

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



Bakalářská práce

Liberec 2011

Petr Koloc

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Petr KOLOC
Osobní číslo: M08000039
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Elektronické informační a řídicí systémy
Název tématu: Návrh elektrického rozvaděče pro umístění do prostředí
s nebezpečím výbuchu dle směrnic ATEX
Zadávací katedra: Ústav mechatroniky a technické informatiky

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

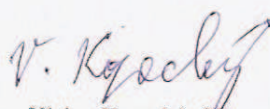
1. Seznamte se s požadavky směrnice ATEX a souvisejících norem ČSN na konstrukci elektrických zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu.
2. Definujte prostředí (zón) pro umístění navrhovaného elektrického nízkonapětového rozvaděče Ex s ochranou vnitřním přetlakem "p".
3. Navrhněte konstrukční provedení skříně rozvaděče včetně elektrického a neelektrického vybavení rozvaděče.
4. Vytvořte potřebnou technickou dokumentaci ve vhodném CAD/CAE prostředí a specifikujte použité komponenty a zařízení.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: cca 30–40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

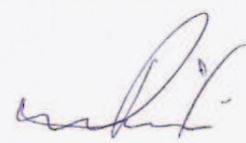
- [1] ČSN EN 60439-.. Rozváděče nn
- [2] ČSN EN 60079-.. Výbušné atmosféry
- [3] ČSN 332340 Elektrická zařízení v prostředích s nebezpečím požáru nebo výbuchu výbušnin
- [4] ČSN EN 62086-.. Elektrická zařízení pro výbušnou plynnou atmosféru
- [5] ČSN EN 13463-.. Neelektrická zařízení pro prostředí s nebezpečím výbuchu
- [6] Elektro v praxi. 3, Vysoké napětí a výbuchy. – Olomouc : Solid Team, 2009. 99 s. : il.
- [7] Elektro - odborný časopis pro elektroniku, č.5, r.2010, ISSN 1210-0889

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Diblík, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky
Konzultant bakalářské práce: Ing. Radek Ticháček
Fabricom CZ a. s. - BU Průmysl

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2010
Termín odevzdání bakalářské práce: 20. května 2011


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Petr Tůma, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 15. října 2010

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat zaměstnancům firmy Fabricom CZ a.s., za rady a připomínky k vypracování teoretické i technické dokumentace této bakalářské práce a za umožnění řešení tohoto zadání. Zároveň děkuji svému vedoucímu Ing. Martinu Diblíkovi, Ph.D., za vedení mé práce.

Anotace

Návrh elektrického rozvaděče pro umístění do prostředí s nebezpečím výbuchu dle směrnic ATEX

Práce se zabývá návrhem elektrického rozvaděče do výbušného prostředí. Jedná se o nízkonapěťový rozvaděč pro umístění do prostředí s rizikem exploze plynů, par a mlh. Vybráno bylo provedení elektrického rozvaděče s vnitřním přetlakem (Exp).

První část této práce seznamuje s problematikou návrhu a technických norem, které se touto oblastí zajímají. Jsou rozebrány různé druhy ochrany závěrů do prostředí s nebezpečím výbuchu. Společně s tím jsou uvedeny nutné požadavky pro konstrukci těchto zařízení.

Praktická část obsahuje bližší informace a požadavky k funkci závěru s vnitřním přetlakem. Je navržen logický obvod zajišťující řízení provozu rozvaděče a udržení bezpečného stavu. V příloze je uvedena technická dokumentace, která obsahuje výkresy elektrického a pneumatického zapojení, osazení rozvaděče a seznam použitých zařízení a součástek.

Klíčová slova: elektrický rozvaděč, závěr s vnitřním přetlakem (Exp), prostředí s nebezpečím výbuchu

Annotation

Design of electric switchboard for placement in environment with danger of explosion in accordance with ATEX directive

This work is concerned with the design of an electric switchboard for an explosive environment. It is a low voltage switchboard suitable for the environment with potential risk of gas, fume and fog explosion. The design of electrical switchboard with pressurized enclosure (Exp) has been chosen for this study.

The first part of the work introduces into design issues and also into technical standards concerning this sphere. Many types of securities for an enclosure for hazardous area are analysed here. As well there are mentioned the necessary requirements for the construction of this type of equipment.

The practical part contains detailed advices and requests for the function of the pressurized enclosure. A logic circuit ensuring the system controls and the maintenance of the secure status is designed. In attached technical documentation there are drawings of electrical and pneumatic connection, a switchboard shoulder and a list of parts and equipment used for this design.

Key words: electrical switchgear, pressurized enclosure (Exp), hazardous area

Obsah

Zadání	2
Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Anotace	5
Annotation	6
Obsah	7
Seznam tabulek	9
Seznam obrázků.....	10
1 Úvod.....	11
2 Definice pojmů	12
3 Rozdělení druhů ochranných elektrických zařízení a jejich prostředí dle ATEX	15
3.1 Definice prostředí s nebezpečím výbuchu a elektrických zařízení.....	16
3.1.1 Skupiny zařízení a jejich kategorie	16
3.1.2 Rozdělení zón s pravděpodobností výbušné atmosféry	19
3.1.3 Klasifikace povrchových teplot a teplot okolí	21
3.1.4 Stupně krytí IP	21
3.2 Ochrany elektrických zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu plynů a par G	22
3.2.1 Pevný závěr Exd	22
3.2.2 Zajištěné provedení Exe.....	23
3.2.3 Ochrana pomocí zalévací hmoty Exm	23
3.2.4 Ochrana pískovým závěrem Exq	24
3.2.5 Olejový závěr Exo	24
3.2.6 Jiskrově bezpečné zařízení Ex i	25
3.2.7 Závěr s vnitřním přetlakem Exp	26
3.2.8 Ochrana Typu n Exn	26
3.3 Ochrany elektrických zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu prachu D.....	27
3.3.1 Ochrana závěrem Ex tD.....	27
3.3.2 Jiskrově bezpečná zařízení Ex iD	28
3.3.3 Ochrana závěrem s vnitřním přetlakem Ex pD.....	28
3.3.4 Ochrana pomocí zalévací hmoty Ex mD	28
4 Závěr s vnitřním přetlakem.....	30

4.1 Použití podle povolení norem	30
4.2 Všeobecné požadavky	30
4.2.1 Ochranné systémy	31
4.2.2 Ochrana před nebezpečným zápalným jiskřením	31
4.2.3 Kabely a Ex kabelové vývodky	32
4.2.4 Nouzové bezpečnostní vypínání a elektrické odpojení.....	33
4.2.5 Ex součásti	33
4.3 Popis systému Exp	34
4.3.1 Vnitřní zdroje úniku hořlavých látek	34
4.3.2 Značení elektrických zařízení	35
4.4 Statický přetlak	36
4.5 Přetlak s vyrovnáváním ztrát	36
4.5.1 Kryty a dveře	36
4.5.2 Soustava vzduchotechniky pro přetlak	37
4.5.3 Maximální dovolená teplota a minimální přetlak	38
4.6 Řešení podle požadavků zadání	38
4.6.1 Stavová tabulka.....	39
4.6.2 Příklad provozu navrženého rozvaděče	40
4.6.3 Modulární jednotka Sick Flexi Soft.....	41
4.6.4 Výpočet provětrávání.....	43
5 Technický popis výkresové dokumentace	45
6 Závěr	46
Seznam použité literatury	47
Přílohy.....	49
A Soubory přiložené na CD.....	49
B Modul Sick Flexi Soft	50
C Výkresová dokumentace	56

Seznam tabulek

Tab. 1: Princip kategorizace elektrických zařízení [1]	19
Tab. 2: Definice zařazení nebezpečných prostorů do zón pro prostředí s plyny, parami nebo mlhami (G) [5]	19
Tab. 3: Definice zařazení nebezpečí nebezpečných prostorů do zón pro prostředí s prachy (D) [5]	19
Tab. 4: Rozdělení zón podle pravděpodobnosti výskytu výbušné atmosféry [1]	20
Tab. 5: Klasifikace maximálních povrchových teplot pro elektrická zařízení skupiny II [2]	21
Tab. 6: Tabulka krytí IP [11]	22
Tab. 7: Minimální průřezy ochranných vodičů [5]	32
Tab. 8: činnosti prováděné při poruše dodávky ochranného plynu [5]	35
Tab. 9: Typy ochran, které mohou zůstat pod napětím [3]	36
Tab. 10: pravdivostní tabulka pro princip funkce Exp	39

Seznam obrázků

Obr. 1: Podmínkový trojúhelník hoření	15
Obr. 2: Značení nevýbušného elektrického zařízení a výbušného prostředí	16
Obr. 3: Výstražná značka „riziko exploze“ [7]	16
Obr. 4: Doporučené symboly pro vyznačování zón v nebezpečných prostorech [4]	20
Obr. 5: Pevný závěr Exd [1]	22
Obr. 6: Zajištění provedení Exe [1]	23
Obr. 7: Ochrana pomocí zalévací hmoty [1]	24
Obr. 8: Ochrana pískovým závěrem Exq [1]	24
Obr. 9: Olejový závěr Exo [1]	25
Obr. 10: Jiskrově bezpečné zařízení Ex i [1]	26
Obr. 11: Závěr s vnitřním přetlakem Exp [1]	26
Obr. 12: Ochrana typu n Exn [1]	27
Obr. 13: Ochrana závěrem Ex tD [1]	27
Obr. 14: Jiskrově bezpečná zařízení Ex iD [1]	28
Obr. 15: Ochrana závěrem s vnitřním přetlakem Ex pD [1]	28
Obr. 16: Ochrana pomocí zalévací hmoty Ex mD [1]	29
Obr. 17: Provedení a pojmy kabelových vývodů [2]	33
Obr. 18: Označení certifikace výrobku [12]	35
Obr. 19: příklad provozu rozvaděče Exp	41
Obr. 20: Navržený chod bezpečnostního obvodu rozvaděče	42

1 Úvod

Oblast elektrických zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu je velice rozsáhlá. Řídí se mnoha českými státními normami (ČSN) a směrnicemi (ATEX) souhrnně odkazovaných nařízení vlády č.23/2002 Sb.

V této práci se zabývám obecným návrhem nízkonapětového elektrického rozvaděče (nízké napětí je definováno podle vyhlášky 50/78Sb. do 1000V) a shrnutím poznatků a předpisů pro výrobu a technický návrh možného řešení v praxi. Zadání bakalářské práce vzniklo z požadavku energetické firmy zabývající se projekcí a výrobou elektrických rozvaděčů.

Elektrické obvody a zvláště prvky způsobující iniciaci výbuchu musejí být chráněny a umístěny tak, aby nedošlo k jejich kontaktu s hořlavým prostředím. Proto existuje řada konstrukcí a ochran nevýbušných elektrických zařízení, uváděných pod označením *Ex*, které popisují v kapitole 3.1.

Při spínání nebo rozpínání elektrických kontaktů dochází k vzniku elektrických oblouků, jiskření či indukci vysokého napětí. Zároveň se může zvyšovat teplota použitých elektrických prvků, které ohřívají skříň elektrického rozvaděče, nazývanou v této tématice jako závěr. Zvyšuje-li se povrchová teplota závěru, dochází i k zahřívání okolních plynů anebo nahromaděného prachu na skříni. Následkem toho může dojít k iniciaci požáru či k výbuchu. Úkolem ochrany je tedy zabránění těchto nežádoucích stavů. Nebezpečnými prvky mohou být zároveň i neelektrická zařízení a to převážně z pohledu vysokých povrchových teplot a jisker vznikajících mechanickým třením.

V teoretické části práce jsou zdůrazněna povinná nařízení a podmínky pro návrh a výrobu těchto zařízení dle technických norem. Praktická část obsahuje technický návrh použitelný v praxi. Je navrženo provedení zařízení vhodného pro použití ve výrobě, obsahující výkresy elektrického a pneumatického zapojení a osazení rozvaděče spolu se specifikací použitých komponent.

2 Definice pojmů

Problematika elektrických zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu obnáší mnoho terminologie a neznámých či méně používaných slov. Proto zde uvedu alespoň nějaké pojmy citované z Českých státních norem, které se týkají této práce. Následující pojmy jsou seřazeny dle uvedení v technických normách.

závěr (enclosure) – všechny stěny, dveře, kryty, kabelové vývodky, hřídele, tyče, táhla atd., které přispívají k typu ochrany proti výbuchu anebo k stupni ochrany krytem (IP) elektrického zařízení [2]

Ex součást (Ex component) – je část elektrického zařízení nebo modulu (jiná než Ex kabelová vývodka), která není určena pro samostatné použití a zároveň je nutné její ověření při instalaci do zařízení [2]

maximální povrchová teplota (maximum surface temperature) – definována jako nejvyšší možná teplota v mezích tolerance, která ještě nezpůsobí vznik hoření [2]

průchodka (bushing) – je izolační zařízení provádějící jeden nebo více vodičů přes vnitřní nebo vnější stěnu závěru [2]

Ex kabelová vývodka (Ex cable gland) – kabelová vývodka zkoušena odděleně od závěru zařízení, která je však certifikována jako zařízení a která může být připojena k závěru zařízení při instalaci [2]

stupeň ochrany krytem (IP) (degree of protection of enclosure (IP)) – číselná klasifikace (podle IEC 60529) uvedená za symboly *IP*, používaná pro kryty elektrických zařízení pro zajištění:

- ochrany osob proti styku nebo přiblížení se k živým částem a proti styku s pohyblivými se částmi uvnitř závěru (jiné části než hladké rotující hřídele a tomu podobné), a
- ochrany elektrického zařízení proti vnikání pevných cizích těles a kde je to určeno klasifikací také,
- ochrany elektrického zařízení proti škodlivému vnikání vody. [2]

hořlavá látka (flammable substance) – plyny, páry, kapaliny nebo jejich směsi, které mohou být vzníceny

závěr s vnitřním přetlakem Exp (pressurized enclosure) – závěr, kde vnitřní tlak bezpečného plynu je vyšší než tlak okolní atmosféry [3]

typ px (type px) – technika vnitřního přetlaku, která snižuje úroveň ochrany zařízení uvnitř závěru s vnitřním přetlakem z *Gb* na bez nebezpečí výbuchu nebo *Mb* na bez nebezpečí výbuchu [3]

typ py (type py) – technika vnitřního přetlaku, která snižuje úroveň ochrany zařízení uvnitř závěru s vnitřním přetlakem z *Gb* na *Gc* na bez nebezpečí výbuchu [3]

typ pz (type pz) – technika vnitřního přetlaku, která snižuje úroveň ochrany zařízení uvnitř závěru s vnitřním přetlakem z *Gc* na bez nebezpečí výbuchu [3]

bod vzplanutí (flashpoint) – nejnižší teplota kapaliny, při které kapalina za určitých standardních podmínek uvolňuje páry v takovém množství, že jsou schopny vytvořit zápalnou směs par se vzduchem [4]

dolní mez výbušnosti LEL (lower explosive limit LEL) – koncentrace hořlavého plynu nebo par se vzduchem, pod kterou již není plynná atmosféra výbušná [4]

horní mez výbušnosti UEL (upper explosive limit LEL) – koncentrace hořlavého plynu nebo par se vzduchem, nad kterou již není plynná atmosféra výbušná [4]

teplota vznícení výbušné plynné atmosféry (ignition temperature of an explosive gas atmosphere) – nejnižší teplota horkého povrchu, při které dojde za stanovených podmínek ke vznícení hořlavé látky ve formě plynu nebo par ve směsi se vzduchem [4]

výbušná atmosféra (explosive atmosphere) – směs hořlavých látek ve formě plynů, par, mlhy či prachů se vzduchem, kterou se dokáže šířit požár [4]

trvalé rozředování (continuous dilution (flow)) – znamená permanentní dodávání ochranného bezpečného plynu dovnitř závěru, tak aby nemohlo dojít k zvýšení koncentrace nebezpečné směsi v okolí míst s možností iniciace jiskření, hoření, atp. [5]

vyrovnávání ztrát (leakage compensation) – zajištění úniků ochranné směsi ze závěru dodáním nového množství [5]

statický přetlak (static pressurization) – samostatný přetlak uvnitř závěru *Exp*, který nemá přívod ochranného plynu [5]

nebezpečný prostor (hazardous area) – znamená prostor, ve kterém je nebo se může objevovat výbušná plynná atmosféra, u níž je potřeba zvláštní opatření [5]

skupina (nevýbušného elektrického zařízení) (group (of an electrical apparatus for explosive atmospheres)) – klasifikace elektrického zařízení ve vztahu k výbušné atmosféře, ve které má být používáno (skupina I, II) [5]

zóny (zones) – zařazení nebezpečných prostorů do zón na základě četnosti vzniku a doby přítomnosti výbušné atmosféry (zóny 0, 1, 2 pro prostory s obsahem směsí

hořlavých látek ve formě plynu, par nebo mlhy se vzduchem; zóny 20, 21, 22 pro prostory s obsahem prachu v atmosféře) [5]

elektrický rozvaděč – elektrické zařízení sloužící k rozvodu a distribuci elektrické energie

3 Rozdělení druhů ochran elektrických zařízení a jejich prostředí dle ATEX

Pro prostředí s nebezpečím výbuchu existuje řada značení prostorů, kategorií a skupin elektrických zařízení. [10] Značení může být provedeno buď podle mezinárodní normy IEC/CENELEC (International Electrotechnical Commission/European Committee for Electrotechnical Standardization), jejíž paralelou je úroveň ochrany zařízení EPL (Equipment Protection Level) nebo NEC 505 (National Electrical Code) či podle evropské směrnice 94/9/ES - ATEX, vydané v České republice jako nařízení vlády č.23/2002 Sb., na které se zaměřuje tato práce. [6]

Pro vznik hoření či exploze ve výbušném prostředí je nutný tzv. podmínkový trojúhelník, který je zachycen na obrázku 1. Musí působit zároveň tři vlivy. Nebezpečná hořlavá látka v nebezpečném prostředí, s vysokým stupněm rozptýlení a koncentrací na mezi výbušnosti. Současně je nutná přítomnost vzduchu jako nosiče kyslíku. Trojúhelník zároveň doplňuje zápalný zdroj, který může být cizí nebo samovzněcující. Pro zachování bezpečnosti musí být iniciační zdroj izolován od prostoru s nebezpečím výbuchu bezpečným zařízením.



Obr. 1: Podmínkový trojúhelník hoření

Označení pro rozpoznání bezpečného zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu zobrazuje logo na levé straně obrázku 2 použitého z [2]. Označení výbušného prostředí je na obrázku uvedeno vpravo. Obrázek 3 uvádí bezpečnostní tabulku s označení prostoru s rizikem exploze. Její provedení se u různých výrobců bezpečnostních tabulek mírně liší, forma je však definována příslušnými normami.

Druhy ochran Ex souvisejí nejen s aplikací na závěr (skříň rozvaděče), ale i s aplikací na použité komponenty uvnitř závěru, například snímače, spínací prvky, indikační zařízení a zároveň i na neelektrické přístroje a zařízení.



Obr. 2: Značení nevýbušného elektrického zařízení a výbušného prostředí



Obr. 3: Výstražná značka „riziko exploze“ [7]

3.1 Definice prostředí s nebezpečím výbuchu a elektrických zařízení

3.1.1 Skupiny zařízení a jejich kategorie

Nevýbušná elektrická zařízení se rozdělují dle nařízení vlády č. 23/2003 Sb. na dvě skupiny, I a II, které jsou dále děleny na kategorie definující elektrická zařízení. [8]

Skupina zařízení I je určena pro podzemní či povrchové části dolů s výskytem metanu nebo hořlavého prachu a je rozdělena na dvě kategorie *M 1* a *M 2*.

Zařízení kategorie *M 1* je povoleno pro použití v podzemních částech dolů ohrožených metanem nebo hořlavým prachem a v těch částech povrchového vybavení těchto dolů, které jsou ohroženy metanem nebo hořlavým prachem. Zároveň je vyžadováno, aby tato zařízení byla funkční i v případě výjimečných událostí ve vztahu k zařízení, za přítomnosti výbušné atmosféry. Zároveň v nutném případě musí být toto zařízení vybaveno dodatečnými speciálními ochrannými prostředky, tak aby bylo schopno provozu ve shodě s provozními parametry stanovenými výrobcem a zajišťovalo *velmi vysokou* úroveň ochrany. [8]

Zařízení kategorie *M 2* je povoleno pro použití v podzemních částech dolů s pravděpodobným ohrožením metanem nebo hořlavým prachem a v těch částech povrchového vybavení těchto dolů, kde je ohrožení metanem nebo hořlavým prachem *pravděpodobné*. Zároveň se u tohoto zařízení předpokládá, že bude v případě vzniku výbušné atmosféry vypnuto a je konstruováno tak, aby bylo schopno provozu ve shodě s provozními parametry stanovenými výrobcem a zajišťovalo *vysokou* úroveň ochrany. [8]

Z popisu vyplývá, že kategorie *M 1* požaduje vyšší nároky, a tedy nejvyšší možné zabezpečení. Důležitým rozdílem oproti kategorii *M 2* je zajištění *velmi* vysoké úrovně ochrany. Další rozdíl je vyvozen z použití zařízení dle pravděpodobnosti výskytu metanu nebo hořlavého prachu, kdy kategorie *M 2* vůči kategorii *M 1* řeší pouze pravděpodobné ohrožení těmito nebezpečnými látkami.

Skupina zařízení II, dělená na kategorie *1, 2, 3*, je určena pro zařízení použité v prostorech s výbušnou atmosférou v jiných než podzemních dolech s výskytem metanu.

Zařízení kategorie *1* je určeno pro použití v prostorech, ve kterých je výbušná atmosféra tvořená směsí vzduchu s plyny, párami nebo mlhami nebo prachovzdušnou směsí přítomna *trvale*, po *dlouhou dobu* nebo *často*. Zařízení musí být konstruováno tak, aby bylo schopno provozu ve shodě s provozními parametry stanovenými výrobcem a zajišťovalo *velmi vysokou* úroveň ochrany. Dokonce i v případě výjimečných událostí musí zařízení této kategorie zajišťovat dostatečnou úroveň ochrany. Buď v případě poruchy jednoho z použitých prostředků ochrany zajišťuje požadovanou úroveň bezpečnosti alespoň jeden další nezávislý prostředek ochrany, nebo v případě vzniku dvou vzájemně nezávislých poruch je zajištěna požadovaná úroveň bezpečnosti. [8]

Pro zařízení kategorie *2* platí, že je určeno pro použití v prostorech, ve kterých je *občasný* vznik výbušné atmosféry tvořené směsí vzduchu s plyny, párami nebo mlhami nebo prachovzdušnou směsí *pravděpodobný*. Zároveň musí být zařízení konstruováno tak, aby bylo schopno provozu ve shodě s provozními parametry stanovenými výrobcem a zajišťovalo *vysokou* úroveň ochrany. Při provozu musí ochranné prostředky pro zařízení zajišťovat dostatečnou úroveň ochrany i v případě častého rušení nebo častých poruch zařízení, se kterými se musí běžně počítat.

Pro směsi vzduchu s plyny, párami nebo mlhami musí být části zařízení navrženy a konstruovány tak, aby jejich stanovené maximální povrchové teploty nebyly překročeny ani v případě nebezpečí vznikajícího v abnormálních situacích předvídaných výrobcem. Otevírací části zařízení, které by mohly být zdrojem iniciace, musí být otevíratelné pouze za klidového stavu nebo přes vhodné blokovací systémy. Pokud není možné zařízení uvést do klidového stavu, musí být na otevíratelnou část zařízení umístěn štítek. [8]

Poslední kategorie 3 pro zařízení je možno použít v prostorech, kde vznik výbušné atmosféry tvořené směsí vzduchu s plyny, párami nebo mlhami nebo prachovzdušnou směsí *není pravděpodobný*, a pokud výbušná atmosféra vznikne, bude přítomna pouze *zřídka* a pouze po *krátké* časové období. Zařízení musí splnit požadovanou úroveň bezpečnosti při *běžném* provozu. Současně musí být konstruováno tak, aby bylo schopno provozu ve shodě s provozními parametry stanovenými výrobcem a zajišťovalo *běžnou* úroveň ochrany.

Pro směsi vzduchu s plyny, párami nebo mlhami platí, že při určených provozních podmínkách nesmějí povrchové teploty překročit stanovenou maximální povrchovou teplotu. Teploty vyšší mohou být ve výjimečných případech dovoleny pouze za předpokladu, že výrobce použije speciální dodatečná opatření. [8]

Kategorie 1 zajišťuje velmi vysokou úroveň ochrany a výbušná atmosféra může být přítomna trvale, po dlouhou dobu nebo často. Kategorie 2 se omezuje pouze na pravděpodobný občasný vznik výbušné atmosféry. Oproti kategorii 3 splňuje i dostatečnou úroveň ochrany při častém rušení nebo častých poruchách zařízení. Kategorie 3 zajišťuje bezpečnost pouze v běžném provozu a v místech, kde není vznik výbušné atmosféry pravděpodobný. Nejbezpečnějším zařízením skupiny II je tedy zařízení kategorie 1, dále kategorie 2 a nejnižší bezpečnost má kategorie 3.

Z hlediska definice množství výskytu účinného zdroje iniciace pro různé kategorie a skupiny je možné uvést tabulku 1. Podle značení pomocí směrnice ATEX se pro skupinu II ke kategoriím ještě přiřazuje písmeno. D (Dust) pro výbušné prostředí s prachy a písmeno G (Gas) pro výbušné prostředí s plyny, párami a mlhami. Rozdělení je tedy rozšířeno následovně: II 1G, II 2G, II 3G, II 1D, II 2D, II 3D (podle EPL je značení: II Ga, II Gb, II Gc, II Da, II Db, II Dc).

Tab. 1: Princip kategorizace elektrických zařízení [1]

kategorie		existence zdroje iniciace
úroveň zabezpečení	skupina I / II	
	M1 / 1	Účinný zdroj iniciace se nevyskytuje za normálních provozních podmínek, v případě jedné poruchy ani v případě dvou nezávislých poruch.
	M2 / 2	Účinný zdroj iniciace se nevyskytuje za normálních provozních podmínek ani v případě jedné poruchy.
	- / 3	Účinný zdroj iniciace se nevyskytuje pouze v případě normálních provozních podmínek.

3.1.2 Rozdělení zón s pravděpodobností výbušné atmosféry

Nebezpečné prostory jsou zařazovány do zón, které určují pravděpodobnost existence výbušné atmosféry. Jak ale uvádí [5], zařazení do zón nezohledňuje potenciální následky výbuchu. Zóny jsou rozděleny na dvě části, pro prostory s výskytem plyné atmosféry a prostory s výskytem prašné atmosféry. Zóny 0, 1, 2 uvedené v tabulce 2 určené pro plyné prostředí (G) a tabulka 3 se zónami 20, 21, 22 je určena pro prašné prostředí (D). Pro definici pravděpodobnosti přítomnosti výbušné atmosféry v oblasti dolů s nebezpečím výbuchu (skupina I) je rozdělování odlišné a netýká se zaměření této práce, proto není dále rozváděno. [1]

Tab. 2: Definice zařazení nebezpečných prostorů do zón pro prostředí s plyny, parami nebo mlhami (G) [5]

zóna 0	prostor, ve kterém je výbušná atmosféra, tvořená směsí hořlavých látek ve formě plynu, par nebo mlhy se vzduchem, přítomna trvale nebo po dlouhá časová období nebo často
zóna 1	prostor, ve kterém je příležitostný vznik výbušné atmosféry, tvořené směsí hořlavých látek ve formě plynu, par nebo mlhy se vzduchem, pravděpodobný za normálního provozu
zóna 2	prostor, ve kterém není vznik výbušné atmosféry, tvořené směsí hořlavých látek ve formě plynu, par nebo mlhy se vzduchem, pravděpodobný za normálního provozu, avšak pokud tato atmosféra vznikne, bude přetrvávat pouze po krátké časové období

Tab. 3: Definice zařazení nebezpečí nebezpečných prostorů do zón pro prostředí s prachy (D) [5]

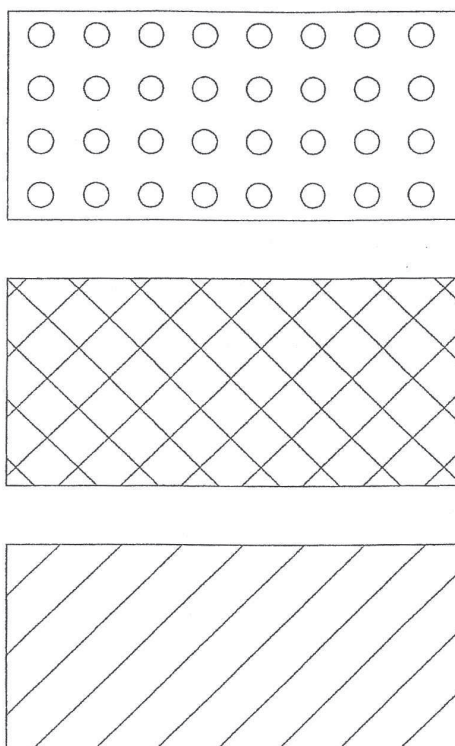
zóna 20	prostor, ve kterém je výbušná atmosféra tvořena oblakem rozvířeného hořlavého prachu ve vzduchu přítomna trvale nebo po dlouhou dobu nebo často
zóna 21	prostor, ve kterém může výbušná atmosféra tvořena oblakem rozvířeného hořlavého prachu ve vzduchu vznikat příležitostně v normálním provozu
zóna 22	prostor, ve kterém není pravděpodobný vznik výbušné atmosféry tvořené oblakem rozvířeného hořlavého prachu ve vzduchu za normálního provozu a pokud vznikne, je přítomna pouze po krátké časové období

Pravděpodobnost výskytu výbušné atmosféry a její následné přiřazení do zón doplňuje tabulka 4. Pro skupinu II elektrických zařízení kategorie 1 lze použít všechny zóny (avšak pouze pro výskyt příslušné výbušné atmosféry – plyny G odpovídající zónám 0, 1, 2 a prachy D se zónami 20, 21 22). Kategorie zařízení 2 skupiny II dovolují zóny 1, 2 a 20, 21. Poslední kategorii 3 lze používat pouze v zóně 3, respektive 22. Toto zařazení vyplývá z tabulky 1 popisující úroveň zabezpečení zařízení.

Tab. 4: Rozdělení zón podle pravděpodobnosti výskytu výbušné atmosféry [1]

zóna	pravděpodobnost výskytu výbušné atmosféry
0 / 20	Výskyt je trvalý nebo dlouhodobý. Za trvalý nebo dlouhodobý výskyt se považuje doba nad 10% z provozní doby nebo při nepřetržitém provozu doba přítomnosti výbušné atmosféry po dobu větší než 1000 hodin ročně
1 / 21	Výskyt výbušné atmosféry je pravděpodobný. Kvantitativním vyjádřením je pravděpodobnost mezi 0,1 až 10 % provozní doby, resp. 10 až 1000 hodin ročně v případě nepřetržitého provozu.
2 / 22	Výskyt výbušné atmosféry je málo pravděpodobný, ale nedá se vyloučit. Pokud vzniká, tak pouze po krátkou dobu. Kvantitativně se jedná o pravděpodobnost menší než 0,1 % provozní doby, resp. méně než 10 hodin ročně v případě nepřetržitého provozu.

Obrázek 4 uvádí symboly pro značení zón v nebezpečných prostorech, používaných v technických nákresech k návrhům dokumentace. Shora značení pro zónu 0, 1 a 2.



Obr. 4: Doporučené symboly pro vyznačování zón v nebezpečných prostorech [4]

3.1.3 Klasifikace povrchových teplot a teplot okolí

Z hlediska bezpečnosti je nutné dodržovat nízké provozní teploty. Vysoká teplota může zapříčinit vznícení okolní atmosféry nebo prachu usazeného na provozním zařízení.

Pro skupinu zařízení I je povolena maximální teplota závěru 150 °C. U elektrických zařízení skupiny II jsou povoleny vyšší teploty. Maximální povrchové teploty závěru pro skupinu II určenou pro plyny (G) uvádí tabulka 5 s šesti teplotními třídami. Pro zařízení určené do prašné atmosféry (D) se povrchová teplota netabuluje. Maximální hodnota se zapisuje na zařízení dle potřeby například ve tvaru T100°C, ale je však omezena maximální *dovolenou* povrchovou teplotou zařízení. Ta se určuje výpočtově, v závislosti na množství usazeného prachu na elektrickém zařízení. Podle [8] musí být povrchová teplota zároveň udržována dostatečně nízko pod teplotou doutnání usazeného prachu. Podobné platí u skupiny zařízení II určené pro plyny, kdy teplotní třída zařízení nesmí být menší než teplotní třída výbušné atmosféry (určena podle přítomného nebezpečného plynu).

Tab. 5: Klasifikace maximálních povrchových teplot pro elektrická zařízení skupiny II [2]

teplotní třída	maximální povrchová teplota [°C]	bezpečnost zařízení
T1	450	nejméně bezpečné - nejteplejší  nejbezpečnější - nejchladnější
T2	300	
T3	200	
T4	135	
T5	100	
T6	85	

Teplota okolí je na zařízení značena jako T_a případně T_{amb} . Pokud se hodnota teploty neuvádí, uvažuje se automaticky v rozsahu -20 °C až + 40 °C.

3.1.4 Stupně krytí IP

S ochranou elektrických zařízení souvisí zabezpečení proti nebezpečnému dotyku s živými a pohyblivými se částmi. Živé části elektrického zařízení jsou určeny k vedení elektrického proudu a při normálním provozu i poruše jsou pod napětím. Tabulka 6 uvádí stupně ochrany krytem IP. [11]

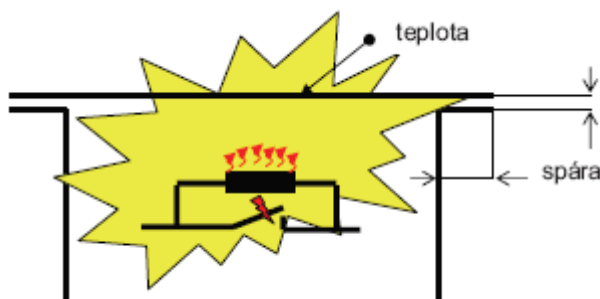
Tab. 6: Tabulka krytí IP [11]

<i>Stupně ochrany zařízení před dotykem nebezpečných částí a před vniknutím cizích pevných těles</i>		<i>Stupně ochrany zařízení proti vniknutí vody</i>	
IP 0x	nechráněno	IP x0	nechráněno
IP 1x	o průměru 50 mm a větších a před dotykem hřbetem ruky	IP x1	svisle kapající
IP 2x	o průměru 12,5 mm a větších a před dotykem prstem	IP x2	kapající ve sklonu 15°
IP 3x	o průměru 2,5 mm a větších a před dotykem nástrojem	IP x3	kropení, déšť
IP 4x	o průměru 1 mm a větších a před dotykem drátem	IP x4	stříkající
IP 5x	před prachem a před dotykem drátem	IP x5	tryskající
IP 6x	zařízení je prachotěsné a je chráněno před dotykem drátem	IP x6	intenzivně tryskající
		IP x7	dočasné ponoření
		IP x8	trvalé ponoření

3.2 Ochrany elektrických zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu plynů a par G

3.2.1 Pevný závěr Exd

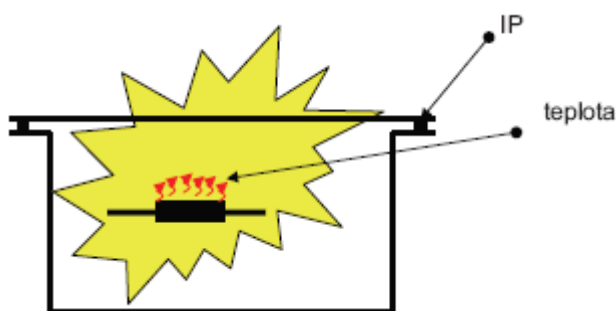
Jedná se o nejstarší typ ochrany. Závěr je nezcela uzavřená nádoba, která zajišťuje přístup okolního nebezpečného prostředí dovnitř. Proudění atmosféry je průchozí. Při vzniku výbuchu uvnitř závěru je okolní prostředí chráněno ochlazovacími proudy a pevností závěru. Spaliny se tedy dostanou ven již ochlazené a nepodněcují žádné další výbuchy. Použití tohoto typu je podmíněno maximální povolenou teplotou povrchu vnějších částí závěru, které jsou v kontaktu s okolním prostředím. Použití je například v důlních prostorech. Nejvyšší možná kategorie použití je 2, resp. M2. [1]



Obr. 5: Pevný závěr Exd [1]

3.2.2 Zajištění provedení Exe

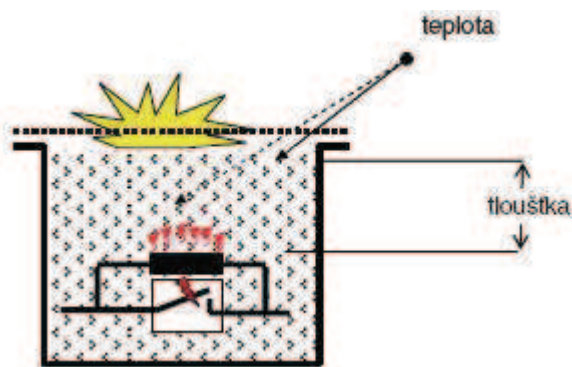
Použití tohoto způsobu je velmi omezeno. Přístup nebezpečného prostředí do závěru je umožněn stejně tak jako v *Exd*. Rozdíl je pouze v ochraně průdušných spár s využitím druhů krytí *IP*. Z důvodu konstrukce závěru, který není sestaven pro odolání výbuchu, nesmí být uvnitř použity jiskřící komponenty. Zároveň se nesmí vyskytovat horké povrchy. Důležité je také zachování bezpečnosti vzniku jisker či zvýšené teploty i během provozních poruch. Toto lze vyloučit zvýšeným důrazem na izolaci, či dodržení bezpečných vzdáleností živých částí. Výskyt ochrany *Exe* nalezneme nejčastěji u odbočných a propojovacích krabic v elektroinstalaci. Provedení splňuje úroveň kategorie 2, resp. *M2*. [1]



Obr. 6: Zajištění provedení Exe [1]

3.2.3 Ochrana pomocí zalévací hmoty Exm

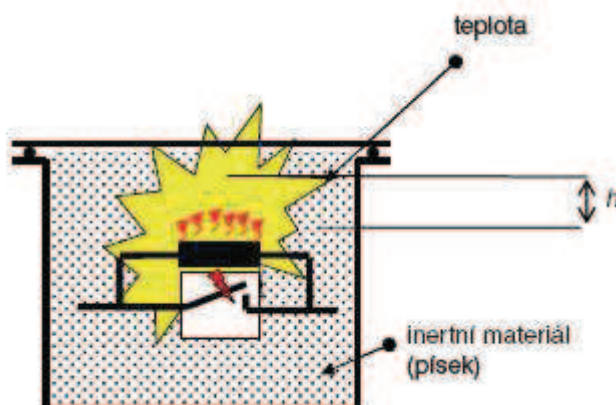
Ochrana je zajištěna zalévací hmotou a používá se pro ochranu elektronických obvodů. Všechny součásti jsou zakryty zálivkou. Požadavky na parametry hmoty jsou kladeny jednak v oblasti životnosti, teplotní nezávislosti, tak i odolnosti při vzniku zkratu na elektrických součástech. Hmota musí mít dostatečnou tloušťku, tudíž je kladen důraz i na její množství. Toto provedení zajišťuje ochranu pro kategorii elektrických zařízení 2, resp. *M2* úrovní provedení *mb* i náročnější *I*, resp. *M1* s vysokou úrovní provedení *ma*. [1]



Obr. 7: Ochrana pomocí zalévací hmoty [1]

3.2.4 Ochrana pískovým závěrem Exq

Prostor závěru je zasypán nehořlavým materiálem. V současnosti se nepoužívají pouze různé druhy písků, ale i keramika a sklo. Vniknutí výbušné atmosféry do závěru není bráněno. Proto musí být dodrženy vlastnosti zhášecí hmoty. Důležitým parametrem je zrnitost, která má vliv na zabránění přenosu výbuchu do okolní atmosféry ve výbušném prostředí. Zároveň je použití limitováno elektrickými parametry, jako je proudové zatížení obvodů a provozní napětí či výkon. Zařízení musí odolat a zachovat funkci i při provozních poruchách. Nevýhoda spočívá v nutnosti individuálního zakrytí iniciačních částí elektrických prvků, jako jsou spínací obvody (relé). Systém *Exq* zajišťuje použití v kategorii 2, resp. *M2* [1]. Analogií principu jsou například nožové proudové pojistky v distribučních sítích elektrické energie, které mají tavný drátek obsypán pískem. Ten má za úkol tlumit a zhaset elektrický oblouk při přetavení.

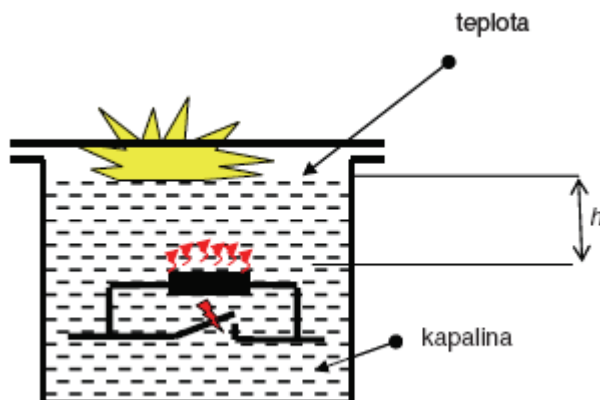


Obr. 8: Ochrana pískovým závěrem Exq [1]

3.2.5 Olejový závěr Exo

U tohoto provedení je závěr zalit v nehořlavé kapalině. Hloubka a množství kapaliny závisí na požadované bezpečnosti. Z těchto důvodů musí být prováděny kontroly, aby

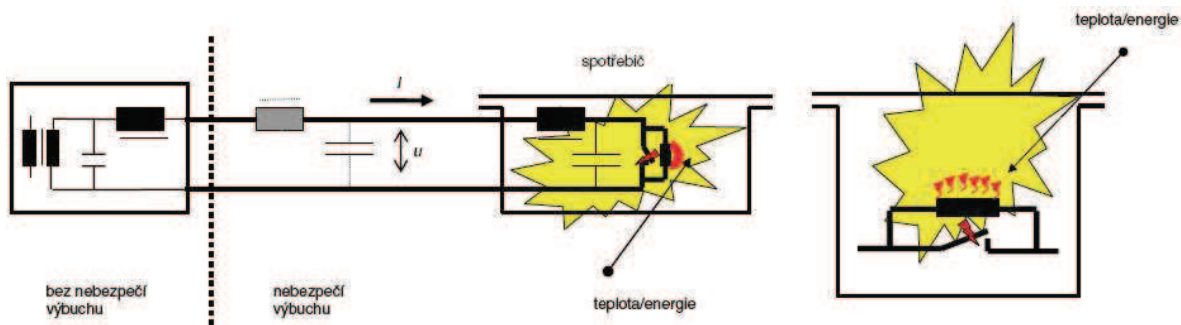
se zamezilo úniku kapaliny a následnému vzniku výbuchu v nechráněném prostředí. Provedení závěru musí umožňovat určitou pružnost, z důvodu změny tlaku izolační kapaliny. Závěr zajišťuje ochranu zařízení v kategorii 2. [1]



Obr. 9: Olejový závěr Exo [1]

3.2.6 Jiskrově bezpečné zařízení Ex i

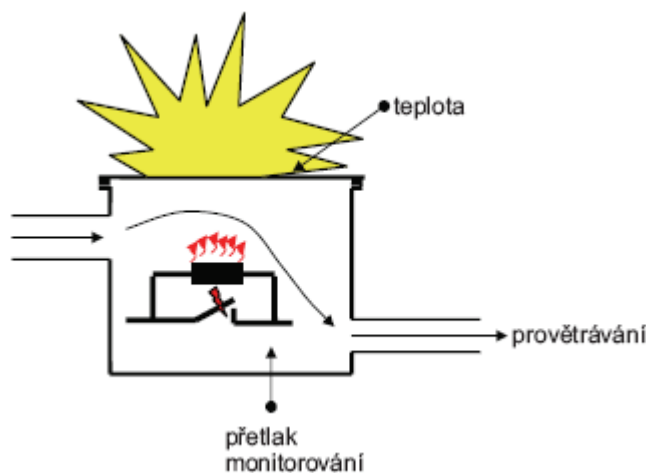
Bezpečnost spočívá v oddělení elektrických obvodů na dvě části. Část bez nebezpečí a část s nebezpečím výbuchu. V první části je umístěno zdrojové zařízení a v nebezpečné části se nacházejí pouze potřebné spotřebiče. Způsob *Ex i* pracuje na omezení energie na nízkou úroveň, která nezpůsobí nadměrné zahřívání či vznik jisker. Omezení je provedeno u energie dodávané z napájecích zdrojů a u energie akumulované součástmi elektrických obvodů [10]. Zařízení v tomto provedení musí být bezpečná i při poruchách elektrických komponent, protože dochází ke kontaktu výbušné atmosféry s libovolnou částí obvodu. Dle závažnosti poruch se nadále tato ochrana dělí na tři stupně. Nejvyšší úroveň *ia*, zajišťující bezpečnost při dvou nezávislých poruchách, *ib* bezpečné při jedné poruše a *ic*, které je bezpečné pouze za normálního bezporuchového provozu. Tyto úrovně ovlivňují bezpečnost zařízení ve všech možných kategoriích 1, 2, 3, resp. *M1*, *M2*. Z hlediska nízké úrovně energie obvodů je jiskrově bezpečné zařízení vhodné pro měřicí a regulační techniku. [1]



Obr. 10: Jiskrově bezpečné zařízení Ex i [1]

3.2.7 Závěr s vnitřním přetlakem Exp

Výbušná atmosféra je naprosto odloučena od jiskrově nebezpečných zařízení závěrem, který nedovoluje její vnik. Zároveň je zajištěno nucené nebo volné provětrávání závěru s přetlakem. To je zajištěno čistým vzduchem nebo inertním plynem. Dojde tedy k zvýšení tlaku atmosféry uvnitř závěru vůči okolnímu prostředí, kde je zařízení umístěno, a tím nemůže nebezpečná hořlavá směs proniknout. S tím souvisí monitorování tlaku, aby nedošlo k omezení ochrany. Systém *Exp* se používá zejména u elektrických rozvaděčů a lze dosáhnout ochrany pro elektrická zařízení dvou kategorií 2 (resp. *M2*) a 3. [1]

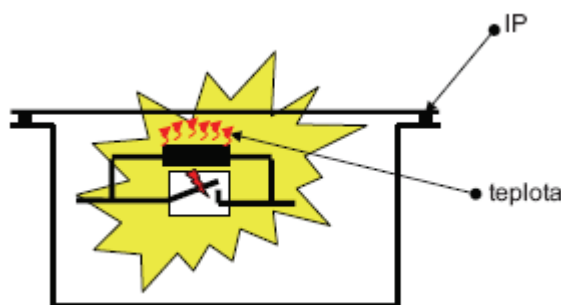


Obr. 11: Závěr s vnitřním přetlakem Exp [1]

3.2.8 Ochrana Typu n Exn

Systém umožňuje úroveň bezpečnosti pouze při normálním provozu, tudíž musí být vyloučeny poruchové stavy. Lze ho tedy použít pouze v elektrických zařízeních kategorie 3. Nebezpečná atmosféra v tomto řešení může proniknout dovnitř závěru a tím je nutné zajistit ochranu jiskřících či teplotně nebezpečných prvků samostatným krytím.

Provoz je však možný pouze s prvky majícími omezenou jiskřící energii (například relé). Nejiskřící ochrana $n\text{ Exn}$ je rozdělena na několik druhů. Stupeň $nA\text{ Exn}$ použitelný pouze pokud nejsou přítomny žádné zdroje iniciace výbuchu, $nC\text{ Exn}$ dovoluje jiskřící prvky, ale ty musí být chráněny. $nL\text{ Exn}$ možný pouze při nízké energetické hodnotě komponent a ve stupni $nR\text{ Exn}$ jsou součásti chráněny hermetickým uzavřením. Použití je možné například v měřicí technice nebo u asynchronních motorů s kotvou nakrátko, ale pouze u zařízení kategorie 3. [1]

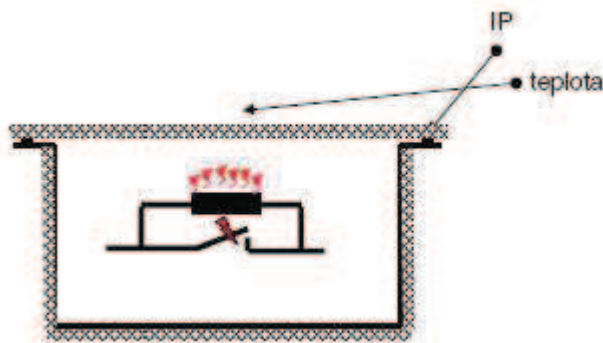


Obr. 12: Ochrana typu $n\text{ Exn}$ [1]

3.3 Ochrany elektrických zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu prachu D

3.3.1 Ochrana závěrem Ex tD

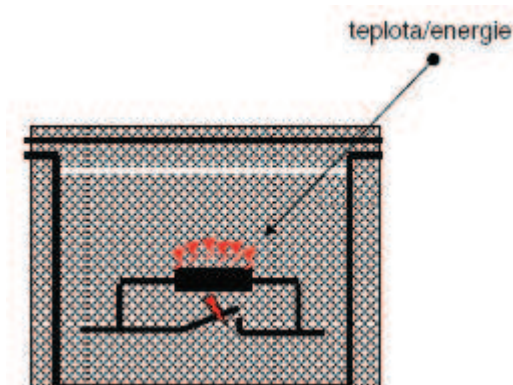
Závěr je řešen úplným uzavřením, nedochází tedy k průniku výbušného prostředí dovnitř. Použití je však limitováno teplotou povrchu, která má vliv na vznícení usazeného prachu. S tím souvisí dva druhy závěrů. První nazývaný dle *Praxe A* umožňující pouze částečné usazování prachu na závěru a druhý dle *Praxe B*, který dovoluje nechat celý závěr zasypaný prachem. Řešení těsnosti závěru je prováděno pomocí zvýšeného stupně krytí IP. Tuto ochranu lze aplikovat ve všech kategoriích 1, 2, 3. [1]



Obr. 13: Ochrana závěrem Ex tD [1]

3.3.2 Jiskrově bezpečná zařízení Ex iD

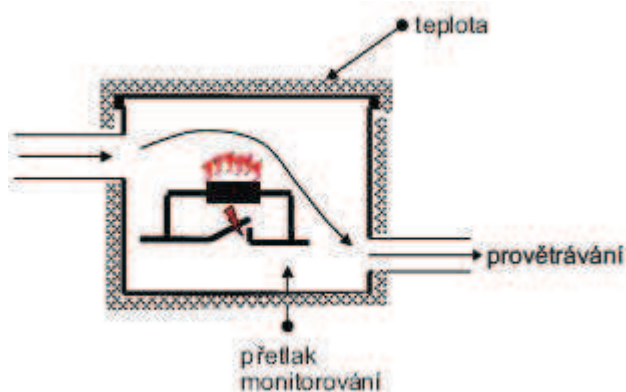
Provedení je téměř totožné se systémem *Ex i* pro plyny a páry. Stejně tak jako u *Ex i* dochází k předpokladu, že prach může vnikat dovnitř závěru k potenciálním zdrojům výbuchu. Z tohoto důvodu musí být dodrženo používání zařízení s malými energiemi. Jelikož prach je vznětlivější než směs plynů a par musí se hledět také na povrchovou teplotu součástí. Jiskrově bezpečná zařízení *Ex iD* dosahují úrovně bezpečnosti pro všechny kategorie elektrických zařízení (1, 2, 3). [1]



Obr. 14: Jiskrově bezpečná zařízení Ex iD [1]

3.3.3 Ochrana závěrem s vnitřním přetlakem Ex pD

Systém je shodný jako *Exp* pro plyny a páry. Dosahuje stejných úrovní zabezpečení elektrických zařízení a tedy kategorie 2, 3. Nejčtenější použití závěru je u elektrických rozvaděčů, kde nelze použít ochranu zcela uzavřeným závěrem typu *Ex tD*. [1]

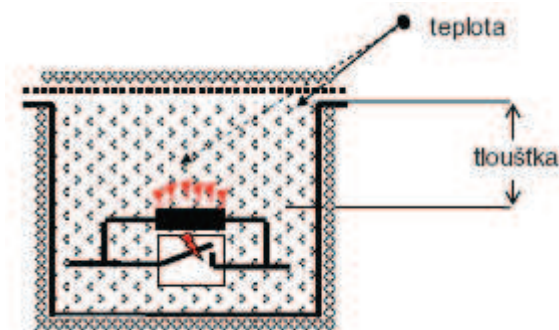


Obr. 15: Ochrana závěrem s vnitřním přetlakem Ex pD [1]

3.3.4 Ochrana pomocí zalévací hmoty Ex mD

Řešení je provedeno jako v ochraně před plyny a parami. Elektrické části, které představují potenciální zdroj iniciace jiskření, jsou zality izolační hmotou. U tohoto

typu je podstatné znát povrchovou teplotu závěru. Usazený prach se dokáže samovznítit i během několika dní a to může způsobit požár. Pro silnou vrstvu prachu se mohou stát kritické teploty již pod 100 °C. Ochranu pomocí zalévací hmoty Ex mD lze použít pro všechny kategorie elektrických zařízení (1, 2, 3). [1]



Obr. 16: Ochrana pomocí zalévací hmoty Ex mD [1]

4 Závěr s vnitřním přetlakem

Pro zaměření této práce bylo vybráno řešení ochrany s vnitřním přetlakem *Exp* (ochrana v prostředí s nebezpečím výbuchu plynů a par G). Důvod výběru je požadavek zadavatele (firmy). Odůvodněním je možnost bezproblémové správy rozvaděče v průběhu provozní činnosti po patřičném vyřazení z provozu. Toto provedení *Exp* umožňuje větší rozsah instalací a jeho řešení je modulární. Lze tedy skříň závěru s vnitřním přetlakem skládat k sobě, a tím umožnit rozšíření elektrických rozvodů a elektrických ovládaní v nebezpečném prostředí. Například oproti provedení s pevným závěrem *Exd* (ochrana v prostředí s nebezpečím výbuchu plynů a par G) zajišťuje kontrolu a možnost eliminace povrchových teplot.

4.1 Použití podle povolení norem

Rozčlením-li systém *Exp* na dvě části, pro prostředí s nebezpečím výbuchu plynů a par a prostředí s nebezpečím výbuchu prachů, jsou pro každou část podle [1] uvedeny různé použitelnosti.

Pro plyny a páry existují dále 3 ochrany, *px*, *py*, *pz*, které lze použít v následujících zónách a kategoriích:

- *px*, *py* : zóny 1, 2; kategorie elektrických zařízení 2G, M2,
- *pz* : zóna 2; kategorie elektrických zařízení 3G.

Z tohoto rozčlenění vyplývá, že ochrany *px* a *py* jsou náročnější a zajišťují vyšší bezpečnost než ochrana *pz*.

Pro prachy existuje pouze ochrana *pD*:

- *pD* : zóny 21, 22; kategorie elektrických zařízení 2D, 3D.

4.2 Všeobecné požadavky

V této kapitole uvedu obecná opatření a požadavky pro konstrukci elektrických zařízení pro prostředí s nebezpečím výbuchu.

Podle normy ČSN 60079-14 [5] (zabývající se návrhem, výběrem a zřizováním elektrických instalací) je vhodné dodržet, aby elektrické zařízení, pokud je to prakticky možné, bylo umístěno nejlépe v prostoru bez nebezpečí výbuchu. Pokud to není možné splnit, mělo by být elektrické zařízení umístěno v co *nejméně nebezpečném* prostoru.

Znamená to tedy, že je dobré se vždy při projektování zaměřit na umístění elektrického zařízení a zároveň vyloučit a vyhnout se prostorům s nebezpečím výbuchu. Tyto podmínky zajistí zjednodušení návrhu projektu.

4.2.1 Ochranné systémy

Z doplňkových požadavků na ochranné systémy vyplývá všeobecný požadavek, že ochranné systémy musí být navrženy a umístěny tak, aby se zabránilo rozvinutí nebezpečných řetězových reakcí nebo rozšíření plamene a vzniku výbuchu. V případě poruchy napájení si musí ochranné systémy zachovat svou funkčnost po dobu postačující k zabránění vzniku nebezpečných situací. [8]

Pokud proběhne výpadek napájení, musí zůstat například ve funkci ventilační zařízení s kompresorem pro tvoření přetlaku (pro provedení *Exp*), aby nedošlo k nežádoucímu výbuchu. Funkčnost přetlakového zařízení by však mohla být omezena, když by proběhl výpadek, který by odpojí celého napájení zařízení, a teplota uvnitř závěru by nepřesahovala povolenou hodnotu.

S přetlakem v závěru souvisí systém pro uvolnění tlaku, který musí být v návrhu použit pro zamezení namáhání ochranných systémů a uvolnění přetlaku, které neohroží osoby v okolí [8].

4.2.2 Ochrana před nebezpečným zápalným jiskřením

Zápalné jiskření může vzniknout nedodržením několika opatření, které uvádí [5] v kapitole 6 str. 34. Nebezpečí od živých částí (vyloučení jakéhokoli kontaktu s holými živými částmi), nebezpečí od přístupných a vnějších vodivých částí, nebezpečí od špatného pospojování (uvedení na stejný potenciál), statické elektřiny (od nekovových částí, nejčastěji plastů) a ochranou proti blesku.

U nebezpečí od přístupných a vnějších vodivých částí je základním principem omezení zemních poruchových proudů v nosné konstrukci nebo závěrech a zabránění zvýšení potenciálu na vodičích pro vzájemné pospojování. Pro síť TN musí být v nebezpečném prostoru využita síť TN-S (s odděleným středním vodičem N a ochranným vodičem PE). Síť TT (samostatné uzemnění pro napájecí síť a přístupné neživé vodivé části) musí být chráněna proudovým chráničem a u sítě IT (střed izolován od země nebo uzemněn přes dostatečně velkou impedanci) musí být použito zařízení pro hlídání izolace, které signalizuje první zemní spojení. Lze také používat síť s malým bezpečným napětím SELV a PELV s malým ochranným napětím.

Ochrana pospojováním určuje povinnost pro sítě TN, TT a IT propojit všechny přístupné a vnější vodivé části se systémem pospojování. Průřezy ochranných vodičů jsou uvedeny v tabulce 7. Norma ČSN [2] nařizuje mít pro elektrická zařízení uvnitř i vně vyvedenu svorku pro připojení uzemňovacího vodiče nebo vodiče pro vzájemné pospojování. Vnitřní ani vnější svorka pro uzemnění nebo pro vzájemné pospojování není vyžadována například pro elektrické zařízení s dvojitou nebo zesílenou izolací, nebo u kterých není doplňkové uzemnění nutné.

Tab. 7: Minimální průřezy ochranných vodičů [5]

průřez fázových vodičů instalace	minimální průřez odpovídajícího ochranného vodiče
$S \text{ [mm}^2\text{]}$	$S_p \text{ [mm}^2\text{]}$
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$0,5 S$

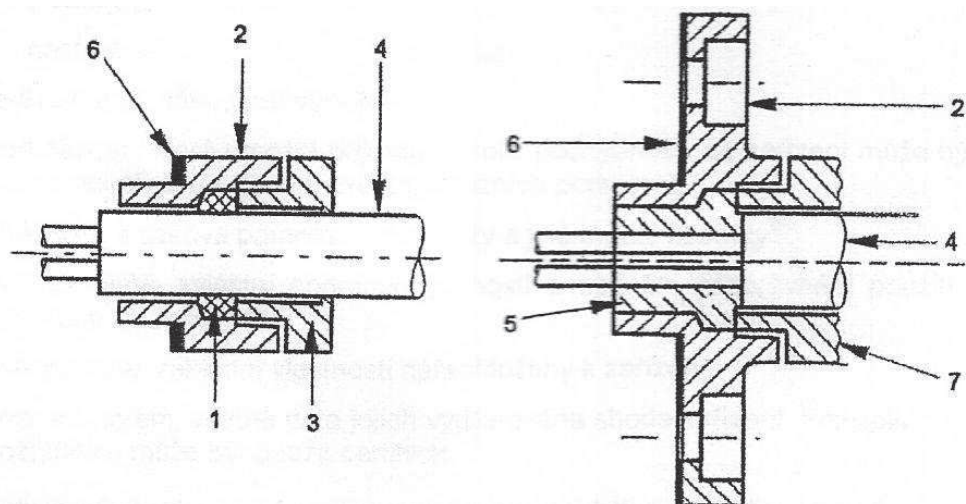
4.2.3 Kabely a Ex kabelové vývodky

Na kabely jsou kladeny požadavky na elektrické parametry. Jedná se o stanovení indukčnosti, kapacity a odporu kabelu. Z možného hlediska indukce napětí do kabelového vedení v prostředí s nebezpečím výbuchu není v [5] zmínka o žádných omezeních, tudíž ani omezení na přívodní délku.

Pro Ex kabelové vývodky je v [2] uvedena normativní příloha A. Ta nařizuje, že mezi kabelem a tělesem vývodky musí být zajištěno utěsnění jedním z těchto způsobů:

- elastomerovým těsnicím kroužkem;
- kovovým nebo kompozitovým těsnicím kroužkem;
- zalévací hmotou.

Obrázek 17 zobrazuje pojmy a dvě provedení kabelových vývodek. Vlevo je uvedena vývodka s těsnicím kroužkem a vpravo se zalévací hmotou.



Legenda

- | | |
|-------------------|----------------------------------|
| 1 Těsnící kroužek | 5 Zalévací hmota |
| 2 Těleso vývodky | 6 Těsnění (je-li nutné) |
| 3 Stlačovací část | 7 Část zadržující zalévací hmotu |
| 4 Kabel | |

Obr. 17: Provedení a pojmy kabelových vývodků [2]

4.2.4 Nouzové bezpečnostní vypínání a elektrické odpojení

Z bezpečnostních důvodů podle [5], musí být možno odpojit elektrické zařízení z alespoň jednoho místa nalézajícím se v bezpečném prostoru. S výjimkou vypnutí těch elektrických zařízení, které musí pokračovat v provozu pro zabránění vzniku dodatečného nebezpečí. Ty musejí být zapojeny do samostatného obvodu. Dále je nutné mít pro každý obvod nebo skupinu obvodů vhodný odpojovací prostředek (např. odpojovač, pojistka, propojka), které odpojí všechny vodiče obvodů včetně středního vodiče [5]. U odpojovačů musí být zřetelně viditelná poloha kontaktů *nebo* musí být spolehlivě signalizována vypnutá poloha. Závěry které obsahují pojistky, musí být blokovány tak, aby pojistky šly vložit nebo vyjmout pouze bez napětí [2].

4.2.5 Ex součásti

Ex součást je podle [2] prázdný závěr nebo součást či sestava součástí pro použití se zařízení, které splňuje požadavky typů ochrany uvedených v kapitole 3.2 a 3.3 této práce.

Montáž součástí do zařízení je možno provést zcela uvnitř závěru zařízení, zcela vně a částečně uvnitř a částečně vně zařízení. Následující výčet popisuje komponenty, které musí být použity v provedení Ex:

- *zcela uvnitř*: například typ „e“ svorky, ampérmetr, topidlo nebo indikátor, typ „d“ spínací součásti, termostaty, typ „i“ zdroje;
- *zcela vně*: například typ „e“ uzemňovací svorka, typ „i“ snímač;
- *částečně vně a částečně uvnitř*: typ „d“ tlačítkový vypínač, koncový vypínač, indikační žárovka, typ „e“ ampérmetr, typ „i“ snímač).

4.3 Popis systému Exp

Závěr s vnitřním přetlakem může být navržen dvěma způsoby. První z nich zajišťuje bezpečnost pomocí statického přetlaku uvnitř závěru bez trvalého průtoku a druhý dokáže vyrovnávat tlakové ztráty. Ochranný plyn používaný pro přetlak musí být nehořlavý a za vyhovující se považuje vzduch normální kvality, dusík nebo jiný plyn [3]. Zároveň nesmí tato látka obsahovat více kyslíku než je normálně přítomno ve vzduchu a nesmí obvykle překračovat teplotu více jak 40 °C. Z hlediska dimenzování zařízení pro tlak musí všechny potrubí a jejich spojovací části podle [5] vydržet tlak odpovídající 1,5násobku maximálního přetlaku stanoveného výrobcem, nebo maximální přetlak, který může vytvořit zdroj přetlaku při uzavření všech výstupních otvorů. Minimálně se však jedná o hodnotu 200 Pa.

Při návrhu zařízení musí být brán ohled na zabránění nebezpečného přetížení zařízení. Je tedy nutné zahrnout mezi komponenty různé nadproudové ochrany, teplotní omezovače, časově zpožděná relé a jiné [2].

S bezpečností souvisí také kovový materiál, ze kterého je závěr vyroben. Dle [2] smí složení materiálu pro konstrukci závěru obsahovat omezené množství lehkých kovů. U skupiny elektrických zařízení II se jedná o následující hodnoty:

- zóna 0, ne více jak 15 % hliníku, hořčíku, titanu a zirkonu celkem a více než 7,5 % hořčíku, titanu a zirkonu;
- zóna 1, ne více než 7,5 % hořčíku;
- zóna 2, nemá žádné požadavky, s výjimkou ventilátorů, pláště a ventilátorových mřížek, které musí splňovat požadavky pro zónu 1.

Pokud nejsou tyto požadavky dodrženy, zařízení musí být označeno symbolem “X” a musí obsahovat další informace.

4.3.1 Vnitřní zdroje úniku hořlavých látek

Zařízení s vnitřním zdrojem úniku musí být instalováno, podle [5], v souladu s návodem výrobce. Vnitřním zdrojem úniku v závěru jsou myšleny hořlavé látky. Ty pronikají

z vnitřních systémů do závěru. Jedná se například o plyn či kapalinu, uvolňující se třeba při nadměrných nebezpečných teplotách z vnitřních prvků v závěru. V případě poruch dodávky ochranného plynu do závěru s vnitřním přetlakem, má být spuštěna výstraha a provedena nápravná akce pro udržení bezpečnosti systému.

Zařízení bez vnitřního zdroje úniku neuvažuje vznik nebezpečných látek. Pokud však dojde k poruše dodávky ochranného plynu pro toto elektrické zařízení, musí nastat činnosti, které uvádí následující tabulka.

V této práci se uvažuje zařízení bez vnitřního zdroje úniku s požadavky kategorie 2G a zařízeními, která nejsou bez přetlaku vhodná pro prostory vyžadující zařízení Gc (dle ATEX 3G).

Tab. 8: činnosti prováděné při poruše dodávky ochranného plynu [5]

druh zařízení dle CENELEC (EPL) / ATEX	závěr obsahující zařízení, které NENÍ bez přetlaku vhodné pro prostory vyžadující zařízení Gc	závěr obsahující zařízení, které JE bez přetlaku vhodné pro prostory vyžadující zařízení Gc
Gb / 2G	výstraha a vypnutí	výstraha
Gc / 3G	výstraha	žádná činnost

4.3.2 Značení elektrických zařízení

Označování elektrických zařízení pro závěr s vnitřním přetlakem *Exp* pro prostředí s nebezpečím výbuchu plynu a páry je dle směrnice ATEX rozčleněno na osm částí. První z nich je obecný znak pro zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu dle obrázku 2 (vlevo). Dále se uvádí skupina (I, II), zóna použití (0, 1, 2) kategorie zařízení (1, 2, 3, M1, M2), výbušná atmosféra (plyny a páry G, prachy D), označení zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu (Ex) spolu se symbolem použitého druhu ochrany (*d*, *px*, *py*, *pz*, *q*, *o*, *e*, *ia*, *ib*, *ic*, *nA*, *nL*, *nC*, *nR*, *ma*, *mb*) a na závěr teplotní třída (T1-T6).

Pro příklad uvedu značení *Exp* s vybranými požadavky, na které se zaměřuje

tato práce:  II(1) 2G *Exp* T6 .

Zároveň je podle [8] nutno dodržet další požadavky. Čitelně a trvanlivě, nejlépe na štítku přístroje, musí být vyznačen název a adresa výrobce a označení CE (označení uvádí obrázek 18).



Obr. 18: Označení certifikace výrobku [12]

To podle [12] zaručuje splnění veškerých náležitostí základních požadavků všech direktiv Evropské unie, které se na daný výrobek vztahují. K úplnosti značení

elektrických zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu je ještě nutné uvést sériové číslo, pokud existuje, a rok výroby.

4.4 Statický přetlak

Statický přetlak znamená, že závěr se naplní inertním plynem v prostoru bez nebezpečí výbuchu. U tohoto provedení nejsou dovoleny vnitřní zdroje úniku hořlavých látek. Minimální úroveň přetlaku musí být větší než maximální ztráta tlaku v normálním provozu. Její měření je stanoveno v [3] kapitole 8.7. Nejmenší hodnota musí být alespoň 50 Pa nad vnějším tlakem. Bezpečnost zařízení musí být při poklesu přetlaku zajištěna dvěma automatickými zařízeními pro provedení p_x a p_y a pro p_z jedním bezpečnostním zařízením. [3] Tím je rozuměno bezpečnostní opatření například v podobě zvukového výstražného signálu, vypnutí napájení apod. Vypnutí napájení může být provedeno s výjimkou u těch prvků v závěru, které mohou zůstat pod napětím uvedených v tabulce 9. Jakmile dojde k poklesu minimálního přetlaku, musí být závěr přemístěn do prostoru bez nebezpečí výbuchu.

Toto provedení není použito v této práci, protože nedovoluje časté zásahy do závěru. Vstup do závěru je podmíněn vypnutím přístroje a jeho přesunutím mimo nebezpečnou zónu. Po provedení potřebných zásahů musí být provedena opětovná inertizace a převoz do nebezpečného prostředí.

Tab. 9: Typy ochran, které mohou zůstat pod napětím [3]

Typy ochran, které mohou zůstat pod napětím i mimo provoz závěru:	
provedení p_x , p_y :	"d", "e", "ia", "ib", "ma", "mb"
provedení p_z :	"d", "e", "ia", "ib", "ma", "mb", "mc", "o", "q", "nA", "nC", "nL"

4.5 Přetlak s vyrovnáváním ztrát

V této kapitole popíšeme provedení závěru *Exp*, pro typy p_x , p_y , p_z . Uvedené požadavky je nutné splnit a určuje je Česká státní norma 60079-2 [3].

4.5.1 Kryty a dveře

Všechny tři provedení (p_x , p_y , p_z) závěru s vnitřním přetlakem musí splňovat minimální stupeň krytí $IP4x$. To znamená, že musí splňovat ochranu zařízení před dotykem nebezpečných částí a před vniknutím cizích pevných těles o průměru 1 mm a větších nebo vniknutí drátu. Závěry pro skupiny *I* musí mít pro dveře a kryty zvláštní zámky, přičemž pro zařízení skupiny *II* toto nařízení neplatí. Je-li závěr v provedení p_x , musí

být dveře a kryty, které lze otevřít bez pomoci klíče nebo nástroje blokovány tak, aby napájení zařízení bylo okamžitě vypnuto. Do doby, než dojde k opětovnému zavření, nesmí být napájení obnoveno. Prvky v závěru s provedením v tabulce 9 mají výjimku a mohou zůstat pod napětím. Jinak musí být vystaven níže uvedený výstražný nápis. Pro provedení *py* a *pz* není kladen požadavek na použití klíče nebo nástroje, ale musí být uveden výstražný nápis:

„POZOR – NEOTEVÍRAT V PROSTORU S NEBEZPEČÍM VÝBUCHU“. [3]

Pokud jsou v závěru nechráněné vnitřní obvody, které mohou zůstat pod napětím, tak musí být podle ČSN 60079-0 [2] umístěny ve vnitřním doplňkovém krytu, na kterém je umístěn nápis:

„POZOR – ŽIVÉ ČÁSTI POD KRYTEM – NEDOTÝKAT SE“,

a musí být chráněny krytím alespoň se stupněm IP 20.

4.5.2 Soustava vzduchotechniky pro přetlak

Podle [3] musí být vstup přívodu ochranného plynu umístěn v prostoru bez nebezpečí výbuchu, s výjimkou dodávky plynu z láhví a některých aplikacích skupiny elektrických zařízení *I*. Potrubí mezi závěrem a zdrojem ochranného plynu nemá normálně procházet nebezpečným prostorem. Z toho vyplývá, že je vhodné umístit kompresor s motorem pro tlakování a případně chladicí klimatizaci v bezpečné zóně. Pokud však přívodní potrubí od kompresoru musí procházet nebezpečným prostředím, musí být potrubí vyrobeno z nehořlavého a odolného materiálu.

Výfuk ochranného plynu ze závěru by měl mít vyústění *přednostně* v prostoru bez nebezpečí výbuchu. Toto lze odpustit, pokud je k zařízení dodán lapač jisker a částic. Ty se mohou vytvořit a uvolnit pod tlakem z výfuku závěru a ohrozit nebezpečné prostředí. Pokud výrobce lapače nedodává, musí být zařízení označeno znakem „X“.

Před zapnutím rozvaděče musí být odstraněny nebezpečné části nebo plyny ze závěru. Dochází tedy k tzv. provětrání. To musí splňovat určitý průtok a dobu tak, aby se mohlo následně zařízení spustit. Množství profukovaného plynu je vztaženo k minimálně *5násobku* objemu závěru a jemu příslušných přívodních potrubí (toto musí být splněno u všech typů *Exp – px, py, pz*). Objem profukovaného ochranného plynu je ještě ochráněn časovačem, který nedovolí spustit napájení závěru dříve, než po určité době. U provedení *py* a *pz* stačí použít vyznačení doby provětrávání a průtoku, u *px* je nutné navíc použít časovač.

Elektrické napájení zařízení dodávajícího ochranný plyn do závěru musí být zajištěno ze samostatného napájecího zdroje nebo přímo z napájené strany elektrického odpojovače pro závěr. [3] U provedení *px* je nutné zajistit monitoring skutečného průtoku ochranného plynu, měřicím zařízením. Zbylé systémy *py*, *pz* dovolují použít odvození průtoku z tlaku závěru a definovaného otvoru na výfuku.

Zároveň však nesmí být mezi závěrem a monitorovacím zařízením umístěn žádný ventil, který by mohl zapříčinit zkreslení měření.

4.5.3 Maximální dovolená teplota a minimální přetlak

Teplotní třída pro provedení *px*, *py* se volí podle teploty nejteplejšího místa na vnějším povrchu závěru nebo podle teploty nejteplejšího místa na povrchu vnitřních částí. Výjimečně může teplota překračovat vyznačenou teplotní třídu, pokud je závěr označen: „POZOR – NEOTEVÍRAT ŽÁDNÉ DVEŘE NEBO KRYTY PO DOBU ____ MINUT PO VYPNUTÍ NAPÁJENÍ“.

Před otevřením dojde po stanovenou dobu k ochlazení součástí. Ty pak nemohou zapříčinit vznik hoření či výbuchu. Pro typ *pz* se teplotní třída volí pouze podle teploty nejteplejšího místa vně závěru. [3]

Minimální hodnoty pro přetlak v závěru se liší dle provedení. Podle [3] musí být v každém místě závěru udržován přetlak alespoň 50 Pa pro typ *px* a *py* a pro *pz* alespoň 25 Pa. Je však vhodné udržovat tlak na vyšší hodnotě než minimální, z důvodu tlakových ztrát, aby zařízení nemuselo být stále vyřazováno z provozu při poklesu pod tuto hodnotu. Povinností výrobce je stanovit provozní *minimální* a *maximální* přetlak spolu s *maximální rychlostí unikání* tlaku vlivem netěsností při maximálním přetlaku.

4.6 Řešení podle požadavků zadání

Pro řešení této práce byl vybrán závěr s vnitřním přetlakem *Exp* s vyrovnáváním ztrát a nejvyšším typem ochrany *px* určeným pro použití v zóně 1. To odpovídá skupině elektrických zařízení *II* pro směsi plynů a par, označovaných dle směrnice ATEX 2G. Dále je také uvažováno zařízení bez vnitřního zdroje úniku hořlavých látek.

4.6.1 Stavová tabulka

Pro závěr s vnitřním přetlakem se nabízelo jako bezpečnostní řídicí obvod zapojení pomocí reléové logiky, podle tabulky 10. Tabulka ukazuje princip funkce Exp a podobně je uvedena v [3]. Funkci zajišťují pouze čtyři poslední stavy (vstupní proměnná *Podm* je dále rozvedena v kapitole 4.6.3). Popis funkčních stavů v závislosti na kombinaci pěti vstupů je uveden pod tabulkou. Kombinace vstupů jsou seřazeny chronologicky podle výstupních stavů (S0, S1, S2, S3). Toto řešení by bylo složité, proto byl zvolen systém Sick Flexi Soft. To je modulární programovatelný bezpečnostní systém určený pro realizaci složitějších kombinací a zapojení při úlohách řešení bezpečnosti strojních zařízení. V tomto případě bude využita modularita, přístrojová bezpečnost a spolehlivost tohoto zařízení daná požadavky bezpečnostní problematiky. Více uvedu v kapitole 4.6.3.

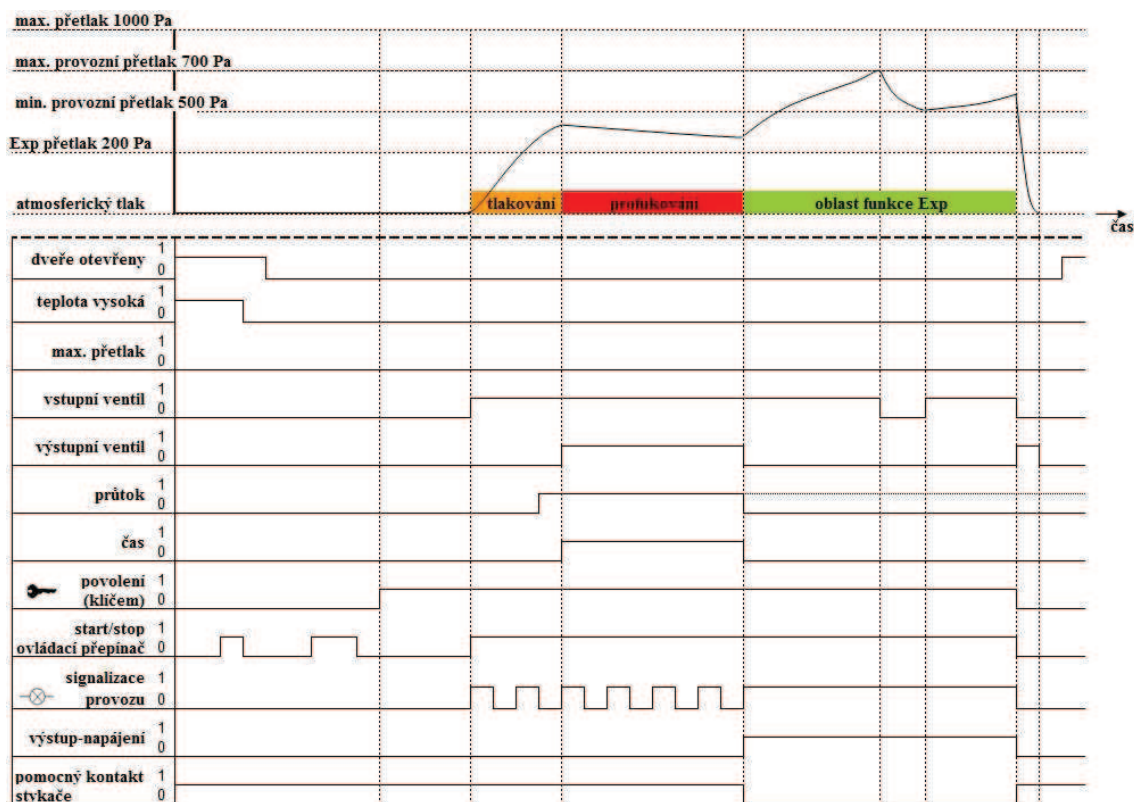
Tab. 10: pravdivostní tabulka pro princip funkce Exp

Podm	přetlak_norm ≥200Pa	min. průtok	časovač	přetlak provozní 500-800 Pa		S0	S1	S2	S3
0	0	0	0	0		1	0	0	0
0	0	0	0	1		1	0	0	0
0	0	0	1	0		1	0	0	0
0	0	0	1	1		1	0	0	0
0	0	1	0	0		1	0	0	0
0	0	1	0	1		1	0	0	0
0	0	1	1	0		1	0	0	0
0	0	1	1	1		1	0	0	0
0	1	0	0	0		1	0	0	0
0	1	0	0	1		1	0	0	0
0	1	0	1	0		1	0	0	0
0	1	0	1	1		1	0	0	0
0	1	1	0	0		1	0	0	0
0	1	1	0	1		1	0	0	0
0	1	1	1	0		1	0	0	0
0	1	1	1	1		1	0	0	0
1	0	0	0	0		1	0	0	0
1	0	0	0	1		1	0	0	0
1	0	0	1	0		1	0	0	0
1	0	0	1	1		1	0	0	0
1	0	1	0	0		1	0	0	0
1	0	1	0	1		1	0	0	0
1	0	1	1	0		1	0	0	0
1	0	1	1	1		1	0	0	0
1	1	0	0	0		0	1	0	0
1	1	0	0	1		0	1	0	0
1	1	1	0	0		0	0	1	0
1	1	1	0	1		0	0	1	0
1	1	1	1	0		0	0	0	1
1	1	1	1	1		0	0	0	1
1	1	0	1	0		0	0	0	1
1	1	0	1	1		0	0	0	1

- S0 ... počáteční stav – vše je vypnuto, nejsou splněny podmínky pro zahájení provozu
- S1 ... minimální podmínky pro zahájení provětrávání
- S2 ... provětrávání v provozu
- S3 ... provětrávání dokončeno, napájení zapnuto

4.6.2 Příklad provozu navrženého rozvaděče

Obrázek 19 zobrazuje příklad funkce rozvaděče Exp. Po uzavření dveří, kdy je v závěru okolní atmosférický tlak a zároveň není překročena maximální dovolená teplota, může dojít ke spuštění. Spuštění je podmíněno povolením, které je zajištěno klíčem, proti nekvalifikované obsluze. Do té doby je rozvaděč nefunkční a signalizace je mimo provoz. Dojde-li k oprávněnému spuštění a ovládací přepínač START/STOP je aktivní, spustí se proces tlakování na požadovanou hodnotu. V této době signalizace na rozvaděči bliká. Jakmile je dosaženo provozního přetlaku a průtoku vzduchu je výstupní ventil otevřen. Zároveň se spustí časovač a po stanovenou dobu dochází k provětrávání skříně závěru. Po uplynutí času, se výstupní ventil uzavře a signalizace se trvale rozsvítí. Tím je proces ukončen, rozvaděč může být připojen k elektrické síti a jeho provoz je bezpečný. V průběhu provozu při únicích tlaku netěsnostmi je přetlak dorovnáván. Rozvaděč vypneme ovládacím přepínačem START/STOP. Tím se odpojí napájení a výstupní ventil se krátce otevře, aby se uvolnil přetlak ze skříně rozvaděče, který může být poté otevřen obsluhou. Pro zajištění obsluhy před náhlým otevřením dveří rozvaděče způsobeným vnitřním přetlakem je použit alespoň jeden uzavírací zámek s funkcí dvoustupňového otevření, kdy před úplným otevřením dojde k odvětrání přetlaku. Pokud v průběhu celého procesu dojde k navýšení přetlaku na hodnotu *max. přetlak* je celý rozvaděč vypnut z bezpečnostních důvodů. To může být zapříčiněno například selháním tlakového snímače a tím kompresor zůstává nadále v provozu.



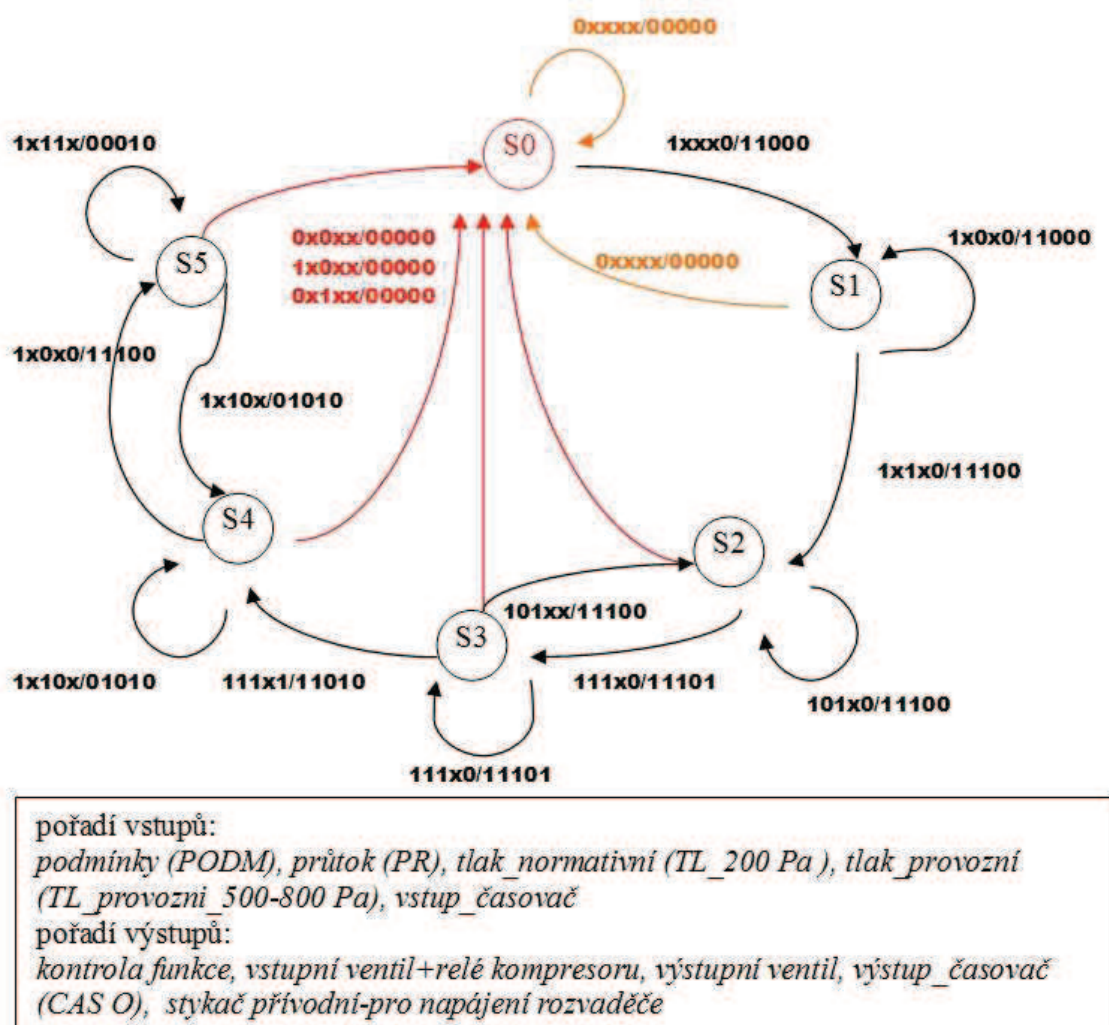
Obr. 19: příklad provozu rozvaděče Exp

4.6.3 Modulární jednotka Sick Flexi Soft

V této práci jsou použity komponenty od firmy Sick. Jedná se o moduly *Flexi Soft*. Je to bezpečnostní systém třídy bezpečnosti SIL3 (dle IEC 61508) s procesorovou jednotkou a s modulárně připojitelnými vstupními i výstupními moduly. Oproti programovatelným obvodům PLC má systém Sick zdvojeny vnitřní obvody, které zajistí bezpečný chod při vnitřních poruchách. Modul procesoru umožňuje komunikaci po sériové lince RS 232, výstupy I/O modulů jsou řešeny tranzistory nebo reléovými kontakty. Příkon procesorové jednotky je 2,5 W a ochrana proti zkratu je jištěním pojistkou 4 A gG. Příkon rozšiřujících modulů s TTL I/O je 3 W, max. zátěž výstupů je 2A, reléový modul má vlastní příkon do 2 W se zatížitelností kontaktů do 6 A. Celý systém je možno upevnit na DIN lišty. Zároveň splňuje třídu ochrany III (podle ČSN EN 61140), protože je napájen bezpečným napětím, stejnosměrnými 24 V. [13]

Navržený modul řídí bezpečný provoz celého elektrického rozvaděče z pohledu ochrany před výbuchem. Pomocí návrhového software Flexi Soft Designer (příložen na CD – viz příloha A) určeného pro jednotky Sick Flexi Soft jsem navrhl obvod se šesti

stavy. Stavový automat zobrazuje obrázek 20. Jednotlivé obvody se v daném software navrhují v editoru pomocí funkčních bloků (AND, OR, NOT,...). Vytvořené obvody jsou uvedeny v příloze B.



Obr. 20: Navržený chod bezpečnostního obvodu rozvaděče

V závislosti na kombinaci pěti vstupních podmínek se vyhodnocují stavy, které mohou nastat. Jejich časová souslednost je dána v každém obvodu jednotlivých stavů, protože jsou v každém stavu vyloučeny stavy následující. Logika může vždy skočit do určitého procesu, jsou-li splněny podmínky stavu předchozího, který již nastal. Celkem je tedy navrženo šest stavů (S0 – S5).

Po zapnutí rozvaděče a splnění podmínek je spuštěn kompresor, otevřen vstupní ventil a je tvořen přetlak (přechod z S0 do S1). Podmínky pro spuštění jsou znázorněny v příloze B (obrázek s ovládáním). Nesmí být překročena maximální vnitřní teplota ani přetlak, musí být zavřeny dveře, zařízení zapnuto otočným vypínačem a spínačem se zámkem a zároveň je kontrolována poloha pomocného kontaktu přívodního stykače pro

napájení rozvaděče. Výstupní ventil je zavřen. Jakmile nastane požadovaný (minimální) přetlak, nastane stav S2, který otevře výstupní ventil. Nyní se čeká na signál z průtokového snímače, aby mohlo být zahájeno profukování. Provětrávání nastane ve stavu S3, kdy je zapnut časovač. Tento proces je skončen, je-li zaznamenán signál z časovače, že proběhlo provětrání po žádanou dobu. Pokud však v průběhu provětrávání (stav S3) poklesne průtok, vše je vráceno do stavu S2 a čeká se, dokud se průtok opět nezvýší na žádanou hodnotu. Do procesu S4 se systém dostane po řádném provětrání. V tu chvíli je spuštěno napájení rozvaděče (sepne stykač), je uzavřen výstupní ventil a zjišťuje se, zda je uvnitř rozvaděče provozní přetlak. Pokud ne, vstupní ventil a kompresor jsou stále zapnuty. Jakmile je provozní tlak splněn, obvod přejde do S5, kde jsou ventily zavřeny, kompresor vypnutý a napájení rozvaděče je stále zapnuto. Při poklesu provozního přetlaku obvod cykluje mezi stavy S4 a S5. V případě porušení podmínek, které jsou znázorněny v obrázku 20 je vše vypnuto (S0).

4.6.4 Výpočet provětrávání

Provětrávání musí probíhat určitou dobu pod určitým minimálním průtokem inertního plynu. Objem vyměněného plynu je dán normami. Jedná se vždy alespoň o 5násobek objemu rozvaděče. Podle rozměrů navržené skříně rozvaděče a hodnoty průtoku vstupního ventilu je uveden výpočet doby provětrávání a celkového objemu plynu, který je potřeba vyměnit, než dojde k zapnutí napájení rozvaděče.

rozměry skříně:	výška	1800 mm	1,8 m
	šířka	600 mm	0,6 m
	hloubka	600 mm	0,6 m

výpočet objemu skříně rozvaděče

$$V = v \cdot \check{s} \cdot h = 1,8 \cdot 0,6 \cdot 0,6 = 0,648 m^3 \quad (1)$$

výpočet objemu inertního plynu, který bude provětrán

$$V_{celkový} = 5 \cdot V = 5 \cdot 0,648 = 3,24 m^3 \quad (2)$$

z průtoku vstupního ventilu $Q=51,4 m^3/h$ lze spočítat dobu provětrávání:

$$t = \frac{V_{celkový}}{Q} = \frac{3,24}{51,4} = 0,063035 h \equiv 3,8 \text{ min} \equiv 230 s \quad (3)$$

Výsledná hodnota objemu inertního plynu, který je potřeba vyměnit, při zvolených komponentách je $3,24 \text{ m}^3$. Použitý solenoidový ventil umožňuje průtok vzduchu $51,4 \text{ m}^3/\text{h}$ (při tlakové diferenci ventilu $\Delta p \rightarrow \max \text{ Pa}$ bude průtok rychlejší, ale pro lineární aproximaci je potřeba počítat průtok při $\Delta p \rightarrow \min \text{ Pa}$, proto je hodnota průtoku relativně malá a čas dlouhý). Z těchto hodnot vychází čas provětrávání 230 sekund. Hodnotu průtoku použijeme při nastavení průtokového snímače a potřebný čas nastavíme do čítače ve zkonstruovaném obvodu v software Flexi Soft Design.

5 Technický popis výkresové dokumentace

Výkresová dokumentace rozvaděče *Exp* je složena ze sedmi listů a je obsažena v příloze C. Osazení rozvaděče je uvedeno na výkresu 2. Elektrické zapojení je na výkresu 3 až 5 a pneumatický obvod lze nalézt na straně 6. Poslední stranou příloh je specifikace použitých zařízení a součástek.

Osazení rozvaděče je rozkresleno ve třech pohledech. Pohled zepředu při uzavřených i otevřených dveřích a pohledy z obou boků. Označení součástí a zařízení odpovídá danému sloupečku ve specifikaci, kde lze dohledat požadovaný typ. Veškeré elektrické součásti kromě snímačů neelektrických veličin jsou umístěny v boční skříni s pevným závěrem *Exd*. Na panelu dveří jsou pouze ovládací a informační přístroje, potřebné pro funkci rozvaděče. Rozvaděčová skříň má stupeň krytí IP 55 a je vyrobena z nerezové ocele. Její provedení se oproti skříním do nevýbušného provedení liší například v zesílení materiálu stěn a dveří s přídatnými otočnými dvoustupňovými uzávěry.

Na výkresu číslo 3 je zobrazen rozvod napájení. Přívod do rozvaděče je jištěn mimo nebezpečnou zónu. Pomocí ručního ovladače lze provést odpojení napájení včetně rozpojení středního vodiče *N*. Snímače a soustava modulů Sick jsou napájeny ze spínaného zdroje, 230-400V / 24V 5A. List 4 a 5 je použit pro zapojení modulů zpracovávajících vstupní signály z čidel a snímačů spolu s výstupními obvody. Všechny kovové části přístrojů a zařízení jsou pospojovány ochranným vodičem *PE* do jednoho společného bodu a propojeny s ochranným vodičem přívodní sítě.

Pneumatický obvod znázorněný na listu 6 obsahuje dvě části. Prostředí bez nebezpečí a s nebezpečím výbuchu. V části bez nebezpečí výbuchu je řešen zdroj a vstup pro inertní plyny. Pro bezpečnost je obvod jištěn hlavním uzavíracím ventilem, který po uzavření odvzdušní přes vzduchový filtr zbylý přetlak z potrubí. Přívod plynu do rozvaděče je řešen přes redukční tlakový ventil, aby došlo ke snížení tlaku ze zdroje. Vstup a výstup skříně rozvaděče zajišťují solenoidové ventily, které jsou v provedení *NC*.

Poslední přílohou je specifikace součástek a zařízení. V ní je uvedeno příslušné označení ve schématu elektrického zapojení. Součástí seznamu je druh *Ex* ochrany, které musí zařízení splňovat, aby mohly být použity v nebezpečném výbušném prostředí.

6 Závěr

V této bakalářské práci jsem navrhl rozvaděč do výbušného prostředí. Jedná se o provedení s vnitřním přetlakem Exp pro kategorii zařízení 2, skupiny II, pro plyny a páry a mlhy G, s umístěním do zóny 1. Zařízení splňuje požadavky teplotní skupiny T6, což je nejvyšší možné zabezpečení. Problémem při tvorbě práce a návrhu byla orientace v označování těchto zařízení. Oblastí *Ex* se zabývají různé technické normy, a proto bylo nutné shrnout požadavky a zavést jednotné značení dle směrnic ATEX. Nejvíce informací o závěru s vnitřním přetlakem mi poskytla norma ČSN 60079-2, která se přímo zabývá tímto principem. Návrh tohoto zařízení je mojí první prací, která se musela řídit podle technických norem. Orientace v této oblasti byla ze začátku obtížná a důležité bylo vyjednání a zpracování potřebných důležitých dat. K tomuto problému mi hodně pomohla návštěva mezinárodního veletrhu elektrotechniky a elektroniky Amper, kde jsem mohl osobně konzultovat záležitosti týkající se zpracování návrhu či informací o komponentách se zástupci příslušných firem. Současně jsem také získal tiskové materiály, které mi napomohly k pochopení této problematiky.

Použití rozvaděče je možné pouze v povrchových objektech například typu plynových stanic nebo čerpacích stanic pohonných hmot. Pokud by se rozvaděč měl vyrábět včetně skříní, muselo by se nejdříve požádat o zkoušky a schválení zkušební ústav, který by vydal povolení. Jinak lze podle tohoto návrhu za použití uvedených komponent a homologovaných zařízení rozvaděč vyrobit. V celkové vyčíslené ceně v tabulce specifikace není uvedena cena za práci a použitý materiál, jako například kabelové žlaby, DIN lišty apod. Ceny komponent jsou orientační a smluvní. Největší položkou jsou skříně. Jejich cena by mohla být nižší, pokud by se prováděla vlastní sériová výroba. K technickému návrhu slouží zadavateli práce i teoretická část bakalářské práce jako pomůcka a návod pro výrobu, která se v nejbližší době chystá.

Práce mi přinesla obohacení ve znalostech a orientaci v technických dokumentacích a normách. Obnovil jsem si pracovní schopnosti v návrhovém prostředí CAD a naučil jsem se ovládat software pro modulární jednotku Sick Flexi soft.

Seznam použité literatury

- [1] Elektrická zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu. *Elektro - odborný časopis pro elektroniku*. 2010, 5, s. 6-12. ISSN 1210-0889.
- [2] ČSN EN 60079-0. *Elektrická zařízení pro výbušnou plynnou atmosféru - Část 0: Všeobecné požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 68 s.
- [3] ČSN EN 60079-2. *Výbušné atmosféry - Část 2: Ochrana zařízení závěrem s vnitřním přetlakem "p"*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 52 s.
- [4] ČSN EN 60079-10. *Elektrická zařízení pro výbušnou plynnou atmosféru - Část 10: Určování nebezpečných prostorů*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 56 s.
- [5] ČSN EN 60079-14. *Výbušné atmosféry - Část 14: Návrh, výběr a zřizování elektrických instalací*. Praha: Český normalizační institut, 2009. 88 s.
- [6] S-PB-Ex-Plakat-elekt. + mech. : Electrical equipment. *Ex*. 7/2010, 05, s. 1.
- [7] *Bezpečnostní tabulky - Riziko exploze | Bezpečnostní tabulky | Výrobky pro bezpečnost - tabulky SignEU* [online]. 2011 [cit. 2011-03-07]. Bezpečnostní tabulky a výrobky pro bezpečnost. Dostupné z WWW: <http://e-safetyshop.eu/product.asp?cookiecheck=yes&numPageStartPosition=71&P_ID=1305&strPageHistory=&strKeywords=nebezp&strSearchCriteria=&PT_ID=658>.
- [8] Česká republika. Nařízení vlády: Sbírka zákonů č. 23 / 2003. In *Sbírka zákonů, Česká republika*. 2003, 9, s. 377-404.
- [9] *Elektro v praxi. 3 : Vysoké napětí a výbuchy*. Olomouc: Solid Team, 2009. 99 s.
- [10] MM GROUP, s.r.o. - Ostrava - Radvanice | Jiskrově bezpečná zařízení - Exi [online]. 2009 [cit. 2010-11-28]. Jiskrově bezpečná zařízení - Exi. Dostupné z WWW: <<http://www.mmgroup.cz/jiskrove-bezpecna-zarizeni--exi/>>.
- [11] *Elektrika.cz, portál o silnoproudé elektrotechnice, elektroinstalace, vyhlášky, schémata zapojení*. [online]. 18. 9. 2003 [cit. 2011-02-16]. Tabulka krytí IP (popis stupňů). Dostupné z WWW: <<http://elektrika.cz/data/clanky/krip030918/view>>
- [12] *Elektrotechnický zkušební ústav | ES PROHLÁŠENÍ O SHODĚ, CE označení* [online]. 2009 [cit. 2011-03-17]. ES PROHLÁŠENÍ O SHODĚ, CE označení. Dostupné z WWW: <<http://www.ezu.cz/index.php?u=/prohlaseni-o-shode-CE/prohl-ce-oznaceni/&a=ArticleDisplay>>.

- [13] *Flexi Soft* [online]. 2011 [cit. 2011-04-18]. Flexi Soft. Dostupné z WWW:
<[http://www.sick.com/cz/cs-](http://www.sick.com/cz/cs-cs/home/products/product_news/safe_control_solutions/pages/flexisoft.aspx)
[cs/home/products/product_news/safe_control_solutions/pages/flexisoft.aspx](http://www.sick.com/cz/cs-cs/home/products/product_news/safe_control_solutions/pages/flexisoft.aspx)>

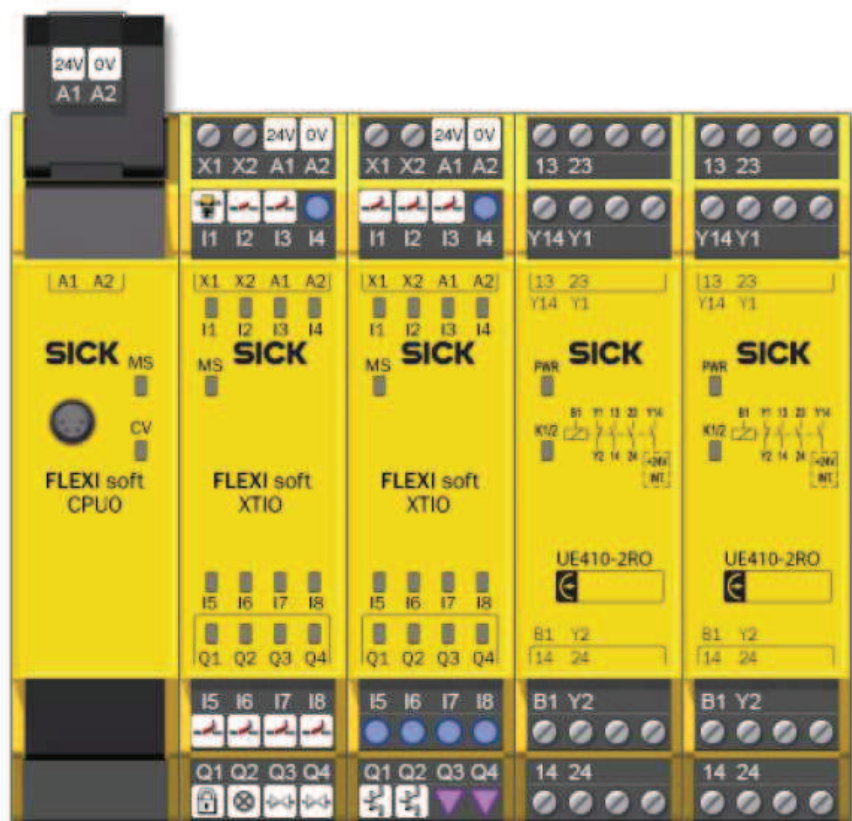
Přílohy

A Soubory přiložené na CD

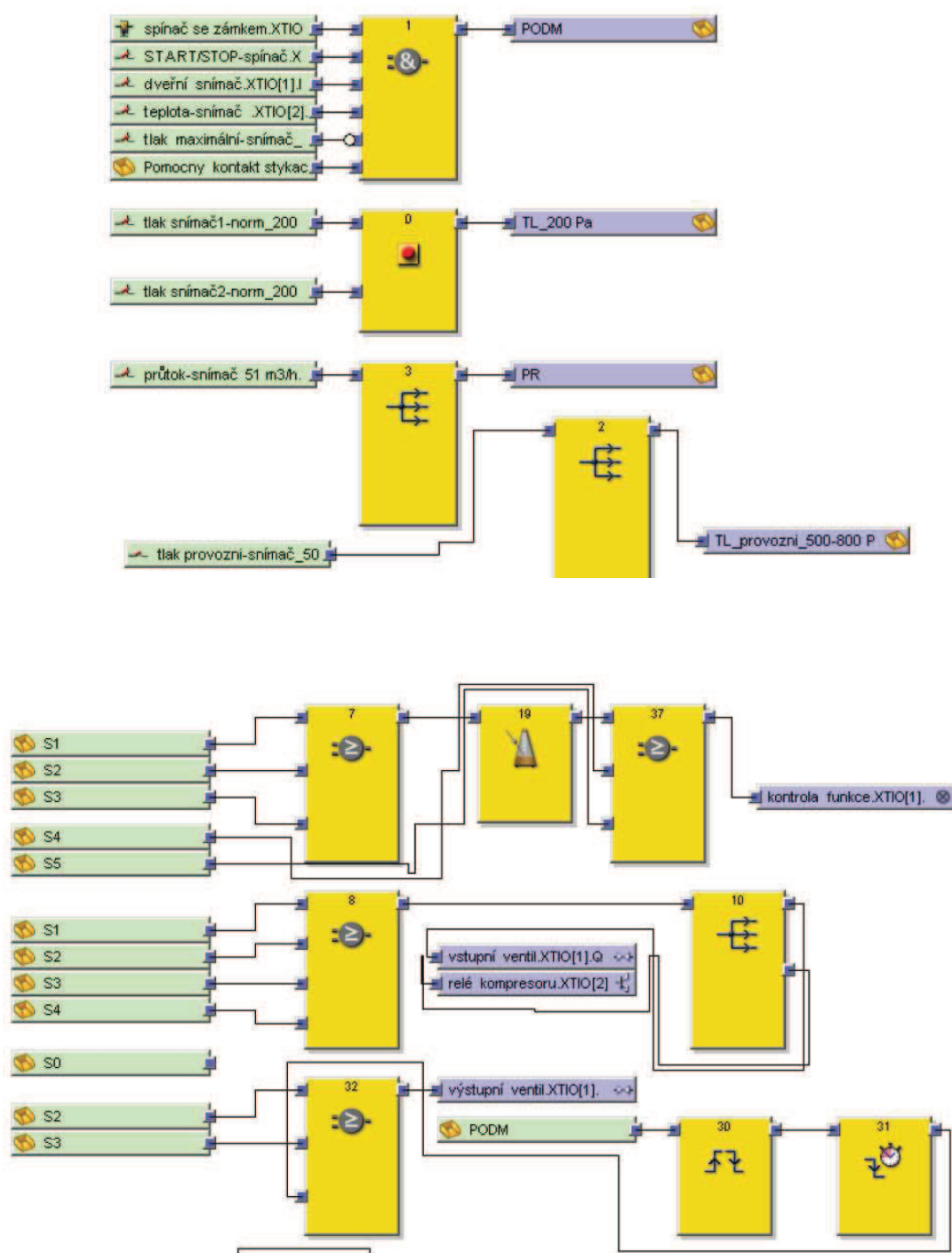
- Instalační soubor návrhového software Sick Flexi Soft Design – FlexiSoftDesigner1_3_0_SP1_setup.exe
- Dokumentace výrobce Flexi Soft – flexisoft.pdf
- Dokumentace vytvořená z vlastního návrhu z Flexi Soft Designer - dokumentace.pdf
- Soubor s navrženým systémem v Flexi Soft Designer - modul.fsp
- Výkresová dokumentace – Ex.dwg

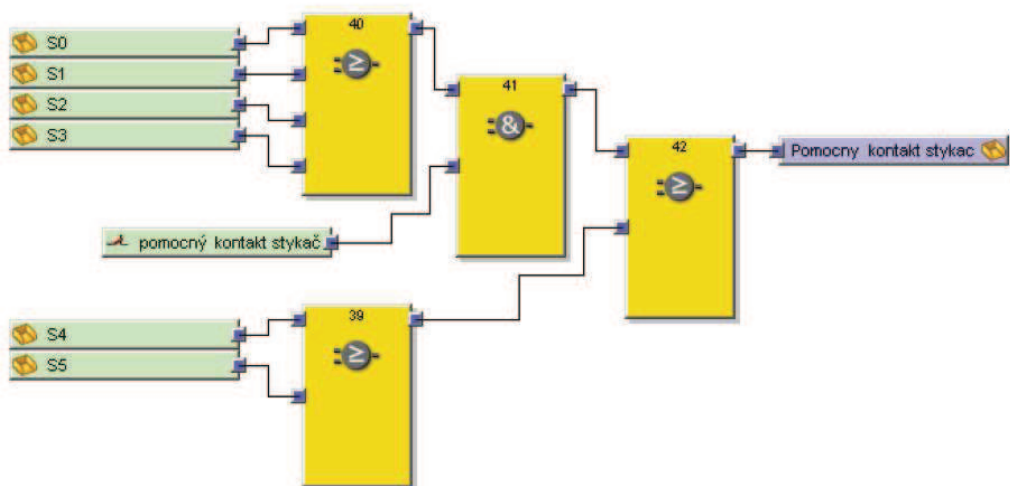
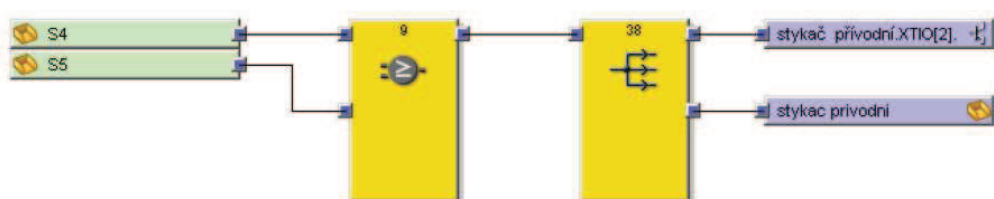
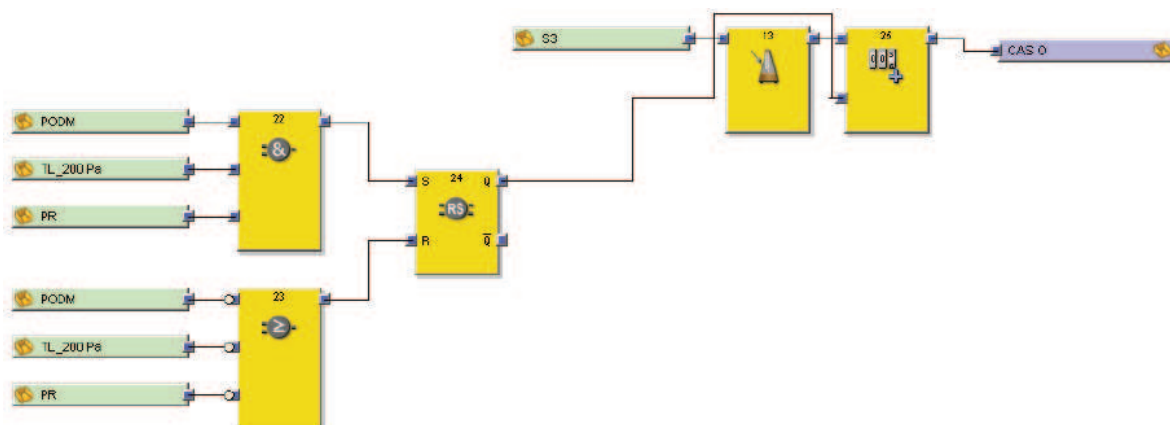
B Modul Sick Flexi Soft

Zobrazení všech použitých modulů

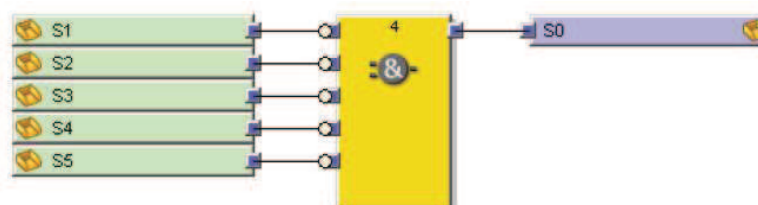


Zapojení ovládacího simulačního panelu v Flexi Soft Design

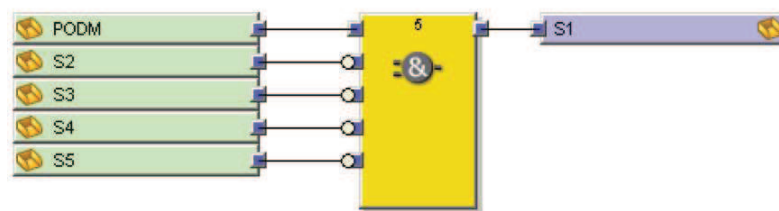




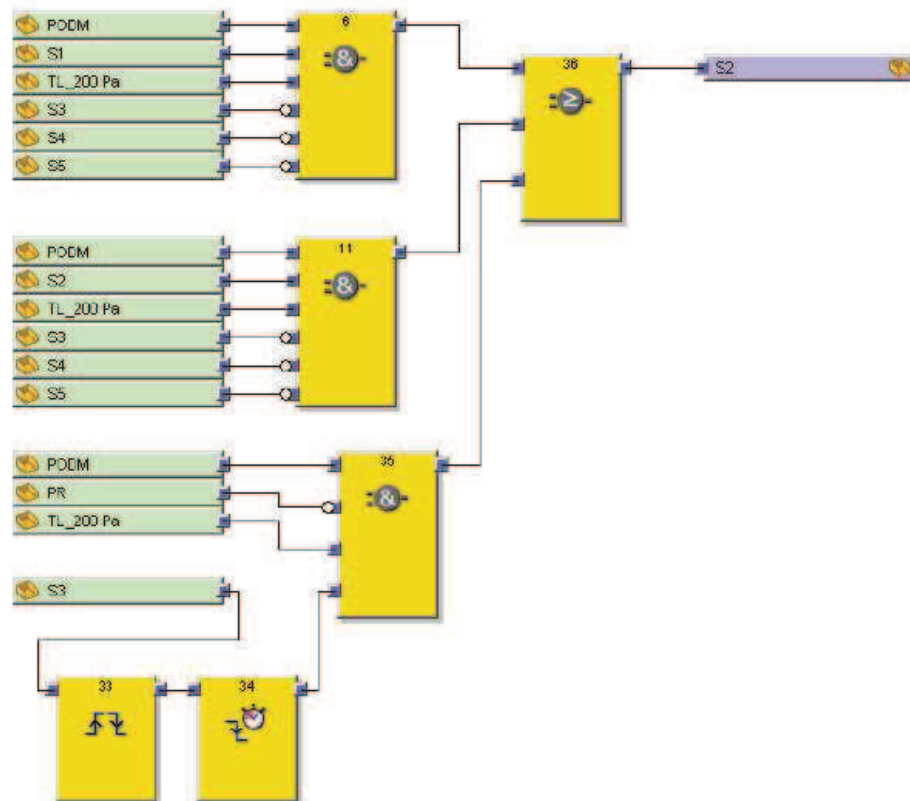
Zapojení logického obvodu pro stav S0



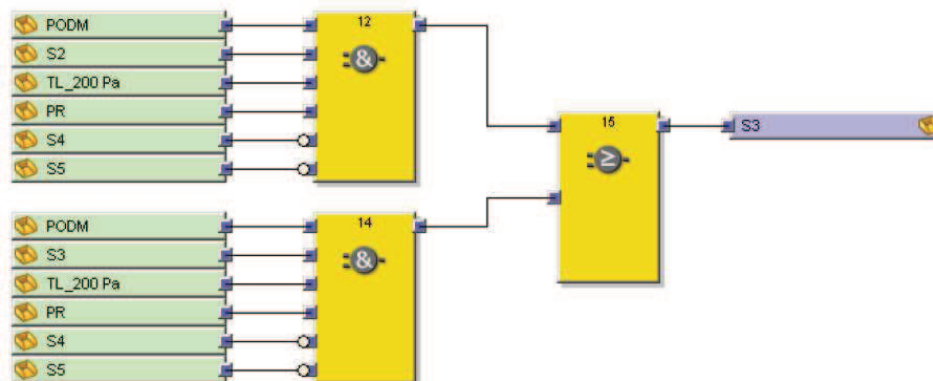
Zapojení logického obvodu pro stav S1



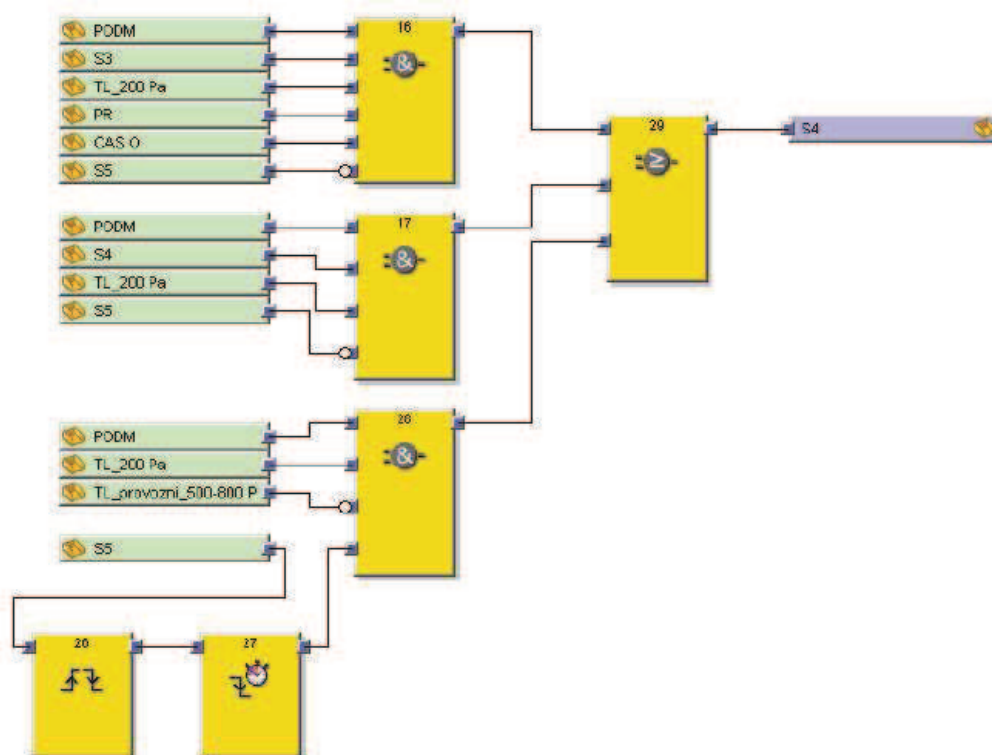
Zapojení logického obvodu pro stav S2



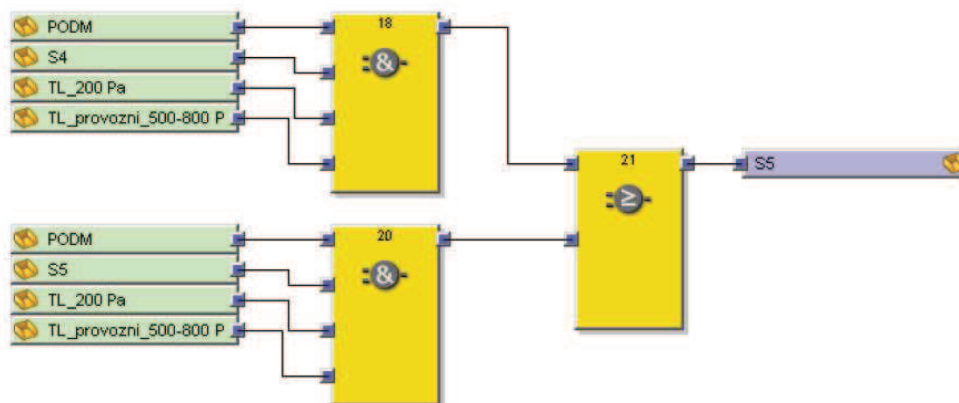
Zapojení logického obvodu pro stav S3



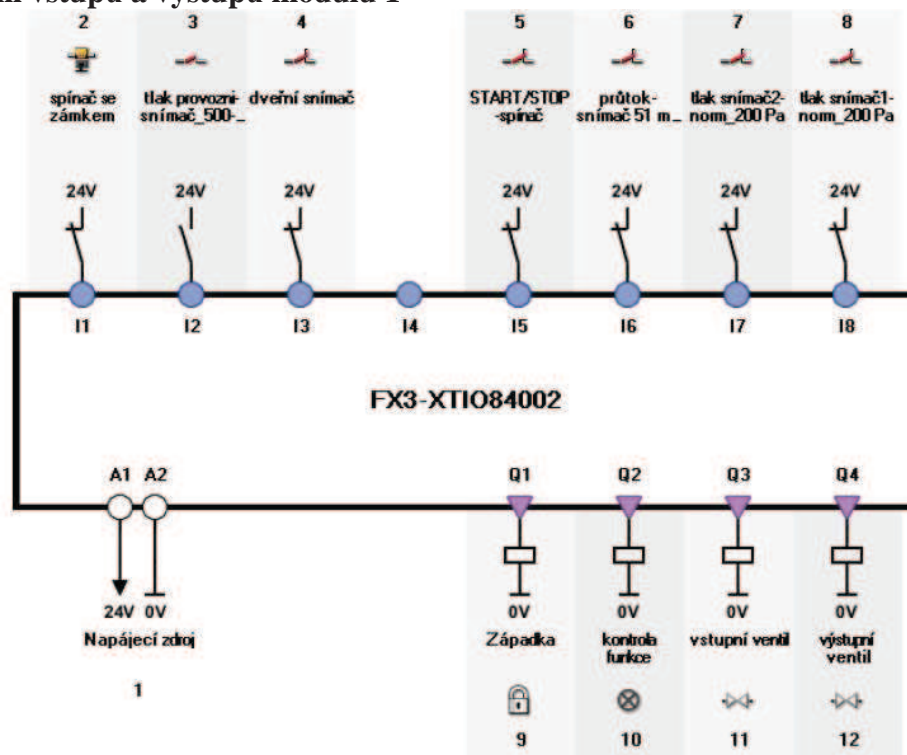
Zapojení logického obvodu pro stav S4



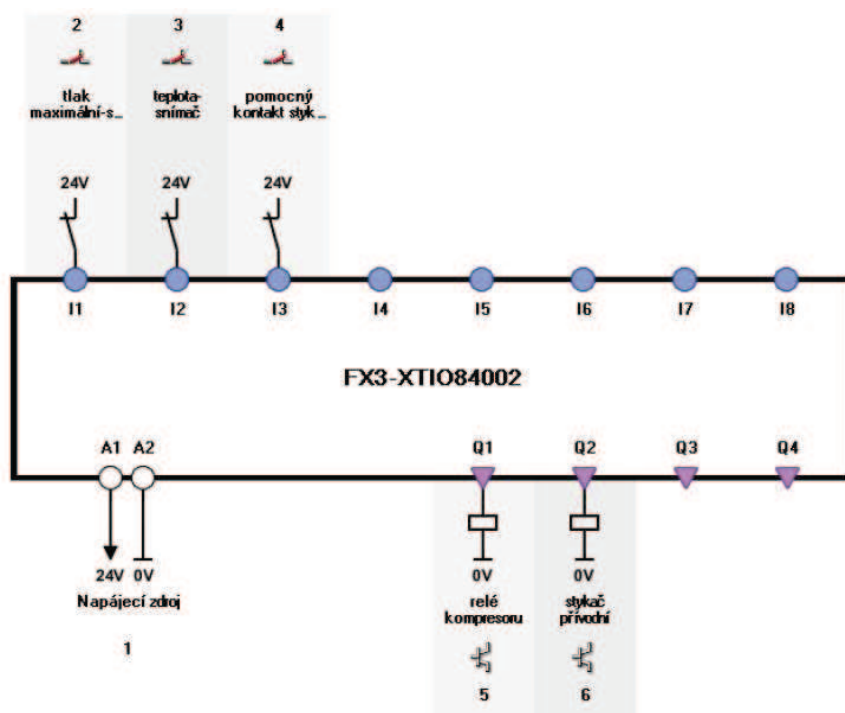
Zapojení logického obvodu pro stav S5



Zapojení vstupů a výstupů modulu 1



Zapojení vstupů a výstupů modulu 2



C Výkresová dokumentace

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



Technická univerzita v Liberci
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Projekt : Bakaľářská práce

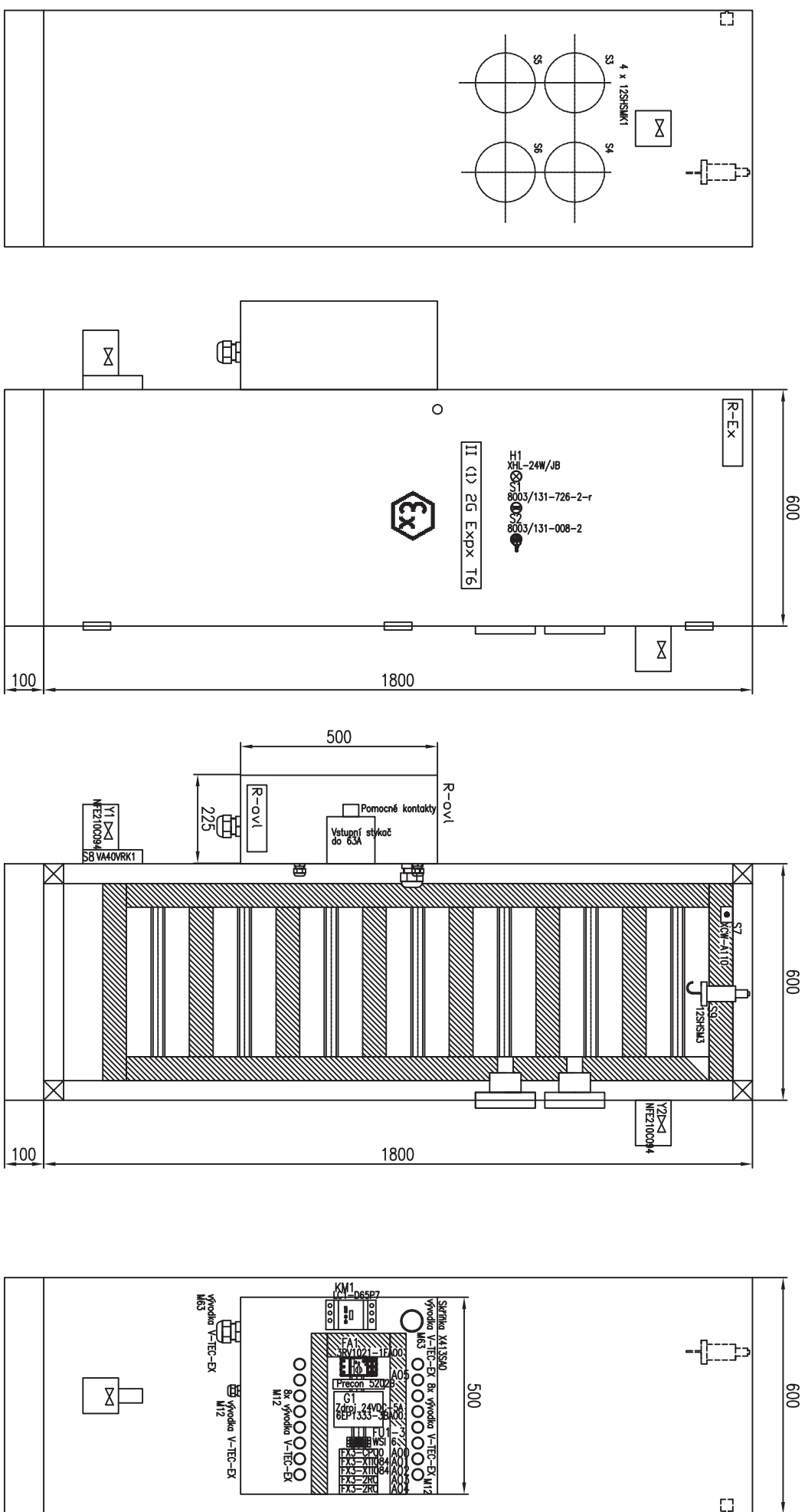
Název dokumentace : Rozvaděč do výbušného prostředí

Zpracoval : Petr Koloc

Počet listů : 7
Zhotoveno dne : 9.5.2011

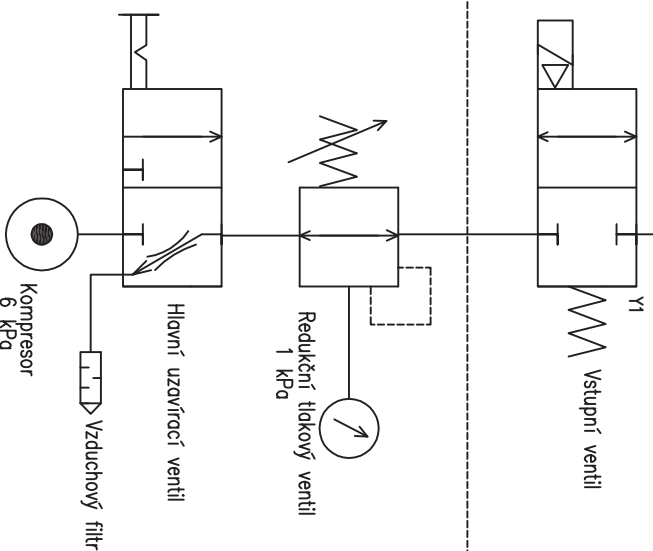
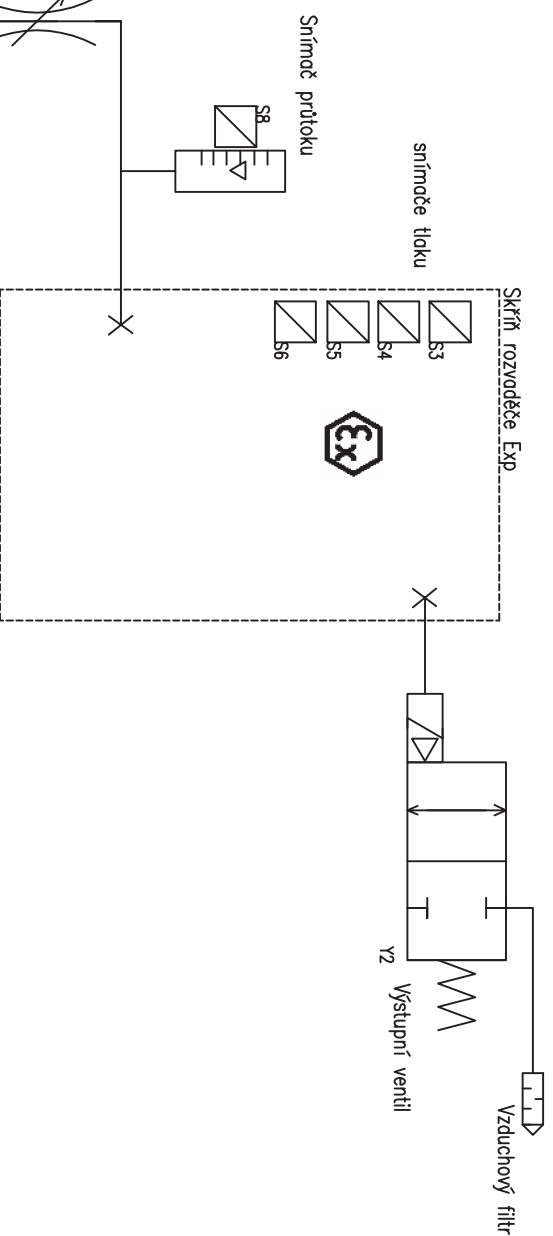
	VYPRACOVAL	Petr Koloc	ZMĚNA	JMENO	DATUM	DOKUMENTACE	Rozvaděč Exp	ČÍSLO VÝKRESU
	DATUM	9.5.2011				NÁZEV	TITULNÍ LIST	

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



						ČÍSLO VÝKRESU	
		ZMĚNA	JMENO	DATUM	Rozvaděč Exp		
VYPRACOVAN	Petr Koloc						
					OSAŽENÍ ROZVADĚČE		
DATUM	9.5.2011						
						2	





prostředí s nebezpečím výbuchu
 prostředí bez nebezpečí výbuchu

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
název	označení	popis				dodavatel	ochrana 	obj. číslo	cena	
Flexi soft FX3-CPU0	A00	modul CPU				Flexi	-	1043783	3 900,00 Kč	
Flexi soft FX3-XTIO84	A01	I/O ,8vstl, 4výstl.				Flexi	-	1044125	6 100,00 Kč	
Flexi soft FX3-XTIO84	A02	I/O ,8vstl, 4výstl.				Flexi	-	1044125	6 100,00 Kč	
Flexi soft FX3-2RO	A03	modul relé				Flexi	-	6026144	3 280,00 Kč	
Flexi soft FX3-2RO	A04	modul relé				Flexi	-	6026144	3 280,00 Kč	
XHL-24W/IB	HI	kontrolka-bílá 24V (průměr 23 mm)				Generi	II 2GID T68°C EEx ia IIC T6	XHL-24W/IB	874,00 Kč	
ovládací přepínač	S1	2 spínací polohy s aretací, NO/NO				Ex-technik	II 2 G EEx de IIC T6	8003/131-726-2-r	1 800,00 Kč	
uzamykateľný spínač	S2	2 spínací polohy, NO/NO				Ex-technik	II 2 G EEx de IIC T6	8003/131-008-2	3 280,00 Kč	
Konecový spínač typu XCW-A110	S7	dveřní kontakt, 2 pólový(NO/NC) se zalitým 5ti žilovým kabelem 2m				Generi	II 2GID EEx d IIC T6 IP66	XCW-A110	2 015,00 Kč	
motorový stykač 30kW	KM1	Schneider Electric Telemecanique LC1D65P7				Siemider	-	LC1-D65P7	1 406,00 Kč	
motorový jistič	FA1	Siemens				Siemens	-	3RV1021-1FA00	548,00 Kč	
Spínací zdroj	G1	SITOP 230-500V AC / 24V DC-5A				Siemens	-	6EP1333-3BA00	2 695,00 Kč	
pojistka	FU1	pojistková svorka + pojistka 6A				Weidmuellet	-	WSI 6	37,00 Kč	
pojistka	FU2	pojistková svorka + pojistka 4A				Weidmuellet	-	WSI 6	37,00 Kč	
pojistka	FU3	pojistková svorka + pojistka 6A				Weidmuellet	-	WSI 6	37,00 Kč	
spínač tlakové difference 12SL,SMK1	S3	spínač tlaku a tlakové difference 1,7 až 24,9 mbar				JSP	II 2 G Ex d IIC T6	12SL,SMK1	16 040,00 Kč	
spínač tlakové difference 12SL,SMK1	S4	spínač tlaku a tlakové difference 1,7 až 24,9 mbar				JSP	II 2 G Ex d IIC T6	12SL,SMK1	16 040,00 Kč	
spínač tlakové difference 12SL,SMK1	S5	spínač tlaku a tlakové difference 1,7 až 24,9 mbar				JSP	II 2 G Ex d IIC T6	12SL,SMK1	16 040,00 Kč	
spínač tlakové difference 12SL,SMK1	S6	spínač tlaku a tlakové difference 1,7 až 24,9 mbar				JSP	II 2 G Ex d IIC T6	12SL,SMK1	16 040,00 Kč	
teplovní spínač 12SL,SM3	S9	spínač teploty, s pevným závěrem 12 Series, 10 až 148,9°C				JSP	II 2 G Ex d IIC T6	12SHSM3	11 060,00 Kč	
plovákový průtokoměr Krohne	S8	průtokový snímač				Krohne	-	VA40VRK1	16 240,00 Kč	
	A05	2 kanálový oddělovač pulsních signálů-otevřený kolektor NPN				JSP	-	Precon 5202B 1	3 590,00 Kč	
solenoidový ventil, 24V DC, NC, 1/2"	Y1	výstupní ventil NC				Asco	II 2 G/D EEx d IIC / IP67	NFE210C094 24VDC	7 598,00 Kč	
		pevný závěr pro výstupní ventil								
solenoidový ventil, 24V DC, NC, 1/2"	Y2	vstupní ventil NC				Asco	-	NFE210C094 24VDC	7 598,00 Kč	
		pevný závěr pro vstupní ventil								
skříň s pevným závěrem	Skříňka X413SA0	skříň s pevným závěrem (Exd), lakovaný 6mm plech, 500x500x225mm				Generi	II 2 GID EEx d IIC / IP67	X4055DA2	66 000,00 Kč	
		skříň pro vnitřní přetlak, nerez ocel, 600x1800x600mm (Š x V x H)								
řádová skříň TS 8	-					Rital	-	8458.660	109 800,00 Kč	
vývodka	-	2 x V – TEC Ex M63 × 1,5				Generi	II 2G EEx e II	2050 38 2	892,00 Kč	
vývodka	-	17 x V – TEC Ex M12 × 1,5				Generi	II 2G EEx e II	2050 30 7	374,00 Kč	
cena celkem									321 435,00 Kč	
			ZMĚNA		JMENO	DATUM	DOKUMENTACE		Číslo výkresu 7	
	VYPRACOVAL		Petr Koloc				Rozvaděč Exp specifikace			
	DATUM		9.5.2011							