

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh ocelového potrubního uzlu a jeho zjednodušená statická analýza

Autor: **Lenka NÁPRSTKOVÁ**

Vedoucí práce: **Ing. Pavel ŽITEK**

Akademický rok 2015/2016

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 Náprstková	Jméno Lenka	
STUDIJNÍ OBOR	B 2301 Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Žitek	Jméno Pavel	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKE		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh ocelového potrubního uzlu a jeho zjednodušená statická analýza		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKE	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	58	TEXTOVÁ ČÁST	33	GRAFICKÁ ČÁST	25
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce se zabývá parními potrubními systémy. První část této práce se zaměřuje na obecné principy a teorii návrhu parních potrubí. Na teoretickou část navazuje návrh konkrétního potrubního uzlu parního okruhu tepelné elektrárny. Návrh byl realizován v systému PDMS a pevnostní výpočty provedeny v programu CAESAR II.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Parní potrubí, PDMS, CAESAR II, pevnostní analýza</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Náprstková	Name Lenka	
FIELD OF STUDY	B 2301 Strojní inženýrství		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Žitek	Name Pavel	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKE		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of steel pipeline system with simplified static analysis		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Power System Engineering	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	--------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	58	TEXT PART	33	GRAPHICAL PART	25
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor thesis deals with steam pipeline systems. The first part of this work is focused on basics principles and theory of steam pipeline design. The part of the steam pipeline system of the power plant was designed using PDMS software in the second part of this thesis. Strength calculations were performed using CAESAR II.
KEY WORDS	Steam pipeline, PDMS, CAESAR, strength calculations

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu práce, panu Ing. Pavlu Žitkovi a konzultantovi, panu Ing. Michalu Fidrovskému.

Mé díky patří také společnosti AF Engineering s.r.o. za poskytnutí zadání a prostoru pro řešení a všem, kteří mi byli nápomocni při zpracování této práce.

Velké díky náleží také mé rodině a přátelům za podporu po dobu mého studia.

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. TEORETICKÁ ČÁST	2
2.1. POTRUBÍ A JEHO ČÁSTI	2
2.2. PARNÍ POTRUBÍ	2
2.3. MATERIÁLY POTRUBÍ PRO VYSOKOTEPLTNÍ APLIKACE	3
2.3.1. <i>Požadavky na materiály</i>	3
2.3.2. <i>Značení materiálů</i>	4
2.3.3. <i>Přehled materiálů</i>	4
2.4. POPIS PROBLEMATIKY	6
2.4.1. <i>Přehled změn fyzikálních vlastností materiálů způsobené vzrůstající teplotou</i>	6
2.4.2. <i>Vysokoteplotní tečení (vysokoteplotní creep)</i>	7
2.4.3. <i>Posuzování životnosti</i>	9
2.5. ZPŮSOB NÁVRHU POTRUBNÍHO SYSTÉMU	11
2.5.1. <i>Návrhová kritéria</i>	11
2.5.2. <i>Způsob návrhu</i>	11
2.5.3. <i>Tepelná dilatace a způsoby její kompenzace</i>	14
2.6. ZPŮSOB UKLÁDÁNÍ POTRUBÍ	15
2.6.1. <i>Rozteč uložení</i>	16
2.6.2. <i>Typy uložení</i>	17
2.7. POUŽITÝ SOFTWARE	20
2.7.1. <i>PDMS</i>	20
2.7.2. <i>Autodesk Navisworks Freedom</i>	21
2.7.3. <i>Caesar II</i>	21
3. PRAKTICKÁ ČÁST	22
3.1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY ŘEŠENÉHO PROBLÉMU	22
3.2. KONKRÉTNÍ UVEDENÍ ÚLOHY	22
3.3. VLASTNÍ NÁVRH	22
3.3.1. <i>Materiál a rozměr potrubí</i>	22
3.3.2. <i>Trasa</i>	22
3.3.3. <i>Kompenzace</i>	24
3.3.4. <i>Uložení</i>	26
3.3.5. <i>Ověření výpočtem</i>	27
4. ZÁVĚR	30
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	31
SEZNAM OBRÁZKŮ	32
SEZNAM TABULEK	32
PŘÍLOHY	33

1. ÚVOD

Úkolem bakalářské práce je navrhnout vlastní potrubní uzel a návrh ověřit výpočtem s cílem porozumět problematice projektování potrubí.

Práce byla vytvořena ve spolupráci s firmou AF Engineering s.r.o.. Bylo využito reálného projektu finské elektrárny Tampere, kde se navrhovaný potrubní uzel nachází v parním okruhu a je napojen na turbínu.

Teoretická část práce se věnuje způsobu návrhu potrubí pro vysokoteplotní aplikace. Obsahuje informace o potrubí a jeho částech, využívaných materiálech a vlivu působení vysokých teplot na potrubí. Dále se zabývá vlastním návrhem takového potrubí a jeho uložením. Paralelně se zpracováním teoretické části došlo k seznámení se s návrhovým 3D programem PDMS a dalších využívaných programů, jež jsou závěrem této části stručně popsány.

Druhá, praktická část práce obsahuje popis uskutečněného postupu návrhu dané trasy a jeho číselné vyhodnocení doprovázené grafickým znázorněním. Výstupní hodnoty výpočtů z programu CAESAR II jsou připojeny v sekci přílohy.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Potrubí a jeho části

Potrubím se rozumí komplexní zařízení určené k dopravě látek všech skupenství s využitím v téměř každém odvětví průmyslu. Jedná se o soustavu trubek, převážně kruhového průřezu, které jsou doplněny o prvky, jež umožňují jejich spojení, uzavírání a uložení, ale například i kompenzaci tepelné dilatace či změnu proudění apod.

Potrubní zařízení jsou dělena podle druhu dopravované látky (vodovody, plynovody...) a jejího stavu (vysokotlaká, nízkotlaká...), dále podle použitého materiálu, umístění potrubí a účelu, jemuž slouží (teplovody, výfuková potrubí, napájecí potrubí...). [1]

Prvky, jež potrubní vedení obsahuje, se dělí na části hlavní, které se vyskytují ve všech druzích potrubí a části vedlejší, umísťované do potrubí na základě zvláštních požadavků.

Hlavní části potrubí jsou:

- trubky,
- potrubní spoje (spoje sousedních trubek a trubek s ostatními částmi potrubí),
- ventily (pro přerušování průtoku proudícího média),
- tvarovky (přechody mezi různými průřezmi potrubí, dělení a spojování proudu, změny směru proudění),
- kompenzátory (vyrovnávání tepelné roztažnosti),
- uložení a upevnění potrubí
- vypouštění, odzdušnění.

Mezi **doplňujícími částmi potrubí** řadíme:

- zařízení pojistná (ventily),
- ochranná (filtry),
- kontrolní a měřicí (tlakoměry, teploměry),
- regulační,
- pomocná (dálkové ovládání armatur, expandéry),
- tepelné izolace,
- ochranná krytí. [1]

2.2. Parní potrubí

Tato práce se věnuje potrubí pro vysokoteplotní aplikace, konkrétně potrubím parním. V energetice je právě parní potrubí hojně využíváno. V elektrárnách zajišťuje například přívod přehřáté páry z kotle k parní turbíně. Takováto potrubí jsou extrémně namáhána z hlediska tlaků a teplot, proto jsou při návrhu kladeny velmi vysoké nároky na materiál, přesnost návrhu, uložení i bezpečnost.

2.3. Materiály potrubí pro vysokoteplotní aplikace

Volba materiálu je nejdůležitějším krokem při návrhu potrubí a jeho částí. Vždy je nutno brát v úvahu veškeré procesy, jimiž bude materiál procházet, od výrobních postupů součástí, přes manipulaci až po finální účely, který bude navrhovaná součást sloužit. Je třeba tedy znát jak provozní, tak přechodové podmínky, které během životního cyklu materiálu mohou nastat.

2.3.1. Požadavky na materiály

U potrubí je volba materiálu pochopitelně nejvíce ovlivněna charakterem látky proudící uvnitř potrubí ale také vnějším prostředím. Chemické složení materiálu potrubí musí být tedy kompatibilní s chemickým složením všech látek, s nimiž potrubí přichází do styku, aby bylo zamezeno například tvoření rzi nebo vodíkové křehkosti. Zároveň je chemickým složením dána například svařitelnost a tváritelnost materiálu. Velice důležitým faktorem volby je teplota a vnitřní přetlak, kterým musí potrubí odolávat.

Tyto a mnohé další aspekty tvoří široké spektrum informací, o kterých musí být projektant obeznámen před zahájením návrhu jakékoli potrubní trasy. Požadavky kladené na materiál potrubí lze obecně rozdělit na tři oblasti:

- **požadavky na fyzikální a mechanické vlastnosti**

Jedná se o vlastnosti ovlivňující pevnostní návrh trasy, teplotní dilataci či tepelné ztráty v potrubí. Především se jedná o tyto vlastnosti:

- mez pevnosti v tahu R_m (Pa),
- mez kluzu R_e (Pa) a smluvní mez kluzu v tahu R_p , příp. R_{pt} (Pa),
- mez tečení R_T (Pa) a mez pevnosti při tečení v tahu R_{mT} (Pa),
- poměrné prodloužení ε (%), příp. tažnost A (%),
- vrubová houževnatost ($J.cm^{-2}$),
- tvrdost (HB, HRB, HRC, HV),
- modul pružnosti v tahu E (Pa), a ve smyku G (Pa),
- měrná hmotnost ρ ,
- tepelná roztažnost α_T (K^{-1} , $^{\circ}C^{-1}$) a vodivost λ ($W.m^{-1}.K^{-1}$), aj.

Tyto vlastnosti jednotlivých materiálů jsou vyhledávány v materiálových listech, kde jsou uvedeny experimentálně zjištěné hodnoty. [2]

- **požadavky na technologické vlastnosti**

Sem jsou řazeny vlastnosti mající vliv na výrobu a montáž potrubních částí jako např. svařitelnost, tvárnost, obrobitelnost, odolnost proti opotřebení a schopnost tepelného zpracování. Rovněž jsou uváděny v materiálových listech. [2]

- **požadavky na chemické vlastnosti**

Tyto požadavky plynou ze styku potrubí s proudícím médiem a s prostředím, v němž je uloženo a jejich chemického vlivu na materiál. Proto je vždy volen materiál potrubí, jehož struktura nebude vlivem působení okolních látek nijak ovlivněna a naopak materiál potrubí nebude ovlivňovat dopravované médium. Například v případě parovodních potrubí je kladen důraz na odolnost materiálu proti korozi.

2.3.2. Značení materiálů

- **Základní značení ocelí dle ČSN EN 10 027-1**

Nelegované oceli: Písmeno P v názvu označuje oceli pro tlakové účely a GH značí, že se jedná materiál pro zvýšenou teplotu. Číslo obsažené ve značce odpovídá hodnotě minimální horní nebo smluvní meze kluzu v MPa, která je předepsána pro materiál o tloušťce do 16 mm při okolní teplotě.

Například ocel s označením P195GH je určena pro tlakové účely při zvýšených teplotách a pro stěnu do 16 mm je její mez kluzu R_{eH} ($R_{P0,2}$) = 195 MPa.

Legované oceli: Název se neodvozuje od fyzikálních vlastností jako tomu je u nelegovaných ocelí, nýbrž od chemického složení. Je-li na začátku písmeno X, znamená to, že střední obsah minimálně jednoho legujícího prvku převyšuje 5%. První skupina číslic (1. - 3. číslice) udává stonásobek střední hodnoty rozsahu předepsaného pro obsah uhlíku. Dále obsahuje názvy legujících prvků a číslice na konci ve formátu n-n odpovídají střednímu obsahu příslušného prvku (hodnota zaokrouhlená na nejbližší vyšší celé číslo).

Například pro ocel označovanou X11CrMo9-1 platí, že obsah uhlíku je v rozsahu 0,08 – 0,15 %, tudíž stonásobek střední hodnoty odpovídá číslu 11. Hmotnostní obsah chromu se pohybuje mezi 8 – 10 %, což je vždy více než 5%, proto název materiálu začíná X a předposlední číslicí je střední hodnota tohoto rozsahu, tedy číslo 9. Dále lze z názvu vyčíst, že dalším nejvíce zastoupeným prvkem v materiálu je molybden se střední hodnotou obsahu 1%, o čemž vypovídá poslední číslice ve značení materiálu.

- **Číselné označení materiálu ČSN EN 10 027-1**

Číselné označení materiálu má formát 1.XXYY(YY). První číslo je číslo hlavní skupiny materiálu (pro ocel = 1). XX je číslo skupiny ocelí, to udává skupinu legujících prvků, popřípadě jejich procentuální rozsah. YY(YY) je pořadovým číslem.

Příklad takového materiálu může být ocel s označením 1.7362. Číslo 1 vypovídá o skutečnosti, že se jedná o ocel. Legující prvky spadají do skupiny označené číslem 73. Tato skupina je charakteristická legujícími prvky chrom - molybden s obsahem Mo \geq 0,35 %. Pořadovým číslem tohoto materiálu je 63.

2.3.3. Přehled materiálů

V tabulce č. 1 jsou vypsány materiály doporučené normou ČSN EN 10 216-2 pro vysokoteplotní aplikace. V této normě lze také nalézt hodnoty smluvní meze kluzu a pevnosti při tečení v závislosti na teplotě. Oceli používané v prostředí, kde jsou vystaveny dlouhodobému působení vysokých teplot, jsou obecně označovány jako žárupevné. Žárupevnost je schopnost materiálu (ocelí příp. jejich slitin) nepodléhat plastické deformaci za konstantní zvýšené teploty a konstantního napětí. Je to tedy odolnost proti vysokoteplotnímu tečení - creepu.

Mluvíme-li o materiálech pro vysokoteplotní aplikace, jedná se hlavně o legované oceli, konkrétně feritické Cr oceli, kde hlavní legurou je chrom, ale samozřejmě každý legující prvek plní svoji určitou funkci, jež přispívá k výsledným zlepšeným vlastnostem materiálu.

V nejvyšším zastoupení se objevují:

- **chrom (Cr)** - zaručuje žárupevnost, žáruvzdornost, otěruvzdornost a odolnost proti korozi a tvoření okují,
- **molybden (Mo)** - zvyšuje odolnost proti vysokoteplotnímu tečení, proti korozi a chemickým vlivům,
- **niob (Nb)** - zvyšuje mez kluzu, pevnost za tepla a mez tečení,
- **vanad (V)** - zvyšuje odolnost proti opotřebení, pevnost za tepla, odolnost proti popouštění a přehřátí a snižuje náchylnost ke stárnutí,
- **wolfram (W)** - zvyšuje odolnost vůči opotřebení při vysoké teplotě a odolnost proti popouštění
- **bór (B)** – přispívá ke zvýšení pevnosti při vysokých teplotách. [4]

Tyto prvky jsou v legovaných ocelích doprovázeny ještě mnoha dalšími, jejichž názvy se v ale označení ocelí neobjevují. Detailní seznam a procentuální zastoupení uvádí norma ČSN EN 10 216-2.

Tabulka 1 - Přehled materiálů pro vysokoteplotní aplikace podle [3]

Rozdělení ocelí	Označení materiálu dle ČSN EN 10 027-1	
	základní	číselné
Nelegované	P195GH	1.0348
	P235GH	1.0345
	P265GH	1.0425
Legované	20MnNb6	1.0471
	16Mo3	1.5415
	8MoB5-4	1.5450
	14MoV6-3	1.7715
	10CrMo5-5	1.7338
	13CrMo4-5	1.7335
	10CrMo9-10	1.7380
	11CrMo9-10	1.7383
	25CrMo4	1.7218
	20CrMoV13-5-5	1.7779
	15NiCuMoNb5-6-4	1.6368
	7CrWVMoNb9-6	1.8201
	7CrMoVTiB10-10	1.7378
	X11CrMo5+I	1.7362+I
	X11CrMo5+NT1	1.7362+NT1
	X11CrMo5+NT2	1.7362+NT2
	X11CrMo9-1+I	1.7386+I
	X11CrMo9-1+NT	1.7386+NT
	X10CrMoVNB9-1	1.4903
	X10CrWMoVNB9-2	1.4901
X11CrMoWVNB9-1-1	1.4905	
X20CrMoV11-1	1.4922	

pozn. +I ... isothermické žhání
+NT ...normalizace + popouštění

2.4. Popis problematiky

Největší pozornost při provozu, jakožto už při samotném návrhu parních potrubí, je třeba věnovat působení a vlivu vysokých teplot na potrubí, konkrétně vyšetřit možné následky jejich dlouhodobého působení a snažit se jim předejít. S tím úzce souvisí problematika vysokoteplotního tečení a posuzování životnosti takových potrubí.

Veškeré výpočty a teorie plynou z míry a způsobu ovlivnění fyzikálních vlastností materiálu změnami teplot a jejich dlouhodobým působením, proto byla předchozí kapitola věnována právě materiálům a jejich vlastnostem, které jsou pro další specifikace a řešení problému nutné znát.

2.4.1. Přehled změn fyzikálních vlastností materiálů způsobené vzrůstající teplotou

- **Hustota**

$$\rho(t) = \frac{\rho_{20}}{[1 + \beta_{20,t}(t - 20)]^3}, \text{ kde} \quad (1)$$

ρ_{20} ... hustota látky při teplotě 20°C

$\beta_{20,t}$... Součinitel teplotní roztažnosti od 20°C do t

$$\beta_{20,t} = \frac{1}{l_{20}} \cdot \frac{l_t - l_{20}}{t - 20}, \text{ kde} \quad (2)$$

l_{20} ... délka vzorku při teplotě 20°C

l ... délka vzorku při teplotě t

- **Diferenciální součinitel lineární teplotní roztažnosti**

Vztažná teplota je $t^* = 0,75 \max(t_1, t_2) + 0,25 \min(t_1, t_2)$

$$\beta_{diff;t} = \beta_{20,t} + \frac{\partial \beta_{20,t}}{\partial t} \cdot (t - t_0), \text{ kde} \quad (3)$$

$t_0 = 20^\circ C$

- **Diferenciální měrná tepelná kapacita**

$$c_{p\,diff;t} = c_{p\,20,t} + \frac{\partial c_{p\,20,t}}{\partial t} \cdot (t - t_0), \text{ kde} \quad (4)$$

$t_0 = 20^\circ C$

$c_{p\,20,t}$... střední měrná tepelná kapacita od $t_0 = 20^\circ C$ do t

- **Součinitel tepelné vodivosti**

$$D_{th} = \frac{\lambda_t}{\rho_t \cdot c_{p\,diff;t}}, \text{ kde} \quad (5)$$

λ_t ... součinitel teplotně závislé tepelné vodivosti

- **Poissonův poměr**

Pro ocelové materiály je poissonův poměr teplotně nezávislý

$\nu = 0,3$. [5]

2.4.2. Vysokoteplotní tečení (vysokoteplotní creep)

Ze známého tahového diagramu ocelí při pokojové teplotě lze vyčíst, že deformace je úměrná působení rostoucí zatěžující síly a vliv času je zde zanedbatelný. To platí ale pouze při nízkých teplotách. Při zvýšení teploty nad určitou hodnotu (u ocelí se tato hranice pohybuje nad 400 °C) bylo zjištěno, že materiál podléhá deformaci i za působení konstantní zatěžující síly. Takový jev je označován jako vysokoteplotní tečení.

Takzvaný vysokoteplotní creep je tedy deformace, která vzniká, je-li materiál vystaven působení konstantního zatížení při zvýšené avšak taktéž konstantní teplotě. Průběh creepu popisuje tzv. křivka tečení, znázorněná na obr.1. Představuje závislost poměrného prodloužení na čase a dělí se celkem na 4 oblasti:

- Oblast I přímo nesouvisí s tečením materiálu, jedná se pouze o počáteční deformaci, složenou z plastické a elastické složky. Je způsobena konstantní zátěžnou silou.
- Oblast II je oblastí přechodového tečení, kdy dochází k prodlužování při snižující se rychlosti zatížení. Je vysvětlována příčným kluzem a chování křivky zde popisuje vztah

$$\varepsilon = \beta \times t^{\frac{1}{3}}, \text{ kde} \quad (6)$$

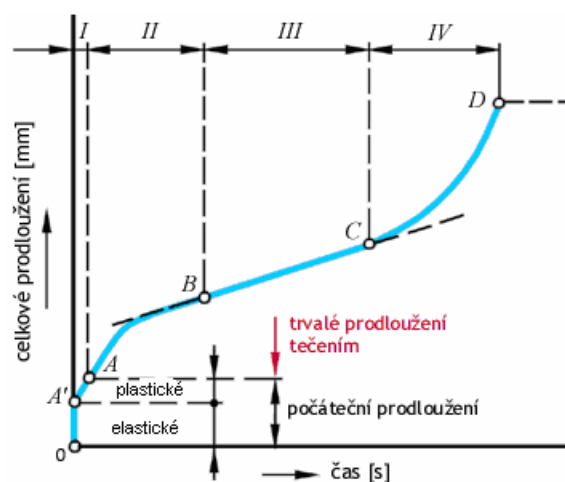
ε ... poměrné prodloužení
 β ... konstanta
 t ... čas

- Oblast III je ta část grafu, kde je průběh lineární dle $\varepsilon = \beta \times t$, kde (7)

ε ... poměrné prodloužení
 β ... konstanta
 t ... čas.

Rychlost tečení je zde téměř konstantní. To je způsobeno skutečností, že rychlosti šíření plastických deformací a současného zotavování (regenerace krystalické mřížky) jsou v rovnováze. V materiálu dochází k pohybu dislokací šplhem i tečení na hranicích jednotlivých zrn.

- Oblast IV představuje zrychlené tečení. V bodě C se v materiálu začínají vyskytovat první mikroskopické poruchy, které se rychle šíří, proto se i rychlost prodlužování neustále zvyšuje, až dojde v bodě D ke creepovému lomu. [6], [7]



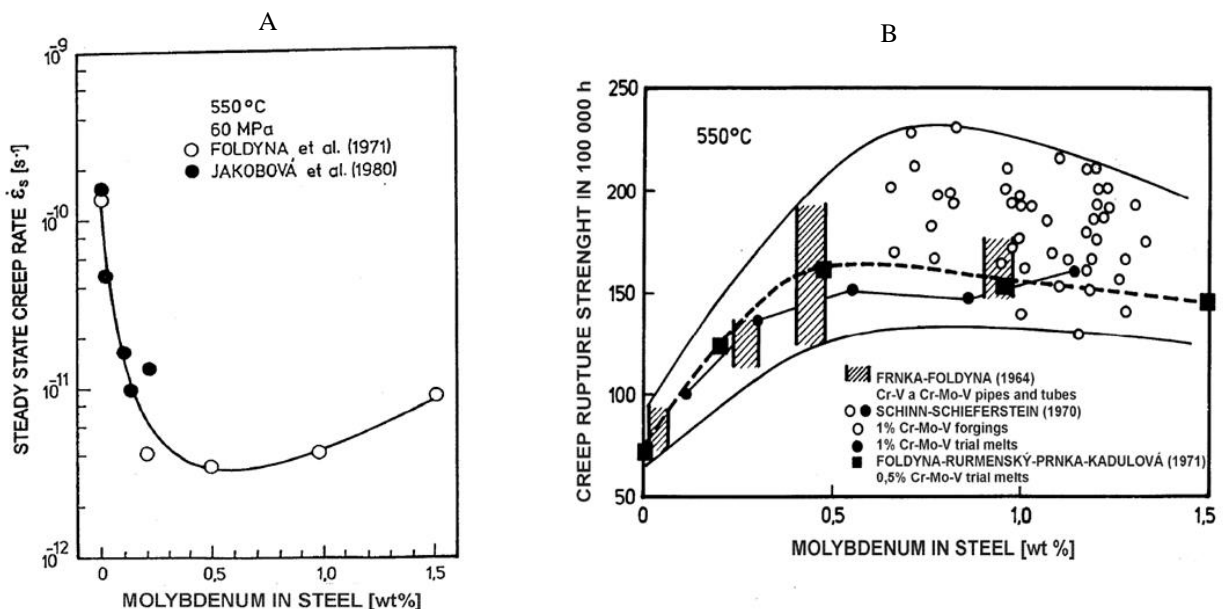
Obrázek 1 - Křivka tečení
- převzato z [7]

Odolnost kovu proti tečení lze ovlivnit. Způsob vychází ze znalosti principu vzniku zmíněných mikroskopických poruch a jejich šíření materiálem.

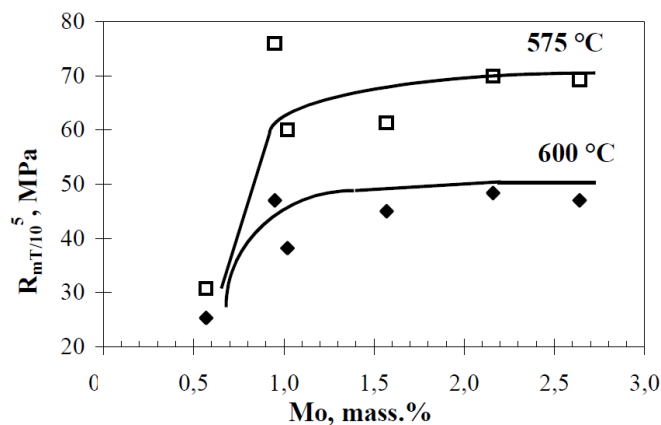
Jsou rozlišovány dva mechanismy jejich vzniku. První z nich se aktivuje při vysokých rychlostech tečení, kdy se koncentruje napětí v místech styku tří hranic zrn a tím je iniciován vznik trhliny, ta se dále šíří prokluzem po hranicích zrn. Druhý mechanismus se vyskytuje naopak při nízkých rychlostech tečení, při kterých mají možnost se projevit zotavovací procesy. Na hranicích krystalů se hromadí vakance a tím je zapříčiněn vznik dutin. V obou případech poruchy vznikají na hranicích krystalů a dále se rozvíjí a šíří difuzním pohybem po hranicích mezi krystaly jako tvárná deformace.

Právě odpor proti plastické deformaci a intenzita zotavovacích procesů jsou hlavními aspekty odolnosti proti tečení. Zamezí-li se pohybu dislokací překážkami v podobě částic precipitátů, docílí se tak zpomalení šíření creepových deformací. Za tímto účelem se precipituje karbidy molybdenu, chromu nebo vanadu. [7]

Vliv obsahu Mo v ocelích je znázorněn na obr. 2 a 3:



Obrázek 2 - A - Vliv obsahu Mo na rychlost tečení nízkolegované oceli
B - Vliv obsahu Mo na creepovou pevnost CrMoV oceli
- Převzato z [8]



Obrázek 3 - Závislost creepové pevnosti na obsahu Mo v 9% Cr ocelích - převzato z [8]

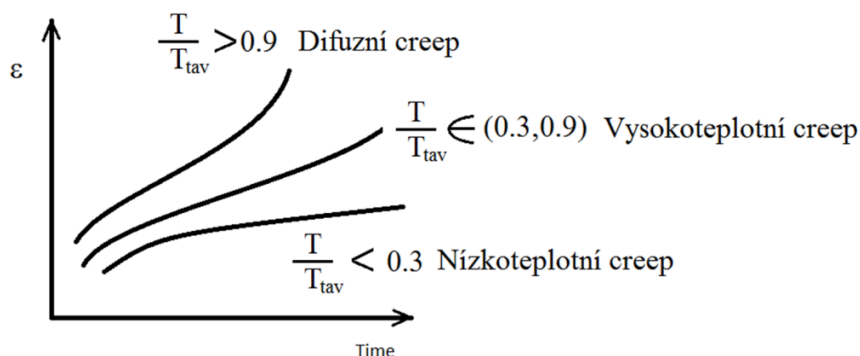
Jak je uvedeno výše, tečení je definováno jako vznik deformací vlivem dlouhodobého působení konstantní teploty. Míra vznikajících deformací ale samozřejmě závisí na hodnotě působící teploty a po logické úvaze lze říci, že bude-li materiál vystaven působení vyšších teplot, pak i míra deformací bude vyšší než v případě nižších teplot. Že je tato úvaha správná dokazuje Arrheniova rovnice

$$\dot{\epsilon} = A \sigma^n \exp\left[-\frac{Q}{RT}\right], \text{ kde} \quad (8)$$

- $\dot{\epsilon}$... rychlost ustáleného (stacionárního) creepu
- A ... koeficient závislý na materiálu (materiálová konstanta)
- n ... creepový exponent (materiálová konstanta)
- σ ... napětí
- Q ... aktivační energie creepu [J/mol]
- R ... univerzální plynová konstanta ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
- T ... teplota.

Hodnota creepového exponentu leží buď v intervalu 3-8 a hovoříme o exponenciálním (z hlediska mechanismu šíření o dislokačním) creepu nebo je blízká číslu 1, kdy jde o případ lineárního creepu (difuzní). [9]

V problematice creepu je uváděn pojem homologická teplota. Jedná se o poměr provozní teploty ku teplotě tavení zkoumaného materiálu a slouží ke kategorizaci tečení dle obrázku 4.



Obrázek 4 - Kategorizace creepu dle homologické teploty - převzato z [6]

2.4.3. Posuzování životnosti

Posuzování životnosti plyne ze znalosti vysokoteplotního tečení, konkrétně z odolnosti materiálu vůči tomuto jevu. Laboratorní zkoušky, při kterých je životnost posuzována probíhají po dobu v řádech měsíců (tisíců hodin), avšak ve skutečnosti většina součástí je navržena pro dlouhodobé používání po dobu několika let (statisíců hodin).

Je proto možné provádět creepové zkoušky a výsledky extrapolovat pro větší časové intervaly. Možností jak toto provést je několik, lze například extrapolovat vhodnou křivku $\sigma - \dot{\epsilon}$ směrem k nízkým $\dot{\epsilon}$ (rychlost ustáleného creepu) nebo $\sigma - t_r$, kde t_r je doba do lomu. Takové aproximace ale není vhodné použít, dochází-li k náhlým přechodům mezi různými creepovými mechanismy, pak totiž musí dojít ke změnám sklonu křivky, které by extrapolací nebyly zohledněny. [9]

Využívá se tak mnohem častěji jiný přístup zjišťování životnosti, který je založen na relativně krátkodobých zkouškách, které ale probíhají za vyšších teplot, než jsou teploty provozní. Je zde využíván parametr vyjadřující ekvivalenci teploty a času. Takové parametry existují 3, podle kterých se rozlišují i jednotlivé přístupy určování životnosti: [9]

• **Parametr Sherbyův Dornův (S-D)**

Základem tohoto přístupu je již zmíněný Arrheniův vztah – rce (8), jehož úpravami bylo dospěno k teorii, že hodnota deformace stacionárního creepu při konstantním napětí je funkcí pouze teploty a času, je označována jako θ a platí

$$\theta_i = t_1 \cdot e^{-\frac{Q}{R \cdot T_1}} = \dots \dots \dots = t_n \cdot e^{-\frac{Q}{R \cdot T_n}} \quad (9)$$

Jestliže tuto rovnici zlogaritmujeme a označíme podmínky lomu (anglicky rupture) $\theta = \theta_r$ a $t = t_r$, dostáváme finální vztah pro Sherbyův Dornův parametr:

$$P_{SD} = \log \theta_r = \log t_r - 0,217 \cdot Q \cdot \frac{1}{T}. \quad (10)$$

Uvažuje se zde čas v hodinách, konstanta $R \sim 2 \frac{\text{cal}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$ a teplota T v kelvinech. Aktivační energie Q je materiálovou konstantou, pro oceli odpovídá $Q \approx 90\,000 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$.

• **Parametr Larsonův Millerův (L-M)**

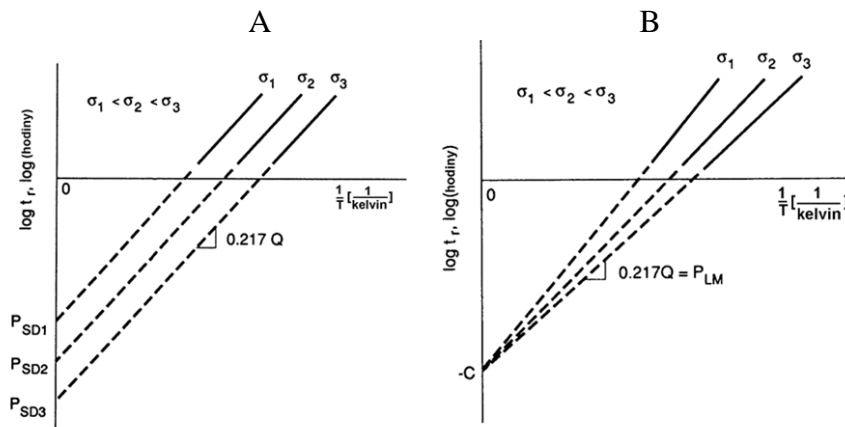
L-M parametr je odvozován stejným způsobem jen za mírně odlišných předpokladů a má tvar $P_{LM} = 0,217 \cdot Q = T \cdot (\log(t_r) - \log \theta_r)$, kde

se pro zřetelnost zavádí konstanta $C = -\log \theta_r$. Hodnota C nabývá pro oceli hodnot $C \approx 20$.

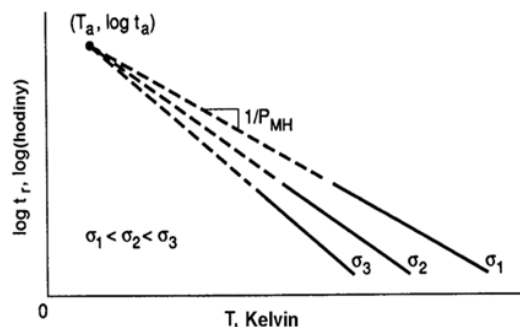
• **Parametr Mansonův Haferdův (M-H)**

Parametr, založený na empirickém zjištění lineární závislosti $\log t_r$ na $\frac{1}{T}$. Všechny získané přímky se musí protínat v bodě $[T_a, \log t_a]$ a směrnice každé přímky, tedy M-H parametr je

$$P_{MH} = \frac{T - T_a}{\log(t_r) - \log(t_a)}. \quad (12)$$



Obrázek 5 – Způsob zobrazení parametrů: A - P_{SD} , B - P_{LM} - Převzato z [9]



Obrázek 6 – Způsob zobrazení parametru P_{MH} - Převzato z [9]

2.5. Způsob návrhu potrubního systému

Při návrhu potrubí jsou vstupními informacemi provozní a okolní podmínky a charakteristika a množství látky, pro kterou je potrubí určeno. Rozměr potrubí určují návrhová kritéria, kde hlavní roli má provozní tlak a teplota, v úvahu se ale berou i další kritéria jako dynamické účinky proudící kapaliny (popřípadě vnější dynamické účinky např. větru), tíha proudící kapaliny i vlastní tíha potrubí či tepelná dilatace.

2.5.1. Návrhová kritéria

Návrhovými kritérii jsou označovány hodnoty dovolených napětí, zatížení a dalších speciálních omezení pro návrh potrubí a potrubních komponentů.

Co se týká tlakově-tepelných omezení, u některých komponentů potrubí může být stanoveno omezení nezávislé na použitém materiálu, tzn., že dovolená namáhání součástky jsou nižší, než hodnoty určené použitým materiálem, u trubek jsou ale určující právě dovolené materiálové hodnoty. Pro jednotlivé vyráběné komponenty jsou vymezeny normální provozní podmínky (určitá tlaková a teplotní omezení) a případné možnosti odchýlení od těchto podmínek (např. je dovoleno, aby součást byla vystavena na určitou dobu vyššímu namáhání). [10]

Dovolená napětí jsou pro různé typy trubek (bezešvé, svařované – dle způsobu svařování) odlišné a jsou dány normou ASME B31.1-2007, kde jsou hodnoty dovolených napětí udávány právě v závislosti na provozní teplotě. A ze zjištěných hodnot dovoleného namáhání jsou určovány rozměry trubek např. ze vztahu

$$S_{lp} = \frac{P \cdot d_n^2}{D_0^2 - d_n^2}, \text{ kde} \quad (13)$$

S_{lp} ... dovolené napětí v tahu (z ang. longitudinal pressure stress)

P ... maximální působící tlak

D_0 ... vnější průměr trubky

d_n ... vnitřní průměr trubky.

Minimální tloušťka stěn trubek v místech závitů, svarů, ohybů je taktéž normována, stejně tak i samotné rozměry spojů (svary, závitování). [10]

2.5.2. Způsob návrhu

Dle rozměrů potrubí, jež vyhovuje všem podmínkám návrhu, dále dle teploty a tlaku dopravovaného média stanoví projektant příslušnou jmenovitou světlost (DN), což je normalizovaný rozměr potrubí. Někdy se shoduje s vnitřním průměrem trubky, není to ale pravidlem. DN je totiž přiřazována na základě vnějšího průměru potrubí a tlaku, jemuž má sloužit (vlivem možnosti působení odlišných tlaků se tak mění i tloušťka stěn, tudíž i vnitřní průměr). Používané jmenovité světlosti (tab.3) jsou dány normou ČSN EN 10216-2. [1]

Komponenty potrubí jsou voleny podle určené jmenovité světlosti a z důvodu ekonomického využití konstrukčních materiálů a urychlení volby součásti také podle jmenovitého tlaku (PN) a pracovního stupně. Jmenovitý tlak udává hodnotu maximálního pracovního přetlaku, kterému může být volená součást vystavena při teplotách do 200°C. Pracovní teplota v potrubí ale mnohdy tuto hodnotu přesahuje a s rostoucí teplotou pevnost materiálu klesá, proto byla zavedena ještě řada teplot určující pracovní stupně. Hodnota pracovního stupně a jmenovitého tlaku spolu souvisí, dle tabulky 2. [1]

Tabulka 2 - Jmenovité tlaky (PN) a pracovní stupně [1]

PN	Pracovní stupně											Společný zkušební přetlak p_x [$kp \cdot cm^{-2}$]	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		
	Nejvyšší pracovní teplota t_{max} [$^{\circ}C$]												
	200	300	400	425	450	475	500	525	550	575	600		
	Nejvyšší pracovní přetlak p_{max} [$kp \cdot cm^{-2}$]												
0,2	0,2											ve vývoji	1
0,4	0,4												1
1	1	1											2
2,5	2,5	2											4
(4)	4	3,2											6
6	6	5	4										9
(8)	8	6,4	5										12
10	10	8	6,4										15
(12,5)	12,5	10	8										19
16	16	13	10										24
(20)	20	16	13										30
25	25	20	16										38
(32)	32	25	20										48
40	40	32	25										60
(50)	50	40	32										75
64	64	50	40										96
(80)	80	64	50										120
100	100	80	64										150
(125)	125	100	80										190
160	160	125	100										240
(200)	200	160	125										300
250	250	200	160										375
320	320	250	200										480
400	400	320	250										600
500	500	400	320									750	
640	640	500	400									960	
800	800	640	500									1 200	
1 000	1 000	800	640									1 500	
1 250	1 250	1 000	800									1 900	
1 600	1 600	1 250	1 000									2 400	

Tabulka 3 – Nejpoužívanější jmenovité světlosti (DN) [3]

DN	
Označení	Vnější průměr [mm]
DN 15	21,3
DN 25	33,7
DN 50	60,3
DN 80	88,9
DN 100	114,3
DN 150	168,3
DN 200	219,1
DN 250	273,0
DN 300	323,9
DN 350	355,6
DN 400	406,4
DN 500	508,0

Z těchto tabulek lze tedy vyčíst, že například při volbě vhodné příruby s vnitřním průměrem 200 mm, pro páru o tlaku 55 kp cm^{-2} a teplotě 500 °C bude zvolena ta s označením: Příruba DN 200 PN 64/VII. Nejprve je v označení uváděn název komponentu, poté jmenovitá světlost a její hodnota, následně pak jmenovitý tlak a jeho hodnota, kde je za lomítkem římskou číslicí uveden pracovní stupeň.

Použití součásti o vyšší DN a PN než je potřeba by z konstrukčního hlediska nebylo závadou, avšak z hlediska ekonomické výhodnosti by zvolená součást měla být plně využita, to znamená, že hodnoty pracovního tlaku a teploty by se měly co nejvíce blížit maximálním hodnotám odpovídajícím volenému PN a pracovnímu stupni. [1]

2.5.3. Tepelná dilatace a způsoby její kompenzace

Vzhledem ke skutečnosti, že potrubí je vystavováno působení různých teplot, podléhá jevu známému jako tepelná dilatace, pro vysoké pracovní teploty se jedná o roztažnost, za snížených teplot bychom mluvili o smršťování. Ačkoliv ocelová potrubí nepodléhají tepelné dilataci v tak velké míře jako například potrubí plastová, je přesto velice důležité ji uvažovat a vyvarovat se tak nežádoucím následkům.

Příčinou vzniku tepelných dilatací je rozdíl provozní teploty a teploty při montáži. Délka potrubí se tak změní v závislosti na hodnotě rozdílu těchto dvou teplot a na materiálu podle vzorce:

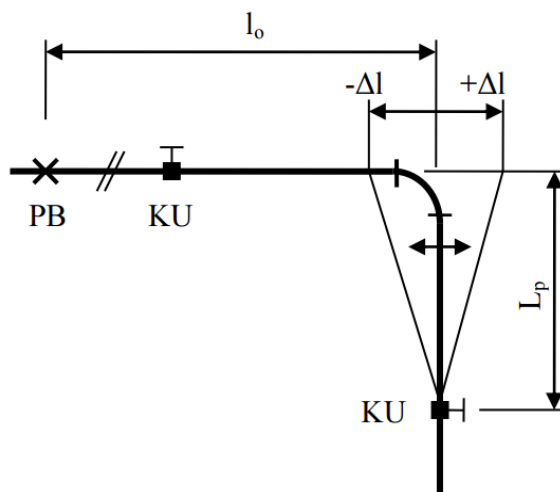
$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta t, \text{ kde} \quad (14)$$

Δl ... prodloužení,
 α ... součinitel délkové roztažnosti (materiálová konstanta),
 l_0 ... výpočtová délka odpovídající délce před prodloužením,
 Δt ... rozdíl provozní a montážní teploty. [11]

V důsledku působení zvýšené provozní teploty má tedy potrubí tendenci se roztáhnout ve směru jeho osy a je třeba toto vzniklé osové napětí kompenzovat, tzn. umožnit protažení a předejít tak případným poruchám. K tomuto účelu slouží kompenzátory, které se dělí do dvou skupin podle způsobu kompenzace na ohybové a osové. [11]

- **Ohybové kompenzátory**

Kompenzace pomocí ohybů a oblouků, které jsou do potrubí umísťovány spolu s kluznými body, umožňujícími pohyb potrubí. Ke kompenzaci se využívá kolmých změn směru vedení potrubí ať už přirozenými ohyby potrubí nebo záměrně vytvořenými vlnami. Důležitým aspektem takového kompenzátoru je rozteč kluzných uložení (KU) a volná délka pružného ramene L_p , jehož okolí nesmí být umístěna žádná překážka bránící pohybu.



Obrázek 7- Schéma ohybového kompenzátoru - převzato z [11]

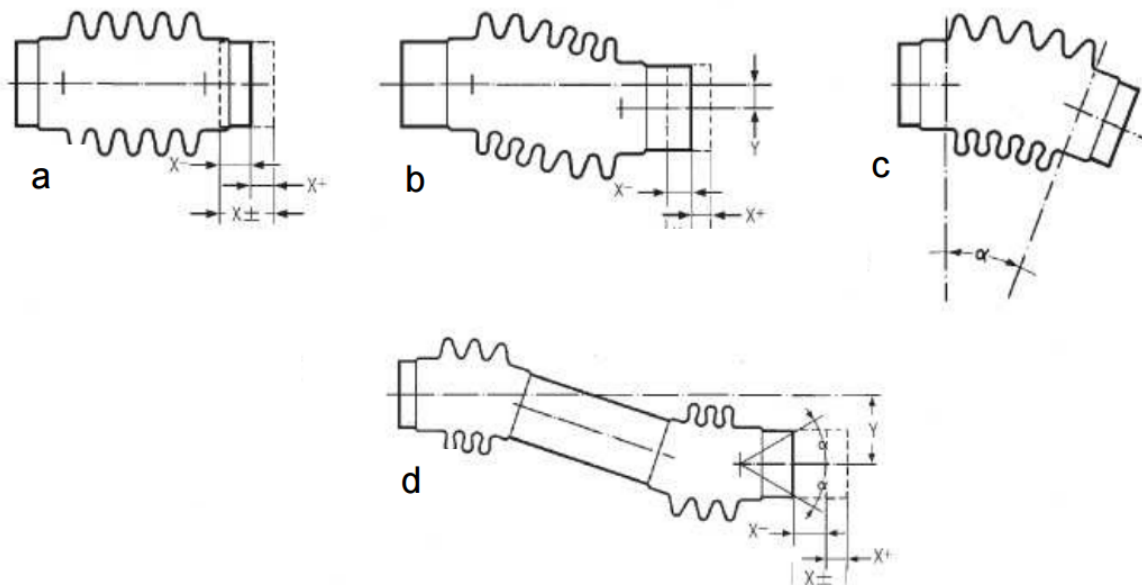
Hodnota volné délky vychází z hodnoty prodloužení od dilatace Δl a k jejímu zjištění se využívá vzorec

$$L_p = C \cdot \sqrt{\Delta l \cdot D}, \text{ kde} \quad (15)$$

C ... materiálová konstanta (pro oceli cca 45)
 D ... vnější průměr potrubí.

- **Osové kompenzátory**

Tohoto druhu kompenzátoru se využívá, není-li v okolí potrubí dostatek prostoru pro ohybový kompenzátor. Nevýhodou je zde výrobcem definovaná hodnota maximální dosažitelné kompenzace. Do této kategorie spadají kompenzátory vlnovcové a ucpávkové. Zatímco ucpávkových kompenzátorů se využívá výhradně ke kompenzaci osových posuvů trvale sousého potrubí, výhoda vlnovcových je možnost eliminace úhlových odchylek a nesouososti potrubí.



Obrázek 8- Možnosti vlnovcového kompenzátoru – převzato z [2]
a – základní poloha kompenzátoru
b – eliminace nesouososti potrubí
c – eliminace úhlové odchylky
d – eliminace nesouososti i úhlové odchylky

2.6. Způsob ukládání potrubí

Mezi důležité části potrubí patří jeho uložení, která plní hlavně funkci zachycení hmotnosti potrubí a funkci upevňovací. Působením mnohdy nemalých napětí a sil má potrubí tendenci vybočovat z trasy, která je mu předem vyhrazena, proto je potřeba po určitých úsecích zařadit uložení, které takovému vychýlení zabrání. Z hlediska návrhu uložení je výchozí znalost zátěžných účinků, resp. vektorový součet působících sil a výsledný moment. Jedná se o účinky sil:

- od vnitřního přetlaku,
- od výsledné tíhy potrubí,
- deformačních, potřebných k překonání odporů kompenzátorů,
- od sousedních úseků (jejich tíhy, dilatace, posuvů).

Kromě zachycování působících sil je úkolem uložení v maximální možné míře tlumit případné vznikající rázy a chvění, což může být způsobeno prouděním média, připojením na zařízení jako např. čerpadlo či vlivy okolního prostředí. [12]

2.6.1. Rozteč uložení

Rozteč uložení je doporučená maximální vzdálenost mezi dvěma sousedními uloženími. Je nezávislá na konkrétním druhu uložení, závisí pouze na rozměrech a provedení potrubí, na zatížení a charakteristice použitého materiálu. Jednoznačně lze určit jen rozteč uložení dlouhých vodorovných potrubí, která lze považovat za nosník, pak rozteč uložení l musí splňovat následující vztahy:

$$l_1 \leq \frac{Q}{\rho \cdot q}, \quad (16)$$

$$l_2 \leq \sqrt{\frac{W \cdot \sigma_{a0}}{\mu \cdot q}}, \quad (17)$$

$$l_3 \leq \sqrt[3]{\frac{s \cdot J \cdot E}{\omega \cdot q}}, \text{ kde} \quad (18)$$

l_1 ... rozteč daná nosností uložení [cm],
 q ... celková tíha potrubí o délce 1 cm [kp/cm],
 ρ ... součinitel podporové reakce [–],
 Q ... přípustné zatížení na jedno uložení [kp],
 l_2 ... rozteč daná přípustným ohybovým namáháním [cm],
 W ... průřezový modul trubky [cm³],
 σ_{a0} ... přípustné ohybové namáhání potrubí [kp/cm²],
 μ ... součinitel největšího ohybového napětí v místě uložení [–],
 l_3 ... rozteč plynoucí z největšího sklonu ohybové čáry [cm],
 s ... spád potrubí [cm/cm],
 J ... moment setrvačnosti průřezu trubky [cm⁴],
 E ... modul pružnosti materiálu trubky [kp/cm²],
 ω ... součinitel největšího sklonu ohybové čáry [–].

Hodnoty používaných součinitelů jsou uvedeny v tabulce 4. [12]

Tabulka 4 - Číselné hodnoty součinitelů ρ, μ a ω - převzato z [12]

Tuhost podpěr	ρ	μ	ω
Tuhé podpěry; uložení, jehož výškovou polohu lze za provozu sledovat a upravovat	1,0 (až 1,2)	0,083	0,008
Možnost poklesu jedné z podpěr uložení, jehož stav a změna výškovou polohou lze za provozu sledovat a upravovat	1,5 až 2,0	0,20 až 0,5	0,03 až 0,04

Tento postup je relativně přesný pro návrh rozteče uložení u dlouhých vodorovných potrubí, protože lze toto potrubí při výpočtech považovat za nosník, konkrétně nosník oboustranně vetknutý a rovnoměrně zatížený. Pro potrubí, která nelze takto jednoduše přirovnat k nosníku (svíslá potrubí, potrubí často měnící svůj směr) neexistuje jednotná směrnice pro určení přesné rozteče. Orientačně lze ale pro návrh ukládání rovných úseků ocelových potrubí vycházet z tabulky 5, kde je rozteč přiřazena dle jmenovité světlosti, typu proudícího média a izolace.

**Tabulka 5 - Směrné hodnoty pro předběžné odhady rozteče uložení potrubí z ocelových trubek
– převzato z [12]**

Potrubí DN	Rozteč uložení [m]						
	Vodní potrubí				Parovody		Plynovody
	Bez tepelné izolace		Tepelně izolovaná		Tepelně izolované		Bez tepelné izolace
25	2,6		1,8		1,8		2,7
32	3,0		2,1		2,1		3,1
40	3,4		2,4		2,5		3,5
50	4,0	4,2	3,1	2,9	3,2	3,1	4,3
(60)	4,4		3,3		3,4		4,7
65	5,0		3,9		4,0		5,4
80	5,3		4,2		4,4		5,8
(90)	5,5		4,4		4,6		6,1
100	5,9	6,1	4,5	4,6	4,7	5,0	6,5
125	6,4		5,1		5,4		7,3
150	7,0	7,4	5,8	5,9	6,1	6,4	8,1
(175)	7,8		6,6		7,0		9,0
200	8,3	8,4	7,2	7,1	7,7	7,6	9,7
(225)	8,7		7,6		8,2		10,2
250	9,1	9,2	7,8	8,1	8,5		10,8
300	9,8	10,0	8,6	8,8	9,4	9,5	11,8
350	10,5	10,8	9,3	9,6	10,3		12,8
400	11,3	11,6	10,2	10,4	11,3	11,4	13,6
450	12,0	12,5	11,0	11,2	12,3		14,5
500	-	-	-	-	-	-	-

2.6.2. Typy uložení

Druh uložení se volí dle požadovaných možností pohybu (počtu stupňů volnosti) a právě z tohoto hlediska se dělí do čtyř skupin:

- zakotvení (pevná uložení),
- osová vedení (umožňují posuv v ose potrubí),
- stranové zarážky (zamezují pohybu v daném směru),
- pevné podpěry a závěsy (zachycují pouze svislá zatížení),
- pružná uložení (umožní pohyb ve všech směrech při zachycení hmotnosti). [12]

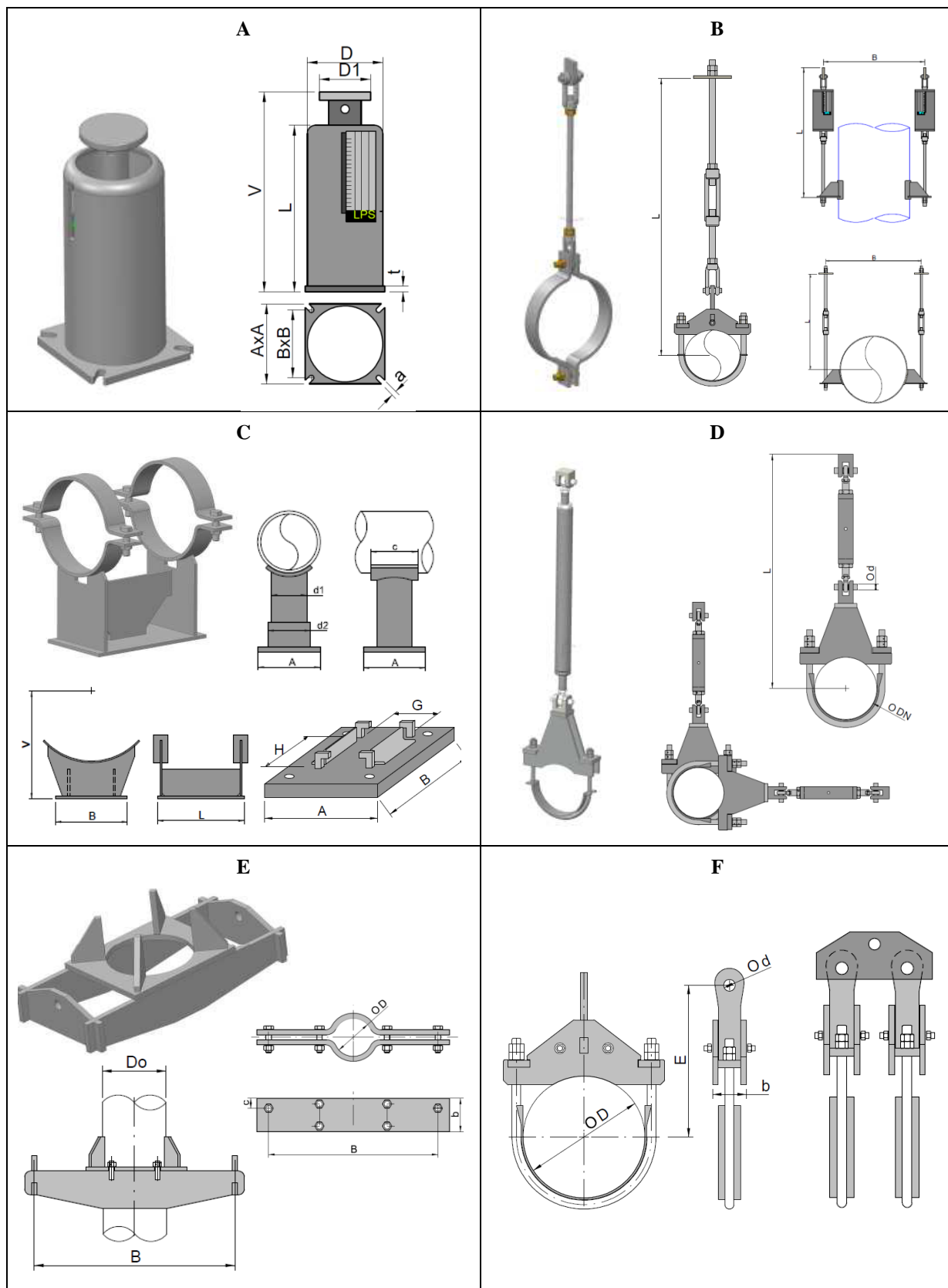
Dle přesných požadavků na funkci uložení a možností upevnění lze volit z mnoha typů, viz tab. 6, kde možnosti použití (teplotní rozmezí, velikost) jsou uvedeny u jednotlivých typů v katalogích výrobců.

Tabulka 6 - přehled typů uložení podle funkce - převzato z [13]

Název	Popis	Zkratka značení
Pevný závěs	Přenos vertikálního zatížení zavěšením pomocí tuhého táhla s tuhým omezením svislého posuvu dolů. Možnost seřízení výšky při montáži, pro potrubí nad DN80 vždy i za provozu. Musí umožnit výchylku od svislé osy $\pm 4^\circ$. Dále se dělí na jedno nebo dvoutáhlový, pro svislé nebo vodorovné potrubí.	RH
Pružinový závěs	Přenos vertikálního zatížení zavěšením pomocí táhla a pružinového bloku s lineární charakteristikou. Možnost posuvů potrubí ve svislém směru. Možnost seřízení zatížení při montáži i provozu. Musí umožnit výchylku od svislé osy $\pm 4^\circ$. Dále se dělí na jedno nebo dvoutáhlový, pro svislé nebo vodorovné potrubí.	SH
Konstantní závěs	Přenos vertikálního zatížení zavěšením pomocí táhla a pružinového bloku s charakteristikou stálé síly, neproměnné na posuvu pružiny. Ostatní vlastnosti a varianty jsou stejné jako SH.	CH
Podpěra kluzná	Přenos vertikálního zatížení pomocí patky pod potrubím nebo dvou patek ve svislém potrubí. Umožňuje libovolné posuvy ve vodorovném směru.	SS
Pružinová podpěra	Přenos vertikálního zatížení pomocí patky pod potrubím nebo dvou patek ve svislém potrubí a pružinového bloku s lineární charakteristikou. Umožňuje posuvy ve vodorovném směru.	VS
Konstantní podpěra	Přenos vertikálního zatížení pomocí patky pod potrubím nebo dvou patek ve svislém potrubí a pružinového bloku pružinového bloku s charakteristikou stálé síly, neproměnné na posuvu pružiny. Umožňuje posuvy ve vodorovném směru.	CS
Pevný bod	Konstrukce, která omezuje nebo váže posuvy a natočení potrubí ve všech směrech. Přenos tří složek sil a tří složek momentů.	FP
Podpěra kluzná nezdvižná	Kluzná podpěra se zabráněním posuvu v kladném svislém směru. Umožňuje posuvy ve vodorovném směru.	SLS
Vedení	Konstrukce, která umožňuje posuv v ose trubky a omezuje všechny ostatní posuvy, a to bez vůle nebo se zadanou vůlí (mezerou).	G
Podpěra s vedením	Kluzná podpěra, která je doplněna o omezení posuvů v laterálním vodorovném směru. Zařízení pro omezení posuvů je umístěno obvykle na základně podpěry.	GS
Podpěra s vedením nezdvižná	Podpěra s vedením, která je doplněna o omezení posuvu v kladném svislém směru	GLS
Osová zarážka	Konstrukce, která umožňuje posuv ve všech směrech s výjimkou posuvu v ose trubky, a to bez vůle nebo se zadanou vůlí (mezerou).	A
Podpěra se zarážkou	Kluzná podpěra, která je doplněna o omezení posuvů v osovém vodorovném směru. Zařízení pro omezení posuvů je umístěno obvykle na základně podpěry.	AS
Podpěra se zarážkou nezdvižná	Podpěra se zarážkou, která je doplněna o omezení posuvu v kladném svislém směru	ALS
Zarážka	Konstrukce, která omezuje nebo váže posuvy ve všech směrech, ale umožňuje všechna natočení. Přenos tří složek sil.	R
Kloubová vzpěra	Konstrukce, která omezuje nebo váže posuv v jednom směru, a to kladném i záporném smyslu, a umožňuje všechna natočení. Ve volných směrech nevznikají třecí síly.	RS
Tlumič rázů	Zařízení, které omezuje posuv v jednom směru, a to v kladném i záporném smyslu, při pohybu překračujícím prahovou rychlost. Posuvy vykonávané pod prahovou rychlostí jsou uvolněné.	SN
Omezovač kmitů	Seřiditelný pružinový blok s charakteristikou v obou směrech posuvů nebo blok s třecím mechanismem pro omezení vibrací nebo výkyvů potrubí.	SB

Tabulka 7 – příklady potrubních uložení [14]

A – pružinová podpěra; B – závěsy; C – podpěry a kluzné desky; D – vzpěry
E – objímky; F – třmenové závěsy



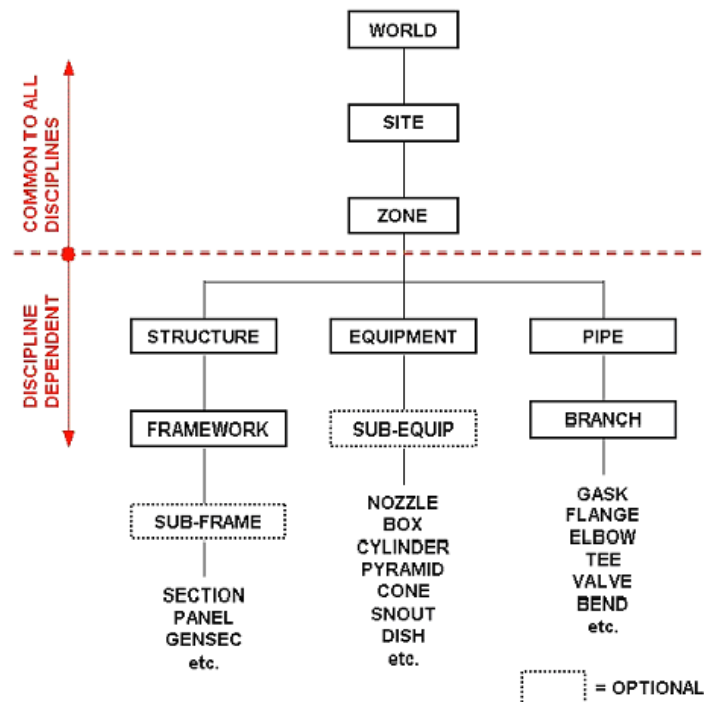
2.7. Použitý software

2.7.1. PDMS

Název programu je zkratkou anglického Plant Design Management Systém. Program byl vytvořen v roce 1967 v Cambridge ve Velké Británii prvotně pro účely tamního ministerstva technologií. Je poskytován firmou AVEVA a dnes hojně využíván v několika oblastech průmyslu.

Jedná se o víceuživatelské návrhové 3D prostředí, sloužící k projektování komplexních celků jako například elektráren, tepláren či výrobních budov. Při přihlašování do projektu v programu PDMS je nutno zvolit modul, dle účelu práce v programu. Kromě konstrukčního modulu ‚design‘ lze zvolit také ‚draft‘ pro tvorbu výkresové dokumentace z vytvořeného modelu nebo administrační moduly například pro tvorbu databází.

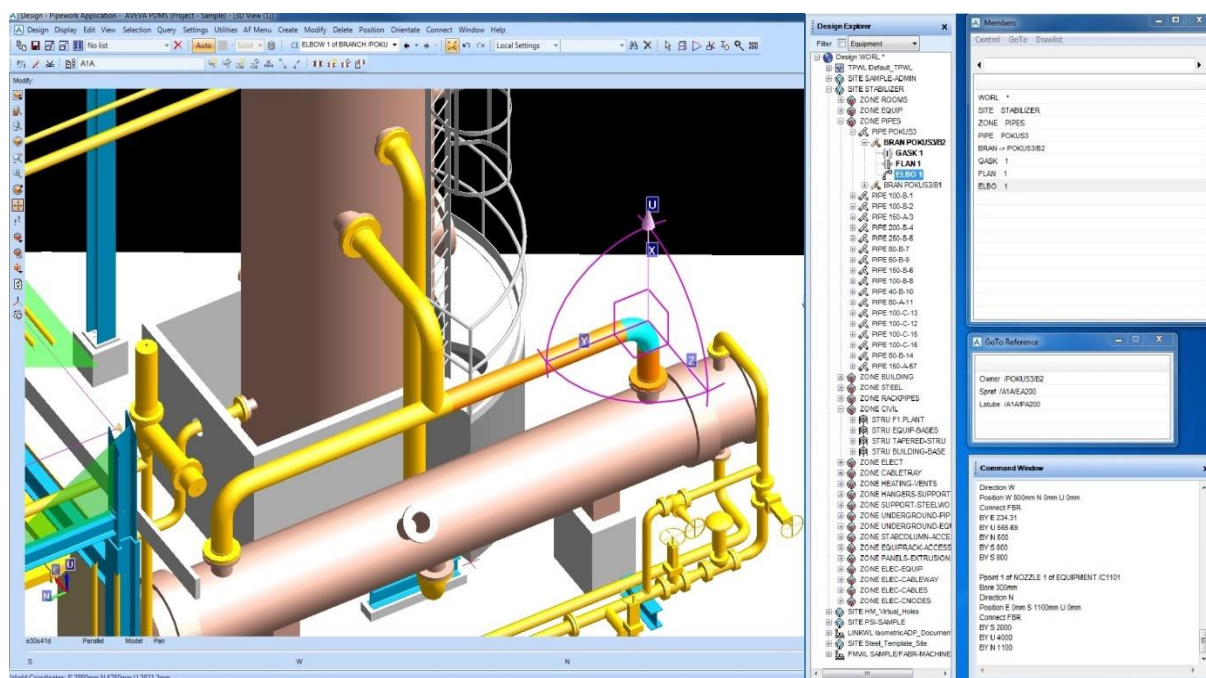
K vlastní tvorbě návrhu slouží tedy modul design. Data uložená do programu se řídí vnitřní hierarchií dle obr. 9, s čímž je spjat i způsob vytváření modelu, kdy např. chce-li uživatel vytvořit v potrubí (‚pipe‘) koleno (‚elbow‘ nebo ‚bend‘), je třeba stát v hierarchii ve správně ‚branch‘ a na prvku za který chce koleno umístit.



Obrázek 9 - Hierarchická struktura PDMS – převzato z [15]

K navigaci v hierarchické struktuře modelu lze použít několik způsobů, vývojově nejstarší a nejrychlejší je využití příkazového řádku, novější verzí je využití aplikace ‚members‘ a nejnovějším způsobem je navigování pomocí ‚design explorer‘, který se již z důvodu lepší orientace podobá navigačním oknům jiných moderních CAD systémů. Vše zmíněné je názorné na obr. 10.

Menu pro modelování je přizpůsobeno tomu, ve které oblasti se uživatel právě pohybuje. Tvorbě a editaci potrubí je v novějších verzích speciálně uzpůsoben ‚modeeditor‘, kde lze změny provádět přímo pomocí grafických úprav bez hledání potřebné funkce v jednotlivých oknech menu. Vše lze také samozřejmě jednoduše ovládat z příkazového okna, avšak za předpokladu znalosti příkazových zkratk.



Obrázek 10 - Uživatelské prostředí PDMS

Po vytvoření potrubní trasy nebo jiného útvaru v modelu lze jednoduše provést kontrolu kolizí, kdy jsou-li aktivní izolace a obstrukční prostory, program vyhodnotí, zda nenastane při daném rozložení nějaký problém a v případě že ano, lze jednoduše vyčíst kde a následně model v tomto místě opravit. [15]

2.7.2. Autodesk Navisworks Freedom

Autodesk je nadnárodní firma poskytující CAD softwary zaměřující se na 3D grafiku, vytvořená v roce 1982 v Kalifornii. Navisworks je jedním z mnoha produktů vyvinutých touto firmou, který je určen jako doplněk návrhovým CAD programům. Slouží pro sjednocení rozsáhlých návrhových dat a orientaci v nich. Pomocí jednoduché navigace je uživateli umožněno podybovat se 3D modelem jako reálným prostředím. Zahrnuje funkce revizních procesů. Software je tak hojně využíván hlavně v oblasti stavebnictví.

Navisworks Freedom slouží výhradně pro prohlížení importovaných dat a jejich prezentaci. [16]

2.7.3. Caesar II

Caesar II je výpočetní program zaměřený na výpočetní napěťové analýzy potrubí vytvořený americkou firmou Intergraph.

Tento software je určen pro pevnostní výpočty potrubních tras, kdy jsou zohledňovány veškeré aspekty, jež mají vliv na pevnost potrubí. Zohledňuje tak kromě návrhových parametrů (rozměry, uložení) a plánovaných pracovních podmínek (teplotní a tlakové zatížení) i například povětrnostní podmínky nebo je-li ověřován návrh potrubní trasy určené pro oblast zvýšené seismické aktivity, je možno zahrnout i vliv zemětřesení. Pro lepší orientaci v modelu při jeho definování a zadávání vstupních dat a charakteristik je program vybaven přehledným grafickým prostředím, kde lze s 3D modelem dle potřeby manipulovat a upravovat ho. [17]

3. PRAKTICKÁ ČÁST

3.1. Úvod do problematiky řešeného problému

Cílem druhé části práce je aplikovat znalosti získané zpracováním předchozí teoretické části na konkrétním případě, na kterém je zřejmá celá řešená problematika, naučit se používat vhodný software určený pro projektování a získat tak všeobecný přehled o náplni práce projektanta průmyslových potrubí.

Náplní praktické části práce je tedy komplexní návrh vlastního potrubního uzlu, který zahrnuje výběr vhodného materiálu pro danou konkrétní hodnotu provozní teploty a tlaku proudícího média, návrh trasy v reálném prostoru budovy elektrárny, kontrola navržené trasy z hlediska teplotní dilatace a případné zahrnutí dalších kompenzačních útvarů, vhodné rozmístění a výběr uložení potrubí, finální ověření celého uzlu statickým výpočtem a případná optimalizace návrhu.

3.2. Konkrétní uvedení úlohy

Má být uskutečněn vlastní návrh části potrubní trasy v místě parního okruhu elektrárny, konkrétně bude k tomuto účelu využít projekt elektrárny ve Finském Tampere.

Jedná se tedy o úsek potrubí spojující potrubní část vedoucí z kotle s parní turbínou. Proudícím médiem tedy bude přehřátá pára, jejíž teplota v tomto úseku je 405°C a tlak odpovídá hodnotě 41 barů tedy 4,1 Mpa. Předem je taktéž známý počátek a konec požadované trasy a konkrétní rozvržení budovy elektrárny, tedy vymezení prostoru pro trasování potrubí.

3.3. Vlastní návrh

3.3.1. Materiál a rozměr potrubí

Dle návrhových (maximálních) parametrů proudící páry bylo navrženo a teplotně pevnostním výpočtem ověřeno (mimo rozsah zadání práce) potrubí vnějšího průměru 273 mm (DN 250) a tloušťky stěny 10 mm.

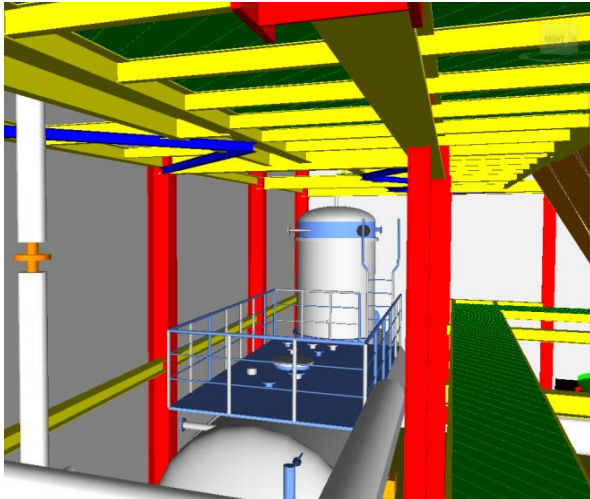
Jako nejvhodnější pro daný případ byl zvolen materiál 16Mo3 (1.5415). Jedná se o legovanou ocel s chemickým složením: C 0,12 - 0,2, Si \leq 0,35, Mn 0,4 – 0,9, P \leq 0,025, S \leq 0,02, Cr \leq 0,3, Mo 0,25 – 0,35, Ni \leq 0,3, Al \leq 0,04, Cu \leq 0,3, kde hodnoty jsou uvedeny v hmotnostních procentech. Minimální smluvní mez kluzu materiálu při teplotě 400 °C odpovídá $R_{p0,2} = 156$ MPa, pevnost v tahu $R_m = 450 - 600$ Mpa a mez pevnosti při tečení pro pracovní teploty do 450 °C je: po 10 000 h – 298 Mpa, po 100 000 h – 236 Mpa, po 200 000 h – 218MPa a po 250 000 h – 210 Mpa. [3]

3.3.2. Trasa

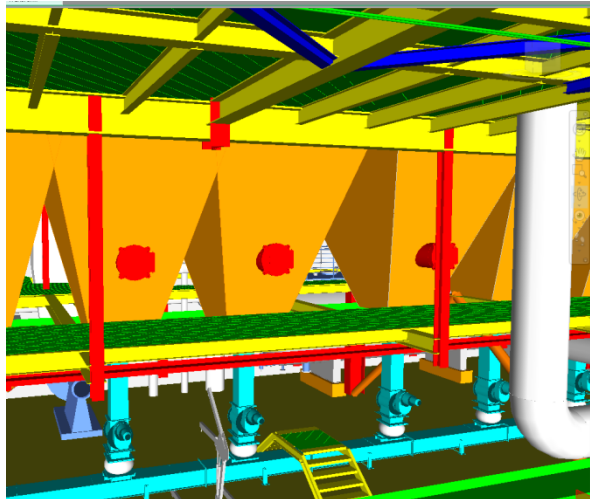
Prvotní rozvržení trasy závisí pouze na prostoru, kterým má trasa procházet. Je důležité se vyhnout všem překážkám, přes které nelze potrubí vést, stejnětak jako si uvědomit, že každý prvek v layoutu musí mít kolem sebe jakýsi minimální objem, takzvaný obstrukční prostor, do kterého žádný jiná věc nebo zařízení nesmí zasahovat ať už z důvodu montáže a obsluhy zařízení nebo bezpečnosti. Například byla-li v budově již navržena plošina určená k pohybu obsluhy, je vyloučen jakýkoliv zásah do prostoru nad ní do minimální výšky 2,3 m.

Trasu je tedy třeba vést mimo překážky, ale zároveň si uvědomit, že je vždy nutné potrubí uložit, tudíž vytvořit trasu uprostřed prázdného prostoru, kde nebude možnost potrubí upevnit k nějaké stěně, zemi či konstrukci taktéž není nejvhodnější.

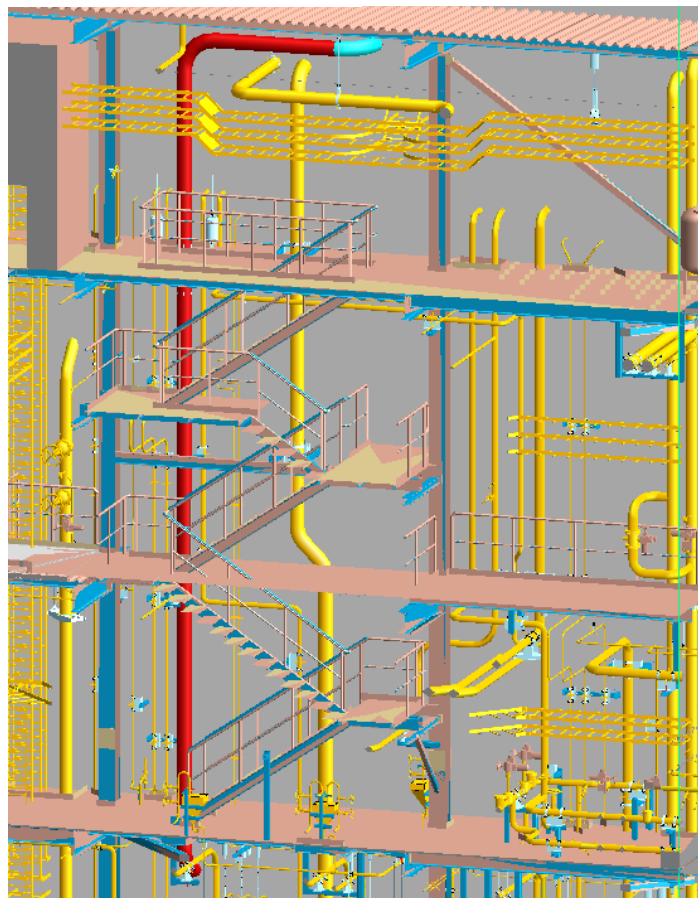
Při návrhu trasy v tomto projektu (již definovaném prostředí elektrárny) bylo tedy zapotřebí obejít překážky typu plošiny, jiná potrubí, nádrže, ocelové konstrukce, schodiště, ovládání cizích armatur, vymezené prostory pro manipulaci, apod. Konkrétně jsou překážky znázorněny na obrázcích níže, vytvořených z programu Autodesk Navisworks (obr.11 a 12), jež byl využíván právě za účelem vizualizace prostředí a překážek a z programu PDMS (obr.13), ve kterém bylo potrubí vytvářeno. Na obrázku 13 je červenou barvou znázorněno právě navrhované potrubí.



Obrázek 11 - Prostředí v programu Navisworks II.



Obrázek 12 - Prostředí v programu Navisworks I.



Obrázek 13 - Prostředí v programu PDMS

V první části návrhu bylo vytvořeno potrubí o celkové délce přesahující 32 metrů.

3.3.3. Kompenzace

Na trase byl určen pevný bod (v místě znázorněném na obr. 14), rozdělující navržený úsek na dvě části, které byly propočítány z hlediska teplotní dilatace. Aplikací následujících vzorců byla zjištěna potřebná délka kompenzačních úseků

$$\Delta l = \alpha \times L \times \Delta T \quad (19)$$

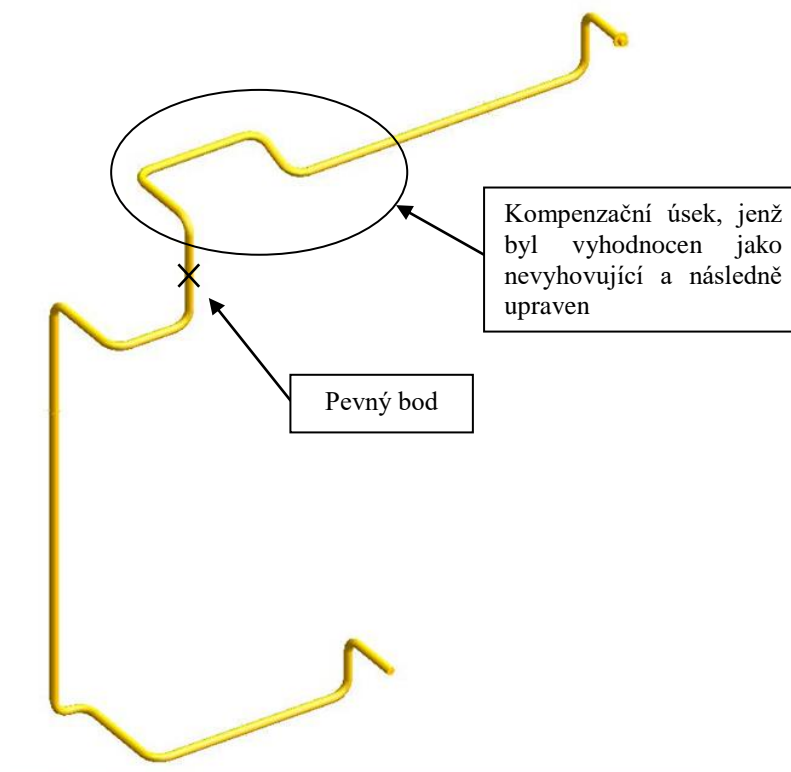
$$a \geq \sqrt{\frac{3 \times \Delta l \times D}{\epsilon_{Mt}}}, \text{ kde} \quad (20)$$

Δl ... prodloužení způsobené teplotní roztažností,
 α ... součinitel délkové teplotní roztažnosti,
 a ... kompenzační délka,
 L ... vztažná délka dle obr.15,
 ΔT ... rozdíl montážní a pracovní teploty,
 D ... vnější průměr potrubí,
 ϵ_{Mt} ... dovolené relativní prodloužení. [18]

Bylo zjištěno, že v první části, o vztažné délce (tj. vodorovná vzdálenost mezi počátkem větve a pevným bodem) 15 m původní návrh nevyhovuje a kompenzační úsek (součet všech kolmých vzdáleností na směr vztažné délky) by měl být 11 m, tedy o tři metry delší, než byl navržen. Daná část trasy byla tudíž přehodnocena a upravena. Následně byla stejným výpočtem ověřena správnost nového návrhu.

Druhý úsek (svislá vzdálenost od pevného bodu do konce větve) vztažné délky 14,7 m vyžadoval kompenzaci alespoň 10,8 m, což původní návrh splňoval.

Podoba upravené již vyhovující trasy je názorná na obrázku č. 14.



Obrázek 14 - podoba navržené trasy

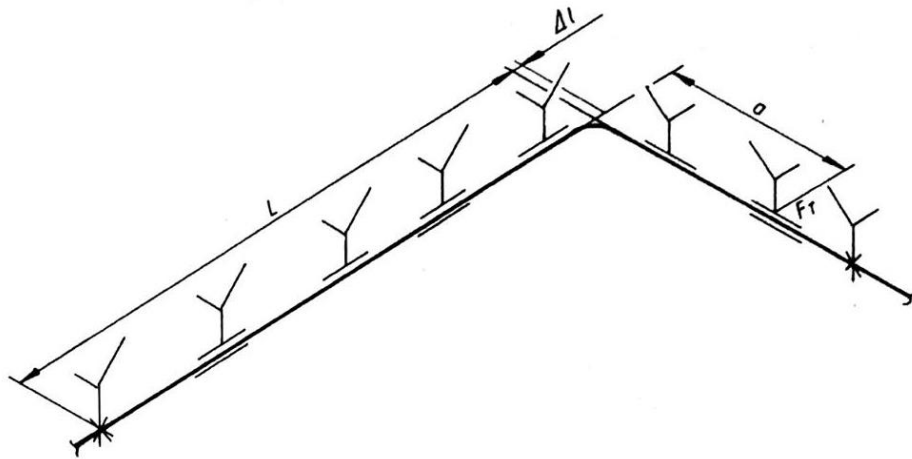


Figure 7 'L' offset

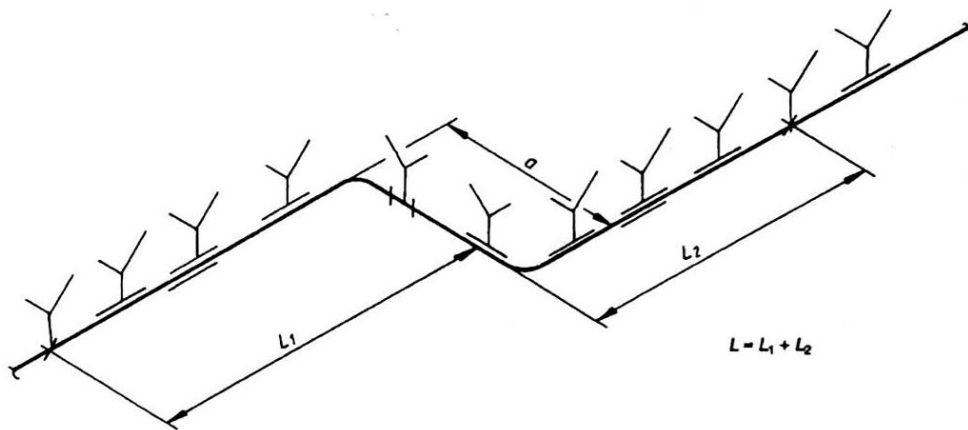


Figure 8 'Z' offset

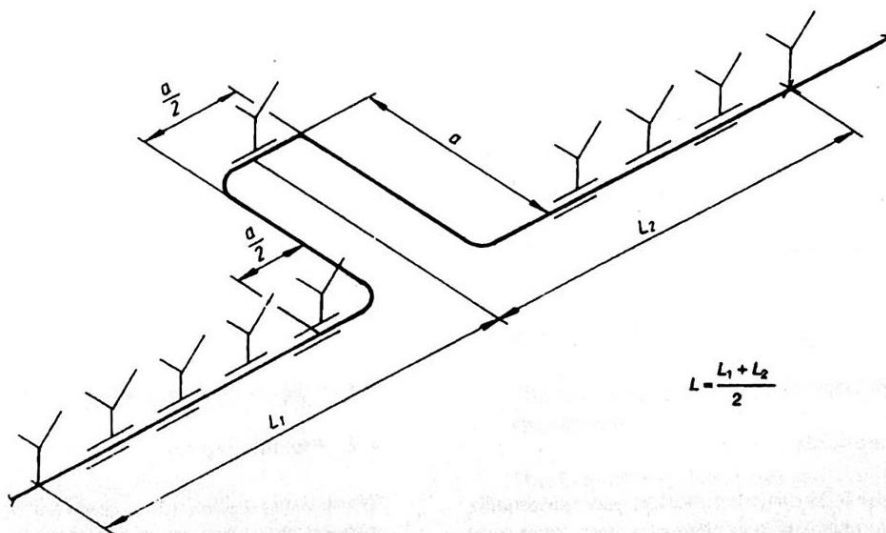


Figure 9 'U' offset

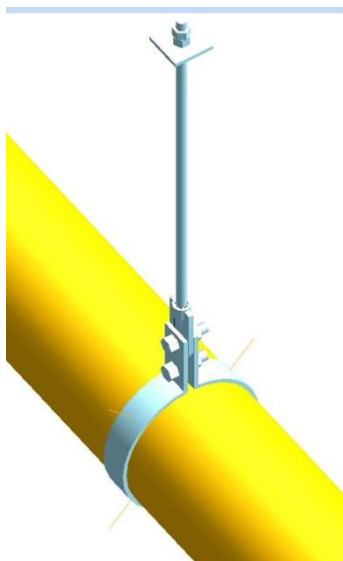
Obrázek 15 - určení vztažných kompenzačních délek [18]

3.3.4. Uložení

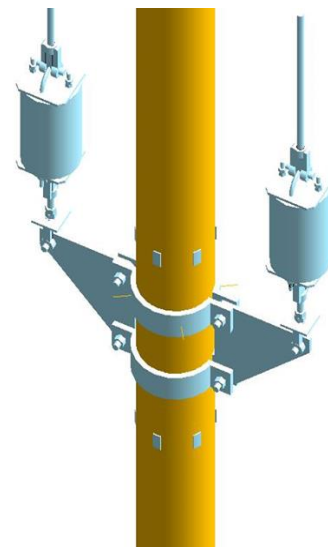
Po zjištění figury trasy bylo třeba rozvrhnout umístění a konkrétní typy jednotlivých uložení dle předpokládaného potřebného zachycení sil či naopak umožnění pohybu potrubí. Jedná se o předběžný návrh, potřebný pro využití jako vstupní informace pro výpočet softwarem Caesar.

Rozteč uložení byla volena orientačně dle tabulky 5 a jednotlivé typy s ohledem na možnost upevnění uložení.

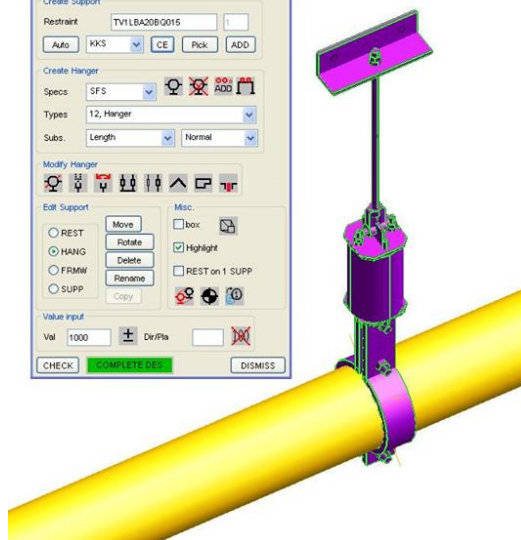
V počátečním vodorovném úseku, byly navrženy dva pevné závěsy (obr. 17) přenášející vertikální zatížení, na dlouhém svislém úseku byl v horní třetině délky z důvodu předpokládané velké tíhy navržen pružinový závěs se dvěma táhly (obr. 16) a v dlouhém vodorovném úseku ve spodní části větve taktéž pružinový závěs, ale pouze s jedním táhlem (obr. 18)



Obrázek 17 - Pevný závěs



Obrázek 16 - Dvoutáhlový pružinový závěs



Obrázek 18 - Pružinový závěs

3.3.5. Ověření výpočtem

Ověření statickým výpočtem bylo provedeno výpočetním programem CAESAR II.

Výpočet proběhl v 7 fázích, kdy byly postupně nastaveny různé případy zatížení tzv. load cases, které jsou následující:

CASE 3 (HYD) WW + HP + H

CASE 4 (OPE) W + D1 + T1 + P1 + H

CASE 5 (OPE) W + D2 + T2 + P2 + H

CASE 6 (SUS) W + P1 + H

CASE 7 (SUS) W + P2 + H

CASE 8 (EXP) L8 = L4 - L6

CASE 9 (EXP) L9 = L5 - L6

Zkratky, obsažené v těchto případech udávají druhy zatížení, jímž je model v konkrétních případech výpočtů vystaven:

(HYD) - hydropressure test loading by gravitation and water (WW), hydro test pressure (HP), spring supports and constant hangers included (H)

(OPE) - operating loading by gravitation (W), overpressure (P) and temperature (T), external displacements included (for example thermal expansion of tank or exchange heater) (D), spring supports and constant hangers included (H)

(SUS) - sustained loading by gravitation (W), overpressure (P), spring supports and constant hangers included (H)

(EXP) - expansion loading by temperature (OPE-SUS).

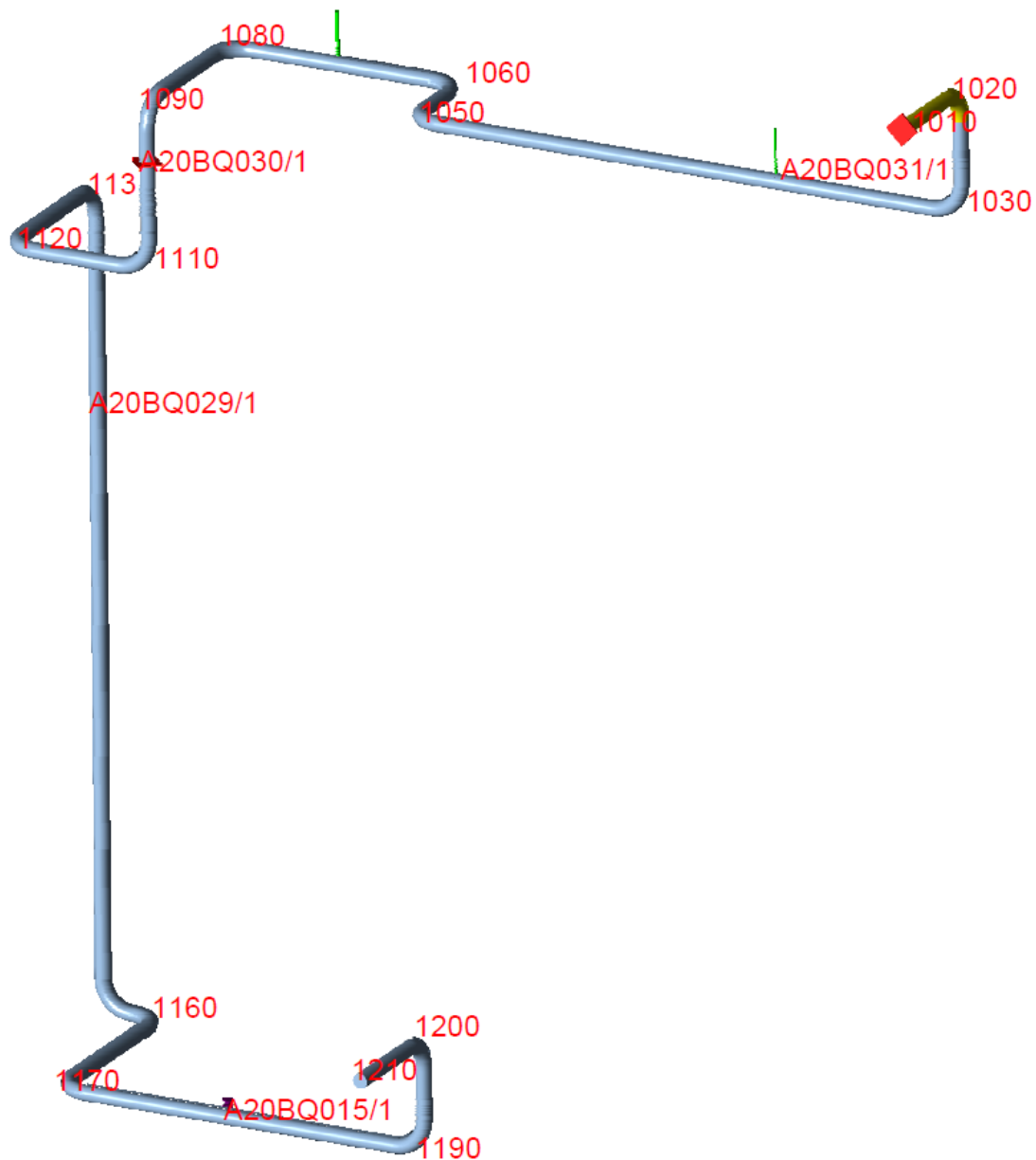
V případě (CASE) 3 tedy bylo při výpočtu uvažováno zatížení vodou při normálním tlaku a teplotě, v případě 4 zatížení pracovním médiem (pára) při operačních podmínkách ($T_1 = 405^\circ\text{C}$, $P_1 = 4,1$ bar) při uvažování posuvů potrubí, v případě 5 taktéž avšak při návrhových podmínkách ($T_2 = 415^\circ\text{C}$, $P_2 = 4,8^\circ\text{C}$). Případy 6, 7 uvažují pouze vlastní hmotnost potrubí, vnitřní přetlak a pružinová uložení. Poslední 2 výpočty naopak pouze teplotní roztažnost, kde CASE 8 při operační teplotě a CASE 9 při teplotě návrhové.

Takto postavený výpočet tedy zahrnuje všechny možné případy, jež mohou v potrubní trase nastat a vyhoví-li výpočet pevnostním požadavkům, lze návrh považovat za správný. V tomto případě se jedná o ověření sil a momentů působících na hrdlo, protože konec trasy bude pevně připojen k tělesu turbíny. Dovolené hodnoty (F, M) jsou dány výrobcem.

Výrobcem bylo určeno dovolená výsledná síla na hrdlo 4 kN, čemuž musí odpovídat výsledná síla v příslušném místě. Jedná se tedy o koncový uzel 1210 (viz obr. 19). Síla v tomto uzlu je pro jednotlivé případy zaznamenána v tabulce 8.

Tabulka 8 – Výstup programu Caesar II – síla na hrdlo v koncovém uzlu 1210

Výpočetní případ	Výsledná síla na hrdlo [N]	Dovolená síla na hrdlo [N]
CASE 3	2 212	4 000
CASE 4	3 249	
CASE 5	3 228	
CASE 6	3 721	
CASE 7	3 721	
CASE 8	473	
CASE 9	494	



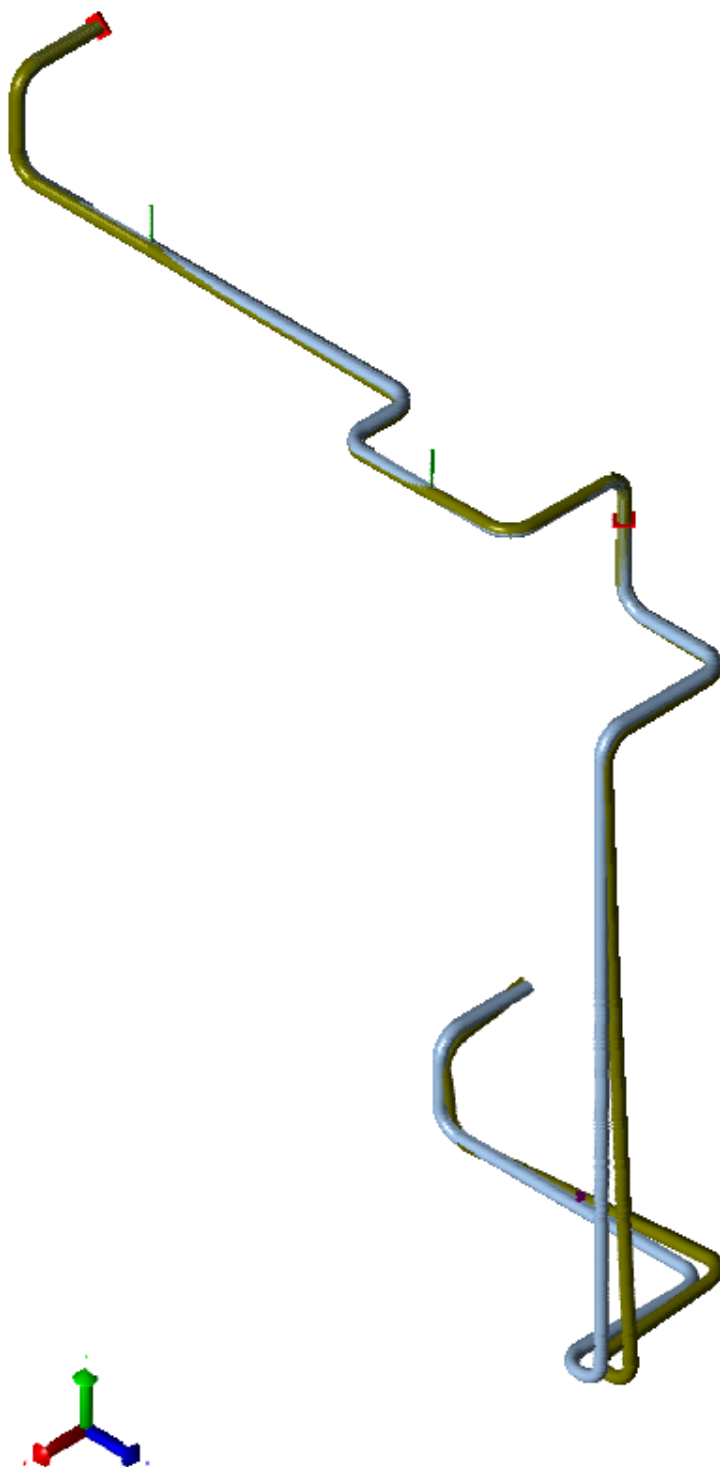
Obrázek 19 - navržená trasa - označení uzlů v programu Caesar II

Z tabulky 8 je zřejmé, že maximální možná vznikající síla je nižší než síla maximální dovolená, tudíž navržená trasa požadavkům výrobce odpovídá. Taktéž navržené pružiny pružinových závěsů, jež byly voleny z katalogu uložení Lisega, mají dostatečnou tuhost pro zachycení hmotnosti potrubí (viz příloha).

K práci je v sekci přílohy připojen kompletní výstup z programu Caesar II., kde lze vyčíst přesné hodnoty působících sil a posuvů (displacements) ve všech uzlových bodech trasy dle obr. 19.

Jako nejhorší případ, který může nastat je vyhodnocen CASE 7. Výsledná maximální posunutí jsou graficky znázorněna na obr. 20. Reálná hodnota posuvů je zde pro názornost zvětšená 4x.

Návrh trasy lze tímto považovat za vyhovující.



printed: 04/22/16 10:52:32 model: TV1LBA20BR010

Obrázek 20 - CASE 7 - displacements 4:1

4. ZÁVĚR

Úkolem práce bylo navrhnout vlastní potrubní uzel nacházející se v parním okruhu elektrárny.

Dle vstupních informací v podobě známého pracovního média, jeho teploty a tlaku včetně layoutu budovy v 3D programu Autodesk Navisworks Freedom byl vypracován návrh trasy.

Model potrubní trasy, vytvořený návrhovým 3D softwarem PDMS byl nejprve zkontrolován z hlediska teplotní roztažnosti, kdy byly zjištěny nevyhovující rozměry a model tak byl přehodnocen a optimalizován tak, aby dilatačním podmínkám vyhovoval. Model byl doplněn o navržená uložení – jejich rozmístění i typy.

Následovalo ověření celé trasy statickým výpočtem v programu CAESAR II. Výpočet proběhl v sedmi fázích odpovídajících možným případům zatížení. Vyhodnocení výsledků proběhlo porovnáním zjištěné síly na hrdlo, působící na konci trasy, jež má být připojena k turbíně s dovolenou hodnotou určenou výrobcem. Ve všech případech zatížení byl návrh vyhodnocen jako vyhovující, taktéž navržená uložení byla shledána jako dostačující.

Byl vytvořen návrh trasy a ověřen. Bylo zjištěno, že návrh vyhovuje, tudíž nebylo třeba dále optimalizovat.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] WILDA, Vladimír a kol. *Projektování průmyslových potrubí a potrubních rozvodů*. Praha: SNTL, 1968.
- [2] PAVLOK, B., *Potrubní systémy a armatury*. [online]. 2011 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: http://www.338.vsb.cz/PDF/Dil1_Pav.pdf. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [3] 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*
- [4] TUMILKOVO.cz, *Vliv jednotlivých prvků na vlastnosti ocelí* [online]. 7.2.2011 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/vliv-jednotlivych-prvku-na-vlastnosti-oceli/>
- [5] EN 13480.4 - *Kovová průmyslová potrubí – část 3: Konstrukce a výpočet*
- [6] VŠB, *Vlastnosti a zkoušení materiálů – přednáška č.9. – Plasticita a creep*. Dostupné z: http://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/330/.content/files/VZM9_creep.pdf. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava - Fakulta strojní, Katedra aplikované mechaniky, 2013.
- [7] SKÝBA, Pavel, *Struktura žárupevných ocelí* [online]. 2008 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5342. Brno: Vysoké učení technické v Brně – Fakulta strojního inženýrství
- [8] PURMENSKÝ, Jaroslav a Václav FOLDÝNA, *Žárupevnost a její vliv na životnost energetických zařízení* [online]. 2008 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: http://konsyst.tanger.cz/files/proceedings/metal_08/Lists/Papers/184.pdf.
- [9] VLACH, Bohumil, *Creep a lom při creepu* [online]. 2000 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: www.zam.fme.vutbr.cz/~vlach/6ms/prednasky/creep.doc. Vysoké učení technické v Brně – Fakulta strojního inženýrství
- [10] ASME B31.1-2007 – *Power piping – chapter 2: Design*
- [11] TREUOVÁ, L., *Kompenzace délkových změn potrubí* [online]. 2012 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/ST51/5_kompenzatory_teorie.pdf
- [12] MIKULA, J. a kol. *Potrubí a armatury*. Praha: SNTL, 1974.
- [13] KŘIVÁNEK, M., MPS Gradior s.r.o., *Příručka projektování Část 5 – Podpěry a závěsy potrubí Inženýrská praxe navrhování* [online]. 2011 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <http://www.mps-gradior.cz/cz/ke-stazeni.html>
- [14] LPS pipe supports, *Katalog závěsů a uložení potrubí* [online]. 2015 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <http://www.lpsupports.cz/produkty/>
- [15] AVEVA SOLUTIONS LTD. 2007. *User Guide: Getting started with PDMS* [online]. [cit. 2016-04-09].
- [16] CAD STUDIO [online], [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/navisworks>
- [17] INTERGRAPH CADWORX & ANALYSIS SOLUTIONS, Intergraph CAESAR II [online], [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.coade.com/products/caesarii>
- [18] SFS - KÄSIKIRJA 107, *Putkiston kannatus (Pipe supporting)*. Marraskuu 2007.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Křivka tečení - převzato z [7].....	7
Obrázek 2 - Vliv obsahu Mo na tečení - převzato z [8]	8
Obrázek 3 - Závislost creepové pevnosti na obsahu Mo v 9% Cr ocelích - převzato z [8]	8
Obrázek 4 - Kategorizace creepu dle homologické teploty - převzato z [6].....	9
Obrázek 5 - Způsob zobrazení parametrů: A - P_{SD} , B - P_{LM} - Převzato z [9]	10
Obrázek 6 - Způsob zobrazení parametru P_{MH} - Převzato z [9].....	10
Obrázek 7 - Schéma ohybového kompenzátoru - převzato z [11]	14
Obrázek 8 - Možnosti vlnovcového kompenzátoru – převzato z [2]	15
Obrázek 9 - Hierarchická struktura PDMS – převzato z [15]	20
Obrázek 10 - Uživatelské prostředí PDMS	21
Obrázek 11 - Prostor v programu Navisworks I.....	23
Obrázek 12 - Prostor v programu Navisworks II.	23
Obrázek 13 - Prostor v programu PDMS	23
Obrázek 14 - Podoba navržené trasy	24
Obrázek 15 - Určení vztažných kompenzačních délek [18]	25
Obrázek 16 - Dvoutáhlový pružinový závěs	26
Obrázek 17 - Pevný závěs	26
Obrázek 18 - Pružinový závěs.....	26
Obrázek 19 - Navržená trasa - označení uzlů v programu Caesar II.....	28
Obrázek 20 - CASE 7 - displacements 4:1	29

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Přehled materiálů pro vysokoteplotní aplikace podle [3]	5
Tabulka 2 - Jmenovité tlaky (PN) a pracovní stupně [1]	12
Tabulka 3 - Nejpoužívanější jmenovité světlosti (DN) [3]	13
Tabulka 4 - Číselné hodnoty součinitelů ρ , μ a ω - převzato z [12].....	16
Tabulka 5 - Směrné hodnoty pro předběžné odhady rozteče uložení potrubí z ocelových trubek - převzato z [12]	17
Tabulka 6 - přehled typů uložení podle funkce - převzato z [13]	18
Tabulka 7 - příklady potrubních uložení [14]	19
Tabulka 8 - Výstup programu Caesar II – síla na hrdlo v koncovém uzlu 1210	27

PŘÍLOHY

VÝSLEDKY VÝPOČTŮ PROGRAMEM CAESAR II.

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52

Job Name: TV1LBA20BR010

Licensed To: AF - ENGINEERING

STRESS SUMMARY REPORT: Highest Stresses Mini Statement

Various Load Cases

LOAD CASE DEFINITION KEY

CASE 3 (HYD) WW+HP+H

CASE 4 (OPE) W+D1+T1+P1+H

CASE 5 (OPE) W+D2+T2+P2+H

CASE 6 (SUS) W+P1+H

CASE 7 (SUS) W+P2+H

CASE 8 (EXP) L8=L4-L6

CASE 9 (EXP) L9=L5-L6

Piping Code: B31.1 = B31.1 -2010, December 31, 2010

NO CODE STRESS CHECK PROCESSED: LOADCASE 3 (HYD) WW+HP+H

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 3 (HYD) WW+HP+H
Ratio (%): 0.0 @Node 1040
Code Stress: 70560.7 Allowable Stress: 0.0
Axial Stress: 43457.9 @Node 1140
Bending Stress: 28745.4 @Node 1040
Torsion Stress: 3712.2 @Node 1150
Hoop Stress: 86826.5 @Node 1018
Max Stress Intensity: 97512.7 @Node 1150

NO CODE STRESS CHECK PROCESSED: LOADCASE 4 (OPE) W+D1+T1+P1+H

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 4 (OPE) W+D1+T1+P1+H
Ratio (%): 0.0 @Node 1040
OPE Stress: 77789.3 Allowable Stress: 0.0
Axial Stress: 27243.8 @Node 1140
Bending Stress: 52823.0 @Node 1040
Torsion Stress: 21327.2 @Node 1090
Hoop Stress: 51863.2 @Node 1018
Max Stress Intensity: 79327.6 @Node 1040

NO CODE STRESS CHECK PROCESSED: LOADCASE 5 (OPE) W+D2+T2+P2+H

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 5 (OPE) W+D2+T2+P2+H
Ratio (%): 0.0 @Node 1040
OPE Stress: 82413.4 Allowable Stress: 0.0
Axial Stress: 31499.0 @Node 1140
Bending Stress: 53189.0 @Node 1040
Torsion Stress: 21902.7 @Node 1090
Hoop Stress: 60717.9 @Node 1018
Max Stress Intensity: 84665.4 @Node 1040

NO CODE STRESS CHECK PROCESSED: LOADCASE 6 (SUS) W+P1+H

04/22/16 10:32:37

Page 1

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
STRESS SUMMARY REPORT: Highest Stresses Mini Statement
Various Load Cases

LOAD CASE DEFINITION KEY

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 6 (SUS) W+P1+H
Ratio (%): 0.0 @Node 1040
Code Stress: 64646.5 Allowable Stress: 0.0
Axial Stress: 27357.9 @Node 1140
Bending Stress: 39627.6 @Node 1040
Torsion Stress: 4913.3 @Node 1119
Hoop Stress: 51863.2 @Node 1018
Max Stress Intensity: 65982.9 @Node 1040

NO CODE STRESS CHECK PROCESSED: LOADCASE 7 (SUS) W+P2+H

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 7 (SUS) W+P2+H
Ratio (%): 0.0 @Node 1040
Code Stress: 68905.5 Allowable Stress: 0.0
Axial Stress: 31616.9 @Node 1140
Bending Stress: 39627.6 @Node 1040
Torsion Stress: 4913.3 @Node 1119
Hoop Stress: 60717.9 @Node 1018
Max Stress Intensity: 71177.6 @Node 1040

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 8 (EXP) L8=L4-L6

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 8 (EXP) L8=L4-L6
Ratio (%): 26.7 @Node 1010
Code Stress: 45942.3 Allowable Stress: 172368.9
Axial Stress: 1341.2 @Node 1029
Bending Stress: 40594.9 @Node 1010
Torsion Stress: 20086.0 @Node 1090
Hoop Stress: 0.0 @Node 1018
Max Stress Intensity: 46075.0 @Node 1010

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 9 (EXP) L9=L5-L6

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 9 (EXP) L9=L5-L6
Ratio (%): 29.9 @Node 1010
Code Stress: 51475.2 Allowable Stress: 172368.9
Axial Stress: 4328.1 @Node 1088
Bending Stress: 41723.5 @Node 1010
Torsion Stress: 20661.4 @Node 1090
Hoop Stress: 8854.7 @Node 1018
Max Stress Intensity: 50879.7 @Node 1010

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
RESTRAINTS EXTENDED REPORT: Loads On Restraints
CASE 3 (HYD) WW+HP+H

Node	FX N.	FY N.	FZ N.	Resultant Force N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	Resultant Moment N.m.	
1010	-327	-1253	-60	1296	-659	-371	-61	759	Rigid ANC
1040	0	-12956	0	12956	0	0	0	0	Rigid +YROD
1070	0	-7647	0	7647	0	0	0	0	Rigid +YROD
1100	327	-7721	111	7729	-830	1211	-360	1512	Rigid ANC
1140	0	-20701	0	20701	0	0	0	0	VSH Redesign
1180	0	-11263	0	11263	0	0	0	0	VSH Redesign
1210	0	-2211	-50	2212	0	0	0	0	Displ. Reaction

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
RESTRAINTS EXTENDED REPORT: Loads On Restraints
CASE 4 (OPE) W+D1+T1+P1+H

Node	FX N.	FY N.	FZ N.	Resultant Force N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	Resultant Moment N.m.	
1010	-10836	3456	-1324	11451	-8834	-20153	-11357	24762	Rigid ANC
1040	38	-23601	467	23605	0	0	0	0	Rigid +YROD
1070	236	-9283	223	9289	0	0	0	0	Rigid +YROD
1100	10562	-11392	768	15554	2048	23075	-9608	25079	Rigid ANC
1140	0	-28394	0	28394	0	0	0	0	VSH Redesign
1180	0	-15578	0	15578	0	0	0	0	VSH Redesign
1210	0	-3246	-134	3249	0	0	0	0	Displ. Reaction

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
RESTRAINTS EXTENDED REPORT: Loads On Restraints
CASE 5 (OPE) W+D2+T2+P2+H

Node	FX N.	FY N.	FZ N.	Resultant Force N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	Resultant Moment N.m.	
1010	-11123	3603	-1358	11770	-9062	-20699	-11666	25430	Rigid ANC
1040	39	-23763	481	23768	0	0	0	0	Rigid +YROD
1070	235	-9247	222	9252	0	0	0	0	Rigid +YROD
1100	10848	-11362	789	15729	2050	23680	-9766	25697	Rigid ANC
1140	0	-28413	0	28413	0	0	0	0	VSH Redesign
1180	0	-15630	0	15630	0	0	0	0	VSH Redesign
1210	0	-3225	-134	3228	0	0	0	0	Displ. Reaction

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
RESTRAINTS EXTENDED REPORT: Loads On Restraints
CASE 6 (SUS) W+Pl+H

Node	FX N.	FY N.	FZ N.	Resultant Force N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	Resultant Moment N.m.	
1010	-453	-1831	-83	1888	-645	-516	-82	830	Rigid ANC
1040	0	-17722	0	17722	0	0	0	0	Rigid +YROD
1070	0	-10639	0	10639	0	0	0	0	Rigid +YROD
1100	453	-12387	206	12397	2003	1963	-3801	4724	Rigid ANC
1140	0	-27576	0	27576	0	0	0	0	VSH Redesign
1180	0	-14163	0	14163	0	0	0	0	VSH Redesign
1210	0	-3719	-123	3721	0	0	0	0	Displ. Reaction

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
RESTRAINTS EXTENDED REPORT: Loads On Restraints
CASE 7 (SUS) W+P2+H

Node	FX N.	FY N.	FZ N.	Resultant Force N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	Resultant Moment N.m.	
1010	-453	-1831	-83	1888	-645	-516	-82	830	Rigid ANC
1040	0	-17722	0	17722	0	0	0	0	Rigid +YROD
1070	0	-10639	0	10639	0	0	0	0	Rigid +YROD
1100	453	-12387	206	12397	2003	1963	-3801	4724	Rigid ANC
1140	0	-27576	0	27576	0	0	0	0	VSH Redesign
1180	0	-14163	0	14163	0	0	0	0	VSH Redesign
1210	0	-3719	-123	3721	0	0	0	0	Displ. Reaction

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
RESTRAINTS EXTENDED REPORT: Loads On Restraints
CASE 8 (EXP) L8=L4-L6

Node	FX N.	FY N.	FZ N.	Resultant Force N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	Resultant Moment N.m.	
1010	-10383	5288	-1241	11718	-8189	-19637	-11274	24079	Rigid ANC
1040	38	-5879	467	5898	0	0	0	0	Rigid +YROD
1070	236	1357	223	1395	0	0	0	0	Rigid +YROD
1100	10109	995	561	10174	44	21112	-5807	21896	Rigid ANC
1140	0	-818	0	818	0	0	0	0	VSH Redesign
1180	0	-1416	0	1416	0	0	0	0	VSH Redesign
1210	0	473	-11	473	0	0	0	0	Displ. Reaction

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
RESTRAINTS EXTENDED REPORT: Loads On Restraints
CASE 9 (EXP) L9=L5-L6

Node	FX N.	FY N.	FZ N.	Resultant Force N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	Resultant Moment N.m.	
1010	-10670	5434	-1275	12042	-8417	-20183	-11584	24746	Rigid ANC
1040	39	-6041	481	6060	0	0	0	0	Rigid +YROD
1070	235	1393	222	1430	0	0	0	0	Rigid +YROD
1100	10396	1025	582	10462	47	21717	-5965	22521	Rigid ANC
1140	0	-837	0	837	0	0	0	0	VSH Redesign
1180	0	-1468	0	1468	0	0	0	0	VSH Redesign
1210	0	493	-11	494	0	0	0	0	Displ. Reaction

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024)

Date: APR 15, 2016 Time: 13:52

Job Name: TV1LBA20BR010

Licensed To: AF - ENGINEERING

DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements

CASE 3 (HYD) WW+HP+H

Node	DX cm.	DY cm.	DZ cm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
1010	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
1018	-0.0018	0.0092	-0.0000	-0.0072	-0.0006	-0.0005
1019	-0.0001	0.0290	0.0104	-0.0510	0.0067	0.0013
1020	0.0049	0.0468	0.0576	-0.0858	0.0119	0.0064
1028	0.0185	0.0470	0.2314	-0.0894	0.0137	0.0077
1029	0.0300	0.0530	0.2983	-0.1174	0.0099	0.0246
1030	0.0372	0.0694	0.3259	-0.1281	0.0120	0.0128
1040	0.0371	-0.0000	0.2557	-0.1415	0.0144	-0.0676
1048	0.0370	-1.4386	0.0942	-0.1702	0.0127	-0.1119
1049	0.0385	-1.4148	0.0891	-0.2166	0.0021	0.0168
1050	0.0368	-1.2354	0.0894	-0.2667	-0.0054	0.0710
1058	0.0292	-0.8735	0.0894	-0.2657	-0.0054	0.0826
1059	0.0277	-0.6749	0.0896	-0.2414	0.0026	0.1103
1060	0.0294	-0.5149	0.0840	-0.2309	0.0137	0.1644
1070	0.0294	-0.0000	0.0382	-0.2097	0.0152	0.1544
1078	0.0293	0.3843	-0.0040	-0.1916	0.0160	0.1341
1079	0.0244	0.4037	-0.0156	-0.1736	0.0179	0.0872
1080	0.0128	0.3330	-0.0206	-0.0977	0.0152	0.0859
1088	-0.0343	0.0391	-0.0206	-0.0793	0.0120	0.0694
1089	-0.0203	0.0045	-0.0088	-0.0285	0.0002	0.0514
1090	-0.0015	-0.0001	-0.0005	-0.0011	0.0026	0.0031
1100	0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000
1108	-0.0113	-0.0003	0.0019	-0.0015	0.0019	-0.0092
1109	-0.0397	-0.0159	0.0045	-0.0072	0.0037	-0.0737
1110	-0.0647	-0.0804	0.0019	-0.0079	0.0115	-0.1043
1118	-0.0647	-0.3664	-0.0332	-0.0096	0.0135	-0.0956
1119	-0.0580	-0.3912	-0.0472	-0.0410	0.0293	0.0021
1120	-0.0325	-0.3404	-0.0569	-0.0835	0.0457	0.0496
1128	0.1494	-0.0163	-0.0569	-0.0818	0.0490	0.0807
1129	0.2239	0.0127	-0.0499	0.0108	0.0919	0.1289
1130	0.3762	-0.0009	-0.0993	0.1336	0.1268	0.2346
1140	1.8780	-0.0000	-1.0148	0.1753	0.1336	0.2716
1148	7.8360	-0.0048	-5.4441	0.3162	0.1541	0.3849
1149	8.1325	-0.1339	-5.6646	0.4480	0.1218	0.4982
1150	8.2812	-0.5044	-5.7270	0.5034	0.0969	0.5888
1159	8.2513	-0.7656	-5.6569	0.5499	0.1118	0.6040
1160	8.1709	-0.5166	-5.6243	0.6920	0.1262	0.5790
1168	7.5679	2.8619	-5.6243	0.7397	0.1297	0.5931
1169	7.4759	3.2334	-5.5855	0.8340	0.1439	0.5829
1170	7.4344	3.0685	-5.4837	0.8537	0.1574	0.6248
1180	7.4344	-0.0000	-4.7351	0.8832	0.1600	0.6975
1188	7.4344	-4.1713	-3.8379	0.9181	0.1613	0.7721
1189	7.2134	-4.7022	-3.4623	0.9522	0.1841	0.7968
1190	6.6743	-4.9255	-2.7407	1.0300	0.2061	0.8004

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
CASE 3 (HYD) WW+HP+H

Node	DX cm.	DY cm.	DZ cm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
1198	5.3654	-4.9256	-1.0499	1.0377	0.2061	0.8004
1199	4.7685	-4.6198	-0.3227	1.1258	0.2061	0.8004
1200	4.4062	-3.8296	-0.0000	1.2143	0.2061	0.8004
1210	3.7594	-0.0000	-0.0000	1.2236	0.2061	0.8004

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024)

Date: APR 15, 2016 Time: 13:52

Job Name: TV1LBA20BR010

Licensed To: AF - ENGINEERING

DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements

CASE 4 (OPE) W+D1+T1+P1+H

Node	DX cm.	DY cm.	DZ cm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
1010	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
1018	-0.1281	0.0592	0.8882	-0.0327	-0.0693	-0.0898
1019	-0.2725	0.0026	1.1126	-0.0359	-0.1939	-0.2498
1020	-0.5935	-0.2029	1.2065	0.0196	-0.2367	-0.4877
1028	-1.5707	-0.8266	1.1631	0.0226	-0.2184	-0.4847
1029	-1.7086	-1.1117	1.1962	0.0437	-0.1735	-0.1341
1030	-1.4981	-1.1506	1.2667	0.0621	-0.0812	0.2365
1040	0.1471	0.0132	1.6536	0.0508	-0.0745	0.1374
1048	3.6820	-0.1557	2.9322	0.0264	-0.1753	-0.0466
1049	3.7927	-0.1658	3.2271	-0.0024	-0.4404	0.0239
1050	3.5160	-0.1395	3.5814	-0.0351	-0.5888	0.0538
1058	2.7176	-0.0917	4.0080	-0.0340	-0.5809	0.0596
1059	2.5164	-0.0646	4.3196	0.0112	-0.2124	0.0617
1060	2.7116	-0.0304	4.3825	0.0422	0.2728	0.0540
1070	3.6987	0.1145	3.3996	0.0659	0.3510	0.0269
1078	4.5465	0.1284	2.3703	0.0863	0.4108	-0.0130
1079	4.5713	0.0809	1.8812	0.0737	0.7814	-0.1793
1080	4.0322	0.0824	1.4226	0.1187	1.0207	-0.2338
1088	0.6430	0.5083	0.3685	0.1313	0.9741	-0.2844
1089	0.1219	0.5016	0.1250	0.0925	0.3680	-0.1641
1090	0.0063	0.3089	0.0029	0.0056	0.0615	-0.0071
1100	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
1108	-0.0213	-0.7723	0.0047	-0.0036	0.0049	-0.0174
1109	0.0129	-1.0136	0.0102	-0.0161	0.0106	-0.1420
1110	0.1758	-1.2305	0.0012	-0.0166	0.0323	-0.2213
1118	1.0608	-1.8514	-0.0969	-0.0207	0.0377	-0.2157
1119	1.2909	-1.9550	-0.0477	-0.0551	0.0799	-0.1207
1120	1.4481	-1.9259	0.1378	-0.1066	0.1237	-0.0724
1128	1.9400	-1.5128	1.3456	-0.1032	0.1326	-0.0429
1129	2.0448	-1.5715	1.5620	0.0397	0.1977	0.0097
1130	2.1486	-1.8108	1.5587	0.2273	0.2415	0.1167
1140	2.9454	-3.6761	0.0201	0.2922	0.2594	0.1518
1148	6.6757	-9.3923	-7.3316	0.5269	0.3144	0.2592
1149	6.7976	-9.6971	-7.6848	0.7521	0.2640	0.3647
1150	6.6959	-10.0607	-7.7459	0.8449	0.2332	0.4397
1159	6.4114	-10.1053	-7.6637	0.9418	0.2732	0.4055
1160	6.1258	-9.4944	-7.7957	1.1960	0.3116	0.3404
1168	4.6352	-3.6701	-9.2780	1.2720	0.3211	0.3451
1169	4.3189	-2.8409	-9.3933	1.4384	0.3589	0.3072
1170	4.0033	-2.6353	-9.2262	1.4861	0.3951	0.3221
1180	2.5210	-4.3059	-7.3466	1.5353	0.4020	0.4156
1188	0.7664	-7.0038	-5.0920	1.5936	0.4055	0.5165
1189	0.4029	-7.2781	-4.3559	1.6507	0.4440	0.5491
1190	-0.0576	-7.2206	-3.0721	1.7800	0.4807	0.5537

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
CASE 4 (OPE) W+D1+T1+P1+H

Node	DX cm.	DY cm.	DZ cm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
1198	-0.9632	-6.7063	-0.1507	1.7927	0.4807	0.5537
1199	-1.4704	-5.9676	1.0152	1.9359	0.4807	0.5537
1200	-1.9489	-4.5249	1.3571	2.0763	0.4807	0.5537
1210	-3.4576	2.0200	0.3700	2.0905	0.4807	0.5537

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024)

Date: APR 15, 2016 Time: 13:52

Job Name: TV1LBA20BR010

Licensed To: AF - ENGINEERING

DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements

CASE 5 (OPE) W+D2+T2+P2+H

Node	DX cm.	DY cm.	DZ cm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
1010	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
1018	-0.1316	0.0606	0.9132	-0.0333	-0.0712	-0.0922
1019	-0.2802	0.0016	1.1436	-0.0351	-0.1997	-0.2568
1020	-0.6102	-0.2103	1.2384	0.0232	-0.2439	-0.5014
1028	-1.6149	-0.8516	1.1875	0.0264	-0.2252	-0.4983
1029	-1.7570	-1.1449	1.2192	0.0491	-0.1789	-0.1387
1030	-1.5407	-1.1855	1.2908	0.0685	-0.0842	0.2427
1040	0.1508	0.0139	1.6932	0.0573	-0.0776	0.1439
1048	3.7853	-0.1031	3.0179	0.0333	-0.1810	-0.0434
1049	3.8990	-0.1142	3.3213	0.0056	-0.4527	0.0240
1050	3.6149	-0.0939	3.6855	-0.0261	-0.6046	0.0525
1058	2.7952	-0.0583	4.1240	-0.0250	-0.5964	0.0580
1059	2.5888	-0.0379	4.4442	0.0206	-0.2177	0.0591
1060	2.7897	-0.0089	4.5086	0.0520	0.2808	0.0490
1070	3.8046	0.1195	3.4970	0.0756	0.3611	0.0215
1078	4.6763	0.1184	2.4379	0.0959	0.4226	-0.0187
1079	4.7017	0.0686	1.9349	0.0823	0.8035	-0.1879
1080	4.1474	0.0727	1.4634	0.1256	1.0494	-0.2440
1088	0.6628	0.5212	0.3796	0.1378	1.0016	-0.2953
1089	0.1262	0.5156	0.1289	0.0961	0.3785	-0.1708
1090	0.0065	0.3177	0.0030	0.0058	0.0632	-0.0074
1100	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
1108	-0.0208	-0.7941	0.0053	-0.0041	0.0050	-0.0170
1109	0.0171	-1.0406	0.0125	-0.0201	0.0096	-0.1386
1110	0.1871	-1.2568	0.0059	-0.0220	0.0304	-0.2155
1118	1.0970	-1.8614	-0.0871	-0.0268	0.0359	-0.2099
1119	1.3327	-1.9594	-0.0343	-0.0623	0.0782	-0.1155
1120	1.4912	-1.9233	0.1577	-0.1160	0.1220	-0.0673
1128	1.9769	-1.4735	1.3995	-0.1127	0.1310	-0.0384
1129	2.0816	-1.5289	1.6242	0.0322	0.1956	0.0133
1130	2.1866	-1.7723	1.6274	0.2225	0.2388	0.1183
1140	2.9902	-3.6901	0.1148	0.2883	0.2568	0.1526
1148	6.7128	-9.5671	-7.1906	0.5258	0.3119	0.2576
1149	6.8304	-9.8769	-7.5447	0.7535	0.2608	0.3607
1150	6.7214	-10.2396	-7.6088	0.8473	0.2294	0.4337
1159	6.4320	-10.2786	-7.5316	0.9457	0.2695	0.3975
1160	6.1464	-9.6618	-7.6706	1.2023	0.3079	0.3313
1168	4.6728	-3.8071	-9.1946	1.2784	0.3175	0.3357
1169	4.3565	-2.9713	-9.3169	1.4438	0.3553	0.2978
1170	4.0359	-2.7579	-9.1546	1.4910	0.3917	0.3126
1180	2.5118	-4.3843	-7.2911	1.5396	0.3986	0.4065
1188	0.7078	-7.0332	-5.0556	1.5971	0.4020	0.5079
1189	0.3407	-7.2993	-4.3211	1.6535	0.4401	0.5408
1190	-0.1167	-7.2335	-3.0371	1.7811	0.4764	0.5454

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
CASE 5 (OPE) W+D2+T2+P2+H

Node	DX cm.	DY cm.	DZ cm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
1198	-1.0087	-6.7047	-0.1140	1.7936	0.4764	0.5454
1199	-1.5092	-5.9601	1.0494	1.9349	0.4764	0.5454
1200	-1.9825	-4.5163	1.3849	2.0737	0.4764	0.5454
1210	-3.4775	2.0200	0.3700	2.0877	0.4764	0.5454

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024)

Date: APR 15, 2016 Time: 13:52

Job Name: TV1LBA20BR010

Licensed To: AF - ENGINEERING

DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements

CASE 6 (SUS) W+P1+H

Node	DX cm.	DY cm.	DZ cm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
1010	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
1018	-0.0026	0.0109	-0.0000	-0.0089	-0.0009	-0.0006
1019	-0.0002	0.0369	0.0138	-0.0682	0.0092	0.0019
1020	0.0067	0.0609	0.0774	-0.1162	0.0163	0.0089
1028	0.0256	0.0611	0.3128	-0.1212	0.0188	0.0107
1029	0.0416	0.0695	0.4037	-0.1599	0.0135	0.0343
1030	0.0516	0.0925	0.4415	-0.1748	0.0163	0.0183
1040	0.0515	-0.0000	0.3463	-0.1933	0.0196	-0.0926
1048	0.0514	-1.9913	0.1272	-0.2331	0.0172	-0.1561
1049	0.0533	-1.9597	0.1204	-0.2976	0.0025	0.0227
1050	0.0507	-1.7127	0.1209	-0.3678	-0.0079	0.0982
1058	0.0398	-1.2137	0.1209	-0.3665	-0.0079	0.1144
1059	0.0374	-0.9393	0.1213	-0.3338	0.0032	0.1534
1060	0.0396	-0.7170	0.1138	-0.3197	0.0186	0.2290
1070	0.0396	-0.0000	0.0516	-0.2905	0.0208	0.2148
1078	0.0396	0.5342	-0.0060	-0.2655	0.0218	0.1862
1079	0.0328	0.5611	-0.0219	-0.2407	0.0245	0.1209
1080	0.0169	0.4630	-0.0286	-0.1357	0.0209	0.1190
1088	-0.0476	0.0544	-0.0286	-0.1104	0.0164	0.0962
1089	-0.0281	0.0062	-0.0122	-0.0396	0.0002	0.0713
1090	-0.0020	-0.0001	-0.0007	-0.0015	0.0036	0.0043
1100	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
1108	-0.0371	-0.0006	-0.0179	0.0148	0.0046	-0.0303
1109	-0.1307	-0.0517	-0.0714	0.1234	0.0437	-0.2504
1110	-0.2182	-0.2830	-0.1627	0.1752	0.0976	-0.4045
1118	-0.2182	-1.4249	-0.4441	0.1985	0.1026	-0.3994
1119	-0.1824	-1.7086	-0.5254	0.1971	0.1415	-0.2781
1120	-0.0729	-1.9189	-0.5687	0.2234	0.1817	-0.2256
1128	0.6407	-2.7934	-0.5687	0.2315	0.1900	-0.1712
1129	0.7579	-2.9699	-0.6457	0.3040	0.2751	-0.0841
1130	0.8494	-3.0631	-0.8835	0.4006	0.3405	0.1035
1140	1.6557	-3.0621	-3.3611	0.4354	0.3570	0.1683
1148	6.5075	-3.0692	-12.4569	0.5752	0.4076	0.3663
1149	6.8193	-3.2093	-12.7834	0.7141	0.3805	0.5642
1150	6.9935	-3.6498	-12.7408	0.7698	0.3715	0.7206
1159	6.8829	-3.9393	-12.4785	0.8143	0.4083	0.7674
1160	6.5952	-3.5531	-12.3612	0.9795	0.4436	0.7450
1168	4.4839	1.2235	-12.3612	1.0484	0.4524	0.7667
1169	4.1680	1.7875	-12.2284	1.2290	0.4872	0.7394
1170	4.0288	1.6360	-11.8881	1.2822	0.5205	0.7777
1180	4.0288	-2.1804	-9.4188	1.3458	0.5269	0.8662
1188	4.0288	-7.3485	-6.4687	1.4210	0.5301	0.9548
1189	3.7564	-8.0031	-5.6919	1.4947	0.5793	0.9808
1190	3.0933	-8.2778	-4.4614	1.6622	0.6268	0.9844

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
CASE 6 (SUS) W+P1+H

Node	DX cm.	DY cm.	DZ cm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
1198	1.4835	-8.2779	-1.7294	1.6788	0.6268	0.9844
1199	0.6452	-7.7747	-0.5382	1.8659	0.6268	0.9844
1200	-0.0519	-6.4526	-0.0000	2.0449	0.6268	0.9844
1210	-2.0188	-0.0000	-0.0000	2.0620	0.6268	0.9844

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024)

Date: APR 15, 2016 Time: 13:52

Job Name: TV1LBA20BR010

Licensed To: AF - ENGINEERING

DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements

CASE 7 (SUS) W+P2+H

Node	DX cm.	DY cm.	DZ cm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
1010	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
1018	-0.0026	0.0109	-0.0000	-0.0089	-0.0009	-0.0006
1019	-0.0002	0.0369	0.0138	-0.0682	0.0092	0.0019
1020	0.0067	0.0609	0.0774	-0.1162	0.0163	0.0089
1028	0.0256	0.0611	0.3128	-0.1212	0.0188	0.0107
1029	0.0416	0.0695	0.4037	-0.1599	0.0135	0.0343
1030	0.0516	0.0925	0.4415	-0.1748	0.0163	0.0183
1040	0.0515	-0.0000	0.3463	-0.1933	0.0196	-0.0926
1048	0.0514	-1.9913	0.1272	-0.2331	0.0172	-0.1561
1049	0.0533	-1.9597	0.1204	-0.2976	0.0025	0.0227
1050	0.0507	-1.7127	0.1209	-0.3678	-0.0079	0.0982
1058	0.0398	-1.2137	0.1209	-0.3665	-0.0079	0.1144
1059	0.0374	-0.9393	0.1213	-0.3338	0.0032	0.1534
1060	0.0396	-0.7170	0.1138	-0.3197	0.0186	0.2290
1070	0.0396	-0.0000	0.0516	-0.2905	0.0208	0.2148
1078	0.0396	0.5342	-0.0060	-0.2655	0.0218	0.1862
1079	0.0328	0.5611	-0.0219	-0.2407	0.0245	0.1209
1080	0.0169	0.4630	-0.0286	-0.1357	0.0209	0.1190
1088	-0.0476	0.0544	-0.0286	-0.1104	0.0164	0.0962
1089	-0.0281	0.0062	-0.0122	-0.0396	0.0002	0.0713
1090	-0.0020	-0.0001	-0.0007	-0.0015	0.0036	0.0043
1100	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
1108	-0.0371	-0.0006	-0.0179	0.0148	0.0046	-0.0303
1109	-0.1307	-0.0517	-0.0714	0.1234	0.0437	-0.2504
1110	-0.2182	-0.2830	-0.1627	0.1752	0.0976	-0.4045
1118	-0.2182	-1.4249	-0.4441	0.1985	0.1026	-0.3994
1119	-0.1824	-1.7086	-0.5254	0.1971	0.1415	-0.2781
1120	-0.0729	-1.9189	-0.5687	0.2234	0.1817	-0.2256
1128	0.6407	-2.7934	-0.5687	0.2315	0.1900	-0.1712
1129	0.7579	-2.9699	-0.6457	0.3040	0.2751	-0.0841
1130	0.8494	-3.0631	-0.8835	0.4006	0.3405	0.1035
1140	1.6557	-3.0621	-3.3611	0.4354	0.3570	0.1683
1148	6.5075	-3.0692	-12.4569	0.5752	0.4076	0.3663
1149	6.8193	-3.2093	-12.7834	0.7141	0.3805	0.5642
1150	6.9935	-3.6498	-12.7408	0.7698	0.3715	0.7206
1159	6.8829	-3.9393	-12.4785	0.8143	0.4083	0.7674
1160	6.5952	-3.5531	-12.3612	0.9795	0.4436	0.7450
1168	4.4839	1.2235	-12.3612	1.0484	0.4524	0.7667
1169	4.1680	1.7875	-12.2284	1.2290	0.4872	0.7394
1170	4.0288	1.6360	-11.8881	1.2822	0.5205	0.7777
1180	4.0288	-2.1804	-9.4188	1.3458	0.5269	0.8662
1188	4.0288	-7.3485	-6.4687	1.4210	0.5301	0.9548
1189	3.7564	-8.0031	-5.6919	1.4947	0.5793	0.9808
1190	3.0933	-8.2778	-4.4614	1.6622	0.6268	0.9844

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
CASE 7 (SUS) W+P2+H

Node	DX cm.	DY cm.	DZ cm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
1198	1.4835	-8.2779	-1.7294	1.6788	0.6268	0.9844
1199	0.6452	-7.7747	-0.5382	1.8659	0.6268	0.9844
1200	-0.0519	-6.4526	-0.0000	2.0449	0.6268	0.9844
1210	-2.0188	-0.0000	-0.0000	2.0620	0.6268	0.9844

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024)

Date: APR 15, 2016 Time: 13:52

Job Name: TV1LBA20BR010

Licensed To: AF - ENGINEERING

DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements

CASE 8 (EXP) L8=L4-L6

Node	DX cm.	DY cm.	DZ cm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
1010	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
1018	-0.1255	0.0484	0.8882	-0.0238	-0.0683	-0.0891
1019	-0.2724	-0.0344	1.0988	0.0323	-0.2031	-0.2517
1020	-0.6002	-0.2638	1.1291	0.1358	-0.2530	-0.4967
1028	-1.5963	-0.8877	0.8503	0.1438	-0.2373	-0.4954
1029	-1.7503	-1.1813	0.7925	0.2036	-0.1870	-0.1685
1030	-1.5497	-1.2431	0.8252	0.2369	-0.0974	0.2182
1040	0.0956	0.0132	1.3074	0.2441	-0.0941	0.2301
1048	3.6306	1.8356	2.8050	0.2595	-0.1925	0.1095
1049	3.7393	1.7939	3.1066	0.2952	-0.4428	0.0013
1050	3.4653	1.5732	3.4605	0.3326	-0.5809	-0.0444
1058	2.6778	1.1220	3.8870	0.3325	-0.5730	-0.0548
1059	2.4790	0.8747	4.1983	0.3451	-0.2156	-0.0917
1060	2.6720	0.6866	4.2688	0.3618	0.2541	-0.1750
1070	3.6591	0.1145	3.3480	0.3564	0.3302	-0.1878
1078	4.5070	-0.4058	2.3763	0.3518	0.3890	-0.1992
1079	4.5386	-0.4802	1.9031	0.3144	0.7569	-0.3002
1080	4.0153	-0.3806	1.4513	0.2544	0.9998	-0.3528
1088	0.6906	0.4539	0.3971	0.2416	0.9577	-0.3806
1089	0.1500	0.4954	0.1373	0.1321	0.3678	-0.2353
1090	0.0083	0.3091	0.0037	0.0071	0.0579	-0.0114
1100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
1108	0.0158	-0.7718	0.0226	-0.0184	0.0004	0.0129
1109	0.1437	-0.9619	0.0816	-0.1395	-0.0331	0.1084
1110	0.3939	-0.9475	0.1640	-0.1918	-0.0653	0.1833
1118	1.2789	-0.4265	0.3472	-0.2191	-0.0649	0.1836
1119	1.4734	-0.2464	0.4777	-0.2522	-0.0616	0.1574
1120	1.5209	-0.0070	0.7065	-0.3300	-0.0581	0.1532
1128	1.2993	1.2805	1.9143	-0.3347	-0.0574	0.1283
1129	1.2869	1.3984	2.2077	-0.2644	-0.0773	0.0937
1130	1.2992	1.2522	2.4422	-0.1732	-0.0990	0.0132
1140	1.2897	-0.6140	3.3812	-0.1432	-0.0976	-0.0164
1148	0.1682	-6.3231	5.1253	-0.0483	-0.0932	-0.1071
1149	-0.0217	-6.4878	5.0986	0.0380	-0.1165	-0.1995
1150	-0.2976	-6.4109	4.9948	0.0751	-0.1383	-0.2809
1159	-0.4715	-6.1660	4.8149	0.1275	-0.1351	-0.3619
1160	-0.4694	-5.9413	4.5655	0.2165	-0.1321	-0.4046
1168	0.1512	-4.8936	3.0832	0.2236	-0.1313	-0.4216
1169	0.1510	-4.6284	2.8351	0.2094	-0.1283	-0.4322
1170	-0.0255	-4.2713	2.6619	0.2039	-0.1254	-0.4556
1180	-1.5078	-2.1255	2.0723	0.1895	-0.1249	-0.4505
1188	-3.2624	0.3447	1.3767	0.1726	-0.1246	-0.4383
1189	-3.3535	0.7250	1.3359	0.1560	-0.1352	-0.4317
1190	-3.1510	1.0572	1.3893	0.1178	-0.1460	-0.4307

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
CASE 8 (EXP) L8=L4-L6

Node	DX cm.	DY cm.	DZ cm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
1198	-2.4466	1.5716	1.5787	0.1139	-0.1460	-0.4307
1199	-2.1156	1.8071	1.5534	0.0699	-0.1460	-0.4307
1200	-1.8970	1.9277	1.3571	0.0314	-0.1460	-0.4307
1210	-1.4387	2.0200	0.3700	0.0285	-0.1460	-0.4307

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024)

Date: APR 15, 2016 Time: 13:52

Job Name: TV1LBA20BR010

Licensed To: AF - ENGINEERING

DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements

CASE 9 (EXP) L9=L5-L6

Node	DX cm.	DY cm.	DZ cm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
1010	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
1018	-0.1290	0.0497	0.9132	-0.0245	-0.0703	-0.0916
1019	-0.2800	-0.0353	1.1297	0.0331	-0.2089	-0.2586
1020	-0.6169	-0.2712	1.1610	0.1394	-0.2602	-0.5104
1028	-1.6405	-0.9127	0.8747	0.1476	-0.2440	-0.5090
1029	-1.7986	-1.2144	0.8154	0.2091	-0.1924	-0.1730
1030	-1.5923	-1.2779	0.8494	0.2432	-0.1005	0.2244
1040	0.0993	0.0139	1.3470	0.2506	-0.0972	0.2366
1048	3.7339	1.8882	2.8907	0.2664	-0.1982	0.1126
1049	3.8457	1.8455	3.2008	0.3032	-0.4551	0.0014
1050	3.5642	1.6188	3.5645	0.3416	-0.5967	-0.0456
1058	2.7554	1.1554	4.0031	0.3414	-0.5886	-0.0564
1059	2.5514	0.9014	4.3229	0.3544	-0.2209	-0.0943
1060	2.7500	0.7081	4.3948	0.3717	0.2621	-0.1800
1070	3.7650	0.1195	3.4454	0.3662	0.3404	-0.1932
1078	4.6367	-0.4157	2.4439	0.3614	0.4009	-0.2049
1079	4.6690	-0.4925	1.9568	0.3229	0.7790	-0.3088
1080	4.1305	-0.3903	1.4921	0.2613	1.0285	-0.3629
1088	0.7103	0.4668	0.4082	0.2482	0.9852	-0.3915
1089	0.1543	0.5094	0.1411	0.1357	0.3783	-0.2421
1090	0.0085	0.3178	0.0038	0.0073	0.0596	-0.0118
1100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
1108	0.0163	-0.7935	0.0232	-0.0189	0.0004	0.0133
1109	0.1479	-0.9889	0.0839	-0.1435	-0.0340	0.1118
1110	0.4053	-0.9738	0.1686	-0.1972	-0.0672	0.1890
1118	1.3152	-0.4364	0.3570	-0.2253	-0.0667	0.1894
1119	1.5151	-0.2508	0.4912	-0.2593	-0.0633	0.1626
1120	1.5640	-0.0043	0.7264	-0.3394	-0.0597	0.1584
1128	1.3362	1.3199	1.9682	-0.3442	-0.0590	0.1328
1129	1.3237	1.4411	2.2699	-0.2718	-0.0794	0.0974
1130	1.3371	1.2908	2.5109	-0.1780	-0.1017	0.0148
1140	1.3344	-0.6280	3.4759	-0.1471	-0.1002	-0.0157
1148	0.2053	-6.4979	5.2663	-0.0494	-0.0957	-0.1087
1149	0.0111	-6.6677	5.2386	0.0394	-0.1197	-0.2035
1150	-0.2721	-6.5898	5.1320	0.0775	-0.1421	-0.2869
1159	-0.4509	-6.3393	4.9470	0.1314	-0.1389	-0.3699
1160	-0.4488	-6.1087	4.6906	0.2228	-0.1357	-0.4136
1168	0.1889	-5.0306	3.1665	0.2300	-0.1349	-0.4310
1169	0.1886	-4.7588	2.9115	0.2147	-0.1318	-0.4416
1170	0.0071	-4.3939	2.7335	0.2087	-0.1289	-0.4650
1180	-1.5169	-2.2039	2.1277	0.1938	-0.1283	-0.4596
1188	-3.3209	0.3153	1.4131	0.1761	-0.1280	-0.4469
1189	-3.4157	0.7038	1.3708	0.1588	-0.1391	-0.4401
1190	-3.2101	1.0443	1.4243	0.1189	-0.1504	-0.4390

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING
DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
CASE 9 (EXP) L9=L5-L6

Node	DX cm.	DY cm.	DZ cm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
1198	-2.4922	1.5732	1.6154	0.1148	-0.1504	-0.4390
1199	-2.1544	1.8145	1.5877	0.0690	-0.1504	-0.4390
1200	-1.9306	1.9363	1.3849	0.0288	-0.1504	-0.4390
1210	-1.4586	2.0200	0.3700	0.0258	-0.1504	-0.4390

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024)
Job Name: TV1LBA20BR010
Licensed To: AF - ENGINEERING

Date: APR 15, 2016 Time: 13:52

LISTING OF STATIC LOAD CASES FOR THIS ANALYSIS

1 (HGR) CASE NOT ACTIVE
2 (HGR) CASE NOT ACTIVE
3 (HYD) WW+HP+H
4 (OPE) W+D1+T1+P1+H
5 (OPE) W+D2+T2+P2+H
6 (SUS) W+P1+H
7 (SUS) W+P2+H
8 (EXP) L8=L4-L6
9 (EXP) L9=L5-L6

TABLE OF CONTENTS -- STATIC OUTPUT

-PAGE-	---REPORT / LOAD CASE---
1	Stress Summary
	3 (HYD) WW+HP+H
	4 (OPE) W+D1+T1+P1+H
	5 (OPE) W+D2+T2+P2+H
	6 (SUS) W+P1+H
	7 (SUS) W+P2+H
	8 (EXP) L8=L4-L6
	9 (EXP) L9=L5-L6
3	Restraints Extended
	3 (HYD) WW+HP+H
4	Restraints Extended
	4 (OPE) W+D1+T1+P1+H
5	Restraints Extended
	5 (OPE) W+D2+T2+P2+H
6	Restraints Extended
	6 (SUS) W+P1+H
7	Restraints Extended
	7 (SUS) W+P2+H
8	Restraints Extended
	8 (EXP) L8=L4-L6
9	Restraints Extended
	9 (EXP) L9=L5-L6
10	Displacements
	3 (HYD) WW+HP+H
12	Displacements
	4 (OPE) W+D1+T1+P1+H
14	Displacements
	5 (OPE) W+D2+T2+P2+H
16	Displacements
	6 (SUS) W+P1+H
18	Displacements
	7 (SUS) W+P2+H
20	Displacements
	8 (EXP) L8=L4-L6
22	Displacements
	9 (EXP) L9=L5-L6

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 15, 2016 Time: 13:52
 Job Name: TV1LBA20BR010
 Licensed To: AF - ENGINEERING

CAESAR II HANGER REPORT (TABLE DATA FROM DESIGN RUNS)

NO.	FIG.	VERTICAL	HOT	THEORETICAL	ACTUAL			
NODE	REQD	SIZE	LOAD	INSTALLED	INSTALLED	SPRING	HORIZONTAL	
	NO.	MOVEMENT		LOAD	LOAD	RATE	MOVEMENT	
-----+---	+-----	+-----+---	(cm.)--	+(N.)--	+(N.)--	+(N.)--	(N./cm.)--	(cm.)-
A20BQ029	2	2153	-3.676	14197.	11749.	0.	666.	2.945
	LISEGA					LOAD	VARIATION =	17%
A20BQ015	1	2153	-4.306	15578.	12710.	0.	666.	7.767
	LISEGA					LOAD	VARIATION =	18%

