ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba energetických strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Optimalizace horkovodní potrubní trasy systému ve 3D software PDMS a následné ověření tepelně dilatačním výpočtem

Autor: **David HÜBEL**

Vedoucí práce: **Ing. Zdeněk JŮZA, Ph.D., MBA**

Akademický rok 2014/2015

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.
Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: ……. . . . . . .

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	**Příjmení** Hübel	**Jméno** David
STUDIJNÍ OBOR	B 2301 Strojní inženýrství	
VEDOUCÍ PRÁCE	**Příjmení (včetně titulů)** Ing. Jůza,Ph.D., MBA	**Jméno** Zdeněk
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKE	

DRUH PRÁCE	~~**DIPLOMOVÁ**~~	**BAKALÁŘSKÁ**	**Nehodící se škrtněte**
NÁZEV PRÁCE	Optimalizace horkovodní potrubní trasy systému ve 3D software PDMS a následné ověření tepelně dilatačním výpočtem		

FAKULTA	strojní		**KATEDRA**	KKE		**ROK ODEVZD.**	2015

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	68		**TEXTOVÁ ČÁST**	40		**GRAFICKÁ ČÁST**	28

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) **ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY**	Bakalářská práce obsahuje informace potřebné pro návrh potrubní trasy v energetických výrobnách a představení v tomto oboru běžně používaného softwaru. Návrh je proveden v 3D programu PDMS a je následně ověřen komplexním výpočtem v CAESAR II. Bylo dosaženo ekonomické a prostorové optimalizace.
KLÍČOVÁ SLOVA **ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE**	Potrubí, PDMS, uložení potrubí, tepelně dilatační výpočet

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	**Surname** Hübel	**Name** David
FIELD OF STUDY	B 2301 Strojní inženýrství	
SUPERVISOR	**Surname (Inclusive of Degrees)** Ing. Jůza,Ph.D., MBA	**Name** Zdeněk
INSTITUTION	ZČU - FST - KKE	

TYPE OF WORK	~~**DIPLOMA**~~	**BACHELOR**	**Delete when not applicable**
TITLE OF THE WORK	Optimization of the hot water pipe system in 3D software PDMS and following heat-dilatation calculation check		

FACULTY	Mechanical Engineering		**DEPARTMENT**	Power System Engineering	**SUBMITTED IN**	2015

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	68		**TEXT PART**	40	**GRAPHICAL PART**	28

BRIEF DESCRIPTION **TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS**	Bachelor thesis includes all information needed for creating a design of the hot water pipe system in power plants and a presentation of commonly used software in this field. The design is made in 3D software PDMS and then put to the all-embracing calculation check in CAESAR II. The achieved goals were an economical and spatial optimization.
KEY WORDS	Pipeline, PDMS, pipe supports, heat-dilatation calculation

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce, panu Ing. Zdeňku Jůzovi, Ph.D., MBA.
Mé díky patří také panu Ing. Jiřímu Valešovi za cenné rady při řešení této práce.

OBSAH

1 ÚVOD 1

2 TEORETICKÁ ČÁST 2

2.1 O ZDROJÍCH ENERGIE 2
2.2 TEPLÁRENSTVÍ 2
2.3 BIOMASA 4
2.4 NOVÝ BLOK PLZEŇSKÉ TEPLÁRNY SPALUJÍCÍ BIOMASU („ZELENÝ BLOK“) 5
2.5 ZNAČENÍ KKS 6
2.6 POTRUBÍ 7
2.7 MATERIÁL POTRUBÍ 8
2.7.1 Jmenovitá světlost potrubí DN 9
2.7.2 Kovové materiály 11
2.7.3 Nekovové materiály 11
2.8 NAMÁHÁNÍ POTRUBÍ 12
2.8.1 Kompenzační útvary 13
2.8.2 Montáž s předpětím 14
2.8.3 Osové kompenzátory 14
2.9 ULOŽENÍ 15
2.10 POUŽITÝ SOFTWARE 19
2.10.1 AutoCAD 19
2.10.2 VVD (Visual Vessel Design) 19
2.10.3 PDMS (Plant Design Management System) 20
2.10.4 Caesar II 26
2.10.5 LiCAD 27

3 PRAKTICKÁ ČÁST 28

3.1 POPIS ZADANÉ TRASY 28
3.2 OPTIMALIZACE TRASY 30
3.3 OVĚŘENÍ PEVNOSTI JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ 32
3.4 NÁVRH ULOŽENÍ 34
3.5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU 39

4 ZÁVĚR 40

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 41

SEZNAM OBRÁZKŮ 42

SEZNAM TABULEK 43

SEZNAM PŘÍLOH 44

1 ÚVOD

Zadání práce bylo poskytnuto firmou AF Engineering s.r.o. a jejím cílem je optimalizovat horkovodní potrubní trasu, která je realizována v novém ekologickém bloku Plzeňské teplárenské a.s. Jde o kondenzátní potrubí vedoucí od dvojice napájecích čerpadel směrem do kotle. Práce je rozdělena na část teoretickou a část praktickou.

Teoretická část obsahuje veškeré potřebné informace pro návrh potrubní trasy v energetických výrobnách. Nejprve jsou zde představeny existující způsoby výroby energie a následně také obor teplárenství. Další kapitoly jsou věnovány výběru materiálu potrubí, namáhání potrubí, či výběru a rozmístění uložení trasy. Na závěr je uvedeno krátké seznámení s používanými softwarovými programy.

V praktické části je popsán postup vlastní optimalizace, který se skládá ze zhodnocení stávajícího stavu, návrhu nové trasy v programu PDMS, analytického výpočtu pevnosti při statickém namáhání vnitřním přetlakem a vysokou teplotou, návrhu uložení a numerického tepelně dilatačního výpočtu v programu CAESAR II.

Při hledání nejlepších variant návrhu, „optimalizaci“ nové horkovodní potrubní trasy, byly brány v úvahu celkové náklady, jak investiční, tak i provozní. Cílem je snížení těchto nákladů a také lepší dispoziční uspořádání celé potrubní trasy.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 O zdrojích energie

Potřeba využívat energii provází lidstvo již od nepaměti. V nejdávnější historii lidé využívali pouze síly svých svalů. Později se naučili využívat i síly svalů zvířat. Oba tyto zdroje energie jsou velmi ekologické a jako palivo se zde používají potraviny, které „výrobní entita“ konzumuje.

Stále rychleji se rozvíjející lidské civilizaci však tyto přestaly stačit a bylo potřeba se poohlédnout po zdrojích jiných. Jako první upoutala bystré oko síla větru, která poháněla Egyptské lodě již 5000 let př. n. l. K prvnímu využití větrné energie došlo ve východní Persii, kde šlo o primitivní větrný mlýn s vertikální osou rotace. První klasické větrné mlýny s horizontální osou se poprvé začaly stavět v severní Evropě ke konci 12. století. [1] a [2]

Dalším zdrojem energie se stala voda. Jednalo se primárně o využívání potenciální energie vody, vzniklé rozdílem výšek média, proudícího kanály nebo potrubím. Takto získaná energie se nejprve využívala pouze k dopravě (splavování) a později i jako pohon vodních mlýnů a hamrů. Výskyt prvních vodních hamrů na území ČR se datuje přibližně do 12. století. [3]

Až do nástupu průmyslové revoluce v 19. století, byl oheň využíván pouze jako zdroj tepelné energie, například pro vytápění obydlí, úpravu potravin, metalurgii, výrobu skla, keramiky aj. V tomto období, označovaném též jako Století páry, se začal oheň poprvé používat jako zdroj mechanické energie. Využívá se zde pára, která transformuje tepelnou energii vzniklou spalováním uhlí nebo dřeva na energii mechanickou (pohyb pístu, případně turbíny). Tento objev umožnil dramatický rozvoj průmyslu po celém světě.

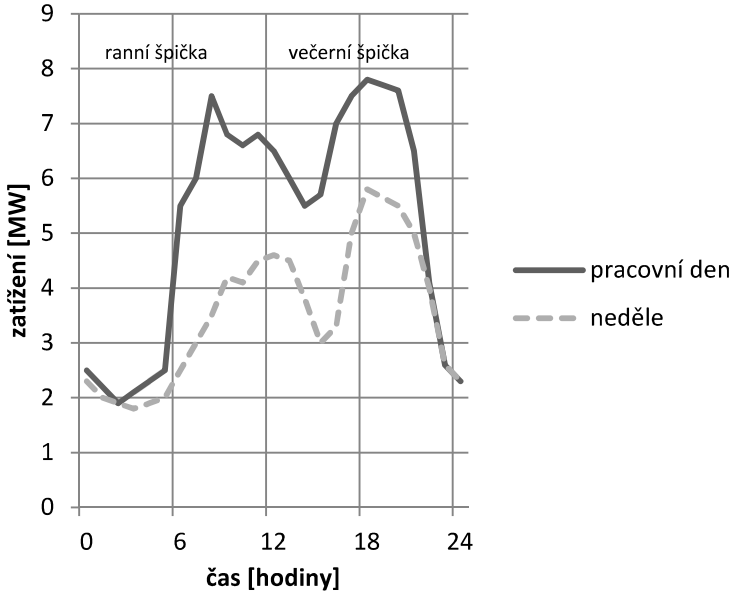
Když nastala potřeba výroby elektrické energie, začala se výše uvedenými postupy získávaná mechanická energie pomocí generátorů přetvářet na energii elektrickou. Vznikly tak první větrné, vodní a tepelné elektrárny. Stejného principu jako v tepelných elektrárnách se využívá i v elektrárnách jaderných, kde se pouze k ohřevu páry nevyužívá spalování materiálu, ale jaderná štěpná reakce, při které se uvolňuje ohromné množství tepelné energie.

Existují také způsoby jak získávat energii ze slunečního záření. Jedním způsobem je využití fotovoltaických článků. Jde o polovodičové diody, které přeměňují dopadající sluneční záření přímo na elektrickou energii. Jiným způsobem jsou fototermické kolektory, které pomocí slunečního záření ohřívají teplonosné médium. Ohřáté médium se pak potrubím přivádí do tepelného výměníku, kde se pak teplo využívá dále.

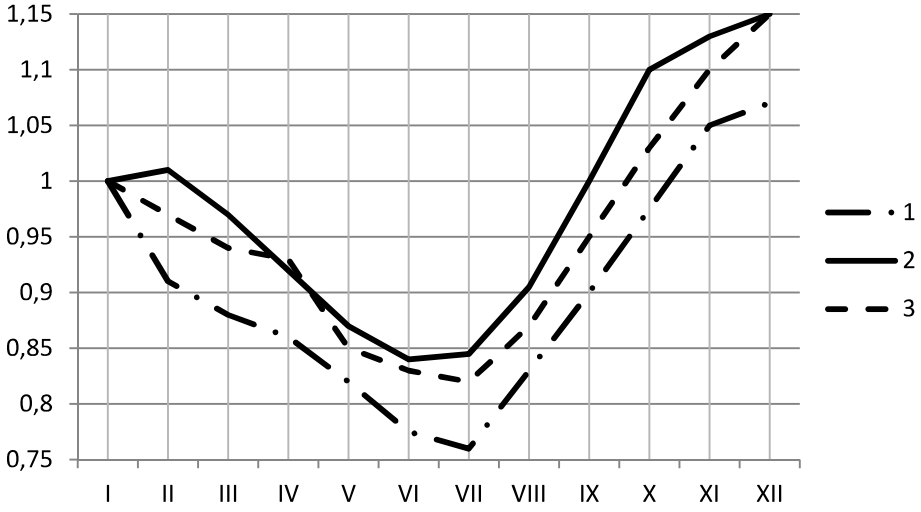
2.2 Teplárenství

Tato práce pojednává o potrubní trase umístěné v bloku teplárny, ve kterém je spalována biomasa. Je proto vhodné obor teplárenství i pojem biomasa čtenáři přiblížit.

Teplárna je energetická výrobní soustava, fungující na principu kogenerace. Produkuje tedy elektřinu a spolu s ní také různé množství tepla. Takto budované celky vykazují oproti samostatně provozovaným elektrárnám nebo výtopnám podstatnou úsporu paliva. Spotřeba produkovaného tepla a elektřiny závisí především na denní době (obr. 1) a na ročním období (obr. 2). [11]



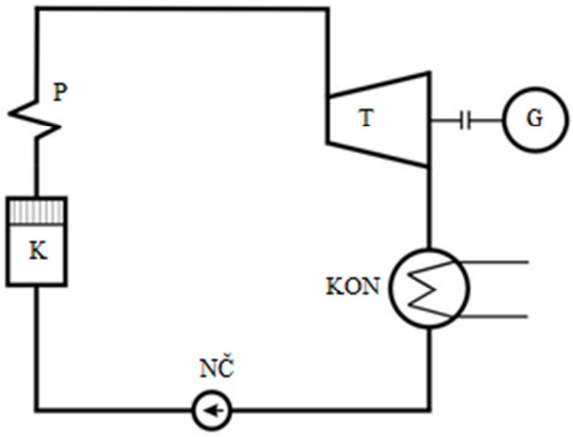
Obrázek 1 Diagram denního zatížení elektrizační soustavy překreslen z [11]. Znázorňuje maximální a minimální zatížení během ranní a večerní špičky



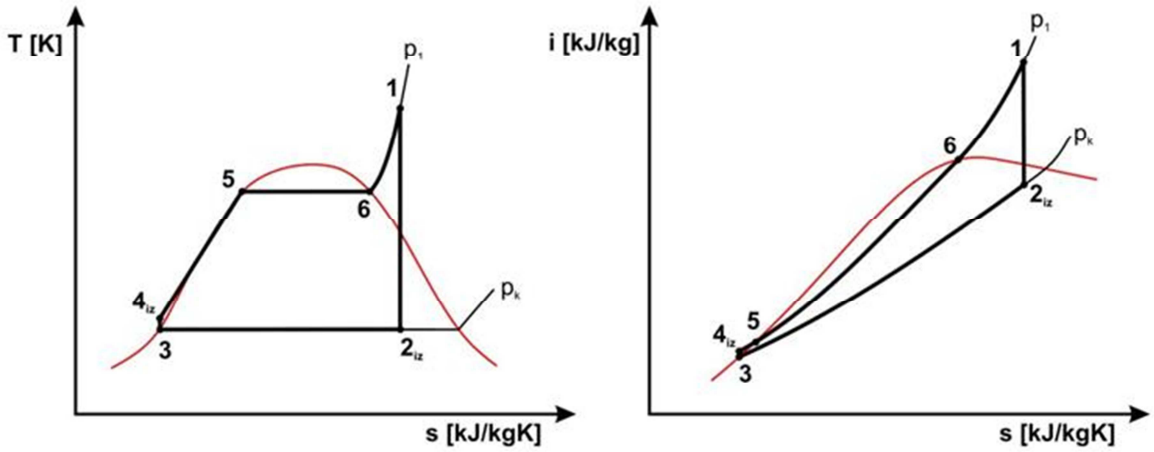
Obrázek 2 Roční průběh měsíčních maxim ve třech letech následujících po sobě (1, 2 a 3), převzato z [11]. Znázorňuje minimální spotřebu tepla v letních měsících, zejména pak v červenci, a maximální v zimních měsících

Výroba energie v teplárnách a tepelných elektrárnách probíhá na základě principu Rankine-Clausiova cyklu. Schéma použitých zařízení při výrobě energie je na obr. 3 a diagramy R-C cyklu na obr. 4. Voda přivedená do kotle (K) se v něm izobaricky ohřeje na teplotu varu (úsek 4-5) a odpaří se (úsek 5-6), takto vzniklá sytá pára by ale pro naše účely kvůli své nízké energii nestačila, proto se ještě v přehříváku (P) stále za stejného tlaku ohřívá na teplotu kolem 550°C (úsek 6-1). Takto vzniklé přehřáté páře se říká pára ostrá. Ta se přivádí vysokotlakým potrubím do turbíny (T), kde izoentropicky expanduje, roztáčí ji (úsek 1-2) a tím i hřídel generátoru (G). Generátor vyrábí elektrickou energii.

Pára pak izobaricky zkondenzuje v kondenzátoru (KON) na horkou vodu, tzv. kondenzát (úsek 2-3). Kondenzát je dále napájecími čerpadly (NČ) izoentropicky stlačován a napájecím potrubím hnán do kotle (úsek 3-4). [6]



Obrázek 3 Schéma výroby elektrické energie v tepelné elektrárně převzato z [12]



Obrázek 4 Diagramy Rankine-Clausiova cyklu převzato z [12]

2.3 Biomasa

V České republice, stejně jako ve světě se nyní, jak tepelná, tak elektrická energie vyrábí hlavně spalováním uhlí, jehož zásoby jsou ale omezené. Tento trend je proto nadále neudržitelný a hledají se jiná řešení. Jako reálné varianty ke spalování uhlí, se zatím jeví pouze jaderná energetika, nebo náhrada spalovaného uhlí alternativními surovinami, například zemním plynem, který je ale velmi drahý, nebo ekonomicky mnohem výhodnější biomasou.

Biomasa, jak samotný název napovídá, je obecně určité množství produktů biologického původu, což samozřejmě zahrnuje flóru i faunu. V energetickém oboru je však význam termínu posunutý. Jedná se pouze o spalitelné rostliny, nebo jejich části.

Taková biomasa má mnoho podob, a je proto potřeba ji organizačně dělit. Rozděluje se především podle výhřevnosti, původu (energetické rostliny nebo odpad), obsahu vody a popelovin a podle maximální hrubosti spalovaných částic. Pro spalování v elektrárnách a teplárnách v ČR se používá především:

- Dřevo a dřevní odpad
- Sláma obilnin a olejnin
- Energetické rostliny

Největší výhodou biomasy oproti uhlí je fakt, že se jedná o obnovitelný zdroj energie. Také ekologičnost ve smyslu nízké produkce CO_2 do atmosféry při spalování je velmi významná. Biomasy se sice musí kvůli její nižší hustotě i výhřevnosti spálit několikrát větší objem než uhlí, ale CO_2, který se při spalování biomasy uvolní, musí rostlina, dle zákona zachování hmoty, nejprve fotosyntézou z atmosféry odebrat. Navíc se velká část takto kumulovaného CO_2 ukládá v kořenech rostliny. Je tak zachován vyvážený stav a nedochází k navyšování skleníkového efektu, jako při spalování uhlí. [5]

2.4 Nový blok plzeňské teplárny spalující biomasu („Zelený blok“)

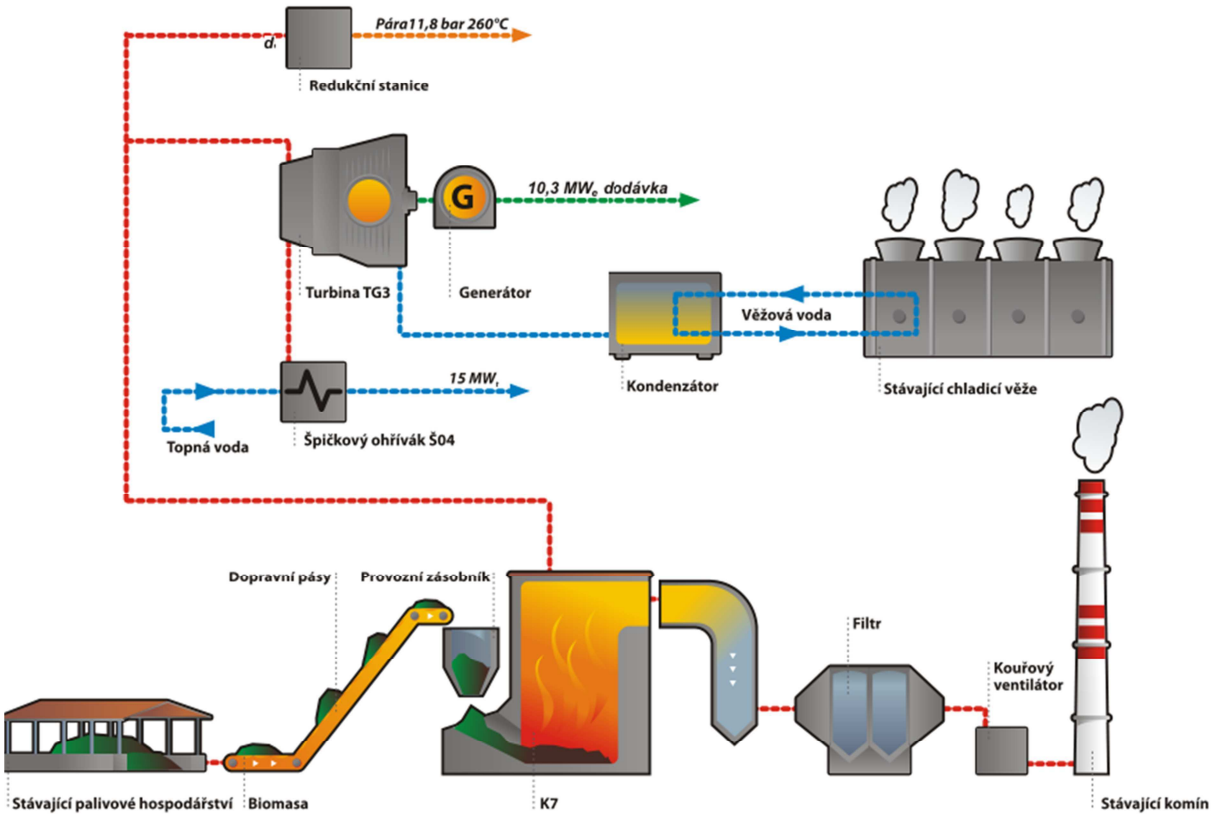
V roce 2008 se v plzeňské teplárně začalo s výstavbou nového ekologického tzv. Zeleného bloku. Jednoduché obrázkové schéma principu činnosti bloku je zobrazeno na obr. 5. Tento „Zelený blok“ obsahuje parní kotel (K7) se jmenovitým parním výkonem 45 t/h, jmenovitým tlakem páry před TG3 6,7 MPa a jmenovitou teplotou páry před TG3 485 °C, dále pak turbosoustrojí TG3 s instalovaným výkonem 13,5 MWe a špičkový ohřívák (ŠO4) s maximálním tepelným výkonem 15 MWt.

V kotli se spaluje biomasa ve formě dřevní štěpky (z lesní těžby, odpadního dřeva a rychle rostoucích dřevin) a slámy řepky. V systému dopravy dřevní štěpky je zabudováno unikátní zařízení pro dosoušení biomasy před jejím spalováním. K tomuto sušení se využívá odpadního tepla z kotlů K4 a K5. Výsledkem je zvýšení efektivnosti spalování a také usnadnění dopravy štěpky do kotle.

Předepsané parametry biomasy:

- Výhřevnost v rozsahu 7,5 – 13 MJ/kg
- Vlhkost v rozsahu 30 až 55 %
- Hrubost cca 100 mm

Plánovaná spotřeba biomasy je ročně 120 000 tun, což nahradí spotřebu cca. 80 000 tun uhlí. Také díky tomuto pochází asi 40 % produkované energie pro Plzeň z obnovitelných zdrojů [4].



Obrázek 5 Schéma nového „Zeleného bloku“ Plzeňské teplárenské a.s. převzato z [4]

2.5 Značení KKS

Pro orientaci ve výkresové i textové dokumentaci všech stávajících energetických výroben, jako jsou právě teplárny a elektrárny, je nezbytně nutné si osvojit princip tzv. KKS kódování. Zkratka pochází z německých slov Kraftwerk Kennzeichen System a jedná se o systém označování energetických zařízení, vycházející původně z německých norem DIN 6779 (díl 1 a 2), který poprvé představila firma SIEMENS KWU v šedesátých letech. U nás se začal používat někdy v průběhu let osmdesátých a dnes je využíván v celé EU i za jejími hranicemi. Tento systém je velice užitečný, neboť jeho prostřednictvím je každé zařízení označeno specifickým unikátním kódem a tedy velmi snadno dohledatelné a nezaměnitelné. Kód vyjadřuje dva základní parametry. Jednak účel zařízení a jednak jeho fyzickou polohu v rámci daného technologického celku. [17]

Princip spočívá ve víceúrovňové postupné detailizaci popisu dané struktury. Skládá se ze tří základních stupňů a případného nultého stupně, kde každý stupeň je blok písmenného kódu, vyjadřující funkci a jedné nebo více číslic, označujících pořadí. Hierarchické uspořádání stupňů a příklad tvorby označení jsou na schématech níže (tab. 1 a 2). Jednotlivá kódová písmena jsou obsažena v Lexikonu KKS.

0. stupeň	označuje úroveň výrobny (např. plzeňská teplárna)	G
1. stupeň	označuje úroveň systému (např. parní kotel)	F0 F1 F2 F3 FN
2. stupeň	označuje úroveň agregátu (např. armatura)	A1 A2 A3 AN
3. stupeň	označuje úroveň provozního prostředku (např. ventil)	B1 B2 BN

Tabulka 1 Schematické rozvržení hierarchických stupňů KKS podle [18]

	S01 L B F 01	
F0	S01	Společná zařízení teplárny
F1	L	Parní, vodní a plynové okruhy
F2	L B	Parní systém
F3	L B F	Vysokotlaká redukční stanice
FN	L B F 01	Číslo systému

Tabulka 2 Schéma tvorby kódového označení podle KKS převzato z [18]

2.6 Potrubí

Jedná se o strojní zařízení, sloužící k transportu proudících tekutin (kapalin a plynů), případně tuhých sypkých látek, unášených ovšem nosnou tekutinou. Princip potrubí je proto vždy stejný. Konstrukce z dutých prvků, které se mohou pro různé případy lišit tvarem nebo materiálem, ale vždy vedoucí substanci z jednoho místa do druhého. Tyto prvky (dále části) se podle funkce dělí (podle [14] a [15]) do dvou základních skupin:

Hlavní části – části, které se vyskytují ve všech druzích potrubí:

- **Trubky –** duté součásti, zpravidla kruhového průřezu
- **Spoje** – spojují trubky mezi sebou, nebo připojují ostatní potrubní části
- **Tvarovky** – vytváří změny směru proudu, průřezu potrubí a rozdělení toku média
- **Kompenzátory** – k vyrovnání tepelné roztažnosti potrubí
- **Uložení** – části umožňující upevnění potrubí
- **Armatury** – pro uzavírání a regulaci průtoku media potrubím

Doplňující části – části, kterými se potrubí vybavuje pouze podle zvláštních požadavků:

- **Zařízení ochranná** (např. síta, filtry, lapače kalu,…)
- **Zařízení pomocná** (dálková ovládání armatur, servopohony, expandéry,…)
- **Zařízení pojistná** (pojistné ventily, zpětné armatury)
- **Zařízení kontrolní** (průhledítka, teploměry, tlakoměry,…)
- **Tepelné izolace**

Z hlediska výroby, jsou si všechna potrubí velmi podobná. Bylo proto možné velké procento součástí normalizovat, a tím tak usnadnit, urychlit a v důsledku také zlevnit projektování i samotnou stavbu. Níže jsou uvedeny příklady několika norem, zabývajících se potrubní tématikou:

EN 13480.2 – Kovová průmyslová potrubí – část 2: Materiály
EN 13480.3 – Kovová průmyslová potrubí – část 3: Konstrukce a výpočet
EN 10253.2 – Potrubní tvarovky pro přivaření tupým svarem – část 2: Nelegované a feritické oceli se stanovením požadavků pro kontrolu
EN 10216.2 – Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení – Technické dodací podmínky – Část 2: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při zvýšených teplotách

2.7 Materiál potrubí

Výběr vhodnosti použití materiálu potrubí je jedním ze základních úkonů před projektováním nové potrubní trasy. Projektant musí brát v úvahu široké spektrum okolností, které vyplývají z obrovské všestrannosti využití potrubí jako takového, a tedy i široké škály nejrůznějších materiálů, využívaných pro jejich stavbu. Intuitivně zvolíme například docela jiný materiál pro dopravu vody na zalévání na zahradě (pryžová hadice) a jiný pro dopravu ostré páry do turbíny v jaderné elektrárně (potrubí z vysoce legované uhlíkové oceli).

Největší vliv na výběr mají tyto faktory:

- Dimenze potrubí, která je definována jmenovitou světlostí DN (od 1. 12. 1996 podle normy ČSN EN ISO 6708)
- Tlak média (provozní a maximální uvažovaný), který je definovaný jmenovitým tlakem PN (od 1. 7. 1990 podle normy ČSN 13 0010)
- Provozní a maximální uvažovaná teplota T
- Korozní a erozní účinky transportovaného média
- Vliv vnějšího prostředí (mráz, vítr,…)
- Požadavky na chemickou nezávadnost (potravinářství, zdravotnictví,…)

2.7.1 Jmenovitá světlost potrubí DN

Jmenovitá světlost (dříve označovaná Js) je z uvedených faktorů jediná, kterou musí projektant ve většině případů navrhnout (ostatní jsou zadány, nebo plynou z požadavků projektu). Jde o normalizovanou hodnotu průměru potrubí, která je přiřazena určité hodnotě jeho vnějšího průměru. Podle parametrů proudícího média, pro které je potrubí navrhováno, se následně určí tloušťka stěny trubky a z ní její vnitřní průměr. Vnější průměr se většinou zachová a je jednoznačně určen rozměrovou normou. Pro určité parametry média se může jmenovitá světlost přímo rovnat vnitřnímu průměru. Výpočet vnitřního průměru vychází ze vztahu (1), který je zároveň rovnicí pro proudění tekutiny potrubím.

$$Q = S \cdot v = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v \quad \text{,kde} \tag{1}$$

Q je průtok kapaliny ($m^3.s^{-1}$), který je obvykle zadán,
S je průtočný průřez potrubí (m^2),
v je rychlost proudění (ms^{-1}),
d je světlost potrubí (m).

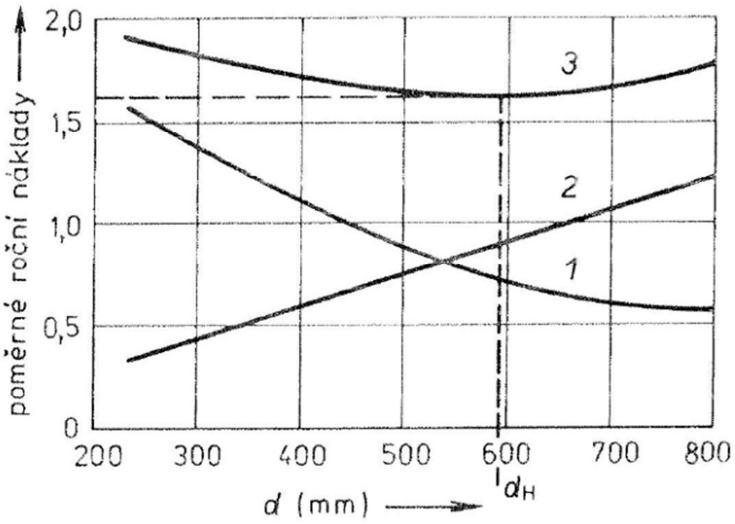
Výpočet světlosti můžeme tedy vyjádřit rovnicí (2):

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \tag{2}$$

Do tohoto vztahu však potřebujeme znát ještě rychlost proudění v. Její hodnotu je potřeba při návrhu potrubí volit takovou, aby byla optimální, jak z hlediska tlakových ztrát v potrubí, tak z hlediska množství použitého materiálu a tím i ceny. Pro snížení tlakových ztrát v potrubí je totiž ideální zvětšovat světlost, plyne z rovnice (3), to s sebou však nese problém zvyšování spotřeby materiálu, a tedy i hmotnosti. Z vyšší hmotnosti zase plynou vyšší náklady na uložení a armatury. Hledá se proto vhodný kompromis. Na obrázku 6 je znázorněno hledání optimální světlosti. Z obrázku plyne, že celkové náklady jsou součtem nákladů na materiál, montáž a provoz, které se světlostí rostou (křivka 2) a nákladů souvisejících s překonáváním tlakových ztrát, které naopak s rostoucí světlostí klesají (křivka 1). Celkové náklady jsou tedy zobrazeny konvexní křivkou (křivka 3), na které se hledá bod minima. Tento bod reprezentuje nejvýhodnější poměr mezi světlostí a náklady. Pro výpočet konkrétní hodnoty se obvykle používají buď specializované počítačové programy, nebo se odečítá z tabulek (např. tab. 3).

$$\Delta p_{z,t} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \quad \text{,kde} \tag{3}$$

$\Delta p_{z,t}$ jsou tlakové ztráty třením,
λ je součinitel tření v potrubí,
L je délka potrubí (m),
ρ je hustota kapaliny (kgm^{-3}),
v je rychlost proudění (ms^{-1}).



Obrázek 6 Výpočet hospodárné světlosti podle [22], kde 1 – náklady související s překonáváním tlakových ztrát, 2 – náklady na materiál, montáž a provoz, 3 – celkové náklady

Tekutina	Potrubí	Rychlost ($m.s^{-1}$)
Voda	Vodovody pro pitnou a užitkovou vodu	
	dálkový přiváděč	1,5 … 3
	hlavní napáječe	1 … 2
	rozvodná síť	0,5 … 0,8
	Potrubí na tlakovou vodu	
	délka < 100 . DN	20 … 30
	délka > 100 . DN	až 15 … 20
	Dálkové teplovody	
	napáječe	1 … 1,5
	rozvodná síť	0,7 … 1,5 až 2
	Čerpadla odstředivá	
	sací potrubí	0,5 … 1 až 2
	výtlačné potrubí	1 … 2,5
Chemické výrobky a suroviny	Benzín, benzol, nafta apod.	
	sací potrubí	0,5 … 0,8
	výtlačné potrubí	1 … 1,3
	Dálkové ropovody	1 … 2
	Výtlačné potrubí na mazací olej	1,5 … 2
	Chemické produkty obecně	až 3 … 5
Vodní pára	Parovody pro topnou páru nízkotlaké	10 … 15
	Parovody pro sytou páru o tlaku do 1 MPa	15 … 20
	Parovody pro přehřátou páru o tlaku 1 až 4 MPa	20 … 45
	Vysokotlaké parovody o tlaku 4 … 12,5 MPa	30 … 60

Tabulka 3 Hodnoty hospodárných rychlostí v potrubí pro dopravu tekutin podle [22]

V této podkapitole *2.7.1. Jmenovitá světlost potrubí DN* se vycházelo především z [22], v následujících 2 podkapitolách *2.7.2 Kovové materiály* a *2.7.3 Nekovové materiály* budou podle [14] rozděleny a krátce představeny základní materiály, využívané pro stavbu potrubí. Úplný seznam materiálů nalezneme v normách nebo například ve strojnických tabulkách [20].

2.7.2 Kovové materiály

Litiny

Jsou železný materiál s obsahem uhlíku mezi 2,14 % a 4,3 %, který se vyznačuje vysokou pevností v tlaku, ale také křehkostí a malou pružností. Litina s uhlíkem vyloučeným ve formě kuliček grafitu je litina tvárná, která má lepší mechanické vlastnosti než litina s lupínkovitým grafitem, která se označuje jako litina šedá. Trubky z litiny se vyrábějí buď svislým, nebo odstředivým litím.

Oceli

Jsou železný materiál, vyráběný zušlechťováním surového železa. Obsah uhlíku je do 2,14 %. U konstrukční oceli do 0,8 %. Často se do ocelí přidávají tzv. legury, neboli legující přísady, které zlepšují vlastnosti materiálu. Nejčastěji používanými prvky jsou molybden, nikl nebo chrom. Obecně dobrá svařitelnost ocelí umožňuje výrobu trubek nejen jako bezešvých (vyvalováním), ale i svařovaných, které jsou levnější.

Slitiny hliníku

Mají malou mechanickou i teplotní odolnost, používají se většinou jako kryty uložení nebo izolací.

Slitiny mědi

Opět materiál s nepříliš vysokou mechanickou a teplotní odolností. Vyrábí se z nich většinou méně namáhané armatury. Typickými zástupci slitin mědi jsou mosaz a bronz. Mosaz je slitina mědi a zinku, kdežto bronz je slitina mědi a cínu.

Měď

Pro svou tvárnost, odolnost proti korozi a malé tloušťce stěn je nejpoužívanějším materiálem v potrubní technice, přestože její cena je poměrně vysoká. Kromě vlastních trubek se z ní také vyrábí nejrůznější těsnění.

2.7.3 Nekovové materiály

Plasty

Jedná se o stále častěji využívaný materiál. Jeho výhodami jsou nízká hmotnost, hladký vnitřní povrch, odolnost vůči korozi a chemická nezávadnost. Mezi nevýhody naopak můžeme zařadit například velkou tepelnou dilataci. Nejčastějšími plasty jsou PP (zdravotnictví), PE-X (otopné soustavy), PVC (kanalizační trubky) a PTFE (těsnění a ucpávky).

Sklo

Používá se většinou pro svou chemickou resistenci v chemickém a potravinářském průmyslu. Vyrábějí se z něj také často nejrůznější průhledy a průzory. Nevýhodou je vysoká křehkost a tepelná odolnost pouze do cca. 200 °C.

Sklolaminát

Kompozitní materiál, který kombinuje výhody plastu a skla. Typickým zástupcem je GRP (Glass Reinforced Plastic) a využívá se například pro rozvody chladící vody.

Kamenina

Má vysokou chemickou odolnost. Využívá se proto hlavně v chemickém průmyslu, a to hlavně na potrubí sloužící jako odpady.

Beton

Využívá se především pro beztlaká horizontální kanalizační potrubí jako jsou svody dešťové vody. Při vyšších rychlostech proudění totiž hrozí riziko eroze.

2.8 Namáhání potrubí

Už při počátečním návrhu potrubní trasy je třeba brát v úvahu její namáhání. To je způsobeno několika základními faktory:

- Vnitřním přetlakem a teplotou
- Vlastní tíhou potrubí i proudícího média
- Dynamickými účinky proudící tekutiny
- Tepelnou dilatací

Pro potřeby této práce, zacílené na horkovodní potrubí, postačí, když se zaměříme pouze na namáhání tepelnou roztažností, neboli dilatací, které se musí uvažovat právě tehdy, má-li médium proudící v potrubí výrazně vyšší nebo naopak nižší teplotu než je okolní, tzv. montážní teplota. Toto namáhání závisí především na materiálu potrubí.

Tepelná dilatace způsobuje prodloužení, resp. zkrácení (chladírenský průmysl), potrubního úseku, které se vypočítá podle [14] jako:

$$\Delta l = \alpha . l_0 . (t_1 - t_2) \quad \text{, kde} \tag{4}$$

Δl je celkové prodloužení úseku (m),
l_0 je celková délka potrubního úseku (m),
α je součinitel teplotní roztažnosti materiálu potrubí (1/K),
t_1 je maximální provozní teplota (°C)
t_2 je teplota materiálu potrubí při montáži (°C).

Toto prodloužení, resp. zkrácení, způsobuje vznik potenciálně nebezpečného napětí v potrubí, které je potřeba vyrovnat. To se nejčastěji provádí jeho kompenzací. [14]

2.8.1 Kompenzační útvary

Základním způsobem kompenzace je vedení trasy tak, aby její vlastní tvar, vhodná kombinace ohybů a rovných úseků, změnou svého zakřivení tepelnou dilataci vyrovnal. Kompenzační útvary mohou být dvojího druhu a to útvary rovinné (např. typy L, Ω, Z, P, S a U) nebo útvary prostorové (poskládané z vůči sobě pootočených rovinných útvarů).

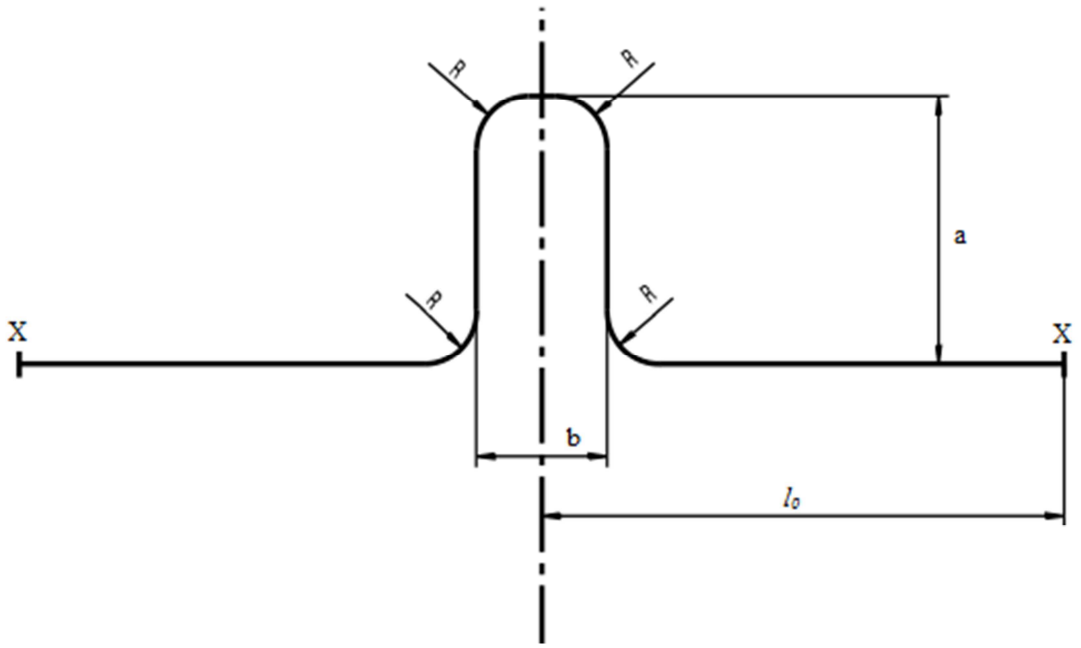
Nejlepším příkladem je klasický U-kompenzátor (obr. 7). Pro jeho správnou funkci je však nutné, aby platilo:

$$l_0 = 10.R, \text{ kde} \tag{5}$$

l_0 je pevného uložení od osy kompenzátoru,
R je poloměr ohybů v kompenzátoru.

Nejčastějším typem je U-kompenzátor 2W (obr. 7). Jeho vyložení **a** je dvojnásobkem šířky **b**. Obecně platí, že čím delší je vyložení **a**, tím je schopnost kompenzace vyšší. Je však třeba dávat pozor, aby namáhání vzniklé vlastní tíhou kompenzačního útvaru nebylo větší než namáhání od teploty.

Kompenzace dilatace kompenzačními útvary je velmi spolehlivý a elegantní způsob. Jeho návrh je v současnosti díky využívání modelovacích 3D software, jako je například PDMS, stále rychlejší a jednodušší. Někdy však nelze využít. Příčinou může být nedostatek prostoru pro vytvoření útvaru, nebo příliš vysoká finanční nákladnost velkého útvaru. To platí zejména pro potrubí z drahých materiálů. Dilataci je proto nutné řešit buďto montáží s předpětím nebo osovými kompenzátory.



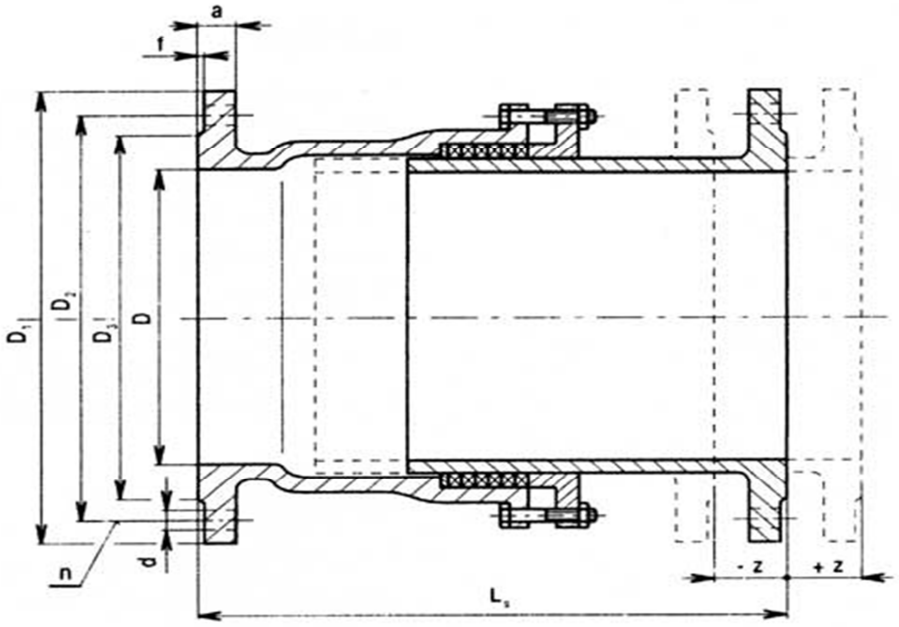
Obrázek 7 U- kompenzátor

2.8.2 Montáž s předpětím

Další možností jak vyrovnat budoucí příliš velké napětí, je montovat potrubní trasu s předpětím. Toho se docílí tak, že se na potrubí mezi dvě příruby vloží úsek rovné trubky o délce, která se rovná polovině předpokládaného tepelného prodloužení, viz rovnici (4). Provede se montáž celé potrubní trasy a pak se tento vložený úsek odstraní a příruby se opět sešroubují. Tím se potrubí natáhne právě o tuto délku a v celé trase tak vzniká tahové napětí. Po uvedení trasy do provozu a dosáhnutí provozní teploty se tahové předpětí mění na napětí tlakové. Tato napětí se až na znaménko rovnají. Celkové napětí od teploty se tedy podařilo zmenšit na polovinu.

2.8.3 Osové kompenzátory

Poslední možností kompenzace, která se však vyznačuje největší poruchovostí, a tedy největšími požadavky na údržbu, jsou kompenzátory osové. Ty už neobsahují pouze vlastní části potrubí, jako jsou rovné úseky a ohyby, ale navíc i části pohyblivé nebo pružné. Kompenzaci pohyblivou částí nejlépe reprezentuje ucpávkový kompenzátor (obr. 8), který však vyžaduje pravidelné dotahování ucpávkového víka, jinak by přestal těsnit. Kompenzátory využívající pružné části jsou například kompenzátory vlnovcové, kloubové nebo čočkové. Pružné části se nejčastěji vyrábějí z nerezové oceli (vhodné pro vyšší teploty, tlaky i agresivní média) nebo pryže (dobře tlumí přenos hluku a vibrací). Pokud je osový kompenzátor umístěný přímo u zařízení pro zmenšení namáhání jeho hrdla, je potřeba tento kompenzátor ze strany potrubí pevně ukotvit. K tomu slouží uložení typu fix.



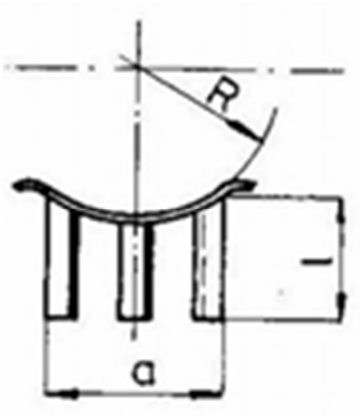
Obrázek 8 M-10 Ucpávkový kompenzátor z [19]

2.9 Uložení

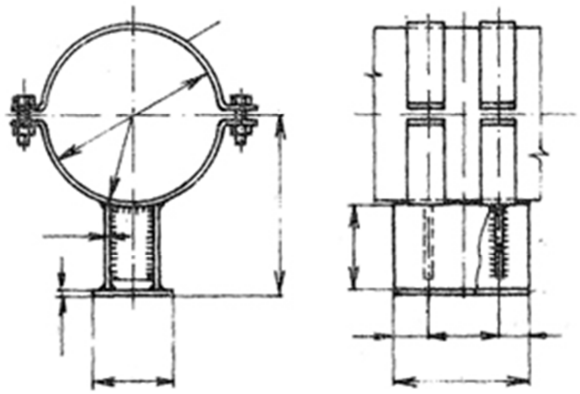
Důležitou součástí každé potrubní trasy je její uložení. Tyto části udržují potrubí v definovaném prostoru a zachycují nějakou kombinaci sil F_x, F_y, F_z a momentů M_x, M_y, M_z, pro vhodně zvolený pravoúhlý souřadnicový systém x, y, z. Síla, která není uložením zachycena, způsobí v daném směru posunutí, zatímco nezachycený moment způsobí natočení kolem osy.

Aby se zachytávané zatížení nepřenášelo konstrukcí dál do stavby, je nutné i samotné uložení řádně připevnit. K tomu je potřeba najít dostatečně pevnou oporu. Někdy únosnost stěny nebo podlahy nedostačuje, a proto se musejí postavit speciální pomocné ocelové konstrukce (sloupy, nosníky,…), ke kterým se pak uložení připevňují. Tyto pomocné konstrukce se poté označují jako tzv. sekundární uložení. Další využití sekundárního uložení nastává v případě, když prostorová dispozice stavby neumožňuje připevnit uložení přímo ke stropu, podlaze, stěně, atd.

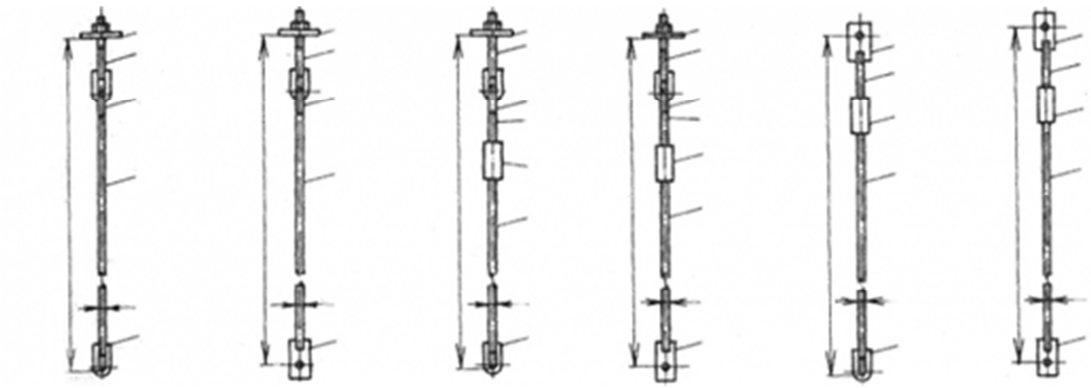
Uložení existuje ve formě podpěr, které mohou zamezovat buďto pouze pohybu ve směru dolů a tím potrubí pouze podpírat (obr. 9), nebo při použití kluzných (resp. valivých) podpěr zamezovat i pohybu do stran a umožnit tak pouze posuvy axiální (obr. 10). Další možností uložení jsou závěsy, které mohou být pevné (obr. 11) nebo pružinové (obr. 12). Pružinové závěsy, na rozdíl od pevných, umožňují vertikální vychýlení, což se s výhodou využívá u potrubních tras, které jsou více namáhány teplotní dilatací nebo chvěním. Posledním typem je kotvení potrubí, označované také jako pevný bod (obr. 13). Pevný bod neumožňuje posuv žádný a někdy také dokonce zamezuje natočení od kroutícího nebo ohybového momentu. Rozděluje potrubí na jednotlivé dilatační úseky, které se tak mohou v dilatačním výpočtu uvažovat samostatně. Na každé potrubní větvi se musí nacházet alespoň jeden pevný bod. Za pevný bod se považuje také například přírubový spoj na hrdle čerpadla. Symboly, reprezentující různé typy uložení potrubí, které se používají v programu Caesar II, jsou na obr. 14. [15]



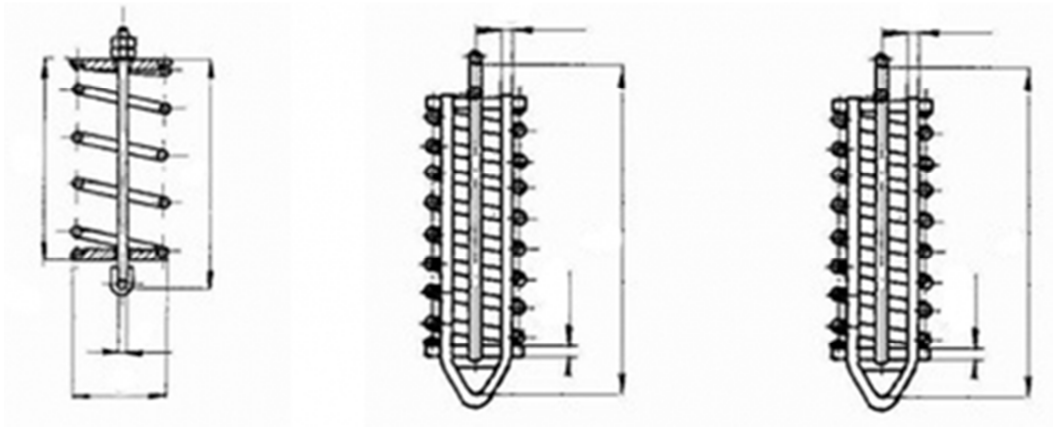
Obrázek 9 Podpěra



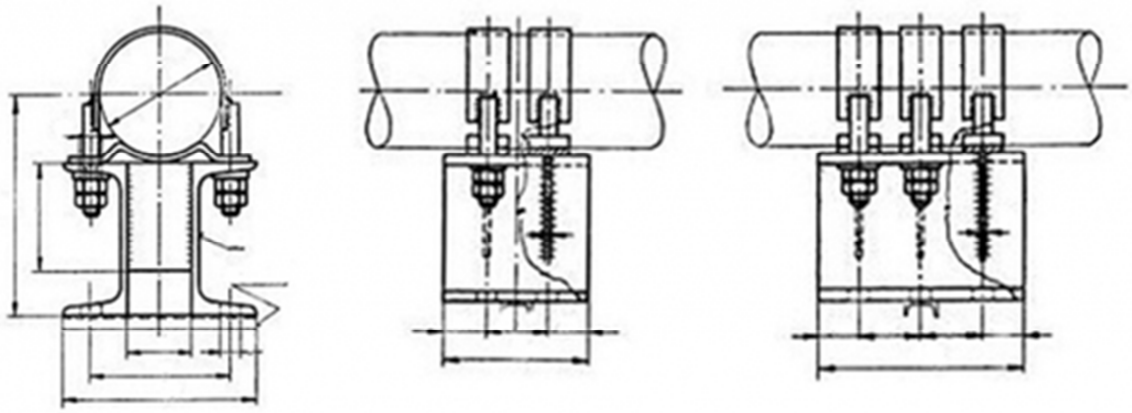
Obrázek 10 Kluzná podpěra bez osového vedení



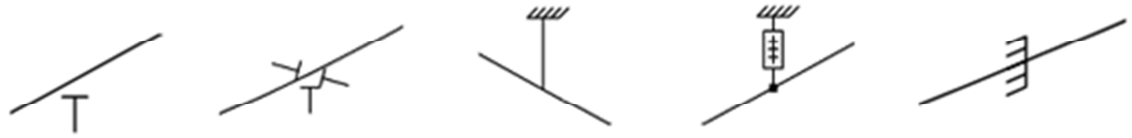
Obrázek 11 Pevné závěsy



Obrázek 12 Pružinové závěsy



Obrázek 14 Kotevní stojany, pevný bod



Obrázek 13 Symboly používané pro uložení – podpěra, kluzná podpěra, pevný závěs, pružinový závěs a pevný bod (kotvení).

Aby uložení správně plnilo svoji funkci, je nutné jej správně rozmístit. Při rozmisťování se bere v úvahu zejména roztečná vzdálenost jednotlivých uložení. Volba typu uložení vyplývá z požadavků na fixaci, či uvolnění pohybu potrubí při teplotním namáhání. Podle [15] je rozteč potřeba kontrolovat především z těchto hledisek:

- **Omezení sil působících na jedno uložení**

Celková síla působící na jedno uložení je podle [15] dána vztahem (6).

$$Q = \beta \cdot q \cdot t \quad \text{, kde} \tag{6}$$

Q je celková síla působící na jedno uložení (N),
β je součinitel nabývající hodnot 0,9 až 1,25 pro tuhé podpěry uvažované jako vetknutí,
q je rovnoměrné zatížení na 1 m délky potrubí. Obsahuje účinky vlastní hmotnosti, hmotnosti proudícího média, hmotnosti izolace a účinky vnějšího prostředí jako vítr a hmotnost sněhu (Nm^{-1}),
t je rozteč uložení (m).

- **Omezení ohybového namáhání při průhybu**

Maximální ohybový moment působící v místě podpěry, pokud uvažujeme jeho konce vetknuté, se vypočte vztahem (7), pokud však jeho konce uvažujeme pouze volně podepřené, tak platí vztah (8). Napětí, vyvolané tímto momentem se tedy vypočte dle vztahu (9).

$$M_o = \frac{qt^2}{12} \tag{7}$$

$$M_o = \frac{qt^2}{12} \tag{8}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{qt^2}{W_o \cdot 12} \div \frac{qt^2}{8W_o} \quad \text{, kde} \tag{9}$$

M_o je maximální ohybový moment (Nm),
σ_o je osové napětí (Pa),
W_o je ohybový modul průřezu (m^3),
t je rozteč uložení (m),
q je rovnoměrné zatížení (Nm^{-1}).

- **Dodržení spádu při průhybu**

Kvůli odvodnění trasy je potřeba dodržovat jeho spád. Při vypouštění potrubí pak nikde nezůstává tekutina a při provozu se například u vodních potrubí nehromadí kal. Pokud jsou však uložení navržena příliš daleko od sebe, může být úhel průhybu daný rovnicí (10) „vyspádovaného“ úseku větší než samotný sklon daný spádem.

$$\alpha = \frac{1}{a} \cdot \frac{qt^3}{EI} \quad \text{,kde} \tag{10}$$

α je sklon průhybové čáry (rad),
E je Youngův modul pružnosti (Pa),
I je moment setrvačnosti (m^4),
t je rozteč uložení (m),
q je rovnoměrné zatížení (Nm^{-1}),
a je součinitel rovný pro oboustranně vetknutý nosník a = 125, pro nosník s oboustranně volně podepřenými konci a = 24 až 48.

Roztečnou vzdálenost uložení lez tedy vypočíst ze vztahů (9) a (10) podle potřeb konkrétního případu, nebo také přímo podle zadané hodnoty spádu, a to vztahem (11). Nejčastěji se však pro co největší usnadnění a urychlení návrhu bere z nejrůznějších tabulek a grafů.

$$t = \sqrt[3]{\frac{b \cdot s \cdot E \cdot I}{q}} \quad \text{,kde} \tag{11}$$

t je rozteč potrubí (mm),
s je spád potrubí (mm/m),
b je součinitel pro oboustranně vetknutý nosník rovný b = 96 a pro nosník oboustranně volně podepřený b = 50.

2.10 Použitý software

Tato kapitola si klade za cíl krátce představit software, běžně používaný pro návrh potrubních tras. Ze zadání práce plyne, že hlavní část úlohy je provedena v 3D software PDMS, a proto je mu také věnována největší pozornost. Dále je použit CAD (Computer Aided Drawing/Design) program, a to hlavně pro zobrazování výkresové dokumentace, především schémat. Z hlediska termodynamických účinků média v potrubí jsou nejvíce důležité programy pro tepelně dilatační, pevnostní a jiné výpočty, potřebné k zajištění funkčnosti a bezpečnosti konstrukce. Programy používané v této práci jsou:

- AutoCAD
- VVD (Virtual Vessel Design)
- PDMS (Plant Design Management System)
- Caesar II
- LiCAD

2.10.1 AutoCAD

AutoCAD je program vyvinutý společností Autodesk. Má velmi univerzální použití v oblastech jako je strojírenská konstrukce, architektura nebo mapování a terénní úpravy. Typickým formátem výstupu je DWG, který se stal standardem pro technickou výkresovou dokumentaci. Při návrhu potrubí, nebo i celých energetických soustav, se využívá hlavně pro čtení a správu výkresové dokumentace, nebo pro modelování detailů, např. uchycení dodatečných ocelových konstrukcí aj.

2.10.2 VVD (Visual Vessel Design)

Program je produktem firmy OhmTech. Název znamená v překladu vizuální konstrukce nádob, ale jeho hlavní předností je rychlý analytický pevnostní výpočet statického namáhání potrubních částí od vnitřního přetlaku a teploty. Hned v úvodu práce s programem se zadává norma, podle které se má výpočet řídit. V Evropě se nejčastěji jedná o normu EN 13480.3 Kovová průmyslová potrubí – část 3: Konstrukce a výpočet. Dále se zadávají okrajové podmínky, a to především teplota, tlak, druh proudícího média, korozivní přídavek a měrná hustota. Základními komponenty, které program dokáže vypočítat, jsou:

- Rovné trubky
- Přechody (redukce)
- Ohyby
- Ukončení (přivařovaná a šroubovaná)
- Příruby
- Kompenzátory

Výstupem programu je textový dokument, který určuje kolik procent tlakové pevnosti je využito. Pokud by např. bylo vypočteno, že potrubí je schopno vydržet při dané teplotě vnitřní přetlak 50 MPa, ale medium působí pouze tlakem 10 MPa, zobrazí se výsledek 20% využití materiálu a my vidíme, že stačí použít potrubí s tenčí stěnou.

2.10.3 PDMS (Plant Design Management System)

Jedná se o grafický 3D software, sloužící k projektování velkých energetických a výrobních komplexů, jako jsou továrny a elektrárny. Tento produkt firmy Aveva nabízí víceuživatelské přizpůsobitelné prostředí. Jeho výhodou je především snadné a rychlé tvoření potrubních tras, s možností okamžité kontroly kolizí s jinými trasami, případně s jinými prvky stavby. Při popisu programu v této kapitole se částečně vychází z manuálu [21].
Software PDMS se skládá ze dvou základních částí:

- Moduly
- Aplikace.

Moduly jsou podsekce, které se používají k provádění specifických typů operací. Moduly jsou například:

- Design (používá se k vytváření 3D modelů)
- Spooler (rozděluje potrubí do logických celků pro výrobu)
- Isodraft (slouží k vytváření izometrických výkresů).

Aplikace jsou dodatečné programy, určené pro snadnou správu konkrétních projekčních oborů. Rozdělují tak program do sekcí, mezi kterými se dá pohodlně přepínat:

- Equipment (čerpadla, ohříváky, turbíny…)
- Structure (podlahy, zdi, sloupy, nosníky, žebříky, plošiny…)
- Pipework (potrubí včetně ventilů, uložení, izolace, atd.)
- Cable trays (lávky pro kabely)

Software původně sloužil pouze pro trojrozměrnou vizualizaci projektů, rychle byl však objeven jeho potenciál i v dalších oblastech využití. Stále však používá princip tzv. objemového modelování. To znamená, že všechny vytvářené modely (např. trubky, čerpadla, ventily apod.) jsou vytvářeny jako plné objekty, reprezentované pouze tvarem a objemem. Nejsou tedy duté a nemají žádnou vnitřní strukturu. Pro potřeby návrhu se však tato vlastnost jeví spíše jako výhoda než nevýhoda. Urychluje totiž návrh stavby a detaily (lopatky turbín, nýty na přírubách, atd.) by pouze zvětšovaly objem dat, bez jakékoli přidané hodnoty.

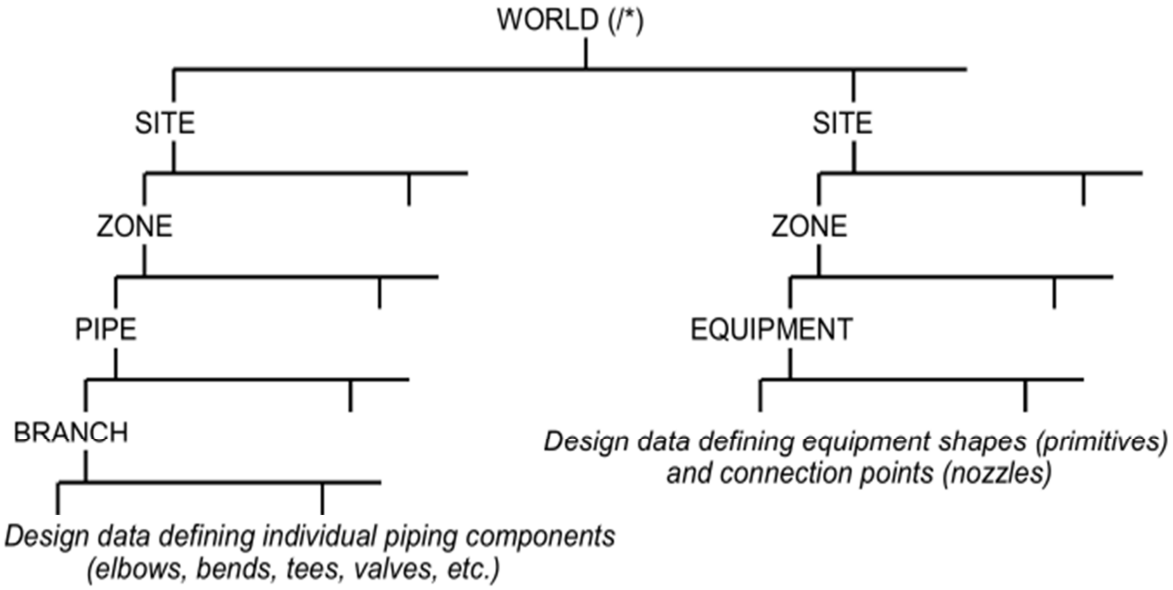
PDMS je program velmi důsledně hierarchicky rozčleněný, což velice pozitivně ovlivňuje jeho přehlednost. Struktura je databázové formy a pro modul Design vypadá takto:

- World
- Site
- Zone
- Pipe
- Branch

Úroveň Zone rozčleňuje následující úrovně podle oborů. Pro tvoření potrubí, vypadá celá výsledná struktura tak, jak je uvedeno výše.

Úroveň Pipe může obsahovat libovolné množství potrubních tras, obvykle jde však o potrubí vázaná nějakou společnou vlastností.

Úroveň Branch spadá pod Pipe a představuje posloupnost potrubních částí, nacházejících se mezi právě dvěma body a to Brach Head a Branch Tail, neboli hlavou a patou potrubní větve. Tyto části (ohyby, ventily, uložení…) však už nespadají do administrativního rozdělení, pouze se z nich daná větev skládá. Podobně tomu tak je, pokud chceme vytvářet zařízení. V tomto případě následuje po Zone pouze jedna administrativní úroveň nazývaná Equipment, který se však fyzicky skládá z Primitives (geometrická tělesa) a Nozzles (příruby). Příklad hierarchického uspořádání je na obr. 15, kde se vlevo nachází struktura pro vytváření potrubí a vpravo pro vytváření zařízení.

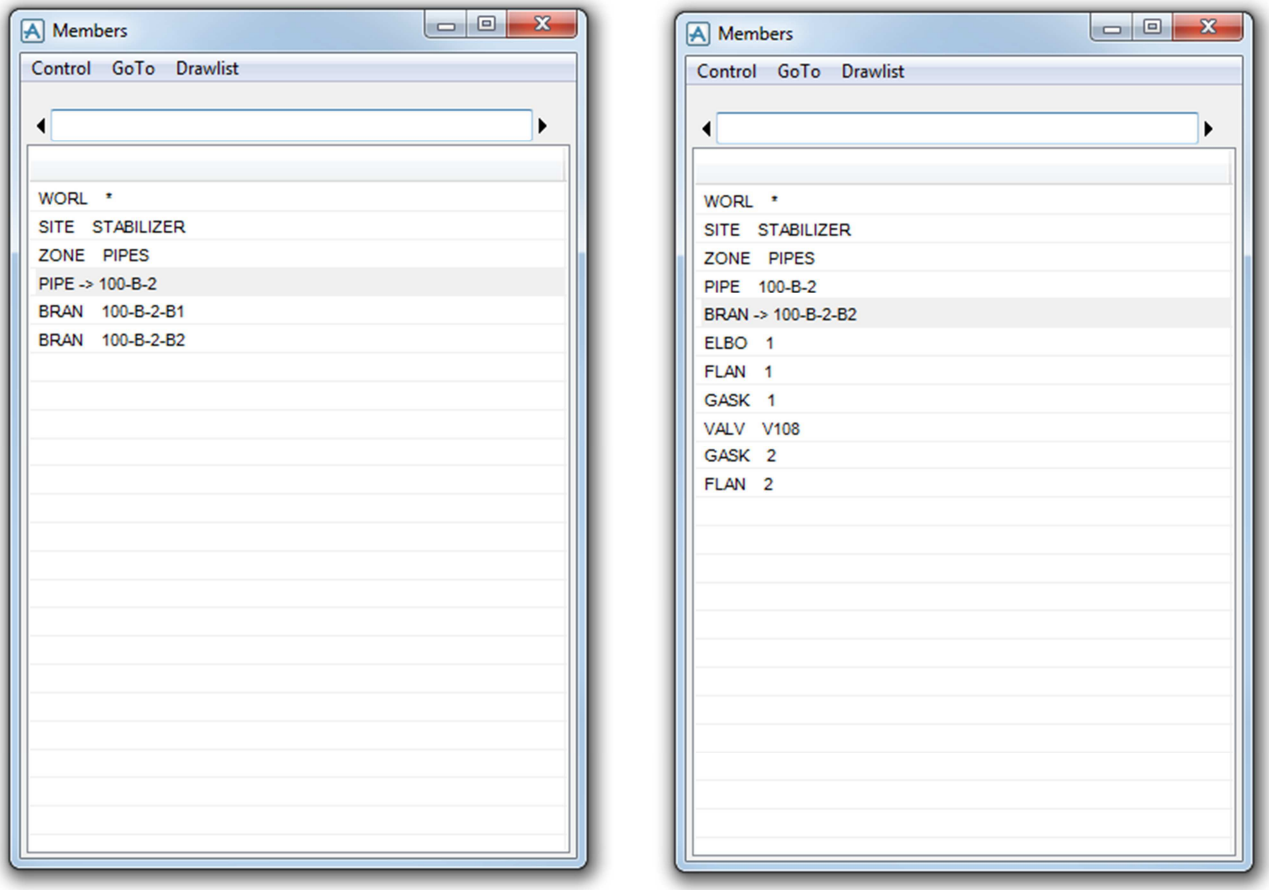


Obrázek 15 Schématické znázornění hierarchické struktury PDMS převzato z [21].

Pro navigování v této struktuře máme hned několik možností ovládání. Nejstarším a také nejuniverzálnějším nástrojem je příkazová řádka, v posledních verzích programu označovaná jako příkazové okno (Command Window). Funguje na principu ručně psaných textových příkazů. Její nevýhodou je, že uživatel potřebuje znát velké množství příkazů. Velkou výhodou naopak je, že je možné vložit předem připravenou posloupnost příkazů, tzv. skript, což velmi urychluje tvorbu stejných nebo podobných modelů, protože není nutné zadávat ručně postupně celou sekvenci. Příkaz z příkazové řádky je nadřazený všem ostatním příkazům.

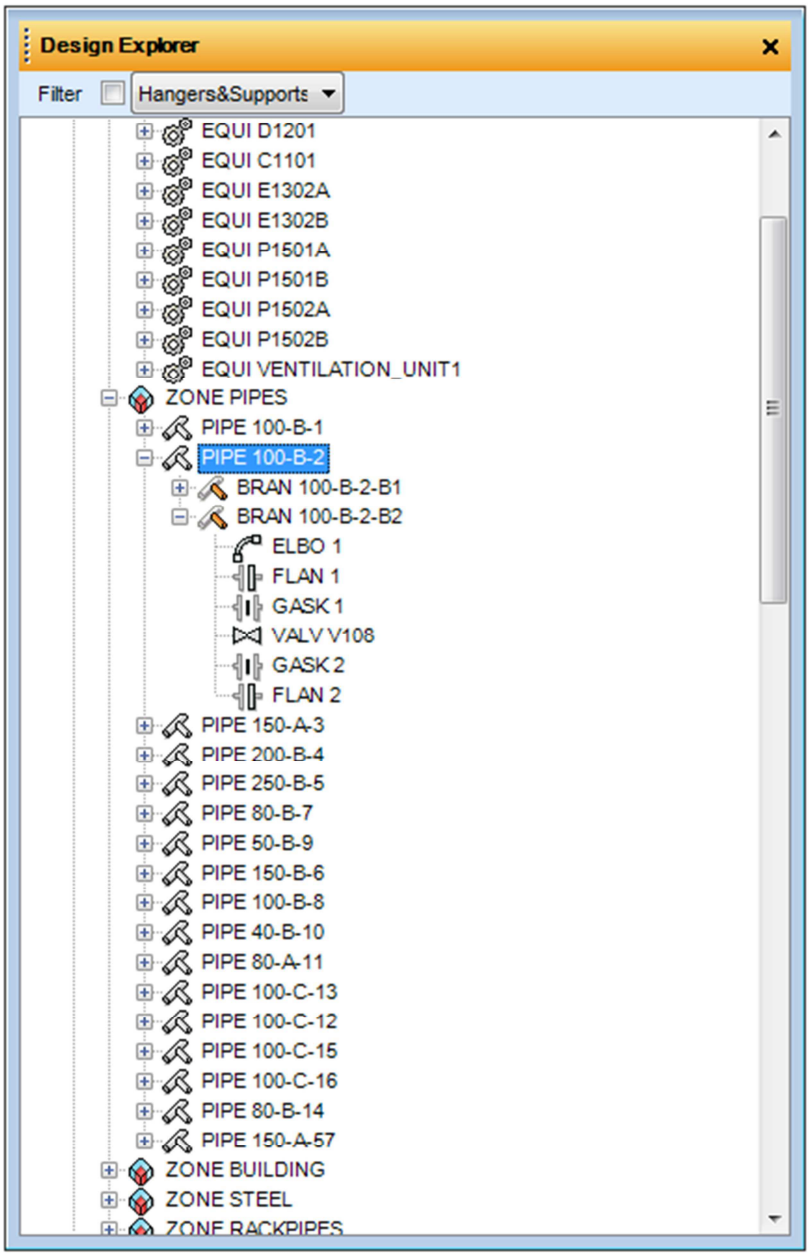
Další možností je okno Členy (Members) viz obr. 16. Členy jsou typické tím, že ve struktuře zobrazují pouze členy daného majitele. Na obrázku je vidět, že řádka aktuálního majitele je šedě zvýrazněna. Majitel Pipe, má například dva členy, tedy dvě různé větve (Branch). Pokud bude majitelem větev, pak má i ona několik členů (Members)

např. ventil (Valve), ohyb (Elbow), atd. Při zobrazení majitele (např. Pipe 100-B-2), zmizí všechny ostatní členy na stejné úrovni (např. Pipe 100-B-1, Pipe 100-B-3 nebo Pipe 100-B-4). Majitel může mít mnoho členů, ale každý člen pouze jednoho majitele. Tento nástroj je velmi přehledný, neboť zobrazuje minimální možné množství dat. Nabízí také jisté omezené možnosti editace daného členu v rámci celkového modelu, např. změna barvy apod.



Obrázek 16 Navigační okna Members

Posledním a zatím také nejnovějším nástrojem navigace je Design Explorer (dále jen DE), viz obr. 17. Tento nástroj je do značné míry pravým opakem Members. Zobrazuje totiž pokud možno vždy celou strukturu modelu. Co se týče funkcí, které jsou přímo implementovány v tomto okně, lze zmínit snadnou změnu jména členu, nebo zobrazení okna s bližšími informacemi o daném členu.

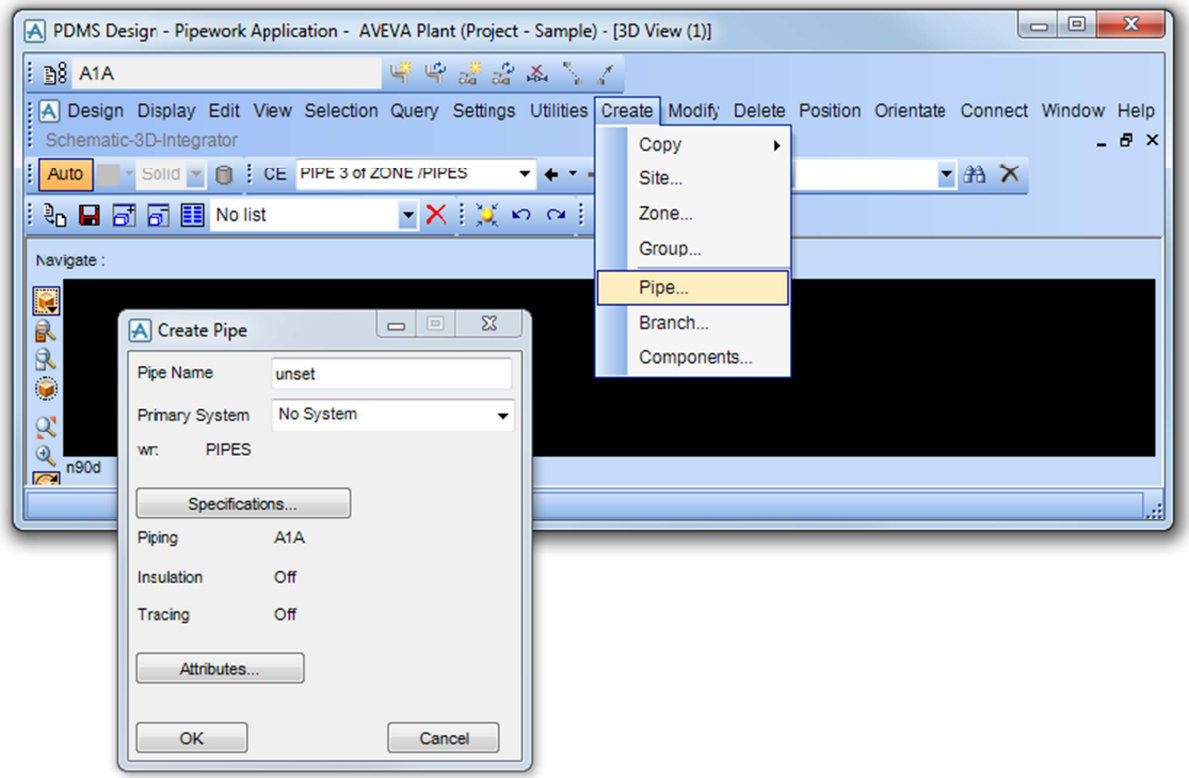


Obrázek 17 Okno Design Explorer

Pro editaci jakéhokoliv členu je nutné mít jej označený. Člen je pak dále využíván jako CE (Current Element). To se dá provézt přímo na 3D modelu pomocí kursoru, v Members (musí jít o majitele), anebo v DE (lze označit libovolný člen při zachování zobrazení celé struktury). Každý ze způsobů nabízí jiné možnosti, proto je výhodné je využívat všechny a dle potřeby je vhodně kombinovat.

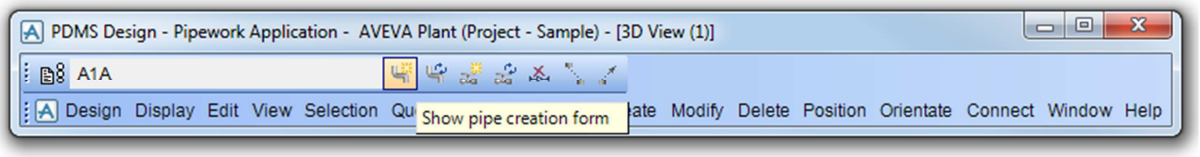
Samotná tvorba modelu, podobně jako navigace ve struktuře, může opět probíhat hned několika způsoby. Tato opětovná mnohonásobnost řešení je způsobena historickým vývojem PDMS. Kde jsou po vytvoření nových postupů, obsažených v pravidelných aktualizacích, ponechány i postupy starší. Výhodou je, že není nutné si vždy ihned po aktualizaci zvykat na nové prostředí. Nevýhodou je zase rostoucí chaotičnost, nebezpečná zejména pro nové uživatele.

První možností je postupovat přes roletovou nabídku Create, viz obrázek 19. Tato varianta je starší a svým ovládáním i vzhledem je velice podobná starším verzím kancelářských programů Microsoft Office. Rozdělení jednotlivých příkazů se jeví jako přehlednější, avšak některé možnosti nastavení jsou naopak velmi dobře ukryty a je třeba vědět, kde je hledat.

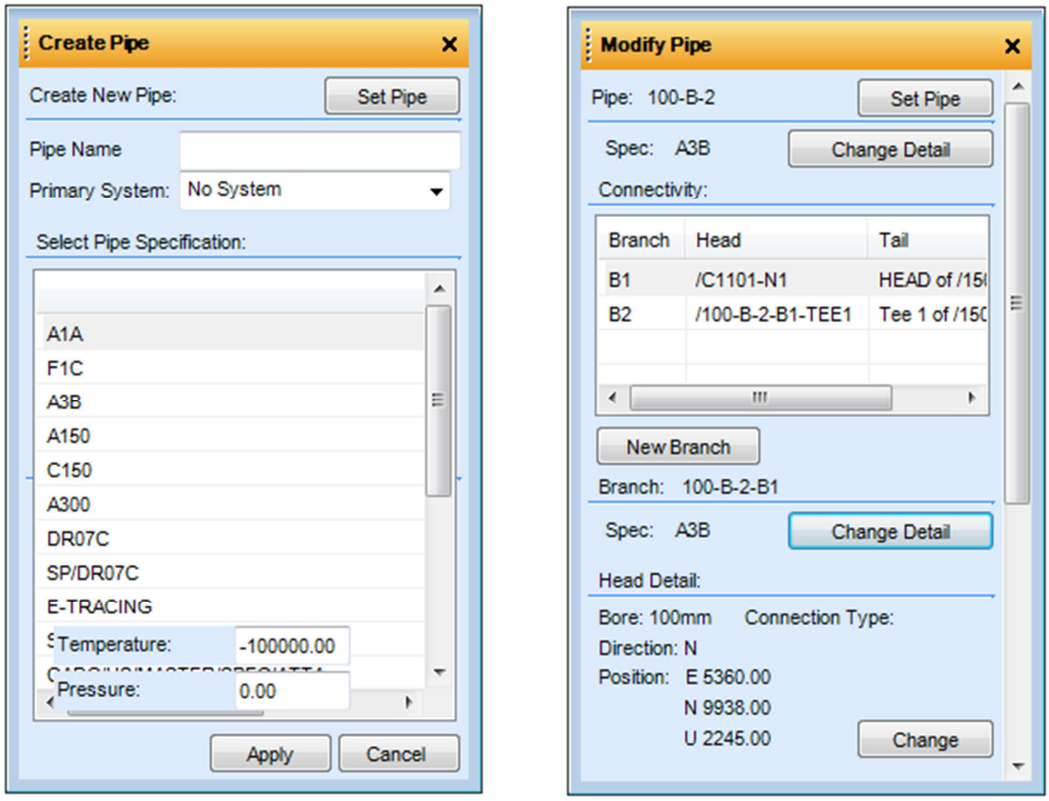


Obrázek 18 Příklad tvorby modelu přes roletkové menu

Druhou možností je tvorba modelu přes tzv. průvodce, který nás, po kliknutí na ikonu tvorby prvku potrubní trasy (obr. 19), provede celým postupem. Postupně se nám otevírají dialogová okna (obr. 20), kde jednoduše vybereme vše potřebné a přejdeme k dalšímu oknu. Máme tak jistotu, že jsme na nic nezapomněli a vše je nastaveno.

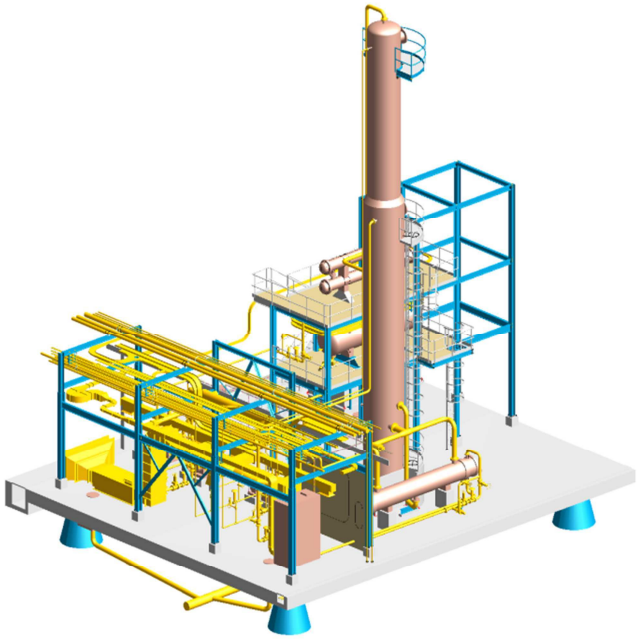


Obrázek 19 Zvýrazněná ikona pro zobrazení průvodce tvorbou prvku potrubí



Obrázek 20 Příklady dialogových oken průvodce tvorbou prvku potrubí

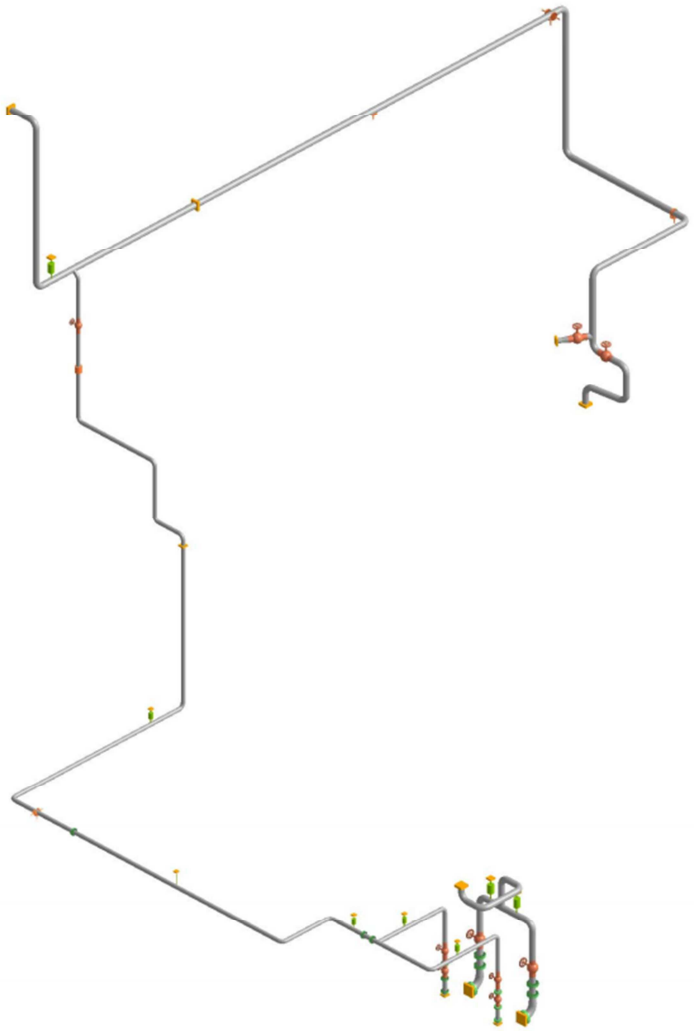
Po osvojení těchto základů už tvorba modelu svou jednoduchostí a intuitivním ovládáním připomíná spíše stavění z lega, než práci s projekčním software. Možný výsledek je zobrazený na obr. 21.



Obrázek 21 Ukázka modelu vytvořeného v PDMS

2.10.4 Caesar II

Caesar II je výpočetní software společnosti Intergraph, který je určený pro pevnostní výpočty potrubních systémů. Je mnohem komplexnější a obsáhlejší než výše uvedený program VVD, umožňuje totiž provádět pevnostní výpočty při uvažování nejen vnitřního přetlaku a teploty, ale i tepelných dilatací, napjatosti od vlastní tíhy nebo seismicity. Z toho plyne, že provádí analýzy nejen pro zatížení statické, ale i dynamické. Navíc v něm lze vytvářet 3D modely potrubí (obr. 22), což velmi usnadňuje orientaci v návrhu. Jeho velkou výhodou je snadná spolupráce přímo s PDMS. Načtení dat z PDMS se provádí přes konverzi pomocí neutrálních souborů formátu*.cii. Výstupem jsou hodnoty velikostí všech sil, momentů a posuvů, které působí na daný uzel (obr. 23). Uzly se nejčastěji volí v místech uložení nebo potrubních částí, jako jsou ohyby, příruby nebo T-kusy. Výsledky mohou být ihned porovnávány s předem zadanou normou. Pokud je potřeba výstup převést zpátky do PDMS, je nutné vytvořit dva soubory, jeden formátu *.CII a druhý *.OUT.



Obrázek 22 Ukázka 3D modelu vytvořeného v Caesar II

AF-Engineering s.r.o. Plzeňská teplárna Appendix of calc.: V092007H revision 3

LOADS AND MOVEMENTS IN SUPPORTS

Node:	2710	A1NDD10BB001/ N3									DN100
Type of support:	Nozzle										
Allowable values											
Calculation Loads	Fx(N)	Fy(N)	Fz(N)	Fr(N)	Mx(Nm)	My(Nm)	Mz(Nm)	Mr(Nm)	x(mm)	y(mm)	z(mm)
Sustained Loads	-20	-7	-190		62	-12	-11		0,0	0,0	0,0
Design Loads - all	-782	-118	2 646		-395	-1 247	-412		0,0	0,0	-4,8
Design Loads - AP001	-729	-416	2 383		-364	-1 140	-559		0,0	0,0	-4,8
Design Loads - AP002	-719	198	2 340		-337	-1 082	-194		0,0	0,0	-4,8
Static maximum	-782	-416	2 646		-395	-1 247	-559		0,0	0,0	-4,8
Clasification											

Node:	2717	A1LCP20BR010							c=16,6N/mm		DN100
Type of support:	Spring Support								Fcold=1,4kN		BQ002
Allowable values											
Calculation Loads	Fx(N)	Fy(N)	Fz(N)	Fr(N)	Mx(Nm)	My(Nm)	Mz(Nm)	Mr(Nm)	x(mm)	y(mm)	z(mm)
Sustained Loads	0	0	-1 399		0	0	0		0,0	0,0	0,1
Design Loads - all	0	0	-1 358		0	0	0		2,6	0,9	2,6
Design Loads - AP001	0	0	-1 363		0	0	0		2,7	0,2	2,2
Design Loads - AP002	0	0	-1 382		0	0	0		2,1	1,3	1,1
Static maximum	0	0	-1 399		0	0	0		2,7	1,3	2,6
Clasification											

Obrázek 23 Část výstupního souboru programu Caesar II

2.10.5 LiCAD

Tento program dodává zdarma společnost Lisega, která je výrobcem a dodavatelem potrubních uložení. Díky jejich software je možné jednoduše zvolit konkrétní typ uložení, vhodný pro konkrétní pozici na potrubí. Do programu je potřeba zadat 5 parametrů:

- Vnější průměr potrubí
- Teplotu proudícího média
- Zatížení
- Posuvy
- Maximální délkový rozměr uložení

Veškeré údaje, které potřebujeme zadat, jsou obsahem výstupního souboru programu Caesar II. Po vybrání vhodné konfigurace uložení je možné zobrazit výkresovou dokumentaci (včetně kusovníku) a tu přímo použít jako objednávku, nebo zobrazit 3D model uložení v programu PDMS. Pokud je to potřeba, program umožňuje také tvorbu sekundárního uložení. Jedná se o nosníky, sloupy, potřebné pro uchycení vlastního uložení na stavbě.

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Tato část práce je zaměřena na vlastní optimalizaci potrubní trasy. Nejprve je třeba zohlednit dispozici plzeňské teplárny, neboť právě v jednom z jejích bloků se potrubní trasa nachází. Dále je nutné zhodnotit stav stávající trasy a definovat důvody její náhrady. Poté může být přistoupeno k návrhu nové potrubní trasy v software PDMS, který je spolu s dalším software představen v předchozí kapitole. Následuje kontrola zvolených parametrů potrubí pevnostním výpočtem v programu VVD. Jestliže zvolené parametry vyhoví výpočtu, jsou vybrány typy uložení a jejich rozmístění. Proces návrhu je zakončen komplexním ověřením pevnosti potrubí v programu Caesar II. Pokud se výpočtem prokáže dostatečná pevnost trasy, je přistoupeno k výběru konkrétního modelu uložení v programu LiCAD a jeho zpětné zobrazení v programu PDMS.

Cílem je tedy navrhnout v programu PDMS potrubní trasu, která bude lépe vyhovovat současnému dispozičnímu uspořádání stavby a bude mít minimální počet závěsů.

3.1 Popis zadané trasy

Potrubní trasa je umístěna v tzv. „Zeleném bloku“ Plzeňské teplárenské. Schéma bloku bylo poskytnuto firmou AF-Engineering (dále jen AFE) a jeho část, která zadanou trasu popisuje včetně nejbližšího funkčního okolí, je na obr. 24. Strukturálně se trasa skládá ze dvou potrubí úrovně Pipe. Potrubí jsou podle KKS označována jako A1LCP21 a A1LCP31. Každé má formálně jednu podúroveň Branch a jsou navzájem spojena T-kusem. Od spoje je potrubí označováno jako A1LCP21.

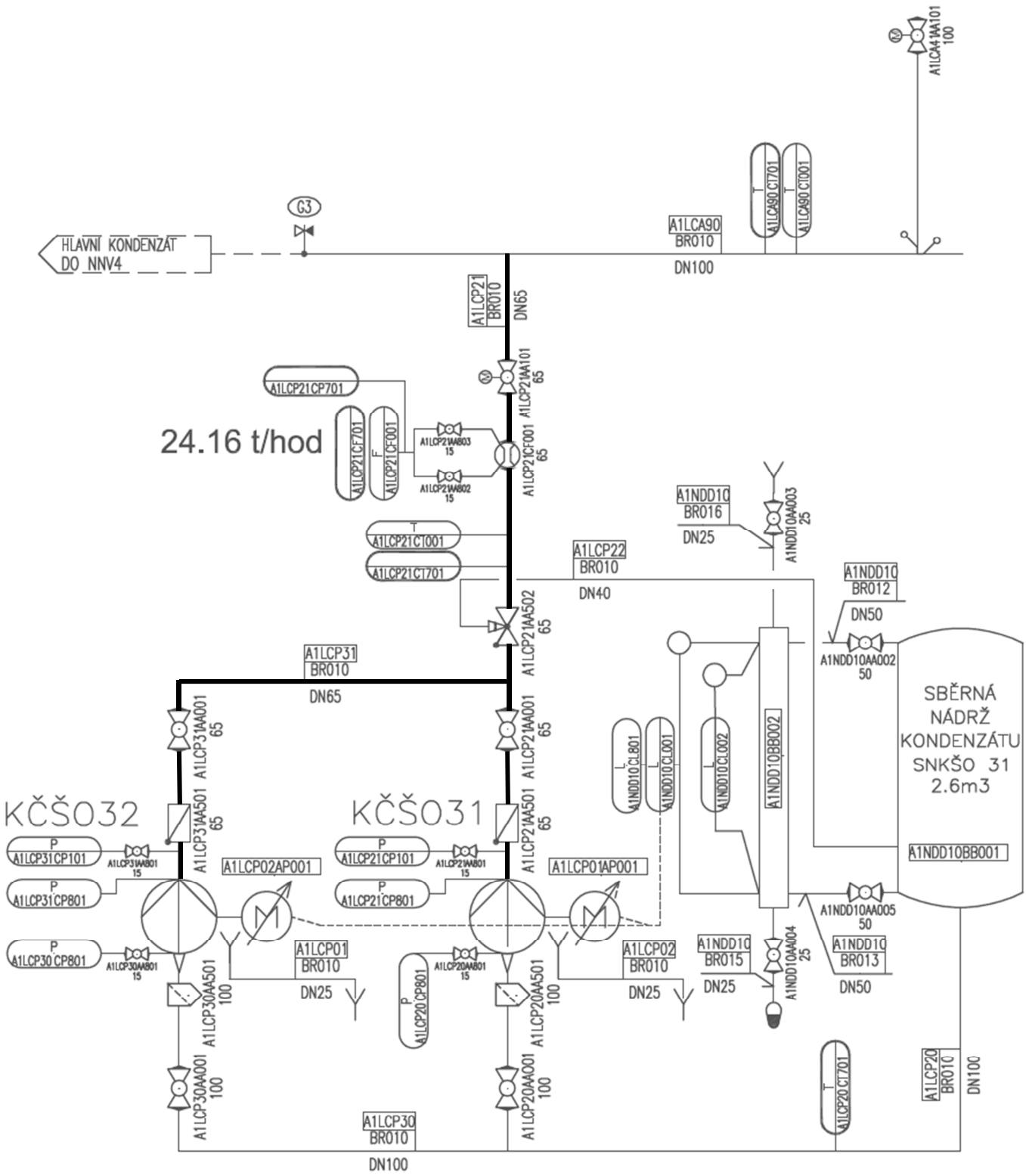
Potrubí A1LCP31 vede horkou vodu, přivedenou ze sběrné nádrže kondenzátu špičkového ohříváku do kondenzátního čerpadla KČŠO32, a poté je spojeno T-kusem s potrubím A1LCP21.

Potrubí A1LCP21 vede kondenzát z čerpadla KČŠO31 a od výše zmíněného T-kusu vede společný výtlak obou čerpadel (KČŠO31 a KČŠO32) do napojení na trasu A1LCA90, která vede hlavní kondenzát dále.

Parametry obou potrubí jsou uvedeny v tab. 4. Obě potrubí mají stejný jmenovitý průměr DN, stejný výpočtový tlak p_c i výpočtovou teplotu T_c. Od jistého místa jsou navíc potrubí spojena do jediného. Lze je proto pro potřeby této práce označovat jako jedinou potrubní trasu. Je také vhodné pro celou trasu použít stejný materiál. Důvodem je zajištění dobré svařitelnosti potrubí a nebezpečí rozdílných tepelných dilatací v případě použití rozdílných materiálů.

KKS 1 funkce	KKS 2 agregát	Dimenze potrubí DN	Dimenze potrubí D x t	Popis (Česky)	Výpočtový tlak p_c [bar(a)]	Výpočtová teplota T_c [°C]	Materiál potrubí	Norma potrubí
A1LCP21	BR010	65	76.1x2.9	Společný výtlak KČŠO 31, 32	16.96	145	P235GH	EN10216-2
A1LCP31	BR010	65	76.1x2.9	Výtlak KČŠO 32	16.96	145	P235GH	EN10216-2

Tabulka 4 Parametry zadané trasy



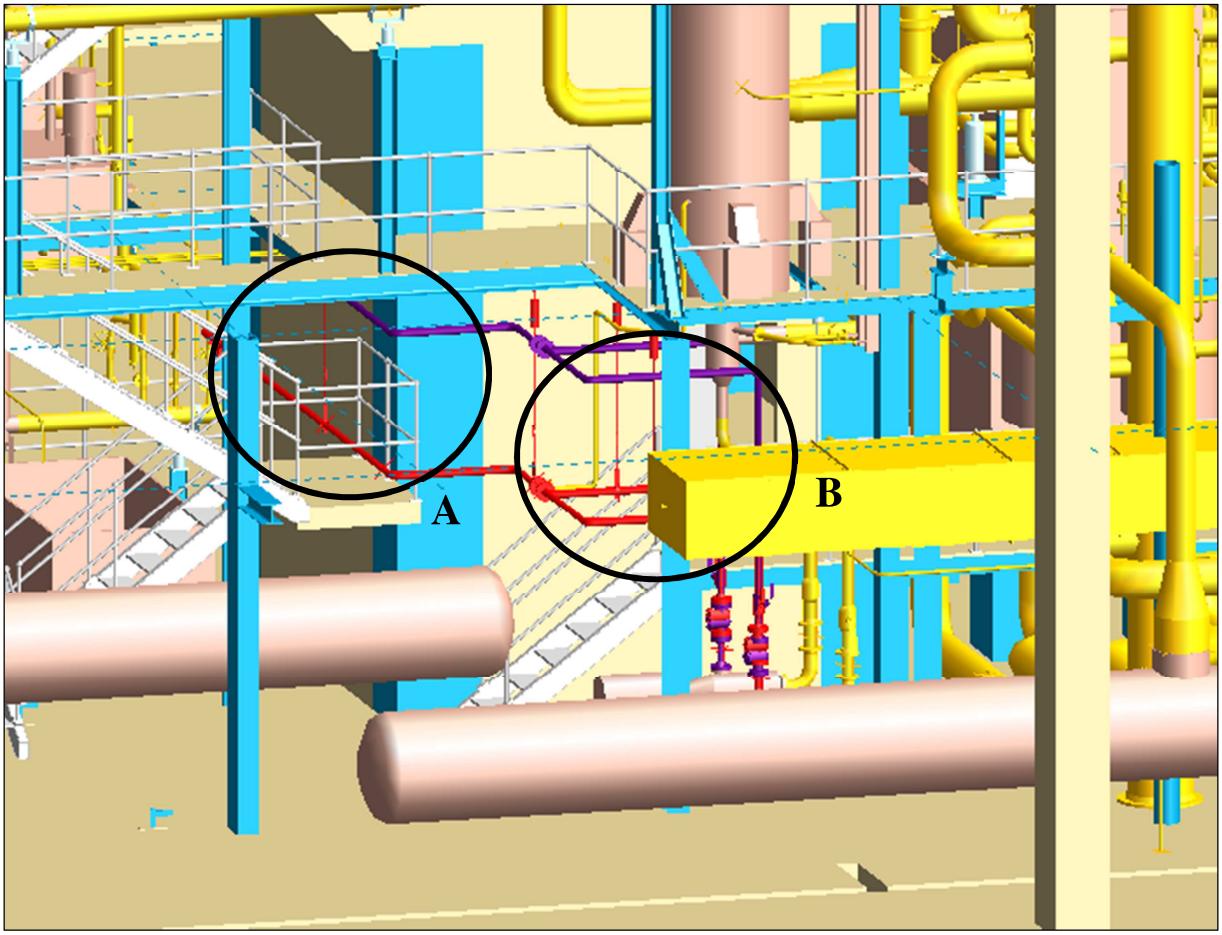
Obrázek 24 Funkční schéma zadané potrubní trasy včetně jejího nejbližšího okolí

3.2 Optimalizace trasy

V teplárně došlo k dispozičním změnám, a proto bylo potřeba upravit technologii. Jedna z úprav se týkala i zadané trasy.

Z dispozičního hlediska vede původní trasa poměrně nízko nad novým schodištěm (obr. 25 zvýrazněná oblast B) a při stoupání po schodišti je nutné se krčit. Dále potrubní trasa prochází zábradlím schodišťového odpočívadla (obr. 25 zvýrazněná oblast A). Potrubí tak zabírá prostor na plošině a zvyšuje riziko úrazu.

Z ekonomického hlediska jsou 4 původní pružinové závěsy finančně mnohem nákladnější než běžné pevné závěsy. V novém návrhu proto bude snaha co nejvíce omezit počet těchto uložení.



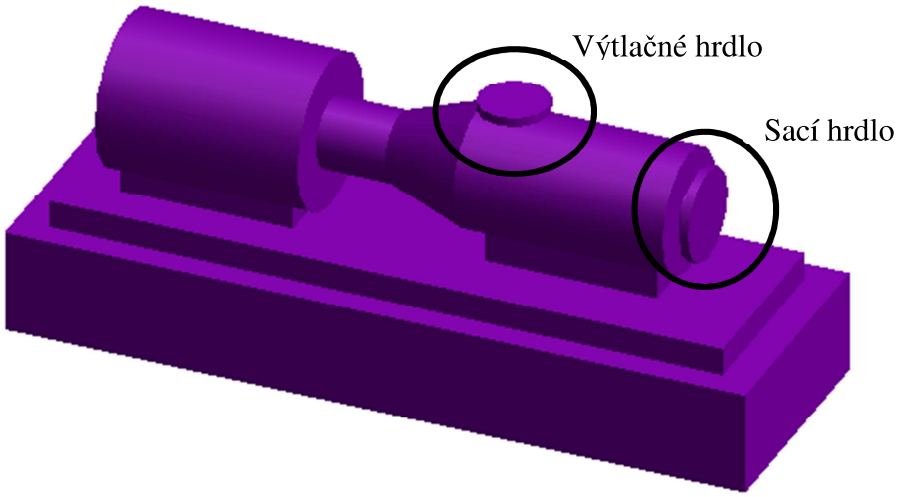
Obrázek 25 PDMS, pohled na model původní trasy, která je zde zobrazena červeně

Než byl vytvořen model potrubní trasy, bylo nutno vymodelovat kondenzátní čerpadlo (obr. 26). Tento model je potřebný zejména z důvodu vytvoření první části geometrických okrajových podmínek pro navrhovanou potrubní trasu. Tyto podmínky reprezentuje začátek potrubní trasy (tzv. HEAD). Druhou část podmínek tvoří T-kus na trase A1LCA90, který má funkci konce trasy (tzv. TAIL).

Jde o projekční model čerpadla, je tedy značně zjednodušený. Kromě reprezentace okrajových podmínek, má význam pouze obsazeného prostoru kvůli dispozičnímu uspořádání a odhalení případných kolizí s jinými zařízeními či potrubními trasami. Na čerpadlo je potřeba vymodelovat výtlačné hrdlo a přesně podle výrobního výkresu

jej umístit. Hrdlo je pak právě potřebný začátek (HEAD) navrhované potrubní trasy. Pro vytvoření modelu typu Equipment je potřeba použít tyto prvky typu Primitives:

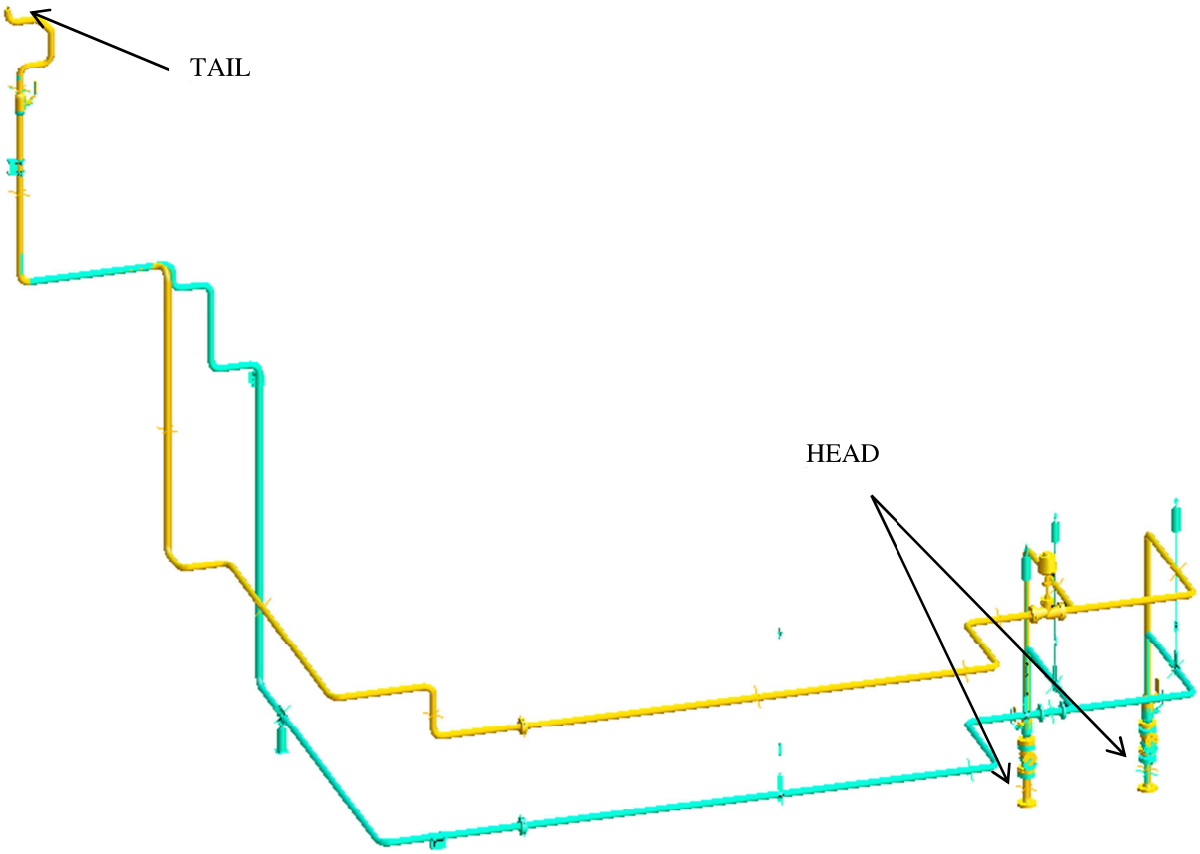
- 4 kvádry
- 3 válce
- 1 kužel
- 2 příruby.



Obrázek 26 PDMS, model kondenzátního čerpadla

Dále byla vyprojektována vlastní potrubní trasa. Nejprve byl definován její počátek (HEAD) na hrdle vymodelovaného kondenzátního čerpadla a její konec (TAIL) na T-prvku na trase A1LCA90. Vzhledem k tomu, že se jedná o prvotní návrh, je kladen důraz především na správnou polohu potrubí. Při projektování je nutné myslet na proveditelnost uložení, proto byla trasa vedena v těsné blízkosti nosných konstrukcí, případně stěn. Nejnižší vodorovná část potrubí byla umístěna výše, a to až těsně pod nosník podepírající plošinu vyššího patra a byl ponechán prostor přibližně 300 mm pro uložení a ventily. Tím se vyřešil problém potrubí procházejícího zábradlím schodišťového odpočívadla a zároveň problém nízkého průchodu pod potrubím vedoucím nad schodištěm. Dále byly na trasu přidány ventily, dle schématu (obr. 24), včetně přírub a těsnění. Veškeré potrubní části trasy jsou vybírány z virtuálního katalogu, který je obsažen v PDMS. Tento katalog byl vytvořen speciálně pro projekt nového „Zeleného bloku“ Plzeňské teplárenské a. s. podle podkladů od dodavatelů.

Při projektování se z důvodu větší přehlednosti ponechaly zobrazeny pouze prvky nejblíže k potrubí, nebo ty prvky, které jsou důležité pro jeho uchycení. Právě z tohoto důvodu, po provedení kolizní kontroly potrubní trasy s okolím, se ukázalo toto řešení jako nevhodné. Kontrola odhalila především kolize trasy s jinými trasami a v jednom případě s pomocnou ocelovou konstrukcí stavby. Bylo proto nutné návrh pozměnit. Porovnání původní trasy a finálního návrhu trasy nové je na obr. 27. Z obrázku je vidět, že nová potrubní trasa má o jeden ohyb navíc. Ten přibyl právě poslední úpravou po kolizní kontrole. Cena ohybu typu 90° pro tuto trasu je však oproti uložení výrazně nižší. Pokud se tedy díky tomuto řešení podaří ušetřit alespoň jedno uložení, bude použití jednoho ohybu navíc ekonomicky zcela ospravedlnitelné. Z hlediska řešení prostoru se trasa tedy nyní zdá být v pořádku.



Obrázek 27 PDMS, model původní trasy (tyrkys) a model nové trasy (žlutá)

3.3 Ověření pevnosti jednotlivých prvků

Pro ověření statické pevnosti všech potrubních součástí byl použit program VVD. Celkem bylo kontrolováno pět typů potrubních částí. Kontrolované části jsou:

- **Rovná trubka** (obr. 28):
  - délka L = 1 m, jmenovitý průměr DN = 65 mm, vnější průměr D = 76,1 mm, tloušťka stěny t = 2,9 mm.
- **Ohyb 90°** (obr. 29 vlevo):
  - poloměr oblouku R = 95 mm, jmenovitý průměr DN = 65 mm, vnější průměr D = 76,1 mm, tloušťka stěny t = 2,9 mm.
- **Ohyb 45°** (obr. 29 vpravo):
  - poloměr oblouku R = 95 mm, jmenovitý průměr DN = 65 mm, vnější průměr D = 76,1 mm, tloušťka stěny t = 2,9 mm.
- **T-kus** (obr. 30):
  - Část, která spojuje dvě části trasy, které vedou každá od jednoho kondenzátního čerpadla, do jednoho potrubí. Pro všechny platí DN = 65 mm, vnější průměr D = 76,1 mm, tloušťka stěny t = 2,9 mm.

Program používá výpočet dle normy EN 13480-3. Byly zadány okrajové podmínky dle tab. 4, neboli výpočtový tlak p_c = 1,6196 MPa, vnější tlak p_0 = 0,1013 MPa, výpočtová teplota T_c = 145 °C a hustota proudícího média (vody) ρ_{H2O} = 1 g/cm^3 a materiál potrubí.

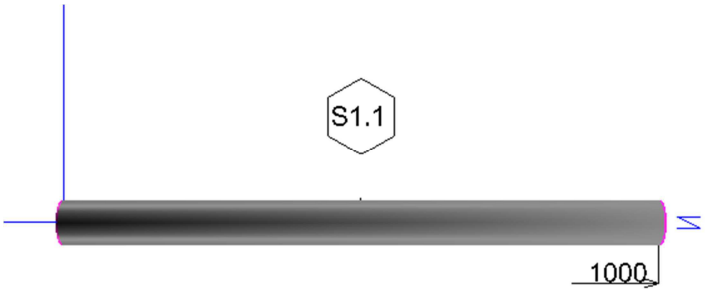
Bylo zvoleno bezešvé potrubí. Materiál byl volen z montážních a pevnostních důvodů, s ohledem na potrubí připojovaná k trase (A1LCP22 a A1LCA90), stejný jako u trasy původní. Jedná se o nelegovanou žáruvzdornou ocel pro bezešvé trubky P235GH. Mechanické vlastnosti této oceli pro tloušťku stěny trubky menší než nominální tloušťka e = 16 mm jsou podle EN 10216-2:2002/A2:A7 takovéto: mez kluzu R_e = 235 MPa, modul pružnosti E = 202757 N/mm^2, hustota při 20 °C ρ = 7,85 g/cm^3. Nejedná se o nerezovou ocel, bylo proto nutné do programu zadat ještě korozivní přídavek c = 1 mm.

Délky všech rovných úseků trubek byly pro výpočet voleny. Cílem bylo zadat trubku o konkrétním rozměru, ale bez vlivu na řešení. A protože jde o statické namáhání vnitřním přetlakem, délka není rozhodujícím parametrem.

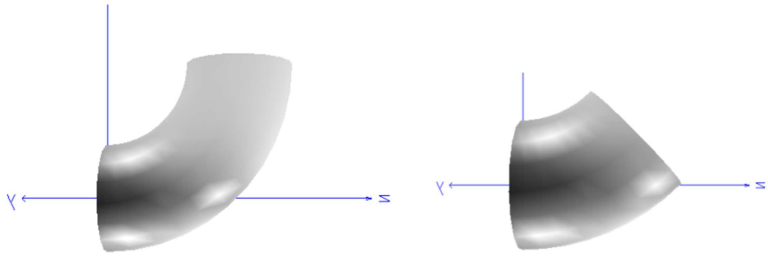
Z výpočtu plyne, jak jsou potrubní části zatěžovány a jak je procentuálně využit použitý materiál (tab. 5). Nejvíce namáhány jsou tedy ohyby, které se hodnotou 71,7 % při zatěžovaní vnitřním přetlakem nejvíce blíží 100% využití materiálu a tedy maximálnímu riziku porušení. Z tabulky tedy plyne, že všechny součásti vyhověly ověření statické pevnosti. Kompletní výstupní data s výsledky jsou součástí přílohy 2.

	Rovná trubka	**Ohyb 90°**	**Ohyb 45°**	**T-kus**
Vnitřní přetlak	64,40 %	71,70 %	71,70 %	64,40 %
Hydrostatický test	16,40 %	22,00 %	22,00 %	16,40 %

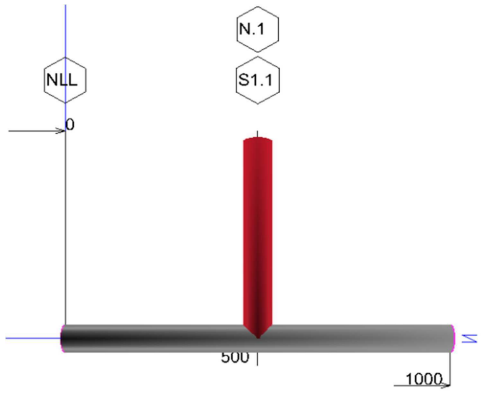
Tabulka 5 Výsledky výpočtu VVD



Obrázek 28 VVD, rovná trubka



Obrázek 29 VVD, ohyb 90° a ohyb 45°



Obrázek 30 VVD, spojení T-kusem trubek stejných průměrů

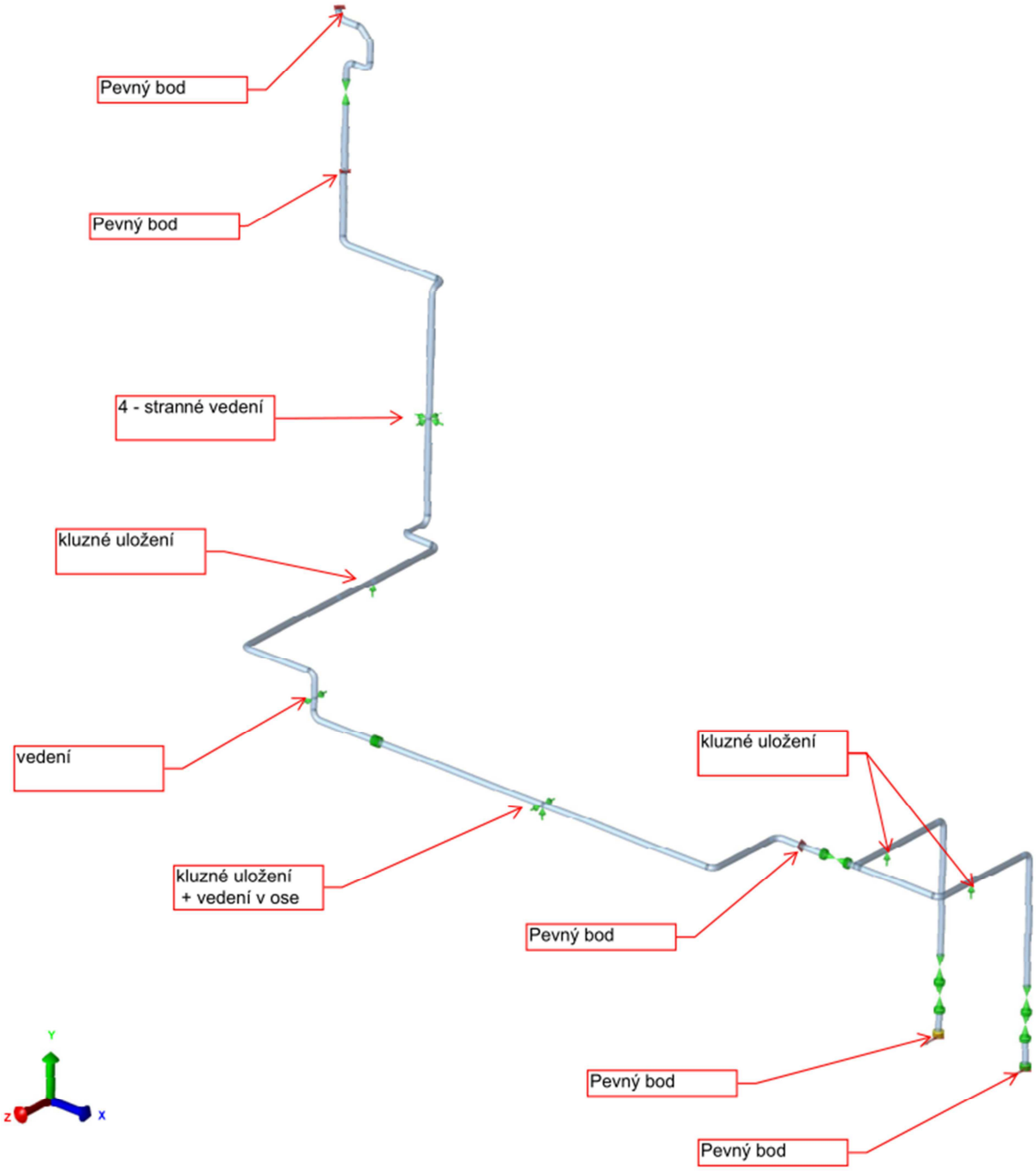
3.4 Návrh uložení

Prvotní rozmístění uložení bylo navrženo podle tabulky pro předběžné odhady rozteče (tab. 6), kterou používá firma AFE pro svou běžnou praxi. Navrhovaná trasa vede horkou vodu a musí tedy být tepelně izolovaná. Pro jmenovitou světlost Js = DN = 65 mm tabulka doporučuje volit maximální vzdálenost uložení 3,9 m.

Potrubí Js [mm]	Vodní potrubí [m]		Parovody [m]	Plynovody [m]
	bez tepelné izolace	tepelně izolovaná	tepelně izolované	
25	2,6	1,8	1,8	2,7
32	3	2,1	2,1	3,1
40	3,4	2,4	2,5	3,5
50	4	3,1	3,2	4,3
60	4,4	3,3	3,4	4,7
65	5	**3,9**	4	5,4
80	5,3	4,2	4,4	5,8
90	5,5	4,4	4,6	6,1
100	5,9	4,5	4,7	6,5

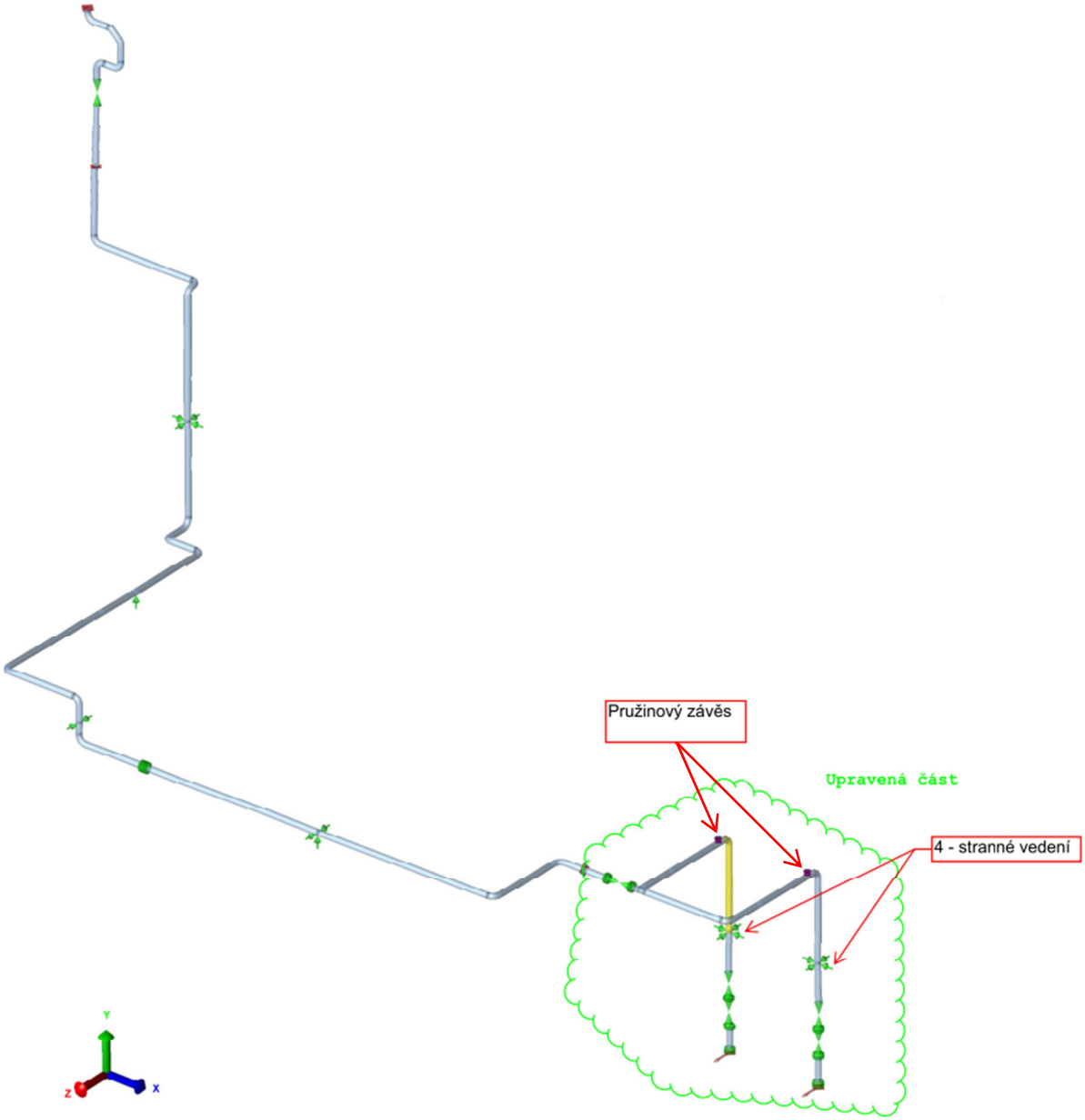
Tabulka 6 Směrné hodnoty pro předběžné odhady rozteče uložení potrubí z ocelových trubek

Pro návrh rozmístění uložení byl použit program PDMS. Při návrhu nové trasy chceme dosáhnout minimálního počtu pružinových uložení. Prvotní návrh (obr. 31) byl proto projektován zcela bez jejich použití. Nejprve byly rozmístěny pevné body (FIX) na místa, kde by nemělo docházet k žádnému pohybu potrubí. Těmito místy jsou hrdla čerpadel na začátku trasy a připojení k potrubní trase A1LCA90 na konci potrubní trasy. Zbytek uložení byl rozmístěn podle možností a vhodnosti prostorové dispozice teplárny a podle směrů předpokládaného největšího zatížení trasy, aby došlo k eliminaci posuvů. Data popisující celou trasu byla pak převedena do programu CAESAR II, který byl následně použit pro pevnostní výpočet.



Obrázek 31 CAESAR II, prvotní návrh uložení trasy

Trasa byla podle normy EN 13480 při výpočtu podrobena 2 zatěžovacím stavům. Provoznímu stavu, kdy na trasu působí teplota a tlak při běžném provozu (OPE) a imaginárnímu zatížení od teplotního a tlakového rozdílu, tedy zatížení, které vznikne zahřátím trasy a působením vnitřního přetlaku (EXP). Z provedeného výpočtu vyplývá, že trasa z hlediska dovoleného napětí vyhovuje. Kvůli odlehnutí kluzných uložení při teplotní dilataci, ale vznikají značné síly na hrdla kondenzátních čerpadel. Tyto síly překračují hodnoty dovolené výrobcem těchto čerpadel. Je proto nutné na trase navrhnout pružinové závěsy pro jejich odlehčení (obr. 32).



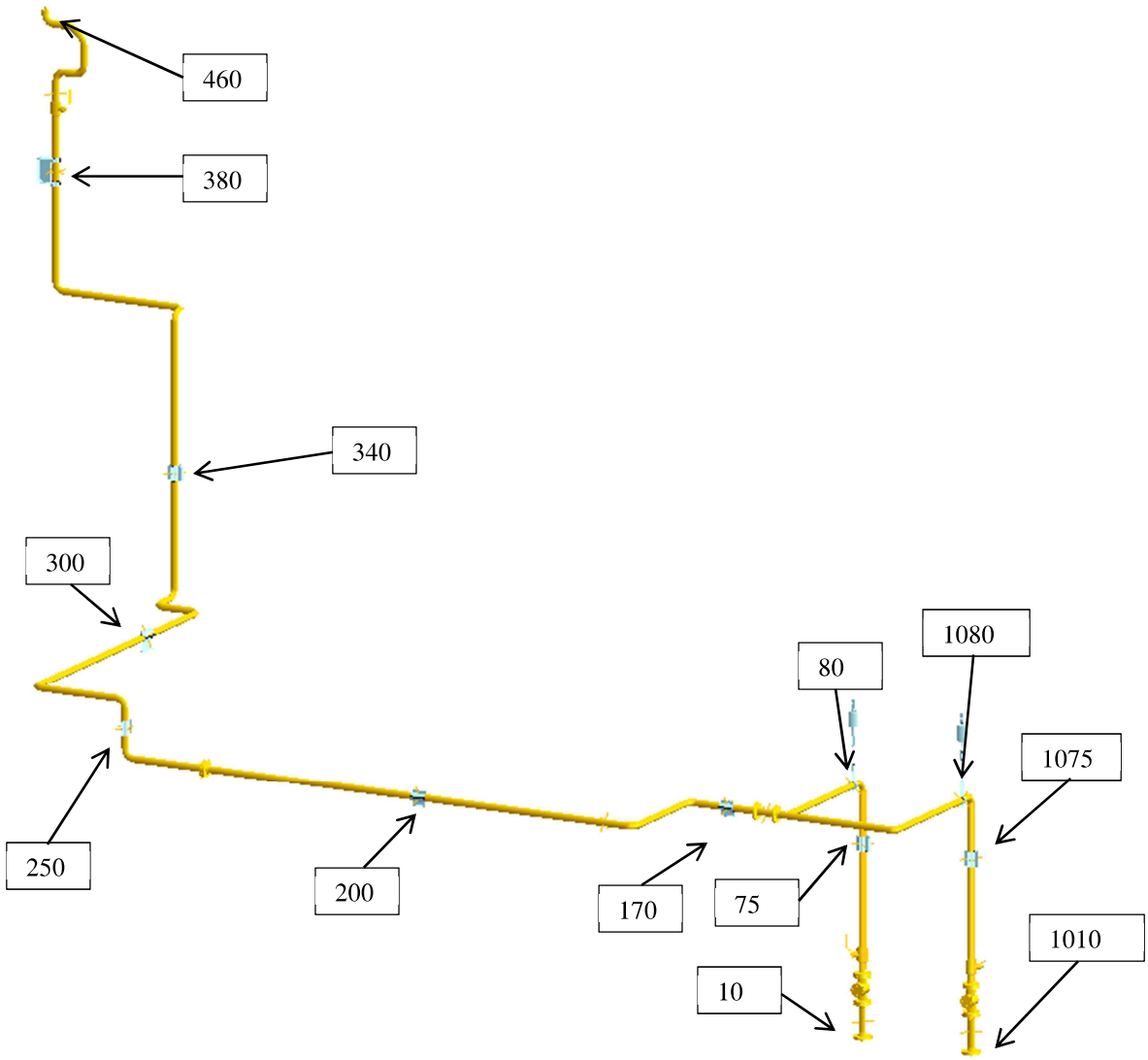
Obrázek 32 CAESAR II, upravený návrh uložení trasy

Kompletní výsledky z programu CAESAR II pro stav po přidání pružinových závěsů jsou obsahem přílohy 1. Výsledné hodnoty jsou vždy přiřazeny tzv. uzlům (NODE). Jedná se o body, které ve výpočtovém modelu reprezentují uložení. Rozmístění uzlů je ilustrováno na obr. 33. Z úseku výsledků v tab. 7 plyne, že hodnoty zatížení, působících na hrdla kondenzátních čerpadel jsou po přidání pružinových závěsů minimální.

Node	Load Case	FX [N]	FY [N]	FZ [N]	MX [Nm]	MY [Nm]	MZ [Nm]	DX [mm]	DY [mm]	DZ [mm]
10		Rigid ANC								
	2(OPE)	-117	-318	271	125	21	54	-0.000	-0.000	0.000
	6(EXP)	-118	-815	280	129	28	55	-0.000	-0.000	0.000
	MAX	-118	-815	280	129	28	55	-0.000	-0.000	0.000
1010		Rigid ANC								
	2(OPE)	-76	-296	115	53	53	35	-0.000	-0.000	0.000
	6(EXP)	-74	-510	100	46	56	34	-0.000	-0.000	0.000
	MAX	-76	-510	115	53	56	35	-0.000	-0.000	0.000

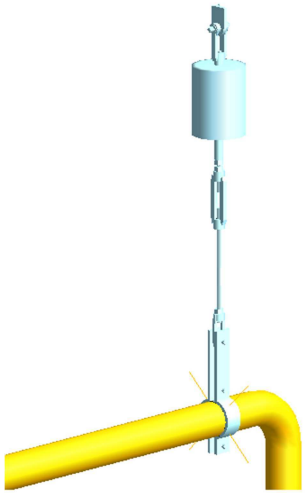
Tabulka 7 Výsledky z programu CAESAR II pro hrdla KČ po úpravě uložení trasy

Na základě hodnot získaných výpočtem byly v programu LiCAD vybrány konkrétní modely uložení, které odpovídají parametrům trasy, a které vyhovují dispozičnímu uspořádání jejího okolí. Uložení potrubní trasy byla poté zpětně zobrazena v PDMS (obr. 33). Výrobní výkresy všech použitých uložení, které mohou sloužit jako podklad pro cenovou nabídku, jsou součástí přílohy (příloha 5 až 8).



Obrázek 33 PDMS, optimalizované uložení potrubní trasy včetně čísel uzlů

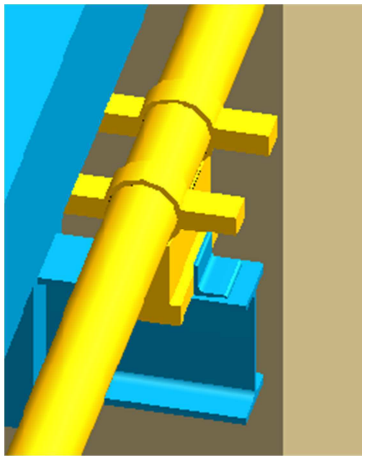
Konstrukčně nejzajímavějším a zároveň také nejdražším typem použitého uložení je pružinový závěs (obr. 34). Při jeho návrhu se vycházelo z hodnot v tab. 8 a byl umístěn na pozice uzlů 80, resp. 1080 (obr. 33). Ostatní uložení jsou ve formě podpěr a jejich funkce (pevný bod, vedení, apod.) je řešena pomocí sekundární konstrukce. Například pevný bod se vytvoří přivařením podpěry ke konstrukci. Kluzné uložení s vedením v ose, zase přivařením profilu po obou stranách uložení (obr. 35).



Obrázek 34 PDMS, pružinový závěs

Node	Load Case	FX [N]	FY [N]	FZ [N]	MX [Nm]	MY [Nm]	MZ [Nm]	DX [mm]	DY [mm]	DZ [mm]
80	User Design VSH									
	2(OPE)	0	-1690	0	0	0	0	1.149	4.699	-2.032
	6(EXP)	0	306	0	0	0	0	1.091	4.632	-1.965
	MAX		-1690					1.149	4.699	-2.032
1080	User Design VSH									
	2(OPE)	0	-1990	0	0	0	0	0.830	4.704	-0.753
	6(EXP)	0	307	0	0	0	0	0.798	4.644	-0.505
	MAX		-1990					0.830	4.704	-0.753

Tabulka 8 Výsledky z programu CAESAR II pro místa, kde se nachází pružinové závěsy



Obrázek 35 PDMS, kluzné uložení s osovým vedením

3.5 Ekonomické zhodnocení návrhu

Při hodnocení ekonomické stránky návrhu, je potřeba brát v úvahu dvě základní hlediska. Těmi jsou náklady investiční, které jsou pouze jednorázové a dále náklady provozní, které jsou omezeny délkou životnosti součástí. Na provozní náklady mají vliv především náklady na provoz, servis a také ztráty (tepelné a tlakové). Posouzení provozních nákladů je již mimo rámec této práce, avšak náklady investiční zhodnotit lze.

Investiční náklady se skládají z nákladů na materiál a nákladů na montáž. Náklady na montáž, vzhledem k použití stejného materiálu potrubí a i celkové podobnosti obou tras, považujeme přibližně za shodné. V tabulce 9 jsou uvedeny potrubní části, použité na původní i nové trase, včetně běžných cen. Potrubní části jako ventily nebo měřící místa jsou na obou trasách shodné. Je vidět, že nová potrubní trasa se liší použitím jednoho ohybu 90° navíc a celkovou délkou rovných úseků. V tabulce 10 jsou pak zvlášť uvedena uložení pro obě trasy včetně cen. Výše ceny se může případ od případu lišit, protože vždy záleží na konkrétní nabídce dodavatele. Ceny je proto třeba brát pouze orientačně.

Především díky použití menšího počtu pružinových závěsů při návrhu uložení nové trasy, vyšly investiční náklady na materiál o 4526 Kč nižší, což představuje cca. 20% úsporu. Potrubní trasu se tedy podařilo ekonomicky optimalizovat.

	m. j.	Cena za m. j.	Původní trasa		Nová trasa	
			Počet m. j.	Cena celkem v Kč	Počet m. j.	Cena celkem v Kč
Rovná trubka	m	167 Kč	29,3	**4 893 Kč**	30,8	**5 144 Kč**
Ohyb 90°	ks	47 Kč	15	**705 Kč**	16	**752 Kč**
Ohyb 45°	ks	35 Kč	2	**70 Kč**	2	**70 Kč**
T-kus	ks	469 Kč	1	**469 Kč**	1	**469 Kč**
Izolace	m	78 Kč	29,3	**2 285 Kč**	30,8	**2 402 Kč**
Celková cena				**8 423 Kč**		**8 837 Kč**

Tabulka 9 Cena materiálu

	Cena za kus	Původní trasa		Nová trasa	
		ks	Cena	ks	Cena
Pevný závěs	500 Kč	1	**500 Kč**	0	**0 Kč**
Pružinový závěs	3 000 Kč	4	**12 000 Kč**	2	**6 000 Kč**
Kluzná podpěra	320 Kč	2	**640 Kč**	6	**1 920 Kč**
Kotevní stojan	280 Kč	1	**280 Kč**	2	**560 Kč**
Celková cena			**13 420 Kč**		**8 480 Kč**

Tabulka 10 Cena uložení

4 ZÁVĚR

Úkolem práce bylo optimalizovat kondenzátní potrubní trasu, která je realizována v plzeňské teplárně.

Na základě prostorových možností teplárny a funkčního schématu dané trasy byl vytvořen 3D model potrubí v programu PDMS. V programu VVD byla ověřena pevnost jednotlivých potrubních částí při statickém zatěžování vnitřním přetlakem a teplotou.

V programu PDMS byla předběžně rozmístěna jednotlivá uložení s ohledem na dispoziční možnosti a s cílem použít minimální množství pružinových závěsů. Celá trasa byla zadána do programu CAESAR II ke komplexnímu tepelně dilatačnímu výpočtu. Uložení potrubní trasy bylo na základě získaných výsledků upraveno. Za pomoci programu LICAD byly vybrány konkrétní modely uložení, odpovídající potřebám daného místa trasy.

Potrubní trasu se podařilo optimalizovat. Výsledná trasa je vhodněji dispozičně umístěna a je i ekonomicky výhodnější, díky snížení počtu pružinových závěsů.

Vzhledem k časové náročnosti optimalizace, se takto v praxi postupuje pouze velmi výjimečně (např. u potrubí extrémních rozměrů, nebo parametrů). Energetické celky často obsahují stovky podobných potrubních tras, proto jsou vyhledáváni zkušení projektanti, kteří jsou schopni potrubní trasy navrhnout a optimalizovat vzhledem ke všem dispozičním vlivům a ekonomickým nákladům.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] DRACHMANN, A.G. *Heron's windmill*. Centaurus, 1961.
[2] ḤASAN, Aḥmad Yūsuf a Donald Routledge HILL. *Islamic technology: an illustrated history*. 1st pbk. ed. Paris: Unesco, 1992, xiv, 304 p. ISBN 0521263336.
[3] ŠKORPÍK, Jiří. *Cesta člověka k transformačním technologiím, Transformační technologie*, 2006-08, [last updated 2014-05]. Brno: Jiří Škorpík, [online] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293.
[4] PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ: *Zelená energie* [online]. [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://www.pltep.cz/upload/File/teplarna-letak-zelena-energie.pdf
[5] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Pavel JANÁSEK. *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy: Metodická příručka ke studii* [online]. Ostrava [cit. 2015-06-19]. Dostupné z: http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/prirucka1.pdf. Technická univerzita Ostrava.
[6] KŘENEK, Vladimír. *Člověk a energie*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2006, 191 s. ISBN 80-7043-489-9.
[7] EN 13480.2 - *Kovová průmyslová potrubí – část 2: Materiály*
[8] EN 13480.3 - *Kovová průmyslová potrubí – část 3: Konstrukce a výpočet*
[9] EN 10253.2 - *Potrubní tvarovky pro přivaření tupým svarem – část 2: Nelegované a feritické oceli se stanovením požadavků pro kontrolu*
[10] EN 10216.2 - *Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení – Technické dodací podmínky - Část 2: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při zvýšených teplotách*
[11] KADRNOŽKA, Jaroslav a Ladislav OCHRANA. *Teplárenství.* Brno: CERM, 2001, 178 s. ISBN 80-7204-222-x.
[12] ŽÍTEK, Pavel. *Přednášky KKE/ZSES: Parní turbíny*. Plzeň, 2014.
[13] HOLEČEK, Radek, Michal ENŽL a Mirko HUDEČEK. ABB ALSTOM POWER CZECH S.R.O. *Fluidní kotel 180 t/h FLEXTECH™ pro Plzeňskou teplárenskou a.s.* Brno, 2000.
[14] ZÝMA, Jiří a Martin NEUŽIL. *Části a mechanismy strojů: potrubí a armatury*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998, 48 s. ISBN 80-01-01765-6.
[15] WILDA, Vladimír. *Projektování průmyslových potrubí a potrubních rozvodů*. 1. vyd. Brno: SNTL, 1969.
[16] BUREŠ, Vlastimil. *Části strojů II: Pružiny, součásti potrubí 2. díl.* 3. přepracované. Plzeň: ZČU v Plzni - ediční středisko, 1992.
[17] TECHNODAT: *KKS značení v energetice a teplárenství* [online]. 6.10.2014 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: http://www.technodat.cz/kks-znaceni-v-energetice-a-teplarenstvi
[18] *Historie, současnost i budoucnost KKS kódu.* [online]. 26.10.2012 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://www.kks-kod.cz
[19] INTERFUILD: *Katalog produktů*. [online]. [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://www.interfluid.cz/show.cgi?lang=cz&id=196
[20] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření.* 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011, xiv, 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4.
[21] AVEVA SOLUTIONS LTD. 2007. *Pipework Design: User Guide* [online]. [cit. 2015-05- 09].
[22] PAVLOK, Bohuslav. *Potrubní systémy a armatury: Část 1* [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: http://www.338.vsb.cz/PDF/Dil1_Pav.pdf. Studijní opora. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava Fakulta strojní.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Diagram denního zatížení elektrizační soustavy překreslen z [11]. Znázorňuje maximální a minimální zatížení během ranní a večerní špičky 3
Obrázek 2 Roční průběh měsíčních maxim ve třech letech následujících po sobě (1, 2 a 3), převzato z [11]. Znázorňuje minimální spotřebu tepla v letních měsících, zejména pak v červenci, a maximální v zimních měsících..... 3
Obrázek 3 Schéma výroby elektrické energie v tepelné elektrárně převzato z [12] 4
Obrázek 4 Diagramy Rankine-Clausiova cyklu převzato z [12]..... 4
Obrázek 5 Schéma nového „Zeleného bloku“ Plzeňské teplárenské a.s. převzato z [4]..... 6
Obrázek 6 Výpočet hospodárné světlosti podle [22], kde 1 – náklady související s překonáváním tlakových ztrát, 2 – náklady na materiál, montáž a provoz, 3 – celkové náklady 10
Obrázek 7 U- kompenzátor..... 13
Obrázek 8 M-10 Ucpávkový kompenzátor z [19]..... 14
Obrázek 9 Podpěra..... 15
Obrázek 10 Kluzná podpěra bez osového vedení..... 16
Obrázek 11 Pevné závěsy 16
Obrázek 12 Pružinové závěsy..... 16
Obrázek 14 Kotevní stojany, pevný bod 17
Obrázek 13 Symboly používané pro uložení – podpěra, kluzná podpěra, pevný závěs, pružinový závěs a pevný bod (kotvení). 17
Obrázek 15 Schématické znázornění hierarchické struktury PDMS převzato z [21]. 21
Obrázek 16 Navigační okna Members 22
Obrázek 17 Okno Design Explorer 23
Obrázek 18 Příklad tvorby modelu přes roletkové menu 24
Obrázek 19 Zvýrazněná ikona pro zobrazení průvodce tvorbou prvku potrubí..... 24
Obrázek 20 Příklady dialogových oken průvodce tvorbou prvku potrubí 25
Obrázek 21 Ukázka modelu vytvořeného v PDMS..... 25
Obrázek 22 Ukázka 3D modelu vytvořeného v Caesar II..... 26
Obrázek 23 Část výstupního souboru programu Caesar II..... 27
Obrázek 24 Funkční schéma zadané potrubní trasy včetně jejího nejbližšího okolí..... 29
Obrázek 25 PDMS, pohled na model původní trasy, která je zde zobrazena červeně 30
Obrázek 26 PDMS, model kondenzátního čerpadla..... 31
Obrázek 27 PDMS, model původní trasy (tyrkys) a model nové trasy (žlutá) 32
Obrázek 28 VVD, rovná trubka..... 33
Obrázek 29 VVD, ohyb 90° a ohyb 45° 33
Obrázek 30 VVD, spojení T-kusem trubek stejných průměrů 34
Obrázek 31 CAESAR II, prvotní návrh uložení trasy 35
Obrázek 32 CAESAR II, upravený návrh uložení trasy..... 36
Obrázek 33 PDMS, optimalizované uložení potrubní trasy včetně čísel uzlů 37
Obrázek 34 PDMS, pružinový závěs..... 38
Obrázek 35 PDMS, kluzné uložení s osovým vedením 38

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Schematické rozvržení hierarchických stupňů KKS podle [18] 7
Tabulka 2 Schéma tvorby kódového označení podle KKS převzato z [18] 7
Tabulka 3 Hodnoty hospodárných rychlostí v potrubí pro dopravu tekutin podle [22] 10
Tabulka 4 Parametry zadané trasy 28
Tabulka 5 Výsledky výpočtu VVD 33
Tabulka 6 Směrné hodnoty pro předběžné odhady rozteče uložení potrubí z ocelových trubek 34
Tabulka 7 Výsledky z programu CAESAR II pro hrdla KČ po úpravě uložení trasy 37
Tabulka 8 Výsledky z programu CAESAR II pro místa, kde se nachází pružinové závěsy 38
Tabulka 9 Cena materiálu 39
Tabulka 10 Cena uložení 39

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Tabulka hodnot získaných z programu CAESAR II
Příloha 2 – Výstup programu VVD
Příloha 3 – Axonometrické schéma trasy A1LCP21BR010_D (1 z 2)
Příloha 4 – Axonometrické schéma trasy A1LCP21BR010_D (2 z 2)
Příloha 5 – Axonometrické schéma trasy A1LCP31BR010_D (1 z 1)
Příloha 6 – Výkres pružinového závěsu
Příloha 7 – Výkres podpěry 1
Příloha 8 – Výkres podpěry 2

Příloha 1

Tabulka výsledků výpočtu z CAESAR II

Node	Load Case	FX N	FY N	FZ N	MX N.m	MY N.m	MZ N.m.	DX mm	DY mm	DZ mm
10	Rigid ANC									
	2(OPE)	-117	-318	271	125	21	54	0	0	0
	6(EXP)	-118	-815	280	129	28	55	0	0	0
	MAX	-118	-815	280	129	28	55	0	0	0
75	Rigid X; Rigid Z									
	2(OPE)	244	266	-641	0	0	0	0	2.655	0
	6(EXP)	267	240	-702	0	0	0	0	2.648	0
	MAX	267	266	-702				0	2.655	0
80	User Design VSH									
	2(OPE)	0	-1690	0	0	0	0	0	4.699	-2.032
	6(EXP)	0	306	0	0	0	0	0	4.632	-1.965
	MAX		-1690					0	4.699	-2.032
170	Rigid ANC									
	2(OPE)	72	-609	454	379	-205	-245	0	0	0
	6(EXP)	45	364	521	309	-249	258	0	0	0
	MAX	72	-609	521	379	-249	258	0	0	0
200	Rigid Z; Rigid +Y									
	2(OPE)	-174	-856	96	0	0	0	-0.001	0	0
	6(EXP)	-126	-27	77	0	0	0	-0.001	0	0
	MAX	-174	-856	96				-0.001	0	0
250	Rigid Z									
	2(OPE)	-10	-39	134	0	0	0	-6.523	-26.396	0
	6(EXP)	-8	11	301	0	0	0	-5.493	-0.448	0
	MAX	-10	-39	301				-6.523	-26.396	0
300	Rigid +Y									
	2(OPE)	-166	-1145	10	0	0	0	-0.001	0	0
	6(EXP)	-273	-77	-185	0	0	0	-0.002	0	-0.001
	MAX	-273	-1145	-185				-0.002	0	-0.001
340	Rigid Z; Rigid X									
	2(OPE)	272	-82	-156	0	0	0	0	0	0
	6(EXP)	270	-94	-117	0	0	0	0	-0.780	0
	MAX	272	-94	-156				0	-0.780	0
380	Rigid Y									
	2(OPE)	-338	-1780	6	0	0	0	-0.002	0	0
	6(EXP)	-253	-889	23	0	0	0	-0.001	0	0
	MAX	-338	-1780	23				-0.002	0	0
460	Rigid ANC									
	2(OPE)	115	1014	-4	1	-17	285	0	0	0
	6(EXP)	87	1070	-10	3	-11	286	0	0	0
	MAX	115	1070	-10	3	-17	286	0	0	0
1010	Rigid ANC									
	2(OPE)	-76	-296	115	53	53	35	0	0	0
	6(EXP)	-74	-510	100	46	56	34	0	0	0
	MAX	-76	-510	115	53	56	35	0	0	0
1075	Rigid Z; Rigid X									
	2(OPE)	176	138	-284	0	0	0	0	2.719	0
	6(EXP)	181	136	-288	0	0	0	0	2.711	0
	MAX	181	138	-288				0	2.719	0
1080	User Design VSH									
	2(OPE)	0	-1990	0	0	0	0	0.830	4.704	-0.753
	6(EXP)	0	307	0	0	0	0	0.798	4.644	-0.505
	MAX		-1990					0.830	4.704	-0.753

Příloha 2

Výstup programu VVD

AF-Engineering s.r.o. -

Rovný úsek Vessel Tag No.: 1

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 6.1 - STRAIGHT PIPE

S1.1 Main Shell 06 Mar. 2015 10:10

INPUT DATA

COMPONENT ATTACHMENT/LOCATION

```
Distance from end of cylinder to ref. DATUM LINE....:mm          0.00 mm
```

GENERAL DESIGN DATA

```
PRESSURE LOADING: Design Component for Internal Pressure Only
PROCESS CARD:
General Design Data : Temp= 145°C, P=1.6960 MPa, c=1.0 mm, Pext=0.0000 MPa
EXTERNAL CORROSION/EROSION ALLOWANCE.................:co          0.00 mm
```

PIPE DATA

```
PIPE FABRICATION: Seamless Pipe
PIPE DIAMETER: Base Design on Shell Outside Diameter
EN 10216-2:2002/A2:07, 1.0345 P235GH seamless tube, HT:N THK<=16mm 145'C
Rm=360 Rp=235 Rpt=188.1 f=125.4 f20=150 ftest=223.25 E=202757(N/mm2) ro=7.85
OUTSIDE DIAMETER OF PIPE/SHELL.....................:Do          76.10 mm
Size of Pipe:
Comment (Optional): ;
LENGTH OF PIPE/SHELL................................:Lcyl     1000.00 mm
NOMINAL WALL THICKNESS (uncorroded).................:en        2.9000 mm
NEGATIVE TOLERANCE/THINNING ALLOWANCE...............:th          0.00 mm
NEGATIVE TOLERANCE/THINNING ALLOWANCE(in %).........:th1        12.50 %
```

CALCULATION DATA

6.1 - STRAIGHT PIPE UNDER INTERNAL PRESSURE

```
Outside Diameter of Shell (corroded) Dos
Dos = Do - 2 * co =76.1-2*0=                                  76.10 mm
Required Minimum Shell Thickness Excl.Allow. emin :
emin = pc * Dos / (2 * f * z + pc)                                (6.1-1)
=1.696*76.1/(2*125.4*1+1.696)=                               0.5112 mm

Required Minimum Shell Thickness Incl.Allow. :
emina = (emin + c + co + th) + en * th1 / 100
=(0.5112+1+0+0)+2.9*12.5/100=                                1.8700 mm

Analysis Thickness
ea = en - c - co - th - en * th1 / 100
=2.9-1-0-0-2.9*12.5/100=                                     1.5375 mm
```

Internal Pressure emina=1.87 <= en=2.9[mm]	64.4%	OK

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :NEW & COLD

```
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE  MAWP :NEW & COLD
Pmax = 2 * ea * f * z / (Dos - ea)
=2*2.5375*150*1/(76.1-2.5375)=                               10.35 MPa
```

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :HOT & CORR

```
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE  MAWP :HOT & CORR
Pmax = 2 * ea * f * z / (Dos - ea)
=2*1.5375*125.4*1/(76.1-1.5375)=                             5.1716 MPa
```

MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)

```
MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)
Pmax = 2 * ea * f * z / (Dos - ea)
=2*2.5375*223.25*1/(76.1-2.5375)=                            15.40 MPa
```

1 S1.1 Cylindrical Shell Main Shell	Umax= 64.4%	Page: 1

AF-Engineering s.r.o. -

Rovný úsek Vessel Tag No.: 1

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 6.1 - STRAIGHT PIPE

S1.1 Main Shell 06 Mar, 2015 10:10

EN13480-5;10.2.3.3 REQUIRED MIN.HYDROSTATIC TEST PRESSURE:Ptmin

```
NEW AT AMBIENT TEMP. FOR TEST GROUPS 1, 2 and 3
Ptmin = MAX( 1.43 * Pd , 1.25 * Pd * f20 / f )
=MAX(1.43*1.696,1.25*1.696*150/125.4)=                    2.5359 MPa
```

Test Pressure Ptmin=2.54 <= Ptmax=15.4[MPa]	16.4%	OK

CALCULATION SUMMARY

6.1 - STRAIGHT PIPE UNDER INTERNAL PRESSURE

```
Required Minimum Shell Thickness Excl.Allow. emin :
emin = pc * Dos / (2 * f * z + pc)                              (6.1-1)
=1.696*76.1/(2*125.4*1+1.696)=                            0.5112 mm

Required Minimum Shell Thickness Incl.Allow. :
emina = (emin + c + co + th) + en * th1 / 100
=(0.5112+1+0+0)+2.9*12.5/100=                             1.8700 mm
```

Internal Pressure emina=1.87 <= en=2.9[mm]	64.4%	OK

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :NEW & COLD

```
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE  MAWP :NEW & COLD
Pmax = 2 * ea * f * z / (Dos - ea)
=2*2.5375*150*1/(76.1-2.5375)=                            10.35 MPa
```

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :HOT & CORR

```
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE  MAWP :HOT & CORR
Pmax = 2 * ea * f * z / (Dos - ea)
=2*1.5375*125.4*1/(76.1-1.5375)=                          5.1716 MPa
```

MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)

```
MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)
Pmax = 2 * ea * f * z / (Dos - ea)
=2*2.5375*223.25*1/(76.1-2.5375)=                         15.40 MPa
```

EN13480-5;10.2.3.3 REQUIRED MIN.HYDROSTATIC TEST PRESSURE:Ptmin

```
NEW AT AMBIENT TEMP. FOR TEST GROUPS 1, 2 and 3
Ptmin = MAX( 1.43 * Pd , 1.25 * Pd * f20 / f )
=MAX(1.43*1.696,1.25*1.696*150/125.4)=                    2.5359 MPa
```

Test Pressure Ptmin=2.54 <= Ptmax=15.4[MPa]	16.4%	OK

Volume:0 m3 Weight:5.2 kg (SG= 7.85)

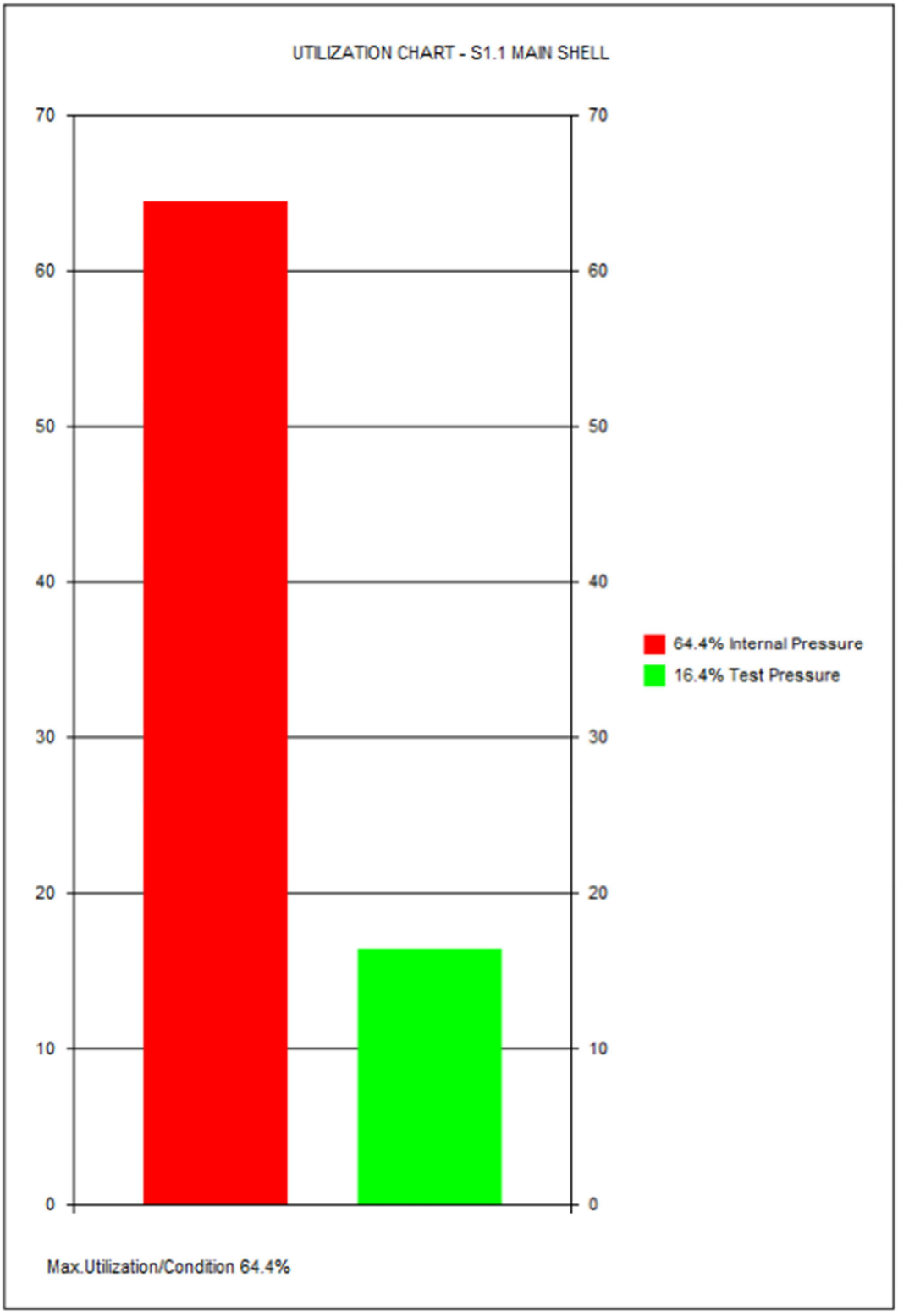
AF-Engineering s.r.o. -

Rovný úsek Vessel Tag No.: 1

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 6.1 - STRAIGHT PIPE

S1.1 Main Shell 06 Mar. 2015 10:10



1 S1.1 Cylindrical Shell Main Shell	Umax= 64.4%	Page: 3

AF-Engineering s.r.o. -

Koleno 1 Vessel Tag No.: 2

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 6.2 - PIPE BENDS AND ELBOWS

P2.1 Main Shell 06 Mar, 2015 10:26

INPUT DATA

COMPONENT ATTACHMENT/LOCATION

```
ANGLE IN DEGREE OF PIPE BEND.....................:Beta       90.00 degr.
ORIENTATION OF PIPE BEND.........................:Phi         0.00 degr.
```

GENERAL DESIGN DATA

```
PROCESS CARD: Disconnected from Process Card
CALCULATION TEMPERATURE..........................:Temp      145.00 °C
DESIGN PRESSURE..................................:P         1.6960 MPa
INTERNAL CORROSION/EROSION ALLOWANCE.............:c         1.0000 mm
EXTERNAL CORROSION/EROSION ALLOWANCE.............:co          0.00 mm
```

PIPE DATA

```
PIPE FABRICATION: Seamless Pipe
EN 10216-2:2002/A2:07, 1.0345 P235GH seamless tube, HT:N THK<-16mm 145'C
Rm=360 Rp=235 Rpt=188.1 f=125.4 f20=150 ftest=223.25 E=202757(N/mm2) ro=7.85
OUTSIDE DIAMETER OF PIPE/SHELL...................:Do         76.10 mm
Size of Pipe:
Comment (Optional): ;
RADIUS OF BEND OR ELBOW..........................:R          95.00 mm
ORDERED WALL THK.ON THE INTRADOS OF THE PIPE/ELBOW..:enint    2.9000 mm
ORDERED WALL THK.ON THE EXTRADOS OF THE PIPE/ELBOW..:enext    2.9000 mm
NEGATIVE TOLERANCE/THINNING ALLOWANCE............:th         0.4000 mm
```

CALCULATION DATA

6.1 - STRAIGHT PIPE UNDER INTERNAL PRESSURE

```
Outside Diameter of Shell (corroded) Dos
Dos = Do - 2 * co =76.1-2*0=                                  76.10 mm
Required Minimum Shell Thickness Excl.Allow. emin :
emin = pc * Dos / (2 * f * z + pc)                                  (6.2-1)
=1.696*76.1/(2*125.4*1+1.696)=                               0.5112 mm

Required Minimum Shell Thickness Incl.Allow. :
emina = (emin + c + co + th) / (1 - th1 / 100)
=(0.5112+1+0+0.4)/(1-0/100)=                                 1.9100 mm
```

6.2 - PIPE BENDS AND ELBOWS

```
Do2e = Dos / (2 * e) =76.1/(2*0.5112)=                        74.44
Tmp1 = Sqr(0.25*(Do2e^2+(R/e)^2)^2-Do2e*(Do2e-1)*(R/e)^2)
=Sqr(0.25*(74.44^2+(95/0.5112)^2)^2-74.44*(74.44-1)*(95/0.5112)^2)= 14588.35
roe = Sqr( 0.5 * (Do2e ^ 2 + (R / e) ^ 2) + Tmp1)
=Sqr(0.5*(74.44^2+(95/0.5112)^2)+14588.35)=                  186.09
Btmp = Sqr((roe^2-Do2e^2)/(roe^2-Do2e*(Do2e-1)))
=Sqr((186.09^2-74.44^2)/(186.09^2-74.44*(74.44-1)))=         0.9987
Bint = Do2e + roe - (Do2e + roe - 1) * Btmp                         (B.4.1-3)
=74.44+186.09-(74.44+186.09-1)*0.9987=                       1.3314

Bext = Do2e - roe - (Do2e - roe - 1) * Btmp                         (B.4.1-9)
=74.44-186.09-(74.44-186.09-1)*0.9987=                       0.8561

B.4.1.1 Minimum Required Wall Thickness on the Intrados (excl.allow.), eint
eint = e * Bint (B.4.1-1) =0.5112*1.33=                       0.6806 mm

Minimum Required Wall Thickness on the Intrados (incl.allow.), einta
einta = eint + c + co + th =0.6806+1+0+0.4=                   2.0806 mm
```

Internal Pressure(Intrados) einta=2.08 <= enint=2.9[mm]	71.7%	OK

```
B.4.1.2 Minimum Required Wall Thickness on the Extrados (excl.allow.), eext
eext = e * Bext (B.4.1-7) =0.5112*0.8561=                     0.4376 mm

Minimum Required Wall Thickness on the Extrados (incl.allow.), eexta
```

1 P2.1 Pipe Bends/Elbows Main Shell	Umax= 71.7%	Page: 1

AF-Engineering s.r.o. -

Koleno 1 Vessel Tag No.: 2

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 6.2 - PIPE BENDS AND ELBOWS

P2.1 Main Shell 06 Mar. 2015 10:26

```
eexta = eext + c + co + th =0.4376+1+0+0.4=                    1.8376 mm
```

Internal Pressure(Extrados) eexta=1.84 <= enext=2.9[mm]	63.3%	OK

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :NEW & COLD

```
Pmaxint = f/((Dos-eaint-eaext)/(2*z*eaint)*((2*R-0.5*Dos+1.5*eaint-0.5*eaext)/(2*R-
Dos+eaint))+0.5) (B.4.2-2)
=150/((76.1-2.5-2.5)/(2*1*2.5)*((2*95-0.5*76.1+1.5*2.5-0.5*2.5)/(2*95-76.1+
2.5))+0.5)=                                                =    7.7446 MPa
Pmaxext = f/((Dos-eaint-eaext)/(2*z*eaext)*((2*R+0.5*Dos+0.5*eaint-
1.5*eaext)/(2*R+Dos-eaext))+0.5) (B.4.2-4)
=150/((76.1-2.5-2.5)/(2*1*2.5)*((2*95+0.5*76.1+0.5*2.5-1.5*2.5)/(2*95+76.1-
2.5))+0.5)=                                                =    11.84 MPa
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE  MAWP :NEW & COLD
Pmax = MIN( Pmaxint, Pmaxext) =MIN(7.74,11.84)=              7.7446 MPa
```

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :HOT & CORR

```
Pmaxint = f/((Dos-eaint-eaext)/(2*z*eaint)*((2*R-0.5*Dos+1.5*eaint-0.5*eaext)/(2*R-
Dos+eaint))+0.5) (B.4.2-2)
=125.4/((76.1-1.5-1.5)/(2*1*1.5)*((2*95-0.5*76.1+1.5*1.5-0.5*1.5)/(2*95-76.
1+1.5))+0.5)=                                              =    3.8114 MPa
Pmaxext = f/((Dos-eaint-eaext)/(2*z*eaext)*((2*R+0.5*Dos+0.5*eaint-
1.5*eaext)/(2*R+Dos-eaext))+0.5) (B.4.2-4)
=125.4/((76.1-1.5-1.5)/(2*1*1.5)*((2*95+0.5*76.1+0.5*1.5-1.5*1.5)/(2*95+76.
1-1.5))+0.5)=                                              =    5.8700 MPa
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE  MAWP :HOT & CORR
Pmax = MIN( Pmaxint, Pmaxext) =MIN(3.81,5.87)=               3.8114 MPa
```

MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)

```
Pmaxint = f/((Dos-eaint-eaext)/(2*z*eaint)*((2*R-0.5*Dos+1.5*eaint-0.5*eaext)/(2*R-
Dos+eaint))+0.5) (B.4.2-2)
=223.25/((76.1-2.5-2.5)/(2*1*2.5)*((2*95-0.5*76.1+1.5*2.5-0.5*2.5)/(2*95-76
.1+2.5))+0.5)=                                             =    11.53 MPa
Pmaxext = f/((Dos-eaint-eaext)/(2*z*eaext)*((2*R+0.5*Dos+0.5*eaint-
1.5*eaext)/(2*R+Dos-eaext))+0.5) (B.4.2-4)
=223.25/((76.1-2.5-2.5)/(2*1*2.5)*((2*95+0.5*76.1+0.5*2.5-1.5*2.5)/(2*95+76
.1-2.5))+0.5)=                                             =    17.62 MPa
MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)
Pmax = MIN( Pmaxint, Pmaxext) =MIN(11.53,17.62)=             11.53 MPa
```

EN13480-5;10.2.3.3 REQUIRED MIN.HYDROSTATIC TEST PRESSURE:Ptmin

```
NEW AT AMBIENT TEMP. FOR TEST GROUPS 1, 2 and 3
Ptmin = MAX( 1.43 * Pd , 1.25 * Pd * f20 / f )
=MAX(1.43*1.696,1.25*1.696*150/125.4)=                       2.5359 MPa
```

Test Pressure Ptmin=2.54 <= Ptmax=11.53[MPa]	22.0%	OK

CALCULATION SUMMARY

6.1 - STRAIGHT PIPE UNDER INTERNAL PRESSURE

```
Required Minimum Shell Thickness Excl.Allow. emin :
emin = pc * Dos / (2 * f * z + pc)                                (6.2-1)
=1.696*76.1/(2*125.4*1+1.696)=                               0.5112 mm

Required Minimum Shell Thickness Incl.Allow. :
emina = (emin + c + co + th) / (1 - th1 / 100)
=(0.5112+1+0+0.4)/(1-0/100)=                                 1.9100 mm
```

1 P2.1 Pipe Bends/Elbows Main Shell	Umax= 71.7%	Page: 2

AF-Engineering s.r.o. -

Koleno 1 Vessel Tag No.: 2

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 6.2 - PIPE BENDS AND ELBOWS

P2.1 Main Shell 06 Mar. 2015 10:26

6.2 - PIPE BENDS AND ELBOWS

Internal Pressure(Intrados) einta=2.08 <= enint=2.9[mm]	71.7%	OK
Internal Pressure(Extrados) eexta=1.84 <= enext=2.9[mm]	63.3%	OK

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :NEW & COLD

```
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE  MAWP :NEW & COLD
Pmax = MIN( Pmaxint, Pmaxext) =MIN(7.74,11.84)=          7.7446 MPa
```

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :HOT & CORR

```
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE  MAWP :HOT & CORR
Pmax = MIN( Pmaxint, Pmaxext) =MIN(3.81,5.87)=           3.8114 MPa
```

MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)

```
MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)
Pmax = MIN( Pmaxint, Pmaxext) =MIN(11.53,17.62)=         11.53 MPa
```

EN13480-5;10.2.3.3 REQUIRED MIN.HYDROSTATIC TEST PRESSURE:Ptmin

```
NEW AT AMBIENT TEMP. FOR TEST GROUPS 1, 2 and 3
Ptmin = MAX( 1.43 * Pd , 1.25 * Pd * f20 / f )
=MAX(1.43*1.696,1.25*1.696*150/125.4)=          2.5359 MPa
```

Test Pressure Ptmin=2.54 <= Ptmax=11.53[MPa]	22.0%	OK

Volume:0 m3 Weight:0.8 kg (SG= 7.85)

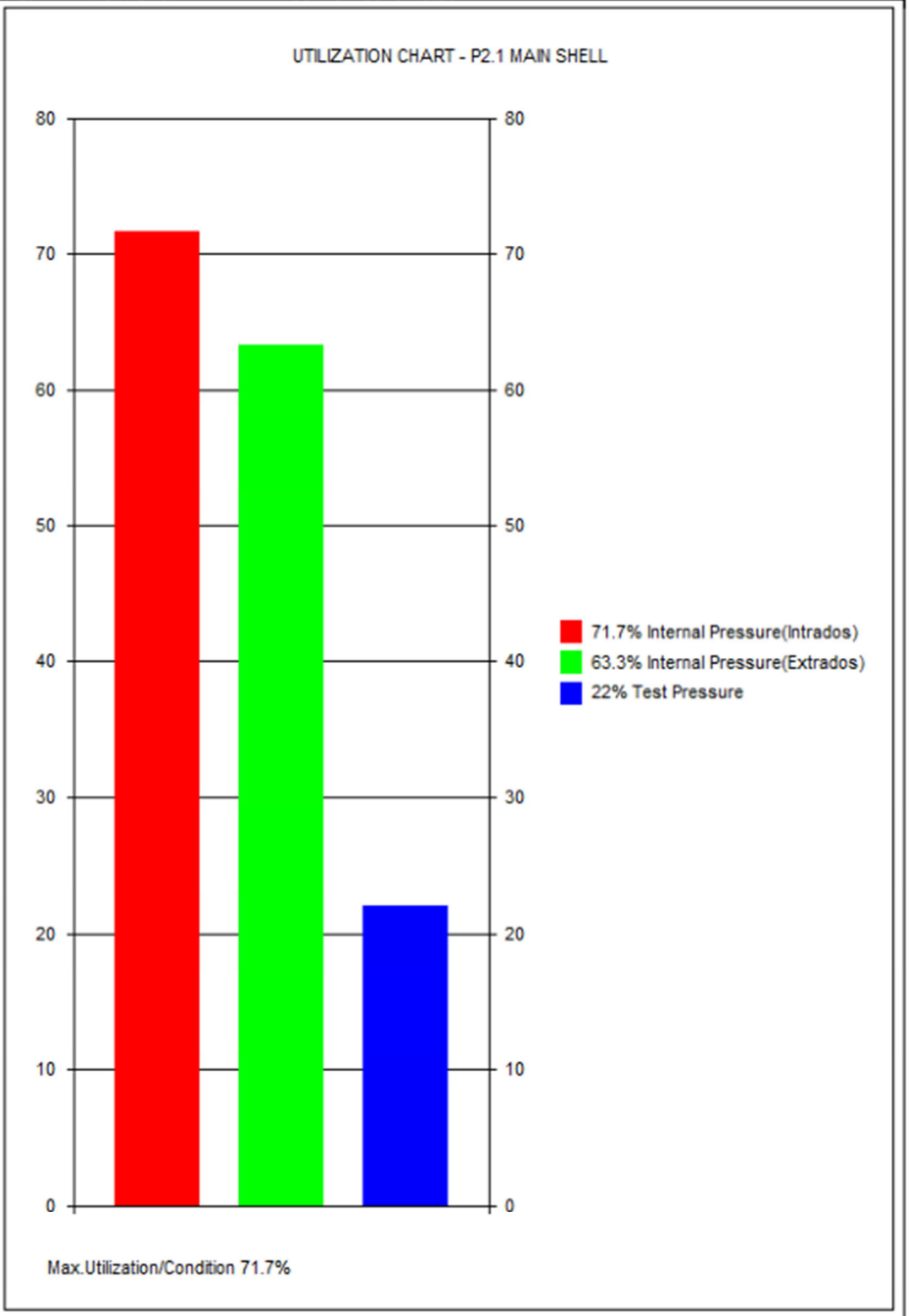
AF-Engineering s.r.o. -

Koleno 1 Vessel Tag No.: 2

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 6.2 - PIPE BENDS AND ELBOWS

P2.1 Main Shell 06 Mar, 2015 10:26



1 P2.1 Pipe Bends/Elbows Main Shell	Umax= 71.7%	Page: 4

AF-Engineering s.r.o. -

Koleno 2 Vessel Tag No.: 3

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 6.2 - PIPE BENDS AND ELBOWS

P2.1 Main Shell 06 Mar, 2015 10:40

INPUT DATA

COMPONENT ATTACHMENT/LOCATION

```
Origo x-value referenced to the base coordinate system:x          0.00 mm
Origo y-value referenced to the base coordinate system:y          0.00 mm
Origo z-value referenced to the base coordinate system:z          0.00 mm
Angle between axis of symmetry and z-axis of the BCS:Teta         0.00 Degr.
Angle of rotation of z-axis projected in the x-y plane:Phi        0.00 Degr.
ANGLE IN DEGREE OF PIPE BEND.....................:Beta         45.00 degr.
ORIENTATION OF PIPE BEND.........................:Phi          0.00 degr.
```

GENERAL DESIGN DATA

```
PROCESS CARD: Disconnected from Process Card
CALCULATION TEMPERATURE.........................:Temp       145.00 °C
DESIGN PRESSURE.................................:P          1.6960 MPa
INTERNAL CORROSION/EROSION ALLOWANCE............:c          1.0000 mm
EXTERNAL CORROSION/EROSION ALLOWANCE............:co           0.00 mm
```

PIPE DATA

```
PIPE FABRICATION: Seamless Pipe
EN 10216-2:2002/A2:07, 1.0345 P235GH seamless tube, HT:N THK<=16mm 145'C
Rm=360 Rp=235 Rpt=188.1 f=125.4 f20=150 ftest=223.25 E=202757(N/mm2) ro=7.85
OUTSIDE DIAMETER OF PIPE/SHELL..................:Do          76.10 mm
Size of Pipe:
Comment (Optional): ;
RADIUS OF BEND OR ELBOW.........................:R           95.00 mm
ORDERED WALL THK.ON THE INTRADOS OF THE PIPE/ELBOW..:enint    2.9000 mm
ORDERED WALL THK.ON THE EXTRADOS OF THE PIPE/ELBOW..:enext    2.9000 mm
NEGATIVE TOLERANCE/THINNING ALLOWANCE...........:th         0.4000 mm
```

CALCULATION DATA

6.1 - STRAIGHT PIPE UNDER INTERNAL PRESSURE

```
Outside Diameter of Shell (corroded) Dos
Dos = Do - 2 * co =76.1-2*0=                                  76.10 mm
Required Minimum Shell Thickness Excl.Allow. emin :
emin = pc * Dos / (2 * f * z + pc)                                (6.2-1)
=1.696*76.1/(2*125.4*1+1.696)=                              0.5112 mm

Required Minimum Shell Thickness Incl.Allow. :
emina = (emin + c + co + th) / (1 - th1 / 100)
=(0.5112+1+0+0.4)/(1-0/100)=                                1.9100 mm
```

6.2 - PIPE BENDS AND ELBOWS

```
Do2e = Dos / (2 * e) =76.1/(2*0.5112)=                        74.44
Tmp1 = Sqr(0.25*(Do2e^2+(R/e)^2)^2-Do2e*(Do2e-1)*(R/e)^2)
=Sqr(0.25*(74.44^2+(95/0.5112)^2)^2-74.44*(74.44-1)*(95/0.5112)^2)= 14588.35
roe = Sqr( 0.5 * (Do2e ^ 2 + (R / e) ^ 2) + Tmp1)
=Sqr(0.5*(74.44^2+(95/0.5112)^2)+14588.35)=                 186.09
Btmp = Sqr((roe^2-Do2e^2)/(roe^2-Do2e*(Do2e-1)))
=Sqr((186.09^2-74.44^2)/(186.09^2-74.44*(74.44-1)))=        0.9987
Bint = Do2e + roe - (Do2e + roe - 1) * Btmp                       (B.4.1-3)
=74.44+186.09-(74.44+186.09-1)*0.9987=                      1.3314

Bext = Do2e - roe - (Do2e - roe - 1) * Btmp                       (B.4.1-9)
=74.44-186.09-(74.44-186.09-1)*0.9987=                      0.8561

B.4.1.1 Minimum Required Wall Thickness on the Intrados (excl.allow.), eint
eint = e * Bint (B.4.1-1) =0.5112*1.33=                       0.6806 mm

Minimum Required Wall Thickness on the Intrados (incl.allow.), einta
einta = eint + c + co + th =0.6806+1+0+0.4=                   2.0806 mm
```

AF-Engineering s.r.o. -

Koleno 2 Vessel Tag No.: 3

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 6.2 - PIPE BENDS AND ELBOWS

P2.1 Main Shell 06 Mar. 2015 10:40

Internal Pressure(Intrados) einta=2.08 <= enint=2.9[mm]	71.7%	OK

B.4.1.2 Minimum Required Wall Thickness on the Extrados (excl.allow.), eext
eext = e * Bext (B.4.1-7) =0.5112*0.8561= 0.4376 mm

Minimum Required Wall Thickness on the Extrados (incl.allow.), eexta
eexta = eext + c + co + th =0.4376+1+0+0.4= 1.8376 mm

Internal Pressure(Extrados) eexta=1.84 <= enext=2.9[mm]	63.3%	OK

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :NEW & COLD

Pmaxint = f/((Dos-eaint-eaext)/(2*z*eaint)*((2*R-0.5*Dos+1.5*eaint-0.5*eaext)/(2*R-Dos+eaint))+0.5) (B.4.2-2)
=150/((76.1-2.5-2.5)/(2*1*2.5)*((2*95-0.5*76.1+1.5*2.5-0.5*2.5)/(2*95-76.1+2.5))+0.5)= = 7.7446 MPa
Pmaxext = f/((Dos-eaint-eaext)/(2*z*eaext)*((2*R+0.5*Dos+0.5*eaint-1.5*eaext)/(2*R+Dos-eaext))+0.5) (B.4.2-4)
=150/((76.1-2.5-2.5)/(2*1*2.5)*((2*95+0.5*76.1+0.5*2.5-1.5*2.5)/(2*95+76.1-2.5))+0.5)= = 11.84 MPa
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :NEW & COLD
Pmax = MIN(Pmaxint, Pmaxext) =MIN(7.74,11.84)= 7.7446 MPa

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :HOT & CORR

Pmaxint = f/((Dos-eaint-eaext)/(2*z*eaint)*((2*R-0.5*Dos+1.5*eaint-0.5*eaext)/(2*R-Dos+eaint))+0.5) (B.4.2-2)
=125.4/((76.1-1.5-1.5)/(2*1*1.5)*((2*95-0.5*76.1+1.5*1.5-0.5*1.5)/(2*95-76.1+1.5))+0.5)= = 3.8114 MPa
Pmaxext = f/((Dos-eaint-eaext)/(2*z*eaext)*((2*R+0.5*Dos+0.5*eaint-1.5*eaext)/(2*R+Dos-eaext))+0.5) (B.4.2-4)
=125.4/((76.1-1.5-1.5)/(2*1*1.5)*((2*95+0.5*76.1+0.5*1.5-1.5*1.5)/(2*95+76.1-1.5))+0.5)= = 5.8700 MPa
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :HOT & CORR
Pmax = MIN(Pmaxint, Pmaxext) =MIN(3.81,5.87)= 3.8114 MPa

MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)

Pmaxint = f/((Dos-eaint-eaext)/(2*z*eaint)*((2*R-0.5*Dos+1.5*eaint-0.5*eaext)/(2*R-Dos+eaint))+0.5) (B.4.2-2)
=223.25/((76.1-2.5-2.5)/(2*1*2.5)*((2*95-0.5*76.1+1.5*2.5-0.5*2.5)/(2*95-76.1+2.5))+0.5)= = 11.53 MPa
Pmaxext = f/((Dos-eaint-eaext)/(2*z*eaext)*((2*R+0.5*Dos+0.5*eaint-1.5*eaext)/(2*R+Dos-eaext))+0.5) (B.4.2-4)
=223.25/((76.1-2.5-2.5)/(2*1*2.5)*((2*95+0.5*76.1+0.5*2.5-1.5*2.5)/(2*95+76.1-2.5))+0.5)= = 17.62 MPa
MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)
Pmax = MIN(Pmaxint, Pmaxext) =MIN(11.53,17.62)= 11.53 MPa

EN13480-5;10.2.3.3 REQUIRED MIN.HYDROSTATIC TEST PRESSURE:Ptmin

NEW AT AMBIENT TEMP. FOR TEST GROUPS 1, 2 and 3
Ptmin = MAX(1.43 * Pd , 1.25 * Pd * f20 / f)
=MAX(1.43*1.696,1.25*1.696*150/125.4)= 2.5359 MPa

Test Pressure Ptmin=2.54 <= Ptmax=11.53[MPa]	22.0%	OK

CALCULATION SUMMARY

6.1 - STRAIGHT PIPE UNDER INTERNAL PRESSURE

Required Minimum Shell Thickness Excl.Allow. emin :
emin = pc * Dos / (2 * f * z + pc) (6.2-1)
=1.696*76.1/(2*125.4*1+1.696)= 0.5112 mm

Required Minimum Shell Thickness Incl.Allow. :
emina = (emin + c + co + th) / (1 - th1 / 100)
=(0.5112+1+0+0.4)/(1-0/100)= 1.9100 mm

1 P2.1 Pipe Bends/Elbows Main Shell	Umax= 71.7%	Page: 2

AF-Engineering s.r.o. -

Koleno 2 Vessel Tag No.: 3

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 6.2 - PIPE BENDS AND ELBOWS

P2.1 Main Shell 06 Mar, 2015 10:40

6.2 - PIPE BENDS AND ELBOWS

Internal Pressure(Intrados) einta=2.08 <= enint=2.9[mm]	71.7%	OK
Internal Pressure(Extrados) eexta=1.84 <= enext=2.9[mm]	63.3%	OK

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :NEW & COLD

```
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE  MAWP :NEW & COLD
Pmax = MIN( Pmaxint, Pmaxext) =MIN(7.74,11.84)=          7.7446 MPa
```

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :HOT & CORR

```
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE  MAWP :HOT & CORR
Pmax = MIN( Pmaxint, Pmaxext) =MIN(3.81,5.87)=           3.8114 MPa
```

MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)

```
MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)
Pmax = MIN( Pmaxint, Pmaxext) =MIN(11.53,17.62)=         11.53 MPa
```

EN13480-5;10.2.3.3 REQUIRED MIN.HYDROSTATIC TEST PRESSURE:Ptmin

```
NEW AT AMBIENT TEMP. FOR TEST GROUPS 1, 2 and 3
Ptmin = MAX( 1.43 * Pd , 1.25 * Pd * f20 / f )
=MAX(1.43*1.696,1.25*1.696*150/125.4)=          2.5359 MPa
```

Test Pressure Ptmin=2.54 <= Ptmax=11.53[MPa]	22.0%	OK

Volume:0 m3 Weight:0.4 kg (SG= 7.85)

1 P2.1 Pipe Bends/Elbows Main Shell	*Umax= 71.7%*	*Page: 3*

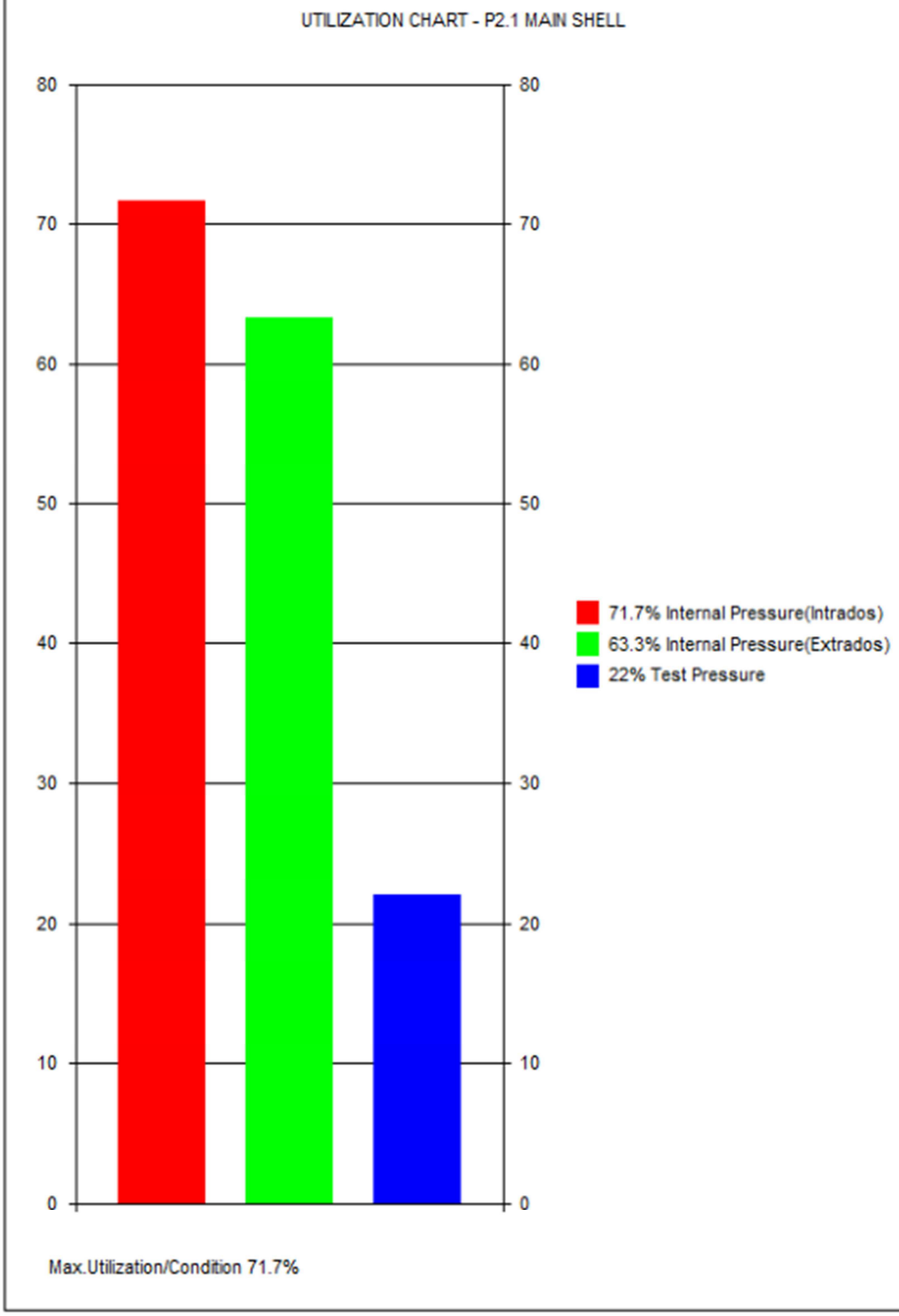
AF-Engineering s.r.o. -

Koleno 2 Vessel Tag No.: 3

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 6.2 - PIPE BENDS AND ELBOWS

P2.1 Main Shell 06 Mar, 2015 10:40



1 P2.1 Pipe Bends/Elbows Main Shell	Umax= 71.7%	Page: 4

AF-Engineering s.r.o. -

T-kus Vessel Tag No.: 4

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 6.1 - STRAIGHT PIPE

S1.1 Main Shell 06 Mar. 2015 10:44

INPUT DATA

COMPONENT ATTACHMENT/LOCATION

```
Distance from end of cylinder to ref. DATUM LINE....:mm          0.00 mm
```

GENERAL DESIGN DATA

```
PRESSURE LOADING: Design Component for Internal Pressure Only
PROCESS CARD:
General Design Data : Temp= 145°C, P=1.6960 MPa, c=1.0 mm, Pext=0.0000 MPa
EXTERNAL CORROSION/EROSION ALLOWANCE.................:co          0.00 mm
```

PIPE DATA

```
PIPE FABRICATION: Seamless Pipe
PIPE DIAMETER: Base Design on Shell Outside Diameter
EN 10216-2:2002/A2:07, 1.0345 P235GH seamless tube, HT:N THK<=16mm 145'C
Rm=360 Rp=235 Rpt=188.1 f=125.4 f20=150 ftest=223.25 E=202757(N/mm2) ro=7.85
OUTSIDE DIAMETER OF PIPE/SHELL.....................:Do         76.10 mm
Size of Pipe:
Comment (Optional): ;
LENGTH OF PIPE/SHELL...............................:Lcyl     1000.00 mm
NOMINAL WALL THICKNESS (uncorroded).................:en        2.9000 mm
NEGATIVE TOLERANCE/THINNING ALLOWANCE...............:th          0.00 mm
NEGATIVE TOLERANCE/THINNING ALLOWANCE(in %).........:th1        12.50 %
```

CALCULATION DATA

6.1 - STRAIGHT PIPE UNDER INTERNAL PRESSURE

```
Outside Diameter of Shell (corroded) Dos
Dos = Do - 2 * co =76.1-2*0=                                  76.10 mm
Required Minimum Shell Thickness Excl.Allow. emin :
emin = pc * Dos / (2 * f * z + pc)                                (6.1-1)
-1.696*76.1/(2*125.4*1+1.696)=                              0.5112 mm

Required Minimum Shell Thickness Incl.Allow. :
emina = (emin + c + co + th) + en * th1 / 100
=(0.5112+1+0+0)+2.9*12.5/100=                               1.8700 mm

Analysis Thickness
ea = en - c - co - th - en * th1 / 100
=2.9-1-0-0-2.9*12.5/100=                                    1.5375 mm
```

Internal Pressure emina=1.87 <= en=2.9[mm]	64.4%	OK

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :NEW & COLD

```
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE  MAWP :NEW & COLD
Pmax = 2 * ea * f * z / (Dos - ea)
=2*2.5375*150*1/(76.1-2.5375)=                              10.35 MPa
```

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :HOT & CORR

```
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE  MAWP :HOT & CORR
Pmax = 2 * ea * f * z / (Dos - ea)
-2*1.5375*125.4*1/(76.1-1.5375)=                            5.1716 MPa
```

MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)

```
MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)
Pmax = 2 * ea * f * z / (Dos - ea)
=2*2.5375*223.25*1/(76.1-2.5375)=                           15.40 MPa
```

1 S1.1 Straight Pipe Main Shell	Umax= 64.4%	Page: 1

AF-Engineering s.r.o. -

T-kus Vessel Tag No.: 4

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 6.1 - STRAIGHT PIPE

S1.1 Main Shell 06 Mar, 2015 10:44

EN13480-5;10.2.3.3 REQUIRED MIN.HYDROSTATIC TEST PRESSURE:Ptmin

```
NEW AT AMBIENT TEMP. FOR TEST GROUPS 1, 2 and 3
Ptmin = MAX( 1.43 * Pd , 1.25 * Pd * f20 / f )
=MAX(1.43*1.696,1.25*1.696*150/125.4)=                    2.5359 MPa
```

Test Pressure Ptmin=2.54 <= Ptmax=15.4[MPa]	16.4%	OK

CALCULATION SUMMARY

6.1 - STRAIGHT PIPE UNDER INTERNAL PRESSURE

```
Required Minimum Shell Thickness Excl.Allow. emin :
emin = pc * Dos / (2 * f * z + pc)                          (6.1-1)
=1.696*76.1/(2*125.4*1+1.696)=                          0.5112 mm

Required Minimum Shell Thickness Incl.Allow. :
emina = (emin + c + co + th) + en * thl / 100
=(0.5112+1+0+0)+2.9*12.5/100=                           1.8700 mm
```

Internal Pressure emina=1.87 <= en=2.9[mm]	64.4%	OK

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :NEW & COLD

```
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE  MAWP :NEW & COLD
Pmax = 2 * ea * f * z / (Dos - ea)
=2*2.5375*150*1/(76.1-2.5375)=                           10.35 MPa
```

MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE MAWP :HOT & CORR

```
MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE  MAWP :HOT & CORR
Pmax = 2 * ea * f * z / (Dos - ea)
=2*1.5375*125.4*1/(76.1-1.5375)=                         5.1716 MPa
```

MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)

```
MAX TEST PRESSURE (Uncorroded cond.at ambient temp.)
Pmax = 2 * ea * f * z / (Dos - ea)
=2*2.5375*223.25*1/(76.1-2.5375)=                        15.40 MPa
```

EN13480-5;10.2.3.3 REQUIRED MIN.HYDROSTATIC TEST PRESSURE:Ptmin

```
NEW AT AMBIENT TEMP. FOR TEST GROUPS 1, 2 and 3
Ptmin = MAX( 1.43 * Pd , 1.25 * Pd * f20 / f )
=MAX(1.43*1.696,1.25*1.696*150/125.4)=                    2.5359 MPa
```

Test Pressure Ptmin=2.54 <= Ptmax=15.4[MPa]	16.4%	OK

Volume:0 m3 Weight:5.2 kg (SG= 7.85)

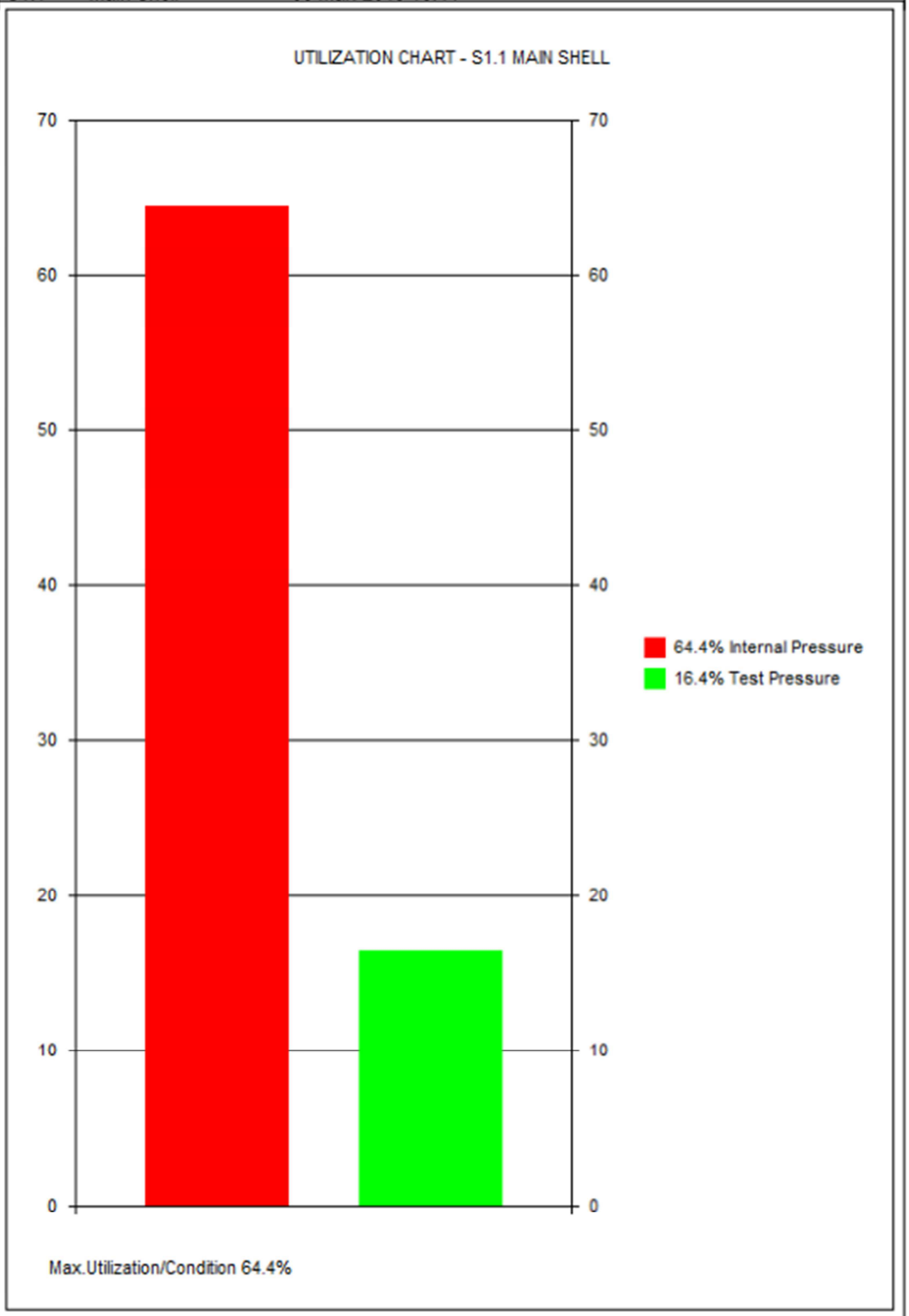
AF-Engineering s.r.o. -

T-kus Vessel Tag No.: 4

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 6.1 - STRAIGHT PIPE

S1.1 Main Shell 06 Mar. 2015 10:44



1 S1.1 Straight Pipe Main Shell	Umax= 64.4%	Page: 3

AF-Engineering s.r.o. -

T-kus Vessel Tag No.: 4

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

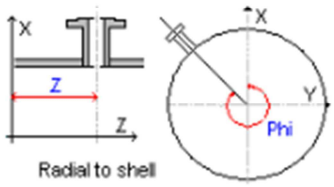
EN13480-3:2002/A4:2010 - 8 OPENINGS AND BRANCH CONNECTIONS

N.1 t 06 Mar, 2015 10:57 ConnID:S1.1

INPUT DATA

COMPONENT ATTACHMENT/LOCATION

Attachment: S1.1 Straight Pipe Main Shell




```
Orientation & Location of Nozzle: Radial to Shell
z-location of nozzle along axis of attacment.......:z          500.00 mm
Angle of Rotation of nozzle axis projected in the x-y plane:Phi     0.00 Degr.
```

GENERAL DESIGN DATA

```
Type of Opening: Nozzle Without Standard ASME or DIN/EN Flange Attachment
PROCESS CARD: General Design Data : Temp= 145°C, P=1.6960 MPa, c=1.0 mm
```

SHELL DATA (S1.1)

```
Shell Type: Cylindrical Shell
OUTSIDE DIAMETER OF PIPE/SHELL.....................:Do          76.10 mm
NOMINAL WALL THICKNESS (uncorroded).................:en        2.9000 mm
NEGATIVE TOLERANCE/THINNING ALLOWANCE...............:th          0.00 mm
NEGATIVE TOLERANCE/THINNING ALLOWANCE(in %).........:ths        12.50 %
EN 10216-2:2002/A2:07, 1.0345 P235GH seamless tube, HT:N THK<=16mm 145'C
Rm=360 Rp=235 Rpt=188.1 fs=125.4 f20=150 ftest=223.25 E=202757(N/mm2) ro=7.85
```

NOZZLE MATERIAL DATA

```
Delivery Form: Seamless Pipe
EN 10216-2:2002/A2:07, 1.0345 P235GH seamless tube, HT:N THK<=16mm 145'C
Rm=360 Rp=235 Rpt=188.1 fb=125.4 f20=150 ftest=223.25 E=202757(N/mm2) ro=7.85
```

NOZZLE DIMENSIONAL DATA

```
Attachment: Set In Flush Nozzle
Shape of Nozzle/Opening: Circular
OUTSIDE NOZZLE DIAMETER.............................:deb         76.10 mm
NOMINAL NOZZLE THICKNESS (uncorroded)...............:enb       2.9000 mm
Size of Flange and Nozzle:
Comment (Optional): ;
NEGATIVE TOLERANCE/THINNING ALLOWANCE(in %).........:th2         12.50 %
NOZZLE STANDOUT MEASURED FROM VESSEL OD.............:ho        500.00 mm
```

NOZZLE LOCATION/ARRANGEMENT

```
Nozzle Weld Intersect: Nozzle Does NOT Intersect with a Welded Shell Seam
ANGLE PhiC(OBLIQUE IN TRANSVERSE.CROSS SECT.)Fig.9.5-2:PhiC      0.00 Degr.
ANGLE PhiL(OBLIQUE IN LONG.CROSS SECT.)Fig.9.5-1....:PhiL        0.00 Degr.
```

2 N.1 Nozzle,Seamless Pipe t	Umax= 85.9%	Page: 4

AF-Engineering s.r.o. -

T-kus Vessel Tag No.: 4

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 8 OPENINGS AND BRANCH CONNECTIONS

N.1 t 06 Mar, 2015 10:57 ConnID:S1.1

WELDING DATA

Nozzle/Pad to Shell Welding Area: Exclude Area of Nozzle to Shell Weld

DATA FOR REINFORCEMENT PAD

Type of Pad: No Pad

LIMITS OF REINFORCEMENT

Reduction of Limits of Reinforcement: No Reduction Required

CALCULATION DATA

PRELIMINARY CALCULATIONS

Shell Analysis Thickness eas
eas = en - c - th - ths / 100 * en
=2.9-1-0-12.5/100*2.9= 1.5375 mm
Nozzle Analysis Thickness eab
eab = enb - c - NegDev =2.9-1-0.3625= 1.5375 mm
Inside Radius of Curvature
ris = De / 2 - eas =76.1/2-1.5375= 36.51 mm
dib = deb - 2 * eab =76.1-2*1.5375= 73.03 mm
Min.Nozzle Thk.Based on Internal Pressure ebp
ebp = P * deb / (2 * fb * z + P)
=1.696*76.1/(2*125.4*1+1.696)= 0.5100 mm
Allowable Stresses
fob = Min(fs, fb) (8-8) =Min(125.4,125.4)= 125.40 N/mm2

GEOMETRIC LIMITATIONS

*»Check Max.Diameter of Nozzle dib/(2*ris)=1 <= 1=1[mm] « » OK«*

Min.Nozzle Thk. ebp=0.51 <= eab=1.5375[mm]	33.1%	OK

Nozzles normal to the shell, with or without reiforcement pads.

Calculation of Stress Loaded Areas Effective as Reinforcement

Area of Shell Afs

Limit of Reinforcement Along Shell
Iso = Sqr((2 * ris + eas) * eas)
=Sqr((2*36.51+1.5375)*1.5375)= 10.71 mm
Set In Nozzle
Afs = eas * Is (8-78) =1.5375*10.71= 16.46 mm2

Area of Nozzle Afb

Limit of Reinforcement Along Nozzle (outside shell)
Ibo = MIN(Sqr((deb - eb) * eb), ho) (8-75)
=MIN(Sqr((76.1-1.5375)*1.5375,)500)= 10.71 mm
Set In Nozzle
Afb = eb * (Ibo + Ibi + eas) (8-77) =1.5375*(10.71+0+1.5375)= 18.83 mm2

Calculation of Pressure Loaded Areas

In the Nozzle Apb
Apb = 0.5 * dib * (Ibo + eas) (8-83)
=0.5*73.025*(10.71+1.5375)= 447.08 mm2

Cyl.Shell in the Longitudinal Section Aps
ApsL = ris * (Is + a) (8-93) =36.51*(10.71+38.05)= 1780.24 mm2

Cyl.Shell in the Transverse Cross Section Aps
ApsT = 0.5 * ris ^ 2 * (Is + a) / (0.5 * eas + ris) (8-104)

2 N.1 Nozzle,Seamless Pipe t	Umax= 85.9%	Page: 5

AF-Engineering s.r.o. -

T-kus Vessel Tag No.: 4

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 8 OPENINGS AND BRANCH CONNECTIONS

N.1 t 06 Mar. 2015 10:57 ConnID:S1.1

```
=0.5*36.51^2*(10.71+58.56)/(0.5*1.5375+36.51)=          1238.50 mm2
Aps = MAX( ApsL ApsT) =MAX(1780.24,1238.5)=             1780.24 mm2
```

Reinforcement Rules

Pressure Area Required pA(req.)

```
pAReqL = P * (ApsL + Apb) (8-7) =1.696*(1780.24+447.08)=    3.7775 kN
pAReqT = P * (ApsT + Apb + 0.5 * Apphi)                     (8-7)
=1.696*(1238.5+447.08+0.5*0)=                            2.8587 kN
pAReq = MAX( pAReqL, pAReqT) =MAX(3777.53,2858.74)=         3.7775 kN
```

Pressure Area Available pA(aval.)

```
pAAval = (Afs+Afw)*(fs-0.5*P)+Afp*(fop-0.5*P)+Afb*(fob-0.5*P)      (8-7)
=(16.46+0)*(125.4-0.5*1.696)+0*(0-0.5*1.696)+18.83*(125.4-0.5*1.696)
=   4.3952 kN
```

Nozzle Reinforcement pAAval=4.4 >= pAReq=3.78[kN]	85.9%	OK

Maximum Allowable Pressure Pmax

```
Pmax =(Afs+Afw)*fs+Afb*fob/((Aps+Apb)+0.5*(Afs+Afw+Afb+Afp))       (10)
=+0)*125.4+18.83*125.4/((1780.24+447.08)+0.5*(16.46+0+18.83+0))=   1.9711 MPa
```

Max.Allowable Test Pressure Ptmax

```
Ptmax =  ==                                                 5.7622 MPa
```

Weight of Nozzle: 2.8kg

CALCULATION SUMMARY

Nozzles normal to the shell, with or without reiforcement pads.

```
Limit of Reinforcement Along Shell
Iso = Sqr(( 2 * ris + eas) * eas)
=Sqr((2*36.51+1.5375)*1.5375)=                              10.71 mm
Limit of Reinforcement Along Nozzle (outside shell)
Ibo = MIN( Sqr(( deb - eb) * eb), ho)                               (8-75)
=MIN(Sqr((76.1-1.5375)*1.5375,)500)=                        10.71 mm
```

Pressure Area Required pA(req.)

```
pAReqL = P * (ApsL + Apb) (8-7) =1.696*(1780.24+447.08)=    3.7775 kN
pAReqT = P * (ApsT + Apb + 0.5 * Apphi)                     (8-7)
=1.696*(1238.5+447.08+0.5*0)=                            2.8587 kN
pAReq = MAX( pAReqL, pAReqT) =MAX(3777.53,2858.74)=         3.7775 kN
```

Pressure Area Available pA(aval.)

```
pAAval = (Afs+Afw)*(fs-0.5*P)+Afp*(fop-0.5*P)+Afb*(fob-0.5*P)      (8-7)
=(16.46+0)*(125.4-0.5*1.696)+0*(0-0.5*1.696)+18.83*(125.4-0.5*1.696)
=   4.3952 kN
```

Nozzle Reinforcement pAAval=4.4 >= pAReq=3.78[kN]	85.9%	OK

Maximum Allowable Pressure Pmax

```
Pmax =(Afs+Afw)*fs+Afb*fob/((Aps+Apb)+0.5*(Afs+Afw+Afb+Afp))       (10)
=+0)*125.4+18.83*125.4/((1780.24+447.08)+0.5*(16.46+0+18.83+0))=   1.9711 MPa
```

2 N.1 Nozzle,Seamless Pipe t	Umax= 85.9%	Page: 6

AF-Engineering s.r.o. -

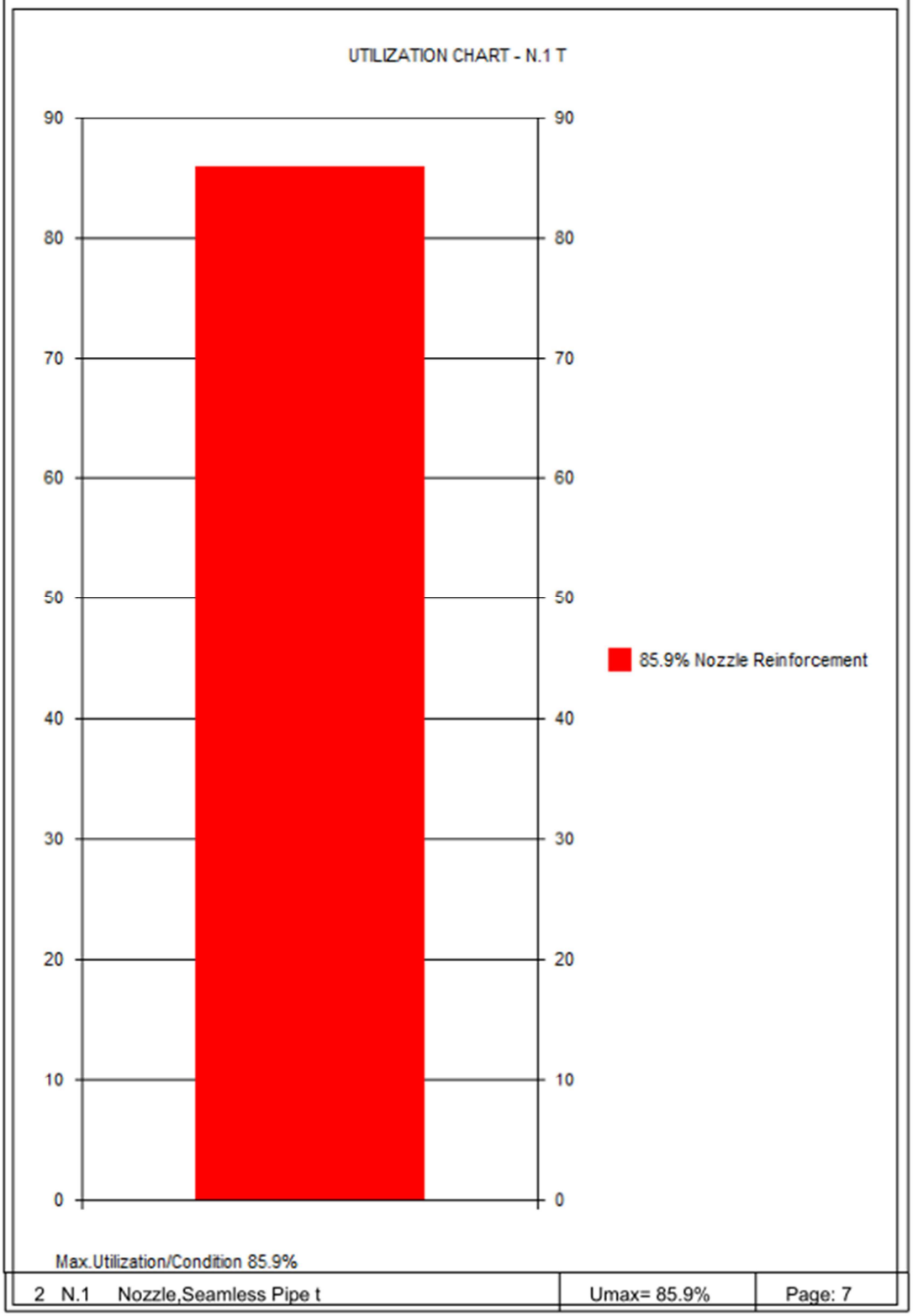
T-kus Vessel Tag No.: 4

Visual Vessel Design by OhmTech Ver:14.01-01 Operator : Rev.:A

EN13480-3:2002/A4:2010 - 8 OPENINGS AND BRANCH CONNECTIONS

N.1 t 06 Mar, 2015 10:57 ConnID:S1.1

Volume:0 m3 Weight:2.8 kg (SG= 7.85)



2 N.1 Nozzle,Seamless Pipe t | Umax= 85.9% | Page: 7

FABRICATION MATERIALS

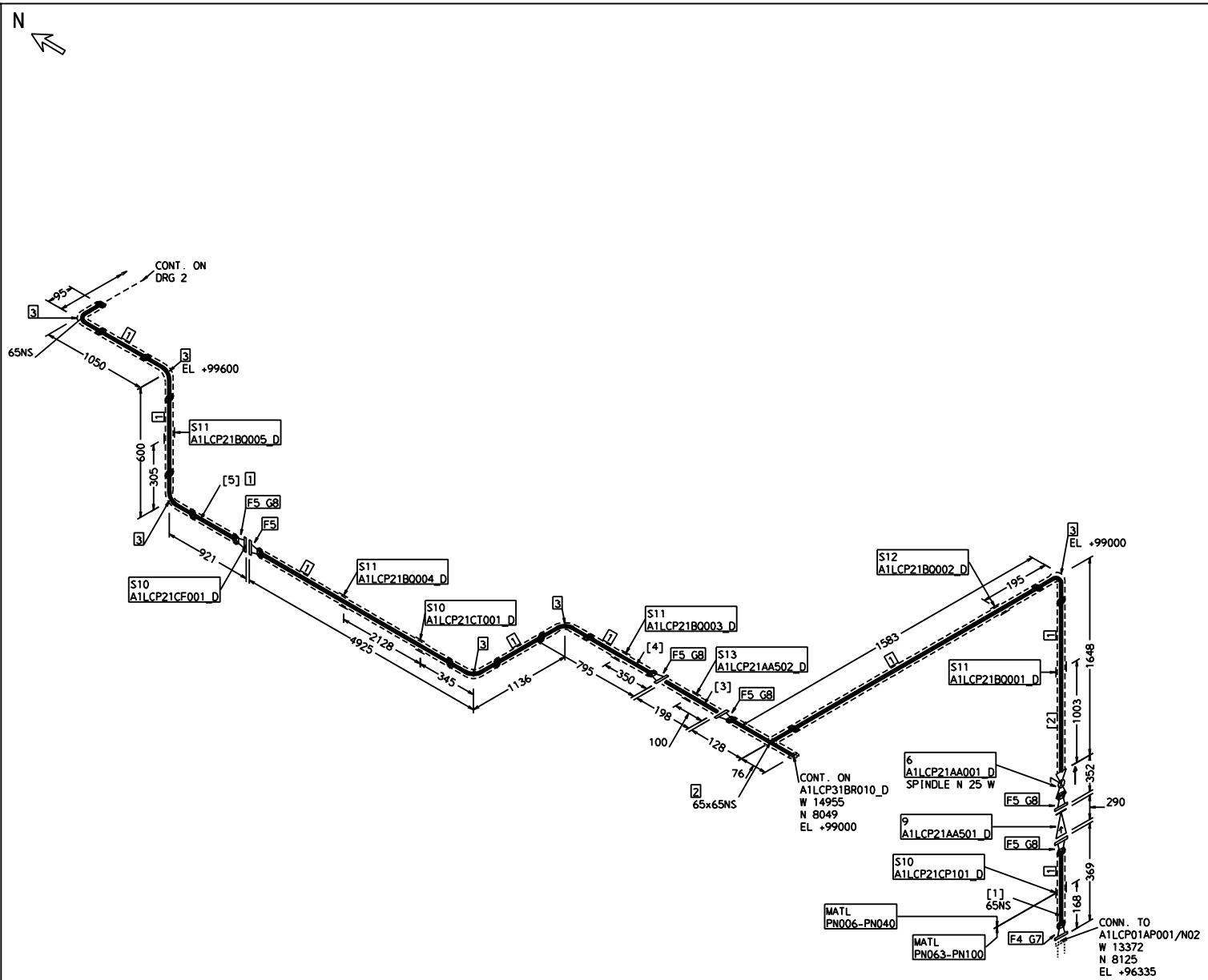
PT NO	COMPONENT DESCRIPTION	N.S. (MM)	ITEM CODE	QTY
	PIPE			
1	TRUBKA DN65	65	TUBE-BWD	11.9M
	FITTINGS			
2	TVAROVKA T DIN2615 DN65/DN65	65 x 65	TEE--BWD	1
3	OBLOUK R=1.5D 90° DIN2605-1 DN65	65	EL90-1.5	6
	FLANGES			
4	PRIRUBA C DN65 x 76.1 DIN2636, S KRKEM, HRUBA T.L. .0, DN65 PN63	65	FLKR-063	1
5	PRIRUBA C DN65 x 76.1 DIN2635, S KRKEM, HRUBA T.L. .0, DN65 PN40	65	FLKR-040	6
	VALVES / IN-LINE ITEMS			
6	KOHOUT KULOVY PRIVAROVACI KB5121-440,DN65,PN40	65	VEHU-040	1

ERECTION MATERIALS

PT NO	COMPONENT DESCRIPTION	N.S. (MM)	ITEM CODE	QTY
	GASKETS			
7	PLOCHE TESNENI TL.2mm PN63 DIN2690 DN65	65	GAPL-063	1
8	PLOCHE TESNENI TL.2mm PN40 DIN2690 DN65	65	GAPL-040	6
	VALVES / IN-LINE ITEMS			
9	VENTIL ZPETNY Z16117-540,DN65,PN40	65	VEVZ-040	1
	SUPPORTS			
10	MERICI MISTO	65	ATTA-MER	3
11	PODPERA	65	ATTA-SUP	4
12	ZAVES	65	ATTA-SUZ	1
13	NEVYJASNENA POLOZKA-CHYBI PODKLADY	65	ATTA-HOL	1

PIPE SPOOLS

[1] [2] [3] [4] [5]



Vypracoval: David Hübel
DATE: 16 JUN 2015
BATCH REF: LCP
PIPING SPEC: PN006-PN040 | ISS: -1

PIPE NS (MM) 65
CL LENGTH 14.2

[1] DENOTES PIPE SPOOL NO
[1] DENOTES PARTS LIST NO

SHOP WELD | FIELD WELD | SOCKET WELD | SCREWED JOINT | COMPN JOINT | SITE CONNECTION | PIPE SUPPORT | LAGGED PIPE | TRACED PIPE

A1LCP21BR010_D

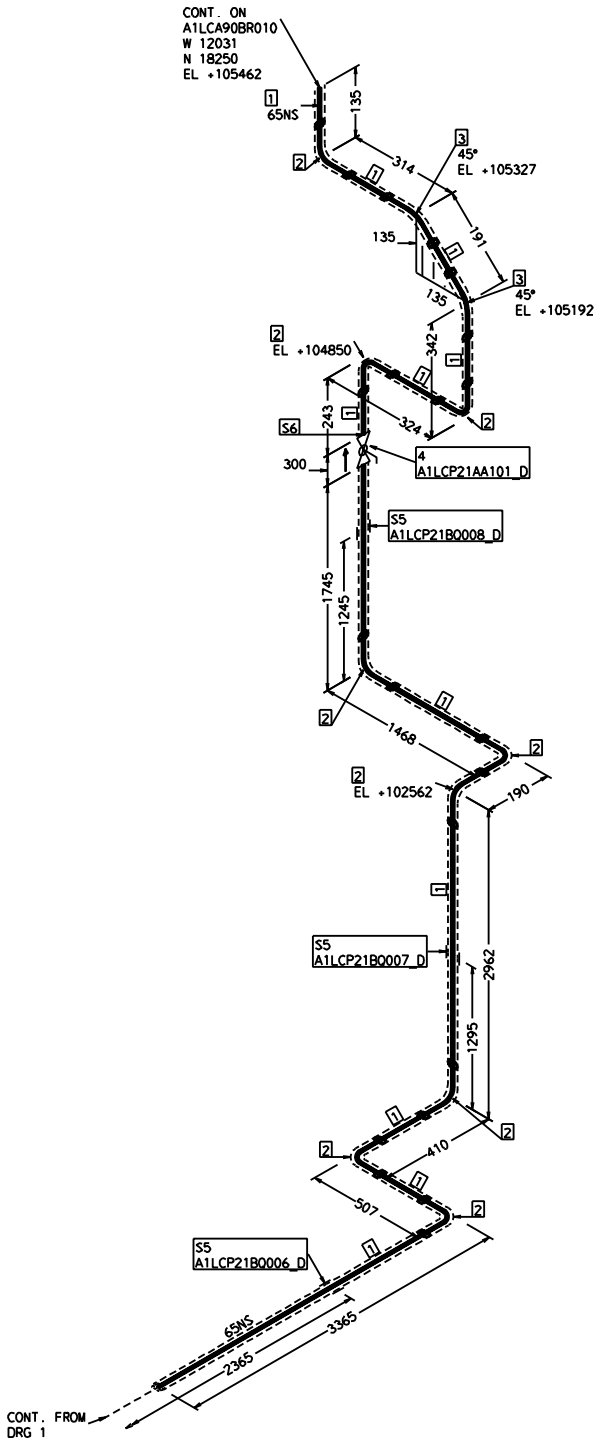
DRG 1 OF 2

FABRICATION MATERIALS

PT NO	COMPONENT DESCRIPTION	N.S. (MM)	ITEM CODE	QTY
	PIPE			
1	TRUBKA DN65	65	TUBE-BWD	10.4M
	FITTINGS			
2	OBLOUK R=1.5D 90° DIN2605-1 DN65	65	EL90-1.5	9
3	OBLOUK R=1.5D 45° DIN2605-1 DN65	65	EL45-1.5	2
	VALVES / IN-LINE ITEMS			
4	KOHOUT KULOVY PRIVAROVACI K85121-440,DN65,PN40	65	VEHU-040	1

ERECTION MATERIALS

PT NO	COMPONENT DESCRIPTION	N.S. (MM)	ITEM CODE	QTY
	SUPPORTS			
5	PODPERA	65	ATTA-SUP	3
6	NEVYJASNENA POLOZKA-CHYBI PODKLADY	65	ATTA-HOL	1



Vypracoval: David Hübel
DATE: 16 JUN 2015
BATCH REF: LCP
PIPING SPEC: PN006-PN040 | ISS: -1

PIPE NS (MM) 65
CL LENGTH 12.5

[1] DENOTES PIPE SPOOL NO
[1] DENOTES PARTS LIST NO

SHOP WELD | FIELD WELD | SOCKET WELD | SCREWED JOINT | COMPN JOINT | SITE CONNECTION | PIPE SUPPORT | LAGGED PIPE | TRACED PIPE

A1LCP21BR010_D

DRG 2 OF 2

FABRICATION MATERIALS

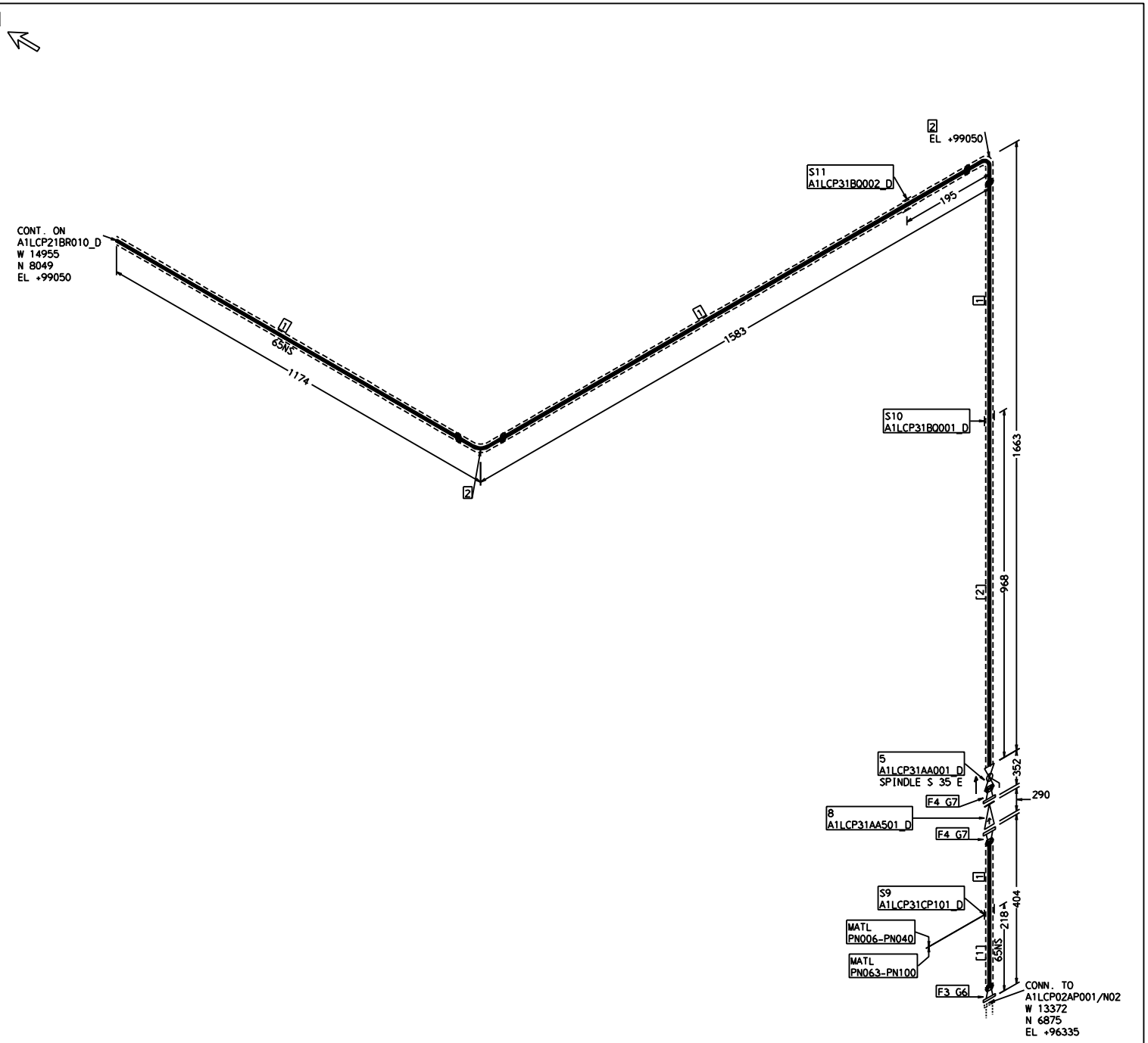
PT NO	COMPONENT DESCRIPTION	N.S. (MM)	ITEM CODE	QTY
	PIPE			
1	TRUBKA DN65	65	TUBE-BWD	4.5M
	FITTINGS			
2	OBLOUK R=1.0D 90° DIN2605-1 DN65	65	EL90-1.0	2
	FLANGES			
3	PRIRUBA C DN65 x 76.1 DIN2636, S KRKEM, HRUBA T.L. .0, DN65 PN63	65	FLKR-063	1
4	PRIRUBA C DN65 x 76.1 DIN2635, S KRKEM, HRUBA T.L. .0, DN65 PN40	65	FLKR-040	2
	VALVES / IN-LINE ITEMS			
5	KOHOUT KULOVY PRIVAROVACI K85121-440,DN65,PN40	65	VEHU-040	1

ERECTION MATERIALS

PT NO	COMPONENT DESCRIPTION	N.S. (MM)	ITEM CODE	QTY
	GASKETS			
6	PLOCHE TESNENI TL.2mm PN63 DIN2690 DN65	65	GAPL-063	1
7	PLOCHE TESNENI TL.2mm PN40 DIN2690 DN65	65	GAPL-040	2
	VALVES / IN-LINE ITEMS			
8	VENTIL ZPETNY Z16117-540,DN65,PN40	65	VEVZ-040	1
	SUPPORTS			
9	MERICI MISTO	65	ATTA-MER	1
10	PODPERA	65	ATTA-SUP	1
11	ZAVES	65	ATTA-SUZ	1

PIPE SPOOLS

[1] [2]



Vypracoval: David Hübel	
PAINTING SPEC: unset	
THERMAL INSULATION SPEC: TEPELNA-IZOLACE	
DATE: 16 JUN 2015	
BATCH REF: LCP	
PIPING SPEC: PN006-PN040	ISS: -1

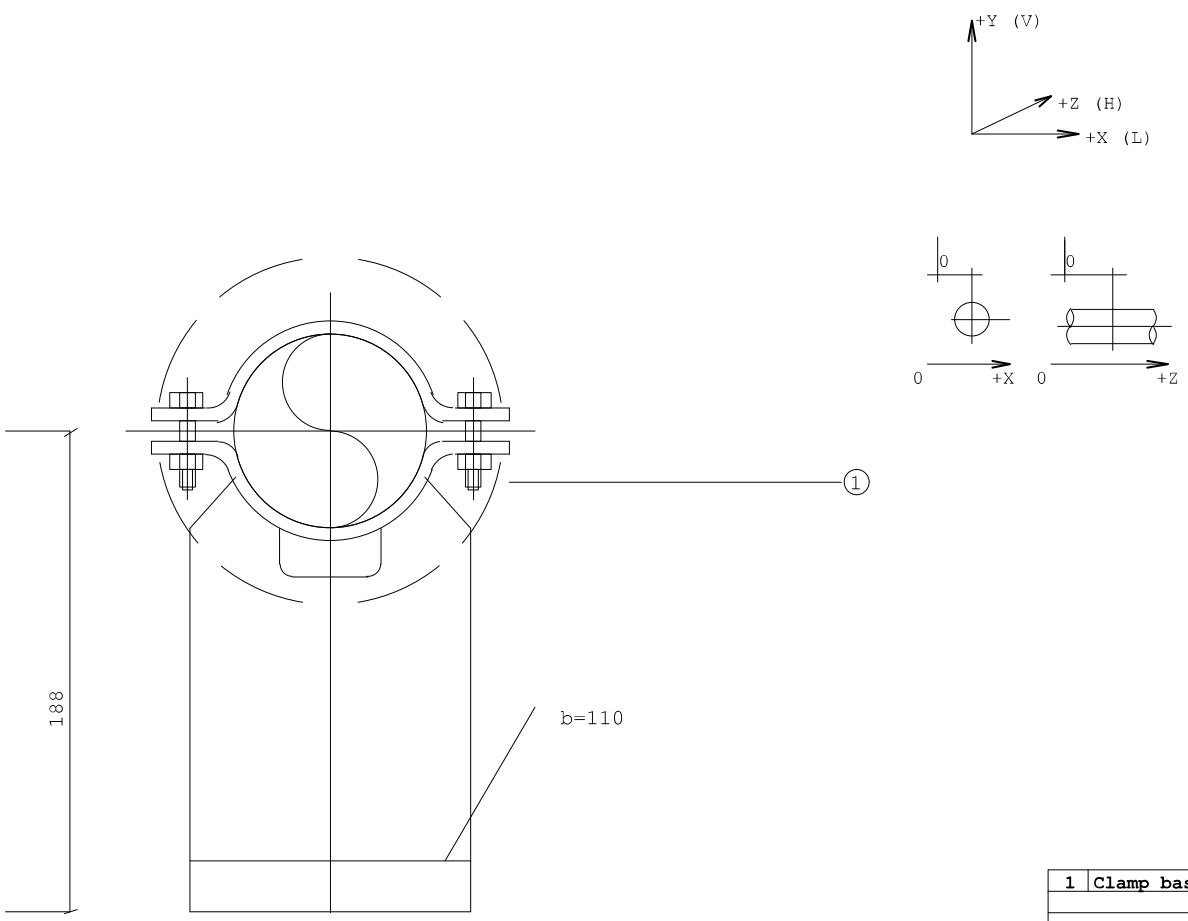
PIPE NS (MM) 65
CL LENGTH 5.5

[1] DENOTES PIPE SPOOL NO
[1] DENOTES PARTS LIST NO

SHOP WELD | FIELD WELD | SOCKET WELD | SCREWED JOINT | COMPN JOINT | SITE CONNECTION | PIPE SUPPORT | LAGGED PIPE | TRACED PIPE

A1LCP31BR010_D

DRG 1 OF 1



1	Clamp base	490835	D76.1	1	3.70	13CrMo4-5
					3.70	

Pos.	p_Bezeichnung	p_Typ	[mm]	p_Anz	[kg]	P_Material
NIL						

A1LCP21BQ008_D

F(W) =	1.78	kN
F(Hy)=	0.00	kN
late.=	0	mm
horz.=	0	mm
vert.=	0	mm
Da =	76.1	mm
Daemm.=	30	mm
Temp.=	145	°C
d F =	0	%
Federr.	0.0	N/mm
ges.Weg	0	mm
Blockng	0	mm
eff.Weg	0.00	mm

Zpracoval: David Hübel

LISEGA

Besteller:

Anlage / System :

Kommissions-Nr.:

Bestell-Nr. :

LISEGA-Angebots-Nr.:
0-8-0 0

LICAD Zeich-Nr. Rev
33 -3-57600 0

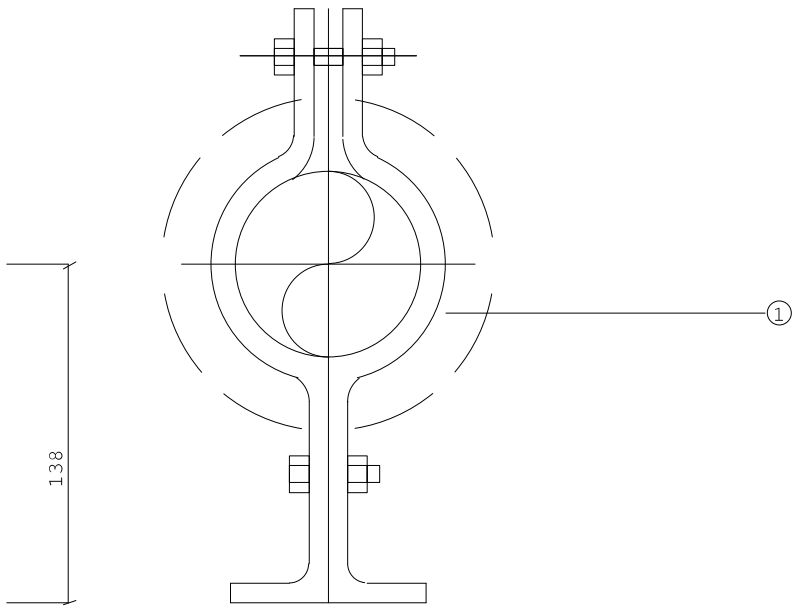
AF-Engineering s.r.o.
AF-Engineering s.r.o.
Zeichnung-Nr.:
A1LCP21BQ008_D

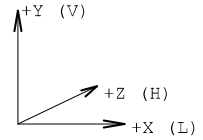
Bearbeiter: 16.6.2015

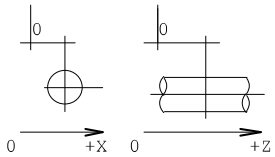
Geprueft:

C:\Users\Public\Documents\LISEGA\LICAD 9.0 - Projects

LICAD
®α
Vers. 9.3.0.0
Price List 01/08







1	Clamp base	490812	D76.1	1	2.60	S235
					2.60	

Pos.	p_Bezeichnung	p_Typ	[mm]	p_Anz	[kg]	P_Material
NIL						

A1LCP21BQ006_D

F(W) =	1.10	kN
F(Hy)=	0.00	kN
late.=	0	mm
horz.=	0	mm
vert.=	0	mm
Da =	76.1	mm
Daemm.=	30	mm
Temp.=	145	°C
d F =	0	%
Federr.	0.0	N/mm
ges.Weg	0	mm
Blockng	0	mm
eff.Weg	0.00	mm

Vypracoval: David Hübel

Besteller:

Anlage / System :

Kommissions-Nr.:

Bestell-Nr. :

Bearbeiter: 15.6.2015

LISEGA-Angebots-Nr.:
0-8-0 0

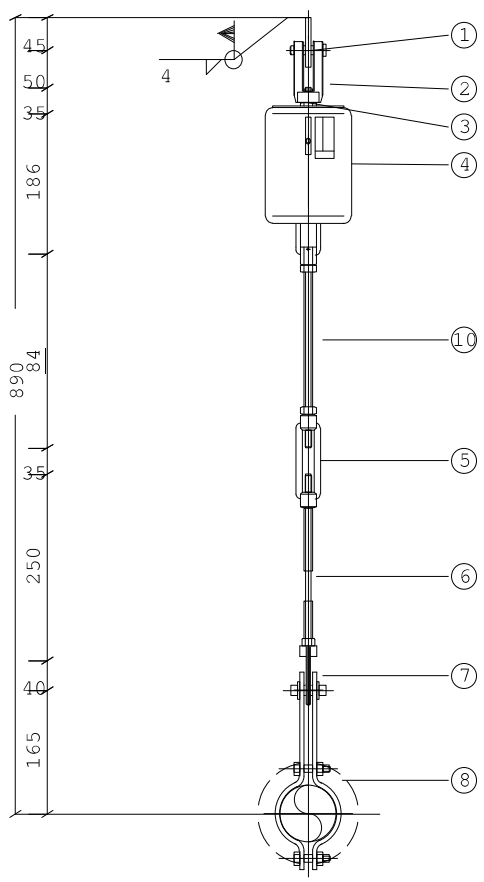
LICAD Zeich-Nr. Rev
24 -3-57600 0

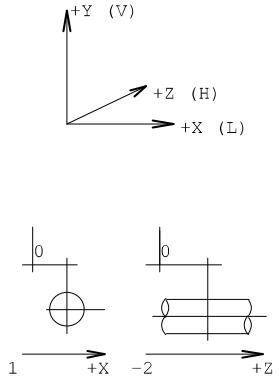
AF-Engineering s.r.o.
AF-Engineering s.r.o.
Zeichnung-Nr.:
A1LCP21BQ006_D

Geprueft:

C:\Users\Public\Documents\LISEGA\LICAD 9.0 - Projects

LICAD
Vers. 9.3.0.0
Price List 01/08





10	**Threaded rod**	**672213**	**(84)**	**1**	**0.35**	**S235JRG2**
9	**Hexagonal nut**	**632928**	**M12**	**3**	**0.06**	**Gr. 8**
8	**Three bolt clamp**	**430819**	**D76.1**	**1**	**1.20**	**S235**
7	**Eye nut**	**602912**		**1**	**0.10**	**P250GH**
6	**Tie rod l/r**	**652113**		**1**	**0.20**	**S235JRG2**
5	**Turnbuckle**	**622912**		**1**	**0.20**	**S235JRG2**
4	**Var. spring hanger**	**212118**		**1**	**3.80**	
3	**Threaded stud**	**672113**	**35**	**1**	**0.03**	**S235JRG2**
2	**Clevis with pin**	**612912**		**1**	**0.20**	**P250GH**
1	**Weld-on eye plate**	**752112**		**1**	**0.13**	**S235JRG2**
					6.27	

Pos.	p_Bezeichnung	p_Typ	[mm]	p_Anz	[kg]	P_Material

NIL

A1LCP21BQ002_D

F(W) =	1.69	kN
F(K) =	1.87	kN
F(Bk)=	1.87	kN
F(Hy)=	0.00	kN
late.=	1	mm
horz.=	-2	mm
vert.=	5	mm
Da =	76.1	mm
Daemm.=	30	mm
Temp.=	145	°C
d F =	9	%
Federr.	33.3	N/mm
ges.Weg	50	mm
Blockng	31	mm
eff.Weg	4.70	mm
Tvl res dn/up	19/26	mm

Vypracoval: David Hübel

LISEGA

Besteller:

LISEGA-Angebots-Nr.:
0-8-0 0

Anlage / System :

LICAD Zeich-Nr. Rev
9 -3-57600 0

Kommissions-Nr.:

Bestell-Nr. :

AF-Engineering s.r.o.
AF-Engineering s.r.o.
Zeichnung-Nr.:
A1LCP21BQ002_D

Bearbeiter: 15.6.2015

Geprueft:

C:\Users\Public\Documents\LISEGA\LICAD 9.0 - Projects

LICAD
®α
Vers. 9.3.0.0
Price List 01/08