

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Volba stykačů nn pro nebezpečné
prostředí**
**Selection of low-voltage contactors for
hazardous environment**

2013

Matěj Valiga

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Matěj Valiga**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Volba stykačů nn pro nebezpečné prostředí**
Selection of low voltage contactors for hazardous environment

Zásady pro vypracování:

1. Definujte pojem nebezpečného prostředí dle ČSN
2. Popište funkci a provedení stykačů nn
3. Proveďte rozbor trhu se stykači pro danou aplikaci
4. Definujte podmínky spolehlivého provozu stykačů v nebezpečných prostředích.

Seznam doporučené odborné literatury:


Dle pokynů vedoucího bakalářské práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Hytka, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 7. května 2013

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Vulip', is written over a light blue, textured rectangular background.

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Zdeňku Hytkovi, CSc. za odborné rady a konzultace při vzniku této bakalářské práce.

Abstrakt

Tato práce se zabývá vhodným výběrem stykačů do prostorů s rizikem výbuchu. Obsahuje rozbor problematiky klasifikace vnějších vlivů v prostorách, kde jsou instalována elektrická zařízení. Dále jsou zde uvedeny informace týkající se problematiky výbuchu: podmínek vzniku výbuchu, fyzikálních vlastností látek a důležité pojmy. V následující části jsou uvedeny požadavky na elektrická zařízení instalovaná v prostorách s nebezpečím výbuchu včetně jejich označování. Druhá část obsahuje rozbor stykače, a to především možnosti konstrukčního provedení a problematiky spínání. Zvláštní pozornost je věnována vakuovým stykačům, s ohledem na problematiku elektrického oblouku ve vakuu a výběru vhodných materiálů pro elektrické kontakty. Poslední část zahrnuje samotný výběr vhodných stykačů, včetně několika různých výrobců v rámci EU.

Klíčová slova

výbušné prostředí, výbuch, vnější vlivy, důlní prostory, elektrická zařízení pro výbušné atmosféry, vakuové stykače, průzkum trhu

Abstract

My bachelor thesis deals with suitable choice of contactors to environment with risk of explosion. The thesis also includes the analysis of classification of external influences in areas where electric equipments are installed. You can also find here some information about explosions: sources, physical properties of substances and other important concepts. In the following part, there are requirements for electric equipments installed in environment that is in danger of explosion, furthermore there is also described their labelling. The second part of my thesis deals with analysis of contactor and above all with possibility of structural design and the issue of switching. A great deal of the thesis is also focused on vacuum contactors regard to the issues of electric arc in vacuum and it is also focused on choice of suitable materials for electric contacts. The last part includes the choice of suitable contactors including comparison of several producers in EU.

Keywords

explosive (dust) atmosphere, explosion, external influences, mine environment, electrical apparatus for explosive atmospheres, vacuum contactors, market research

Seznam použitých symbolů

Veličina nebo zkratka	úplný název zkratky	fyzikální rozměr
C	počet výměn vzduchu ve větraném prostoru	$[s^{-1}]$
G	množství unikajícího plynu nebo látky	$[kg]$
I_e	jmenovitý proud	$[A]$
I_{th}	jmenovitý tepelný proud	$[A]$
LEL	spodní mez výbušnosti	$[\%]$ nebo $[kg/m^3]$
LEP	dolní bod výbušnosti	$[\%]$
LOC	limitní koncentrace kyslíku	$[\%]$
MIG	minimální iniciační energie	$[J]$
T	teplota	$[K]$
U_c	ovládací napětí cívek	$[V]$
U_i	jmenovité izolační napětí	$[V]$
UEL	horní mez výbušnosti	$[\%]$
UEP	horní bod výbušnosti	$[\%]$
V	objem	$[m^3]$
V_z	hypotetický objem	$[m^3]$
f	koeficient účinnosti větrání	$[-]$
k	bezpečnostní koeficient pro zdroje úniku	$[-]$
t	čas	$[s]$

Seznam použitých zkratk

AC	střídavý proud
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
DC	stejnoseměrný proud
EU	Evropská unie
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
NEC	National Electric Code
NN	nízké napětí
VN (vn)	vysoké napětí
ss	stejnoseměrný (proud, napětí)
vf	vysokofrekvenční

1 Obsah

1	Úvod	6
2	Nebezpečné prostředí	7
2.1	Úvod do problematiky důlních prostorů	7
2.2	Definování vnějších vlivů	8
2.2.1	Označování a dělení vnějších vlivů	8
2.2.2	Rozdělení do zón	10
2.2.3	Určování prostorů s výskytem hořlavých plynů a par	12
2.2.4	Určování prostorů s výskytem hořlavých prachů	15
2.3	Problematika výbuchu	16
2.3.1	Základní pojmy a definice	16
2.3.2	Plyny a páry hořlavých kapalin	18
2.3.3	Hořlavé prachy	19
2.3.4	Složky důlních plynů	19
2.3.5	Iniciační zdroje	20
2.4	Elektrická zařízení v prostorách s nebezpečím výbuchu	21
2.4.1	Dělení a kategorizace elektrických zařízení	21
2.4.2	Značení elektrických zařízení	21
2.4.3	Požadavky na elektrická zařízení.....	22
3	Elektrické spínací přístroje – stykače	24
3.1	Funkce stykače	24
3.2	Rozdělení stykačů	25
3.2.1	Kategorie provozu stykačů	26
3.2.2	Úvaha o vhodném výběru stykačů pro nebezpečné prostředí.....	27
3.3	Vakuové stykače	27
3.3.1	Konstrukční provedení	27
3.3.2	Úvod do vakuové spínací techniky	28
3.3.3	Vlastnosti vakua	28
3.3.4	Elektrický oblouk ve vakuu	29
3.3.5	Princip vakuového zhasedla	30
3.3.6	Části zhasedla	31
3.3.7	Materiály kontaktů vakuových přístrojů.....	31
3.3.8	Průrazné napětí	33
4	Průzkum trhu	34
4.1	Srovnání výrobních programů firem	34
4.1.1	Elektropřístroj.....	34
4.1.2	Siemens.....	35

4.2	Porovnání dvou typových stykačů	36
5	<i>Podmínky spolehlivého provozu v nebezpečných prostředích</i>	37
5.1	Definování pojmu spolehlivosti	37
5.2	Podmínky spolehlivého provozu	37
6	<i>Závěr</i>	39
	<i>Literatura</i>	40

Seznam tabulek

Tab. 1 Stanovení zón v prostorách s výskytem hořlavých plynů a par [4]	13
Tab. 2 Použití zařízení s ohledem na kategorii a úroveň ochrany [4]	23
Tab. 3 Vybrané kategorie užití stykačů [9]	26
Tab. 4 Úbytky různých druhů materiálů způsobené elektrickým obloukem ve vakuu [15].....	33

Seznam obrázků

Obr. 1 Označování vnějších vlivů [2]	8
Obr. 2 Výbuchový trojúhelník [6]	17
Obr. 3 Koncentrace charakterizující vlastnosti látky [4]	18
Obr. 4 Označování nevýbušných elektrických zařízení [4]	21
Obr. 5 Řez vakuovým stykačem [18]	27
Obr. 6 Křivka Paschenova zákona [11]	28
Obr. 7 Elektrická pevnost vzduchu a vakua [11]	29
Obr. 8 Oblouk ve vakuu [11]	30
Obr. 9 Příklad konstrukce vakuového zhášedla [10]	30
Obr. 10 Opotřebení kontaktů po 1 miliónu operací [14]	32
Obr. 11 Stykače firmy Elektropřístroj [16]	35
Obr. 12 Stykače 3RT12 (vlevo) a 3FT68, 3FT69 (vpravo) [17]	36
Obr. 13 Indikátor opotřebení hlavních kontaktů [17]	38

Seznam příloh

- A. Vybrané stykače a jejich parametry – Elektropřístroj
- B. Vypínací schopnost stykačů Elektropřístroj
- C. Vybrané stykače a jejich parametry – Siemens
- D. Vypínací schopnost stykačů Siemens
- E. Porovnání parametrů stykačů

1 Úvod

Tato práce se zabývá výběrem stykačů vhodných do důlních prostředí, jejichž nežádoucí vlastností je riziko vzniku výbušné atmosféry. S ohledem na toto nebezpečí je nezbytné přesně klasifikovat rizika, která v těchto prostředí vznikají a brát je v potaz při konstrukci elektrických zařízení instalovaných do těchto prostor. Podrobný rozbor jednotlivých provozů s rizikem výbuchu (chemické provozy, ropný průmysl, farmaceutický průmysl) přesahuje rámec této práce, a proto se zaměřuji především na problematiku důlních provozů.

První část práce se zabývá problematikou samotného prostředí a určování vnějších vlivů, které mohou instalovaná elektrická zařízení ovlivňovat. Obsahuje také popis jednotlivých zón, do kterých se nebezpečné prostory rozdělují s ohledem na riziko vzniku výbuchu. Je zde dále uvedena nezbytná teorie výbuchu, podmínky jeho vzniku, fyzikální vlastnosti látek a důležité pojmy spojené s touto problematikou. Poslední podkapitola se zabývá požadavky na elektrická zařízení v prostředí s rizikem výbuchu a metodikou jejich označování.

Druhá část se zabývá popisem stykače a jeho konstrukčního provedení. Zvláštní pozornost je zde věnována vakuovým stykačům, včetně problematiky chování elektrického oblouku ve vakuu a výběru vhodného materiálu kontaktů přístroje.

Poslední část se týká samotného výběru vhodných stykačů. Při výběru byli bráni v potaz výrobci v rámci Evropské unie. Je zde uvedeno srovnání stykačů vybraných výrobců.

2 Nebezpečné prostředí

2.1 Úvod do problematiky důlních prostorů

V následujícím textu se v problematice nebezpečného prostředí omezíme pouze na hlubinné uhelné doly, protože normativní předpisy jsou stanoveny zvlášť pro doly a zvlášť pro zbývající rizikové prostory (chemické provozy apod.).

Doly mohou být plynující nebo neplynující v závislosti na těžených materiálech, a zda na důlních pracovištích může nebo nemůže vznikat důlní plyn. Standardně považujeme všechny uhelné doly za plynující, nicméně i neuhelné doly mohou být ohroženy přítomností důlního plynu, např. při dobývání materiálů v blízkosti naftových ložisek, podzemních uhelných slojí, které jsou narušeny těžbou nebo dolů náchylných k průtržím plynů [1].

V dolech, ve kterých jsou dobývány hořlavé materiály, může také vznikat riziko výbuchu v důsledku rozvíření malých částic dobývané horniny do vzduchu a vytvoření směsi prachu se vzduchem, která je schopná podporovat rychlé hoření. Hořlavý prach může sám o sobě vytvářet nebezpečí výbuchu, nebo může vytvářet usazené vrstvy, které mohou být z podlahy a stěn tunelu rozvířeny při výbuchu plynů a par. V tomto případě se prudkost výbuchu může mnohonásobně zvyšovat, protože výbuch nadále rozvířuje prach a podporuje hoření [1].

Riziko vzniku výbušné atmosféry a jejích následků je individuální pro každý důl, a závisí na typu dolu, jeho uspořádání, druhu těžených hornin a pravděpodobnosti výskytu důlního plynu a/nebo hořlavého prachu.

V uhelných dolech se při důlní činnosti uvolňuje důlní plyn a uhelný prach, který je vázán v uhlí. Proto je zde, v důsledku vytváření potenciálně výbušné směsi vzduchu s plynem nebo prachem a skutečnosti, že tato směs nemůže být zcela odstraněna ochrannými opatřeními, nebezpečí výbuchu větší [1].

Směs důlního plynu se vzduchem je obvykle rozředována větráním a odsávána na povrch přes důlní díla tak, že obsah plynu v normálním provozu je udržován hluboko pod dolní mezí výbušnosti. Při poruše systému (např. výpadku ventilátoru), při náhlém úniku velkého množství plynu (průtrži plynu) nebo při zintenzivnění úniku plynů způsobeného snížením atmosférického tlaku nebo při zvýšení těžby uhlí, může být povolená mezní koncentrace plynu překročena. Výbušná atmosféra vytvořená tímto způsobem, i když je prostorově a/nebo časově omezena, může vytvářet nebezpečí nejenom v místě jejího vzniku, ale také na únikových cestách, odvětrávacích cestách a jiných propojených důlních dílech v dole [1].

Směs uhelného prachu a vzduchu je obvykle neutralizována v místě svého vzniku stříkáním vody, použitím odprašovacích systémů na dobývacích strojích a/nebo je zneškodňována

inertním prachem tak, aby bylo sníženo nebezpečí výbuchu. Nebezpečí výbuchu však může vznikat při rozvření hořlavého prachu ve vzduchu, např. na přesypech, v zásobnících a jiných dopravních systémech [1].

2.2 Definování vnějších vlivů

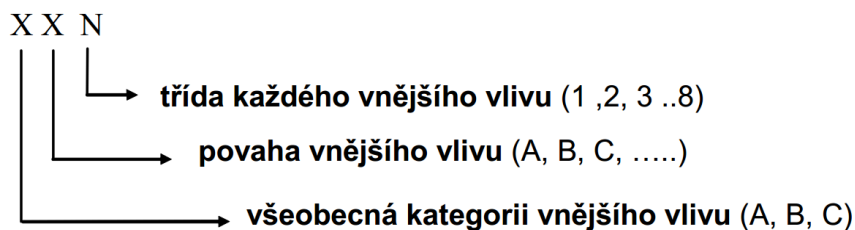
Na každé elektrické zařízení působí jeho okolí a naopak. Toto působení je v elektrotechnických předpisech definováno jako *vnější vlivy*. K zajištění základních podmínek bezpečnosti (osob, užitných zvířat a majetku) při provozní spolehlivosti (při určeném provozu) je třeba, aby elektrické zařízení bylo vybráno a instalováno v souladu s požadavky, které jsou definovány v příslušném elektrotechnickém předpisu [2].

Vnější vlivy svoji přítomností předurčují jednotlivé prostory z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem, elektrickým nebo elektromagnetickým polem. Z hlediska náročnosti provedení a zabezpečení elektrických i navazujících zařízení je možno v tomto systému z hlediska vnějších vlivů rozdělit elektrická zařízení do dvou kategorií [2]:

- *prostředí bez nebezpečí výbuchu* (zpravidla méně náročné provedení a jednodušší požadavky obsažené v souboru základních předpisových norem)
- *prostředí s nebezpečím výbuchu* (obvykle náročnější provedení a propracovaný soubor normativních požadavků opírajících se o speciální legislativu)

2.2.1 Označování a dělení vnějších vlivů

Základním elektrotechnickým předpisem je norma ČSN 33 2000-5-51, zabývající se specifikací vnějších vlivů. Vnější vlivy se třídí do stupňů. Každý stupeň vnějšího vlivu je označen dvěma písmeny velké abecedy a číslicí.



Obr. 1 Označování vnějších vlivů [2]

První písmeno udává všeobecnou kategorii vnějšího vlivu

- A** Prostředí
- B** Využití
- C** Konstrukce budovy

Uvedené termíny mají následující významy [3]:

Vnější činitel prostředí (A) = vlastnosti prostoru (okolí), vytvořené jím samým nebo předměty, zařízeními atd. v prostoru umístěnými. Jedná se o tyto povahy vnějšího vlivu: teplota okolí, vlhkost, nadmořská výška, přítomnost vodní masy, výskyt cizích pevných těles, výskyt korozivních a znečišťujících látek, mechanické namáhání, výskyt flóry, fauny, přítomnost elektromagnetických, elektrostatických a ionizujících působení, sluneční záření, seizmické účinky, četnost výskytu bouřek a pohyb vzduchu.

Využití (B) = uplatnění objektů nebo jejich částí dané:

- vlastnostmi osob vycházejících z jejich duševních a pohybových schopností
- možnost jejich úniku
- vlastnostmi zpracovávaných látek

Konstrukce budovy (C) = souhrn vlastností budovy vyplývajících z povahy užitého konstrukčního a dekorativního materiálu, provedení budovy a jejich fixace k okolí.

Druhým písmenem označujeme povahu vnějšího vlivu:

- | | |
|---|-------------------------------------------------------------|
| A | teplota okolí |
| B | atmosférické podmínky v okolí |
| C | nadmořská výška |
| D | výskyt vody |
| E | výskyt pevných cizích těles |
| F | výskyt korozivních nebo znečišťujících látek |
| G | rázy |
| H | vibrace |
| J | ostatní mechanická namáhání |
| K | výskyt rostlinstva nebo plísní |
| L | výskyt živočichů |
| M | elektromagnetická, elektrostatická nebo ionizující působení |
| N | sluneční záření |
| P | seizmické účinky |
| Q | bouřková činnost |
| R | pohyb vzduchu |
| S | vítr |

Zaměříme se pouze na vliv, který popisuje látky vyskytující se v objektu:

BE – látky v objektu

- BE1 bez nebezpečí
- BE2 nebezpečí šíření ohně
 - BE 2N1 nebezpečí požáru hořlavých hmot
 - BE 2N2 nebezpečí požáru hořlavých prachů
 - BE 2N3 nebezpečí požáru hořlavých kapalin
- BE 3 nebezpečí výbuchu
 - BE 3N1 nebezpečí výbuchu hořlavých prachů
 - BE 3N2 nebezpečí výbuchu hořlavých plynů a par
 - BE 3N3 nebezpečí požáru nebo výbuchu výbušnin
- BE 4 nebezpečí kontaminace

Tento vliv určuje technolog, hygienik, bezpečnostní technik nebo stavitel [2].

Norma [1] stanovuje dva nebezpečné stavy v prostředí s nebezpečím výbuchu:

- *nebezpečné atmosférické podmínky 2 (prostředí s nebezpečím výbuchu)* – v rozsahu mezi 0 % a dolní mezí výbušnosti LEL nebo nad horní mezí výbušnosti UEL až do 100 % důlního plynu
- *nebezpečné atmosférické podmínky 1 (výbušná atmosféra)* – v rozsahu mezi dolní (LEL) a horní (UEL) mezí výbušnosti důlního plynu v ovzduší

2.2.2 Rozdělení do zón

Výbušná atmosféra se nachází v provozu v čase a prostoru. Aby se dalo vyjádřit časové období, po které je výbušná atmosféra přítomna, zavedly se pojmy tzv. zón. Zóny vyjadřují časovou pravděpodobnost vzniku výbušné atmosféry. Pokud se v nějakém prostoru vyskytuje výbušná atmosféra, je jí přiřazena pravděpodobnost 1. Naopak tam, kde se nemůže výbušná atmosféra vyskytnout vůbec, je hodnota pravděpodobnosti 0 [4].

Za výbušnou atmosféru se považuje taková atmosféra, kde se nacházejí směsi hořlavé páry, plynu nebo aerosolu se vzduchem (v rozvířeném stavu) nad spodní mezí výbušnosti [4].

Specifikace jednotlivých zón jsou následující [4]:

Zóna 0 – prostor, v němž se výbušná atmosféra tvořená hořlavým plynem, párou nebo aerosolem nachází nepřetržitě nebo po dlouhou dobu nebo často. V pravděpodobnostním vyjádření jí přísluší hodnota 10^{-1} až 1. Pokud tuto pravděpodobnost vyjádříme v hodinách, je to takový prostor, v němž se vytvoří výbušná atmosféra v průběhu jednoho roku nepřetržitého provozu po celkovou dobu delší než 1000 hodin.

Zóna 20 – prostor, v němž se výbušná atmosféra tvořená oblakem hořlavého prachu nachází nepřetržitě nebo po dlouhou dobu nebo často. Pro pravděpodobnostní a časové ohodnocení platí stejná kritéria jako pro zónu 0.

Zóna 1 – prostor, v němž se výbušná atmosféra tvořená hořlavým plynem, párou nebo aerosolem za běžných provozních podmínek nachází příležitostně. V pravděpodobnostním vyjádření jí přísluší hodnota 10^{-3} až 10^{-1} . Vyjádřeno přibližně v hodinách se jedná o takový prostor, ve kterém se v průběhu jednoho roku nepřetržitého provozu vytvoří výbušná atmosféra v mezích 10 až 1000 hodin.

Zóna 21 – prostor, v němž se nachází výbušná atmosféra tvořená oblakem hořlavého prachu za běžných provozních podmínek příležitostně. Pro pravděpodobnostní a časové vyjádření platí stejné údaje jako pro zónu 1.

Zóna 2 – prostor, v němž se výbušná atmosféra, tvořená hořlavým plynem, párou nebo aerosolem, za běžných provozních podmínek nachází výjimečně a po krátkou dobu. V pravděpodobnostním vyjádření jí přísluší hodnota menší než 10^{-3} . Vyjádřeno v hodinách, jedná se o takový prostor, ve kterém se v průběhu jednoho roku nepřetržitého provozu vytvoří výbušná atmosféra na dobu celkově menší než 10 hodin.

Zóna 22 – prostor, v němž se výbušná atmosféra tvořená oblakem prachu za běžných provozních podmínek tvoří pouze výjimečně a po krátkou dobu. Pro pravděpodobnostní a časové vyjádření platí stejná kritéria jako pro zónu 2.

Problémem je skutečnost, že atmosféra, obsahující hořlavý plyn, vzniká v dole trvale. Proto je používán v dolech systém provětrávání a hlídání koncentrace pod spodní mezí výbušnosti. Tyto prostory by se daly zařadit s použitím pravděpodobnostní klasifikace jako zóna 1 až zóna 2 s kombinací zóny 21 až 22.

Kromě toho existují v dolech lokální prostory, kde i za normálního stavu ventilace mohou lokálně vzniknout výbušné koncentrace. Takové prostory by bylo možné klasifikovat jako zónu 0 nebo zónu 0 s kombinací zóny 20. Úroveň ochrany důlních zařízení se definuje dále přímo ve vztahu k těmto zařízením, viz kapitola [2.4.3].

2.2.3 Určování prostorů s výskytem hořlavých plynů a par

Klasifikaci takových prostorů lze dle [4] rozdělit do 4 kroků:

V první řadě je potřeba získat údaje o látkách, které se v daném prostoru nacházejí. Uvádím přehled nejdůležitějších parametrů hořlavých plynů a par:

- *dolní a horní meze výbušnosti plynů* – nejdůležitější parametry, které určují koncentrační meze, v nichž jsou plyny nebo páry hořlavé kapaliny výbušné. Tyto parametry závisí na teplotě a tlaku.
- *bod vzplanutí* – teplota hořlavé kapaliny nebo povrchu kapaliny, při které dochází ke vzniku dostatečného množství par, aby došlo k jejich vzplanutí při vsunutí zdroje iniciace.
- *bod vznícení* – teplota, při které dojde k samovolnému vznícení plynu nebo par kapaliny bez přítomnosti iniciačního zdroje. Tato hodnota je důležitá pro konstrukci zařízení a její znalost je nutná pro správný výběr zařízení pro daný prostor.
- *hustota par* – poměrná hodnota ve vztahu k hustotě vzduchu. Tato hodnota je důležitá pro šíření plynu a navrhování nebezpečných prostorů.
- *nebezpečné množství výbušné atmosféry* – hodnota, která se vztahuje k prostoru, ve kterém může výbušná atmosféra vznikat. Je to množství výbušné směsi, které je schopno v daném prostoru způsobit škody nebo zranění osob. Za nebezpečné množství se považuje 10 l a více výbušné směsi pro prostor 100 m³.
- *maximální výbuchový tlak* – hodnota, kterou potřebuje při návrhu odlehčení výbuchu v uzavřeném prostoru.
- *limitní koncentrace kyslíku* – parametr velmi důležitý při ochraně technologie inertizací

Velmi užitečnými parametry pro stanovování rozsahu jednotlivých zón v případě úniku hořlavých kapalin jsou také:

- *výparné teplo kapaliny*
- *relativní těkavost* – odpařivost z jednotkové plochy
- *tlak nasycených par*
- *difúzní koeficient par hořlavé kapaliny*

Druhým krokem při určování nebezpečných prostorů je identifikace možných zdrojů úniku a jejich zařazení do stupňů:

T – trvalý stupeň úniku – únik média se předpokládá po dlouhé časové období

P – primární stupeň úniku – úniky média předpokládáme periodicky nebo příležitostně

S – sekundární stupeň úniku – únik se za běžného provozu nepředpokládá, a když, tak pouze krátkodobě a zřídka

Třetím krokem je stanovení typu zóny. Toto stanovení může být provedeno dvěma způsoby. Buď podle zařazení zdrojů do stupně úniku a zhodnocení větrání v daném prostoru (viz. Tab. 1),

nebo na základě ohodnocení pravděpodobnosti délky trvání výbušné atmosféry v daném prostoru za rok (použitím kritérií 10 nebo 1000 hodin/rok)

Tab. 1 Stanovení zón v prostorách s výskytem hořlavých plynů a par [4]

Stupeň úniku	Stupeň větrání						
	vysoký			střední			nízký
	Spolehlivost větrání						
	výborná	dobrá	nízká	výborná	dobrá	nízká	všechny
trvalý	bez nebezpečí	zóna 2	zóna 1	zóna 0	zóna 0+2	zóna 0+1	zóna 0
primární	bez nebezpečí	zóna 2	zóna 2	zóna 1	zóna 1+2	zóna 1+2	zóna 1
sekundární	bez nebezpečí	bez nebezpečí	zóna 2	zóna 2	zóna 2	zóna 2	zóna 1

Spolehlivost větrání se pro výběr typu zóny při hodnocení na základě pravděpodobné doby přítomnosti výbušné atmosféry použije přímo, tj. odhadem (zhodnocením zkušeností) jak často za rok dochází k vypnutí větrání (v důsledku jeho poruchy, vypnutí vlivem poruchy v technologii nebo přetížení sítě, vypnutím vnější sítě apod.)

Posledním krokem je stanovení rozsahů jednotlivých zón. Stanovení rozsahů může být provedeno dvěma způsoby:

- odborným odhadem s použitím zkušeností z provozu dané technologie
- výpočtem

Je třeba uvést, že žádný z obou způsobů nemůže dát absolutní výsledky a má v sobě i subjektivní faktory (zkušenosti, znalost technologie a použitých ochranných prostředků proti možnému vzniku výbuchu apod.). Odborné předpoklady jsou většinou založeny na doporučeních uvedených v národních předpisech, které vznikly jako konsensus zainteresovaných stran a zahrnovaly i národní tradice ve stanovování rozsahů nebezpečných prostorů [4].

Výpočet velikosti zón lze odvodit z výpočtu větrání. Je založen na dvou základních vzorcích. Prvních z nich je vzorec (1) pro výpočet minimální rychlosti větrání (výměny vzduchu v daném prostoru za jednotku času) [4]:

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{\min} = \frac{\left(\frac{dG}{dt}\right)_{\max}}{k \cdot LEL} \cdot \frac{T}{293} \quad (1)$$

Kde:

$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{\min}$ minimální objemová rychlost proudění čerstvého vzduchu [m^3/s]

$\left(\frac{dG}{dt}\right)_{\max}$ maximální rychlost úniku ze zdroje [kg/s]

Z této minimální vypočtené rychlosti lze srovnáním se skutečným větráním dojít k těmto závěrům [4]:

- vypočtená hodnota minimálního větrání je výrazně nižší než hodnota skutečného větrání (např. 10krát) – stupeň větrání může být hodnocen jako vysoký, nebezpečné prostory vyjdou malého, často zanedbatelného rozsahu (cm)
- vypočtená hodnota minimálního větrání je větší než hodnota skutečného větrání – stupeň větrání může být hodnocen jako střední, rozsahy zón budou významné, ve vnitřním prostoru budou zabírat většinu místa
- vypočtená hodnota minimálního větrání je větší než hodnota skutečného větrání – stupeň větrání může být hodnocen jako nízký, rozsahy zón budou velké, ve vnitřním prostoru bude zóna v celém prostoru, nebezpečný prostor se může přenášet do navazujících (sousedících) prostorů

Při výpočtu minimální rychlosti větrání je ve vzorci použit koeficient k . Tento bezpečnostní koeficient se zavádí pro dolní mez výbušnosti. U trvalého a primárního zdroje úniku je tento koeficient roven 0,25. To znamená, že za nebezpečnou koncentraci se považuje již 25 % spodní meze výbušnosti a u sekundárních zdrojů 50 % spodní meze výbušnosti (koeficient je roven 0,5) [4].

Nejproblematictější částí tohoto výpočtu je však odhad rychlosti úniku z jednotlivých zdrojů. Volba těchto hodnot podstatným způsobem ovlivňuje velikost jednotlivých zón. Je nutné uvést, že neexistuje metodika pro stanovování rychlosti úniku v závislosti na typu zdroje úniku a v literatuře je možné nalézt pouze několik hodnot pro konkrétní případy [4].

Nejdůležitějším vzorcem, ze kterého se dají odvodit velikosti zón, je vzorec pro výpočet hypotetického objemu V_z :

$$V_z = \frac{f \cdot \left(\frac{dV}{dt} \right)_{\min}}{C} \quad (2)$$

Tento objem udává, jaký prostor by zaujala nebezpečná 25% nebo 50% koncentrace dolní meze výbušnosti vytvořená únikem plynu. Koeficient f ve vzorci zohledňuje rovnoměrnost provětrávání prostoru. Jsou-li v posuzovaném prostoru velké nepropustné plochy bránící proudění vzduchu, je nutno volit tento koeficient vyšší než 1 (nejvýše 5) a dostaneme tak až 5násobný objem hypotetického objemu V_z . Přesná pravidla pro volbu tohoto koeficientu nejsou stanovena. Orientačně lze použít pravidlo, že překážky z jedné strany zvyšují tento koeficient o 1, ze dvou stran o 2 apod [4].

2.2.4 Určování prostorů s výskytem hořlavých prachů

Problematika určování prostorů s nebezpečím výbuchu hořlavých prachů spočívá ve stanovení parametrů a jejich limitních hodnot, kde jejich překročení může znamenat riziko exploze. Přístup projektantů je však dodnes přezíravý a proto většinou prostory s výskytem hořlavých prachů skončí zařazením do prostředí s nebezpečím požáru. Toto podceňování vychází ze skutečnosti, že v ČR došlo k velkému výbuchu prachu s ničivými následky před více než 20 lety [4].

Pro správnou identifikaci nebezpečí je důležité:

- stanovení mezní koncentrace kyslíku pro rozvířený prach
- stanovení maximálního výbuchového tlaku
- stanovení minimální zápalné energie rozvířeného prachu
- stanovení maximální rychlosti nárůstu výbuchového tlaku rozvířeného prachu
- stanovení teploty samovznícení usazeného prachu
- stanovení minimální výbušné koncentrace rozvířeného prachu
- stanovení elektrické rezistivity prachů

Postup při stanovování prostorů:

V první řadě je nezbytné stanovit vlastnosti prachů hořlavých prachů. Vlastnosti můžeme určit buď vlastním laboratorním rozbořem, nebo lze vycházet z literatury (velké množství údajů lze nalézt např. v [5]). V případě laboratorního rozboru je možné se obrátit na Zkušebnu výbušnosti hořlavých prachů, plynů a par kapalin v Ostravě-Radvanicích.

Nejdůležitější parametry prachů jsou: [4].

- *granulometrické složení prachu* – velikost zrn a podíl nejjemnějších frakcí
- *minimální výbušná koncentrace prachu* – tato hodnota většinou není nezbytná, protože při manipulaci s prachem vzniká téměř vždy výbušná koncentrace

- *obsah vlhkosti* – tento parametr bereme v potaz pouze tehdy, lze-li zaručit že po celou dobu zpracovávání prachu bude mít garantovanou vlhkost, která bude bránit rozvíření. V případě že tento obsah vlhkosti nelze zaručit, počítá se s přítomností suchého prachu.
- *minimální teploty vznícení ve vrstvě a ve vznosu* – důležité pro výběr zařízení a technologií. Bohužel, zjištěná hodnota je velmi ovlivněna použitou metodikou a proto se mohou údaje jednotlivých laboratoří lišit i o více než 100°C.
- *elektrická vodivost* – důležitá pro volbu elektrických zařízení

Některé parametry se mohou vlivem technologického zpracování měnit – v takových případech se uvažují nejméně příznivé hodnoty parametrů.

Druhým krokem je stanovení zdrojů úniku:

- *trvalá přítomnost rozvířeného prachu* – vnitřní prostory jako potrubí a zásobníky
- *primární zdroj úniku* – okolí místa zásobníku
- *sekundární zdroj úniku* – manipulační otvory pro odběry vzorků apod.

Třetím krokem je stanovená typu zóny – rozdělují prostor do tří kategorií, a to zóna 20, zóna 21 a zóna 22, viz kapitola [2.2.2].

Poslední krokem je stanovení rozsahu jednotlivých zón. Protože neexistuje žádná metoda výpočtů, vychází se vždy z hodnocení a zkušeností. Při stanovování je však potřeba respektovat obecná pravidla (která jsou poměrně rozsáhlá), která lze nalézt např. v [4].

2.3 Problematika výbuchu

2.3.1 Základní pojmy a definice

Výbuch definujeme jako exotermickou reakci, kdy po přivedení energie reaguje daná látka s kyslíkem samovolně tak, že dochází k nárůstu teploty, tlaku nebo obou veličin zároveň. Rozlišujeme dva typy výbuchu, v závislosti na rychlosti reakce:

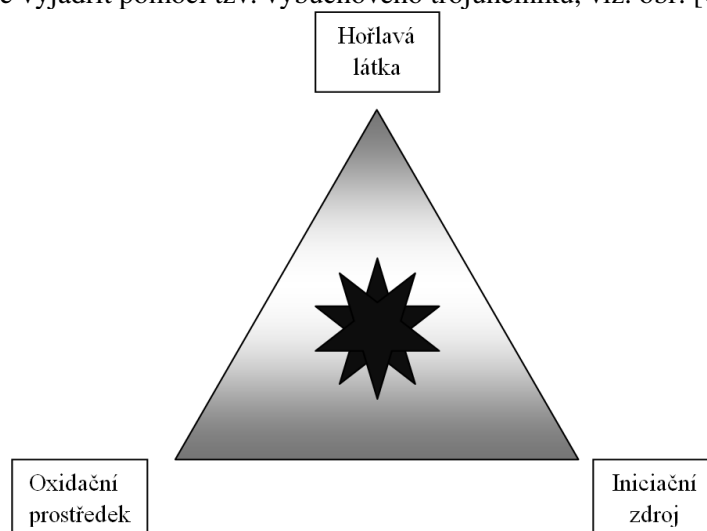
- *deflagrace* – takový výbuch, kdy rychlost reakce je pomalejší než rychlost zvuku v daném prostředí. Je charakteristická pro běžné hořlavé materiály.
- *detonace* – takový výbuch, kdy rychlost reakce je vyšší než rychlost zvuku v daném prostředí. Charakteristickou vlastností detonace je vytvoření detonační tlakové vlny, která vyvíjí tlak v řádech jednotek MPa. Detonace je typická pro výbušniny [4].

Výbuch svoji tlakovou vlnou působí na okolní prostředí tak že demoluje technologie, stroje, zařízení a stavební konstrukce. Protože trvání výbuchu se odehrává v řádech milisekund, není reálný únik osob z daných prostor, a proto dochází ke ztrátám na lidských životech, případně těžkému poškození zdraví osob.

Aby došlo ke vzniku výbuchu, je nutno splnit současně tři podmínky [6]:

- musí být přítomna látka v dostatečné koncentraci a stupni disperze
- musí být přítomno dostatečné množství oxidačního prostředku (nejčastěji kyslíku)
- musí být přítomen zdroj iniciace s dostatečnou energií

Tyto podmínky lze vyjádřit pomocí tzv. výbuchového trojúhelníku, viz. obr. [Obr. 2]



Obr. 2 Výbuchový trojúhelník [6]

Toto pravidlo platí pro většinu, nikoliv však pro všechny hořlavé látky. U některých látek může dojít k výbuchu i bez přítomnosti vzdušného kyslíku – jedná se o tzv. nestabilní látky, u kterých může dojít k výbuchu z titulu chemické reakce, např. při reakci vodíku s chlórem nebo reakce oxidů acetylenů nebo etylenů [4].

Veškeré chemické reakce probíhají za určitých slučovacích poměrů nebo koncentrací. Koncentraci uvádíme buď v objemových procentech hořlavé látky se vzduchem u plynů (% V), nebo v absolutní hmotnosti na objem vzduchu (mg/m^3) u hořlavých kapalin, jejich par a prachů.

Uveďme si pojmy nezbytné pro charakterizaci vlastností nebezpečných látek [4]:

- *spodní mez výbušnosti* – nejnižší procentní nebo hmotnostní koncentrace hořlavé látky se vzduchem, od které je směs výbušná (LEL – lower explosion limit)
- *horní mez výbušnosti* – nejvyšší procentní nebo hmotnostní koncentrace hořlavé látky se vzduchem, od které už není směs výbušná (UEL – upper explosion limit)

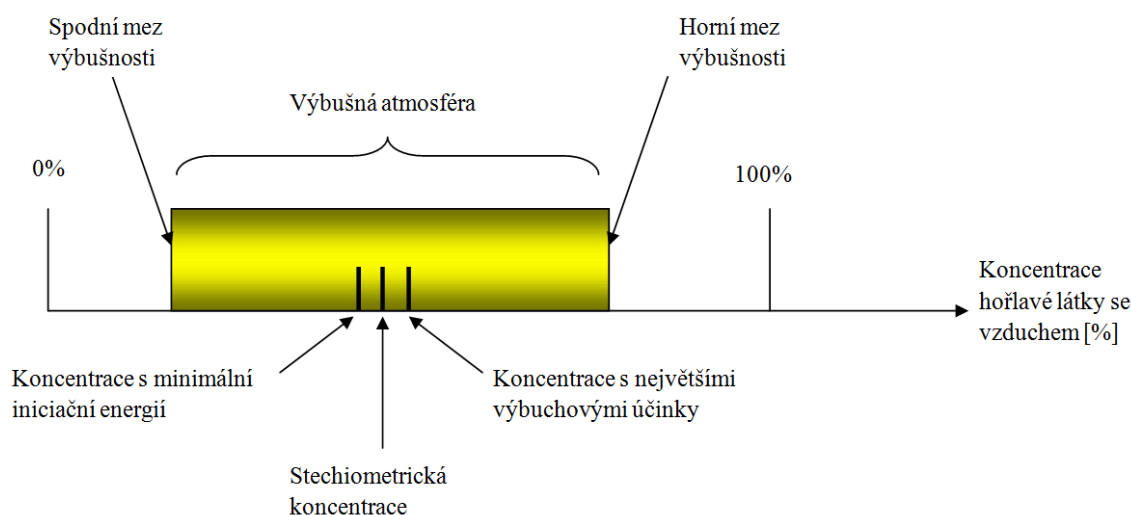
Zvlášť pro kapaliny se uvádí pojmy jako *dolní bod výbušnosti* a *horní bod výbušnosti*, udávají se v $^{\circ}\text{C}$:

- *dolní bod výbušnosti (LEP)* – nejnižší teplota hořlavé kapaliny, od které je směs nasycených par se vzduchem výbušná
- *horní bod výbušnosti (UEP)* – nejvyšší teplota hořlavé kapaliny, při které je směs nasycených par se vzduchem výbušná, tedy rovna horní mezi výbušnosti

Doplňkové pojmy [4]:

- *stechiometrická koncentrace* – vypočtená koncentrace v objemových procentech hořlavé látky se vzduchem, při které dojde k jejímu optimálnímu spálení
- *koncentrace s minimální iniciační energií* – experimentálně určená objemová koncentrace hořlavé látky se vzduchem, při které k její iniciaci postačuje nejnižší iniciační energie (MIG – minimum ignition energy). Většinou je nižší, než stochiometrická koncentrace
- *koncentrace s maximálními výbuchovými účinky* – experimentálně určená objemová koncentrace hořlavé látky se vzduchem, při které vznikají v uzavřeném prostoru největší výbuchové tlaky a rychlosti. Většinou bývá vyšší, než stochiometrická koncentrace

Jednotlivé pojmy lze názorně vyjádřit graficky:



Obr. 3 Koncentrace charakterizující vlastnosti látky [4]

2.3.2 Plyny a páry hořlavých kapalin

Hořlavé látky mohou při dostatečné koncentraci s oxidantem vytvářet výbušnou atmosféru. Z hlediska výbušnosti jsou nejpodstatnějšími faktory dostatečná koncentrace látky v prostoru, stupeň rozptýlení hořlavých látek v prostoru a její promísení s oxidačním prostředkem. Pásmo výbušnosti je vymezeno *spodní mezí výbušnosti* a *horní mezí výbušnosti*, resp. pro kapaliny je vymezeno *dolním bodem výbušnosti* a *horním bodem výbušnosti* [6].

Pokud je koncentrace látky pod hranicí *LEL*, resp. *LEP*, je ve směsi nedostatečné množství výbušné složky a přebytek oxidačního prostředku. Analogicky, pokud je koncentrace látky nad hranicí *UEL*, resp. *UEP*, je ve směsi nadbytek výbušné látky a oxidační prostředek je ze směsi vytěsněn.

Minimální hranicí je dále *LOC – limitní koncentraci kyslíku*. Dostatečné množství oxidačního prvku je k dispozici téměř vždy, a to díky obsahu kyslíku ve vzduchu, který se vyskytuje v daných prostorách. Tato koncentrace se liší pro každý druh látky [6].

2.3.3 Hořlavé prachy

Prachové částice definujeme jako částice, jejichž průměr je menší nebo roven 500 mikrometrům. Mohou se vyskytovat ve dvou stavech, a to jako usazený prach (aerogel) a rozvířený prach (aerosol). Prach může snadno přecházet z jednoho stavu do druhého. V závislosti na typu látky může prach v usazeném stavu hořet plamenem, žhnout nebo doutnat [6].

Hořlavé prachy jsou schopné velmi prudce oxidovat, a to natolik, že oxidace může mít charakter výbuchu, v krajním případě může dojít i k detonaci. Většina hořlavých prachů v uzavřených prostorech o stropní výšce do cca 3 m může vytvářet riziko nebezpečí výbuchu rozvířením souvislé vrstvy prachu s poloměrem částic 1 mm [6].

Nebezpečná koncentrace se posuzuje na základě dolní meze výbušnosti daného prachu. Horní mez výbušnosti standardně neuvažujeme, z důvodu možnosti náhlé změny koncentrace (rozvíření usazeného prachu) nebo možnosti nerovnoměrnosti koncentrace sedimentací [6].

2.3.4 Složky důlních plynů

Bezpečnost černouhelných dolů je úzce spjata s důlními plyny, uchovávané primárně v uhelných slojích a sekundárně v průvodních karbonských horninách, z nichž se uvolňují při hornické činnosti. Ve stěnových porubech se uvolňují důlní plyny nejen z uhelného pilíře a obnaženého nadloží a podloží porubního prostoru, ale také z rozrušených nadložních vrstev vyrubaného a zavaleného prostoru. Uvolněné důlní plyny musí být v důlním díle rozředěny pod neškodnou mez a větráním odvedeny na povrch [7].

Metan (CH_4) je lehký uhlovodík, který vzniká tlením rostlinných nebo živočišných látek za nepřístupu vzduchu. Proto se metan nachází nejen v dolech, ale v místech těžby ropy a zemního plynu. Metan, jenž se považuje za převládající důlní plyn, vznikl v uhelných slojích prouhelňováním, tj. změnou, kterou procházela každá uhelná sloj po svém uložení. Podle toho, jakým tlakům a teplotám byly vystaveny jednotlivé části slojí, došlo k přeměně buničiny na lignit, hnědé uhlí nebo na černé uhlí [7].

Etan (C_2H_6) vzniká nejen při důlních požárech rozkladem vyšších uhlovodíků, ale je také mezi důlními plyny jako produkt prouhelňování. Pokud je jeho množství zanedbatelné vůči množství metanu, není potřeba mu věnovat příliš pozornosti. Pokud je jeho podíl velký, je třeba mu věnovat pozornost a to z těchto důvodů:

- zapaluje se snáze než těžce spalitelný metan
- teplota zápalu je $620^{\circ}C$, u metanu až $760^{\circ}C$
- jeho exploze probíhá mnohem prudčeji než u metanu [7]

Vodík (H_2) vzniká nejvíce při důlních požárech rozkladem pevných uhlovodíků z uhlí a hoří se vzduchem. Optimální mez výbušnosti směsi vodíku je 29,6 %, meze jeho výbušnosti se pohybují od 4,1 % do 74,2 %. Přítomnost vodíku v důlních plynech uniká pozorování, protože když se spaluje při důlních požárech, odchází jeho zplodiny jako vodní pára a neobjeví se v rozboru daného vzorku [7].

Oxid uhličitý (CO_2) se do důlního ovzduší dostává mezi plyny exhalovanými z pórů, dutin, trhlin v uhlí a průvodních horninách a jako plyn vzniklý při prouhelňování. V černém uhlí ho je mezi důlními plyny přibližně 0,4 %, ve hnědouhelných dolech více [7].

Dusík (N_2) je také produktem prouhelňování a je typický pro:

- limnické pánve
- koksové uhlí

Jsou sloje, jejichž exhalované plyny obsahují jen stopy dusíku, zatímco, zatímco jiné obsahují až 20 %. Dusík opouští uhlí hůře než uhlovodíky, protože má největší sorpční schopnost [7].

2.3.5 Iniciační zdroje

Jak již bylo uvedeno v předcházejících kapitolách, pro vznik výbuchu je nezbytná přítomnost iniciačního zdroje, který dodá dostatečné množství energie pro spuštění reakce.

Základní typy zdrojů jsou [6]:

Horké povrchy, plameny a horké plyny, mechanické jiskry, elektrická zařízení, vyrovnávací proudy a katodické protikorozní ochrany, statická elektřina, úder blesku, vř. elektromagnetické pole v rozsahu frekvence 10 kHz až 300 GHz, elektromagnetické záření v rozsahu 300 GHz až 300 THz, ionizující záření, ultrazvuk, adiabatická komprese, rázové vlny a proudící plyny, chemické reakce.

V této práci se dále budeme dále uvažovat jako iniciační zdroje pouze elektrická zařízení.

2.4 Elektrická zařízení v prostorech s nebezpečím výbuchu

2.4.1 Dělení a kategorizace elektrických zařízení

Podle normy [8] rozlišujeme dvě základní skupiny zařízení

- *Skupina zařízení I* – zahrnuje zařízení určená pro použití v podzemních částech dolů, a také v těch částech instalací na povrchu těchto dolů, které mohou být ohroženy důlním plynem a/nebo hořlavým prachem
- *Skupina zařízení II* – zahrnuje zařízení určená pro použití v ostatních místech, která mohou být ohrožena výbušnou atmosférou

Skupiny zařízení se dále dělí do kategorií. Pro skupinu I závisí zařazení do kategorie mimo jiné na tom, zda zařízení je v případě vzniku výbušné atmosféry vypínáno.

Kategorie skupiny zařízení I

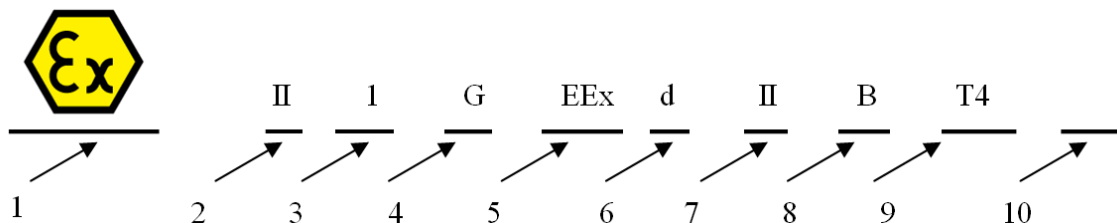
Kategorie M1 – taková to zařízení zajišťují velmi vysokou úroveň ochrany. U těchto zařízení se vyžaduje, aby zůstala funkční i při vzniku výbušné atmosféry. Vyznačují se takovými prostředky ochrany před výbuchem, že [6]:

- v případě poruchy jednoho z použitých prostředků je zajištěna dostatečná úroveň bezpečnosti alespoň jedním dalším nezávislým prostředkem ochrany
- v případě vzniku dvou vzájemně nezávislých poruch je zajištěna dostatečná úroveň bezpečnosti

Kategorie M2 – zajišťují vysokou úroveň ochrany. U těchto zařízení se předpokládá, že budou v případě vzniku výbušné atmosféry vypnuta. Ochranná opatření pro výrobky této kategorie zajišťují dostatečnou úroveň ochrany při normálním provozu a navíc i v případě těžkých provozních podmínek vznikajících zejména hrubým zacházením a změnami okolního prostředí [6].

2.4.2 Značení elektrických zařízení

Pro názornost bude veden jeden příklad označení, jenž bude obsahovat všechny údaje. Podrobný popis viz [4].



Obr. 4 Označování nevýbušných elektrických zařízení [4]

- 1 – v Evropě obecně vžitý znak pro zařízení určená do prostředí s nebezpečím výbuchu
- 2 – skupina zařízení
- 3 – kategorie zařízení podle úrovně ochrany
- 4 – druh výbušné atmosféry, do které je zařízení určeno
- 5 – označuje, že zařízení je navrženo, vyrobeno a ověřeno podle evropských harmonizovaných norem
- 6 – typ ochrany před výbuchem
- 7 – skupina plynů základní
- 8 – skupina plynů II
- 9 – maximální garantovaná teplota povrchů, které mohou přijít do styků s výbušnou atmosférou
- 10 – doplňující identifikační údaje

2.4.3 Požadavky na elektrická zařízení

Konstrukční požadavky na elektrická zařízení určená do prostorů s nebezpečím výbuchu jsou poměrně obsáhlá, uvedme tedy pouze fyzikální principy jednotlivých ochran, které se používají [4]:

Pevný závěr „d“ – principem je ochrana zařízení pomocí pevné skříně, která jednak musí odolat výbuchovému tlaku, jednak musí zabránit přenesení výbuchu zevnitř skříně do okolí.

Zajištěné provedení „e“ – principem ochrany je, že elektrické zařízení pomocí elektricky a mechanicky zesílené konstrukce nemůže být zdrojem jiskření nebo horkých částí, které by mohly přijít do styku s výbušnou atmosférou.

Závěr s vnitřním přetlakem „p“ – tato ochrana zabraňuje vniknutí výbušné atmosféry do závěru s potenciálními zdroji iniciace, a to pomocí ochranného nehořlavého plynu uvnitř závěru udržovaného na tlaku vyšším než je tlak okolní výbušné atmosféry.

Pískový závěr „q“ – podstatou této ochrany je obklopení zdrojů iniciace plnicím materiálem, který zabrání vznícení výbušné atmosféry.

Olejový závěr „o“ – elektrické zařízení je ponořeno v kapalině tak, aby se k němu nemohla dostat výbušná atmosféra.

Zalítí zalévací hmotou „m“ – tato ochrana funguje na principu zabránění přístupu výbušné atmosféry ke zdroji iniciace pomocí zalítí zalévací hmotou.

Jiskrová bezpečnost „i“ – jedná se o typ ochrany, kdy energie jiskry nebo tepelné účinky elektrického proudu v obvodu, nacházejícím se v prostředí s nebezpečím výbuchu, nejsou schopny zapálit výbušnou atmosféru.

Ochrana typu „n“ – jedná se o takovou ochranu, kdy zařízení za normálních provozních podmínek není schopno zapálit výbušnou atmosféru. Jedná se tedy o nižší typ ochrany, na rozdíl od předcházejících typů ochrany je bezpečnost zajištěna pouze za normálního provozního stavu a neuvažují se poruchové stavy.

Podrobnější vysvětlení lze nalézt v [4].

S ohledem na dělení elektrických zařízení do kategorií lze stanovit jejich použití podle toho, zda zůstávají zařízení v provozu při vzniku výbušné atmosféry, či nikoliv.

Tab. 2 Použití zařízení s ohledem na kategorii a úroveň ochrany [4]

		Zařízení skupiny I kategorie	
Typy prostorů	Úroveň ochrany	M1	M2
důlní	V případě výbušné atmosféry zůstávají ve funkci	Ano	Ne
	V případě výbušné atmosféry se odpojují	Ano	Ano

3 Elektrické spínací přístroje – stykače

3.1 Funkce stykače

Z hlediska zařazení patří stykače do skupiny elektrických přístrojů, které spínají (zapínají nebo vypínají) elektrický obvod s proudem, patří tedy do skupiny odpínačů, a to takových, které spínají velmi často.

Ve starší literatuře se uvádí, že se jedná o dálkově ovládaný přístroj. Taková klasifikace je dnes již zcestná, v současnosti je možné dálkově ovládat naprostou většinu elektrických přístrojů.

Základní funkcí elektrických stykačů je časté spínání provozních proudů. Z hlediska velikosti proudů se jedná o jmenovité proudy a malé násobky jmenovitých proudů, dále se jedná o provozní proudy v oblasti přetížení, tj. asi do šesti až osminásobku jmenovitého proudu stykače. Tyto proudy spíná stykač buď na povel obsluhy, tj. po stisknutí zapínacího nebo vypínacího tlačítka, nebo působením samočinného nadproudového jisticího relé, nebo čidla hlídající vybranou fyzikální veličinu [9].

Stykač je přístroj s různým pohonem, nejčastěji elektromagnetickým nebo pneumatickým, elektropneumatickým nebo vačkovým. Bez zdroje ovládací energie ho nelze zapnout. Má jednu polohu klidovou (zdroj ovládací energie je vypnut) a jednu polohu pracovní (zdroj ovládací energie je zapnut). Klidové poloze odpovídají vypnuté hlavní kontakty, pracovní poloze zapnuté hlavní kontakty. Jedná se o obvyklé konstrukční řešení, výjimečně je klidová poloha taková, že hlavní kontakty jsou sepnuty [9].

Pokud bude stykač pracovat při hustotě spínání 600 sepnutí za hodinu v jednosměnném provozu, bude to činit 4800 sepnutí za den a přibližně 1,5 milionu sepnutí za rok. Stykač s mechanickou trvanlivostí 1 milion sepnutí tedy vydrží v provozu asi 8 měsíců, přičemž trvanlivost kontaktů bude závislá na zátěži a bude o něco menší než mechanická trvanlivost. Proto tedy budeme muset kontakty jednou nebo několikrát vyměnit [9].

Principiálně není správné, i když se tomu nelze vždy vyhnout, navrhovat stykače na taková místa, kde budou spínat s velmi malou hustotou spínání nebo pouze občas. Tam, kde zůstává stykač dlouho zapnut (třeba i několik dnů), může dojít k nebezpečí přehřátí sepnutých kontaktů. Také se projeví velká spotřeba ovládací cívky [9].

Stykače nelze používat na vypínání zkratových proudů, neboť jejich kontaktní a zhášecí ústrojí není na tento úkol dimenzováno a při vypínání zkratu by mohlo dojít ke zničení nebo značnému poškození přístroje, aniž by došlo k úspěšnému vypnutí zkratu. Pro vypínání zkratů je tedy nutné do série ke stykači zařadit pojistku nebo jistič, který vypne zkrat dříve, než se o to pokusí stykač [9].

Pro stykače je charakteristické vytváření stykačových kombinací, od zcela jednoduchých, jako je blokování dvou obvodů či spuštění asynchronního motoru přepojením vinutí z hvězdy do trojúhelníka. Tato kombinace obsahuje tři stykače a jedno časové relé. Velmi složité stykačové kombinace obsahují i několik set stykačů, pomocných relé, časových a jiných relé, koncových spínačů, programových spínačů a dalších elementů [9].

3.2 Rozdělení stykačů

Existuje více hledisek, podle kterých můžeme stykače dělit, uveďme si některá z nich [9]:

Podle energie pro ovládání můžeme stykače rozdělit na:

- *elektromagnetické* – elektromagnet na stejnosměrný nebo střídavý proud uvede po zapnutí do zapnuté polohy kontaktní soustavu a po vypnutí elektromagnetu se tato soustava vlastní vahou nebo silou vratné pružiny vrací do vypnuté polohy
- *pneumatické* – řídkem zavedeme stlačený vzduch do pracovního válce a píst uvede kontakty do zapnuté polohy. Vypuštěním vzduchu se píst uvolní a vratná pružina uvede kontakty do výchozí vypnuté polohy.
- *elektropneumatické* – jedná se o pneumatické stykače, kdy vzduchu je ovládán elektropneumatickým ventilem
- *vačkové* – kontaktní ústrojí je ovládáno vačkami

Podle zhášecího média:

- *stykače vzduchové* – hlavní kontakty a také zhášecí ústrojí je umístěno ve vzduchu. Pro použití v nestandardních prostředích je nutno použít stykače ve vhodném krytí, nebo ho např. umístit do rozváděče v nevýbušném provedení
- *stykače olejové* – hlavní kontakty pracují v oleji. Většinou bývá celý stykač ponořen do oleje. Vyznačují se uzavřenou konstrukcí vhodnou pro prostředí znečištěná, prašná, vlhká a s nebezpečím, výbuchu.
- *stykače vakuové* – využívají vakuová zhášedla. Kontakty jsou ve vysoce zředěném prostředí, které dává stykačům velkou elektrickou pevnost i při malém zdvihu, dobré zhášecí podmínky, nezávislost na okolním prostředí. Dále se vyznačují velkou trvanlivostí kontaktů a malými rozměry.

Podle druhu proudu:

- *stykače na stejnosměrný proud* – kontaktní a zhášecí ústrojí jsou navrženy na stejnosměrný proud. Elektromagnetický pohon obsahuje většinou stejnosměrný elektromagnet. Nelze použít vakuový systém.
- *stykače na střídavý proud* – kontaktní a zhášecí ústrojí je navrženo na střídavé proudy. Elektromagnetický pohon obsahuje střídavý elektromagnet.

Podle napětí:

Stykače rozdělujeme na dvě skupiny, a to na *nízké napětí* a *vysoké napětí*. Stykače pro nízké napětí se vyrábějí v úplných typových řadách přizpůsobených požadovaným účelům použití. Jedná se o velkosériovou výrobu a konstrukce je přizpůsobena tomuto typu výroby. Naproti tomu, stykače pro vysoké napětí se vyrábí především pro napětí 3 kV a 6 kV pro motory, existují ale i stykače pro napětí 24 kV [10]. Zde se s výhodou používají stykače vakuové [9].

Podle počtu pólů

Stykače dělíme na jednopólové, dvoupólové pro stejnosměrné obvody a trojpólové pro třífázové obvody. Nejčastější provedení je trojpólové [9].

3.2.1 Kategorie provozu stykačů

S ohledem na užití můžeme rozdělit provozní podmínky stykačů do tří základních skupin [9]:

- a) Lehký provoz – spínání asynchronních motorů s kroužkovou kotvou, tj. zapínací proud $2I_e$ a vypínací proud I_e , tj. vypínání rozběhnutého motoru.
- b) Normální provoz – spínání transformátorů s odporovou zátěží, spínání žárovek, spouštění motorů nakrátko a vypínání za chodu
- c) Těžký provoz – jeřábový provoz, reverzace za chodu, vypínání rozběhových proudů

Tyto typy provozů jde dále rozdělit s ohledem na druh spínaného proudu (AC, DC) a maximální velikost spínaného proudu, který je udáván násobkem jmenovitého proudu.

Tab. 3 Vybrané kategorie užití stykačů [9]

Kategorie	Typická aplikace	
AC střídavý proud	AC1	Neinduktivní nebo slabě induktivní zátěže, např. odporové pece
	AC2	Spouštění kroužkových asynchronních motorů včetně zarážení
	AC3	Spouštění motorů nakrátko, vypínání za chodu
	AC4	Spouštění motorů nakrátko, včetně zarážení a pojíždění
DC stejnosměrný proud	DC1	Neinduktivní nebo slabě induktivní zátěže (odporová pec)
	DC2	Zapínání derivačních motorů, vypínání za chodu
	DC3	Zapínání derivačních motorů, zarážení, pojíždění
	DC4	Zapínání sériových motorů, vypínání za chodu
	DC5	Zapínání sériových motorů, zarážení, pojíždění

Tabulka kategorií užití je ve skutečnosti rozsáhlejší, pro naše potřeby se omezíme pouze na výše uvedené.

Různé pracovní podmínky znamenají různé požadavky na zapínací a vypínací schopnost stykače. Uveďme si příklad stykače, jehož maximální proud, který je schopen vypnout nebo zapnout, je 200 A [9].

- Kategorie AC1 – jmenovitý proud bude stejný, tj. 200 A
- Kategorie AC2 – stykač musí být schopen sepnout 4násobek jmenovitého proudu, lze tedy užít pro jmenovitý proud menší nebo roven 50 A
- Kategorie AC3 – stykač musí být schopen zapnout 10ti násobek jmenovitého proudu, jmenovitý proud stroje může být maximálně 20 A
- Kategorie AC4 – stykač spíná až 12ti násobek jmenovitého proudu, jmenovitá hodnota tedy bude 16,6 A

Z těchto údajů lze tedy odvodit, že čím náročnější jsou pracovní podmínky, tím větší násobky jmenovitého proudu mohou v obvodu vzniknout a tím větší musí být proudová rezerva stykače.

3.2.2 Úvaha o vhodném výběru stykačů pro nebezpečné prostředí

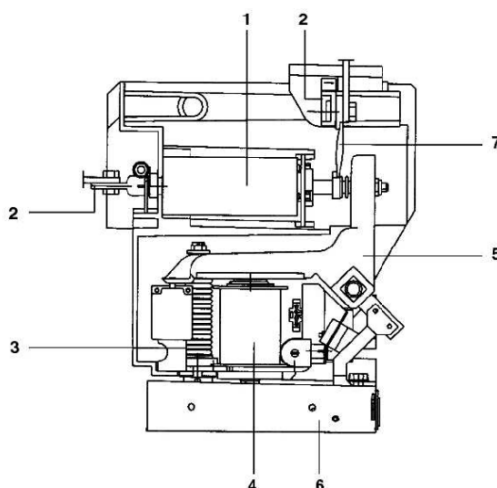
V další části práce se omezíme pouze na jediný typ stykačů, a to konkrétně na stykače vakuové – jejich výhodou oproti vzduchovému provedení je skutečnost, že mezikontaktní prostor není ovlivněn vnějším působením.

U olejových stykačů mohou vznikat problémy s únikem média, během vypínacích pochodů dochází ke zhoršení izolačních vlastností oleje, dále může i docházet k vývinu plynů, které také negativně ovlivňují funkci stykače.

3.3 Vakuové stykače

3.3.1 Konstrukční provedení

Vakuový stykač je v podstatě běžný stykač, který je vybaven vakuovou zhášecí komorou. Tyto stykače mají oproti běžnému provedení (se otevřenou zhášecí komorou) menší provedení, a to díky vysoké elektrické pevnosti vakua [11].



Obr. 5 Řez vakuovým stykačem [18] – 1) Vakuové zhášedlo 2) Přířady 3) Vypínací pružina 4) Zapínací elektromagnet 5) Pohyblivá páka 6) Základna 7) Pohyblivé vodiče

3.3.2 Úvod do vakuové spínací techniky

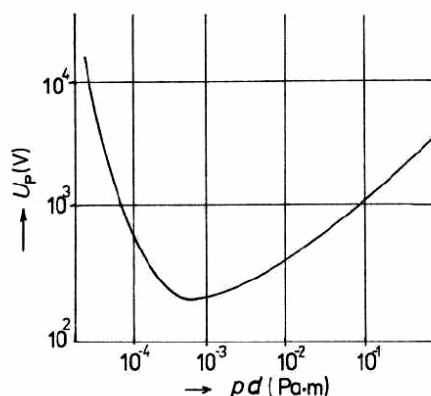
Vakuová technika (vypínače, stykače) se stále čím dál více s výhodou uplatňuje ve výkonové spínací technice. Samotný nápad využít izolační vlastnosti vakua je velmi starý a předběhl svoji dobu, první patent na vakuový vypínač byl udělen už koncem 19. Století. Bohužel, tehdejší technologie neumožňovaly vyrobit vakuové přístroje dostatečné kvality. Problémů se zde vyskytovalo hned několik [11]:

- Dosažení dostatečně vysokého stupně vakua
- Zajistit těsnost při spojování kovů a izolačních materiálů
- Zabránit utržívání proudu

Pozn.: Utrháváním proudu rozumíme uhašení elektrického oblouku dříve, než proud dosáhne nulové (nebo velmi malé) hodnoty. Na počátku vývoje byly vakuové přístroje schopny utrhávat i jmenovité proudy, což má za důsledek vznik značných přepětí, a to až 12ti násobku jmenovitého napětí [11].

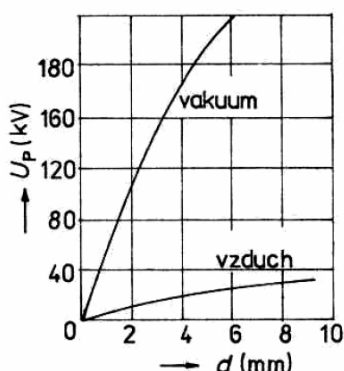
3.3.3 Vlastnosti vakua

Pokud snížíme tlak plynů pod úroveň odpovídající minimu Paschenova zákona (Obr. 6), tak pro neměnnou vzdálenost kontaktů prudce vzrůstá průrazné napětí. Obvykle při tlaku nižším než 10^{-2} Pa je střední volná dráha elektronů ve zbytkovém plynu značně delší, než je vzdálenost kontaktů. Proto po přiložení napětí ke kontaktům nemůže dojít k nárazové ionizaci volnými elektrony a nedojde ke vzniku elektrického výboje. Při dalším snížení tlaku již přestane průrazné napětí na tlaku záviset [11].



Obr. 6 Křivka Paschenova zákona [11]

Elektrická pevnost mezery ve vakuu je mnohokrát vyšší než pevnost mezery při atmosférickém tlaku. Na Obr. 7 lze vidět porovnání elektrické pevnosti vakua a vzduchu. Přestože by vakuum mělo být ideální izolantem, dochází i zde při určité hodnotě napětí k průrazu. Mechanismus průrazu je však jiný, než u ostatních prostředí. Vzhledem k tomu, že v mezikontaktním prostoru se téměř nevyskytují žádné volné elektrony, dochází k průrazu díky přítomnosti kontaktů [11].



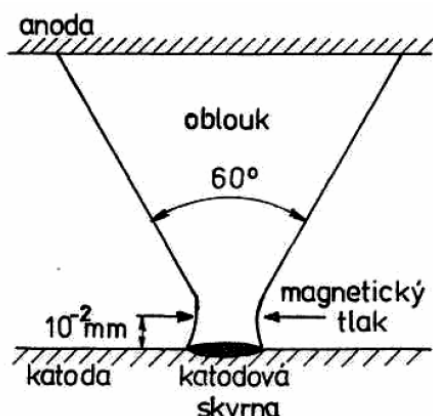
Obr. 7 Elektrická pevnost vzduchu a vakua [11]

3.3.4 Elektrický oblouk ve vakuu

Vznik oblouku při vypínání ve vakuu má následující průběh: V zapnutém stavu se kontakty dotýkají a v několika dotykových bodech dochází k přenosu proudu. Při vypínání se zmenšuje kontaktní síla a ubývá počet stykových bodů. S klesajícím počtem dotykových ploch narůstá proudová hustota v bodech, kterými stále vedou elektrický proud. V poslední fázi oddalování kontaktů existuje jediná styková plocha, která se značně zahřívá vlivem Jouleova tepla a dochází k výparu kontaktních materiálů. Při dalším oddalování vznikne v mezikontaktním prostoru mrak kovových par, dochází k jeho ionizaci a proud je přenášen vzniklým plazmatem [11].

Na katodě se vytvoří katodová skvrna s velkou proudovou hustotou, v rozmezí 10^3 až 10^4 A.mm⁻². Katodová skvrna je zdrojem kovových par pro vakuový oblouk. Tvar oblouku je na Obr. 8. Má tvar kuželu s vrcholem na katodě. Styková plocha oblouku s anodou je velká, což zaručuje, že se na anodě neobjeví přehřáté místo. Při hoření oblouku unikají z jeho trupu do okolního prostoru jednotlivé ionizované částice. Tyto částice je nutné doplňovat, a proto se musí oblouk stále zásobovat kovovými parami z katodové skvrny. Pokud není dostatek kovových par, dochází k utržování proudu [11].

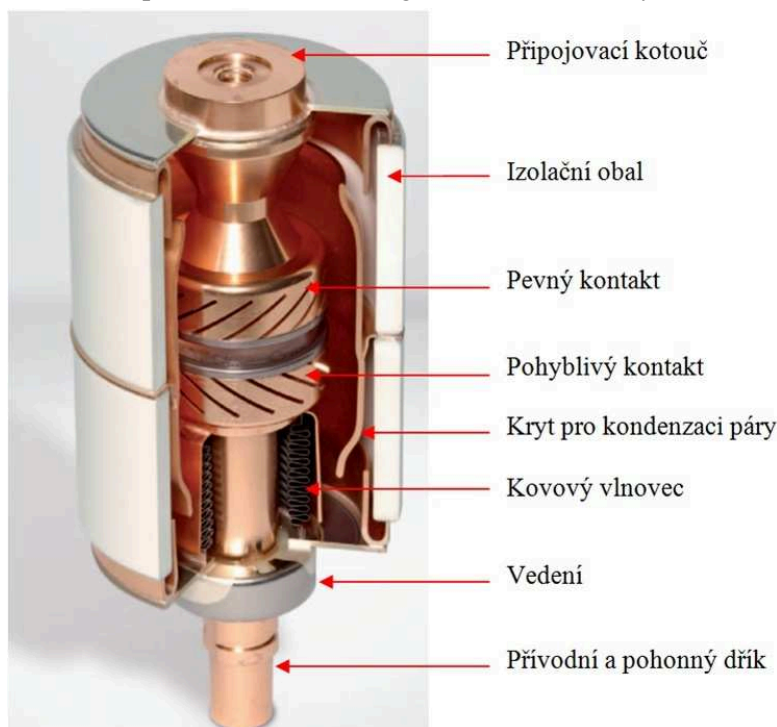
Při průchodu střídavého proudu nulou zanikají katodové skvrny asi za dobu 10^{-8} s. Atomy par kovů opouštějí prostor mezi kontakty rychlostí 10^3 až 10^4 m.s⁻¹. Plná elektrická pevnost prostoru mezi kontakty se obnovuje v řádu mikrosekund. Rychlá expanze částice značně urychluje deionizaci. Část kovových par kondenzuje na anodě, část kondenzuje na stínících krytech obklopující kontakty. Vypínacími pochody dochází ke ztrátě materiálu. Tato ztráta závisí na velikosti vypínaného proudu, fyzikálních vlastnostech kontaktů a na tvaru a velikosti kontaktů. Ztráty se běžně pohybují v řádu 10^{-3} μg.C⁻¹ [11].



Obr. 8 Oblouk ve vakuu [11]

3.3.5 Princip vakuového zhášedla

Zhášedlo se skládá ze dvou kontaktů, které jsou umístěny proti sobě ve vakuové nádobě, viz Obr. 9. Tlak okolního plynu uvnitř vakuového obalu je asi 10^{-3} Pa. Jeden z kontaktů je upevněn k víku a druhý má možnost osového pohybu při zachování dokonalé vakuové těsnosti prostřednictvím pružného členu, který se nazývá vlnovec. Při zapnutém stavu mají kontakty čelní styk. Při vysunutí pohyblivého kontaktu dochází ke vzniku oblouku, který je tvořen mrakem kovových par (viz kap. 3.3.4). Vzdálenost kontaktů je jen několik milimetrů, protože elektrická pevnost vakua je mnohem vyšší než elektrická pevnost vzduchu. K pohybu kontaktu se využívají tlakovzdušné, pneumatické nebo magnetické mechanismy. [12]



Obr. 9 Příklad konstrukce vakuového zhášedla [10]

3.3.6 Části zhášedla

Izolační části může být buď skleněná, nebo z keramiky. Korundová keramika je dražší, ale má lepší vlastnosti – větší pevnost, lépe dodržuje tolerance a je odolnější vůči mechanickému a tepelnému namáhání. Víka jsou z kovu. Propojení s kovem se provádí pod vakuem při teplotě 800°C za pomoci měkkých pájek [13].

Vlnovec umožňuje pohyb kontaktu a zároveň těsní vnitřní prostor zhášedla proti okolnímu prostředí. Vyrábí se z titanové oceli o tloušťce 0,1-0,2 mm a udává mechanickou životnost zhášedla [13].

3.3.7 Materiály kontaktů vakuových přístrojů

Uveďme si obecné požadavky na kontakty elektrických přístrojů [11]:

1. Malý stykový odpor
2. Velká odolnost proti mechanickému opotřebení (zejména otěru)
3. Velká odolnost proti svaření
4. Velká odolnost vůči opalu elektrickým obloukem
5. Optimální vliv na vývoj deionizačních pochodů po uhasnutí vypínacího oblouku

Materiály kontaktů velmi významně ovlivňují funkci vakuového stykače a představuje limitující faktor v životnosti přístroje. Na vlastnostech materiálu závisí vlastnosti oblouku a jeho zhášení. Požadavky na materiály kontaktů jsou velice přísné. Kontakty jsou vyrobeny z dokonale odplyněného a dezoxidovaného materiálu, aby vázání plynů kondenzujícími parami kontaktního kovu při hoření oblouku převažovalo nad uvolňováním plynů z kontaktů a ostatních dílů zhášedla. Množství par vzniklých při vypínání by nemělo být ani velké, ani příliš malé. Při příliš velkém množství kovových par by nedocházelo dostatečně rychle k deionizaci mezikontaktního prostoru a oblouk by neuhaslul. V případě nedostatečného množství par dochází k utrhávání proudu, které způsobuje přepětí [13].

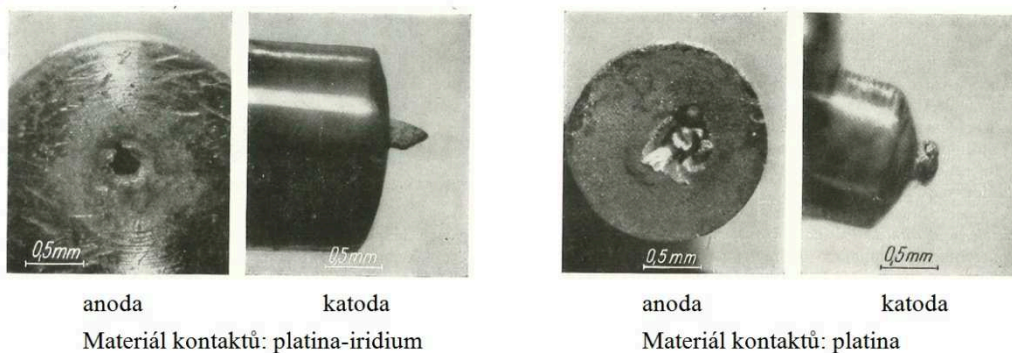
Limit životnosti vakuových spínacích přístrojů spočívá především v úbytku materiálu kontaktů. Touto problematikou se zabýval Ragnar Holm ve své práci [14]. Celkem můžeme definovat 3 hlavní typy změny rozložení a úbytku kontaktního materiálu:

1. Mechanické tření – jedná se o ztráty materiálu nezávislé na protékajícím proudu. Ačkoliv je mezi kontakty mezera jen několik milimetrů, dochází při vysoké rychlosti (která činí přibližně 0,5 m.s⁻¹) pohyblivého kontaktu k nárazu o kinetické energii 5.10⁻³ Nm. Úbytek materiálu činí přibližně 10⁻¹⁰ m³ na 10⁸ cyklů [14].
2. Kontaktní můstky – při vypínání dochází k postupnému snižování počtu kontaktních plošek, které ale stále přenášejí stejný proud. To vede k ohřívání těchto plošek, tavení materiálu, vzniku trhlinek a přenosu materiálu v poslední fázi vypínání. Zde dochází k nepatrným změnám z hlediska objemu materiálu na jeden vypínací cyklus, nicméně

vzhledem k velkému množství cyklů, které jsou schopné stykače vykonat, může docházet ke značným deformacím, viz Obr. 10 [14].

3. Přenos materiálu způsobený elektrickým obloukem. Příčinou je odpařování materiálu kontaktů. Při velkých proudech (tisíce ampérů) může vynucené odpařování materiálu vést ke vzniku kapek roztaveného kovu. S ohledem na směr přenosu materiálu můžeme stanovit dva typy oblouku [14]:

- Anodový oblouk – k odpařování materiálu dochází především z anody
- Katodový oblouk – k odpařování materiálu dochází především z katody



Obr. 10 Opořebenění kontaktů po 1 miliónu operací [14]

Problematikou výběru vhodného materiálu kontaktů pro vakuové spínací přístroje, která zahrnuje další požadavky (nízký úbytek materiálu, minimalizace utržívání proudu) se zabývá odborná veřejnost. Výsledky takového zkoumání jsou shrnuty např. v [15].

Tab. 4 Úbytky různých druhů materiálů způsobené elektrickým obloukem ve vakuu [15]

Materiál t_i [°C]	Úbytek [μg/C]	Proud [A]
Ag [961]	150	105
	140	300
	35	30
Cu [1083]	115	80
	50-190	200
	57-90	26-80
	35	100
Cr [1890]	40	100
	30	100
W [~3400]	62	250
	55	100
C [3642]	17	100
	40-124	70
AgWC (40/60)	23,6	~100
CuCr (60/40)	38	87
CuCr	36	38-400

Materiál CuCr se uplatňuje především u kontaktů vypínače, WCAg se používá u stykačů [12].

3.3.8 Průrazné napětí

Průrazné napětí značně závisí na mikroskopickém stavu kontaktů. Stav povrchu způsobuje velký rozptyl hodnot průrazného napětí a dá se zvětšit formováním zhášedel. To se provádí rovnáním povrchových nerovností nebo odstraňováním nečistot z povrchu kontaktů elektrickými průrazy. Průrazné napětí vzrůstá s velikostí zdvihu kontaktů. Zároveň je ale mechanická životnost zhášedel omezena vakuovou těsností vlnovce, kde se s rostoucím zdvihem kontaktů životnost zkracuje. Zdvih je tedy dán kompromisem mezi velikostí průrazného napětí a mechanickou životností [13].

4 Průzkum trhu

V následující kapitole se budeme zabývat výrobci vakuových stykačů, širce jejich sortimentu a porovnání parametrů jednotlivých výrobků. Pro praktické užití se omezíme na nabídku výrobců v rámci EU.

V EU, potažmo v České Republice, jsou dva významní zástupci vyrábějící vakuové stykače nízkého napětí, a to Siemens a Elektropřístroj. Poměrně překvapivé je zjištění, že jeden z dominantních hráčů na trhu nejen silnoproudé techniky, firma ABB, tyto stykače v provedení pro nízké napětí nevyrábí. Naproti tomu, pro spínání vysokého napětí existuje poměrně více prodejců : Hansen Electric, Navaris, ABB, ZEZ Silko a výše jmenovaný Siemens.

Pro srovnání si uvedeme 3 stykače z různých výrobních řad každého výrobce, s uvedením základních parametrů, pro detailní porovnání vybereme po jednom zástupci z každé firmy.

4.1 Srovnání výrobních programů firem

4.1.1 Elektropřístroj

Vakuové stykače z řad VK a VM jsou určeny pro spínání v silových obvodech střídavého napětí do 1000 V, zejména pro kategorie užití AC-1, AC-2, AC-3 nebo AC-4. Jsou velmi vhodné pro spínání odporových zátěží, pro přímé spouštění elektromotorů, pro reverzaci i přepínání hvězdatrojúhelník, nebo pro rotorové spouštěče. Díky použití vakuových spínacích komor dosahují vysoké elektrické životnosti a zachovávají si plnou vypínací schopnost i pro napěťovou hladinu 1000 V AC. Provedení se sníženým příkonem je označeno v názvu písmenem M (např. VK300M) a je určeno pro prostředí s omezeným prouděním vzduchu, např. pro uzavřené rozváděče ve výbušném prostředí [16].

Stykače řady VM jsou určeny pro použití v AC obvodech pro proudy až do 1500 A. Jsou dodávány v sestavách, řazených podle potřebného počtu pólů a požadované hodnoty jmenovitého pracovního proudu. Jednotlivé jednopólové moduly pak nemají mechanickou vazbu, každý pól má individuální pracovní mechanismus [16].

Pracovní podmínky [16]:

- Rozsah pracovních teplot: $-40 \dots +45^{\circ}\text{C}$
- Vliv nadmořské výšky na el. parametry – je třeba použít níže uvedené korekční koeficienty. Ve výškách nad 2000 m nad mořem se zhoršují izolační vlastnosti a chlazení, snižují se kontaktní síly; negativně ovlivněny je zejména zapínací schopnost, tepelný proud a dovolená četnost spínání, ovládací napětí nesmí být nad 2000 m n. m. nižší než 90 % U_c .

- Do 2000 m bez omezení
- Od 2000 do 3000 m korekční koeficient 0,8
- Od 3000 do 4000 m korekční koeficient 0,7
- Pracovní poloha – maximální odklon od svislé pracovní polohy 22,5° ve všech směrech



Obr. 11 Stykače firmy Elektropřístroj [16]

Pro přehlednost jsou katalogové údaje uvedeny v příloze A, vypínací schopnost v příloze B.

Na základě uvedených údajů můžeme říct, že výrobní program firmy Elektropřístroj má velký rozsah výkonů (téměř do 1 MW pro kategorii užití AC-4), velkou variabilitu ovládacích napětí a proudová zatížitelnost je dostatečná pro potřebné průmyslové aplikace. Neméně důležitým údajem je elektrická životnost. Předpokládá se frekvence spínaného napětí 50-60 Hz.

4.1.2 Siemens

Výrobní program SIRIUS firmy Siemens obsahuje dvě základní řady vakuových stykačů, a to řadu 3RT12 (110-250 kW) a řadu 3TF6 (335-450 kW). Parametry stykačů jsou specifikované pro několik kategorií provozu, a to AC-1 až AC-4, AC-6a (spínání transformátorů) a AC-6b (spínání kondenzátorových baterií) [17].

Základní pracovní podmínky jsou:

- Teplota v rozsahu -25...+55°C
- Ovládací napětí v rozsahu 0,8 až 1,1 U_c
- Povolená odchylka od svislé polohy je 30°
- Stykače mohou pracovat i při otočení o 90° (vakuové komory jsou nad sebou). Maximální povolený počet sepnutí je však o 20 % nižší než při standardní provozní poloze.

Parametry stykačů, resp. jejich vypínací schopnost jsou uvedeny v příloze C, resp. příloze D.

Parametry stykačů Siemens jsou podobné jako u předchozího výrobce, významnější rozdíl představuje pouze absence možnosti ss napájení ovládacích cívek u stykačů větších výkonů. Naproti tomu, napěťové rozsahy střídavých napětí pro ovládání jsou mnohem širší. Celková nabídka je značná a představuje několik desítek různých vakuových stykačů.



Obr. 12 Stykače 3RT12 (vlevo) a 3FT68, 3FT69 (vpravo) [17]

4.2 Porovnání dvou typových stykačů

Pro porovnání zvolme reálnou průmyslovou aplikaci, a to např. ovládání důlního kombajnu MB 612E, jehož motory mají výkon 2×250 kW, napájecí napětí 690 V [18].

Pro přehlednost je porovnání uvedeno zvlášť, viz. příloha E.

Pokusme se v bodech zhodnotit kvality jednotlivých výrobků. Stykač firmy Elektropřístroj svými parametry jednoznačně převyšuje výrobek firmy Siemens, uveďme si je:

- Elektrická životnost českého výrobku je 3krát vyšší (pro danou aplikaci)
- Mechanická životnost je taktéž vyšší (nicméně není kritickým parametrem)
- Vyšší počet sepnutí za hodinu, významný je rozdíl pro kategorii užití AC-2
- Až desetkrát nižší záběrový příkon cívky
- Kratší časy pro sepnutí/rozepnutí

Jedním z možných důvodů relativně nízké životnosti výrobku Siemens je velká hodnota 10ti vteřinového proudu (5,04 kA). Takto velký proud značně dynamicky i tepelně namáhá celý přístroj a urychluje opotřebení.

5 Podmínky spolehlivého provozu v nebezpečných prostředích

5.1 Definování pojmu spolehlivosti

Pro definování spolehlivosti použijme definici dle [20]:

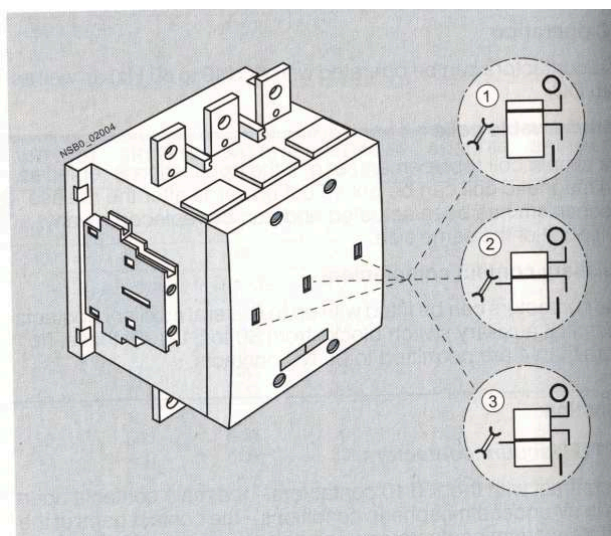
„Spolehlivost je obecná vlastnost objektu, spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase podle stanovených technických podmínek“.

- Spolehlivost je komplexní vlastnost, která může zahrnovat např. bezporuchovost, životnost, udržitelnost a skladovatelnost, buď jednotlivě nebo v kombinaci.
- Technickými podmínkami se rozumí souhrn specifikací technických vlastností, předepsaných pro požadovanou funkci objektu, dále způsoby jeho provozu, skladování, přepravy, údržby a opravy.
- Provozní ukazatele jsou ukazatele produktivity, rychlosti, spotřeby elektrické energie, paliva apod. [19]

5.2 Podmínky spolehlivého provozu

Pokusme se definovat podmínky, které povedou ke spolehlivému provozu stykačů v nebezpečných prostředích. Základem je volba takového provedení, kdy zařízení nebude ovlivňovat prostředí a naopak. Ovlivňováním zde myslíme interakci elektrického oblouku a plynů, přítomných v daných prostorech. Pro potlačení této interakce tedy volíme vhodné konstrukční provedení, které izoluje elektrický oblouk od okolí, nejlépe tedy provedení s vakuovou zhášecí komorou. Můžeme použít i prosté provedení, nicméně takové zařízení je potřeba umístit do rozváděče v nevýbušném provedení (vede k navýšení nákladů) a má výrazně nižší elektrickou životnost.

Naprostě nezbytné je dodržování pracovních podmínek daných výrobcem – teplota okolí, umístění, max. spínaný výkon, odpovídající kategorie užití apod. Vzhledem k tomu, že stykače jsou umístěné v uzavřeném rozváděči, je potřeba brát v potaz příkon ovládacích cívek a posoudit, za ustálené tepelné ztráty nebudou ovlivňovat okolní přístroje. Doporučuje se použití ochran, které nedovolí překročit dovolený počet sepnutí za hodinu (záběrové příkony ovládacích cívek jsou značné) a při pravidelné údržbě sledovat opotřebení hlavních kontaktů stykače viz Obr. 13. Modulární provedení stykače umožňuje samostatně zakoupit vakuovou zhášecí komoru a nahradit ji v případě nadměrného opotřebení. Doporučuje se stykače vybavit obvody pro tlumení přepětí.



Obr. 13 Indikátor opotřebení hlavních kontaktů [17]

- 1) Nové kontakty
- 2) Opotřebované kontakty
- 3) Velmi opotřebované kontakty – nutná výměna

6 Závěr

Tato práce shrnuje v prvním bodě základní poznatky problematiky užití elektrických zařízení v nebezpečných prostorách. Těžiště problematiky spočívá ve správném stanovení rizika výbuchu plynů, příp. vznícení hořlavých prachů. Toto posouzení do značné míry závisí na zkušenostech projektanta. Požadavky na elektrická zařízení spočívají v zamezení interakce mezi iniciační energií (jiskrou, elektrickým obloukem apod.) a nebezpečným prostředím – toho dosahujeme vhodným konstrukčním řešením.

Druhá část práce objasňuje základní principy a funkci vakuových stykačů, jejich konstrukci, fyzikální vlastnosti vakua a s tím spojené rozdíly ve vypínacích pochodech. Je zde uveden i náhled na problematiku materiálu elektrických kontaktů, která je stále aktuální a je předmětem zkoumání současné vědecké obce.

V třetí části práce jsem provedl rozbor trhu a zjistil aktuální stav výrobců vakuových stykačů nízkého napětí v rámci Evropské unie. Zjistil jsem pouze dva výrobce. Tento fakt si můžeme zdůvodnit takto:

- Vakuové elektrické přístroje jsou významně dražší, a to z důvodu náročných technologických postupů používaných při výrobě
- Jsou nasazovány pouze v aplikacích, kde je nelze nahradit stykači v běžném provedení (vzduchová zhášecí komora)
- Je výhodnější používat vn elektrické stroje, které mají významně nižší Jouleovy ztráty a jsou konstrukčně menší (výhodné pro důlní prostředí)
- Vakuové stykače se uplatňují především pro spínání vn motorů – společně se stykači plněné SF₆ představují jedinou možnost spínání

Posledním bodem práce bylo stanovení podmínek spolehlivého provozu. Vycházíme zde především z vhodného konstrukčního provedení, které samo o sobě navyšuje spolehlivost. Neméně důležitým faktem je dodržení pracovních podmínek uvedených výrobcem a sledování opotřebení hlavních kontaktů (jak elektronicky, tak např. indikátorem umístěným na přístroji). Při užití v uzavřených rozváděčích nevýbušného provedení je potřeba brát v potaz omezené možnosti proudění vzduchu, které vede k horšímu ochlazování. Zvýšené oteplení by mohlo vést k rychlé degradaci materiálů a zhoršení elektrických a mechanických vlastností. Doporučuje se vybavit stykač obvodem pro tlumení přepětí. Dále je nutné do série se stykačem vřadit pojistku nebo jistič, které budou stykač chránit před zkratem a pokusem o jeho vypnutí – došlo by k poškození kontaktního a zhášecího ústrojí stykače.

Vakuové stykače představují technologicky velmi náročné celky. S ohledem na náročné prostředí, ve kterém se vyskytují, by bylo vhodné se nadále zabývat optimalizací materiálů a tvaru kontaktů tak, abychom dále snižovali jejich opotřebení a optimalizovali délku a průběh vypínacích a zapínacích pochodů.

Literatura

- [1] ČSN EN 1227-2+A1 ed. 2. *Výbušná prostředí – prevence a ochrana proti výbuchu – Část 2: Základní koncepce a metodika pro doly*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 40 s. Třídící znak 389 622.
- [2] VRÁNA, V. KOUDELKA, C. *Vnější vlivy*. VŠB-TU Ostrava, 2006. 13 s. [cit. 2012-10-10]. Dostupné z <<http://www.fe1.vsb.cz/>>
- [3] ČSN 33 2000-5-51 ed. 3. *Elektrotechnické předpisy – elektrická zařízení – Část 5: Výběr a stavba elektrických zařízení – Kapitola 51: Všeobecné předpisy*. Praha. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 60 s. Třídící znak 332 000.
- [4] POHLUDKA, J. HRUBÝ, J. *Elektrická zařízení v prostorách s nebezpečím výbuchu hořlavých plynů, par a prachů*. 1. vyd. Praha: IN-EL, spol. s.r.o; 2001. 140 s. ISBN 80-86230-23-6.
- [5] Beck, H. Glienke, C. Möhlmann. *BIA-Report 13/97 Combustion and explosion characteristics of dust*. Sankt Augustin, Federation of the Statutory Accident Insurance Institutions of the Industrial Sector, 1997. 32 s. ISBN 3-88383-469-6. [cit. 2012-3-11]. Dostupné z <<http://www.dguv.de>>
- [6] KULICH, M. KELTOŠ, M. *Problematika nebezpečí výbuchu v návaznosti na požadavky a výběr elektroinstalace a ochranných systémů*. Centrum pro rozvoj výzkumu pokročilých řídicích a senzorických technologií. Ústav automatizace a měřicí techniky, 2011. 44 s. [cit. 2012-29-10]. Dostupné z <<http://www.crr.vutbr.cz/>>
- [7] ŘÍMAN, A. VAVRO, M. *Důlní plyny a jejich průvodní horniny*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1964. 124 s.
- [8] ČSN 60079 ed. 3. *Výbušné atmosféry – Část 0: Zařízení – Všeobecné požadavky*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 92 s. Třídící znak 332 320
- [9] NOVOTNÝ, V. *Elektrické přístroje*. Praha, vydavatelství ČVUT, 2001. 203 s. ISBN 80-01-02306-0
- [10] Siemens, firemní katalog. *3TL Vacuum Contactors – Medium-Voltage Equipment*. 2008. 48 s. [cit 2012-4-11]. Dostupné z <<http://energy.siemens.com>>
- [11] HAVELKA, O. *Elektrické přístroje*. Praha, SNTL/Alfa 1985. 440 s.

- [12] HELŠTÝN, D. *Vybrané typy elektrických přístrojů*. Ostrava, VŠB-TUO, 2010. 108 s. ISBN 978-80-248-2167-2.
- [13] HELŠTÝN, D. KAČOR, P. HYTKA, Z. *Elektrické přístroje spínací, ochranné a jisticí*. Ostrava, VŠB-TUO, Regionální centrum celoživotního vzdělávání, 2003. 216 s. ISBN 80-248-0315-1
- [14] HOLM, R. *Electric Contacts: Theory and Application*. Berlin, Springer, 1967. 482 s. ISBN 978-3540038757
- [15] *Influence of Contact Geometry and Current on Effective Erosion of Cu-Cr, Ag-WC and Ag-Cr Vacuum Contact Materials*. BRUCE SCHULMAN, Michael. G. SLADE, Paul. D. LOUD, Leslie. LI, Wangpei. IEEE Transactions on components and packaging technology. 1999. 9 s. [cit. 2012-6-12]. Dostupné z <www.scopus.com>
- [16] Elektropřístroj, firemní katalog. *Výrobní program 2012 – Stykače, vakuové stykače*. 2012. 8 s.
- [17] Siemens, firemní katalog. *Low-Voltage Controls and Distribution*. 2009.
- [18] DLOUHÝ, I. *Průzkum trhu vakuové stykače a vypínače*. Ostrava, 2009, 39 s. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Katedra elektroenergetiky. Vedoucí bakalářské práce – Zdeněk Hytka.
- [19] KOPAS, J. *Spolehlivost spínacích přístrojů nn*. Ostrava, 2010, 60 s. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Katedra elektroenergetiky. Vedoucí diplomové práce – Zdeněk Hytka.
- [20] ČSN 01 0102 – *Názvosloví spolehlivosti v elektrotechnice*. Praha. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1981