

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ZÁSADY A NAVRHOVÁNÍ PROJEKČNÍCH ZPRACOVÁNÍ KOTELNÍCH OSTROVŮ SE ZAMĚŘENÍM NA POTRUBÍ

PRINCIPLES AND DESIGN OF PROJECT ELABORATION OF BOILER ISLANDS AIMED AT PIPING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

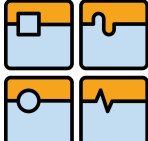
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. RADOSLAV SUCHOMEL

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RICHARD NEKVASIL, Ph.D.

BRNO 2010

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Abstrakt

Tato práce řeší problematiku návrhu a konstrukce potrubí, specificky zaměřené na kotelní zařízení a jeho vybavení. Ty jsou důležité pro vytváření potrubních tříd v programech (PDMS) a k urychlení výstupních parametrů, jako jsou převážně teploty, materiály, měnící se parametry aj. To vede k dalšímu vzniku problémů - životnost, bezpečnost, ekonomika atd.

Klíčová slova

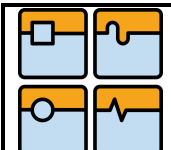
Kotelní ostrovy, potrubní trasa, potrubní třídy, systém PDMS, výkresová dokumentace.

Summary

The Thesis solves the issue of a design and construction of piping specifically focused on boiler apparatus and its equipment. This issue is important for creation of the piping classes in the (PDMS) programmes and for acceleration of output parameters which are mainly the temperature, materials, variable parameters, etc. This leads to other problems such as service life, security, economy, etc., are.

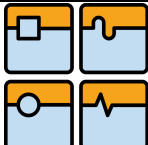
Key words

Boiler islands, piping, piping classes, Plant Design Management System, drawing documentation.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Bibliografická citace

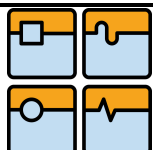
Bc.SUCHOMEL Radoslav. *Zásady a navrhování projekčních zpracování kotelních ostrovů se zaměřením na potrubí*. Diplomová práce. Magisterský studijní program, obor Konstrukce strojů a zařízení. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů a robotiky, květen 2010, 52 stran. Vedoucí diplomové práce Ing.Richard Nekvasil, Ph.D.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Zásady a navrhování projekčních zpracování kotelních ostrovů se zaměřením na potrubí vypracoval samostatně pod vedením Ing. Richarda Nekvasila, Ph.D. a uvedl jsem v seznamu literatury všechny použité zdroje.

V Brně dne 17. 5. 2010

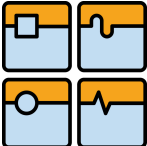
.....
Bc. Radoslav Suchomel

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

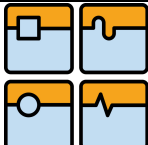
Rád bych tímto poděkoval Ing. Richardu Nekvasilovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, kterými přispěl k vypracování této diplomové práce.

Obsah:

Abstrakt	5
Bibliografická citace	6
Obsah:	9
1. Úvod	11
2. Základní znalosti modelování potrubních systémů v PDMS	12
2.1 PDMS - Plant Design Management System	12
2.1.1 Co je to PDMS	13
2.1.2 Databáze a struktura	13
2.1.3 Vývoj, projekt, model	13
2.1.4 Projektování potrubí	14
2.1.5 Strojní zařízení	15
2.1.6 Nosné konstrukce	15
2.1.7 Výkresové dokumentace	16
2.1.8 Potrubní isometrie	16
2.1.9 Dokumentace a seznamy	18
3. Pevnostní výpočty potrubních částí	19
3.1 Všeobecně	19
3.2 Přímé trubky	20
3.3 Součinitel hodnoty svarového spoje	20
3.4 Přídavek na korozi	20
3.5 Záporná tolerance tloušťky stěny a přídavek na nepřesnost výroby	21
3.6 Tloušťky stěny s přídavky a tolerancemi	21
3.7 Trubkové ohyby a oblouky	22
3.8 Potrubní tvarovky	23
3.9 Otvory, odbočky	24
3.10 Příruby	26
3.11 Dovolena namáhání materiálů	26
3.12 Správné uložení potrubí	29
3.13 Rozteč uložení	29
3.14 Různé druhy uložení potrubí	29
3.15 Používané materiály	30
3.16 Teploty	30
4. Potrubní třídy	32
4.1 Postup návrhu rozdělení procesů do PT	32
4.2 Zařazení do potrubních tříd - skupiny	33
4.3 Optimalizace	33
4.3.1 Systém značení potrubních tříd	34
4.3.2 Rozdělení potrubních tříd	35
4.4 Postupy navrhování a modelování konkrétní potrubní trasy	38
4.4.1 Potrubní schéma P&ID	39
4.4.2 Namodelovaná potrubní trasa	40
4.4.3 Potrubní trasa navržena v programu CAEPIPE 6	41
4.4.4 Výstupní tabulka v programu CAEPIPE 6	44
4.4.5 Potrubní trasa vytvořena v programu ROHR 2	45
4.4.6 Výstupní tabulka v programu ROHR 2	46
4.4.7 Program na navrhování závěsů potrubních tras LICAD 2010 Version8	47
5. Závěr	48

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Seznam použitých zdrojů	49
Seznam použitých zkratek a symbolů	50
Seznam příloh	52

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1. Úvod

Efektivita návrhu potrubí hraje velkou roli při konstrukci a integraci většiny procesních zařízení. Tato práce je zaměřena na optimalizaci procesu návrhu potrubí v rámci projekčních zpracování kotelních ostrovů. Při řešení bude využito zejména metodiky PDMS (Plant Design Management System). Systém PDMS je program, který nejvhodněji umožňuje řešit reálný stav dané problematiky, v tomto případě potrubí kolem kotle. Program PDMS je využíván nejen pro svoji rychlost a kvalitu provedení, ale hlavně také pro efektivní využití konstrukčních procesů.

Cílem diplomové práce je vypracování optimalizace návrhu potrubí se zaměřením na zásady navrhování projekčních zpracování kotelních ostrovů. Celý projekt je koncipován tak, že každá potrubní trasa je zařazena do potrubní třídy a tato potrubní třída určuje jak materiál, médium, teplotu, tak i tlak v potrubí. Při změně vstupních parametrů (např. materiál, teplota, tlak) je nutné přepočítat celou danou trasu potrubí a to se dále odráží na zavěšení, uchycení i konstrukci. Všechny tyto změny musí být co nejdříve zrevidovány v systému, ve kterém byl celý projekt vytvořen. Při nevhodném řešení může dojít k poškození dané trasy např. k utržení potrubí, nefunkčnosti, ke změně chování materiálu atd. Pokud by nedošlo k odstranění daných nedostatků, mohlo by se stát, že dojde k odstavení kotle, popřípadě k odstavení dalších komponentů.

2. Základní znalosti modelování potrubních systémů v PDMS

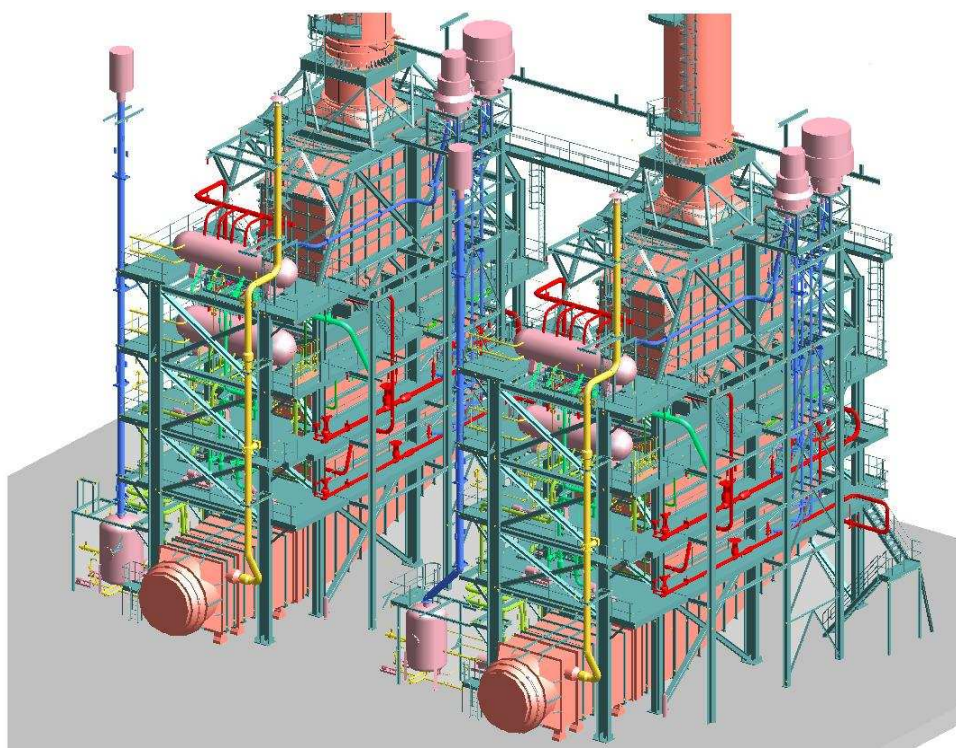
Systém PDMS vznikl v 70. letech ve Velké Británii pro účely projektování velkých staveb se složitými technologiemi. Počátek 90. let přinesl zavádění moderních grafických prostředků poskytujících uživatelsky přátelské prostředí s vlastnostmi prostorového vystínování trojrozměrného modelu a možností úpravy či tvorby grafického rozhraní.

Produkt PDMS dnes disponuje kromě vyspělé grafiky především propracovanou databází, umožňující práci s obrovskými objemy dat, uzpůsobenou pro všeprofesní projektování. Představuje tak optimální prostředek pro zajištění konzistentní a vnitřně provázané informační struktury průmyslového závodu, popisující skutečný stav zařízení a budov. [6]

Výhody systému PDMS:

- bez problémů pracuje s grafickými stínovanými modely o rozsahu milionů prvků,
- řídí informace podle zásad ISO 9000 včetně paralelně probíhajících změn,
- prokazuje konzistenci informací v celém rozsahu provozovny,
- zajišťuje shodu a trvalou vazbu mezi grafickou a parametrickou informací,
- přesně a obousměrně eviduje obsah dokumentů.

2.1 PDMS - Plant Design Management System



Obr. 2.1 Model dvou vertikálních kotlů v programu PDMS

2.1.1 Co je to PDMS

PDMS je produkt s databázovou strukturou. V tomto programu jsou vyvinuty aplikace, které zahrnují všechny důležité technologie pro tvorbu prostorového CAD/CAE modelu objektů jednoduchých i složitých technologických celků. [6]

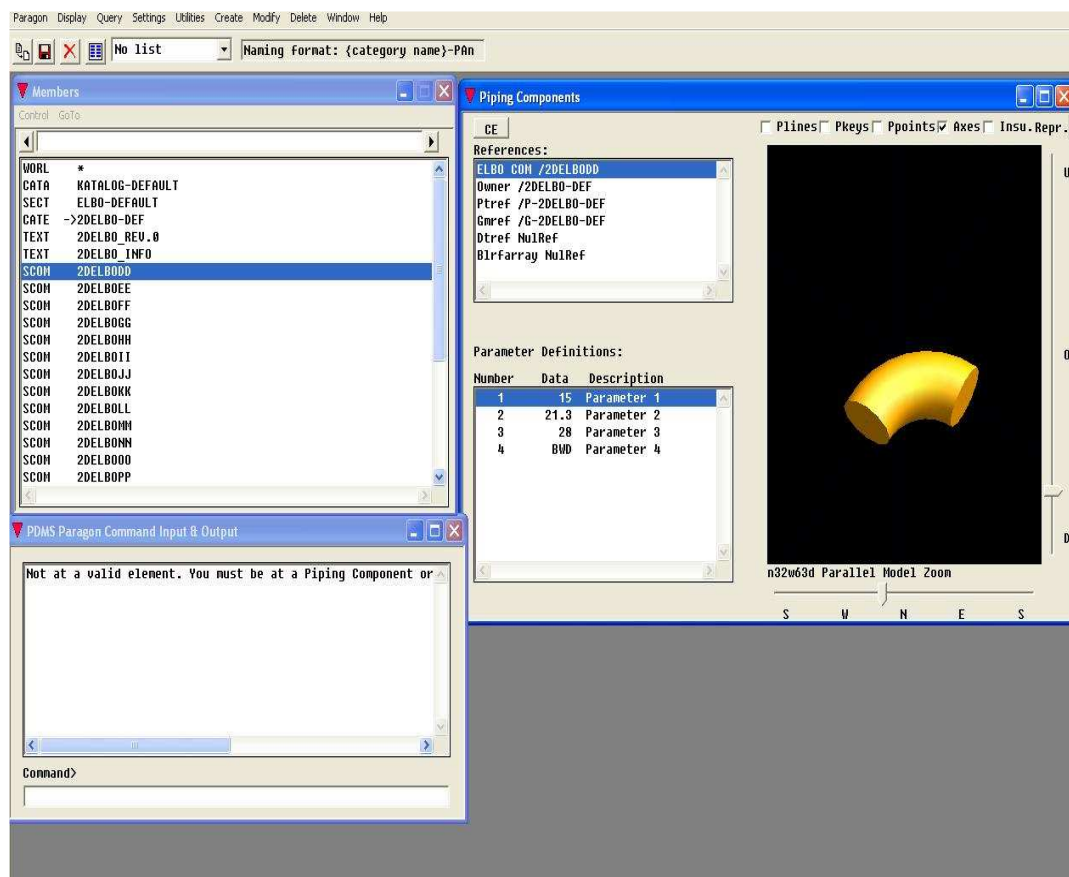
2.1.2 Databáze a struktura

PDMS je založeno na efektivních a pružných databázích, které umožňují přehledné členění projektů. Důležitým rysem je databázový koncept, který je odpovědný za výborný způsob komunikace mezi různými profesními týmy, jejichž systém obsahuje mechanismus pro řízení přístupových práv a privilegií mezi nimi. Veškerá data projektu jsou uložena v databázích PDMS, které jsou ve vlastních aplikacích a mimo ně. Je možné generovat program, který je kompletním obrazem dané části projektu. Tento program je editovatelný a lze jej (např. po změně projekčních jmen) použít jako vstupní soubor s příkazy. Součástí produktu je také modul pro kontrolu databází nebo modul, který slouží pro optimalizaci dat uložených v projektu. [6]

2.1.3 Vývoj, projekt, model

V jediném modulu PDMS – Design probíhá modelování všech částí projektu. Různé profesní aplikační nadstavby využívají všechny typy databází – knihovny, katalogy, databáze jiných týmů. Standardní sada programů je dodávána ve zdrojové formě, což umožňuje úpravu stávajících a tvorbu nových uživatelských aplikací. PDMS umožňuje při vývoji v projektování práci v režimu plně vystínované grafiky, což ovlivňuje viditelnost přímých kolizí. K dispozici je i průběžné automatické kontrolování kolizí, jež zviditelní i právě neaktivní objekty. Zobrazení určitých částí modelu je zajištěno jak logickou strukturou projektu, tak prostorově. [6]

2.1.4 Projektování potrubí



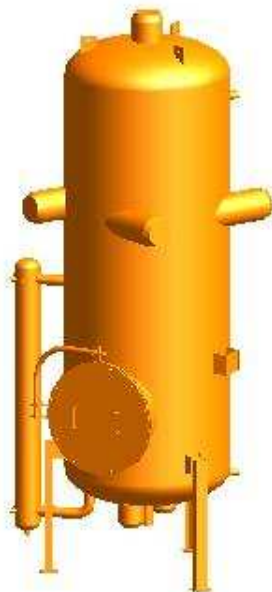
Obr. 2.2 Ukázka vkládání komponentu

Projektování potrubí je řízeno z katalogu PDMS. Prvky v projektu jsou reprezentovány do katalogů. Stejný prvek v katalogu je se svými datovými atributy v projektu pouze jednou. Zpětné změny potrubních komponentů v katalogu jsou ihned reflektovány v modelu. V katalogové databázi je vyčleněna oblast pro prvky, které se již nevyrábějí, ale mohou být použity (staré zásoby, komponenty nutné pro modelování skutečných stavů starších technologických celků apod.). Tyto prvky není možné nově dále používat, ale původní volba komponentů zůstává, což je zvláště důležitý rys pro projekty rekonstrukcí a dokumentace skutečného stavu. Rovné úseky potrubních tras vede systém jako logickou linku mezi vzájemně spojenými prvky. Uživatel může posouvat, natáčet, vkládat či odstraňovat komponenty bez nutnosti rozpojování a opětovného spojování potrubí. Potrubní systémy jsou členěny podle provozního souboru, funkce, tlaku, apod.. Kdykoliv během projektu je možné změnit členění dle momentálních potřeb.

Pro uložení potrubí je zahrnuta aplikace umožňující jednoduché vytváření všech potřebných prvků na základě katalogových komponentů. [6]

2.1.5 Strojní zařízení

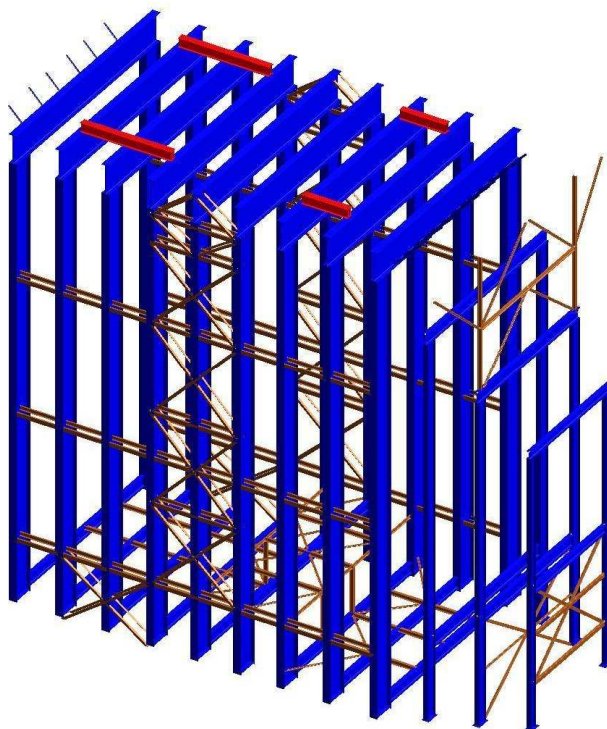
Modelování v programu PDMS je umožněno jak jednotlivými základními objemovými tělesy, tak výběrem parametrických předdefinovaných tvarů. Při tvorbě zařízení je práce uživatele interaktivní – je vidět tvar zařízení s parametry, které jsou pro modelování velmi důležité. [6]



Obr. 2.3 Těleso v modelu

2.1.6 Nosné konstrukce

V celé konstrukci je datově integrován statický model s definicemi o uložení jednotlivých prvků, hmotnosti, umístění zatížení, data materiálů a zatěžovací stavy, které slouží dále ke zpracování a pro výpočty. [6]



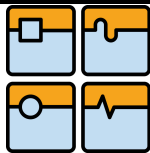
Obr. 2.4 Nosné konstrukce

2.1.7 Výkresové dokumentace

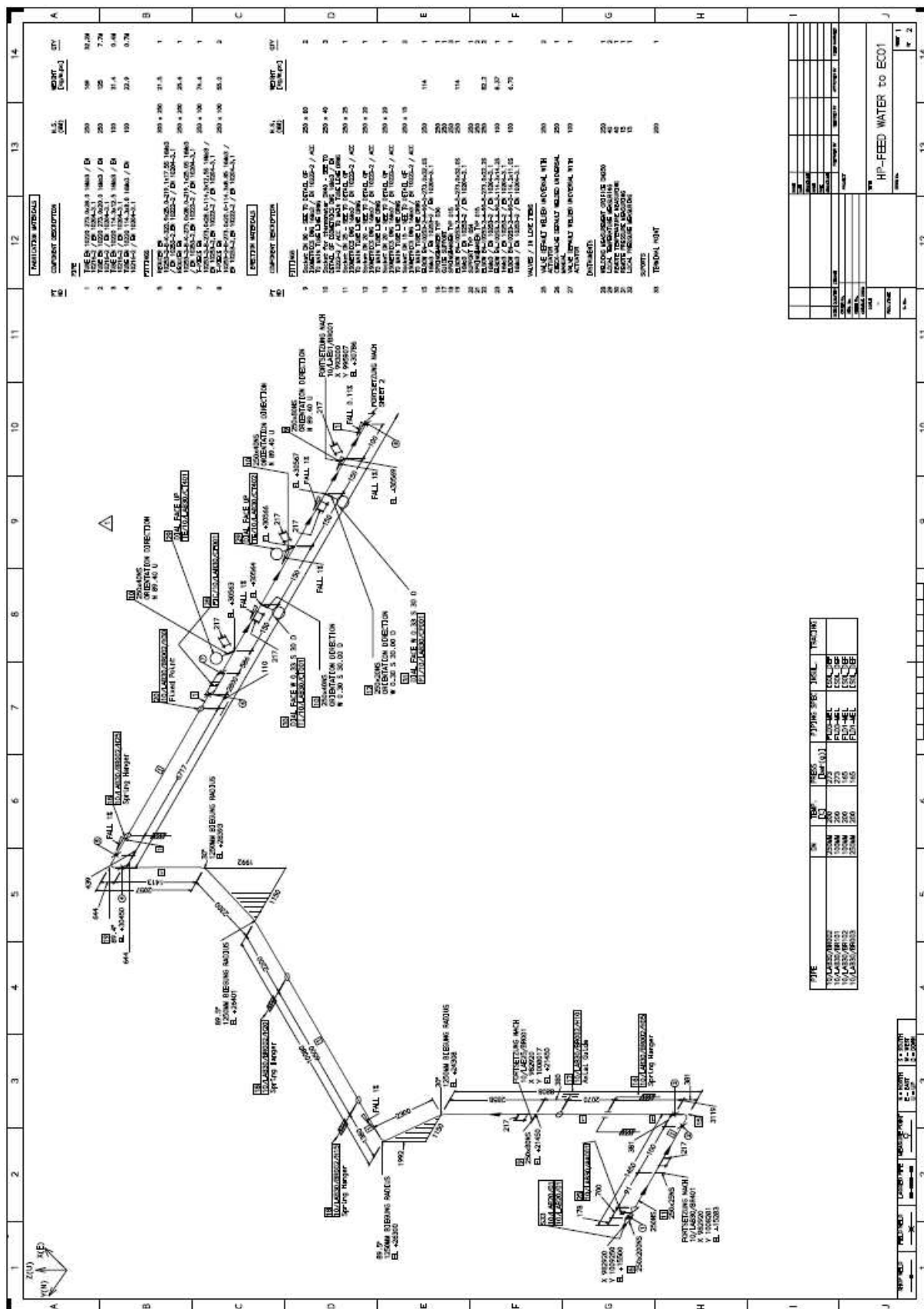
Výkresová dokumentace je odvozena z 3D modelu a je vytvářena ve specifickém modulu, který poskytuje nástroje pro vytváření kompletní výkresové dokumentace na projektu. Kótovací čáry mohou být vázány ke konkrétním prvkům. Při změně umístění 3D komponentů dochází k automatické obnově vztažených údajů – systém aktualizuje kóty a souřadnice. Také popisy na výkresech se obvykle připojí k 3D prvkům, jejichž atributy může systém číst a znázornit na výkrese (např. projektové jméno, rozměr atd.). Vykreslované prvky lze zadat jak seznamem částí tak strukturou projektu, prostorově, několika řeznými rovinami, řezem zalomenou rovinou, kde je také možno využívat aplikaci umožňující převod výkresů do systému AutoCAD. [6]

2.1.8 Potrubní isometrie

Je to isodraft, který slouží pro schémata potrubních tras. V závislosti projektu je možné isometrie použít i jako dokumentaci pro pevnostní výpočty potrubí i pro výrobu dané trasy. [6]



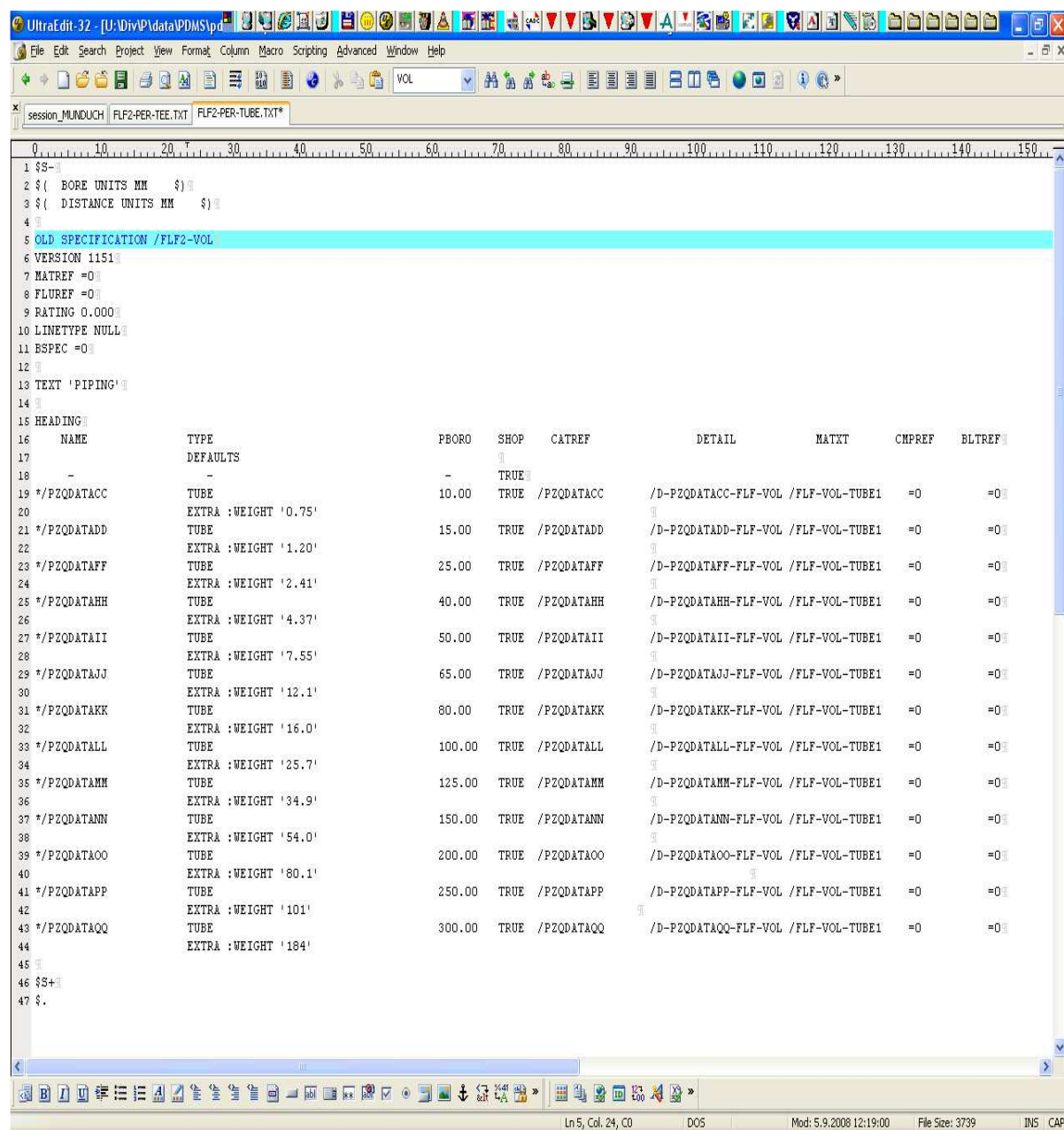
DIPLOMOVÁ PRÁCE



Obr. 2.5 Výkres potrubní isometrie

2.1.9 Dokumentace a seznamy

Z každého modulu lze vygenerovat seznam prvků, seznamy materiálů. Pro výběr prvků je možné využít členění projektu. Pro produkci výsledných textových souborů je připravena sada příkazů pro přístup k různým prvkům a pro formátování tiskového souboru. [6]



```

1 $$-
2 $( BORE UNITS MM $)
3 $( DISTANCE UNITS MM $)
4
5 OLD SPECIFICATION /FLF2-VOL
6 VERSION 1151
7 MATREF =0
8 FLUREF =0
9 RATING 0.000
10 LINETYPE NULL
11 BSPEC =0
12
13 TEXT 'PIPING'
14
15 HEADING
16 NAME          TYPE          PBORO  SHOP  CATREF          DETAIL          MATXT          CMPREF  BLTREF
17
18
19 */PZQDATAACC    TUBE          10.00  TRUE  /PZQDATAACC      /D-PZQDATAACC-FLF-VOL /FLF-VOL-TUBE1  =0      =0
20 EXTRA :WEIGHT '0.75'
21 */PZQDATAADD    TUBE          15.00  TRUE  /PZQDATAADD      /D-PZQDATAADD-FLF-VOL /FLF-VOL-TUBE1  =0      =0
22 EXTRA :WEIGHT '1.20'
23 */PZQDATAFF     TUBE          25.00  TRUE  /PZQDATAFF       /D-PZQDATAFF-FLF-VOL /FLF-VOL-TUBE1  =0      =0
24 EXTRA :WEIGHT '2.41'
25 */PZQDATAHH     TUBE          40.00  TRUE  /PZQDATAHH       /D-PZQDATAHH-FLF-VOL /FLF-VOL-TUBE1  =0      =0
26 EXTRA :WEIGHT '4.37'
27 */PZQDATAII     TUBE          50.00  TRUE  /PZQDATAII       /D-PZQDATAII-FLF-VOL /FLF-VOL-TUBE1  =0      =0
28 EXTRA :WEIGHT '7.55'
29 */PZQDATAJJ     TUBE          65.00  TRUE  /PZQDATAJJ       /D-PZQDATAJJ-FLF-VOL /FLF-VOL-TUBE1  =0      =0
30 EXTRA :WEIGHT '12.1'
31 */PZQDATAKK     TUBE          80.00  TRUE  /PZQDATAKK       /D-PZQDATAKK-FLF-VOL /FLF-VOL-TUBE1  =0      =0
32 EXTRA :WEIGHT '16.0'
33 */PZQDATA LL    TUBE          100.00 TRUE  /PZQDATA LL      /D-PZQDATA LL-FLF-VOL /FLF-VOL-TUBE1  =0      =0
34 EXTRA :WEIGHT '25.7'
35 */PZQDATA MM    TUBE          125.00 TRUE  /PZQDATA MM      /D-PZQDATA MM-FLF-VOL /FLF-VOL-TUBE1  =0      =0
36 EXTRA :WEIGHT '34.9'
37 */PZQDATA NN    TUBE          150.00 TRUE  /PZQDATA NN      /D-PZQDATA NN-FLF-VOL /FLF-VOL-TUBE1  =0      =0
38 EXTRA :WEIGHT '54.0'
39 */PZQDATA OO    TUBE          200.00 TRUE  /PZQDATA OO      /D-PZQDATA OO-FLF-VOL /FLF-VOL-TUBE1  =0      =0
40 EXTRA :WEIGHT '80.1'
41 */PZQDATA PP    TUBE          250.00 TRUE  /PZQDATA PP      /D-PZQDATA PP-FLF-VOL /FLF-VOL-TUBE1  =0      =0
42 EXTRA :WEIGHT '101'
43 */PZQDATA QQ    TUBE          300.00 TRUE  /PZQDATA QQ      /D-PZQDATA QQ-FLF-VOL /FLF-VOL-TUBE1  =0      =0
44 EXTRA :WEIGHT '184'
45
46 $$+
47 $.
```

Obr. 2.6 Seznamy prvků

3. Pevnostní výpočty potrubních částí

3.1 Všeobecně

Libovolný potrubní systém může být během své životnosti podroben různým zatížením. Tato zatížení mohou být jedním nebo kombinací následujících zatížení:

- vnitřní a/nebo vnější tlak,
- teplota,
- hmotnost potrubí a jeho obsahu, hmotnost izolace,
- klimatická zatížení,
- dynamické účinky tekutiny,
- pohyb podloží a budov,
- vibrace,
- zemětřesení.

Zatížení a jejich kombinace se musí zohlednit během konstrukce a výpočtu potrubního systému. Tam, kde je potrubní systém vystaven více než jedné podmínce tlaku a teploty, musí být použity všechny podmínky současně působícího tlaku a teploty, které vedou na největší výpočtovou tloušťku stěny.

Výpočtový tlak „ p_c “, nesmí být menší než příslušný pracovní tlak. Výpočtová teplota „ t_c “, musí být maximální teplota, která se pravděpodobně dosáhne ve středu stěny potrubí při normálních provozních podmínkách při výpočtovém tlaku „ p_c “.


Minimální požadovaná tloušťka stěny jednotlivých potrubních komponentů energetického potrubí bez přídavek a tolerancí „ e “, pro daný výpočtový tlak a teplotu se určí podle příslušných výpočtových vztahů uvedených v normě ČSN EN 13480-3, resp. ČSN EN 12952-3; pokud by se jednalo o potrubí vodotrubných kotlů. Objednaná neboli tzv. provedená (skutečná) tloušťka stěny potrubního dílu (přímé trubky, ohybu, potrubní tvarovky apod.) „ e_{ord} “, musí být nejméně rovna, nebo větší, součtu minimální požadované tloušťky stěny a všech přídavek a tolerancí: [1]

$$e_{ord} \geq e + C_0 + C_1 = e_r \quad (3.1.)$$

Použité symboly mají následující význam:

e - minimální požadovaná tloušťka stěny bez přídavek a tolerancí, e_r - minimální požadovaná tloušťka stěny s přídávky a tolerancemi, e_{ord} - objednaná tloušťka stěny, C_0 - přírůstek na korozi a erozi, C_1 - absolutní hodnota záporné tolerance tloušťky stěny.

U potrubních systémů, u kterých jsou jednotlivé trubky navzájem spojeny svarem, se minimální požadovaná tloušťka stěny trubky ve svaru určuje jako minimální tloušťka stěny přímé trubky bez přídavek a tolerancí „ e “ zvětšená o přírůstek na korozi „ C_0 “. Při výpočtu dovoleného vnitřního přetlaku potrubních částí se používá tzv. analyzovaná tloušťka stěny „ e_a “, což je skutečná tloušťka stěny zmenšená o přírůstek na korozi a zápornou toleranci tloušťky stěny a přírůstek na nepřesnost výroby.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 20
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Analyzovaná tloušťka stěny se tak určí následovně:

$$e_a = e_{ord} - C_0 - C_1 \quad (3.2.)$$

3.2 Přímé trubky

Minimální požadovaná tloušťka stěny přímé trubky bez přídavků a tolerancí zatížená vnitřním přetlakem se vypočítá následovně:

$$e = \frac{p_c \cdot D_o}{2 \cdot f \cdot z + p_c} \quad (3.3.)$$

Použité symboly mají následující význam:

p_c - značí výpočtový přetlak, D_o - značí vnější průměr trubky, f - značí dovolené namáhání materiálu a z - značí součinitel hodnoty podélného svarového spoje v případě podélně svařovaných trubek.

3.3 Součinitel hodnoty svarového spoje

Součinitel hodnoty svarového spoje je hodnota pro pevnostní výpočet, určená na základě mechanických a plastických vlastností svaru a závisí na druhu svarového spoje, způsobu svařování a rozsahu kontroly. Součinitel hodnoty svarového spoje musí být použit ve výpočtu tloušťky stěny komponentů, které obsahují jeden nebo několik tupých svarů jiných než obvodových. Pro zařízení podrobená destruktivnímu nebo nedestruktivnímu zkoušení, které osvědčuje, že celá sada spojů nevykazuje významné vady, použije se součinitel 1. Pro zařízení podrobená namátkovému nedestruktivnímu zkoušení nesmí součinitel spoje překročit hodnotu 0,85. Pro zařízení nepodrobená nedestruktivnímu zkoušení jinému než vizuální kontrole nesmí součinitel spoje překročit hodnotu 0,7. U bezešvých částí se použije součinitel 1.

3.4 Přídavek na korozi

Ve všech případech, kde je možné očekávat snížení tloušťky stěny v důsledku povrchové koroze nebo eroze, buď na jednom nebo druhém povrchu, kdy je koroze způsobena médiem obsaženým v nádobě nebo vlivem atmosféry, musí být stanoven odpovídající přídavek k tloušťce stěny, vyhovující pro její celou životnost. Množství přidaného materiálu musí být adekvátní celkovému koroznímu úbytku očekávaném na jednom nebo obou površích trubky nebo nádoby. Korozní přídavek není požadován, když může být koroze vyloučena. Buď je materiál, včetně svarů korozivzdorný vzhledem k obsahu nádoby, anebo je použita přiměřená ochrana povrchu.

Příklad doporučených hodnot přídavku na korozi a erozi pro potrubní součásti pro nejběžnější pracovní látky a běžné druhy uhlíkových ocelí je uveden v následující tabulce:

Pracovní látka	Přídavek na korozi a erozi c_0 [mm]
přehřátá pára	0,5
sytá pára	1
voda málo agresivní	1
vlhký vzduch	2
voda agresivní	3

Tabulka 3.1 Přídavek na korozi [9]

3.5 Záporná tolerance tloušťky stěny a přídavek na nepřesnost výroby

Záporná tolerance tloušťky stěny c_1 je absolutní hodnota záporné tolerance, která je převzata z materiálových norem, nebo poskytnutá výrobcem. Přídavek na nepřesnost výroby c_2 je přídavek na možné technologické ztenčení tloušťky stěny během výrobního procesu např. obráběním, lisováním, ohýbáním.

Mezní úchytky tloušťky stěny pro bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení vyrobené z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při zvýšených teplotách jsou uvedeny v technických dodacích podmínkách dle ČSN EN 10216-2 v závislosti na vnějším průměru a poměru tloušťky k průměru trubky a udávají se v procentech z výrobní tloušťky stěny.

Příklad mezních úchylek tlouštěk stěn trubek jak jsou uvedeny v ČSN EN 10216-2:

Vnější průměr	Mezní úchytky tloušťky stěny pro poměr T/D			
	$\leq 0,025$	$> 0,025$ $\leq 0,05$	$> 0,05$ $\leq 0,1$	$> 0,1$
D \leq 219,1	$\pm 12,5$ % nebo $\pm 0,4$ mm; platí větší hodnota			
D $>$ 219,1	± 20 %	± 15 %	$\pm 12,5$ %	± 10 %


Tabulka 3.2 Mezní úchytky tloušťky stěny [9]

Podobně plechy pro tlakové nádoby a zařízení mají mezní úchytky tloušťky stanoveny v závislosti na jmenovité tloušťce plechu.

3.6 Tloušťky stěny s přídávky a tolerancemi

Požadovaná tloušťka stěny s přídávky a tolerancemi „ e_r “ je pak dána součtem všech přídavek k minimální požadované tloušťce stěny trubky

$$e_r = e + c_0 + c_1 + c_2. \quad (3.4.)$$

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 22
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

U potrubí, u kterých jsou jednotlivé trubky navzájem spojeny svarem, se minimální požadovaná tloušťka stěny trubky ve svaru určuje jako minimální tloušťka stěny přímé trubky „e“ zvětšená o přídavek na korozi „c₀“. Pokud se počítá tloušťka stěny u ohybů a kolen, je třeba brát v úvahu, že nejvíce namáhaná část trubky je na vnitřní straně ohybu. Naopak na vnější straně ohybu je trubka namáhána méně, jak v případě přímé trubky.

Při provádění pevnostních výpočtů je možné jednak pro dané výpočtové parametry (tlak, teplota) vypočítat minimální požadovanou tloušťku stěny komponenty, nebo se pro danou tloušťku stěny vypočítá maximální dovolený přetlak. Pro výpočet dovoleného vnitřního přetlaku se pak používá tzv. analyzovaná tloušťka stěny, což je skutečná tloušťka stěny zmenšená o přídavek na korozi a o zápornou toleranci tloušťky stěny a přídavek na nepřesnost výroby.

U pevnostních výpočtů je třeba zkontrolovat, zda jsou splněny všechny omezující podmínky platnosti výpočtu. Např. uvedený výpočtový vztah pro výpočet tloušťky stěny přímé kovové trubky „e“ platí za předpokladu, že poměr vnějšího průměru trubky k vnitřnímu průměru trubky není větší jak 1,7.

Každý pevnostní výpočet by měl obsahovat údaje o počítané části (název projektu, číslo výkresu, číslo části, název části), číslo normy podle které je část počítána, vstupní hodnoty, výpočtové vzorce případně odkaz na čísla vzorců z příslušné normy, výsledky výpočtu a údaje o zpracovateli výpočtu, datum vypracování, číslo výpočtu, a číslo platné revize.

Při navrhování a výpočtu tlakových zařízení musí být postupováno v souladu se směrnici 97/23/EC. Tato směrnice vyžaduje pro zařízení patřící do kategorie tlakových zařízení III a IV přezkoumání a schválení návrhu notifikovaným orgánem.

3.7 Trubkové ohyby a oblouky

Při výpočtu minimální požadované tloušťky stěny trubkových ohybů a oblouků je třeba brát v úvahu, že nejvíce namáhaná část trubky je na vnitřní straně ohybu. Naopak na vnější straně ohybu je trubka namáhána méně jak v případě přímé trubky. Minimální požadovaná tloušťka stěny ohybů a oblouků na vnější a vnitřní straně bez přídavků a tolerancí se vypočítá následovně:

- na vnitřní straně

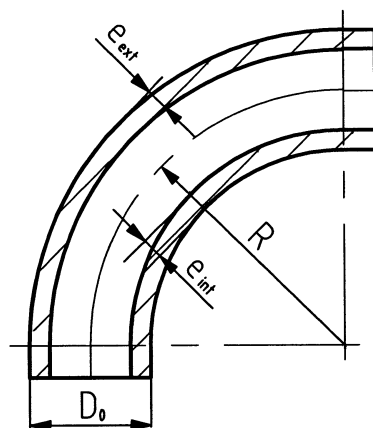
$$e_{\text{int}} = e \frac{(R/D_0) - 0,25}{(R/D_0) - 0,5} \quad (3.5.)$$

- na vnější straně

$$e_{\text{ext}} = e \frac{(R/D_0) + 0,25}{(R/D_0) + 0,5} \quad (3.6.)$$

Použité symboly mají následující význam:

e - minimální požadovaná tloušťka stěny přímé trubky bez přídavků a tolerancí, D₀ - vnější průměr ohýbané trubky nebo oblouku, R - poloměr ohybu nebo oblouku



Obr 3.1 Ohyb

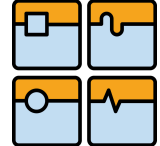
Minimální naměřená tloušťka stěny v libovolném místě na vnitřní straně, resp. na vnější straně trubkového ohybu nebo oblouku, nesmí být menší než součet výpočtové tloušťky stěny a přídatku na korozi.

Pro potrubní systémy se běžně používají trubkové ohyby o poloměru ohybu $R=3DN$ až $5DN$ v závislosti na velikosti výpočtového přetlaku, které se vyrábějí ohýbáním rovných trubek za studena nebo za tepla. Pro menší poloměry ohybů, především $R=1,5DN$ se používají trubkové oblouky, tzv. hamburské. Tyto oblouky se standardně dodávají dle normy DIN 2605. Od roku 2008 je v platnosti evropská norma ČSN EN 10253 pro trubkové tvarovky včetně oblouků. Pro menší výpočtové parametry a větší jmenovité světlosti potrubí, např. pro potrubí chladicí vody, je možné použít segmentová kolena. Použití segmentových kolen je však omezeno výpočtovým tlakem max. 20 bar u časově nezávislého namáhání potrubí. [3]

3.8 Potrubní tvarovky

Rozměry a technicko-dodací podmínky potrubních tvarovek (oblouků, t-kusů se stejnými i nespolečnými hrdly, koncentrických a excentrických redukcí, tlakových den) stanovuje norma ČSN EN 10253. Pro energetická potrubí se používá díl 2 této normy, který předepisuje požadavky na trubkové tvarovky, vyrobené z uhlíkových a legovaných ocelí, při nízkých i vysokých teplotách. Z hlediska provedení a odolnosti proti vnitřnímu přetlaku tato norma rozlišuje dva typy tvarovek:

- typ A: tvarovky s redukováným součinitelem tlaku,
- typ B: tvarovky pro použití s plným výpočtovým tlakem.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 24
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1) Tvarovky typu A

Tvarovky typu A mají stejnou tloušťku tělesa a na koncích pro přivaření jako jmenovitá tloušťka stěny trubky. Jejich odolnost proti vnitřnímu přetlaku je menší než u trubky se stejným jmenovitým průměrem, stejné tloušťce stěny a stejné jakosti oceli. Stanovení součinitele snížení tlaku je uvedeno v příslušné tabulce této normy v závislosti na rozměrech tvarovky.

2) Tvarovky typu B

Tvarovky typu B mají rovnoměrně vzrůstající tloušťku stěny tělesa tvarovky. Jsou stejně odolné nebo odolnější vůči stejnému tlaku než trubka, která má stejný jmenovitý průměr, tloušťku stěny a je ze stejné jakosti oceli. Požadavky na tloušťku stěny tělesa u tohoto typu tvarovek jsou stanoveny výpočtovými postupy a rozměry tvarovek jsou uvedeny v normě. Tvarovky typu B není nutné zvlášť kontrolovat na vnitřní přetlak. Stačí přepočítat proti odolnosti vnitřnímu přetlaku přímou trubku o stejných rozměrech a stejné jakosti materiálu.

3.9 Otvory, odbočky

V případě, že je trubka zeslabená jedním nebo více otvory pro navaření hrdel, pak je třeba ji pevnostně překontrolovat v místě zeslabení. Pokud trubka zeslabená otvorem pevnostně nevyhoví, je nutné provést kontrolu v místě otvoru na vyztužení přivařeným hrdlem.

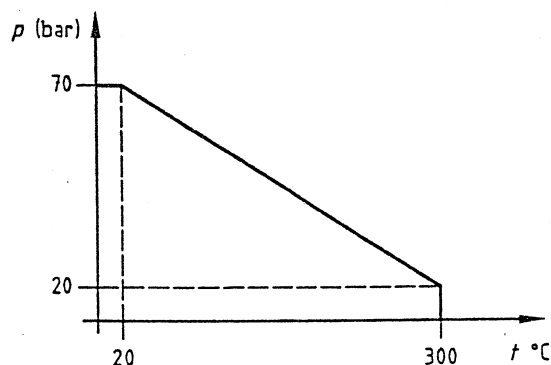
Vyztužení otvoru lze dosáhnout:

- zvětšením vyztužení odbočky,
- zvětšením tloušťky stěny trubky v místě otvoru ve srovnání s tloušťkou trubky bez otvorů,
- přivařením výztužných límců,
- kombinací uvedených metod.

Pokud se zlepšení výztužných vlastností dosáhne zvětšením tloušťky stěny trubky v místě otvoru ve srovnání s tloušťkou trubky bez otvorů, pak tato zesílená stěna musí být do určité minimální vzdálenosti podél trubky „ l_s “. To platí i u vyztužení zvětšením vyztužení odbočky, kde tato zesílená stěna musí být do určité minimální vzdálenosti podél odbočky „ l_b “. Při vyztužení výztužnými límcemi musí být tyto výztužné límce v těsném kontaktu s trubkou. Šířka výztužného límce uvažovaná jako přispívající k vyztužení musí být také do určité minimální vzdálenosti podél trubky „ l_{pl} “ dané výpočtem. Vyztužení otvorů výztužnými límcemi je omezeno podmínkami současného působení tlaku a teploty a poměrem vnitřního průměru odbočky „ d_i “ a trubky „ D_i “. Výztužné límce je tak možné použít za předpokladu splnění následující podmínky:

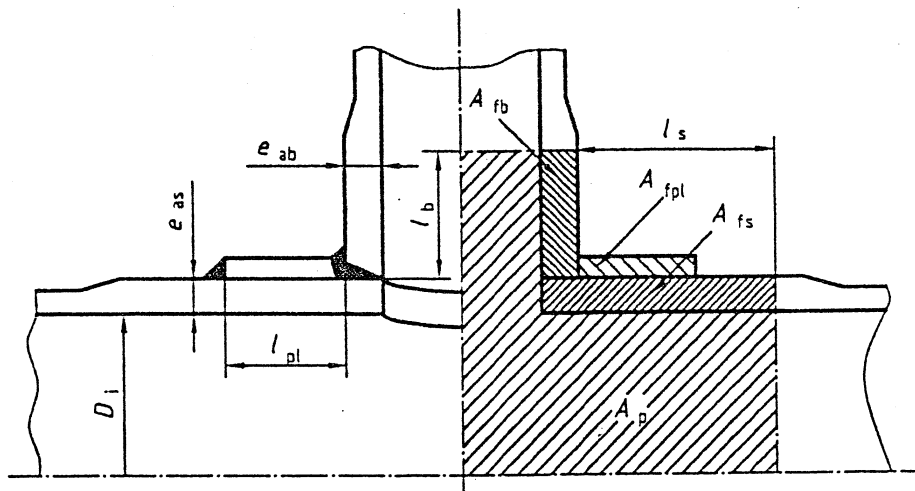
$$\frac{d_i}{D_i} \leq 0,8 \quad (3.7.)$$

výpočtový tlak však nesmí být větší jak 70 bar, nebo výpočtová teplota nesmí být větší jak 300°C.



Obr. 3.2 Tlakové a teplotní meze pro možnost použití výztužného límce

Výpočtová metoda pro výpočet otvoru na vyztužení vychází z požadavků na vyztužení válcových skořepin a je založena na vztahu mezi plochou příčného průřezu „ A_p “ zatíženou tlakem a plochou příčného průřezu „ A_f “ zatíženou dovoleným napětím, která je uvažována jako plocha vyztužující (účinná).



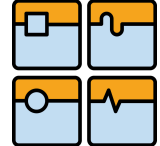
Obr. 3.3 Vyztužení otvoru v trubce zvětšením tloušťky stěny trubky a odbočky s použitím výztužného límce [1]

Při pevnostní kontrole trubky v místě otvoru na vyztužení přivařeným hrdlem musí být splněna následující podmínka:

$$\left(f - \frac{p_c}{2}\right) \cdot A_f \geq p_c \cdot A_p \quad (3.8.)$$

Podle uvedeného příkladu vyztužení na předchozím obrázku

$$A_f = A_{fs} + A_{fb} + A_{fpl} \quad (3.9.)$$

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Použité symboly mají následující význam:

f - dovolené namáhání materiálu, p_c - výpočtový přetlak, A_f - plocha příčného průřezu účinná pro vyztužení, A_P - plocha příčného průřezu zatížená tlakem.

3.10 Příruby

Požadavky na kruhové příruby z oceli pro trubky stanovuje evropská norma ČSN EN 1092 část 1. Z hlediska odolnosti proti vnitřnímu tlaku jsou příruby seřazeny do tabulky tlaků a teplotních stupňů. Pro jednotlivé jmenovité tlaky PN a jakosti materiálů přírub lze z tabulky zjistit dovolený vnitřní přetlak, který příruby snesou pro danou výpočtovou teplotu. Tlaky a teplotní stupně jsou vypočteny na základě pevnostních hodnot stanovených v evropských materiálových normách.

3.11 Dovolená namáhání materiálů

Dovolené namáhání materiálu, které je součástí potrubí se stanoví na základě ustanovení podle čl. 5 normy ČSN EN 13480-3. Pro různé komponenty potrubí, tj. pro určitou jakost materiálu, typ materiálu (trubka, výkovek, plech apod.) a různé tloušťky stěn materiálů vychází rozdílné hodnoty dovoleného namáhání materiálu, jak pro provozní podmínky v závislosti na výpočtové teplotě, tak i pro podmínky zkoušení, a to podle materiálových charakteristik potrubních součástí.

1) Konstrukce je mimo oblast tečení (creepu) :

- neaustenitické oceli

Dovolené namáhání pro provozní podmínky se počítá podle následujícího vztahu:

$$f = \min\left\{\frac{R_{eHt}}{1,5} \text{ nebo } \frac{R_{p0,2t}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4}\right\} \quad (3.10.)$$

Namáhání při zkušebních podmínkách nesmí překročit 95% meze kluzu materiálu při specifikované zkušební teplotě.

- austenitické oceli

Dovolené namáhání pro provozní podmínky :

V případě, že tažnost austenitického materiálu je menší jak 30 %, pak se dovolené namáhání pro provozní podmínky počítá podle stejného vztahu jako výpočet dovoleného namáhání materiálu pro provozní podmínky pro neaustenitické oceli.

V případě, že tažnost austenitického materiálu je rovna nebo větší 30%, avšak menší jak 35 %, pak se dovolené namáhání pro provozní podmínky počítá podle následujícího vztahu:

$$f = \min\left\{\frac{R_{p1,0t}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4}\right\} \quad (3.11.)$$

V případě, že tažnost austenitického materiálu je větší nebo rovna 35%, dovolené namáhání pro provozní podmínky se počítá podle následujícího vztahu:

$$f = \frac{R_{p1,0t}}{1,5} \quad (3.12.)$$

nebo jestliže je dostupná hodnota meze pevnosti materiálu při teplotě R_{mt} , je možné počítat dovolené namáhání materiálu podle vztahu:

$$f = \min\left\{\frac{R_{mt}}{3}; \frac{R_{p1,0t}}{1,2}\right\} \quad (3.13.)$$

Dovolené namáhání pro zkušební podmínky :

V případě, že tažnost austenitického materiálu je menší jak 25 %, pak namáhání při zkušebních podmínkách nesmí překročit 95% meze kluzu materiálu při specifikované zkušební teplotě. V případě, že tažnost materiálu je rovna nebo větší jak 25 %, musí se zajistit, aby namáhání při zkušebních podmínkách nepřekročilo větší z následujících dvou hodnot: 95 % $R_{p1,0}$ nebo 45 % R_m při specifikované zkušební teplotě.

Použité symboly ve vzorcích mají následující význam:

R_{eHt} – minimální specifikovaná hodnota horní meze kluzu při výpočtové teplotě, $R_{p0,2t}$ – minimální smluvní mez kluzu 0,2% při výpočtové teplotě, $R_{p1,0t}$ – minimální smluvní mez kluzu 1% při výpočtové teplotě, R_m – minimální mez pevnosti v tahu, R_{mt} – minimální mez pevnosti v tahu při výpočtové teplotě

Označení oceli		Tloušťka	Minimální smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ v MPa při teplotě ve °C										
Značka	Číselné označení	stěny (mm)	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
P235GH	1.0345	≤ 60	198	187	170	150	132	120	112	108	-	-	-
P265GH	1.0425	≤ 60	226	213	192	171	154	141	134	128	-	-	-
16Mo3	1.5415	≤ 60	243	237	224	205	173	159	156	150	146	-	-
13CrMo4-5	1.7335	≤ 60	264	253	245	236	192	182	174	168	166	-	-
10CrMo9-10	1.7380	≤ 60	249	241	234	224	219	212	207	193	180	-	-
11CrMo9-10	1.7383	≤ 60	323	312	304	296	289	280	275	257	239	-	-
X10CrMoBNb9-1	1.4903	≤ 100	410	395	380	370	360	350	340	320	300	270	215

Tabulka 3.3 Min. smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ v MPa při teplotě ve °C

2) Dovolená namáhání v oblasti tečení :

Dovolené namáhání pro provozní podmínky se počítá podle následujícího vztahu:

$$f_{CR} = \frac{S_{RTt}}{SF_{CR}} \quad (3.14.)$$

S_{RTt} je střední hodnota meze pevnosti při tečení vztažená k času. SF_{CR} je součinitel bezpečnosti. Součinitel bezpečnosti SF_{CR} závisí na čase a musí být v souladu s následující tabulkou:

Čas [h]	Součinitel bezpečnosti SF_{CR}
200 000	1,25
150 000	1,35
100 000	1,5

Tabulka 3.4 Součinitel bezpečnosti [9]

Jestliže není specifikována požadovaná životnost zařízení, použije se hodnota meze pevnosti při tečení pro 200 000 hodin. V případech, kde nejsou hodnoty pro 200 000 hodin specifikovány v materiálových normách, se použije střední hodnota meze pevnosti při tečení při 150 000 hodinách nebo při 100 000 hodinách.

Napětí při zkušebních podmínkách nesmí překročit 95% meze kluzu materiálu při specifikované zkušební teplotě.

Materiály používané na tlakové části potrubí musí splňovat všeobecné požadavky normy ČSN EN 13480-2 a musí být objednávány v souladu s technickými dodacími podmínkami. Materiály musí být voleny tak, aby byly vhodné pro vnitřní tekutinu a vnější prostředí. Mechanické charakteristiky materiálů (meze kluzu, meze pevnosti, moduly pružnosti apod.), které jsou potřebné pro výpočet dovolených namáhání, se určují podle příslušných materiálových norem. Hodnoty meze kluzu a pevnosti materiálů jsou zde uvedeny pro různé teploty a v závislosti na tloušťce stěny materiálu. Tyto hodnoty se zvyšující teplotou postupně klesají. Na tlakové části musí být používán materiál pouze v rozsahu teplot, pro které jsou požadované materiálové vlastnosti definovány v technických podmínkách. Jestliže technické dodací podmínky neobsahují konkrétní materiálové hodnoty požadované pro danou výpočtovou teplotu, musí být materiálové hodnoty stanoveny lineární interpolací mezi dvěma sousedními hodnotami. Hodnoty se nesmí zaokrouhlovat. Pro jiné materiály než austenitické a austeniticko-feritické korozivzdorné oceli smí být specifikované hodnoty meze kluzu při pokojové teplotě používány pro teploty rovné nebo nižší 50°C. V případě meze pevnosti při tečení nebo pevnostních hodnot pro plastickou deformaci a daném čase je přípustná lineární interpolace jen tehdy, jestliže rozdíl mezi dvěma teplotami, sloužícími jako výchozí bod, je roven nebo menší než 10°C.

3.12 Správné uložení potrubí

Předpokladem pro správnou volbu závěsu a vhodné dimenzování uložení je znalost účinků, které na úložnou konstrukci působí.

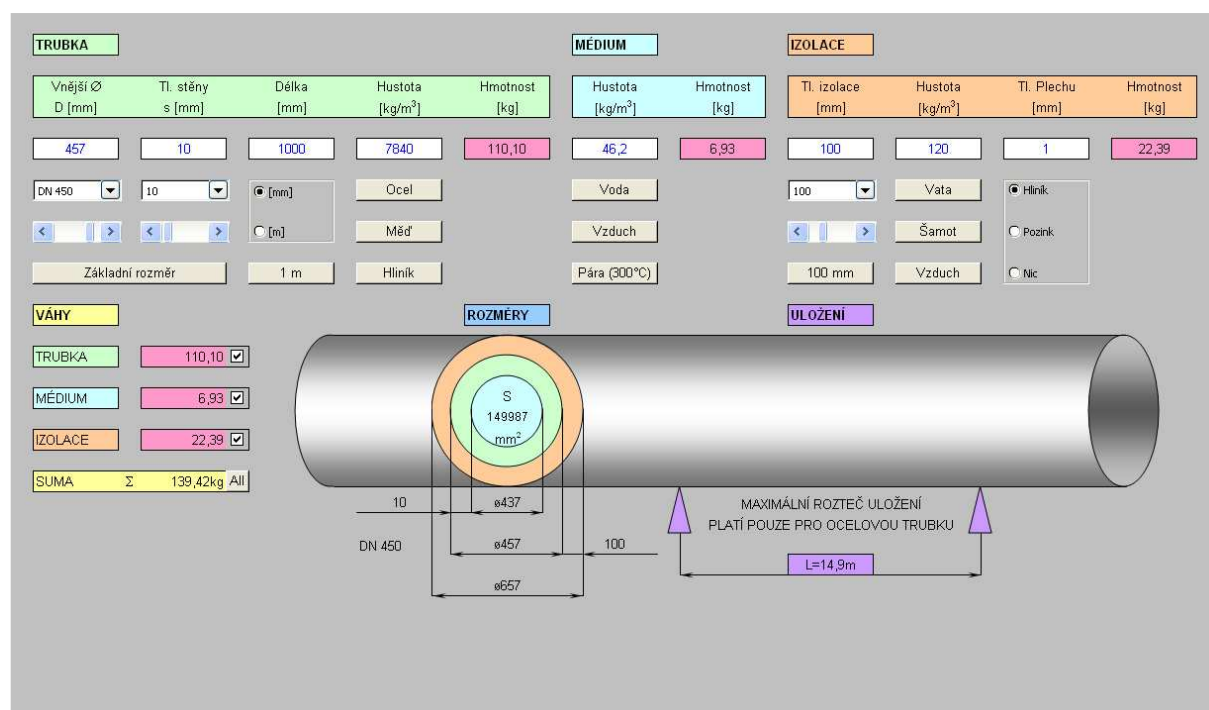
3.13 Rozteč uložení

Rozteč uložení je nutno kontrolovat z hlediska:

- omezení sil působících na jedno uložení,
- omezení ohybového namáhání při průhybu,
- dodržení spádu při průhybu.

Rovnoměrné zatížení potrubí na 1m délky:

- síly působící na potrubí z vnějšího prostředí (povětrnostní podmínky, sníh, vítr),
- vlastní hmotnosti trubky a armatur,
- hmotnost proudícího, popřípadě zkušebního média,
- hmotnost tepelné izolace.



TRUBKA

Vnější Ø D [mm]	TL. stěny s [mm]	Délka [mm]	Hustota [kg/m³]	Hmotnost [kg]
457	10	1000	7840	110,10

DN 450 10 [mm] Ocel

MÉDIUM

Hustota [kg/m³]	Hmotnost [kg]
46,2	6,93

Voda Vzduch Pára (300°C)

IZOLACE

TL. izolace [mm]	Hustota [kg/m³]	TL. Plechu [mm]	Hmotnost [kg]
100	120	1	22,39

100 Vata Šamot Hliník Pozink Nic

VÁHY

TRUBKA	MÉDIUM	IZOLACE	SUMA
110,10	6,93	22,39	Σ 139,42kg All

ROZMĚRY

10 DN 450 ø437 ø457 ø657 100

ULOŽENÍ

MAXIMÁLNÍ ROZTEČ ULOŽENÍ PLATÍ POUZE PRO OCELOVOU TRUBKU L=14,9m

Obr. 3.4 Určování hmotnosti

3.14 Různé druhy uložení potrubí

Závěsy rozlišujeme podle způsobu zachycení zátěžných sil a požadavků na typy uložení:

- 1) Kotevní stojany pevné (pevné body) - rozdělují trasu na jednotlivé kompenzační úseky, které se počítají samostatně. Zakotvení musí být naprosto tuhé a musí zachycovat nejen síly osově, ale také i možné kroutící momenty pootočení.
- 2) Kluzné uložení (vedení potrubí) - se využívá pro vedení potrubí v určitém požadovaném směru.
- 3) Závěsy pružinové - slouží pro zavěšení dilatujícího potrubí, jež má v místě závěsu svislou složku posuvu.
- 4) Závěsy konstantní - jsou nutné tehdy, jestliže závěs musí kompenzovat velké teplotní dilatace.

3.15 Používané materiály

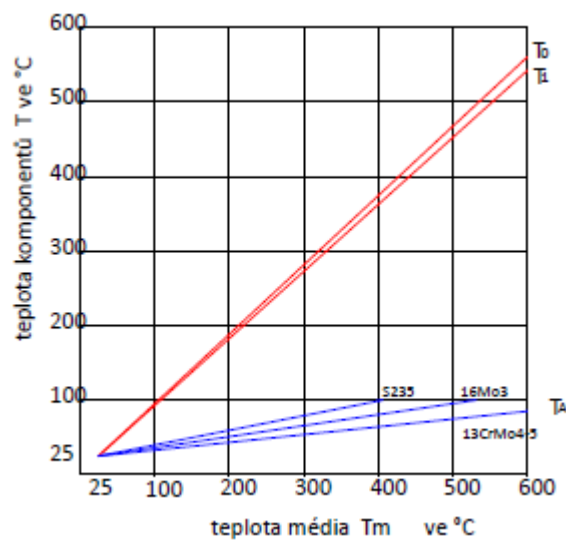
Pro výrobu uložení potrubí se používají různé druhy materiálů. Tyto materiály se dále dělí podle teploty použití daného závěsu v daném prostředí.

označení		teplota použití °C	
EN	ČSN	min	max
S235JRG1	11 373	-20	350
S235JRG2	11 375		
P265GH	11 416	-30	450
S235J2G3	11 523		
16 Mo3	15 020	-20	500
13CrMo4-5	15 121	350	560
1.4301	17 240	-200	450
P275NL		-50	350

Tabulka 3.5 Používané materiály uložení [12]

3.16 Teploty

Konstrukční teploty jednotlivých částí závěsů a podpěr závisí na teplotě média T_m .



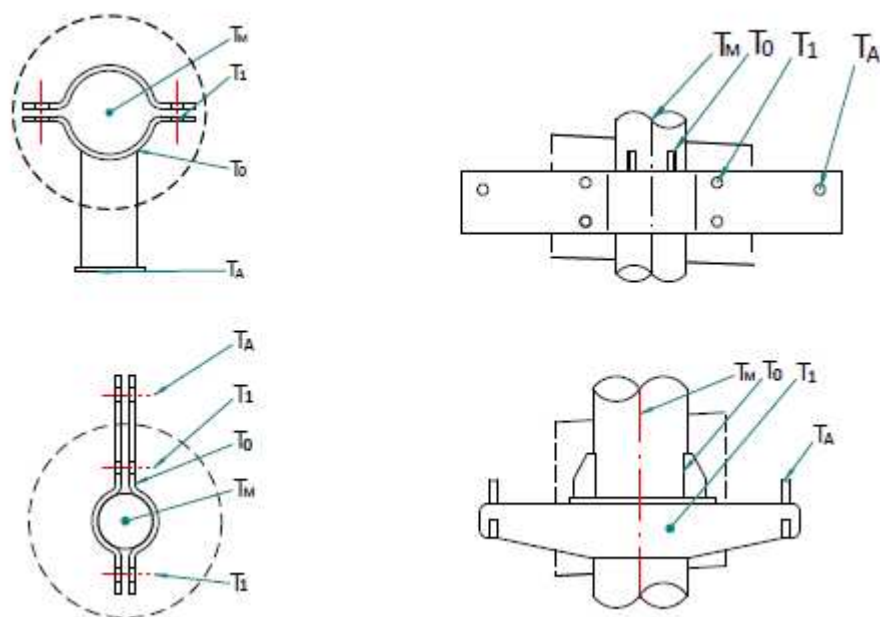
Obr. 3.5 Grafické znázornění mezi teplotami [12]

T_0 - teplota dílů v přímém styku s potrubím,

T_1 - teplota spojovacího materiálu a objímek v izolaci,

T_A - teplota na připojovacím místě objímky v závislosti na použitém materiálu (S235, 16Mo3 a 16CrMo4-5),

T_m - teplota média.



Obr. 3.6 Teploty jednotlivých komponentů [12]

4. Potrubní třídy

Potrubní třídy (dále jen PT) obsahují veškeré informace k potrubním komponentům, které jsou specifikované na základě v kontraktu požadovaných norem konečným zákazníkem a zákonnými nařízeními platnými v zemi, kde bude navrhované zařízení trvale provozováno. Přiřazení se provádí na základě navržených provozních a designových parametrů, dále dle pevnostních výpočtů např. pro rovné délky potrubí, hrdel, sběren, speciálních částí atd. Vytvořené podklady slouží k zhotovení katalogu prvků jednotlivých potrubních tříd v modulu programu PDMS, z něhož je po projekčním návrhu potrubí exportován v elektronické formě podklad pro poptávku ve formě Basic designu. Tyto pak mají úlohu pomocných údajů při tvorbě detail designu.

Na základě zkušeností z předchozích projektů se při navrhování potrubních tříd jeví jako optimální stav :

- | | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| 1) V energetice: | - 2 tlaký kotel – 10 potrubních tříd |
| | - 3 tlaký kotel – 15 potrubních tříd |
| 2) V chemickém průmyslu: | - 20 potrubních tříd |

4.1 Postup návrhu rozdělení procesů do PT

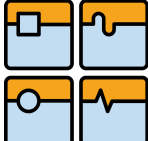
Při postupu návrhu se nejdříve zpracuje technologické schéma, které se vytváří v programu určených na tvorbu schémat. Technologické schémata P&ID (Process & instrument diagram) vytváří pracovník technologického oddělení ve spolupráci s hlavním inženýrem projektu (HIP), procesními inženýry I&C (instrument & control), elektrikáři a jinými pracovníky.

Jako vstupní podklady pro návrh P&ID provozních parametrů slouží údaje a vypočtené hodnoty celkové energetická bilance bloku včetně účinnosti, tepelný výpočet modulů kotle, charakteristika plynové turbíny včetně výstupních spalín, určení jednotky ke způsobu provozování – trvalý provoz, záskok, špičkovací zařízení. Technologické rozdělení na schématech se provádí obvykle dle médií a tlaku. Z vytvořených schémat se generují seznamy potrubí pro další zpracování, které obsahují přiřazené označení, provozní data včetně média.

Jako první krok pro určení rozdělení potrubí do PT se provede návrh a kontrola vygenerovaných seznamů potrubí a jejich navržených provozních stavů.

Návrhové parametry k jednotlivým potrubím v seznamu jsou následně přiřazovány s ohledem na výše uvedené závazné normy a definované provozní parametry. V této fázi se přihlíží také na způsob regulace a řízení kotle, dispozičního umístění provozních a dálkových měření, která mají vliv na rychlost reakce systému na změnu parametrů média např. při změně výkonu zařízení. Platí, že čím delší je reakce řídicího a regulačního systému na změnu parametrů, tím větší je rozdíl mezi nejvyšší provozní a návrhovou hodnotou.

Návrhové parametry jsou tedy rozhodující pro určení k zařazení do potrubní třídy.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 33
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4.2 Zařazení do potrubních tříd - skupiny

Finální seznam potrubí obsahující provozní a návrhové hodnoty slouží jako podklad pro rozdělení do potrubních tříd. Při samotném procesu přiřazování PT k jednotlivým větvím se přihlíží k rozsahu a odvětví projektu, se záměrem co nejvíce optimalizovat rozsah použitých materiálů a jejich tloušťek z důvodu zjednodušení výroby a montáže.

Potrubní třída zpravidla charakterizuje skupinu potrubí s podobnými vlastnostmi. Cílem optimalizace procesu návrhu, nákupu, montáže potrubí je co nejvíce zjednodušit celý průběh tzv. unifikací potrubních částí, který je reakcí na aktuální stav cen a dostupnosti materiálu na trhu. Tvorba potrubních tříd tedy reaguje na cenovou relaci nakupovaných a vyráběných částí ve světě včetně ceny za jejich dopravu. Použití materiálu s lepšími mechanickými vlastnostmi s menší výpočtovou tloušťkou síly stěny, jeví se z technického hlediska jako optimální, nemusí být optimální z hlediska výroby, přepravy, dodacích podmínek, montáže. Proto se také při zařazování potrubí do potrubních tříd přihlíží k předběžným poptávkám materiálu (z fáze nabídky projektu a jeho kalkulace) u potencionálních dodavatelů, kde je požadována fixace ceny a doba platnosti nabídky.

Proces zařazení do potrubní třídy je závislý na:

- ceně a dostupnosti navrhovaného materiálu (standartizace výrobců),
- vhodnosti materiálu pro danou technologickou skupinu (médiu),
- z hlediska jmenovité světlosti potrubí,
- z hlediska budoucího tepelného a pevnostního namáhání,
- z hlediska svařitelnosti s materiály navržených armatur,
- z hlediska tepelného zpracování svarů ve výrobě a na montáži,
- z hlediska zkušeností z předchozích projektů.

Potrubní třídy jsou obvykle rozděleny dle výše uvedených postupů a zvyklostí a tvoří tzv. reprezentativní celek nebo skupinu např. PT sání napájecí vody, PT výtlačku napájecí vody, PT nízkotlaké páry, PT vysokotlaké páry, PT kondenzátního hospodářství, PT odvodnění a odvzdušnění atd. Nemalý vliv na vhodné přiřazení PT u jednotlivých větví potrubí je také odborná zkušenost projektanta potrubí, který může doporučit změnu na zařazení do jiné PT.

Samotný návrh potrubí je pak koncipován tak, že každá potrubní trasa je zařazena do potrubní třídy. Při změně vstupních parametrů (např. materiál, teplota, tlak) je nutné přepočítat celou danou trasu potrubí, a to se dále odráží na zavěšení, uchycení i konstrukci. Všechny tyto změny musí být co nejdříve zrevidovány a upraveny. Při nevhodném řešení může dojít k poškození dané trasy např. k utržení potrubí, nefunkčnosti, ke změně chování materiálu atd.

4.3 Optimalizace

Optimalizace návrhu potrubních tříd vede k vyšší efektivitě procesů. Smyslem dané problematiky je urychlení a ušetření prostředků i času.

4.3.1 Systém značení potrubních tříd

Pro rychlejší, názornější a snadnější orientaci v dané problematice je použito pro označení materiálu, tlaků a těsnících ploch přírub velkých písmen abecedy. Viz tabulka 4.1, 4.2 a 4.3.

OZNAČENÍ SKUPINY MATERIÁLU	
Znak materiálu	URČUJÍCÍ SKUPINA POTRUBNÍ TŘÍDY
A	Ocel pro prac. Teploty nižší než -20°C, mimo ocel i tř.17 (aust.)
B	Barevné kovy (mimo hliník)
C	Oceli tř.10, 11, 12 a ostatní uhlíkové oceli
D	Drahé kovy
E	
F	Oceli tř. 15 (CrMoV nebo CrMoW)(15Mo3,16Mo3,13CrMo44...)
G	Ocel pogumovaná
H	Hliník a jeho slitiny
I	
J	
K	Ocel plátová
L	Litina
M	
N	Oceli tř. 17 (CrNi - austenit.oceli)
O	
P	Plastické hmoty
R	
S	Sklo a ostatní nekovy (mimo plastické hmoty)
T	
U	Ocel s úpravou povrchu (pozinkovaný, smaltovaný)
V	Ocel s vyzdívkou (čedičem, šamotem apod.)

Tabulka 4.1 Označení skupin materiálu

OZNAČENÍ JMENOVITÝCH TLAKŮ				
Znak jedn.tlaků	Rozsah		Znak jedn.tlaků	Rozsah
A	0,4		N	400
B	1		O	500
C	2,5		P	630
D	6		R	800
E	10		S	ATYPICKÉ JMENOVITÉ TLAKY
F	16		T	
G	25		U	
H	40		V	
I	63		W	
J	100		X	
K	160		Y	
L	250		Z	
M	320			

Tabulka 4.2 Označení jmenovitých tlaků

OZNAČENÍ TĚSNÍCÍCH PLOCH PŘÍRUB		
	Rozsah	
A	do 400°C	Hrubá těsnící lišta, hrubá čelní plocha (pro PN2,5 až PN40)
B		Nákržek - výkržek
C		Pero - drážka
D		Hladká těsnící lišta (pro PN63 až PN250)
E		Membránové těsnění
F	od 400°C	Hladká těsnící lišta
G	do 500°C	Membránové těsnění

Tabulka 4.3 Označení těsnících ploch přírub

4.3.2 Rozdělení potrubních tříd

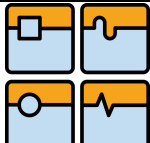
Potrubní třídy jsou děleny:

- dle ČSN EN 12952 (vodotrubné kotle), zahrnují všechny části namáhané tlakem - od vstupu napájecí vody včetně vstupní armatury, až po výstup páry nebo horké vody (včetně výstupní armatury),
- dle ČSN EN 13480 (kovová průmyslová potrubí), zahrnují všechny části namáhané tlakem, které se neschvalují dle ČSN EN 12952.

Potrubní třídy

Potrubní třídy je možné si vytvořit dle potřeby a rozsahu projektu. Dá se říci, že čím je projekt náročnější a objemnější, tím je možné využít většího roztržení. Pro navrhovanou potrubní trasu je použito následujícího členění.

POTRUBÍ NA VODU - POTRUBÍ KOTLE EN 12952					
Číslo	Potrubní třída	Potrubní trasa	Design Tlak bar(g)	Design Teplota °C	Potrubní Material
1.	FLD 1 PN 250	VYSOKÝ TLAK POTRUBÍ NAPÁJECÍ VODY	165	200	16Mo3
2.	FLD 2 PN 250	POTRUBÍ ECO 1 – ECO 2,3 – VT BUBEN	165	350/355	16Mo3
		SPOJOVACÍ POTRUBÍ Z VT BUBNU AŽ DO VT VÝPARNÍKU	145	390	
		NASYCENÁ PÁRA VT BUBEN – VT PŘEHŘÍVÁK 1			
3.	FLD 3 PN 250	VT NAPÁJECÍ VODA POTRUBÍ	237	200	16Mo3
4.	FLF 1 PN 250	POTRUBÍ Z VT PŘEHŘÍVÁKU 1 AŽ DO VT PŘEHŘÍVÁKU 2	143	435	16Mo3

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky		Str. 36
	DIPLOMOVÁ PRÁCE		

5.	FLF 2 PN 250	POTRUBÍ Z VT PŘEHŘÍVÁKU 2 AŽ DO VT PŘEHŘÍVÁKU 3	143	560	X10CrMoV Nb9-1
		VT PARNÍHO POTRUBÍ	143	575	

Tabulka 4.4 Potrubní třídy – příklad rozdělení

Potrubní třída - FLD 1

Tato potrubní třída představuje již konkrétní trasu s následujícími komponenty:

KKS ČÍSLO (Značení příslušné potrubní trasy)		10LAB30 BR003, 10LAB30 BR102 10LAE05 BR002, 10LAE26 BR002 10HAC10 BR002		
Standard: EN 12952 System: Voda Korozní přídavek: 1mm		Design parametry		
		Tlak bar(g)	Teplota (°C)	
		165	200	
Komponent	Standartní parametry	Technická – delivery cond.	Material / mat. certif.	Poznámky
Trubka	EN 10220	EN 10216-2	16Mo3 3.1	
Trubkový ohyb	EN 10220 R=5DN	EN 10216-2	16Mo3 3.1	<i>pro DN<50mm</i>
Koleno	EN 10253-2 type A pro 3D, 5D	EN 10253-2	16Mo3 3.1	
Redukce	EN 10253-2 type B	EN 10253-2 EN 10222-2	16Mo3 3.1	
T-kus	EN 10253-2 type B	EN 10253-2 EN 10222-2	16Mo3 3.1	
Příruba	EN 1092-1 PN 250 Surface B2	EN 1092-1 EN 10222-2	16Mo3 3.1	
Šroub	DIN 2510 type L	EN 10269 EN 10021	25CrMo4 3.1	
Matice	DIN 2510 type NF	EN 10269 EN 10021	C35E 3.1	
Těsnění	DIN 2699		SPIRÁLOVÉ M 123 Grafit	
Zaslepovací příruba	drawing	EN 10222-2	16Mo3 3.1	

Tabulka 4.5 Tabulka komponentů

Trubkové a ohybové rozměry FLD1						Trub. kontrolní dokumentace EN764-5 / potrubní kategorie	
DN	Vnější průměr D_o (mm)	Tloušťka (mm)				Material kvalita jakosti 1)	Kategorie acc. to PED IV
		e_{ord} (mm)	$e_{ext} + c_0$ (mm)	e_{ord} (mm)	$e + c_0$ (mm)		
		Rovná trubka EN 10216 16Mo3	Trubkový oblouk EN 10216 R=5DN 16Mo3	Ohyb EN 10253 pro 3D 16Mo3	Svarový spoj		
10	17,2	2,9		-	2,6	3.1	IV
15	21,3	2,9		2,9	2,6		
20	26,9	3,2		3,2	2,6		
25	33,7	3,6		4	2,9		
40	48,3	4,5		5,6	3,9		
50	60,3	5,6		6,3	4,5		
65	76,1	6,3		8	5,3		
80	88,9	7,1		8,8	6,2		
100	114,3	8,8		11	7,5		
125	139,7	11		12,5	9		
150	168,3	12,5		14,2	10		
200	219,1	17,5		20	12,7		
250	273	20		22,2	15,5		
300	323,9	25		28	18,5		

Tabulka 4.6 Trubkové a ohybové rozměry dané třídy (FLD1)

Použité symboly mají následující význam:

e_{ord} - objednaná tloušťka stěny,

$e_{ext} + c_0$ - min. požadovaná tloušťka stěny pro trubkový oblouk s dovolením na korozi,

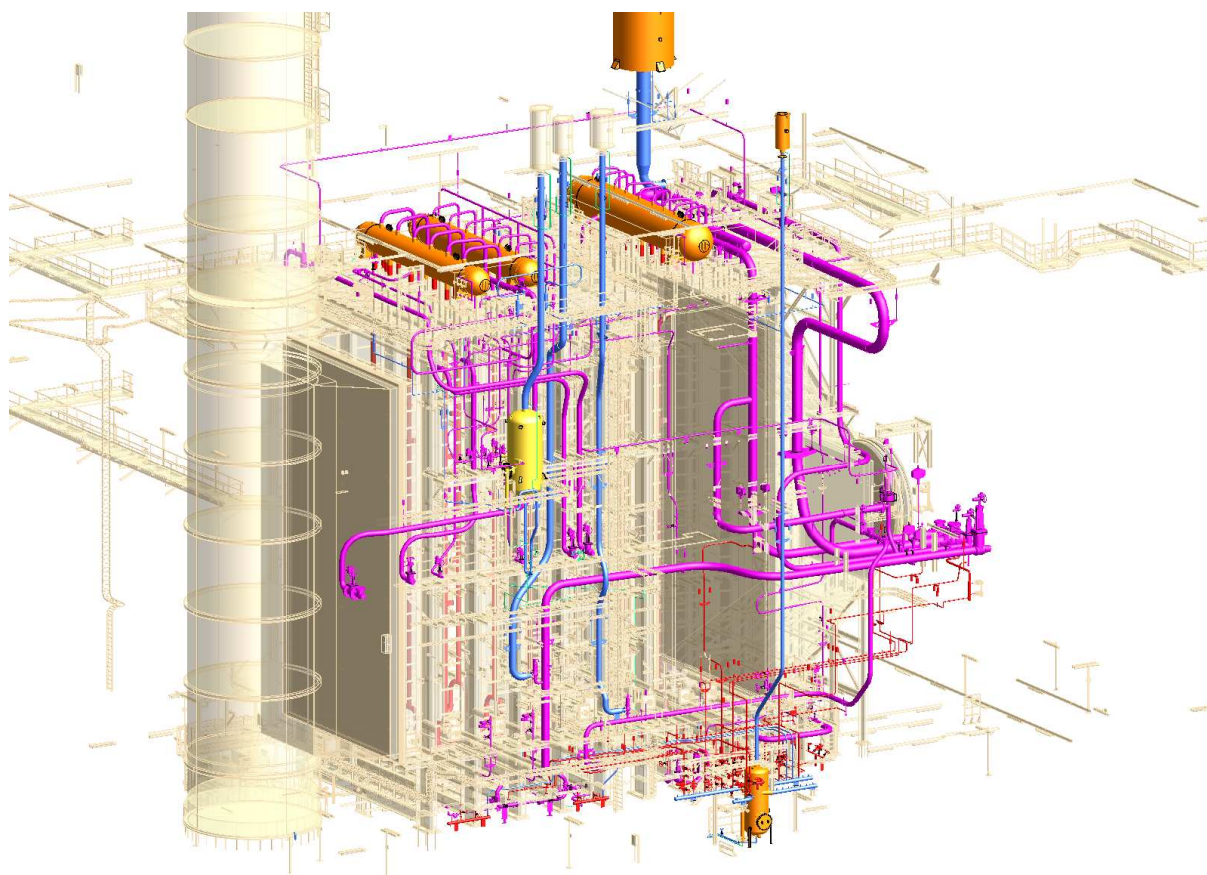
$e + c_0$ - min. požadovaná tloušťka stěny ve svarovém spoji.

4.4 Postupy navrhování a modelování konkrétní potrubní trasy

Návrh potrubní trasy musí v zásadě splňovat následující podmínky:

- funkci (zapojení dle platných procesních diagramů),
- ekonomické řešení (volba PT, možnosti dodavatelů, výroby, montáže, přepravy, časového harmonogramu projektu...),
- technické řešení (volba PT, umístění, přístupnost, zavěšení, dilatace, pevnostní zatížení, odvodnění, odvzdušnění..),
- vizuální vzhled a ergonomie (na základě review s konečným zákazníkem, obsluhy),
- přehledné a srozumitelné zpracování předávací dokumentace (pro výrobu, montáž , konečného zákazníka...).

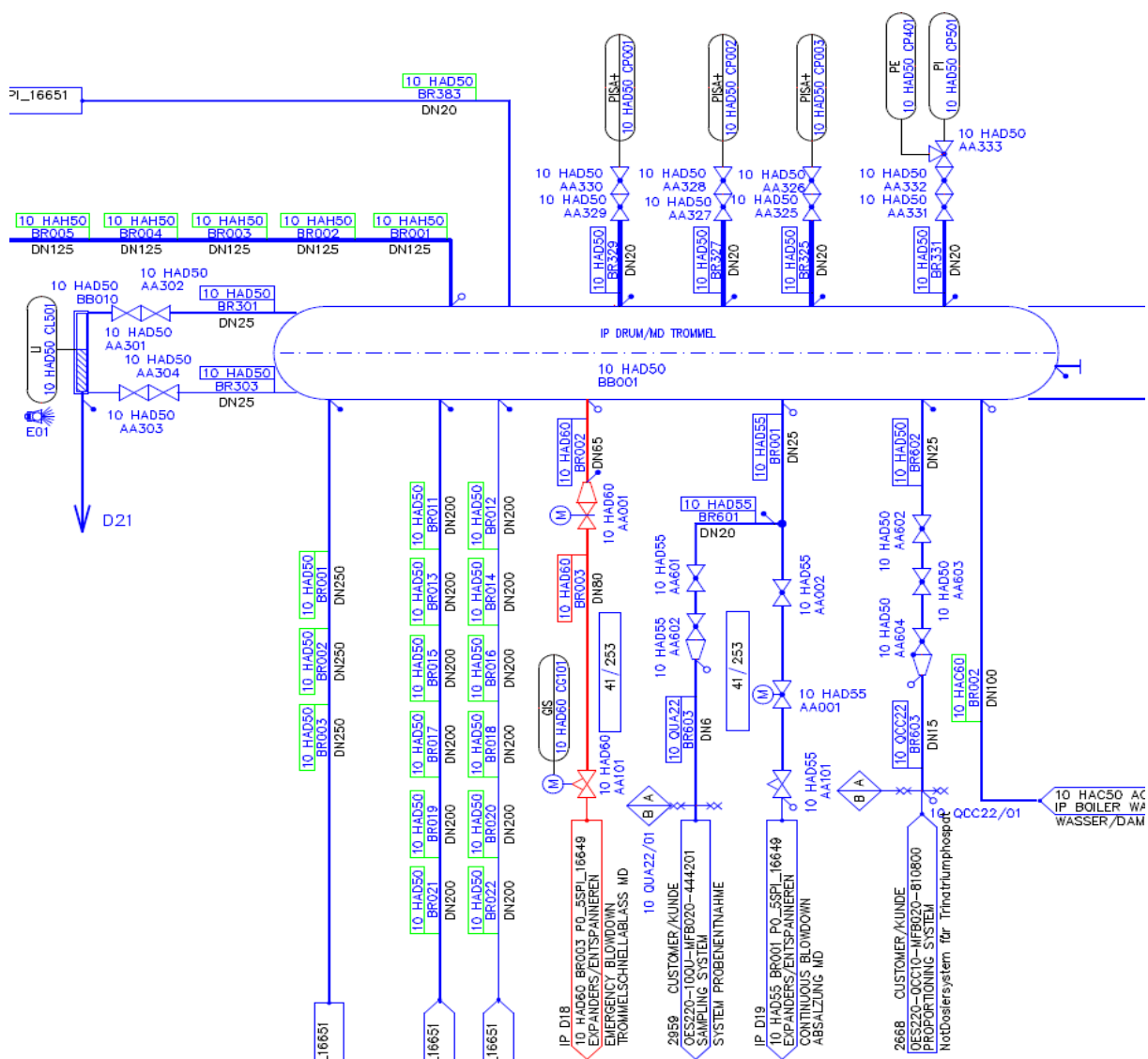
Tyto podmínky jsou důležité pro modelování v programech, a podle těchto bodů by se mělo postupovat tak, aby byly vyřešeny kolize a co nejdříve byly odstraněny, a nedocházelo k tak k nabourání do jiné potrubní trasy, konstrukce budovy atd.. To je potřeba jak pro montáž, tak pro demontáž, a případné opravy různých zařízení (ventily, závěsy atd.).



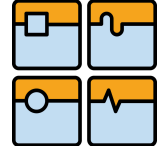
Obr. 4.4 Návrh řešení a projektování potrubních tras

4.4.1 Potrubní schéma P&ID

Výchozí údaje jsou použity z P&ID schématu - název potrubí, názvy a typy armatur, zařízení, měření, typy potrubních prvků, teploty a tlaky. Správné technologické zapojení musí být navrženo tak, aby daná trasa splňovala nejvhodnější umístění prvků, měření teploty, což je důležité pro správný chod daného zařízení. Pro ukázkou jsem vybral potrubní trasu, která je na schématu znázorněna červeně.



Obr. 4.5 Schéma potrubní trasy

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 40
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Tato trasa byla zařazena do PT viz tabulka 4.7

POTRUBÍ NA VODU - POTRUBÍ KOTLE EN 12952					
Číslo	Potrubní třída	Potrubní trasa	Design Tlak bar(g)	Design Teplota °C	Potrubní Material
	CID 1 PN 63	NOUZOVÁ VYPUSTĚ	41	265	P235GH-TC2

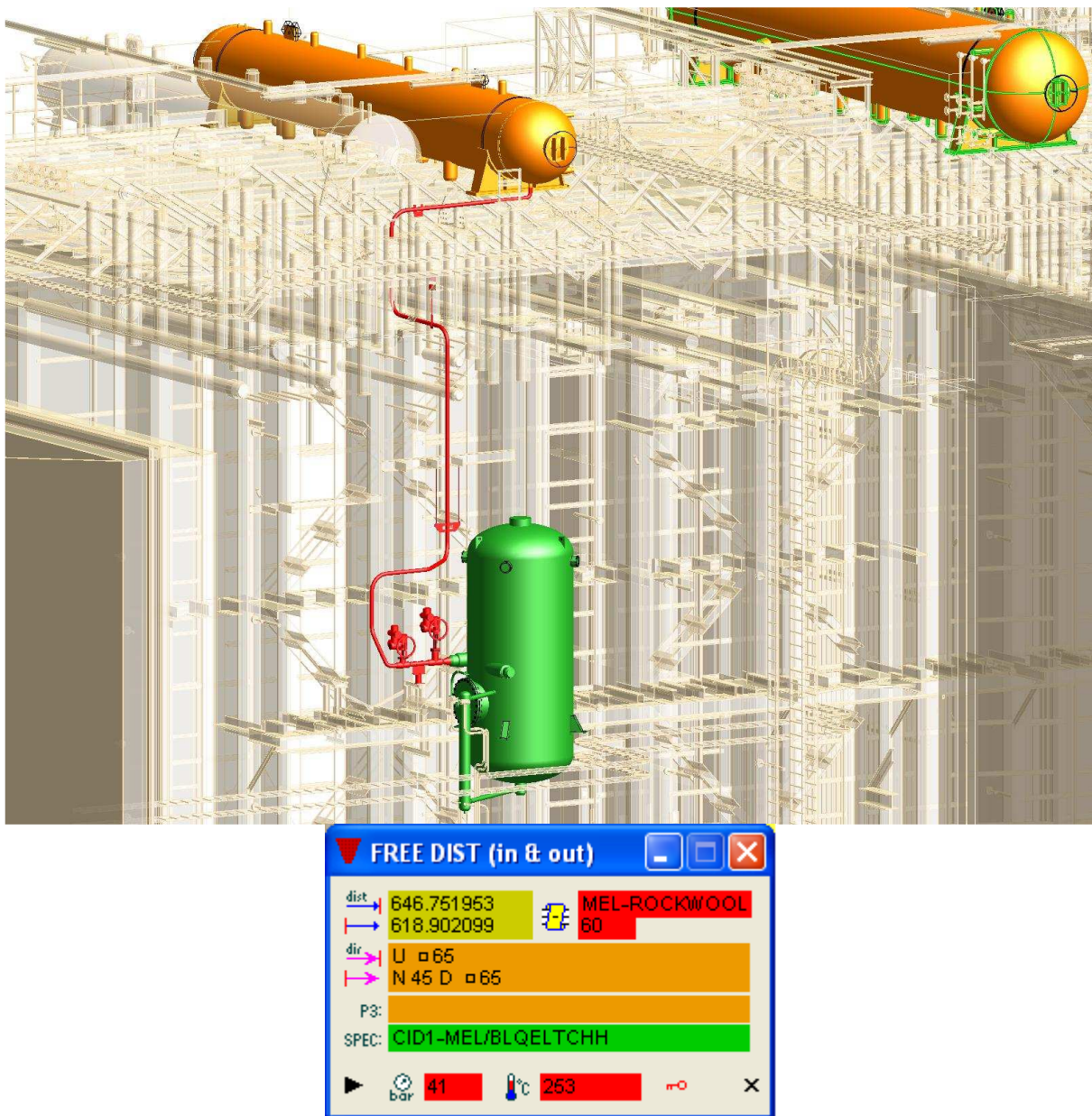
Tabulka 4.7 Potrubní třída zvolené trasy

4.4.2 Namodelovaná potrubní trasa

Potrubní trasa byla navržena tak aby :

- potrubí bylo vedeno co nejkratší cestou za dodržení dilatační podmínky,
- byl zajištěn přístup obsluhy k namodelovaným ventilům.

Potrubní trasa byla namodelována nejvhodnější a nejkratší cestou. Mohou zde ale nastat různé kolize, které se odstraní během dalších úprav v projektu. Jako na příklad s ocelovou konstrukcí, dále musí být umožněn přístup k různým dalším zařízením (rozvaděče,...), k údržbě zařízení a samozřejmě také pro případnou montáž či demontáž. K této namodelované potrubní trase byla vytvořena výkresová izometrie (viz seznam příloh – číslo výkresu DP-01/00).



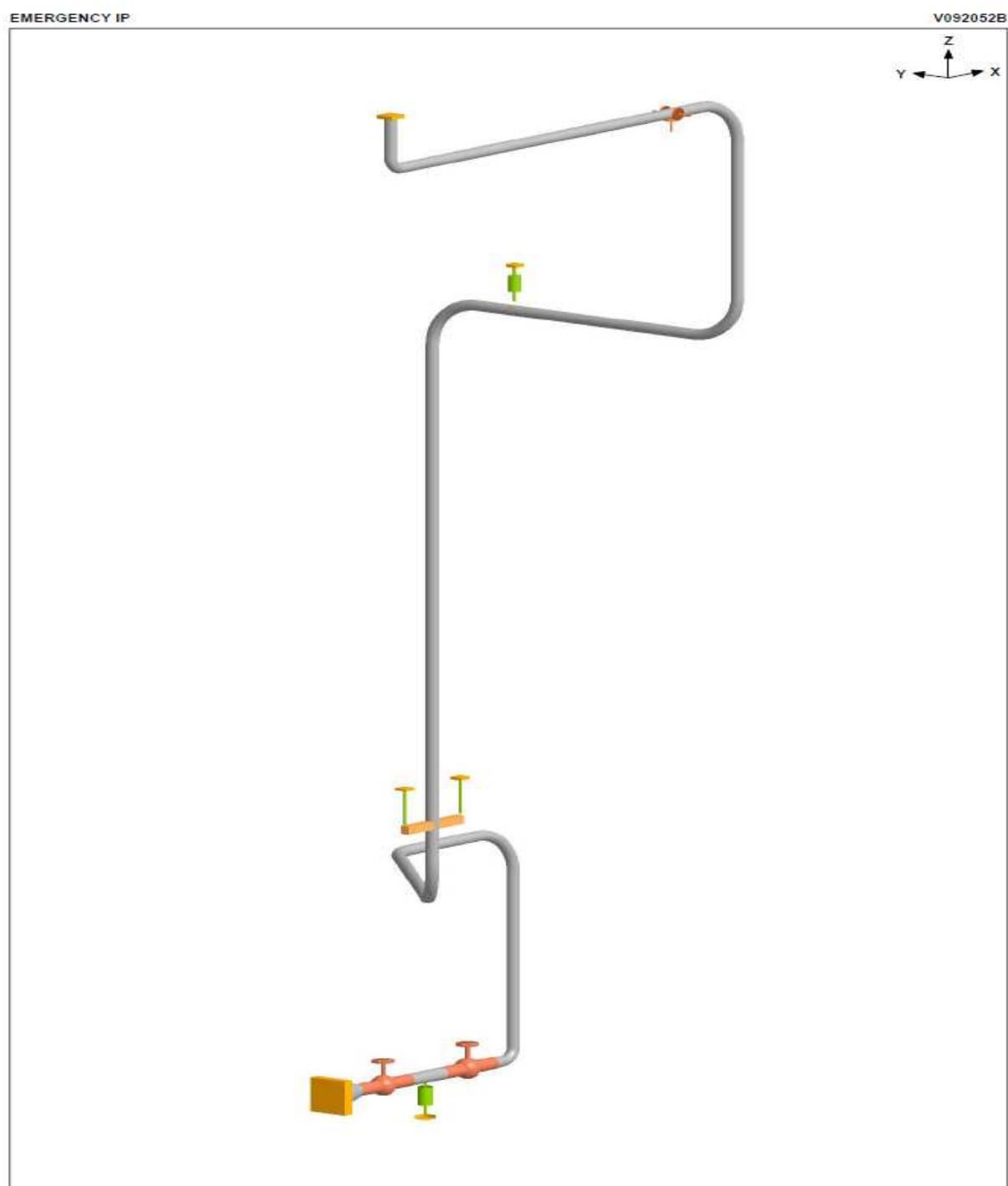
Obr. 4.6 Navržená trasa

4.4.3 Potrubní trasa navržena v programu CAEPIPE 6

Pro navrženou trasu z PDMS je programem proveden dilatační výpočet pro různé provozní stavy (teplý, studený). Daná potrubní trasa se dále optimalizuje pro docílení reálného stavu. Při dilatačním výpočtu je nutno uvážit jestli potrubní trasa bude počítána zvlášť (jak v tomto případě), nebo jako soustava potrubních tras (viz seznam příloh – Pevnostní výpočet namodelované potrubní trasy).

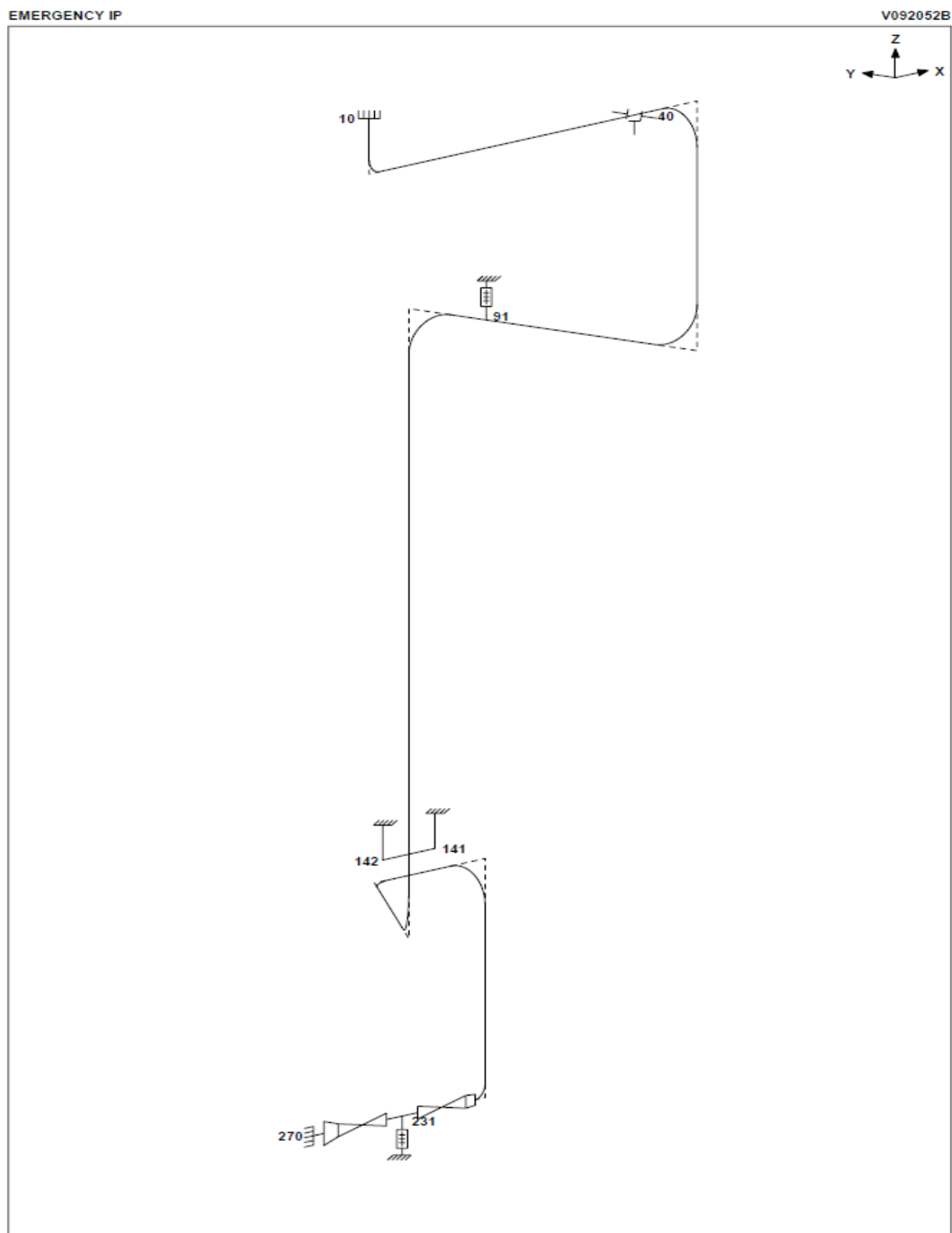
Je nutné brát v úvahu:

- uložení koncových bodů (zda-li je bod pevný, nebo umožňuje posuvy v určitých směrech),
- zohlednění vedení potrubí.

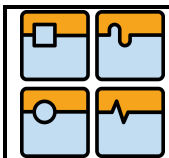


Obr. 4.7 Potrubní trasa použitá pro výpočet závěsů

Číselné značení uzlů na schématu výpočtu slouží pro rychlou orientaci na dané potrubní trase.



Obr. 4.8 Číselné značení uzlových bodů dané trasy



4.4.4 Výstupní tabulka v programu CAEPIPE 6

Tabulka 4.7 popisuje potrubní trasu po celé délce včetně uzlových bodů, které definují její uložení (závěsy, uložení, vedení a pevné body). Jsou zde uvedeny hodnoty posuvu potrubí. Výpočty jsou prováděny z důvodu opatření pro předejití deformacím i poškozením dané trasy.

Node:	10	HAD50/BB001/EMERGENCY-BLOW-DOWN							DN65
Type of support:	Nozzle								
Calculation Loads	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _r (N)	M _x (Nm)	M _y (Nm)	M _z (Nm)	M _r (Nm)	x(mm) y(mm) z(mm)
Sustained loads	81	0	-175		11	-9	-1		0,0 0,0 0,0
Operating loads	-223	-264	-119		3	30	-555		0,0 16,4 0,0
Design loads	-222	-271	-115		6	23	-570		0,0 16,8 0,0
Static maximum	-223	-271	-175		11	30	-570		0,0 16,8 0,0
Earthquake (±)	192	35	27		104	136	24		0,0 0,0 0,0

Node:	40								DN65
Type of support:	Guide								f=0,3
Calculation Loads	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _r (N)	M _x (Nm)	M _y (Nm)	M _z (Nm)	M _r (Nm)	x(mm) y(mm) z(mm)
Sustained loads	-70	19	-608		0	0	0		0,0 0,0 0,0
Operating loads	104	102	-248		0	0	0		7,5 0,0 0,0
Design loads	94	96	-219		0	0	0		8,0 0,0 0,0
Static maximum	104	102	-608		0	0	0		8,0 0,0 0,0
Earthquake (±)	0	193	0		0	0	0		0,1 0,0 3,4

Node:	91								DN65
Type of support:	Spring Support								c=8N/mm F _{cold} =0,4kN
Calculation Loads	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _r (N)	M _x (Nm)	M _y (Nm)	M _z (Nm)	M _r (Nm)	x(mm) y(mm) z(mm)
Sustained loads	0	0	-400		0	0	0		-0,4 0,7 0,0
Operating loads	0	0	-339		0	0	0		7,7 8,8 7,6
Design loads	0	0	-335		0	0	0		8,0 9,5 8,1
Static maximum	0	0	-400		0	0	0		8,0 9,5 8,1
Earthquake (±)	0	0	47		0	0	0		8,1 6,9 5,8

Node:	141								DN65
Type of support:	Rod Hanger								
Calculation Loads	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _r (N)	M _x (Nm)	M _y (Nm)	M _z (Nm)	M _r (Nm)	x(mm) y(mm) z(mm)
Sustained loads	0	0	-413		0	0	0		0,4 -0,1 0,0
Operating loads	0	0	-713		0	0	0		-6,4 11,5 0,0
Design loads	0	0	-739		0	0	0		-7,1 12,2 0,0
Static maximum	0	0	-739		0	0	0		-7,1 12,2 0,0
Earthquake (±)	0	0	0		0	0	0		7,7 11,1 6,1

Node:	142								DN65
Type of support:	Rod Hanger								
Calculation Loads	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _r (N)	M _x (Nm)	M _y (Nm)	M _z (Nm)	M _r (Nm)	x(mm) y(mm) z(mm)
Sustained loads	0	0	-374		0	0	0		0,4 -0,2 0,0
Operating loads	0	0	-242		0	0	0		-6,4 13,3 0,0
Design loads	0	0	-233		0	0	0		-7,1 14,1 0,0
Static maximum	0	0	-374		0	0	0		-7,1 14,1 0,0
Earthquake (±)	0	0	0		0	0	0		7,7 12,7 7,2

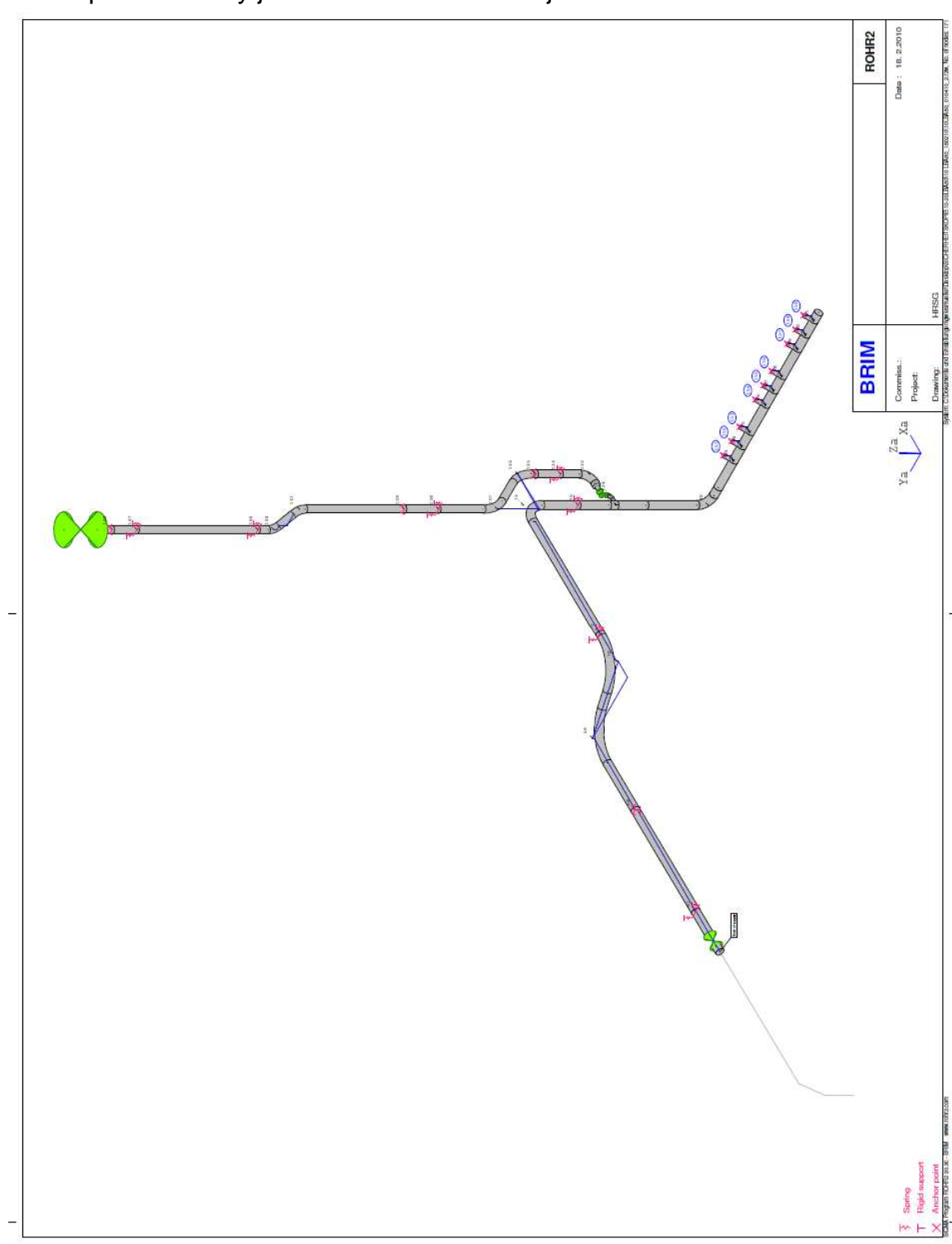
Node:	231								DN80
Type of support:	Spring Support								c=53,3N/mm F _{cold} =3,3kN
Calculation Loads	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _r (N)	M _x (Nm)	M _y (Nm)	M _z (Nm)	M _r (Nm)	x(mm) y(mm) z(mm)
Sustained loads	0	0	-3 299		0	0	0		0,0 0,0 0,0
Operating loads	0	0	-3 004		0	0	0		7,4 4,1 5,6
Design loads	0	0	-3 004		0	0	0		7,6 4,1 5,6
Static maximum	0	0	-3 299		0	0	0		7,6 4,1 5,6
Earthquake (±)	0	0	7		0	0	0		0,0 0,1 0,1

Node:	270	LFC10/BB001/NOZZ/N04/IP-EMERGENCY-BD							DN150
Type of support:	Nozzle								
Calculation Loads	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _r (N)	M _x (Nm)	M _y (Nm)	M _z (Nm)	M _r (Nm)	x(mm) y(mm) z(mm)
Sustained loads	-11	-19	525		-6	-207	-13		0,0 0,0 0,0
Operating loads	119	162	-79		-152	418	89		4,9 4,1 5,8
Design loads	128	175	-97		-167	439	97		4,9 4,1 5,8
Static maximum	128	175	525		-167	439	97		4,9 4,1 5,8
Earthquake (±)	527	489	46		175	249	382		0,0 0,0 0,0

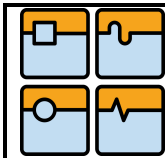
Tabulka 4.7 Uložení posuvů

4.4.5 Potrubní trasa vytvořena v programu ROHR 2

Program ROHR 2 pracuje na obdobném principu jako program CAEPIPE. Výpočtový model potrubní trasy je znázorněn na následujícím obrázku.



Obr. 4.9 Číselné značení uzlů potrubní trasy



4.4.6 Výstupní tabulka v programu ROHR 2

				Contract/ Order		Document No. Dokument-Nr.									
				Prepared Erstellt		Notes Bemerkungen									
				Checked Überprüft		Date									
				Approved Freigegeben		Revision 0									
Rev.	SUPPORT KKS NAME	PIPE KKS system-no.	ASS. GROUP	Forces COLD CONDITION			Forces HOT CONDITION			support - kind	Displacement in direction			loadpoint-no NODE	NOTE
				X (kN)	Y (kN)	Z (kN)	X (kN)	Y (kN)	Z (kN)	Type	dx (mm)	dy (mm)	dz (mm)		
0	10/LBA80/BR001/H05	10/LBA80/BR001	H239	-	-	-23.5	-	-	-23.5	CH	35.6	5.8	-61.7	75	
0	10/LBA80/BR001/H10	10/LBA80/BR001	H239	-	-	-11.1	-	-	-14.1	SH	25.3	-10.4	-11.4	71	Double, K=11.11
0	10/LBA80/BR001/H15	10/LBA80/BR001	H239	-	-	-	-9.7/+23.3	-4.5/+6.9	-13	LP	0.0	0.0	0.0	68	
0	10/LBA80/BR001/H20	10/LBA80/BR001	H239	-	-	-16.2	-	-	-13.9	SH	-21.8	0.5	17.4	67	Double, K=66.6
0	10/LBA80/BR192/H05	10/LBA80/BR192	N410	-	-	-5.8	-	-	-5.8	CH	19.7	2.5	-65.2	134	Double
0	10/LBA80/BR192/H07	10/LBA80/BR192	N410	-	-	-	-5.8/+8.4	-1.9/+3.2	-2.3	GR	15.0	0.0	-65.2	135	15mm Gap in +X direction
0	10/LBA80/BR192/H10	10/LBA80/BR192	N410	-	-	-13.9	-	-	-13.9	CH	2.1	0.9	-70.4	138	Double
0	10/LBA80/BR192/H15	10/LBA80/BR192	N410	-	-	-	-3.8/+2.0	-3/+2.6	-0.7	GR	0.0	0.0	-70.4	139	
0	10/LBA80/BR192/H20	10/LBA80/BR192	N410	-	-	-5.1	-	-	-5.1	CH	-0.5	-1.8	-70.3	146	Double
0	10/LBA80/BR192/H25	10/LBA80/BR192	N410	-	-	-14.3	-	-	-14.3	CH	-0.2	-0.4	-70.3	147	Double
0	10/LBA80/BR192/H30	10/LBA80/BR192	N410	-	-	-	-2.8/+2.7	-2.5/+2.4	0.0	GR	0.0	0.0	-70.3	148	
Notes:				1) For Spring hangers, Cold load is taken from sustained loads and Hot load is taken from normal operating (OPE1). Displacements from normal operating											
				2) For Rigid supports, Hot load is taken from Extreme val - Min / Extreme value -max. Displacements from normal operating											
				3) Coordinate system is as per AEE isometrics											
				4) Support legends											
				AX	Axial stop										
				CH	Constant hanger										
				GH	Guide horizontal										
				GH(X)	Guide horizontal in X direction										
				GH(Y)	Guide horizontal in Y direction										
				GR	Guide radial										
				LP	Lock Point										
				RH	Rigid hanger										
				SH	Variable spring hanger										
				SNB	Snubber										

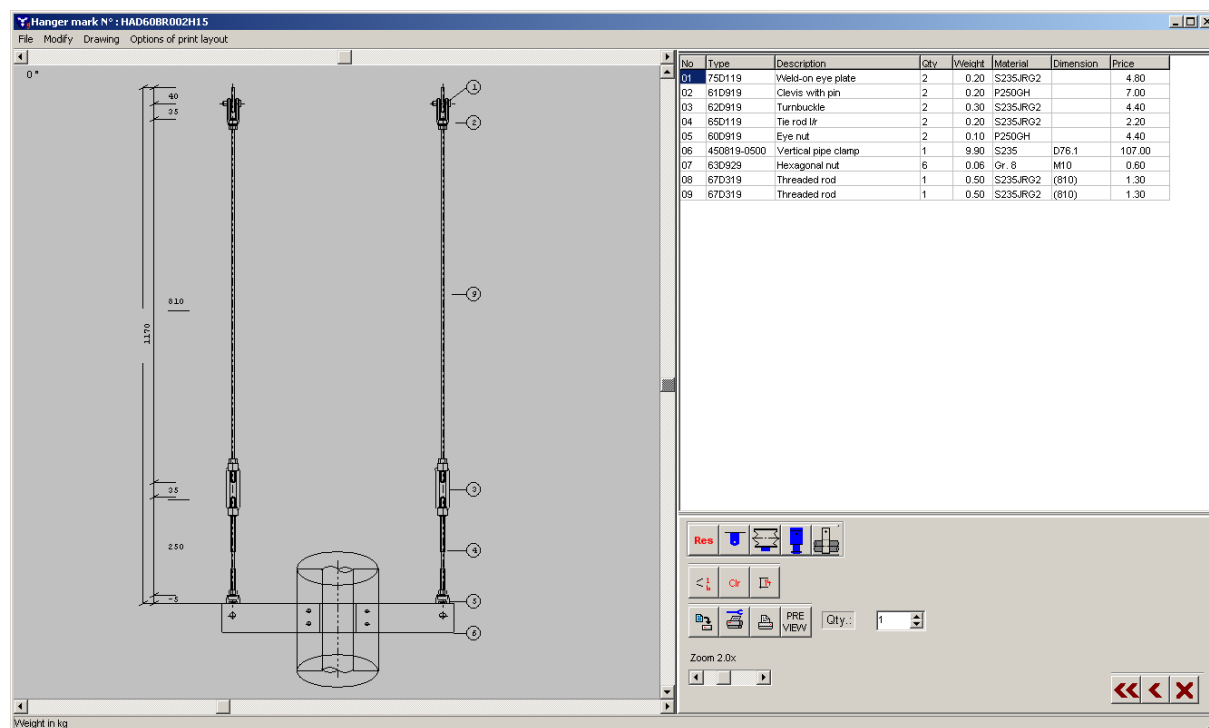
Tabulka 4.8 Uložení posuvů

4.4.7 Program na navrhování závěsů potrubních tras LICAD 2010 Version8

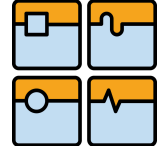
Po získání hodnot z dilatačního výpočtu, které potvrdily správnost uvažovaného rozložení a umístění závěsů a uložení, bylo možno navrhnout závěsy, které jsou do modelu vloženy ve skutečné velikosti.

V tomto případě se postupuje následovně:

1. Z dilatačního výpočtu se zjistily posuvy pro daný závěs.
2. Zohlednila se délka, rozteč a uchycení na samotné konstrukci.
3. Vybrala se tloušťka izolace potrubí.
4. Vložily se parametry (síla, průměr potrubí, teplota, izolace, posuvy).
5. Vybral se typ závěsu, který vyšel z výpočtu.
6. Vygeneroval se kusovník, kde je zohledněna firma.
7. Uložení do 3D modelu.



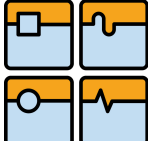
Obr. 4.10 Závěs, který je po zadání vložen do PDMS

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 48
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

5. Závěr

Diplomová práce je zaměřena na optimalizaci návrhu potrubí v programu PDMS (Plant Design Management Systém), a dále na zásady navrhování projekčních zpracování potrubních tras. Řeší efektivnost a rychlost možnosti vzájemného využití programů při změně parametrů, tak aby všechny změny mohly být co nejrychleji a nejlépe zpracovány. Pokud by se nepodařilo v čas efektivně odstranit zásadní problém, mohlo by v krajním případě dojít ke kolizi s konstrukcí budovy a popřípadě s ostatními systémy, které jsou v budově používány.

Hlavním přínosem této diplomové práce je možnost zefektivnění práce při projektování v PDMS. Toto zefektivnění spočívá v tom, že již při projektování v modulu DESIGN lze při vytváření potrubní trasy vybírat jednotlivé komponenty z patřičných specifikací, které odpovídají potrubní třídě, do níž toto projektované potrubí spadá. Za předpokladu dodržení správného výběru potrubních komponent je výstupem výkres isometrie s kusovníkem, který nepotřebuje dalšího konstrukčního zpracování a je možné ho předat přímo do výroby, případně výrobní firmy. Je dobré ještě zmínit, že správnost výběru příslušné specifikace je možné hlídat softwarově a tím eliminovat lidské chyby. Z toho vyplývá, že snížení nákladů nelze očekávat jen zkrácením projekčních časů, ale také redukcí změnových řízení jak ve výrobě, tak i na stavbě.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 49
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

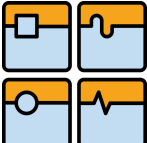
Seznam použitých zdrojů

- [1] ČSN EN 13480-3, Kovová průmyslová potrubí. Část 3 – Konstrukce a výpočet
- [2] ČSN EN 12952-3, Vodotrubné kotle a pomocná zařízení. Část 3 – Konstrukce a výpočet částí namáhaných tlakem.
- [3] ČSN EN 10253-2, Potrubní tvarovky pro přivaření tupým svarem – Část 2: Nelegované a feritické oceli se stanovením požadavků na kontrolu
- [4] ČSN EN 1092-1, Příruby a přírubové spoje – Kruhové příruby pro trubky, armatury, tvarovky a příslušenství s označením PN. Část 1: Příruby z oceli
- [5] http://www.cadpro.cz/about_us/pdms/what_is_pdms.php?lng=cz
- [6] SMĚRNICE 97/23/ES Evropského parlamentu a Rady (PED)
- [7] Kolektiv autorů, Technická konference 2006, Vydal: TDS Brno – SMS, s.r.o. (Technické dozorové systémy – speciální manažerské systémy) Mariánské nám. 1, 617 00 Brno, 268 stran, ISBN 80-903386-5-8
- [8] Kolektiv autorů, Technická konference 2009, Vydal: TDS Brno – SMS, s.r.o. (Technické dozorové systémy – speciální manažerské systémy) Mariánské nám. 1, 617 00 Brno, 442 stran, ISBN 978-80-87102-04-6
- [9] ČSN EN 10216-2+A2 Bezešvé ocelové trubky pro tlakové a zařízení – technické dodací podmínky – část 2: trubky z nelegovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při zvýšených teplotách
- [10] <http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1411>
- [11] Ing. Vladimír Wilda a kol. Projektování průmyslových potrubí a potrubních rozvodů. Praha 1968. 240 s. SNTL, DT 621.643
- [12] <http://www.lpsupports.cz/products/a3-cast-zavesy>

Seznam použitých zkratk a symbolů

A_p	[mm ² , m ²]	plocha zatížená tlakem
A_{fpl}	[mm ² , m ²]	plocha výztužného límce
A_{fs}	[mm ² , m ²]	plocha vyztužení skořepiny
A_{fb}	[mm ² , m ²]	plocha vyztužení odbočky (branch)
t, T	[mm, m]	tloušťka stěny
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	[Pa, MPa]	napětí
σ_o	[Pa, MPa]	napětí
σ_{ax}	[Pa, MPa]	axiální (tahové) napětí
F_{ax}	[N]	axiální síla působící na trubku
S_{tr}	[mm ² , m ²]	plocha průřezu po střednici
e	[mm, m]	Minimální požadovaná tloušťka stěny
f	[Pa, MPa]	dovolené napětí materiálu
p_c	[Pa, MPa]	výpočtový tlak
e_{int}	[mm, m]	minimální požadovaná tloušťka stěny bez přídavků (pro vnitřní stranu oblouku)
e_{ext}	[mm, m]	minimální požadovaná tloušťka stěny bez přídavků (pro vnější stranu oblouku)
e_a	[mm, m]	analyzovaná tloušťka
e_{ord}	[mm, m]	objednaná tloušťka trubky
D, D_0	[mm, m]	průměr trubky
D_i	[mm, m]	průměr trubky (vnitřní)
z	[–]	součinitel svaru
c_o	[mm, m]	přídavek na korozi
c_1	[mm, m]	mezní úchylka průměru a tloušťky stěny (absolutní hodnota)
c_2	[mm, m]	přídavek pro možné zmenšení tloušťky během výroby
R	[mm, m]	poloměr trubky
L_b	[mm, m]	vzdálenost mezi středy otvorů
D_{eq}	[mm, m]	ekvivalentní průměr skořepiny
d_i	[mm, m]	průměr otvoru, vnitřní průměr trubky
d_1	[mm, m]	průměr vnitřního průměru odbočky
l_{pl}	[mm, m]	šířka výztužného límce
M_o	[N·mm, N·m]	ohybový moment
J	[mm ⁴ , m ⁴]	moment setrvačnosti plochy
W	[mm ³ , m ³]	moment odporu plochy
e	[mm, m]	vzdálenost krajního vlákna průřezu trubky od těžiště pozn. nezaměnit s tloušťkou stěny
q	[N·mm, N·m]	délkové zatížení
l	[mm, m]	délka trubky
e_{ord}	[mm, m]	objednaná tloušťka stěny
$e_{ext} + c_o$	[mm, m]	min. požadovaná tloušťka stěny pro trubkový oblouk s dovolením na korozi
$e + c_o$	[mm, m]	min. požadovaná tloušťka stěny ve svarovém spoji

R_{eHt}	[MPa]	minimální specifikovaná hodnota horní meze kluzu při výpoč. teplotě
$R_{p0,2t}$	[MPa]	minimální smluvní mez kluzu 0,2% při výpočtové teplotě
$R_{p1,0t}$	[MPa]	minimální smluvní mez kluzu 1% při výpočtové teplotě
R_m	[MPa]	minimální mez pevnosti v tahu
R_{mt}	[MPa]	minimální mez pevnosti v tahu při výpočtové teplotě
S_{RTt}	[MPa]	je střední hodnota meze pevnosti při tečení vztažená k času
SF_{CR}		je součinitel bezpečnosti

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 52
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Seznam příloh

1. Výkres izometrie potrubní trasy s detaily – číslo výkresu DP-01/00
2. Pevnostní výpočet namodelované potrubní trasy