

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program:** N0715A270013 Stavba energetických strojů a zařízení  
**Studijní zaměření:** Stavba jaderně energetických zařízení

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Komplexní návrh systému ucpávkové a komínkové páry**

**Autor:** Jan POSPÍCHAL  
**Vedoucí práce:** Ing. Pavel ŽITEK, Ph.D.

Akademický rok 2023/2024

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan POSPÍCHAL**  
Osobní číslo: **S22N0022P**  
Studijní program: **N0715A270013 Stavba energetických strojů a zařízení**  
Specializace: **Stavba jaderně energetických zařízení**  
Téma práce: **Komplexní návrh systému ucpávkové páry a komínkové páry**  
Zadávací katedra: **Katedra energetických strojů a zařízení**

## Zásady pro vypracování

Úkolem studenta bude návrh systému ucpávkové a komínkové páry parní turbíny. Na základě zadání student navrhne procesní schéma, 3D model zakomponovaný do stávající dispozice a následný pevnostní a pružnostní návrh.

Díličí úkoly budou vypadat takto:

- Úvod – turbína v parním cyklu, účel a princip ucpávkové a komínkové páry, přehled ucpávek parní turbíny
- Vytvoření P&ID diagramu (rozsah turbíny, ucpávková a komínková pára, EPK, KKP)
- Hydraulický návrh potrubí, stanovení návrhových parametrů, výpočet regulačních ventilů, výpočet svlažovače
- Pevnostní návrh potrubních systémů
- Vytvoření 3D modelu
- Pružnostní kontrola potrubí, kontrola dovolených účinků / návrh kompenzačních smyček

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- BEČVÁŘ, Josef, Tepelné turbíny,. Bratislava : SNTL/SVTL, 1968. 548 s.
- ŠČEGLJAJEV, Andrej Vladimirovič. Parní turbíny, Praha: SSNTL, 1983
- ŠKOPEK., Jan., Parní turbína (Tepelný a pevnostní výpočet) ISBN Plzeň, 2003
- Dixon S. L., Hall C.A.: Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery, Elsevier, 2010, ISBN 978-1-85617-793-1.
- JINDŘICH, Josef a BLOVSKÝ Jiří. Příručka pro začínající projektanty. Plzeň: Škoda Power, 2010.
- PENG, L.C., PENG A., Pipe stress engineering; Peng Engineering, Huston, ASME PRESS
- PEKAŘ V., Jak na potrubí – e-kniha o pevnostních výpočtech potrubí – teorie, Vysoké Míto, iPotrubí.cz, 2019. 275 s.
- Interní materiály Doosan Škoda Power s.r.o

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavel Žitek**  
Regionální technologický institut

Konzultant diplomové práce: **Ing. Petr Kollross, Ph.D.**  
Doosan Škoda Power

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2023**  
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2024**

L.S.

---

**Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.**  
děkan

---

**Doc. Ing. Petr Eret, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji Ing. Pavlu Žitkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce. Rád bych také poděkoval za cenné rady při tvorbě práce mému konzultantovi Ing. Petru Kollrossovi, Ph.D. a firmě Doosan Škoda Power s.r.o. za poskytnutí dokumentací a programů na vypracování této diplomové práce.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Pospíchal	<b>Jméno</b> Jan		
<b>STUDIJNÍ PROGRAM</b>	N0715A270013 Stavba energetických strojů a zařízení			
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	<b>Příjmení</b> Ing. Žitek, Ph.D.	<b>Jméno</b> Pavel		
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU – FST – KKE			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Komplexní návrh systému ucpávkové a komínkové páry			

<b>FAKULTA</b>	Strojní	<b>KATEDRA</b>	KKE	<b>ROK ODEVZD.</b>	2024
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN

<b>CELKEM</b>	112	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	102	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	10
---------------	-----	---------------------	-----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS</b>	Diplomová práce se zaměřuje na návrh systému ucpávkové a komínkové páry parní turbíny. Práce má za cíl tvorbu potřebných schémat pro zhotovení potrubí, hydraulický, pevnostní a pružnostní návrh a vytvoření 3D modelu.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	parní turbína, ucpávka, pevnostní a pružnostní analýza, 3D modelování

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Pospíchal	<b>Name</b> Jan	
<b>STUDY PROGRAMME</b>	N0715A270013 Design of Power Machines and Equipment		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname</b> Ing. Žitek, Ph.D.	<b>Name</b> Pavel	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU – FST – KKE		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<del><b>BACHELOR</b></del>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design of the gland and vent steam system		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KKE	<b>SUBMITTED IN</b>	2024
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES

<b>TOTALLY</b>	112	<b>TEXT PART</b>	102	<b>GRAPHICAL PART</b>	10
----------------	-----	------------------	-----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>	The diploma thesis focuses on the design of the gland and vent steam system of a steam turbine. The thesis aims at creating the necessary schematics for the piping, hydraulic, strength and elasticity design and creating a 3D model.
<b>KEY WORDS</b>	steam turbine, turbine sealing, strength and elasticity analysis, 3D modelling

## Obsah

Zadání DP.....	2
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	9
Seznam obrázků .....	10
Seznam tabulek .....	11
1 Úvod.....	13
2 Turbína v parním cyklu .....	14
2.1 Paroplynová elektrárna .....	14
2.2 Bilanční schéma.....	15
2.3 T-s diagram.....	16
2.4 Zadání turbíny.....	17
3 Schéma pára-voda .....	19
3.1 Turbína.....	20
3.2 Expandér provozních kondenzátů .....	25
3.3 Kondenzátor komínkových par .....	26
3.4 Sběrna odvodnění .....	27
4 Dimenzování potrubí.....	29
4.1 Výpočet DN .....	29
4.2 Výpočtový tlak a teplota.....	30
4.3 Materiál potrubí .....	32
4.4 Výpočet tloušťky potrubí.....	33
5 Výpočet zařízení.....	36
5.1 Regulační ventil .....	36
5.2 Svlačovač.....	38
5.3 Redukční clona .....	39
6 Plant Design Management System.....	44
6.1 Modelování potrubí .....	44
6.2 Celkové uspořádání .....	49
7 Simulace reálných provozů .....	51
7.1 Podklad pro výpočty v CAESAR II .....	51
7.2 Nastavení simulace .....	61
7.3 Výsledky simulace.....	64
8 Závěr.....	69
Seznam použitých zdrojů .....	70
PŘÍLOHY.....	i



## Přehled použitých zkratk a symbolů

### Seznam zkratk

DN	.....jmenovitý průměr
DSPW	..... Doosan Škoda Power s.r.o.
E-B	.....Ericssonův-Braytonův
EPK	.....expandér provozních kondenzátů
FM	..... frekvenční měnič
GP	..... generátor páry
HBD	..... bilanční schéma
HK	..... hlavní kondenzátor
KČ	.....kondenzátní čerpadla
KKP	.....kondenzátor komínkových par
KP	.....komínková pára
NČ	.....napájecí čerpadla
NN	..... napájecí nádrž
NT	..... nízkotlaký
NTO	.....nízkotlaký ohřívák
NV	.....napájecí voda
R-C	.....Rankyn-Clausiiův
RS	.....regulační stanice
RV	.....regulační ventil
SKŘ	..... systém kontroly řízení
ST	..... střednětlaký
SV2	..... podpora kluzná svislého potrubí
TG	..... turbogenerátor
T-s	..... teplota-entropie
UP	..... ucpávková pára
VT	..... vysokotlaký
VTO	..... vysokotlaký ohřívák
VTRV	..... vysokotlaký regulační ventil
VTRZV	..... VT rychlouzávěrný ventil

### Seznam symbolů

$w \left[ \frac{m}{s} \right]$	..... rychlost
$S [mm^2]$	..... průřez
$\rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$	..... hustota
$\rho_s \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$	..... hustota směsi
$d_i [mm]$	..... vnitřní průměr
$\dot{m} \left[ \frac{kg}{s} \right]$	..... hmotnostní průtok
$\dot{m}_p \left[ \frac{kg}{s} \right]$	..... hmotnostní průtok páry
$\dot{m}_{vz} \left[ \frac{kg}{s} \right]$	..... hmotnostní průtok vzduchu
$R_m [MPa]$	..... mez pevnosti
$R_t [MPa]$	..... mez pevnosti při tečení
$R_{t200000h} [MPa]$	..... mez p. při tečení (200000h)
$R_{p0,2} [MPa]$	..... mez kluzu při prodl. 0,2 %
$f [MPa]$	..... dovolené namáhání
$D [mm]$	..... vnější průměr
$t (e_{ord}) [mm]$	..... tloušťka stěny
$e [mm]$	..... vypočtená tloušťka
$e_a [mm]$	..... analyzovaná tloušťka
$c_0 [-]$	..... korozní a erozní přírůstek
$c_1 [-]$	..... úchylka z normy materiálu
$c_2 [-]$	..... přírůstek na ztenčení
$p_c [bar]$	..... výpočtový tlak
$p_o [bar]$	..... pracovní tlak
$t_c [^{\circ}C]$	..... výpočtová teplota
$t_o [^{\circ}C]$	..... pracovní teplota
$z [-]$	..... součinitel hodnoty spoje

## Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma paroplynové elektrárny [1] .....	14
Obr. 2: Výřez z HBD.....	15
Obr. 3: Zjednodušený model ideálního RC cyklu s NN [2].....	16
Obr. 4: Schéma a popis turbíny .....	20
Obr. 5: Schéma a popis rychlozávěrných a regulačních ventilů .....	21
Obr. 6 a 7: Schéma a popis technologického odběru (vlevo) a přívodu NT páry (vpravo) .....	21
Obr. 8: Schéma svlažování lopatek .....	22
Obr. 9 a 10: Nepravá (vlevo) [4] a pravá (vpravo) [5] labyrintová ucpávka .....	23
Obr. 11: Schéma labyrintových ucpávek [6].....	23
Obr. 12: Schéma a popis neregulované UP .....	24
Obr. 13: Schéma a popis nízkotlaké ucpávkové páry .....	25
Obr. 14: Schéma a popis komínkové páry .....	25
Obr. 15: Schéma EPK a zvyšovacích čerpadel .....	26
Obr. 16: Schéma KKP a ventilátorů.....	27
Obr. 17: Schéma sběrný odvodnění .....	28
Obr. 18: Výřez ze schématu pára-voda .....	31
Obr. 19: Tloušťky potrubí .....	34
Obr. 20: Charakteristiky ventilů [10] .....	36
Obr. 21: Provozní křivky [10].....	37
Obr. 22: Schéma svlažovače [18].....	39
Obr. 23 a 24: Jedno-otvorová clona (vlevo) [13] a dump tube (vpravo) [14].....	40
Obr. 25: Zapojení VT UP.....	46
Obr. 26 a 27: Zapojení VT UP bez turbíny a do EPK.....	46
Obr. 28: Zapojení NT UP .....	47
Obr. 29 a 30: Zapojení NT UP bez turbíny .....	47
Obr. 31: Zapojení NT UP do EPK .....	48
Obr. 32 a 33: Zapojení KP .....	48
Obr. 34: Pohled na turbínový ostrov .....	49
Obr. 35: Pohled na baterii odvodnění.....	49
Obr. 36: Pohled na turbostolici a EPK .....	50
Obr. 37: Rozměry redukce typu A [18] .....	52
Obr. 38 a 39: Rozměry a plochy T-kusů [7] .....	58
Obr. 40: Rozměry den typu A [7] .....	60

Obr. 41: Momenty působící na tvarovky [7].....	61
Obr. 42: Graf posuvů rotoru a statoru turbíny.....	62
Obr. 43 a 44: Simulace KP bez úprav, turbínová část vlevo, hrdlo do KKP vpravo .....	64
Obr. 45 a 46: Simulace KP s prvotními úpravami .....	65
Obr. 47 a 48: Simulace KP s konečnými úpravami .....	65
Obr. 49 a 50: Simulace UP bez úprav .....	66
Obr. 51 a 52: Simulace UP po přidání kompenzačních smyček .....	67
Obr. 53 a 54: Simulace UP s konečnými úpravami .....	67

## Seznam tabulek

Tab. 1: Informace o turbíně.....	18
Tab. 2: Doporučené rychlosti .....	29
Tab. 3: Vypočítané DN se vstupními hodnotami .....	30
Tab. 4: Porovnání pracovních a výpočtových parametrů.....	32
Tab. 5: Mezní teploty pro vybrané materiály .....	32
Tab. 6: Meze napětí při různých teplotách [9] .....	33
Tab. 7: Dovolené namáhání $f$ .....	33
Tab. 8: Skutečné parametry potrubí .....	34
Tab. 9: Výpočet bezpečnosti potrubí.....	35
Tab. 10: Výpočet $K_v$ .....	38
Tab. 11: Výpočet rychlosti při změně tlaku .....	41
Tab. 12: Výpočet $K_v$ při změně tlaku .....	41
Tab. 13: Výpočet průměru otvoru clony při změně tlaku .....	42
Tab. 14: Hodnoty $\xi_{mz}$ [16] .....	43
Tab. 15: Vyráběné redukce pro rozměr DN 100 [18] .....	52
Tab. 16: Vypočtené dovolené napětí v analyzované redukci.....	54
Tab. 17: Výčet všech redukcí a pevnostní výpočet.....	56
Tab. 18: Výsledky výpočtu zkoumané redukce (rozměry tloušťek a délek v milimetrech).....	57
Tab. 19: Výčet všech kolen a zhodnocení tloušťky .....	58
Tab. 20: Výčet všech T-kusů a pevnostní výpočet.....	59
Tab. 21: Výčet všech den a pevnostní výpočet .....	60
Tab. 22: Posuvy hrdel.....	63
Tab. 23: Dovolené síly a momenty v hrdlech .....	63
Tab. 24: Hmotnosti armatur .....	64

Tab. 25: Hodnocení nejvyšších napětí potrubí KP.....	66
Tab. 26: Hodnocení nejvyšších napětí potrubí UP.....	68

# 1 Úvod

Turbínový ostrov představuje klíčový prvek ve všech tepelných elektrárnách a průmyslových zařízeních. Nezbytnou součástí turbínového ostrova je turbogenerátor (turbína a generátor), který přeměňuje tepelnou energii obsaženou v páře na elektrickou. Efektivita a spolehlivost parní turbíny závisí na mnoha faktorech, včetně kvality konstrukce a správného fungování systému ucpávek.

Utěsnění těles a rotoru turbíny představuje zásadní část konstrukce, která vyžaduje pečlivý a precizní přístup. Oproti jednoduchým utěsněním pomocí gufera či o-kroužku se jedná o mnohem komplexnější úkol, protože je nezbytné zajistit spolehlivé a účinné utěsnění v prostředí s vysokým tlakem a teplotou. Jednou z komplexností tohoto přístupu je nutnost dalších potrubních celků, které je nutné navrhnout, namodelovat a pevnostně zkontrolovat.

Při návrhu tohoto potrubí je klíčové brát v úvahu mechanické vlastnosti materiálu, který musí odolávat podmínkám provozu. Zároveň je nezbytné správně vypočítat pružnost materiálu, aby byla zajištěna dostatečná odolnost vůči deformacím a aby byla zajištěna dlouhá životnost a spolehlivost celého systému. Tento výpočet mechanické pružnosti je klíčovým prvkem při navrhování efektivních a odolných potrubních systémů pro ucpávkové páry turbín.

Na potrubních trasách jsou také umístěna měření a tvarové části (kolena, T-kusy). Tyto prvky mají klíčový vliv na celkovou funkci a spolehlivost potrubního systému. Správné umístění měření a design tvarových částí je nezbytný pro minimalizaci rizika poruch. Provádění pružnostní a pevnostní analýzy tvarových prvků umožňuje identifikovat potenciální problémy a navrhnout opatření pro zvýšení jejich odolnosti a spolehlivosti.

Proces tvorby potrubí pro ucpávkové páry turbíny dále zahrnuje detailní tvorbu 3D modelů, které umožňují vizualizaci a simulaci chování potrubního systému v různých podmínkách. Tento krok je nezbytný pro identifikaci možných problémů a optimalizaci designu ještě před fyzickou realizací, což vede k úspoře času a nákladů a zajišťuje vyšší úroveň kvality.

Cílem této diplomové práce je navrhnout systém ucpávkové a komínkové páry parní turbíny, který bude zajišťovat správné a efektivní fungování turbíny v rámci tepelného cyklu. Výsledkem je vytvoření procesního schématu, 3D modelu a provedení pevnostních a pružnostních návrhů tohoto systému.

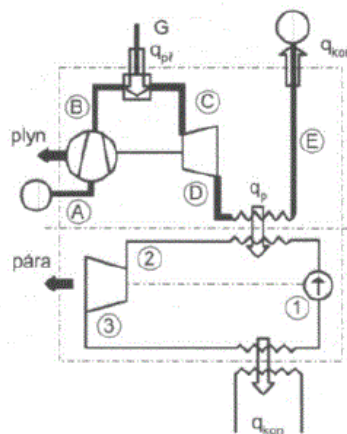
## 2 Turbína v parním cyklu

Elektrárna s parní turbínou představuje zařízení navržené k efektivnímu využití vysoko-potenciálního tepla obsaženého v páře. Hlavním cílem tohoto zařízení je přeměna této tepelné energie na mechanickou energii, která je následně převedena na elektrickou energii v generátoru. Tento proces je založen na principu parního cyklu, který je základem pro fungování celé elektrárny. V rámci parního cyklu dochází k tepelnému zpracování vody, která se mění mezi skupenstvími a prochází různými fázemi v systému.

Nejjednodušší cyklus obsahuje kotel, který může být postaven na jakémkoliv fyzikálním základu, dodávající teplo do vody a tím dochází k jejímu vypařování. Teplo se může generovat chemickou reakcí, jako je například spalováním uhlí nebo plynu, nukleární reakcí, jako je využito v jaderných elektrárnách, využíváním geotermálního tepla nebo tepla ze Slunce, přeměňovanému například do slunečních věží. Dále cyklus obsahuje turbínu, která velice zjednodušeně převádí teplo na mechanickou energii a pohání generátor. Turbín se vyskytuje celá řada a každá má své praktické využití. Mezi hlavní dělení se řadí kondenzační a protitlaké turbíny, nebo podle tlaku zpracovávaného média se člení na vysoko, středně a nízkotlaké. Kondenzátor, který je umístěn za turbínou, obecně odebírá zbytkové nevyužité teplo z cyklu. Kondenzátory mohou být chlazeny vodou (říční, mořskou) či vzduchem. Jako poslední se uvádí čerpadlo, které zvyšuje tlak ochlazeného média, a tím přímo určuje tlak admisní páry. To může být poháněno vlastní turbínou (u velkých bloků) nebo elektromotorem. Obecně se tato sekvence, kterou prochází voda (popřípadě pára), nazývá Rankyn-Calusiův cyklus (Dále také R-C cyklus).

### 2.1 Paroplynová elektrárna

Práce se opírá o turbínu, která je navržena pro parní část paroplynového cyklu. Paroplynový cyklus je výsledkem spojení dvou cyklů již výše zmíněného R-C cyklu (na obrázku 1 označen číslicemi) a Ericssonova-Braytonova cyklu (dále také E-B cyklus, který je označen písmeny). E-B cyklus tvoří kompresor (mezi body A-B), který stlačuje okolní vzduch a vhání jej do spalovací komory (B-C). Stlačený vzduch podporuje intenzivnější spalování paliva (pro elektrárenské potřeby většinou plyn) ve spalovací komoře. Ohřáté spaliny expandují ve spalovací turbíně (C-D), která je spojena s kompresorem a generátorem. Pouze část tepelné a tlakové energie spalín se přemění na mechanickou energii rotoru, a proto i po expanzi mají spaliny stále velkou teplotu. Proto se spaliny vhánějí do výměníku (D-E), kde předávají část tepla vodě v druhém R-C cyklu (mezi body 1-2). Výměník může být složen z několika menších výměníků, jež pracují na rozdílných tlacích NV, toto rozdělení záleží na návrhu elektrárny.

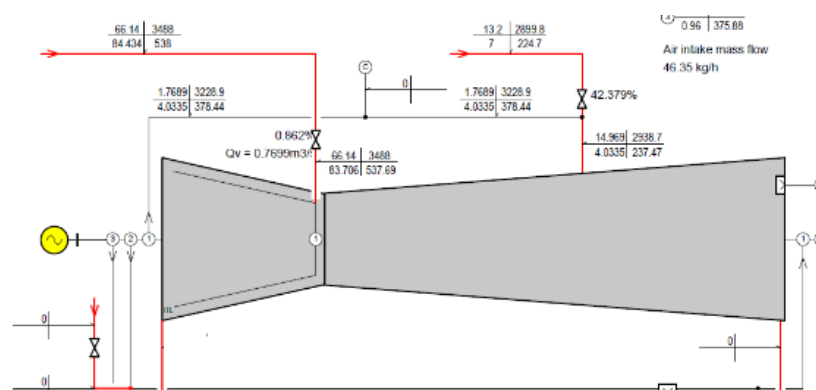


Obr. 1: Schéma paroplynové elektrárny [1]

Spojením těchto dvou cyklů můžeme dosáhnout vyšší účinnosti (cca 50 %), zatímco okruhy jednotlivě mají účinnost nižší. U R-C cyklu je účinnost cca 35 % a u E-B cca 33 %. [1]

## 2.2 Bilanční schéma

Na začátku projektu se nachází bilanční schéma (HBD z angl. heat balance diagram) elektrárny, které zobrazuje hrubé základní rozložení turbínového ostrova se zapojenými trasami a návaznosti na ostatní části elektrárny, viz obrázek 2. Mimo to obsahuje i základní stavové veličiny v důležitých částech potrubí a zařízení turbínového ostrova (tzv. kříže, které je možné vidět na obrázku 2 u některých potrubí). Důležité je poznamenat, že stavové veličiny se mohou lišit v závislosti na typu provozu, proto se vytváří několik diagramů na pokrytí nejdůležitějších provozů, zejména provoz na plném výkonu. Mohou se objevit i částečné provozování (například 50 % výkonu). V případě teplofíkace se při návrhu HBD uvažují i provozování během různých ročních období (provoz v létě a zimě).



Obr. 2: Výřez z HBD

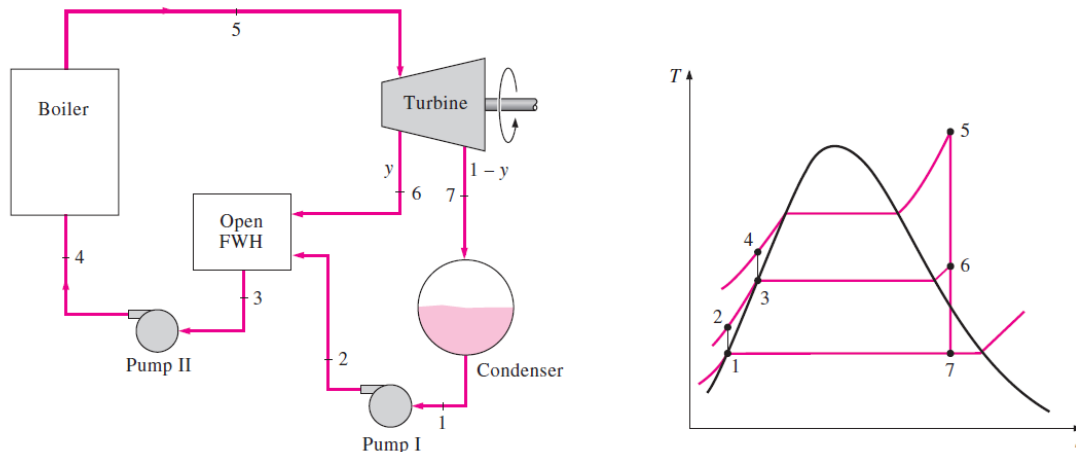
Z HBD lze vyčíst základní koncepci turbíny. Jedná se o kombinovanou VT-ST-NT turbínu. VT díl s vnitřním tělesem má otočený směr proudění, což zapříčiňuje, že turbínové těleso, a tudíž i ucpávkový systém, je méně teplotně a tlakově namáhán. Na konci VT dílu se nachází odběr, který se v design provozu nevyužívá. Jedná se o technologický odběr využívaný ve výrobě. Parní turbína má axiální výstup do kondenzátoru. Z toho důvodu je generátor umístěn na levé straně, tj. u předního ložiskového stojanu. Ucpávkový systém je složen z jedné neregulované VT ucpávkové trasy, která ústí do přívodu NT páry, z jedné regulované NT ucpávkové trasy a z jedné komínkové trasy ústící do KKP. Ucpávkový systém je blíže popsán v kapitole 3.1.5. Přívod NT páry do NT části turbíny poukazuje na fakt, že se jedná o paroplynovou elektrárnu. Pára kondenzuje v axiálním kondenzátoru, který je v tomto případě chlazen vodou. Kondenzát se nasává KČ a vytlačuje do NN. Cestou do NN se kondenzát ohřívá v KKP, kde se zbytkové teplo z komínkové páry předává kondenzátu. Schéma obsahuje i EPK (angl. flash tank), do kterého ústí zbylé provozní kondenzáty a náhradní trasy ucpávkové páry.

V našem případě se parní část paroplynové elektrárny skládá z výměníku (generátoru páry), který předává zbylé teplo expandovaných spalin vodě a vypařuje ji. Admisní pára expanduje v turbíně, kde koná technickou práci, kondenzuje v kondenzátoru a KČ a NČ překonávají třecí a viskózní ztráty, geodetickou výšku a dopravují hlavní kondenzát do kotle.

Mimo jiné turbínový ostrov parní části elektrárny obsahuje i podpůrné a vedlejší okruhy, jako je: systém olejového hospodářství turbíny, generátoru a čerpadel; systém komínkové a ucpávkové páry; systém odvodnění a odvzdušnění; expandér provozních kondenzátů; systém udržení vakua; systém doplňování kondenzátu apod.

## 2.3 T-s diagram

T-s diagram, který lze vytvořit pomocí HBD, vizuálně znázorňuje stav vody, mokré a přehřáté páry v uzavřeném cyklu elektrárny. Díky T-s diagramu lze detailněji pochopit účel jednotlivých zařízení v elektrárně. Rankyn-Clausiusův cyklus, který je základem pro fungování elektrárny s parní turbínou, je rozdělen do čtyř hlavních úseků. Tyto úseky ilustruje obrázek 3.



Obr. 3: Zjednodušený model ideálního RC cyklu s NN [2]

- **Kondenzátní a napájecí čerpadla**

KČ (značeno na obrázku 3 jako „Pump I“) překonávají místní, třecí a viskózní ztráty, geodetickou výšku a dopravují hlavní kondenzát do NN. Jejich úlohou je zajistit, že kondenzát z kondenzátoru je účinně odveden a recyklován zpět do systému. NČ (Pump II) stlačují napájecí vodu na požadovaný tlak, čímž kryjí tlakové ztráty v okruhu, zajistí dostatečné množství vody proudící do výparníku a určují hodnotu tlaku admisní páry. Je důležité, aby sání napájecích čerpadel (označené v diagramu jako bod 3) bylo umístěno v dostatečné hydraulické výšce, aby pokles tlaku na sání čerpadel nepřekročil minimální NPSH (angl. net positive suction head neboli minimální absolutní tlak pro vyloučení kavitace na sací straně čerpadla), a tím se zabránilo kavitaci a poškození lopatek čerpadla. Z výtlačku NČ (označeného bodem 4) proudí napájecí voda do regeneračních výměníků, či rovnou do ekonomizéru.

- **Regenerace**

Pro zvýšení tepelné účinnosti elektrárny se do okruhu přidává NT a VT regenerace. Regenerace předává do hlavního kondenzátu a napájecí vody teplo, které se poté nemusí přidávat v ekonomizéru. Tento proces zvyšuje efektivitu využití tepla v parním cyklu elektrárny tím, že využívá teplo, které by jinak bylo ztraceno. Nízkotlaká regenerace zahrnuje předávání tepla z páry po expanzi v turbíně do kondenzátu v NTO, zatímco vysokotlaká umožňuje předávání tepla z turbíny do napájecí vody, která je přiváděna zpět do kotle. Tímto způsobem regenerace přispívá k optimalizaci provozu elektrárny tím, že maximalizuje využití tepla a snižuje ztráty energie v parním cyklu. V obrázku 3 výše nejsou NTO a VTO značeny, protože by byl jinak velmi nepřehledný. Je nutné dodat, že paroplynové elektrárny nepoužívají regeneraci, protože k ohřevu NV se využívá pouze odpadní teplo ze spalín E-B cyklu, které je nutné využít co možná nejvíce.

- **Generátor páry**

V GP se část zbytkového nevyužitého tepla spalín z plynového E-B cyklu předá do vody a tím se ohřeje na mez sytosti, vypaří a přehřeje na teplotu 538 °C. Tento proces



je vyobrazen křivkou 4-5. Obecně se výměník pro tento účel dělí konstrukčně do tří částí: ekonomizér, kde je teplo předáváno vodě do bodu sytosti vody; výparník, kde se voda vypařuje do meze sytosti páry, obecně se tomuto médium říká mokrá pára; a přehřívák, který dodává teplo syté páře a tím jí přehřívá na pracovní parametry.

- **Turbína**

Tlaková a teplotní energie páry (označována jako entalpie) se expanzí v turbíně mění na mechanickou rotační energii rotoru. Pára proudí přes otočený VT díl, kde prudce poklesne teplota a tlak z 538 °C a 84 barů na 400 °C a 63 barů. Pára dále expanduje v ST a NT dílu, je nutné podotknout, že na posledních stupních turbíny se jedná o mokrou páru (okolí bodu 7). Jedná se tedy o kondenzační turbínu expandující páru až do hodnoty nízkého tlaku (blízké vakuu), které je vytvořeno HK.

- **Hlavní kondenzátor**

HK odvádí nízko-potenciální teplo chladící vodou. Pára vystupující z NT dílu se mění na kondenzát a proudí do KČ. HK je chlazen vodou o teplotě 32,5 °C a v kondenzátoru se ohřeje o 6 °C. Takto malý teplotní rozdíl (vylučující chlazení v chladících věžích) a vysoká teplota chladící vody může naznačovat tropický pás, či elektrárnu situovanou u moře, ale pro toto tvrzení je potřeba více informací. Z kondenzátoru se také odvádí nekondenzovatelné plyny, které se do okruhu dostávají netěsnostmi.

## 2.4 Zadání turbíny

Jedná se o turbínu s tangenciálním vstupem s jedním rychlozávěrným a jedním regulačním ventilem a axiálním výstupem do kondenzátoru. Turbína neobsahuje prohřívací prstence a počítá s obtokem (by-pass). I když má turbína dlouhé vnitřní těleso VT části, tak není potřeba chlazení dýzových nástavců, protože teplotní diference je malá. Turbína obsahuje jeden technologický odběr a jeden přívod NT páry. V nabídce se počítá s jednou řadou svlažovačů NT lopatek.

Potrubí je vyžadováno v normě EN. Do rozsahu patří: VTRZV a VTRV, turbína s VT s obráceným proudem, ST a NT dílem, systém komínkové a ucpávkové páry s KKP bez obtoku a ventilátory 2×100 %, generátor a jeho chlazení (vodou) a olejový systém, EPK s čerpadly EPK (2×100 %).

Projektant by měl zvolit na trasách taková měření, jež zařídí bezpečnost provozu při navrhovaných provozech, ale norma přímo neudává, které měření je vhodné do projektu zahrnout. Pro zjednodušení vytvořila DSPW interní seznam měření pro často využívané trasy, jež jsou nutná pro bezpečnost (zabezpečované veličiny) a které je vhodné znát pro provoz (sledované veličiny).

Důležité informace o turbíně obsahuje tabulka 1 níže:

**Tab. 1: Informace o turbíně**

Výkon TG	17 MW
Turbínové ventily	1× (1+1), tangenciální
Výstup z turbíny	axiální
VT prohřívací prstenec	není
Regulace turbíny	škrtkící, klouzavým tlakem
Chlazení dýzových nástavců	není
Chlazení posledních stupňů	1×
Norma potrubí	EN
typ KKP	bez parního obtoku, ventilátory 2×100 %

### 3 Schéma pára-voda

Jedním z výsledků při tvoření projektu je PID (angl. process and instrument diagram), který schematicky vyobrazuje zařízení ve strojovně a popisuje potrubí mezi nimi. Podkapitoly níže se budou věnovat jednotlivým celkům v PID, celý výkres je v příloze 3. Zařízení a potrubní je pro jednoduchou identifikaci označeno kódem KKS (něm. Kraftwerk Kennzeichen System). Trasy jsou doplněny o potřebné armatury s popisem materiálu, DN, normu apod.

KKS se používá pro jednoznačné označení struktur, elementů a zařízení na elektrárně. Jedná se o kód složený z číslic a písmen sestavených v následujícím pořadí: GF<sub>0</sub>F<sub>1</sub>F<sub>2</sub>F<sub>3</sub>F<sub>N</sub>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>A<sub>N</sub>A<sub>3</sub>B<sub>1</sub>B<sub>2</sub>B<sub>N</sub>. G označuje celkové zařízení, skupina F systém, A označuje agregát daného systému a skupina B provozní prostředek agregátu. Protože celkový kód je pro naše účely příliš podrobný, využívá se ve výkresech této práce jeho zkrácená forma F<sub>1</sub>F<sub>2</sub>F<sub>3</sub>F<sub>N</sub>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>A<sub>N</sub>. Níže jsou popsány jednotlivé části kódu F<sub>1</sub>F<sub>2</sub>F<sub>3</sub>, které se využívají v této práci.

L.....	Okruhy páry, vody a plynu
LB .....	Systém páry
LBA.....	Ostrá pára
LBC.....	Vratná pára
LBD.....	Odběry
LC .....	Systém kondenzátu
LCA.....	Hlavní kondenzát
LCE.....	Svlažovací kondenzát
LCM.....	Odvodnění expandérů pojištění
M.....	Hlavní soustrojí
MA.....	Parní turbína
MAA .....	VT díl
MAL.....	Sběrny odvodnění turbíny
MAM.....	Komínková pára
MAW .....	Ucpávková pára

Části kódu A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>, na které je možné narazit na výkresu v příloze 3:

A .....	Agregáty
AA.....	Armatury včetně pohonů
AT.....	Čistící, sušící, filtrační, dělicí zařízení
B .....	Přístroje
BP .....	Škrťící omezovací clony
BR.....	Potrubí, kanály a žlaby
C (L, P, T).....	Měření (hladiny, tlaku, teploty)

Označení MAW15BR010 značí potrubí č. 010 patnácté skupiny ucpávkové páry a MAL10AA851 značí armaturu č. 851 desáté skupiny sběrný odvodnění. Číselné označení

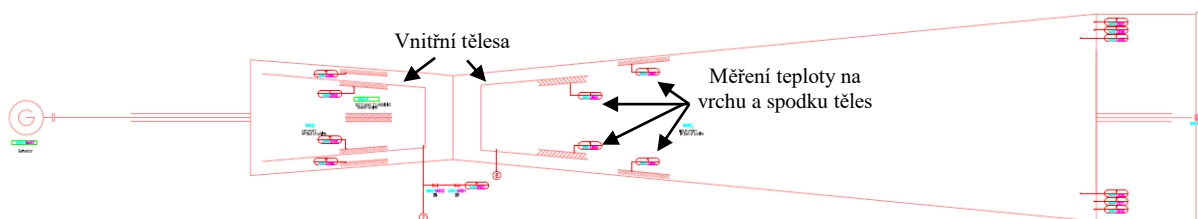
skupin a zařízení ( $F_N$  a  $A_N$ ) nemají v normě žádné striktní pravidla a nesmí se pouze opakovat. Je však nutné dodat, že DSPW dělí toto označení podrobněji, například AA851 značí armaturu u měření hladiny, ale to je mimo rozsah této práce.

### 3.1 Turbína

Turbína je tepelný rotační stroj, převádějící entalpii páry na kinetickou rotační energii rotoru. Skládá se hlavně z vnějšího tělesa, které uzavírá pracovní prostor a chrání jej před prachem a nečistotami z okolí, a z vnitřního tělesa, jež ochraňuje vnější těleso před vysokými teplotami (většinou je vnitřní těleso z jakostnějšího materiálu). Uprostřed se nachází rotor, který je osazen rotorovými (oběžnými) lopatkami.

Turbína se skládá z turbínových stupňů, každý turbínový stupeň je tvořen sadou statorových a rotorových lopatek. Statorové (rozdávěcí) lopatky jsou pevně umístěny uvnitř turbíny vnitřního tělesa v nosičích a slouží k usměrňování proudu páry a zvyšování její rychlosti. Naopak rotorové (oběžné) lopatky jsou umístěny na rotujícím hřídeli a jsou roztáčeny proudem páry. Každý stupeň turbíny má svůj specifický účel a přispívá k celkovému výkonu a účinnosti turbíny. Rovnotlaký stupeň se vyznačuje tím, že tlak před a za oběžným kolem je stejný, tím se snižují ztráty nadbandážovou ucpávkou na oběžném kole, zpracuje vyšší entalpické spády, takže turbína je kratší a levnější a také okamžitě sníží vysoké parametry páry, a tudíž turbína není tolik namáhána. Ale tento typ má nižší termodynamickou účinnost. Na druhou stranu přetlakové stupně mají, jak už název napovídá, přetlak na oběžných lopatkách. To způsobuje ztráty nadbandážovou ucpávkou a možnost zpracovat menší entalpické spády než u rovnotlakého stupně. Za to termodynamická účinnost je vyšší. Složení těchto stupňů v turbíně je know-how každého výrobce, kde záleží na udržení vysoké termodynamické účinnosti při zachování nízké ceny.

K rotoru je přes spojku a někdy převodovku připojen generátor. Celé soustrojí turbíny a generátoru se poté nazývá turbogenerátor (obr. 4). Turbína je osazena měřeními teploty na vrchu a spodku vnitřního tělesa VT a ST části turbíny a na vnější části NT dílu před vstupem NT páry.



Obr. 4: Schéma a popis turbíny

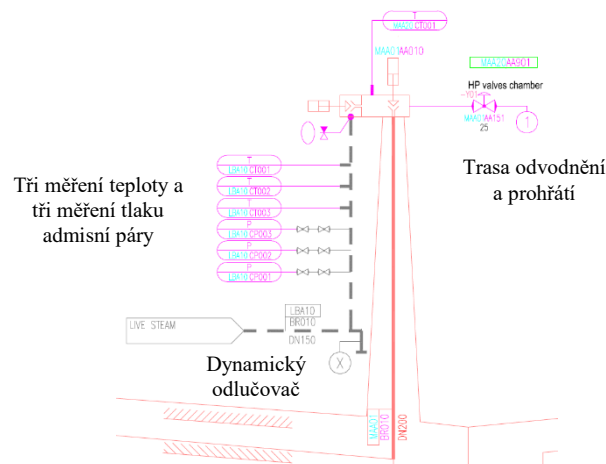
#### 3.1.1 Rychlozávěrné a regulační ventily

Přehřátá pára z parogenerátoru proudí do turbíny přes dynamický odlučovač a blok VTRZV a VTRV. Dynamický odlučovač má za úkol odstranit z páry hrubé nečistoty a odvodnit přípojovací potrubí při nájíždění. Předpokládá se, že VTRZV se prohřeje párou v přípojovacím potrubí, proto nemá prohřívací okruh. Na trase jsou umístěny tři měření teploty a tlaku, které jsou ještě vybaveny dvěma uzavíracími armaturami DN 25. VTRV má prohřívací a odvodňovací okruh, který ústí ve sběrně kondenzátu. Výše popsané celky je možné vidět na obrázku 5.

Protože vstup do turbíny je pouze jedna trasa od VTRZV a VTRV, je rozdělení páry do prvního stupně řešeno okružním kanálem. Ostřík je v tomto případě totální a lopatkování

rozváděcího kola se nachází po celém obvodu. Pro řízené rozvedení páry po obvodu okružní kanál zmenšuje od vstupu průměr tak, aby rychlost páry v kanálu byla stejná a tím byl dodržen rovnoměrný přístup páry ke všem lopatkám.

Měření tlaku je vybaveno armaturou pro odrazení měření od hlavního potrubí a výměnu. Při teplotě vyšší jak 400 °C, tlaku vyšším jak 40 bar nebo nevhodné kombinaci tlaku a teploty se z důvodu bezpečnosti používají dvě uzavírací armatury.

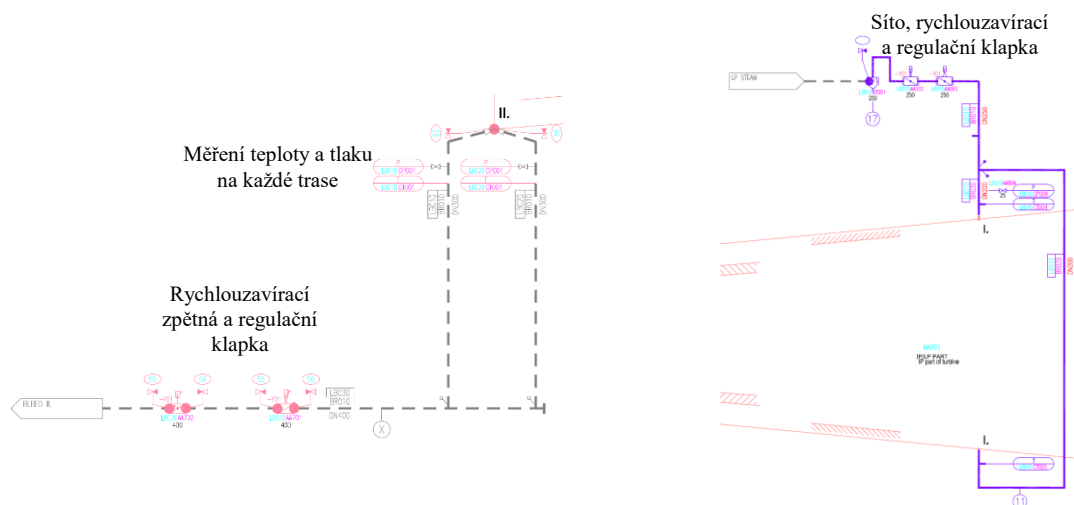


Obr. 5: Schéma a popis rychlozávěrných a regulačních ventilů

### 3.1.2 Odběr a přívod NT páry

Na konci VT části turbíny se nachází technologický odběr se dvěma trasami s měřením teploty na každé větvi a jedním měřením tlaku pro celou trasu. Trasa je zabezpečena rychlouzavírací pneumatickou zpětnou klapkou a průtok je regulován regulační klapkou s pneumatickým pohonem (viz obrázek 6).

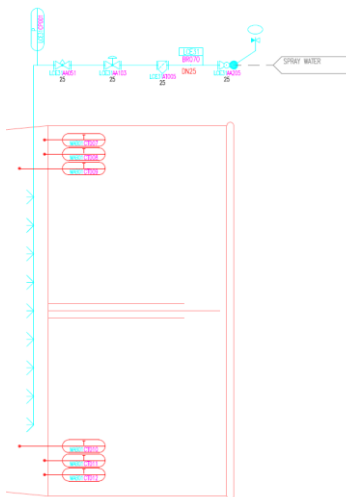
Na začátku trasy NT páry se pára čistí sítím, kde nečistoty a zkondenzovaná pára ústí do sběrný kondenzátu. Pára očištěná sítím proudí rychlouzavírací a regulační klapkou. Přívod NT páry do turbíny je osazen měřeními teploty na dolním a horním vstupu, aby teplotní difference mezi nimi nepřekročila požadovanou mez s jedním měřením tlaku (viz obrázek 7).



Obr. 6 a 7: Schéma a popis technologického odběru (vlevo) a přívodu NT páry (vpravo)

### 3.1.3 Svlažování NT lopatek

U turbín kondenzačního typu nastává při menším využití hltnosti kondenzační části tzv. ventilace posledních lopatek turbíny. Ventilace je o to vážnější, pokud se pracuje s vyšší teplotou chladicí vody anebo špatným vakuem při najíždění. Tento jev způsobuje, že poslední řady lopatek, které byly navrženy na nižší teploty, se mohou zahřát na teplotu vyšší a mohou se poškodit, nehledě na jiné dynamické síly vyvolané proudem. Tomu zabráňuje svlažovač, který zchladí páru podle potřeby. Svlažovač je spouštěn od signálů čtyř měření teploty za svlažovačem (dva v horní části dva v dolní) a při spuštění má nastavený časový limit, po který chladí. Na obrázku 8 je trasa chladicí vody svlažovače vyznačena modře.



Obr. 8: Schéma svlažování lopatek

### 3.1.4 Ucpávky

Rotor turbíny vykonává rotační pohyb, který je ve většině případech velmi vysoký (3000 otáček za minutu při našich obvyklých podmínkách výroby elektrické energie při 50 Hz bez využití převodovky), kdy není možné utěsnit rotor od statorové části fyzicky, protože by se materiálové spojení roztavilo teplem vytvořeným třecími silami. Při utěsnění statoru se využívá tzv. ucpávkových labyrintů, které fyzikálními principy expanze (v našem případě páry), tření, viskózních sil a tvorby vírů znesnadňuje cestu utěšňovaného média. Labyrint je složen z kanálků a břitů, které jsou umístěny na statoru a rotoru.

Díky tomu, že průchodem páry do kanálků pára expanduje a víří, se zmenšuje pravděpodobnost průchodu do dalšího kanálku. Sestavením několika těchto malých břitů a kanálků za sebou se můžeme dostat na úniky, které jsou ekonomicky přijatelné. Pochopitelně se nám tímto způsobem nikdy nepodaří snížit ztráty na nulu, a proto je potřeba připojení celého komínkového a ucpávkového systému, který je popsán níže. [3]

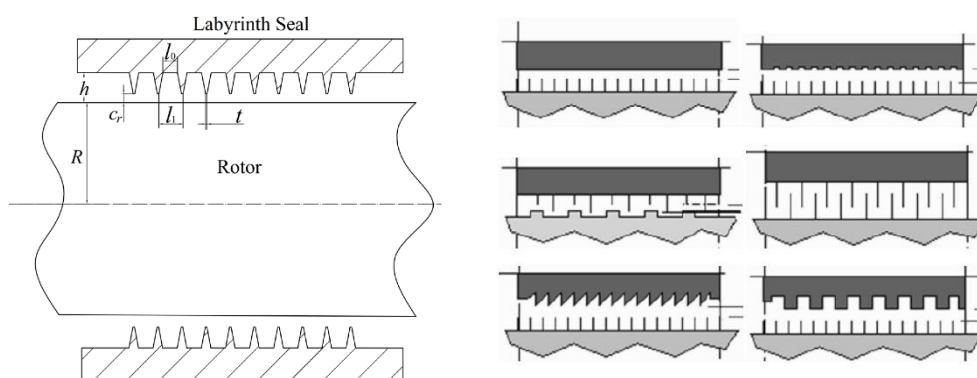
Protože parní turbíny pracují s médiem o vysoké teplotě, musí se počítat s teplotní roztažností rotoru a statoru. To vytváří velký problém, pokud by byly výstupky labyrintových ucpávek jak na rotoru a statoru, protože by se mohly přiblížit, ne-li dotknout a uštvnout. Je tedy nutné, kvůli konstrukci turbíny a jejímu předpokládanému teplotnímu roztahování, rozlišovat dva druhy labyrintových ucpávek, tj. pravé a nepravé.

- **Pravé ucpávky**

V místě turbíny, kde se předpokládá malý relativní posuv rotoru a statoru (v blízkosti tzv. pevného bodu rotoru) je možné instalovat pravé labyrintové ucpávky, jež mají břity jak na statoru, tak také na rotoru (obrázek 10). Tento druh ucpávky je efektivnější, protože pára nemá jednoduchou expanzní cestu.

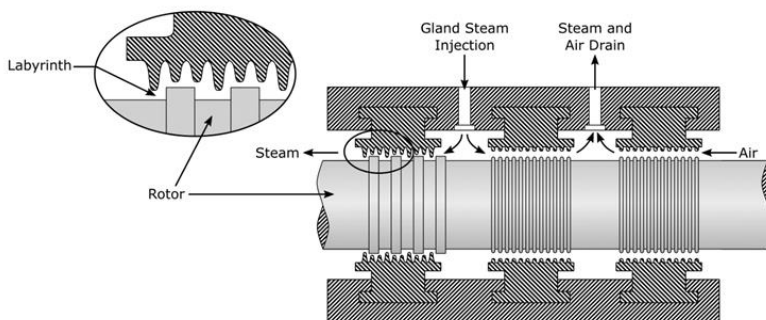
- **Nepravé ucpávky**

Doslova na druhé straně, tam kde se předpokládá velký relativní posuv (v blízkosti tzv. pevného bodu statoru) není možné instalovat pravý druh ucpávek, protože při najíždění relativní posuv dosahuje vysokých hodnot (kolem deseti milimetrů). Pokud by se při takto velkém posuvu využili pravé ucpávky, tak by výsledný labyrint byl příliš velký. Proto se břity vytvoří pouze na statorové části (mohou i na rotorové, ale z důvodu údržby a vyměnitelnosti je statorová část přívětivější). To však znamená, že pára má přímou cestu ven z turbíny, a proto jsou nepravé labyrintové ucpávky méně efektivní. Nepravé ucpávky jsou vyobrazeny na obrázku 9.



Obr. 9 a 10: Nepravá (vlevo) [4] a pravá (vpravo) [5] labyrintová ucpávka

V této práci se pracuje s turbínou, která má tři odběry mezi labyrinty (KP, NT UP a VT UP). Komínková pára (na obrázku 11 značeno jako „steam and air drain“) saje z jedné strany vzduch strojovny a z druhé páru z turbíny. Tlak komínkové páry nesmí být příliš malý, aby nedošlo k velkému odsávání páry a tím maření účinnosti, na druhou stranu nesmí být ani příliš velký, aby pára z turbíny neprofoukla do izolace nebo do olejového ložiska, anebo aby se vzduch nedostal do turbíny. Princip UP je vysvětlen v následující podkapitole.



Obr. 11: Schéma labyrintových ucpávek [6]

### 3.1.5 Systém ucpávkové a komínkové páry

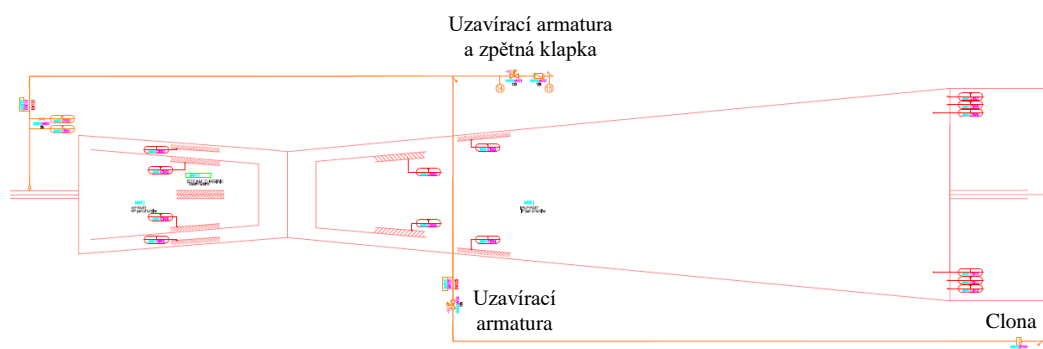
Jak už bylo zmíněno, rotor se rotačně pohybuje vůči statoru turbíny, a proto musí být zajištěno těsnění proti úniku páry a vniknutí vzduchu do vakuového prostoru. Na místě VT dílu turbíny by mohla pára unikat po hřídeli do okolní technologie, jako například do

ložiskového stojanu a tím by pára mohla znehodnotit ložiskový olej. Na místě NT dílu by okolní vzduch byl nasáván do turbíny a tím snižoval vakuum, a tudíž i účinnost.

Pára či vzduch se v labyrintovém těsnění odsává nebo přisává v různých místech těsnění, tudíž je potřeba nejen vytvoření samotného labyrintového těsnění na turbíně, ale celého systému potrubních tras, které odvádějí páru a vzduch tam, kde se spotřebovává či odsává do okolí. K tomuto účelu slouží systém ucpávkové a komínkové páry.

- **Vysokotlaká (neregulovaná) ucpávková pára**

Pára v labyrintových ucpávkách prochází postupným škrcením s následným zvětšováním měrného objemu. V určitých místech, kde se pára odsává, má odsávaná pára takové parametry, že by mohla být ještě použita ve výrobě či expanzi v turbíně. Těmito trasám, kterých může být dle projektu několik, se říká vysokotlaká ucpávková pára (VT UP). V tomto případě je jediná VT ucpávka (obrázek 12) zavedena do přívodu NT páry přes uzavírací armaturu a zpětnou klapku. Na této trase se také nachází měření teploty a tlaku. Pokud nebude trasa NT páry k dispozici, musí být trasa VT UP odvedena do EPK přes clonu, která udržuje v trase UP nastavený tlak.



Obr. 12: Schéma a popis neregulované UP

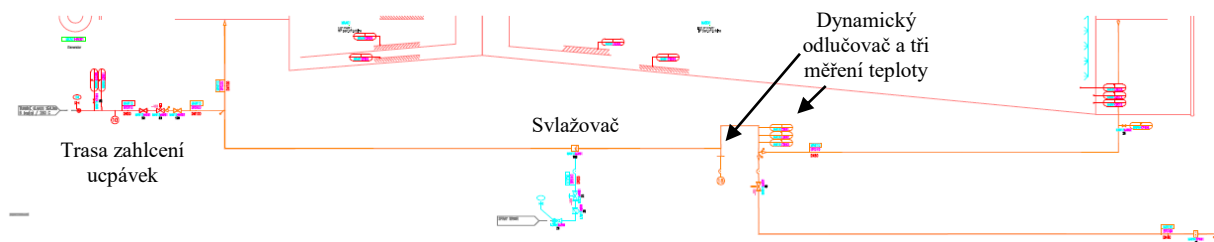
- **Nízkotlaká (regulovaná) ucpávková pára**

Poslední stupeň UP (nízkotlaká ucpávková pára nebo také NT UP) se využívá k zahlcení ucpávek předního i zadního dílu turbíny. Je regulovaný na lehký přetlak oproti okolí (1,02 bar). V přední části turbíny se UP doplňuje většinou pouze při najíždění, protože v nominálním provozu se z přední NT UP pára odsává. V zadní části turbíny se UP zahlcuje odběrem z přední části, nebo trasou zahlcení ucpávky, která přivádí páru z jiného zdroje.

Pro regulaci tlaku 1,02 baru v potrubí NT UP, je nedostatek hmotnostního průtoku doplňován z externího zdroje vyššího tlaku, v tzv. zahlcení ucpávek, který je regulován regulačními ventily. Regulace z druhé strany, kdy velký hmotnosti průtok způsobuje příliš vysoký tlak v NT UP, je přebytečná pára přepouštěna do EPK přes regulační ventil a clonu.

Protože teplota ucpávky je příliš vysoká pro zadní část turbíny, je trasa obohacena o svlažovač. Ten musí být umístěn v rovné části potrubí, aby se proud měl čas zrovnoměrnit před vstřikem a aby kapičky vody měly čas páru ochladit za ním. Za vstřikem se nachází tři měření teploty, které odstaví turbínu, pokud se teplota příliš zvýší, což by mohlo naznačovat nefunkčnost svlažovače. Za svlažovačem je také umístěn dynamický odlučovač neodpařeného kondenzátu ze svlažovače. Všechna zařízení na trase NT UP je možné vidět na obrázku 13.

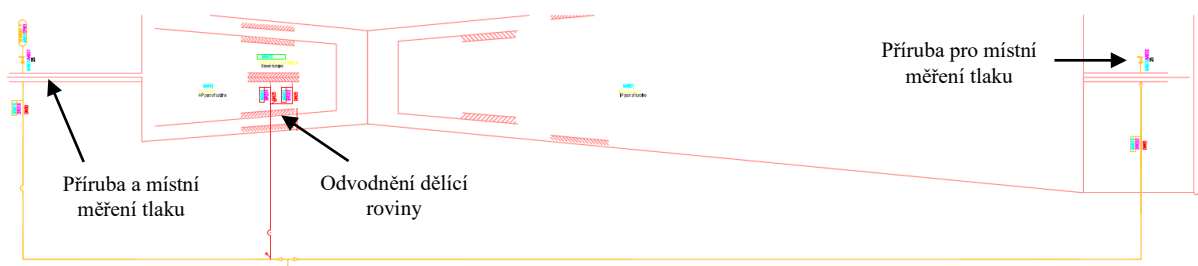




Obr. 13: Schéma a popis nízkotlaké ucpávkové páry

### • Komínková pára

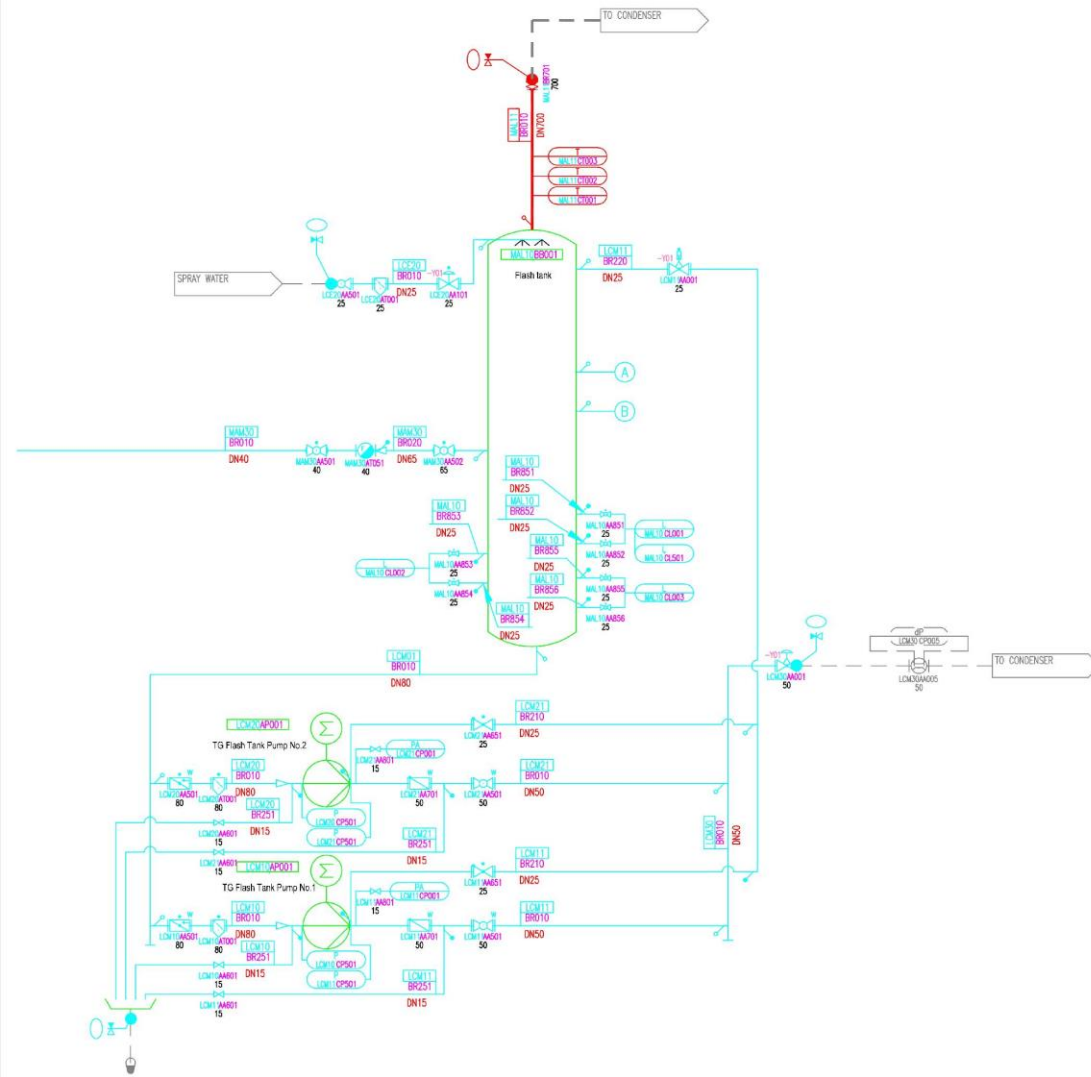
Potrubí komínkové páry (KP) je udržováno v neregulovaném nízkém podtlaku (cca 0,98 bar), který je vytvářen ventilátory KKP. Na obou stranách turbíny je v místech KP umístěna příruba pro umístění místního měření tlaku (viz obrázek 14). Protože komínková pára je směs páry a vzduchu, nevyplatilo by se KP ústít do HK, proto zbytková pára předává teplo v KKP, což je vysvětleno níže. Do trasy KP ústí i trasa odvodnění dělicí roviny, ve které by se mohla vyskytnout pára a kondenzát, pokud by bylo horní vnější těleso turbíny nedokonale ustaveno na dolní, nebo by byla rovina nedokonale utěsněna.



Obr. 14: Schéma a popis komínkové páry

## 3.2 Expandér provozních kondenzátů

EPK je nádoba do které ústí náhradní trasy a odvodnění z provozu, zejména UP, kondenzát KP, VT a NT odvodnění. V expandéru probíhá oddělení páry a kondenzátu a expanze páry na tlak kondenzátoru, se kterým je propojena (horní část obrázku 15). Pára je vedena potrubím do hlavního kondenzátoru, kde je umístěno měření teploty, jež při překročení nastavené hodnoty spustí svlažovač na nastavený časový limit. Kondenzát je z EPK veden zvyšovacími čerpadly 2× 100 % (dolní část obrázku 15) do sběrače kondenzátu v HK. Minimální průtok zvyšovacích EPK čerpadel je řešen vratnou trasou kondenzátu do EPK.

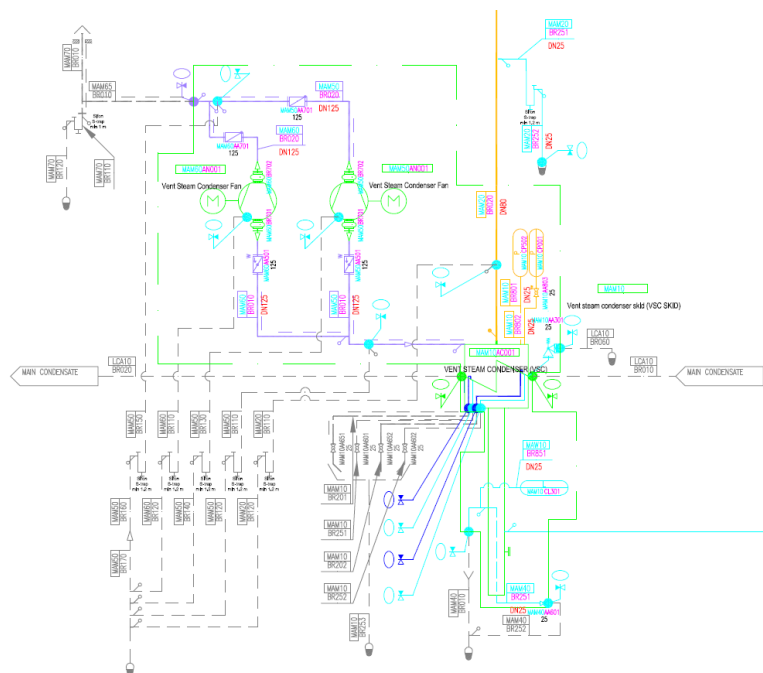


Obr. 15: Schéma EPK a zvyšovacích čerpadel

### 3.3 Kondenzátor komínkových par

Kondenzátor komínkových par (KKP) je tepelný výměník, který předává zbytkové teplo KP do hlavního kondenzátu a tím zvyšuje účinnost cyklu. Pára obsažená v paro-vzdušné směsi KP zkondenzuje a proudí do EPK. Nekondenzovatelné plyny jsou odsávány ventilátory KKP vně strojovny, protože při vedení do kondenzátoru by vývěvy byly příliš předimenzovány.

Zákazník zvolil typ bez parního obtoku. Pro zjištění poruch potrubí je KKP vybaveno pojistným přepadem a měřením hladiny v tomto přepadu. KKP je chráněn proti přetlaku z vodní strany pojistným ventilem. Parní potrubí KP je odvodňováno sifonem, protože vzduch páru znehodnotí a nevyplatilo by se tuto trasu odvodňovat do EPK. Navíc se na této trase předpokládá zanedbatelné množství odvodněného kondenzátu. Na obrázku 16 je vyobrazeno celé schéma KKP s ventilátory.

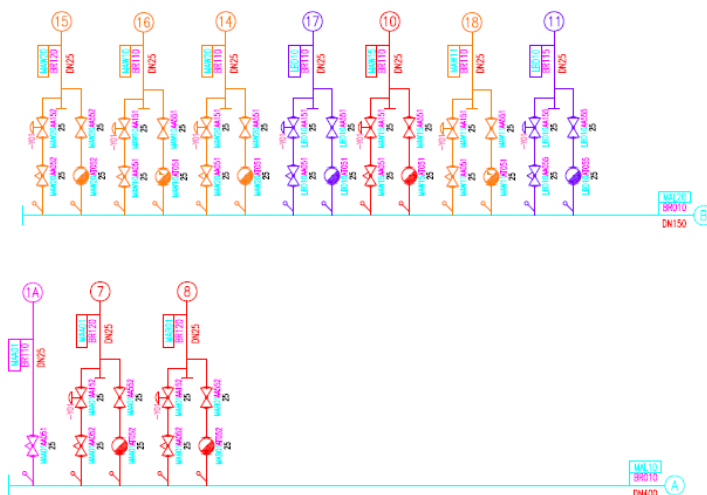


Obr. 16: Schéma KKP a ventilátorů

### 3.4 Sběrna odvodnění

Vzniklý kondenzát v potrubí při provozu a hlavně najíždění je odveden potrubím do sběrný odvodnění, která se dělí na VT a NT. Rozdíl mezi nimi není dán přímo, ale jedná se o specifikum každé nabídky. Protože se jedná o dlouhé potrubí, může se stát, že při odvodnění se vzdouvá pára (díky třecím, místním a viskózním silám) v potrubí na tak vysoký tlak, že nebude možné odvodňovat trasy při nižších tlacích, proto musí být rozděleny tak, aby byly schopné vždy odvodňovat. Také hraje roli teplota, protože je zbytečné dělat celé potrubí z legované oceli kvůli jednomu odvodnění. Pro příklad uveďme, že obecně do NT sběrný odvodnění proudí nižší teploty, a tudíž je možno potrubí konstruovat z nízkolegované oceli (například P195GH), pokud by jedno z těchto odvodnění přesáhlo dovolenou teplotu pro tento materiál, muselo by se celé potrubí této sběrný vytvořit z legované oceli (například 16Mo3). V těchto případech je na konstruktérovi, jakým vhodným způsobem rozdělí jednotlivé trasy o určitých tlacích a teplotách do VT a NT sběren odvodnění (obrázek 17).

Odvodnění je řešeno dvěma paralelními trasami z důvodu redundance, ale také z důvodu funkce systému při různých provezech. Jedna trasa obsahuje regulační a uzavírací armaturu pro velké průtoky páry a vody při najíždění, které mohou obsahovat korozi z předem nevyužívaného potrubí anebo případné nečistoty v médiu. Druhá trasa obsahuje uzavírací armaturu a řízený odvodňovač, který odvodňuje slabé proudy kondenzátu vzniklé nedokonalou izolací apod. při provozu. Toto řízení může být zajištěno plovákem, který plave na vytvořené hladině a otevírá při zvýšení hladiny, nebo bimetalem, který otevírá průtok, pokud se ponoří do kondenzátu, a tím se zvýší koeficient přestupu tepla a bimetal se ochladí. Odvodnění také obsahuje záchyt velkých nečistot, který se čistí otevřením první trasy, aby se nezanesl plovák. Jedinou výjimku má odvodnění VTRV, které obsahuje pouze první typ trasy, protože se nepředpokládá, že se bude odvodňovat za provozu, protože trasou proudí pouze přehřátá pára.



Obr. 17: Schéma sběrný odvodnění

## 4 Dimenzování potrubí

PID musí nejen obsahovat schématické zapojení s označením, ale také obsahovat informace o armaturách a trasách. Mezi tyto informace patří: světlost, tloušťka stěny, materiál a výpočtový tlak a teplota.

### 4.1 Výpočet DN

Vnitřní průměr potrubí (světlost) se počítá ze zadaného průtoku v HBD a dovolené rychlosti pomocí rovnice kontinuity:

$$w \cdot S \cdot \rho = \frac{w \cdot \pi \cdot d_i^2 \cdot \rho}{4} = \dot{m} \quad (1)$$

Hmotnostní průtok pro každou trasu je definován na kříži v HBD. Hustota je funkcí teploty a tlaku média. Výjimkou jsou trasy UP a KP, které se navyšují o 30 % hmotnostního průtoku, protože se mezi labyrintem a kluznou plochou uvažuje určité opotřebením ucpávek, které závisí na typu konstrukčního řešení labyrintové ucpávky. Postupem času se díky vibracím a výrobním nedokonalostem labyrint opotřebí a mezera a hmotnostní průtok UP a KP se může zvětšit. S tímto procesem se počítá již v návrhu, a proto se průtok navyšuje o 30 %. Mimo to se ještě u KP počítá s hmotnostním průtokem vzduchu, který je vypsán v HBD a který se přičítá k hmotnostnímu průtoku páry. To ovšem znamená, že hustota musí být vypočítána z hustoty směsi páry a vzduchu:

$$w \cdot S \cdot \rho_s = \frac{w \cdot \pi \cdot d_i^2 \cdot \rho_{směs}}{4} = 1,3(\dot{m}_p + \dot{m}_{vz}) \quad (2)$$

Z těchto rovnic vyplývá výpočet vnitřního průměru:

$$\text{Z 1 pro UP:} \quad d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3 \cdot \dot{m}}{w \cdot \pi \cdot \rho}} \quad (3)$$

$$\text{Z 2 pro KP:} \quad d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3(\dot{m}_p + \dot{m}_{vz})}{w \cdot \pi \cdot \rho_{směs}}} \quad (4)$$

Pro výpočet je potřeba vhodně zvolit rychlost proudícího média. Rychlost nesmí být tak vysoká, aby v proudění nevznikaly velké tlakové ztráty a zároveň ne tak nízká, aby se potrubí zbytečně nezvětšovalo. DSPW počítá s normativními rychlostmi pro užívaná média a jejich hustoty. Výtah používaných rychlostí v této práci dle tabulky 2 lze vidět níže.

**Tab. 2: Doporučené rychlosti**

Pára	m/s
Přehřátá pára o hustotě cca 5 kg/m <sup>3</sup>	50–60
Neregulovaná ucpávková pára	40–60
Regulovaná ucpávková pára	30–40
Zahlcení ucpávek	40–60
Komínková pára	20–30
Voda	
Voda – sací strana	0,5–1,0
Voda – výtlačná strana	1,5–3,0

Při návrhu se rychlost bere uprostřed navrženého intervalu, protože při realizaci se mohou průměry potrubí změnit.

Tab. 3: Vypočítané DN se vstupními hodnotami

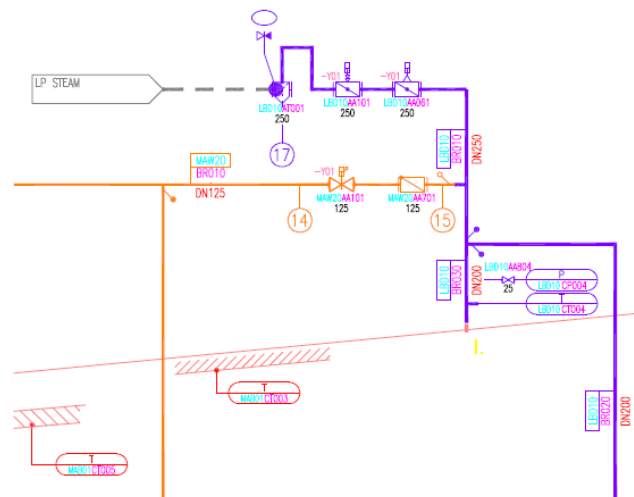
KKS kód	Popis	$\dot{m}_p \left[ \frac{kg}{s} \right]$	$\dot{m}_{vz} \left[ \frac{kg}{s} \right]$	$w \left[ \frac{m}{s} \right]$	DN [mm]
MAM10BR010	Přední KP	0,009	0,8	25	50
MAM10BR020	Zadní KP	0,02	1,2	25	65
MAW10BR030	Přední NT UP	0,06	0	35	100
MAW10BR040	NT UP do EPK	0,06	0	35	40
MAW10BR070	Zadní NT UP	0,05	0	35	80
MAW10BR110	NT UP odvodnění I.	-	0	-	25
MAW11BR110	NT UP odvodnění II.	-	0	-	25
MAW15BR010	Zahlcení UP I.	-	0	50	50
MAW15BR020	Zahlcení UP II.	-	0	50	100
MAW15BR110	Zahlcení UP odvodnění	-	0	-	25
MAW20BR010	VT UP	0,5	0	50	125
MAW20BR020	VT UP do EPK	0,5	0	50	125
MAW20BR110	VT UP odvodnění I.	-	0	-	25
MAW20BR120	VT UP odvodnění II.	-	0	-	25
MAM20BR020	KP do KKP	0,02	2	25	80

V tabulce 3 jsou vypsány hodnoty pro výpočet DN a výsledné DN jednotlivých tras, které jsou uvažovány v této práci. U tras odvodnění nejsou známy hmotnostní průtoky, protože potrubím protéká parovodní směs. Procesní inženýrské průtoky z odvodnění jsou také počítány, ale toto přesahuje zadání této práce, a proto se bude předpokládat, že odtoky budou jako u podobných projektů a potrubí bylo zvoleno DN 25. Hmotnostní průtok zahlcení ucpávek není také znám, protože se jedná o specifikum projektu, kterou bude možno znát až při realizaci. Parametry DN byly zvoleny z předchozích projektů s podobnými parametry, tj. DN 50 na parní straně a po seškrvení DN 100. Potrubí zahlcení ucpávek většího průměru se může vypočítat ze součtu obsahů výsledných potrubí zadních a předních NT ucpávek, které by navrhovaly průměr na DN 125, ale protože si můžeme v tomto potrubí dovolit vyšší rychlost, je potrubí zvoleno DN 100.

## 4.2 Výpočtový tlak a teplota

Potrubí musí odolat důležitým parametrům, jako je tlak, od kterého se počítá tloušťka stěny, a teplota, od které se odvíjí materiál. HBD obsahuje časté provozy, ve kterých se potrubí bude nacházet, a i přesto musí být potrubí navrženo tak, aby nedošlo k překročení návrhových parametrů ve všech návrhových režimech. V této práci se zvyšuje teplota a tlak o pět až deset procent oproti návrhu, protože jako vstup pro výpočet je dostupný pouze jeden nominální provoz v HBD. Také je nutné brát v úvahu poruchy armatur. Například pokud by se neznámou chybou naplno otevřela armatura spojující potrubí o rozdílných tlacích, musí i přesto potrubí vydržet, a tudíž musí být výpočtový tlak potrubí pracujícího při nižším tlaku vyšší.

Názorně na příkladu toto uvádí obrázek 18:



Obr. 18: Výřez ze schématu pára-voda

Oranžově znázorněné potrubí neregulované UP MAW20BR010 ústí za provozu do přívodu nízkotlaké páry LBD10BR010 (značeno fialově). Potrubí NT páry pracuje (dle HBD) v provozu s párou o pracovním tlaku 7 bar. V rámci bezpečnosti se pracovní tlak zvýší na výpočtový zhruba o pět až deset procent, tedy na 8 bar. Na druhou stranu potrubí neregulované UP pracuje na pracovním tlaku 4 bary, což bylo zvýšeno na výpočtový tlak 5 bar. Protože potrubí jsou od sebe odděleny pouze zpětnou klapkou MAW20AA701 a uzavírací armaturou MAW20AA101, která je většinu provozu otevřena, může se netěsností stát, že zpětná klapka bude propouštět a natlakuje potrubí neregulované UP na 7 bar pracovního tlaku. Z toho vyplývá, že výpočtový tlak obou potrubí musí být 8 bar.

Výpočtová teplota se u potrubí neregulované UP odvíjí od páry, která proudí z turbíny do ucpávek. Pára je z konce VT dílu turbíny adiabaticky škrcena na pracovní (výpočtový) tlak. Parametry na konci VT turbíny jsou 31,6 bar a 400 °C. Pracovní parametry byly navýšeny na 35 bar a 440 °C. Při škrcení výpočtové teploty za VT dílem turbíny z výpočtového tlaku 35 bar na výpočtový tlak neregulované UP 8 bar se sníží teplota na 401 °C. Pracovní teplota NT páry je dle HBD 225 °C. Je zřejmé, že i s 10% navýšením nedosahuje teplota teplot ucpávky, a proto jsou obě potrubí dimenzována na nejvyšší výpočtové parametry, tj. 8 bar a 401 °C.

Úkolem konstruktéra je vybrat co nejlevnější řešení, které stále dodržuje bezpečnost. Tato řešení by měla uspokojit analýzy HAZOP (angl. Hazard and operability study), kde by měl být konstruktér schopný obhájit jednotlivé kroky, jež k řešení vedly. Další výpočtové parametry potrubí, o které se opírá tato práce, lze vidět v tabulce 4 níže.

**Tab. 4: Porovnání pracovních a výpočtových parametrů**

KKS kód	Popis	Pracovní teplota [°C]	Výpočtová teplota [°C]	Pracovní tlak [bar]	Výpočtový tlak [bar]
MAM10BR010	Přední KP	376	440	0,96	1,5
MAM10BR020	Zadní KP	140	440	0,96	1,5
MAW10BR030	Přední NT UP	376	400	1,02	8
MAW10BR040	NT UP do EPK	220	280	1,02	8
MAW10BR070	Zadní NT UP	140	280	1,02	8
MAW10BR110	NT UP odvodnění I.	140	280	1,02	8
MAW11BR110	NT UP odvodnění II.	376	400	1,02	8
MAW15BR010	Zahlčení UP I.	260	280	6	8
MAW15BR020	Zahlčení UP II.	376	400	1,2	8
MAW15BR110	Zahlčení UP odvodnění	260	280	6	8
MAW20BR010	VT UP	378	401	4	8
MAW20BR020	VT UP do EPK	378	401	4	8
MAW20BR110	VT UP odvodnění I.	378	401	4	8
MAW20BR120	VT UP odvodnění II.	378	401	4	8
MAM20BR020	KP do KKP	215	440	0,96	1,5

### 4.3 Materiál potrubí

Materiál potrubí se odvíjí od výpočtové teploty. DSPW pracuje s následujícími materiály, viz tabulka 5:

**Tab. 5: Mezní teploty pro vybrané materiály**

Označení oceli	Minimální teplota [°C]	Maximální teplota [°C]
P195GH	100	400
P235GH	100	450
P265GH	100	450
15NiCuMoNb5-6-4	100	450
16Mo3	100	500
13CrMo4-5	100	500
10CrMo9-10	100	500
11CrMo9-10	100	500
X10CrMoVNb9-1	100	600

Z výpočtových teplot je možno vyčíst, že maximální teplota nikdy nepřekročí 450 °C, proto pro všechny potrubí byl zvolen materiál P235GH. U některých potrubí by bylo možné zvolit materiál P195GH, ale jelikož je cena mezi těmito materiály minimální a polotovary z materiálu P235GH jsou více dostupné, byl zvolen tento materiál.

P235GH je svařitelná, měkce žíhaná, nelegovaná ocel s malým obsahem uhlíku a manganu. [7, 8] Pro výpočet tloušťky potrubí je potřeba znát materiálové konstanty napětí v tahu,



tj. mez pevnosti  $R_m$ , mez kluzu při 0,2% prodloužení  $R_{p0,2}$  a mez pevnosti do lomu při tečení  $R_t$ . Všechny hodnoty relevantní této práci lze vidět v tabulce 6 níže.

**Tab. 6: Meze napětí při různých teplotách [9]**

Označení napětí	Teplota [°C]	Napětí [MPa]	Označení napětí	Teplota [°C]	Napětí [MPa]
$R_m$	(20)	360–500	$R_{p0,2}$	250	150
$R_{t200000h}$	400	128		300	132
	410	115		400	112
	440	77		450	108

Mez pevnosti byla vybrána jako nejnižší dovolené napětí, tj. 360 MPa. Mez tečení byla brána pro 200 tisíc hodin, protože se předpokládá, že potrubí bude v provozu cca 20 let. Teploty, které nejsou vypsány v normě, budou počítány lineární interpolací z mezních teplot a napětí.

Norma udává, že dovolené namáhání  $f$  musí být v souladu s následujícím výrazem:

$$f = \min\left(\frac{R_t}{1,5}; \frac{R_{p0,2}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4}\right) \quad (5)$$

Z tohoto výrazu lze vypočítat dovolené namáhání pro výpočtové teploty potrubí (tabulka 7):

**Tab. 7: Dovolené namáhání  $f$**

Teplota [°C]	$R_m$ [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	$R_t$ [MPa]	$f$ [MPa]
280	360	139,2	-	92,8
400	360	112	128	74,7
401	360	111,92	126,7	74,6
440	360	108,8	77	51,3

#### 4.4 Výpočet tloušťky potrubí

Ze zvoleného materiálu (dovoleného napětí) a průměru lze vypočítat tloušťku přímé trubky, která je schopná odolat přetlaku média, jež v potrubí proudí. Jako první je nutné zvolit normovaný vnější průměr potrubí  $D$ , který se dá objednat. Z tohoto průměru se vypočítá potřebná tloušťka stěny a zvolí se nejbližší vyšší z normy. Tímto procesem se však změní jmenovitá světlost potrubí, a proto je potřeba přepočítat rychlost v potrubí, pokud nebude vyhovovat, je potřeba iterativně měnit tloušťky a průměry potrubí tak, aby podmínka rychlosti a mechanické pevnosti vyhovovala.

Minimální požadovaná tloušťka stěny přímé trubky bez přídatků je:

$$e = \frac{p_c \cdot D}{2f \cdot z + p_c} \quad (6)$$

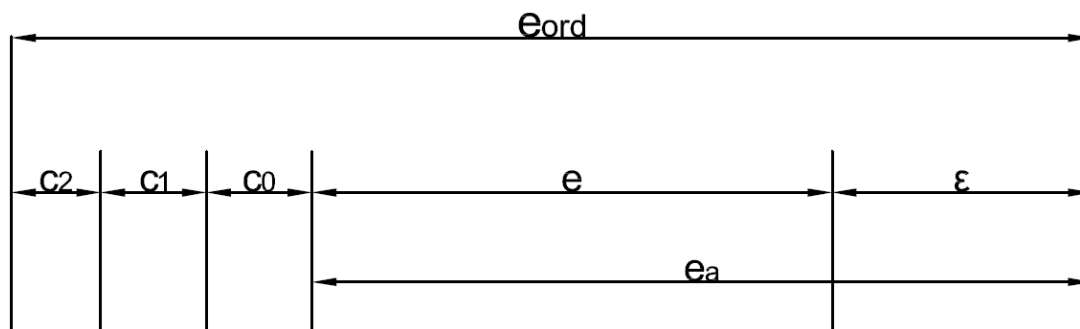
kde  $p_c$  značí přetlak mezi médiem a okolím. Jelikož potrubí pracuje v okolní atmosféře, je jako okolní tlak brán jeden bar. Parametr  $z$  značí kvalitu spoje, jelikož předpokládáme bežešvé potrubí bez vad, je hodnota brána jako jedna (100 %). Je nutné dodat, že tento vztah platí pro potrubí s menší tloušťkou, tj. s  $\frac{D}{a_i} \leq 1,7$ . [9]

Normované a vypočítané hodnoty potrubí, i s kontrolou rychlosti, lze vidět v tabulce 8:

Tab. 8: Skutečné parametry potrubí

KKS kód	Popis	D [mm]	e [mm]	$e_{ord}$ [mm]	$w_{skut}$ $\left[\frac{m}{s}\right]$
MAM10BR010	Přední KP	60,3	0,03	2,9	24
MAM10BR020	Zadní KP	76,1	0,04	2,9	19
MAW10BR030	Přední NT UP	114,3	0,53	3,6	27
MAW10BR040	NT UP do EPK	48,3	0,18	2,6	22
MAW10BR070	Zadní NT UP	88,9	0,33	3,2	26
MAW10BR110	NT UP odvodnění I.	26,9	0,1	2	-
MAW11BR110	NT UP odvodnění II.	26,9	0,13	2	-
MAW15BR010	Zahlčení UP I.	60,3	0,23	2,9	-
MAW15BR020	Zahlčení UP II.	114,3	0,53	3,6	-
MAW15BR110	Zahlčení UP odvodnění	26,9	0,1	2	-
MAW20BR010	VT UP	139,7	0,65	4	35
MAW20BR020	VT UP do EPK	139,7	0,65	4	-
MAW20BR110	VT UP odvodnění I.	26,9	0,13	2	-
MAW20BR120	VT UP odvodnění II.	26,9	0,13	2	-
MAM20BR020	KP do KKP	88,9	0,04	3,2	24

Z tabulky je patrné, že rychlosti u potrubí, u kterých známe potřebné parametry pro výpočet rychlosti, vychází a není nutné iterovat. Tento výpočet by vyhovoval pouze, pokud by potrubí nemělo žádné vady a také do výpočtu se nepropisují výrobní tolerance a přídavky na korozi. Protože kvalitou si nemůžeme být stoprocentně jisti, je nutné vypočítat bezpečnosti navržené tloušťky při zahrnutí vad, tolerancí a přídavků. Pro tento účel je nutné kupovanou normalizovanou tloušťku ( $t$  nebo  $e_{ord}$ ) rozdělit do 5 hlavních částí, viz obrázek 19: [9]



Obr. 19: Tloušťky potrubí

- Přídavek pro možné zmenšení tloušťky při výrobě (např. ohybem, drážkováním apod.)  $c_2$ . Protože se počítají přímé potrubí, tak se ve výpočtu s přídavkem nepočítá.
- Absolutní hodnota záporné úchytky dimenze potrubí z normy materiálu  $c_1$ . V práci uvažováno 12,5 % z  $e_{ord}$ .
- Korozní a erozní přídavek  $c_0$ , který byl uvažován 1 mm.
- $e$  značí, jak už bylo zmíněno, minimální tloušťku, kterou potrubí musí mít, aby vydrželo přetlak média.
- Poslední je přídavná tloušťka  $\epsilon$ , která označuje přebytek materiálu.

Protože potřebujeme vyjádřit poměr  $\frac{e+\varepsilon}{e}$  pro výpočet bezpečnosti  $k_t$ , označuje se součet  $e$  a  $\varepsilon$  jako  $e_a$ . Všechny tloušťky je možné vidět v tabulce 9.

**Tab. 9: Výpočet bezpečnosti potrubí**

KKS kód	Popis	$e_{ord}$ [mm]	$e$ [mm]	$c_1$ [mm]	$c_0$ [mm]	$e_a$ [mm]	$k_t$ [-]
MAM10BR010	Přední KP	2,9	0,03	0,4	1	1,5	52,4
MAM10BR020	Zadní KP	2,9	0,04	0,4	1	1,5	41,5
MAW10BR030	Přední NT UP	3,6	0,53	0,5	1	2,2	4,0
MAW10BR040	NT UP do EPK	2,6	0,18	0,3	1	1,3	7,0
MAW10BR070	Zadní NT UP	3,2	0,33	0,4	1	1,8	5,4
MAW10BR110	NT UP odvodnění I.	2	0,1	0,3	1	0,8	7,4
MAW11BR110	NT UP odvodnění II.	2	0,13	0,3	1	0,8	6,0
MAW15BR010	Zahlčení UP I.	2,9	0,23	0,4	1	1,5	6,8
MAW15BR020	Zahlčení UP II.	3,6	0,53	0,5	1	2,2	4,0
MAW15BR110	Zahlčení UP odvodnění	2	0,1	0,3	1	0,8	7,4
MAW20BR010	VT UP	4	0,65	0,5	1	2,5	3,8
MAW20BR020	VT UP do EPK	4	0,65	0,5	1	2,5	3,8
MAW20BR110	VT UP odvodnění I.	2	0,13	0,3	1	0,8	6,0
MAW20BR120	VT UP odvodnění II.	2	0,13	0,3	1	0,8	6,0
MAM20BR020	KP do KKP	3,2	0,04	0,4	1	1,8	41,6

I při zahrnutí nedokonalostí výroby a koroze je tloušťka u nejhorších případů třikrát větší, než je potřeba, a proto všechny návrhy potrubí vyhovují.

## 5 Výpočet zařízení

Pro správné fungování ucpávkové a komínkové páry jsou na trasách nainstalovány regulační armatury, svlažovače a omezovací clony, jež je nutné navrhnout pro všechny provozy, které jsou navrhovány.

### 5.1 Regulační ventil

Regulační ventil MAW15AA001 musí zaručit, že zahlcování bude možné za jakýchkoliv navrhovaných procesů. Tím se myslí, že i kdyby nastaly ty nejhorší možné podmínky tlaku, teploty a průtoku, tak stále bude možné dostatečně otevřít či uzavřít ventil a tím nastolit vhodné podmínky pro zahlcování ucpávek. Na druhou stranu nesmí být ventil předimenzovaný, aby byl v ideálním případě pracovní rozsah mezi 10 a 90 procenty.

Pro poptávku regulačního ventilu je potřeba zvolit obvyklé parametry, mezi které se řadí DN, jmenovitý tlak a maximální pracovní teplota. Tyto parametry, pokud není dáno jinak, jsou stejné jako u potrubí, na kterém je armatura umístěna. Parametry specifickými pro regulační armatury jsou průtokový součinitel, průtoková charakteristika, regulační poměr a netěsnost. Poslední z uvedených není důležitý pro naše účely. [10]

- Průtokový součinitel: je průtok armaturou za definovaných podmínek při určitém otevření, označován jako  $K_v$ ,  $A_v$  nebo  $C_v$  (v práci bude pracováno s  $K_v$ );
- jmenovitý průtokový součinitel  $K_{vs}$ : je průtok armaturou za definovaných podmínek při úplném otevření;
- průtočná charakteristika  $\Phi(h)$ : je funkční závislost průtokového součinitele na zdvihu;
- regulační poměr: je poměr největšího a nejmenšího průtokového součinitele.

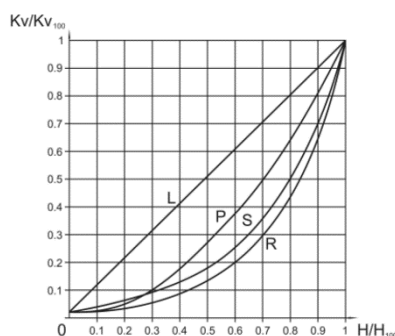
Průtokový součinitel  $K_v$  definuje objemový průtok vody protékající regulačním ventilem při určitém zdvihu sedla za referenčních podmínek (tj. tlakového spádu jednoho baru a teploty vody 15 °C). Pokud je médiem voda, lze  $K_v$  počítat tímto způsobem, kde  $\dot{Q}$  je objemový průtok v  $\text{m}^3\text{h}^{-1}$  a  $\Delta p$  tlaková ztráta na ventilu v barech:

$$K_v = \frac{\dot{Q}}{\sqrt{\Delta p}} \quad (7)$$

Průtočná charakteristika se obecně definuje jako poměr průtokového a jmenovitého průtokového součinitele:

$$\Phi = \frac{K_v}{K_{vs}} \quad (8)$$

Kvůli normalizaci výroby firma LDM dodává armatury se čtyřmi využívanými charakteristikami: lineární (L), rovnoprocentní (R), parabolickou (P) a LDMspine® (S). Každá křivka má své výhody a nevýhody a s tím spojenou oblast využití, viz obrázek 20.



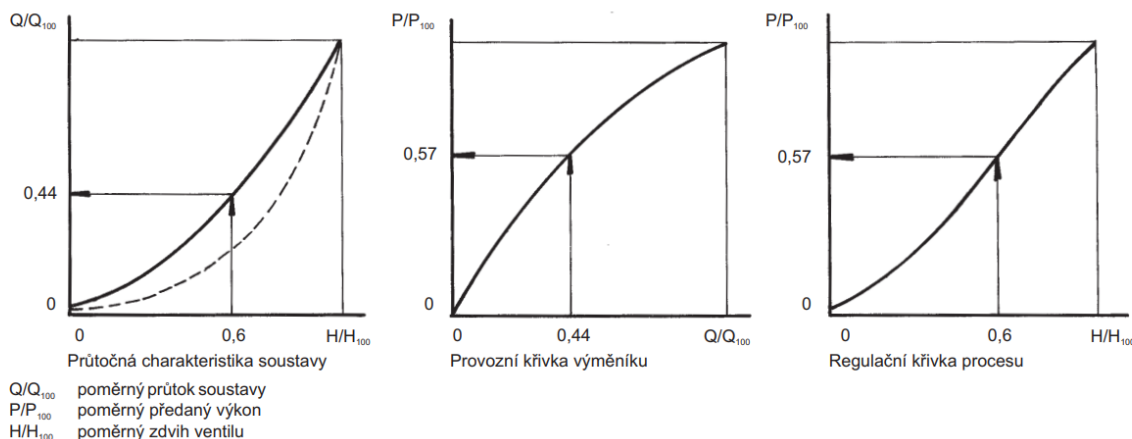
Obr. 20: Charakteristiky ventilů [10]

V této práci se bude pracovat s lineární charakteristikou. Ideální lineární charakteristika, jak už název napovídá, předpokládá, že stejné přírůstky zdvihu sedla ventilu vyvolají stejné přírůstky průtokového součinitele  $\Phi$ . [10]

$$\Phi = \Phi_0 + m \cdot h \quad (9)$$

kde  $\Phi_0$  je poměrný průtokový součinitel při nulovém zdvihu. U většiny ventilů  $\Phi_0$  je okolo nuly, protože ve většině případů nechceme, aby v zavřené pozici propouštěl, ale zase na druhou stranu ventil spadá do určité těstnostní třídy, podle které se odvíjí maximální dovolené netěsnosti. To je také důvod, proč se okolo počítaného ventilu přidávají ruční uzavírací armatury. Parametr  $m$  značí sklon charakteristiky a  $h$  zdvih sedla ventilu.

Do této doby byl zmiňován pouze průtokový součinitel ventilu, ale ten je pouze polovina celého problému, protože systém, který ventil reguluje, má také vlastní charakteristiku. Například výměník, který se reguluje, může mít naprosto nelineární chování (provozní křivka výměníku je uvedena na obrázku 21 níže) závislosti průtoku a výkonu. Proto se musí uvést do žádoucího stavu tak, aby regulace ventilu (výška sedla) regulovala výkon celkové soustavy tak, jak zákazník či norma požaduje. Regulační křivka vzniká součtem průtočné charakteristiky ventilu a provozní křivky soustavy, v tomto případně výměníku.



Obr. 21: Provozní křivky [10]

Předpokládá se, že soustava zahlcování ucpávek má lineární charakteristiku, proto není nutné žádné korekce, a proto se i průtočná charakteristika ventilu volí lineární.

### 5.1.1 Výpočet $K_v$

V praxi je velice obtížné určení expanzního součinitele, který je potřeba pro výpočet přesného součinitele  $K_v$ , protože závisí na špatně měřitelných veličinách armatury a proudu. Proto se užívá zjednodušený vztah (10), který s malou chybou souhlasí s výpočtem dle IEC. Z hmotnostního průtoku ventilem je možné vypočítat konečné  $K_v$ . Vzorec platí při nadkritickém tlakovém spádu ( $\Delta p \geq \frac{p_1}{2}$ ) a pro přehřátou páru. [10]

$$K_v = \frac{\dot{m}}{100} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot v}{p_1}} \quad (10)$$

kde  $v$  značí měrný objem páry při teplotě  $T_1$  a tlaku  $\frac{p_1}{2}$ .

### 5.1.2 Volba $K_{vs}$

Jak už bylo zmíněno, regulační ventil musí mít takové  $K_{vs}$ , aby dokázal regulovat během všech navrhovaných provozů. Pro poptávku regulačního ventilu je potřeba znát  $K_{vs}$ , to se vybere jako nejbližší vyráběné z katalogu, a vyšší než  $K_v$  všech provozů. Pro jednoduchost výpočtu se uvažují tři typy provozů:

- nominální provoz, kde se předpokládá, že se ventil bude v tomto provozu nacházet nejčastěji;
- maximální navrhovaný provoz, kde se předpokládají nejhorší možné podmínky pro velké otevření ventilu;
- minimální navrhovaný provoz, kde se předpokládají takové podmínky, že otevření ventilu bude co nejmenší.

Pro případ této práce je nominální provoz takový, kdy turbína jede a ucpávky se zahlcují tak, jak je definováno v HBD při nominálním provozu. Maximální navrhovaný provoz (opět vycházející z HBD či v tomto případě od konstrukce systému zahlcování) je takový provoz, kdy bylo nutné naplno otevřít ventil zahlcování, to by způsobilo pokles tlaku v kolektoru páry pro ucpávky, také se předpokládá, že hmotnostní průtok bude vyšší, protože je potřeba zahlcovat (zvolen tlak 4 bary a průtok  $1,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ ). Minimální navrhovaný provoz je takový, kdy v kolektoru páry pro ucpávky je navrhovaný tlak, ale turbína z určitého důvodu odebírá ucpávkové páry méně než v nominálním režimu, a proto je ventil otevřen velmi málo (zvoleno 6 bar a  $0,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ ). Všechny provozy se opírají o tepelné výpočty a HBD a shrnutí lze vidět v tabulce 10 níže:

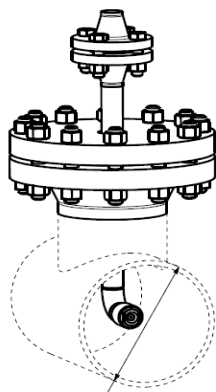
Tab. 10: Výpočet  $K_v$

Provoz	$p_1$ [bar]	$p_2$ [bar]	$\dot{m}$ $[\frac{\text{kg}}{\text{h}}]$	$T_1$ [°C]	Požadované $K_v$	Charakteristika	Zdvih
					$[\frac{\text{m}^3}{\text{h}}]$		[%]
Nominální	6		1,5		0,025	Lineární	38
Maximální	4	1,02	1,8	260	0,045		70
Minimální	6		0,8		0,013		19

Průtok ventilem, který je brán jako izoentalpický děj, je ovlivněn i změnou teploty, jež se z  $T_1$  seškrtní na  $T_2$ . V tabulce 10 sice není  $T_2$  vyznačena, ale její hodnota se pohybuje okolo 253 °C. Pro účely této práce je takto malá změna zanedbatelná. Jak je možno vidět, největší  $K_v$  je u maximálního provozu, což je předpokládané, protože v tomto provozu je nutné dodávat nejvíce páry. Z katalogu vyráběných  $K_{vs}$  ventilů je proto vybrán nejbližší vyšší, tedy  $0,063 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ . Při použití tohoto  $K_{vs}$  vychází i procentuální zdvih (tabulce 10) ventilu mezi 10 a 90 procenty, tudíž ventil MAW15AA001 vyhovuje.

## 5.2 Svlažovač

Svlažovač MAW10AC001 má za úkol snížit teplotu regulované ucpávkové páry vstřikem studeného kondenzátu do páry. V našem případě se jedná o snížení z teploty 400 °C na 240 °C. Pochopitelně takto vysoká teplota a hmotnostní průtok nebude při každých provozech, a proto je svlažovač na vodní straně opatřen regulační armaturou LCE10AA001. Pro zahlcování zadní ucpávky se sice počítá s párou o teplotě 140 °C, ale potrubí musí být vedeno skrz hlavní kondenzátor, kde se předpokládá zchlazení o cca 100 °C.



Obr. 22: Schéma svlažovače [18]

Na obrázku 22 je vyobrazen svlažovač. Jedná se o jednoduchou trysku, která rozstříkává vodu do páry a tím snižuje její teplotu. Pro výpočet se vychází z rovnice o zachování hmotnosti:

$$\dot{m}_{out} = \dot{m}_p + \dot{m}_v \quad (11)$$

kde  $\dot{m}_{out}$  značí výstupní hmotnostní průtok, a  $\dot{m}_p$  a  $\dot{m}_v$  hmotnostní průtok páry a vody. Dále platí kalorimetrické rovnice, protože děj probíhá rychle, předpokládá se, že soustava je izolovaná. Také se předpokládá, že entalpii na konci děje budou mít obě složky stejnou.

$$\dot{m}_v \cdot (h_{out} - h_v) = \dot{m}_p \cdot (h_p - h_{out}) \quad (12)$$

Pracovní parametry UP před svlažovačem jsou 376 °C při 1,02 barech, což odpovídá entalpii  $h_p$  3229,1  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  [11]. Průtok páry činí 3,8  $\frac{\text{kg}}{\text{min}}$ . Je nutné dodat, že se stále jedná o přehřátou páru, pokud by tomu tak nebylo, muselo by se počítat s korekcí  $\dot{m}_v$ , ale v těchto případech se svlažování na hranici mokré páry neuskutečňuje, aby v ucpávkách nedocházelo ke kondenzaci. Entalpie  $h_{out}$  pro páru o 240 °C ve stejném tlaku vychází 2954,7  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  [11]. Svlažuje se vodou z výtoku čerpadel o entalpii  $h_v$  170  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ . Výsledný průtok vody je tedy:

Z 12:

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{m}_p \cdot (h_p - h_{out})}{(h_{out} - h_v)} \quad (13)$$

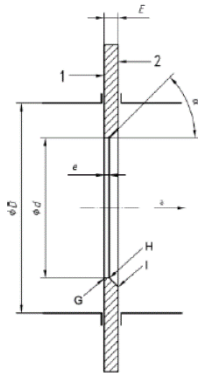
$$\dot{m}_v = \frac{3,6 \cdot (3229,1 - 2954,7)}{2954,7 - 170} = 0,35 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

Pro zchlazení maximálního možného entalpického spádu je potřeba cca 0,35 l vody za minutu a jednoduchým výpočtem zobrazeným v předchozí kapitole je možné dokázat, že rychlost nepřekročí dovolenou mez vody pro navrhovaný DN 25.

### 5.3 Redukční clona

Clony MAW10BP001 a MAW20BP001 mají za úkol zvyšovat tlak před clonou a tím snižovat měrný objem proudícího média. Tímto způsobem se sníží i rychlost v potrubí, ale stále pod podmínkou, aby médium mohlo volně proudit. Obvykle se jedná o vložený plech s otvorem v ose potrubí, který je menší než světlost onoho potrubí. Redukční clona obvykle pracuje při kritickém tlakovém spádu, což značí, že po konci expanze na cloně mohou vznikat za clonou rázové vlny a rychlost v potrubí se pohybuje okolo kritické rychlosti, to nejenom namáhá potrubí, ale i zvyšuje akustickou emisi. Z tohoto důvodu je snaha navrhování clon co možná nejbližší EPK, pokud ne rovnou uvnitř EPK.

Clona může být realizována dvěma způsoby – clona s jedním velkým centrickým otvorem (obrázek 23) v potrubí těsně před EPK, nebo řešením tzv. „dump tube“ (obrázek 24), což je ukončení potrubí s mnoha malými otvory přímo uvnitř EPK. Protože DSPW v řešené nabídce dodává i EPK, je zvolen typ „dump tube“.



Obr. 23 a 24: Jedno-otvorová clona (vlevo) [13] a dump tube (vpravo) [14]

Pro výpočet se využije model ostrohranné clony s malou tloušťkou, jednofázovým prouděním a kolmým náběhem proudu. Pro výpočet bude potřeba znát průměr otvoru s jedním centrickým otvorem.

Redukční clona se většinou pojí na trasu s regulačním ventilem. Regulační ventil (aktivní škrťací člen) zreguluje na určitý tlak a clona (pasivní redukční člen) zbytek tlaku seškrťá. Při návrhu této dvojice je nutné dbát na to, aby při různých provozech clona a ventil pracovali v určitých mezích. Clona by neměla být tak malá, aby minimální tlakový spád na ventil nepřesahoval 30 až 50 kPa, ale na druhou stranu clona by neměla být tak velká, aby v potrubí před clonou neproudilo médium nadlimitní rychlostí (65 m/s). Na trase NT UP ventil škrťá z 1,02 bar na 0,7–0,4 bar a clona následně na vakuum v EPK.

### 5.3.1 Trasa MAW10BR040

Každou trasu s regulačním ventilem a redukční clonou je potřeba počítat jako jeden objekt. Protože nevíme, jaký mezitlak  $p_2$  je nejvhodnější pro naše účely, je potřeba vypočítat všechny možné nastavení. V tabulce 11 jsou vypočteny rychlosti, které by vznikly v potrubí při nominálním provozu a různých tlacích (od 0,7 do 0,4 bar po 0,05 barových rozdílích). Rychlosti jsou počítány podle rovnice (3). Průtok ventilem bude brán jako izoentálpický děj. V realitě dochází ke krátké výměně tepla a ztrátě entalpie, ale to je pro účely inženýrské praxe zanedbatelné.



Tab. 11: Výpočet rychlosti při změně tlaku

$\dot{m}$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$	$h$ $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$	$p_2$ [bar]	$T$ [°C]	$d_j$ [mm]	$w$ $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$
0,0113	2914,9	0,7	220	43,1	25,08
		0,65			27,00
		0,6			29,26
		0,55			31,91
		0,5			35,11
		0,45			39,01
		0,4			43,88

Dalším důležitým parametrem je vypočtené  $K_v$  regulačního ventilu. To je vypočítáno stejně jako v předchozí podkapitole, viz tabulka 12.

Tab. 12: Výpočet  $K_v$  při změně tlaku

$p_1$ [bar]	$p_2$ [bar]	$\dot{m}$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$	$T$ [°C]	Požadované $K_v$ $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right]$	Charakteristika	Zdvih [%]
1,02	0,7	0,0113	220	4,085	Lineární	81
	0,65			3,942		78
	0,6			3,851		77
	0,55			3,803		76
	0,5			3,803		76
	0,45			3,803		76
	0,4			3,803		76

Zdvih je vztažen při zvoleném  $K_v$  s  $5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ . V tabulce si můžeme všimnout, že od určitého tlaku se  $K_v$  nemění. To dává smysl, protože při kritickém tlakovém spádu  $\beta^*$  není možné přes zužující se profil sedla a kuželky ventilu zvětšovat hmotnostní průtok.

Pokud budeme považovat přehřátou páru za ideální plyn a průtok bude tak rychlý, že je možný považovat jej za adiabatický děj, tak se hmotnostní průtok výtoku zužující se tryskou udá jako: [12]

$$\dot{m} = S_p \sqrt{2 \frac{\kappa_p}{\kappa_p - 1} \cdot \frac{p_2}{v_2} \left( \left( \frac{p_2}{p_3} \right)^{\frac{2}{\kappa_p}} - \left( \frac{p_2}{p_3} \right)^{\frac{\kappa_p + 1}{\kappa_p}} \right)} \quad (14)$$

kde  $\kappa_p$  značí Poissonovo číslo, které je závislé na teplotě a tlaku média,  $p_2$  tlak před dýzou,  $v_2$  měrný objem před dýzou a  $p_3$  tlak za dýzou. Při výpočtu je nutné mít na paměti, že pokud podíl  $p_2$  a  $p_3$  dosáhne kritického tlakového spádu  $\beta^*$ , zaměňují se podíly za konstantu  $\beta^*$ . Z předchozího vzorce je možné vypočítat minimální průřez dýzy:

$$S_p = \frac{\dot{m}}{\sqrt{2 \frac{\kappa_p}{\kappa_p - 1} \cdot \frac{p_2}{v_2} \left( \left( \frac{p_2}{p_3} \right)^{\frac{2}{\kappa_p}} - \left( \frac{p_2}{p_3} \right)^{\frac{\kappa_p + 1}{\kappa_p}} \right)}} \quad (15)$$

Z tohoto průřezu lze vypočítat minimální průměr dýzy, ale protože se v této práci počítá se clonou, je nutné do výpočtu zahrnout součinitel kontrakce, který zahrnuje fakt, že se náhlou směnou průřezu ve cloně zmenší průřez proudícího média o něco více než u dýzy stejného průměru a volí se většinou 0,85, viz tabulka 13.

$$d_{clony} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^3 \cdot S_p}{\pi \cdot \psi}} \quad (16)$$

Tab. 13: Výpočet průměru otvoru clony při změně tlaku

$p_2$ [bar]	$\dot{m}$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$	$T$ [°C]	$\psi$ [-]	$\kappa_p$ [-]	$d_{clony}$ [mm]
0,7	0,0113	220	0,85	1,309	13,11
0,65				1,309	13,61
0,6				1,309	14,16
0,55				1,309	14,79
0,5				1,309	15,51
0,45				1,309	16,35
0,4				1,309	17,35

Při výběru tlaku  $p_2$  je vhodné dbát na to, aby rychlost v potrubí byla co nejvyšší, protože vyšší rychlosti značí menší průměr potrubí, a tudíž menší cenu. Na druhou stranu je vhodné dbát na to, aby rychlost média byla v rozmezí 55 až 65 m/s. Pro clonu MAW10BP001 byl zvolen průměr 15 mm. Citlivostní analýzou clony bylo zjištěno, že pro tento průměr odpovídá tlak  $p_2$  0,53 bar. V potrubí bude rychlost 33,12 m/s a  $Kvs$  regulačního ventilu se zvolilo  $5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ . Rychlost je sice výrazně pod doporučenou mezí, ale zmenšení průměru potrubí by mohlo mít negativní vliv na tlakové ztráty.

Pokud se zvolila clona typu „dump tube“, což je pouze víceotvorová clona s malou tloušťkou a kolmým náběhem proudu, tak se musí k ploše jednootvorové clony přidat 5 %, protože více otvorů má v průměru větší okrajové ztráty než jeden centrální otvor. Plocha, kterou bude mít „dump tube“, je 185,54 mm<sup>2</sup>.

$$S_{dumptube} = 1,05 \frac{\pi \cdot d_{clony}^2}{4} \quad (17)$$

### 5.3.2 Trasa MAW20BR020

U trasy VT UP je situace poněkud jednodušší, protože se jedná o trasu s uzavírací armaturou, která žádný tlak nereguluje. Veškerý tlak expanduje na cloně u EPK. Na jedné straně se nachází pracovní tlak VT UP, který je 4,03 baru, na druhé tlak blízkého vakua v EPK. Trasa pracuje na teplotě 378 °C a hmotnostní průtok činí  $0,49 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ . Součinitel kontrakce zvolen 0,85 a Poissonovo číslo pro tyto parametry páry činí 1,309.

Dle vzorce (16) vychází výsledný průměr clony 38,88 mm a ze vzorce (17) obsah „dump tube“ vychází 1246,33 mm<sup>2</sup>.

### 5.3.3 Ztráty v potrubí

Regulační ventil a redukční clona bývají na opačných stranách strojovny, a proto je nutné zkontrolovat, jestli tlaková ztráta mezi ventilem a clonou výrazně nezmění předchozí

výsledky. Je nutné podotknout, že tato podkapitola neodpovídá souslednosti práci, protože bude zahrnovat výsledky následující kapitoly (přesněji řečeno skutečnou délku potrubí a počet kolen). Pro výpočet tlakové ztráty bude počítáno se vzorcem: [15]

$$\Delta p_z = \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (18)$$

kde  $\xi$  značí ztrátový součinitel, který se skládá ze dvou různých.  $\xi_{mz}$  určuje místní ztráty, jako jsou kolena a difuzory. Výtah hodnot relevantních pro tuto práci je uveden v tabulce 14.  $\xi_{tp}$  označuje ztráty proudění. Je celkem jisté, že v případě této práce se vyskytuje turbulentní proudění, jehož ztrátový součinitel má tvar: [15]

$$\xi_{tp} = \lambda_{sp} \cdot \frac{l}{d} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \cdot \frac{l}{d} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\frac{w \cdot d}{\nu}}} \cdot \frac{l}{d} \quad (19)$$

kde  $\lambda_{sp}$  je součinitel tření (pro hydraulicky hladké potrubí),  $Re$  značí Reynoldsovo číslo,  $w$  rychlost,  $d$  hydraulický průměr (který je v našem případě shodný s vnitřním průměrem),  $l$  délku potrubí a  $\nu$  kinematickou viskozitu páry.

**Tab. 14: Hodnoty  $\xi_{mz}$  [16]**

Potrubní prvek	$\xi_{mz} [-]$	
	DN 40	1
Koleno	DN 125	0,5
	o 1 DN	0,1
Redukce	o 2 DN	0,2

Trasa MAW10BR040 má mezi ventilem a clonou jedenáct kolen, jedno rozšíření o 2 DN původního potrubí a celkem 9,53 metrů rovného potrubí. Pro parametry páry, které byly definovány velikostí tlaku 0,53 bar, činí kinematická viskozita  $4,85 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}$  [17] a hustota  $0,23 \frac{kg}{m^3}$  [11].

Výpočtem vychází výsledná tlaková ztráta 2085 Pa. Takto malá hodnota je zanedbatelná s porovnáním s tlakem v potrubí, protože by se snížila pouze na 0,51 bar. Pro zajímavost, průměr clony se při započítání ztrát zvětší na 15,3 mm a plocha dump tube na 195 mm<sup>2</sup>. Nehledě na to, že výroba clon má určitou výrobní nepřesnost, která se reguluje regulačním ventilem a v provozu se clona proudem páry ještě opotřebí.

## 6 Plant Design Management System

Jak už bylo zmíněno, PID je pouze schéma a nedodává žádné informace o tom, jak přesně bude potrubí rozloženo ve strojovně. To znamená, že délku potrubí, počty kolen a uložení je potřeba simulovat v prostředí, které důvěryhodně interpretuje rozestavění strojovny. V tomto ohledu jsme vytvořili model v programu AREVA PDMS (Plant Design Management System), což je 3D CAD rozhraní umožňující detailní simulaci a vizualizaci strojovny. Tento program nám umožňuje precizně pracovat s parametry potrubí a strojovny, což je klíčové pro správné plánování a optimalizaci procesů.

Strojovna je výsledkem práce několika pracovních a inženýrských oddílů, jako jsou například staváři, turbináři, dispozice, elektrikáři, SKŘ apod. Všechny tyto oddíly dodávají do strojovny své zařízení a procesy, jež musí být přístupné jak při montáži, tak při údržbě. Také by se nemělo stávat, že ve strojovně nezbyde místo na některé zařízení, nebo se budou některé technologie nesmyslně křížit kvůli neopatrnosti přípravy rozložení. To vše by měl vyřešit vhodný model v PDMS.

Nejdříve se vymodelují stavební prvky, jako je dolní základová deska, železobetonová turbostolice, případně horní základová deska (v tomto projektu není, protože turbína je upevněna pevně s železobetonovou deskou), staticky důležité stavební prvky a platformy pro jednoduchý přístup k turbíně. Následně se vymodelují velká důležitá zařízení, jako je turbína, kondenzátor, generátor, EPK apod. Jako další krok nastává uložení potrubí, a protože toto je jeden z hlavních výstupů práce, je tento krok rozebrán podrobněji níže. V závěrečné fázi realizace přichází SKŘ.

V realitě je tento proces o něco složitější, protože všechny oddíly pracují dohromady a pracuje se v iteracích. Z 2D výkresů nabídky se sestojí první náčrt stavebních prvků a velkých zařízení, poté se modelují velké potrubí a velké zapouzdržené kabely (vyvedení výkonu), kde je iniciativa udržet je co nejkratší – v rámci ekonomičnosti. Pokud je nutné kvůli tomuto změnit předchozí návrhy rozložení stavebních prvků, nezbyvá nic jiného, než je přepočítat a navrhnout znovu. K čím menšímu a tím nevýznamnému dopadu do ceny prvků se blížíme, tím je možné si dovolit je udělat o něco delší, aby vyhověly okolním podmínkám a vyhnuly se překážkám. Tímto iterujícím procesem se postupně vybudovává přesnější model.

### 6.1 Modelování potrubí

Jak bylo avizováno, tato práce se týká modelování potrubí (přesněji řečeno ucpávkové a komínkové páry) a proto pravidlům pro jejich modelování bude věnováno více prostoru. Modelování zpravidla probíhá od největších průměrů potrubí, protože jsou nejen nejdražší (a proto se snažíme snížit zbytečné navýšení délky), ale také zabírají nejvíce místa. Obecně se usiluje o to, aby strojovna měla olejovou a parní část, která se míchá pouze minimálně, avšak v případech, kdy to není možno dodržet, je nutné, aby parní potrubí bylo vždy nad olejovým, protože je nežádoucí, aby při poruše olejového potrubí kapal hořlavý olej na horké parní potrubí.

Dalším faktorem pro pořadí modelování je důležitost trasy, například ostrá pára se modeluje před ucpávkovou parou. Tento princip není možné v této práci použít, protože modelovaná potrubí mají všechna stejnou důležitost.

Je neustále nutno mít na paměti, že potrubí bude teplotně dilatovat. Proto se do tras přidávají kompenzační smyčky, které na první pohled vypadají zbytečně, ale tímto krokem není nutné dokupovat drahé kompenzátory teplotních dilatací. Na trase také budou armatury, které by měly mít přístupnost (tj. jejich pohony by měly být do 2,5 metru výšky a pracovní prostor a ulička k němu by měla být široká minimálně 800 mm). Pokud to tak není, mělo by se jednat

o armaturu či komponentu, u které je předpokládána nízká poruchovost, protože při každé poruše je nutné stavět lešení pro analýzu a opravu.

DSPW u parních potrubí (pokud není dáno jinak) počítá se standardní firemní normou udávající takovou tloušťku izolace, která zabezpečí 50 °C na povrchu (při 25 °C okolí). To ještě více navýší rozměry pokládaného potrubí. Toto je potřeba brát v potaz, protože plechová ochrana izolace potrubí by od druhých plechů měla být minimálně 100 mm. Pochopitelně je možné využít dražší izolaci a tím průměr snížit, ale to má propis do celkové ceny. Tento postup se spíše využívá pod turbínou, kde není tolik místa pro všechna potrubí.

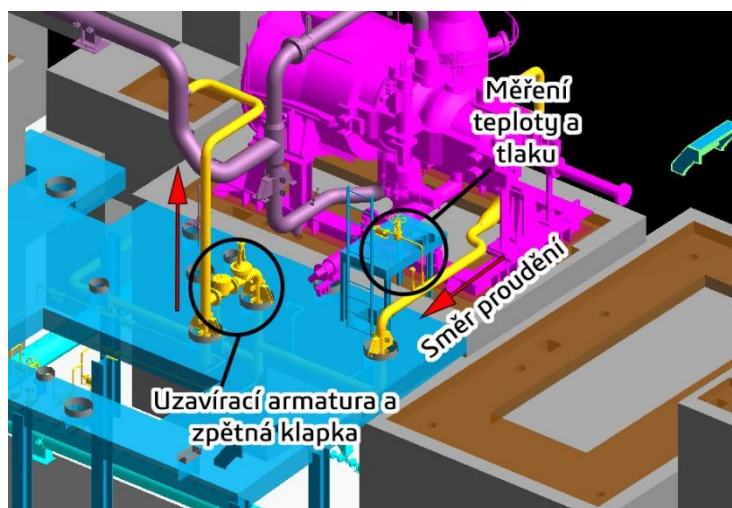
Pára se při najíždění ale i při provozu neustále ochlazuje teplotními ztrátami. To zapříčiňuje, že může kondenzovat na stěnách potrubí. Proto musí být potrubí, u kterého je očekávána tvorba kondenzátu, odvodňováno a také musí být spádováno pod úhlem, aby kondenzát neustále tekla do nejnižšího bodu odvodňování. V praxi se potrubí spáduje 1 : 200 (0,286°) při odvodňování po směru a 1 : 100 (0,573°) při odvodňování proti směru média. Stejná pravidla platí i při odvodušňování, ale to se této práci netýká.

Poslední větší záležitostí jsou uložení, ke kterému je potrubí připevněno. Velice obecně se uložení dělí na pevné a pružné, a i když se může zdát, že pružné uložení je v situaci dilatace nejlepší, využívá se pouze, když je opravdu potřeba – kvůli ceně. Dle praxe se potrubí nesmí prohnut o 3 mm mezi uložení, protože jinak by na potrubí byly vyvíjeny nenávrhové síly a v průhybech by se mohl hromadit kondenzát. Umístění uložení proto přímo definuje namáhání potrubí, a i když se vyhovění dovolenému napětí a deformacím počítá v příští kapitole, dbá se na to, aby uložení bylo v pravidelných intervalech, což je závislé na průměru trub (v tomto případě se jedná o délku okolo tří metrů). Inženýr by měl dávat pozor na teplotní roztažnost a vědět, kam chce potrubí dilatovat a navrhnout upevnění tak, aby toto bylo umožněno.

Měření je dalším krokem pro vyhotovení modelu. V podmínkách této práce se počítá pouze s měřením teploty a tlaku. Pokud je měření teploty a tlaku za sebou, dbá se na to, aby měření tlaku bylo vždy první, protože měření teploty se umísťuje do šroubení a čidlo ústí do potrubí. To vytváří víry a tlakové diference, které by mohly způsobit chybu měření, pokud by měření tlaku bylo umístěno za měřením teploty. Dále se dbá na to, aby měření bylo vždy v horní polovině potrubí, aby se do měření nedostal kondenzát anebo šupinky rzi. Měření je dále od sebe min. 300 mm a vzhledem ke středu potrubí pootočeno o min. 30°. Dále by mělo platit, že měření by mělo být přístupné, jinak by bylo nutné pro výměnu stavět lešení. Výjimku tvoří měření teploty, jež mohou být vyvedeny do sružovací skříně.

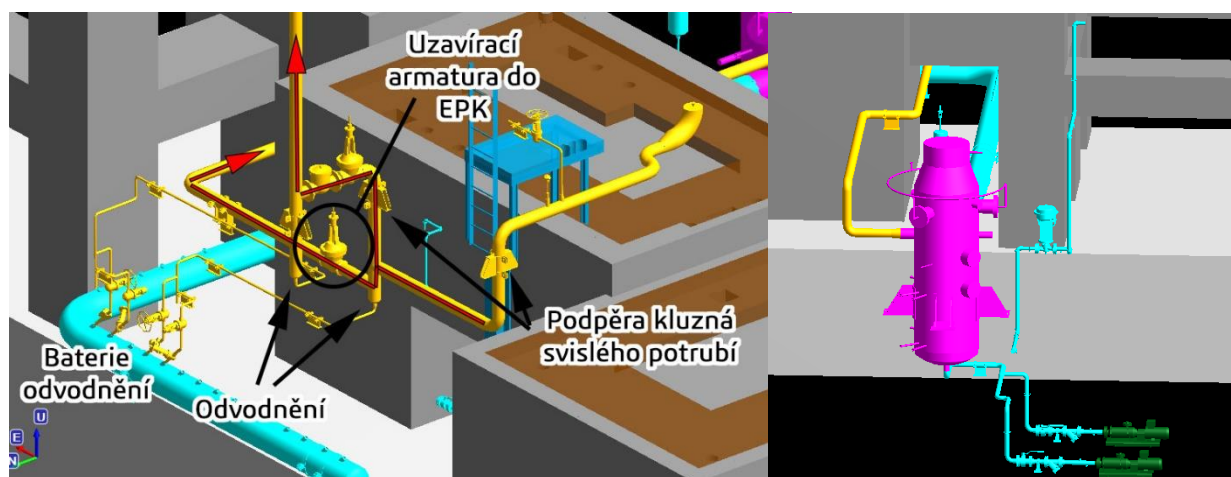
### 6.1.1 Neregulovaná ucpávková pára

Neregulovaná ucpávková pára (MAW20) ústí z mezi-ucpávkového prostoru a proudí do NT páry nebo náhradní trasou do EPK. Tato trasa se modeluje jako první, protože je rozměrem nejširší (DN 125). Na trase je umístěno měření tlaku a měření teploty, dále dvě uzavírací klapky a jedna zpětná klapka.



Obr. 25: Zapojení VT UP

Na obrázku 25 je možné vidět vyvedení z turbíny, vyvedení pro měření teploty a tlaku a upevnění podpěrou kluznou svislého potrubí (dále také SV2) k pomocné konstrukci. Předpokládá se, že potrubí se bude od SV2 roztahovat pod konstrukcí. Z druhé strany vychází vývod do NT páry (fialové potrubí) s uzavírací armaturou a zpětnou klapkou, které jsou opřeny o dvě SV2, které by měly držet hmotnost ventilů.

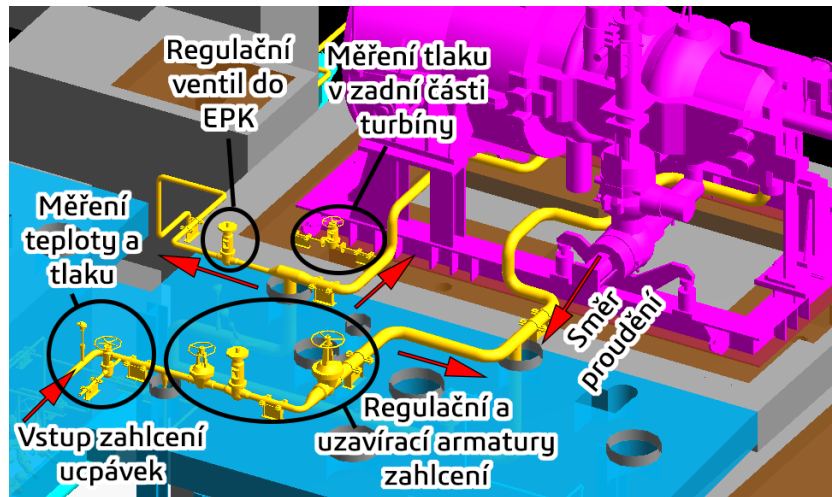


Obr. 26 a 27: Zapojení VT UP bez turbíny a do EPK

Obrázek 26 bez pomocné konstrukce vypovídá o dvou odvodnění v nejnižších bodech potrubí a jedné zavírací armatuře pod konstrukcí, která je umístěna na trase vedoucí do EPK. Vývod do EPK možno vidět na obrázku 27. Obecně je potrubí upevněno SV2 a u kolena podpěrami, protože se v tomto místě předpokládá větší flexibilita potrubí. Délka potrubí od poslední podpěry k EKP je cca tři metry, což je hraniční hodnota. Pokud by výpočtem potrubí nevyhovovalo, bylo by nutné vystavět další pomocnou plošinu pro podporu v blízkosti EPK.

### 6.1.2 Regulovaná ucpávková pára

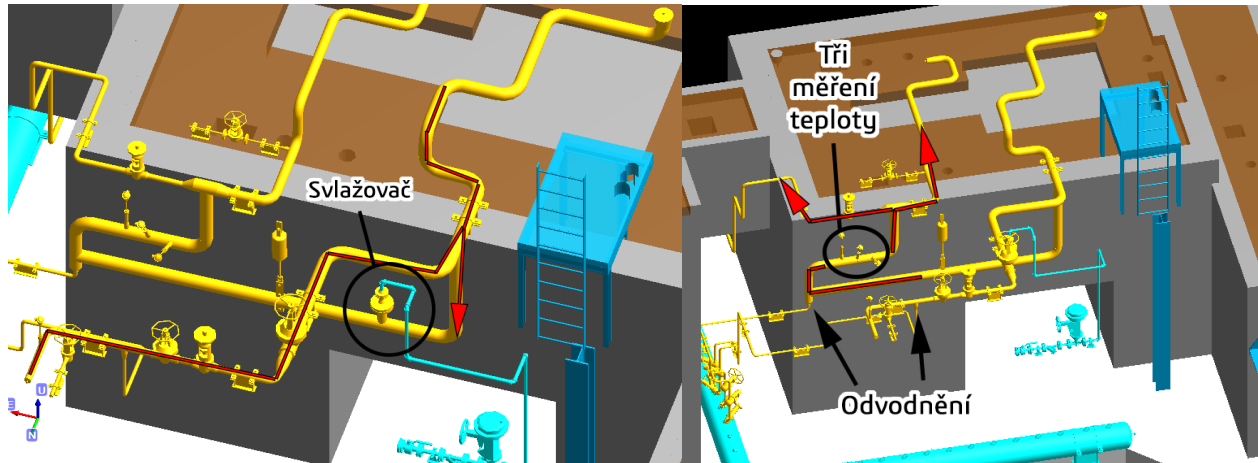
Druhým největším modelovaným potrubím je regulovaná ucpávková pára MAW10 s DN 100. Do této trasy ústí zahlcování ucpávek (MAW15), dále svlažovač MAW10AC001, do kterého ústí trasa kondenzátu LCE10BR010. Jak už bylo zmíněno, za svlažovačem musí být cca třímetrové rovné potrubí pro vypaření kapiček kondenzátu. Po třech měření teploty se trasa dělí na dvě cesty. Jedna, která vede do zadní části turbíny a druhá do EPK obsahující regulační ventil.



Obr. 28: Zapojení NT UP

Z pravé části turbíny na obrázku 28 proudí ucpávková pára do T-kusu, který je na jedné straně zahlčován ucpávkou z turbíny a na druhé ze systému zahlčení ucpávek. Je možno vidět, že tato trasa obsahuje měření tlaku a teploty a dvě uzavírací ruční armatury, jež mohou být použity pro odražení regulačního ventilu, který je mezi nimi. Trasa se z DN 50 rozšiřuje na DN 100, protože se v regulačním ventilu pára škrťá na požadované parametry a tím se zvětšuje její objem. Trasa je dostatečně upevněna podpěrami, aby byla udržena hmotnost armatur.

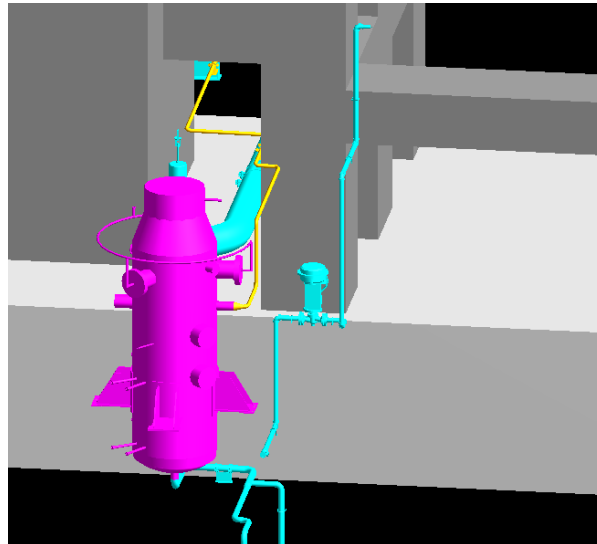
Z druhé strany z dolního patra plošiny vychází svlažená ucpávková pára, která narazí na odbočku do zadní části turbíny (obsahující měření tlaku) nebo do EPK, která obsahuje regulační ventil.



Obr. 29 a 30: Zapojení NT UP bez turbíny

Na obrázcích 29 a 30 bez plošiny je patrný svlažovač, který je umístěn za kolenem a do kterého ústí modré potrubí kondenzátu. Čerpadlo a ovládací prvky trasy kondenzátu jsou umístěny níže než samotný svlažovač, protože kdyby tomu tak nebylo a uzavírací ventily by byly výše, při jejich uzavření by se zbývající voda v potrubí postupně rozstříkala do potrubí. To samo o sobě není tak zásadní problém, pouze by to zpomalovalo reakci z regulačního činitele. Co by se však mohlo stát, je, že při opětovném otevření by voda při tlaku čerpadla proudila vyprázdněným potrubím a dosáhla by vyšších rychlostí, než je povoleno. Následný náraz by mohl vyvolat takové síly na rozstřík ve svlažovači, až by se mohl poškodit.

Potrubí ve velmi abstraktním tvaru U pod plošinou je příliš dlouhé a těžké, aby viselo pouze na podpěrách, které byly zmiňovány výše, a z tohoto důvodu je za svlažovačem umístěn pružný závěs. Pružný je proto, že se předpokládá teplotní dilatace od podpěr dolů, a pevný závěs by tomuto pohybu zabraňoval a ještě více by navyšoval napětí v potrubí. Za třímetrovým kusem rovného potrubí je umístěn dynamický odlučovač s odvodněním a tři měření teploty.

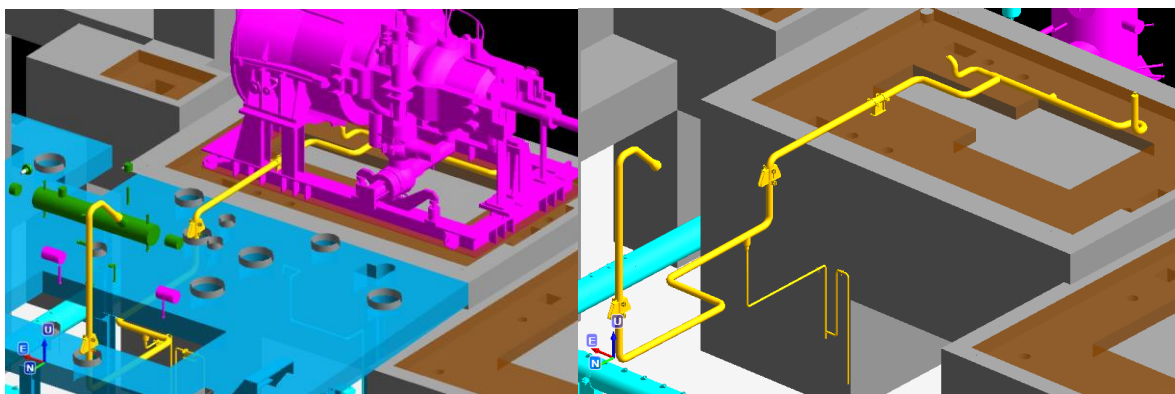


Obr 31: Zapojení NT UP do EPK

Trasa do EPK (obrázek 31) má stejný problém jako u neregulované ucpávky, kdy neupevněná část potrubí přesahuje čtyři metry doporučené vzdálenosti mezi podpěrami. Pokud by bylo napětí na hrdlo EPK příliš velké, je nutné vybudovat pomocnou podpěrnou plošinu s vhodným uložením.

### 6.1.3 Komínková pára

Poslední a nejmenší (DN 80) modelovanou trasou je komínková pára. Jedná se o potrubí s nejméně částmi, protože spojuje pouze dva konce turbíny s KKP. Na trase je pouze jedno odvodnění pomocí sifonu, protože komínek obsahuje parovzdušnou směs, jež se nevyplatí posílat do EPK a kondenzátoru. Ekonomicky je nevýhodné, aby byly instalovány větší vývěvy kvůli záchraně malého množství demi-vody, která sifonem proteče do kanálu. Také potrubí pracuje na relativně malém tlaku pro využití sifonového efektu (zhruba 0,4 m vodního sloupce, ale z důvodu bezpečnosti se využívají 1,2 m).



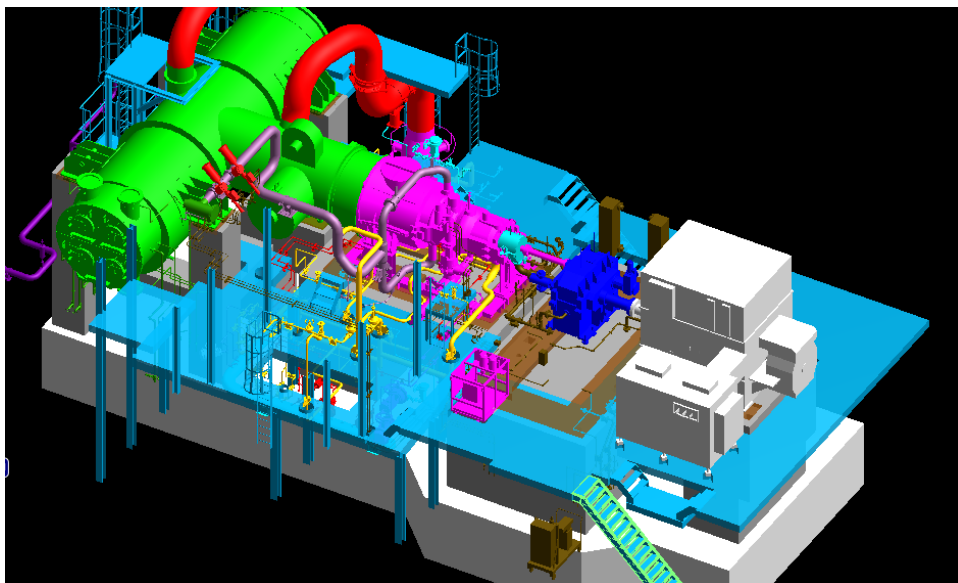
Obr 32 a 33: Zapojení KP



Potrubí komínkové páry je spojeno rovnou pod turbínou (obrázek 32 a 33). Z výstupu z VT turbíny je umístěna kompenzační smyčka z kolen a jeden T-kus, do kterého ústí odvodnění z dělicí roviny. Potrubí je upevněno na podpěrách kluzných svislého potrubí železné konstrukce, a tudíž se předpokládají tepelné dilatace pod plošinu. Sifon je vyveden ke zdi, kde bude odvodnění sifonu svedeno hadicí k nejbližšímu kanálu, který není v modelu znázorněn.

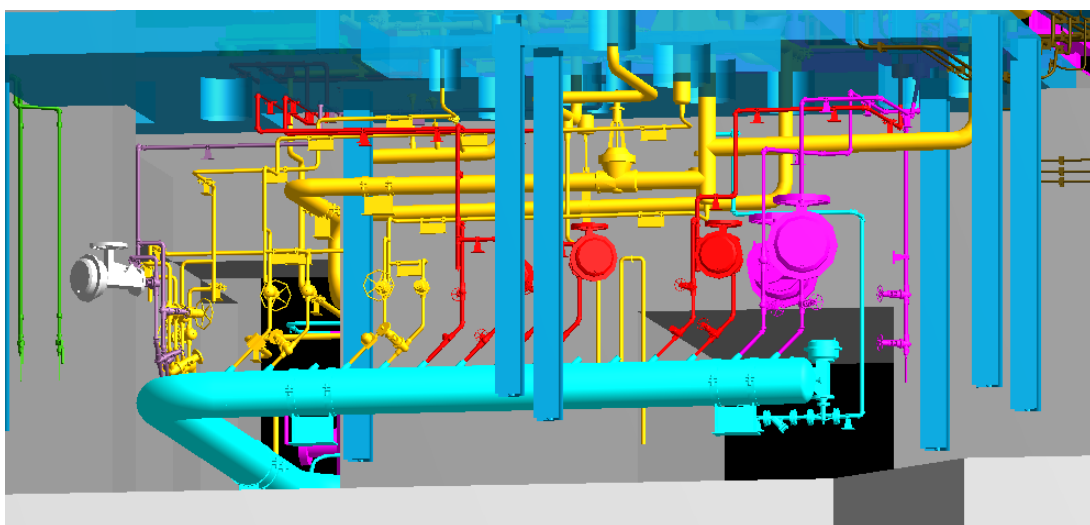
## 6.2 Celkové uspořádání

Předchozí obrázky mohly vyvolat dojem, že strojovna je na první pohled organizovaná seskupení potrubí, to však není tak úplně pravda. Z důvodu přehlednosti tras, byla velká část systémů v modelu skryta.



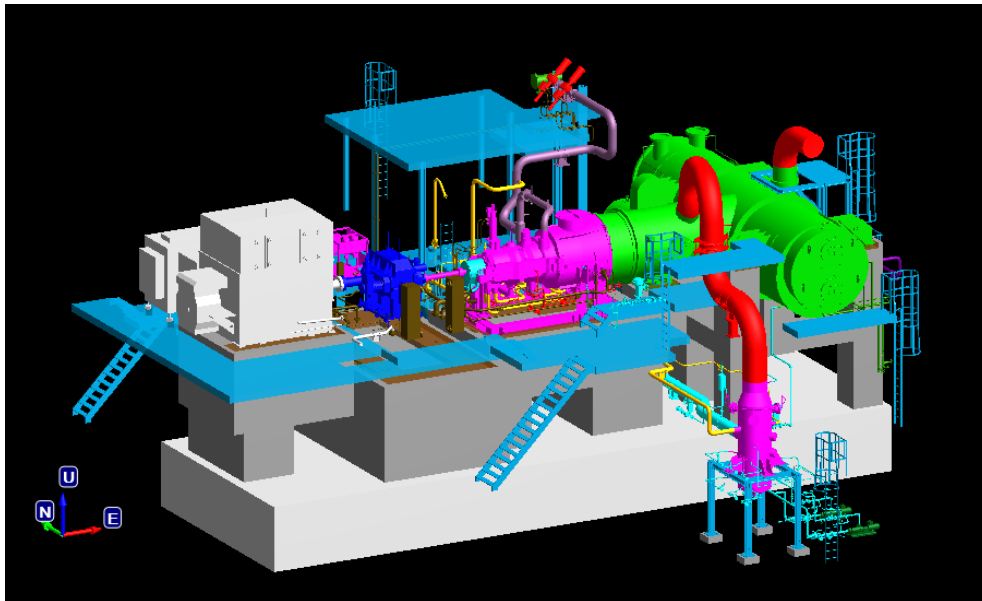
Obr. 34: Pohled na turbínový ostrov

Na obrázku 34 s celou strojovnou je možné vidět tmavě modrou převodovku, napravo do převodovky bílý generátor, růžovou turbínu a zelený kondenzátor. Potrubí oleje a páry bylo drženo odděleně, kdy olej se spíše drží na straně převodovky a generátoru a potrubí na levé části turbíny (při pohledu v axiálním směru na turbínu od generátoru směrem na kondenzátor).



Obr. 35: Pohled na baterii odvodnění

Obrázek 35 zachycuje místo pod železnou plošinou s odvodněním. Je možné vidět dvě paralelní trasy, tak jako bylo popsáno v kapitole 3.



**Obr. 36: Pohled na turbostolici a EPK**

Na posledním obrázku 36 je turbínový ostrov s pohledem na EPK. Trasy, jež vedly do EPK, bylo nutné vést pod turbínou. Z EPK vede červené potrubí do zeleného HK a pod EPK se nachází dvě zvyšovací čerpadla.

## 7 Simulace reálných provozů

Do tohoto bodu bylo zahrnuto pouze napětí v rovném potrubí vyvolané tlakem média, ale to nejsou všechny složky, jež na potrubí působí, a které nemohly být do výpočtu zahrnuty, protože záleží na předchozích výsledcích. Mezi tyto namáhání patří napětí vyvolané vlastní vahou potrubí a izolace a případné napětí ze znemožnění pohybu při tepelné dilataci. Také je potřeba vhodně posoudit napětí a deformaci v koncentrátoch napětí a ve změnách geometrie potrubí, jako jsou například kolena a T-kusy.

Protože se jedná o složitý proces, kde uložení na jednom konci potrubí může ovlivnit napětí na druhém, je napětí posuzován celý potrubní komplex, včetně posuvů velkých celků, jako je turbína, HK a EPK. K tomuto účelu byl vytvořen program CASEAR II, který automaticky počítá napětí v potrubí a uložení, posuvy a dodržení dovoleného napětí na přírubách při zvolených provezech. Pro zjednodušení se v této práci budou posuzovat tři na sobě nezávislé trasy: KP, NT UP a VT UP. Protože VT UP je zapojena do potrubí NT páry, je potřeba simulovat i část potrubí NT páry.

Protože tyto potrubí jsou napojena na turbínu, KKP a EPK, které se také tepelně roztahují, je potřeba simulovat posuvy na hrdlech potrubí. Tento proces bude níže blíže popsán.

### 7.1 Podklad pro výpočty v CAESAR II

Výpočty ve výše uvedeném programu se opírají o normu ČSN EN 13480-3 [7]. Pro výpočet napětí (a jeho porovnání s dovoleným) je potřeba znát tloušťky stěn, i když byly vypočítány pouze pro rovné potrubí. Pro každou tvarovku je tloušťka v EN normě počítána jinak, proto jsou níže vypsány postupy pro prvky vyskytující se v této práci. Je nutné dodat, že norma ČSN EN 10253-2 [18] rozlišuje mezi dvěma typy tvarovek. Typ A (nezesílené) nejsou koncipovány tak, aby vydržely stejné zatížení jako rovná část potrubí. Obecně se u těchto tvarovek udává součinitel tlaku  $X$ , který udává velikost dovoleného tlaku, který může na tvarovku působit ku dovolenému tlaku působícímu v rovném potrubí. Typ B (zesílené) jsou navrženy s tloušťkami, jež 100% odolají stejnému vnitřnímu tlaku, jako rovná část potrubí. V této práci se bude výhradně počítat s typem A. Výpočty vycházejí z minimální požadované tloušťky stěny, která se pro bezešvé tvarovky průměru menšího než 610 mm vypočítá jako:

$$T_{min} = T \cdot 0.875 - c_0 \quad (20)$$

kde  $T$  značí navrhovanou tloušťku a korozní přírůstek  $c_0$  je zvolen 1 mm. Tlakový součinitel  $X$  se poté vypočítá:

$$\text{Pro kusy se stejnými hrdly:} \quad X = \frac{T_X}{T_{min}} \cdot \frac{D - T_{min}}{D - T_X} \cdot 100 \quad (21)$$

$$\text{Pro redukce} \quad X = \frac{\frac{T_X}{D}}{\min\left(\frac{T_{min}}{D}, \frac{T_{1,min}}{D_1}\right)} \cdot \frac{1 - \min\left(\frac{T_{min}}{D}, \frac{T_{1,min}}{D_1}\right)}{1 - \frac{T_X}{D}} \cdot 100 \quad (22)$$

Hodnoty  $T_X$  a  $T_{1,min}$  jsou ekvivalentní tloušťky řešené u každé tvarovky zvlášť.

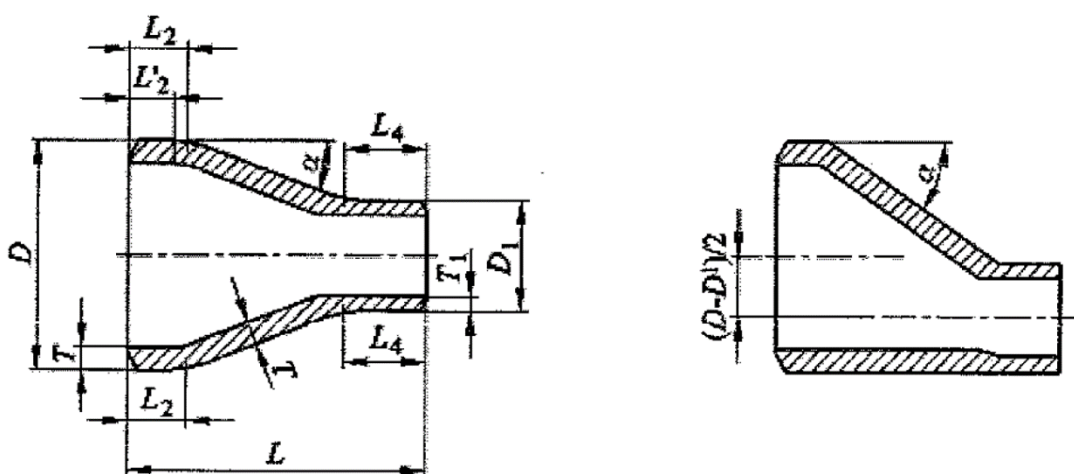
#### 7.1.1 Výpočet tloušťky redukci

Všechny redukce se volily s geometrií kužel/válec s anuloidovým přechodem (obrázek 37). Pro správný návrh je potřeba vypočítat tloušťku ve třech částech tvarovky: ve spojení většího průměru potrubí s kuzelem, v místech samotného kuželu a ve spojení menšího průměru potrubí. Pro návrh redukce je nejdříve nutné znát DN spojovaných potrubí. Jako příklad je uvedeno spojení potrubí NT UP (DN 40) a hrdla EPK (DN 100).

Tab. 15: Vyráběné redukce pro rozměr DN 100 [18]

Strana většího DN		Strana menšího DN		Délka
DN	D [mm]	DN <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> [mm]	L [mm]
100	114,3	80	88,9	102
		65	76,1	
		50	60,3	
		40	48,3	

Dle tabulky 15 lze vidět, že redukce DN100/40 se vyrábí, a tudíž není potřeba na trasu umisťovat dvě redukce za sebou.



Obr. 37: Rozměry redukcí typu A [18]

### 7.1.1.1 Dovolенý tlak v kuželové části redukce

Výpočet vychází z výpočtu požadované tloušťky stěny v kuželové části redukce:

$$e_{con} = \frac{p \cdot D_e}{2f \cdot z + p} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \quad (23)$$

kde  $D_e$  je externí průměr kužele ve zvažovaném místě. Je vidět, že tloušťka se lineárně mění podle průřezu  $D_e$ . Redukce se vyrábí s konstantní tloušťkou stěny, proto bude uvažován nejhorší možný případ, tj. v místě spojení kužele a potrubí většího průměru. Výsledný maximální dovolený tlak pro analyzovanou tloušťku stěny (navrhnutá tloušťka  $e_{ord}$  zmenšená o korozní přírůstek a výrobní tolerance)  $e_a$  je tedy:

$$p_{dov1} = \frac{2f \cdot z \cdot e_a \cdot \cos \alpha}{D_c} \quad (24)$$

kde  $D_c$  značí střední průměr válce ve spoji s kuželem ( $D_c = D_e - e_a$ ).

### 7.1.1.2 Dovolенý tlak ve spojení většího potrubí

Jako druhá se vypočítá únosnost spoje velkého potrubí a kužele. Protože jsou vyráběné tloušťky stěn redukci typu A v těchto místech stejné, je možné výpočet zjednodušit na:<sup>1</sup>

$$p_{dov2} = \frac{2f \cdot \gamma \cdot e_a}{\beta_p \cdot D_c} \quad (25)$$

kde součinitele jsou:

$$\beta_p = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{D_c}{e_j}} \cdot \frac{\tan \alpha}{1 + \frac{1}{\cos \alpha}} - 0,15 \quad (26)$$

$$\rho = \frac{0,028r}{\sqrt{D_c \cdot e_j}} \cdot \frac{\alpha}{1 + \frac{1}{\cos \alpha}} \quad (27)$$

$$\gamma = 1 + \frac{\rho}{1,2(1 + \frac{0,2}{\rho})} \quad (28)$$

$$e_j = \frac{p \cdot D_c \cdot \beta_p}{2f \cdot \gamma} \quad (29)$$

Součinitelé nejsou jednoduchými vzorci, ale závisí napřímo sami na sobě, proto se jejich výpočet musí provádět citlivostní analýzou.

### 7.1.1.3 Dovolенý tlak ve spojení s menším potrubím

Jako poslední se určí únosnost spoje s malou podstavou kužele. Jak už bylo zmíněno, to, že se jedná o redukci typu A, výpočet značně zjednodušuje, protože požadované tloušťky se odvíjí od tlouštěk přiléhajících potrubí. U většího je značeno  $e_a$  u menšího  $e_{1a}$ .

$$p_{dov3} = \frac{2f \cdot z \cdot e_{1a}}{D_{1c} \cdot \beta_{Hp}} \quad (30)$$

kde  $D_{1c}$  značí střední průměr válce ve spoji s kuželem ( $D_{1c} = D_{1e} - e_{1a}$ ) a součinitel  $\beta_{Hp}$  se vypočítá:

$$s_p = \frac{e_a}{e_{1a}} \quad (31)$$

$$\tau_p = \begin{cases} s_p \cdot \sqrt{\frac{s_p}{\cos \alpha}} + \sqrt{\frac{1+s_p^2}{2}} & \text{pokud } s_p < 1 \\ 1 + \sqrt{s_p \cdot \frac{1+s_p^2}{2 \cos \alpha}} & \text{pokud } s_p \geq 1 \end{cases} \quad (32)$$

$$\beta_{Hp} = 0,4 \sqrt{\frac{D_{1c}}{e_{1a}}} \cdot \frac{\tan \alpha}{\tau_p} + 0,5 \quad (33)$$

<sup>1</sup> Norma ČSN EN 13480-3 [7] udává, že maximální dovolенý tlak se vypočítá jako minimum ze tří výpočtů (podmínek), ale z důvodu konstrukce redukce je první podmínka vždy větší než výpočet (24) ( $p_{podm1} = \frac{2f \cdot z \cdot e_a}{D_c}$ ), protože se jedná o vzorec (24) podělený o  $\cos \alpha$ , který bude v případech této práce vždy menší než jedna. Druhá podmínka je totožná se vzorcem (24) a třetí se vzorcem (25). Protože pro výpočet bezpečnosti je vybrána nejnižší hodnota maximálního dovolенého tlaku, je jisté dáno, že se vybere buď ze vzorce (24) nebo (25).

### 7.1.1.4 Výsledky maximálního dovoleného tlaku pro zvolenou redukci

Výsledky všech max. dovolených napětí v redukci lze vidět v tabulce 16 níže. Podle pevnostní analýzy vnitřního přetlaku redukce vyhovuje. Jedná se o koncentrickou redukci 114,3×3,6 – 48,3×2,6 s polovičním úhlem 28°. Poloměr zaoblení  $r$  zvolen 5 mm, redukované napětí  $f$  zvoleno podle tab. 7 (74,7 MPa). Redukce pracuje ve výpočtovém přetlaku 0,7 MPa (8 bar atmosférických). Hodnota kvality spoje  $z$  zvolena 1.

Tab. 16: Vypočtené dovolené napětí v analyzované redukci

Dovolený tlak v kuželovité části	Dovolený tlak ve spojení s větším průměrem potrubí				
$p_{dov1}$ [MPa]	$p_{dov2}$ [MPa]	$\beta_p$	$\rho$	$\gamma$	$e_j$
2,58	2,69	1,07	0,004	1,00	0,56
Dovolený tlak ve spojení s menším průměrem potrubí					
$p_{dov3}$ [MPa]	$s_p$	$\tau_p$	$\beta_{Hp}$		
4,30	1,69	2,92	0,94		

Max. dovolený tlak ve všech částech redukce přesahují výpočtové napětí s nejmenší bezpečností 3,6.

### 7.1.1.5 Výpočet délky konců

Pro výpočet délky konců je potřeba jako první vypočítat ekvivalentní tloušťky stěn v různých částech redukce (symboly odpovídají kótám na obrázku výše):

$$\text{V ohybu 2-3} \quad T_{X,23} = T_{min} \cdot \frac{D}{\beta \cdot (D - T_{min}) + T_{min}} \quad (34)$$

$$\text{V kuželu 3} \quad T_{X,3} = T_{min} \cdot \cos \alpha \cdot \frac{D}{D - 2T_{min} - \sqrt{\frac{(D - T_{min}) \cdot T_{min}}{\cos \alpha}} \cdot \sin \alpha + T_{min} \cdot \cos \alpha} \quad (35)$$

$$\text{V ohybu 3-4} \quad T_{X,34} = T_{min} \cdot \frac{D}{\beta_H \cdot (D_1 - T_{1,min}) \cdot \frac{T_{min}}{T_{1,min}} + T_{min}} \quad (36)$$

$$\text{V potrubí 4} \quad T_{X,4} = T_{1,min} \cdot \frac{D}{D_1} \quad (37)$$

Výsledná ekvivalentní tloušťka vychází:

$$T_X = \min(T_{X,23}; T_{X,3}; T_{X,34}; T_{X,4}) \quad (38)$$

$$T_{1,X} = T_X \cdot \frac{D_1}{D} \quad (39)$$

V předchozích výpočtech se vyskytovaly součinitele  $\beta_H$  a  $\beta$ :

$$\beta = \max\left(\frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{D - T_{min}}{T_{min}}} \cdot \frac{\tan \alpha}{1 + \frac{1}{\cos \alpha}} - 0,15; 1\right) \quad (40)$$

Pro výpočet  $\beta_H$  je potřeba: 
$$s = \frac{T_{min}}{T_{1,min}} \quad (41)$$

$$\tau = \begin{cases} s \cdot \sqrt{\frac{s}{\cos \alpha}} + \sqrt{\frac{1+s^2}{2}} & \text{pokud } s < 1 \\ 1 + \sqrt{s \cdot \frac{1+s^2}{2 \cos \alpha}} & \text{pokud } s \geq 1 \end{cases} \quad (42)$$

$$\beta_H = 0,4 \sqrt{\frac{D-T_{min}}{T_{min}}} \cdot \frac{\tan \alpha}{\tau} + 0,5 \quad (43)$$

Pro redukci je nutné vypočítat i minimální délky  $L_2$  a  $L_4$ :

Pro větší potrubí 
$$T'_{L2} = \beta_L \cdot T_X \cdot \frac{D}{D+(\beta_L-1) \cdot T_X} \quad (44)$$

$$T_{L2} = \max(T_X; T'_{L2}) \quad (45)$$

Pro menší potrubí 
$$T'_{L4} = \beta_{HL} \cdot T_{1,X} \cdot \frac{D}{D+(\beta_{HL}-1) \cdot T_X} \quad (46)$$

$$T_{L4} = \max(T_X; T'_{L4}) \quad (47)$$

kde součinitele  $\beta_L$  a  $\beta_{HL}$  se vypočítají takto:

$$\beta_L = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{D-T'_{L2}}{T'_{L2}}} \cdot \frac{\tan \alpha}{1+\frac{1}{\cos \alpha}} - 0,15 \quad (48)$$

Pro výpočet  $\beta_{HL}$  je potřeba:

$$s_L = \frac{T_{min}}{T'_{L4}} \quad (49)$$

$$\tau_L = \begin{cases} s_L \cdot \sqrt{\frac{s_L}{\cos \alpha}} + \sqrt{\frac{1+s_L^2}{2}} & \text{pokud } s_L < 1 \\ 1 + \sqrt{s_L \cdot \frac{1+s_L^2}{2 \cos \alpha}} & \text{pokud } s_L \geq 1 \end{cases} \quad (50)$$

$$\beta_{HL} = 0,4 \sqrt{\frac{D-T'_{L4}}{T'_{L4}}} \cdot \frac{\tan \alpha}{\tau_L} + 0,5 \quad (51)$$

Z předchozích výpočtů je patrné, že  $\beta_L$  a  $\beta_{HL}$  obsahují  $T'_{L2}$  a  $T'_{L4}$  a naopak, proto je nutné výpočet provést iterační metodou. Výsledné minimální délky:

$$L_{2,min} = 1,4 \frac{T_{L2}-T_X}{T_{min}-T_X} \cdot \sqrt{(D-T_{L2}) \cdot T_{L2}} \quad (52)$$

$$L_{4,min} = \frac{T_{L4}-T_{1,X}}{T_{1,min}-T_{1,X}} \cdot \sqrt{(D-T_{L4}) \cdot T_{L4}} \quad (53)$$

Tab. 17: Výčet všech redukcí a pevnostní výpočet

Popis	DN	$\alpha$ [°]	Dxt [mm]	p <sub>1</sub> [MPa]	p <sub>2</sub> [MPa]	p <sub>3</sub> [MPa]	k [-]	L <sub>2,min</sub> [mm]	L <sub>4,min</sub> [mm]
<b>Komínková pára</b>									
Zadní výstup turbíny	80–65	6,4	88,9×3,6 – 76,1×3,2	2,53	3,18	3,94	51	0	0
Do KKP	80–125	25	88,9×3,6 – 139,7×4	1,69	0,86	2,46	17	0	22,26
<b>NT ucpávková pára</b>									
Přední výstup turbíny	150–100	17,8	168,3×3,6 – 114,3×3,6	1,84	2,60	2,99	2,6	0	15,53
Zahlčení ucpávek	100–50	46,2 NES <sup>2</sup>	114,3×3,6 – 60,3×2,9	1,98	1,74	2,70	2,4	6,32	13,29
Za svlažovačem do EPK	100–40	54,3 NES	114,3×3,6 – 48,3×2,6	2,08	1,69	3,34	2,4	17,01	11,57
Do EPK	40–100	28	48,3×2,6 – 114,3×3,6	3,14	3,09	5,34	4,4	0	29,92
Za svlažovačem do turbíny	100–80	23,3 NES	114,3×3,6 – 88,9×3,2	3,27	3,57	3,72	4,7	0	47,21
Zadní vstup turbíny	80–65	6,4	88,9×3,2 – 76,1×3,2	3,81	10,7	6,98	5,4	0	11,56
<b>VT ucpávková pára</b>									
Přední výstup turbíny	200–125	45,4 NES	219,1×6,3 – 139,7×4	2,20	1,94	1,94	2,8	7,25	34,40
Do EPK	125–150	9,7	139,7×4 – 168,3×4,5	2,61	5,75	3,72	3,7	0	162,21

<sup>2</sup> U ne-sousedé redukce (značené NES) je výpočet stejný, ale místo polovičního úhlu se bere nejvyšší možný úhel po obvodu redukce, který v svírá stěna ne-sousedé redukce s potrubím.



### 7.1.1.6 Výsledky délky konců pro zvolenou redukci

Tato podkapitola bude přímo navazovat na vzorový výpočet redukce, která byla naznačena na začátku této podkapitoly. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 18 níže.

Tab. 18: Výsledky výpočtu zkoumané redukce (rozměry tloušťek a délek v milimetrech)

		Tloušťky stěn					
$T_{min}$	$T_{1,min}$	$T_{X,23}$	$T_{X,3}$	$T_{X,34}$	$T_{X,4}$	$T_X$	$T_{1,X}$
2,15	1,28	2,15	2,08	2,94	3,02	2,08	0,88
Pomocné součinitele							
		$\beta$	$s$	$\tau$	$\beta_H$		
		1	1,69	2,92	1,03		
Délka konců							
		$T'_{L2}$	$T_{L2}$	$T'_{L4}$	$T_{L4}$	$L_{2,min}$	$L_{4,min}$
		1,34	2,08	0,75	2,08	0	29,92
Pomocné součinitele							
		$\beta_L$	$s_L$	$\tau_L$	$\beta_{HL}$		
		0,64	2,87	4,87	0,85		

Pro zkoumanou redukci vyšel tlakový součinitel  $X$  96,9 %. Z těchto výsledků bude vybrána redukce nejbližší vyšší tloušťkové třídy, tj. třídy 2 s tloušťkou stěny na větším průměru 3,6 mm a 2,6 mm na menším. Vybraná redukce má tlakový součinitel rovný 97 %. [18] Z výsledků délek konců je patrné, že charakteristická délka na větším potrubí není potřeba a délka na menším průměru je zvolena 30 mm. Výpočty všech dalších využitých redukcí je možné vidět v tabulce 17.

### 7.1.2 Výpočet tloušťky kolen

Kolena jsou počítána poněkud jednodušeji, a to vzorcem pro minimální požadovanou tloušťku stěny [7]:

$$\text{Na vnitřní straně} \quad e_{int} = e \cdot \frac{\frac{R}{D_0} - 0,25}{\frac{R}{D_0} - 0,5} \quad (54)$$

$$\text{Na vnější straně} \quad e_{ext} = e \cdot \frac{\frac{R}{D_0} + 0,25}{\frac{R}{D_0} + 0,5} \quad (55)$$

kde  $R$  značí poloměr osy kolena a  $e$  minimální tloušťku pro přímé potrubí, počítané v kapitole 4. Pro příklad je uvedeno koleno na trase NT UP do EPK, které má rozměry DN40 (48,3×2,6). Z normy ČSN EN 10253-2 [18] vychází poloměr kolena (oblouk tvaru 3D) 57 mm.

$$e_{int} = 0,18 \cdot \frac{\frac{57}{48,3} - 0,25}{\frac{57}{48,3} - 0,5} = 0,24 \text{ mm}$$

Analogicky pro  $e_{ext}$  vychází minimální tloušťka stěny 0,15 mm. Porovnáním s nejbližším vyšším vyráběným kolenem vychází tloušťka kolena 2,6 mm, přičemž tlakový součinitel

vychází 74 % [18]. Nejvyšší vypočtená tloušťka stěny (v tomto případě  $e_{int}$ ) musí být menší než zvolená tloušťka zmenšená o korozní a toleranční přídávky. Korozní přídavek je zvolen jeden milimetr a toleranční přídavek je zvolen jako 12,5 % z tloušťky.

$$\min(e_{int}; e_{ext}) \leq e_{ord} \cdot 0,875 - 1 \quad (56)$$

Koleno vyhovuje, protože 0,24 je menší než 1,3. Zbylá kolena a jejich hodnoty je možné vidět v tabulce 19.

Tab. 19: Výčet všech kolena a zhodnocení tloušťky

DN	Dxt	Počet	R [mm]	e [mm]	$e_{int}$ [mm]	$e_{ext}$ [mm]	Vyhovuje?
Komínková pára							
80	88,9×3,2	13	114	0,03	0,04	0,03	Ano
65	76,1×2,9	3	95	0,04	0,05	0,03	Ano
NT ucpávková pára							
100	114,3×3,6	12	152	0,53	0,69	0,46	Ano
80	88,9×3,2	6	114	0,33	0,44	0,28	Ano
40	48,3×2,6	13	57	0,18	0,25	0,15	Ano
VT ucpávková pára							
200	219,1×6,3	1	305	1,00 <sup>3</sup>	1,28	0,87	Ano
125	139,7×4	23	190	0,65	0,84	0,56	Ano

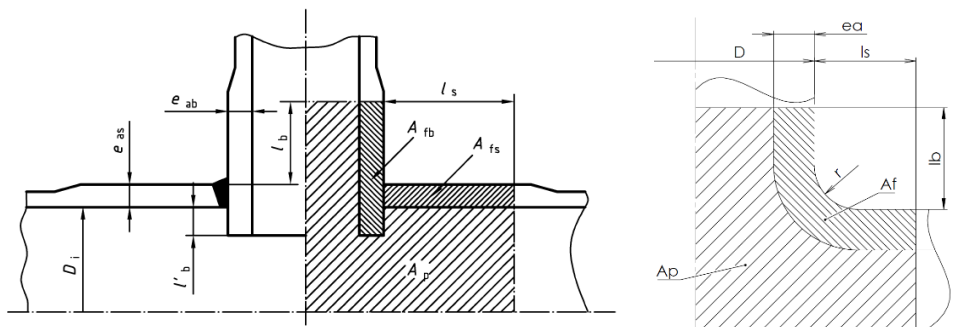
### 7.1.3 Výpočet tloušťky T-kusů

V práci se vyskytují pouze T-kusy se stejnými hrdly, které výpočet výrazně zjednoduší. Pro výpočet bezešvých T-kusů se vychází z podmínky: [7]

$$\left(f - \frac{p}{2}\right) A_f \geq p \cdot A_p \quad (57)$$

kde  $A_f$  a  $A_p$  značí plochu účinného příčného průřezu a plochu zatíženou tlakem. Tyto plochy lze vidět na obrázku 38 a 39 níže. Ze vzorce (57) vychází maximální dovolený tlak:

$$p_{dovT} = \frac{f \cdot A_f}{\left(\frac{A_f}{2} + A_p\right)} \quad (58)$$



Obr. 38 a 39: Rozměry a plochy T-kusů [7]

<sup>3</sup> Tloušťka vypočítána pomocí vzorce (6), kde  $p_c$  je rovno 0,7 MPa,  $f$  74,6 MPa a  $D$  219,1 mm

Délky  $l_s$  a  $l_b$  jsou v případě stejných průměrů hrdel totožné. Protože T-kus je vyráběn kováním (obrázek 38), bude spoj počítán se zaoblením  $r$ .

$$l_s = \sqrt{(D - e_a)e_a} \quad (59)$$

$$A_s = \left(\frac{D}{2} + l_s\right)^2 - \frac{\pi \cdot (r + e_a)^2}{4} - 2(l_s - r) \cdot (l_s + e_a) + (l_s - r)^2 \quad (60)$$

$$A_f = 2e_a \cdot (l_s - r) + \frac{\pi \cdot ((r + e_a)^2 - r^2)}{4} \quad (61)$$

Pro příklad je uveden T-kus na trase NT UP se stejnými hrdly DN 100 (114,3×3,6). Z normy ČSN EN 10253-2 [18] lze vyčíst, že se T-kusy tohoto typu vyrábějí s průběžnou délkou 105 mm a tato délka je totožná s délkou výstupu odbočky. Rádus  $r$  zvolen 5 mm,  $f$  (dle tab. 7) zvolen 74,7 MPa a přetlak  $p$  je pro tuto trasu 0,7 MPa.

Pro tuto tvarovku vyšel  $l_s$  15,53 mm, plocha příčného průřezu  $A_f$  65,79 mm<sup>2</sup> a zatěžovaná plocha  $A_s$  5182 mm<sup>2</sup>. Maximální dovolený tlak vychází 0,94 MPa s bezpečností 1,3. Je vidět, že T-kusy mají nejmenší bezpečnost ze všech uvažovaných typů tvarovek. Výsledky všech T-kusů je možné vidět v tabulce 20.

**Tab. 20: Výčet všech T-kusů a pevnostní výpočet**

DN	Dxt	Počet	r [mm]	$l_s$ [mm]	$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_f$ [mm <sup>2</sup> ]	$p_{dovT}$ [MPa]	k [-]
Komínková pára								
80	88,9×3,2	1	5	12,52	3199,07	43,76	0,70	13,9
NT ucpávková pára								
100	114,3×3,6	3	5	15,53	5182,24	65,79	0,94	1,3
50	60,3×2,9	1	3	9,51	1534,63	29,11	1,40	2,0
VT ucpávková pára								
125	139,7×4	3	7	18,32	7402,41	88,98	0,89	1,3

#### 7.1.4 Výpočet tloušťky den

V práci se pracuje s eliptickými dny typu A (obrázek 40). Maximální dovolený tlak se vybere jako nejmenší z hodnot:

$$p_s = \frac{2f \cdot e_a \cdot z}{R_i + 0,5e_a} \quad (62)$$

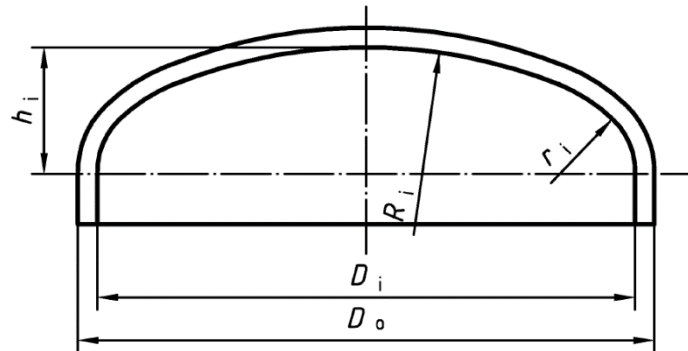
$$p_{kny} = \frac{f \cdot e_a}{\beta(0,75R_i + 0,2D_i)} \quad (63)$$

$$p_{knb} = 111f_b \cdot \left(\frac{e_a}{0,75R_i + 0,2D_i}\right)^{1,5} \cdot \left(\frac{r_i}{D_i}\right)^{0,825} \quad (64)$$

kde  $f_b$  je totožný s  $f$ ,  $\beta$  se vyčte z grafu v normě 13480-3 [7] a zbylé součinitele se vypočítají:

$$r_i = D_i \left(\frac{h_i}{D_i} - 0,08\right) \quad (65)$$

$$R_i = D_i \left( \frac{0,44D_i}{2h_i} + 0,02 \right) \quad (66)$$



Obr. 40: Rozměry den typu A [7]

Na příkladu jednoho eliptického dna na NT UP DN 100 (114,3x3,6) s  $h_i$  zvoleno 30 mm a  $f$  (dle tab. 7) 74,7 MPa, vychází výsledky nejnižšího maximálního dovoleného tlaku 3,49 MPa a bezpečnost 5,0. Výsledky všech den je možné vidět v tabulce 21.

Tab. 21: Výčet všech den a pevnostní výpočet

DN	Dxt	Počet	$h_i$ [mm]	$p_s$ [MPa]	$p_y$ [MPa]	$p_b$ [MPa]	$k$ [-]
Komínková pára							
80	88,9×3,2	1	20	2,23	1,84	4,25	36,8
NT ucpávková pára							
100	114,3×3,6	1	30	3,49	3,56	7,84	5,0
VT ucpávková pára							
125	139,7×4	2	33	2,98	2,60	5,65	3,7

### 7.1.5 Teplotní dilatace

Mimo vnitřní tlak se potrubí roztahuje, protože teplotní rozdíl vyvolává změnu objemu materiálu v potrubí. Změny v průřezu potrubí jsou zanedbatelné, a proto se nejvíce zaměřuje na posuvy v délce. Program CAESAR II má sice integrovaný výpočet teplotní dilatace, ale v pozdějších fázích této kapitoly bude potřeba vypočítat posuvy hrdel, které se od tohoto výpočtu odvíjejí. Obecně se teplotní dilatace v jednom směru vypočítá:

$$\Delta L = \alpha_l \cdot L \cdot \Delta t \quad (67)$$

Kde  $\alpha_l$  značí součinitel teplotní délkové roztažnosti a pro oceli se obvykle používá  $1,2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}$ ,  $L$  délku a  $\Delta t$  teplotní diferenci.

## 7.2 Nastavení simulace

### 7.2.1 Provozy

Jak už bylo zmíněno v kapitole 2.2, potrubí je během své existence v určitých provozech. Mezi nejdůležitější, jež se zadávají jako hlavní do programu CAESAR II, patří studený stav (SUS), pracovní stav (OPE 2) a výpočtový stav (OPE 1).

#### 7.2.1.1 SUS

Studený stav udává, jaké napětí je vyvoláno v potrubí při teplotě 20 °C, po odstavení či prvním uložení. V tomto stavu na potrubí působí pouze vlastní tíha, přetlak média a případné hydrozkoušky, které se v našem případě neuvažují. Primární napětí od výpočtového tlaku a momentu od tíhy (tíha páry zanedbána) nesmí překročit dovolené napětí ponížené o bezpečnost. [7]

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot D_o}{4e_{ord}} + \frac{0,75i \cdot M_a}{Z} \leq k \cdot f \quad (68)$$

kde  $i$  značí součinitel koncentrace napětí, který se určuje podle tabulky v normě ČSN EN 13480-3,  $M_a$  je suma všech momentů působících na tvarový kus a  $Z$  značí modul průřezu potrubí. Obecně se za dovolené napětí bere poloviční, to znamená že  $k = \frac{1}{2}$  [7]. V praxi je snaha udržet toto napětí pod hranici okolo 70 %  $k \cdot f$ , protože se předpokládá s navýšením napětí ze studeného do pracovního zhruba o 30 %.

#### 7.2.1.2 OPE

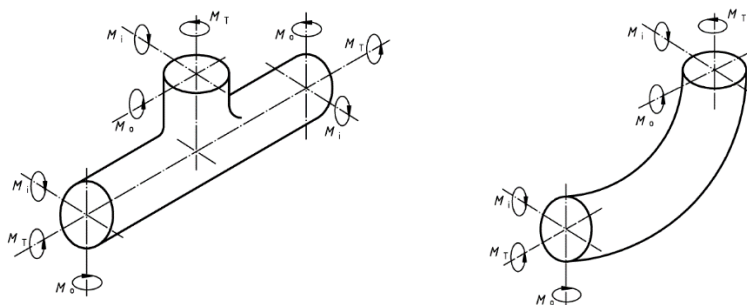
Operační provozy počítají se zatížením předchozího stavu, plus k tomu přidávají zatížení od teplotních dilatací a případných střídavých zatížení (ty se v této práci nevyskytují). Výsledné napětí musí dodržet podmínku:

$$\sigma_4 = \frac{p \cdot D_o}{4e_{ord}} + \frac{0,75i \cdot M_a}{Z} + \frac{i \cdot M_c}{Z} \leq k \cdot f \quad (69)$$

kde  $M_c$  značí výsledný moment působící na tvarovku způsobený teplotními dilatacemi. Jak už bylo zmíněno, OPE se dělí na pracovní (OPE 1), ve kterém se předpokládá, že potrubí bude nejdélejší dobu provozu, a výpočtový (OPE 2), který je také dovolen, ale z důvodu životnosti je nevhodné, aby potrubí na tomto stavu pracovalo delší dobu, jedná se spíše o přechodové a poruchové stavy.

#### 7.2.1.3 Výpočet momentů

Momenty se vypočítají jako kvadratický průměr všech složek v osách otvorů tvarovek (obrázek 41).



Obr. 41: Momenty působící na tvarovky [7]

Výsledný moment je:

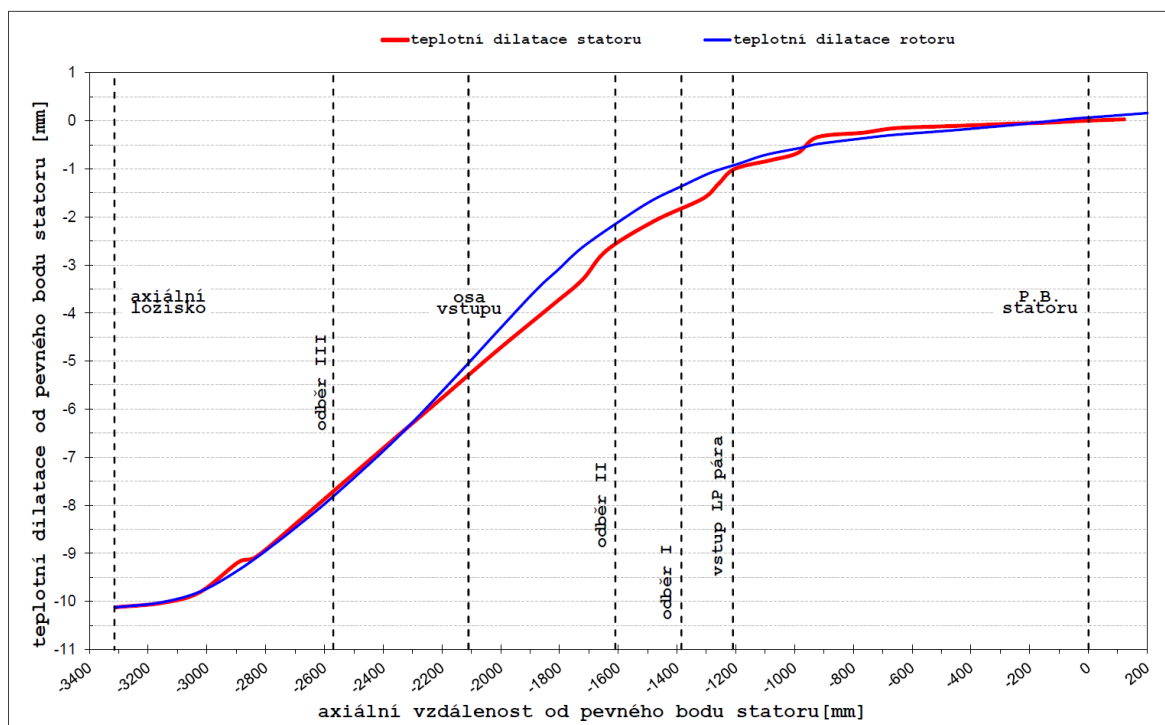
$$M_R = \sqrt{M_o^2 + M_i^2 + M_T^2} \quad (70)$$

kde  $M_o$  značí ohybový moment mimo rovinu,  $M_i$  ohybový moment v rovině a  $M_T$  kroučící moment.

### 7.2.2 Posuvy hrdel

Účelem této práce je výpočet pouze části potrubí, proto je nutné znát počáteční podmínky začátků a konců všech potrubních celků. Je předpokládáno, že EPK a KKP se nebudou posouvat. Tento předpoklad je mylný, protože posun EPK a KKP se vypočítává ze silového působení všech potrubních celků najednou, v této době však není k tomuto výsledku přístup, a proto se na potrubí končící v EPK nebo KKP, zavádí nulový posuv.

Poslední velký celek, na kterém je modelovaný potrubní celek závislý, je turbína. Potrubní části se svařují s hrdly, jež jsou vzdáleny od osy turbíny, a proto je nutné znát jejich polohu a tím i posuv. V rovině kolmé na osu je teplotní posuv dán teplotní roztažností za konstantní pracovní teploty, která je dána v průřezu. Jedná se o určité zjednodušení, ale podrobnější výsledek by bylo nutné modelovat metodou konečných prvků. Posuv po ose turbíny je o něco složitější, protože záleží na teplotním rozložení po celé průtokové části turbíny. Pro tento účel se vytváří graf teplotních posuvů v ustáleném stavu (obrázek 42).



Obr. 42: Graf posuvů rotoru a statoru turbíny

V tabulce 22 jsou vypsány pracovní teploty, vzdálenosti a z toho vypočítané posuvy jednotlivých hrdel turbíny ve třech směrech (axiální  $x$  – vyčten z grafu, kolmá horizontální  $y$  a vertikální  $z$  – vypočteny), se kterými se pojí potrubí KP nebo UP.

Tab. 22: Posuvy hrdel

T [°C]	x [mm]	$\Delta x$ [mm]	y [mm]	$\Delta y$ [mm]	z [mm]	$\Delta z$ [mm]
380	Komínek přední					
	-2890	-9,3	200	0,93	-752	-3,5
376	Ucpávka regulovaná přední					
	-2720	-8,6	-180	-0,84	-752	-3,5
	Ucpávka neregulovaná přední					
	-2960	-9,6	0	0	-752	-3,5
140	Komínek zadní					
	-370	-0,2	130	0,61	-1050	-4,9
	Ucpávka regulovaná zadní					
	-370	-0,2	-130	-0,61	-1050	-4,9

### 7.2.3 Dovolené namáhání hrdel

Mimo dovolené napětí v potrubí a tvarovkách je nutné počítat s dovoleným namáháním na hrdlech. Protože se nesimuluje celkový potrubní komplex strojovny, jsou trasy ukončeny v pevných, či posuvných bodech (viz podkapitola výše). Ale toto neudává, jestli napětí v hrdlech nepřekročí to dovolené. Z tohoto důvodu se musí na koncích potrubí zadávat dovolené síly a momenty ručně. V tabulce 23 níže je uveden výtah z podkladů DSPW pro hrdla uvažované v této práci. Rozměry s indexem x jsou v ose zařízení, y značí kolmou horizontální rovinu a z vertikální. U hrdel EPK bylo vycházeno z nabídkové podobnosti.

Tab. 23: Dovolené síly a momenty v hrdlech

DN	$F_x$ [kN]	$F_y$ [kN]	$F_z$ [kN]	$M_x$ [kNm]	$M_y$ [kNm]	$M_z$ [kNm]	Popis
Turbína							
65	1,9	1,9	1,9	0,85	0,85	1,2	NT UP <sub>zadní</sub> KP <sub>zadní</sub>
80	2,2	2,2	2,5	1,3	1,3	1,5	KP <sub>přední</sub>
125	3,5	3,5	5,0	2,2	2,7	2,2	NT UP <sub>přední</sub>
200	4,5	4,5	7,0	4,7	5,5	4,7	VT UP
KKP							
125	1,5	1,5	1,9	1,0	1,3	1,5	
EPK							
100	4,8	4,8	4,8	1,248	1,248	1,248	NT UP
150	5,4	5,4	5,4	2,8	2,8	2,8	VT UP

### 7.2.4 Hmotnosti armatur

Posledním uživatelským nastavením jsou hmotnosti udávaných armatur, protože i ty svou hmotností působí na potrubí, viz tabulka 24. U návrhu se pro pružnostní výpočet nejprve vychází z podobnosti předešlých projektů. V realizaci projektu je po výběru relevantních armatur k danému projektu nutné provést korekci hmotností a výpočet opakovat. Pro určení hmotnosti v této práci se vycházelo z interních dokumentů DPSW, které byly vyhotoveny z předchozích projektů nebo z katalogů jednotlivých výrobců ventilů.

Tab. 24: Hmotnosti armatur

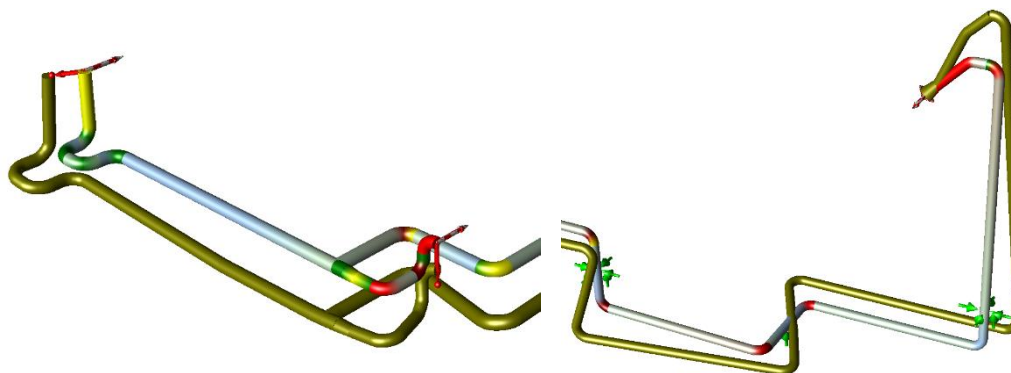
Popis	DN	Typ armatury	Hmotnost [kg]	Pohon	Hmotnost [kg]
VT UP do NT páry	125	Zpětná klapka	92	-	-
VT UP do NT páry	125	Uzavírací šoupátko	50	Pneumatický	40
VT UP do EPK	125	Uzavírací šoupátko	50	Pneumatický	40
Zahlčení ucpávek	100	Uzavírací šoupátko	49	Ruční	-
Zahlčení ucpávek	50	Regulační armatura	30	Pneumatický	25
Zahlčení ucpávek	50	Uzavírací šoupátko	17	Ruční	-
NT UP do EPK	40	Regulační armatura	25	Pneumatický	15

## 7.3 Výsledky simulace

Pokud jsou zadány všechny předchozí parametry do programu CAESAR II, je možné spustit simulaci napětí v potrubí od výše zmiňovaných stresorů.

### 7.3.1 Komínková pára

I když se jedná o relativně krátké potrubí, i v tomto byly určité nedokonalosti. První z nich je, že kompenzační smyčka u předního hrdla turbíny byla namodelována příliš malá, a z toho důvodu teplotní roztažnost potrubí působí velkou silou na druhý konec. Druhou nedokonalostí je příliš velká nekompensovaná výška potrubí do KKP, které trhá horní hrdla a kolena.

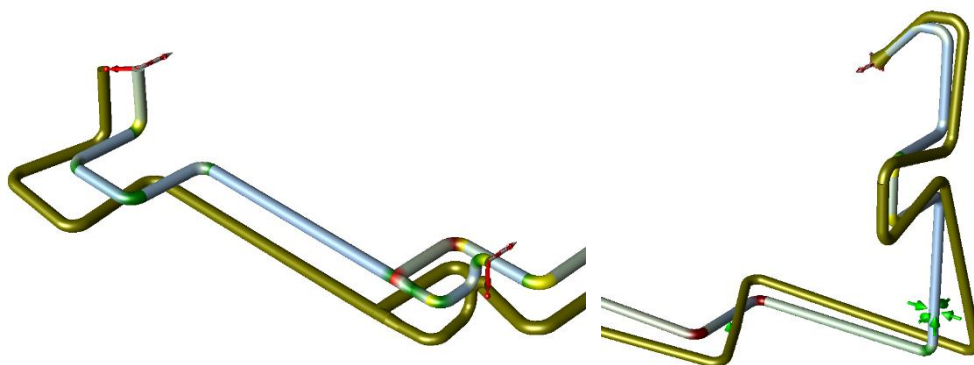


Obr. 43 a 44: Simulace KP bez úprav, turbínová část vlevo, hrdlo do KKP vpravo

V obrázcích 43 a 44 je znázorněno šedě původní potrubí a zlatě deformovaný tvar při teplotní dilataci (vzdálenosti dilatace jsou zvětšeny v měřítku 40 : 1). Barvy tvarových částí poukazují na výši napětí v dané tvarovce (zelená značí napětí do 40 % dovoleného, žlutá 60 %, rudá 80 % a červená značí překročení dovolené meze pevnosti).

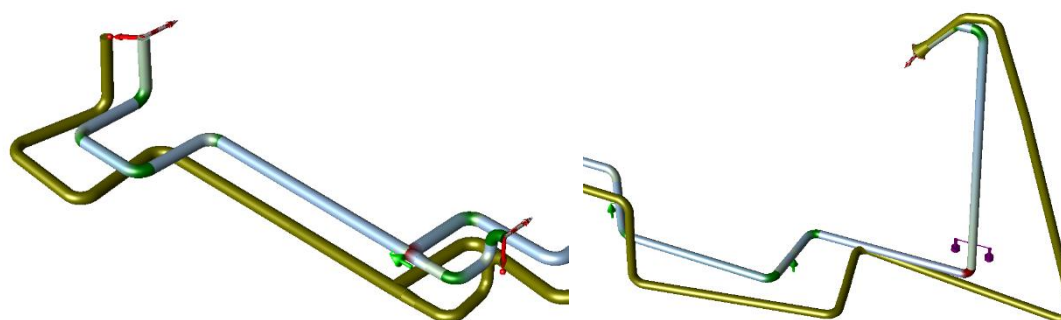


Kompenzační smyčka pod turbínou se zvětšila na šířku 680 mm a délku také 680 mm tak, aby potrubí nezasahovalo do přilehlých struktur. Problém s roztažností u KKP byl vyřešen přidáním kompenzační smyčky dlouhé a široké 700 mm.



Obr. 45 a 46: Simulace KP s prvotními úpravami

I po přidání kompenzační smyčky pod turbínu je napětí na T-kus příliš velké (obrázek 45), a to z toho důvodu, že potrubí nemá důvod pro kompenzaci ve vytvořené kompenzační smyčce. Tento problém se vyřešil přidáním ukotvení potrubí ve směru osy turbíny. Na druhé straně u KKP (obrázek 46), i když je kompenzační smyčka dostatečná, jedná se o další zbytečné náklady pro potrubí a izolace. Z tohoto důvodu se místo pevného ukotvení přidají dva pružné podpěry Gradior, jež by měly být levnější. Provedené úpravy je možné vidět na obrázcích 47 a 48.



Obr. 47 a 48: Simulace KP s konečnými úpravami

### 7.3.2 Výsledky KP

Pro vhodný návrh potrubí je nutné, aby simulace splňovala několik podmínek z různých pohledů. Potrubí musí být v dovolených mezích průhybu, které nesmí překročit pět milimetrů ve studeném stavu a okolo devíti až jedenácti milimetrů na pracovní teplotě (v kapitole PDMS bylo řečeno, že dovolený průhyb potrubí jsou tři milimetry, ale to se jedná pouze o průhyb rovného potrubí mezi ukotveními, CAESAR počítá i s posunem uložení). Posuvy v dalších dvou směrech nejsou tak přísně kontrolovány, jejich posouzení závisí na individuálních aspektech projektu.

Druhou podmínkou jsou maximální síly na uložení, protože i to má určité dovolené napětí. I když není uložení v počítaném směru omezeno, vznikají síly třením. Obecně se dbá na to, aby síly v uložení ve vertikálních směrech nepřekročily 4 kN, protože by se jinak mohly mechanické zarážky poškodit a bylo by nutné zajistit vertikální směr jiným, odolnějším způsobem. V horizontálním směru je situace odlišná, protože závisí na konstrukci, na kterou je uložení připevněno. Obecně se předpokládá, že konstrukce je počítána na tak velké zatížení, že v horizontálním směru mohou být síly neomezeně velké.

Třetí podmínkou jsou dovolené napětí na hrdla, které byly řešeny v podkapitole 6.2.3. Poslední je posouzení dovolených napětí v samotném potrubí, což bylo podrobně popsáno v podkapitole 7.2.1.

Největší průhyb ve studeném stavu (SUS) činí 1 mm v místě dilatační smyčky pod turbínou. V provozu pracovní teploty (OPE2) je největší průhyb na stejném místě 7,7 mm, což je stále pod dovolenou mezí. Provoz na výpočtové teplotě (OPE1) prohne spodní koleno u KKP o 12,8 mm, ale protože se jedná o výpočtový stav, který by v realitě neměl nastat, a mez byla překročena pouze o čtyři milimetry, tak tento průhyb nevádí. V místě dilatační smyčky se potrubí propadlo o 8,9 mm. Významný posuv ve vertikálním směru je o 26 mm ve výše zmiňovaném kolenu, ale protože v blízkosti není žádná překážka, je tento posuv tolerovatelný.

Síly na uložení nepřesáhly v horizontálních směrech 0,4 kN a nejvyšší zatížení ve vertikálním směru činilo 1,5 kN. Limity pro namáhání hrdel byly dodrženy s nejvyšším koeficientem (v OPE1) zatížení ku dovolenému limitu 0,75. V OPE2 byl tento koeficient nejvýše 0,3.

Dovolené napětí bylo počítáno z teploty a bylo poníženo koeficientem bezpečnosti (u OPE1 a OPE 2 o polovinu, u SUS o 0,35). Výčet nejvyšších napětí, dovolených napětí a poměru mezi nimi lze vidět v tabulce 25.

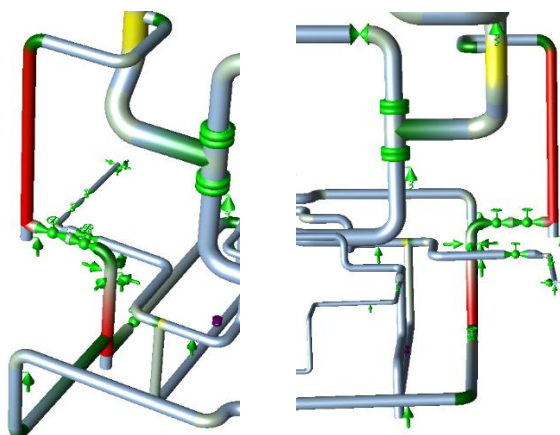
**Tab. 25: Hodnocení nejvyšších napětí potrubí KP**

Provoz	Popis místa	$\sigma_{max}$ [MPa]	$\sigma_{dov}$ [MPa]	$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{dov}}$
SUS	T-kus pod turbínou	32,78	58,66	55,89 %
OPE1		139,42	139,45	99,98 %
OPE2		69,45	165,44	41,98 %

Všechna napětí jsou pod dovolenou hranicí 100 %. Může se zdát, že v OPE1 je napětí příliš vysoké, ale je nutné mít na paměti, že dovolené je poníženo na polovinu a OPE1 je výpočtový provoz, který by ideálně neměl v realitě nikdy nastat. Podrobnější výsledky simulace KP jsou přiloženy v příloze 1a.

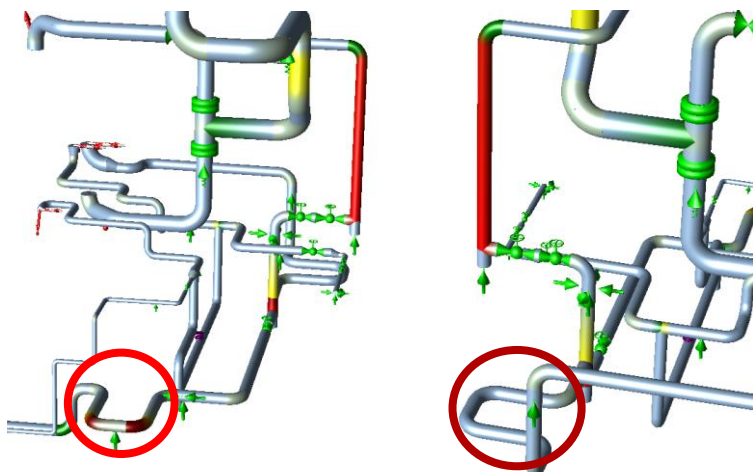
### 7.3.3 Ucpávková pára

Dle předchozích kapitol byla trasa NT UP dobře navržena, a proto nebylo potřeba větších úprav. To stejné se nedá říci o VT UP, kde je problém s trasou do NT páry, která obsahuje T-kusy pevnostně nevyhovující při teplotní dilataci (obrázek 49 a 50).



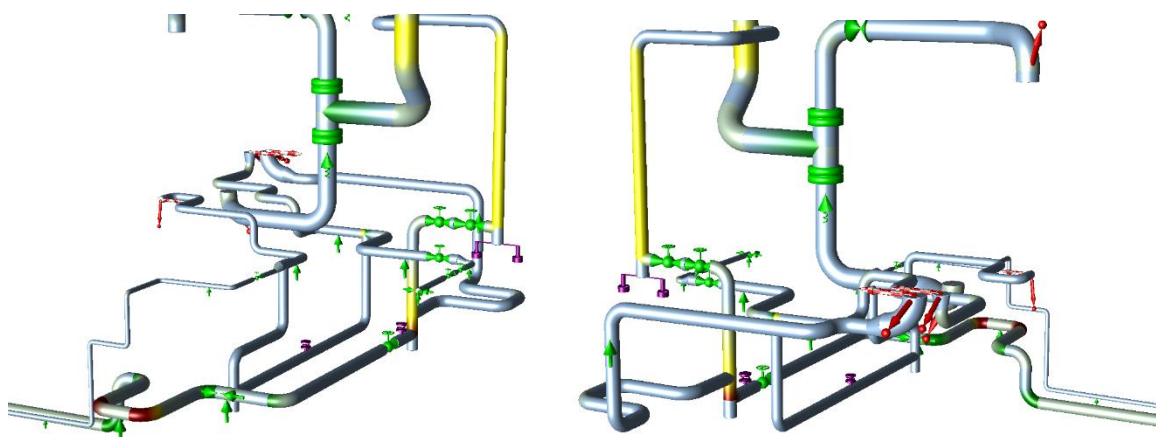
**Obr. 49 a 50: Simulace UP bez úprav**

Problém se měl vyřešit přidáním dvou kompenzačních smyček, které by měly pojmout dilataci a tím odlehčit namáhané T-kusy. Jedná se o kompenzační smyčku na trase od turbíny (dlouhá 700 mm a široká 900 mm, na obrázku 52 níže značena tmavě červeně) a druhá kompenzační smyčka na trase do EPK (dlouhá 700 mm a široká 1100 mm, na obrázku 51 značena červeně). Tyto kompenzační smyčky odlehčily T-kusy pouze částečně.



Obr. 51 a 52: Simulace UP po přidání kompenzačních smyček

Zvětšením kompenzační smyčky na trase do EPK (obrázek 51) o půl metru by T-kusy namáhány nad dovolenou mez nebyly, ale toto řešení není možné uplatnit, protože smyčka již nejde více zvětšit z důvodu kolize s betonovou konstrukcí pod kondenzátorem. Proto je nutné zcela upravit upevnění a zaměnit pevné ukotvení za pružné. V místech postižených T-kusů byly podpěry kluzné svislého potrubí zaměněny za pružný závěs a pružinovou podpěru svislého potrubí Gradior (obrázek 53 a 54).



Obr. 53 a 54: Simulace UP s konečnými úpravami

### 7.3.4 Výsledky UP

Postup je totožný s vyhodnocením stavu KP. Pokles potrubí v SUS dosahovat maximálně čtyř milimetrů, a to v místě kompenzační smyčky do EPK. Největší průhyb 9,2 mm v OPE2 se nachází v T-kusu před uzavírací armaturou. Na druhé straně nejvyšší vyvýšení (10,6 mm) se nachází na trase spojení VT UP a NT páry. Oba extrémy jsou dobře odvodněny a není důvod vzniku van s médiem. Pro informaci je uveden i největší průhyb v OPE1 (13,6 mm), který se nachází na NT páře. Největší posuv ve vertikálním směru se také nachází na potrubí NT páry, kde se potrubí pohne o 24 mm.

Síly v uložení přesahují hranici 4 kN u trasy NT páry, kde se využívají vyztužené uložení. U tras UP dosahují síly ve vertikálním směru maximálně 3,3 kN. Pro zajímavost – nejvyšší síla v horizontálním směru činí 13 kN na trase NT páry. Namáhání hrdel byla pod stanovenou hranicí, u OPE1 nejvyšší koeficient zatížení ku dovolenému limitu vycházel 0,76 u hrdla EPK na trase VT UP. V OPE2 všechna hrdla nepřesáhla hranici koeficientu 0,35.

**Tab. 26: Hodnocení nejvyšších napětí potrubí UP**

Provoz	Popis místa	$\sigma_{max}$ [MPa]	$\sigma_{dov}$ [MPa]	$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{dov}}$
SUS	Kolena komp. smyčky do EPK	28,13	74,66	37,68 %
OPE1		128,98	145,58	88,60 %
OPE2	T-kus před NT párou	147,54	108,40	73,47 %

Všechna napětí jsou pod dovolenou hranicí 100 %. Lze vidět (tabulka 26), že největší zatížení je na kolenech kompenzační smyčky do EPK, která kompenzuje teplotní roztažnost téměř sedmi metrů. Druhé problematické místo jsou již zmiňované T-kusy, kterým byla věnována celá předchozí podkapitola. Podrobnější výsledky simulace UP jsou přiloženy v příloze 2a.

## 8 Závěr

V závěru této diplomové práce lze konstatovat, že správné a efektivní fungování turbínového ostrova je klíčové pro úspěšný provoz tepelných elektráren. Konkrétně se zaměřuje na utěsnění rotoru a statoru turbíny a konstrukci potrubních tras, jež jsou nutné pro správné fungování tohoto utěsnění.

Pro realizaci projektu komínkové a ucpávkové páry je nutné vypracovat velké množství dokumentů zachycujících rozmístění, materiály, rozměry a specifikace jednotlivých komponent potrubních tras. Jako první se práce zaměřuje na tvorbu PID, což značí výkres schematického uspořádání strojovny. Výkres obsahuje zařízení a potrubní trasy, které je nutné zahrnout pro správné fungování turbínového ostrova. PID je možné vidět v příloze 3.

Jako další se volí materiál a rozměry potrubí, jež se odvíjí od teplotního a tlakového zhodnocení tras a jejich analýzy. Z těchto vstupů vzejdou finální rozměry a tloušťka potrubí. Poté je nutný návrh a výpočet regulačních orgánů na trase, jako jsou regulační armatury, svažovače a redukční clony. Tyto orgány zajišťují regulaci tlaku, průtoku a teploty a tím i bezpečnost funkce celého potrubního celku.

Jako poslední je možné navrhnout a následně zhodnotit bezpečnost tvarových členů potrubí, které je nutné přidat do potrubního celku tak, aby bylo možné potrubí zrealizovat. V tomto kroku se pracuje s programem PDMS, který zachycuje celkové rozložení strojovny a tím je možné vytvořit potrubní trasu co nejrealističtěji. Věrohodné rozložení potrubí ve strojovně dovoluje korektně vyhodnotit pevnostní a pružnostní analýzu potrubí, která byla vypracována v programu CAESAR II.

Výsledkem této práce je komplexní návrh systému ucpávkové a komínkové páry parní turbíny, který je založen na procesním schématu, návrhu akčních členů potrubí, 3D modelu a provedení pevnostních a pružnostních analýz potrubí, ale i tvarových částí na potrubí.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] SCHEJBAL, Konstantin a NOHAC, Karel. *Technologie výroby v elektrárnách*. Online. [citováno 2024-04-16]. Dostupné z: [https://home.zcu.cz/~nohac/EE1/Techologie\\_vyroby\\_v\\_elektrarnach\\_pro\\_EE1-prezentace.pdf](https://home.zcu.cz/~nohac/EE1/Techologie_vyroby_v_elektrarnach_pro_EE1-prezentace.pdf)
- [2] ÇENGEL, Yunus A a BOLES, Michael A. *Thermodynamics: an engineering approach*. 7. vydání. New York: McGraw-Hill, c2011. ISBN 978-007-131111-3.
- [3] WHALEN, John K.; ALVAREZ, Eduardo a PALLISER, Lester P. (2004). *Thermoplastic Labyrinth Seals For Centrifugal Compressors*. Texas A&M University. Turbomachinery Laboratories. Dostupné z: <https://hdl.handle.net/1969.1/163245>.
- [4] ZHANG, X.; JIAO, Y.; QU, X.; HUO, G a ZHAO, Z. *Simulation and Flow Analysis of the Hole Diaphragm Labyrinth Seal at Several Whirl Frequencies*. *Energies* 2022, 15, 379. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en15010379>
- [5] EPRI Report, *Replacement Interstage Seals for Steam Turbines*. EPRI, Palo Alto, CA: 2005. 1010214., Dostupné z: <http://mydocs.epri.com/docs/public/000000000001010214.pdf>
- [6] **Steam Turbine Labyrinth Seal Schematic**. V: SAVREE 3D INTERACTIVE MEDIA. *Steam Turbines Explained*. Online. 2024 [citováno 2024-04-17]. Dostupné z: <https://savree-storage.s3.amazonaws.com/Articles/optimised/Steam-Turbine-Labyrinth-Seal-Schematic.png>
- [7] ČSN EN 13480-3. *Kovová průmyslová potrubí – Část 3: Konstrukce a výpočet*. Praha: ÚNMZ, 2003.
- [8] XI'AN LINKUN STEEL PIPE, LTD. Co je to P235GH materiál? *Bezešvé trubky, JCOE potrubí, LSAW potrubí, přírubové trubky, potrubní armatury*. Online. 2019 [citováno 2024-04-17]. Dostupné z: <https://cz.lksteelpipe.com/news/what-s-p235gh-material-23497314.html>
- [9] ČSN 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*. Praha: ÚNMZ, 2003.
- [10] DOUBRAVA, Jiří; DYTRT, Vlastimil; KLIMEŠ, Michal; MAREK, Vladimír; NOVOTNÝ, Oldřich et al. *Regulační armatury*. 6. doplněné a upravené vydání. Litomyšlská 1378, 560 02 Česká Třebová: LDM, spol. s.r.o., 2013.
- [11] MAREŠ, Radim. *Tabulky termodynamických vlastností vody a vodní páry: podle mezinárodní formulace pro průmyslové výpočty IAPWS-IF97*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2008. ISBN 978-80-7043-680-6.
- [12] MAREŠ, Radim. *Kapitoly z termomechaniky*. Plzeň: Západočeská univerzita, c2008. ISBN 978-80-7043-706-3.
- [13] ČSN EN ISO 5167-2. *Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu – Část 2: Clony*. Praha: ÚNMZ, 2003.
- [14] NĚMEČEK, Jiří. *Tlaková ztráta ostrohranných otvorů*. Plzeň, 2016, 71 s. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Prof. Ing. Jiří LINHART, CSc. Dostupné z: [https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/25304/1/DP\\_Nemecek\\_Jiri.pdf](https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/25304/1/DP_Nemecek_Jiri.pdf)
- [15] ŠKORPÍK, Jiří. *Vznik tlakové ztráty při proudění tekutiny a její výpočet*. 4. vydání. 2024. 1804-8293, 0000-0002-3034-1696.
- [16] TOPINFO S.R.O. *Hodnoty součinitelů místních ztrát - základní tvarovky v potrubí. TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov*. Online. 2024, 2001-2024 [citováno 2024-04-18]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/21-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-zakladni-tvarovky-v-potrubi>

- [17] **Výpočet měrné hmotnosti a kinematické viskozity vody-vodní páry [xls].** V: DRÁBKOVÁ, Sylva. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *Mechanika tekutin*. Online. [citováno 2024-04-18]. Dostupné z: [http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/MT/3-Programy%20k%20textu/Vypocet%20merne%20hmotnosti%20a%20kinematicke%20viskozity%20vody\\_vodni%20pary.xls](http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/MT/3-Programy%20k%20textu/Vypocet%20merne%20hmotnosti%20a%20kinematicke%20viskozity%20vody_vodni%20pary.xls)
- [18] **ČSN EN 10253-2.** *Potrubi tvarovky pro přivaření tupým svarem – Část 2: Nelegované a feritické oceli se stanovením požadavků pro kontrolu*. Praha: ÚNMZ, 2008.

## **PŘÍLOHY**



## Seznam příloh

Příloha 1a: Výsledky simulace trasy KP .....	iii
Příloha 1b: Výkresy trasy KP .....	xiv
Příloha 2a: Výsledky simulace trasy UP .....	xxii
Příloha 2b: Výkresy trasy UP .....	xxxvii
Příloha 3: PID.....	xl

## **Příloha 1a**

### **Výsledky simulace trasy KP**

Program CAESAR II dělí potrubní celek do jednodušeji vypočitatelných částí, které jsou odděleny číselným značením tzv. uzly. Ve výkresech v přílohách 1b a 2b je každý uzel označen v černém kolečku. Ve výsledcích se ke každému uzlu přidá hodnota posuvu, napětí a síly, která v tomto místě vzniká. Výsledky jsou vypsány v tabulkách níže.

U komínkové páry jsou nejdříve vypsány hodnoty posuvu a natočení (tab. i–ii) ve dvou provozech (SUS, OPE 2), poté síly a momenty uložení (tab. iii), dovolené napětí na hrdla (tab. iv) a jako poslední hodnoty napětí v potrubních celcích mezi uzly v provozech SUS a OPE1 (tab. v–vi).

Výkresy popisující rozložení a uzly KP jsou v příloze 1b.

**Tab. i: Posun a natočení uzlů v SUS potrubí KP**

<i>Uzel</i>	$\Delta x$ [mm]	$\Delta y$ [mm]	$\Delta z$ [mm]	Rx [°]	Ry [°]	Rz [°]
10	0,000	0,000	-0,000	0,0000	0,0000	0,0000
19	-0,039	0,073	-0,016	0,0324	0,0178	0,0005
20	-0,051	0,095	-0,075	0,0485	0,0213	-0,0002
29	-0,046	0,097	-0,547	0,0378	0,0328	0,0011
30	-0,045	0,098	-0,617	0,0348	0,0368	0,0006
39	-0,045	0,100	-0,949	0,0160	0,0312	-0,0022
40	-0,040	0,098	-0,952	0,0047	0,0317	-0,0040
49	-0,003	0,096	-0,959	-0,0010	0,0166	-0,0022
50	-0,003	0,095	-0,973	0,0023	0,0040	-0,0001
60	-0,002	0,106	-0,826	-0,0027	-0,0213	0,0007
70	0,000	0,105	-0,498	-0,0062	-0,0307	-0,0010
80	0,000	0,105	-0,498	-0,0062	-0,0307	-0,0010
90	0,000	0,104	-0,452	-0,0066	-0,0307	-0,0014
100	0,003	0,104	-0,464	-0,0093	-0,0266	-0,0019
110	0,003	0,104	-0,464	-0,0093	-0,0266	-0,0019
119	0,036	0,098	-0,575	-0,0184	-0,0006	-0,0102
120	0,043	0,079	-0,600	-0,0230	0,0178	-0,0150
128	0,042	-0,058	-0,801	-0,0169	0,0259	-0,0153
129	0,050	-0,078	-0,848	-0,0151	0,0257	-0,0115
130	0,062	-0,084	-0,879	-0,0075	0,0236	-0,0070
139	0,154	-0,064	-0,012	0,0238	0,0234	-0,0024
140	0,123	-0,040	-0,000	0,0101	0,0229	-0,0029
145	0,000	0,000	-0,000	0,0054	0,0226	-0,0036
149	-0,150	0,018	-0,002	-0,0044	0,0219	-0,0048
150	-0,155	0,014	-0,012	-0,0089	0,0216	-0,0059
159	0,001	0,014	-0,146	-0,0019	0,0212	-0,0012
160	0,001	0,013	-0,118	-0,0032	0,0191	0,0015
170	0,000	0,003	-0,024	-0,0049	0,0162	0,0020
180	0,000	0,003	-0,024	-0,0049	0,0162	0,0020
190	-0,000	0,000	-0,000	-0,0054	0,0147	0,0021
200	-0,000	-0,003	0,021	-0,0059	0,0132	0,0021
210	-0,000	-0,003	0,021	-0,0059	0,0132	0,0021
219	-0,001	-0,014	0,075	-0,0089	0,0075	0,0022
220	-0,004	-0,015	0,065	-0,0104	0,0066	0,0024
229	-0,073	-0,017	-0,023	0,0039	0,0035	0,0022
230	-0,070	-0,021	-0,021	0,0022	0,0027	0,0024
235	-0,056	-0,031	-0,021	0,0014	0,0023	0,0022
239	-0,002	0,007	-0,021	-0,0028	0,0003	0,0007
240	-0,001	0,008	-0,017	-0,0030	0,0002	0,0004
249	0,000	0,008	-0,009	-0,0026	0,0002	0,0002
250	0,000	0,007	-0,007	-0,0020	0,0002	0,0002
260	0,000	0,000	-0,000	-0,0005	0,0000	0,0000
270	0,000	-0,000	-0,000	-0,0000	0,0000	0,0000
280	-0,000	-0,000	-0,000	0,0000	-0,0000	-0,0000

289	0,005	0,006	-0,009	0,0052	-0,0133	-0,0093
290	0,026	0,025	-0,017	0,0168	-0,0217	-0,0151
299	0,065	0,065	-0,030	0,0299	-0,0313	-0,0151
300	0,063	0,081	-0,071	0,0362	-0,0346	-0,0160
309	0,007	0,088	-0,210	0,0180	-0,0378	-0,0102
310	0,004	0,095	-0,262	0,0110	-0,0367	-0,0027
320	0,004	0,100	-0,348	0,0017	-0,0356	-0,0016
330	0,000	0,102	-0,403	-0,0031	-0,0333	-0,0013
530	-0,012	-0,023	-0,022	-0,0016	0,0009	0,0013

Tab. ii: Posun a natočení uzlů v OPE 2 potrubí KP

<i>Uzel</i>	$\Delta x$ [mm]	$\Delta y$ [mm]	$\Delta z$ [mm]	Rx [°]	Ry [°]	Rz [°]
10	-9,300	-0,930	-3,500	0,0000	0,0000	-0,0000
19	-9,554	-1,018	-5,826	0,0398	0,0688	-0,0707
20	-9,735	-1,377	-6,063	0,0642	0,0872	-0,1183
29	-10,712	-3,984	-6,738	0,0556	0,0917	-0,0834
30	-10,363	-4,226	-6,898	0,0510	0,0895	-0,0320
39	-7,847	-4,127	-7,671	0,0364	0,0658	0,0704
40	-7,831	-3,685	-7,662	0,0300	0,0618	0,1273
49	-8,905	-1,068	-7,434	0,0351	0,0292	0,0991
50	-8,567	-0,799	-7,436	0,0441	0,0021	0,0554
60	-3,830	-0,251	-7,078	0,0501	-0,0479	0,0140
70	-0,532	-0,148	-6,328	0,0544	-0,0778	0,0060
80	-0,532	-0,148	-6,328	0,0544	-0,0778	0,0060
90	-0,119	-0,138	-6,211	0,0550	-0,0804	0,0062
100	-0,122	0,072	-6,128	0,0554	-0,0779	-0,0011
110	-0,122	0,072	-6,128	0,0554	-0,0779	-0,0011
119	0,181	1,208	-5,593	0,0747	-0,0673	-0,0976
120	0,449	1,110	-5,458	0,0772	-0,0610	-0,1523
128	1,677	-0,301	-4,966	0,0964	-0,0545	-0,1635
129	1,963	-0,436	-4,834	0,1016	-0,0547	-0,1417
130	2,225	-0,314	-4,647	0,1190	-0,0586	-0,1123
139	5,036	5,830	0,946	0,0398	-0,0232	-0,0014
140	5,057	5,922	0,759	-0,0196	-0,0116	0,0076
145	5,113	5,765	-0,000	-0,0341	-0,0092	0,0206
149	5,135	5,624	-0,968	-0,0068	0,0076	0,0434
150	5,051	5,822	-1,038	0,0243	0,0173	0,0667
159	1,945	9,856	-0,110	-0,0337	0,0322	0,1812
160	1,633	9,653	-0,103	-0,0520	0,0189	0,2170
170	0,896	8,491	-0,017	-0,0853	0,0139	0,2222
180	0,896	8,490	-0,017	-0,0853	0,0139	0,2222
190	0,686	8,156	-0,000	-0,0948	0,0104	0,2211
200	0,474	7,825	0,012	-0,1044	0,0071	0,2192
210	0,474	7,825	0,012	-0,1044	0,0071	0,2192
219	-0,405	6,762	-0,040	-0,1460	-0,0021	0,1775
220	-0,711	6,867	-0,276	-0,1872	-0,0111	0,1417

229	-4,024	11,191	-5,399	-0,0087	0,0558	0,0801
230	-3,977	11,207	-5,186	0,0963	0,0737	0,0728
235	-3,559	10,572	-4,425	0,1364	0,0804	0,0689
239	-0,075	1,468	1,521	0,1715	0,0379	0,0299
240	-0,024	1,179	1,397	0,1202	0,0275	0,0157
249	0,012	0,807	1,074	0,0774	0,0204	0,0110
250	0,011	0,741	0,973	0,0426	0,0171	0,0117
260	0,000	0,217	0,224	0,0064	0,0023	0,0019
270	-0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000
280	-0,200	0,610	-4,900	0,0000	-0,0000	0,0000
289	-0,280	0,580	-4,971	-0,0107	-0,0507	0,0407
290	-0,236	0,541	-5,100	-0,0100	-0,0836	0,0508
299	-0,034	0,499	-5,263	0,0205	-0,1015	0,0678
300	0,112	0,417	-5,347	0,0506	-0,1085	0,0901
309	0,400	0,078	-5,600	0,0583	-0,1053	0,0714
310	0,334	-0,025	-5,747	0,0554	-0,0937	0,0333
320	0,143	-0,090	-5,961	0,0551	-0,0882	0,0210
330	0,006	-0,123	-6,087	0,0551	-0,0841	0,0130
530	-1,097	4,762	-0,380	0,2338	0,0806	0,0483

Tab. iii: Síly a momenty na podpěrách trasy KP

Uzel	Provoz	$F_x$ [N]	$F_y$ [N]	$F_z$ [N]	$M_x$ [Nm]	$M_y$ [Nm]	$M_z$ [Nm]
10	Typ: nastavený posuv						
	OPE 1	-1404	-238	-362	-10	717	-567
	OPE 2	-595	-93	-347	58	335	-227
70	Typ: kluzná podpěra						
	OPE 1	-126	-7	35	0	0	0
	OPE 2	-126	-7	35	0	0	0
145	Typ: kluzná podpěra						
	OPE 1	18	16	-78	0	0	0
	OPE 2	50	56	-259	0	0	0
190	Typ: kluzná podpěra						
	OPE 1	68	382	-1453	0	0	0
	OPE 2	19	230	-842	0	0	0
235	Typ: pružinová podpěra svislého potrubí Gradior						
	OPE 1	0	0	-409	0	0	0
	OPE 2	0	0	-409	0	0	0
270	Typ: pevný bod						
	OPE 1	-108	408	613	620	136	133
	OPE 2	-59	196	239	285	76	65
280	Typ: nastavený posuv						
	OPE 1	1427	-568	-291	-3	-259	284
	OPE 2	585	-389	-361	14	-153	146

**Tab. iv: Kontrola sil a momentů na hrdla trasy KP**

Uzel	Provoz a limity	$F_x$ [N]	$F_y$ [N]	$F_z$ [N]	Kontrola sil	$M_x$ [Nm]	$M_y$ [Nm]	$M_z$ [Nm]	Kontrola momentů
10	Limit	2500	2200	2200		1500	1300	1300	
	OPE 1	362	-238	-1404	0,638	567	717	-10	0,552
	OPE 2	347	-93	-595	0,270	227	335	58	0,258
270	Limit	1900	1500	1500		1500	1000	1300	
	OPE 1	-722	-108	145	0,380	-190	620	-2	0,620
	OPE 2	-307	-59	30	0,162	-100	285	-8	0,285
280	Limit	1900	1900	1900		850	850	1200	
	OPE 1	-1427	-568	291	0,751	3	-259	-284	0,305
	OPE 2	-585	-389	361	0,308	-14	-153	-146	0,180

**Tab. v: Napětí v SUS trasy KP**

Dvojice uzlů	Axiální napětí [MPa]	Ohybové napětí [MPa]	Zkrutné napětí [MPa]	Radiální napětí [MPa]	Celkové napětí [MPa]	Dovolené napětí [MPa]	Poměr [%]
10	1,31	5,60	0,48	1,93	6,69	58,66	11,40
19	1,15	11,80	-1,47	1,93	11,58	58,66	19,74
19	1,15	11,80	1,47	1,93	11,58	58,66	19,74
20	0,92	7,97	-1,64	1,93	9,83	58,66	16,75
20	0,92	3,03	1,64	1,93	5,48	58,66	9,33
29	0,94	2,29	-2,48	1,93	10,95	58,66	18,66
29	0,94	2,29	2,48	1,93	10,95	58,66	18,66
30	0,96	5,23	-2,25	1,93	10,72	58,66	18,28
30	0,96	1,99	2,25	1,93	5,93	58,66	10,11
39	0,96	2,62	-2,56	1,93	11,28	58,66	19,23
39	0,96	2,62	2,56	1,93	11,28	58,66	19,23
40	0,94	9,64	-1,62	1,93	10,65	58,66	18,15
40	0,94	3,66	1,62	1,93	5,89	58,66	10,04
49	0,96	5,00	-1,46	1,93	7,87	58,66	13,41
49	0,96	5,00	1,46	1,93	7,87	58,66	13,41
50	0,96	9,66	-0,32	1,93	8,36	58,66	14,25
50	0,96	3,67	0,32	1,93	4,73	58,66	8,07
60	0,96	3,76	-0,32	1,93	4,82	58,66	8,22
60	0,96	3,76	0,32	1,93	4,82	58,66	8,22
70	0,96	0,69	-0,32	1,93	1,94	58,66	3,31

80	1,11	0,69	0,32	1,93	1,94	58,66	3,31
90	1,11	3,82	-0,32	1,93	4,76	58,66	8,11
90	0,86	29,40	-3,01	1,93	32,78	58,66	55,89
100	0,86	4,65	3,01	1,93	8,61	58,66	14,67
110	0,86	4,64	-3,01	1,93	8,61	58,66	14,67
119	0,88	8,84	2,43	1,93	12,66	58,66	21,57
119	0,88	8,84	-2,43	1,93	12,66	58,66	21,57
120	0,92	12,98	0,77	1,93	11,21	58,66	19,10
120	0,92	4,93	-0,77	1,93	6,17	58,66	10,53
128	0,92	1,02	0,77	1,93	2,85	58,66	4,87
128	0,92	2,69	-0,77	1,93	4,65	58,66	7,93
129	0,88	3,83	0,69	1,93	4,97	58,66	8,48
129	0,88	3,83	-0,69	1,93	4,97	58,66	8,48
130	0,86	6,46	0,00	1,93	5,85	58,66	9,97
130	0,86	2,45	-0,00	1,93	3,46	58,66	5,90
139	0,74	7,78	0,10	1,93	6,85	58,66	11,68
139	0,74	7,78	-0,10	1,93	6,85	58,66	11,68
140	0,71	7,94	0,16	1,93	7,00	58,66	11,93
140	0,71	3,02	-0,16	1,93	4,04	58,66	6,89
145	0,67	2,01	0,16	1,93	3,04	58,66	5,18
145	1,10	2,01	-0,16	1,93	3,04	58,66	5,18
149	1,00	3,34	0,10	1,93	3,54	58,66	6,04
149	1,00	3,34	-0,10	1,93	3,54	58,66	6,04
150	0,90	2,10	0,01	1,93	2,58	58,66	4,40
150	0,90	0,80	-0,01	1,93	1,80	58,66	3,07
159	0,90	2,10	0,14	1,93	2,68	58,66	4,57
159	0,90	2,10	-0,14	1,93	2,68	58,66	4,57
160	0,92	2,09	0,37	1,93	3,14	58,66	5,34
160	0,92	0,79	-0,37	1,93	2,08	58,66	3,55
170	0,92	2,59	0,37	1,93	3,69	58,66	6,30

180	0,92	2,59	-0,37	1,93	3,69	58,66	6,30
190	0,92	3,26	0,37	1,93	4,35	58,66	7,41
190	0,93	3,26	-0,37	1,93	4,35	58,66	7,41
200	0,93	2,56	0,37	1,93	3,67	58,66	6,26
210	0,93	2,56	-0,37	1,93	3,67	58,66	6,26
219	0,93	1,75	0,04	1,93	2,33	58,66	3,97
219	0,93	1,75	-0,04	1,93	2,33	58,66	3,97
220	0,93	0,24	-0,11	1,93	1,48	58,66	2,52
220	0,93	0,09	0,11	1,93	1,25	58,66	2,12
229	1,01	0,75	-0,10	1,93	1,70	58,66	2,89
229	1,01	0,75	0,10	1,93	1,70	58,66	2,89
230	1,06	1,29	-0,04	1,93	1,99	58,66	3,39
230	1,06	0,49	0,04	1,93	1,50	58,66	2,56
235	1,10	0,45	-0,04	1,93	1,46	58,66	2,49
235	0,62	0,45	0,04	1,93	1,46	58,66	2,49
530	0,83	0,22	-0,04	1,93	1,24	58,66	2,11
530	0,83	0,22	0,04	1,93	1,24	58,66	2,11
239	0,94	0,31	-0,01	1,93	1,24	58,66	2,12
239	0,94	0,31	0,01	1,93	1,24	58,66	2,12
240	0,93	0,18	0,02	1,93	1,16	58,66	1,98
240	0,93	0,07	-0,02	1,93	1,09	58,66	1,85
249	0,91	0,58	0,03	1,93	1,46	58,66	2,48
249	0,91	0,58	-0,03	1,93	1,46	58,66	2,48
250	0,90	0,78	0,03	1,93	1,60	58,66	2,73
250	0,90	0,29	-0,03	1,93	1,31	58,66	2,23
260	0,86	1,15	0,03	1,93	2,16	58,66	3,69
260	0,86	1,70	-0,03	1,93	2,28	58,66	3,89
270	1,16	0,74	0,01	2,47	1,83	58,66	3,12
280	1,12	11,96	1,05	1,82	10,80	58,66	18,40
289	1,50	9,86	-0,06	1,82	8,35	58,66	14,23
289	1,50	9,86	0,06	1,82	8,35	58,66	14,23



290	1,51	8,90	1,16	1,82	8,99	58,66	15,32
290	1,51	3,46	-1,16	1,82	5,11	58,66	8,71
299	1,40	7,07	1,96	1,82	10,20	58,66	17,39
299	1,40	7,07	-1,96	1,82	10,20	58,66	17,39
300	0,99	2,68	2,01	1,82	8,95	58,66	15,26
300	0,99	1,04	-2,01	1,82	5,09	58,66	8,68
309	1,13	7,97	3,47	1,82	15,62	58,66	26,63
309	1,13	7,97	-3,47	1,82	15,62	58,66	26,63
310	1,12	4,83	3,82	1,82	16,14	58,66	27,52
310	1,12	1,88	-3,82	1,82	8,81	58,66	15,02
320	1,12	3,43	3,82	1,82	9,32	58,66	15,88
320	1,08	3,35	-3,84	1,82	9,32	58,66	15,88
330	1,09	4,09	2,53	1,93	7,51	58,66	12,81
330	1,12	4,09	-2,53	1,93	7,51	58,66	12,81
90	1,12	29,49	2,53	1,93	30,35	58,66	51,74

**Tab. vi: Napětí v OPE 1 trasy KP**

Dvojice uzlů	Axiální napětí [MPa]	Ohybové napětí [MPa]	Zkrutné napětí [MPa]	Radiální napětí [MPa]	Celkové napětí [MPa]	Dovolené napětí [MPa]	Poměr [%]
10	0,04	38,15	-16,38	0,00	50,30	139,45	36,07
19	0,23	54,47	10,94	0,00	79,24	139,45	56,82
19	0,23	54,47	-10,94	0,00	79,24	139,45	56,82
20	0,29	62,20	1,78	0,00	62,90	139,45	45,10
20	0,29	23,64	-1,78	0,00	23,91	139,45	17,14
29	-0,97	51,66	1,45	0,00	52,22	139,45	37,44
29	-0,97	51,66	-1,45	0,00	52,22	139,45	37,44
30	-1,66	62,18	0,21	0,00	62,19	139,45	44,60
30	-1,66	23,63	-0,21	0,00	23,64	139,45	16,95
39	-1,38	74,51	-1,56	0,00	74,96	139,45	53,75
39	-1,38	74,51	1,56	0,00	74,96	139,45	53,75
40	-0,29	58,02	-2,47	0,00	59,46	139,45	42,64
40	-0,29	22,05	2,47	0,00	22,60	139,45	16,21

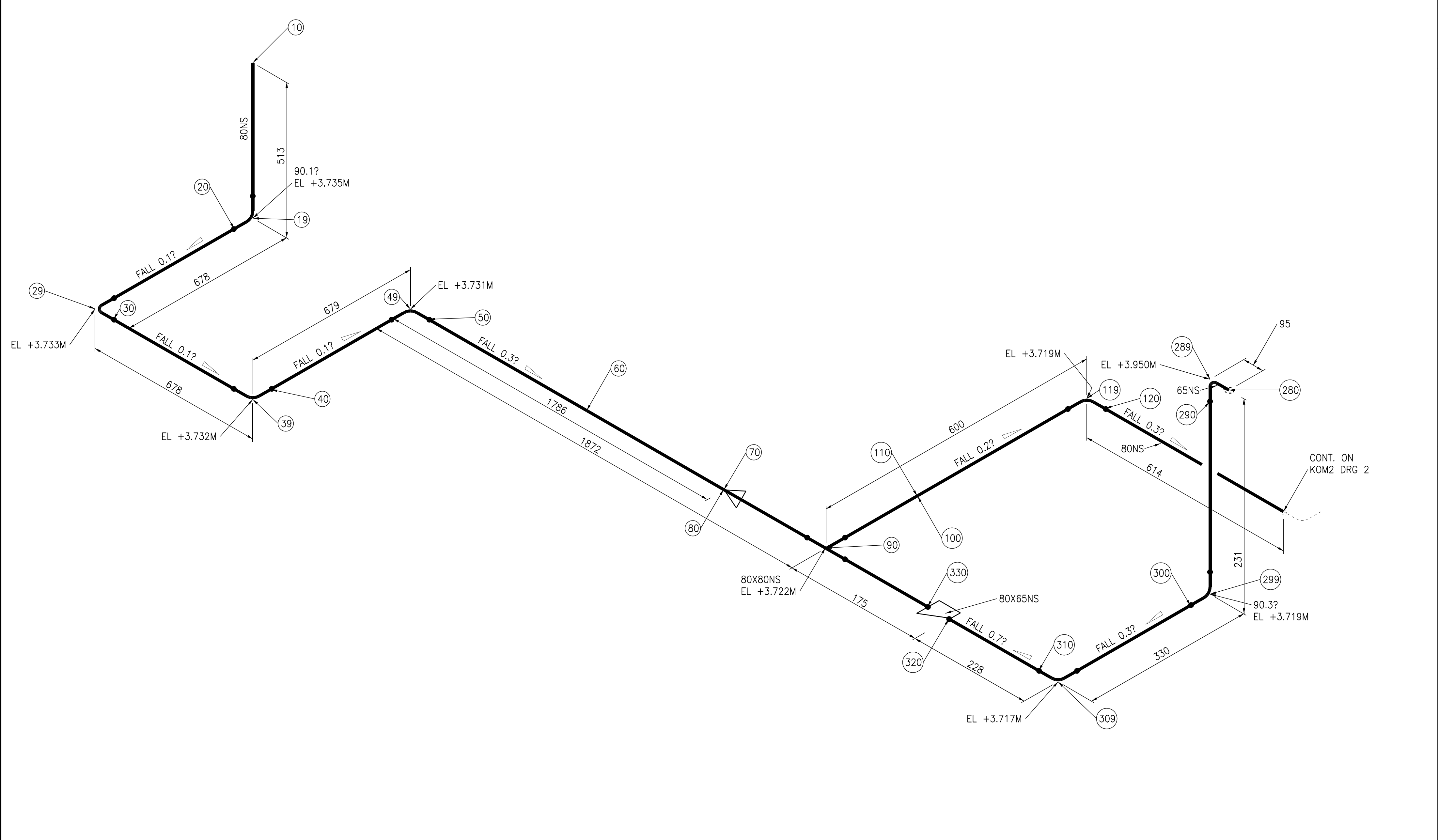
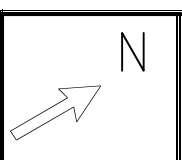
49	-1,38	54,41	-1,16	0,00	54,75	139,45	39,26
49	-1,38	54,41	1,16	0,00	54,75	139,45	39,26
50	-1,66	58,64	0,91	0,00	58,84	139,45	42,19
50	-1,66	22,29	-0,91	0,00	22,36	139,45	16,04
60	-1,66	10,77	0,91	0,00	10,92	139,45	7,83
60	-1,66	10,77	-0,91	0,00	10,92	139,45	7,83
70	-1,66	9,07	0,91	0,00	9,25	139,45	6,63
80	-1,81	9,07	-0,91	0,00	9,25	139,45	6,63
90	-1,81	47,79	0,91	0,00	48,66	139,45	34,90
90	-0,87	126,07	2,21	0,00	128,06	139,45	91,83
100	-0,87	24,43	-2,21	0,00	24,83	139,45	17,80
110	-0,87	24,45	2,16	0,00	24,83	139,45	17,80
119	-0,59	56,55	0,24	0,00	56,57	139,45	40,57
119	-0,59	56,55	-0,24	0,00	56,57	139,45	40,57
120	0,04	45,94	2,21	0,00	47,39	139,45	33,98
120	0,04	17,46	-2,21	0,00	18,01	139,45	12,92
128	0,04	3,92	2,21	0,00	5,91	139,45	4,24
128	0,04	10,32	-2,21	0,00	15,55	139,45	11,15
129	-0,59	19,81	1,99	0,00	22,41	139,45	16,07
129	-0,59	19,81	-1,99	0,00	22,41	139,45	16,07
130	-0,87	24,98	0,88	0,00	25,41	139,45	18,22
130	-0,87	9,50	-0,88	0,00	9,66	139,45	6,93
139	-0,74	50,18	-4,05	0,00	54,52	139,45	39,09
139	-0,74	50,18	4,05	0,00	54,52	139,45	39,09
140	-0,18	33,78	-6,68	0,00	48,75	139,45	34,96
140	-0,18	12,84	6,68	0,00	18,53	139,45	13,29
145	-0,18	2,61	-6,68	0,00	13,61	139,45	9,76
145	-0,52	2,61	6,68	0,00	13,61	139,45	9,76
149	-0,99	52,82	-3,62	0,00	56,14	139,45	40,26
149	-0,99	52,82	3,62	0,00	56,14	139,45	40,26
150	-0,89	54,67	1,60	0,00	55,32	139,45	39,67

150	-0,89	20,78	-1,60	0,00	21,03	139,45	15,08
159	-0,66	58,76	9,81	0,00	78,22	139,45	56,09
159	-0,66	58,76	-9,81	0,00	78,22	139,45	56,09
160	-0,04	31,27	13,10	0,00	75,69	139,45	54,28
160	-0,04	11,89	-13,10	0,00	28,77	139,45	20,63
170	-0,04	7,05	13,10	0,00	27,13	139,45	19,45
180	-0,04	7,05	-13,10	0,00	27,13	139,45	19,45
190	-0,04	10,25	13,10	0,00	28,13	139,45	20,17
190	-0,13	10,37	-13,07	0,00	28,13	139,45	20,17
200	-0,13	8,96	13,07	0,00	27,64	139,45	19,82
210	-0,14	9,16	-13,04	0,00	27,64	139,45	19,82
219	-0,44	50,34	11,12	0,00	77,19	139,45	55,35
219	-0,44	50,34	-11,12	0,00	77,19	139,45	55,35
220	-0,48	68,33	4,02	0,00	71,53	139,45	51,29
220	-0,48	25,97	-4,02	0,00	27,19	139,45	19,50
229	-0,92	124,07	1,50	0,00	124,32	139,45	89,15
229	-0,92	124,07	-1,50	0,00	124,32	139,45	89,15
230	-0,83	122,38	-1,68	0,00	122,70	139,45	87,99
230	-0,83	46,52	1,68	0,00	46,64	139,45	33,44
235	-0,83	39,17	-1,68	0,00	39,31	139,45	28,19
235	-0,83	39,17	1,69	0,00	39,31	139,45	28,19
530	-0,83	4,74	-1,69	0,00	5,82	139,45	4,17
530	-0,83	4,74	1,69	0,00	5,82	139,45	4,17
239	-0,25	56,82	2,17	0,00	57,96	139,45	41,57
239	-0,25	56,82	-2,17	0,00	57,96	139,45	41,57
240	0,48	62,62	4,96	0,00	67,85	139,45	48,66
240	0,48	23,80	-4,96	0,00	25,79	139,45	18,49
249	0,76	77,74	5,53	0,00	83,00	139,45	59,52
249	0,76	77,74	-5,53	0,00	83,00	139,45	59,52
250	0,92	80,54	5,30	0,00	85,23	139,45	61,12

250	0,92	30,61	-5,30	0,00	32,39	139,45	23,23
260	0,92	34,87	5,30	0,00	36,44	139,45	26,13
260	0,92	51,32	-5,30	0,00	53,63	139,45	38,46
270	0,47	16,96	1,68	0,00	17,67	139,45	12,67
280	-2,38	80,82	-1,17	0,00	81,04	139,45	58,12
289	-1,84	58,39	-7,74	0,00	70,73	139,45	50,72
289	-1,84	58,39	7,74	0,00	70,73	139,45	50,72
290	-0,22	16,24	-10,96	0,00	58,76	139,45	42,14
290	-0,22	6,30	10,96	0,00	22,80	139,45	16,35
299	0,36	24,10	-9,49	0,00	54,51	139,45	39,09
299	0,36	24,10	9,49	0,00	54,51	139,45	39,09
300	0,73	32,11	-6,23	0,00	45,41	139,45	32,56
300	0,73	12,46	6,23	0,00	17,62	139,45	12,64
309	-1,17	52,03	-8,22	0,00	67,09	139,45	48,11
309	-1,17	52,03	8,22	0,00	67,09	139,45	48,11
310	-2,38	74,80	-5,73	0,00	80,42	139,45	57,67
310	-2,38	29,03	5,73	0,00	31,21	139,45	22,38
320	-2,38	33,69	-5,73	0,00	35,59	139,45	25,52
320	-2,36	32,82	6,87	0,00	35,59	139,45	25,52
330	-1,83	23,70	-4,54	0,00	25,38	139,45	18,20
330	-1,84	24,24	3,75	0,00	25,38	139,45	18,20
90	-1,84	134,11	-3,75	0,00	139,42	139,45	99,98

## **Příloha 1b**

### **Výkresy trasy KP**



CHECK ISOMETRIC ONLY – DO NOT ISSUE

PIPING SPEC.		OP. TEMP.	
INSULATION SPEC.		PROJECT NO.	Diplomova prace
INSULATION THKS.		SYSTEM	Kominkova para
PAINING SPEC.		AREA	
MATERIAL		DRAWN BY	Jan Pospichal
OP. PRESSURE		E.L.DIAGRAM	

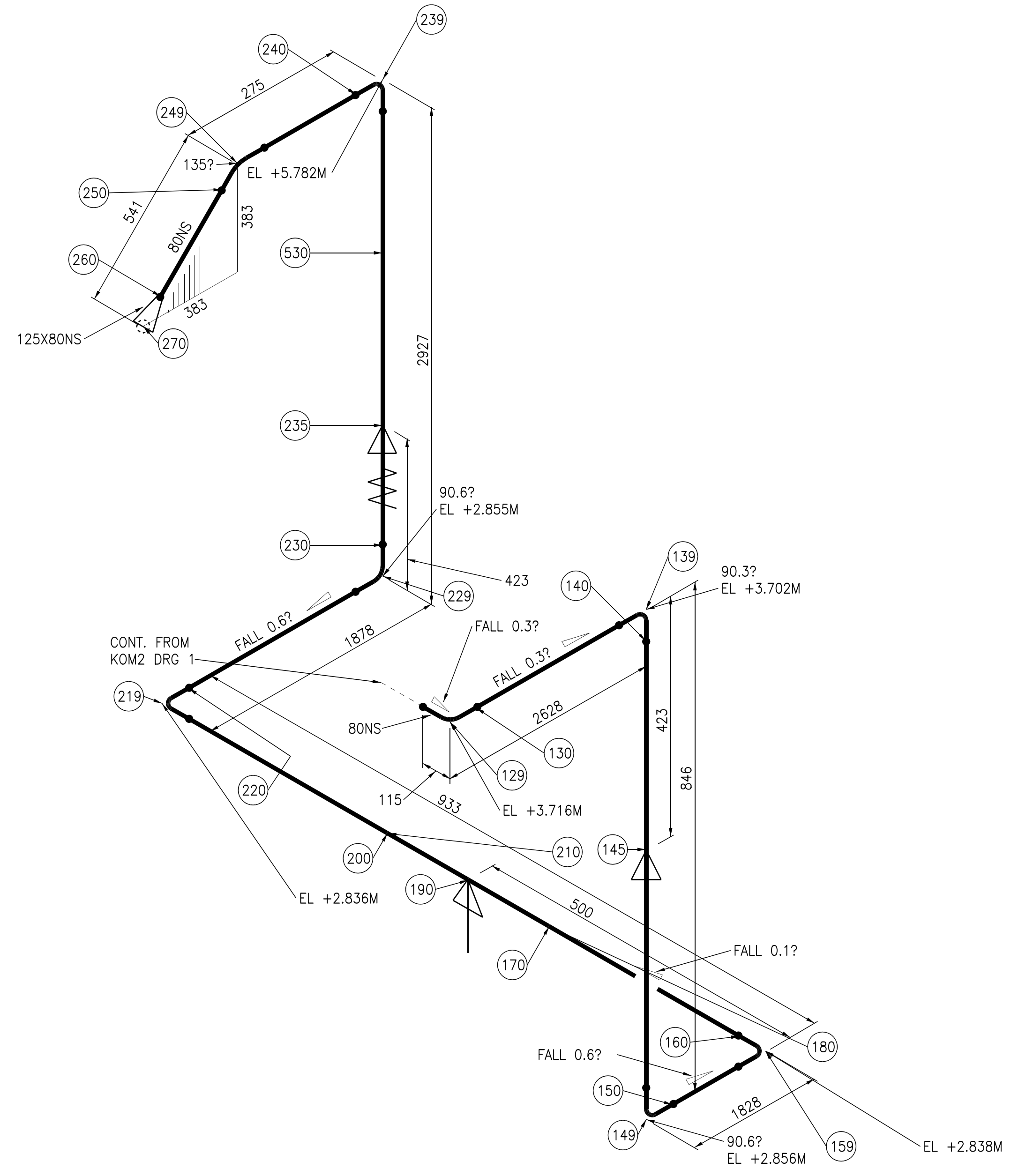
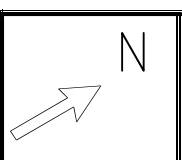


REV.	CHANGE	DATE
		06 MAY 2024

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF INTERGRAPH LTD AND MUST NOT BE COPIED OR LENT WITHOUT THE CONSENT OF THE COMPANY

PIPELINE REFERENCE

REV.
DRG.
1 OF 2



CHECK ISOMETRIC ONLY – DO NOT ISSUE

PIPING SPEC.		OP. TEMP.	
INSULATION SPEC.		PROJECT NO.	Diplomova prace
INSULATION THKS.		SYSTEM	Kominkova para
PAINTING SPEC.		AREA	
MATERIAL		DRAWN BY	Jan Pospichal
OP. PRESSURE		E.L.DIAGRAM	



REV.

DRG.

2 OF 2

REV.	CHANGE	06 MAY 2024	THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF INTERGRAPH LTD AND MUST NOT BE COPIED OR LENT WITHOUT THE CONSENT OF THE COMPANY
		DATE	

PIPELINE REFERENCE

## **Příloha 2a**

### **Výsledky simulace trasy UP**

Popis trasy ucpávkové páry je koncipován podobně jako popis trasy KP, tj. první jsou vypsány hodnoty posuvu a natočení v provozech SUS a OPE 2 (tab. vi–vii), síly a momenty v uložení a hrdlech (tab. viii a ix) a jako poslední jsou vypsány nejvyšší napětí na trase (tab. x). Celkový přehled napětí ve všech provozech UP bylo nutné zkrátit do tab. x, protože jinak by tyto tabulky byly příliš dlouhé.

Výkresy popisující rozložení a uzly UP jsou v příloze 2b.



**Tab. vi: Posun a natočení uzlů v SUS potrubí UP**

Uzel	$\Delta x$ [mm]	$\Delta y$ [mm]	$\Delta z$ [mm]	Rx [°]	Ry [°]	Rz [°]
10	-0,000	0,000	-0,000	-0,0000	-0,0000	-0,0000
19	0,002	-0,011	-0,006	-0,0060	-0,0009	-0,0004
20	0,007	-0,023	-0,039	-0,0105	-0,0014	-0,0013
30	0,007	-0,023	-0,039	-0,0105	-0,0014	-0,0013
40	0,012	-0,031	-0,068	-0,0109	-0,0017	-0,0014
49	0,023	-0,028	-0,125	-0,0125	-0,0029	-0,0048
50	0,028	-0,014	-0,145	-0,0120	-0,0023	-0,0063
59	0,034	-0,000	-0,158	-0,0098	0,0015	-0,0054
60	0,044	0,004	-0,170	-0,0031	0,0047	-0,0029
69	0,085	0,013	-0,001	0,0041	0,0169	0,0003
70	0,039	0,011	-0,000	-0,0066	0,0218	0,0018
80	0,001	-0,001	-0,000	-0,0075	0,0222	0,0018
89	-0,390	-0,200	-0,036	-0,0290	0,0396	-0,0031
90	-0,432	-0,245	-0,142	-0,0339	0,0483	-0,0081
100	-0,075	-0,154	-0,826	-0,0129	-0,0167	0,0080
110	-0,075	-0,154	-0,826	-0,0129	-0,0167	0,0080
120	-0,075	-0,137	-0,789	-0,0111	-0,0164	0,0076
125	-0,271	0,009	-0,792	-0,0066	-0,0087	0,0074
130	-0,278	0,014	-0,792	-0,0063	-0,0085	0,0074
139	-0,302	0,023	-0,792	0,0048	-0,0024	0,0055
140	-0,314	0,013	-0,760	0,0244	-0,0007	0,0045
150	-0,314	0,013	-0,760	0,0244	-0,0007	0,0045
160	-0,340	0,013	-0,620	0,0247	-0,0006	0,0045
170	-0,344	0,013	-0,598	0,0259	-0,0004	0,0047
180	-0,377	0,013	-0,415	0,0263	-0,0003	0,0047
185	-0,392	0,104	-0,343	0,0261	0,0005	0,0056
190	-0,390	0,013	-0,344	0,0261	0,0005	0,0056
199	-0,370	-0,801	-0,360	0,0135	-0,0130	0,0224
200	-0,329	-0,814	-0,389	0,0119	-0,0148	0,0252
208	0,128	-0,413	-0,190	0,0331	-0,0265	0,0255
209	0,106	-0,357	-0,115	0,0307	-0,0106	0,0215
210	0,060	-0,337	-0,036	0,0309	-0,0052	0,0180
220	-0,280	-0,814	-0,412	0,0119	-0,0162	0,0257
238	0,036	-0,814	-0,557	0,0140	-0,0246	0,0274
239	0,101	-0,787	-0,575	0,0213	-0,0247	0,0277
240	0,128	-0,723	-0,534	0,0229	-0,0289	0,0267
250	-0,013	-0,337	0,095	0,0308	0,0013	0,0177
260	0,325	-0,007	-0,367	0,0290	0,0286	0,0259
279	1,207	0,041	-1,302	0,0226	0,0278	0,0293
280	1,137	0,149	-1,346	0,0247	0,0269	0,0303
289	0,699	0,537	-1,278	0,0395	0,0265	0,0317
290	0,495	0,623	-1,060	0,0515	0,0269	0,0336
299	0,068	0,558	-0,360	0,0496	0,0247	0,0354
300	-0,001	0,394	-0,166	0,0455	0,0161	0,0339

310	-0,002	0,009	-0,000	0,0422	0,0102	0,0316
319	-0,004	-0,581	0,094	0,0368	0,0004	0,0197
320	-0,008	-0,455	0,095	0,0316	0,0013	0,0189
329	-0,028	-0,084	0,095	0,0244	0,0020	0,0154
330	-0,033	-0,056	0,099	0,0220	0,0023	0,0154
338	-0,041	-0,032	0,107	0,0201	0,0023	0,0138
339	-0,028	-0,015	0,085	0,0153	0,0059	0,0121
340	0,003	-0,012	0,047	0,0050	0,0093	0,0057
360	0,075	-0,012	-0,001	0,0016	0,0085	0,0034
370	0,043	-0,006	-0,000	0,0015	0,0084	0,0034
390	0,245	-0,007	-0,277	0,0290	0,0286	0,0259
410	-0,380	-0,009	0,358	0,0242	0,0286	0,0259
420	-0,260	-0,009	0,245	0,0242	0,0286	0,0259
440	-0,135	-0,009	0,128	0,0243	0,0286	0,0259
450	-0,001	-0,008	-0,000	0,0267	0,0286	0,0259
460	0,142	-0,008	-0,160	0,0290	0,0286	0,0259
480	0,106	-0,017	-0,001	0,0014	0,0083	0,0030
500	0,132	-0,022	-0,001	0,0014	0,0083	0,0029
510	0,146	-0,024	-0,001	0,0013	0,0082	0,0025
519	0,237	-0,041	-0,006	0,0031	0,0072	-0,0012
520	0,237	-0,046	-0,020	0,0036	0,0064	-0,0047
530	0,236	-0,046	-0,020	0,0036	0,0064	-0,0047
540	0,218	-0,046	-0,034	0,0036	0,0064	-0,0047
550	0,201	-0,046	-0,047	0,0032	0,0066	-0,0052
559	0,071	-0,043	-0,077	-0,0007	0,0078	-0,0066
560	0,059	-0,036	-0,065	-0,0015	0,0082	-0,0064
570	0,043	-0,020	-0,041	-0,0016	0,0082	-0,0062
579	0,013	-0,001	-0,005	-0,0007	0,0053	-0,0025
580	0,000	-0,000	-0,000	-0,0000	0,0003	-0,0004
590	0,000	-0,000	-0,000	-0,0000	0,0000	-0,0000
620	0,016	-0,002	-0,000	0,0015	0,0084	0,0034
630	0,002	0,001	-0,000	0,0015	0,0084	0,0034
640	-0,085	0,016	-0,000	0,0016	0,0078	0,0035
649	-0,106	0,024	-0,004	0,0024	0,0067	0,0039
650	-0,101	0,028	-0,014	0,0025	0,0063	0,0042
670	-0,067	0,028	-0,033	0,0021	0,0059	0,0042
679	-0,036	0,026	-0,044	0,0008	0,0057	0,0038
680	-0,030	0,022	-0,038	0,0003	0,0058	0,0034
689	-0,005	0,001	-0,002	0,0003	0,0034	0,0012
690	-0,000	0,000	-0,000	0,0000	0,0000	0,0000
700	-0,000	0,000	-0,000	0,0000	0,0000	0,0000
740	-0,001	-0,181	-0,788	-0,0091	-0,0180	0,0065
750	-0,001	-0,167	-0,746	-0,0078	-0,0179	0,0061
755	0,062	-0,213	-0,788	-0,0091	-0,0180	0,0065
760	-0,001	-0,167	-0,746	-0,0078	-0,0179	0,0061
765	-0,001	-0,148	-0,684	-0,0057	-0,0140	0,0054

770	-0,001	-0,128	-0,645	-0,0034	-0,0093	0,0047
780	-0,001	-0,102	-0,593	-0,0032	-0,0093	0,0047
790	-0,001	-0,102	-0,593	-0,0032	-0,0093	0,0047
795	-0,000	-0,006	0,175	0,0178	-0,0364	0,0014
799	0,001	0,001	0,389	0,0217	-0,0412	0,0007
800	0,002	0,001	0,365	0,0337	-0,0384	0,0001
810	-0,001	0,000	-0,000	0,0446	-0,0403	-0,0004
819	0,177	-0,052	-3,957	0,0636	-0,1226	0,0001
820	0,446	0,065	-4,010	0,0377	-0,1085	-0,0046
829	1,092	0,255	-4,026	0,0077	-0,0920	-0,0095
830	1,149	0,254	-4,011	-0,0199	-0,0870	-0,0145
839	0,425	0,260	-1,592	-0,0480	-0,0490	-0,0125
840	0,418	0,278	-1,637	-0,0453	-0,0466	-0,0114
850	0,418	0,327	-1,837	-0,0395	-0,0463	-0,0113
859	0,411	0,367	-1,983	-0,0314	-0,0519	-0,0118
860	0,392	0,375	-1,982	-0,0149	-0,0570	-0,0125
869	-0,362	0,344	-0,113	-0,0400	-0,0347	-0,0115
870	-0,319	0,291	-0,089	-0,0282	-0,0298	-0,0129
879	-0,011	0,015	-0,073	-0,0104	-0,0205	-0,0072
880	-0,000	0,005	-0,049	-0,0060	-0,0093	-0,0010
890	-0,000	0,000	-0,005	-0,0013	-0,0030	-0,0003
900	-0,000	0,000	-0,005	-0,0013	-0,0030	-0,0003
910	0,000	0,000	-0,000	-0,0000	-0,0000	-0,0000
930	0,000	0,000	-0,000	-0,0000	-0,0000	-0,0000
950	0,000	-0,000	-0,000	0,0000	0,0000	-0,0000
960	-0,003	0,000	-0,000	0,0003	0,0032	-0,0013
969	-0,048	0,000	-0,025	0,0009	0,0462	-0,0040
970	-0,095	-0,015	-0,152	-0,0010	0,0850	-0,0134
979	-0,083	-0,264	-1,474	0,0050	0,0994	-0,0256
980	-0,031	-0,285	-1,537	0,0119	0,0978	-0,0306
989	0,413	-0,310	-1,354	0,0379	0,0942	-0,0342
990	0,439	-0,374	-1,494	0,0432	0,0905	-0,0345
999	0,460	-0,614	-2,101	0,0539	0,0915	-0,0308
1000	0,513	-0,636	-2,059	0,0662	0,0890	-0,0266
1009	0,613	-0,577	-1,565	0,0753	0,0960	-0,0179
1010	0,437	-0,432	-1,506	0,0789	0,1047	-0,0137
1019	-0,012	-0,088	-1,419	0,0819	0,1145	-0,0123
1020	-0,104	-0,003	-1,200	0,0821	0,1195	-0,0092
1029	-0,106	0,045	-0,499	0,0813	0,1102	-0,0056
1030	-0,101	0,051	-0,266	0,0765	0,1055	-0,0031
1040	-0,095	0,054	-0,000	0,0746	0,1012	-0,0025
1050	-0,088	0,058	0,378	0,0702	0,0946	-0,0022
1060	-0,088	0,058	0,378	0,0702	0,0946	-0,0022
1070	-0,084	0,058	0,506	0,0688	0,0924	-0,0024
1079	-1,834	1,446	0,458	0,0698	0,0531	-0,0019
1080	-1,869	1,498	0,387	0,0700	0,0261	-0,0016

1090	-1,871	1,489	0,165	0,0702	0,0197	-0,0015
1100	-1,874	1,482	-0,032	0,0704	0,0290	-0,0016
1110	-1,875	1,473	-0,293	0,0706	0,0488	-0,0016
1120	-1,901	1,439	-2,485	0,0712	0,0901	-0,0026
1130	-1,901	1,439	-2,485	0,0712	0,0901	-0,0026
1135	-2,216	1,684	-2,650	0,0712	0,0899	-0,0027
1140	-1,903	1,435	-2,650	0,0712	0,0899	-0,0027
1149	-1,274	0,943	-2,577	0,0714	0,0975	-0,0032
1150	-1,195	0,894	-2,387	0,0713	0,1065	-0,0038
1159	-1,100	0,897	-0,580	0,0718	0,0973	-0,0048
1160	-0,930	0,766	-0,508	0,0721	0,0858	-0,0048
1170	0,019	-0,047	-0,507	0,0725	0,0849	-0,0052
1180	0,019	-0,038	-0,349	0,0733	0,0865	-0,0055
1190	-0,001	-0,011	-0,192	0,0746	0,0874	-0,0058
1200	-0,001	-0,011	-0,192	0,0746	0,0874	-0,0058
1210	0,001	0,000	-0,000	0,0769	0,0864	-0,0065
1219	-0,000	0,025	0,265	0,0835	0,0775	-0,0083
1220	-0,011	0,028	0,187	0,0893	0,0751	-0,0086
1229	-0,051	-0,022	-0,694	0,0657	0,0738	-0,0107
1230	0,045	-0,100	-0,728	0,0464	0,0725	-0,0115
1239	0,375	-0,293	-0,747	0,0273	0,0702	-0,0132
1240	0,396	-0,307	-0,774	0,0127	0,0691	-0,0154
1249	0,107	-0,293	-0,764	-0,0137	0,0679	-0,0240
1250	0,094	-0,256	-0,660	-0,0153	0,0667	-0,0276
1259	0,086	-0,003	-0,077	-0,0168	0,0405	-0,0207
1260	0,063	0,008	-0,035	-0,0127	0,0334	-0,0138
1269	0,002	0,004	0,015	-0,0064	0,0181	-0,0056
1270	-0,000	0,000	0,004	-0,0072	0,0037	-0,0007
1280	-0,000	-0,000	0,000	-0,0038	0,0014	-0,0002
1290	-0,000	-0,000	0,000	-0,0038	0,0014	-0,0002
1300	-0,000	-0,000	-0,000	-0,0000	0,0000	-0,0000
1330	0,000	-0,000	-0,000	0,0156	-0,0590	0,0004
1340	0,001	-0,003	-0,422	0,0156	0,0151	-0,0001
1350	0,001	-0,003	-0,353	0,0156	0,0167	-0,0001
1360	0,001	-0,003	-0,303	0,0156	0,0395	-0,0003
1380	0,001	-0,001	-0,127	0,0156	0,0409	-0,0003
1385	-0,000	0,000	-0,000	0,0156	0,0503	-0,0007
1389	-0,002	0,002	0,109	0,0135	0,0573	-0,0007
1390	-0,003	0,003	0,122	0,0090	0,0611	-0,0009
1400	-0,004	0,003	0,118	0,0087	0,0619	-0,0009
1410	0,023	-0,001	0,103	0,0080	0,0633	-0,0012
1420	0,020	-0,001	0,089	0,0076	0,0636	-0,0013
1430	0,013	-0,001	0,050	0,0076	0,0637	-0,0014
1440	0,013	-0,001	0,050	0,0076	0,0637	-0,0014
1450	-0,001	-0,000	-0,000	0,0142	0,0648	-0,0027
1459	-0,048	0,006	-0,210	0,0427	0,0628	-0,0036

1460	-0,052	0,013	-0,129	0,0462	0,0633	-0,0025
1469	-0,065	0,052	0,795	0,0587	0,0853	-0,0029
1470	-0,073	0,056	0,747	0,0660	0,0873	-0,0028
1480	-0,080	0,058	0,631	0,0674	0,0897	-0,0027
1500	0,019	-0,057	-0,662	0,0718	0,0835	-0,0051
1510	-0,028	-0,024	-0,807	0,0676	0,0737	-0,0039
1520	-0,028	-0,024	-0,807	0,0676	0,0737	-0,0039
1530	-0,027	-0,031	-0,923	0,0511	0,0316	-0,0011
1540	-0,027	-0,031	-0,922	0,0278	-0,0346	0,0021
1570	-0,027	-0,023	-0,791	0,0271	-0,0366	0,0021
1580	-0,027	-0,023	-0,791	0,0271	-0,0366	0,0021
1589	-0,021	0,001	-0,190	-0,0289	-0,0833	0,0025
1590	-0,018	0,001	-0,142	-0,0369	-0,0786	0,0023
1595	0,000	0,000	-0,000	-0,0169	-0,0454	0,0069
1599	0,192	0,012	-0,287	0,0480	0,0447	0,0320
1600	0,201	0,037	-0,341	0,0530	0,0649	0,0383
1609	0,172	0,493	-1,139	0,0406	0,0715	0,0427
1610	0,125	0,532	-1,159	0,0366	0,0629	0,0413
1619	-0,374	0,809	-1,163	0,0111	0,0418	0,0397
1620	-0,357	0,811	-1,167	-0,0002	0,0396	0,0403
1629	-0,067	0,805	-1,094	-0,0226	0,0240	0,0364
1630	-0,072	0,787	-1,086	-0,0290	0,0189	0,0371
1639	-0,206	0,037	-1,063	-0,0853	-0,0009	0,0241
1640	-0,189	0,010	-0,997	-0,1000	-0,0015	0,0224
1650	-0,000	-0,000	-0,000	-0,0666	-0,0120	0,0127
1655	-0,000	0,000	-0,000	0,0285	-0,0453	-0,0073
1659	-0,036	0,005	-0,303	0,0453	-0,0536	0,0068
1660	-0,033	0,013	-0,278	0,0458	-0,0561	0,0149
1669	-0,017	0,366	0,622	0,0659	-0,0425	0,0210
1670	-0,003	0,372	0,585	0,0738	-0,0362	0,0185
1680	0,128	0,378	-0,000	0,1004	-0,0075	0,0207
1689	0,417	0,403	-1,241	0,1103	0,0348	0,0404
1690	0,429	0,435	-1,300	0,1083	0,0419	0,0456
1699	0,439	0,610	-1,498	0,0906	0,0450	0,0389
1700	0,464	0,622	-1,570	0,0772	0,0416	0,0310
1709	0,780	0,607	-1,397	-0,0466	0,0497	-0,0023
1710	0,744	0,579	-1,384	-0,0365	0,0505	-0,0029
1719	0,098	0,037	-1,360	-0,0892	0,0470	-0,0063
1720	0,079	0,008	-1,287	-0,1156	0,0464	-0,0066
1729	0,001	-0,003	-0,017	-0,0347	0,0240	-0,0042
1730	0,000	-0,001	-0,002	-0,0104	0,0019	-0,0008
1740	0,000	-0,001	-0,002	-0,0095	0,0018	-0,0007
1750	0,000	-0,001	-0,002	-0,0095	0,0018	-0,0007
1760	0,000	-0,000	-0,000	-0,0000	0,0000	-0,0000
1780	0,000	-0,000	-0,000	-0,0000	0,0000	-0,0000
1989	-0,423	-0,298	-0,478	-0,0394	0,0467	-0,0096

1990	-0,400	-0,308	-0,624	-0,0464	0,0470	-0,0102
1998	-0,312	-0,311	-1,053	-0,0470	0,0416	-0,0093
1999	-0,297	-0,317	-1,194	-0,0387	0,0363	-0,0035
2000	-0,296	-0,317	-1,298	-0,0328	0,0227	0,0032
2009	-0,288	-0,278	-1,413	-0,0330	0,0064	0,0101
2010	-0,258	-0,267	-1,340	-0,0313	0,0034	0,0145
2018	-0,124	-0,267	-1,071	-0,0277	-0,0049	0,0148
2019	-0,090	-0,254	-1,010	-0,0206	-0,0060	0,0127
2020	-0,078	-0,229	-0,967	-0,0203	-0,0144	0,0096
2098	-0,001	0,000	-0,089	0,0474	-0,0406	-0,0005
2099	-0,003	0,000	-0,198	0,0722	-0,0339	-0,0006
2100	-0,003	-0,001	-0,195	0,0773	-0,0355	-0,0001
2108	-0,003	-0,001	0,321	0,0931	-0,0497	0,0000
2109	-0,003	-0,001	0,389	0,0878	-0,0800	0,0001
2110	-0,002	-0,000	0,262	0,0930	-0,0874	0,0009
2115	0,000	-0,000	-0,000	0,0949	-0,0942	0,0011
2119	0,010	-0,003	-0,611	0,1080	-0,1134	0,0042
2120	0,015	-0,017	-1,023	0,1168	-0,1434	0,0066
2128	0,015	-0,104	-2,887	0,1106	-0,1492	0,0071
2129	0,023	-0,120	-3,331	0,1042	-0,1370	0,0065
2130	0,040	-0,124	-3,686	0,0872	-0,1286	0,0055

Tab. vii: Posun a natočení uzlů v OPE 2 potrubí UP

Uzel	$\Delta x$ [mm]	$\Delta y$ [mm]	$\Delta z$ [mm]	Rx [°]	Ry [°]	Rz [°]
10	-9.600	-0.000	-3.500	0.0000	0.0000	-0.0000
19	-9.613	0.434	-4.537	0.0046	0.0062	0.0019
20	-9.637	1.481	-4.943	0.0129	0.0084	0.0039
30	-9.637	1.496	-4.942	0.0129	0.0084	0.0039
40	-9.653	2.241	-5.107	0.0148	0.0104	0.0038
49	-9.945	3.512	-4.970	0.0615	0.0344	0.0056
50	-10.603	3.773	-4.782	0.0820	0.0718	0.0013
59	-11.252	4.055	-4.493	0.1021	0.1083	-0.0118
60	-11.476	4.728	-4.098	0.1435	0.1275	-0.0301
69	-10.299	14.768	1.049	0.1046	0.1845	-0.0392
70	-10.722	15.218	0.485	0.0563	0.2091	-0.0316
80	-11.089	15.313	-0.000	0.0534	0.2112	-0.0318
89	-14.169	15.906	-4.476	0.0132	0.2293	-0.0407
90	-13.741	15.808	-5.283	0.0057	0.2253	-0.0477
100	-5.625	14.045	-8.173	0.0448	-0.0928	-0.0396
110	-5.625	14.045	-8.173	0.0448	-0.0928	-0.0396
120	-5.024	13.961	-7.966	0.0463	-0.0985	-0.0371
125	-6.360	13.167	-3.489	0.0502	-0.0677	-0.0393
130	-6.419	13.123	-3.246	0.0501	-0.0661	-0.0395
139	-6.524	13.244	-2.348	0.0488	-0.0251	-0.0530
140	-6.396	13.845	-1.951	0.0670	-0.0111	-0.0676
150	-6.394	13.854	-1.948	0.0670	-0.0110	-0.0676

160	-6.010	15.431	-1.567	0.0677	-0.0104	-0.0676
170	-5.951	15.674	-1.508	0.0706	-0.0083	-0.0677
180	-5.478	17.615	-1.011	0.0719	-0.0075	-0.0677
185	-5.297	18.624	-1.779	0.0821	-0.0014	-0.0676
190	-5.302	18.337	-0.810	0.0821	-0.0014	-0.0676
199	-3.891	11.667	10.599	0.2563	0.0961	-0.0547
200	-3.903	10.751	10.215	0.2957	0.1072	-0.0438
208	-0.446	5.310	3.257	0.2014	0.1301	-0.0439
209	0.242	5.492	3.158	0.1917	0.1210	-0.0296
210	0.562	6.122	3.445	0.1523	0.1266	-0.0132
220	-3.987	10.216	9.643	0.2976	0.1109	-0.0438
238	-4.503	6.935	6.142	0.2898	0.1335	-0.0443
239	-4.339	6.236	5.380	0.2526	0.1277	-0.0464
240	-3.731	5.854	4.837	0.2418	0.1323	-0.0470
250	0.611	7.269	4.055	0.1442	0.1183	-0.0104
260	9.086	2.931	-1.238	0.0974	0.1962	0.1681
279	14.180	-2.227	-5.233	0.1383	0.2087	0.1104
280	13.356	-1.795	-6.241	0.1706	0.2251	0.0945
289	10.008	1.022	-8.027	0.1993	0.2302	0.0703
290	9.303	2.143	-7.354	0.2129	0.2249	0.0387
299	8.646	4.043	-4.273	0.2076	0.2326	-0.0000
300	7.936	4.417	-2.767	0.2050	0.2374	-0.0258
310	6.132	4.767	-0.000	0.1966	0.2351	-0.0314
319	2.038	5.931	5.054	0.1731	0.1708	-0.0220
320	1.063	6.719	4.633	0.1471	0.1222	-0.0117
329	-0.469	8.508	2.726	0.1155	0.0954	-0.0030
330	-0.882	8.735	2.517	0.0956	0.0795	0.0087
338	-1.705	9.034	2.243	0.0889	0.0755	0.0101
339	-2.355	8.888	1.810	0.0548	0.0524	0.0467
340	-2.342	8.147	1.501	0.0174	0.0468	0.0717
360	-1.139	5.627	1.321	0.0089	0.0280	0.0721
370	-1.237	5.663	0.744	0.0108	0.0254	0.0726
390	8.567	3.406	-0.933	0.0973	0.1962	0.1681
410	4.486	7.120	1.354	0.0916	0.1962	0.1689
420	5.270	6.408	0.928	0.0916	0.1962	0.1689
440	6.087	5.666	0.485	0.0917	0.1962	0.1689
450	6.966	4.865	-0.000	0.0943	0.1962	0.1689
460	7.896	4.019	-0.539	0.0973	0.1962	0.1682
480	-1.034	5.598	1.899	0.0073	0.0276	0.0703
500	-0.948	5.576	2.375	0.0072	0.0276	0.0702
510	-0.900	5.566	2.643	0.0063	0.0272	0.0683
519	-0.525	5.267	4.388	0.0107	0.0180	0.0522
520	-0.338	4.672	4.573	0.0182	0.0120	0.0352
530	-0.336	4.664	4.572	0.0182	0.0120	0.0352
540	-0.197	4.057	4.503	0.0182	0.0120	0.0351
550	-0.080	3.526	4.441	0.0185	0.0114	0.0324

559	0.374	0.262	4.078	0.0148	0.0078	0.0088
560	0.203	-0.008	4.063	0.0137	0.0078	-0.0000
570	-0.179	-0.383	4.049	0.0130	0.0071	-0.0015
579	-0.816	-0.963	3.786	0.0112	0.0056	-0.0034
580	-1.000	-1.102	3.204	0.0010	0.0004	-0.0002
590	-1.000	-1.100	2.930	0.0000	0.0000	-0.0000
620	-1.316	5.697	0.267	0.0109	0.0252	0.0726
630	-1.357	5.718	-0.000	0.0132	0.0233	0.0732
640	-1.555	5.925	-1.639	0.0232	0.0160	0.0764
649	-1.474	5.802	-2.269	0.0365	0.0079	0.0800
650	-1.177	5.287	-2.658	0.0413	0.0065	0.0813
670	-0.534	4.066	-2.989	0.0409	0.0060	0.0787
679	-0.028	2.876	-3.288	0.0353	0.0062	0.0603
680	-0.113	2.550	-3.338	0.0316	0.0079	0.0450
689	-0.900	1.229	-3.317	0.0141	0.0069	0.0105
690	-1.000	1.100	-2.935	0.0000	0.0000	0.0000
700	-1.000	1.100	-2.930	0.0000	0.0000	0.0000
740	-4.557	14.161	-8.628	0.0460	-0.1177	-0.0302
750	-4.225	14.099	-8.359	0.0457	-0.1262	-0.0276
755	-4.147	14.322	-9.164	0.0460	-0.1177	-0.0302
760	-4.225	14.099	-8.359	0.0457	-0.1262	-0.0276
765	-3.690	14.010	-7.895	0.0454	-0.1340	-0.0234
770	-3.113	13.929	-7.382	0.0449	-0.1401	-0.0190
780	-2.242	13.823	-6.587	0.0449	-0.1407	-0.0187
790	-2.242	13.823	-6.587	0.0449	-0.1407	-0.0187
795	3.120	13.802	-0.460	0.0411	-0.1930	0.0161
799	4.075	13.787	0.625	0.0486	-0.1682	0.0411
800	4.349	13.475	0.653	0.0640	-0.1568	0.0657
810	5.030	12.000	-0.000	0.0774	-0.1389	0.0788
819	3.905	15.267	-5.372	0.1813	-0.1337	-0.1617
820	4.063	15.514	-5.897	0.1531	-0.1288	-0.1571
829	4.700	16.222	-6.957	0.0715	-0.1162	-0.1484
830	4.484	15.905	-7.169	-0.0149	-0.1174	-0.1309
839	-1.565	8.283	-2.883	-0.1138	-0.0591	-0.1337
840	-1.895	8.401	-2.896	-0.1133	-0.0517	-0.1410
850	-2.564	9.017	-3.117	-0.1080	-0.0512	-0.1386
859	-3.172	9.367	-3.239	-0.0999	-0.0591	-0.0875
860	-3.364	9.172	-3.136	-0.0836	-0.0647	-0.0320
869	-2.336	-0.572	1.892	-0.0102	-0.0561	0.0402
870	-2.224	-0.643	1.647	0.0412	-0.0530	0.0393
879	-1.569	-0.122	-0.010	0.0249	-0.0352	0.0312
880	-1.310	-0.073	-0.070	0.0142	-0.0141	0.0133
890	-0.375	-0.007	-0.006	0.0032	-0.0044	0.0045
900	-0.375	-0.007	-0.006	0.0032	-0.0044	0.0045
910	-0.000	-0.000	-0.000	0.0000	-0.0000	0.0000
930	0.000	-0.000	-0.000	0.0000	-0.0000	0.0000



950	-8.600	-0.840	-3.500	0.0000	0.0000	-0.0000
960	-8.601	-0.840	-4.173	0.0027	-0.0001	-0.0111
969	-8.383	-0.833	-4.687	0.0156	-0.0062	-0.0297
970	-7.861	-0.939	-4.882	0.0061	-0.0162	-0.0971
979	-3.886	-2.388	-4.565	0.0805	-0.0369	-0.1123
980	-3.480	-1.952	-4.334	0.1325	-0.0528	-0.0917
989	-2.000	1.858	-2.168	0.1798	-0.0530	-0.1037
990	-1.398	1.869	-1.931	0.1824	-0.0482	-0.1102
999	0.615	1.367	-1.512	0.1812	-0.0091	-0.0536
1000	0.873	1.860	-1.180	0.1750	0.0032	0.0046
1009	0.703	3.941	-0.189	0.1434	0.0474	0.0662
1010	0.505	4.394	-0.602	0.1176	0.0964	0.0899
1019	-0.157	4.798	-1.656	0.1130	0.1341	0.1028
1020	-0.783	4.680	-1.600	0.1117	0.1535	0.1160
1029	-2.356	4.288	-0.706	0.1160	0.1405	0.0930
1030	-2.714	4.745	-0.388	0.1140	0.1335	0.0546
1040	-2.895	5.707	-0.000	0.1115	0.1252	0.0459
1050	-3.101	7.154	0.550	0.1042	0.1127	0.0286
1060	-3.101	7.154	0.550	0.1042	0.1127	0.0286
1070	-3.148	7.658	0.738	0.1018	0.1083	0.0211
1079	-4.677	9.766	-4.813	0.1151	0.0093	-0.0153
1080	-4.155	9.814	-4.990	0.1129	-0.0476	-0.0319
1090	-1.261	9.426	-4.398	0.1244	-0.0653	-0.0436
1100	-0.525	9.027	-3.844	0.1332	-0.0587	-0.0497
1110	0.060	8.672	-3.498	0.1403	-0.0374	-0.0529
1120	2.396	7.225	-3.495	0.1686	0.0178	-0.0499
1130	2.396	7.225	-3.495	0.1686	0.0178	-0.0499
1135	2.483	7.733	-3.823	0.1705	0.0187	-0.0488
1140	2.549	7.138	-3.530	0.1705	0.0187	-0.0488
1149	2.643	5.961	-2.924	0.1866	0.0411	-0.0384
1150	2.525	5.872	-2.762	0.1927	0.0617	-0.0267
1159	1.189	6.074	-1.542	0.2061	0.0680	-0.0192
1160	1.248	5.695	-1.334	0.2136	0.0640	-0.0168
1170	1.977	3.270	-0.392	0.2166	0.0680	-0.0172
1180	1.824	3.302	-0.264	0.2181	0.0696	-0.0173
1190	1.659	3.381	-0.156	0.2204	0.0703	-0.0177
1200	1.659	3.381	-0.156	0.2204	0.0703	-0.0177
1210	1.478	3.416	-0.000	0.2247	0.0684	-0.0189
1219	1.154	3.431	0.106	0.2367	0.0542	-0.0191
1220	1.082	3.319	-0.206	0.2487	0.0495	-0.0161
1229	0.954	2.312	-2.655	0.2169	0.0473	-0.0183
1230	1.007	1.980	-2.657	0.1903	0.0448	-0.0198
1239	1.198	1.069	-2.367	0.1710	0.0389	-0.0233
1240	1.185	0.853	-2.547	0.1575	0.0362	-0.0282
1249	0.560	-0.575	-4.929	0.1003	0.0339	-0.0535
1250	0.408	-0.541	-4.932	0.0919	0.0373	-0.0652

1259	-0.394	0.001	-4.645	0.0613	0.0287	-0.0489
1260	-0.499	-0.092	-4.698	0.0408	0.0320	-0.0315
1269	-0.589	-0.553	-4.884	0.0140	0.0163	-0.0119
1270	-0.476	-0.610	-4.900	0.0056	0.0016	-0.0010
1280	-0.330	-0.610	-4.900	0.0030	0.0005	-0.0002
1290	-0.330	-0.610	-4.900	0.0030	0.0005	-0.0002
1300	-0.200	-0.610	-4.900	0.0000	0.0000	0.0000
1330	9.037	7.551	-0.000	0.0302	-0.0678	-0.2458
1340	6.866	10.486	-0.485	0.0302	0.0172	-0.2285
1350	6.090	11.482	-0.406	0.0302	0.0191	-0.2281
1360	5.780	11.874	-0.349	0.0302	0.0456	-0.2210
1380	5.004	12.838	-0.146	0.0302	0.0473	-0.2204
1385	4.537	13.397	-0.000	0.0303	0.0609	-0.2058
1389	4.076	13.753	0.131	0.0246	0.0797	-0.1461
1390	3.895	13.636	0.142	0.0154	0.0878	-0.0924
1400	3.861	13.570	0.136	0.0150	0.0896	-0.0893
1410	3.750	13.247	0.191	0.0139	0.0923	-0.0839
1420	3.603	12.936	0.163	0.0135	0.0932	-0.0826
1430	3.171	12.005	0.093	0.0134	0.0933	-0.0825
1440	3.171	12.005	0.093	0.0134	0.0933	-0.0825
1450	2.738	10.565	-0.000	0.0197	0.0959	-0.0819
1459	1.606	7.728	-0.283	0.0536	0.0962	-0.1062
1460	0.998	7.733	-0.154	0.0583	0.0977	-0.1215
1469	-2.951	9.132	1.186	0.0806	0.1091	-0.0510
1470	-3.203	8.640	1.098	0.0970	0.1056	0.0103
1480	-3.182	8.162	0.922	0.0992	0.1069	0.0158
1500	2.130	3.239	-0.516	0.2154	0.0673	-0.0172
1510	2.241	3.331	-0.682	0.2080	0.0605	-0.0168
1520	2.241	3.331	-0.682	0.2080	0.0605	-0.0168
1530	2.425	3.289	-0.780	0.1783	0.0281	-0.0180
1540	2.680	3.226	-0.781	0.1366	-0.0296	-0.0207
1570	2.987	3.150	-0.668	0.1353	-0.0315	-0.0208
1580	2.987	3.150	-0.668	0.1353	-0.0316	-0.0208
1589	3.608	2.917	-0.083	0.0262	-0.1111	-0.0471
1590	3.596	2.843	-0.057	-0.0056	-0.1184	-0.0568
1595	3.356	2.488	-0.000	-0.0115	-0.1076	-0.0547
1599	3.002	1.566	-0.080	0.0306	-0.0766	0.0051
1600	3.065	1.553	-0.040	0.0361	-0.0672	0.0252
1609	3.941	1.915	0.495	0.0588	-0.0248	0.0180
1610	3.976	1.961	0.442	0.0598	-0.0063	0.0131
1619	3.866	2.436	-0.353	0.0135	0.0353	-0.0416
1620	3.819	2.378	-0.377	-0.0126	0.0433	-0.0591
1629	3.243	1.730	-0.217	-0.0160	0.0692	-0.0926
1630	3.163	1.699	-0.272	-0.0046	0.0796	-0.0987
1639	1.737	1.378	-1.575	-0.1002	0.0851	-0.1455
1640	1.608	1.285	-1.514	-0.1399	0.0856	-0.1523

1650	-0.072	0.394	-0.000	-0.1085	0.0688	-0.1630
1655	-3.270	-2.366	-0.000	0.0310	0.0136	0.0370
1659	-2.427	-3.011	-0.274	0.0246	-0.0042	0.2223
1660	-2.296	-2.850	-0.276	0.0217	-0.0114	0.2947
1669	-0.898	2.605	-0.003	-0.0026	-0.0074	0.3177
1670	-0.663	2.635	0.000	-0.0034	-0.0034	0.2790
1680	1.106	2.052	-0.000	0.0089	0.0235	0.2337
1689	3.405	1.231	-0.229	0.0127	0.0634	0.1995
1690	3.521	1.345	-0.281	0.0115	0.0710	0.1896
1699	3.876	1.988	-0.568	-0.0020	0.0798	0.1278
1700	3.972	1.962	-0.587	-0.0115	0.0793	0.0801
1709	2.861	-0.718	0.480	0.0671	0.1302	-0.0881
1710	2.743	-0.675	0.396	0.1179	0.1336	-0.0888
1719	1.049	0.994	-0.698	0.0379	0.1055	-0.0803
1720	0.965	0.940	-0.725	-0.0257	0.0991	-0.0744
1729	0.219	0.009	-0.020	-0.0277	0.0342	-0.0297
1730	0.153	-0.003	-0.002	-0.0071	0.0040	-0.0042
1740	0.149	-0.003	-0.001	-0.0065	0.0037	-0.0039
1750	0.149	-0.003	-0.001	-0.0065	0.0037	-0.0039
1760	0.000	-0.000	-0.000	-0.0000	0.0000	-0.0000
1780	-0.000	-0.000	-0.000	-0.0000	0.0000	-0.0000
1989	-11.981	15.791	-6.642	0.0036	0.2011	-0.0424
1990	-11.619	16.405	-6.832	0.0011	0.1943	-0.0390
1998	-11.275	18.923	-6.844	0.0027	0.1748	-0.0408
1999	-10.896	19.528	-6.973	0.0337	0.1556	-0.0548
2000	-10.185	19.651	-7.242	0.0546	0.1076	-0.0699
2009	-8.061	18.802	-8.029	0.0528	0.0477	-0.0807
2010	-7.986	18.068	-8.190	0.0551	0.0349	-0.0846
2018	-8.750	15.550	-8.722	0.0615	0.0028	-0.0827
2019	-8.658	14.826	-8.866	0.0541	-0.0138	-0.0675
2020	-8.063	14.422	-8.831	0.0390	-0.0690	-0.0479
2098	5.185	11.708	-0.154	0.0815	-0.1354	0.0820
2099	5.573	11.454	-0.284	0.1288	-0.1137	0.1202
2100	6.061	11.625	-0.196	0.1475	-0.0813	0.1457
2108	7.987	13.432	0.802	0.1701	-0.0827	0.1335
2109	8.431	13.519	0.849	0.1718	-0.0972	0.0588
2110	8.613	13.188	0.525	0.1869	-0.0986	-0.0288
2115	8.519	12.761	-0.000	0.1893	-0.1035	-0.0388
2119	8.027	12.083	-1.105	0.2036	-0.1189	-0.1425
2120	7.498	12.377	-1.615	0.2111	-0.1415	-0.2252
2128	5.574	15.356	-3.432	0.2093	-0.1448	-0.2403
2129	4.992	15.754	-3.965	0.2051	-0.1352	-0.2184
2130	4.371	15.601	-4.569	0.1958	-0.1299	-0.1858

Tab. viii: Síly a momenty na podpěrách trasy UP

Uzel	Provoz	$F_x$ [N]	$F_y$ [N]	$F_z$ [N]	$M_x$ [Nm]	$M_y$ [Nm]	$M_z$ [Nm]
10	Typ: nastavený posuv						
	OPE 1	-112	-398	-379	148	263	387
	OPE 2	72	-561	-361	85	249	-23
80	Typ: kluzná podpěra						
	OPE 1	-296	262	-1232	0	0	0
	OPE 2	-311	430	-1715	0	0	0
185	Typ: pružinová podpěra svislého potrubí Gradior						
	OPE 1	0	0	-1875	0	0	0
	OPE 2	0	0	-1928	0	0	0
310	Typ: pružinová podpěra						
	OPE 1	454	197	-1787	0	0	0
	OPE 2	758	589	-3201	0	0	0
410	Typ: podpěra s vedením						
	OPE 1	1577	3031	206	0	0	0
	OPE 2	0	0	0	0	0	0
450	Typ: kluzná podpěra						
	OPE 1	1540	585	-5218	0	0	0
	OPE 2	1627	1136	-6170	0	0	0
590	Typ: pevný bod						
	OPE 1	-130	-5330	1947	4506	80	-887
	OPE 2	145	-2348	-516	1162	406	-119
630	Typ: kluzná podpěra						
	OPE 1	-211	4194	-12895	0	0	0
	OPE 2	-677	2852	-8748	0	0	0
700	Typ: pevný bod						
	OPE 1	-3552	-2679	-1294	-1473	832	3088
	OPE 2	-1884	-2071	185	383	260	1755
765	Typ: pružný závěs						
	OPE 1	0	0	-3365	0	0	0
	OPE 2	0	0	-3432	0	0	0
810	Typ: podpěra s vedením						
	OPE 1	1093	3369	-1360	0	0	0
	OPE 2	372	1048	-1661	0	0	0
850	Typ: pružinová podpěra						
	OPE 1	0	0	-1294	0	0	0
	OPE 2	0	0	-1255	0	0	0
910	Typ: pevný bod						
	OPE 1	-422	-3297	-1133	1300	-938	2118
	OPE 2	-141	-1134	-918	327	-651	695
950	Typ: nastavený posuv						
	OPE 1	-362	-861	-61	139	71	-624
	OPE 2	-274	-809	-69	139	19	-657
1040	Typ: kluzná podpěra						

	OPE 1	-132	203	-835	0	0	0
	OPE 2	-116	228	-924	0	0	0
1110	Typ: pružný závěs						
	OPE 1	0	0	-1172	0	0	0
	OPE 2	0	0	-1129	0	0	0
1210	Typ: kluzná podpěra						
	OPE 1	194	270	-1063	0	0	0
	OPE 2	119	275	-1063	0	0	0
1300	Typ: nastavený posuv						
	OPE 1	16	-142	-232	45	-11	-41
	OPE 2	-40	-193	-212	56	4	4
1330	Typ: podpěra s vedením						
	OPE 1	71	58	-288	0	0	0
	OPE 2	62	52	-269	0	0	0
1385	Typ: kluzná podpěra						
	OPE 1	52	180	-640	0	0	0
	OPE 2	76	226	-776	0	0	0
1450	Typ: kluzná podpěra						
	OPE 1	53	347	-1064	0	0	0
	OPE 2	62	238	-847	0	0	0
1595	Typ: kluzná podpěra						
	OPE 1	70	48	-270	0	0	0
	OPE 2	89	66	-378	0	0	0
1650	Typ: kluzná podpěra						
	OPE 1	-21	145	-431	0	0	0
	OPE 2	-18	98	-374	0	0	0
1655	Typ: kluzná podpěra						
	OPE 1	-15	-11	-60	0	0	0
	OPE 2	-21	-15	-79	0	0	0
1680	Typ: kluzná podpěra						
	OPE 1	22	45	-182	0	0	0
	OPE 2	25	46	-193	0	0	0
1760	Typ: pevný bod						
	OPE 1	51	-283	-273	-41	75	-85
	OPE 2	35	-210	-257	-58	62	-61
2115	Typ: kluzná podpěra						
	OPE 1	59	66	-273	0	0	0
	OPE 2	38	58	-231	0	0	0

**Tab. ix: Kontrola sil a momentů na hrdla trasy UP**

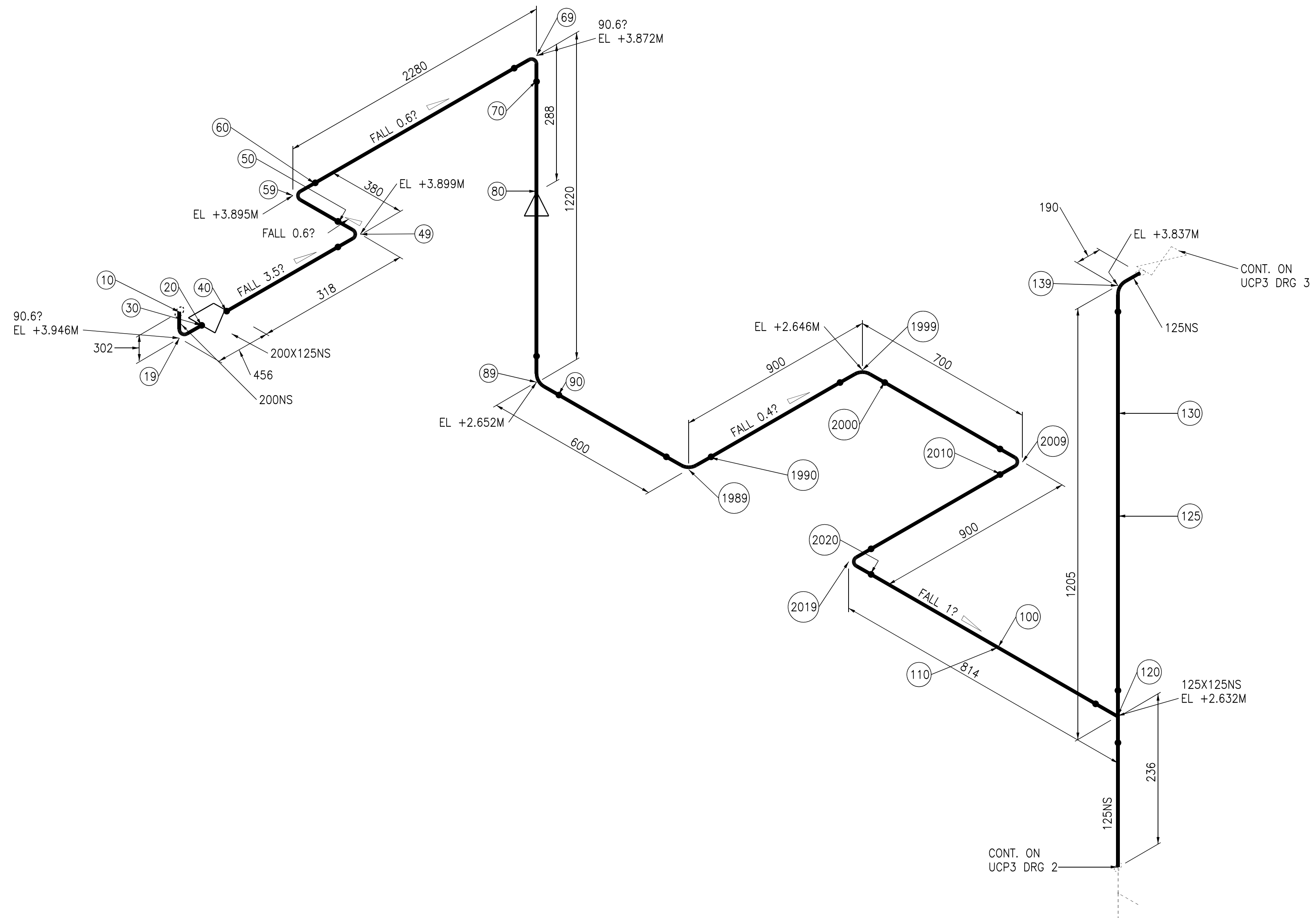
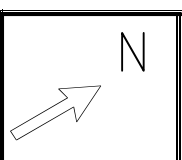
Uzel	Provoz a limity	$F_x$ [N]	$F_y$ [N]	$F_z$ [N]	Kontrola sil	$M_x$ [Nm]	$M_y$ [Nm]	$M_z$ [Nm]	Kontrola momentů
10	Limit	-7000	4500	4500		4700	5500	4700	
	OPE 1	379	-398	-112	0,089	-387	263	148	0,082
	OPE 2	361	-561	72	0,125	23	249	85	0,045
910	Limit	5400	5400	5400		2800	2800	2800	
	OPE 1	-422	-3297	-1133	0,611	1300	-938	2118	0,757
	OPE 2	-141	-1134	-918	0,210	327	-651	695	0,248
950	Limit	3500	2900	2900		1900	1900	1900	
	OPE 1	61	-861	-362	0,297	624	71	139	0,328
	OPE 2	69	-809	-274	0,279	657	19	139	0,346
1300	Limit	1900	1900	1900		850	850	1200	
	OPE 1	16	-142	-232	0,122	45	-11	-41	0,053
	OPE 2	-40	-193	-212	0,112	56	4	4	0,066
1760	Limit	4800	4800	4800		1248	1248	1248	
	OPE 1	-48	-283	273	0,059	41	75	85	0,068
	OPE 2	-33	-210	257	0,054	58	62	60	0,050

**Tab. x: Nejvyšší napětí v provozech trasy UP**

	SUS		OPE 1		OPE 2	
	Dovolené	74,7	Dovolené	145,6	Dovolené	147,5
Nejvyšší napětí [MPa]	Celkové	28,1	Celkové	129,0	Celkové	108,4
	Poměr	37,7	Poměr	88,6	Poměr	73,5
	Uzel	2019	Uzel	2119	Uzel	190
		Uzel		Uzel		Uzel
Axiální napětí [MPa]	9,0	950	2,0	2130	0,7	630
Ohybové napětí [MPa]	47,6	1510	126,5	2110	109,5	740
Zkrutné napětí [MPa]	10,9	1750	12,9	900	8,8	969
Radiální napětí [MPa]	17,9	950	0,0	-	0,0	-

## **Příloha 2b**

### **Výkresy trasy UP**



CHECK ISOMETRIC ONLY – DO NOT ISSUE

PIPING SPEC.		OP. TEMP.	
INSULATION SPEC.		PROJECT NO.	Diplomova prace
INSULATION THKS.		SYSTEM	Ucpavkova para
PAINING SPEC.		AREA	
MATERIAL		DRAWN BY	Jan Pospichal
OP. PRESSURE		E.L.DIAGRAM	



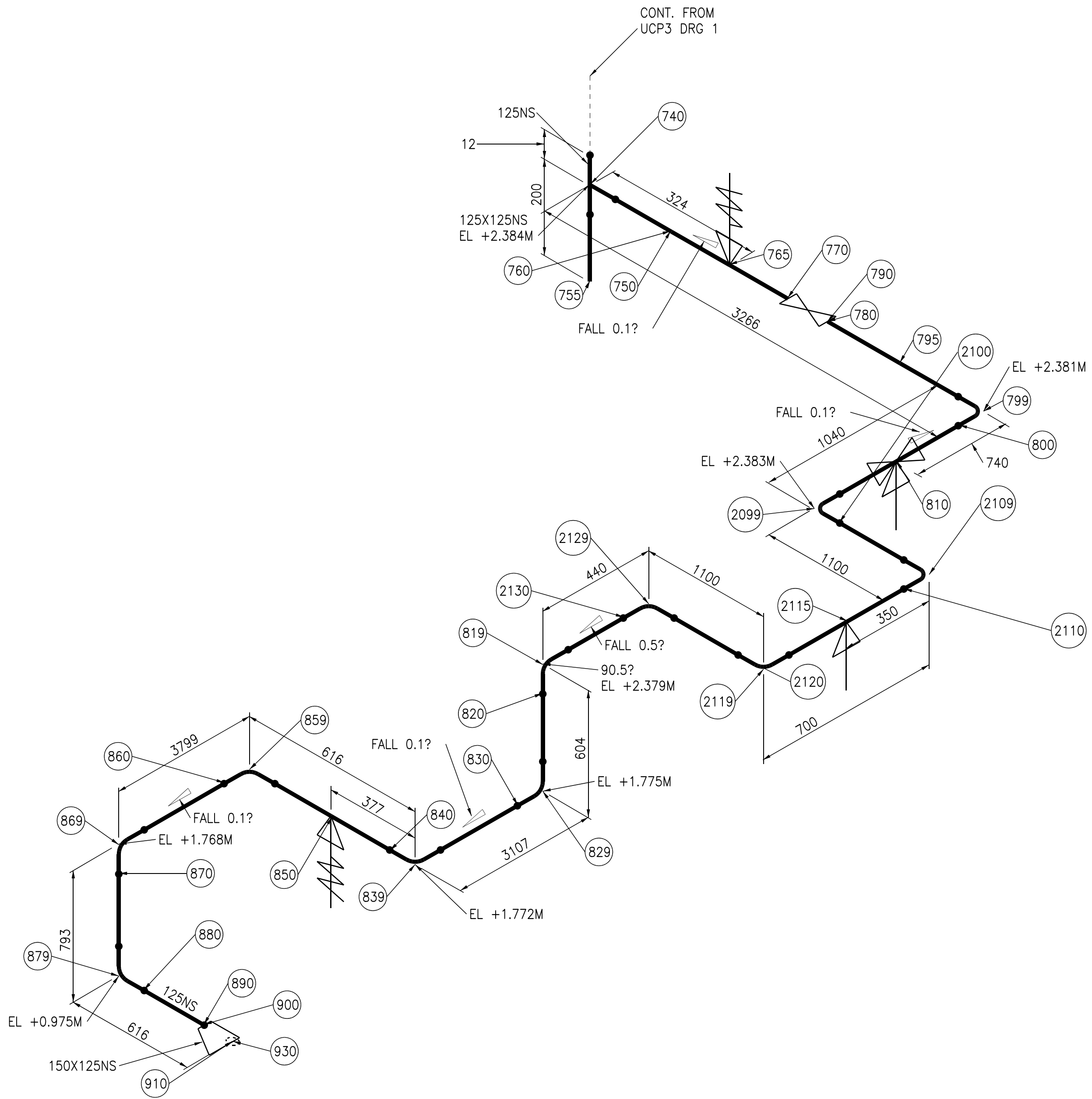
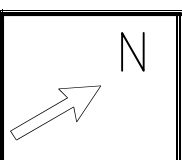
REV.	CHANGE	DATE
		06 MAY 2024

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF INTERGRAPH LTD AND MUST NOT BE COPIED OR LENT WITHOUT THE CONSENT OF THE COMPANY

PIPELINE REFERENCE

REV.
DRG.
1 OF 4





PIPING SPEC.		OP. TEMP.	
INSULATION SPEC.		PROJECT NO.	Diplomova prace
INSULATION THKS.		SYSTEM	Ucpavkova para
PAINING SPEC.		AREA	
MATERIAL		DRAWN BY	Jan Pospichal
OP. PRESSURE		E.L.DIAGRAM	



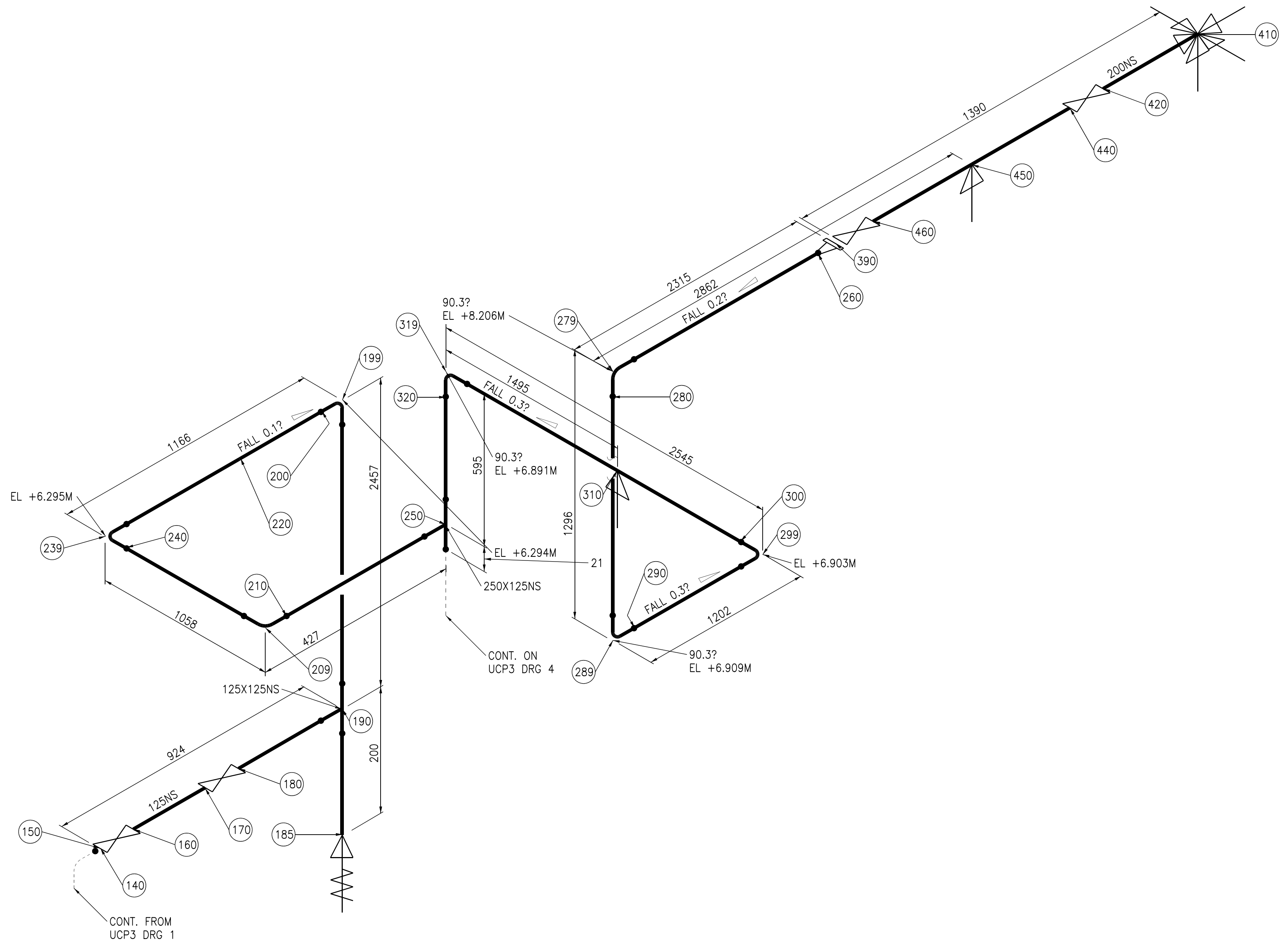
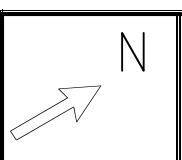
REV.

DRG.

PIPELINE REFERENCE

2 OF 4

REV.	CHANGE	DATE	THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF INTERGRAPH LTD AND MUST NOT BE COPIED OR LENT WITHOUT THE CONSENT OF THE COMPANY
		06 MAY 2024	



CHECK ISOMETRIC ONLY – DO NOT ISSUE

PIPING SPEC.		OP. TEMP.	
INSULATION SPEC.		PROJECT NO.	Diplomova prace
INSULATION THKS.		SYSTEM	Ucpavkova para
PAINING SPEC.		AREA	
MATERIAL		DRAWN BY	Jan Pospichal
OP. PRESSURE		E.L.DIAGRAM	



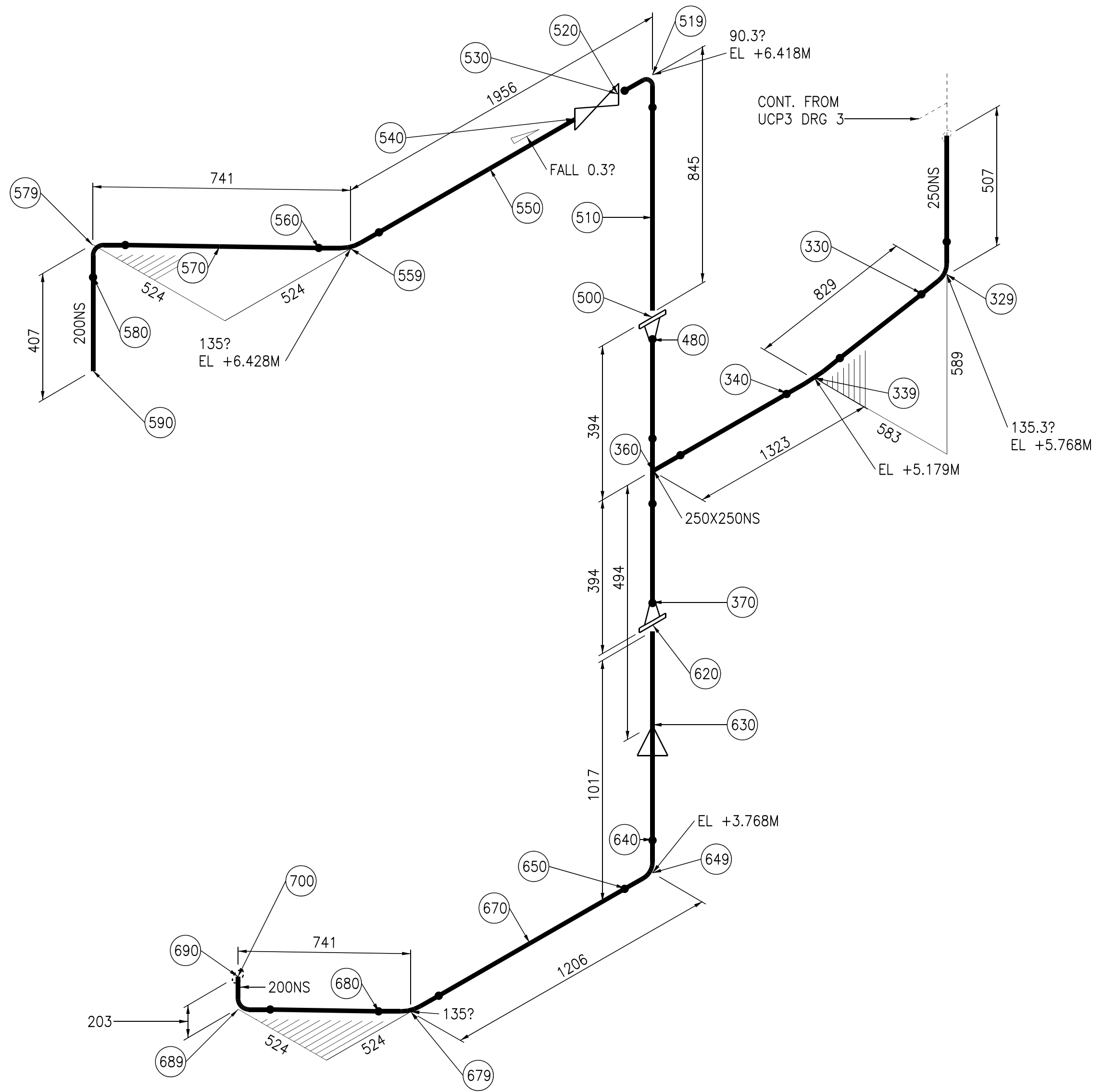
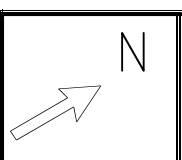
REV.

DRG.

3 OF 4

REV.	CHANGE	DATE	THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF INTERGRAPH LTD AND MUST NOT BE COPIED OR LENT WITHOUT THE CONSENT OF THE COMPANY
		06 MAY 2024	

PIPELINE REFERENCE



CHECK ISOMETRIC ONLY – DO NOT ISSUE

PIPING SPEC.		OP. TEMP.	
INSULATION SPEC.		PROJECT NO.	Diplomova prace
INSULATION THKS.		SYSTEM	Ucpavkova para
PAINING SPEC.		AREA	
MATERIAL		DRAWN BY	Jan Pospichal
OP. PRESSURE		E.L.DIAGRAM	

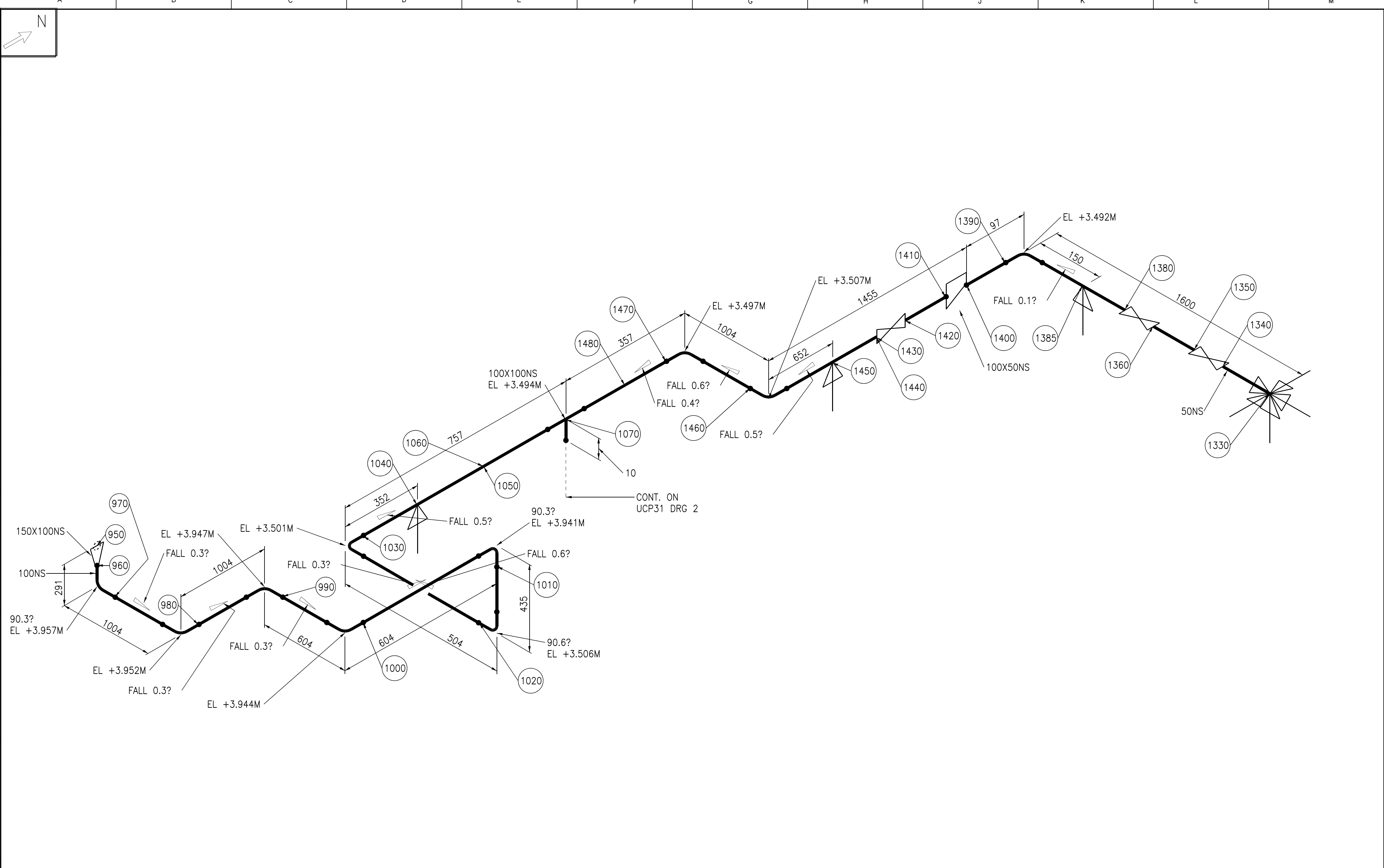
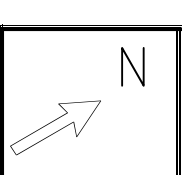


REV.	CHANGE	06 MAY 2024
		DATE

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF INTERGRAPH LTD AND MUST NOT BE COPIED OR LENT WITHOUT THE CONSENT OF THE COMPANY

PIPELINE REFERENCE

REV.	
DRG.	
4 OF 4	



CHECK ISOMETRIC ONLY – DO NOT ISSUE

PIPING SPEC.		OP. TEMP.	
INSULATION SPEC.		PROJECT NO.	Diplomova prace
INSULATION THKS.		SYSTEM	Ucpavkova para
PAINING SPEC.		AREA	
MATERIAL		DRAWN BY	Jan Pospichal
OP. PRESSURE		E.L.DIAGRAM	

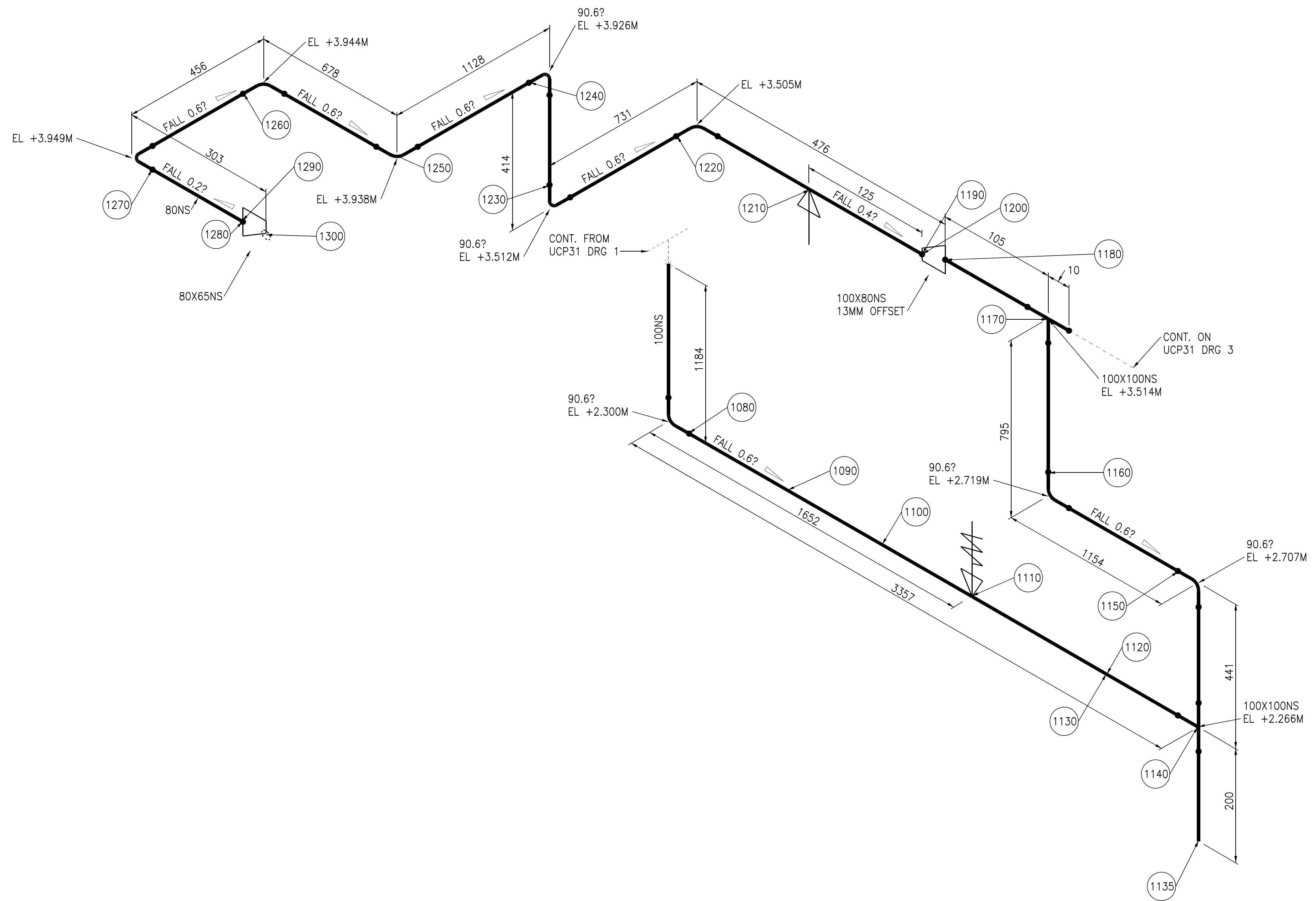
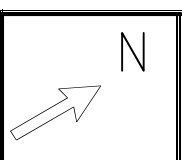


REV.	CHANGE	DATE
		06 MAY 2024

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF INTERGRAPH LTD AND MUST NOT BE COPIED OR LENT WITHOUT THE CONSENT OF THE COMPANY

PIPELINE REFERENCE

REV.
DRG.
1 OF 3



CHECK ISOMETRIC ONLY – DO NOT ISSUE

PIPING SPEC.		OP. TEMP.	
INSULATION SPEC.		PROJECT NO.	Diplomova prace
INSULATION THKS.		SYSTEM	Ucpavkova para
PAINING SPEC.		AREA	
MATERIAL		DRAWN BY	Jan Pospichal
OP. PRESSURE		E.L.DIAGRAM	



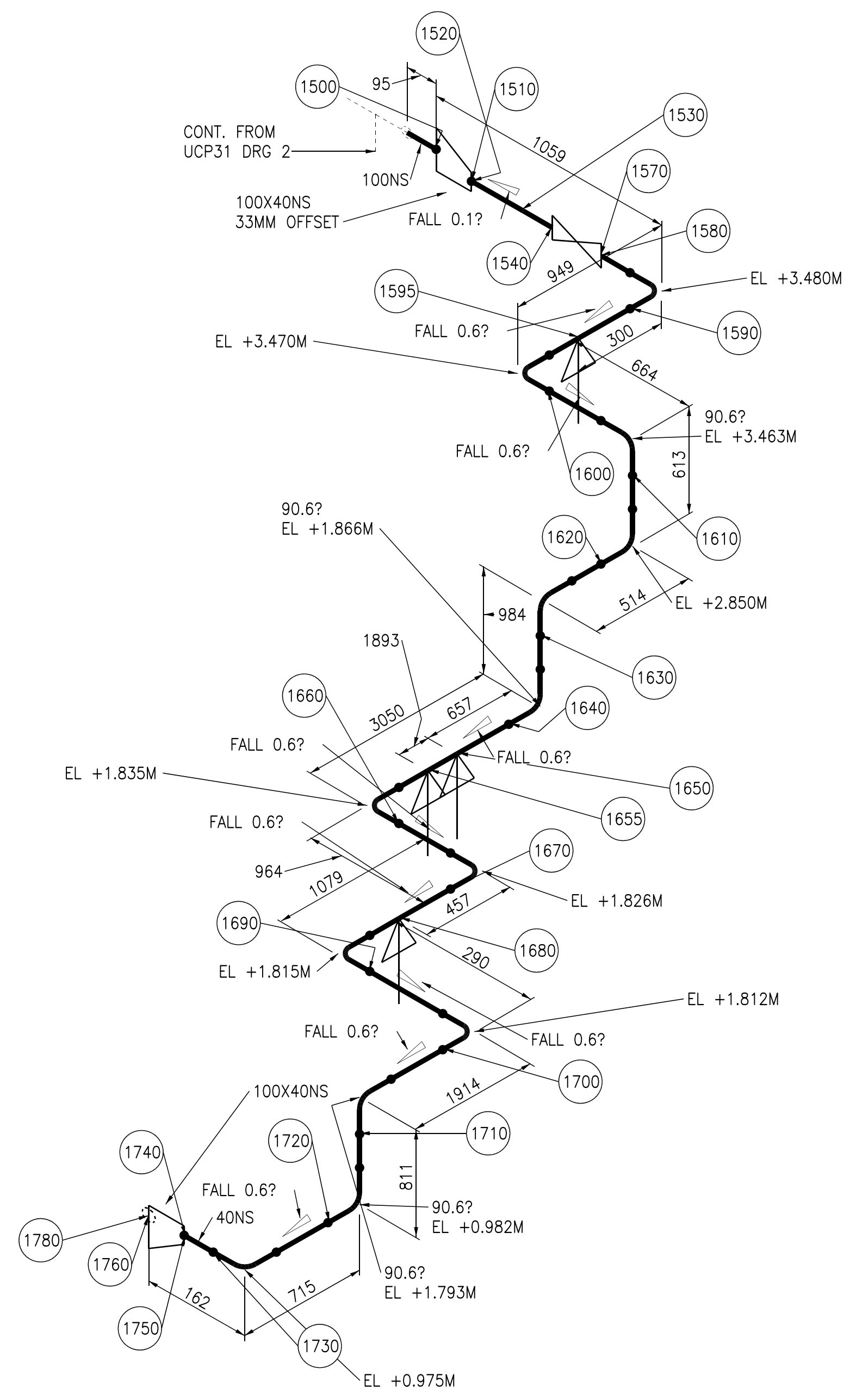
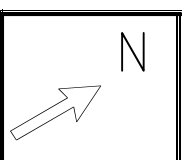
REV.

DRG.

2 OF 3

REV.	CHANGE	DATE	06 MAY 2024	THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF INTERGRAPH LTD AND MUST NOT BE COPIED OR LENT WITHOUT THE CONSENT OF THE COMPANY

PIPELINE REFERENCE



CHECK ISOMETRIC ONLY – DO NOT ISSUE

PIPING SPEC.		OP. TEMP.	
INSULATION SPEC.		PROJECT NO.	Diplomova prace
INSULATION THKS.		SYSTEM	Ucpavkova para
PAINING SPEC.		AREA	
MATERIAL		DRAWN BY	Jan Pospichal
OP. PRESSURE		E.L.DIAGRAM	



REV.	CHANGE	06 MAY 2024	DATE
------	--------	-------------	------

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF INTERGRAPH LTD AND MUST NOT BE COPIED OR LENT WITHOUT THE CONSENT OF THE COMPANY

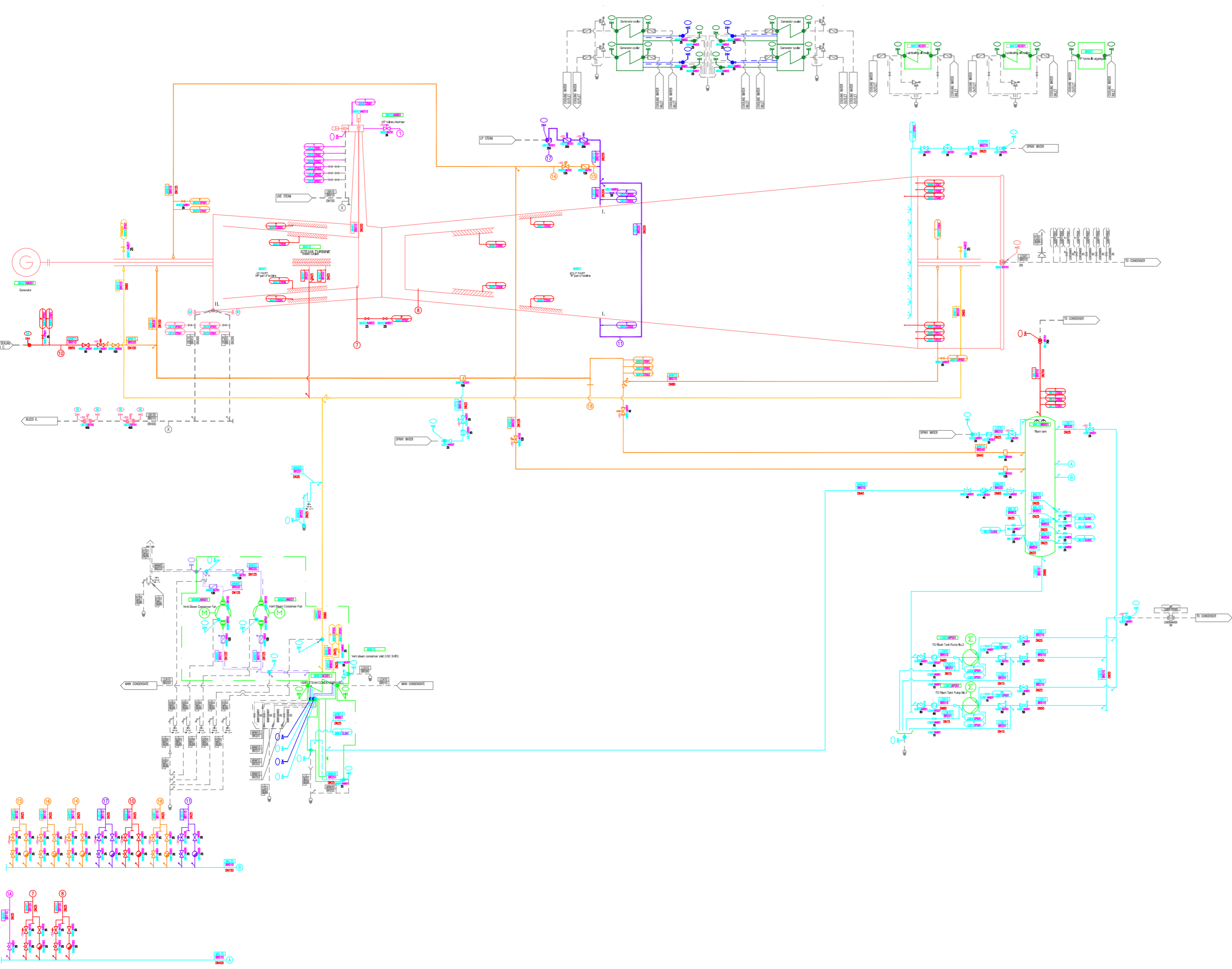
PIPELINE REFERENCE

REV.	
DRG.	
3 OF 3	

## **Příloha 3**

**PID**

All rights to this technical document belong exclusively to the  
**Doosan Škoda Power**  
 This technical document must not be copied, duplicated or otherwise communicated to a third party without explicit consent of the above Company to that effect.



### GRAFICKÉ SYMBOLY GRAPHICAL SYMBOLS

<ul style="list-style-type: none"> <li>Option scope</li> <li>Pára Steam</li> <li>Pára přehřátá Live steam</li> <li>Pára přehřátá Reheat steam</li> <li>Pára vratná Cold reheat steam</li> <li>Pára protitlaká Back pressure steam</li> <li>Pára upěrková Gland steam</li> <li>Pára komínková Vent steam</li> <li>Pára NT LP steam</li> <li>Parovzdušná směs Steam-air mixture</li> <li>Mimo rozsah dodávky Out of scope of supply</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>DSPW</li> <li>Voda chladicí Cooling water</li> <li>Voda chladicí KČK Cooling water CCS</li> <li>Voda napájecí Feed water</li> <li>Voda oběhová District water</li> <li>Vzduch Air</li> <li>Signál Signal</li> <li>Mimo rozsah dodávky Out of scope of supply</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vodík Hydrogen</li> <li>CO2 Carbon dioxide</li> <li>Oil olej močací Lubrication oil</li> <li>Oil olej regulační Control oil</li> <li>Oil olej rozvodový Pressure oil</li> <li>Oil olej zvedací Jacking oil</li> <li>Oil olejové páry Oil vapour</li> <li>Oil olejový kal Sludge drain oil</li> <li>Mimo rozsah dodávky Out of scope of supply</li> <li>Napojení potrubí Connection of pipeline</li> <li>Křížení potrubí Crossing of pipeline</li> <li>Hranice KKS Terminal of KKS</li> <li>Hranice vlní KKS Terminal of BR of KKS</li> </ul>																																																																													
<table border="1"> <tr> <th>Pohon Actuator</th> <td>Ruční Hand/lever</td> <td>Elektronický Electric</td> <td>Elektromagnet Electromagnet</td> <td>Hydraulický Hydraulic</td> <td>Pneumatický Pneumatic piston</td> <td>Pneumatický membr. Pneumatic diaphragm</td> <td>Membránový impulzní Membr. Spring loaded</td> <td>Průžkový Spring loaded with impulse</td> </tr> <tr> <th>Funkce Function</th> <td>Ventil uzavírací Globe valve</td> <td>Ventil rychlozavírací Quick stop valve</td> <td>Ventil regulační Control valve</td> <td>Ventil pojistný Safety valve</td> <td>Ventil zpětný(á) Check valve</td> <td>Ventil redukční Pressure reducing valve</td> <td>Parní turbína Steam Turbine</td> <td>Generátor Generator</td> </tr> <tr> <th>Připojení Connection</th> <td>Přibavě Flange</td> <td>Přívodní [S]-vevložení [S]-socket</td> <td>Mezivrátové [L]-Luž Water [L]-Lug</td> <td>Nátrubkové Screw-end</td> <td>Čepové Thread-end</td> <td>Se šroubením Screw coupling</td> <td>Hrdlové Neck type</td> <td>Hlavní povrchový kondenzátor Main Surface Condenser</td> </tr> <tr> <th>Směr proudění Flow direction</th> <td>přímý(á) Direct</td> <td>návratný(á) Inverted</td> <td>trojcestný Three-way</td> <td>čtyřcestný Multi-way</td> <td>ve vakuu In vacuum</td> <td>se zábrusím With flooded seat</td> <td>s obíkem With bypass</td> <td>Kondenzátor paroproudě vývěhy Jet Steam Ejector Condenser</td> </tr> </table>	Pohon Actuator	Ruční Hand/lever	Elektronický Electric	Elektromagnet Electromagnet	Hydraulický Hydraulic	Pneumatický Pneumatic piston	Pneumatický membr. Pneumatic diaphragm	Membránový impulzní Membr. Spring loaded	Průžkový Spring loaded with impulse	Funkce Function	Ventil uzavírací Globe valve	Ventil rychlozavírací Quick stop valve	Ventil regulační Control valve	Ventil pojistný Safety valve	Ventil zpětný(á) Check valve	Ventil redukční Pressure reducing valve	Parní turbína Steam Turbine	Generátor Generator	Připojení Connection	Přibavě Flange	Přívodní [S]-vevložení [S]-socket	Mezivrátové [L]-Luž Water [L]-Lug	Nátrubkové Screw-end	Čepové Thread-end	Se šroubením Screw coupling	Hrdlové Neck type	Hlavní povrchový kondenzátor Main Surface Condenser	Směr proudění Flow direction	přímý(á) Direct	návratný(á) Inverted	trojcestný Three-way	čtyřcestný Multi-way	ve vakuu In vacuum	se zábrusím With flooded seat	s obíkem With bypass	Kondenzátor paroproudě vývěhy Jet Steam Ejector Condenser	<table border="1"> <tr> <td>Ventil uzavírací Globe valve</td> <td>Šoupátko uzavírací Gate valve</td> <td>Kohout kulový uzavírací Ball valve</td> <td>Ventil membránový uzavírací Diaphragm Valves</td> <td>Klapka uzavírací Butterfly valve</td> <td>Klapka zpětný(á) Check flap</td> <td>Ventil zpětný(á) uzavírací Shut-off check valve</td> <td>Ventil za odvzdušňovací Air Breathing Valve</td> <td>Ventil zpětný s aut.přep. Vertical lift check valve with aut.relief</td> <td>Ventil bypasový+svázání Bypass-valve with spring</td> <td>Odvadňovač Steam trap</td> <td>Odvadňovač plovákový Steam float trap</td> <td>Kompenzátor Compensator</td> <td>Kompenzátor vlnový Compensator – bellows</td> </tr> <tr> <td>Přehledňko Sight glass</td> <td>Tlakový zámek Pressure locker</td> <td>Svížovač-vstřík Steam desuperheater</td> <td>Filter</td> <td>Tlumič hluku Noise reducer</td> <td>Reduktor Pressure reducer</td> <td>Pojistná membrána Safety diaphragm</td> <td>Síta rušiče vakuu Strainer of vacuum breaker</td> <td>Rýchlospojka Quick-acting coupling</td> <td>Clona omezovací Orifice</td> <td>Měření průtoku Flow measure</td> <td>Clona měřicí Measuring orifice</td> <td>Dýza měřicí Measuring jet/tube</td> <td>Venturové trubice měřicí Venturi tube measuring</td> </tr> <tr> <td>Měření místní Local measurement</td> <td>Měření analogové / binární Analog / Binary measurement</td> <td>Měření garanční Guarantee Measurement</td> <td>Hranice rozsahu zařízení, SKID Border of equipment scope, SKID</td> <td>Odsádkové čerpadlo Centrifugal pump</td> <td>Ventilátor Fan</td> <td>Vodokružná vývěva Water Ring Vacuum Pumps</td> <td>Para / voda proudě vývěva Jet steam / water ejector</td> <td>Elektrický pohon Electric drive</td> <td>Chladicí věž Cooling tower</td> <td>Napájecí nádrž Feed Water Storage Tank</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Ventil uzavírací Globe valve	Šoupátko uzavírací Gate valve	Kohout kulový uzavírací Ball valve	Ventil membránový uzavírací Diaphragm Valves	Klapka uzavírací Butterfly valve	Klapka zpětný(á) Check flap	Ventil zpětný(á) uzavírací Shut-off check valve	Ventil za odvzdušňovací Air Breathing Valve	Ventil zpětný s aut.přep. Vertical lift check valve with aut.relief	Ventil bypasový+svázání Bypass-valve with spring	Odvadňovač Steam trap	Odvadňovač plovákový Steam float trap	Kompenzátor Compensator	Kompenzátor vlnový Compensator – bellows	Přehledňko Sight glass	Tlakový zámek Pressure locker	Svížovač-vstřík Steam desuperheater	Filter	Tlumič hluku Noise reducer	Reduktor Pressure reducer	Pojistná membrána Safety diaphragm	Síta rušiče vakuu Strainer of vacuum breaker	Rýchlospojka Quick-acting coupling	Clona omezovací Orifice	Měření průtoku Flow measure	Clona měřicí Measuring orifice	Dýza měřicí Measuring jet/tube	Venturové trubice měřicí Venturi tube measuring	Měření místní Local measurement	Měření analogové / binární Analog / Binary measurement	Měření garanční Guarantee Measurement	Hranice rozsahu zařízení, SKID Border of equipment scope, SKID	Odsádkové čerpadlo Centrifugal pump	Ventilátor Fan	Vodokružná vývěva Water Ring Vacuum Pumps	Para / voda proudě vývěva Jet steam / water ejector	Elektrický pohon Electric drive	Chladicí věž Cooling tower	Napájecí nádrž Feed Water Storage Tank			
Pohon Actuator	Ruční Hand/lever	Elektronický Electric	Elektromagnet Electromagnet	Hydraulický Hydraulic	Pneumatický Pneumatic piston	Pneumatický membr. Pneumatic diaphragm	Membránový impulzní Membr. Spring loaded	Průžkový Spring loaded with impulse																																																																							
Funkce Function	Ventil uzavírací Globe valve	Ventil rychlozavírací Quick stop valve	Ventil regulační Control valve	Ventil pojistný Safety valve	Ventil zpětný(á) Check valve	Ventil redukční Pressure reducing valve	Parní turbína Steam Turbine	Generátor Generator																																																																							
Připojení Connection	Přibavě Flange	Přívodní [S]-vevložení [S]-socket	Mezivrátové [L]-Luž Water [L]-Lug	Nátrubkové Screw-end	Čepové Thread-end	Se šroubením Screw coupling	Hrdlové Neck type	Hlavní povrchový kondenzátor Main Surface Condenser																																																																							
Směr proudění Flow direction	přímý(á) Direct	návratný(á) Inverted	trojcestný Three-way	čtyřcestný Multi-way	ve vakuu In vacuum	se zábrusím With flooded seat	s obíkem With bypass	Kondenzátor paroproudě vývěhy Jet Steam Ejector Condenser																																																																							
Ventil uzavírací Globe valve	Šoupátko uzavírací Gate valve	Kohout kulový uzavírací Ball valve	Ventil membránový uzavírací Diaphragm Valves	Klapka uzavírací Butterfly valve	Klapka zpětný(á) Check flap	Ventil zpětný(á) uzavírací Shut-off check valve	Ventil za odvzdušňovací Air Breathing Valve	Ventil zpětný s aut.přep. Vertical lift check valve with aut.relief	Ventil bypasový+svázání Bypass-valve with spring	Odvadňovač Steam trap	Odvadňovač plovákový Steam float trap	Kompenzátor Compensator	Kompenzátor vlnový Compensator – bellows																																																																		
Přehledňko Sight glass	Tlakový zámek Pressure locker	Svížovač-vstřík Steam desuperheater	Filter	Tlumič hluku Noise reducer	Reduktor Pressure reducer	Pojistná membrána Safety diaphragm	Síta rušiče vakuu Strainer of vacuum breaker	Rýchlospojka Quick-acting coupling	Clona omezovací Orifice	Měření průtoku Flow measure	Clona měřicí Measuring orifice	Dýza měřicí Measuring jet/tube	Venturové trubice měřicí Venturi tube measuring																																																																		
Měření místní Local measurement	Měření analogové / binární Analog / Binary measurement	Měření garanční Guarantee Measurement	Hranice rozsahu zařízení, SKID Border of equipment scope, SKID	Odsádkové čerpadlo Centrifugal pump	Ventilátor Fan	Vodokružná vývěva Water Ring Vacuum Pumps	Para / voda proudě vývěva Jet steam / water ejector	Elektrický pohon Electric drive	Chladicí věž Cooling tower	Napájecí nádrž Feed Water Storage Tank																																																																					

Popis změny Nature of Revision		Vypracoval Elaborated by	Kontroloval Checked by	Schválil Approved by	HIP Chief Engineer	a Rev.
Měřítko/Scale N	Projekt/Project	<b>Diplomová práce</b>				
	Název dokumentu/Document title	<b>Schéma pára-voda P&amp;ID Steam-water</b>				<b>DOOSAN Škoda Power</b>
Číslo projektu Project No.	Stupeň dokumentace Design Stage	Skup. dok. Doc. Group	Vypracoval Elaborated by	Kontroloval Checked by	Schválil Approved by	HIP Chief Engineer
Elektronický soubor / Electronic file: -						List.č.: 1 Sheet No.: 1
Č. dokumentu projektu / Project Doc. No.: -						0
Č. dokumentu autora / Originator Doc. No.: -						0
Č. balíku SPWR-Archivní / Archive package No.: X						Rev.