobníku, do které se prach nasypává ručně z pytlů (viz obrázek 23)	86
	2. Násypky zásobníku s odsáváním, do které se prach nasypává ručně z pytlů	87
	3. Odlučování prachu vně budovy	88
	4. Výklopník sudů (200 l) v místnosti bez ventilace (obr. 26)	89
3.3	Výbušniny	89
3.3.1	Dovolené typy elektrických zařízení v jednotlivých zónách	91
	1. Elektrická zařízení pro zónu V1:	91
	2. Elektrická zařízení pro zónu V2:	91
	3. Elektrická zařízení pro zónu V3:	91
	Kontrolní otázky ke kapitole 3	92
4.	KONSTRUKČNÍ POŽADAVKY PRO JEDNOTLIVÉ TYPY OCHRAN PŘED VÝBUCHEM	95
4.1	Pevný závěr „d“	95
4.2	Zajištěné provedení „e“	99
4.3	Závěr s vnitřním přetlakem „p“	102
4.4	Pískový závěr „q“	108
4.5	Olejevý závěr „o“	110
4.6	Zalítí zalévací hmotou (hermetizovaný závěr) „m“	111
4.7	Jiskrová bezpečnost „i“	112
4.8	Ochrana typu „n“	119
4.9	Ochrana zařízení a přenosových systémů používajících optické záření	121
4.10	Bezpečnostní zařízení pro ochrany proti výbuchu	123
	Kontrolní otázky ke kapitole 4	125
5.	INSTALACE V PROSTORÁCH S NEBEZPEČÍM VÝBUCHEM	127
5.1	Instalace v prostorách s hořlavými plyny a párami hořlavých kapalin a hořlavými prachy	127
5.1.1	Výběr podle skupiny a teplotní třídy	128
5.1.2	Volba nevýbušných zařízení podle typu sítě	128
5.1.3	Elektrická ochrana	128
5.1.4	Katodová ochrana kovových částí	129
5.1.5	Volba kabelů pro prostory s nebezpečím výbuchu	129
5.1.6	Ochrana před bleskem	129
5.2	Dodatečné požadavky pro jednotlivé typy ochran	130
5.2.1	Pevný závěr	130
5.2.2	Zajištěné provedení	133
5.2.3	Jiskrová bezpečnost	133



Elektroinstalace v prostorách s nebezpečím výbuchu

Elektroinstalační trubky, lišty a kanály KOPOS



KOPOS elektroinstalační lišty (vkládací, hranaté, bezhalogenové), elektroinstalační kanály s příslušenstvím, ohebné elektroinstalační trubky z PVC, PP a tuhé elektroinstalační trubky z PVC a PC ABS lze montovat do prostoru s nebezpečím výbuchu hořlavých plynů a par zóny 2 a do prostoru s nebezpečím výbuchu hořlavých prachů zóny 22. Provedení instalace musí odpovídat požadavkům ČSN 60079-14.

5.2.4	Závěr s vnitřním přetlakem	134
5.2.5	Instalace zařízení na nádržích	135
5.3	Instalace v prostorech s hořlavými prachy	136
	Kontrolní otázky ke kapitole 5	140
6.	STROJNÍ ZAŘÍZENÍ PRO PROSTORY S NEBEZPEČÍM VÝBUCHU	143
6.1	Hodnocení rizik iniciace	147
	Příklad 1: Hodnocení rizika vznícení pro čerpadlo	147
	Příklad 2: Hodnocení rizika vznícení pro míchadlo	149
	Kontrolní otázky ke kapitole 6	153
7.	REVIZE ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ	155
7.1	Legislativa	155
7.2	Požadavky na kvalifikaci osob provádějících revize	156
7.2.1	Trvalý odborný dozor	156
7.2.2	Odborný personál	157
7.2.2.1	Technik s výkonnou funkcí	157
7.2.2.2	Odborný personál	158
7.3	Revize – není uplatňován režim trvalého odborného dozoru	159
7.3.1	Výchozí revize	159
7.3.2	Periodické revize	159
7.3.3	Výběrová revize	159
7.3.4	Vizuální prohlídka	160
7.3.5	Zběžná prohlídka	160
7.3.6	Detailní prohlídka	160
7.3.7	Doplňující informace k činnostem souvisejícím s prováděním revizí	166
7.3.8	Nejčastější a nejzávažnější závady a nedostatky, které se vyskytují při instalacích nevýbušných zařízení	168
7.4	Opravy a úpravy zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu	170
	Kontrolní otázky ke kapitole 7	177
8.	UVÁDĚNÍ VÝROBKŮ NA TRH	179
8.1	Legislativa	179
	Kontrolní otázky ke kapitole 8	186
9.	ZÁVĚR	187
	PŘÍLOHY	
	Příloha 1 Základní vlastnosti hořlavých prachů (informativní hodnoty)	189
	Příloha 2 Základní vlastnosti hořlavých plynů a par (bezpečné hodnoty)	193
	Použitá literatura	257
	Seznam norem týkajících se konstrukce a instalace v prostorech s nebezpečím výbuchu	257

Konstrukční normy pro nevýbušná elektrická zařízení	257
Normy pro instalaci nevýbušných elektrických zařízení	258
Normy pro analyzátory plynu a kyslíkoměry	258
Normy pro elektrostatická stříkací zařízení	260
Povrchová úprava výrobků (odmašťování, stříkání nátěrových hmot, sušení)	261
Normy pro spalovací motory	262
Normy pro neelektrická zařízení pro prostory s nebezpečím výbuchu	263
Normy pro ochranné systémy v prostředí s nebezpečím výbuchu	264

BARTEC

DODAVATEL
TECHNIKY



PRO NEBEZPEČNÁ
PROSTŘEDÍ

- Analyzátory a měřicí technika
- Automatizační technika
- Elektrotechnika
pro hlubinné doly
- Systémy měření a sběru dat
- Elektrické motory
- Ovládací a spojovací technika
- Elektrické ohřevy



BARTEC s.r.o.

Jana Palacha 743, 278 01 Kralupy nad Vltavou
tel.: +420 313 127 593, fax: +420 315 721 607
bartec@bartec.cz **www.bartec.cz**

Mediační služby FCC PUBLIC

FCC PUBLIC
ELEKTRO ON-LINE SVĚTLA

**Informace z první ruky
v našich časopisech a na webu
kdykoliv, kdekoliv, jakkoliv.**



TECHNICKÝ OBZOR
&



www.odbornecasopisy.cz

Pokračujeme v díle těch, kteří byli první.

Elektrotechnický obzor – zal. 1910, Elektrotechnik – zal. 1946

1. ÚVOD

S nebezpečím výbuchu hořlavých plynů, par, mlhy a prachů se většina lidí setkává zcela běžně ve svém životě, aniž si to vůbec uvědomuje. V omezeném rozsahu vzniká výbušná atmosféra při plnění benzínu do auta, při natírání barvami, při použití ředidel a rozpouštědel, při čištění či odmašťování různých předmětů nebo i v domácnosti při používání plynových spotřebičů.

Tato příručka má za cíl upozornit na možná rizika při používání hořlavých látek, pomoci při hodnocení těchto rizik, ať už při určování prostorů s nebezpečím výbuchu, nebo při výběru vhodného elektrického zařízení pro tyto prostory a při údržbě a revizích těchto zařízení. Cílem zároveň je seznámit čtenáře se základními principy různých typů ochran před výbuchem a uvést základní přehled právních předpisů a norem platných pro uvádění nevýbušných zařízení na trh a do provozu včetně připravovaných změn ve všech těchto oblastech.

Příručka dává vzhledem k široké oblasti pouze základní informace. Další podrobnosti je možno nalézt v literatuře, která je uvedena na konci této příručky nebo přímo ve Fyzikálně technickém zkušebním ústavu v Ostravě – Radvanicích.



Nově máme v nabídce bezpečnostní tabulky



Partner všech elektrotechniků

www.in-el.cz

obchod.in-el.cz

Největší české vydavatelství literatury

a internetový informační servis pro elektrotechniky



Firemní technická školení na míru

Komplexní řešení
zákonného vzdělávání

⚡ ELEKTRO

- Revizní technik elektrických zařízení.
- Školení a přezkoušení dle vyhlášky č. 50/78 Sb., o odborné způsobilosti v elektrotechnice § 4-8 i § 10-11.

🔥 PLYN

- Revizní a zkušební technik plynových zařízení,
- montážní pracovník plynových zařízení,
- obsluha tlakových nádob stabilních, tlakových nádob na plyny.

🚛 ZÁKLADNÍ A OPAKOVANÁ ŠKOLENÍ

- Zdvíhacích zařízení a ramp,
- jeřábníků a vazačů břemen,
- pohyblivých pracovních plošin,
- manipulačních vozíků.

☢️ RADIČNÍ OCHRANA

- Zdravotnická radiologická a průmyslová pracoviště,
- stomatologická a veterinární pracoviště.

🛑 BOZP

- Ve výškách a nad volnou hloubkou,
- v prostředí s nebezpečím výbuchu,
- pravidla při nakládání s vybranými chemickými látkami,
- provozování kontrol skladovacího zařízení.

“
Pohlídáme za Vás
termíny periodických
školení!
”



Váš tým UNIT

2. PODMÍNKY PRO VZNIK VÝBUCHU, ZÁKLADNÍ ČLENĚNÍ A ZNAČENÍ NEVÝBUŠNÝCH ZAŘÍZENÍ

2.1 Fyzikální vlastnosti

Pro bližší pochopení jednotlivých souvislostí je nutno se nejprve seznámit se základními pojmy a s chováním hořlavých látek. Proto jsou v této kapitole uvedeny základní vlastnosti hořlavých látek, které jsou nutné pro správné zařazení prostorů (určení vnějších vlivů), správnou konstrukci a výběr nevýbušných elektrických zařízení a jejich vztah k vnějším podmínkám.

2.1.1 Výbuch

Výbuch lze definovat jako exotermickou chemickou reakci, kdy po prvotním přivedení energie již reaguje hořlavá látka s kyslíkem samovolně tak, že se zvyšuje její teplota, tlak nebo obě veličiny. Rozlišují se dvě základní formy výbuchu.

Deflagrace, kdy je rychlost reakce nižší než rychlost šíření zvuku v daném prostředí a **detonace**, kdy je rychlost reakce vyšší než je rychlost zvuku v daném prostředí. Specifickou vlastností detonace je vytvoření takzvané detonační tlakové vlny o tlaku řádově jednotek MPa, která se šíří prostředím rychlostí kolem 2 000 m/s. Detonace se však v praxi vyskytuje pouze v uzavřených systémech charakteru potrubí; je třeba ji zohlednit při umístění protiexplozních pojistek – podrobný návod na instalaci těchto ochranných systémů lze nalést v TNI CEN/TR 16793.

2.1.2 Hořlavá látka

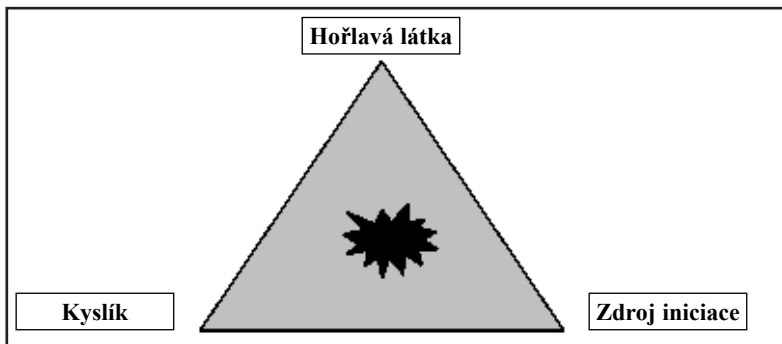
Za hořlavou látku se považuje látka ve formě plynu, páry, kapaliny, pevné látky nebo jejich směsí, která může v případě iniciace vyvolat se vzduchem exotermní reakci.

Aby došlo k výbuchu, je nutno splnit současně tři podmínky:

- musí být přítomna hořlavá látka,
- musí být přítomen kyslík,
- musí být přítomen zdroj iniciace.

Toto pravidlo se vztahuje na převážnou část hořlavých látek. Existují však skupiny tak zvaných nestabilních látek, u nichž může dojít k výbuchu z titulu chemických reakcí, a to i bez přítomnosti vzdušného kyslíku. Za takové lze považovat například reakci vodíku s chlórem nebo reakce oxidů acetylénu nebo etylénu.

Podmínky výbuchu lze znázornit na obr. 1.



Obr. 1 Výbuchový trojúhelník – podmínky nutné pro vznik výbuchu

2.1.3 Výbušná atmosféra

Za výbušnou atmosféru je považována taková směs vzduchu a hořlavé látky při atmosférických podmínkách, ve které se po iniciaci rozšíří reakce hoření do celého nespáleného objemu směsi.

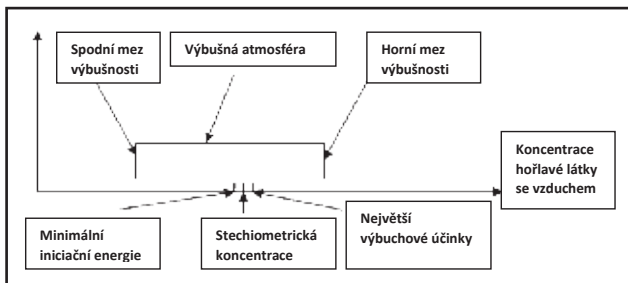
Výbušná atmosféra se může vyskytovat a tím vstupovat do reakce za různých atmosférických podmínek. Proto bylo nutno definovat takzvané standardní podmínky, k nimž se vztahují obecně všechny pojmy a hodnoty související s výbuchem a zároveň i zkušební podmínky nebo normy, týkající se zařízení určených do prostředí s nebezpečím výbuchu. Za standardní atmosférické podmínky se považují teploty výbušné směsi v rozmezí -20 až $+40$ °C a tlaku od 80 do 110 kPa. Pokud se výbušná směs nachází mimo rozsah standardních podmínek, její chování je nutno určovat experimentálně a rovněž zařízení, určená pro práci v takové výbušné atmosféře, je nutno individuálně ověřovat. Typickým příkladem jsou elektrická zařízení pro teploty pod -20 °C.

Jak bylo uvedeno v předchozích odstavcích, pro vznik výbuchu je nezbytná jednak hořlavá látka a jednak kyslík obsažený ve vzduchu. Každá chemická reakce probíhá za určitých slučovacích poměrů nebo koncentrací. Koncentrace se uvádí většinou v objemových procentech hořlavé látky se vzduchem u plynů (% V/V) nebo jako absolutní hmotnost na objem vzduchu (g/m^3) u hořlavých kapalin, jejich par a prachů. Je nutno si uvědomit, že hodnoty uváděné v tabulkách jsou zjišťovány experimentálně standardizovanou metodou pro teplotu 20 °C a atmosférický tlak.

Standardně uváděné údaje, jako je např. spodní nebo horní mez výbušnosti nebo dolní a horní bod výbušnosti, minimální iniciační energie, parametry výbuchového tlaku, se v závislosti na okolních podmínkách značně mění a nelze je brát jako konstanty. Těmito podmínkami je jednak skutečná koncentrace hořlavé látky se vzduchem a jednak počáteční tlak nebo teplota výbušné směsi v okamžiku iniciace. Jako relativní veličina vyjadřující koncentraci se používá pojem Stechiometrická koncentrace. Je to vypočitatelná hodnota koncentrace v objemových procentech hořlavé látky se vzduchem, kdy při exotermní reakci dojde k optimálnímu spálení směsi (po reakci nezbude ani žádný nespálený zbytek hořlavé látky, ani žádný zbytek kyslíku).

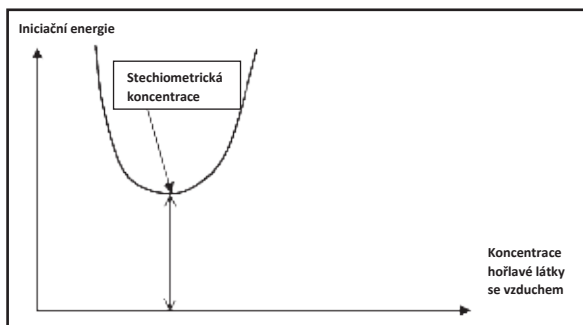
Závislosti výbuchového parametrů na vnějších vlivech a koncentraci jsou uvedeny pro názornost v následujících obrázcích.

Pojmy vztahující se ke koncentraci hořlavé látky se vzduchem jsou uvedeny na obr. 2.



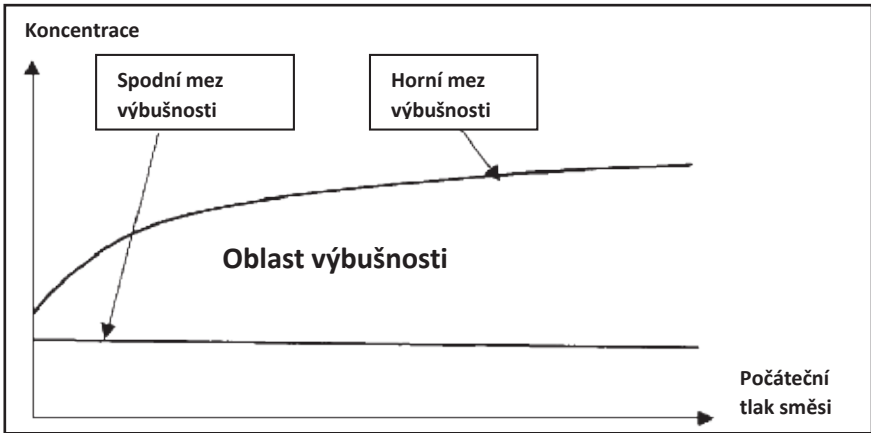
Obr. 2 Koncentrace charakterizující vlastnosti látky

Na obr. 3 je pro bližší vysvětlení zobrazena závislost minimální iniciační energie na objemové koncentraci hořlavé látky se vzduchem při stechiometrické koncentraci.



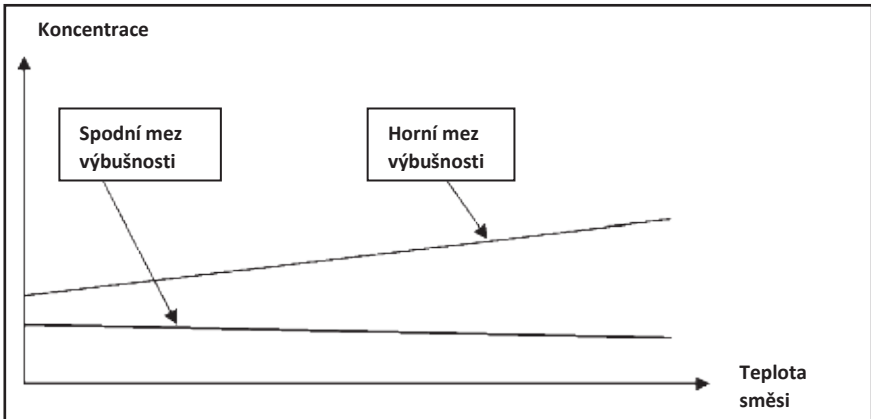
Obr. 3 Závislost minimální iniciační energie na koncentraci hořlavé látky

Minimální iniciační energie se pohybují u plynů v řádu od setiny do desetin mJ. Pro páry hořlavých kapalin je minimální iniciační energie v řádu desetin mJ. U hořlavých prachů se pohybují iniciační energie od jednotek po tisíce mJ. Na obr. 4 je vynesena závislost dolní a horní meze výbušnosti na tlaku výbušné směsi.



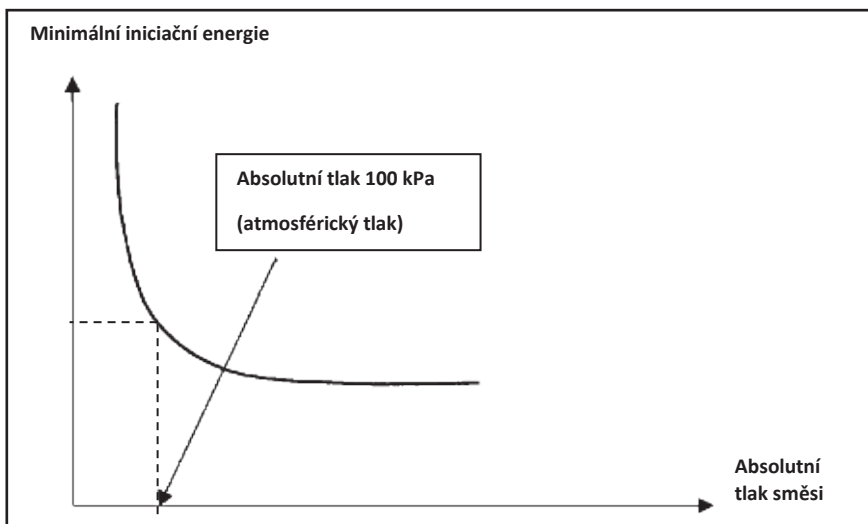
Obr. 4 Závislost dolní a horní meze výbušnosti na tlaku směsi před výbuchem

Horní a spodní meze výbušnosti se mění i v závislosti na teplotě výbušné atmosféry. Tato závislost je uvedena na obr. 5.



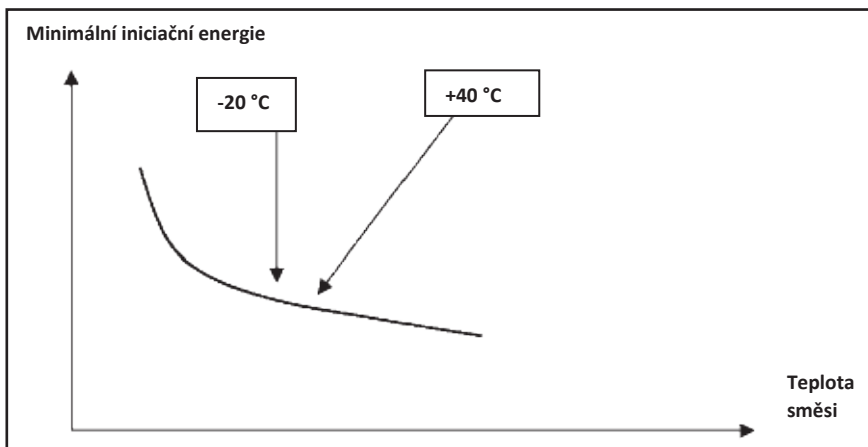
Obr. 5 Závislost dolní a horní meze výbušnosti na teplotě směsi před výbuchem

S parametry výbušné atmosféry (počátečními parametry) se mění i minimální zápalná energie směsi (viz obr. 6).



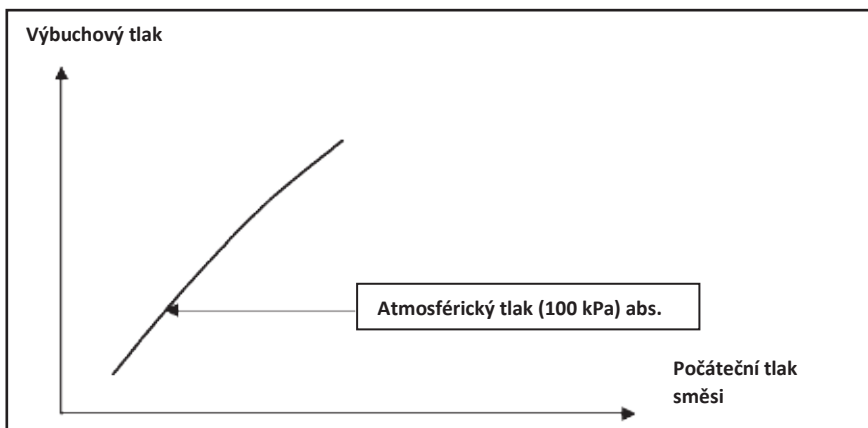
Obr. 6 Závislost minimální iniciační energie na tlaku směsi před výbuchem

Minimální iniciační energie je závislá i na teplotě výbušné atmosféry, což ilustruje obr. 7.



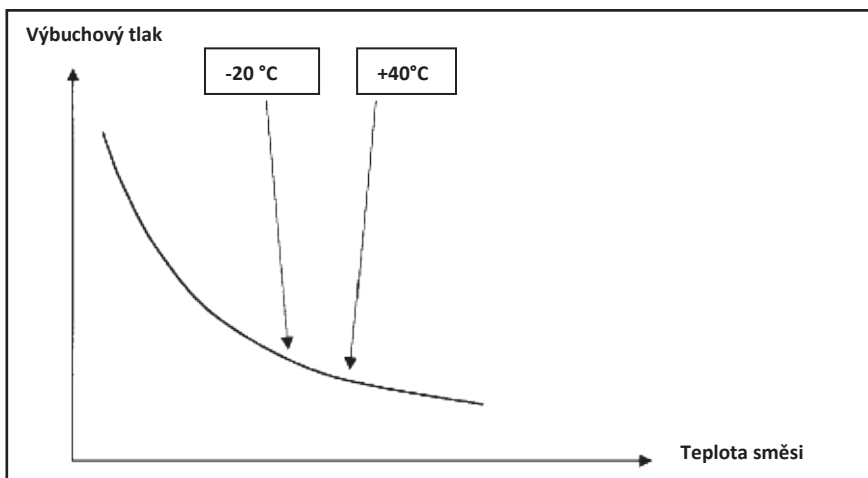
Obr. 7 Závislost minimální iniciační energie na teplotě směsi před výbuchem

S teplotou a tlakem výbušné atmosféry souvisí i výbuchové tlaky v uzavřeném prostoru (maximum explosion pressure). Obr. 8 ukazuje závislost výbuchového tlaku na počátečním tlaku výbušné atmosféry.



Obr. 8 Závislost výbuchového tlaku na počátečním tlaku směsi před výbuchem

Na velikost výbuchového tlaku má přirozeně vliv i počáteční teplota výbušné atmosféry. Obecná závislost je uvedena na obr. 9.



Obr. 9 Závislost výbuchového tlaku na počáteční teplotě směsi před výbuchem

Další fyzikální vlastnosti související s iniciací výbušné atmosféry jsou:

Bod vzplanutí: uvádí se u hořlavých kapalin a vyjadřuje minimální teplotu, při které kapalina nad svou hladinou vytváří dostatečné množství par (koncentrace na dolní mezi výbušnosti) tak, aby po přivedení zdroje iniciace mohlo dojít ke vznícení (flash point). Jestliže je teplota kapaliny s určitou teplotní rezervou pod bodem vzplanutí, není možno páry hořlavé kapaliny díky jejich nízké koncentraci přivést k výbuchu.

Podle bodu vzplanutí se dají zatřídit hořlavé kapaliny do skupin v závislosti na jejich schopnosti vytvářet výbušnou směs par se vzduchem. Je-li bod vzplanutí určován v přístroji s uzavřeným kelímkem, leží zpravidla jen několik stupňů celsia nad spodním bodem výbušnosti. Oproti tomu je-li určován v přístroji s otevřeným kelímkem, často leží daleko nad spodním bodem výbušnosti, protože vývin směsí nasycených par se vzduchem se mísí se vzduchem. Proto, vycházejí z tohoto pravidla, jsou všechny údaje o bodu vzplanutí uváděny pro přístroj s uzavřeným kelímkem (pokud není vysloveně uvedeno jinak).

Hustota: hustota látky je podílem hmotnosti a objemu látky. Především u plynů a par je hustota funkcí tlaku a teploty. U nasypaného prachu závisí hustota kromě jiného také na způsobu sypání a velikosti zrn (g/cm^3).

Relativní hustota: poměrná hustota (plyny a páry) je hustota dané látky ve formě plynu nebo páry vztažená k hustotě vzduchu za stejných podmínek (vzduch = 1).

Výbušná atmosféra: je směs plynů, par, aerosolů a/nebo prachů se vzduchem schopná výbuchu včetně obvyklých přímísenin (např. vlhkosti) za atmosférických podmínek. Atmosférické podmínky jsou definovány tlakem 0,8 až 1,1 barů a teplotou v rozsahu -20 až $+60$ °C.

Meze výbušnosti: meze, vyjádřené obvykle v objemových procentech koncentrace se vzduchem, ve kterých je směs výbušná.

Body výbušnosti: horní bod výbušnosti, resp. spodní bod výbušnosti hořlavé kapaliny je teplota, při které koncentrace nasycených par ve směsi se vzduchem dosáhne přibližně spodní, resp. horní meze výbušnosti. U čistých látek a azeotropních směsí se dají s pomocí bodů výbušnosti a křivky parciálních tlaků určit meze výbušnosti.

Maximální výbuchový tlak (p_{max}): maximální zjištěná hodnota tlaku, který vznikne při výbuchu výbušné směsi v uzavřené nádobě za předepsaných zkušebních podmínek.

Maximální rychlost nárůstu tlaku $[(dp/dt)_{\text{max}}]$: maximální zjištěná hodnota nárůstu tlaku, který vznikne výbuchem výbušné směsi v uzavřené nádobě za předepsaných zkušebních podmínek. Protože tato hodnota je závislá na velikosti zkušební nádoby (kubický zákon), údaje o maximálním nárůstu tlaku uváděné bez udání velikosti objemu jsou z technického pohledu nedostatečné. Proto je zavedena konstanta vztažená na objem 1 m^3 (bar.m/s). Pro plyny a páry se označuje K_G , pro prachy se udává jako K_{St} .

Minimální iniciační energie (MIE): je to nejmenší elektrická energie nahromaděná v kondenzátoru za předepsaných zkušebních podmínek, která je při vybití schopná zapálit výbušnou atmosféru. Při stanovování MIE u prachovzdušných směsí se používá namísto kapacitní jiskry většinou jiskry induktivní.

Minimální zápalná teplota vrstvy prachu: je za předepsaných zkušebních podmínek nejnižší zjištěná teplota horkého povrchu, při které dojde k zapálení usazené vrstvy prachu.

Minimální zápalná teplota rozvířeného prachu: je za předepsaných zkušebních podmínek nejnižší zjištěná teplota horkého povrchu, při které dojde ke vznícení hořlavé směsi oblaku prachu se vzduchem.

Minimální teplota vznícení výbušné atmosféry: je nejnižší teplota vznícení plynů, par nebo hořlavých kapalin nebo rozvířeného prachu, zjištěná za předepsaných zkušebních podmínek.

Maximální experimentální bezpečná spára (MESG): je největší spára mezi dvěma částmi vnitřní komůrky zkušebního zařízení, která při zapálení plynné směsi, nacházející se uvnitř komůrky za předepsaných zkušebních podmínek, zabrání tomu, aby přes spáru dlouhou 25 mm došlo k zapálení plynné směsi nacházející se vně komůrky, a to pro všechny hodnoty koncentrace ověřovaného plynu nebo par se vzduchem. Maximální experimentální bezpečná spára je jednou z vlastností příslušné směsi plynu se vzduchem.

Tlak nasycené páry: je tlak páry látky, který je v rovnováze s její kapalnou (nebo i pevnou) fází. Sám o sobě závisí na teplotě a je vyjádřen křivkou tlaku nasycených par konkrétní látky v závislosti na teplotě – parciální tlak.

Mezní koncentrace kyslíku (LOC): je maximální koncentrace kyslíku ve směsi hořlavé látky se vzduchem a inertním plynem (zjištěné za předepsaných zkušebních podmínek), při které ještě nedojde ke vzniku výbuchu. Hodnota LOC závisí rovněž na použitém intertním plynu.

Bod tání: je nejnižší teplota, při které se z prachu vyvíjejí produkty v plynné fázi nebo ve fázi par (karbonizační plyn) v takovém množství, že je lze již pomocí malého plamínku zapálit.

Samovznícení prachu: je zapálení prachu ve vrstvě vyvolané tím, že množství tepla vznikajícího oxidační nebo rozkladnou reakcí uvnitř prachu je větší než teplo, které je schopno odebrat okolí.

Rychlost vypařování: je poměr rychlosti vypařování ověřované kapaliny za předepsaných zkušebních podmínek k rychlosti vypařování dietyleru jako referenční kapaliny nebo častěji k rychlosti vypařování n-butylacetátu.

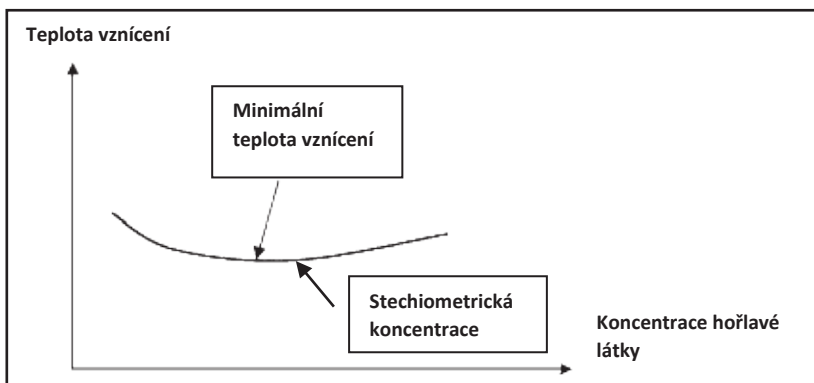
Vlastnosti hořlavých látek, které jsou relevantní pro stanovení opatření proti výbuchu a které je možno nalézt v různých tabulkách nebo databázích, jsou shrnuty v tabulce 1.

Tab. 1 Potřebné charakteristiky pro jednotlivé látky

Vlastnost	Plyn	Aerosol	Páry kapalin	Prach rozvířený	Prach usazený
Spodní mez výbušnosti [% V/V] nebo [g/m ³]	X		X	X	
Horní mez výbušnosti [% V/V]	X		X		
Spodní bod výbušnosti [°C]			X		
Horní bod výbušnosti [°C]			X		
Bod vzplanutí [°C]			X		
Min. teplota vznícení [°C]	X	X	X	X	X
Skupina výbušnosti (IIA, IIB, IIC)	X	X	X		
Skupina prachů (IIIA, IIIB, IIIC)					X
Max. výbuchový tlak [MPa; bar]	X	X	X	X	
Max. nárůst výb. tlaku [MPa/s; bar/s]	X		X	X	

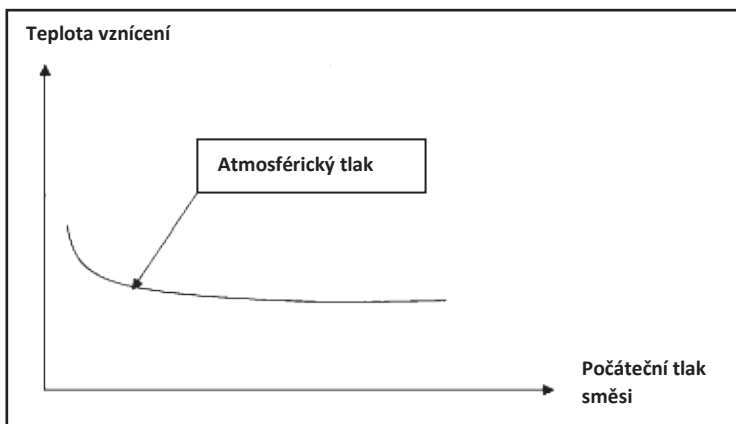
Vlastnost	Plyn	Aerosol	Páry kapalin	Prach rozvířený	Prach usazený
Výb. konstanta K_{St} nebo K_G [bar.m/s]	X		X	X	
Hustota [g/cm^3]	X		X		
Relativní hustota ke vzduchu [-]	X		X		
Bod tání [$^{\circ}C$]					X
Parciální tlak /Tlak nasycených par [kPa]			X		
Min. iniciační energie [mJ]	X	X	X	X	
Max. experimentální spára MESG [mm]	X	X	X		
Mezní koncentrace kyslíku [% V/V]	X	X	X	X	
Koncentrace nasycení [g/m^3]			X		
Rychlost vypařování [$g/m^2 \cdot min$]			X		
Samovznícení prachu [mm]					X
Zrnitost prachu [μm]				X	X

Teploty vznícení nejsou konstantní hodnoty a závisí na koncentraci výbušné atmosféry, což je pro ilustraci uvedeno na obr. 10. U většiny látek dojde ke vznícení při koncentraci o něco nižší než je stechiometrická koncentrace.



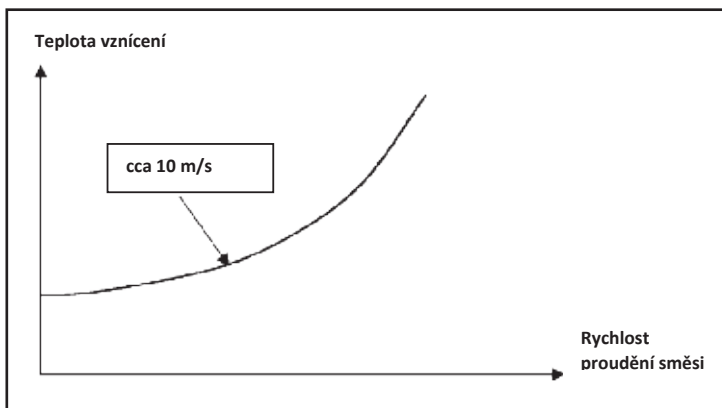
Obr. 10 Závislost teploty vznícení na koncentraci hořlavé látky

Teplota vznícení rovněž závisí na počátečním tlaku výbušné atmosféry. Její vliv je zobrazen na obr. 11.



Obr. 11 Závislost teploty vznícení na počátečním tlaku směsi před výbuchem

V neposlední řadě závisí teplota vznícení i na rychlosti proudění výbušné atmosféry. Tato závislost je zobrazena na obr. 12.



Obr. 12 Závislost teploty vznícení na rychlosti proudění směsi

Jak je vidět z uvedených obrázků, jsou vstupní parametry pro iniciaci též výbušné atmosféry značně závislé na okolních podmínkách. Těmi je objem, velikost a tvar horkého povrchu. Navíc se závislosti odlišují i podle konkrétní výbušné atmosféry, tedy podle konkrétní hořlavé látky. Úmyslně proto nejsou uváděné závislosti kvantifikovány. V každém případě je však nutno si tyto souvislosti uvědomovat při práci s údaji získanými z různých tabulek nebo z literatury, kde jsou uváděny hodnoty zjištěné laboratorně za standardizovaných podmínek tvaru povrchu, objemu a velikosti horké plochy.

Velmi užitečným pramenem o fyzikálních vlastnostech hořlavých látek je český překlad tabulek Steinleitner a kol. *Požárně a bezpečnostně technické charakteristické hodnoty nebezpečných látek*, vydaný Svazem požární ochrany ČSSR v roce 1990.

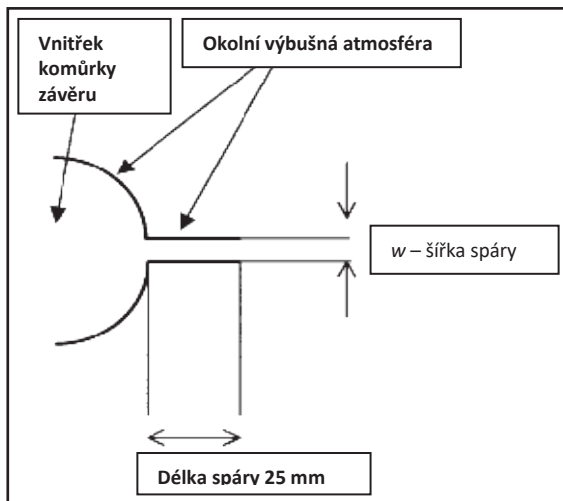
Je nutno rovněž zdůraznit, že chování výbušné směsi závisí i na její homogenitě a stupni disperze hořlavých látek. Dostatečný stupeň disperze vykazují přirozeně směsi plynů se vzduchem nebo i par hořlavých kapalin se vzduchem. U aerosolů nebo prachů se pro vytvoření výbušné atmosféry považují za dostatečné částice o velikosti menší než 0,5 mm. Proto u aerosolů hořlavých kapalin platí, že mohou vytvářet výbušnou atmosféru i v případech, kdy se jejich teplota nachází pod dolním bodem výbušnosti a namísto par je atmosféra tvořena malými částicemi kapalin – aerosolem.

Meze výbušnosti nehrají v praxi příliš velkou roli u prachovzdušných směsí, které jsou velmi nehomogenní a vždy je nutno počítat s tím, že se nacházejí v určitém prostoru a čase v takových koncentracích, že jsou schopné výbušnou atmosféru vytvořit. Toto je nutno brát v úvahu i tam, kde se hořlavý prach nachází za normálních podmínek v usazeném stavu a kde nelze vyloučit jeho rozvíření.

2.2 Klasifikace výbušné atmosféry

Protože existuje velké množství hořlavých látek, ať už ve formě směsí plynů, par nebo prachů se vzduchem, je nezbytné je rozřídít podle určitých charakteristických vlastností. První rozdělení pro plyny a páry je do skupin výbušnosti. Ty jsou charakterizovány maximální experimentální bezpečnou spárou (MESG) nebo minimálním zápalným proudem (MIC).

Maximální experimentální spára je chápána jako referenční hodnota. Zjišťuje se experimentálně na zkušebním zařízení podle ČSN EN 60079-20-1 a je definována jako maximální šířka rovinné spáry o délce 25 mm, která zamezí přenesení výbuchu pro jakoukoliv koncentraci dané směsi hořlavého plynu nebo páry se vzduchem. Jak uvnitř zkušební koule (objem 20 cm³), tak v okolí, se nachází výbušná směs o stejné koncentraci.



Obr. 13 Stanovení maximální bezpečné experimentální spáry (MESG)