

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Ověření technologie svařování heterogenního svarového spoje

## Welding Technology Verification Heterogenous Welded Joint

Student: Bc. Radek Byrtus  
Vedoucí diplomové práce: Ing. Vladislav Ochodek

Ostrava 2014

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radek Byrtus**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: **Ověření technologie svařování heterogenního svarového spoje**  
**Welding Technology Verification Heterogeneous Welded Joint**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte charakteristiku funkce zpětné klapky L10.
2. Proveďte studii vlastností použitých materiálů a technologií.
3. Navrhněte a realizujte experimentální program ověření vlastností heterogenního svarového spoje.
4. Navrhněte a ověřte technologický postup svařování v provozních podmínkách.
5. Proveďte diskusi dosažených výsledků a navrhněte finální WPS.

Seznam doporučené odborné literatury:

HRIVŇÁK, I. *Teoria zvaritelnosti kovov a zliatin*. Veda 1989.  
ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.  
KOU, S. *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons, 1987.

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


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladislav Ochodek**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



  
Ing. Petr Mohyla, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 15. 5. 2014



.....  
Radek Byrtus

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užití své dílo - diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákony o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledky její obhajoby.

V Ostravě: 15. 5. 2014



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Radek Byrtus

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Písečná 28, Jablunkov 739 91

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Vladislavu Ochodkovi za odborné vedení mé práce.

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

BYRTUS, R. *Ověření technologie svařování heterogenního svarového spoje: diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2014, 54 stran. Vedoucí práce: Ochodek, V.

Tato diplomová práce se zabývá řešením heterogenního svarového spoje, který vznikne při instalaci zpětné klapky L10 DN150 PN40 do potrubní trasy technologické páry. Tento požadavek vznikl při zpracování projektové dokumentace ve společnosti Třinecká projekce, a.s. Cílem této práce je zpracovat technologicko-konstrukční řešení instalace zpětné klapky do potrubní trasy a dle dosažených výsledků vytvořit předběžnou specifikaci postupu svařování pWPS. V první části diplomové práce jsem provedl popis dispozičního řešení umístění zpětné klapky a popis její funkce. Zároveň jsem specifikoval základní materiály. V experimentální části diplomové práce jsem podrobně rozebral a analyzoval možné varianty řešení technologičnosti konstrukce instalace zpětné klapky a dle zvolené varianty jsem provedl rozbor technologického postupu svařování. Ve finální části diplomové práce jsem sestavil z dosažených výsledků předběžné specifikace postupu svařování pWPS.

## **ANNOTATION OF DISSERTATION THESIS**

BYRTUS, R. *Welding Technology Verification Heterogenous Welded Joint: Dissertation Thesis*. Ostrava : VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2014, 54 p. Thesis head: Ochodek, V.

This Dissertation Thesis is concerned with Heterogenous Welded Joint solution, which comes into being when installing a retrograde flap L10 DN150 PN40 into the pipeline route of the technological steam. This requirement became during preparation of a Project Documentation in the Planning and Designing Třinec joint-stock company. The aim of this Dissertation Thesis is to elaborate a technological and constructional resolution of installing a retrograde flap into the pipeline route and afterwards to make a preliminary specification of pWPS welding advancement, according to achieved results. In the first part of Dissertation Thesis I carried out a description of the layout solution of retrograde flap placing and a description of its function. I also specified basic materials. In the experimental part of Dissertation Thesis I examined in detail and analysed possible technological and constructional solving variants of installing a retrograde flap and according to a chosen variant I carried out an analysis of a technological welding advancement. In the final part of Dissertation Thesis from achieved results I drew up preliminary specifications of pWPS welding advancement.

# OBSAH

Úvod.....	10
1 Charakteristika zpětné klapky L10. ....	12
1.1 Pára jako energetické médium [7] .....	12
1.2 Umístění zpětné klapky L10 v potrubí technologické páry .....	13
1.3 Funkce a konstrukční řešení zpětné klapky L10 [6] .....	15
2 Studie vlastností použitých materiálů a technologií.....	17
2.1 Popis, chemické složení a mechanické vlastnosti ZM .....	17
2.2 Vliv legujících prvků na vlastnosti oceli [4].....	18
2.3 Rozdělení ZM do skupin dle TNI CEN ISO – TR 15608 .....	19
2.4 Tepelné zpracování a tváření ZM [1] .....	20
2.5 Předpokládané parametry technologie svařování ZM [9,10].....	22
2.5.1 Uhlíkový ekvivalent ZM [1].....	22
2.5.2 Teploty předehřevu ZM [1] .....	23
2.5.3 Struktura oceli ZM [11] .....	24
3 Návrh experimentálního programu ověření heterogenního svárového spoje .....	26
3.1 Problematika heterogenních spojů [1] .....	26
3.2 Varianty technologičnosti konstrukce heterogenního svárového spoje .....	28
3.3 Konstrukční řešení heterogenního spoje – varianta 1 .....	29
3.3.1 Volba vhodné technologie svařování [2].....	30
3.3.2 Volba vhodných přídavných materiálů [8].....	34
3.4 Konstrukční řešení heterogenního spoje – varianta 2 [12].....	35
3.4.1 Volba ZM, PM a technologie svařování – varianta 2 [13,8].....	35
3.4.2 Rozměry svařovaných dílu [12] .....	36
3.5 Napěťová analýza svárových spojů dílenských mezikusů .....	37
4 Návrh technologického postupu svařování v provozních podmínkách – varianta 1.....	41
4.1 Specifikace předpokládané struktury [11] .....	41
4.2 Teplota předehřevu [1] .....	42
4.3 Hodnocení náchylnosti oceli ke studeným trhlinám [1] .....	45
4.4 Návrh tepelného zpracování [1,15].....	46
4.5 Souhrn potřebných informací a návrh zkoušky postupu svařování [12,14] .....	47
5 Zkoušky kvalifikace postupu svařování – varianta 2 .....	51
5.1 Metalografické šetření .....	51
5.2 Nedestruktivní zkoušky .....	51
5.3 Destruktivní zkoušky .....	52

5.3.1	Příčná zkouška tahem.....	52
5.3.2	Zkouška lámavosti .....	52
5.3.3	Zkouška rázem v ohybu .....	53
5.3.4	Zkouška tvrdosti .....	53
5.4	Závěr provedených zkoušek.....	55
6	Závěr.....	56
	Seznam použité literatury .....	58
	Seznam příloh .....	60



## Seznam použitých značek a symbolů

<b>DN</b>	Jmenovitá světlost armatury, potrubního dílu	
<b>PN</b>	Tlaková řada armatury, potrubního dílu	
<b>TOO</b>	Tepelně ovlivněná oblast základního materiálu	
<b>PM</b>	Přídavný svařovací materiál	
<b>ZM</b>	Základní svařovaný materiál	
<b>%hm.</b>	Hmotnostní obsah prvku ve slitině	
<b>I</b>	Svařovací proud	[A]
<b>U</b>	Svařovací napětí	[V]
<b>v</b>	Rychlost navařování	[cm/min]
<b>TR KR</b>	Zkratka polotovaru trubky	
<b><math>\alpha</math></b>	Modifikace železa, ferit	
<b>Ce</b>	Uhlíkový ekvivalent dle ČSN 05 1310	[%]
<b>Tp</b>	Teplota přehřevu dle seferiana	[°C]
<b>pWPS</b>	Předběžný postup svařování	
<b>WPS</b>	Kvalifikovaný postup svařování	
<b>d<sub>k</sub></b>	Vnitřní průměr hrdla klapky	[mm]
<b>D<sub>k</sub></b>	Vnější průměr hrdla klapky	[mm]
<b>d<sub>mk</sub></b>	Vnitřní průměr dílenského mezikusu na straně klapky	[mm]
<b>D<sub>mk</sub></b>	Vnější průměr dílenského mezikusu na straně klapky	[mm]
<b>d<sub>p</sub></b>	Vnitřní průměr potrubí technologické páry	[mm]
<b>D<sub>p</sub></b>	Vnější průměr potrubí technologické páry	[mm]
<b>PA</b>	Poloha svařování vodorovně shora	
<b>PB</b>	Poloha svařování vodorovně šikmo shora	

# ÚVOD

V této diplomové práci se věnuji problematice heterogenního spoje, který vznikne při instalaci zpětné klapky L10 DN150 PN40 do potrubí středotlaké páry DN 150 PN40, jakost materiálu tohoto potrubí je P265GH. Tento požadavek vznikl při zpracování projektové dokumentace ve společnosti Třinecká projekce, a.s., kde pracuji jako projektant divize energetických zařízení.

V první části diplomové práce bude popisováno dispoziční řešení umístění zpětné klapky, důvod její instalace a její funkce. Dále zde budou specifikovány základní materiály dle standardu investora, určující jakost potrubních dílů umisťovaných do energetických potrubních tras a bude uveden vliv jednotlivých legujících prvků na vlastnosti daných ocelí. Pozornost je věnována specifikaci těchto materiálů dle TNI CEN ISO – TR 15608 do skupin, z důvodu analýzy nutnosti realizace zkoušky svařitelnosti těchto materiálů a následně tepelnému zpracování použitých materiálů. Bude provedena specifikace předpokládaných parametrů svařování a pomocí aplikace Schaefflerova diagramu zjištěna předpokládaná struktura svárového spoje ocelí daných jakostí.

Experimentální část diplomové práce je zaměřena na problematiku heterogenních svárových spojů. Tato část bude obsahovat podrobný rozbor možných variant řešení technologičnosti konstrukce instalace zpětné klapky. Varianta 1 bude řešit návrh zkoušky postupu svařování, tedy popis konstrukčního řešení a návrh technologie svařování. Pro danou metodu svařování bude provedena volba přídatných materiálů. Pro variantu 2 bude analyzován rozsah provedené zkoušky svařitelnosti pro dané materiály a aplikován na sestavu zpětné klapky L10 DN150 PN40 s dílenskými mezikusy.

V návrhu technologického postupu svařování varianty 1 pomocí aplikace Schaefflerova diagramu bude provedena analýza ověření předpokládané struktury svárového kovu, a to v závislosti na zvolených přídatných materiálech. Následně bude provedena studie určení teploty přehřevu a teploty interpass pomocí doporučených metod výpočtů. Zároveň bude zhodnocena náchylnost použitých ocelí ke vzniku studených trhlin, a to pomocí výpočtu parametru praskavosti. Pro dané jakosti ocelí bude navrženo tepelné zpracování. V závěru této části bude realizován návrh zkoušky postupu svařování dle ČSN EN ISO 15164-1. Bude zvolen tvar a rozměr zkušební dílu, návrh kontroly a zkoušení zkušebních vzorků a bude zvolena oblast odběru vzorků ze svařeného dílu. Zároveň budou specifikovány požadavky na kvalifikaci svářečů pro svařování zkušebních dílů.

U zkoušek kvalifikace postupu svařování varianty 2 budou popsány dosažené výsledky jednotlivých destruktivních a nedestruktivních zkoušek a metalografické analýzy zkušebních

vzorků. Představiteli nedestruktivních zkoušek je vizuální zkouška, penetrační zkouška a radiografická zkouška. Příčná zkouška tahem, zkouška lámavosti, zkouška rázem v ohybu a zkouška tvrdosti jsou představiteli zvolených destruktivních zkoušek. Nedílnou součástí zkoušek je i metalografická analýza makrostruktury vzorku.

Pro obě varianty řešení bude provedena napěťová analýza heterogenního svárového spoje. V závěru bude provedena celková analýza a popis dosažených výsledků.

# 1 CHARAKTERISTIKA ZPĚTNÉ KLAPKY L10

## 1.1 Pára jako energetické médium [7]

Problematika páry jako energetického média je velice rozsáhlá. Jedná se o teplotonosnou látku, která má velké množství výhod, v mnoha aplikacích je téměř nenahraditelná, ale často zavrhaná, a to díky rostoucím cenám paliv a energií, neboť i výroba páry je finančně nákladná. Pára se vytváří přeměnou vody ve formě kapaliny na plynné skupenství, tj. nejčastěji v parním kotli, respektive vzniká při výrobě v jiných technologických zařízeních. Tento děj je endotermický, což znamená, že do procesu je nutno dodat velké množství energie. Entalpie páry neboli její tepelný obsah, je opětovně získána při zpětné přeměně páry do kapalného skupenství. Díky přeměně skupenství je tepelný obsah páry bezkonkurenční třeba ve srovnání s horkou vodou.

Pára má tři základní stavy, které jsou definovány obsahem vody, tlakem a teplotou. Jedná se o páru sytou, mokrou a přehřátou. Za sytou páru považujeme stabilní médium, které má při daném tlaku přesně definovanou teplotu. Znamená to, že při kvalitním odvodu kondenzátu z potrubního systému a před spotřebičem, při udržení stálého tlaku, budeme mít konstantní teplotu. Tato vlastnost je nenahraditelná u některých procesů. Mokrá pára obsahuje určitý podíl kapalně vody ve formě drobných kapiček nesených látkou, nebo obsahuje určité množství kondenzátu v potrubním systému. Prakticky se jedná o reálnou podobu páry jako energetické médium. Drobné kapičky páry, unášené proudící látkou, jsou pro potrubní systém značně nebezpečné, a to z důvodu jejich abrazivních vlastností. Přehřátá pára nemá žádný podíl kapaliny, neboť její teplota je nad mezí sytosti. Tento stav se realizuje dalším zahříváním páry nad mez sytosti. Stav přehřátí se rychle anuluje při kontaktu přehřáté páry s kondenzátem, ke kterému může dojít například ve spotřebiči. Podle tlaku páry můžeme tuto látku rozdělit do tří kategorií, a to na páru vysokotlakou (kolem 18 bar), středotlakou (0,7 až 16 bar) a páru nízkotlakou (do 0,7 bar).

Parovody a rozvody vodní páry zajišťují přenos tepelné energie obsažené ve vodní páře. V potrubí vzniká za reálných podmínek kondenzát, který je nutno odvádět mimo potrubní síť, a to pomocí odvodňovacích systémů. Rychlost proudění páry v potrubí se volí obvykle v rozmezí 20 až 50 m/s. Je nutno nepodceňovat teplotu kondenzátu, která dosahuje něco málo nižších hodnot než proudící pára.

Jako parní spotřebič se označuje výměnné místo tepelné energie. Rozlišujeme dva typy spotřebičů, parní spotřebiče přímé (přímá výměna tepelné energie do požadovaného prostředí) a nepřímé (výměna tepelné energie požadovanému prostředí pomocí jiné

teplonosné látky). V mnoha případech se jedná o výměníky na bázi pára - voda (trubkové výměníky, deskové výměníky). U těchto typů parních spotřebičů je velice důležité odvádění kondenzátů a jejich regulace. Vzniklý kondenzát se dá opětovně použít k výrobě páry. U technologických zařízení typu parní turbogenerátorové elektrárny je vychlazený kondenzát opětovně používán k tvorbě páry. Tohoto způsobu využití kondenzátu jako demineralizované vody lze obtížněji využít u potrubních rozvodů. V tomto případě je nutno vzniklý kondenzát přepravovat do místa recyklace pomocí čerpadel, a ne vždy je tento systém ekonomicky rentabilní. U parní kotelny se odhaduje návratnost kondenzátu pro opětovné použití k výrobě páry v rozmezí 50 až 90 %.

## 1.2 Umístění zpětné klapky L10 v potrubí technologické páry

Pracuji ve společnosti Třinecká Projekce, a.s. jako projektant divize energetických zařízení. Podílel jsem se na zpracování projektové dokumentace pro investora ENERGETIKA Třinec, a.s. (dále jen ET) k instalaci potrubní trasy technologické páry DN150 pro společnost Linde GAS Třinec (dále jen Linde). Předmětem této zakázky byla dokumentace ve stupni DPS pro potrubní trasu technologické páry ( $370^{\circ}\text{C}$ ;  $1,9\text{MPa}$ ;  $\pm 10\%$ ), která bude napojena na parovod mezi Teplárnou E3 a Teplárnou E2, což jsou páteřní provozy společnosti ET, vyrábějící technologickou páru. Technickým řešením projektu bylo napojení na stávající parovod mezi E2 a E3 na energomostu trasy D. Následně potrubní trasa bude směřovat nad střechou budovy Vodárny 1 k potrubnímu mostu přes řeku Olši, který je znázorněn na obr. 1..



Obr. 1 Potrubní most přes řeku Olši.

Na konci tohoto mostu se nachází delimitační místo mezi Linde a ET, které tvoří uzavírací armatura, která je na obr. 2 znázorněna červenou šipkou. Jelikož se jedná také o nejnižší místo potrubní trasy přípojky, je nutno před armaturou instalovat odlučovač kondenzátu, důvodem je bezpečný odvod kondenzátu mimo potrubí. Součástí zakázky bylo také statické posouzení potrubního mostu přes řeku Olši, které poukázalo na již nyní vysoké zatížení tohoto mostu, s doporučením redukce instalovaného zatížení nové přípojky na minimum. Na straně společnosti Linde má stávající potrubní trasa rozvodu technologické páry stoupavou tendenci, a tudíž by v případě selhání odlučovače kondenzátu mohlo dojít k zaplnění celého průřezu potrubí na mostě. Při dimenzi potrubí DN150 a délce úseku přes potrubní most cca 60m, se jedná o hmotnost kondenzátu překračující hodnotu 1050kg. Na potrubním mostě je již nyní v provozu stávající potrubní trasa technologické páry, proto by bylo nežádoucí zatížení mostu dvojnásobné. Jednou z variant řešení problému byl návrh instalace zpětné klapky před odlučovač kondenzátu, zpětná klapka by v případě selhání odlučovače zabránila nátok kondenzátu do potrubí stávající i nové potrubní trasy páry na mostě.

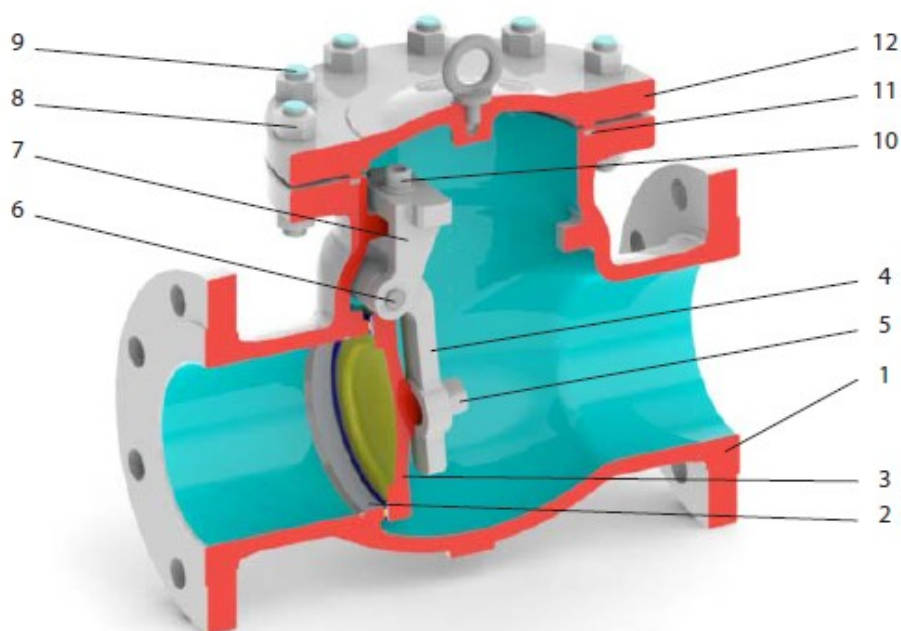


**Obr. 2 Místo delimitace potrubí páry.**

Z důvodu minimalizace možných rizik a vyloučení selhání přírubového spoje je zvolena instalace zpětné klapky metodou přivaření do potrubí. Typ klapky byl zvolen L10 od společnosti ARMATURY GROUP, a.s. (dále jen AG), která vyniká spolehlivou a technicky nenáročnou konstrukcí s možností servisních prací na funkčních částech klapky. Jakost materiálu je zvolena dle standardu investora, určujících jakost potrubních dílů umisťovaných do energetických potrubních tras. Potrubní trasa je navržena z trubek z oceli **P 265 GH**. Armatury a potrubní díly jsou navrženy z materiálu z oceli **13 CrMo 4-5**.

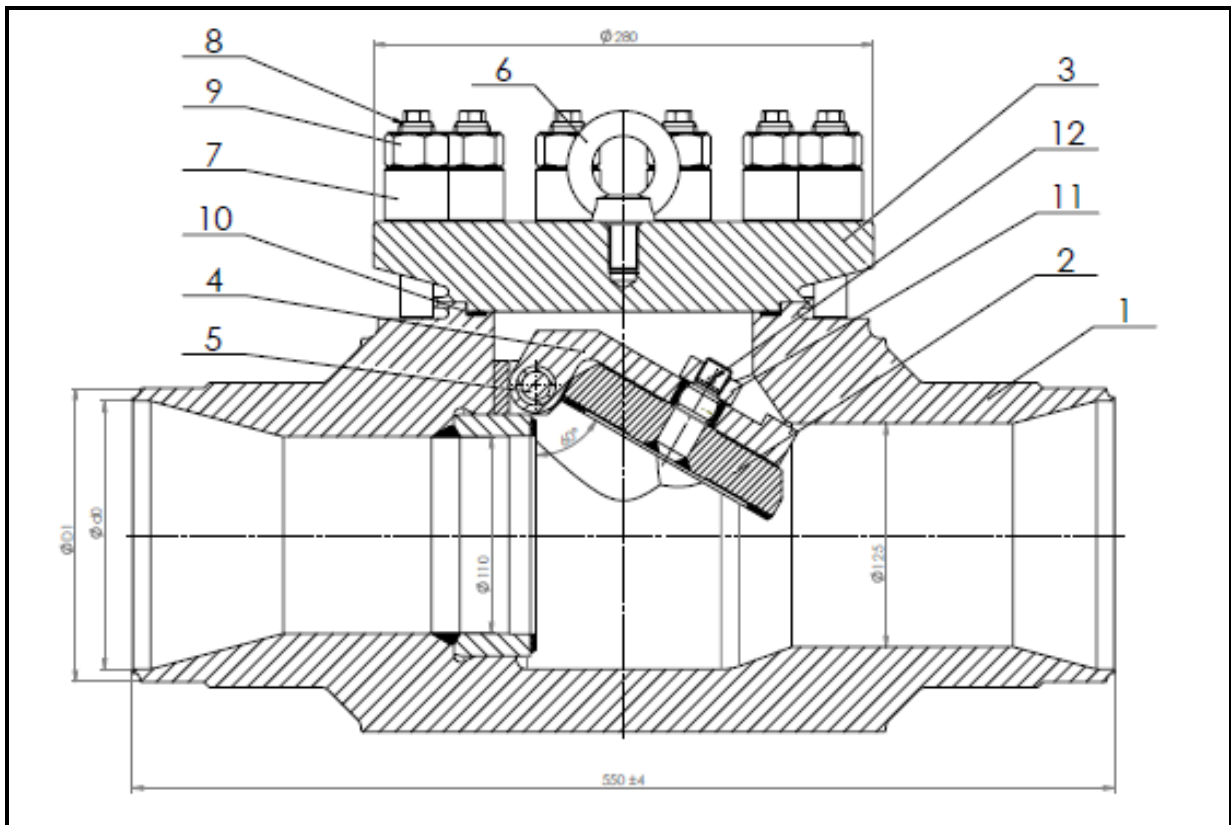
### 1.3 Funkce a konstrukční řešení zpětné klapky L10 [6]

Zpětné klapky L10 od společnosti ARMATURY GROUP, a.s. jsou průmyslové armatury, které samočinně zabraňují zpětnému proudění média nebo rázům v potrubí. Na obr. 3 je znázorněn řez klapkou typu L10, varianta připojení přírubová. Tělem klapky (1) proudí pracovní médium. Svou dynamickou energií překoná hmotnost talíře (3), který je připevněn na rameno (4) pomocí matice (5) a pohybuje se kolem čepu ramene (6). Čep ramene je připevněn k tělu klapky pomocí třmenu (7) a šroubu (10). Dojde-li k přerušení proudění pracovního média, uzavře samočinně talíř průřez klapky, a zamezí tak zpětnému proudění média. Těsnost klapky obstarává sedlo klapky (2), které je buď nalisované, nebo přivařené k tělu klapky dle dimenze. Za účelem montáže a servisu listu je klapka vybavena otvorem s víkem (12). Víko je utěsněno těsněním (11) a pomocí šroubového spoje (8,9) je připevněno k tělu klapky.



Obr. 3 Řez zpětnou klapkou typu L10 [6].

Pracovní médium, které může klapkou proudit, je voda, mořská voda, vodní pára, ropa, ropné produkty, vzduch a jiné neagresivní tekutiny skupiny 1 a 2. Teplota média se může pohybovat v rozmezí od - 50°C do + 595°C dle materiálního provedení klapky. Připojení do potrubí je realizováno buď pomocí přírubového spoje dle EN 1092-1 a ASME B16.5 (respektive DIN 2526) nebo pomocí svárového spoje dle EN 12 627 nebo ASME B16.25. Zpětné klapky typu L10 se instalují do horizontálního i vertikálního potrubí tak, aby byl zachován směr požadovaného proudění, který je vyznačen na těle klapky (u svislého potrubí musí médium proudit pod talíř, tudíž jej nadzvedávat). Mezi hlavní přednosti zpětné klapky L10 od společnosti ARMATURY GROUP, a.s. patří široký rozsah volitelných pracovních parametrů (DN/PN a materiálové provedení), tuhost a stabilita armatury při provozu a možnost provádění oprav těsnících ploch klapky.



**Obr. 4 Sestava zpětné klapky L10 DN150/PN40.**

Na obr. 4 je znázorněn řez zpětnou klapkou L10 DN150/PN40, varianta přivařovací do potrubí od společnosti Armatury Group, a.s.



## 2 STUDIE VLASTNOSTÍ POUŽITÝCH MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ.

### 2.1 Popis, chemické složení a mechanické vlastnosti ZM

#### Ocel 13 CrMo 4-5 (ČSN 15 121) [9]

Jedná se o žárovevnu ocel, dobře tvárnou za tepla i za studena, dobře obrobiteľnou, se zvýšenou odolností proti vodíku a korozi v prostředí vodní páry. Výrobky z této oceli jsou vhodné pro aplikaci v energetickém a chemickém průmyslu s pracovní teplotou do 560°C. Chemické složení oceli 15 121 je znázorněno v tab. 1 a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 3.

	C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S
min	0,1	0,4	0,15	0,7	0,4		
max	0,18	0,7	0,35	1,3	0,6	0,04	0,04

Tab. 1 Chemické složení [%] oceli 15 121.

#### Ocel P 265 GH (ČSN 12 022) [10]

Jedná se o konstrukční uhlíkovou ušlechtilou ocel, žárovevnu se zaručenou hodnotou meze kluzu za vyšších teplot. Z této oceli jsou vyráběny především díly pro energetická zařízení, tlakové nádoby a díly pro chemický průmysl. Chemické složení oceli 12 022 je znázorněno v tab. 2 a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 3.

	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
min	0,15	0,5	0,17					
max	0,22	0,6	0,37	0,25	0,25	0,25	0,04	0,04

Tab. 2 Chemické složení [%] oceli 12 022.

MECHANICKÉ VLASTNOSTI ZM PŘI TEPLOTĚ 20°C		
	12 022	15 121
Nejnižší mez kluzu [MPa]	255	265
Pevnost v tahu [MPa]	440 - 570	430 - 600
Tažnost [%]	min21	19 - 21
Vrubová houževnatost [J/cm <sup>2</sup> ]	59	49
Tvrdost podle Brinela [HB]	max 175	124 - 172

Tab. 3 Mechanické vlastnosti ZM.

## 2.2 Vliv legujících prvků na vlastnosti oceli [4]

Mezi základní prvky oceli 15121 a oceli 12 022 patří **uhlík** a **železo**, stejně jako u většiny jiných ocelí. Z těchto prvků nejvíce ovlivňuje vlastnosti oceli uhlík, který zásadním způsobem ovlivňuje výslednou strukturu materiálu, a tím i jeho mechanické vlastnosti. Jelikož atom uhlíku má pouze poloměr 7,7 nm, tvoří s podstatně větším atomem železa intersticiální tuhé roztoky ferit a austenit. Přebytek uhlíku (nad rámeček možné rozpustnosti při dané teplotě) ve slitině Fe-C tvoří intersticiální sloučeninu karbid železa  $\text{Fe}_3\text{C}$  nebo je ve struktuře přítomen jako čistý uhlík grafit.

Čisté železo se vyskytuje ve dvou alotropických modifikacích. Kubickou prostorově centrovanou mřížku mají nízkoteplotní železo  $\alpha$  (do  $911^\circ\text{C}$ ) a vysokoteplotní železo  $\beta$  (nad  $1392^\circ\text{C}$ ). Kubická plošně centrovaná mřížka se vyskytuje u železa  $\gamma$ . Zvyšováním teploty železa se mění krystalová mřížka a dochází k rekrystalizaci. Eutektikum, složené ze směsi austenitu a cementitu se nazývá ledeburit. Eutektoid, složený z feritu a cementitu se nazývá perlit. Při vysokých rychlostech ochlazování austenitu rychlost difuze železa a slitinových prvků není dostatečně účinná, ale difuze uhlíku probíhá, vznikají křehké struktury jako bainit, respektive při kritickém podchlazení austenitu (jakákoliv difuze je obtížná) vzniká martenzitická struktura.

Mezi další prvky, obsažené ve slitině základních materiálů patří:

**Mangan** – jedná se o základní desoxidáční a odsiřovací prvek v ocelích. Jeho převážná rozpustnost je ve feritu, čímž jej stabilizuje. Mangan má příznivý účinek na vlastnosti oceli, zvětšuje její mez kluzu, pevnost, nemá nepříznivý vliv na houževnatost. Používá se hlavně k desoxidaci. Aby byl proces desoxidace dostatečný, používají se i jiné legující prvky s vyšší afinitou ke kyslíku. Obsah manganu v uhlíkových ocelích se pohybuje v rozmezí 0,1 až 0,9%, již zmiňovaná rozpustnost je většinou ve feritu, část se rozpouští v cementitu.

**Křemík** – je to důležitá desoxidáční přísada. Obsah křemíku v uhlíkových ocelích je do 0,5%, a jeho rozpustnost je ve feritu a austenitu. Křemík zhoršuje tvárnost materiálu za studena, zpevňuje ferit a zpomaluje fázové přeměny v tuhém stavu. Tento prvek podporuje grafitizaci slitin železo – uhlík a podobně jako mangan posouvá eutektoidní koncentraci uhlíku společně s jeho maximální rozpustností k nižším hodnotám.

**Fosfor** – tento prvek se do ocelí dostává především ze surovin. Společně s železem tvoří intermediální fázi  $\text{Fe}_3\text{P}$  (fosfid železa). Jedná se o nežádoucí prvek, který výrazně snižuje tažnost oceli a vrubovou houževnatost, a to na úkor tvrdosti a pevnosti, které narůstají. Fosfid je náchylný na segregaci v mezidendritických prostorech, jelikož difuze

fosforu je velice nízká, je prakticky nemožné jej dalším tepelným zpracováním odstranit. Jeho obsah v ocelích se pohybuje převážně do 0,1%, v našem případě u obou základních materiálů do 0,04%.

**Síra** – podobně jako fosfor se síra dostává do oceli ze surovin a paliv. Má ještě výraznější náchylnost k segregaci než fosfor a vytváří s železem sirník železnatý FeS, který je v tuhém železe téměř nerozpustný. Tento sirník se segreguje v místech s nejnižší teplotou tuhnutí, kde při teplotách tváření způsobuje lámavost oceli a snížená pevnost hranic zrn austenitu způsobuje mezikrystalické trhliny. Zároveň síra ovlivňuje svařitelnost, houževnatost a difuzi uhlíku při tepelném zpracování. Množství síry se pohybuje do hodnoty 0,06% u běžných ocelí, 0,04% u ušlechtilých ocelí a přídatných svařovacích materiálů do hodnoty 0,03%.

**Měď** – dostává se do oceli z některých druhů rud a přetavováním vratného šrotu. Nedá se z metalurgických pochodů úplně odstranit. Tento prvek nepatrně zvětšuje pevnost oceli a zpomaluje rekrytalizaci. Do určité hodnoty má taky vliv na odolnost proti atmosférickým vlivům. Negativní vliv má měď na povrchové praskání při zpracování oceli, neboť při moření se snižuje úběr. Jedná se o austenitotvorný prvek.

**Nikl** – tento prvek rozšiřuje oblast tuhého roztoku  $\gamma$  a snižuje stabilitu cementitu. Nevytváří karbidy, nepatrně zvyšuje prokalitelnost a snižuje kritické teploty  $A_1$  a  $A_3$ . Zlepšuje tvárnost a houževnatost oceli, hlavně v kaleném stavu. Výrazně snižuje přechodovou teplotu křehkého lomu.

**Chrom** – jeho mřížka je podobná mřížce feritu, proto se v něm velice dobře rozpouští. Jeho velká afinita k uhlíku mu napomáhá se soustředit v karbidech. Silně zvyšuje prokalitelnost. Rozpouštěním v tuhém roztoku zvyšuje odolnost proti korozi a opalu.

**Molybden** – velmi intenzivně zvyšuje prokalitelnost oceli. Nejčastěji se používá u Cr a Cr-Ni ocelí. Tvoří velmi stabilní karbidy  $Mo_2C$  a  $MoC$ , což se využívá hlavně u žárovevých ocelí. Mezi jeho největší přednosti patří příznivý vliv na vysokoteplotní popouštěcí křehkost.

## 2.3 Rozdělení ZM do skupin dle TNI CEN ISO – TR 15608

Rozdělení materiálů do skupin dle TNI CEN ISO – TR 15608 bylo provedeno za účelem svařování a vychází se z rozboru chemického složení daného materiálu. U skupin 1 až 3 se člení do podskupin, kde se bere v úvahu také zaručená mez kluzu.

Pro zařazení oceli dle ČSN 41 2022 u oceli 12 022 bylo nutné určit vhodný ekvivalent ve značení oceli dle ČSN EN 10027. Po důkladné analýze bylo zjištěno, že pro tuto ocel mohou být přiřazeny minimálně dvě zkratky materiálu v systému zkráceného označování. Tato ocel může být označována jako L290NB (1.1142), ale také jako P265GH (1.0425). Pro dané zadání je rozhodující určení polotovaru z tohoto materiálu. V našem případě jde konkrétně o ocelovou bezešvou trubku TR KR Ø168,3 x 3,5 mm, tento polotovar nabízí společnost AG standardně ve svém prodejním programu. Jelikož jsem daný polotovar specifikoval v PD, poskytla mi společnost AG atest tohoto polotovaru. Výrobce jednoznačně uvádí jakost materiálu této bezešvé trubky jako ocel 12 022.1 a zároveň P265GH. Ocel jakosti 15 121 je definována jako materiál v systému zkráceného označování 13CrMo4-5, nebo také 1.7335.

Konečné rozdělení základních materiálů do skupin dle TNI CEN ISO – TR 15608 je znázorněno v tab. 4. Pro společné spojení materiálů ze skupin 1. a 5. pomocí svárového kovu je nutno použít zvláštní opatření, např. předehřev. Jednotlivé typy a rozsah opatření budou řešeny v dalších kapitolách.

SKUPINA	PODSKUPINA	DRUH OCELI	TYP DLE NORMY	ZNAČENÍ MATERIÁLU		
				ČSN 42 0002	EN 10027-1	EN 10027-2
1	1.1	OCELI SE ZARUČENOU MEZÍ KLUZU $R_{eH} \leq 275 \text{ N/mm}^2$	10028-2	12 022	P265GH	1.0425
5	5.1	OCELI S $0,75\% \leq \text{Cr} \leq 1,5\%$ $\text{Cr} \leq 0,7\%$	10028-2	15 121	13CrMo4-5	1.7335

Tab. 4 Rozdělení ZM do skupin dle TNI CEN ISO-TR 15608.

## 2.4 Tepelné zpracování a tváření ZM [1]

Předpokládejme, že polotovary v jakosti základních materiálů, budou vyžadovat určitý druh tepelného zpracování. Zpětná klapka L10 bude vyrobena kováním, bezešvé trubky jsou nejčastěji vyráběny protlačováním a válcováním. Po těchto teplotních výrobních operacích proběhne tepelné zpracování finálního polotovaru. Na výkovek klapky se bude přivařovat

těsnící plocha, respektive mezikus, v jakosti potrubního systému, následně se bude opravovat. Tepelné zpracování bude zařazeno do výrobního procesu jako poslední tepelný proces.

Označení bezešvých trubek v jakosti 12 022.1 znamená (první číslo za tečkou), že se jedná o polotovar normalizačně žíhaný. Výkovky z jakosti oceli 15 121.5 se tepelně zpracovávají normalizačním žíháním a popouštěním.

Normalizační žíhání je tepelné zpracování s rekrytalizací. Dochází tedy k přeměně krystalové mřížky struktury oceli  $\alpha \rightarrow \gamma$  při ohřevu, a při ochlazování zase obráceně  $\gamma \rightarrow \alpha$ . Proto je nutné dosahovat teplot ohřevu dané oceli o 30 až 50°C vyšších než teplota  $A_{c3}$ , respektive  $A_{cm}$ , tedy do oblasti stabilního austenitu. Po ohřevu na tuto teplotu následuje ochlazování na vzduchu. Účelem tohoto procesu je odstranění heterogenity struktury, odstranění vnitřních pnutí a celkové změkčení struktury. Podle obsahu uhlíku v oceli se dosahuje výsledných struktur v podobě jemnozrné směsi feritu a perlitu. Popouštění je většinou zařazováno ihned po normalizačním žíhání. Účelem tohoto procesu je zvýšení plastických vlastností a odolnosti proti křehkému porušení při zachování dostatečně vysokých pevností tepelně zpracovaných struktur. Jedná se o proces 4 až 5 stádií, při kterých dochází za nízkých teplot (do 200°C) k přeměně zbytkového austenitu na bainit. Zvyšováním teploty, a tím umožnění difuze intersticiálních prvků, dochází k přeměně na přechodový  $\epsilon$ -karbid. Opětovným zvýšením teploty se tento přechodový karbid přemění na stabilní cementit. U žárovevných Cr-Mo ocelí může docházet při popouštění v rozsahu teplot 550 až 680°C k sekundárnímu vytvrzení. Tento jev výrazně zvyšuje jejich žárovevnost, mez kluzu, naopak se snižuje jejich plasticita. Nevýhodou tohoto stavu je problematika volby optimální teploty. Například u montážního svařování těchto ocelí a nedůkladné kontrole žíhací teploty svařových spojů může dojít k výraznému zkřehnutí v pásmu TOO a možnosti vzniku trhlin. Vícevrstvé svařové spoje představují z hlediska křehkosti méně problematická místa, neboť postupným kladením housenkových vrstev sváru dochází k popouštění vrstev předchozích. V tab. 5 jsou uvedeny doporučené teploty tepelného zpracování a tváření základních materiálů.

Teploty pro tváření a tepelné zpracování ZM		
	15 121	12 022
Kování a protlačování	850 - 1100 °C	950 - 1100 °C
Normalizační žíhání	900 - 950 °C	890 - 920 °C
Žíhání na měkko		670 - 700 °C
Popouštění	620 - 700 °C	
Žíhání ke snížení pnutí	600 - 650 °C	

Kalení	910 - 940 °C	
Popouštění po kalení	650 - 720 °C	
Dle ČSN	415 121	412 022

**Tab. 5 Doporučené teploty pro ZM dle materiálových ČSN [9,10].**

## 2.5 Předpokládané parametry technologie svařování ZM [9,10]

Svařitelnost oceli 12 022 je uváděna dle materiálové normy ČSN 41 2022 (z roku 1985 dle tehdejšího platného názvosloví) do tloušťky 25mm zaručená, nad tuto tloušťku je svařitelnost zaručená podmíněná předehřevem na teplotu 150 - 200°C. Svařitelnost oceli 15 121 je dle materiálové normy ČSN 41 5121 (z roku 1975 dle tehdejšího platného názvosloví) vhodná, nutno předehřívát na teplotu 200 - 300°C. V dnešní době se jedná o oceli vzájemně svařitelné za určitých podmínek. Pro volbu vhodné technologie svařování a volbu přídatného materiálu je nutno zjistit podrobnější informace o základních materiálech.

### 2.5.1 Uhlíkový ekvivalent ZM [1]

Vliv chemického složení oceli na její svařitelnost se vyjadřuje nejčastěji uhlíkovým ekvivalentem  $C_E$ . Hodnota ekvivalentu vyjadřuje náchylnost oceli na prokalitelnost. Jestliže dojde k zakalení oceli a svárového spoje, vznikne křehká martenzitická nebo bainitická struktura. Dominantní úlohu na kalitelnost oceli má uhlík. Každý legující a přísadový prvek ve složení oceli přispívá k prokalitelnosti oceli jinak, proto se ve výpočtech uhlíkového ekvivalentu zadávají různé podíly hm% obsahu daných prvků.

Původní norma ČSN 05 1310 uváděla vzorec (1) pro výpočet uhlíkového ekvivalentu takto:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024 \times s \quad [\%] \quad (1)$$

kde  $s$  je tloušťka materiálu v mm. Tato rovnice byla vhodná pro materiály do obsahu prvků  $C \leq 22\%$ ,  $Mn \leq 1,6\%$ ,  $Cr \leq 1\%$ ,  $Ni \leq 3\%$ ,  $V \leq 0,14\%$  a  $Cu \leq 0,3\%$ . Při aplikaci této rovnice pro oceli jakosti 15 121 a 12 022 jsem získal hodnoty  $C_E$  následující:

$$C_E (15 121) = 0,915 \% ; C_E (12 022) = 0,335 \%$$

Mezinárodní svářečský institut navrhl pro výpočet uhlíkového ekvivalentu tento vzorec (2):

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad [\%] \quad (2)$$

Tato rovnice je vhodná pro oceli s obsahem uhlíku do 0,22%. Při aplikaci rovnice (2) dle IIW byly získány následující hodnoty:

$$CE (15\ 121) = \mathbf{0,677\ \%} ; CE (12\ 022) = \mathbf{0,312\ \%}$$

Vzhledem k hodnotám vyšším než 0,5% u oceli 15 121, získaných výpočtem obou rovnic se dá předpokládat nutnost použití předehřevu před svařování.

### 2.5.2 Teploty předehřevu ZM [1]

Na teplotu předehřevu bude mít primární vliv chemické složení oceli 15 121. Komplexní výpočet teploty předehřevu dle ČSN EN 1011-2 (zahrnující všechny vlivy dle této normy) pro svárový spoj zpětné klapky L10 DN150/PN40 od společnosti AG k potrubnímu systému bude provedeno v další části této diplomové práce, dle volby technologie a přídavného materiálu. Pro výpočet předpokládané hodnoty předehřevu oceli 15 121 byl proveden výpočet dle Seferiana (5).

Nejprve byl stanoven uhlíkový ekvivalent  $C_c$  vhodný pro tuto metodu dle rovnice:

$$C_c = \frac{360 \times C + 40(Mn + Cr) + 20 \times Ni + 28 \times Mo}{360} \quad (3)$$

$$C_c = 0,448\%$$

Následně byla vypočtena hodnota  $C_s$  za předpokladu, že tloušťka materiálu bude 6mm

$$C_s = 0,005 \times s \times C_c \quad (4)$$

$$C_s = 0,0112$$

$$C_p = C_c + C_s = 0,46$$

Nyní bude aplikována rovnice dle Seferiana

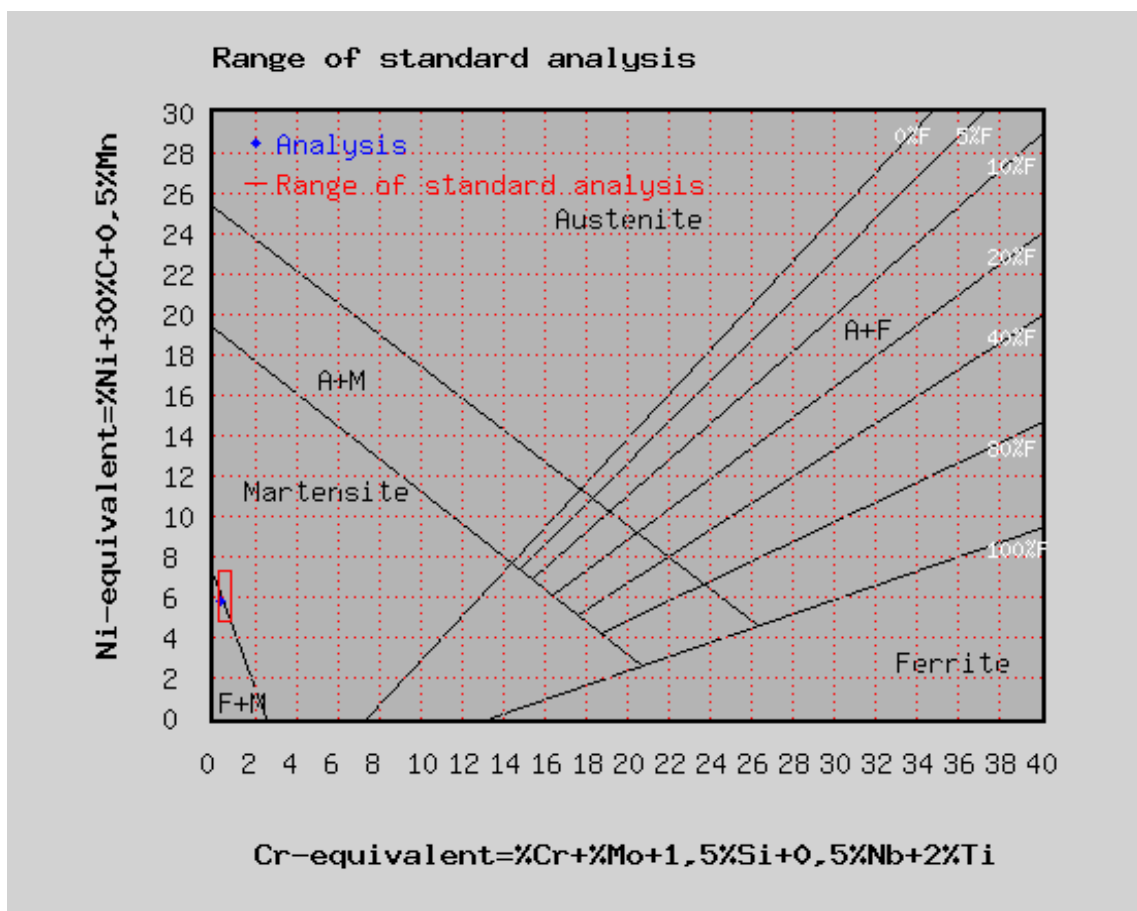
$$T_p = 350 \times \sqrt{C_p - 0,25} \quad (5)$$

$$T_p = \mathbf{170\ ^\circ C}$$

Pomocí výpočtu teploty předehřevu metodou dle Seferiana, která je vhodná pro oceli žárovevné Cr Mo, byla stanovena předběžná hodnota předpokládané teploty předehřevu na 170°C.

### 2.5.3 Struktura oceli ZM [11]

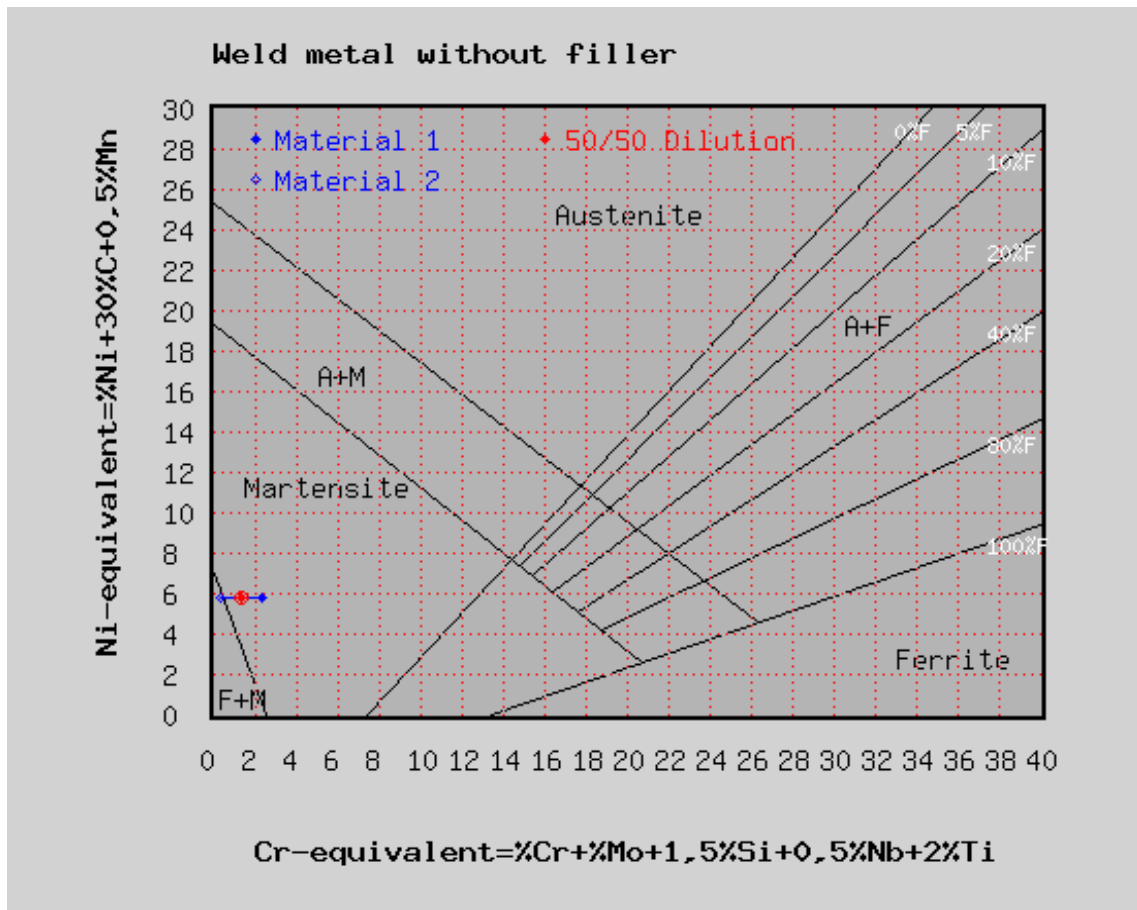
Pro stanovení struktury základních materiálů byla zvolena aplikace volně dostupná na internetových stránkách. Jelikož lze čerpat informace z atestu pro ocel 12 022 a konkrétních údajů o chemickém složení tavby, byla vybrána a použita aplikace Schaefflerova diagramu pro standardní analýzu. Zde byly zadány hodnoty stanovené normou pro chemické složení oceli a hodnoty zjištěné v dané tavbě. Výsledek je znázorněn na obr. 5.



Obr. 5 Schaefflerův diagram pro standardní analýzu chemického složení oceli [11].

Struktura oceli 12 022 se pohybuje na rozhraní dvou struktur. První struktura se bude skládat ze směsi feritu a martenzitu, ale druhá struktura bude tvořena většinou martenzitem.





**Obr. 6 Schaefflerův diagram pro svárový kov oceli bez PM [11].**

Na obr. 6 je znázorněn Schaefflerův diagram pro strukturu spoje ZM, s 50 % promísením (svařování bez PM). Ve svárovém kovu ocelí 12 022 a 15 121 bez PM se pravděpodobně objeví směs křehkých martenzitických struktur.

## 3 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍHO PROGRAMU OVĚŘENÍ HETEROGENNÍHO SVÁROVÉHO SPOJE

### 3.1 Problematika heterogenních spojů [1]

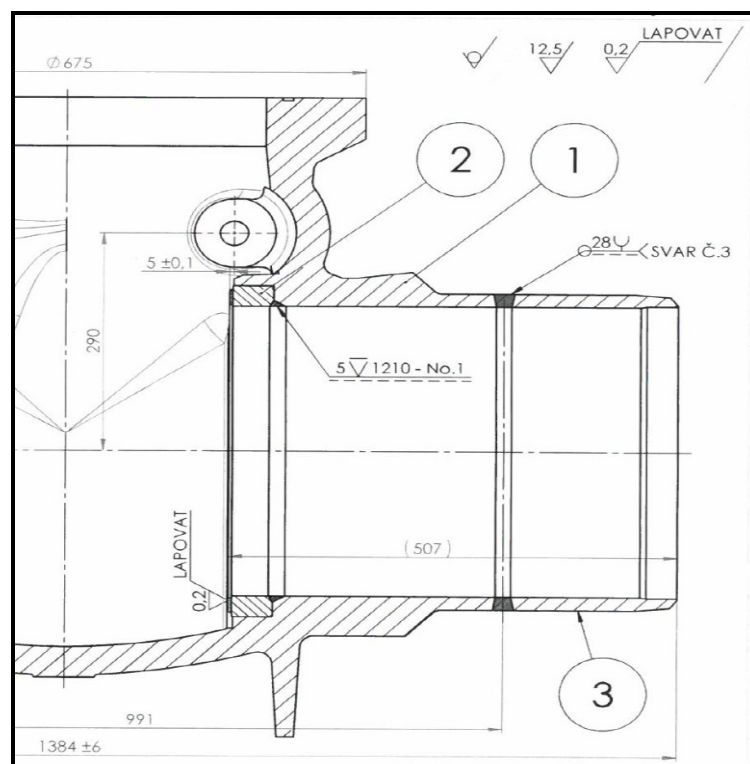
Svařování materiálů s rozdílným chemickým složením, popřípadě s rozdílnými strukturami, způsobuje vždy degradaci jednoho nebo obou základních materiálů. Důvodem je, že v přechodu mezi TOO a svárovým kovem vzniká natavená zóna, která disponuje odlišným chemickým složením, proto má tato zóna i odlišné mechanické vlastnosti. Vlivem difuze uhlíku vznikají ve svařované oblasti pásma oduhličená a nauhličená, která představují pro funkci svárového spoje za provozních podmínek snížení životnosti a bezpečnosti daného svárového spoje. Při existenci martenzitických struktur je nutné svařovaný předmět předehtřívát a zabránit tak vzniku martenzitu s vyšším obsahem uhlíku, který může být zdrojem vzniku trhlin. Takto vzniklé trhliny ve svárovém kovu mohou být navíc indukovány vodíkem, který se do sváru dostane z atmosférické vlhkosti, ale především z přídavných materiálů. Při svařování heterogenních materiálů se většinou volí technologie svařování s menším tepelným příkonem do sváru. Neoptimálnějšími, ale zároveň velice často nedostupnými, jsou technologie svařování laserem, plazmou, elektronovými paprsky a třením. U obloukového svařování se preferují technologie svařování obalenou elektrodou nebo v atmosférách ochranných plynů.

V daném případě budou mít rozhodující vliv na volbu technologie svařování a volbu přídavného materiálu vlastnosti oceli 15 121. Tato ocel patří do skupiny žárovevých Cr-Mo a Cr-Mo-V ocelí skupiny 15. Tyto oceli tvoří většinu v použitých materiálech pro tepelnou energetiku. Vysoká žárupevnost těchto ocelí je dána zejména vysokým podílem precipitačního zpevnění struktury a také substitučním zpevněním atomy Mo v tuhém roztoku. Dlouhodobou vysokoteplotní odolnost zaručuje jejich strukturní stabilita, kterou způsobuje termodynamická a objemová stálost přítomných karbidických částic. Jedná se o částice jemného precipitátu ve struktuře, jako jsou tvrdé karbidy typu  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ,  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  a  $\text{Mo}_2\text{C}$ . Tyto částice brání dislokačnímu pohybu. Zároveň je do určité míry aplikována metoda substitučního zpevnění tuhého roztoku pomocí atomu molybdenu, který disponuje značným atomovým poloměrem.

Nízkolegované Cr-Mo oceli jsou relativně dobře tvářitelné a svařitelné, za předpokladu dodržení určitých podmínek. Především se jedná o teplotu předehtřevu a tepelný příkon svařování. Zejména u svárových spojů větších tloušťek je nutno dodržet teplotu předehtřevu

po celou dobu svařování. Nevhodné působení tepelného pnutí ve spoji a zároveň absorpce vodíku do svárového kovu mohou iniciovat vznik trhlin. Pro svařování těchto materiálů je obecně doporučeno zařadit po svařování minimálně popouštění, ale nejlépe kompletní tepelné zpracování, tzn. normalizační žíhání a následně popouštění. U tepelného zpracování je nutno vhodně volit teploty, z důvodu minimalizace možného sekundárního vytvrzení a zkřehnutí svárového spoje (viz kap. 2.4).

Zvýšenou pozornost při svařování energetických sestav je nutno věnovat kombinovanému spojení. Tento problém nastává i v řešeném daném případě - připojení armatury v jakosti 15 121 do potrubního systému páry v jakosti 12 022. V tomto případě je vhodné k potrubnímu dílu, tedy zpětné klapce L10, přivařit dle předepsaných postupů dílenský mezikus ve stejné jakosti materiálu jako potrubní systém. Následně celý svařenec podrobit částečnému, respektive kompletnímu tepelnému zpracování. Při montáži takto připraveného potrubního dílu nebo armatury se již použije svařování homogenních materiálů.



**Obr. 7 Aplikace dílenského mezikusu u klapky L10 DN400/PN100.**

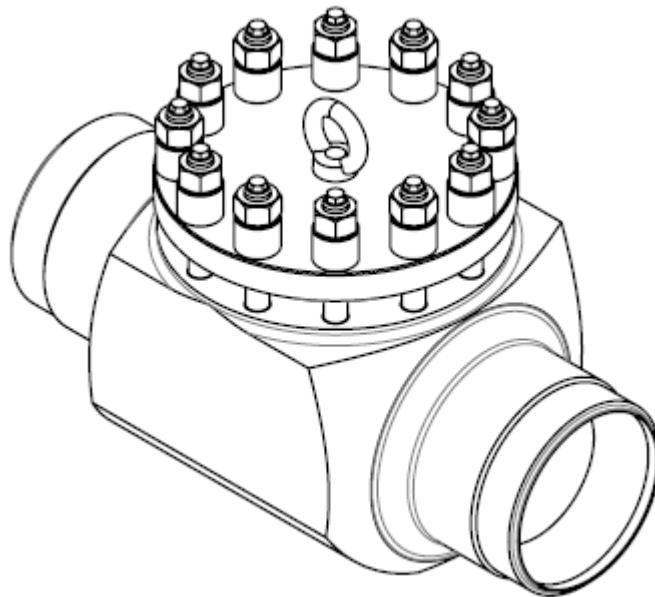
Na obr. 7 je znázorněno použití dílenského mezikusu u zpětné klapky L10 DN400/PN100 společnosti AG.

Je pravda, že heterogenní spoje mezi oceli tř. 12 a 15 nepředstavují tak náročné technické řešení svárového spoje jako mezi oceli nízkolegovanými a vysokolegovanými. Ovšem je nutno dodat, že pro platnost postupu svařování (pWPS, WPS) pro různorodé spoje

skupin materiálů 4 – 9, podle rozdělení základních materiálů do skupin dle TNI CEN ISO – TR 15608, je nutno uskutečnit zvláštní zkoušku.

### 3.2 Varianty technologičnosti konstrukce heterogenního svárového spoje

Na základě požadavků na minimalizaci rizika přetížení potrubního mostu přes řeku Olši možným selháním odváděče kondenzátu a zaplavením celého průřezu instalovaného potrubí přívodu technologické páry byla navržena instalace zpětných klapek typu L10 do stávající i nové potrubní trasy přívodu energetických médií do areálu Linde. Tento návrh bude řešen jako studie proveditelnosti, po zpracování bude předložena investorovi k posouzení o realizaci. Celá záležitost byla rovněž konzultována se zastupiteli výrobce a dodavatele zpětných klapek tohoto typu společnosti ARMATURY GROUP, kteří ochotně zpracovali návrh klapky L10.1 DN150/PN40, v jakosti materiálu 13 CrMo 4-5, přivařovací do potrubí, která je znázorněna na obr.8.



**Obr. 8 Zpětná klapka L10.1 DN150/PN40.**

Tato zpětná klapka bude základem pro možné technické řešení. V případě volby technologicko-konstrukčního řešení se bude čerpat z výše popsaných informací.

Pro dodržení požadavků na jakost svárových spojů se jeví jako nejvhodnější varianta konstrukčně-technologického řešení použití dílenského mezikusu. Tento mezikus zajistí dostatečnou jakost homogenního svárového spoje při montáži armatury s dílenským

mezikusem do potrubní trasy, a také zajistí jakostní svárový heterogenní spoj mezi dílenským mezikusem jakosti materiálu 12 022 a samotnou zpětnou klapkou z jakosti materiálu 15 121. Technologicko-konstrukční řešení bude rozděleno do dvou variant řešení:

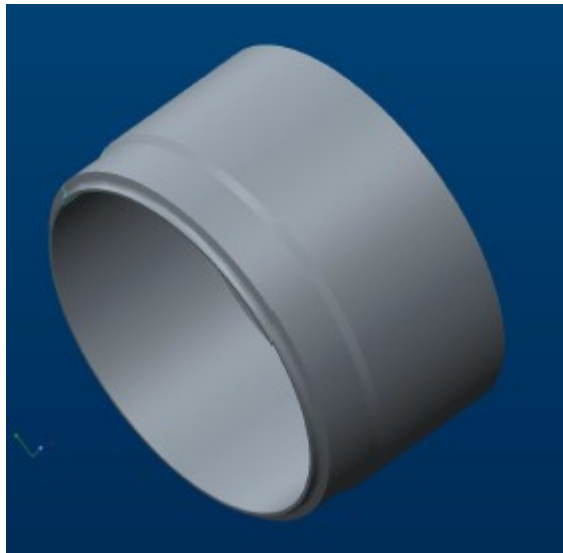
**Varianta 1** – Investor si u výrobce objedná dva kusy zpětné klapky dle navrhovaného konstrukčního řešení včetně dílenských mezikusů. Jakost materiálu těla klapky bude ocel 15 121, jakost materiálu dílenských mezikusů bude 12 022, dle interních standardů investora. Dodavatel klapky, společnost AG dodá požadované díly, včetně ověření navrhované pWPS. Výhodou této varianty je plně homogenní svarový spoj při montáži, dílenské mezikusy budou vyrobeny ze stejné jakosti materiálu jako trubky potrubí technologické páry.

**Varianta 2** – Investorovi bude předložen návrh instalace zpětné klapky L10 s dílenskými mezikusy, jakosti materiálu skupiny 5.3 (tělo klapky) a 1.2 (dílenské mezikusy) dle TNI CEN ISO TR 15608. V této variantě budou použity výsledky realizované zkoušky svařování materiálů těchto skupin. Při dodržení podmínek daných tímto protokolem lze splnit požadavky na montážní instalaci zpětné klapky do potrubní trasy technologické páry.

Po zpracování obou možných variant řešení instalace zpětné klapky L10 do potrubí technologické páry, budou výsledky předloženy investorovi. Mezi výhody varianty 1 patří dodržení standardu investora, které doporučují jakost potrubních dílů umístovaných do energetických potrubních tras. Jakost materiálu těla klapky varianty 2 je také vhodná pro instalaci do potrubí s vyšší pracovní teplotou a výhoda této varianty je realizována zkouškou svařitelnosti.

### **3.3 Konstrukční řešení heterogenního spoje – varianta 1**

Konstrukční řešení dílenského mezikusu bude vyhovovat požadavkům na připojení k tělu zpětné klapky L10 a zároveň i k potrubnímu systému DN150. Na straně zpětné klapky se jedná o připojovací vnitřní průměr hrdla  $\varnothing 150$  mm s tloušťkou stěny 7mm. Potrubní systém, do kterého bude klapka instalována, bude realizován z trubek  $\varnothing 168 \times 4,5$  mm. Pro výrobu dílenského mezikusu bude zvolen polotovár z trubky bezešvé hladké  $\varnothing 168 \times 9,0$  mm dle ČSN 42 5715 o délce 100 mm viz obr.9.



**Obr. 9 Dílenský mezikus Varianta 1.**

Konce mezikusu ve vzdálenosti 30mm na každou stranu se přizpůsobí požadavkům na úpravu konců součástí potrubí pro svařování dle ČSN 13 1075.

Na straně zpětné klapky je vnitřní průměr polotovaru  $d_{mk}$  roven vnitřnímu průměru zpětné klapky  $d_k$ , proto se upraví vnější průměr mezikusu na straně klapky  $D_{mk}$  na průměr  $\varnothing 164$  mm, což je vnější průměr hrdla klapky. Konce klapky pro přivaření jsou upraveny pro tvar svárového spoje **V** s osazením, proto bude mezikus na straně klapky upraven stejně.

Na straně potrubního systému je vnější průměr polotovaru dílenského mezikusu  $D_{mp}$  roven vnějšímu poloměru instalovaného potrubí DN 150 TR KR  $\varnothing 168 \times 4,5$  mm. Zde se musí upravit vnitřní průměr mezikusu  $d_{mp}$  na průměr  $\varnothing 159$  mm, což se rovná tloušťce stěny potrubního systému. Pro montážní svařování potrubních systémů s tloušťkou stěny 4,5 mm se nejčastěji používá tvar svárového spoje **V**, proto bude dílenský mezikus na straně potrubního systému upraven stejně.

Tvar a rozměry úpravy konců dílenského mezikusu jsou znázorněny ve výrobním výkresu mezikusu, který je součástí této diplomové práce jako příloha č. 1.2.

### **3.3.1 Volba vhodné technologie svařování [2]**

Mezi nejvhodnější metody svařování pro přivaření dílenského mezikusu k tělu klapky varianty 1 se jeví automatizované nebo ruční metody svařování elektrickým obloukem. Mezi nejrozšířenější tyto metody patří svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou pod

tavidlem, svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou v ochranném plynu, svařování elektrickým obloukem obalenou elektrodou a svařování elektrickým obloukem netavící se elektrodou v ochranném inertním plynu.

#### **a) Svařování elektrickým obloukem pod tavidlem 121**

Tato metoda svařování byla vyvinuta za účelem navýšení odtavovaného svárového kovu, tudíž i na zvýšení produktivity procesu svařování. Jedná se o proces svařování, kdy se neobalená elektroda neomezené délky (drát) přivádí do prostoru vzniku svárového spoje pomocí podávacího zařízení. Pomocí vzniklého elektrického oblouku dochází k odtavování elektrody (drátu). Celý proces svařování je realizován pod ochrannou vrstvou tavidla. Svařovací drát a tavidlo představují dva samostatné celky v tomto procesu a lze je vzájemně kombinovat. Tavidlo se na složení svárového kovu podílí do stejné míry jako na metalurgických procesech svařování. Jako přídatné materiály se pro tuto metodu používají dráty tažené za studena plnopřířezové nebo plněné profilové dráty. Pro navařování ochranných vrstev se často používá navařovací pásy.

Tato metoda svařování je velice náročná na strojní vybavení svářečských dílen. Umožňuje pouze polohu svařování PA nebo PB (do 7°) a celý proces svařování se děje pod zákrytem tavidla, tudíž bez možnosti optické kontroly. Náročnost této metody se rovněž projevuje v požadavcích na přípravu svárových spojů a průběh procesu svařování. Pro tupé jednostranné spoje je většinou nutno používat měděné, keramické nebo tavidlové podložky. Často se používá také technologická přistehovaná podložka, nebo tvar svárového spoje na zámeček.

Mezi hlavní výhody této technologie patří vysoká kvalita sváru, velká proudová hustota i při malých průřezích svařovací elektrody, velký průvar do základního materiálu a vysoká produktivita při svařování. Tato metoda vnáší velké množství tepla do základního materiálu, a proto pro naše účely není nejvhodnější a zároveň její ekonomické klady se projevují u délkách svárových spojů nad 1000 mm, což v daném případě není.

#### **b) Svařování elektrickým obloukem v ochranném plynu 131, 135, 136, 137**

Metoda svařování tavící se elektrodou v atmosféře ochranného plynu patří globálně mezi nejrozšířenější metody svařování. Podstata této metody svařování je založena na hoření oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě plnopřířezového drátu (131, 135) nebo plněných drátů (136, 137) a základním materiálem, v ochranné atmosféře inertního (131, 137) nebo aktivního plynu (135, 136). Přídatný materiál – drát se do místa svařování

přivádí pomocí systému kladek, umístěném v podavači nebo hořáku. Svařovací proud se u této technologie svařování pohybuje v rozmezí 30 až 800 A dle tloušťky a typu svařovaného materiálu, tloušťky drátu a dle nastavení ostatních svařovacích parametrů, jako je například rychlost podávání drátu (výlet drátu). Charakter přenosu kovu do spoje obloukem závisí na svařovacích parametrech a volbě ochranného plynu. Běžný je zkratový charakter přenosu kapek kovu obloukem u tenkých plechů a sprchový u větších tloušťek. Při vysokých hodnotách svařovacího proudu se dosahuje rotačního charakteru přenosu kapek kovu obloukem.

Velice důležitým parametrem této metody svařování je volba ochranného plynu, jehož úkolem je chránit oblast svařování, zejména elektrodu, oblouk, tavnou lázeň a kořen sváru, před účinky atmosférického kyslíku, který způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost a propal legujících prvků. Ochranné plyny mají rovněž vliv na přenos kovu v oblouku, chování tavné lázně, hloubku průvaru a podílí se na metalurgických dějích při svařování. Podle rozsahu podílu na metalurgických pochodech procesu svařování lze tyto plyny rozdělit na neutrální, oxidační a nauhličující. Volba ochranného plynu se provádí dle volby přídatného materiálu a dle ekonomických a technických ukazatelů. V minulosti se nejčastěji používal jednosložkový ochranný plyn  $\text{CO}_2$  především díky jeho ekonomické dostupnosti. Nyní se většinou používají směsi argonu a jiných plynů. Volbu ochranného plynu provedu v závislosti na volbě přídatného materiálu v dalších kapitolách, kde rovněž popíši chemické účinky ochranného plynu.

Mezi hlavní výhody této technologie svařování patří možnost svařování ve všech polohách od tloušťky materiálu 0,8 mm, minimální tvorba strusky, přímá vizuální kontrola procesu svařování, malá oblast TOO a dobrá regulace procesu, nízká pórovitost a minimální rozstřík kovu. Nevýhodou tohoto procesu je vysoká náchylnost na vznik studených spojů a vad ve svárovém kovu (póry).

### **c) Svařování elektrickým obloukem netavící se elektrodou v ochranném inertním plynu 141**

Princip této metody spočívá ve svařování elektrickým obloukem, který hoří mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Elektrody jsou vyrobeny z čistého wolframu (99,9%) nebo jsou legovány oxidy kovu thoria, lanthanu, ceru, zirkonu nebo yttria. Oxidy jsou v elektrodě rovnoměrně rozptýleny. Tato metoda svařování se může aplikovat i bez přídatných materiálů (tenké plechy na tupo), ale většinou se volí přídatný materiál ve formě drátu a tyčinek dle vlastností základních materiálů.



Jako ochranný plyn se používá vždy inertní plyn. Inertní plyn chrání netavící se elektrodu, svárovou lázeň a její okolí proti vlivům okolní atmosféry, hlavně proti oxidaci způsobené vzdušným kyslíkem. Zároveň se ochranný plyn podílí na zapálení a stabilizaci elektrického oblouku a přenosu tepla do svárového spoje. Mezi hlavní představitele inertních plynů patří:

**Argon** – jedná se o jednoatomový bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu, který nevytváří chemické sloučeniny s žádným prvkem. Z důvodu malé tepelné vodivosti a nízkému ionizačnímu potenciálu se elektrický oblouk v argonu dobře zapaluje, i při relativně velké délce má vysokou stabilitu, umožňuje vysokou proudovou zatížitelnost a oblouk dosahuje vyšších teplot. Díky své hustotě (4x těžší než vzduch) není citlivý na proudění vzduchu a nejvyššího efektu se dosahuje v poloze PA. Z důvodu své univerzálnosti, vysoké čistoty (99,995 – 99,999%) a finanční dostupnosti se argon používá ze všech inertních plynů a směsí nejčastěji.

**Helium** - jedná se o jednoatomový bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu a velmi lehký plyn. Právě tato vlastnost snižuje efektivitu plynové ochrany hélia, která se zvyšuje vyšším průtokem plynu. Hélium má vyšší tepelnou vodivost a ionizační potenciál než argon, proto hoření dlouhého oblouku je nestabilní a zapalování oblouku je pracnější. Výhoda vysoké tepelné vodivosti plynu je ve vyšším přenosu tepla do svárového spoje, které se využívá u svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí, jde o měď, hliník a jejich slitiny. Hélium se velice často používá u robotizovaných procesů svařování.

Směs Ar + He – jedná se o samostatnou skupinu inertních plynů, která kombinuje výhody obou plynů. Nejčastěji se používají směsi Ar + He v % poměru 70/30, 50/50 a 30/70. Tyto směsi se používají pro svařování hliníku a mědi. Pro ostatní kovy se použití těchto směsí doporučuje pro mechanizované svařování materiálů větších tloušťek.

**Směs Ar + H<sub>2</sub>** – směs argonu s 5 – 10% vodíku zvyšuje tepelnou vodivost směsi a zvyšuje se kvalita povrchu. Důvodem je redukce oxidu vodíkem. Tuto směs lze použít pouze pro svařování vysoce legovaných austenitických nebo austeniticko-feritických CrNi ocelí nebo niklu a jeho slitin. Směs Ar + H<sub>2</sub> způsobuje u martenzitických a feritických CrNi ocelí praskavost za studena a u hliníku a mědi způsobuje pórovitost sváru.

**Směs Ar + N<sub>2</sub>** – dusík zvyšuje podobně jako vodík tepelnou vodivost směsi. Standardní obsah dusíku ve směsi s argonem je 10%. Nejčastěji se používá pro svařování mědi a jejích slitin. U ocelí způsobuje pokles mechanických vlastností svárového kovu, z důvodu vzniku nitridů.

#### **d) Svařování elektrickým obloukem obalenou elektrodou 111**

Jedná se o svařování elektrickým obloukem, který hoří mezi tavící se elektrodou a základním materiálem. Ochrana tavné lázně poskytuje tavenina obalu elektrody. Touto metodou lze svařovat v podstatě všechny materiály ve všech polohách. Svařuje se jak střídavým tak stejnosměrným proudem. Jako přídavné materiály pro tuto metodu se používají obalené elektrody, kdy na jádro je nalisován obal elektrody. Jádro je tvořeno kovovým drátem podle požadavků na chemické složení a mechanické vlastnosti svárového kovu. Složení obalu elektrody se významně podílí na procesu svařování. Hoření některých látek obalu elektrody (např. celulóza) vytváří plyny, které zabraňují přístupu vzdušného kyslíku a dusíku ke svárové lázni. Legující prvky se výrazně podílí na metalurgických pochodech svárové lázně a určují tak chemické složení a mechanické vlastnosti svárového kovu.

Metoda svařování pro variantu 1 technologicko-konstrukčního řešení heterogenního svárového spoje dílenských mezikusů a těla zpětné klapky L10 byla zvolena v následující specifikaci:

- kořenová vrstva heterogenního spoje bude provedena metodou **141**
- výplňové vrstvy sváru a opravy svárového spoje budou provedeny metodou **111**

### **3.3.2 Volba vhodných přídavných materiálů [8]**

Volba přídavných materiálů pro heterogenní svárový spoj těla zpětné klapky a dílenských mezikusů byla provedena s ohledem na chemické složení a mechanické vlastnosti základních materiálů následovně:

**Kořenová vrstva** – technologie svařování 141, přídavný materiál nízkolegovaný drát **OK Tigrod 13.12** Ø2,0 mm, výrobce ESAB Vamberk s obsahem 1% Cr a 0,5 % Mo, určený především pro svařování kořenových vrstev a tenkých dílů žárovevých a nízkolegovaných ocelí s vyšší pevností s pracovní teplotou do 450°C. Specifikace drátu dle ČSN EN ISO 21952-A je W CrMo1Si. Ochranný plyn doporučený výrobcem je dle ČSN EN ISO 14175 skupiny I1, tedy čistý argon.

**Výplňové vrstvy** – technologie svařování 111, přídavný materiál bazická elektroda **OK 76.18** Ø2,5 mm, výrobce ESAB Vamberk, určená především pro svařování energetických zařízení z ocelí typu 1Cr0,5Mo. Teplota předehřevu a teplota interpass 250°C. Specifikace elektrody dle ČSN EN ISO 3580-A je E CrMo1 B 4 2 H5.

Chemické složení a mechanické vlastnosti jednotlivých PM jsou znázorněny v tab. 6.

Chemické složení a mechanické vlastnosti PM, stav po svařování								
PM	C [hm.%]	Si [hm.%]	Mn [hm.%]	Cr [hm.%]	Mo [hm.%]	Rm [Mpa]	Rp <sub>0,2</sub> [MPa]	A <sub>5</sub> [%]
OK Tigrod 13.12	0,1	0,6	1	1,1	0,5	720	560	24
OK 76.18	0,07	0,3	0,6	1,3	0,55	620	530	20

Tab. 6 Chemické složení a mechanické vlastnosti jednotlivých PM.

### 3.4 Konstrukční řešení heterogenního spoje – varianta 2 [12]

Byla realizována zkouška ověření postupu svařování pro materiálové provedení těla klapky z oceli C 217-C5 dle ASTM a dílenské mezikusy z oceli P355NL1. Tyto materiály jsou dle TNI CEN ISO – TR 15608 zařazeny do skupin 5.3 a 1.2. Dle rozsahu kvalifikace postupu svařování, který je výsledkem zkoušky svařitelnosti, může výrobce zpětných klapek za dodržení určitých podmínek svařovat různé dimenze klapek. Při technologicko-konstrukčním řešení zpětné klapky L10 DN150 PN40 instalované do potrubí technologické páry dle daného postupu svařování je nutno dodržet především podmínky týkající se technologie svařování, jakosti základních a přídatného materiálu, rozměru svařovaných dílů, tvaru a geometrie svárového spoje.

#### 3.4.1 Volba ZM, PM a technologie svařování – varianta 2 [13,8]

Postup svařování byl stanoven pro materiálové provedení těla klapky z lité oceli A 217-C5 dle ASTM a pro dílenské mezikusy z oceli P355NL1. Tyto materiály jsou dle TNI CEN ISO – TR 15608 zařazeny do skupin 5.3 a 1.2. Rozsah kvalifikace postupu svařování umožňuje změnit základní materiály v rámci dané skupiny. Jakost oceli dílenských mezikusů by byla **P355NL1**, což je ocel dle ČSN 11503. Tato jakost oceli je dostupná, pro účely použití v potrubním systému technologické páry vhodná, proto lze tuto jakost dílenských mezikusů pro klapku L10 DN150 PN40 doporučit. Tělo klapky by bylo vyrobeno z oceli na odlitky **A 217-C5**. Jedná se o ocel dle specifikace ASTM a její dostupnost na českém trhu je sice omezená, ale není nedostupná. Vhodnějším materiálem (z důvodu dostupnosti) těla klapky v rámci skupiny 5.3 (oceli s obsahem Cr 3,5 – 7 % a Mo 0,4 – 0,7 %) by byla například ocel

na odlitky ČSN **42 2771**. Jedná se o středně legovanou, chrommolybdenovou žárovevnu ocel. Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli A 217-C5 a 42 2771 jsou pro porovnání uvedeny v tab. 7.

	A 217-C5	422 771
C [hm. %]	0,2	0,15 - 0,22
Mn [hm. %]	0,7	0,4 - 0,7
P [hm. %]	0,04	max 0,06
S [hm. %]	0,045	max 0,06
Si [hm. %]	0,75	0,2 - 0,5
Cr [hm. %]	6,5	4,0 - 6,0
Mo [hm. %]	0,65	0,45 - 0,65
Ni [hm. %]		max 0,5
Cu [hm. %]	0,5	
Mez kluzu [MPa]		380 - 420
Pevnost v tahu [MPa]		600 - 750
Tažnost [%]	18	20

**Tab. 7 Chemické složení a mechanické vlastnosti ocelí A 217-C5 a 42 2771 [13].**

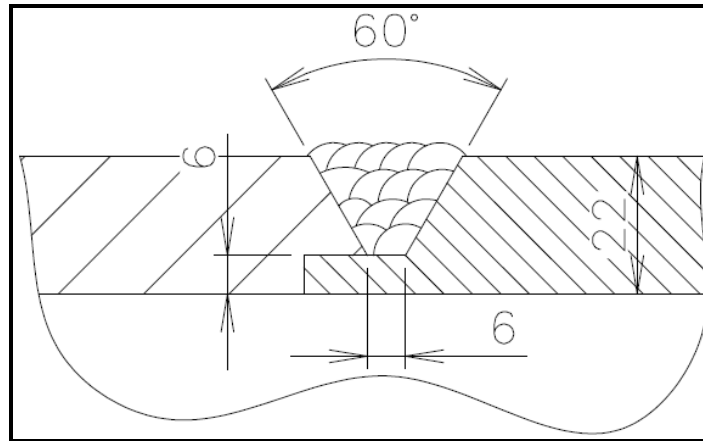
Jako přídavný materiál byl použit pro provedení zkoušky svařitelnosti drát **OK Autrod 12.22** od výrobce ESAB Vamberk, klasifikace dle EN ISO 14171-A jako drát S2Si, a to společně s tavidlem **OK Flux 10.71**, od stejného výrobce, klasifikace dle EN 760 jako tavidlo SA AB 1 67 AC H5. Tyto PM jsou dostupné a vhodné pro obě výše popsané oceli na odlitky při řešení konstrukce zpětné klapky L10 DN150 PN40.

Technologie svařování musí být stejná jako technologie, uvedená v rozsahu kvalifikace postupu svařování. Jedná se o metodu 121, svařování elektrickým obloukem pod tavidlem drátovou elektrodou, plně mechanizovaným způsobem.

### 3.4.2 Rozměry svařovaných dílů [12]

V rámci rozsahu kvalifikace postupu svařování lze pomocí technologie 121 svařovat tloušťky materiálů 17,5 – 70 mm, v poloze PA vodorovná svisle shora. Průměry dílců jsou stanoveny v poloze PA - D > 500 mm a v poloze PA s otáčením – D > 150 mm. Svárový spoj musí být vybaven podložkou, respektive tvar spoje musí být v provedení se zámkem.

Svárový spoj těla zpětné klapky L10 DN150 PN40 a dílenských mezikusů bude proveden na tlustší stěně klapky, kde průměr těla klapky je 168 mm a tloušťka stěny je 22 mm. Podložení sváru bude realizováno pomocí zámku. Tvar svárového spoje je znázorněn na obr. 10.



**Obr. 10 Tvar svárového spoje varianta 2.**

Výrobní výkres dílenského mezikusu je součástí této diplomové práce jako samostatný dokument příloha 2.1 a výkres sestavy těla klapky a dílenských mezikusů je součástí této diplomové práce jako samostatný dokument příloha 2.2.

### **3.5 Napěťová analýza svárových spojů dílenských mezikusů**

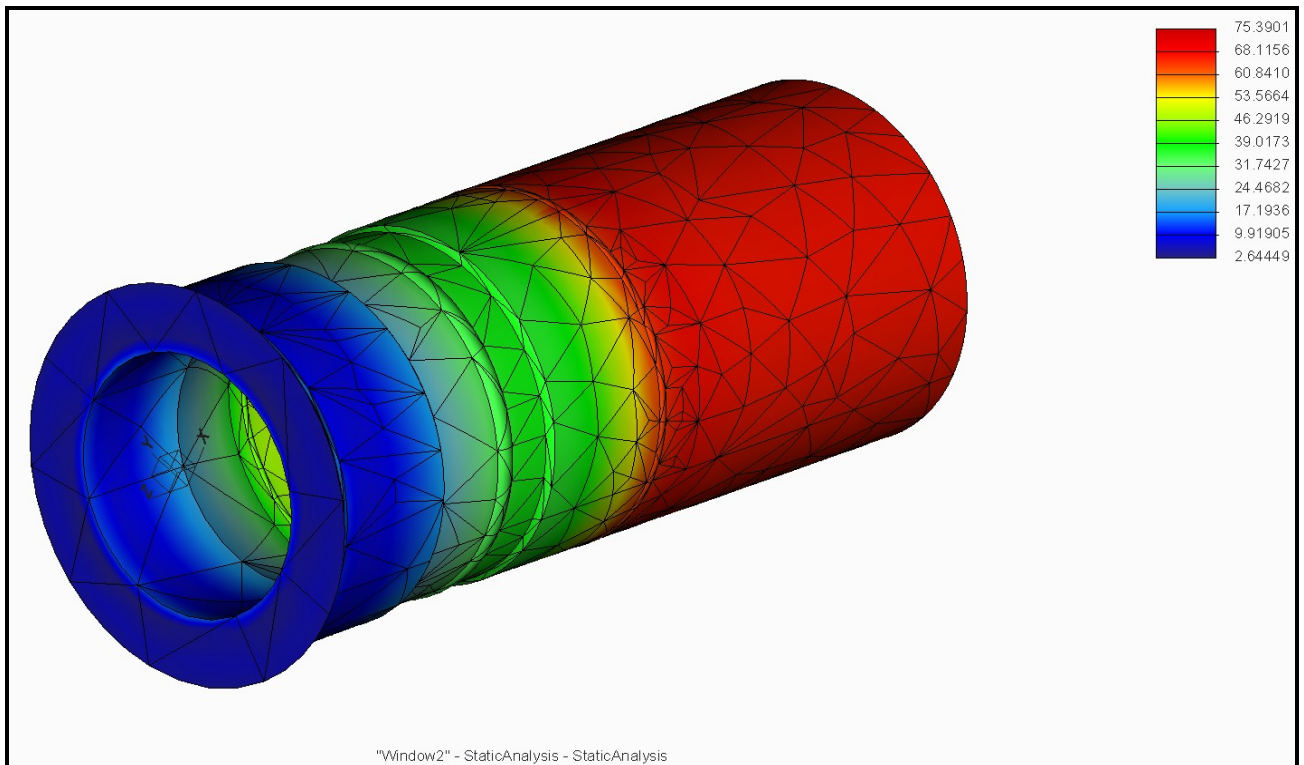
Pro provedení napěťové analýzy byl použit 3D CAD program CREO a jeho aplikace Creo simulate. Z důvodů omezených možností dané licence programu byla vymodelována část zpětné klapky L10 s přivařeným dílenským mezikusem, ke kterému byl přivařen kus trubky potrubní trasy dle navržených rozměrů. Pro každou variantu byl vymodelován stejně dlouhý díl. Byly zadány požadované parametry a celý díl byl podroben zatížení vnitřním přetlakem 40 bar, což je maximální dovolený vnitřní přetlak dané tlakové řady. Z řady možných variant napěťových analýz byly zvoleny následující metody:

#### **a) 3D analýza napětí při daném přetlaku dle hypotézy HMM (STRESS VON MISES)**

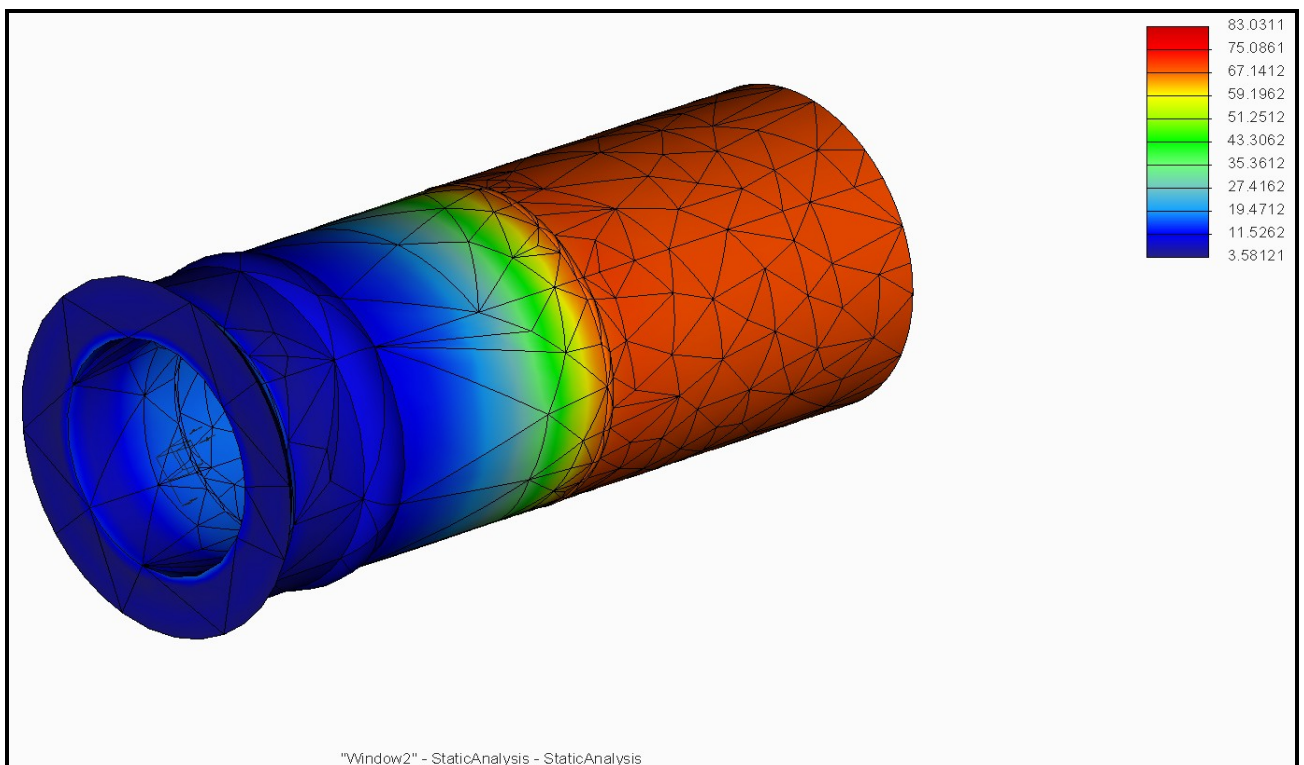
Grafické zobrazení předpokládaného napěťového stavu je znázorněno na obr. 11 pro variantu 1 a na obr. 12 pro variantu 2. Jednotky zobrazených legend analýz jsou MPa. Z obou grafů je zřejmé, že pro dané zatížení bude v místě heterogenního svárového spoje poměrně nízké napětí.

U varianty 1 se předpokládáný rozsah napětí v místě heterogenního spoje klapky a dílenského mezikusu bude pohybovat kolem hodnoty 35 MPa. Kritické místo se bude nacházet v místě montážního svárového spojení klapky a potrubní trasy.

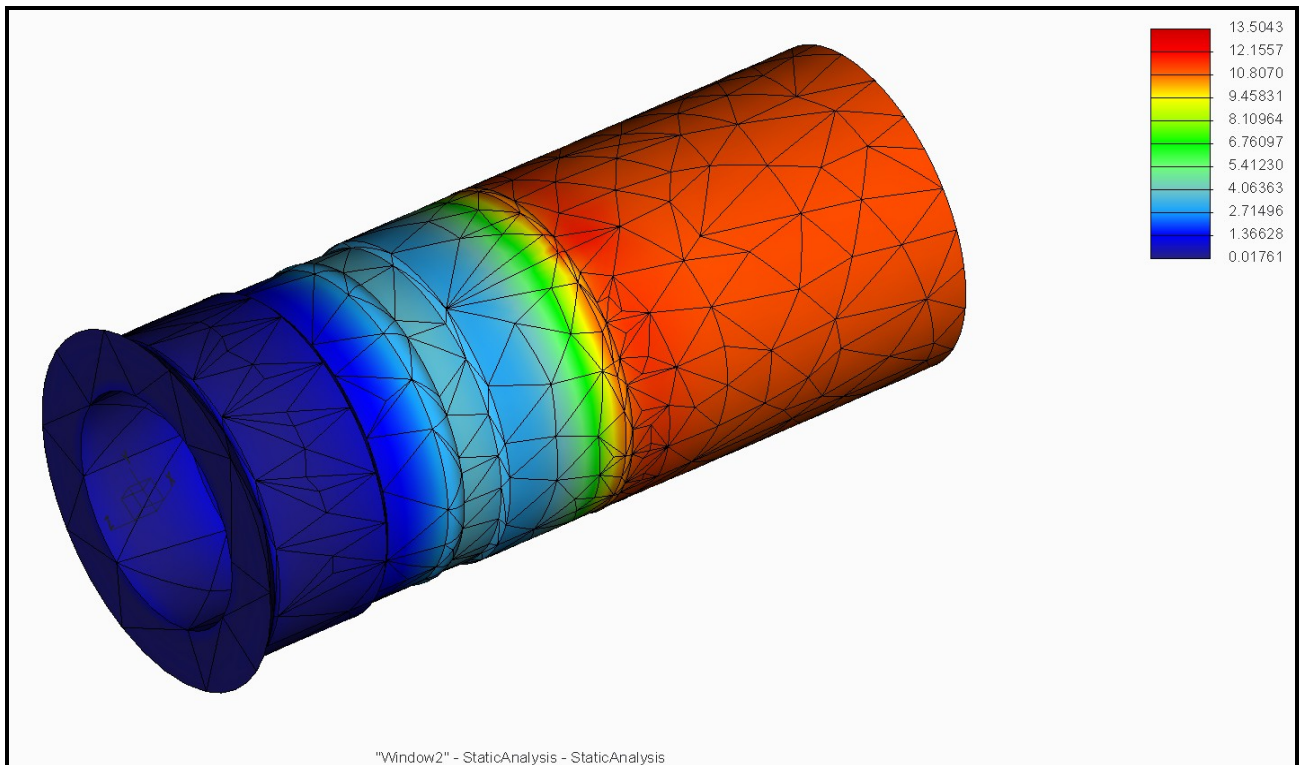
U varianty 2 se předpokládáný rozsah napětí v místě heterogenního spoje klapky a dílenského mezikusu bude pohybovat pouze kolem hodnoty 10 MPa. Kritické místo se bude také nacházet v místě montážního svárového spojení klapky a potrubní trasy.



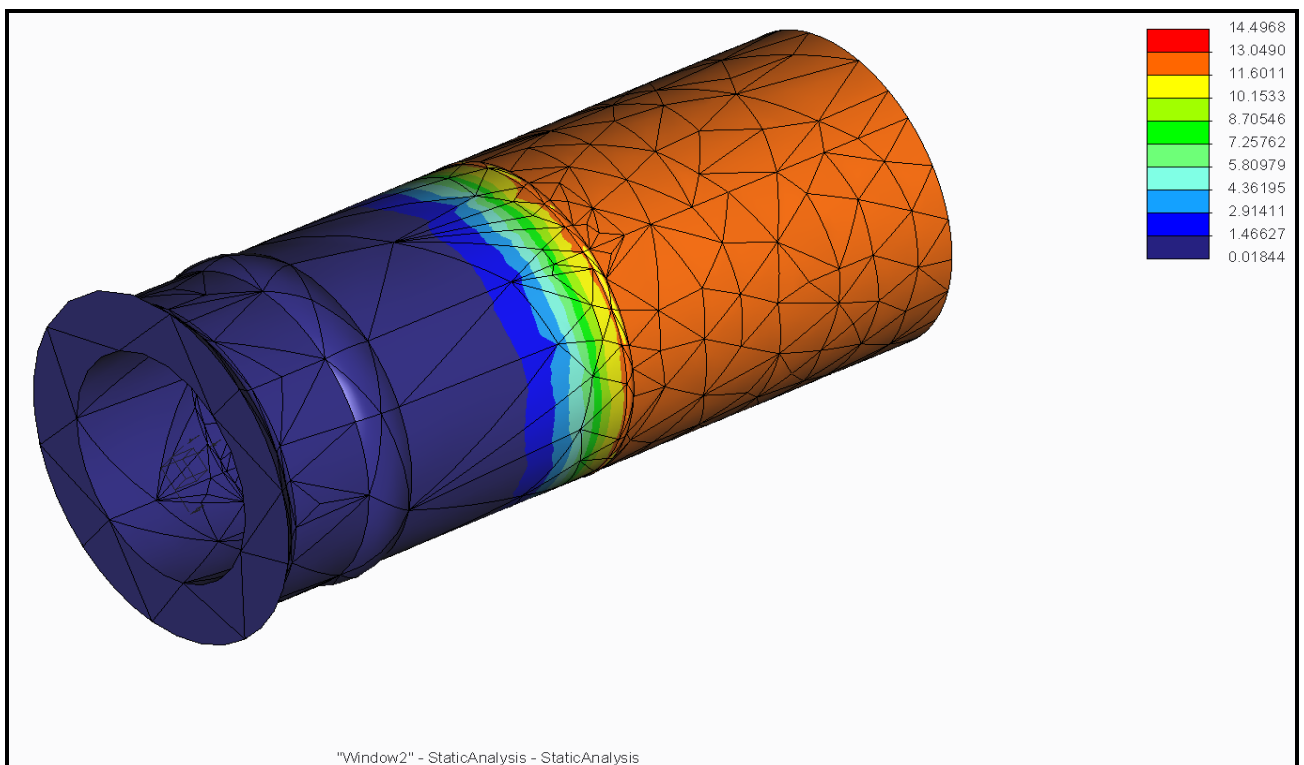
Obr. 11 Průběh napětí STRESS VON MISES varianta 1.



Obr. 12 Průběh napětí STRESS VON MISES varianta 2.



**Obr. 13 Průběh napětí STRAIN ENERGY PER UNIT VOLUME varianta 1.**



**Obr. 14 Průběh napětí STRAIN ENERGY PER UNIT VOLUME varianta 2.**

**b) 3D analýza napětí při daném přetlaku metodou deformační energie na jednotku objemu (STRAIN ENERGY PER UNIT VOLUME)**

Grafické zobrazení předpokládaného napěťového stavu je znázorněno na obr. 13 pro variantu 1 a na obr. 14 pro variantu 2. Jednotky zobrazených legend analýz jsou MPa. Z obou grafů je opět zřejmé, že pro dané zatížení bude v místě heterogenního svárového spoje poměrně nízké napětí.

U varianty 1 se předpokládaný rozsah napětí v místě heterogenního spoje klapky a dílenského mezikusu bude pohybovat kolem hodnoty 3,5 MPa. Kritické místo se bude nacházet v části potrubní trasy.

U varianty 2 se předpokládaný rozsah napětí v místě heterogenního spoje klapky a dílenského mezikusu bude pohybovat pouze kolem hodnoty 1 MPa. Kritické místo se bude také nacházet v části potrubní trasy.



# 4 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU SVAŘOVÁNÍ V PROVOZNÍCH PODMÍNKÁCH – VARIANTA 1

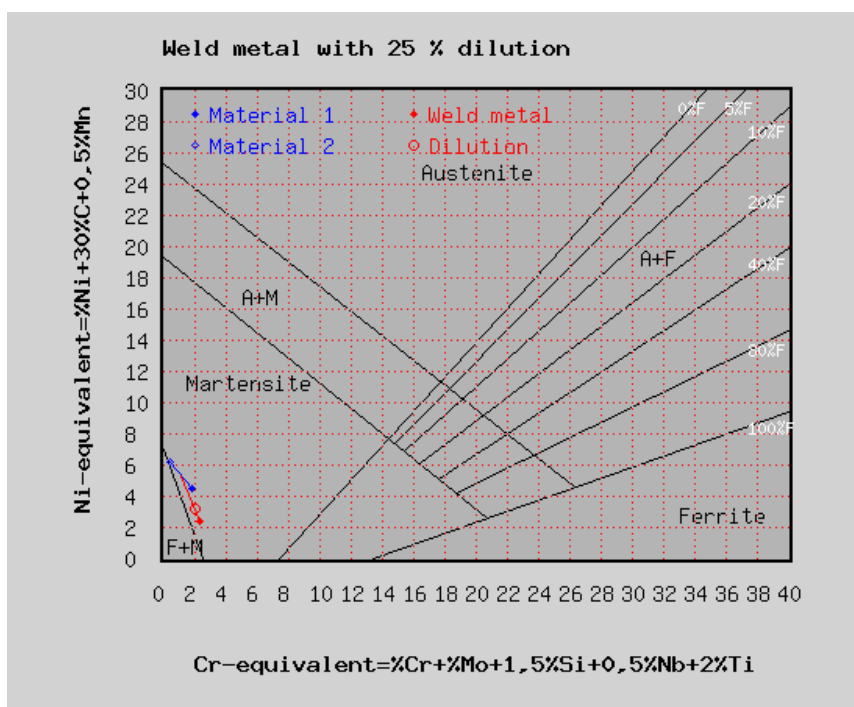
## 4.1 Specifikace předpokládané struktury [11]

Za účelem specifikace předpokládané struktury pomocí Schaefflerova diagramu musíme znát chemické složení jednotlivých ZM a PM. Toto je znázorněno v tab. 8.

	C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S	Ni	Cu
ZM1-ocel 15 121	0,14	0,55	0,25	1	0,5	0,02	0,02		
ZM1-ocel 12 022	0,19	0,55	0,27			0,02	0,02	0,13	0,13
OK 76.18	0,07	0,60	0,30	1,30	0,55				

Tab. 8 Chemické složení ZM a PM v hm. %.

Dosazením chemického složení do aplikace pro tvorbu Schaefflerova diagramu vznikne graf, který je znázorněn na obr. 15.



Obr. 15 Schaefflerův diagram pro svárový spoj ZM1+ZM2+PM [11].

Z tohoto grafu je patrné, že vzniklá struktura bude směsí křehké martenzitické struktury. Jedná se o strukturu náchylnou k zakalení a zkřehnutí. Je nutné dodržet při svařování všechny náležitě postupy, především teplotu předehřevu, a zároveň z důvodu možného sekundárního zkřehnutí minimalizovat tepelný příkon při svařování a dodržení maximální teploty interpass. Také se jedná o strukturu náchylnou na vznik studených trhlin, proto je nutné minimalizovat množství difuzního vodíku v procesu svařování, jednak použitím přídavného materiálu elektrody OK 76.18, která má deklarovaný obsahu difuzního vodíku do 5 ml/100g svárového kovu, ale také čistotou svárových ploch.

## 4.2 Teplota předehřevu [1]

Teplotu předehřevu můžeme stanovit několika způsoby. Jednou z možností je stanovení teploty předehřevu dle ČSN EN 1011-2 – metoda A pro svařování nelegovaných, jemnozrnných a nízkolegovaných ocelí. Princip této metody je založen na odečítávání teploty předehřevu  $T_p$  z grafů uvedených v normě, které vyjadřují vliv obsahu difuzního vodíku, kombinované tloušťky spoje, hodnoty ekvivalentního uhlíku a tepelného příkonu na minimální požadovanou teplotu předehřevu.

### Stupeň obsahu difuzního vodíku

Stupeň obsahu difuzního vodíku stanovuje výrobce přídavného materiálu. V tab. 9 je znázorněno rozdělení přídavných materiálů do skupin dle obsahu difuzního vodíku.

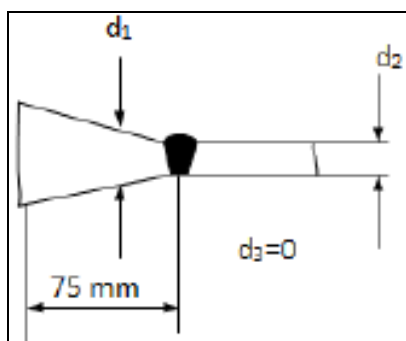
Obsah difuzního vodíku (ml/100 g svár. kovu)	Stupeň obsahu vodíku
> 15	<b>A</b>
10 ≤ 15	<b>B</b>
5 ≤ 10	<b>C</b>
3 ≤ 5	<b>D</b>
≤ 3	<b>E</b>

Tab. 9 Rozdělení PM do skupin dle obsahu difuzního vodíku

Přídavný materiál elektroda OK 76.18 je dodáván s obsahem difuzního vodíku do 5 ml/100g svárového kovu, tudíž budeme předpokládat nejvyšší možnou hodnotu **5 ml/g** svárového kovu.

### Kombinovaná tloušťka

Jedná se o součet tloušťek základních materiálů svárového spoje do vzdálenosti 75 mm od svárové hrany. Pro tyto účely budeme uvažovat o největší tloušťce základních materiálů. U těla zpětné klapky, které není symetrické vzhledem ke středu klapky, je největší tloušťka na straně čepu ramene klapky a jedná se o hodnotu  $d_1 = 28$  mm. U dílenského mezikusu je největší tloušťka stěny v této vzdálenosti  $d_2 = 9$  mm. Na obr. 16 je znázorněn princip výpočtu kombinované tloušťky  $d_1 + d_2 + d_3$ . Kombinovaná tloušťka svárového spoje zpětné klapky a dílenského mezikusu je **37 mm**.



Obr. 16 Princip výpočtu kombinované tloušťky [1].

### Teplo vnesené do sváru

Hodnota tepelného příkonu vneseného do sváru se vypočítá dle ČSN EN 1011-1

$$Q = k \times \frac{U \times I}{v} \times 10^{-3} \quad [\text{kJ} \times \text{mm}^{-1}] \quad (6)$$

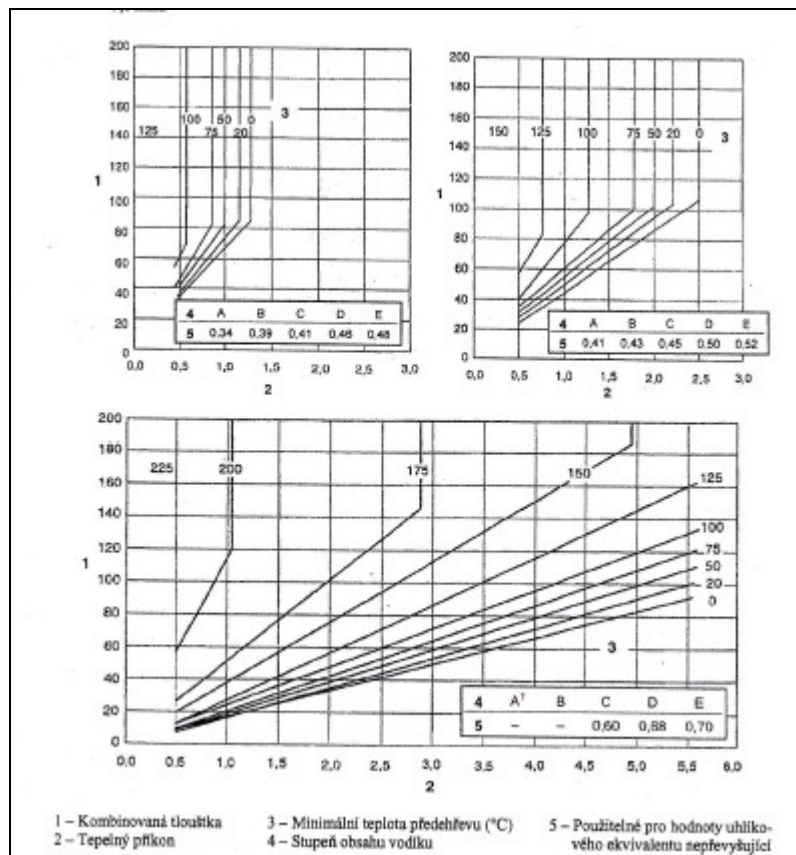
Kde	Q	Množství tepla na jednotku délky přivedeného do sv. spoje
	k	Koeficient tepelné účinnosti metody svařování
	U	Napětí při svařování [V]
	I	Intenzita svařovacího proudu [A]
	v	Rychlost svařování [ $\text{mm} \times \text{s}^{-1}$ ]

Pro přídavný materiál elektrodu OK 76.18 Ø 2,5 mm budou dosazeny tyto hodnoty

$$Q = 0,8 \times \frac{24 \times 100}{8} \times 10^{-3}$$

$$Q = 0,24 \text{ kJ} \times \text{mm}^{-1}$$

Pro určení teploty předehřevu použijeme grafy uvedené na obr. 17, ale vypočítané hodnoty jsou tak nízké, že nelze touto metodou určit teplotu předehřevu.



Obr. 17 Grafy pro odpočet teploty předehřevu dle ČSN EN 1011-2 metoda A [1].

Pro výpočet teploty předehřevu nelze použít metodu B stejné normy, protože tato metoda je použitelná pro oceli skupin 1 až 4 dle TNI CEN ISO/TR 15608. Stejná norma rovněž určuje minimální teplotu předehřevu pro svařování žárovečných ocelí odečtením z tabulky znázorněné v tab. 10. Dle této tabulky je minimální teplota předehřevu a zároveň minimální teplota interpass pro oceli typu 1Cr 0,5Mo o tloušťce nad 15 mm 100 °C a maximální teplota interpass 300 °C.

V kapitole 2.5.2 byl již proveden předběžný výpočet teploty předehřevu dle Seferiana a výsledek byl stanoven na hodnotě 170 °C.

Norma ČSN 41 5121 uvádí pro svařování oceli 15 121 nutný předehřev svařované oblasti na teplotu 200 – 300 °C.

Výrobce přídavného materiálu společnost ESAB v technickém listu pro elektrodu OK 76.18 uvádí teplotu předehřevu 250 °C.

Typ oceli	Tloušťka (mm)	Minimální teplota předehřevu a minimální teplota Interpass (°C)			Maximální teplota interpass (°C)
		Stupeň obsahu vodíku			
		D ≤ 5 (ml/100 g)	C 5 až 10 (ml/100 g)	A > 15 (ml/100 g)	
0,3 Mo	≤ 15	20	20	100	250
	>15 ≤ 30	75	75	100	
	> 30	75	100	nepoužitelné	
1 Cr 0,5 Mo 1,25 Cr 0,5 Mo	≤ 15	20	100	150	300
	> 15	100	150	nepoužitelné	
0,5 Cr 0,5 Mo 0,25 V	≤ 15	100	150	nepoužitelné	300
	> 15	100	200	nepoužitelné	
2,25 Cr 1 Mo	≤ 15	75	150	200	350
	> 15	100	200	nepoužitelné	
5 Cr 0,5 Mo 7 Cr 0,5 Mo 9 Cr 1 Mo	všechny	150	200	nepoužitelné	350
12 Cr Mo V	≤ 8	150	nepoužitelné	nepoužitelné	300 <sup>a</sup> 450 <sup>b</sup>
	> 8	200 <sup>a</sup> 350 <sup>b</sup>	nepoužitelné	nepoužitelné	

a Martenzitická metoda, při které je teplota předehřevu nižší než teplota počátku martenzitické transformace M<sub>s</sub> a transformace na martenzit nastává při svařování.  
b Austenitická metoda, při které je teplota předehřevu vyšší než M<sub>s</sub> a spoj musí být ochlazen pod M<sub>s</sub>, aby bylo zajištěno, že transformace na martenzit nastane před tím, než je použito jakékoliv tepelné zpracování po svařování.

**Tab. 10 Min. teploty předehřevu a max. teploty interpass pro žárovečné oceli dle ČSN EN 1011-2 [1]**

Z těchto podkladů a výpočtů byla minimální teplota předehřevu a zároveň minimální teplota interpass stanovena na hodnotu udávanou výrobcem **250 °C**. Pro maximální teploty interpass byla zvolena teplota uvedená v normě ČSN EN 1011-2, a to hodnota **300 °C**. Klázení jednotlivých vrstev svárového kovu ve spoji zpětné klapky L10 a dílenského mezikusu bude probíhat v rozmezí teplot **250 – 300 °C**.

### 4.3 Hodnocení náchylnosti oceli ke studeným trhlinám [1]

Hodnocení dané oceli se provádí výpočtem, který sčítá vliv chemického složení oceli, vliv difuzního vodíku a vliv tuhosti svařovaného spoje. Parametr praskavosti **P<sub>w</sub>** je vyjádřen vztahem:

$$P_w = P_{cm} + \frac{Hd}{60} + \frac{K}{40 \times 10^4} \quad [\%] \quad (7)$$

Příčmež

$$K = K_0 h$$

Kde P<sub>cm</sub>

uhlíkový ekvivalent dle Ito a Bessyo

K

Intenzita tuhosti

K<sub>0</sub>

Měrná tuhost pro tupý spoj 69

Hd

Obsah difuzního vodíku

h

Tloušťka svařovaného materiálu

Nejprve je nutno stanovit uhlíkový ekvivalent dle Ito a Bessyho dosazením chemického složení oceli 15 121 do vzorce (8):

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (8)$$

$$P_{cm} = 0,14 + \frac{0,25}{30} + \frac{0,55}{20} + \frac{1}{20} + \frac{0,5}{15} = 0,26 \%$$

Následně bude vypočtena intenzita tuhosti  $K = K_{oh} = 69 \times 7 = 483$

Oba výpočty budou dosazeny do rovnice parametru praskavosti **Pw**

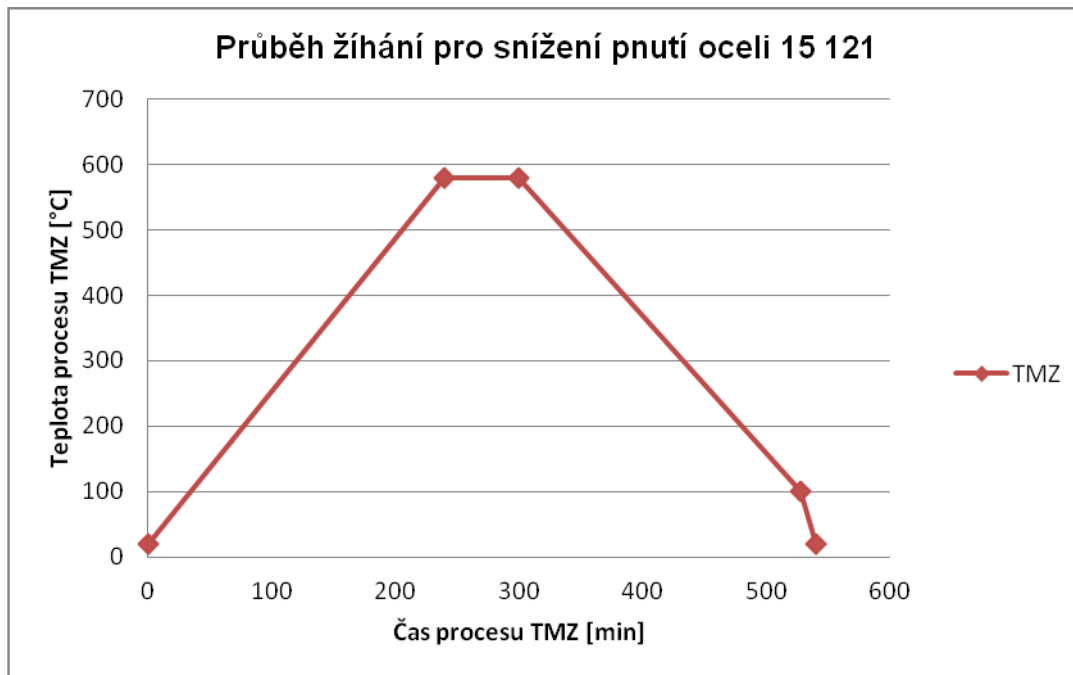
$$P_w = 0,26 + \frac{5}{60} + \frac{483}{40 \times 10^4} = 0,345 \%$$

Ocel je náchylná ke vzniku studených trhlin v případě, že hodnota **Pw** je vyšší než 0,3%. Tento výpočet umocnil nutnost důkladného dodržení tepelného režimu během procesu svařování.

#### 4.4 Návrh tepelného zpracování [1,15]

Po přivaření dílenského mezikusu k tělu zpětné klapky L10 je doporučeno provést tepelné zpracování svárového spoje s cílem uvolnění akumulovaného pnutí ve spoji. Podstata tohoto procesu spočívá v ohřevu dílu na teplotu určenou pro žihání ke snížení pnutí, po prodlevě následuje řízené ochlazování v peci a po dosažení určité teploty se díl dochladí na vzduchu. Dle ČSN EN ISO 13480-4, tabulka 9.14.1-2 Tepelné zpracování kombinovaných materiálů po svařování - je teplota pro žihání ke snížení pnutí heterogenního svárového spoje oceli skupin 5.1 a 1.1 dle TNI CEN ISO – TR 15608 stanovena v rozsahu 550 až 600 °C.

Pro tepelné zpracování žiháním ke snížení pnutí celého svařovaného dílu zpětné klapky L10 a dílenského mezikusu bude teplotu procesu **580 °C ±20 °C**. Rychlost ohřevu a ochlazování bude stejná, a to **150 °C/h**. Délka výdrže na žihací teplotě bude **1h**. Po dosažení teploty dílu 100 °C při řízeném ochlazování bude ponechán díl volně se dochládit na vzduchu na teplotu okolí. Průběh žihání ke snížení pnutí je znázorněn na obr. 18.



**Obr. 18 Průběh tepelného zpracování svařovaného dílu klapky L10 a dílenského mezikusu.**

Po provedení žihání ke snížení pnutí svárového spoje je nutno provést kontrolu těsnosti funkčních ploch klapky, v případě potřeby znovu opracovat na požadované parametry těsnosti. Složení mechanických dílů bude provedeno jako poslední montážní operace.

#### **4.5 Souhrn potřebných informací a návrh zkoušky postupu svařování [12,14]**

Pro návrh zkoušky postupu svařování je vhodné všechny potřebné známé informace shrnout do jednoho celku. Návrh zkoušky svařování se provádí dle ČSN EN ISO 15614-1.

##### **Informace o základních materiálech**

ZM1 ocel 15 121

skupina 5.1 dle TNI CEN ISO/TR 15608

ZM2 ocel 12 121

skupina 1.1 dle TNI CEN ISO/TR 15608

##### **Informace o tvaru svárového spoje**

Vnější průměr x tloušťka stěny

Ø164 x 7 mm

Úprava konců k přivaření

dle ČSN 13 1075

Tvar svárového spoje

tupý V svar s osazením

##### **Informace o technologii svařování a přídavném materiálu**

- Kořenová vrstva

Technologie svařování

metoda 141 TIG

Obchodní název PM	drát OK Tigrod 13.12, $\varnothing$ 2,0 mm
Výrobce PM	ESAB Vamberk, a.s.
Specifikace PM	W CrMo1Si dle ČSN EN ISO 21952-A
Ochranný plyn	100% argon, I1 dle ČSN EN ISO 14175
- Výplňové vrstvy	
Technologie svařování	metoda 111 MMA
Poloha svařování	PA vodorovná shora
Obchodní název PM	elektroda OK 76.18, $\varnothing$ 2,5 mm
Výrobce PM	ESAB Vamberk, a.s.
Specifikace PM	E CrMo1B 4 2 H5 dle EN ISO 3580-A

### **Teploty svar. procesu a TMZ**

Teplota předehřevu	250 °C
Teplota interpass	300 °C
Druh TMZ	Žihání pro snížení pnutí, ohřev v peci
Teplota TMZ	580 °C $\pm$ 20 °C
Doba výdrže na max. teplotě	1 h
Rychlost ohřevu	150 °C/h
Rychlost ochlazování	150 °C/h do dosažení 100 °C

Při návrhu zkoušky postupu svařování se bude postupovat dle ČSN EN ISO 15164-1. Jedná se o mezinárodní normu, která stanovuje způsob kvalifikace předběžné specifikace postupu svařování zkouškami svařování. Tato norma definuje podmínky pro provádění zkoušek postupu svařování a zároveň jasně definuje rozsah kvalifikace pro postupy svařování. Pro návrh zkoušky postupu svařování je nutno stanovit ještě tyto parametry:

**Tvar a rozměr zkušebních kusů** – z důvodu dostupnosti vhodných polotovarů pro zkoušku svařování bude tato zkouška prováděna na hladké bezešvé trubce  $\varnothing$ 108 x 10 mm spojené na tupo s plným průvarem, délka kusu trubky musí být minimálně 150 mm. Rozsah této zkoušky bude platit i pro trubky v rozsahu průměru  $\geq$  0,5 D, tedy od průměru 54 mm. Tloušťka svarového spoje bude dle rozsahu kvalifikace platná pro tloušťky 0,5 t až 2 t, tedy v rozsahu tloušťek 5 až 20 mm. Počet svařených vzorků musí být dostačující pro provedení destruktivních a nedestruktivních zkoušek svárového spoje.

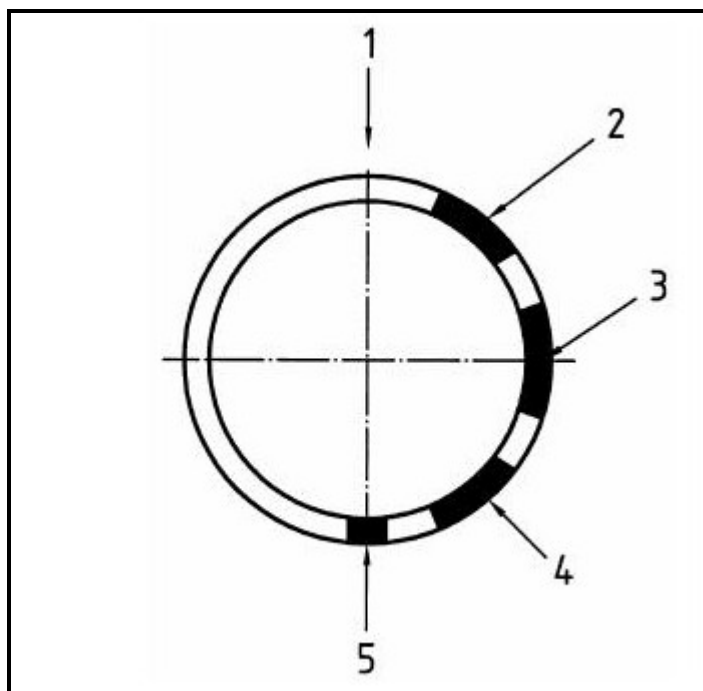
**Kontrola a zkoušení zkušebních kusů** – dle ČSN EN ISO 15614-1 kap. 7.1 je provedení destruktivních a nedestruktivních zkoušek tupých svárových spojů s plným průvarem požadováno v rozsahu dle tab. 11.



Kontrola a zkoušení zkušebních kusů			
Typ zk.	Druh zkoušky	Rozsah zkoušení	Provedení
Nedestruktivní	Vizuální kontrola	100%	
	Radiografická nebo ultrazvuková zkouška	100%	Radiografická
	Zkouška na povrchové trhliny	100%	Penetrační
Destruktivní	Příčná zkouška tahem	2 vzorky	
	Příčná zkouška lámavosti	4 vzorky	
	Zkouška rázem v ohybu	2 sady	
	Zkouška tvrdosti	1 vzorek	
	Kontrola makrostruktury	1 vzorek	

**Tab. 11 Rozsah zkoušek zkušebních kusů dle ČSN EN ISO 15614-1.**

Zkušební vzorky musí být odebrány ze zkušebního dílu po provedení všech nedestruktivních zkoušek, které vyhověly požadavkům na přípustnost vad dle předpisů pro jednotlivé typy zkoušek. Zkušební vzorky je možno odebrat pouze z míst, kde se nevyskytují přípustné vady v rámci mezních hodnot přípustnosti pro použitou nedestruktivní metodu. Umístění zkušebních vzorků pro tupý spoj na trubce je znázorněn na obr. 19, kde vrcholový bod pro nastavení trubky je označen číslem 1, oblast odběrů vzorků pro zkoušku lámavosti a tahovou zkoušku je označena číslem 2 a 4, oblast odběrů vzorků pro zkoušku rázem v ohybu je označena číslem 3 a oblast odběrů vzorků pro zkoušku tvrdosti a kontrolu makrostruktury je označena číslem 5.



**Obr. 19 Umístění zkušebních vzorků pro tupý spoj na trubce [12].**

**Kvalifikace svářečů** - Svařování zkušebních vzorků musí provádět pouze osoby s platnou kvalifikací svářečů dle ČSN EN 287-1. Pro provedení svárového spoje zkušebního vzorku z jakosti oceli 15 121 a 12 022 je nutný následující rozsah kvalifikace svářečů:

- Kořenová vrstva **141 T BW 5/1.1 S D108t10 PA ss nb sl**
- Výplňové vrstvy **111 T BW 5/1.1 B D108t10 PA ss ml**

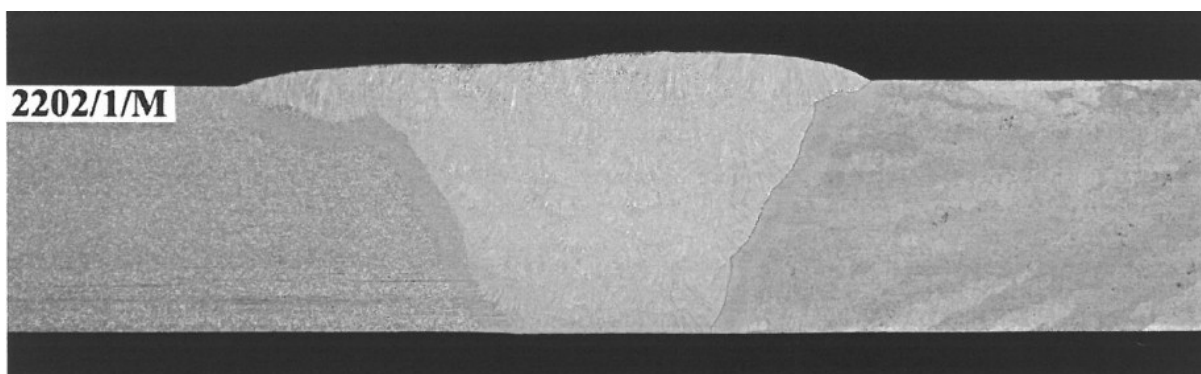
Předběžná specifikace postupu svařování pWPS, zpracována podle ČSN EN ISO 15614-1 pro ověření postupu svařování svárového spoje zpětné klapky L10 DN150 PN40 jakosti ocel 15 121 a dílenského mezikusu jakosti ocel 12 022, je součástí této diplomové práce jako samostatný dokument příloha č. 1.4.

## 5 ZKOUŠKY KVALIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ – VARIANTA 2

V rámci procesu zkoušky postupu svařování a dle předběžné specifikace postupu svařování bylo provedeno svaření zkušebních vzorků z materiálu skupiny dle TNI CEN ISO – TR 15608, zařazený do skupin 5.3 a 1.2. Jednalo se o dva plechy tloušťky 25 mm, jakosti A 217-C5 dle ASTM a P355NL1. Po svařování bylo provedeno na svařeném dílu tepelné zpracování v podobě ohřevu na 600 °C s výdrží na této teplotě 70 min. Rychlost ohřevu a ochlazování byla 120 °C/h. Následně byly z tohoto kusu odebrány zkušební vzorky, které byly podrobeny zkouškám v souladu s ČSN EN ISO 15614-1.

### 5.1 Metalografické šetření

Na zkušebním vzorku byl proveden výbrus a následně byla plocha naleptána 15% koncentrátem nitalu ( $\text{HNO}_3$ ). Po analýze makrostruktury svárového spoje byla určena šířka TOO, který nepřekročila hodnotu 4,0 mm. Ve svárovém spoji nebyly zjištěny vady v souladu s ČSN EN ISO 15614-1 a svárový spoj je z tohoto hlediska vyhovující. Na obr. 20 je znázorněna makrostruktura svárového spoje.



Obr. 20 Makrostruktura zkušebního vzorku, lept 15%  $\text{HNO}_3$ .

### 5.2 Nedestruktivní zkoušky

Svárový spoj zkušebního vzorku byl podroben nedestruktivním zkouškám. Jednalo se o zkoušku vizuální, penetrační a radiografickou. Rozsah zkoušek dle daných normativ a výsledky zkoušek jsou zobrazeny v tab. 12.

Zkouška	Prováděcí předpis	Požadavek dle předpisu	Výsledek
Vizuální zkouška VT	ČSN EN ISO 17637	ČSN EN ISO 5817 stupeň jakosti B, C	VYHOVUJÍCÍ
Penetrační zkouška PT	ČSN EN 571-1	ČSN EN ISO 23277 stupeň přípustnosti 2X	VYHOVUJÍCÍ
Radiografická zkouška RT	ČSN EN 1435	ČSN EN 12517-1 stupeň přípustnosti 1	VYHOVUJÍCÍ

**Tab. 12 Rozsah a výsledky nedestruktivních zkoušek.**

## 5.3 Destruktivní zkoušky

### 5.3.1 Příčná zkouška tahem

Příčná zkouška tahem byla provedena na zkušebních vzorcích odebraných ze svařeného dílu kolmo na osu sváru. Průřez zkušebního vzorku byl 25 x 10 mm. Zkouška se provádí dle ČSN EN ISO 5173 a množství a typy přípustných vad jsou definovány v ČSN EN ISO 15614-1. Výsledky příčné zkoušky tahem jsou zobrazeny v tab. 13.

Příčná zkouška tahem				
Vzorek	Teplota [°C]	R <sub>m</sub> [Mpa]	Zatížení [kN]	Místo porušení
Požadavek	20	min 490		
I.	20	531	308	Mimo svar, mat P355NL1
II.	20	532	306	Mimo svar, mat P355NL1

**Tab. 13 Výsledky příčné zkoušky tahem.**

### 5.3.2 Zkouška lámavosti

Příčná zkouška lámavosti bočním ohybem byla provedena na zkušebních vzorcích odebraných ze svařeného dílu kolmo na osu sváru. Rozměry zkušebních vzorků byly 25 x 10 x 300 mm. Zkouška se provádí dle ČSN EN ISO 5173 a požadavky na ohyb vzorku jsou definovány v ČSN EN ISO 15614-1. Výsledky příčné zkoušky lámavosti bočním ohybem jsou zobrazeny v tab. 14.

Příčná zkouška lámavosti bočním ohybem					
Vzorek	Teplota [°C]	Ø trnu	Vzdal. mezi podp.	Úhel ohybu [°]	Výsledek
O1 - O4	20	46 mm	76 mm	180	Vyhovující

Tab. 14 Výsledky příčné zkoušky lámavosti bočním ohybem.

### 5.3.3 Zkouška rázem v ohybu

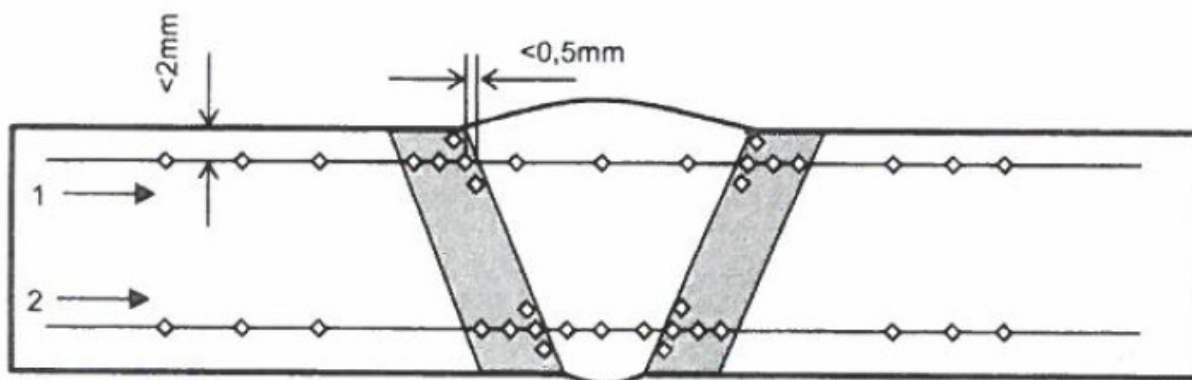
Zkouška rázem v ohybu byla provedena na zkušebních vzorcích odebraných ze svařeného dílu kolmo na osu sváru. Celkově byla provedena zkouška rázem v ohybu na devíti vzorcích. Na třech vzorcích byl V-vrub umístěn v ose sváru, na třech vzorcích byl V-vrub umístěn v TOO na straně oceli skupiny 5.3 a na posledních třech vzorcích byl V-vrub umístěn v TOO na straně oceli skupiny 1.2. Vrub byl umístěn vždy kolmo k povrchu svárového spoje. Výsledky zkoušky rázem v ohybu jsou zobrazeny v tab. 15.

Zkouška rázem v ohybu						
Vzorek	Označení vrubu	Strana umístění	Typ tyče	Teplota	Nárazová práce [J]	Požadavek
V1 - V3	VWT		KV <sub>2</sub>	20°C	160	min 27 J
					144	
					135	
V4 - V6	VHT	Sk. 5.3		20°C	223	min 27 J
					241	
					252	
V7 - V9	VHT	Sk. 1.2	KV2	20°C	64	min 27 J
					60	
					53	

Tab. 15 Výsledky zkoušky rázem v ohybu.

### 5.3.4 Zkouška tvrdosti

Zkouška tvrdosti byla provedena na výbrusu vzorku, který byl odebrán z dílu kolmo na osu sváru. Umístění jednotlivých vpichů na zkušebním vzorku je znázorněno na obr. 21.



Obr. 21 Umístění vpichů na zkušebním vzorku zkoušky tvrdosti [1].

Výsledky zkoušky tvrdosti svárového spoje jsou zobrazeny v tab. 16.

Zkouška tvrdosti						
Umístění	Řada 1			Řada 2		
Mat 1.2	139			155		
	159			154		
	153			161		
TOO	159			160		
	172			167		
	185	192	182	182	180	175
Svar. kov	170			178		
	185			177		
	176			207		
TOO	208	194	243	236	239	266
	254			227		
	236			217		
Mat 5.3	195			210		
	210			208		
	209			228		
MAX	254			266		
MIN	139			154		
Požadavek	max. 350 HV 10			max. 350 HV 10		

Tab. 16 Výsledky zkoušky tvrdosti svárového spoje.

## 5.4 Závěr provedených zkoušek

Všechny provedené zkoušky svárového spoje zkušební dílu z materiálů zařazených do skupin 5.3 a 1.2 dle TNI CEN ISO – TR 15608 **vyhověly** ve všech provedených nedestruktivních a destruktivních zkouškách a zároveň i v metalografické analýze.

Z výsledků zkoušek byl dle ČSN EN ISO 15614-1 sestaven protokol o kvalifikaci postupu svařování WPS.

## 6 ZÁVĚR

Tato diplomová práce je věnována problematice heterogenního svarového spoje, který vznikne při instalaci zpětné klapky L10 DN150 PN40 do potrubní trasy středotlaké páry DN150. Zpětná klapka je vyrobena z rozdílné jakosti oceli, než je jakost potrubí. Jelikož instalace zpětné klapky bude řešena montážním svařováním na místě, je nutné zajistit vznik jakostního montážního svarového spoje. V první části diplomové práce je popisováno dispoziční řešení potrubní trasy, zdůvodněna instalace zpětné klapky L10, její výhody, funkce a princip instalace. Dále je provedena studie vlastností použitých materiálů, dle standardu investora, které určují jakost potrubních dílů umisťovaných do energetických potrubních tras. Jedná se o ocel 13 CrMo 4-5 (ČSN 15 121) a ocel P 265 GH (ČSN 12 022). Jsou popsány jejich mechanické vlastnosti, chemické složení, vliv legujících prvků na vlastnosti jednotlivých ocelí. Důležitým krokem bylo rozdělení daných jakostí oceli do skupin dle TNI CEN ISO – TR 15608. U jakosti materiálů dílenských mezikusů se jedná o skupinu 1.1, oceli se zaručenou mezí kluzu a u jakosti materiálů těla klapky se jedná o skupinu 5.1, oceli s daným obsahem Cr a Mo. Tato rozdílnost se ukázala jako problematická z hlediska montážního svařování. Po analyzování tepelného zpracování základních materiálů, především oceli 15 121, je stanovena předběžná teplota předehřevu. Pomocí Schaefflerova diagramu je provedena specifikace předpokládané struktury, která vznikne svařením základních materiálů bez použití přídavného materiálu.

V části návrhu experimentálního programu návrh heterogenního svarového spoje je provedena studie problematiky heterogenních spojů a analýza variant technologičnosti konstrukce svarového spoje. Bylo zvoleno konstrukční řešení přivaření dílenských mezikusů k tělu klapky stejné skupiny materiálů jako trubky potrubní trasy, kdy se vznik heterogenního svarového spoje řeší v podmínkách svářečského pracoviště s možností hodnotného tepelného zpracování svařované konstrukce. Takto upravená zpětná klapka je instalována do potrubního systému pomocí homogenního svarového spoje, jedná se o stejnou skupinu jakostí oceli se zaručenou svařitelností u obou celků. Jsou analyzovány možné varianty řešení.

Pro variantu 1 konstrukčně-technologického řešení je zvolena vhodná technologie svařování. Pro kořenovou vrstvu je to metoda svařování elektrickým obloukem, netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu MIG, metoda 141. Pro tuto technologii svařování, dle chemického složení oceli 15 121 a podle ČSN EN ISO 21952-A, je specifikován vhodný přídavný materiál klasifikace W CrMo1Si a vybrán svařovací drát od



společnosti ESAB OK Tigrod 13.12  $\varnothing$  2,0 mm. Dle doporučení výrobce PM je vybrán ochranný plyn I1, inertní plyn o složení 100% Ar. V další části diplomové práce je pro tuto variantu zhotovena specifikace předpokládané struktury svarového spoje, a to pomocí Schaefflerova diagramu. Je provedena studie volby teploty přehřevu. Teplota přehřevu je zvolena dle doporučení výrobce PM, a to 250 °C. Maximální teplota interpass 300 °C je určena dle ČSN EN 1011-2. Na základě provedeného výpočtu parametru praskavosti je nutné dodržet tepelný režim během procesu svařování. Dle ČSN 41 5121 je stanovena teplota žhání pro snížení pnutí na hodnotě 620°C. Dle dosažených informací a v souladu s ČSN EN ISO 15614-1 je navržena zkouška svařování, ve které je specifikován tvar a rozměr zkušebních vzorků, navrženy požadované zkoušky zkušebních vzorků a určena kvalifikace svářečů. Je sestavena předběžná specifikace postupu svařování pWPS, která je součástí této diplomové práce jako samostatný dokument příloha 1.4.

Pro variantu 2 konstrukčně-technologického řešení je analyzován rozsah kvalifikace postupu svařování s možnou úpravou proměnných. Jsou popsány provedené zkoušky svárového spoje. Jedná se o metalografické šetření makrostruktury spoje, vizuální, penetrační a radiografickou zkoušku svařeného dílu, tahovou zkoušku, zkoušku lámavosti, zkoušku rázem v ohybu a zkoušku tvrdosti svárového spoje. Výsledky všech provedených zkoušek jsou vyhovující.

Výsledkem technického zadání této diplomové práce je návrh řešení ve dvou variantách. Varianta 1 zahrnuje instalaci zpětné klapky L10 DN150 PN40 s dílenskými mezikusy do potrubí technologické páry dle interních standardů investora, určujících jakost potrubních dílů umísťovaných do energetických potrubních tras. Jedná se o tělo klapky v provedení z oceli 13 CrMo 4-5 a dílenské mezikusy v provedení z oceli P 265 GH, tedy stejné jako trubky potrubní trasy. Výhodou této varianty je dodržení již zmiňovaného standardu a homogenita montážního svárového spoje sestavy s potrubím. Nevýhodou této varianty je nutnost realizace zkoušky postupu svařování, pro kterou je navržena a sestavena předběžná specifikace postupu svařování. Varianta 2 řešení technického zadání této diplomové práce obsahuje návrh sestavy zpětné klapky L10 DN150 PN40, materiálové provedení ocel skupiny 5.3 s dílenskými mezikusy, materiálové provedení ocel. skupiny 1.2. Toto provedení sice není v souladu s interními standardy investora, ale použitý materiál těla klapky je vhodný pro aplikace s vyšší provozní teplotou. Pro obě varianty byla provedena napěťová analýza heterogenního svárového spoje pomocí 3D CAD program CREO a jeho aplikace Creo simulate. Všechny simulace napětí vykazovaly nízké napěťové stavy v místě heterogenního svárového kovu. Investorovi budou předloženy obě varianty a volba konečného řešení závisí na jeho rozhodnutí.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČESKÁ SVÁŘEČSKÁ SPOLEČNOST ANB, KOLEKTIV AUTORŮ: *Materiály a jejich svařitelnost*; nakladatelství ZEROSS Ostrava, leden 2001, 292s., ISBN 80-85771-85-3.
- [2] ČESKÁ SVÁŘEČSKÁ SPOLEČNOST ANB, KOLEKTIV AUTORŮ: *Technologie svařování a zařízení*; nakladatelství ZEROSS Ostrava, srpen 2001, 393s., ISBN 80-85771-81-0.
- [3] ESAB VAMBERK: *Příručka pro výběr a použití přídavných materiálů pro opravy a údržbu*; ESAB Vamberk s.r.o., 6. aktualizované vydání listopad 2011, 134s.
- [4] MOHYLA M.: *Strojírenské materiály I*; VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2. vydání 2006, 146s., ISBN 80-248-0270-8
- [5] STRNADEL B.: *Nauka o materiálu – konstrukční materiály a jejich degradační procesy*; VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, dotisk 2. vydání 2007, 187s., ISBN 978-80-248-0689-1
- [6] ARMATURYGROUP.CZ [online]. 2014 [cit. 2014-04-02]. Výrobce a prodejce armatur a potrubních dílu. Dostupné z WWW: <[http://www.armaturygroup.cz/soubory/Produktove%20katalogy%20CZ%20EN/zpetne-klapky\\_cz+en\\_06\\_2012.pdf](http://www.armaturygroup.cz/soubory/Produktove%20katalogy%20CZ%20EN/zpetne-klapky_cz+en_06_2012.pdf)>.
- [7] TZBINFO.CZ [online]. 2014 [cit. 2014-04-04]. Portál pro . Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/979-ma-para-budoucnost-i>>.
- [8] ESAB.CZ [online]. 2014 [cit. 2014-04-04]. Prodejce svářečské techniky a přídavných materiálů pro svařování. Dostupné z WWW: <<http://products.esab.com/Templates/T041.asp?id=125107#>>.
- [9] ČSN 41 5121 – Ocel 15 121 Cr-Mo; Československá státní norma 11.12.1979
- [10] ČSN 41 2022 – Ocel 12 022; Československá státní norma 04.09.1985
- [11] MIGWELT [online]. 2014 [cit. 2014-04-04]. Aplikace pro svářeče. Dostupné z WWW: <<http://www.migweld.de/english/service/welding-stainless-steels/heftschweissungennichtrostend.html>>.
- [12] ČSN EN ISO 15614-1 – Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování – Část 1: Obloukové a plamenové svařování oceli a obloukové svařování niklu a slitin niklu; Mezinárodní norma; květen 2005

- [13] ČSN 42 2771 – Ocel na odlitky 42 2771 Cr-Mo; Československá státní norma; 18. 8. 1977
- [14] ČSN EN 287 – Zkoušky svářečů, tavné svařování – Část 1: Oceli; Evropská norma; březen 2012; 36 str.
- [15] ČSN EN 13480-4 – Kovová průmyslová potrubí – Část 4: výroba a montáž; Evropská norma; listopad 2013; 44 str.

# SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Situační umístění potrubní trasy v areálu TŽ, a.s.

## **Konstrukční řešení varianta 1**

Příloha č. 1.1 – Výrobní výkres zpětné klapky L10 DN150 PN40

Příloha č. 1.2 – Výrobní výkres dílenského mezikusu

Příloha č. 1.3 – Sestavný výkres zpětné klapky L10 s přivařenými mezikusy

Příloha č. 1.4 – Předběžná specifikace postupu svařování pWPS

## **Konstrukční řešení varianta 2**

Příloha č. 2.1 – Výrobní výkres dílenského mezikusu

Příloha č. 2.2 – Sestavný výkres zpětné klapky L10 s přivařenými mezikusy