

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270017 Konstruování strojů a
technických zařízení

Studijní zaměření: Konstruování vozidel a manipulačních
zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Technické řešení ultrazvukového průtokoměru pro použití ve
výbušném prostředí**

Autor: Bc. Marek DANAŠ

Vedoucí práce: Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.

Konzultant práce: Ing. Vojtěch Novák

Akademický rok 2021/2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Marek DANÁŠ**
Osobní číslo: **S20N0055P**
Studijní program: **N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**
Specializace: **Konstruování vozidel a manipulačních zařízení**
Téma práce: **Technické řešení ultrazvukového průtokoměru pro použití ve výbušném prostředí**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Cílem práce je technický návrh ultrazvukového průtokoměru určeného do výbušného prostředí. Konstrukční návrh měřicího systému průtokoměru musí splňovat všechny požadavky, které jsou určeny normami pro provoz zařízení v nebezpečném prostředí. Další část řešení je FEM analýza vybraného konstrukčního návrhu. U výsledného řešení provést komplexní hodnocení.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Vypracování literární rešerše včetně řešení problematiky.
2. Analýza možností technického řešení zadaného průtokoměru do výbušného prostředí.
3. Vypracování vybrané varianty řešení včetně výpočtového hodnocení.
4. Zdůvodnění a zhodnocení navrženého technického řešení.

Konzultant: Ing. Vojtěch Novák (e-mail: vojtech.novak@elis.cz ; ELIS PLZEŇ a. s.)

Rozsah diplomové práce: **40-60**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] HOSNEDL, S. A KRÁTKÝ, J. *Příručka strojího inženýra*. Brno: Computer Press, 1999
[2] BEJČEK, L., ĎAĎO, S., PLATIL, A. *Měření průtoku a výšky hladin*. BEN-Technická literatura, Praha, 2006
[3] ŘAŠA, J., ŠVERCL, J.: *Strojnické tabulky*. Scientia, Praha, 2004
[4] SHIGLLEY, J., E., MISCHKE, C., R., BUDYNAS, R., G. *Konstruování strojních součástí*. VUT v Brně, Brno, 2010
Podkladový materiál, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2022**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Današ	Jméno Marek		
STUDIJNÍ PROGRAM	N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, CSc.	Jméno Josef		
PRACOVISŤE	ZČU – FST – KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Technické řešení ultrazvukového průtokoměru pro použití ve výbušném prostředí			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	95	TEXTOVÁ ČÁST	71	GRAFICKÁ ČÁST	24
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce obsahuje konstrukční návrh ultrazvukového průtokoměru určeného do výbušného prostředí. Dále práce obsahuje kontrolu pevnosti a deformaci konstrukčního návrhu pomocí metody konečných prvků. Model, výkresy a výpočty byly vytvořeny pomocí programů NX Siemens 12 a programu Solid Edge 2022.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Ultrazvuk, průtokoměr, elektronika, senzor, průtok, měření, FEM, konstrukce, CAD, nebezpečí, výbuch, výbušné prostředí</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Marek	Name Današ	
FIELD OF STUDY	N0715A270017 Design engineering of machines and technical devices		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, CSc.	Name Josef	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Engineering Design for a ultrasonic flow meter in the explosive environments		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2022
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	95	TEXT PART	71	GRAPHICAL PART	24
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The diploma thesis consists of a design concept of ultrasonic flow meter usable in an explosive environment. Furthermore, thesis contains strength and displacement control of important components of the design concept using the final element method. The model, drawings and calculations were created using the programs NX Siemens 12 and Solid Edge 2022.
KEY WORDS	Ultrasonic, flow meter, track, electronics, sensor, flow, measurement, FEM, construction, CAD, danger, explosion, explosive environment

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Josefu Formánkovi, CSc. za odborné vedení, rady, připomínky a konzultace o problematice týkající se technického řešení ultrazvukového průtokoměru. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Vojtěchu Novákovi za odborné rady a obrovskou pomoc při tvorbě zadání, kontrole práce a dodávání motivace. Děkuji rovněž svojí přítelkyni, rodině a přátelům za podporu v průběhu studia.

Obsah

1.	Vypracování literární rešerše včetně řešení problematiky	14
1.1.	Úvod a specifikace požadavků	14
1.2.	Princip měření ultrazvukového průtokoměru	15
1.3.	Analýza požadavků pro zařízení dle ATEX	16
1.3.1.	Určení nebezpečných prostor výbušné plynné atmosféry	16
1.3.2.	Určení nebezpečných prostor výbušné atmosféry pro prachy.....	28
1.3.3.	Zařazení a požadavky na zařízení do výbušného prostředí.....	31
2.	Analýza možností technického řešení ultrazvukového průtokoměru do výbušného prostředí.....	35
2.1.	Výběr typu ochrany zařízení.....	36
2.2.	Obecné technické požadavky na zařízení pracující ve výbušném prostředí	37
2.2.1.	Požadavky na teploty	38
2.2.2.	Obecné požadavky pro všechna zařízení	38
2.2.3.	Zařízení vyzařující elektromagnetickou a ultrazvukovou energii.....	39
2.2.4.	Kovové závěry a kovové části závěrů	40
2.2.5.	Nekovové závěry a části závěrů	40
2.2.6.	Upevňovací zařízení.....	41
2.2.7.	Průchodky a blokovací zařízení	41
2.2.8.	Ex součásti.....	41
2.2.9.	Připojovací zařízení a uzemňovací vodiče	42
2.2.10.	Vstupy do závěru	42
2.2.11.	Požadavky na vidlice, zásuvky a konektory	43
2.2.12.	Dokumentace a zkoušení	43
2.3.	Ochrana elektroniky průtokoměru pevným závěrem	44
2.3.1.	Skříň pevného závěru jako samostatná součást.....	44
2.4.	Ochrana elektroniku průtokoměru zalitím.....	45
2.4.1.	Požadavky na zalévací hmotu	45
2.4.2.	Konstrukční požadavky	46
3.	Vypracování vybrané varianty řešení včetně výpočtového hodnocení	49
3.1.	Konstrukční návrh elektroniky ultrazvukového průtokoměru.....	49
3.1.1.	Návrh skříně elektroniky	49
3.1.2.	Návrh desek plošných spojů (PCB) elektroniky	51
3.1.3.	Návrh zdrojové části elektroniky	52
3.1.4.	Návrh základní části měřící a výpočetní části elektroniky.....	53

3.1.5.	Návrh nastavbové části měřicí a výpočetní elektroniky.....	54
3.1.6.	Kompletace elektroniky a montáž.....	59
3.1.7.	Plnění skříně elektroniky.....	60
3.1.8.	Usazení skříně elektroniky.....	61
3.2.	Návrh mechanické a měřicí části zařízení.....	62
3.2.1.	Specifikace požadavků.....	62
3.2.2.	Konstrukční návrh měřicího senzoru průtokoměru.....	63
3.3.	Kontrolní výpočet mechanické a měřicí části zařízení.....	65
3.3.1.	Zjednodušení modelu pro FEM.....	65
3.3.2.	Zasíťování modelu pro výpočet FEM.....	66
3.3.3.	Analýza výsledků kontrolního výpočtu deformace pomocí FEM.....	67
3.3.4.	Analýza výsledků kontrolního výpočtu napětí pomocí FEM.....	68
3.4.	Kompletace ultrazvukového průtokoměru.....	69
4.	Zdůvodnění a zhodnocení navrženého technického řešení.....	70

Volně vložené přílohy:

Příloha č.1	DP KKS 22–01/1 – Trubka DN 125 PN16
Příloha č.2	DP KKS 22–01/2 – Návarek 60st střední paprsek
Příloha č.3	DP KKS 22–01/3 – Návarek 60st krajní paprsek
Příloha č.4	DP KKS 22–01/4 – Boční čelo pláště DN125 PN16
Příloha č.5	DP KKS 22–01/5 – Kusovník senzoru DN125 PN16 bez přírub
Příloha č.6	DP KKS 22–01/0 – Svařenec senzoru DN125 PN16 bez přírub
Příloha č.7	DP KKS 22–02/1 – Příruba plochá DN125 PN16
Příloha č.8	DP KKS 22–02/2 – Kusovník senzoru DN125 PN16 s přírubami
Příloha č.9	DP KKS 22–02/0 – Svařenec senzoru DN125 PN16 s přírubami
Příloha č.10	DP KKS 22–03/1– Ochranný plášť DN125 PN16
Příloha č.11	DP KKS 22–03/2 – Komínek spodní DN125 PN16
Příloha č.12	DP KKS 22–03/0 – Sestava měřicího senzoru DN125 PN16
Příloha č.13	DP KKS 22–04/1 – Komínek horní DN125 PN16

Seznam použitých značek a symbolů:

L	[m]	Vzdálenost mezi čelními plochami sond
c	[m/s]	Rychlost šíření signálu v kapalině
w	[m/s]	Rychlost protékající kapaliny
l_1	[m]	Celková tloušťka dva obou sond
c_1	[m/s]	Rychlost šíření signálu v materiálu sondy
$\tau_{1,2}$	[s]	Doba průletu signálu ze sondy 1 k sondě 2
$\tau_{2,1}$	[s]	Doba průletu signálu ze sondy 2 k sondě 1
α	[°]	Úhel, jež svírá osa podélná osa sond s osou průtoku
Q_v	[m ³ /h]	Okamžitý objemový průtok
s	[m ²]	Průtočný průřez senzoru
$k(v)$	[–]	Korekční koeficient
PCB	[–]	Deska plošného spoje (Printed Circuit Board)
$ATEX$	[–]	Směrnice Evropské unie o zař. a vybav. určeného pro použití ve výbušném prostředí
W	[kg/s]	Rychlost úniku kapaliny
C_d	[–]	Odtokový součinitel (vlastnost únikového otvoru)
S	[m ²]	Průřez otvoru (díry), přes který tekutina uniká
ρ	[kg/m ³]	Hustota kapaliny
Δp	[Pa]	Rozdíl tlaku na otvoru, který způsobuje únik
p_c	[Pa]	Kritický tlak
p_a	[Pa]	Atmosférický tlak (101 325 Pa)
p	[Pa]	Tlak uvnitř zásobníku
γ	[–]	Polytropický index adiabatické expanze
M	[kg/kmol]	Molární hmotnost plynu nebo par
R	[J/kmol · K]	Universální plynová konstanta (8314,5 J/kmol · K)
T	[K]	Absolutní teplota tekutiny, plynu nebo kapaliny
LFL	[objem/objem]	Spodní mez výbušnosti
Q_c	[m ³ /s]	Objemová rychlost úniku plyn
ρ_g	[kg/m ³]	Hustota plynu nebo par při okolních podmínkách

T_a	[K]	Teplota okolí
W_g	[kg/s]	Hmotnostní rychlost úniku hořlavé látky
EPL	[-]	Úroveň ochrany zařízení (Equipment Protection Level)
T_{MAX}	[°C]	Maximální dovolená povrchová teplota zařízení(prachy)
T_{5mm}	[°C]	Teplota vznícení vrstvy prachu tloušťky 5 mm
T_{cl}	[°C]	Teplota vznícení rozvířeného prachu
h	[mm]	Délka závitu v záběru
c	[μm]	Maximální vůle pro střední řadu H13 dle ISO 273
pl_{SSM}	[%]	Plnění ve skříní elektroniky pro desku SSM
S_{SSM}	[mm ²]	Plocha podélného řezu deskou SSM
$S_{skříně}$	[mm ²]	Plocha řezu skříní elektroniky v libovolném místě

Seznam tabulek a grafů:

Tabulka č. 1: Určení typu zóny na základě stupně úniku, dostupnosti větrání a účinnosti rozředování [3].....	26
Tabulka č. 2: Určení zóny pro příslušný prostor v závislosti na stupni úniku [4].....	30
Tabulka č. 3: Popis kategorií a skupin zařízení, vztahy mezi úrovní ochrany a typem nebezpečné zóny [5].....	32
Tabulka č. 4: Skupina výbušnosti plynů a prachů [5].....	33
Tabulka č. 5: Určení teplotní třídy zařízení do výbušného prostředí pro plyny [5].....	33
Tabulka č.6: Určení teplotní třídy zařízení do výbušného prostředí pro prachy [5].....	33
Tabulka č. 7: Informativní přehled existujících typů ochranných elektrických zařízení pro použití do výbušného prostředí [5].....	34
Tabulka č. 8: Přiřazení důležitosti jednotlivým parametrům pro výběr typu ochrany.....	36
Tabulka č. 9: Rozhodovací proces výběru typu ochrany	36
Tabulka č. 10: Limitní parametry pro zdroje rádiového kmitočtu [5]	39
Tabulka č. 11.: Limitní parametry pro pulsní radary [5].....	39
Tabulka č. 12: maximální tloušťka vrstvy nekovového nátěru pro skupinu II (plyny) [5].....	40
Tabulka č. 13: Minimální průřezy uzemňovacího vodiče [5]	42
Tabulka č. 14: Minimální vzdálenosti objektů v zalévací hmotě v závislosti na napájecím napětí [7]	47
Tabulka č. 15: Plnění pro veškeré plošné spoje elektroniky	60
Tabulka č. 16: Volba parametrů pro měřicí senzor	62
Graf č. 1: Určení stupně rozřazení prostoru s nebezpečím výbuchu [3].....	25
<i>Graf č. 2: Odhad vzdálenosti nebezpečného prostoru [3]</i>	<i>27</i>
Graf č. 3: Hodnocení jednotlivých typů ochrany	36

Seznam obrázků:

Obrázek č. 1: Ultrazvukový snímač průtoku [2]	15
Obrázek č. 2: Schéma klasifikace metodou podle zdrojů úniku(rozřazení) [3]	18
Obrázek č. 3: Schéma klasifikace metodou podle zdrojů úniku (trvalý stupeň úniku) [3]	19
Obrázek č. 4: Schéma klasifikace metodou podle zdrojů úniku (primární stupeň úniku) [3]..	20
Obrázek č. 5: Schéma klasifikace metodou podle zdrojů úniku (sekundární stupeň úniku)[3]	21
Obrázek č. 6: Schéma uložení šroubového spojení dle požadavků na zařízení dle ATEX [5]	41
Obrázek č. 7: Schéma výběru zalévací hmoty [7].....	45
Obrázek č. 8: Schéma znázorňující minimální vzdálenosti objektů v zalévací hmotě [7].....	47
Obrázek č. 9: Schéma skříně elektroniky XD-D120Hwin od Limatherm [8].....	49
Obrázek č. 10: Návrh zdrojové části elektroniky	52
Obrázek č. 11: Návrh základní části měřicí a výpočetní části elektroniky	53
Obrázek č. 12: Návrh varianty A nastavbové části elektroniky	54
Obrázek č. 13: Návrh varianty B nastavbové části elektroniky	55
Obrázek č. 14: Návrh varianty C nastavbové části elektroniky	56
Obrázek č. 15: Konstrukce měřicí podsestavy varianty C	57
Obrázek č. 16: Osazení měřících podsestav do základní části elektroniky.....	57
Obrázek č. 17: Konstruktivní návrh zobrazovací části elektroniky	58
Obrázek č. 18: Sestava bloku elektroniky(zjednodužit).....	59
Obrázek č. 19: Schéma řezu skříně elektroniky a střednicí desky SSM.....	60
Obrázek č. 20: Napojení skříně elektroniky ke zbytku průtokoměru.....	61
Obrázek č. 21: Návrh mechanické a měřicí části průtokoměru	63
Obrázek č. 22: Zjednodušený model pro FEM výpočet.....	65
Obrázek č. 23: Zasiťovaný model pro FEM výpočet.....	66
Obrázek č. 24: Výsledky celkové deformace měřicí části zařízení.....	67
Obrázek č. 25: Výsledky celkového napěťového namáhání měřicí části zařízení	68
Obrázek č. 26: Render konstrukčního návrhu ultrazvukového průtokoměru	69

1. Vypracování literární rešerše včetně řešení problematiky

1.1. Úvod a specifikace požadavků

Ultrazvukové průtokoměry se řadí do skupiny rychlostních průtokoměrů. Tyto průtokoměry vyhodnocují objemový průtok. Aby bylo možné objemový průtok určit, musí být znám průtočný průřez a rychlost proudícího média. Měření pomocí ultrazvukových průtokoměrů je modernější oproti předchozím principům měření průtoku a má nezanedbatelné výhody. Hlavní výhodou měření průtoku spočívá v metodě měření. Jedná se o měření času (doby průletu signálu), jež je na velmi vysoké technické úrovni. Odchytky v přesnosti měření lze počítat na mikrosekundy. Mezi další výhody patří absence pohyblivých částí průtokoměru, dlouhá životnost, dlouhodobá stabilita, velmi dobrá přesnost v širokém rozsahu průtoku, linearita a minimální tlakové ztráty v potrubí. Pomocí ultrazvukových průtokoměrů lze měřit širokou škálu médií, od elektricky vodivých a nevodivých kapalin, přes agresivní média, až k výbušným plynům. Dále je tento princip měření vhodný i pro měření v přísných hygienických podmínkách.

V této diplomové práci bude nejprve uvedena teoretická část, kde bude zmíněn princip ultrazvukového měření průtoku, rychlosti média a proteklého množství. Následně bude v teoretické části práce nahlédnuto do problematiky provozování zařízení ve výbušném prostředí. Tato problematika bude rozebrána z důvodu zjištění technických požadavků, nutných k návrhu ultrazvukového průtokoměru do výbušného prostředí. Bude nutné seznámit se s určováním nebezpečných výbušných prostor, abychom mohli určit zónu použití ultrazvukového průtokoměru. Jakmile bude určena zóna použití, musí se stanovit správný typ ochrany zařízení dle norem. Bude nutné stanovit základní konstrukční požadavky na každé zařízení určené do výbušného prostředí a poté tyto požadavky ještě rozšířit dle použitého typu ochrany zařízení. Navrhovaný ultrazvukový průtokoměr by měl odpovídat použití v zóně 1 (výbušná atmosféra plynů a par) a také v zóně 21 (výbušná atmosféra prachů).

Na základě technických požadavků, vyplývajících z norem, bude v druhé části diplomové práce proveden konstrukční návrh ultrazvukového průtokoměru do výbušného prostředí. Bude potřeba stanovit určité požadavky na koncepční návrhy uspořádání elektroniky a na jejich základě provést konstrukční návrh elektroniky. Následně bude navržena mechanická část ultrazvukového průtokoměru, která bude primárně sloužit k uložení měřících celků a též k napojení průtokoměru do potrubních systémů. Mechanická část průtokoměru bude početně zkontrolována kvůli deformacím, jež by ovlivňovaly přesnost měření. Kontrola deformací a namáhání bude provedena pomocí metody konečných prvků.

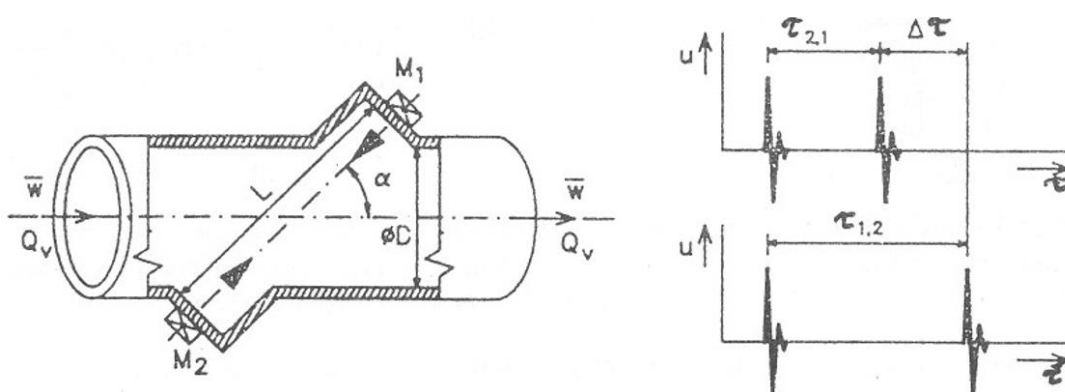
Celé zařízení musí odpovídat normě ČSN EN IEC 60079, která pojednává o výbušných atmosférách a normě ČSN EN 13480, pojednávající o kovových potrubích.

1.2. Princip měření ultrazvukového průtokoměru

Ultrazvukový průtokoměr je určen pro měření okamžitého průtoku a celkového množství protékající kapaliny v plně zaplaveném potrubí. Po doplnění měření teploty protékajícího média lze měřit i hmotnostní průtok. Vzhledem k použité měřicí metodě lze měřit průtok libovolných kapalin, včetně kapalin elektricky nevodivých, případně i agresivních. Průtokoměr tak může najít uplatnění nejen při měření průtoku vody, ale i celé řady jiných médií např. v chemickém průmyslu [1].

Měření rychlosti proudění je realizováno ultrazvukem s využitím metody transit time. Měřené médium musí být průchozí pro šíření ultrazvuku. Ultrazvukové impulsy se vysílají střídavě ve směru a proti směru proudění měřené kapaliny. Pro dobu průletu ultrazvukového signálu ve směru průtoku kapaliny platí vztah:

$$\tau_{1,2} = \frac{L}{c - w \cdot \cos \alpha} + \frac{l_1}{c_1} \quad [s] \quad (1)$$



Obrázek č. 1: Ultrazvukový snímač průtoku [2]

Vzorec pro výpočet doby průletu signálu proti směru průtoku kapaliny:

$$\tau_{1,2} = \frac{L}{c + w \cdot \cos \alpha} + \frac{l_1}{c_1} \quad [s] \quad (2)$$

Rychlost ultrazvukového signálu se dá pro měření ve směru proudění kapaliny vyjádřit výrazem:

$$v_1 = c + w \cdot \cos \alpha \quad \left[\frac{m}{s} \right] \quad (3)$$

Rychlost ultrazvukového signálu se dá pro měření proti směru proudění kapaliny vyjádřit výrazem:

$$v_2 = c - w \cdot \cos \alpha \quad \left[\frac{m}{s} \right] \quad (4)$$

Rozdíl rychlostí ultrazvukového signálu ve směru a proti směru toku kapaliny je úměrný rychlosti proudící kapaliny:

$$w = \frac{v_1 - v_2}{2 \cdot \cos \alpha} \quad \left[\frac{m}{s} \right] \quad (5)$$

Velikost okamžitého objemového průtoku se vypočte ze vzorce:

$$Q_v = w \cdot s \cdot k(v) \quad \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (6)$$

1.3. Analýza požadavků pro zařízení dle ATEX

1.3.1. Určení nebezpečných prostor výbušné plynné atmosféry

Jelikož v této diplomové práci bude rozebírán a navrhován ultrazvukový průtokoměr, který by měl být umístěn v prostorech s nebezpečím výskytu výbušné atmosféry, je nejprve nutné takový prostor definovat.

Každý prostor, ve kterém jsou například skladovány hořlavé látky (a je tedy považován za prostor s nebezpečím výbuchu), by měl být navržen tak, aby byly minimalizovány možné úniky hořlavých látek. Pokud existuje prostor, kde mohou vznikat úniky hořlavých látek, měli bychom uvažovat o změně jeho konstrukce, abychom se přiblížili minimální míře úniku a minimální rychlosti úniku hořlavých látek. Vzhledem k tomu, že při prvotním návrhu nebezpečných prostor nelze vždy předpokládat rozsah nebezpečí, měli bychom věnovat pozornost studii zařazení prostor [3].

Jakmile je přítomná výbušná plynná atmosféra, je nutné provést:

- Vyloučení pravděpodobnosti, že v okolí iniciačního zdroje tato atmosféra vznikne [3] nebo
- Vyloučení iniciačního zdroje [3]

V případě, že nemůžeme dosáhnout ani jedné z uvedených možností, je nutné provést taková opatření, aby byla pravděpodobnost vzniku výbušné atmosféry tak malá, jak je to rozumně možné (As Low As Reasonable Practicable – ALARP). Při klasifikaci prostředí musí být zohledněny vlastnosti plynu nebo páry. Jedná se zejména o zápalnou energii a teplotu vznícení plynu. Abychom zajistili bezpečné používání zařízení v prostředí s přítomnou výbušnou atmosférou, musíme stanovit typ a rozsah takového prostředí. Tedy typ nebezpečné zóny a rozsah nebezpečné zóny [3].

1.3.1.1. Postup při určování nebezpečných prostor

Běžnou prohlídkou prostoru, ve kterém má navrhované zařízení pracovat, nelze zcela přesně určit odpovídající zónu nebezpečí, o kterou se bude jednat (zóna 0, zóna 1, zóna 2). Musíme tedy provést podrobnější analýzu na základě dat o možnostech vzniku výbušné plynné atmosféry.

Postup:

- Stanovit místa úniku hořlavých par a plynů
- Stanovit pravděpodobnost úniku hořlavých par a plynů
- Stanovit dobu trvání úniku (vyplývá z definic pro trvalý, primární a sekundární stupeň úniku)
- Ohodnotit rychlost úniku, koncentraci plynu nebo par, rychlost proudění, větrání
- Stanovit stupeň úniku (Trvalý, Primární, Sekundární)
- Stanovit typ a rozsah nebezpečné zóny (0, 1, 2, bez nebezpečí) [3]

Přístupů pro klasifikaci nebezpečného prostoru existuje několik:

- Klasifikace metodou podle zdrojů úniku
- Klasifikace pomocí užití průmyslových předpisů a národních norem
- Klasifikace pomocí zjednodušených metod
- Klasifikace pomocí kombinace předchozích přístupů [3]

Pro nás se jeví jako nejlepší řešení užít přístup klasifikace metodou podle zdrojů úniku. Tato metoda může být shrnuta do následujících bodů:

- Identifikace zdrojů úniků
- Stanovení rychlosti úniků a stupně úniku podle pravděpodobnosti četnosti úniků a doby jejich trvání
- Vyhodnocení větrání nebo podmínek rozředování
- Stanovení typu zóny dle předchozích výsledků
- Stanovení rozsahu zóny [3]

Podrobněji si rozebereme jednotlivé body klasifikace metody podle zdrojů úniku v následujících kapitolách. Pro lepší přehlednost a orientaci v dané problematice použijeme schématický přístup k této klasifikaci (obrázek č.2).

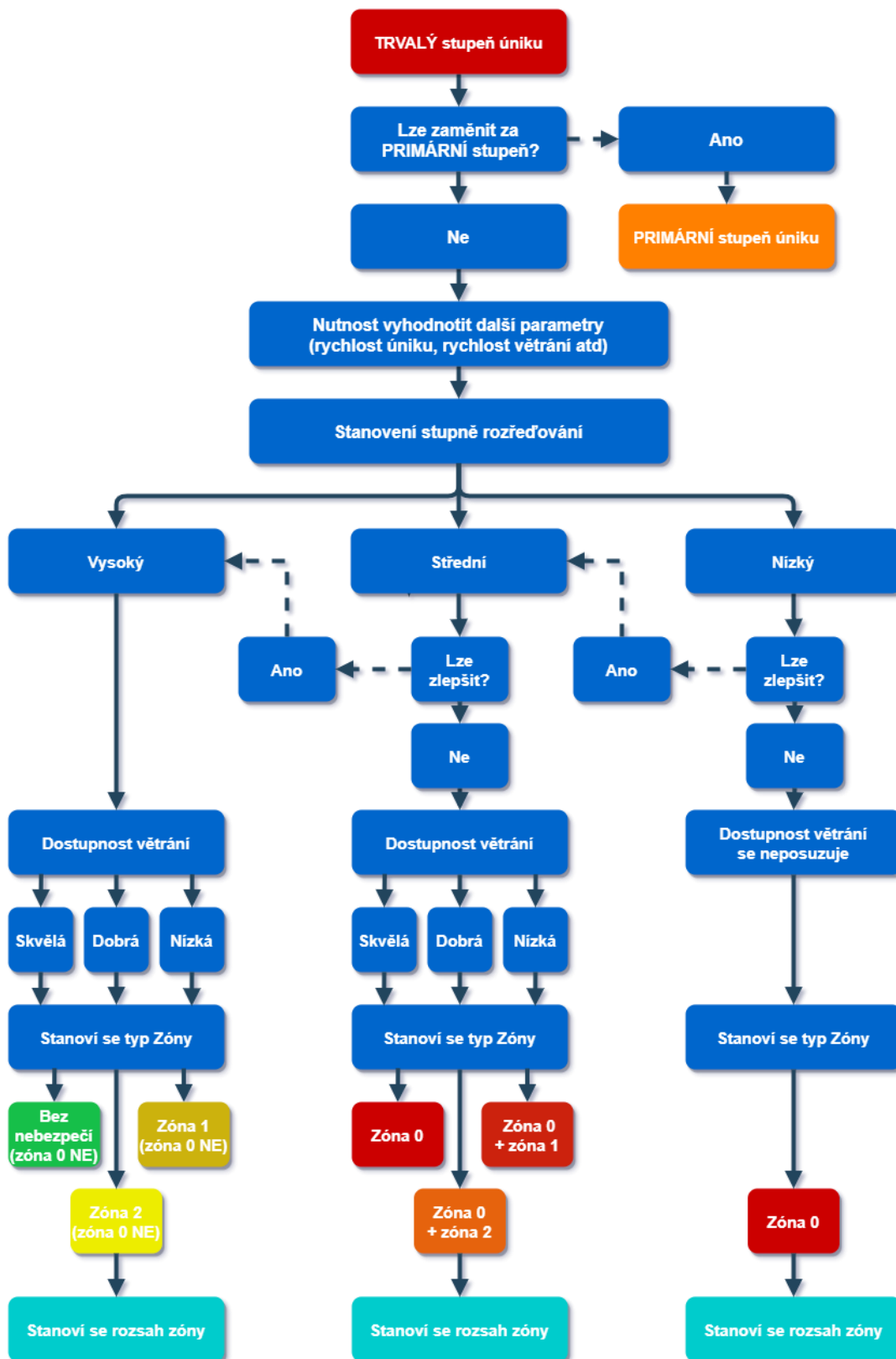
1.3.1.1.1. Klasifikace metodou podle zdrojů úniku



Obrázek č. 2: Schéma klasifikace metodou podle zdrojů úniku(rozřazení) [3]

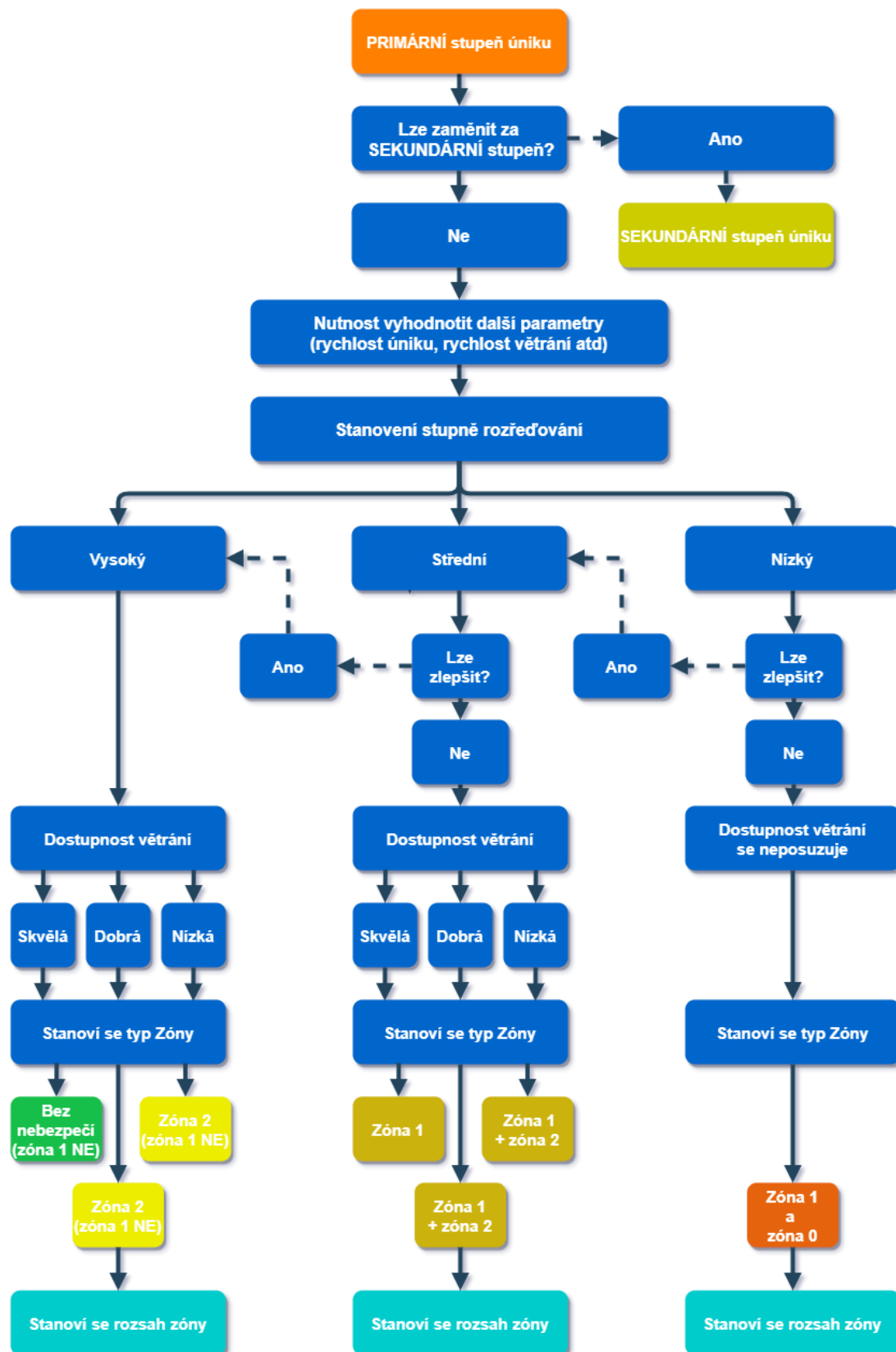
Pomocí tohoto schématu jsme rozhodli, zda se v přítomnosti navrhovaného zařízení vyskytuje výbušná atmosféra, či nikoliv. Dále je nutné vyhodnotit jednotlivé stupně úniku výbušných plynů, abychom mohli určit rozsah a typ zóny. Stupně úniku se dělí na trvalý, primární a sekundární. Trvalý zdroj úniku, je takový únik, který se objevuje velmi často, nebo po dlouhé časové období. Primární únik je takový únik, ke kterému může docházet pravidelně v normálním provozu. Sekundární únik je takový únik, ke kterému dochází jen velmi málo, nebo po velmi krátké časové období.

V prvotním rozřazení byl zvolen trvalý stupeň úniku. Je vhodné prověřit všechny stupně úniku, počínaje tím nejnebezpečnějším. Opět uijeme schématický přístup k dané problematice (obrázek č.3).



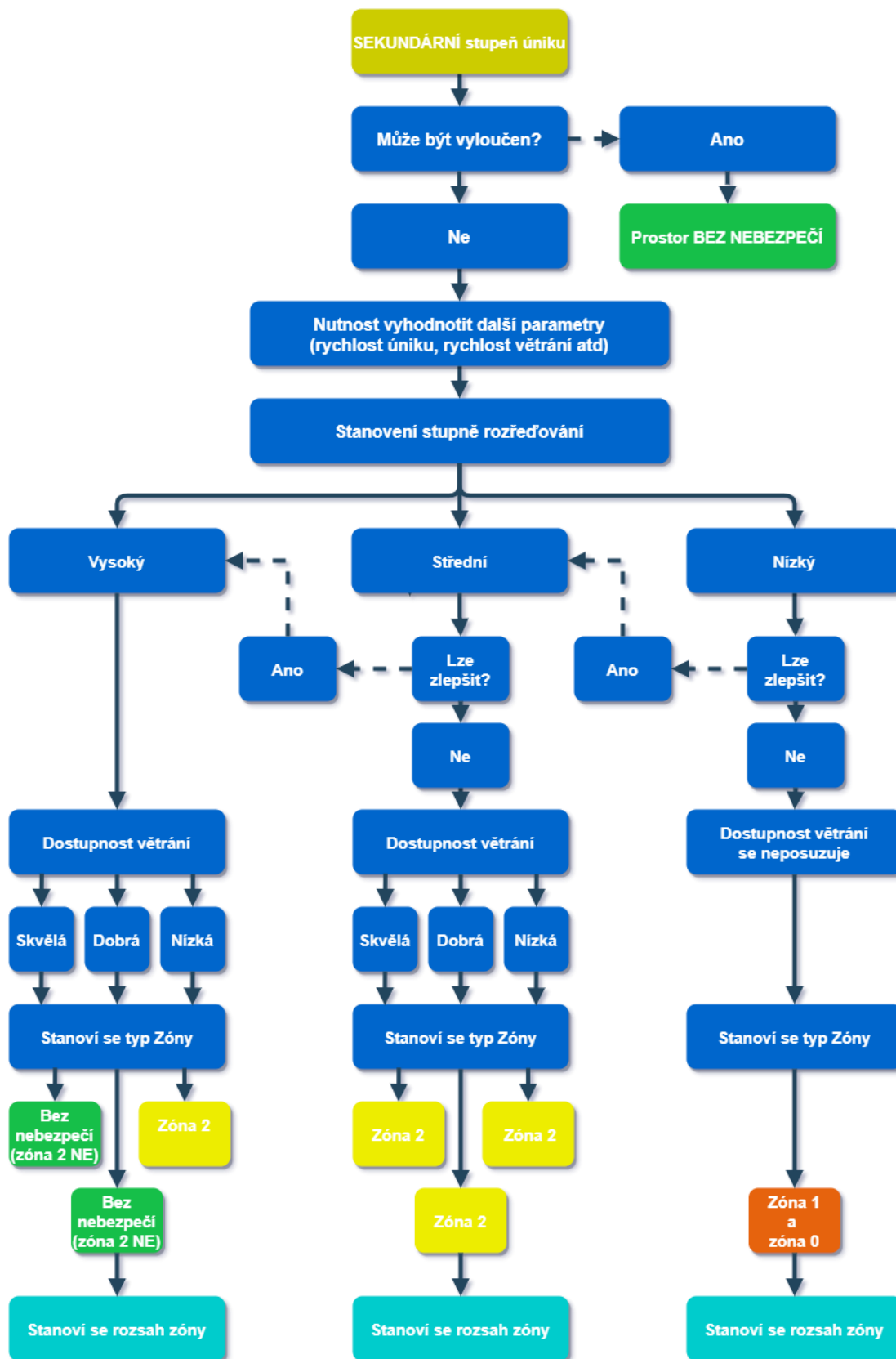
Obrázek č. 3: Schéma klasifikace metodou podle zdrojů úniku (trvalý stupeň úniku) [3]

V prvotním rozřazení byl zvolen primární stupeň úniku. Je vhodné prověřit všechny stupně úniku. Opět uijeme schématický přístup k dané problematice (obrázek č.4).



Obrázek č. 4: Schéma klasifikace metodou podle zdrojů úniku (primární stupeň úniku) [3]

V prvotním rozřazení byl zvolen sekundární stupeň úniku. Je vhodné prověřit všechny stupně úniku. Opět uijeme schématický přístup k dané problematice (obrázek č.5).



Obrázek č. 5: Schéma klasifikace metodou podle zdroje úniku (sekundární stupeň úniku)[3]

1.3.1.1.2. Úniky hořlavých látek

Nejdůležitějším parametrem pro klasifikaci výbušného prostředí jsou úniky a rychlost úniku hořlavých látek. Můžeme tvrdit, že čím vyšší je rychlost úniku hořlavé látky, tím větší bude rozsah zóny.

Formy úniku hořlavých látek:

- Plynné úniky
- Úniky zkapalněných plynů pod tlakem
- Úniky zkapalněných plynů ochlazováním
- Úniky hořlavých aerosolů(mlh)
- Úniky par
- Úniky kapalin [3]

Zdroje vytvářející trvalý stupeň úniku:

- Povrch hořlavé kapaliny v nádrži s pevnou střechou a trvalým odvětráváním do atmosféry
- Povrch hořlavé kapaliny, který je otevřen do atmosféry trvale, nebo po dlouhé časové období [3]

Zdroje vytvářející primární stupeň úniku:

- Těsnění čerpadel, kompresorů nebo ventilů, u kterých se předpokládá unikání hořlavé látky za normálního provozu
- Odvodňovací místa nádrží, obsahující hořlavé plyny nebo kapaliny, u nichž může docházet k unikání hořlavé látky do atmosféry při vypouštění vody za normálního provozu
- Odběrová vzorkovací místa, u nichž se předpokládá unikání hořlavých látek do atmosféry za normálního provozu
- Pojistné ventily, odlehčovací otvory a ostatní otvory, u nichž se předpokládá unikání hořlavých látek do atmosféry za normálního provozu [3]

Zdroje vytvářející sekundární stupeň úniku:

- Těsnění čerpadel, kompresorů nebo ventilů, u kterých se nepředpokládá unikání hořlavé látky za normálního provozu
- Příruby, spoje a armatury na potrubí, u kterých se nepředpokládá unikání hořlavé látky za normálního provozu
- Odběrová vzorkovací místa, u nichž se nepředpokládá unikání hořlavých látek do atmosféry za normálního provozu
- Pojistné ventily, odlehčovací otvory a ostatní otvory, u nichž se nepředpokládá unikání hořlavých látek do atmosféry za normálního provozu [3]

Pro stanovení stupně úniku ve vnitřních prostorech s vyšším počtem zdrojů úniku hořlavých látek je nutné úniky sečíst. Sčítání probíhá podle následujícího pravidla:

- Celkový trvalý únik je součet ze všech jednotlivých trvalých úniků
- Celkový primární únik je součet z některých primárních úniků (působící ve stejném čase) s celkovým trvalým únikem
- Celkový sekundární únik je součet největšího, z jednotlivých sekundárních úniků, s celkovým primárním únikem [3]

1.3.1.1.3. Rychlost úniku hořlavých látek

Dalším parametrem, který má vliv na celkové určení stupně úniku ve výbušném prostoru, je rychlost úniku hořlavých látek. Rychlost úniku dále závisí na dalších parametrech, z jichž většina odpovídá fyzikálním vlastnostem unikajícího média.

Parametry ovlivňující rychlost úniku:

- Povaha a typ úniku
- Rychlost unikající látky
- Koncentrace unikající látky
- Těkavost hořlavé kapaliny (případně bod varu a bod vzplanutí média) [3]

Rychlost úniku hořlavých látek lze odhadnout pomocí rovnic vytvořených experimentálně. Musíme ovšem správně rozhodnout jaký typ rovnic použít. Můžeme provést rozdělení na rychlost úniku kapalin a rychlost úniku plynu nebo par. Rovnice nám poskytnou rozumné odhady rychlosti úniku média, jež nám pomůžou určit stupeň úniku a následně typ zóny.

Odhad rychlosti úniku kapalin:

Rovnice pro odhad rychlosti: [3]

$$W = C_d \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p} \quad \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (7)$$

Při použití tohoto odhadu je následně vhodné určit rychlost odpařování kapaliny. V některých případech mohou kapaliny obsahovat jak kapalnou, tak plynnou fázi, což určuje zejména bod varu unikající kapaliny.

Odhad rychlosti úniku plynu nebo par:

Při určení rychlosti úniku plynu musí být zohledněno, zda se plyn neblíží hustotě zkapalněného plynu. V takovém případě by obsahoval kapalnou a plynnou fázi a pro odhad rychlosti úniku by byla použita rovnice pro únik kapalin (7). K tomuto nám poslouží určení kritického tlaku plynu (8).

Za předpokladu, že je hustota plynu bezpečně vzdálená od hustoty zkapalnění, musíme určit, zda se bude jednat o únik s podzvukovou rychlostí, či o únik s nadzvukovou rychlostí [3].

Rovnice pro stanovení kritického tlaku: [3]

$$p_c = p_a \cdot \left(\frac{\gamma + 1}{2}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad [Pa] \quad (8)$$

Rovnice pro odhad rychlosti podzvukového úniku: [3]

$$W_g = C_d \cdot S \cdot p \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_a}{p}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right] \cdot \left(\frac{p_a}{p}\right)^{\frac{1}{\gamma}}} \quad \left[\frac{kg}{s}\right] \quad (9)$$

Podzvukový únik vzniká za předpokladu, že únik není ničím škrcen, tedy pokud médium uniká ze zásobníku bez omezení.

Rovnice pro odhad úniku s rychlostí zvuku: [3]

$$W_g = C_d \cdot S \cdot p \cdot \sqrt{\gamma \cdot \frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{(\gamma+1) \cdot (\gamma-1)}} \quad \left[\frac{kg}{s}\right] \quad (10)$$

Únik rychlostí zvuku vzniká, pokud je únik škrcen. V takovém případě se rychlost úniku bude rovnat rychlosti zvuku daného plynu.

1.3.1.1.4. Větrání a rozředování

Po vyhodnocení úniků by mohlo platit, že trvalý stupeň úniku by vedl na ohodnocení prostoru zónou 0, primární stupeň úniku by vedl k ohodnocení zónou 1 a sekundární stupeň by vedl k zóně 2. Tato skutečnost by pro hodnocení byla postačující, avšak pomocí větrání a rozředování lze hodnocení prostoru výrazně zlepšit. Plyny a páry unikající do atmosféry lze rozředovat se vzduchem pomocí turbulentního míchání nebo pomocí difuze. Pomocí větrání tedy lze ovlivnit typ zóny a omezit rozsah zóny [3].

Větrání lze rozdělit na:

- Přirození větrání
- Nucené větrání [3]

Zajištěním správného větrání lze dosáhnout:

- Snížení typu a rozsahu zóny
- Zkrácení doby přítomné výbušné plynné atmosféry
- Prevence vzniku výbušné plynné atmosféry [3]

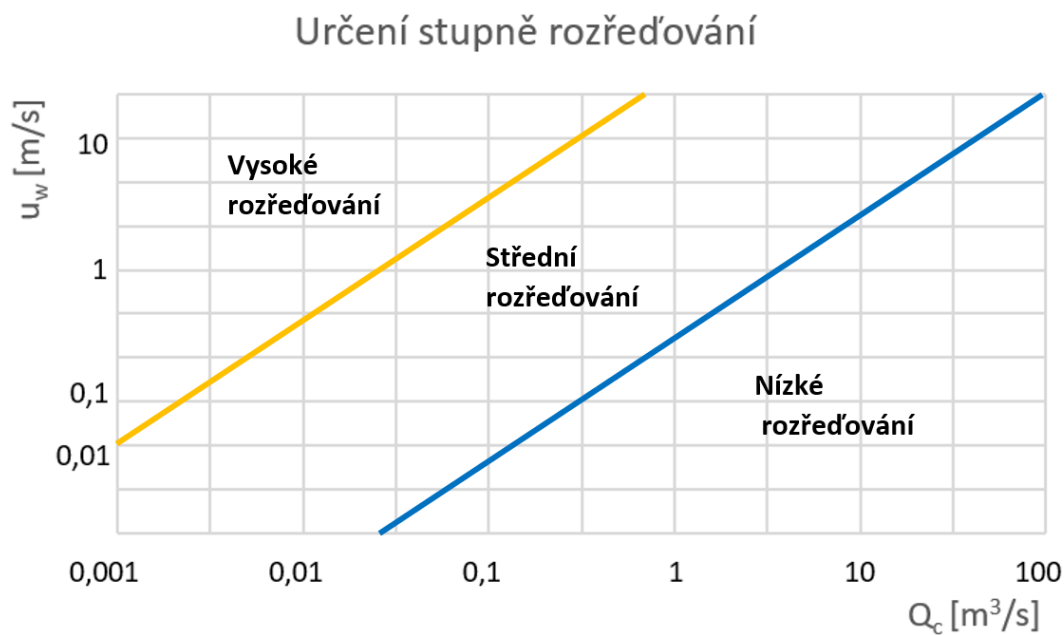
Stupeň rozředování je zásadní pro účinnost větrání. Jedná se o schopnost dostatečně rychle rozředit výbušnou plynnou atmosféru na bezpečnou úroveň.

Hodnocení stupně rozředování:

- Vysoké rozředování – v blízkosti zdroje úniku se koncentrace výbušné plynné atmosféry rychle snižuje a po zastavení úniku výbušná plynná atmosféra nebude přítomna

- Střední rozředování – rozsah výbušné plynné atmosféry je udržován pod kontrolou ve stabilně ohraničené zóně, a po zastavení úniku výbušná plynná atmosféra nebude přetrvávat po dlouhou dobu
- Nízké rozředování – při úniku se bude vyskytovat vysoká koncentrace nebezpečných plynů a po zastavení úniku bude výbušná plynná atmosféra přetrvávat po dlouhou dobu [3]

Stupeň rozředování je možno určit pomocí porovnání rychlosti větrání u_w (tato hodnota je pro každý plyn jiná, lze ji určit experimentálně nebo z tabulek pro daný plyn) a pomocí objemové charakteristiky zdroje úniku Q_c . Stupeň rozředování je určen průsečíkem těchto dvou proměnných v grafu č. 1 [3].



Graf č. 1: Určení stupně rozředění prostoru s nebezpečím výbuchu [3]

Rovnice objemové charakteristiky zdroje úniku: [3]

$$Q_c = \frac{W_g}{\rho_g \cdot LFL} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (11)$$

Kde je hustota plynu rovna: [3]

$$\rho_g = \frac{p_a \cdot M}{R \cdot T_a} \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (12)$$

1.3.1.1.5. Určení typu zóny

Na základě určení předchozích parametrů jako je stupeň úniku, dostupnost větrání a stupně rozředování lze nyní stanovit typ zóny. Určení zóny lze určit dle tabulky č.1. Nejvíce ovlivňuje typ zóny stupeň úniku.

Určení typu zóny na základě stupně úniku:

- Trvalý stupeň úniku → Zóna 0
- Primární stupeň úniku → Zóna 1
- Sekundární stupeň úniku → Zóna 2

Toto rozdělení lze uvažovat ve chvíli, kdy se dostupnost větrání a stupeň rozředování výbušné plynné atmosféry pohybují na průměrných hodnotách. Avšak tyto parametry nám též ovlivňují typ zóny. Přesnější určení zóny lze provést dle tabulky č.1.

Stupeň úniku	Účinnost větrání						
	Vysoké rozředování			Střední rozředování			Nízké rozředování
	Dostupnost větrání						
	Výborná	Dobrá	Nízká	Výborná	Dobrá	Nízká	Výborná, dobrá, nízká
Trvalý	Bez nebezpečí (zóna 0 NE)	zóna 2 (zóna 0 NE)	zóna 1 (zóna 0 NE)	zóna 0	zóna 0 + zóna 2	zóna 0 + zóna 1	zóna 0
Primární	Bez nebezpečí (zóna 1 NE)	zóna 2 (zóna 1 NE)	zóna 2 (zóna 1 NE)	zóna 1	zóna 1 + zóna 2	zóna 1 + zóna 2	zóna 1 nebo zóna 0
Sekundární	Bez nebezpečí (zóna 2 NE)	zóna 2 (zóna 2 NE)	zóna 2	zóna 2	zóna 2	zóna 2	zóna 1 a dokonce zóna 0

Tabulka č. 1: Určení typu zóny na základě stupně úniku, dostupnosti větrání a účinnosti rozředování [3]

Zóny NE označují takovou zónu, která má za normálních podmínek zanedbatelný rozsah. Zóna 0 označuje prostor, kde je výbušná plynná atmosféra trvale přítomna, velmi často přítomna, anebo přítomna po dlouhé časové období. Zóna 1 označuje prostor, ve kterém výbušná plynná atmosféra vzniká pravidelně za normálního provozu. Zóna 2 označuje prostor, ve kterém výbušná plynná atmosféra nevzniká pravidelně za normálního provozu a pokud vznikne, bude přítomna pouze po krátké časové období [3].

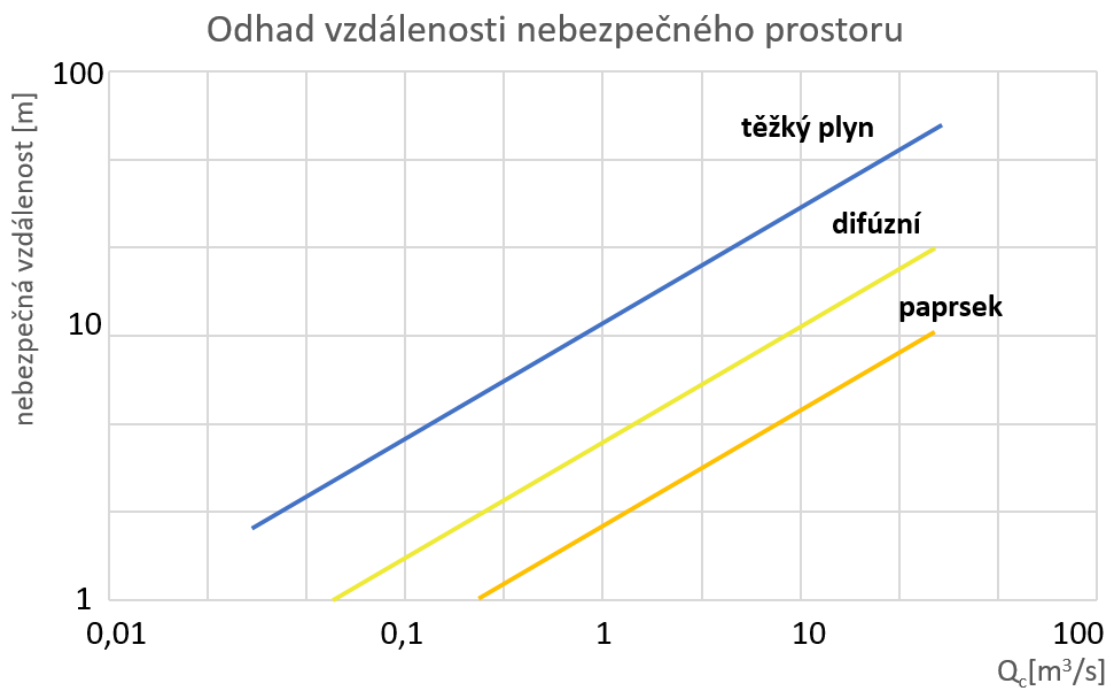
1.3.1.1.6. Určení rozsahu zóny

Největší vliv na velikost zóny (zóna 0, 1, 2) má rychlost úniku výbušného plynu a následně jeho fyzikální vlastnosti. Se vzrůstající objemovou charakteristikou úniku zdroje vzrůstá rozsah zóny. Šíření plynu je vhodné určit pomocí počítačové simulace dynamiky tekutin (CFD), nebo na základě experimentálních zkoušek. Rozsah zóny závisí na výpočtu vzdálenosti, než je výbušná atmosféra rozptýlena se vzduchem tak, aby její koncentrace byla pod dolní mezí výbušnosti (LFL) [3].

Informativně lze pro určení rozsahu zóny použít graf č.2, kde provedeme určení rozsahu zóny na základě typu úniku. Tato metoda slouží k určení rozsahu zóny při středním rozředování výbušné atmosféry [3].

Křivky v grafu se posouvají v závislosti na typu úniku:

- Tlumený únik – uniká v paprsku s vysokou rychlostí bez významných překážek
- Podzvukový únik – uniká difúzně v paprsku s nízkou rychlostí, nebo přes překážky
- Únik těžkých plynů nebo par – šíří se převážně podél povrchu [3]



Graf č. 2: Odhad vzdálenosti nebezpečného prostoru [3]

1.3.2. Určení nebezpečných prostor výbušné atmosféry pro prachy

Další situací, která může v provozu nastat, je přítomnost výbušného oblaku prachu. Podobně jako pro plyny a páry je třeba zajistit taková opatření, aby se předešlo výbuchu oblaku prachu. Hořlavý prach vytváří výbušnou atmosféru při určitých koncentracích ve směsi se vzduchem. Proto i malé úniky prachu mohou časem vytvářet potenciálně nebezpečnou výbušnou směs hořlavého prachu se vzduchem, nebo mohou vytvářet usazené vrstvy prachu. Stejně jako u plynů a par je nutné vyloučit z provozu iniciační zdroje výbuchu.

Nebezpečí tvořené hořlavými prachy:

- Vytvoření oblaku prachu, pro který hrozí nebezpečí výbuchu, nebo vytvoření vrstvy či hromady prachu, kterou lze rozvířit a vytvořit atmosféru s nebezpečím výbuchu
- Vytvoření vrstev usazeného prachu (nehrozí rozvíření prachu), kde hrozí riziko vznícení (samovznícení, kontakt s horkým povrchem, proudění a sáláním tepla). Zapálená vrstva prachu dále může působit jako iniciační zdroj výbuchu oblaku prachu [4]

V případě, že nemůžeme zabránit ani jedné z uvedených možností, je nutné provést taková opatření, aby byla pravděpodobnost výbuchu oblaku prachu či vznícení vrstvy prachu tak malá, jak je to rozumně možné (As Low As Reasonable Practicable – ALARP). Při klasifikaci prostředí musí být zohledněny vlastnosti prachu. Abychom zajistili bezpečné používání zařízení v prostředí s nebezpečím výskytu oblaku prachu, či jeho vrstev, musíme stanovit typ a rozsah prostředí. Tedy typ nebezpečné zóny a rozsah nebezpečné zóny pro prachy [4].

1.3.2.1. Postup při určování nebezpečných prostorů s prachem

Určení prostoru je třeba provádět na základě mnoha faktorů, abychom mohli zcela přesně určit odpovídající typ zóny a rozsah zóny (zóna 20, 21, 22).

Pro zařazení prostoru, je třeba určit:

- Fyzikální vlastnosti prachu, hořlavost prachu
- Vlastnosti přítomných materiálů (technologicky zpracovávané materiály)
- Typy úniků, jež mohou vzniknout
- Provozní a údržbové informace (větrání, odsávání, úklid)
- Další bezpečnostní informace týkající se zařízení
- Typ nebezpečné zóny pro prachy
- Rozsah nebezpečné zóny pro prachy [4]

1.3.2.2. Úniky hořlavých látek (prachů)

Podobně jako u výbušné plynné atmosféry, výbušná atmosféra prachu může vznikat ze tří typů úniků. Zásadní rozdíl ovšem je, že dochází k usazování unikajícího prachu. Rozvíření této vrstvy prachu může vést k vytvoření výbušného oblaku prachu. Při určování úniků prachu bychom měli uvažovat zvláště vnitřní prostor zařízení s prachem a zvláště jeho okolí. Při hodnocení úniku uvnitř zařízení je třeba uvést zařízení do normálního pracovního provozu a následně kontrolovat vznikání oblaku prachu a usazování vrstev prachu uvnitř zařízení. Pokud vznikají tlusté vrstvy prachu uvnitř zařízení, je třeba tuto skutečnost řešit vhodnou metodou. U okolí zařízení lze tyto skutečnosti řešit např. sáním, nebo úklidem.

Při řešení úniku v okolí zařízení s prachem, hraje velkou roli tlak. Pokud nastane situace, že zařízení s prachem uvnitř pracuje při vyšším tlaku než atmosférickém, je prach ze zařízení snadno vytlačen, za předpokladu, že zařízení není těsněno. V opačném případě, kdy zařízení pracuje při menším tlaku, než je atmosférický, je vznik prашného prostředí kolem prашného zařízení nepravděpodobné [4].

Parametry ovlivňující rychlost úniku hořlavého prachu:

- Velikost částic prachu
- Vlhkost prachu
- Rychlost dopravy
- Rychlost odsávání prachu
- Výška pádu [4]

V každém případě, pokud jsou známy úniky hořlavého prachu, je třeba popsat každý únik a následně ho zařadit do správného stupně úniku. Podobně jako u úniků plynů a par, rozdělujeme úniky do 3 stupňů – trvalého, primárního a sekundárního [4].

Stupně úniků:

- Trvalý stupeň úniku – tam, kde oblak hořlavého prachu vzniká trvale nebo po dlouhé časové období, nebo po krátká časová období s vysokou četností
- Primární stupeň úniku – tam, kde se vznik oblaku hořlavého prachu očekává pravidelně za normálního provozu
- Sekundární stupeň úniku – tam, kde se neočekává únik oblaku hořlavého prachu za normálního provozu [4]

Dále musíme brát v potaz nebezpečí požáru od vrstev usazeného prachu. K dané situaci by mohlo dojít díky kontaktu vrstvy prachu s rozpáleným povrchem či kvůli vyzařování tepla. Proto je nutné použít opatření, jako je omezení teploty povrchů, které přijdou do styku s vrstvami prachu a omezení vyzařované energie ze zařízení. [4]

1.3.2.3. Určení typu zóny

Na základě stanovení stupně úniku oblaku prachu a kontrole usazování vrstev prachu, lze nyní určit typ zóny (tabulka č.2) [4].

Stupně úniku	Zařazení prostoru s oblakem prachu
Trvalý stupeň úniku	Zóna 20
Primární stupeň úniku	Zóna 21
Sekundární stupeň úniku	Zóna 22

Tabulka č. 2: Určení zóny pro příslušný prostor v závislosti na stupni úniku [4]

Popis zón:

- Zóna 20 – Atmosféra se zvířeným oblakem prachu je zde tvořena trvale, po dlouhou dobu, či velmi často.
- Zóna 21 – Výbušná atmosféra s oblakem prachu může vznikat za normálního provozu s vysokou pravděpodobností
- Zóna 22 – je zde malá pravděpodobnost vzniku výbušné atmosféry s prachem za normálního provozu [4]

1.3.2.4. Určení rozsahu zóny

Rozsahem zóny se rozumí oblast od zdroje úniku ve kterémkoli směru až do místa, kde nehrozí nebezpečí spojené s danou zónou [4].

Místa vzniku jednotlivých zón:

- Zóna 20 – Primárně se jedná o místa uvnitř zařízení s prachem. Dále také místa pro skladování, jako jsou sila a zásobníky. Dále dopravníky, filtry, sušičky atd.
- Zóna 21 – Prostory v okolí dveří do prostoru se zařízením kvůli nebezpečí víření prachu. Dále pak okolí zařízení nebo jiných zařízení, při jejichž manipulaci prach vzniká
- Zóna 22 – V místech, která souvisí se zařízením, popřípadě manipulací, při níž prach vzniká, ale kde je nepravděpodobný vznik výbušné atmosféry s prachem. Předpokládá se, že by muselo dojít k nepravděpodobné situaci, aby došlo ke vzniku oblaku prachu [4]

1.3.3. Zařazení a požadavky na zařízení do výbušného prostředí

V minulých kapitolách byly popsány prostory s nebezpečím výbuchu pro plyny a prachy. Nyní, abychom mohli navrhnout zařízení pracující v takovém prostředí, je třeba určit požadavky na takové zařízení. V následující kapitole rozebereme parametry nutné pro bezpečný chod zařízení v prostoru s nebezpečím výbuchu. Dále popíšeme typy ochran zařízení a rozhodneme, které typy ochran jsou relevantní ve spojení s námi určenými požadavky pro technické řešení ultrazvukového průtokoměru.

1.3.3.1. Značení zařízení do plynné výbušné atmosféry

Každé zařízení, pracující v prostorech s nebezpečím výskytu výbušné plynné atmosféry, musí být jasně označeno následujícími parametry [5]:

Povinné značení:



II

2

G

Doplňkové značení:

Ex

d

IIC

T4

Gb



Obecné značení pro
zařízení do nebezpečí
výbuchu

Skupina I doly,
Skupina II povrch

Kategorie zařízení

Výbušná
atmosféra plynu

Označení zařízení do
prostředí s nebezpečím
výbuchu

Symbol
použitého druhu
ochrany

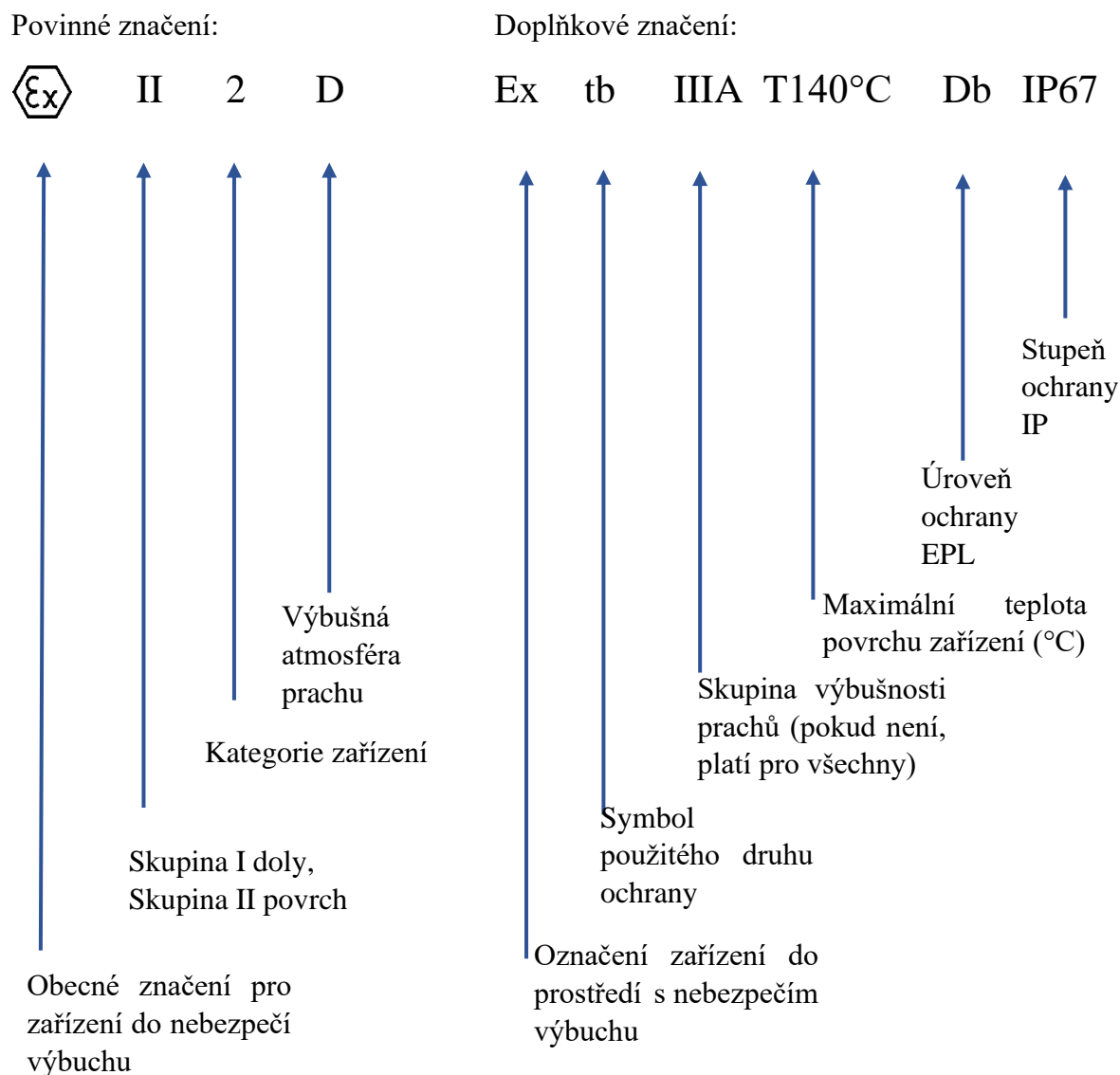
Skupina výbušnosti
plynů (pokud není,
platí pro všechny)

Teplotní třída

Úroveň
ochrany
EPL

1.3.3.2. Značení zařízení do výbušné atmosféry prachu

Každé zařízení pracující v prostorech s nebezpečím výskytu výbušné atmosféry prachu musí být jasně označeno následujícími parametry [5]:



Skupina zařízení	Kategorie zařízení	Skupina	Úroveň ochrany zařízení EPL	Zóna	Úroveň ochrany
VÝBUŠNÁ ATMOSFÉRA – PLYNY					
II	1G	II	Ga	Zóna 0	Velmi vysoká
II	2G	II	Gb	Zóna 1	Vysoká
II	3G	II	Gc	Zóna 2	Zvýšená
VÝBUŠNÁ ATMOSFÉRA – PRACHY					
II	1D	III	Da	Zóna 20	Velmi vysoká
II	2D	III	Db	Zóna 21	Vysoká
II	3D	III	Dc	Zóna 22	Zvýšená

Tabulka č. 3: Popis kategorií a skupin zařízení, vztahy mezi úrovní ochrany a typem nebezpečné zóny [5]

1.3.3.3. Skupina výbušnosti plynů a prachů

Skupiny zařízení se dále dělí pro použití dle skupiny výbušnosti plynů a prachů. Rozdělení lze provést dle tabulky č. 4. Tato tabulka rozděluje zařízení skupiny (II a III) dle vlastností výbušného prostoru, pro kterou jsou navrhována [5].

Prostor ATEX	Skupina zařízení dle EN/ČSN	Skupina výbušnosti	Odpovídající látky	Minimální zápalná energie	
Povrch II	Plyny	II	II C	vodík, acetylen	20μJ – 60μJ
		II	II B	Etylen	60μJ – 180μJ
		II	II A	Propan	> 180μJ
	Prachy	III	III C	Vodivý prach	
		III	III B	Nevodivý prach	
		III	III A	Hořlavé částice	

Tabulka č. 4: Skupina výbušnosti plynů a prachů [5]

1.3.3.4. Teplotní třída zařízení pro plynnou výbušnou atmosféru

Teplotní třída zařízení značí maximální povrchovou teplotu elektrického zařízení. Této teploty nesmí být dosaženo v částech zařízení, kde dochází ke kontaktu s výbušnou plynnou atmosférou. Zařazení do teplotní třídy lze určit z tabulky č. 5 [5].

Teplotní třída zařízení	T6	T5	T4	T3	T2	T1
Max. povrchová teplota	85 °C	100 °C	135 °C	200 °C	300 °C	450 °C
Teplota vznícení	85 °C– 100 °C	85 °C– 100 °C	85 °C– 100 °C	85 °C– 100 °C	85 °C– 100 °C	85 °C– 100 °C
Možnost použití	T1-T6	T1-T5	T1-T4	T1-T3	T1-T2	T1

Tabulka č. 5: Určení teplotní třídy zařízení do výbušného prostředí pro plyny [5]

Teplotní třídu pro zařízení pracující ve výbušné atmosféře plynů lze určit tímto způsobem. Na druhou stranu pro určení maximální povrchové teploty u zařízeních pracujících ve výbušné atmosféře prachu, musíme použít jiný přístup.

1.3.3.5. Teplotní rozsah pro zařízení ve výbušné atmosféře prachu

Pro určení maximální povrchové teploty zařízení pro výbušnou atmosféru prachu je třeba uvažovat s nejnejpříznivějšími podmínkami. Tyto podmínky nám bude simulovat vrstva prachu, pokrývající zařízení, o tloušťce 5 mm dle ČSN EN 60079-14. Maximální povrchovou teplotu zařízení tedy lze určit pomocí tabulky č. 6 [5].

Vrstva prachu	Maximální povrchová teplota zařízení T_{MAX}	Příklad výpočtu pro povrchovou teplotu zařízení $T_{100}^{\circ C}$		
		Cukr	T_{MAX}	Výsledek
Vrstva < 5 mm	$T_{MAX} = T_{5mm} - 75^{\circ C}$	$T_{5mm} = 400^{\circ C}$	$400 - 75 = 325^{\circ C}$	$325 > 100$ - vyhovuje
Vrstva > 5 mm	Viz. ČSN EN 60079-14			
Rozvířený prach	$T_{MAX} = 2/3 T_{cl}$	$T_{cl} = 350^{\circ C}$	$350 \times 2/3 = 234^{\circ C}$	$234 > 100$ - vyhovuje

Tabulka č.6: Určení teplotní třídy zařízení do výbušného prostředí pro prachy [5]

1.3.3.6. Způsoby technického řešení ochrany zařízení do výbušného prostředí

V následující kapitole budou zmíněny možnosti ochrany elektrických zařízení ve výbušném prostředí. V kapitole 2. bude proveden podrobnější popis vybraných variant pro návrh ultrazvukového průtokoměru do výbušného prostředí [5].

TYP OCHRANY	HARMONIZOVANÁ KONSTRUKČNÍ NORMA	SYMBOL	KATEGORIE ZAŘÍZENÍ	EPL	ZÓNA POUŽITÍ
Pevný závěr d	ČSN EN 60079-1	da	M1, 1G	Ma, Ga	SNM3, SNM2, SNM1 0, 1, 2
		db	M2, 2G	Mb, Gb	SNM2, SNM1 1, 2
		dc	3G	Gc	2
Zajištěné provedení e	ČSN EN 60079-7	eb	M2, 2G	Mb, Gb	SNM2, SNM1 1, 2
		ec	3G	Gc	2
Jiskrová bezpečnost i	ČSN EN 60079-11 ČSN EN 60079-25	ia	M1, 1G, 1D	Ma, Ga, Da	SNM3, SNM2, SNM1 0, 1, 2 / 20, 21, 22
		ib	M2, 2G, 2D	Mb, Gb, Db	SNM2, SNM1 1, 2 / 21, 22
		ic	3G, 3D	Gc, Dc	2 / 22
Zalítí zalévací hmotou m	ČSN EN 60079-18	ma	M1, 1G, 1D	Ma, Ga, Da	SNM3, SNM2, SNM1 0, 1, 2 / 20, 21, 22
		mb	M2, 2G, 2D	Mb, Gb, Db	SNM2, SNM1 1, 2 / 21, 22
		mc	3G, 3D	Gc, Dc	2 / 22
Závěr s vnitřním přetlakem p	ČSN EN 60079-2	pxb	M2, 2G, 2D	Mb, Gb, Db	SNM2, SNM1 1, 2 / 21, 22
		pyb	2G, 2D	Gb, Db	1, 2 / 21, 22
		pzc	3G, 3D	Gc, Dc	2 / 22
Pískový závěr q	ČSN EN 60079-5	q	M2, 2G	Mb, Gb	SNM2, SNM1 1, 2
Olejový závěr o	ČSN EN 60079-6	ob	M2, 2G	Mb, Gb	SNM2, SNM1 1, 2
		oc	3G	Gc	2
Ochrana typu n	ČSN EN 60079-15	nA	3G	Gc	2
		nC			
		nL			
		nR			
Ochrana proti vznícení prachu krytem t	ČSN EN 60079-31	ta	1D	Da	20, 21, 22
		tb	2D	Db	21, 22
		tc	3D	Dc	22
Optické záření op	ČSN EN 60079-28	op is			SNM3, SNM2, SNM1 0, 1, 2 / 20, 21, 22
		op pr			SNM2, SNM1 1, 2 / 21, 22
		op sh			SNM3, SNM2, SNM1 0, 1, 2 / 20, 21, 22

Tabulka č. 7: Informativní přehled existujících typů ochrany elektrických zařízení pro použití do výbušného prostředí [5]

2. Analýza možností technického řešení ultrazvukového průtokoměru do výbušného prostředí

V této části bude rozhodnuto o výběru typu ochrany ultrazvukového průtokoměru z možností vypsanych v tabulce č. 7. Abychom toto rozhodnutí mohli učinit, je třeba si připomenout, pro co bude námi navrhovaný ultrazvukový průtokoměr vhodný. Jak již bylo zmíněno v úvodu diplomové práce, ultrazvukový průtokoměr je navrhován pro použití v prostoru s přítomností výbušné atmosféry pro plyny a prachy. Je uvažováno s použitím ultrazvukového průtokoměru v prostorech s požadavky na zónu 1 (zónu 21 pro prachy) dle ČSN EN 60079. Tato norma pojednává o výbušných atmosférách, konkrétně části normy ČSN EN 60079 10-1 pro plyny a ČSN EN 60079 10-2 pro prachy. S ohledem na další vývoj a zpřísnění požadavků na použití zařízení ve výbušném prostředí je vhodné uvažovat s výběrem typů ochrany ultrazvukového průtokoměru, které umožňují použití i v nejnáročnějších podmínkách výbušných atmosfér, tedy v zóně 0 (zóně 20 pro prachy). Těmto požadavkům, co se týče typů ochrany, odpovídají z uvedeného výběru následující technická řešení.

- Ochrana pevným závěrem
- Ochrana zajištěním jiskrové bezpečnosti zařízení
- Ochrana zalitím elektroniky zalévací hmotou

Výběr správného typu ochrany bude proveden dle následujících parametrů:

- Technická proveditelnost
- Servis
- Finanční úspornost(ekonomičnost)
- Rozebíratelnost
- Jednoduchost

2.1. Výběr typu ochrany zařízení

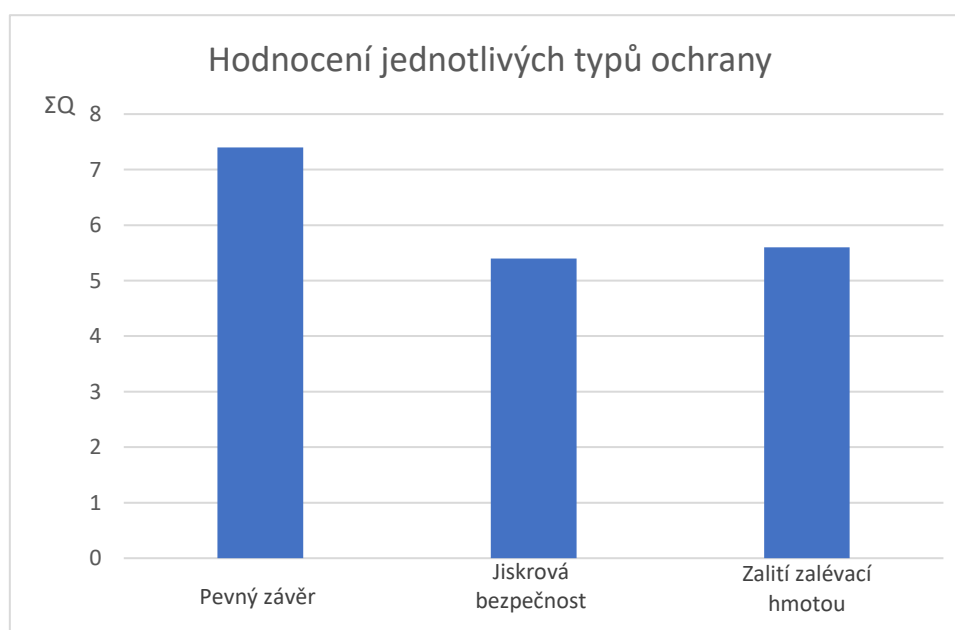
Jednotlivým parametrům, dle kterých bude proveden výběr typu ochrany, přiřadíme váhu důležitosti dle tabulky č.8.

Značení parametru	p1	p2	p3	p4	p5
Název parametru	technická prov.	servis	jednoduchost	ekonomičnost	rozebiratelnost
Váha parametru	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3

Tabulka č. 8: Přiřazení důležitosti jednotlivým parametrům pro výběr typu ochrany

Typ ochrany	P1	P2	P3	P4	P5	ΣQ
Pevný závěr	5	4	4	3	4	7,4
Jiskrová bezpečnost	2	4	3	4	4	5,4
Zalévací hmota	5	1	4	4	1	5,6

Tabulka č. 9: Rozhodovací proces výběru typu ochrany



Graf č. 3: Hodnocení jednotlivých typů ochrany

V rozhodovacím procesu o výběru typu ochrany ultrazvukového průtokoměru byly zohledněny následující parametry. Technická proveditelnost, servis zařízení, jednoduchost konstrukce zařízení, ekonomičnost a rozebiratelnost.

Z hlediska technické proveditelnosti vyhovují typy ochrany pevným závěrem a zalitím zalévací hmotou. Jelikož elektronika námi navrhovaného zařízení je značně rozsáhlá a náročná, je nutno vybrat větší skříňku pevného závěru. Tato skutečnost se ale nejeví jako problém. Nicméně typ ochrany jiskrovou bezpečností je z tohoto hlediska téměř nepoužitelný, kvůli požadavkům na omezený výkon a kapacity elektroniky. To může vést ke špatné a pomalé funkčnosti elektroniky. Kvůli této skutečnosti je typ ochrany jiskrovou bezpečností téměř technicky neproveditelný pro tento typ elektroniky.

Z hlediska servisu zařízení vyhovují varianty pevného závěru a jiskrové bezpečnosti. U těchto typů ochrany se nevyskytují skutečnosti, jež by servis znemožňovali. Nicméně u typu ochrany zalévací hmotou vzniká při servisu velký problém, protože celá

elektronika zařízení je zalita v zalévací hmotě. Proto je tento typ ochrany z hlediska servisu vysoce nevyhovující. Stejný problém nastává při uvažování parametru rozebíratelnosti. Z hlediska ostatních parametrů jsou všechny vybrané typy ochrany srovnatelné. Nicméně vzhledem k vyskytujícím se problémům s technickou proveditelností u typu ochrany jiskrové bezpečnosti a k problémům vyskytujícím se u servisu typu ochrany zalitím, v rozhodovacím procesu zvítězila varianta typu ochrany pevným závěrem.

Typ ochrany pevným závěrem lze použít primárně v plynné výbušné atmosféře. Pro použití ve výbušné atmosféře prachů, musí být použit takový pevný závěr, jež je proti této atmosféře chráněn ještě jiným způsobem. Například užitím ochrany krytem. Další možností, jak dosáhnout pro pevný závěr ochrany i před atmosférou prachu, je přidat typ ochrany zalitím. Nicméně pouze v krajních případech, kdy se nepočítá se servisováním zařízení.

V následujících kapitolách budou zmíněny obecné technické požadavky na ultrazvukový průtokoměr jako celek a také požadavky vybraných typů ochrany elektroniky ultrazvukového průtokoměru.

2.2. Obecné technické požadavky na zařízení pracující ve výbušném prostředí

V této kapitole budou stanoveny obecné technické požadavky na ultrazvukový průtokoměr pracující v prostoru s nebezpečím výbuchu. V dalších kapitolách budou zmíněny upřesňující požadavky pro jednotlivé typy ochrany. Primárně se zaměříme na požadavky týkající se zóny 1 (plyny) a zóny 21 (prachy).

Nejprve musí být zmíněno, že uvažujeme použití ultrazvukového průtokoměru za normálních atmosférických podmínek:

- Teplota -20 °C až +60 °C
- Tlak 80 kPa (0,8 bar) až 110 kPa (1,1bar)
- Obsah kyslíku ve vzduchu: přibližně 21 % O₂ [5]

Dále je třeba stanovit, že budou řešeny požadavky pro použití na povrchu, tedy pro skupinu II (plyny) a skupinu III (prachy), dle tabulky č.4.

2.2.1. Požadavky na teploty

Všechny stanovené teploty musí být měřeny dle normovaných tepelných zkoušek.

Musí být stanovena minimální a maximální teplota okolí, ve kterém má zařízení pracovat, pokud se neslučuje s teplotami od -20 °C až do 40 °C. V případě neshody, se se zařízením nakládá jako se speciálním a teploty okolí provozu musí být zaznamenány [5].

Za předpokladu, že bude ultrazvukový průtokoměr využívám v přítomnosti vnějšího zdroje ohřívání či ochlazování (typicky průtok horkého/studeného média), je též třeba přesně definovat provozní teploty [5].

Provozní teplota musí být stanovena při provozu při maximální jmenovitém napětí a proudu [5].

Maximální povrchová teplota zařízení musí být měřena za nejméně příznivých podmínek. Maximální povrchová teplota zařízení pro skupinu II (plyny) je definována:

- teplotní třídou zařízení dle tabulky č.5.
- přiřazenou maximální povrchovou teplotou
- teplotou vznícení plynu, pro který je průtokoměr určen [5]

V žádném případě nesmí maximální povrchová teplota překročit ani jednu z možností.

Maximální povrchová teplota zařízení skupiny III se stanoví pomocí normované tepelné zkoušky, při které se zařízení obklopí zkušebním prachem o tloušťce vrstvy 200 mm, pro splnění požadavků EPL Da (zóny 0) [5].

Určení maximální povrchové teploty se nevztahuje na malé elektrické součástky, u kterých by mohlo dojít k překročení maximální dovolené povrchové teploty, ale musí být dokázáno, že tyto součástky nejsou schopné způsobit vznícení výbušné atmosféry či hořlavé směsi [5].

2.2.2. Obecné požadavky pro všechna zařízení

Za každou cenu musí zařízení dodržet veškeré bezpečnostní požadavky určené průmyslovými normami.

Mezi další obecné požadavky na zařízení, jež musí být splněny, patří uchycení plochých těsnění na těsnících plochách. Dalšími obecnými požadavky, jež pro naše použití nejsou vyžadována, ale informativně je dobré je zmínit, jsou mechanická pevnost zařízení, čekací doba před otevřením zařízení a bludné proudy v závěrech zařízení [5].

2.2.3. Zařízení vyzařující elektromagnetickou a ultrazvukovou energii

Obecně ultrazvukový průtokoměr nesmí překročit hodnoty v tabulkách č. 8 a č. 9 uvedených níže [5].

Pro zdroje rádiového kmitočtu (9 kHz až 60GHz):

Prahový výkon W a maximální tepelná indukčnost μ_s nesmí překročit hodnoty v tabulce č.8.

Skupina použití	Maximální prahový výkon [W]	Maximální tepelná indukčnost [μ_s]
Skupina I	6	200
Skupina IIA	6	100
Skupina IIB	3,5	80
Skupina IIC	2	20
Skupina III	6	200

Tabulka č. 10: Limitní parametry pro zdroje rádiového kmitočtu [5]

Pro pulsní radary:

Prahová energie Z_{th} nesmí překročit hodnoty uvedené v tabulce č.9.

Skupina použití	Prahová energie Z_{th} [μs]
Skupina I	1500
Skupina IIA	950
Skupina IIB	250
Skupina IIC	50
Skupina III	1500

Tabulka č. 11.: Limitní parametry pro pulsní radary [5]

Pro ultrazvukové zdroje:

Vzhledem k tomu, že se diplomová práce zabývá návrhem ultrazvukového průtokoměru, je vhodné tomuto bodu věnovat zvýšenou pozornost. Ultrazvuková sonda, která je v našem zařízení použita jako zásadní součást pro měření průtočného množství kapalin, se dá považovat za zdroj ultrazvukové energie. Proto je nutno brát v úvahu výstupní parametry pro ultrazvukové zdroje [5].

Zařízení pro použití ve výbušném prostředí, tedy zařízení úrovně EPL Ma, Mb, Ga, Gb, Gc, Da, Db nebo Dc, nesmí překročit dále uvedené parametry:

Pro plyny a prachy:

- 10 MHz
- pro kontinuální zdroje – úroveň akustické tlaku (SPL) 170 dB [5]

Pro kapaliny:

- 10 MHz
- pro kontinuální zdroje – hustota energie 40 W/cm² [5]

2.2.4. Kovové závěry a kovové části závěrů

Obecně platí, že pro zařízení do výbušného prostředí, musí být dokumentováno přesné složení použitých materiálů kovových částí závěrů [5].

Materiály použité pro konstrukci závěru pro zařízení skupiny II (plyny) nesmí obsahovat:

Pro EPL Ga (zóna 0):

- max 10 % Al + Mg + Ti + Zr
- max 7,5 % Mg + Ti + Zr [5]

Pro EPL Gb (zóna 1):

- max 7,5 % Mg + Ti + Zr [5]

Materiály použité pro konstrukci závěru pro zařízení skupiny III (prachy), nesmí obsahovat:

Pro EPL Da (zóna 20):

- max 7,5 % Mg + Ti + Zr [5]

Pro EPL Db (zóna 21):

- max 7,5 % Mg + Ti + Zr [5]

2.2.5. Nekovové závěry a části závěrů

Obecně platí, že nekovový materiál pro závěr zařízení, tedy nekovový materiál, který ovlivňuje typ ochrany, musí splňovat určité požadavky. V našem případě nebude použit nekovový materiál pro typ závěru (až na případ užití zalévací hmoty) pro typ ochrany zalitím. Nicméně nekovový nátěr zařízení lze rovněž zahrnout do problematiky nekovových částí závěru. V tomto případě musí nátěr splňovat určité požadavky pro skupinu II (plyny) a skupinu III (prachy), zejména požadavky na vyloučení elektrostatického náboje na povrchu nátěru. Tento požadavek lze pro skupinu II (plyny) vyřešit například omezením tloušťky nekovové vrstvy nátěru, který je spojen se zemí svodovým odporem menším než 1 GΩ. V tomto případě tloušťka nekovové vrstvy nátěru nesmí překročit hodnoty v tabulce č.10 [5].

Maximální tloušťka nekovové vrstvy nátěru [mm]			
Úroveň ochrany	Skupina IIA	Skupina IIB	Skupina IIC
EPL Ga (zóna 0)	2	2	0,2
EPL Gb (zóna 1)	2	2	0,2
EPL Gc (zóna 2)	2	2	0,2

Tabulka č. 12: maximální tloušťka vrstvy nekovového nátěru pro skupinu II (plyny) [5]

Zajistit splnění požadavků na vyloučení elektrostatického náboje na povrchu nátěru pro zařízení skupiny III (prachy) lze následujícími způsoby:

- Vybrat takový kovový materiál s průrazným napětím menším než 4kV DC
- Hlídat, aby tloušťka nekovového materiálu byla větší než 8 mm [5]

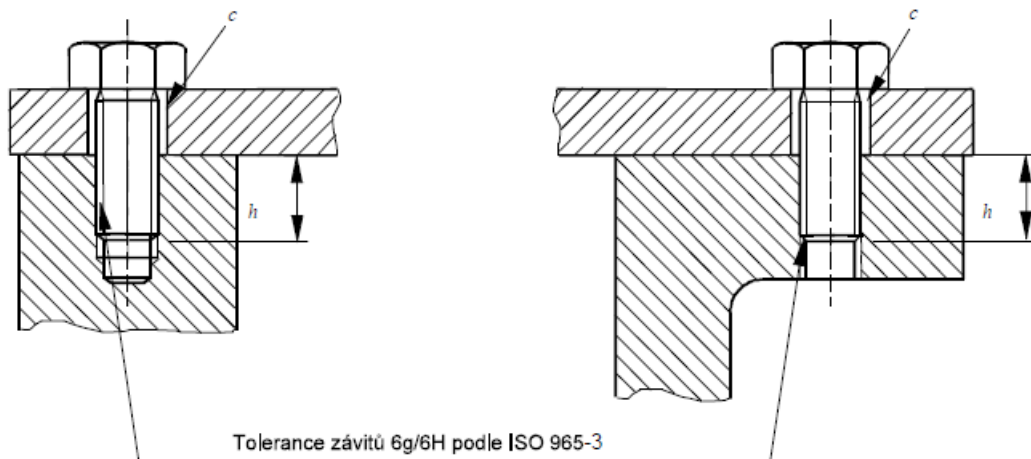
2.2.6. Upevňovací zařízení

Závěr zařízení, který zajišťuje daný typ ochrany nebo zabraňuje v přístupu k elektrickým částem pod napětím, musí být zajištěn tak, aby při pokusu o jeho otevření bylo zapotřebí použití nástroje (klíč, šroubovák, francouzský klíč atd.).

Pro spojování částí zařízení musí být použity normovaná spojení. V našem případě se bude jednat o šroubová spojení [5].

Požadavky na šroubová spojení:

- Metrický závit s hrubým stoupáním (ISO 262)
- Tolerance uložení 6 g/6 H (ISO 965-1)
- Normovaná hlava šroubu (ISO 4026, ISO 4028, ISO 4014, ISO 4017...)
- Otvory musí mít délku závitu h alespoň rovnou hlavnímu průměru závitu d
- Otvor pod hlavou nesmí mít větší vůli c , než odpovídá střední toleranci uložení H13
- Šrouby s vnitřním šestihranem nesmí po utažení vyčnívat ze závitového otvoru [5]



Obrázek č. 6: Schéma uložení šroubového spojení dle požadavků na zařízení dle ATEX [5]

2.2.7. Průchodky a blokovací zařízení

Průchodky použité na ultrazvukovém průtokoměru, musí být montovány tak, aby byly všechny jejich části zajištěny proti otáčení. Průchodky musí odpovídat zkoušce krutem. Blokovací zařízení slouží pro zajištění specifického typu ochrany a musí být navrženo tak, aby se nedalo vyřadit běžně používanými nástroji [5].

2.2.8. Ex součásti

Ex součásti jsou takové součásti, jež jsou montovány na zařízení do prostoru s nebezpečím výbuchu. Tyto součásti sami o sobě musí splňovat požadavky dle ATEX do výbušného prostředí. Při užití ex součástí vně zařízení musí být zkoušeno spojení mezi součásti a zařízením. Spojení musí být v souladu s užitým typem ochrany [5].

2.2.9. Připojovací zařízení a uzemňovací vodiče

Je stanoveno, že pokud bude zařízení připojováno k vnějším elektrickým obvodům, je nutné, aby bylo zařízení vyrobeno s pevně připojeným kabelem. Musí být zajištěno, aby mezi jednotlivými vodiči byly dodrženy požadavky na vzdušné vzdálenosti a vzdálenosti mezi povrchovými cestami dle užitého typu ochrany [5].

Zařízení určené pro použití v prostoru s nebezpečím výbuchu musí mít uvnitř připojovacího prostoru svorku pro připojení uzemňovacího vodiče. Jakmile je zařízení vybaveno vnějším kovovým závěrem, musí mít další vnější uzemňovací svorku určenou pro vzájemné pospojování s ostatními zařízeními [5].

Velikost ochranné uzemňovací svorky je též normována (IEC 60034-1) a musí zajistit účinné připojení alespoň jednoho uzemňovacího vodiče o průřezu dle tabulky č. 11, ne však méně než 4mm^2 . Připojovací zařízení musí být účinně chráněno proti korozi [5].

Průřez fázových vodičů instalace S [mm^2]	Minimální průřez uzemňovacího vodiče S_p [mm^2]
$S < 16$	S
$16 < S < 35$	16
$S > 35$	$0,5 * S$

Tabulka č. 13: Minimální průřezy uzemňovacího vodiče [5]

Připojovací zařízení musí být navrženo tak, aby vodiče nebylo možné snadno vystavit namáhání krutem.

2.2.10. Vstupy do závěru

Termínem vstup do závěru se rozumí jednoduché díry nebo závitové otvory pro připojení externích součástí. Všechny vstupy musí být výrobcem zaznamenány v dokumentaci společně s maximální dovoleným počtem vstupů a se specifikací závitů ve vstupech. V případě ultrazvukového průtokoměru se bude jednat o vstupy v podobě kabelových vývodků.

Kabelové vývodky nesmí ovlivňovat vlastnosti zařízení určené typem ochrany. Kabelové vývodky budou zkoušeny spolu se zařízením jako celek [5].

Specifické požadavky na závitové kabelové vývodky pro skupinu II a III:

- Musí se jednat o Ex součást (pro použití do výbušného prostředí)
- Kabel procházející vývodkou musí být utěsněn
- Vývodka musí zajistit uchycení kabelu, aby nedocházelo k přenesení tahu na vodiče
- Vývodka nesmí obsahovat ostré hrany, které by mohly poškodit kabel
- Vývodky musí být montovány tak, aby je bylo možné odstranit jen za použití nástroje
- Vývodky musí vyhovět zkouškám dle normy ČSN EN 60079
- Pokud je teplota v místě rozvětvení kabelu vyšší než $80\text{ }^\circ\text{C}$ nebo v místě připojení kabelu vyšší než $70\text{ }^\circ\text{C}$, musí být tato teplota vyznačena na vnější straně zařízení [5]

2.2.11. Požadavky na vidlice, zásuvky a konektory

Vidlice, zásuvky a konektory slouží k propojení části elektroniky. V našem případě při návrhu ultrazvukového průtokoměru musíme uvažovat konektory na koncích kabelů ultrazvukových sond a dále vidlice (včetně kolíkových lišt), zásuvky a konektory pro propojení jednotlivých PCB (deska plošného spoje – Printed Circuit Board) mezi sebou.

Vidlice a zásuvky musí být mechanicky nebo elektricky blokovány musí být zajištěno, aby nedošlo k jejich rozpojení. Tohoto požadavku lze dosáhnout například šroubovým spojením nebo užitím částí elektrického propojení se zámkem [5].

2.2.12. Dokumentace a zkoušení

Každý výrobek pro použití ve výbušném prostředí musí mít dokumentaci, která uvádí podrobnosti týkající se bezpečnostních aspektů proti výbuchu. Tyto aspekty musí být ve shodě s výbušnou normou ČSN EN IEC 60079. Dále je nutno podrobit výrobek všem typům nutných zkoušek pro přezkoušení bezpečnostních aspektů rovněž dle téže normy. Každá zkouška musí být prováděna v takové konfiguraci zařízení, jež se považuje za nejméně příznivou [5].

Seznam zkoušek a kontrol dle normy ČSN EN IEC 60079-0, jež musí být splněny:

- Zkoušky ve výbušné zkušební směsi
- Zkoušky závěrů
- Tepelné zkoušky
- Kusové zkoušení
- Odpovědnost výrobce (kontrola dokumentací a certifikátů)
- Kontrola označování
- Kontrola návodů [5]

Většina zkoušek, vypsanych výše, se skládá z vícero měření a každá zkouška obsahuje více částí. Proto je doporučeno spolupracovat s vhodným schvalovacím institutem zabývající se problematikou Ex součástí (výbušných zařízení), již od počátku návrhu. Všechny zkoušky musí korespondovat s výbušnou normou ČSN EN IEC 60079.

Nyní je třeba obecné požadavky na zařízení, pracující ve výbušném prostředí, rozšířit o další řadu specifikací a požadavků podle zvolených typů ochran.

2.3. Ochrana elektroniky průtokoměru pevným závěrem

V tomto bodě bude provedeno podrobnější seznámení s typem ochrany elektroniky pevným závěrem, a budou definovány technické požadavky na tento typ ochrany.

V první řadě je třeba definovat pevný závěr. Pevným závěrem se rozumí závěr, nebo skříňka, v němž jsou umístěny části zařízení (typicky elektronika), které jsou schopné zapálit výbušnou atmosféru. Avšak závěr sám o sobě je schopen vydržet tlak výbuchu a je schopen zabránit přenesení výbuchu mimo pevný závěr do okolního prostoru s výbušnou atmosférou. Nedojde tedy k výbuchu celého prostoru s výbušnou atmosférou plynů či prachů.

Zařízení s typem ochrany určená pro zónu 1 jsou označena písmeny úrovně ochrany *Gb* (dle tabulky č. 7) [6].

2.3.1. Skříň pevného závěru jako samostatná součást

Skříň pevného závěru musí být řádně certifikována výrobcem. Vzhledem k tomu, že pro schválení pevného závěru je nutné splnit všechny typové zkoušky dle požadavků ČSN EN IEC 60079, lze odzkoušet skříň pevného závěru samostatně, aby byl celý proces schvalování usnadněn. Tímto způsobem zaniká potřeba typové zkoušky opakovat [6].

Specifikace požadavků na skříň pevného závěru:

- Splnění požadavků dle ČSN EN IEC 60079
- Geometrický tvar skříně musí být jednoduchý, zkosení podél skříně musí dosahovat maximálně 10 % a průřez skříně musí být válcový, čtvercový nebo pravoúhlý
- Typ ochrany pevným závěrem nesmí být použit pro skříň točivých strojů (motorů)
- Vnitřní prostor skříně musí obsahovat dostatečný počet částí, jež budou sloužit pro uchycení, montáž a demontáž vložených komponent
- Skříň s typem ochrany musí být používána přesně tak jak uvádí výrobce, konstrukce skříně se nesmí měnit, stěny nesmí být navrtány nebo obráběny
- Pevný závěr musí obsahovat clonící přepážku přibližně ve dvou třetinách hlavní osy
- Musí být splněna typová zkouška přetlakem (přibližně 1,5násobek výbuchového tlaku dle ČSN EN IEC 60079-1
- Skříň pevného závěru musí být řádně označena dle ČSN EN IEC 60079-0
- Z vnější strany skříně musí být umožněno připojení elektrických zařízení dle ČSN EN IEC 60079-0 [6]

Seznam omezení, jež musí být uvedeny v certifikátu skříně pevného závěru:

- Počet otvorů, velikost otvorů a jejich umístění nejlépe výkresem
- Nesmí být použity jističe a stykače s olejovou náplní
- Za předpokladu, pokud je rozsah okolních teplot jiný než -20 °C až +40 °C, musí být rozsah okolních teplot uveden
- V závěru, pro zařízení pracující v zóně 1, musí zůstat v jakémkoli libovolném průřezu alespoň 20% volné plochy, jež umožňuje volné proudění vzduchu [6]

2.4. Ochrana elektroniku průtokoměru zalitím

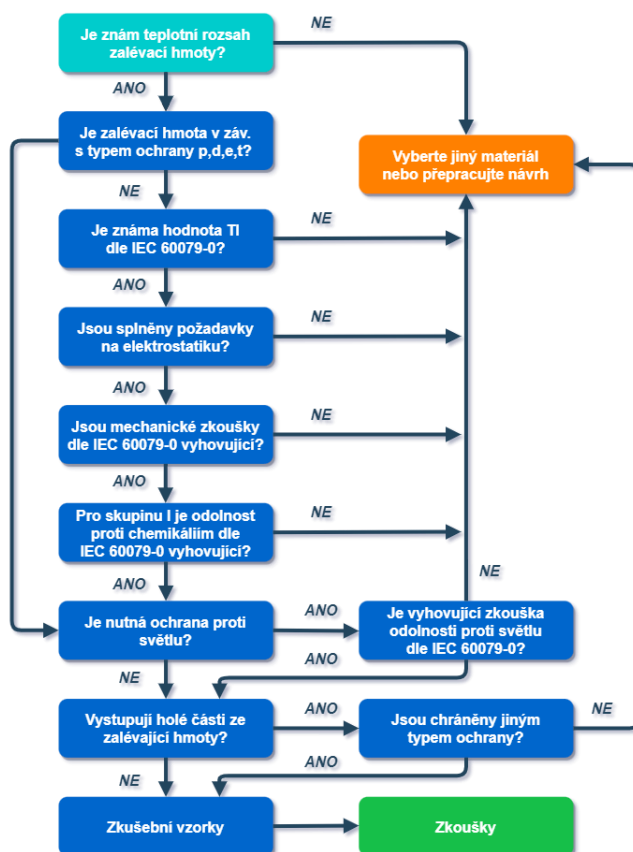
V tomto bodě bude provedeno podrobnější seznámení s typem ochrany elektroniky ultrazvukového průtokoměru zalitím zalévací hmotou a budou definovány technické požadavky na tento typ ochrany. Toto seznámení provedeme kvůli případné kombinaci typu ochrany pevným závěrem a ochrany zalitím zalévací hmotou. Tato kombinace by připadala v úvahu, pokud by vznikl požadavek na použití navrhovaného zařízení ve výbušné atmosféře prachu a tento požadavek nebyl vyřešen jinak.

V první řadě je třeba říci, že zalitím elektroniky zalévací hmotou lze předcházet vznícení výbušné atmosféry, ke kterému by mohlo dojít v důsledku jiskření nebo vysokých teplot. Části elektroniky, jež by byly schopné způsobit vznícení atmosféry, jsou uzavřeny v zalévací hmotě.

Dále bude provedena analýza požadavků tohoto typu ochrany pro použití v zóně 1, respektive v zóně 21, tedy úroveň ochrany Gb, respektive Db [7].

2.4.1. Požadavky na zalévací hmotu

Při uvažování typu ochrany zalitím je nejprve nutné určit správnou zalévací hmotu dle náročnosti našich požadavků. Pro obecný návrh zalévací hmoty lze užít schématického přístupu (obrázek č.6), jako v předchozím případě při určování nebezpečných prostor. V tomto schématu jsou určeny podmínky pro výběr správné zalévací hmoty dle našich požadavků [7].



Obrázek č. 7: Schéma výběru zalévací hmoty [7]

Dle schématu vybereme zalévací hmotu od výrobce. Nejprve zjistíme teplotní rozsah zalévací hmoty. Následně porovnáme teplotní rozsah zalévací hmoty s teplotní třídou zařízení, tedy rozsahem teplot, ve kterých bude ultrazvukový průtokoměr pracovat. Je-li teplotní rozsah zalévací hmoty vyhovující, můžeme začít řešit požadavky na elektrostatiku. Za předpokladu, že je zalévací hmota dostatečně odolná proti průrazu napětí, můžeme předpokládat požadavky na elektrostatiku za splněné. Následně porovnáme mechanickou pevnost zalévací hmoty s našimi požadavky na zařízení. Pokud mechanická pevnost vyhovuje, můžeme přejít k dalšímu kroku. Následující krok platí pouze pro skupinu I, tedy pro zařízení užívaná v dolech. Jelikož neuvažujeme použití ultrazvukového průtokoměru v důlních prostorech, lze tento krok přeskočit a pokračovat dále. Následně zhodnotíme požadavky na ochranu proti světlu, ale pro návrh našeho zařízení tento požadavek neuvažujeme. V posledním kroku je třeba zkontrolovat, zda při zalití elektroniky nedojde k nežádoucím výstupům živých částí elektroniky z oblastí zalití. Pokud i tento krok vyhovuje, můžeme přejít k podrobení testovacích vzorků zkouškami dle normy ČSN EN 60079-18. Pokud dojde k nesplnění požadavků v jakémkoliv předchozím kroku, je nutno upravit konstrukční návrh elektroniky, nebo změnit zalévací hmotu [7].

Při použití zalévací hmoty je nutné v dokumentaci specifikovat vlastnosti zalévací hmoty a uvést zalévací postup včetně opatření proti vzniku dutin [7].

Specifikace zalévací hmoty musí obsahovat následující informace:

- Název a adresa výrobce zalévací hmoty
- Přesné a úplné údaje o použitém materiálu
- Povrchové úpravy zalévací hmoty
- Nutné povrchové úpravy před nanesením zalévací hmoty (zajištění přilnavosti)
- Dielektrická pevnost dle IEC 60243-1 při maximální provozní teplotě součásti
- Teplotní rozsah zalévací hmoty
- Barva zalévací hmoty, pokud je specifikace závislá na barvě
- Tepelná vodivost zalévací hmoty [7]

2.4.2. Konstrukční požadavky

Zalévací hmota bude použita pro zalití elektronických součástek elektroniky ultrazvukového průtokoměru. Bude sloužit jako ochranné opatření proti vznícení nebezpečných výbušných atmosfér plynů a prachů. K tomu, aby zalévací hmota mohla fungovat dle očekávání, je třeba zajistit několik konstrukčních požadavků.

Elektronika musí být uložena ve skříni elektroniky. Zalévací hmota musí být v každém případě přilnavá ke stěně skříně.

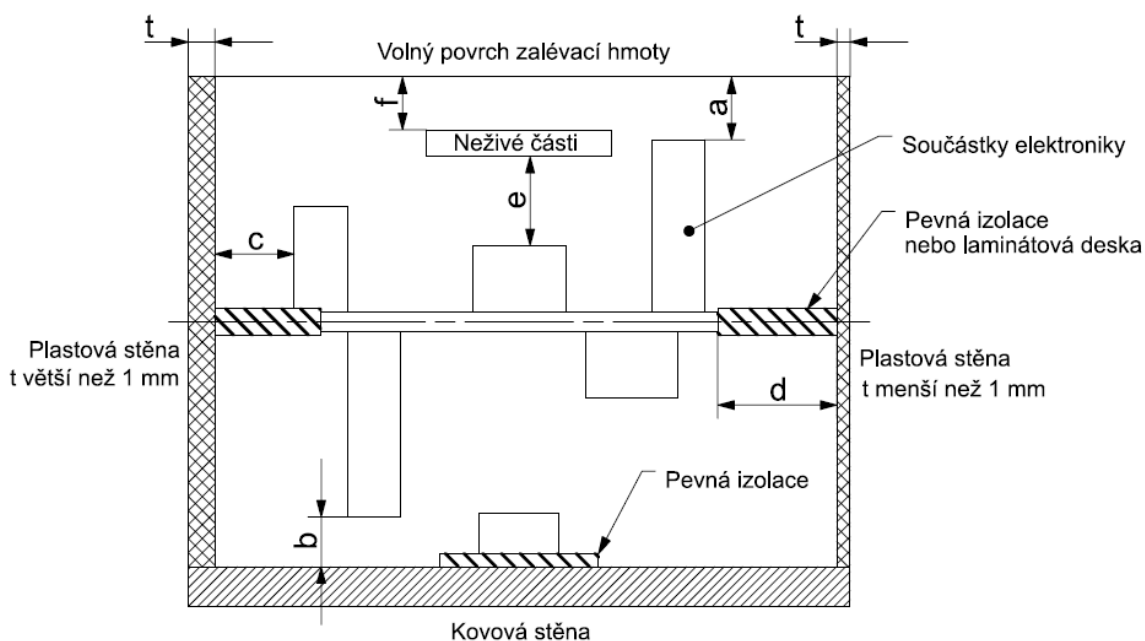
Aby se předešlo průrazu napětí v zalévací hmotě, musí být zajištěny určité vzdálenosti objektů v zalévací hmotě. Vzdálenosti objektů přes zalévací hmotu popisuje tabulka č.12 [7].

Napájecí napětí U (efektivní nebo stejnosměrné) [V]	Minimální vzdálenost [mm]		
	Ma	Mb	Mc
<32	0,5	0,5	0,2
<63	0,5	0,5	0,3
<400	1	1	0,6

Tabulka č. 14: Minimální vzdálenosti objektů v zalévací hmotě v závislosti na napájecím napětí [7]

Z tabulky č. 12 vyplývá, že pro úroveň ochrany Mb, tedy úroveň ochrany odpovídají použití zařízení v zóně 1, respektive zóně 21, musí být minimální vzdálenosti veškerých objektů dle napájecího napětí 0,5 a 1 mm.

Dalšími požadavky na vzdálenosti v zalévací hmotě upravuje obrázek č. 7 na kterém jsou znázorněny případy, jež mohou nastat při zalití skříňky s elektronikou zalévací hmotou [7].



Obrázek č. 8: Schéma znázorňující minimální vzdálenosti objektů v zalévací hmotě [7]

- a – vzdálenost od volného povrchu zalévací hmoty k součástkám
- b – vzdálenost od součástek ke kovovému závěru
- c – vzdálenost součástek od plastového závěru s tloušťkou stěny $t > 1$ mm
- d – vzdálenost součástek od plastového závěru s tloušťkou stěny $t < 1$ mm
- e – vzdálenost od neživé části součástek v zalévací hmotě
- f – vzdálenost neživé části od volného povrchu zalévací hmoty

Pro úroveň ochrany Mb platí že:

- Vzdálenost a , tedy vzdálenost součástek zalitých v zalévací hmotě musí být od volného povrchu alespoň 1 mm (pro volný povrch menší než 2cm^2) a alespoň 3 mm (pro volný povrch větší než 2cm^2)
- Vzdálenost d , tedy vzdálenost součástek od plastového závěru o tloušťce stěny $t < 1$ mm, musí být nejméně 1 mm
- Vzdálenost c , tedy vzdálenost součástek od plastového závěru o tloušťce stěny $t > 1$ mm, musí být nejméně 1 mm za předpokladu že stěna není přilnavá. Pokud stěna plastového závěru je přilnavá, platí vztah pro vzdálenost $c = (0,5 - t)$
- Pro kovový závěr platí, že vzdálenost b musí být nejméně 1 mm
- Pro neživé části platí, že vzdálenost e musí být nejméně 1 mm a zároveň platí, že $f + e \geq a$ [7]

Další konstrukční požadavky na součásti v zalévací hmotě:

- Pro desky plošných spojů (PCB), z nichž je tvořena většina elektroniky ultrazvukového průtokoměru, musí splňovat několik rozměrových požadavků. Tyto požadavky se týkají výhradně elektrických vlastností plošných spojů (PCB), jimiž se tato diplomová práce nezabývá. Rozměrové požadavky na desky plošných spojů (PCB) musí odpovídat normě ČSN EN 60079.
- Mechanické spínací části musí být chráněny před zalévací hmotou krytem, aby nedošlo k zalití jejich pohyblivých částí, což by znemožnilo správnou funkci
- Kabely, jež jsou připojeny z okolí, musí být chráněny před poškozením ohýbáním a musí na nich být provedena tahová zkouška
- Pokud ze zalévací hmoty vystupují elektrické živé části, musí být chráněny jiným typem ochrany dle ČSN EN 60079 [7]

Pokud jsou splněny všechny konstrukční požadavky, je nutno ještě přistoupit k typovým zkouškám. Pro správné použití typu ochrany zalévací hmotou musí být provedeny:

- Zkoušky zalévací hmoty:
 - Zkouška nasákavosti ve vodě
 - Zkouška dielektrické pevnosti [7]
- Zkoušky na zařízení:
 - Zkouška maximální teploty
 - Zkouška tepelné odolnosti
 - Zkouška dielektrické pevnosti
 - Tahová zkouška kabelu
 - Tlaková zkouška pro zařízení skupiny I a II [7]

Průběhy zkoušky jsou rovněž popsány v normě ČSN EN 60079 [7].

3. Vypracování vybrané varianty řešení včetně výpočtového hodnocení

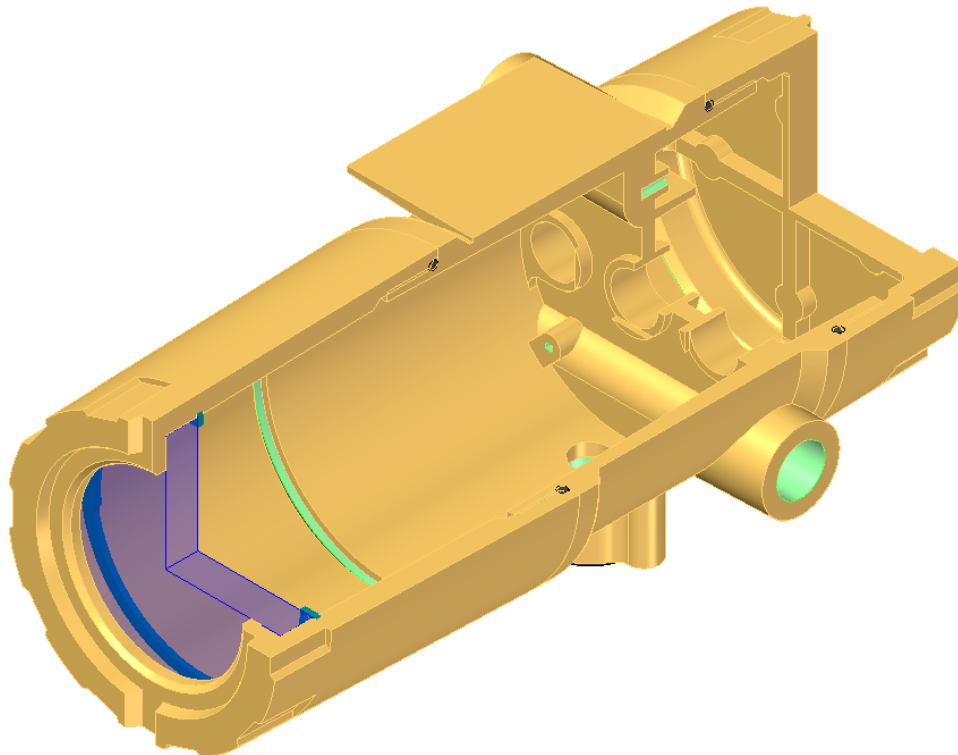
V této kapitole bude provedeno konstrukční řešení ultrazvukového průtokoměru. Je nutno brát zřetel na veškeré konstrukční požadavky dané normami pro použití zařízení ve výbušném prostředí, respektive v zóně 1 a zóně 21.

3.1. Konstrukční návrh elektroniky ultrazvukového průtokoměru

Konstrukční požadavky, upravující použití zařízení ve výbušném prostředí, z velké části ovlivňují konstrukční návrh elektroniky ultrazvukového průtokoměru. Pro konstrukční návrh elektroniky byl po důkladném zvážení vybrán typ ochrany pevným závěrem. Konstrukční návrh bude proveden v souladu s normou upravující tento typ ochrany, tedy normou ČSN EN 60079-1.

3.1.1. Návrh skříně elektroniky

Po prozkoumání trhu a porovnání dostupných variant bylo rozhodnuto o použití skříně elektroniky do výbušného prostředí XD-D120Hwin od výrobce Limatherm. Tato skříň pro elektroniku je certifikována výrobcem pro použití ve výbušném prostředí dle ČSN EN 60079. Jedná se o typ ochrany pevným závěrem, což umožňuje použití v plynné výbušné atmosféře. Zároveň se jedná o typ ochrany proti vznícení prachu krytem, což umožňuje použití ve výbušné atmosféře prachu. Skříň je certifikována pro použití v zóně 1, respektive zóně 21.



Obrázek č. 9: Schéma skříně elektroniky XD-D120Hwin od Limatherm [8]

Skříň elektroniky se skládá ze 3 hlavních částí. Skříň je vyrobena tlakovým litím z hliníkové slitiny.

- Tělo skříně
- Přední víko
- Zadní víko

Tělo skříně tvoří dvě komory pro elektroniku oddělené přepážkou. Průchod mezi komorami je zajištěn pomocí 3 průchozích děr. V přední komoře se na přepážce nachází 4 díry na roztečné kružnici, které jsou určené pro mechanické zajištění elektroniky. Ve spodní části přední komory se nachází závitová díra pro přivedení kabelových svazků ze spodní části ultrazvukového průtokoměru. V této závitové díře musí být umístěna průchodka, jejíž použití odpovídá výbušné normě. Tato závitová díra postupně přechází z před komory skříně elektroniky do spojovacího komínku. Na spodní části tohoto komínku se nachází díry pro připojení další mechanických částí zařízení. Tato plocha spojovacího komínku musí být řádně těsněna dle výbušné normy. V zadní komoře se na přepážce nachází 4 díry pro připojení elektroniky či elektrických komponent. Do zadní komory vedou 4 závitové díry skrz tělo skříně do okolního prostoru. Tyto díry musí být řádně zaslepeny dle výbušné normy, nebo zde musí být použity průchodky či vývodky pro kabelové svazky dle výbušné normy. V zadní komoře jsou rovněž umístěny zemnicí svorky se zemnicími šrouby.

Zadní víko slouží k zajištění zadní komory skříně elektroniky. Připojovací závit zadního víka je konstruován v souladu s výbušnou normou a musí zajistit nepřenesení případného výbuchu ze skříně elektroniky do okolí. Na výběhu připojovacího je umístěno těsnění v podobě O kroužku. Tento kroužek zajišťuje ochranu proti vodě a prachu IP 68. Závitový spoj zadního víka se zadní komorou je zajištěn stavěcím šroubem s vnitřním šestihranem.

Přední víko slouží k zajištění přední komory skříně elektroniky. Připojovací závit předního víka je konstruován v souladu s výbušnou normou a musí zajistit nepřenesení případného výbuchu ze skříně elektroniky do okolí. Na výběhu připojovacího je umístěno těsnění v podobě O kroužku. Tento kroužek zajišťuje ochranu proti vodě a prachu IP 68. Závitový spoj předního víka s přední komorou je zajištěn stavěcím šroubem s vnitřním šestihranem. V předním víku je umístěn skleněný průhled. Tento skleněný průhled je zajištěn silikonem a rozpěrným kroužkem v drážce předního víka.

Na vnějším plášti skříně elektroniky je umístěna zemnicí svorka se zemnicím šroubem. Na vnějším plášti jsou rovněž umístěny 4 nálitky se závitovými dírami pro mechanické zajištění skříně elektroniky. Na horní straně skříně elektroniky se nachází rovinná plocha pro umístění štítku dle normy ČSN EN 60079. Vnější plášť je lakován chemicky odolným lakem. Provozní teplota skříně elektroniky ve výbušném prostředí dle normy odpovídá -40 °C až $+60\text{ °C}$. Pracovní tlak je stanoven na maximálně na 50 bar (5 MPa).

3.1.2. Návrh desek plošných spojů (PCB) elektroniky

Jak již bylo zmíněno, ve skříni bude uložena elektronika ultrazvukového průtokoměru do výbušného prostředí. Tato elektronika se bude rozdělat do obou komor skříně. V zadní komoře skříně elektroniky bude umístěna zdrojová část elektroniky kvůli nižším zástavbovým požadavkům a kvůli přímému spojení mezi zadní komorou a vnějším okolím průtokoměru skrz 4 díry určené pro vývody či průchodky. Jednou z těchto vývodů bude přiveden kabel pro napájení elektroniky. V zadní komoře budou rovněž umístěny přípojovací svorkovnice. V přední komoře skříně elektroniky se bude rozprostírat hlavní část elektroniky. Přední část elektroniky bude primárně obsahovat výpočetní a měřicí část elektroniky.

Návrh plošných spojů je ovlivněn několika parametry:

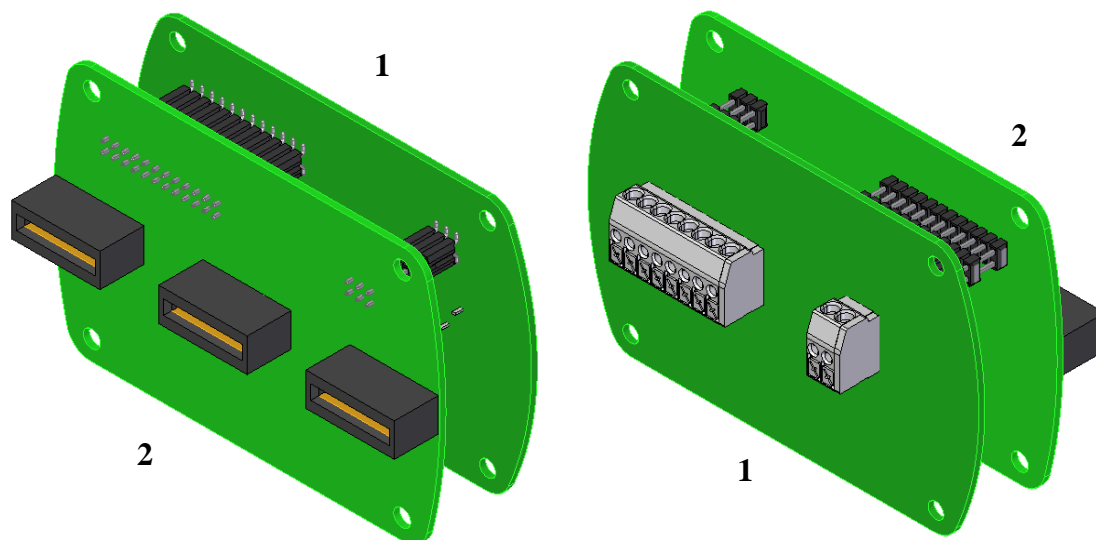
- Zástavbový prostor skřínky
- Velikost elektrických součástek
- Rozsah elektronických obvodů
- Požadované plnění skřínky dle výbušné normy ČSN EN 60079
- Dostatečná tuhost elektroniky (odolnost proti vibracím v provozu)

Požadované plnění skříně se definuje tak, že v jakémkoliv libovolném řezu skříně elektroniky nesmí být zaplněno více než určité procento prostoru. Pro výbušné prostředí popsané zónou 1, respektive 21 platí, že v libovolném řezu elektronikou nesmí být zaplněno více než 80 % prostoru. Z uvedených omezení je patrné, že desky plošných spojů musí být dostatečně velké, aby na jejich plochu bylo možné umístit všechny elektrické okruhy elektrické okruhy, zároveň se musí vejít do skříně elektroniky a zároveň nesmí přesahovat plnění 80 % v libovolném řezu elektronikou.

Výroba PCB je realizována kooperací, návrh elektrických obvodů je tvořen pomocí návrháře plošných spojů Altium vývojovým oddělením firmy. V této diplomové práci bude rozebírán mechanický a konstrukční návrh elektroniky.

3.1.3. Návrh zdrojové části elektroniky

Tato část elektroniky bude umístěna v zadní komoře skříně elektroniky.



Obrázek č. 10: Návrh zdrojové části elektroniky

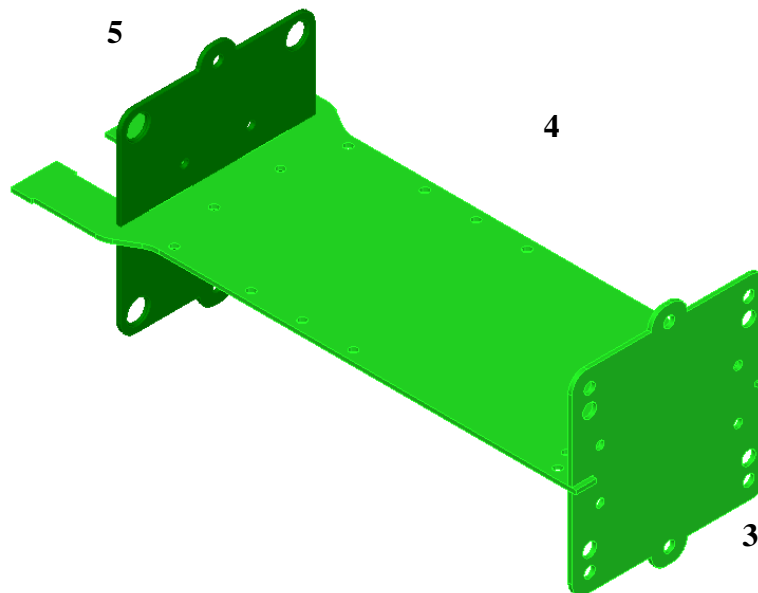
Zdrojová část elektroniky se skládá ze dvou PCB – desky pro napájení SSN (2) a desky pro svorkovnice SSS (1). Zástavbový prostor zadní komory skříně elektroniky je pro rozměrové požadavky elektrických obvodů dostačující, proto byly navrženy téměř obdélníkové desky. Svorkovnicová deska se kvůli přístupnosti nachází blíže zadnímu víku skříně elektroniky. Do svorkovnic osazených na tomto PCB budou připojeny všechny vnější vstupy. Další v pořadí je umístěna deska zdroje. Desky jsou vzájemně elektricky propojené pomocí kolíkových a dutinkových lišt. Pro bezpečnost jsou voleny SMD (pájeno na povrch plošného spoje) dutinkové lišty a jsou umístěny na desce svorkovnice z důvodu ochrany živých částí konektoru. Dle normy ČSN EN 60079 musí být elektrické spojení zajištěno ještě mechanicky. Z toho důvodu jsou k sobě desky přišroubovány za pomoci kovových distančních sloupků. Tyto sloupky následně upevňují zdrojovou část elektroniky do zadní komory skříně elektroniky. Tyto mechanické prvky též tvoří zemnění zdrojové části elektroniky do skříně elektroniky. Spojení zdrojové části elektroniky s výpočetní a měřicí částí elektroniky je uskutečněno pomocí tří konektorů umístěných v osách děr skříně elektroniky jež spojují přední a zadní komoru skříně.

Nakupované spojovací součástky:

- 4 x Distanční sloupek M4x20 ETTINGER
- 4 x Šroub M4x6 dle ISO 7045
- 2 x Dutinkové lišty BL 16 SMD 067 Fischer elektronik
- 2 x Kolíkové lišty SL 06 097 Fischer elektronik
- 1 x Svorkovnice 805-108 WAGO
- 1 x Svorkovnice 805-102 WAGO
- 3 x konektor 341-012-520-201 EDAC

3.1.4. Návrh základní části měřící a výpočetní části elektroniky

Tato část elektroniky bude umístěna v přední komoře skříně elektroniky.



Obrázek č. 11: Návrh základní části měřící a výpočetní části elektroniky

Základní část elektroniky přední komory se skládá ze tří PCB. Desky výstupů SSV (4), desky konektoru SSK (5) a desky sub panelu SSB (3). Bylo pokračováno v trendu návrhu obdélníkových desek. Hlavní nosná konstrukce je navržena ve tvaru písmene H. Jelikož elektrické obvody měřící a výpočetní části elektroniky jsou značně rozsáhlé, rozměry všech PCB této části byly voleny co možná největší tak, jak zástavbový prostor skříně elektroniky XD-D120Hwin dovoluje. Hlavní deska SSV je na zadní straně navržena jako vidlice. Tento design má za úkol propojit celou přední část elektroniky se zdrojovou částí elektroniky skrz 3 díry v přepážce skříně elektroniky. Elektrické spojení je zde realizováno pomocí konektorů 341-012-520-201 EDAC, do nichž se zasouvají vyleptané měděné plošky na vidlicích desky SSV. Hlavní deska SSV slouží dále pro distribuci elektrické energie pro zbylé PCB. Desky SSV a SSB jsou elektricky spojeny pomocí kolíkových a průchozích dutinkových lišt. Deska SSV je vertikálně mechanicky zajištěna na obou stranách podpěrnými zámky v SSB a SSK. Horizontálně je celá hlavní konstrukce přední části elektroniky zajištěna distančními sloupky, které uchycují přední část elektroniky do skříně elektroniky. Deska SSK slouží pouze jako podpěra pro zvýšení tuhosti celé konstrukce. Deska SSB dále bude zajišťovat elektrické spojení do měřících a zobrazovacích částí elektroniky. Základní konstrukce přední elektroniky je navržena symetricky podle všech os. K tomu, aby se předešlo otočení elektroniky, slouží zámky na PCB a vyosení vidlic na desce SSV.

Nakupované spojovací součástky:

- 1 x Dutinkové lišty HLE-110-02-F-DV Samtec
- 1 x Kolíkové lišty SL 19 0822 Fischer elektronik
- 4 x Distanční sloupek M4x100 ETTINGER + 4 x Distanční sloupek M4x75 ETTINGER
- 4 x Šroub M4x8 dle ISO 7045

3.1.5. Návrh nastavbové části měřící a výpočetní elektroniky

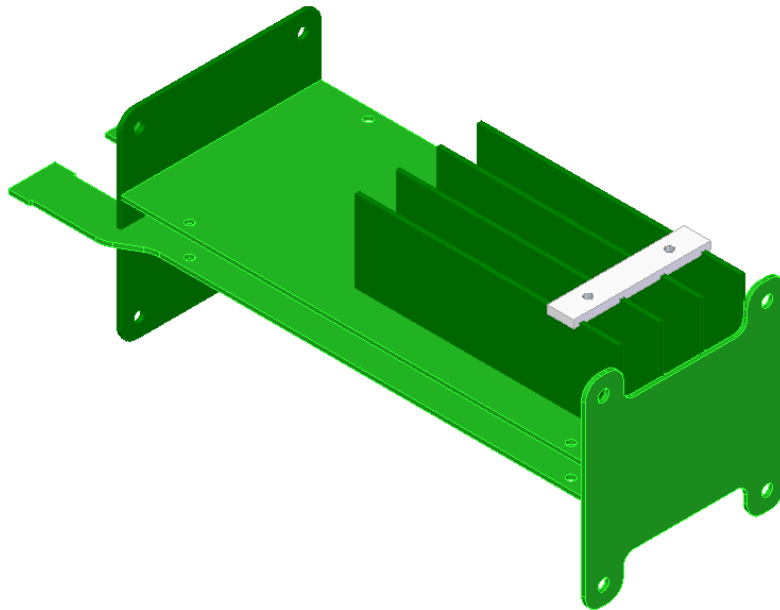
Nyní se musí základní část elektroniky přední komory rozšířit o modulární měřící a výpočetní část.

Požadavky na nastavbovou část elektroniky:

- Zajistit správné měření a vyhodnocení dat
- Modularita (vyměnitelnost) pro různé počty měřících sond (2-8)
- Velikost kvůli omezenému zástavbovému prostoru a plnění skříně

Dle požadavků byly vytvořeny 3 varianty nastavbové elektroniky.

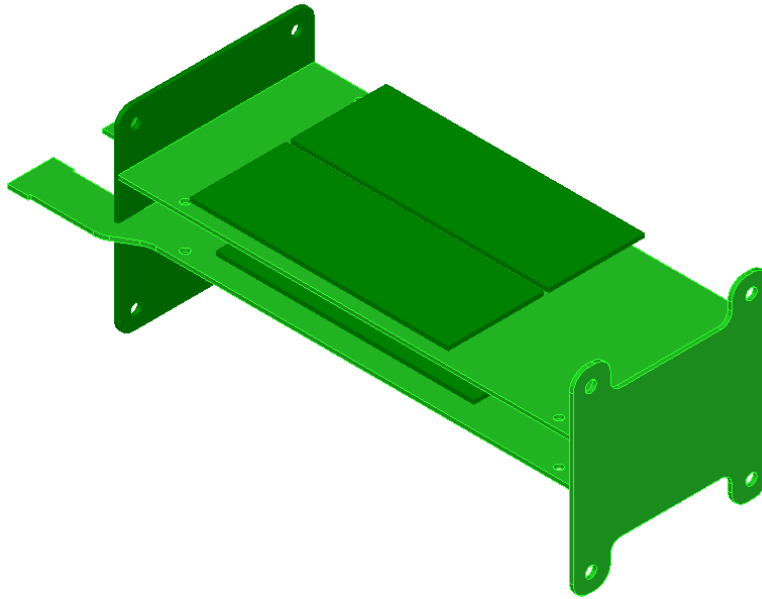
3.1.5.1. Varianta A



Obrázek č. 12: Návrh varianty A nastavbové části elektroniky

Varianta A se skládá z desky měření SSM a ze 4 desek měřících modulů SSMM. Deska SSM byla navržena v souladu s deskou výstupů SSV a je upevněna na 4 distančních sloupkách nad deskou výstupů SSV. Tato deska představuje hlavní měřící obvod elektroniky. Deska je spojena s deskou SSB pomocí kolíkových a dutinkových lišt. Na desku SSM jsou kolmo uloženy desky měřících modulů. Jsou elektricky spojeny pomocí kolíkových a dutinkových lišt s deskou SSM. Tyto desky jsou z horní strany mechanicky zajištěny plastovou záložkou připevněnou pomocí distančních sloupků a matek. Modularita je v této variantě řešena počtem desek měřících modulů, z nichž každá provádí měření na jednom páru sond. Toto řešení do značné míry omezuje rozměry desek měřících modulů. Zároveň je nevhodné nevyužít prostor pod deskou SSV.

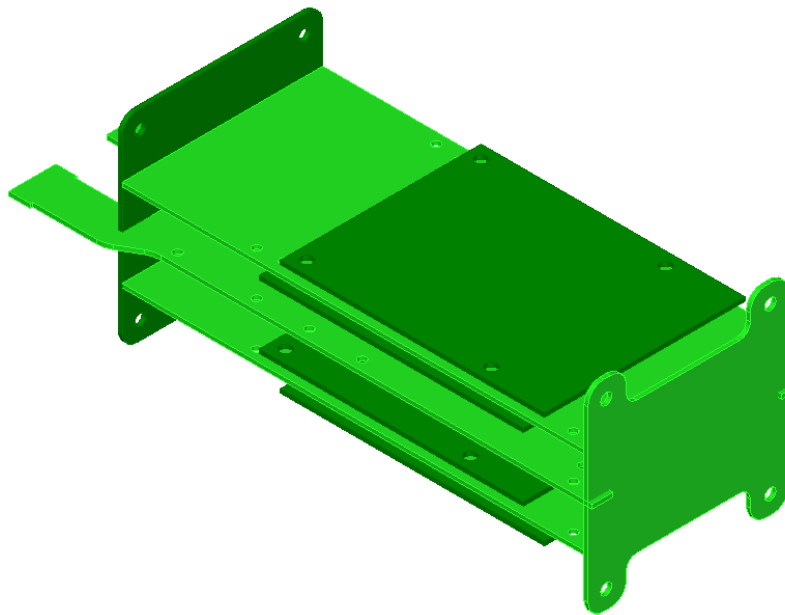
3.1.5.2. Varianta B



Obrázek č. 13: Návrh varianty B nástavbové části elektroniky

Varianta B se skládá z desky měření SSM a ze 4 desek měřících modulů SSMM. Deska SSM byla navržena v souladu s deskou výstupů SSV a je upevněna na 4 distančních sloupcích nad deskou výstupů SSV. Tato deska představuje hlavní měřící obvod elektroniky. Deska je spojena s deskou SSB pomocí kolíkových a dutinkových lišt. Nad a pod deskou SSM jsou zrcadlově uloženy desky měřících modulů. Vždy jsou umístěny dvě desky SSMM vedle sebe. Jsou elektricky spojeny pomocí kolíkových a dutinkových lišt s deskou SSM. Tento koncept by vyžadoval mechanické zajištění každé desky měřících modulů zvlášť pomocí distančních sloupců. Modularita je v této variantě řešena počtem desek měřících modulů, z nichž každá provádí měření na jednom páru sond. Toto řešení do značné míry omezuje rozměry desek měřících modulů. Zároveň je nevhodné nevyužít prostor pod deskou SSV.

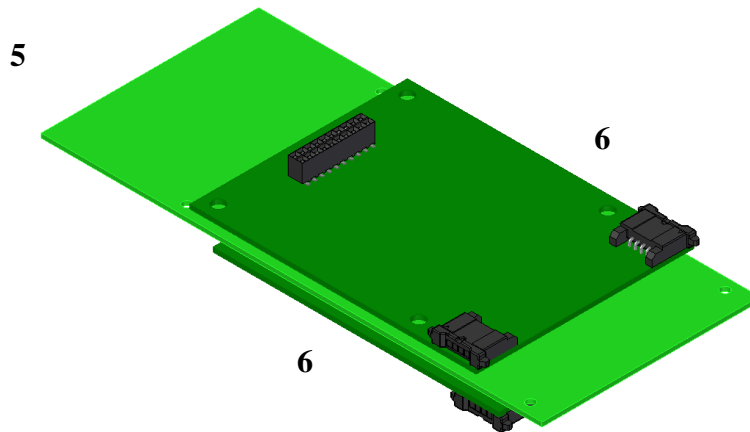
3.1.5.3. Varianta C



Obrázek č. 14: Návrh varianty C nástavbové části elektroniky

Varianta C svým konstrukčním řešením vychází z varianty B. Nicméně bylo nutné zvětšit rozměry desek plošných spojů kvůli prostorové náročnosti elektrických obvodů. Proto bylo rozhodnuto o zdvojení desky měření SSM. Ve variantě C se nachází desky SSM z obou stran hlavní desky SSV. Desky jsou orientovány zrcadlově. Stejným způsobem jsou umístěny desky měřících modulů kolem desek měření. Počet desek měřících modulů byl zachován, ale byly rozšířeny téměř na dvojnásobek. Desky měření jsou elektricky propojeny přes desku sub panelu. Desky měřících modulů jsou elektricky spojeny s deskami měření. Každá deska měření v tomto případě vyhodnocuje měření pouze ze svých dvou desek SSMM. Modularita předchozích variant zůstala zachována a byl vhodně využit celý zástavbový prostor přední komory skříně elektroniky.

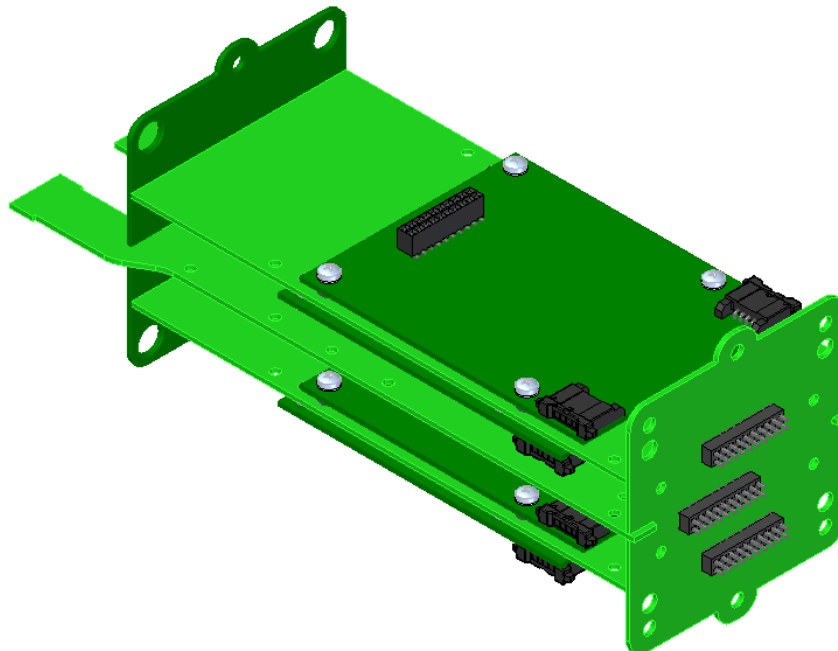
Pro další vývoj bylo rozhodnuto o využití varianty C, jelikož toto uspořádání řeší problémy předchozích variant. Toto řešení jako jediné plní požadavky na dostatečný prostor pro rozsáhlé elektrické obvody měřících a výpočtových částí.



Obrázek č. 15: Konstrukce měřící podsestavy varianty C

Na desky měřících modulů jsou připojeny sondy, které měří fyzikální veličiny jako je rychlost a objem protékajícího média průtokoměrem. Sondy jsou přivedeny do skříně elektroniky pomocí kabelů a elektrické spojení je realizováno pomocí konektoru DF51-4S-2C Hirose. Elektrické spojení je realizováno pomocí kolíkových lišt. Mechanické spojení desek měřících modulů s deskou měření je realizováno pomocí lisovacích distančních sloupků o délce 3 mm. Tímto způsobem je zajištěn potřebný prostor kolem elektroniky, díky čemuž jsou dodrženy potřebné vzdálenosti od stěn skříně elektroniky dle výbušné normy ČSN EN 60079. Nakupované spojovací součástky:

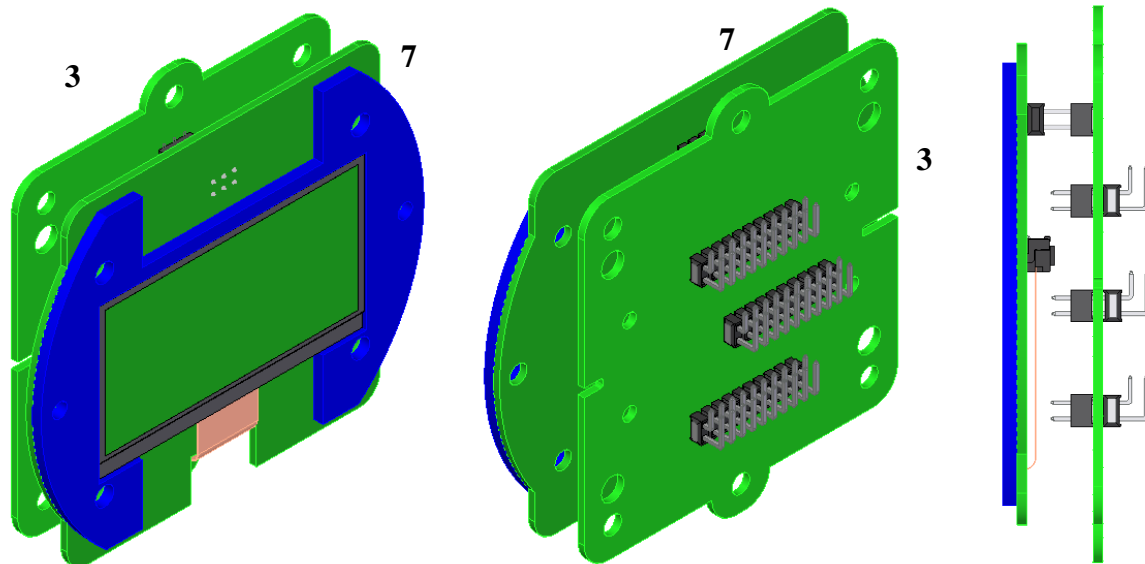
- 2 x Dutinkové lišty HLE-110-02-F-DV Samtec
- 2 x Kolíkové lišty SL 19 0822 Fischer elektronik
- 8 x Distanční sloupek KFSE M3x3 HEYMAN + 8 x Šroub M4x8 dle ISO 7045
- 8 x Konektor DF51-4S-2C Hirose + 8 x DF51A-4P-2DS Hirose



Obrázek č. 16: Osazení měřících podsestav do základní části elektroniky

Měřicí podsestavy jsou zrcadlově uloženy kolem základní desky výstupů. Elektrické spojení je realizováno přes desku sub panelu pomocí průchozích kolíkových lišt. Pro zabránění otočení podsestav jsou kolíkové lišty posunuté mimo osu symetrie. Na přední stranu desky sub panelu je umístěna deska displeje SSD.

3.1.5.4. Zobrazovací část elektroniky



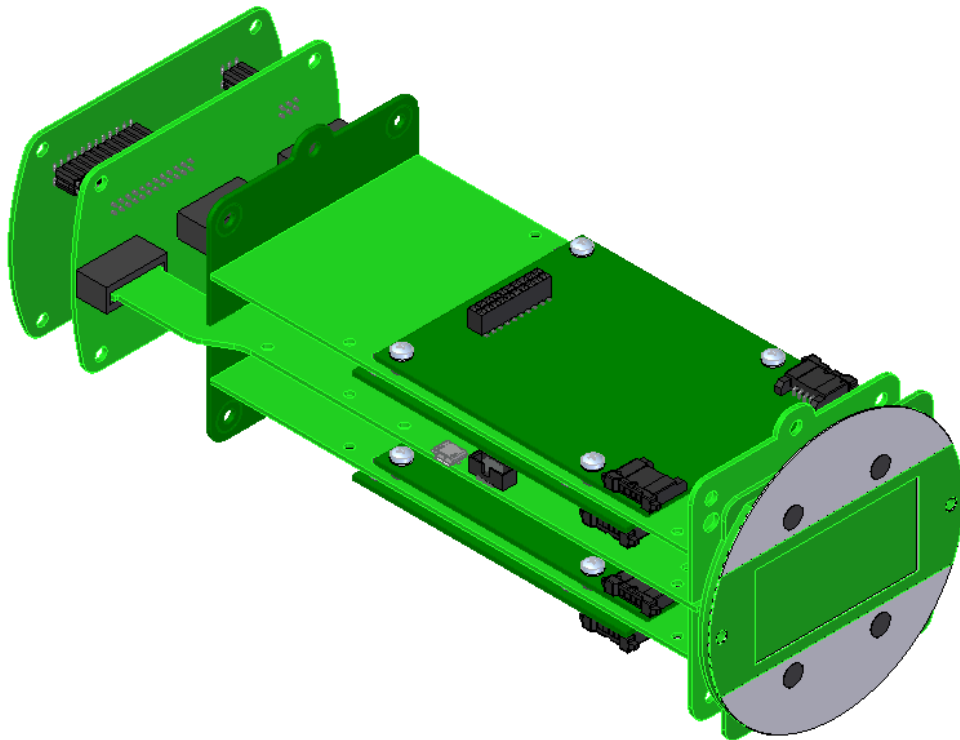
Obrázek č. 17: Konstrukční návrh zobrazovací části elektroniky

Zobrazovací část elektroniky tvoří deska displeje SSD (7) s displejem OLED SPI IIC 2,7. Bylo pokračováno v klasickém trendu návrhu obdélníkových PCB. Tato sestava je mechanicky a elektricky spojena s deskou sub panelu. Elektrické spojení je zajištěno pomocí kolíkových lišt. Mechanické spojení je tvořeno čtyřmi distančními sloupky snaptop SSC-4MM-12 HEYMAN. Sloupky jsou na desku osazeny lisováním. Tyto zacvakávací distanční sloupky slouží k rychlejší montáži a demontáži desky displeje SSD. Na desce displeje je přímo montován rámeček pro držení displeje ve správné poloze. Displej s rámečkem a deskou SSD jsou přišroubovány k sobě pomocí lisovacích matic a šroubů. Vytvoření této sestavy slouží pro rychlejší a kompaktnější montáž.

Nakupované spojovací součástky:

- 1 x Dutinkové lišta HLE-103-02-L-DV Samtec
- 1 x Kolíkové lišta SL 21 112 Fischer elektronik
- 2 x Dutinkové lišta HLE-110-02-F-DV Samtec
- 2 x Kolíkové lišta SL 19 0822 Fischer elektronik
- 2 x Distanční sloupek KFSE M3x3 HEYMAN + 2 x Šroub M3x8 dle ISO 2009
- 1 x Konektor FFC/FPC One-Touch MOLEX
- 4 x Distanční sloupek snaptop SSC-4MM-12 HEYMAN

3.1.6. Kompletace elektroniky a montáž



Obrázek č. 18: Sestava bloku elektroniky(zjednodužit)

Sestava celého bloku elektroniky je znázorněna na obrázku č.17. Do bloku přední elektroniky byly přidány mechanické držáky pro dodatečné upevnění PCB SSV. Rovněž do sestavy byly přidány dlouhé distanční sloupky spojující desku SSK s deskou SSB. Tyto sloupky spojují celou elektroniku přední komory. Jejich přidáním bylo dosaženo zvýšení tuhosti elektroniky a zlepšení montáže celého bloku elektroniky do nakupované skříně.

Montáž elektroniky do zadní komory skříně:

- Elektronika zadní komory se do skříně uchytlí pomocí 4 distančních sloupků

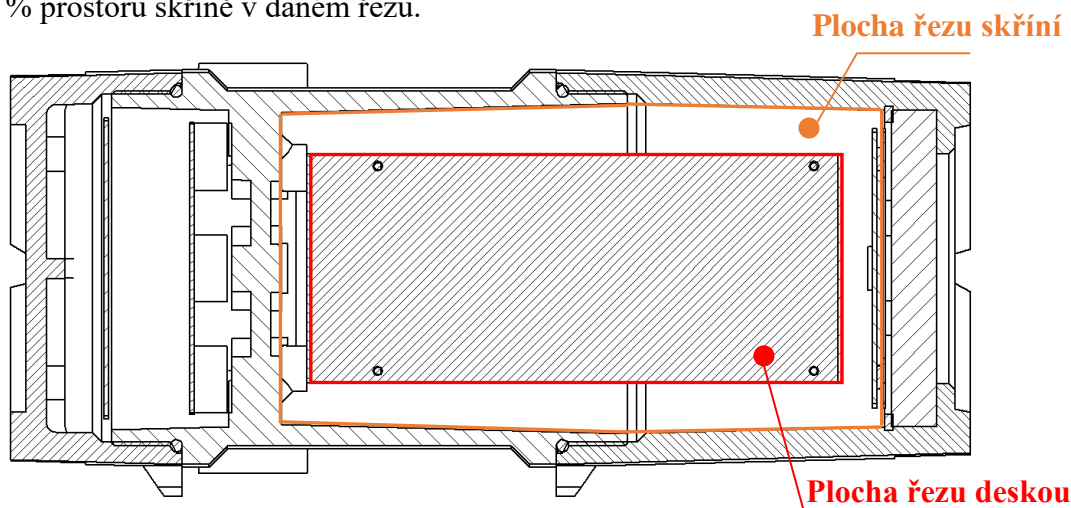
Montáž elektroniky do přední komory skříně:

- Do skříně elektroniky se uchytlí 4 distanční sloupky na podložkách
- Celý blok elektroniky přední komory je navržen tak, aby se dal vložit do skříně jako jedna součást (bez displeje). Deska SSK má kolem děr pro distanční sloupky větší vůle, přes které je možné blok elektroniky nasunout na distanční sloupky
- Elektronika při dorazu dosedne na podložky pod distančními sloupky
- Následně se nasadí deska displeje

3.1.7. Plnění skříně elektroniky

Dle požadavků normy ČSN EN 60079 pro daný typ ochrany elektroniky pro použití ve výbušném prostředí musí být splněno plnění skříně. Plnění skříně bude splněno pro použití v zóně 1, pokud žádný z pomyslných řezů skříně elektroniky v jakémkoli libovolném směru nepřesáhne 80 % zaplnění.

Pro případ naší elektroniky vyplývá, že kritická místa budou řezy v podélných směrech plošných spojů. Jinak řečeno, plocha podélného řezu jednotlivými PCB nesmí zaplnit více než 80 % prostoru skříně v daném řezu.



Obrázek č. 19: Schéma řezu skříně elektroniky a střednicí desky SSM

Podrobněji je plnění nakresleno na obrázku č 18, kde je plnění tedy rovno ploše podélného řezu deskou lomeno plochou řezu skříně.

$$pl_{SSM} = \frac{S_{SSM}}{S_{skříně}} \cdot 100 [\%] \quad (13)$$

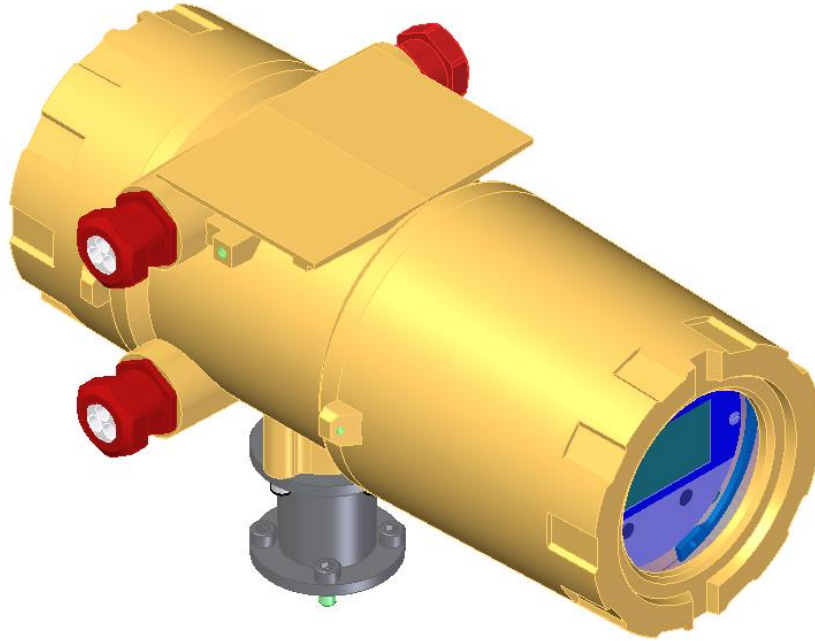
Plnění v řezech plošných spojů udává tabulka č.15. Výpočet plnění je proveden podle rovnice 7.

Plocha řezu skříně	Plocha řezu deskou	Plnění	popis
[mm ²]	[mm ²]	[%]	ŘEZY svislé
8824,7	5223,0	59,2 %	PCB-SSD
8824,7	4446,0	50,4 %	PCB-SSB
8494,9	5683,0	66,9 %	PCB-SSK
8824,7	5100,0	57,8 %	PCB-SSN
9160,9	5332,0	58,2 %	PCB-SSS
[mm ²]	[mm ²]	[%]	ŘEZY horizontální
20703,0	14110,0	68,2 %	PCB-SSM
21105,0	15290	72,4 %	PCB-SSV
20703,0	7600	36,7 %	PCB-SSMM

Tabulka č. 15: Plnění pro veškeré plošné spoje elektroniky

3.1.8. Usazení skříně elektroniky

Jakmile je navržena elektronika celého systému, musí se ještě vyřešit napojení elektroniky ke zbytku zařízení. V souladu s výbušnou normou ČSN EN 60079 musí být zajištěn správný postup uzavření otvorů, jež spojují elektroniku s okolím.



Obrázek č. 20: Napojení skříně elektroniky ke zbytku průtokoměru

Pevný závěr elektroniky musí zajistit nepřenesení případného výbuchu z elektroniky do okolí. Z toho vyplývá, že výstupní díry musí být zaslepeny a utěsněny. Pro tyto účely bylo rozhodnuto o použití nevýbušných průchodek a vývodek. Tyto vývodky musí být schváleny pro použití ve výbušném prostředí a certifikovány pro správný typ ochrany. Ve spodní komínku elektroniky se musí zajistit přenesení elektrického napětí do skříně elektroniky, a proto zde bude použita nevýbušná vývodka M24K8 od společnosti Generi s.r.o. Pro připojení externích zařízení a napájecího kabelu budou použity nevýbušné průchodky M25x1.5 od společnosti AGRO AG.

Ze spodní části je ke skříně elektroniky připojen komínek. Tento komínek primárně slouží ke spojení elektroniky se zbytkem zařízení. Jedná se rotační součást s vnitřní dírou. Ve vnitřním prostoru komínku musí být dostatek místa pro vedení kabelů a jejich připojení do svorkovnic. Na dosedacích plochách komínku musí být umístěna plochá těsnění. Tento design mechanického propojení je zamýšlen tak, aby díky tomuto komínku bylo možné snadno a rychle uchytnout celou skříň elektroniky ke zbytku zařízení. K tomuto řešení bylo přikročeno z hlediska jednoduché a levné výroby. Komínek pro spojení dosedne plochou na protikus a je zajištěn šrouby. Detail komínku je znázorněn na výkrese v příloze č.11. Komínek bude vyráběn pomocí soustruhu a vrtačky.

Nakupované spojovací součástky:

- 1 x nevýbušná vývodka Typ K M24K8 Generi s.r.o. [9]
- 4 x nevýbušná průchodka EX1126.25.150 AGRO AG [10]

3.2. Návrh mechanické a měřicí části zařízení

V této kapitole bude blíže popsána mechanická a měřicí část zařízení. Jelikož se průtokoměr musí pro správné fungování napojit na potrubí, je důležité zajistit kompatibilitu zařízení s potrubím dle normy ČSN EN 13480.

3.2.1. Specifikace požadavků

Nejprve je třeba stanovit požadavky na měřicí senzor průtokoměru. Průtokoměr je navrhován pro kusovou modulární výrobu, čímž budou ovlivněny parametry na měřicí senzor. Modulární parametry senzoru:

- Počet měřících paprsků
- Druh připojovacích přírub
- Pracovní tlak
- Jmenovitý průměr hlavní trubkové části
- Pracovní prostředí
- Druh měřeného média
- Teplotní rozsah zařízení

Hlavními požadavky na měřicí senzor jsou:

- Dostatečná tuhost (přesnost měření)
- Dostatečná pevnost
- Svařitelnost konstrukce
- Korozivzdornost
- Soulad s požadavky normy ČSN EN 13480 pro kovová potrubí
- Ekonomičnost a modularita konstrukce
- Snadná montáž zařízení

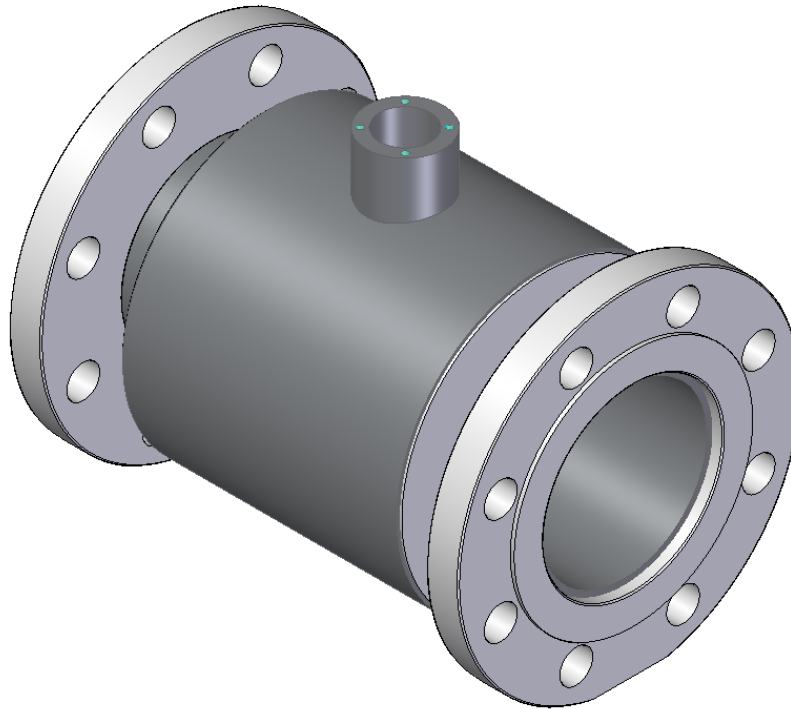
Modulární parametry jsou většinou při kusové výrobě určeny třetí stranou. V našem případě budou parametry určeny následovně:

Zvolené parametry	
Počet měřících paprsků	1-3
Druh připojovacích přírub	ČSN EN 1092-1
Pracovní tlak	1,6 MPa
Jmenovitý průměr hlavní trubkové části	XXX mm
Pracovní prostředí	Výbušné (zóna 1)
Typ ochrany	Ex e a Ex i
Druh měřeného média	voda
Teplotní rozsah média	5 °C až 60 °C
Teplotní rozsah okolí	5 °C až 55 °C

Tabulka č. 16: Volba parametrů pro měřicí senzor

3.2.2. Konstrukční návrh měřícího senzoru průtokoměru

V této kapitole budou popsány jednotlivé konstrukční části měřícího senzoru průtokoměru. Vnější pohled na tento konstrukční celek znázorňuje obrázek č. 21. Měřící senzor je znázorněn zakrytován kvůli utajení konstrukce vnitřních částí.



Obrázek č. 21: Návrh mechanické a měřící části průtokoměru

Měřící senzor průtokoměru se skládá z následujících komponent – příruby, ochranný plášť, boční čela pláště, připojovací komínek, měřící sondy, upevňovací částí měřících sond a hlavní trubka.

Jako připojovací a zemnicí část měřícího senzoru slouží příruby, které jsou normované. Jsou použity příruby v souladu se vstupními požadavky – vnějším rozměrem hlavní trubkové části a tlak 1,6 MPa. Tyto příruby jsou k trubkové části upevněny pomocí svarů. Příruby musí odpovídat normě ČSN EN 13480. Detail příruby je znázorněn na výkrese v příloze č. 7.

Boční čela pláště vymezují místo pro ochranný plášť, chrání měřící sondy z boku a zvyšují tuhost konstrukce měřícího senzoru. Boční čela pláště jsou upevněna svarovými spoji k hlavní trubkové části měřícího senzoru. Tato čela je vhodné kvůli jednoduchosti a ekonomičnosti výroby vypalovat či vyřezávat z plechu. Kvůli požadavku na korozivzdornost je jako materiál pro výrobu volena nerezová ocel 1.4301 dle EN 10088-2. Detail bočního čela pláště je znázorněn na výkrese v příloze č. 4.

Ochranný plášť chrání měřící sondy z vrchní části. Ochranný plášť je upevněn pomocí svarových spojů k bočním čelům pláště. Dále plášť z vrchní strany nese druhou část komínku. Plášť bude vyroben skružením z plechu kvůli jednoduchosti a ekonomičnosti výroby. Jako materiál byla volena nerezová ocel 1.4301 dle EN 10088-2. Detail ochranného pláště je znázorněn na výkrese v příloze č.10.

Komínek primárně slouží ke spojení měřícího senzoru se zbytkem zařízení. Jedná se rotační součást s vnitřní dírou. Ve vnitřním prostoru komínku musí být dostatek místa pro vedení kabelů a jejich připojení do svorkovnic. Komínek je svarovým spojem upevněn na ochranný plášť měřícího senzoru. Horní dosedací plocha komínku musí být uzpůsobena ke správnému těsnění. Komínky jsou spojeny čtyřmi šrouby. Komínek je vyroben z nerezové oceli 1.4301 dle EN 10088-2. Komínek lze ekonomicky a jednoduše vyrobit na soustruhu. Detail komínku je znázorněn na výkrese v příloze č.13.

Hlavní trubková část měřícího senzoru slouží pro vedení měřeného média. Průměr trubky je volen dle vstupních požadavků. Tloušťka stěny trubky byla navrhována podle normalizovaného výpočtu dle normy ČSN EN 13480 pro vstupní požadavek tlaku 1,6 MPa. Trubka musí být vyrobena ze svařitelné oceli. Kvůli požadavku na korozivzdornost byla jako materiál volena ocel 1.4301 dle EN 10088-2. Detail hlavní trubkové části je znázorněn na výkrese v příloze č.1.

Sondy měřícího senzoru slouží k měření rychlosti průtoku. Vždy jsou proti sobě umístěny dvě sondy. Měření průtoku je realizováno metodou transit time. Sondy jsou umístěny a zatěsněny v upevňovacích součástích. Pro správné měření sond musí být zajištěna minimální vzdálenost mezi sondami. Aby sondy neovlivňovaly měření, nesmí jejich konstrukce zasahovat do prostoru proudění. Sondy jsou navrhovány dle interního výzkumu a v této diplomové práci jejich detailní konstrukce nebude popsána. Detail umístění sond je znázorněn na výkrese v příloze č.6.

Upevňovací část měřící sondy slouží k zafixování polohy sondy. Tyto části musí odpovídat vstupním požadavkům. Budou vyráběny z nerezové oceli 1.4301 dle EN 10088-2. Tyto části jsou navrhovány podle interního výzkumu firmy, a proto nebudou popsány. Při jejich návrhu a výrobě je kladen důraz na jednoduchost a ekonomičnost. Pro správné měření, musí být zachována souosost protilehlých párů upevňovacích částí měřících sond. Detail upevňovacích částí měřících sond je znázorněn na výkrese v příloze č. 2 a č. 3.

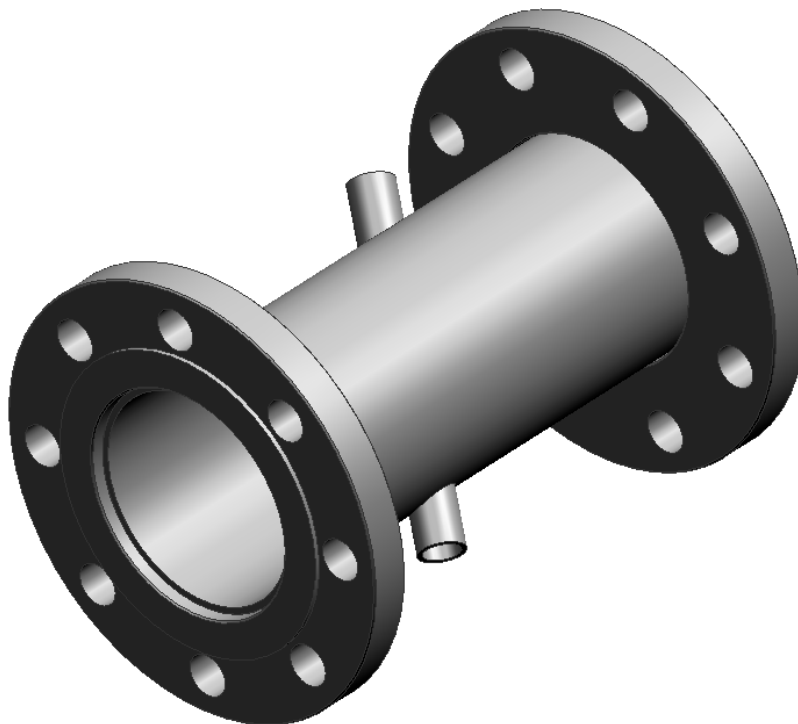
3.3. Kontrolní výpočet mechanické a měřicí části zařízení

Po dokončení návrhu mechanické a měřicí části průtokoměru je třeba provést pevnostní a tuhostní kontrolu. Výpočet bude proveden pomocí metody konečných prvků (FEM). Kontrolní výpočet byl proveden v programu NX siemens.

Okrajové podmínky modelu:

- Zařízení je namontováno na potrubí přes příruby
- Provozní tlak v potrubní je roven dle normované řady 1,6 MPa
- Zařízení je zjednodušeno z důvodu utajení vnitřních částí zařízení

3.3.1. Zjednodušení modelu pro FEM



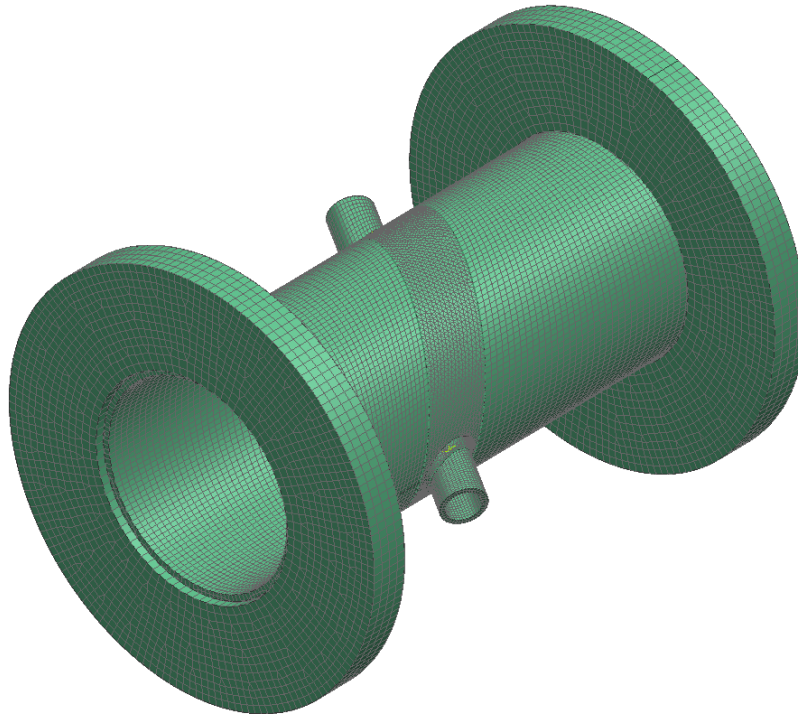
Obrázek č. 22: Zjednodušený model pro FEM výpočet

Pro účely výpočtu pomocí metody konečných prvků byla měřicí část zařízení zjednodušena následujícím způsobem:

- Měřicí sondy nejsou započítány do výpočtu
- Upevňovací části měřících sond byly zjednodušeny
- Počet měřících sond byl minimalizován
- Ochranný kryt zařízení není uvažován
- Těsnící plochy a zkosení přírub byly odstraněny

3.3.2. Zasiťování modelu pro výpočet FEM

Síť byla tvořena s ohledem na výpočetní výkon a čas výpočtu. Ukázkou sítě lze vidět na obrázku č. 22. Z předchozího interního výzkumu firmy bylo určeno nejslabší místo této konstrukce. Jedná se o svary kolem upevňovacích částí měřících sond. Z toho důvodu byly v těchto místech svary namodelovány a zasiťovány zjemněnou tetrahedrovou sítí. Primárně byla pro zasiťování volena prostorová tažená síť. Z důvodu kulových ploch kolem děr pro upevňovací části měřících sond byla síť na trubce nařezána. V dané oblasti kolem děr byla použita zjemněná prostorová tetrahedrová síť.



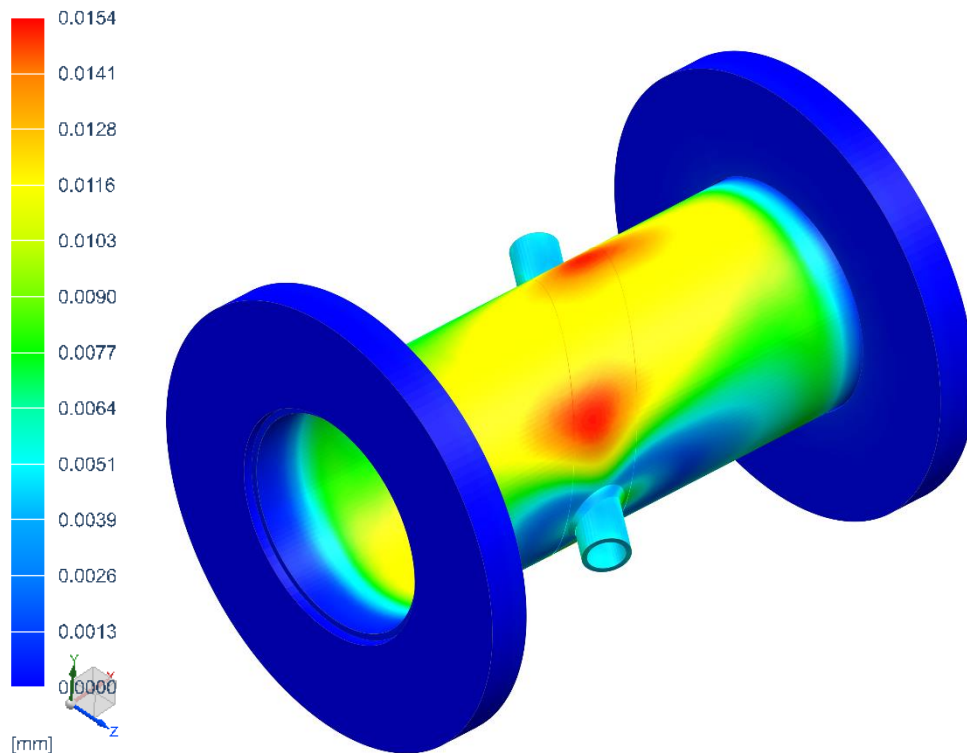
Obrázek č. 23: Zasiťovaný model pro FEM výpočet

Před zasiťováním byly nejprve namodelovány svary kolem upevňovacích částí měřících sond. Následně byla hlavní trubka nařezána kolem měřících sond na 3 části. Trubka byla následně sešita k sobě (Mesh Mating) z důvodu návaznosti sítě v uzlových bodech. Stejný postup byl aplikován na svary a jejich spojovací části. Příruby byly k modelu připevněny pomocí lepení ploch (Surface to Surface Gluing). Následně byla prostřední část trubky spolu se svary zasiťována prostorovou tetrahedrovou sítí (3D Tetrahedral). Zbýlé součásti byly zasiťovány pomocí prostorové tažené sítě (3D Swept Mesh).

Následně byl model uložen za příruby pomocí pevné vazby a zatížen odpovídajícím tlakem 1,6 MPa na vnitřní plochu hlavní trubky. Výpočet byl spuštěn.

3.3.3. Analýza výsledků kontrolního výpočtu deformace pomocí FEM

Výpočet byl dokončen. Výsledky celkové deformace zařízení lze vidět na obrázku č. 23. Výsledky odpovídají očekávání. Největší deformace dosahuje trubka na vrchní a spodní straně. Tato největší deformace je rovna 0,015 mm. V kritické oblasti kolem svaru pro připojovací části sond je deformace rovna 0,01 mm. Tyto deformace způsobí odchylku od správného měření průtoku. Příruby zatížením nebyly téměř ovlivněny.

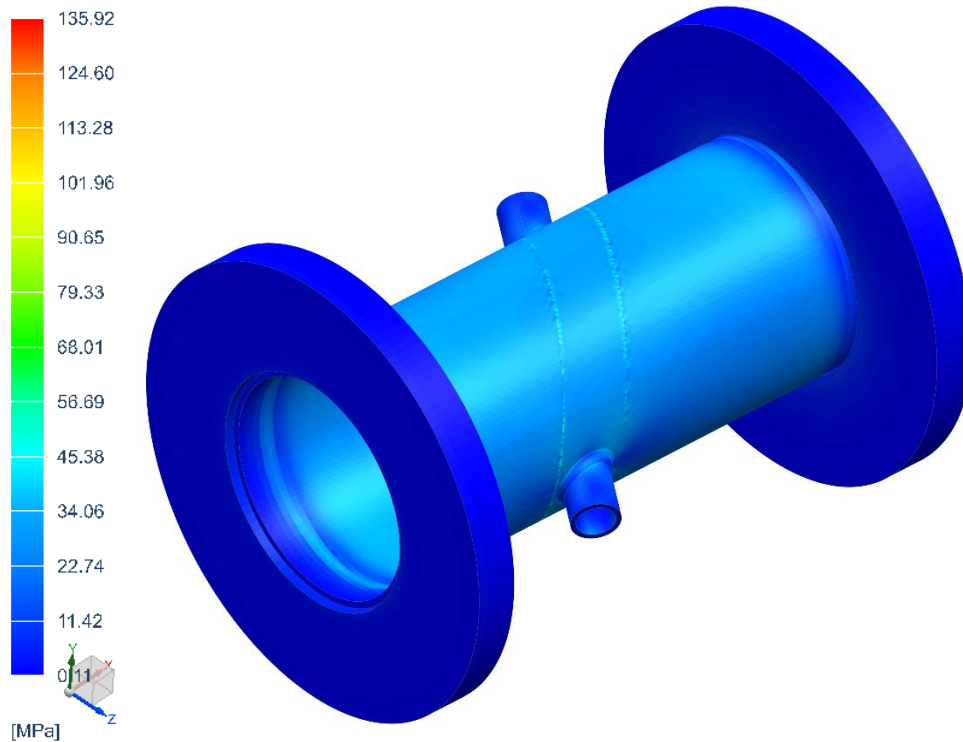


Obrázek č. 24: Výsledky celkové deformace měřící části zařízení

Celková deformace odpovídá očekáváním. Deformace rovněž odpovídá požadavkům. Kontrolní výpočet měřící části zařízení týkající se celkové deformace vyhovuje.

3.3.4. Analýza výsledků kontrolního výpočtu napětí pomocí FEM

Výpočet byl dokončen. Výsledky celkového napětí zařízení lze vidět na obrázku č. 24. Výsledky odpovídají očekávání. V kritické oblasti kolem svaru pro připojovací částí sond z vnitřní strany trubky je napětí rovno 50 MPa, na svaru z vnější strany návarků je napětí rovno 16 MPa.



Obrázek č. 25: Výsledky celkového napěťového namáhání měřící části zařízení

Celkové napětí odpovídá očekáváním. Napětí rovněž odpovídá požadavkům. Kontrolní výpočet měřící části zařízení týkající se celkového napětí vyhovuje. Největší vnitřní namáhání se stále pohybuje pod mezí kluzu materiálu.

3.4. Kompletace ultrazvukového průtokoměru

Render konstrukčního návrhu lze vidět na obrázku č. 26. Skříň elektroniky byla připojena k měřicímu senzoru. Tyto dvě části jsou snadno oddělitelné pomocí rozděleného komínku.



Obrázek č. 26: Render konstrukčního návrhu ultrazvukového průtokoměru

4. Zdůvodnění a zhodnocení navrženého technického řešení

Tato diplomová práce obsahuje na začátku několik teoretických kapitol, které slouží k seznámení čtenáře s problematikou měření pomocí ultrazvuku a k seznámení s používáním zařízení ve výbušných prostředích plynů, prachů a par. V těchto kapitolách byly specifikovány nebezpečné prostory podle normy ČSN EN IEC 60079. Na základě těchto specifikací bylo provedeno rozdělení nebezpečných prostor do zón. Byl stanoven požadavek na použití ultrazvukového průtokoměru v zóně 1 pro plyny a v zóně 21 pro prachy. Na základě tohoto požadavku byly blíže popsány typy ochrany zařízení, jež těmto zónám odpovídají. Ze seznamu typů ochrany byly pro bližší zkoumání vybrány 3 typy – ochrana pevným závěrem, ochrana zalitím zalévací hmotou a ochrana zajištěním jiskrové bezpečnosti. V dalších kapitolách byl proveden rozbor konstrukčních požadavků pro zařízení do výbušného prostředí. Tyto požadavky byly rozšířeny o požadavky jednotlivých typů ochrany. V rozhodovacím procesu byl pro návrh ultrazvukového průtokoměru vybrán typ ochrany pevným závěrem. Tato možnost byla vybrána z důvodu nejlepších výsledků ve stanovených parametrech. Tyto parametry byly technická proveditelnost, servisovatelnost, jednoduchost, ekonomičnost a rozebíratelnost.

Druhá polovina této diplomové práce se zabývá konstrukčním návrhem ultrazvukového průtokoměru pro použití ve výbušném prostředí. Jako první byla navrhována elektronika průtokoměru. Aby byl splněn typ ochrany zařízení, byla vybrána skříň elektroniky XD-D120Hwin od společnosti Limatherm, jež odpovídá požadavkům normy ČSN EN IEC 60079. Do této skříně byla navržena elektronika ultrazvukového průtokoměru. Do zadní části skříně byla navržena napájecí část elektroniky. Jelikož se jedná o jednoduchý design, byl navržen pouze jeden koncepční návrh. Do přední části skříně byla navržena měřicí a vyhodnocovací část elektroniky. Pro tuto část byly vypracovány 3 koncepční návrhy. V rozhodovacím procesu byla pro návrh měřicí a vyhodnocovací části elektroniky vybrána koncepční varianta C. Tato varianta byla vybrána z důvodu největší plochy. Větší plocha umožňuje snazší vývoj a výrobu elektrických obvodů na deskách plošných spojů elektroniky. Konstrukční návrh byl navržen dle varianty C. Tento design byl následně optimalizován pro snazší montáž elektroniky. Jako další byla navrhována mechanická část ultrazvukového průtokoměru. Primární úkol této části průtokoměru je nést protékající médium, zajistit připojení do potrubních systémů a zajistit správnou polohu měřících částí průtokoměru. Tato část průtokoměru byla konstruována v souladu s normou ČSN EN 13480. Mechanická část průtokoměru se skládá z přírub, ochranného pláště, bočních čel pláště, připojovacích komínků, měřících sond, upevňovacích částí měřících sond a hlavní trubky. Konstrukční detaily tohoto svařence jsou zobrazeny na výkresech v přílohách č.1 - č.13. Z důvodu utajení informací jsou v diplomové práci vloženy pouze výkresy normovaných součástí.

V poslední části diplomové práce byl proveden pevnostní a tuhostní výpočet svařence. Tento výpočet byl proveden pomocí metody konečných prvků. Pro vnitřní zatížení tlakem 1,6MPa byly vypočítány maximální hodnoty deformací a napětí. Maximální deformace je rovna 0,015 mm. Maximální napětí je rovno 50MPa. Tyto hodnoty odpovídají očekáváním a nebudou významně ovlivňovat přesnost měření ultrazvukového průtokoměru do výbušného prostředí.

Reference:

[1] – Interní dokumenty firmy

[2] – JENČÍK J, VOLF J: *Technická měření*, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2000, ISBN 80-01-02138-6.

[3] – ČSN EN IEC 60079-10-1. *Výbušné atmosféry – Určování nebezpečných prostorů-Výbušné plynné atmosféry*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.

[4] – ČSN EN IEC 60079-10-2. *Výbušné atmosféry – Určování nebezpečných prostorů-Výbušné atmosféry s hořlavým prachem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.

[5] – ČSN EN IEC 60079-0. *Výbušné atmosféry – Zařízení – Obecné požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.

[6] – ČSN EN IEC 60079-1. *Výbušné atmosféry – Ochrana zařízení pevným závěrem „d“*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.

[7] – ČSN EN IEC 60079-18. *Výbušné atmosféry – Zařízení chráněné zalitím zalévací hmotou „m“*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.

Použité internetové zdroje:

[8] - XD-D120Hwin. Limathem.com. [on-line, cit. dne: 21. 5.2022] Dostupné na: <https://www.limatherm.com/product/62/xd-d120hwin>

[9] - M. x. Závítové průchodky. Generi.cz. [on-line, cit. dne: 21. 5.2022] Dostupné na: <https://www.generi.cz/mx-p153>

[10] - AGRO cable glands Ex Compact nickel-plated brass flameproof enclosure Ex d IIC and increased safety Ex e II. Agro.ch. [on-line, cit. dne: 21. 5.2022] Dostupné na: https://www.agro.ch/en_CH/products/industrial-products/cable-glands/ex-cable-glands/885/agro-cable-glands-ex-compact-nickel-plated-brass-flameproof-enclosure-ex-d-iic-and-increased-safety-ex-e-ii?number=EX1126.25.150&thread=M25x1.5&diameter=