KNIŽNICE
ELEKTRO
SVAZEK 92

Ing. Jan Pohludka
Ing. Jaromír Hrubý

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

(druhé – aktualizované vydání)

www.iisel.com
Internetový Informační Systém pro Elektrotechniky
iiSEL®
IN-EL®

Nevýbušný sortiment Ex
do prostředí s nebezpečím výbuchu

- optická a akustická signalizační zařízení
- ochranné hadice
- osvětlení
- příslušenství

AXIMA
elektrotechnický materiál

AXIMA, spol. s r. o.
Vídeňská 125, Brno
tel.: +420 547 424 021
obchod@axima.cz

www.axima.cz

20 years of power

GENERI, s.r.o.

Uničovská 50,
787 01 Šumperk,
Tel.: +420 583 221 500
E-mail: obchod@generi.cz

NEVÝBUŠNÉ ELEKTRICKÉ PŘÍSTROJE VÝVOJ, VÝROBA
- SVORKOVNICOVÉ SKŘÍNĚ
- OVLÁDACÍ A INDIKAČNÍ SKŘÍNĚ
- ROZVADĚČE

NEVÝBUŠNÁ SVÍTIDLA
- VÝPOČET OSVĚTLENÍ, DODÁVKY

NEVÝBUŠNÉ ZÁSUVKY A VIDLICE

DOPROVODNÉ TOPNÉ SYSTÉMY
- NÁVRH, DODÁVKA, INSTALACE

OCHRANNÉ SKŘÍNĚ A OHŘEVY PRO MaR
- DODÁVKY

www.generi.cz

ISO 9001

Ex-TECHNIK

Ex-TECHNIK s.r.o.

sídlo: Na Pečonce 1903/21
710 00 Slezská Ostrava
Česká republika

tel.: +420 596 242 548
fax: +420 596 242 551
e-mail: technik@ex-technik.cz

Již více než dvacet let **jsme** Vaším
specialistou pro prostředí s nebezpečím výbuchu !

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

Našimi partnery jsou:

SCHNIEWINDT
ecom instruments mobile experts
STAHL
THERMON
WIKA
RMG
AD VIGANO
flexa
FUNKE+HUSTER·FERNSIG

Těšíme se na další spolupráci s Vámi!

www.ex-technik.cz

Ing. Jan Pohludka
Ing. Jaromír Hrubý

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

(druhé – aktualizované vydání)

Text k inzerátu na první straně obálky

Mezinárodní firma FINDER s téměř 60tiletou tradicí výroby elektrotechnických a elektronických přístrojů:

pro spínání:
– relé do plošných spojů
– průmyslová relé
– vazební členy

pro ovládání a kontrolu:
– relé s nuceně vedenými kontakty
– časová relé
– elektroměry
– kontrolní a měřicí relé
– snímače hladiny
– napájecí zdroje
– přepěťové ochrany
– polovodičová relé

pro instalace budov:
– impulzně ovládané spínače
– soumrakové spínače
– pohybová čidla
– schodišťové automaty
– spínací hodiny
– stmívače
– modulární stykače

pro drážní aplikace

pro fotovoltaické aplikace

Kontakt:
Finder CZ, s. r. o., Hostivařská 92/6, 102 00 Praha 10
tel. 286 889 504, fax: 286 889 505
findernet.cz@findernet.com www.findernet.com

ISBN 978-80-86230-90-0

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

(druhé – aktualizované vydání)

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.

Druhé vydání této unikátní příručky je aktualizováno podle legislativních předpisů a technických norem, které byly vydány od roku 2001.

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.

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 ochran před výbuchem včetně nových požadavků pro elektrické instalace v prostorách s nebezpečím výbuchu prachů. Zmíněny jsou též zásady pro praktické provádění revizí, oprav a údržby nevýbušných elektrických zařízení.

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 prostorách 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.

© IN-EL, Praha, 2013

OBSAH

1.	**ÚVOD**	9
2.	**PODMÍNKY PRO VZNIK VÝBUCHU, ZÁKLADNÍ ČLENĚNÍ A ZNAČENÍ NEVÝBUŠNÝCH ZAŘÍZENÍ**	9
2.1	**Fyzikální vlastnosti**	9
2.1.1	Výbuch	9
2.1.2	Hořlavá látka	10
2.1.3	Výbušná atmosféra	10
2.2	**Klasifikace výbušné atmosféry**	19
2.3	**Zdroje iniciace**	23
2.3.1	Horké povrchy	23
2.3.2	Obecná ochranná opatření pro všechny zóny	24
2.3.3	Plameny a horké plyny	26
2.3.4	Mechanické jiskry	27
2.3.5	Elektrická zařízení	29
2.3.6	Elektrické vyrovnávací proudy a katodické ochrany	29
2.3.7	Ochranná opatření pro zařízení s katodovou ochranou	30
2.3.8	Statická elektřina	31
2.3.9	Ochrana před bleskem	32
2.3.10	Elektromagnetické pole v rozsahu frekvencí 9 kHz až 300 GHz	32
2.3.11	Elektromagnetické záření v rozsahu frekvencí 300 GHz až 300 THz	34
2.3.12	Ionizující záření	35
2.3.13	Ultrazvuk	36
2.3.14	Adiabatická komprese	36
2.3.15	Chemické reakce	36
2.4	**Rozdělení do zón**	38
2.4.1	Pravděpodobnostní princip hodnocení nebezpečí výbuchu	40
2.4.2	Koncepce ochrany proti výbuchu	41
2.5	**Požadavky na zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu**	46
2.6	**Způsoby označování nevýbušných elektrických zařízení**	47
2.6.1	Značení starších elektrických zařízení podle evropských směrnic starého přístupu	49

2.6.2 Značení elektrických zařízení podle americké NEC (National Electric Code) 50

Kontrolní otázky ke kapitole 2 51

3. URČOVÁNÍ VNĚJŠÍCH VLIVŮ – PROSTORY S NEBEZPEČÍM VÝBUCHU 55

3.1 Hořlavé plyny a páry hořlavých kapalin 55

3.1.1 Příklady určení typu nebo velikosti zóny 61

3.2 Hořlavé prachy 66

3.2.1 Příklady zařazení prostorů s hořlavým prachem do zón 72

3.3 Výbušniny 74

3.3.1 Dovolené typy elektrických zařízení v jednotlivých zónách 75

Kontrolní otázky ke kapitole 3 76

4. KONSTRUKČNÍ POŽADAVKY PRO JEDNOTLIVÉ TYPY OCHRAN PŘED VÝBUCHEM 79

4.1 Pevný závěr „d“ 79

4.2 Zajištěné provedení „e“ 81

4.3 Závěr s vnitřním přetlakem „p“ 86

4.4 Pískový závěr „q“ 91

4.5 Olejový závěr „o“ 92

4.6 Zalití zalévací hmotou (hermetizovaný závěr) „m“ 93

4.7 Jiskrová bezpečnost „i“ 94

4.8 Ochrana typu „n“ 101

4.9 Ochrana zařízení a přenosových systémů používajících optické záření 103

4.10 Bezpečnostní zařízení pro ochranu proti výbuchu 104

Kontrolní otázky ke kapitole 4 106

5. INSTALACE V PROSTORÁCH S NEBEZPEČÍM VÝBUCHU 109

5.1 Instalace v prostorách s hořlavými plyny a párami hořlavých kapalin a hořlavými prachy 109

5.1.1 Výběr podle skupiny a teplotní třídy 110

5.1.2 Volba nevýbušných zařízení podle typu sítě 110

5.1.3 Elektrická ochrana 110

5.1.4 Katodová ochrana kovových částí 111

5.1.5 Volba kabelů pro prostory s nebezpečím výbuchu 111
5.1.6 Ochrana před bleskem 111

5.2 Dodatečné požadavky pro jednotlivé typy ochran 112
5.2.1 Pevný závěr 112
5.2.2 Zajištěné provedení 115
5.2.3 Jiskrová bezpečnost 115
5.2.4 Závěr s vnitřním přetlakem 116
5.2.5 Instalace zařízení na nádržích 117

5.3 Instalace v prostorách s hořlavými prachy 117
Kontrolní otázky ke kapitole 5 122

6. STROJNÍ ZAŘÍZENÍ PRO PROSTORY S NEBEZPEČÍM VÝBUCHU 125
6.1 Hodnocení rizik iniciace 128
Kontrolní otázky ke kapitole 6 132

7. REVIZE ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ 133
7.1 Legislativa 133

7.2 Požadavky na kvalifikaci osob provádějících revize 134
7.2.1 Trvalý odborný dozor 134
7.2.2 Odborný personál 135
7.2.2.1 Technik s výkonnou funkcí 135
7.2.2.2 Odborný personál 136

7.3 Revize – není uplatňován režim trvalého odborného dozoru 137
7.3.1 Výchozí revize 137
7.3.2 Periodické revize 137
7.3.3 Výběrová revize 137
7.3.4 Vizuální prohlídka 137
7.3.5 Zběžná prohlídka 138
7.3.6 Detailní prohlídka 138
7.3.7 Doplňující informace k činnostem souvisejícím s prováděním revizí 142
7.3.8 Nejčastější a nejzávažnější závady a nedostatky, které se vyskytují při instalacích nevýbušných zařízení 143

7.4 Opravy a úpravy zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu 145
Kontrolní otázky ke kapitole 7 150

8. UVÁDĚNÍ VÝROBKŮ NA TRH 151
8.1 Legislativa 151
Kontrolní otázky ke kapitole 8 157

9. ZÁVĚR 159

Příloha 1 Základní vlastnosti hořlavých prachů (informativní hodnoty) 161
Příloha 2 Základní vlastnosti hořlavých plynů a par (bezpečné hodnoty) 165

Použitá literatura 227
Seznam norem týkajících se konstrukce a instalace v prostorech s nebezpečím výbuchu 227
Konstrukční normy pro nevýbušná elektrická zařízení 227
Normy pro instalaci nevýbušných elektrických zařízení 228
Normy pro analyzátory plynu a kyslíkoměry 229
Normy pro elektrostatické stříkací zařízení 230
Povrchová úprava výrobků (odmašťování, stříkání nátěrových hmot, sušení) 231
Normy pro spalovací motory 232
Normy pro neelektrická zařízení pro prostory s nebezpečím výbuchu 233
Normy pro ochranné systémy v prostředí s nebezpečím výbuchu 233

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 je zároveň 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.

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, a proto nemá smysl se jí podrobněji zabývat.

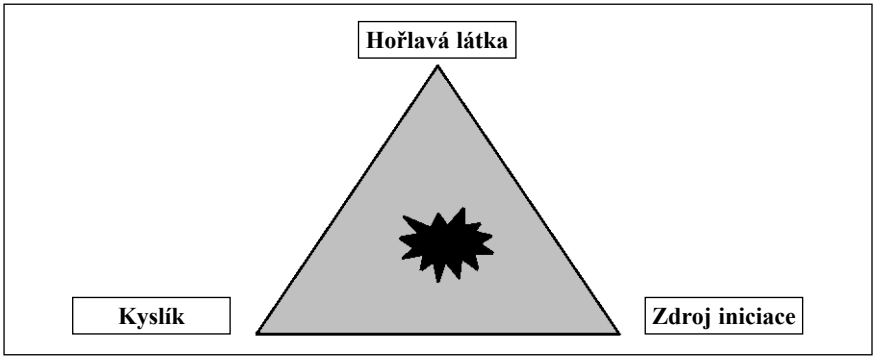
2.1.2 Hořlavá látka

Za hořlavou látku se považuje látka ve formě plynu, páry, kapaliny nebo 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 pro vznik výbuchu jsou znázorněny 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.

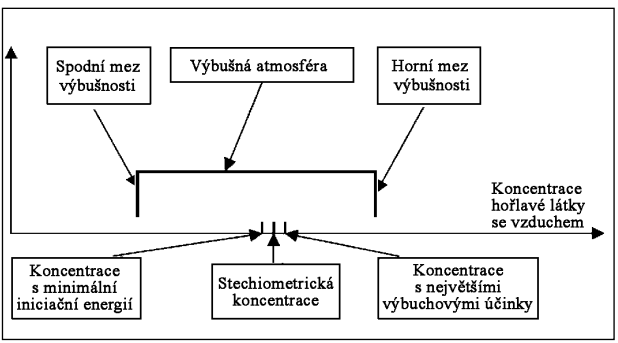
Jak bylo uvedeno v předchozích odstavcích, pro vznik výbuchu je nezbytná jednak hořlavá látka a jednak kyslík obsažený ve vzduchu. Každá chemická reakce probíhá za určitých slučovacích poměrů nebo koncentrací. Koncentrace se uvádí většinou v objemových

procentech hořlavé látky se vzduchem u plynů (% V) 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 vypočítatelná hodnota koncentrace v objemových procentech hořlavé látky se vzduchem, kdy při exotermní rekci dojde k optimálnímu spálení směsi (po reakci nezbude ani žádný nespálený zbytek hořlavé látky, ani žádný zbytek kyslíku).

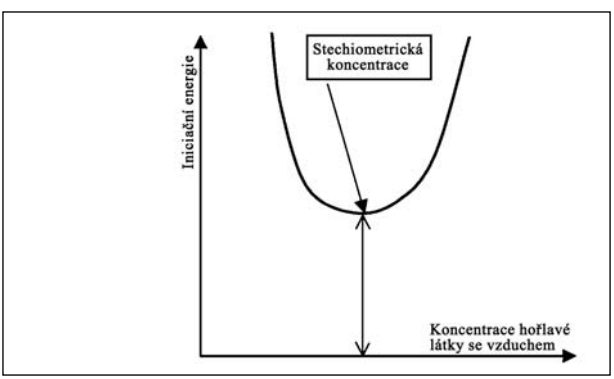
Závislosti výbuchových parametrů na vnějších vlivech a koncentraci jsou uvedeny pro názornost v následujících obrázcích.

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



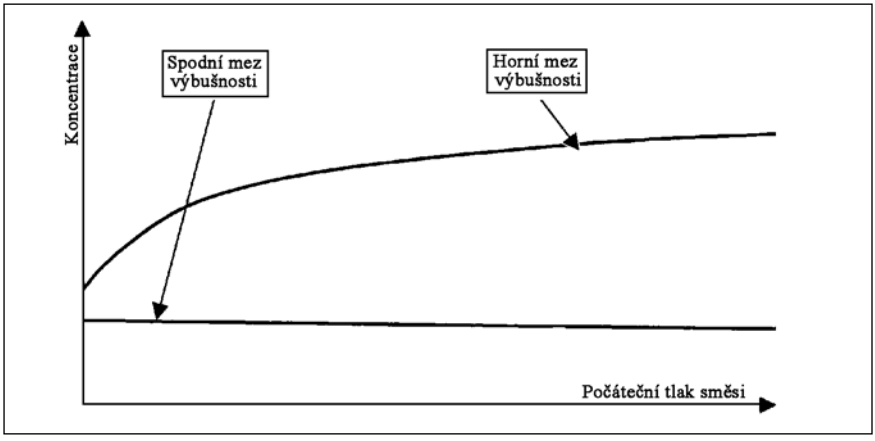
Obr. 2 Koncentrace charakterizující vlastnosti látky

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



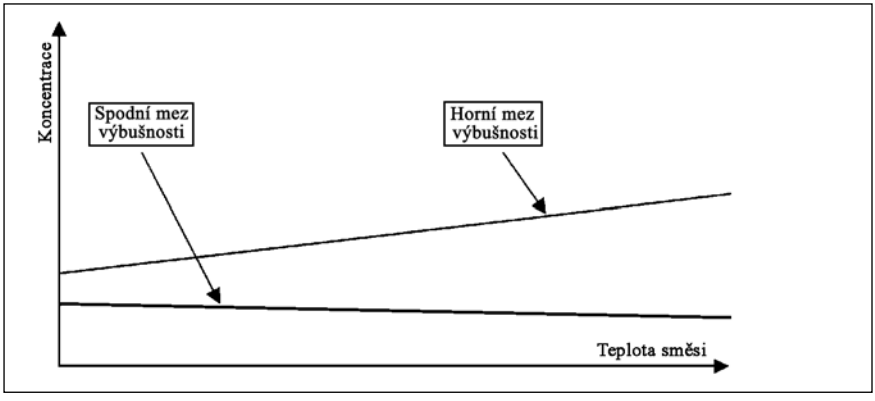
Obr. 3 Závislost minimální iniciační energie na koncentraci hořlavé látky

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.



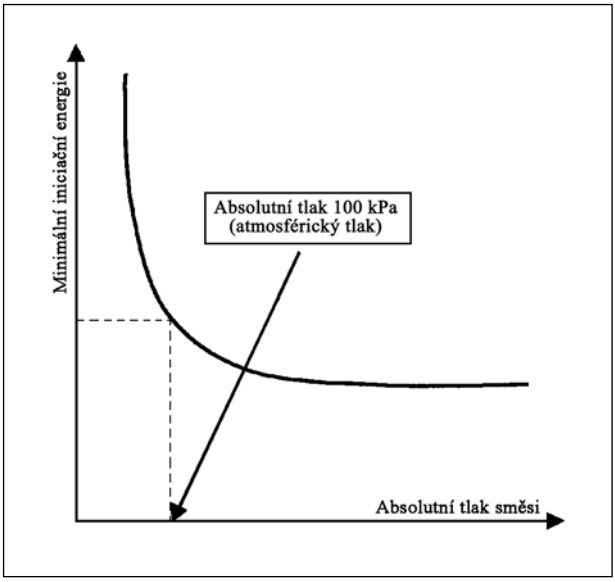
Obr. 4 Závislost dolní a horní meze výbušnosti na tlaku směsi před výbuchem

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



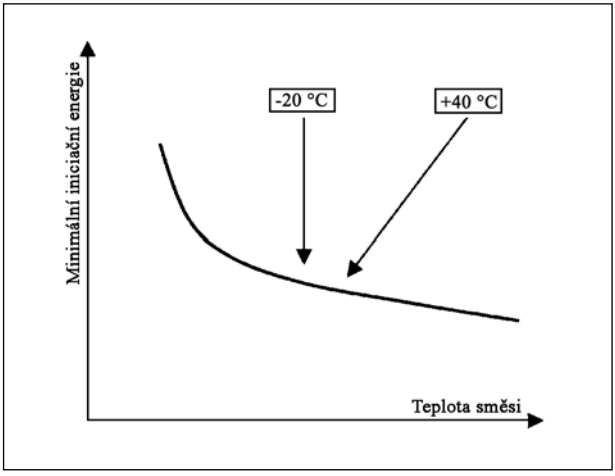
Obr. 5 Závislost dolní a horní meze výbušnosti na teplotě směsi před výbuchem

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



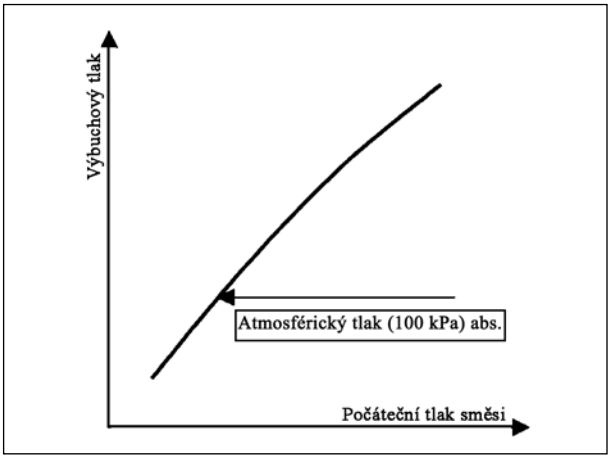
Obr. 6 Závislost minimální iniciační energie na tlaku směsi před výbuchem

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



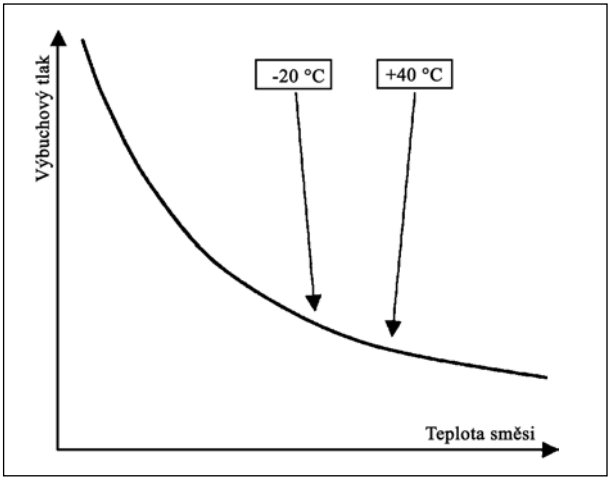
Obr. 7 Závislost minimální iniciační energie na teplotě směsi před výbuchem

S teplotou a tlakem výbušné atmosféry souvisí i výbuchové tlaky v uzavřeném prostoru. 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:

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 (plynu 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 přimísenin (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.

Bod vzplanutí: nejnižší teplota, při které vznikne za předepsaných zkušebních podmínek ve zkapalněném plynu nebo hořlavé kapalině takové množství plynu/par, že při jejich styku se zdrojem iniciace okamžitě dojde k hoření. 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 vytvářejících se nad hladinou nelze zastavit. Proto, vycházeje z tohoto pravidla, jsou všechny údaje o bodu vzplanutí uváděny pro přístroj s uzavřeným kelímkem (pokud není vysloveně uvedeno jinak).

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 [$(dp/dt)_{max}$]: 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 pohledu technického 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 jiskra 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 dvěmi 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.

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 dietyleteru 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.

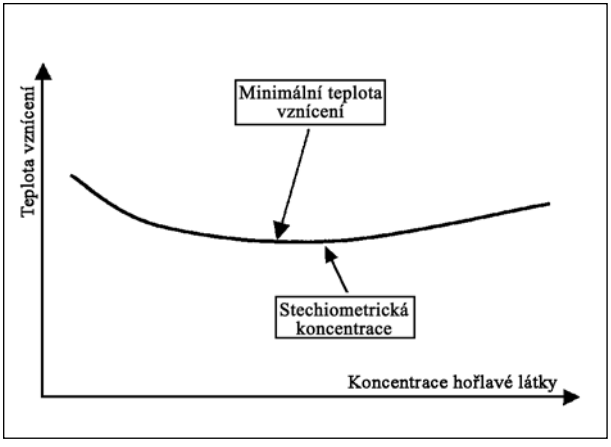
Tab. 1 Potřebné charakteristiky pro jednotlivé látky

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**	

Pokračování tab. 1

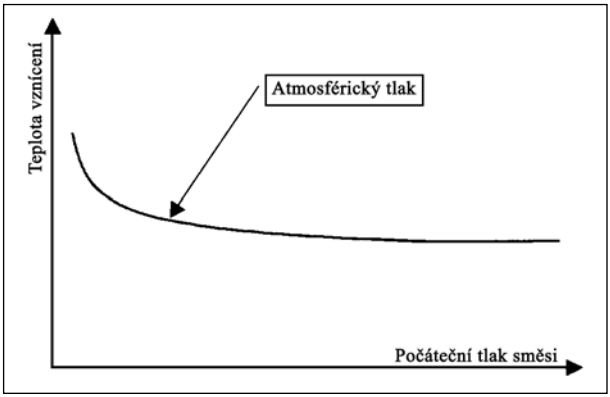
Vlastnost	Plyn	Aerosol	Páry kapalin	Prach rozvířený	Prach usazený
Max. nárůst výb. tlaku [MPa/s; bar/s]	X		X	X	
Výb. konstanta K_{St} nebo K_G [bar.m/s]	X		X	X	
Hustota [g/cm^3]	X		X		
Relativní hustota ke vzduchu [-]	X		X		
Bod tání [°C]					X
Parciální tlak /Tlak nasycených par [kPa]			X		
Min. iniciační 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.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.



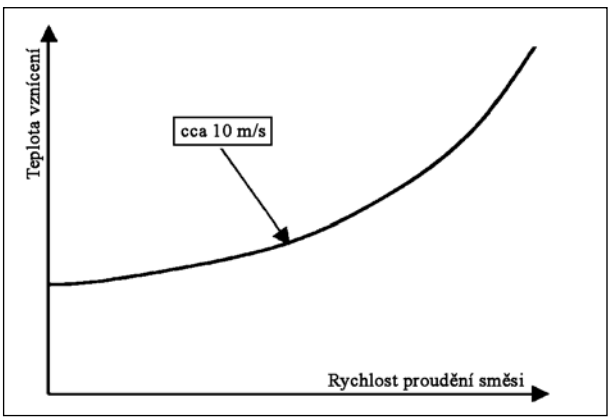
Obr. 10 Závislost teploty vznícení na koncentraci hořlavé látky

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 téže 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

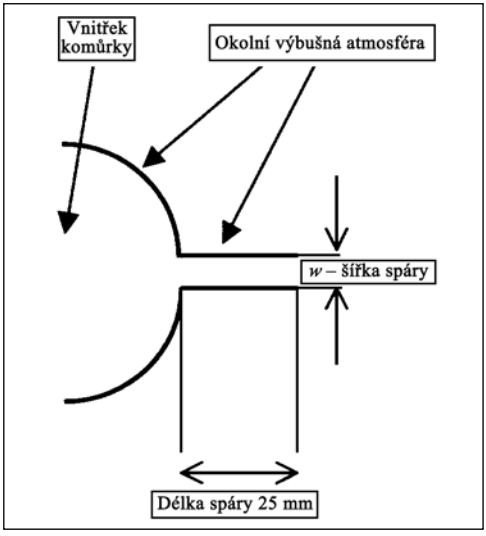
vytvoření výbušné atmosféry považují za dostatečné částice o velikosti menší než 0,5 mm. Proto u aerosolů hořlavých kapalin platí, že mohou vytvářet výbušnou atmosféru i v případech, kdy se jejich teplota nachází pod dolním bodem výbušnosti a namísto par je atmosféra tvořena malými částicemi kapaliny – 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

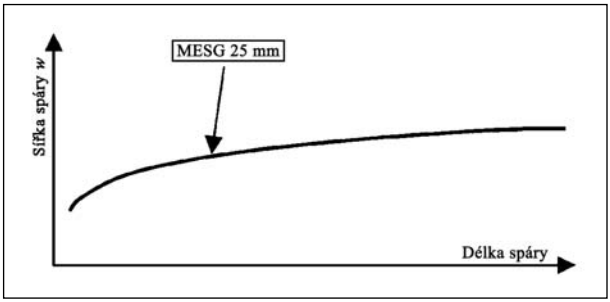
Protože existuje velké množství hořlavých látek, ať už ve formě směsí plynů, par nebo prachů se vzduchem, je nezbytné je roztřídit podle určitých charakteristických vlastností. První rozdělení pro plyny a páry je do skupin výbušnosti. Ty jsou charakterizovány maximální experimentální bezpečnou spárou (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 (IEC 79-1A) 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 cm^3), tak v okolí, se nachází výbušná směs o stejné koncentraci.



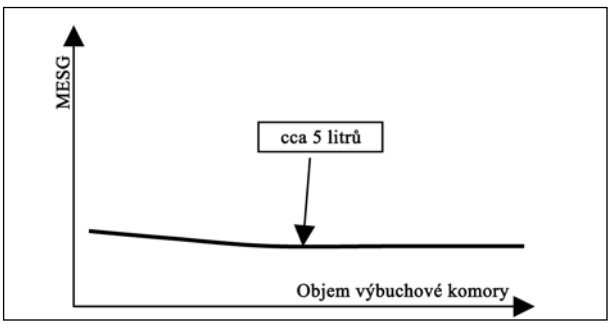
Obr. 13 Stanovení maximální bezpečné experimentální spáry (MESG)

Tato metoda je metodou dohodnutou a hodnotu šířky spáry je nutno chápat jako určitou referenční hodnotu, která však není konstantou. Tato hodnota se mění jednak v závislosti na délce spáry, ale rovněž i na velikosti vnitřní zkušební komory. Pro ilustraci je na obr. 14 zobrazena závislost maximální spáry *w* na její délce.



Obr. 14 Závislost maximální bezpečné (šířky) spáry na její délce

Vliv objemu vnitřní zkušební komory na šířku spáry MESG při její konstantní délce je zřejmý z obr. 15.



Obr. 15 Závislost maximální bezpečné (šířky) spáry na objemu zkušební komory

Rozdělení podle MIC vede ke stejnému dělení zařazení plynů a par do skupin výbušnosti.

Minimální zápalný proud MIC je definován jako poměr minimálního zápalného proudu zkoumané směsi k minimálnímu zápalného proudu pro metano-vzdušnou atmosféru za standardních podmínek podle ČSN EN 60079-20-1 (IEC 79-3).

Převod pro určení hodnoty mezní spáry z metody minimálního zápalného proudu a naopak je s dostačující přesností pro většinu hořlavých plynů a par lineární, a to podle vztahu:

$$w_{MESG} = 1{,}125 \,.\, i_{MIC},$$

kde:

w_{MESG} je šířka maximální bezpečné experimentální spáry [mm],

i_{MIC} je minimální zápalný proud (hodnota vztažená k MIC metanu).
MIC metanu (skupina I) za stanovených podmínek je 110 mA, pro propan jako představitele skupiny IIA je to 100 mA, pro ethylen jako představitele skupiny IIB je to 65 mA a pro vodík jako představitele skupiny IIC je to 30 mA.

Pro úplnost je nutno dodat, že s výjimkou důlního plynu, který je zařazen historicky do zvláštní skupiny označované I, jsou všechny ostatní plyny a páry zařazeny do skupiny označované II.