

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T001 Dopravní a manipulační technika

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh smyčky pro validaci solární elektrárny s průběžnými parabolickými zrcadly

Autor: **Bc. Jaroslav MATOUŠEK**
Vedoucí práce: **Ing. Roman ČERMÁK, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslav MATOUŠEK**
Osobní číslo: **S18N0053K**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Návrh smyčky pro validaci solární elektrárny s průběžnými parabolickými zrcadly**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Úkolem práce je navrhnout experimentální smyčku pro validaci funkce solární elektrárny s průběžnými parabolickými zrcadly s pasivní cirkulací pracovního média. Konverze absorbované tepelné energie na elektrickou bude zajištěna motorem s vnějším přívodem tepla se speciálně navrženým tepelným výměníkem. Jednotlivé funkční prvky zařízení budou spojeny potrubním systémem s možností akumulace energie v tepelném zásobníku.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Teoretický rozbor úlohy
3. Konstrukční návrh
4. Zhodnocení nového řešení
5. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra 1. Praha: Computer Press, 1999

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra 2. Praha: Computer Press, 2000

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Čermák, Ph.D.**

Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Tomáš Trojan**


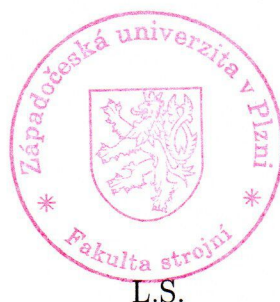
ŠKODA JS a.s.

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2019**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Věra Lášová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 16. října 2018

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

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Matoušek	Jméno Jaroslav		
STUDIJNÍ OBOR	2301T001 - Dopravní a manipulační technika			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Čermák, Ph.D.	Jméno Roman		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Návrh smyčky pro validaci solární elektrárny s průběžnými parabolickými zrcadly			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	45	TEXTOVÁ ČÁST	40	GRAFICKÁ ČÁST	5
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce se zabývá návrhem experimentálního zařízení na ověření funkčních principů a komponent pro výrobu elektrické energie pomocí koncentrace solární energie průběžnými parabolickými zrcadly, kde je tepelná energie předávána tekutému kovu zajišťujícímu akumulaci a přenos energie do konverzní jednotky přeměňující tepelnou energii na elektrickou.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Koncentrovaná solární energie, průběžná parabolická zrcadla, akumulace tepelné energie, CSP</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Matoušek	Name Jaroslav	
FIELD OF STUDY	2301T001 - Transport and handling machinery		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Čermák, Ph.D.	Name Roman	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of the loop for validation of the solar power station with parabolic trough mirrors.		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	45	TEXT PART	40	GRAPHICAL PART	5
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This diploma thesis deals with the design of an experimental apparatus for verification of functional principles and components for the production of electric energy by the concentration of solar energy, which is utilized by parabolic mirrors. The thermal energy is converted to the liquid metal, which ensures the accumulation and transfer of thermal energy into the conversion unit, which perform transformation of the thermal energy into the electricity.
KEY WORDS	Concentrated solar energy, parabolic through mirror, heat energy accumulation

Obsah

<i>Přehled použitých zkratk a symbolů</i>	3
1 Zadání	4
1.1 <i>Výchozí situace</i>	4
1.2 <i>Cíl</i>	4
1.3 <i>Zadání problému</i>	4
2 Návrh technického systému	5
I. <i>Rozpracování a zpřesnění problému</i>	5
i. <i>Vyjasnění problematiky</i>	5
ia. <i>Průzkum stavu techniky</i>	5
ii. <i>Historie technického využití koncentrované solární energie</i>	5
iib. <i>Výroba elektrické energie prostřednictvím solární energie</i>	6
iic. <i>Obecné faktory ovlivňující účinnost solárně-tepelných technologií</i>	8
<i>Osvit</i>	8
<i>Úhel dopadu</i>	8
<i>Mocnost atmosféry</i>	9
<i>Nadmořská výška</i>	9
<i>Zeměpisná šířka</i>	9
<i>Sklon Zemské osy</i>	9
<i>Čas</i>	9
<i>Sledování pohybu slunce</i>	10
<i>Dostupnost solární energie</i>	10
iid. <i>Hlavní principy elektráren koncentrace solární energie</i>	11
2.1.1.1 <i>Elektrárny s průběžným parabolickým koncentrátorem</i>	11
2.1.1.2 <i>Elektrárny s paraboloidním koncentrátorem</i>	13
2.1.1.3 <i>Sluneční věže pro výrobu elektrické energie</i>	15
ii. <i>Studie proveditelnosti</i>	16
iii. <i>Vyjasnění zadaného problému</i>	16
2.2 <i>Specifikace požadavků na zařízení</i>	16
3 Konstrukční návrh.....	17
3.1 <i>Umělý zdroj záření</i>	17
3.1.1 <i>Zdroj záření a usměrňující zařízení</i>	17
3.1.2 <i>Nosná konstrukce</i>	18
3.2 <i>Koncentrátor energie</i>	18
3.2.1 <i>Nosné konzoly</i>	19

3.2.2	Konstrukce odrazivé plochy koncentrátoru	19
3.2.3	Absorpční trubice.....	19
3.3	<i>Smyčka s pasivní cirkulací.....</i>	21
3.3.1	Hlavní potrubí smyčky.....	21
3.3.2	Regulační ventil	22
3.3.3	Kompenzátory vibrační konverzní jednotky.....	23
3.3.4	Expanzní nádoba.....	23
3.3.5	Systém organizovaných úniků plynů	24
3.3.6	Elektrický ohřev potrubí.....	25
3.3.7	Sekundární elektrický ohřev.....	25
3.3.8	Měření průtoku pracovního média	25
3.4	<i>Zásobní nádrž.....</i>	26
3.4.1	Zásobní nádrž	26
3.5	<i>Systém pro konverzi tepelné energie</i>	27
3.5.1	Soustrojí stirlingova motoru a generátoru elektrické energie.....	28
3.5.1.1	Popis základních vlastností stirlingova motoru	28
3.5.2	Tepelný výměník Pb-Bi – He.....	29
3.5.2.1	Výpočet vlastní frekvence tepelného výměníku Pb-Bi – He.....	30
3.5.3	Základový rám s pomocným technickým zařízením	35
3.5.4	Chlazení energetické konverzní jednotky	35
3.5.5	Rozhraní kontrolního a řídicího systému konverzní jednotky	35
3.6	<i>Zásobník tepelné energie.....</i>	36
3.6.1	Zásobník tepelné energie	36
3.7	<i>Pomocné konstrukce</i>	37
3.7.1	Servisní plošina se záchytnou vanou	38
3.7.2	Záchytné vany úniku z kompenzátorů	38
3.7.3	Přístup na plošinu	38
3.7.4	Podpěrná konstrukce zásobníku energie.....	39
3.7.5	Podpěrná konstrukce zásobní nádrže.....	39
3.7.6	Komínové chlazení.....	39
3.8	<i>Tepelná izolace</i>	40
3.8.1	Návrh tepelné izolace	40
4	Zhodnocení řešení	41
5	Závěr	42
6	Použité zdroje.....	43

Seznam použitého software.....	44
Seznam příloh.....	44

Přehled použitých zkratk a symbolů

Pb	Olovo
Bi	Bismut
KSE	Koncentrovaná solární energie
CSP	Concentrated solar power
Cermet	Kompozitní materiál (povrch) vyrobený slinováním směsi prášků kovů a pokročilé keramiky
Eutektikum	Slitina s takovým poměrem jejích složek, při kterém je teplota tavení směsi nejnižší.

1 Zadání

1.1 Výchozí situace

Experimentální zařízení pro simulaci elektrárny koncentrované solární energie pracuje na principu koncentrace paprsků energie z jejího zdroje do absorpční plochy ohřívaného členu. Získaná energie je z absorpčního členu vedena pomocí pracovního média cirkulačním potrubím do místa umístění jednotky pro konverzi tepelné energie na energii mechanickou a poté elektrickou. Odebrání tepelné energie pracovnímu médiu způsobí snížení jeho teploty a zvýšení hustoty. Rozdíl hustot pracovního média ve vzestupné a vratné větvi cirkulačního potrubí způsobí jeho pasivní cirkulaci. V době přebytku elektrické energie v rozvodné síti je tepelná energie akumulována v zásobníku energie a uložena pro pozdější využití. Zásobník energie je s cirkulačním potrubím spojen bypassem s ventily regulujícími průtok.

Hlavními součástmi zařízení jsou potrubní smyčka s pasivní cirkulací pracovního média, umělý zdroj záření, koncentrátor energie, absorpční trubice, energetická konverzní jednotka, akumulátor tepelné energie, zásobní nádrž a obslužné ocelové konstrukce. Zařízení je dále vybaveno modelovou součástí pro další využití zpracované energie, elektrickým generátorem. Cirkulační smyčka je naplněna eutektickou slitinou Pb-Bi o teplotě tavení 132°C. Maximální projektovaná pracovní teplota pracovního média je 500°C. Akumulátor tepelné energie je naplněn olovem.

1.2 Cíl

Cílem je navrhnout experimentální zařízení splňující zadané parametry, sloužícímu ke studiu dynamického chování a efektivity komponent pro koncentrované solární elektrárny a vývoji těchto komponent.

1.3 Zadání problému

Navrhované experimentální zařízení smyčky koncentrované solární energie se skládá z následujících technologických systémů a komponent:

- Umělý zdroj záření
- Koncentrátor energie
- Potrubní smyčka s pasivní cirkulací
- Zásobní nádrž pracovního média
- Systém pro konverzi tepelné energie
- Zásobník tepelné energie
- Podlaha pod experimentální smyčku
- Plynový systém pro udržování koncentrace kyslíku v okruhu
- Systém organizovaných úniků plynů
- Systém pro řízení a sběr dat
- Tepelná izolace

2 Návrh technického systému

I. Rozpracování a zpřesnění problému

i. Vyjasnění problematiky

ia. *Průzkum stavu techniky*

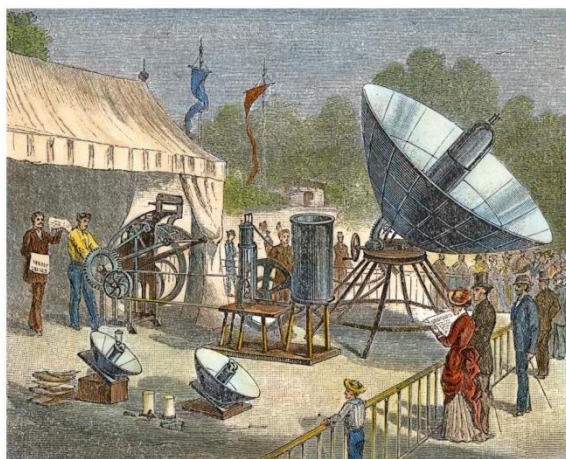
Vlastnímu řešení návrhu experimentálního zařízení pro simulaci elektrárny koncentrované solární energie předchází rešerše mapující historický vývoj využití solární energie od technického využívání tepelné energie, až po její konverzi na kvalitativně vyšší formy energie jako je energie kinetická a elektrická. Ústředním účelem technické rešerše je předvedení současných hlavních koncepcí elektráren koncentrované solární energie s popisem jejich charakteristických vlastností.

ii. *Historie technického využití koncentrované solární energie*

První zmínky o použití zrcadel pro koncentrování slunečních paprsků pocházejí již ze starověku. První koncentrátoři byli složené z desek nebo tvořili dutou polokouli z leštěných kovů. S rozvojem matematiky a geometrie ve starověkém Řecku ve 3. století př. n. l. bylo matematikem Dositheusem poprvé dokázáno, že sluneční paprsky dopadající na parabolickou plochu jsou koncentrovány téměř do jednoho bodu. Protože je solární energie koncentrována parabolickým zrcadlem do menší oblasti, než pomocí kulového zrcadla shodného rozměru, dosahuje se v ohnisku mnohem vyšších teplot. Koncentrující zrcadla sloužila k rituálnímu zapalování ohňů. Síla koncentrovaných slunečních paprsků podněcovala představivost stratégů o možném vojenském využití této technologie, avšak vzhledem k rozměrům a praktickým omezením nebyla v boji nikdy úspěšně nasazena. Lidstvo využívalo energii slunce i jinými technickými způsoby, například přizpůsobením architektury domů a měst pro snížení nákladů na vytápění budov nebo vytvořením ke slunci nakloněných zdí pro pěstování plodin, čímž bylo dosaženo zvýšení intenzity dopadajícího záření a tím i většího výnosu úrody.



Obrázek 1 - Rituální zapálení olympijského ohně pomocí soustředěných slunečních paprsků [5]



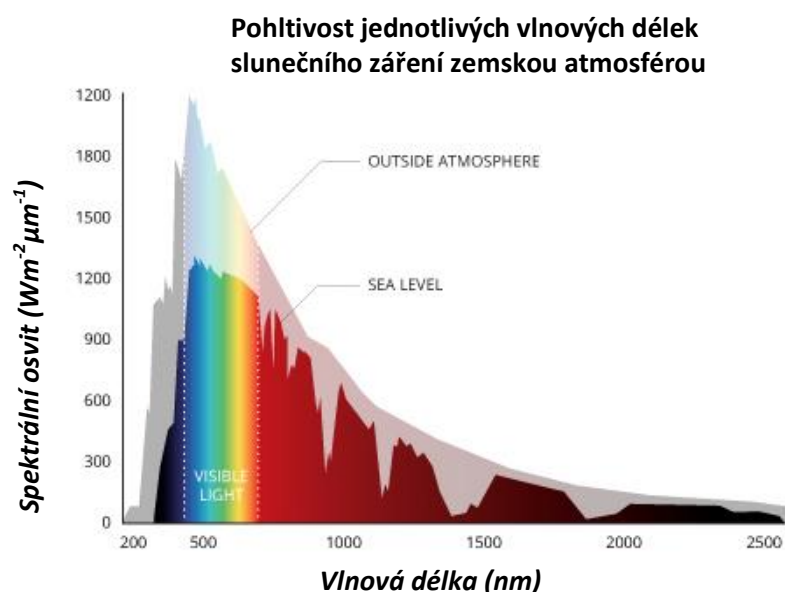
Obrázek 2 – Knihtisk Abela Pifrea poháněný sluneční energií (1880) [6]

Až do 19. století byla koncentrovaná solární energie využívána k různým specifickým účelům, avšak téměř výhradně se jednalo o unikátní zařízení. V průběhu průmyslové revoluce se hledaly další způsoby jak zajistit dostatek páry pro pohon parních strojů. Navzdory úspěšnému zkonstruování solárního motoru se tato technologie pro svůj malý výkon vzhledem k velikosti zařízení nerozšířila. Typický průmyslový parní stroj této doby dosahoval výkonu 100 koňských sil. Solární motor ekvivalentního výkonu by musel být složen z mnoha absorpčních zařízení a vyvíječů páry, jejichž plocha by zaujímala přibližně 9000 m². První solární motory byli s výhodou používáni pro čerpání vody, k čemuž však nebyl zapotřebí tak velký výkon. S rozvojem levné energie z fosilních zdrojů a se vznikem jaderné energetiky v druhé polovině 20. století souvisí malé rozšíření technologií koncentrované solární energie v tomto období. S rostoucím tlakem na udržitelnost a zájmem o životní prostředí se tyto technologie na poli energetiky postupně začínají uplatňovat od konce 20. století. Slunce může sloužit jako praktický a výhodný zdroj energie pro zajištění potřeb civilizace i po vyčerpání zásob fosilních paliv. Se vzrůstem cen paliv konvenčních elektráren vzroste i podíl obnovitelných zdrojů energie, mezi které ta solární neodmyslitelně patří.

ii.b. Výroba elektrické energie prostřednictvím solární energie

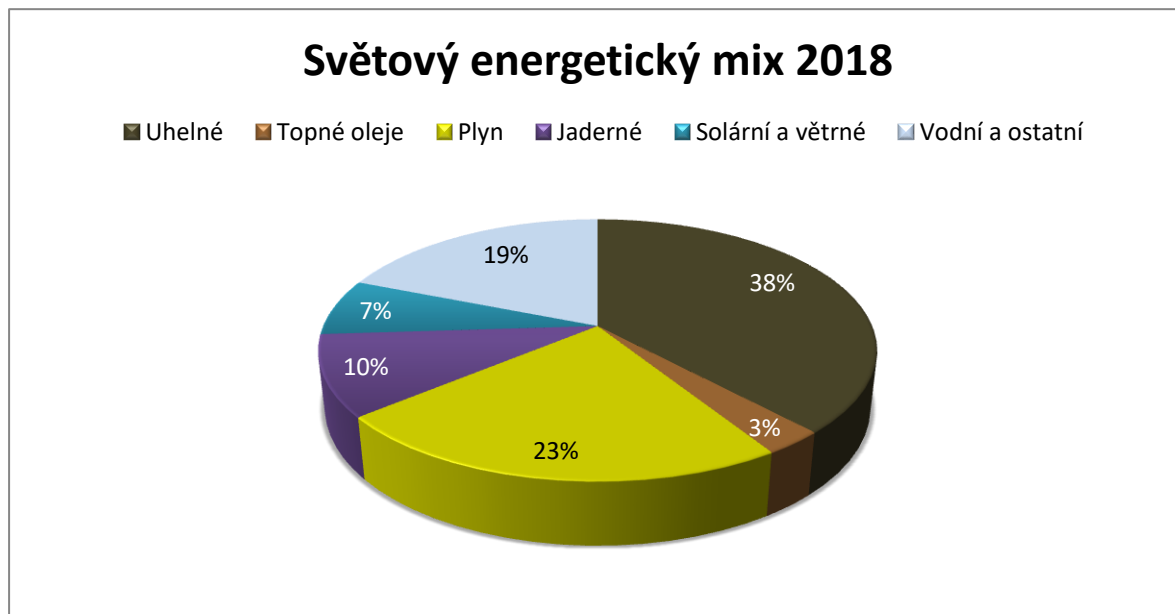
Definice solární energie

Solární energie je elektromagnetické záření pocházející ze slunce jako výsledek termojaderné fúze. Poskytuje Zemi světlo, teplo a energii pro fotosyntézu rostlin. Pro technologii koncentrované solární energie jsou využitelné tři pásma elektromagnetického záření ze slunce: ultrafialové záření, viditelné světlo a záření v infračerveném spektru. Zemského povrchu vlivem pohltivosti atmosféry dosáhne pouze část z celkového slunečního výkonu, který přísluší vzdálenosti Země a Slunce. Nejvíce je v atmosféře pohlceno UVC, UVB a UVA záření. Celkové množství dopadající solární energie na povrch (0 m n.m) je složeno z 49,4% infračerveného záření, z 42,3% viditelného světla a z 8,3% ultrafialového záření.



Obrázek 1 – Pohltivost záření atmosférou [7]

Jestliže je kolmý průmět Země přibližně roven ploše 127 400 000 km² potom Slunce ozařuje Zemi průměrným výkonem 173 000 TW. Jedná se o průměrnou hodnotu. Velikost okamžitého výkonu dopadajícího na Zemi je závislá na proměnné vzdálenosti Země a Slunce a na slunečním cyklu, Sluneční cyklus má však na Zemi minoritní vliv, představuje kolísání přibližně 1 [W/m²] [8]. Pro srovnání je možné použít celkovou spotřebu elektrické energie v roce 2018, která činila 26700 [TWh] [9]. Srovnatelné množství sluneční energie tedy dopadne na zemský povrch přibližně každých 10 minut. Jediným omezením tohoto zdroje energie je schopnost přeměnit tuto energii na elektrickou technicky i ekonomicky výhodným způsobem.



Obrázek 2 – Světový energetický mix výroby elektrické energie v roce 2018 [9]

Transformace sluneční energie na elektrickou

Pro transformaci sluneční energie na elektrickou existují dva hlavní principy: fotovoltaický a solárně-tepelné technologie. Samotná výroba elektrické energie ze sluneční již neprodukuje žádné skleníkové plyny nebo jiné odpady. Z tohoto důvodu je sluneční energie klíčovým zdrojem k získávání elektřiny čistým způsobem.

Fotovoltaické systémy pohlcují vysokofrekvenční záření slunečního spektra jako je ultrafialové záření a viditelné světlo na poli polovodičů, které přímo mění tato záření na elektrickou energii. Jestliže sluneční záření dopadne na fotovoltaický článek, chemická reakce uvolní elektron způsobující elektrický proud. Tato technologie byla původně vyvinuta pro vesmírný program, jelikož ve vesmírných podmínkách tato technologie produkuje stálý zdroj energie. Tomuto principu se vlastní diplomová práce dále nevěnuje.

Solárně-tepelné technologie jsou principiálně tradičními způsoby výroby elektrické energie, kde je jako zdroj tepla použita sluneční energie. Hlavní koncepcí je použití koncentrované sluneční energie k tvorbě páry, která poté pohání parní turbínu s připojeným elektro generátorem.

Je možné použít i jiná média než je vodní pára. Jako pracovní médium, tedy prostředek přenášející tepelnou energii, je možné použít vodní páru, vodu, minerální oleje, roztavené soli nebo i roztavené kovy. Tyto systémy využívají ke své činnosti i infračervené záření, ve kterém je obsaženo nejvíce celkové dopadající energie.

ii.c. Obecné faktory ovlivňující účinnost solárně-tepelných technologií

Osvit

Celkový sluneční osvit je definován jako množství sálavé energie vyzářené Sluncem ve všech vlnových délkách dopadající každým okamžikem kolmo na plochu 1 m^2 ve výšce dosahující vnější atmosféry Země. Tato veličina je téměř konstantní a nazývá se sluneční konstantou, jejíž hodnota je přibližně 1367 W/m^2 [4]. Celková velikost sluneční energie, která skutečně projde atmosférou a dopadne na dané místo na zemském povrchu za daný časový okamžik je závislá na zeměpisné šířce, nadmořské výšce, ročnímu období a aktuálnímu počasí. Když je Slunce v nadhlavníku, tak je osvit zemského povrchu největší a jeho výkon je přibližně 1000 W/m^2 .

Úhel dopadu

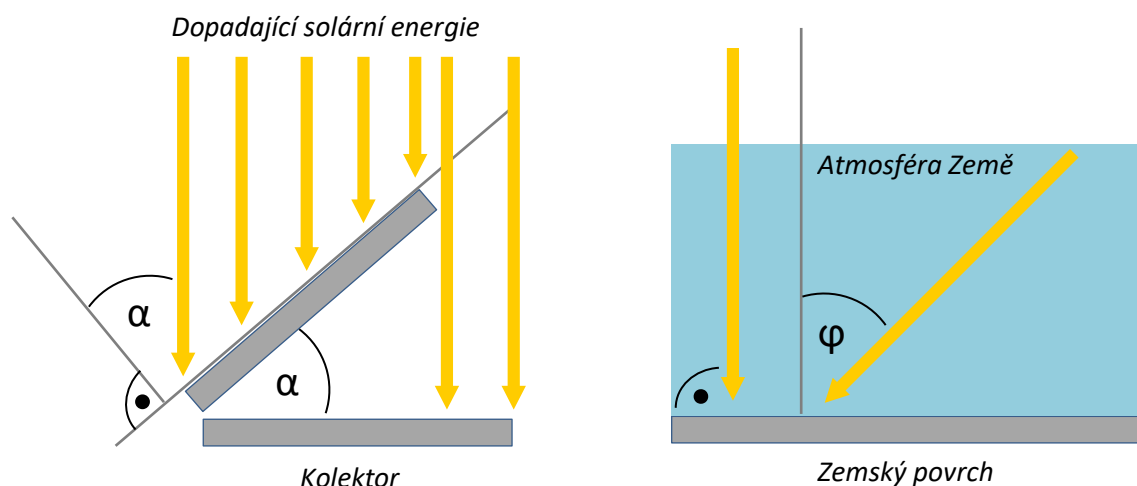
Množství energie dopadající na plochu solárního kolektoru či jiného zařízení pro koncentraci solární energie, je přímo úměrná ploše kolmého průmětu slunečních paprsků na ní dopadajících. Pro optimální zachycení energie musí být kolektor nastaven do kolmé polohy vůči dopadajícímu záření. Pro rovinnou desku umístěnou rovnoběžně se zemským povrchem nastává tato ideální varianta pouze v případě, že je Slunce v nadhlavníku. Bohužel pokud se zařízení nenachází na rovníku, tato ideální varianta nikdy nenastane. Tuto zákonitost je nutné brát při návrhu zařízení v úvahu a konstruovat jej tak, aby byla absorpční plocha byla co nejkolmější k dopadajícímu záření.

Pokud sluneční paprsky nedopadají kolmo na kolektor, potom se úhel dopadu rovná $(90^\circ - \Theta)$ a tím je efektivní plocha kolektoru je zmenšena velikost $A_{ef} = A_{kol} \cdot \cos \alpha$

Kde: A_{ef} – efektivní plocha kolektoru

A_{kol} – skutečná plocha kolektoru

α – odchylka záření od kolmého směru



Mocnost atmosféry

Mocnost vzduchu je bezrozměrná veličina, která je definována jako poměr skutečné vzdálenosti průchodu slunečních paprsků atmosférou a svislou vzdáleností měřenou do úrovně moře. Jestliže sluneční záření není kolmo orientováno k Zemi, dráha slunečních paprsků ke kolektoru je větší a tedy i větší množství slunečního záření bude atmosférou absorbováno. Množství energie dopadající na kolektor je zmenšeno na hodnotu $1/\cos\phi$, kde ϕ je úhlová odchylka směru slunečního záření od vertikální osy.

Někdy je tento úhel nazýván jako úhel slunečního zenitu. Tento a další související pojmy jsou definovány normou ČSN EN ISO 9488. Pohltivost mocnosti atmosféry má zásadní vliv na efektivitu využití solární energie, neboť v případě umístění technologie v zeměpisných šířkách poblíž pólů, bude i v případě kolmého dopadu slunečních paprsků na kolektor množství dopadající energie malé.

Nadmořská výška

Osvit narůstá s nadmořskou výškou, neboť sluneční záření prochází menší mocností atmosféry a tudíž je velikost absorbované sluneční energie menší.

Zeměpisná šířka

Solární kolektor položený na zemském povrchu bude maximálně osvětlen pouze v případě, že je Slunce v nadhlavníku. Země přibližně tvoří tvar koule a tedy úhel mezi rovinou zemského povrchu a směrem dopadajícího záření se bude se vzrůstající zeměpisnou šířkou zmenšovat z 90° na rovníku až na 0° na zemských pólech. Hodnota osvitu kolektoru bude postupně se snižujícím se úhlem dopadu záření klesat. Tomuto snížení efektivity absorpce sluneční energie je možné zcela předejít skloněním kolektoru o shodný úhel (na severní polokouli směrem na jih a naopak), jaký svírají dopadající paprsky se zemským povrchem. S touto korekcí budou sluneční paprsky dopadat na kolektor kolmo. Je třeba brát potaz magnetickou deklinaci, tedy rozdílnost magnetického a geografického umístění pólů.

Sklon Zemské osy

Rotační osa Země je skloněna o $23,45^\circ$ od roviny své oběžné dráhy okolo Slunce. Tento sklon je možné uvažovat jako konstantní. Stálý sklon zemské osy určuje délku dne a střídání ročních období. Ze Země se jeví, že osa se naklání tam a zpět a souvisí s úhlovou pozicí Slunce ve své nejvyšší poloze a pozorovanému rovině na povrchu rovníku. Tento úhel je nazýván sluneční deklinace. Výsledkem sklánění zemské osy dochází ke kolísání hodnoty osvitu během roku z důvodů změny úhlu dopadu, změny mocnosti atmosféry a změny délky dne.

Čas

Slunce jako zdroj energie je ve srovnání s ostatními obnovitelnými zdroji mnohem více předvídatelné. Jako jediný proměnný faktor působí zastínění oblačností, kterému je však do značné míry předejít vhodným umístěním technologie do míst s vzácnou přítomností oblačností. Energie ze Slunce je dostupná během dne, kdy je její spotřeba obvykle nejvyšší. Množství sluneční energie charakterizují dvě závislosti, denní a roční cyklus, které vycházejí z výše popsaných faktorů. Každá technologie určená na koncentraci a využití sluneční energie musí tyto ovlivňující faktory brát v potaz.

Nevýhodou těchto technologií je jejich závislost na denních hodinách, která však může být do značné míry odstraněna doplněním technologie o systémy akumulaci tepelné energie. Tuto energii je potom možné využít i během noci.

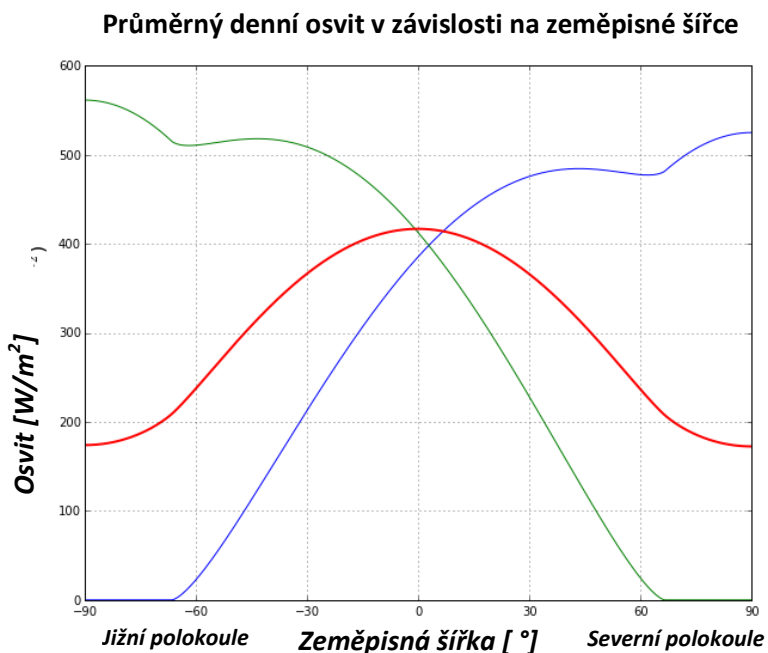
Sledování pohybu slunce

Jak již bylo naznačeno výše, množství sluneční energie zachycené kolektorem může být maximalizováno, jestliže bude kolektor následovat eliptickou dráhu Slunce po horizontu. Tímto bude vždy zajištěn kolmý dopad slunečních paprsků na kolektor. Pro dosažení tohoto efektu musí systémy zajišťující sledování pohybu Slunce sledovat jak změnu azimutu, tak i elevaci, tedy stoupání a klesání Slunce nad horizontem.

Dostupnost solární energie

Vlivem výše uvedených faktorů a střídání dne a noci je průměrný konstantní osvit plochy na povrchu Země roven přibližně 342 W/m^2 [4]. Pokud budou brány v úvahu klimatické a sezónní podmínky, skutečný průměrný konstantní osvit bude zřejmě nižší než 200 W v závislosti na geografickém umístění.

Vzhledem k variabilitě intenzity slunečního záření během dne a také změnám v délce dne je obtížné porovnávat množství sluneční energie dopadající na Zemi v různých zeměpisných šířkách. Na grafu níže je znázorněn průměrný roční osvit zemského povrchu v závislosti na zeměpisné šířce. Červenou barvou je znázorněna průměrná roční hodnota denního osvitu povrchu, zeleně je znázorněna křivka zimního slunovratu (21. prosince) a modře je křivka letního slunovratu (21. června). Z grafu vyplývá, že během polárních dnů je průměrný denní osvit povrchu dokonce větší, než je na rovníku. Tento jev je dán prodloužením délky dne, kdy je v tomto případě délka dne na pólech rovna 24 hodinám, kdežto na rovníku je délka dne i noci stejná, tedy 12 hodin.



Obrázek 3 - Průměrný osvit v závislosti na zeměpisné šířce [10]

Základní charakteristickou vlastností sluneční energie je však skutečnost, že je na jednom místě na zemském povrchu dostupná pouze během dne. Toto je zásadní nevýhoda tohoto zdroje energie. Pokud takto získanou energii chceme využívat i během noci, je nutně zapotřebí navrhnout systémy pro akumulaci sluneční energie během dne. Další nevýhodou je skutečnost, že nejvhodnější podmínky pro instalaci solárně-tepelných technologií jsou alokovány kolem rovníku, což se většinou neshoduje s místy s největšími nároky na zásobování elektrickou energií. Vedení elektrické energie na velké vzdálenosti zřejmě snižuje celkovou efektivitu takto získané energie.

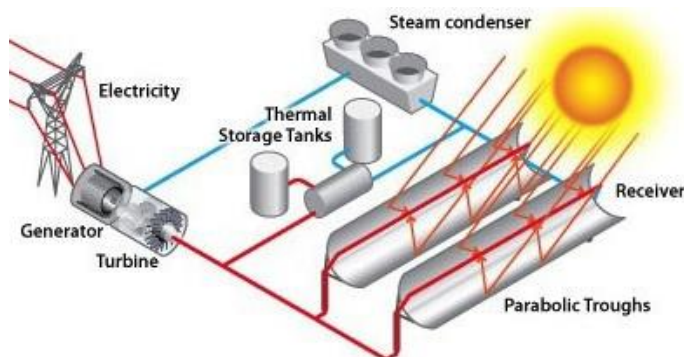
Perspektivními systémy solárně-tepelných technologií se jeví jako malé, avšak vysoce efektivní zdroje elektřiny pracující na principu koncentrované solární energie, výhodně s možností akumulace, které mohou zajišťovat zdroj energie pro části měst, infrastruktury či vzdáleným komplexům.

ii.d. Hlavní principy elektráren koncentrace solární energie

Na poli solárně-tepelných energetických zařízení existuje několik hlavních koncepcí. Vyznačují se rozdílnými způsoby koncentrace záření, absorpcí záření, typem pracovního média a způsobem využití získané tepelné energie. Jednotlivé koncepce jsou podrobněji popsány v následujících odstavcích.

2.1.1.1 Elektrárny s průběžným parabolickým koncentrátorem

Průběžný parabolický koncentrátor je sluneční kolektor navržený pro zachycení sluneční energie z velkých ploch, a následně k jejímu odrazení a koncentrování do oblasti svého ohniska, které tvoří v ideálním případě přímku. Tvar koncentrátoru musí být speciálně navržen tak, aby dopadající sluneční záření bylo odraženo do ohniska bez ohledu na to, kterou část koncentrátoru dopadne sluneční záření nejprve. Průběžné parabolické koncentrátoři tvoří tvar U, který koncentruje záření do absorpční trubice umístěné podél linie ohniska koncentrátoru. Průběžné parabolické koncentrátoři jsou tvořeny nosnou konstrukcí, na které je umístěna odrazivá, zrcadlově lesklá plocha, jejíž příčný profil kopíruje křivku paraboly.



Obrázek 6 - Schématické znázornění principu elektrárny s průběžnými parabolickými zrcadly [11]



Obrázek 7 – Průběžný parabolický koncentrátor s absorpční trubicí [12]

Parabolický průběžný koncentrátor je konstruován jako dlouhé parabolické zrcadlo z leštěného hliníku nebo se stříbrným povlakem. Koncentrátor tohoto typu může být také tvořen několika rovinnými zrcadly umístěnými podél osy koncentrátoru a směřující do jedné ohniskové linie. V takovémto případě nedochází k dokonalému koncentrování paprsků a je tedy nutné použít absorpční prvek větší šířky. Vzhledem k nevýhodám, které by přinesl velký rozměr absorpčního prvku (hmotnost, tepelné ztráty, cena) se používá několik absorpčních trubic menšího průměru umístěných vedle sebe. Tyto trubice mohou být společně umístěny v jedné evakuované obálce snižující tepelné ztráty konvekcí a kondukcí do atmosféry. Toto je největší nevýhoda této koncepce koncentrátoru, neboť i přes snahu o minimalizaci tepelných ztrát, dochází vlivem značné délky absorpčních prvků k významným ztrátám. Celková účinnost výroby elektrické energie je vlivem větších tepelných ztrát nižší než v případě koncepce s paraboloidním koncentrátozem. Všechny koncepce koncentrace solární energie sdílí však jednu negativní vlastnost a tou je jejich velmi nízká účinnost při obloze zatažené plošnou oblačností. Tato oblačnost rozptyluje rovnoběžné sluneční paprsky, a proto jejich požadované koncentrování není možné. Tato nevýhoda je do značné míry odstraněna vhodným umístěním těchto technologií do míst, kde je vznik oblačnosti ojedinělý.

Při návrhu paraboly se vychází ze skutečnosti, že směr paprsků dopadajících na koncentrátor se limitně blíží jejich vzájemné rovnoběžnosti.



Obrázek 8 – Koncentrátor složený z rovinných zrcadel (Fresnelův lineární koncentrátor) [13]



Obrázek 9 - Část absorpční trubice [14]

Pracovním médiem proudícím uvnitř absorpční trubice může být voda, vodní pára, minerální olej, roztavený kov nebo i tavenina soli. Tato média jsou seřazena vzestupně dle charakteristické teploty, kterou přenášejí do místa její konverze. Se vzrůstající teplotou roste i teoretická účinnost výroby elektrické energie. Z tohoto důvodu je snaha přecházet na vysoko tepelné aplikace této koncepce. Pracovní médium je obvykle čerpáno potrubím a absorpčními trubicemi v uzavřené smyčce. Vznikají koncepce využívající efektu samotížného proudění pracovního média, kde pro dosažení proudění pracovního média nutné čerpadlo. Tato koncepce je využita ve vlastní diplomové práci.

S horkým pracovním médiem může být nakládáno dvěma rozdílnými způsoby. Prvním z nich, který je téměř výhradně určen pro nízkoteplotní aplikace, je proudění vodní páry přímo na lopatky parní turbíny s připojeným elektrickým generátorem. Tato koncepce je výhodná z hlediska absence tepelného výměníku a použitím běžného média.

Druhým způsobem využití koncentrované energie je její předání v tepelném výměníku pracovnímu médiu stroje produkujícímu kinetickou energii, ke kterému je připojen elektrický generátor. Jako pracovní médium v okruhu pro absorpci sluneční energie je obvykle použit minerální olej, či jako v případě koncepce, s níž operuje tato diplomová práce, s roztaveným kovem. Pracovním médiem stroje na konverzi tepelné energie může být přehřátá vodní pára či v případě stirlingova motoru hélium. Princip funkce stirlingova motoru je popsán v kapitole 2.9.1.1 tohoto dokumentu.

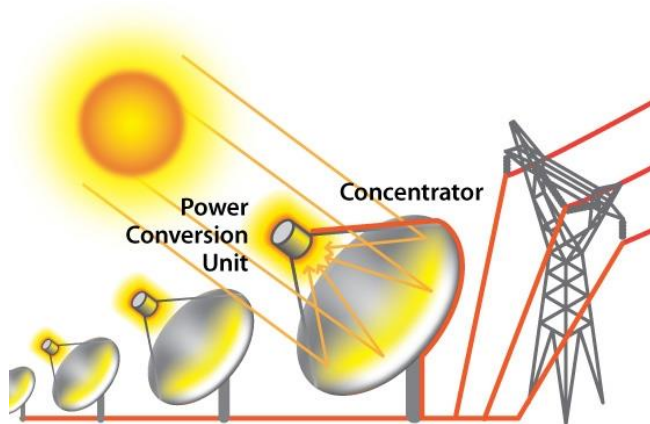
Vzhledem k pohybu Slunce vzhledem k zemskému povrchu je nutné pro maximalizaci účinnosti produkce elektřiny zajistit natáčení koncentrátoru tak, aby osa paraboly vždy směřovala ke Slunci. Parabolický koncentrátor je na rozdíl od paraboloidního natáčen pouze v jedné ose (horizontální), což snižuje náklady na systém zajišťující sledování Slunce. Osa koncentrátoru by měla být vzhledem ke geografickému pólu země umístěna severo-j jižním směrem, případně kolmo na tento směr, tedy ležet na ose východ-západ. Výhodou severo-j jižního uspořádání je nutnost malých úhlových natočení během dne. Účinnost koncentrátoru umístěného severo-j jižním směrem je však časně ráno a pozdě v podvečer výrazně snížena ostrým úhlem dopadu slunečního záření na koncentrátor. Jednotlivé koncentrátory mohou tvořit rozlehlá pole velkých zdrojů energie, nebo mohou být použity jednotlivě. Sériovým spojením více průběžných koncentrátorů může být dosaženo vyššího energetického toku, tedy vyšší teploty pracovního média. Ve velkých polích jsou však koncentrátory vzájemně spojeny sériově-paralelním způsobem, neboť ne vždy je maximalizace teploty pracovního média žádoucí.

2.1.1.2 Elektrárny s paraboloidním koncentrátorem

Paraboloidní zrcadla opticky odrážejí a koncentrují sluneční paprsky do jednoho malého bodu před vlastním kolektorem, kde se nachází tzv. solární přijmač (z angl. receiver). Takové odražeče se nazývají bodově koncentrující kolektory. Koncentrováním energie do jednoho místa je intenzita dopadajícího záření mnohonásobně zvětšena, tímto způsobem může být jednoduše dosaženo osvitů v hodnotách stovek kW/m². Celková hodnota energie v ohnisku je vzhledem ke konstrukčním omezením velikosti koncentrátoru obvykle mezi 20 až 50 kW. Záření může být v závislosti na ploše paraboloidního kolektoru a velikosti koncentrovaného bodu multiplikováno i více než tisícnásobně. V takovémto bodu může teplota povrchu tělesa v něm umístěném dosáhnout několika tisíc °C. Je proto nutné zajistit dostatečný odvod tepelné energie z tohoto místa. Na rozdíl od průběžných parabolických koncentrátorů zaujímají tyto menší plochu zástavby terénu a jsou variabilnější v možnostech jejich umístění. Stejně jako koncentrátory s průběžnými parabolickými zrcadly mohou být paraboloidní koncentrátory použity jednotlivě, anebo mohou společně tvořit rozsáhlý komplex pro velké průmyslové nasazení.

Paraboloidní koncentrátor je tvořen nosnou konstrukcí, na které jsou upevněny plechy se zrcadlově lesklým povrchem tvořícím paraboloidní tvar. Odrazivé plechy jsou vyráběny lisováním z hliníkových slitin, na jejichž povrch může být následně aplikována tenká vrstva zvyšující jejich odrazivost či odolnost proti poškození. Takto vytvořená zrcadla odrážejí přibližně 95% dopadající sluneční energie. Odrazivá plocha může být také tvořena více rovinnými zrcadly, které vzájemně tvoří přibližný tvar paraboloidu a jsou orientována do jednoho ohniska.

Takovéto řešení je výrobně levnější, zrcadla jsou snadno udržovatelná a odolná vůči extrémním okolním podmínkám, které v místech instalace těchto technologií většinou panují (pouště). V případě poškození mohou být zrcadla individuálně nahrazena. Velikost solárního přijímače a tím i intenzity energie je však dána velikostí dílčího zrcadla tak, aby byla veškerá odražená energie v přijímači pohlcena.



Obrázek 10 - Schématické znázornění principu elektrárny s paraboloidním koncentrátorem [15]



Obrázek 11 – Paraboloidní koncentrátor s energetickou konverzní jednotkou [16]

Pro zachycení solární energie je nezbytný přijímač tepelné energie, který transformuje koncentrované záření na tepelnou energii. Solární přijímač může být tvořen malou evakuovanou trubicí s trubicí s pracovním médiem uvnitř, nebo přímo tenkými kovovými trubičkami, ve kterých proudí pracovní médium. Přijímač tvořený polem vzájemně se překrývajících kovových absorpčních trubiček se používá v případě, kdy je poblíž ohniska paraboloidu umístěna energetická konverzní jednotka. Základem této konverzní jednotky je stirlingův, neboli tepelný motor, který pracuje na principu vnějšího přívodu a odvodu tepelné energie a elektrický generátor. Tento systém, kdy je v ohnisku umístěna energetická konverzní jednotka se anglicky nazývá „solar dish-engine“. V případě použití kapalného média pro přenos tepelné energie z přijímače, se vzhledem k dosahovaným teplotám používá minerální olej.

Rekord v účinnosti výroby elektrické energie s pomocí energetické konverzní jednotky a paraboloidního koncentrátoru byl stanoven na hodnotě 31,25%. Bylo toho dosaženo 13. února roku 2008 v poušti Nového Mexika [17].

2.1.1.3 Sluneční věže pro výrobu elektrické energie

Sluneční věž neboli energetická věž (z angl. Power tower) využívají ke koncentraci energie rozsáhlé pole tvořené heliostaty, které každý separátně usměřňují dopadající energii na vrchol sluneční věže. Heliostaty s vysoce odrazivým povrchem jsou pro maximalizaci účinnosti polohovány ve dvou rovinách tak, aby velikost odražené energie do věže byla vždy největší. Protože je vzdálenost heliostatu a sluneční věže velká, odrazivá plocha heliostatu je rovná, nebo pouze mírně prohnutá. Vrchol sluneční věže slouží jako přijímač, absorbér, sluneční energie. Uvnitř této věže se nachází potrubní systém, který do sluneční věže přivádí kapalné teplotnosné médium. Po ohřátí teplotnosného média na přibližně 600°C je vedeno zpět dolů a do teplotného výměníku, který vytváří vodní páru. Energie vodní páry je konvenční parní turbínou s elektrickým generátorem konvergována na energii elektrickou. Teplotnosné médium může být před předáním svého tepla vodní páře uchováváno v teplotně izolovaných zásobnících sloužících jako akumulátor teplotné energie. Takto uskladněná energie může být využita i v době bez slunečního záření a nemusí být využita během dne, kdy může díky dalším zdrojům vznikat nadprodukce elektrické energie v přenosové soustavě. Délka provozuschopnosti elektrárny se solární věží a teplotným zásobníkem je limitována pouze jeho kapacitou.

Tato technologie může být požitá na přímou výrobu vodní páry ve sluneční věži a její následné využití. Koncepce přímého generování vodní páry má však oproti koncepci s teplotnosnou kapalinou nižší účinnost vzhledem k nižšímu koeficientu přenosu tepla, který je obecně u proudících kapalin vysoký. Navíc není možné tuto energii dlouhodobě skladovat.

Vývoj v oblasti slunečních věží směřuje ke zvýšení pracovní teploty média, což vede ke zvýšení účinnosti. V budoucnu může být tato technologie použita i pro zajištění chemických procesů vyžadujících vysokou teplotu.

V současnosti nejvýkonnější elektrárna se sluneční věží je umístěna ve vědeckém parku Dunhuang, v severozápadní Číně. Tato elektrárna má výkon 100 MW, který je dodáván nepřetržitě, zásluhou objemného zásobníku s roztavenou solí. Celková odrazivá plocha heliostatů je přibližně 1,4 km².



Obrázek 12 – Letecký pohled na sluneční věž s heliostaty v Dunhuangu, Čína [18]

ii. Studie proveditelnosti

Hlavním kritériem technického řešení je návrh experimentálního zařízení, které bude sloužit pro ověření teoretických principů funkce sluneční elektrárny s průběžnými parabolickými zrcadly s roztavenou slitinou kovů Pb-Bi, jakožto pracovním médiem. Finální konverze tepelné energie na energii elektrickou není předmětem této diplomové práce. Technologii systému energetické konverzní jednotky disponuje a poskytuje jí firma Strojírny Bohdalice. Pro umožnění funkce této energetické konverzní jednotky je nutné navrhnout tepelný výměník, který se stane přímo součástí energetické konverzní jednotky. Tepelný výměník zajišťuje předávání tepla pracovního média cirkulační smyčky (PbBi), pracovnímu médiu energetické konverzní jednotky zahrnující stirlingův motor (He). Návrh tohoto tepelného výměníku je součástí této diplomové práce.

Zařízení musí být možné realizovat prostředky plně vybavené obráběcí a zámečnické dílny. Strojní vybavení těchto dílen obsahuje: CNC frézku, CNS vřetenový soustruh, sloupovou i ruční vrtačku, vyvrtávačku, obrážku, brusku, pilu, svářečku a zámečnické nářadí. V případě nezbytnosti nedostupné výrobní technologie je možné využít služeb subdodávky výroby daného výrobku.

Celý proces návrhu a výroby zařízení musí usilovat o maximalizaci hospodárnosti z hlediska použitých materiálových, strojních i lidských zdrojů.

iii. Vyjasnění zadaného problému

K účelu zpracování technické rešerše posloužil jako vhodný zdroj internet. Obecné teoretické poznatky byly získány z odborných publikací a jiných veřejně přístupných zdrojů. Technologie využívání sluneční energie jako zdroje pro výrobu elektrické energie je zásadně rozvíjena v současné době. Detailní technické řešení jednotlivých částí pokrokových technologií pracujících na principu koncentrace sluneční energie jsou obvykle předmětem know-how dané společnosti. Z tohoto důvodu je nutné přistupovat ke každému jednotlivému prvku projektovaného zařízení individuálně. Vlastní diplomová práce se zabývá pouze návrhem strojní části zařízení. Návrh elektrického zařízení a systému kontroly a řízení, stejně tak jako vypracování podrobných výpočtových analýz není předmětem této práce. Diplomová práce zahrnuje oblast autorovi odpovědnosti vyplývající s dané funkce na projektu.

2.2 Specifikace požadavků na zařízení

Technické požadavky a požadované parametry zařízení experimentální smyčky koncentrované solární energie jsou součástí Přílohy 1 tohoto dokumentu.

3 Konstrukční návrh

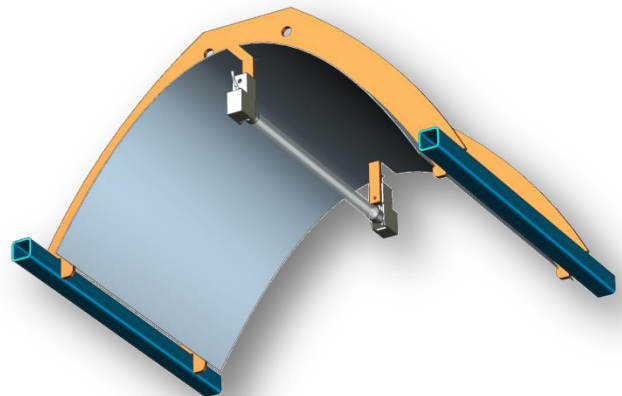
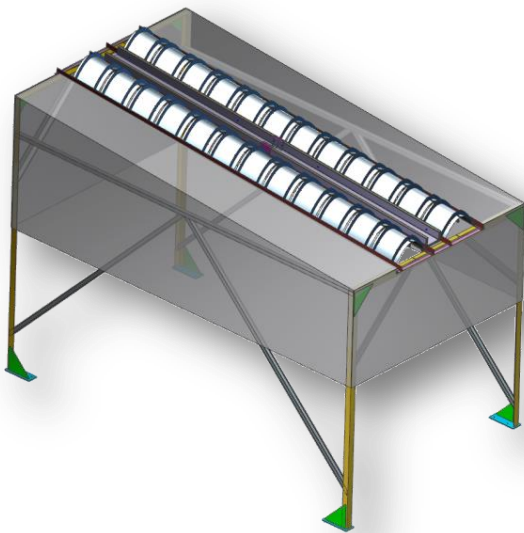
Ze zadaných parametrů uvedených v Příloze 1 tohoto dokumentu bylo vycházeno při rozpracování konstrukčního návrhu všech částí zařízení experimentální smyčky koncentrované solární energie. Ostatní parametry konstrukčního návrhu byly voleny s ohledem na zajištění požadované funkce a hospodárnosti.

3.1 Umělý zdroj záření

Technický popis umělého zdroje záření.

Umělý zdroj záření se bude skládat z následujících komponent:

- Zdroj záření a usměrňující zařízení
- Nosná konstrukce



Obrázek 13 - Sestava umělého zdroje záření s nosnou konstrukcí

Obrázek 14 - Umělý halogenový zdroj záření s usměrňující parabolickou reflexní plochou

Zdroj záření se skládá z 24 samostatných energetických zdrojů umístěných v usměrňovacím zařízení. Ty budou uloženy ve dvou řadách nad koncentrátorem energie tak, aby bylo dosaženo co nejrovnoměrnějšího osvětlení plochy koncentrátoru. Poloha ohniska paraboly s umístěným halogenovým zdrojem energie zajišťuje, že přibližně 2/3 veškeré vyzářené energie jsou usměrněny na rovnoběžné záření. Zdrojem záření je standardní lineární halogenová zářivka o průměru 12 mm a délce 255 mm. Příkon jedné zářivky je 1500 W. Zářivka je napájena pomocí dvou patič typu R7s.

Usměrňující zařízení se skládá z dvou podélných čtvercových trubek rozměru 20x2 mm a délce 335 mm, které jsou spojeny dvěma plechovými výpalky tvořící geometrii odrazové plochy usměrňující paraboly. Do těchto plechových výpalků je vložen plech z odrazivého materiálu a jsou k nim připojeny napájecí patice a přichytky kabelů. Poloha halogenové trubice je definována přesným plechovým výpalkem s definovanou polohou otvorů pro montáž patice. Jako odrazivý materiál bude použit leštěný hliníkový plech o předpokládané celkové přibližně 85%.

3.1.2 Nosná konstrukce

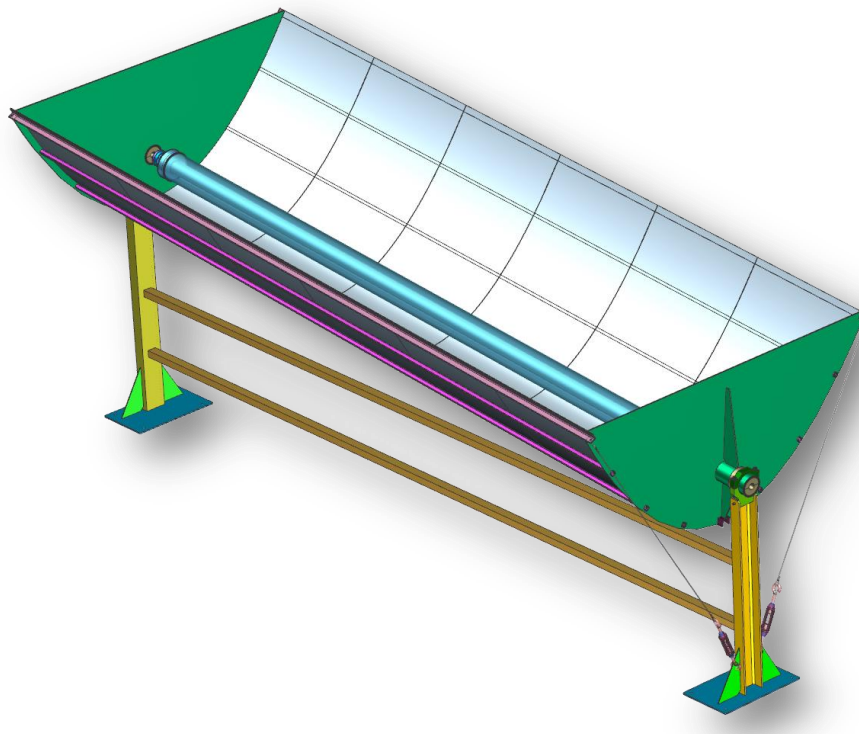
Nosná konstrukce zdroje záření se skládá ze dvou portálových rámu, které jsou svařeny z tyčí profilu L o rozměrech 60x60x5 mm. Tyto rámy jsou nestejně vysoké tak, aby byly zdroje záření uloženy paralelně se skloněným koncentrátorem energie. Tímto je zajištěn rovnoměrný osvit koncentrátoru. Rámy jsou do podlahy připevněny 8 kotvicími šrouby M12. S portálovými rámy je svařena nosná konstrukce z L profilů, která umožňuje umístění zdrojů záření ve dvou řadách. Pro zvýšení tuhosti konstrukce jsou mezi rámy a nosnou konstrukcí zdrojů osvětlení vevařeny diagonální vzpěry. Případné úhlové korekce směru osvitu paraboly koncentrátoru je možné řešit podložením nosné konstrukce osvětlení na jedné straně. Pro omezení úniku světelného záření z prostoru koncentrátoru energie je celá konstrukce opatřena hliníkovým krytem zamezujícím. Unikající ostré světlo by mohlo vést k dočasnému oslnění obsluhujícího personálu.

3.2 Koncentrátor energie

Technický popis koncentrátoru energie.

Koncentrátor energie se bude skládat z následujících komponent:

- Nosné konzoly
- Konstrukce odrazivé plochy koncentrátoru
- Absorpční trubice



Obrázek 15 - Koncentrátor energie s nosným rámem

3.2.1 Nosné konzoly

Koncentrátor energie je nesen dvěma konzolami z tyče profilu U120. Konzoly jsou vzájemně převýšeny tak, aby byl zajištěn sklon koncentrátoru vůči zemi o přibližně 5°. Tento sklon zajistí určitost směru a podpoří proudění v pasivní cirkulační smyčce. Uložení konstrukce odrazivé plochy je řešeno dvoudílnými objímkami, jejichž spodní část je otočně spojena čepem s konzolou. Požadovaný úhel natočení je nastaven postupným dotahováním stahovacích šroubů, které pomocí lan spojují rám paraboly s nosnou konzolou. Objímky jsou po nastavení požadovaného úhlu natočení odrazivé plochy staženy šroubovým spojem. Konzoly jsou do podlahy připevněny 8 kotvícími šrouby M12.

3.2.2 Konstrukce odrazivé plochy koncentrátoru

Nosná konstrukce odrazivé plochy je svařenec složený ze dvou plechových výpalků tvořících její čela, do kterých jsou zasunuty a přivařeny spojovací profily. Profily jsou v takových pozicích, aby jejich plochy tečně ležely na křivce paraboly, jež má ohnisko ve středu rotace koncentrátoru. K oběma čelům koncentrátoru jsou souose s ohniskem paraboly přivařeny trubky, ve kterých je uloženo potrubí přiléhající k absorpční trubici. Mezi trubkami a potrubím je vložena dělená vložka z mechanicky odolné tepelné izolace. Na základě výsledků provedené pevnostní analýzy potrubí vyplynula nutnost navrhnout horní uložení v čele koncentrátoru jako pevné. Tohoto bylo dosaženo vložení dvou segmentů mezi koncentrátor a cirkulační potrubí. Vložené segmenty jsou proti posunutí ze svých požadovaných pozic zajištěny stavěcími šrouby. Vlastní odrazivá plocha tvaru paraboly je vytvořena vložení a přichycením 6ti leštěných hliníkových plechů do rámu nosné konstrukce koncentrátoru. Celková plocha koncentrující paraboly je 10,65 m². Maximální teoretické množství energie koncentrované do ohniska paraboly je při předpokládané odrazivosti 85% přibližně 17 kW.

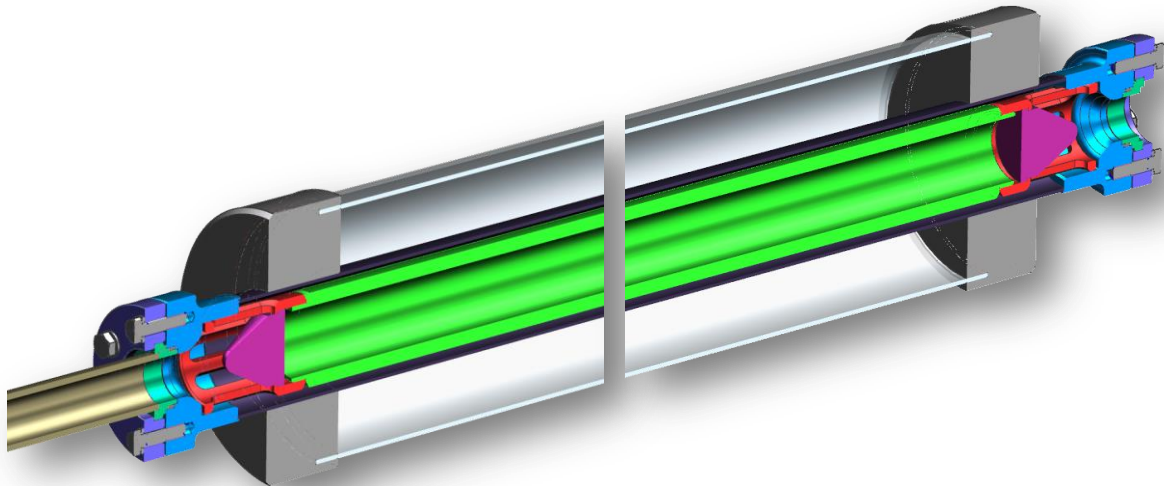
3.2.3 Absorpční trubice

Absorpční trubice je zařízení na pohlcování koncentrované sluneční energie, používané v solárních elektrárnách s průběžnými parabolickými zrcadly, kde toto zařízení přeměňuje široké spektrum dopadající sluneční energie na teplo. Toto teplo je předáváno pracovnímu médiu proudícímu uvnitř kovové trubky. Vzhledem k malé světové poptávce po speciálních absorpčních trubicích, které jsou vhodné převážně pro elektrárny s průběžnými zrcadly, je výběr dodavatelů značně limitován. Aplikace, kdy uvnitř absorpční trubice proudí roztavený kov o teplotě dosahující 500°C je bezprecedentní. Vývoj a výroba takové absorpční trubice vyžaduje mnoho časových a finančních prostředků a spolupráci s mnoha subjekty jako jsou sklárny a vědecké instituty. Konstrukce absorpční trubice musí umožňovat kompenzovat rozdílnou teplotní roztažnost skleněné trubice a vnitřní ocelové trubky. Musí se tedy optimalizovat spojení kovu a skla.

Pro zajištění efektivní funkce absorpce solární energie je při dané pracovní teplotě 500°C nezbytné použití technicky vyspělé absorpční trubice. Trubice je složena z absorpční nerezové trubky rozměru 70 x 2,5 mm a délce 4060 mm. Materiál absorpční trubky je nerezová ocel AISI 316L. Na vnějším povrchu absorpční trubky je nanesen opticky selektivní povrch z cermetu, který dosahuje 96% absorpce záření a 10% emisivity povrchu při 400°C. Pro vyšší teploty výrobce hodnoty neuvádí, ztráty radiací horkého povrchu totiž v případě černého tělesa rostou se čtvrtou mocninou. Vlastnosti selektivního cermetového povrchu při provozní teplotě zařízení nelze bez důkladného výzkumu předvídat. Ocelová trubka je umístěna uvnitř trubky z borosilikátového skla o rozměru 125 x 2,5 mm, jejíž povrch je opatřen antireflexní vrstvou snižující ztráty odrazem záření od jejího povrchu. Uvnitř prostoru mezi trubkami je

dosaženo vysokého stupně vakua. Tento prostor s vakuem slouží jako tepelná izolace od okolního prostředí tím, že minimalizuje ztráty kondukcí a konvekcí tepla z povrchu vnitřní trubky absorpční trubice. Spojení kovové a skleněné trubky je realizováno na koncích trubice víky s pružnými kovovými vlnovcovými kompenzátory. Referenční tepelná ztráta absorpční trubice je při 400°C menší než 250 W/m.

Pro snížení namáhání absorpční trubice od velké hmotnosti tekutého média, je uvnitř této trubice umístěn válcový vytěsňitel ze stejné nerezové oceli jako je zbytek hlavního potrubí. Tento vytěsňitel snižuje celkovou hmotnost trubice s pracovním médiem o přibližně 80 kg. Tato dodatečná hmotnost by se negativně projevila na průhybu absorpční trubice, což by při dané teplotě vedlo vyosení trubice mimo ohnisko paraboly. Pracovní médium tento vytěsňitel rovnoměrně obtéká. Vytěsňitel také přenáší část zatížení vznikajícího tepelnou dilatací cirkulačního potrubí, neboť je na svých koncích posuvně uložen v přírubách navařených na absorpční trubici. Průtočný průřez je pro omezení tlakových ztrát větší, než je průřez hlavního potrubí.



Obrázek 16 - Absorpční trubice s válcovým vytěsňitelem a přírubami cirkulačního potrubí

3.3 Smyčka s pasivní cirkulací

Technický popis smyčky s pasivní cirkulací.

Smyčka s pasivní cirkulací se bude skládat z následujících komponent:

- Potrubí smyčky
- Regulační ventily
- Kompenzátory vibrací konverzní jednotky
- Expanzní nádoba
- Systém organizovaných úniků
- Elektrický ohřev potrubí
- Sekundární elektrický ohřev
- Měření průtoku pracovního média

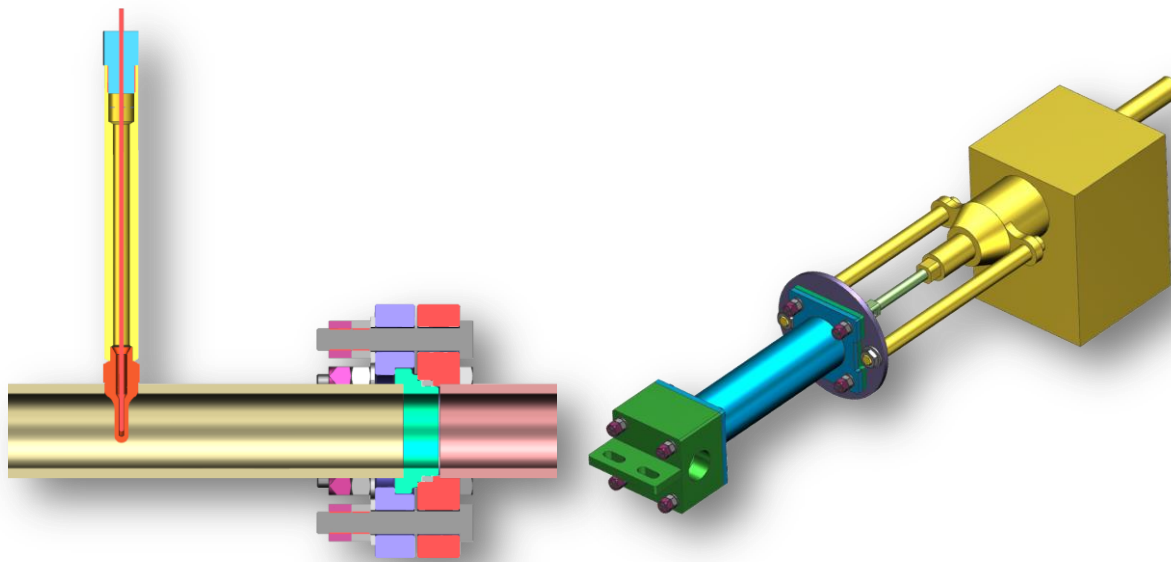
3.3.1 Hlavní potrubí smyčky

Hlavní potrubí smyčky pro přepravu taveniny Pb-Bi je tvořeno nerezovými trubkami z materiálu AISI 316L o rozměru 33,4 x 3,38 mm. Potrubí obsahuje ohyby s poloměrem 125 až 250 mm z důvodu velké abrazivní schopnosti roztaveného pracovního média PbBi v případě jeho proudění potrubím. Trubky potrubí tvořící jeden celek jsou svařeny. Jednotlivé celky potrubí jsou vzájemně spojeny přírubovými spoji.

Přírubový spoj byl speciálně navržen pro danou aplikaci. Těsnění přírub je zajištěno těsněním z expandovaného grafitu, které je schopné odolávat daným pracovním teplotám a korozním účinkům pracovního média. Vlivem tepelné dilatace potrubí by došlo k nadměrnému zvýšení tlaku na těsnění a po jeho poklesu by došlo k roztěsnění spoje. Těsnění z expandovaného grafitu má jen omezenou možnost zpětného odpružení, navíc může dojít k jeho rozdrčení. Aby se tomuto jevu předešlo, je grafitové těsnění použito v tzv. nepřímém silovém toku, kdy těsnění zaujímá přesně definovaný prostor mezi přírubami. Silové zatížení je poté přenášeno pouze čely přírub a šroubovými spoji. Stažení přírub je zajištěno šesti šroubovými spoji M8 zajištěných proti povolání kontramaticí s deformovanou částí závitu, která zamezuje samovolnému povolání. Cyklické tepelné zatěžování a s tím související teplotně závislé prodloužení často vedou k povolání šroubového spoje. Pro omezení účinku tečení materiálu šroubů (creep), jsou šrouby a matice vyrobeny z materiálu s třídou pevnosti 10.9. Vzhledem k velkému tepelnému namáhání šroubového spoje je pro možnost jeho snadné demontáže závit natřen měděnou pastou s tepelnou odolností do 1100 °C.

Výkres přírubového spoje je uveden v Příloze 2 tohoto dokumentu.

Měření průběhu teploty pracovního média v pasivní cirkulační smyčce je zajištěno termočlánky průměru 1,6 mm, které jsou umístěny v jímkách. Měřicí část jímky s termočlánkem zasahuje do středu potrubí. Jímky termočlánků jsou s potrubím svařeny. Termočlánky jsou v jímkách upevněny svěrnou kleštinou.

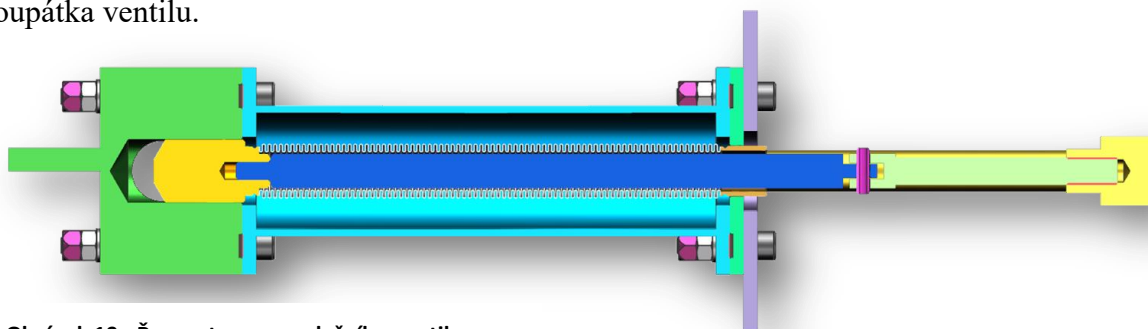


Obrázek 17 - Přírubový spoj DN25 s částí potrubí s jímkou Obrázek 18 - Sestava regulačního ventilu s pohonem termočládku

3.3.2 Regulační ventil

Pro možnost řízení objemového průtoku pracovního média protékající zásobníkem tepelné energie jsou ve smyčce umístěny dva regulační šoupátkové ventily. Vzhledem k nedostupnosti na trhu uzavíracích ventilů pro dané parametry, byla navržena vlastní konstrukce uzavíracího ventilu. Ventil neobsahuje těsnění mezi pohyblivými částmi. Pohyb uzavíracího plunžru vzhledem k tělesu ventilu je realizován pomocí deformačního členu – pružného kovového vlnovce. Délka vlnovce je navržena s ohledem na velikost jeho přípustné délkové deformace. Pokud by byla délka menší, docházelo by k větší deformaci vlnovce a tím ke snížení jeho životnosti. Těsnění mezi všemi hlavními částmi ventilu je realizováno obdobným způsobem jako v případě přírubového spoje s tím rozdílem, že místo kroužků jsou použity výstřižky z desek expandovaného grafitu. Ventil není navržen jako absolutně těsný pro hrazení průtoku pracovního média. Po získání zkušeností s jeho chováním v reálném provozu, je zde prostor pro jeho optimalizaci.

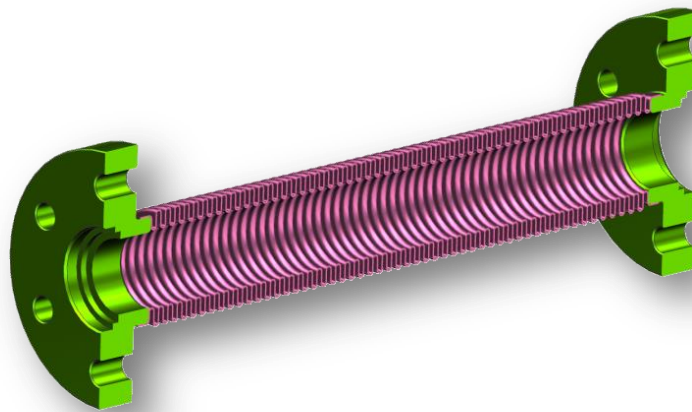
První ventil uzavírá přírodní potrubí sekundární větve do zásobníku energie. Druhý ventil uzavírá primární větev hlavního cirkulačního potrubí před výstupním potrubím ze zásobníku energie. Požadovaného průtoku je dosaženo současným nastavením obou ventilů tak, aby nedošlo ke snížení kombinovaného průtočného průřezu v obou větvích. Ventily jsou navrženy bez těsnění pohyblivých částí s flexibilním vlnovcem. Těsnění mezi nepohyblivými součástmi ventilu je zajištěno expandovaným grafitem. Ventily jsou elektricky ovládané, kde síla pro otevření a uzavření šoupátka ventilu je vyvozována elektrickým lineárním aktuátorem určeným pro pohon ventilů. Tento pohon podává přesnou informaci o aktuální poloze šoupátka ventilu.



Obrázek 19 - Řez sestavou regulačního ventilu

3.3.3 Kompenzátory vibrací konverzní jednotky

Jelikož energetická konverzní jednotka, sestávající se ze stirlingova motoru, elektrického generátoru a obslužného zařízení, vykazuje za provozu nezanedbatelné vibrace s amplitudou až 5 mm, je nutné předcházet negativním vlivům přenosu těchto vibrací na celou smyčku. Konverzní jednotka je s potrubím spojena přes výměník tepelné energie, jehož vstupní i výstupní potrubí tvoří vlnovcový kompenzátor o světlosti DN 25. Kompenzátor je tvořen třemi vrstvami z nerezových trubek o tloušťce 0,2 mm. Tato součást má tedy výrazně menší korozní přírůstek než zbytek cirkulačního potrubí smyčky. Lze předpokládat omezenou životnost tohoto prvku potrubí. Z tohoto důvodu je předepsán interval výměny této části cirkulační smyčky. Pro zjištění možného začínajícího selhání vlnovce, je v jeho okolí umístěn systém monitoringu úniků pracovního média. Kompenzátory jsou do potrubí vloženy pomocí přírub, tím je zajištěna jejich snadná vyměnitelnost. Spojení mezi přírubami a vlnovcem je pomocí svarů. Příruby jsou vzájemně těsněny kroužky z expandovaného grafitu. Toto těsnění musí být vyměněno za nové po každé demontáži.



Obrázek 20 - Kompenzační vlnovec s přírubami

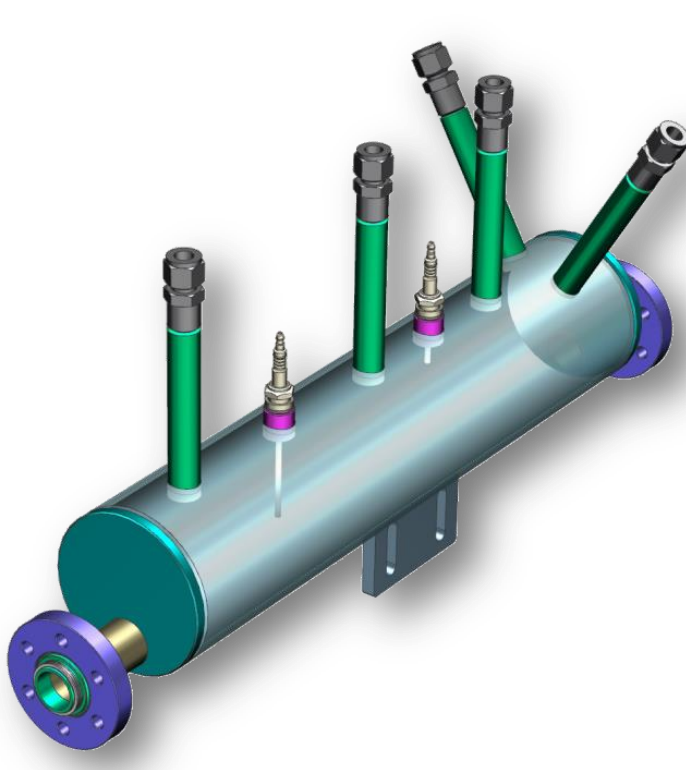
3.3.4 Expanzní nádoba

Pro odloučení plynů z pracovního média a cirkulační smyčky při napouštění a při provozu zařízení je expanzní nádoba umístěna v nejvyšším bodě potrubí smyčky. Expanzní nádoba je horizontálně orientována a podélně jí protéká pracovní médium. V expanzní nádobě je při napouštění smyčky nastavena úroveň volné hladiny. Za provozu tak může volná hladina kolísat v závislosti na teplotě média uvnitř potrubí. V expanzní nádobě je umístěn oxymetr, který zjišťuje koncentraci kyslíku v pracovním médiu. Na základě této informace je možné provádět požadované korekce množství rozpuštěného kyslíku přivedením směsných plynů Ar+3%H₂ a Ar+5%O₂, jejichž společné potrubí je vyústěno pod volnou hladinu pracovního média v expanzní nádobě.

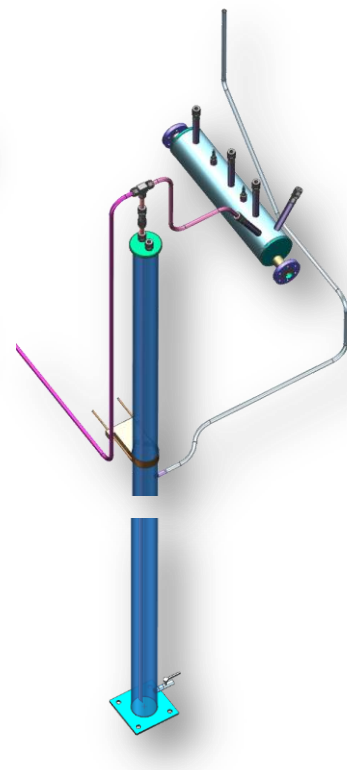
Tělo expanzní nádoby je tvořeno trubkou průměru 114,3 x 4 mm, ke které jsou kolmo přivařeny čela z plechového výpalku s otvory pro napojení hlavního potrubí u jejího spodního okraje. K expanzní nádobě je na představných trubkách přivařeno pět Swagelok spojek se svěrnou ferulí typu SS-810-1-8WBT pro vnější průměr trubky 1/2". Tyto spojky umožňují vložení instrumentace a přívodu plynů do expanzní nádoby. Mezi trubkami jsou navařeny dva návarky, ve kterých jsou zašroubovány snímače hladiny. Snímače hladiny podávají informaci

o výšce hladiny při napouštění smyčky a signalizují dosažení maximální úrovně volné hladiny v expanzní nádobě. Snímače hladiny jsou tvořeny běžnou zapalovací svíčkou, jež má ke své elektrodě přivařen drát z nerezové oceli požadované délky. Pokud volná hladina pracovního média dosáhne drátu elektrody, dojde ke galvanickému propojení obou elektrod a tím k signalizaci o nastalém stavu.

Spouštění experimentální smyčky předchází vakuování vnitřního prostoru potrubí a nádob, ve kterých je pracovní médium. Vysokého stupně vakua je dosaženo pomocí dvoustupňové olejové vývěvy, která je napojena na jeden z výstupů expanzní nádoby pomocí potrubí průměru 1/2". Po dosažení požadovaného stupně vakua je nutné uzavřít manuální ventil na sacím potrubí vývěvy a následně vývěvu vypnout. Poté je vnitřní prostor experimentální smyčky vyplněn inertním plynem. Případný přetlak nad 0,4 bar je odpuštěn systémem organizovaných úniků plynů do atmosféry. Tento postup je možné několikrát opakovat pro dosažení požadované čistoty atmosféry.



Obrázek 21 - Horizontální průtočná expanzní nádoba



Obrázek 22 - Část systému organizovaného úniku plynů s expanzní nádobou a vodní kolonou

3.3.5 Systém organizovaných úniků plynů

Systém organizovaných úniků plynů slouží k odpouštění plynů z expanzní nádoby, zásobní nádrže a akumulátoru energie. Dále tento systém zachycuje případné úniky plynu do pracovního média při poruchovém stavu některého ze zařízení pracujícím s přetlakem plynu. Schéma systému organizovaných úniků je součástí Přílohy 3 tohoto dokumentu.

Funkce zajištění přetlaku uvnitř expanzní nádoby a akumulátoru energie je zajištěna vyústěním přívodu plynu 3,5 m pod úroveň volné hladiny. Kapalinou v zařízení organizovaného úniku plynů je čistá voda.

Výška vodního sloupce zajistí velikost přetlaku v nádobách přibližně 0,35 bar a otevírací odpor zpětného ventilu vytvoří dalších cca 0,05 bar přetlaku. Zařízení se skládá z vertikálně umístěné nerezové trubky TR KR 80 x 2 naplněnou vodou, u jejíhož dna ústí trubka organizovaných úniků plynů. Výstupní potrubí organizovaného úniku plynů z expanzní nádoby, zásobníku energie a zásobní nádrže je na vstupu do zařízení systému organizovaných úniků spojeno a opatřeno zpětným ventilem. Zpětný ventil zamezuje nasátí vody do nádob v případě poklesu tlaku v nádobách pod úroveň atmosférického tlaku. Tento jev může nastat například při snížení teploty média v okruhu.

Kontrola množství kapaliny v těle zařízení je zajištěna vyvedenou průhlednou hadicí do prostoru přístupové plošiny smyčky. Pro správnou funkci systému organizovaných úniků musí být v kontrolní hadici indikována volná hladina. Tato hadice také slouží pro doplňování vody do systému organizovaných úniků. Úplné vypuštění kapaliny ze zařízení je možné otevřením ventilu u paty těla trubky. Ventil má přípojovací rozhraní na hadici rozměru 1/2".

Výstup plynů ze systému organizovaných úniků je vyveden ven prostupem ve stěně haly do vnější atmosféry.

3.3.6 Elektrický ohřev potrubí

Před začátkem vlastního experimentu je nutné zajistit v celém okruhu teplotu nad teplotou tání pracovního média Pb-Bi. Pro zamezení možnosti vzniku míst s tuhým pracovním médiem, je potrubí předehříváno na teplotu 200-250°C. Ohřev potrubí je realizován odporovými topnými pásky, které jsou spirálově namotány okolo potrubí. Tyto topné pásky dlouhodobě odolávají teplotám převyšujícím maximální provozní teplotou systému 500°C.

Tyto topné pásky zároveň slouží pro prvotní vytvoření ochranné pasivační vrstvy na všech kovových površích smáčených pracovním médiem. Pasivace je provedena ohřevem potrubí, nádob a regulačních ventilů na teplotu nad 400°C po dobu přibližně 14 dní. Uvnitř potrubí je udržována inertní atmosféra s malým množstvím kyslíku.

Ohřev potrubí je rozdělen do dvou sekcí. První sekce ohřívá potrubí teplé větve mezi vyústěním potrubí z koncentrátoru energie a tepelným výměníkem konverzní jednotky. Druhá sekce ohřívá vratnou větev, kterou tvoří zbylé potrubí. Výkon všech topných pásek v každé sekci je řízen nezávisle. Toto řešení umožňuje dosáhnout přibližně stejné teploty ve všech místech potrubí. Obdobně je zajištěn ohřev zásobníku energie, zásobní nádrže, expanzní nádrže, tepelného výměníku stirlingova motoru a regulačních ventilů.

3.3.7 Sekundární elektrický ohřev

V závislosti na výkonu konverzní jednotky, může být pro dosažení pracovní teploty pracovního média na straně teplé větve zapotřebí dodat do tohoto místa dodatečný tepelný výkon. Tento tepelný výkon je zajištěn 10 kusy spirálových topných patron s celkovým maximálním výkonem 10 000 W. Dlouhodobá tepelná odolnost topných patron je do 750°C. Topné patrony jsou sevřeny k vnějšímu povrchu potrubí smyčky šroubovými spoji.

3.3.8 Měření průtoku pracovního média

Průtok pracovního média je měřen ve dvou místech průtokoměry pracujícími na tepelném principu kalorimetrickou metodou. Průtokoměr je složen ze dvou termočlánků umístěných v přímém potrubí, mezi nimiž je topné těleso. Z rozdílu teplot měřených termočlánky, velikosti tepelného výkonu a znalosti fyzikálních charakteristik pracovního média je vypočten hmotnostní průtok. Ten může být dále přepočten na rychlost proudění. Vzhledem k

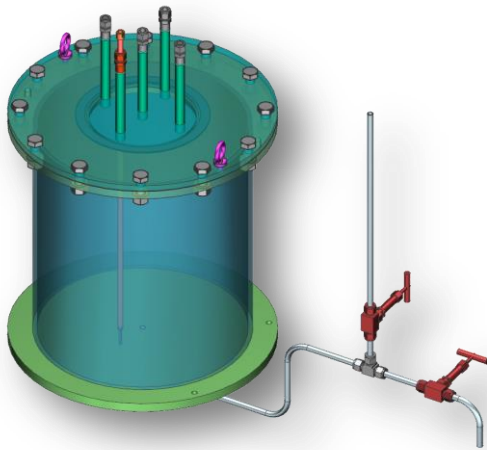
nerovnoměrnému průběhu teplotního pole pracovního média uvnitř potrubí, jsou termočlánky umístěny ve vzdálenosti pětinasobku světlosti potrubí od posledního zdroje tepla. V této vzdálenosti je již teplota uvnitř potrubí dostatečně rovnoměrná.

3.4 Zásobní nádrž

Technický popis zásobní nádrže.

Zásobní nádrž se bude skládat z následujících komponent:

- Zásobní nádrž
- Ohřev zásobní nádrže
- Systém organizovaných úniků



Obrázek 23 - Zásobní nádrž s přívodním a vypouštěcím potrubím

3.4.1 Zásobní nádrž

Pro plnění smyčky pracovním médiem, které tvoří eutektická tavenina Pb-Bi je určena zásobní nádrž. Zásobní nádrž je umístěna v nejnižším místě smyčky. Plnění potrubí smyčky probíhá následujícím způsobem. Pro první plnění smyčky je zásobní nádrž nejprve naplněna ingoty tuhého pracovního média Pb-Bi, poté je víko nádoby uzavřeno a přišroubováno. Z důvodu velké kusovitosti ingotů je zásobní nádrž dostatečně prostorově dimenzována pro umístění takového množství pracovního média, které je nutné k naplnění celé smyčky. Vnitřní objem zásobní nádrže je 75 l. Alternativně je možné zásobní nádrž plnit pomocí vypouštěcího potrubí zásobní nádrže. Rozhraní tohoto potrubí tvoří svěrné šroubení rozměru 1/2". Uvnitř zásobní nádrže je pomocí topných pásek překročena teplota tavení ingotů, čímž postupně dojde k vytvoření volné hladiny taveniny pracovního média v zásobní nádrži. Zvýšením tlaku plynu nad volnou hladinou dojde k přetlačení pracovního média do celé smyčky. Tlak plynu nad hladinou je postupně zvyšován pomocí hmotnostního průtokového ventilu. Požadovaný tlak se nastaví tak, aby volná hladina v expanzní nádobě dosahovala snímače nízké hladiny. Po dosažení pracovní úrovně volné hladiny je manuálně uzavřen ventil uzavírající napouštěcí potrubí mezi zásobní nádrží a cirkulačním potrubím.

K víku zásobní nádrže jsou na trubkách přivařeny čtyři Swagelok spojky se svěrnou ferulí typu SS-810-1-8WBT pro vnější průměr trubky 1/2". Pro snadnou přístupnost jsou Swagelok spojky vyvedeny nad úroveň tepelné izolace. Tyto spojky slouží pro zavedení instrumentace do prostoru zásobní nádrže. Víko dále obsahuje spojku Swagelok SS-12M0-1-8WBT, která slouží jako průchodka pro jímku termočládku uvnitř zásobní nádrže. Tuto jímku je možné do správné úrovně v zásobní nádrži umístit až po vytvoření taveniny uvnitř nádrže. Dříve to z důvodu kusovosti ingotů není možné. Pro možnost vypuštění obsahu zásobní nádrže a uzavření plnicího potrubí mezi zásobní nádrží a cirkulačním potrubím je potrubí pro plnění smyčky světlosti DN 10, vybaveno dvěma ventily Swagelok SS-8BW se rozhraním 1/2".

Zásobní nádrž se skládá z trubky rozměru 457,2 x 9,53 mm a délky 515 mm, ke které je ve spodní části navařeno dno z plechového výpalku tloušťky 20 mm. K horní části trubky je přivařena příruba tloušťky 20 mm s otvorem pro plnění. Víko je k přírubě zásobní nádrže přišroubováno šesti šrouby M20. Těsnění mezi přírubou a víkem je zajištěno těsnícím kroužkem z expandovaného grafitu.

Zásobní nádrž a plnicí potrubí jsou ohřívány odporovými topnými pásky Brisk BWH o celkovém tepelném výkonu 7 kW. Pásky jsou navinuty podél válcové plochy nádrže.

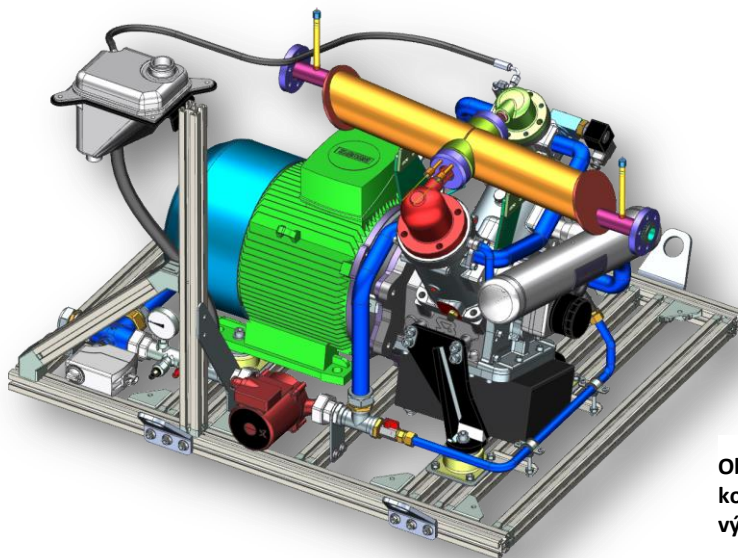
Systém organizovaných úniků plynu ze zásobní nádrže bude sloužit k odpouštění plynu při předprovozním plnění a provozu smyčky. Zařízení pro organizovaný únik plynů bude sdíleno expanzní nádobou, zásobní nádrží a zásobníkem energie.

3.5 Systém pro konverzi tepelné energie

Technický popis systému pro konverzi tepelné energie.

Systém pro konverzi tepelné energie se bude skládat z následujících komponent:

- Soustrojí stirlingova motoru a generátoru elektrické energie
- Tepelný výměník Pb-Bi - He
- Základový rám s pomocným technickým zařízením
- Chlazení energetické konverzní jednotky
- Rozhraní řídicího a kontrolního systému



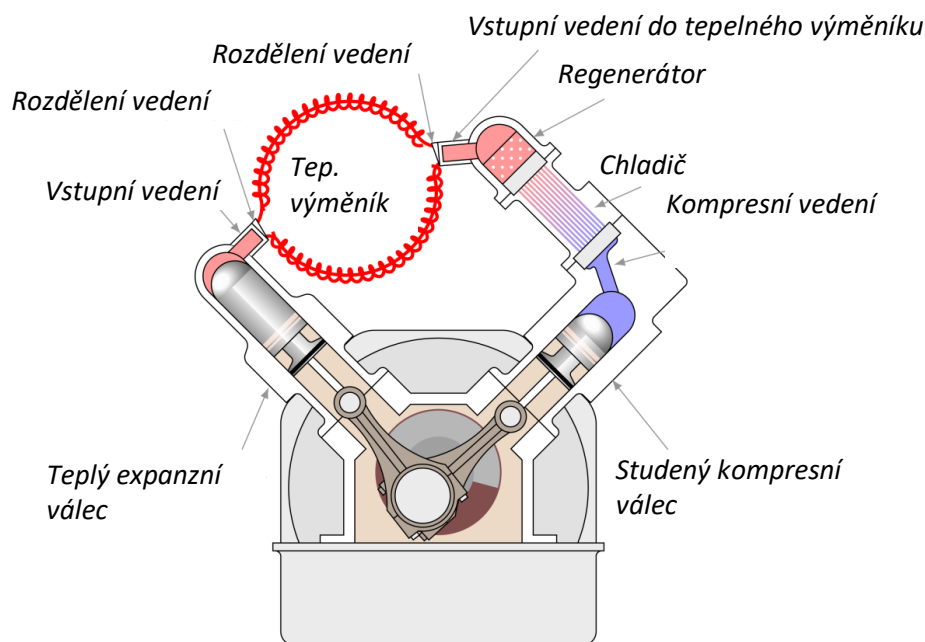
Obrázek 24 - Sestava energetické konverzní jednotky s tepelným výměníkem

3.5.1 Soustrojí stirlingova motoru a generátoru elektrické energie

Zařízení přeměňující tepelnou energii na mechanickou práci je stirlingův motor. Jako konvertor mechanické energie na elektrickou je použit modifikovaný generátor Siemens s vlastním chlazením a kotoučovou spojkou.

3.5.1.1 Popis základních vlastností stirlingova motoru

Stirlingův motor je tepelný objemový stroj s vnější výměnou tepla. Změna objemu uvnitř stirlingova motoru koná mechanickou práci. Pracovní médium tvořené plyným heliem je trvale uzavřeno uvnitř motoru a je pomocí dvou pístů recipročně přemísťováno z teplého válce do válce studeného a naopak. Přívod tepla je realizován speciálním výměníkem. Odvod tepla ze studeného válce je realizován chladičem s regenerátorem umístěným v hlavě studeného válce. Tepelný výměník musí být speciálně navržený pro danou aplikaci, která se vyznačuje nižší teplotou než je u těchto strojů obvyklé. Pro optimální výkonové parametry je žádoucí teplota pracovního média okolo 650°C. Jako zdroj energie pro chod stirlingova motoru může sloužit jakékoliv palivo: tuhé, kapalné plyné i je možné jej přímo ohřívat koncentrovaným slunečním zářením. Alternativně je možné pro přenos tepla použít vložený teplotonosný okruh. Tato koncepce však vyžaduje návrh speciálního tepelného výměníku. Stirlingův motor jako jediný stroj může přímo konvertovat energii z obnovitelných zdrojů na mechanickou práci.

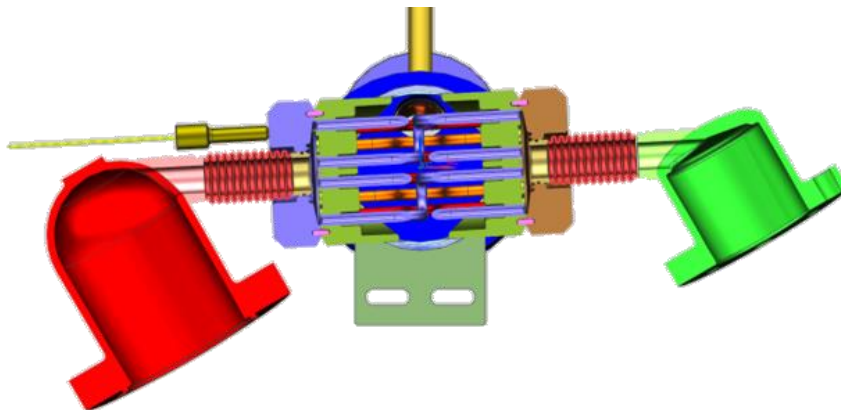


Obrázek 25 – Příčný řez stirlingovým motorem [19]

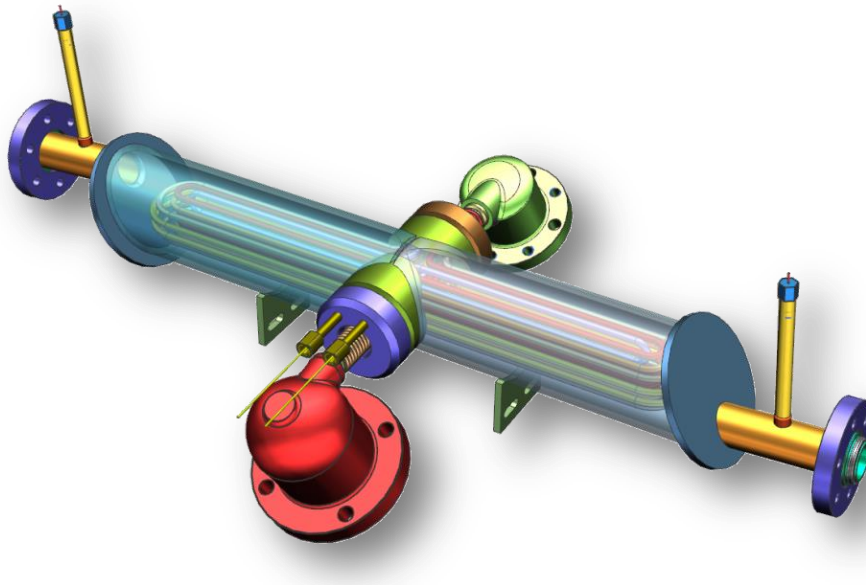
3.5.2 Tepelný výměník Pb-Bi – He

Solární energie předaná tekutému pracovnímu médiu eutektické slitině Pb-Bi je v tepelném výměníku předávána plynnému heliu, které je pracovním médiem stirlingova motoru. Pro zajištění optimální účinnosti stirlingova motoru je nutné splnit doporučené parametry výrobcem energetické konverzní jednotky tepelného výměníku na jeho maximální vnitřní objem a minimální průtočný průřez. Vnitřní objem výměníku je 150 cm^3 a průtočný průřez pro helium je 170 mm^2 . Tyto hodnoty splňují daná doporučení.

Tepelný výměník se skládá z trubky rozměru $88,9 \times 5,49 \text{ mm}$, ke které jsou kolmo ve středu přivařeny trubkovnice. Středem těchto trubkovnic prochází přívod a odvod helia do stirlingova motoru. Konce trubky jsou seříznuty pod úhlem tak, aby byl vytvořen postupný náběh mezi vstupem a výstupem cirkulačního potrubí do trubky výměníku. Tímto řešením je snížena tlaková ztráta náhlou změnou průtočného průřezu. Ke koncům trubky jsou přivařeny víka s vstupním a výstupním potrubím. Umístění potrubí spolu s mírným skloněním výměníku zamezuje zachycení vzduchových bublin v tepelném výměníku. Toto řešení také umožňuje úplné vypuštění pracovního média z výměníku. Trubkovnice má tloušťku stěny $21,5 \text{ mm}$ a je do ní vyvrtáno 24 přesných otvorů se sražením usnadňující vkládání výměňkových trubiček. Ty jsou poté s trubkovnicí svařeny metodou netavné elektrody s přidavným materiálem v ochranné atmosféře. Součástí trubkovnice je lem, kterým je trubkovnice přivařena k podélné trubce výměníku. Trubkovnice je uzavřena deskou tloušťky 25 mm , ke které je přivařen vlnovec zachycující deformaci výměníku vlivem tepelné dilatace. V desce jsou umístěny dvě jímky pro vložení termočlánků. Termočlánky jsou přímo vloženy do středů dvou výměňkových trubiček, kde pružná koncová část termočlánku přiléhá k vnitřní stěně výměňkové trubičky. Toto řešení zajišťuje nejpřesnější měření teploty proudícího helia na vstupu a výstupu z tepelného výměníku. Vlnovce jsou přes krátké spojovací potrubí přivařeny k víkům stirlingova motoru. Spojení mezi tepelným výměníkem a cirkulačním potrubím je pomocí přírub, před kterými je na každém konci umístěna jímka s termočlánkem. Toto zajišťuje snadnou demontáž celé konverzní jednotky. Demontáž tepelného výměníku s víky stirlingova motoru není možná z hlediska nebezpečí kontaminace vnitřku motoru nečistotami. Výměňkové trubičky rozměru $6 \times 1,5 \text{ mm}$, jsou z nerezového materiálu AISI 316L (1.4404) a jsou naohýbané do tvaru Ω . Celkem je použito 24 výměňkových trubiček, které jsou rozděleny do dvou svazků, z nichž jeden směřuje po směru proudu pracovního média a druhý proti. Toto uspořádání bylo zvoleno z důvodu minimalizace hmotnosti a zabránění vzniku nežádoucího kroutícího namáhání vstupního potrubí helia, které by se dále přenášelo víky válců na ostatní části motoru.



Obrázek 26 - Příčný řez tepelným výměníkem PbBi-He



Obrázek 27 - Sestava tepelného výměníku PbBi-He

3.5.2.1 Výpočet vlastní frekvence tepelného výměníku Pb-Bi - He

Tepelný výměník předává teplo z kapalného Pb-Bi o teplotě 500°C plynnému heliu, které je pracovním médiem stirlingova motoru. Objem Pb-Bi ve výměníku je 2,7 l. Tepelný výměník je kompenzačními vlnovci připojen k víkům stirlingova motoru. Připojení výměníku s hlavním potrubím je realizováno kompenzačními vlnovci s nízkou tuhostí. Stirlingův motor tvoří soustrojí s elektrickým generátorem. Tepelný výměník je posuzován ve zcela naplněném stavu taveninou Pb-Bi. Tavenina Pb-Bi má teplotu tání 123,5°C a hustotu 10474 kg/m³.

Pro zamezení vzniku rezonančního stavu sestavy soustrojí stirlingova motoru a tepelného výměníku, musí být vlastní frekvence výměníku: $f < 50$ Hz, nebo $f > 55$ Hz. Optimální frekvence je $f > 100$ Hz. Tyto parametry vyplývají z požadavků výrobce stirlingova motoru.

Popis tepelného výměníku

Tepelný výměník se skládá ze svařence trubky rozměru 88 x 4 mm a délky 500 mm. Čela výměníku tvoří plechové výpalky, ke kterým je přivařeno krátké potrubí s přírubou. Uprostřed trubky se nachází trubkovnice, ve které je uloženo celkem 24 výměňkových trubiček rozměru 6 x 1,5 mm. Tyto trubičky jsou rozděleny na dva svazky, jeden na každou stranu výměníku. Prostor v trubkovnici je uzavřen přivařenou deskou s přírodním kompenzačním vlnovcem. Vlnovec je přivařen k víkům válců stirlingova motoru. Tyto jsou tedy nedělitelně součástí výměníku. Regenerační víko (zeleně) umožňuje osovou výchylku cca 1 mm. K výměníku jsou dále přivařeny jímky na měření teploty pomocí termočlánků.

Popis výpočtového modelu

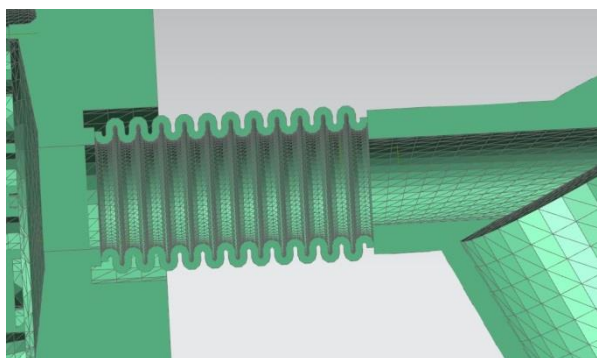
Zjednodušení výpočtového modelu

Vstupní 3D modelová data byla zjednodušena do podoby idealizované součásti, která je vstupním modelem pro tvorbu FEM sítě. Model byl zjednodušen o sražení, zaoblení a osazení, které nemají z hlediska tuhosti a objemu vliv na výsledek výpočtu. Dále byl model zjednodušen zaslepením děr pro šrouby přírub. Do výpočtového modelu také nevstupují

výměníkové trubky a jímky termočlánků. Tyto části mají zanedbatelnou hmotnost a nemění tuhost soustavy.

Popis tvorby FEM sítě

Sít pro výpočtový model FEM byla tvořena automaticky pomocí tetragonálních prvků CTETRA(4) bez meziuzlů. Zpřesnění výpočtu pomocí meziuzlů pro požadovaný výstup modální analýzy vlastních frekvencí není nutné. V místech, kde docházelo ke vzniku nevyhovujících prvků, bylo použito řízení sítě. Velikost prvků vychází z velikosti tělesa, na které je síť aplikována. Zvláštní důraz byl kladen na síť kompenzačních vlnovců vík. Tyto vlnovce mají pro své umístění a nízkou tuhost zásadní vliv na hodnotu vlastních frekvencí. Reálná tloušťka stěny vlnovce je pouze 1,25 mm. Hustota sítě tohoto prvku byla zvolena tak, aby vycházeli alespoň dva elementy na plochu.

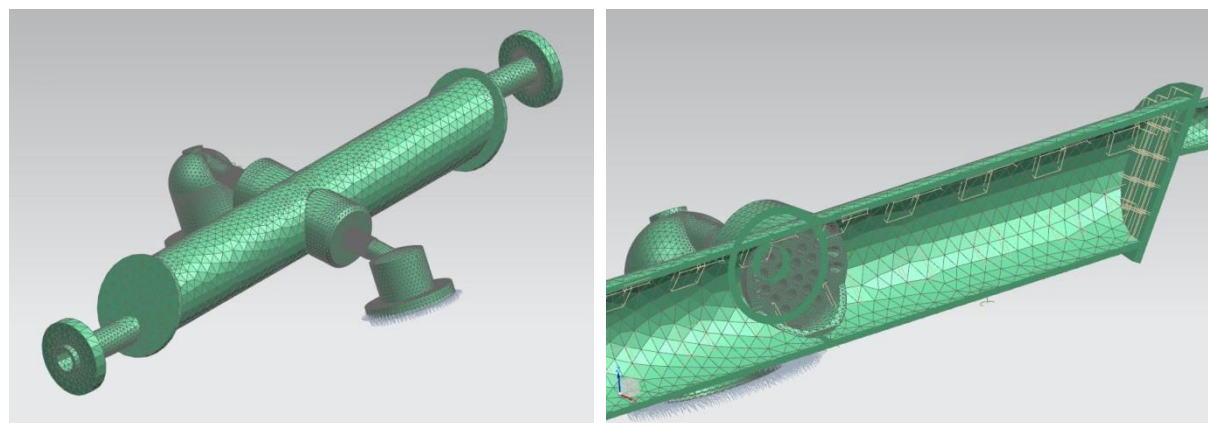


Obrázek 28 - Detail sítě kompenzačního vlnovce

Okrajové podmínky simulace

Pro simulaci hmotnosti taveniny Pb-Bi ve výměníku, byla použita non-structural mass na vnitřní plochy výměníku smáčené taveninou. Celková hmotnost byla vypočtena z hustoty a vnitřního objemu výměníku. Tato hmotnost byla poté rovnoměrně distribuována mezi vybrané prvky na vnitřních plochách výměníku. Tato funkce přidává do modelu hmotu, ale nepřidává žádnou tuhost, je tedy ideální pro simulaci kapalin.

Okrajové kotvicí podmínky vycházejí z reálného uložení výměníku na válcích stirlingova motoru. Z toho vyplývá použití fixního omezení prvků základních ploch vík stirlingova motoru.



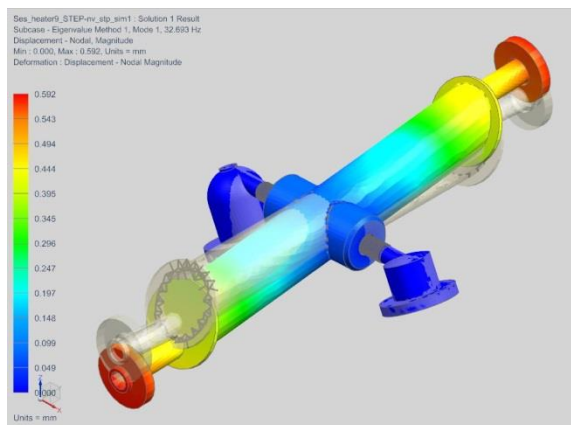
Obrázek 29 - Znázornění FEM sítě tepelného výměníku

Výsledky analýzy

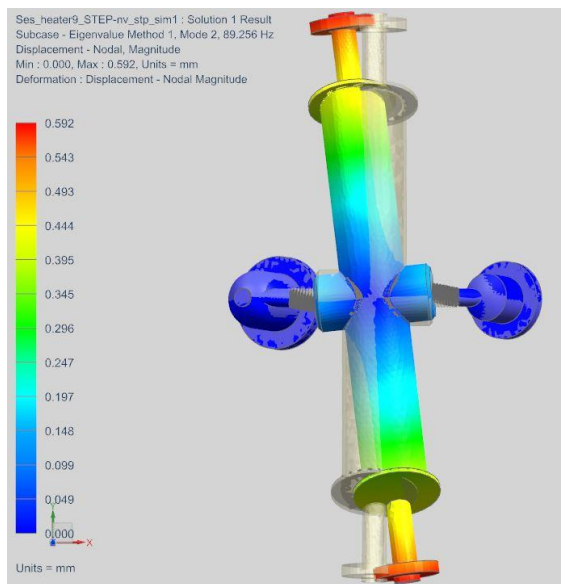
1. a 2. vlastní frekvence

Hodnota 1. vlastní frekvence je dle výsledků analýzy 32,7 Hz. Na obrázku je šedě znázorněn výchozí model, je tedy možné udělat si představu o vlastních tvarech kmitů při dané vlastní frekvenci.

Hodnota 2. vlastní frekvence je dle výsledků analýzy 89,2 Hz.



Obrázek 30 - Znáznornění posunutí při 1. vl. frekvenci tepelného výměníku



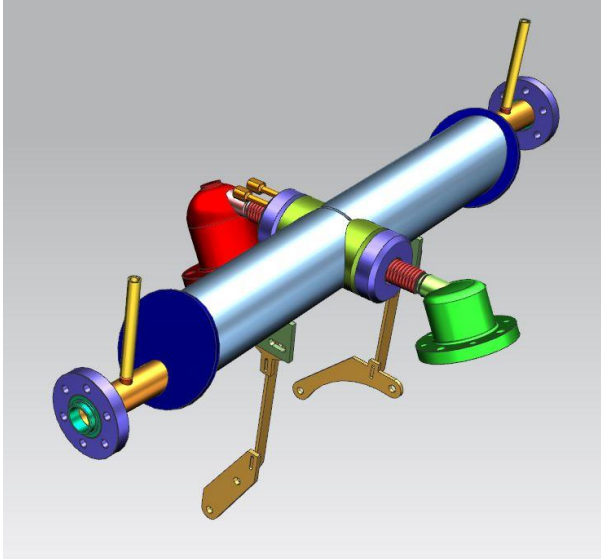
Obrázek 31 - Znáznornění posunutí při 2. vl. frekvenci tepelného výměníku

Zhodnocení výsledků modální analýzy

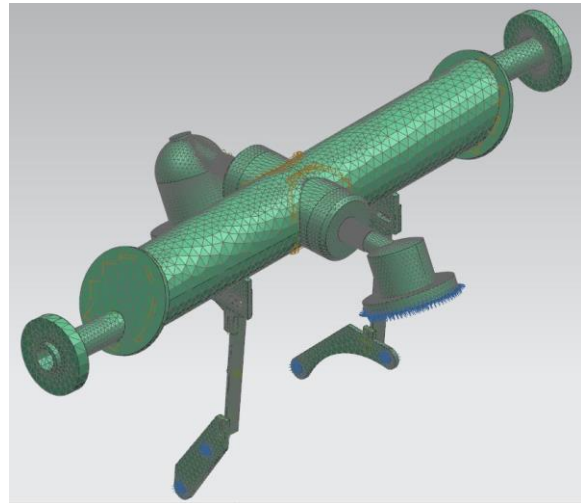
Z výsledků je zřejmé, že hodnota 1. vlastní frekvence 32,7 Hz je příliš nízká a je velmi blízko vlastní frekvenci soustrojí 50-55 Hz. Při uvážení reálného připojení výměníku k hlavnímu potrubí pomocí vlnovců, může nastat zvýšení vlastní frekvence a tím k ještě bližšímu přiblížení obou vlastních frekvencí. Tento návrh výměníku tedy nesplňuje technické požadavky dlouhodobého bezpečného provozu a je tedy nutné provést takové konstrukční úpravy, které povedou ke zvýšení vlastní frekvence nad kritické pásmo.

Návrh konstrukční úpravy výměníku

Z grafického znázornění tvaru vlastních kmitů při 1. vlastní frekvenci je patrné, že celý výměník osciluje okolo spojnice vík stirlingova motoru. Toto je způsobeno malou torzní tuhostí kompenzačních vlnovců. Pro zvýšení tuhosti v tomto směru byly navrženy dvě konzoly, které spojují těleso výměníku s blokem soustrojí. Toto uložení je navrženo jako polotuhé, umožňující pohyb tělesa výměníku ve směru spojnice vík motoru. Tato flexibilita je důležitá z hlediska tepelné dilatace, neboť víka motoru nesmí být příliš namáhána a jistou mírou zachytávání těchto dilatací disponuje pouze regenerační víko motoru. Při pevném uložení výměníku by došlo k nadměrnému namáhání ohřívacího víka motoru. Takto je celková deformace téměř rovnoměrně sdílena oběma víky.



Obrázek 32 - Znáznornění upraveného uložení tep. výměníku



Obrázek 33 - Znáznornění okrajových podmínek simulace

Zjednodušení výpočtového modelu

Vstupní 3D data a jejich příprava na vytvoření sítě se neliší od výchozí varianty, pouze byl výměník doplněn o dvě podpěrné konzoly.

Popis tvorby FEM sítě

Sít' pro výpočtový model FEM je tvořena identickým způsobem jako u výchozí varianty, sít' byla rozšířena o sítě podpěrných konzol.

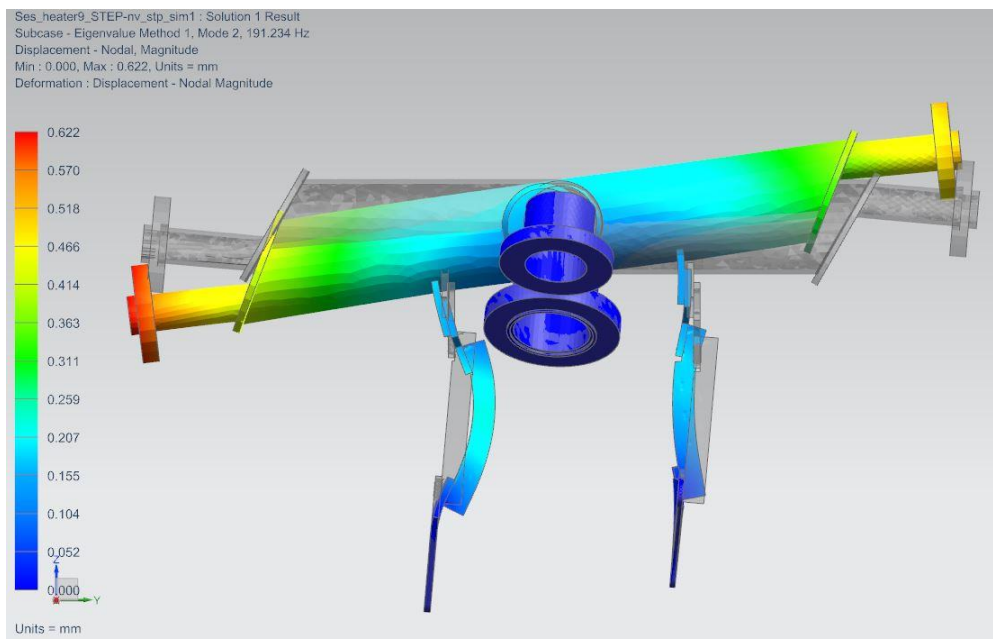
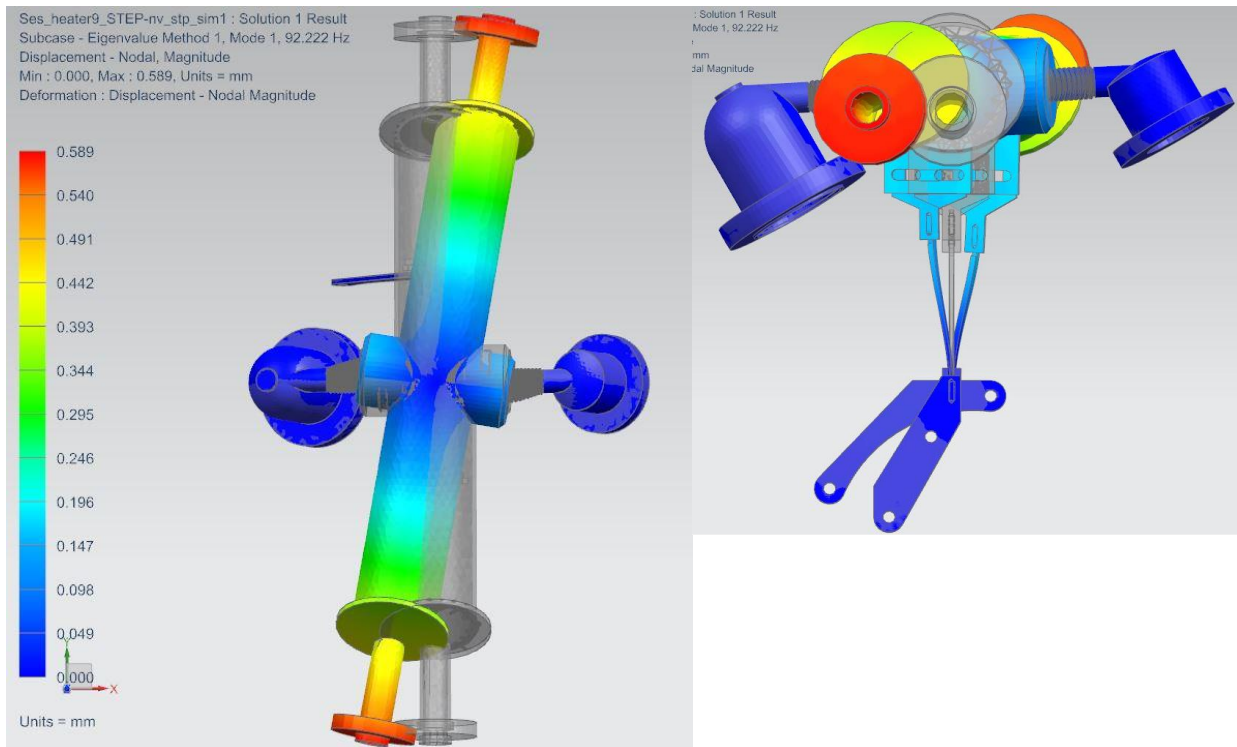
Okrajové podmínky simulace

Pro simulaci hmotnosti taveniny Pb-Bi ve výměníku, byla použita non-structural mass na vnitřní plochy výměníku smáčené taveninou. Celková hmotnost byla vypočtena z hustoty a vnitřního objemu výměníku. Tato hmotnost byla poté rovnoměrně distribuována mezi vybrané prvky na vnitřních plochách výměníku. Tato funkce přidává do modelu hmotu, ale nepřidává žádnou tuhost, je tedy ideální pro simulaci kapalin.

Okrajové kotvicí podmínky vycházejí z reálného uložení výměníku na válcích stirlingova motoru a bloku soustrojí. Z toho vyplývá použití fixního omezení prvků základních ploch vík stirlingova motoru a fixní uložení míst spojení podpěrných konzol s blokem.

Výsledky modální analýzy upraveného tepelného výměníku

Hodnota 1. vlastní frekvence je dle výsledků analýzy 92,2 Hz. Na obrázku je šedě znázorněn výchozí model, je tedy možné udělat si představu o vlastních tvarech kmitů při dané vlastní frekvenci. Hodnota 2. vlastní frekvence je dle výsledků analýzy 191,2 Hz.



Obrázek 34 – Posunutí a tvar při 1. a 2. vlastní frekvenci

Zhodnocení návrhu tepelného výměníku z hlediska modální analýzy

Modální FEM analýzou původního návrhu tepelného výměníku byla zjištěna 1. vlastní frekvence 32,7 Hz. Tato frekvence je velmi blízko vlastní frekvenci soustrojí 50-55 Hz. Z tohoto důvodu nebyl shledán daný návrh dostatečně bezpečným z hlediska dlouhodobé spolehlivosti zařízení.

Z výsledků analýzy původního návrhu se vyšlo při navrhování vhodné konstrukční úpravy tepelného výměníku tak, aby bylo dosaženo 1. vlastní frekvence mimo vlastní frekvenci soustrojí 50-55 Hz. Konstrukční úpravy spočívaly v doplnění tepelného výměníku dvěma podpěrnými konzolami spojujících blok motoru a těleso výměníku.

Modální FEM analýzou upraveného výměníku byla zjištěna 1. vlastní frekvence 92,2 Hz. Tato hodnota sice není nad doporučenou hodnotou 100 Hz danou výrobcem stirlingova motoru, je však dostatečně vysoká k prohlášení zařízení z hlediska vlastní frekvenční kompatibility za bezpečné. V reálném provozu bude vlastní frekvence ještě vyšší z důvodu připojení tepelného výměníku k vlnovkovému potrubí, jež bylo v analýze zanedbáno.

3.5.3 Základový rám s pomocným technickým zařízením

Celá sestava konverzní jednotky je umístěna na základovém rámu z protlačovaných hliníkových profilů. Základový rám má rozměry 1050 x 875 mm a je vybaven čtyřmi závěsnými oky pro manipulaci s konverzní jednotkou. Základový rám se všemi částmi konverzní jednotky tvoří jeden celek, který je na svou pozici usazován svisle pomocí jeřábu. Soustrojí stirlingova motoru a elektrického generátoru je na rámu uloženo ve 4 pryžových silentblocích.

Základový rám je pevně spojen s ocelovou konstrukcí pomocí čtyř posuvných úchytů umístěných v rozích rámu. Pro omezení přenosu vibrací mezi rámem a ocelovou konstrukcí jsou mezi tyto části vloženy vložky z antivibračního materiálu. Posuvné úchyty umožňují přesné ustavení a fixaci rámu v požadovaném místě.

3.5.4 Chlazení energetické konverzní jednotky

Systém chlazení motoru zahrnuje oběhové čerpadlo, expanzní nádobu, spojovací potrubí a deskový výměník s připojovacím rozhraním na externí chladicí systém. Stirlingův motor je pro udržování konstantní provozní teploty a omezení koroze chladicích kanálů chlazen vodním chlazením směsí propylenglykolu a destilované vody v poměru 1:1. Z tohoto důvodu není možné připojit chlazení stirlingova motoru přímo na stávající chladicí systém zákazníka, který pracuje pouze s upravenou vodou. Je nutné oba okruhy oddělit a předávání tepla zajistit deskovým výměníkem. Kapalina v externím chladicím systému nemá nucený oběh, z tohoto důvodu je nutné zajistit cirkulaci kapaliny oběhovým čerpadlem, které bude umístěno mezi externím chladicím systémem a deskovým výměníkem. Technologické schéma systému chlazení energetické konverzní jednotky je znázorněno v Příloze 3 tohoto dokumentu.

3.5.5 Rozhraní kontrolního a řídicího systému konverzní jednotky

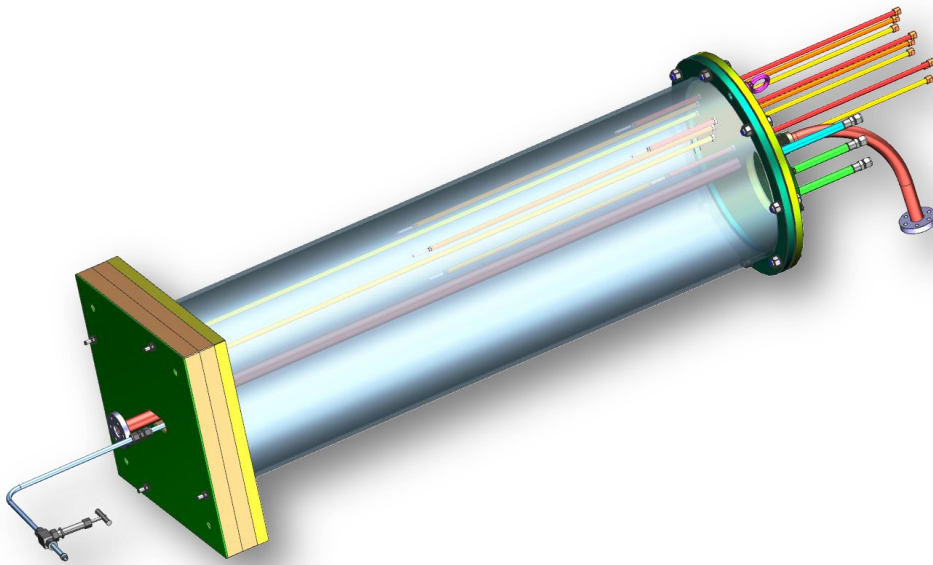
Řídicí a kontrolní systém slouží k řízení parametrů stirlingova motoru a elektrického generátoru. Údaje z čidel stirlingova motoru jsou zobrazeny na monitoru v grafickém rozhraní, ze kterého je možné provádět změny parametrů soustrojí. Hlavním řídicím parametrem je tlak helia v stirlingovo motoru. Tento parametr ovlivňuje výkon celého soustrojí.

3.6 Zásobník tepelné energie

Technický popis zásobníku tepelné energie.

Zásobník tepelné energie se bude skládat z následujících komponent:

- Zásobník tepelné energie
- Ohřev zásobníku energie
- Systém přívodu plynů
- Systém organizovaných úniků



Obrázek 35 - Sestava zásobníku tepelné energie

3.6.1 Zásobník tepelné energie

Zásobník tepelné energie slouží k akumulaci tepelné energie absorbované v koncentrátoru záření. Průtok zásobníkem je regulován pomocí dvou regulačních ventilů. Tímto je možné teplo dodávat konverzní jednotce i ji akumulovat v zásobníku zároveň. Zásobníkem prochází potrubí, ve kterém proudí pracovní médium eutektikum Pb-Bi, jenž předává tepelnou energii Pb v zásobníku. Celkové množství Pb v zásobníku je 200 l. Prvotní naplnění zásobníku je provedeno postupným plněním Pb v tekutém stavu z tavicí pece. Postup plnění je detailně popsán v kapitole 2.11.2. tohoto dokumentu. Tavicí pec není součástí dodávky. V případě přerušení či omezení množství přiváděné tepelné energie, zajišťuje tento zásobní zdroj tepla udržení pracovního média v tekutém stavu v celé smyčce po dobu alespoň 2 hodin. V režimu odběru tepelné energie pouze ze zásobníku, není možné provozovat energetickou konverzní jednotku. V tomto případě by došlo k rychlému vyčerpání naakumulovaného tepla v Pb, protože zásobník není dimenzován na takovou kapacitu.

Zásobník tepelné energie je tvořen trubkou rozměru 457,2 x 9,53 mm a délce 1450 mm, ke které jsou přivařeny dno a příruba víka. Dno zásobníku tvoří plechový výpalek čtvercového

tvaru tloušťky 30 mm, který zároveň zajišťuje připevnění zásobníku k podpěrné konstrukci. Ke dnu je připevněna tvrdá izolace, snižující tepelné ztráty zásobníku.

Dno dále obsahuje výpustní potrubí spojené spojkou Swagelok SS-810-6 a s uzavíracím ventilem Swagelok SS-8BW s připojovacím rozhraním pro vložení trubky rozměru 1/2" (12,7 mm). Víko zásobníku je z plechového výpalku kruhového tvaru tloušťky 20 mm. Víko je s přírubou spojeno osmi šroubovými spoji M 16. Víko zároveň slouží k manipulaci se zásobníkem. K tomuto účelu je víko vybaveno dvěma závěsnými oky M16. Ve víku je vytvořen otvor průměru 170 mm, který je uzavřen víčkem s trubkami pro instrumentaci. Tyto trubky vystupují nad úroveň tepelné izolace a jsou zakončeny spojkou Swagelok SS-810-1-8WBT pro 1/2" potrubí. Dále je k víku přivařeno 9 redukčních spojek Swagelok SS-12M0-R-18M. Tyto redukční spojky jsou prostrčeny skrz otvory ve víku a poté jsou k němu přivařeny z vnitřní strany. Toto řešení umožňuje vložení trubky procházející skrz spojku. Spojky jsou určeny pro vložení trubek rozměru 12 x 1,5 mm, které slouží jako jímky pro termočlánky průměru 3 mm. Celkem 9 termočlánků měří teplotní pole ve třech výškách a ve třech vzdálenostech od středu zásobníku, kde je uloženo potrubí s Pb-Bi. Na konce jímek jsou přivařeny hlavice zajišťující optimální kontakt termočlánku s jímkou. Pro zachycení účinků tepelné dilatace nestejně ohřátého potrubí procházejícího zásobníkem a jeho tělem, je spojení mezi víkem a potrubím tvořeno pružným vlnovcem.

Zásobník tepelné energie je ohříván odporovými topnými pásky o celkovém tepelném výkonu 12 kW. Pásky jsou navinuty rovnoměrně podél válcové plochy nádrže.

Zásobník tepelné energie obsahuje 3 spojky Swagelok SS-8BW-TW pro potrubí 1/2". Dvě spojky slouží k přívodu plynů a k jejich zpětnému odvodu do systému organizovaných úniků plynů. Zbývající spojka je vyhrazena pro případné plnění zásobníku energie olovem z horní strany.

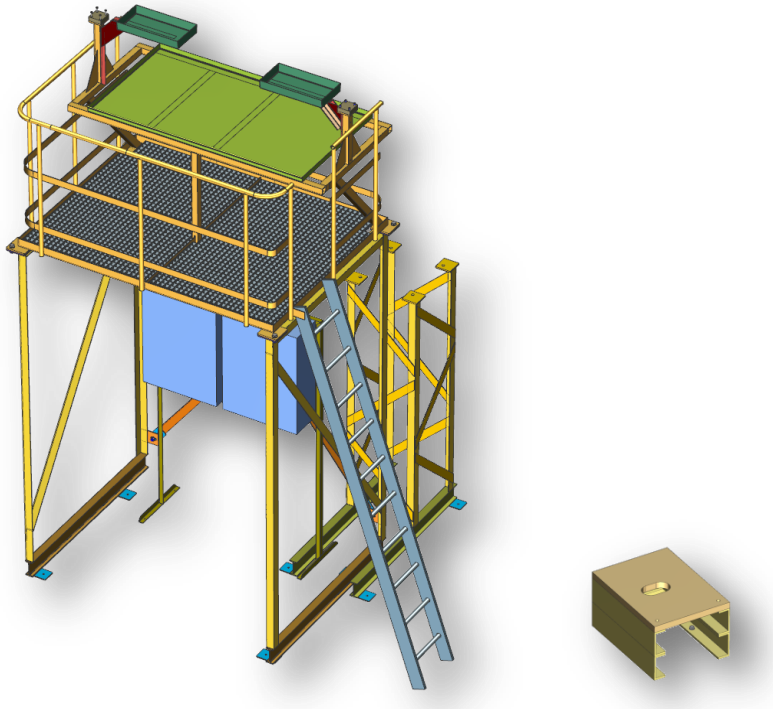
Systém organizovaných úniků plynu ze zásobníku energie bude sloužit k odpouštění plynu při tvorbě požadované atmosféry nad volnou hladinou Pb. Zařízení pro organizovaný únik plynů bude společně pro expanzní nádobu, zásobník energie a zásobní nádrž.

3.7 Pomocné konstrukce

Technický popis pomocných konstrukcí.

Pomocné konstrukce se skládají z následujících komponent:

- Servisní plošina se záchytnou vanou
- Záchytné vany úniku z kompenzátorů
- Přístup na plošinu
- Podpěrná konstrukce zásobníku energie
- Podpěrná konstrukce zásobní nádrže
- Komínové chlazení vratné/studené větve



Obrázek 36 - Servisní plošina s pomocnými konstrukcemi

3.7.1 Servisní plošina se záchytnou vanou

Pro usnadnění montáže a přístupnosti k energetické konverzní jednotce je vytvořena přístupová servisní plošina. Plošinu tvoří svařence plošiny s bezpečnostním zábradlím a s pochozími rošty. K plošině jsou přišroubovány dvě svařované bočnice, na kterých plošina stojí. Plošina má rozměry 1500 x 2000 mm a je její podlaha ve výšce 2775 mm nad úrovní vyvýšeného stupně podlahy. Bočnice jsou s podlahou haly spojeny kotvicími šrouby M12. Plošina obsahuje konzolu pro uchycení záchytné vany, ve které je uložena energetická konverzní jednotka. Záchytná vana má pojistnou funkci při případném úniku oleje nebo pracovního média ze zařízení. Plošina dále obsahuje dva kotvicí body potrubí. Jeden kotvicí bod umístěný u vertikální horké větve je řešen jako pevný a druhý bod kotvení na protilehlé straně plošiny umožňuje posuv v axiálním směru potrubí. Tímto jsou zachyceny tepelné dilatace vzniklé při spouštění a provozu zařízení.

3.7.2 Záchytné vany úniku z kompenzátorů

K servisní plošině jsou přišroubovány konzoly se záchytnými vanami, umístěné pod kompenzačními vlnovci. Funkce těchto kompenzátorů vibrací je detailně popsána v kapitole 2.5.3 tohoto dokumentu. Úkolem záchytných van je v případě vzniku netěsnosti zabránit případnému stékání pracovního média po konverzní jednotce. Záchytné vany zároveň slouží jako nosiče systému včasné indikace malých netěsností kompenzátorů.

3.7.3 Přístup na plošinu

Pro možnost snadného přístupu na servisní plošinu byl vzhledem k dispozičnímu uspořádání smyčky v hale zvolen přístup po žebříku. Žebřík je vyroben z lisovaných profilů z hliníkové slitiny. Žebřík svírá s podlahou úhel přibližně 70°. Žebřík je pevně spojen se servisní plošinou šroubovými spoji.

3.7.4 Podpěrná konstrukce zásobníku energie

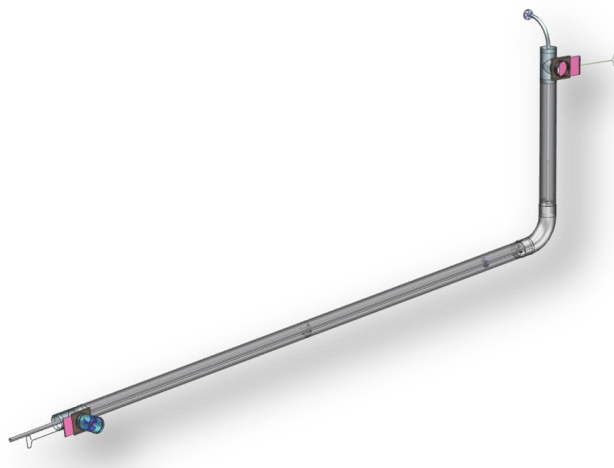
Zásobník tepelné energie je v požadované výšce umístěn na podpěrné příhradové konstrukci. Příhradová konstrukce je k podlaze laboratoře kotvena pomocí 4 kotvicích šroubů M12. Pro rozložení hmotnosti na stávající příčné nosníky podlahy tvoří základnu příhradové konstrukce dva nosníky I 180 umístěné kolmo k stávajícím nosníkům. Zásobník tepelné energie je s podpěrnou konstrukcí spojen čtyřmi šroubovými spoji M16.

3.7.5 Podpěrná konstrukce zásobní nádrže

Zásobní nádrž je pro možnost jejího snadného vypouštění umístěna na vyvýšené podpěrné konstrukci, která je svařena ze dvou na sobě položených profilů U 120. Na svařenci je umístěna tvrdá tepelná izolace snižující tepelné ztráty ze zásobní nádrže. Konstrukce zásobní nádrže je k podlaze přichycena pomocí 2 kotvicích šroubů M12.

3.7.6 Komínové chlazení

Pro podporu pasivní cirkulace pracovního média ve smyčce je navrženo komínové chlazení s pasivním prouděním chladicího vzduchu okolo cirkulačního potrubí. Rychlost proudění vzduchu je možné zvýšit zapnutím ventilátoru umístěného u vstupu do potrubí komínového chlazení. Funkci ochlazování vratné větve potrubí je možné regulovat nastavením otevření šoupátek na přívodu a odvodu vzduchu komínového chlazení. Potrubí má průměr 150 mm a je převýšeno o 2500 mm. Pokud nebude potřeba dodatečného chlazení vratné větve, je možné komínové chlazení zcela uzavřít. Vnější povrch potrubí komínového chlazení je tepelně izolován shodně s hlavním potrubím smyčky. Zamezením proudění vzduchu a tepelnou izolací jsou minimalizovány tepelné ztráty v tomto místě, pokud chlazení nebude zapotřebí.



Obrázek 37 – Komínové chlazení vratné větve cirkulační smyčky

3.8 Tepelná izolace

Cirkulační potrubí bude tepelně izolováno vrstvenou tepelnou izolací tak, aby při maximálních provozních parametrech experimentální smyčky, nedošlo k překročení maximální přípustné povrchové teploty. Vnější povrch izolace bude chráněn hliníkovou fólií.

Vstupní parametry pro návrh typu a tloušťky izolace jsou:

- maximální provozní teplota média je 500 °C.
- maximální teplota okolního prostředí je 25 °C
- maximální přípustná teplota přístupného povrchu je 60 °C.

3.8.1 Návrh tepelné izolace

Skladba tepelné izolace:

- UniFrax Sibrál, síla izolace 20/50 mm
- Rockwool ProRox Ps 960, síla izolace 60 mm
- Isover ML-3, síla izolace 60 mm

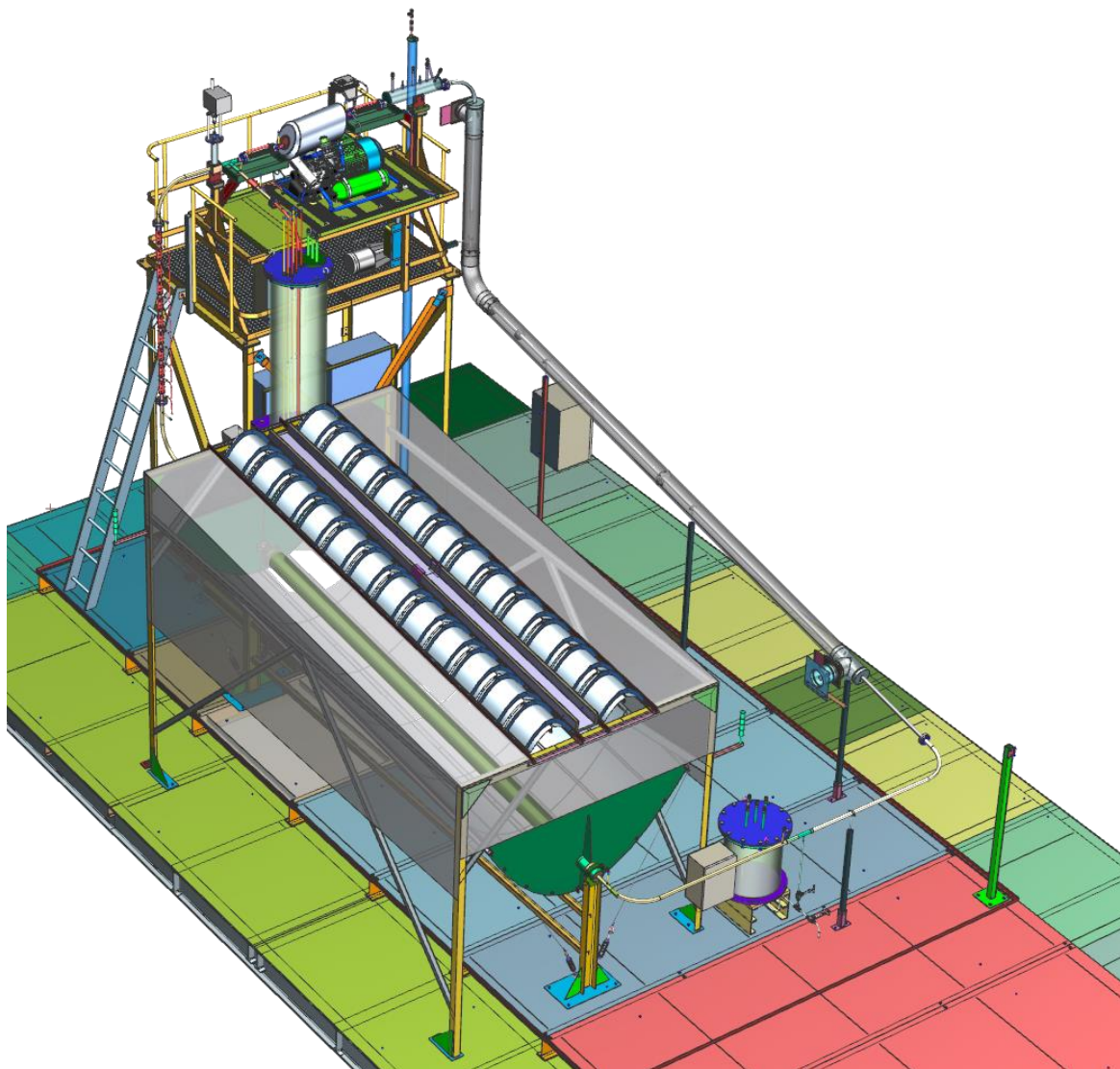
Tepelná izolace zásobní nádrže, expanzní nádoby, tepelného výměníku, regulačních ventilů a potrubí komínového chlazení je provedena obdobným způsobem jako izolace cirkulačního potrubí.

Tepelná izolace zásobníku energie je pro zvýšení efektivity akumulace tepelné energie izolována vrstvou izolace zvětšenou o 50% oproti tloušťce izolace splňující požadavek na maximální teplotu povrchu.

Tepelná izolace energetické konverzní jednotky je vytvořena pouze okolo vík válců stirlingova motoru, kde je nejvyšší teplota povrchu zařízení. Způsob této izolace vychází z požadavků na maximalizaci účinnosti tepelného stroje, kdy je nutné zajistit přístupnost a přímý kontakt některých částí jednotky s okolní atmosférou. Z tohoto důvodu není na všech površích energetické konverzní jednotky splněna podmínka maximální povrchové teploty. Pro zajištění ochrany zdraví osob je přístup na servisní plošinu, kde je umístěna konverzní jednotka, v době provádění experimentu omezen.

4 Zhodnocení řešení

K návrhu koncepce celkového zařízení bylo přistoupeno na základě požadavků zadávací dokumentace, která přesně definuje dispozici hlavních částí systému a jejich funkci. Způsob zajištění funkcí jednotlivých komponent nebyl v zadávací dokumentaci upřesněn. Na základě těchto skutečností bylo přistoupeno k postupnému rozpracovávání dílčích funkčních komponent. Vzhledem k dosahovaným vysokým teplotám pracovního média nebylo možné použít standardně prodávané komponenty, jelikož je trh běžně nenabízí. Dílčí komponenty zařízení byly z tohoto důvodu navrženy od prvopočátku, kdy bylo vycházeno z již existujících řešení, třebaže nesplňujících zadané parametry. Všechny komponenty vzájemně tvoří finální experimentální zařízení pro simulaci elektrárny koncentrované solární energie. Jedná se o nově vyvíjený produkt, a proto je předpokládána budoucí optimalizace jednotlivých komponent a dispozičního uspořádání celého zařízení na základě zkušeností získaných jeho provozem.



Obrázek 38 - Kompletní zařízení experimentální smyčky koncentrované solární energie

5 Závěr

Hlavním cílem mé diplomové práce bylo navržení nového unikátního experimentálního zařízení smyčky koncentrované solární energie s průběžnými parabolickými zrcadly, energetickou konverzní jednotkou a tekutou slitinou kovu olovo-bismut tvořící pracovní médium. Před přistoupením k návrhu zařízení byla provedena rešerše vlivů ovlivňujících účinnost tepelných solárních elektráren ve skutečných podmínkách. Následně byly popsány charakteristické znaky základních koncepcí tepelných solárních elektráren.

Z hlediska hospodárnosti a rychlosti návrhu nového zařízení je vhodné používat v maximální míře normalizované a typizované součásti, které mají ověřené parametry a jsou svým výrobcem certifikované do daného prostředí a podmínek použití. Vzhledem k unikátnosti požadavků, jako jsou vysoká teplota až 500°C a typ pracovního média kterým je roztavený kov, nebylo vždy možné použít nakupované součásti, ačkoliv do běžných podmínek jsou tyto součásti běžně k dispozici. Z tohoto důvodu byl vytvořen vlastní návrh uzavíracího ventilu pro regulaci průtoku jednotlivými větvemi cirkulační smyčky. Návrh 3D modelů, výpočet tepelného výměníku a tvorba kompletní výkresové dokumentace byla realizována pomocí CAD systému. Některé nakupované části zařízení vyžadovali pro zajištění jejich správné funkce návrhí dodatečných úprav, jako tomu bylo učiněno v případě absorpční trubice. Nejobtížnější částí zařízení bylo v důsledku protichůdných požadavků návrhí tepelného výměníku PbBi-He, který zásobuje tepelnou energií výkonný prvek celého zařízení – energetickou konverzní jednotku. Konečná verze tepelného výměníku byla poté zkontrolována na vyloučení vzniku nežádoucích provozních stavů během provozu. Z výsledků této analýzy bylo nutné upravit uložení tepelného výměníku na konstrukci stirlingova motoru tak, aby k těmto nepříznivým stavům nedocházelo.

Výsledkem této diplomové práce je kompletní návrh experimentálního zařízení smyčky koncentrované solární energie, který splňuje funkční i technické požadavky zadání.

V budoucnu může být na základě zkušeností z reálného provozu zařízení možné definovat problematiska místa jednotlivých částí zařízení a upravit jejich vlastnosti požadovaným způsobem.

6 Použité zdroje

Knižní publikace

- [1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.: *Příručka strojního inženýra 1*. Praha: Computer Press, 1999. ISBN 80-7226-055-3.
- [2] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.: *Příručka strojního inženýra 2*. Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-7226-202-5.
- [3] BUTTI, K., PERLIN, J.: *A Golden Thread*. Palo Alto: Cheshire Books, 1980. ISBN 0-442-24005-8.
- [4] MOLDAN, B.: *Podmaněná planeta*. Praha: Karolinum Press, 2015. ISBN 8024629992.

Publikace na internetu

- [5] WEI-HAAS, Maya. Olympic torch lighting [foto]. In: *Smithsonian.com* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: <https://www.smithsonianmag.com/innovation/your-burning-questions-about-olympic-torch-answered-180968120>
- [6] Printing press [foto]. In: *Newegg.com* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: <https://www.newegg.com/p/2NM-0084-2G322>
- [7] Par solar radiation [foto]. In: *Fondriest.com* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/weather/photosynthetically-active-radiation>
- [8] ROTTMAN, Gary. In: *Colorado.edu* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: <http://lasp.colorado.edu/home/sorce/2013/01/28/the-sorce-mission-celebrates-ten-years/>
- [9] In: *IEA.org* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: <https://www.iea.org/geco/electricity/>
- [10] In: *Atmos.albany.edu* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: http://www.atmos.albany.edu/facstaff/brose/classes/ATM623_Spring2015/Notes/Lectures/Lecture11%20--%20Insolation.html
- [11] In: *Betterworldsolutions.eu* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: <https://www.betterworldsolutions.eu/time-for-more-concentrated-solar-power-plants/csp-parabolic-trough-system/>
- [12] In: *Utilities-me.com* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: <https://www.utilities-me.com/article-3268-acwa-wins-2bn-contract-for-morocco-solar-plant>
- [13] In: *Blogspot.com* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: <http://4.bp.blogspot.com/-PzNylDLa1X0/T9S8SgeC4gI/AAAAAAAAA6Q/KiHugZqeh9Y/s1600/-solar-csp-clfr-plant-areva-tyu.jpg>
- [14] In: *Homglassware.com* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: <https://www.homglassware.com/concentrated-solar-power-csp.html>

- [15] Graphics csp dishengine [foto]. In: *Energy.gov* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: https://www.energy.gov/sites/prod/files/styles/download_hero/public/graphic_csp_dishengine_1996_high.jpg?itok=E4WavBCM
- [16] In: *Mcensustainableenergy.com* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: <http://mcensustainableenergy.pbworks.com/w/page/32178486/Solar%20Parabolic%20Dish%20CSP>
- [17] In: *Metaefficient.com* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: <https://metaefficient.com/news/new-world-record-set-for-solar-efficiency-3125.html>
- [18] Molten salt solar power station largest of its kind [foto]. In: *Chinadaily.com* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: <http://www.chinadaily.com.cn/a/201901/08/WS5c3408aba31068606745f714.html>
- [19] In: *Fluidsengineering.com* [online]. [Cit. 22.5.2019]. Dostupné z: https://fluidsengineering.asmedigitalcollection.asme.org/data/journals/jfega4/931942/fe_137_05_051104_f001.png

Ostatní zdroje

- [20] 3D model energetické konverzní jednotky včetně příslušenství, Strojírny Bohdalice
- [21] Interní podklady ŠKODA JS a.s.

Seznam použitého software

- Siemens NX 10
- Autodesk AutoCAD Mechanical 2017
- Programy Microsoft Office 2017

Seznam příloh

Přílohy vevázané

- Příloha č.1 – Technické požadavky na zařízení (2xA4)

Přílohy volně vložené

Příloha č.2 – Výkresová dokumentace

- Výkres sestavy – Smyčka koncentrované solární energie – KKS 115411 (1xA1)
- Výkres sestavy – Tepelný výměník PbBi-He – KKS 115402 (1xA1)
- Výkres sestavy – Přírubový spoj DN25 (1xA2)
- Výkres sestavy – Přístupová konstrukce-plošina DN25 (1xA1)
-

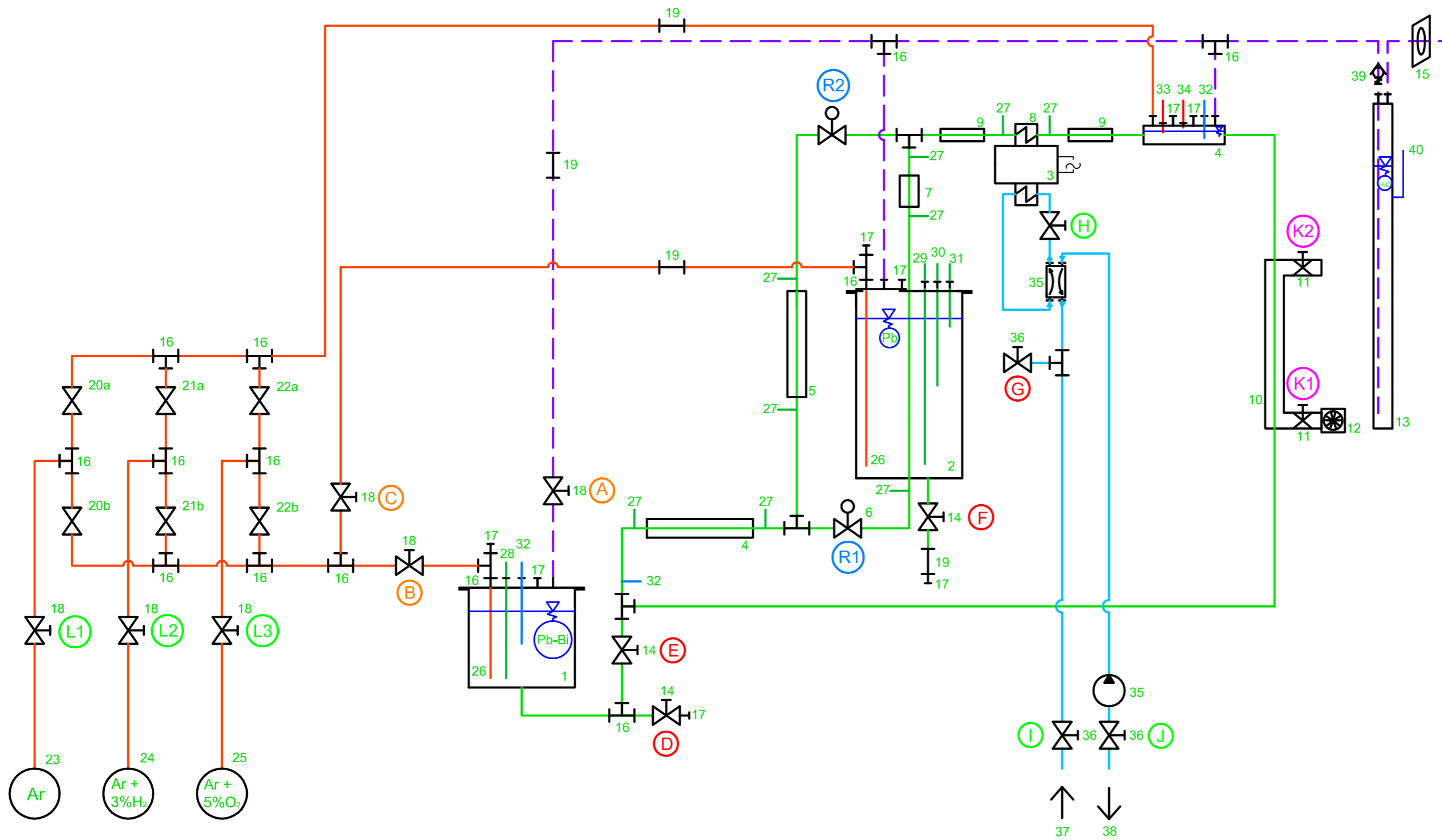
Příloha č.3 – Technologické schéma (1xA3)

Příloha č.1 – Technické požadavky a parametry zařízení (strojí část)

№	Technické požadavky (1/2)	Parametr
Položky požadovaného souboru		
1	Umělý zdroj záření	ano
2	Koncentrátor energie	ano
3	Smyčka s pasivní cirkulací	ano
4	Zásobní nádrž	ano
5	Systém pro konverzi tepelné energie	ano
6	Zásobník tepelné energie	ano
7	Plynový systém pro udržování koncentrace kyslíku v okruhu	ano
Požadavky na Umělý zdroj záření		
1	Počet kusů	1
2	Tok energie dopadající na plochu koncentrátoru	Nejméně 1000 W/m ²
3	Velikost ozářené plochy koncentrátoru	10 m ²
Požadavky na Koncentrátor energie		
1	Počet kusů	1
2	Plocha Koncentrátoru energie	10±0,5 m ²
3	Médium pro odvod tepelné energie	Eutektické PbBi
4	Koncentrátor musí být schopen pracovat s médiem o teplotě 500°C	ano
5	Pracovní poloha	horizontální
6	Elektrický ohřev pracovního média	ano
Požadavky na Smyčku s pasivní cirkulací		
1	Počet kusů	1
2	Rozsah pracovních teplot	20 - 500°C
3	Maximální provozní tlak	500 kPa
4	Pracovní médium	Eutektické PbBi
5	Výška vertikální části cirkulační smyčky	3±0,1 m
6	Průměr cirkulačního potrubí (vnitřní)	26±1 mm
7	Měření teplotního profilu podél potrubí	Min. 15 ks
8	Měření průtoku pracovního média	ano

No	Technické požadavky (2/2)	Parametr
Požadavky na smyčku s pasivní cirkulací		
9	Průtočná expanzní nádrž	ano
Požadavky na Zásobní nádrž		
1	Počet kusů	1
2	Rozsah pracovních teplot	20 - 500°C
3	Maximální provozní tlak	Nejméně 500 kPa
4	Pracovní médium	Eutektické PbBi
5	Měření teploty pracovního média uvnitř nádrže	ano
Požadavky na Systém pro konverzi tepelné energie		
1	Počet kusů	1
2	Rozsah pracovních teplot	Nejméně 130 – 500°C
3	Zdroj tepelné energie	Eutektické kapalné PbBi
4	Odvod odpadního tepla	Okolí nebo vodní chladicí okruh haly
Požadavky na Zásobník tepelné energie		
1	Počet kusů	1
2	Pracovní médium Zásobníku energie	Pb
3	Uchování energie pro udržení pracovního média smyčky v kapalném stavu.	Nejméně 2h
4	Výměník Pb/PbBi pro nabíjení Zásobníku energie	ano
5	Měření průtoku pracovního média Zásobníkem en.	ano
6	Měření teplotního pole uvnitř Zásobníku energie	9 míst
Požadavky na Plynový systém pro udržování koncentrace kyslíku v okruhu		
1	Počet kusů	2

KONCENTROVANÁ SOLÁRNÍ ENERGIE (CSP) - TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA



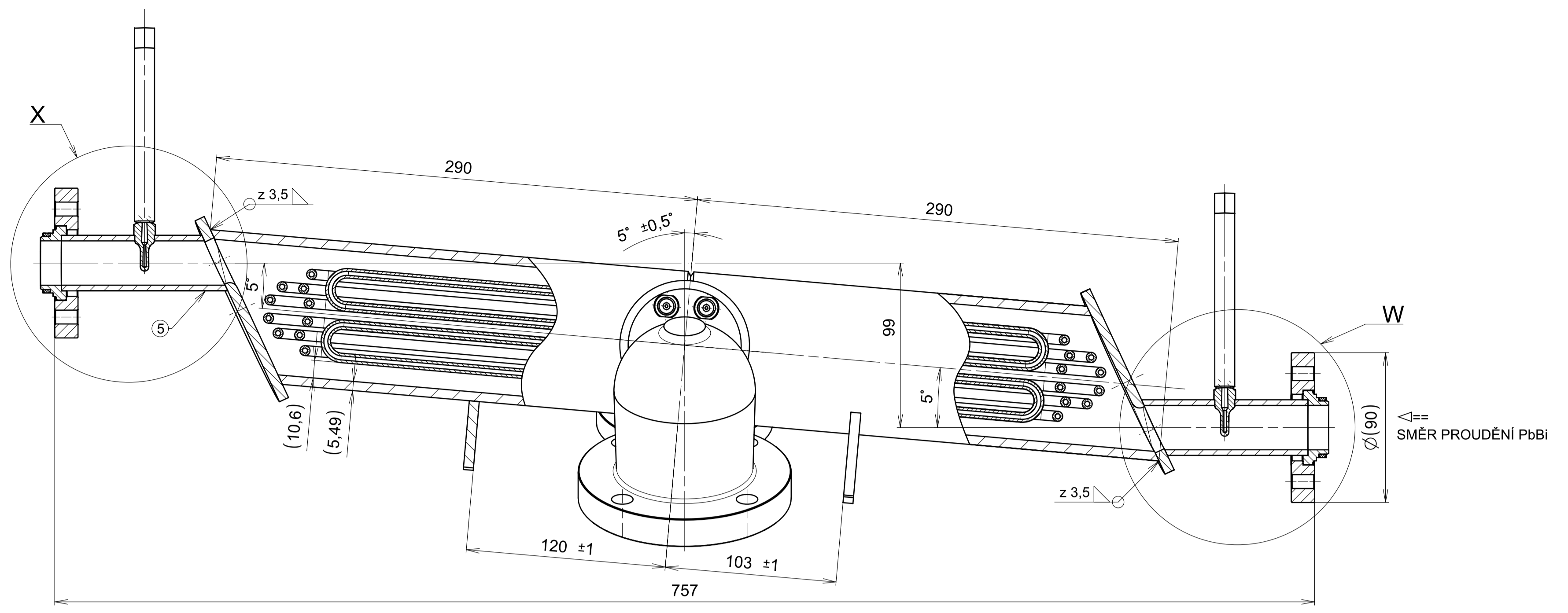
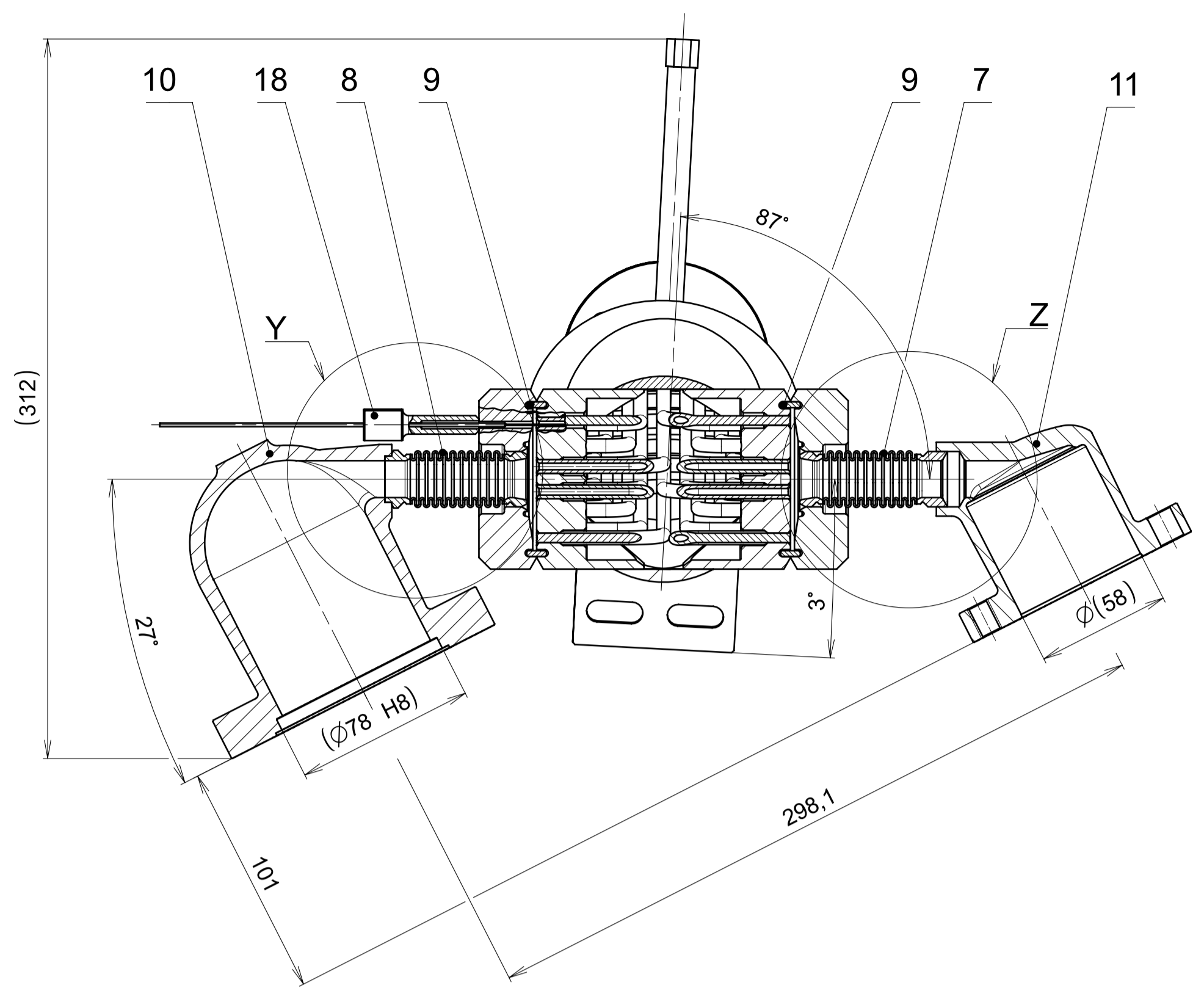
Číslo PID	Komponenta	Poznámka	KS
1	Zásobní nádrž	Plnicí nádoba	1
2	Zásobník energie	Akumulční nád.	1
3	Konverzní jednotka	Střihing m.+generátor+chlazení	1
4	Expanzní nádrž	Horizontální, průtočná	1
5	Elektrický ohřev	Topné patrony 10 x 1000 W	1
6	Regulační ventil	EL ovládaný, s enkodérem	2
7	Průtokoměr	Topná patrona 1 x 1000 W	1
8	Tep. výměník Pb-Bi - He	Ohřívák stříhngova molozu	1
9	Kompenzační vlnovec	Zachycení vlnrací komv. jedn.	2
10	Komínové chlazení	Horokovzdúlný rozvod Ø150	1
11	Škrťící klapka	Šoupátko kruhové Ø150	2
12	Ventilátor	Celokovový	1
13	Organzované úniky plynú	Přívod plynú pod hladinu	1
14	Uzavírací ventil	Sedlový, manuální, vyhřívavý, systém zářezného kroužku	3
15	Prostup stěnou	Hala č.213, Ø120	1
16	T-spojka	Systém zářezného kroužku	12
17	Záslepka spojky	Systém zářezného kroužku	8
18	Uzavírací ventil	Kulový, manuální systém zářezného kroužku	6
19	Potrubní spojka	Přímá, systém zářezného kroužku	3
20	Hmotnostní průtokoměr	Kalibrace na plyn Ar	2
21	Hmotnostní průtokoměr	Kalibrace na plyn Ar+3%H ₂	2
22	Hmotnostní průtokoměr	Kalibrace na plyn Ar+5%O ₂	2
23	Přívod plynu Ar	Z rozvodu v hale č.213	1
24	Přívod plynu Ar+3%H ₂	Z rozvodu v hale č.213	1
25	Přívod plynu Ar+5%O ₂	Z rozvodu v hale č.213	1
26	Přívod plynu	Potrubi s vypustěním pod hladinu	2
27	Termočlánek v potrubí	Hlavice jímky ve středu potrubí	9
28	Termočlánek	Uměstění v jámce v zásobní nádrži	1
29	Termočlánek	Měření u dna, ve třech vzdálenostech	3
30	Termočlánek	Měření ve středu nádoby, ve třech vzdálenostech	3
31	Termočlánek	Měření u hladiny, ve třech vzdálenostech	3
32	Oxymetr	Pro regulaci množství O ₂	3
33	Snímač hladiny	Snímání nízké hladiny	1
34	Snímač hladiny	Snímání vysoké hladiny	1
35	Tepelný výměník	Deskový	1
36	Uzavírací ventil	Kulový, manuální	3
37	Přívod chladicí vody	Součástí rozvodu haly č.213	1
38	Odvod chladicí vody	Součástí rozvodu haly č.213	1
39	Zpětný ventil	Systém zářezného kroužku	1
40	Hladinoměr	Plnicí systému organizovaných únikú plynú, měření hladiny	1

Barevné označení potrubních systémů:

- Zelená - hlavní cirkulační potrubí
- Oranžová - přívod technických plynů
- Modrá - chladicí okruh
- Fialová - potrubí organizovaných úniků plynů

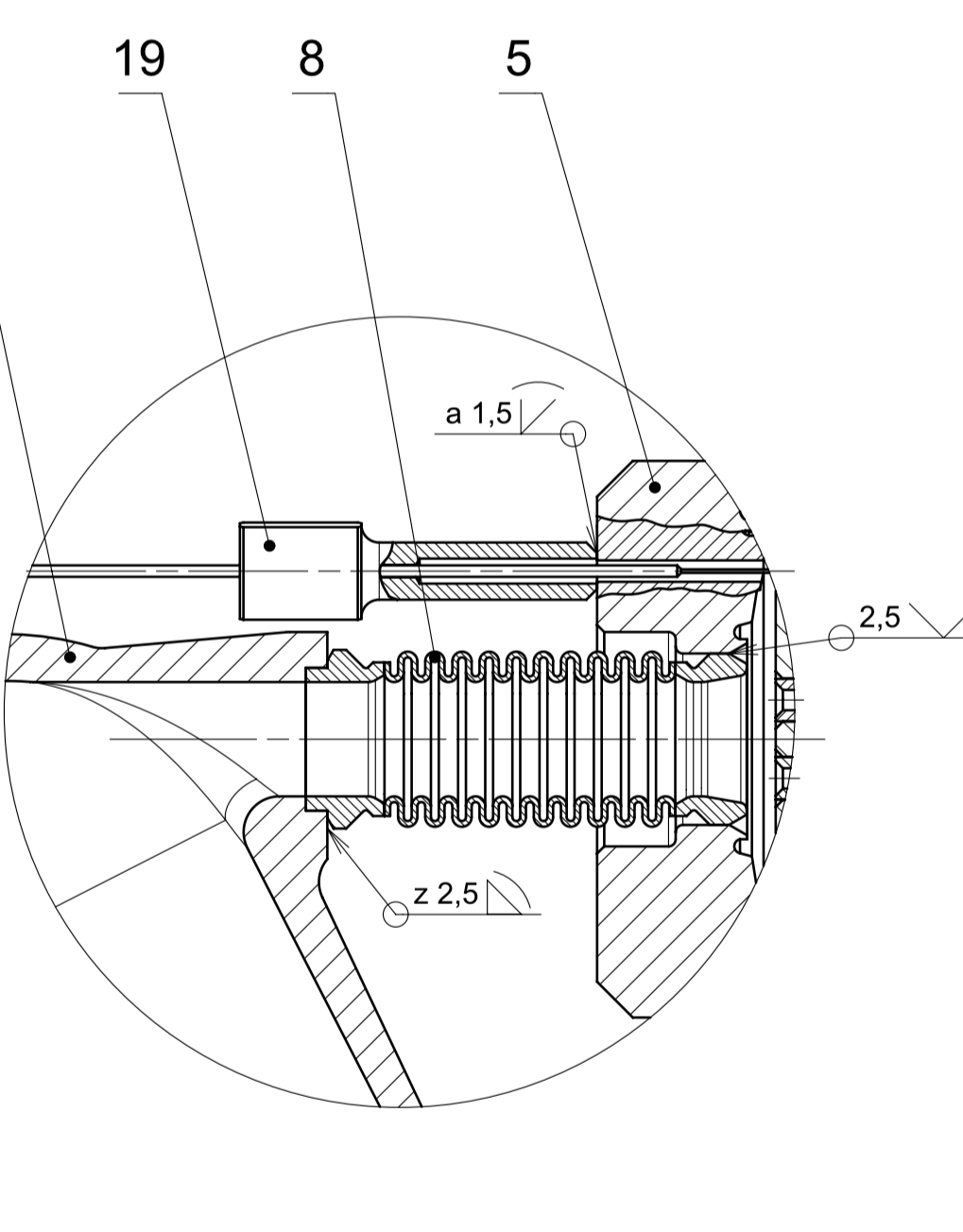
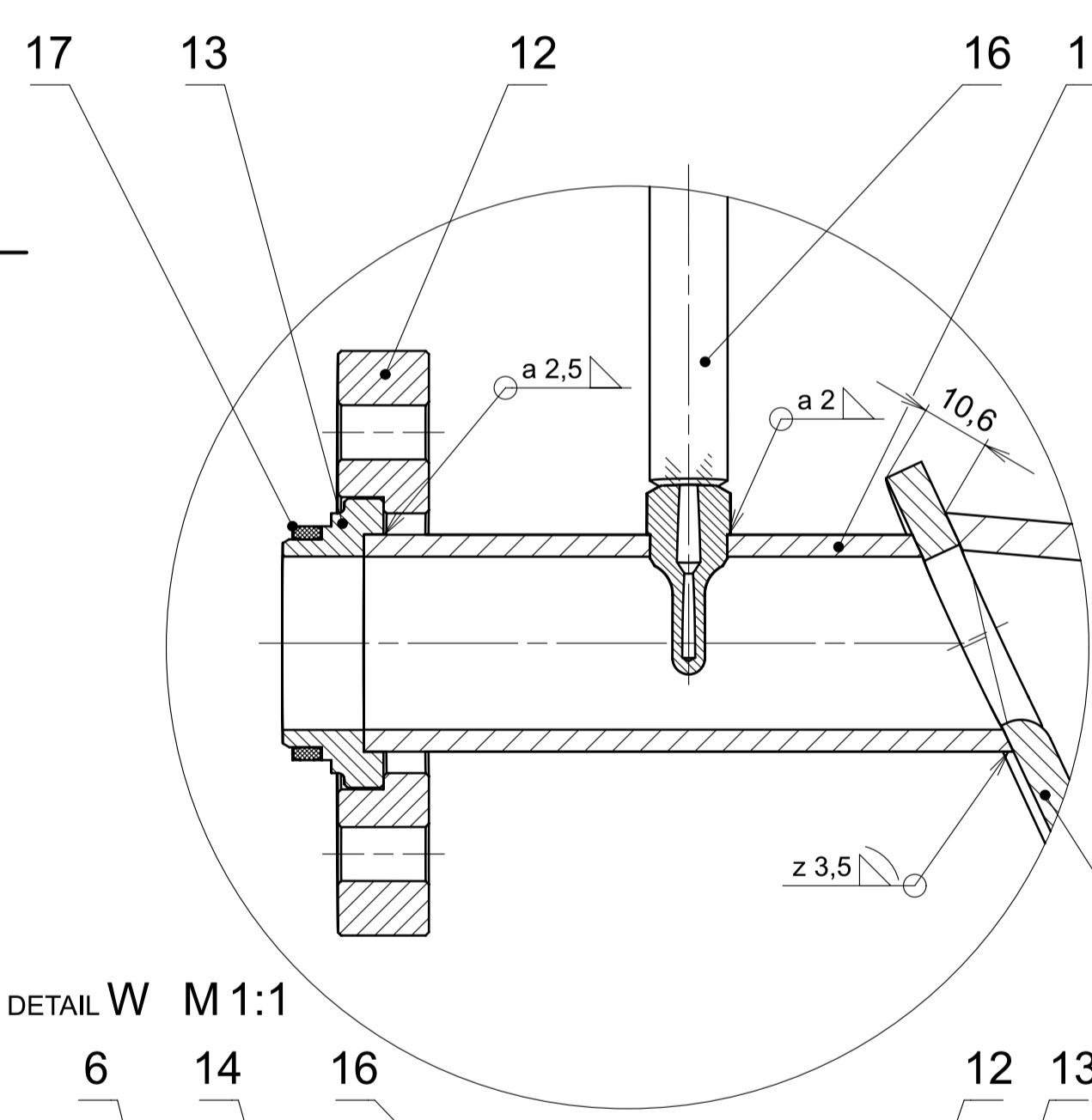
Barevné označení uzavíracích prvků:

- Zelená - ventily implicitně otevřené
- Oranžová - stav ventilu dle prováděné operace
- Červená - ventily implicitně zavřené
- Modrá - elektricky řízené ventily
- Fialová - uzavírací prvky pomocného systému



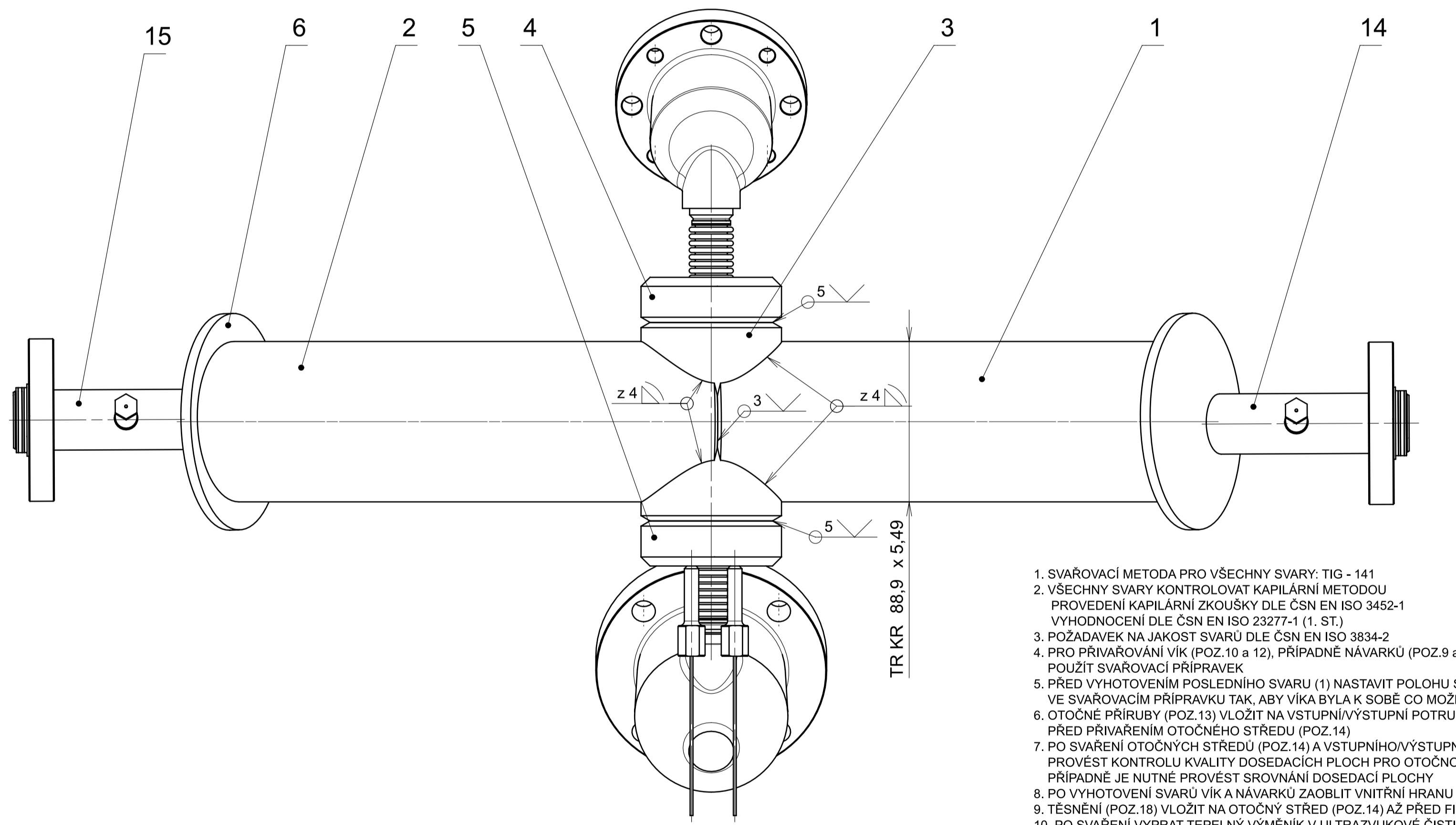
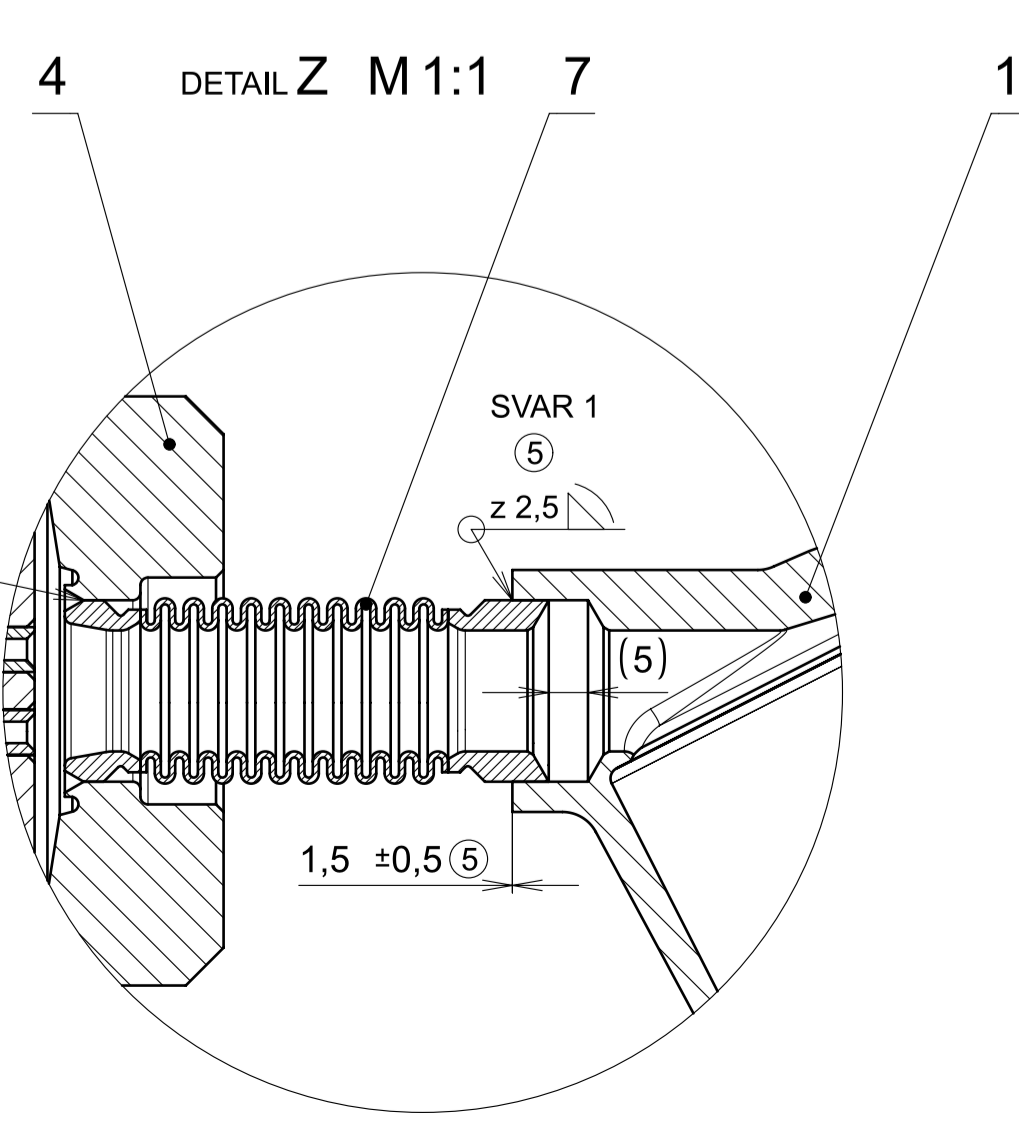
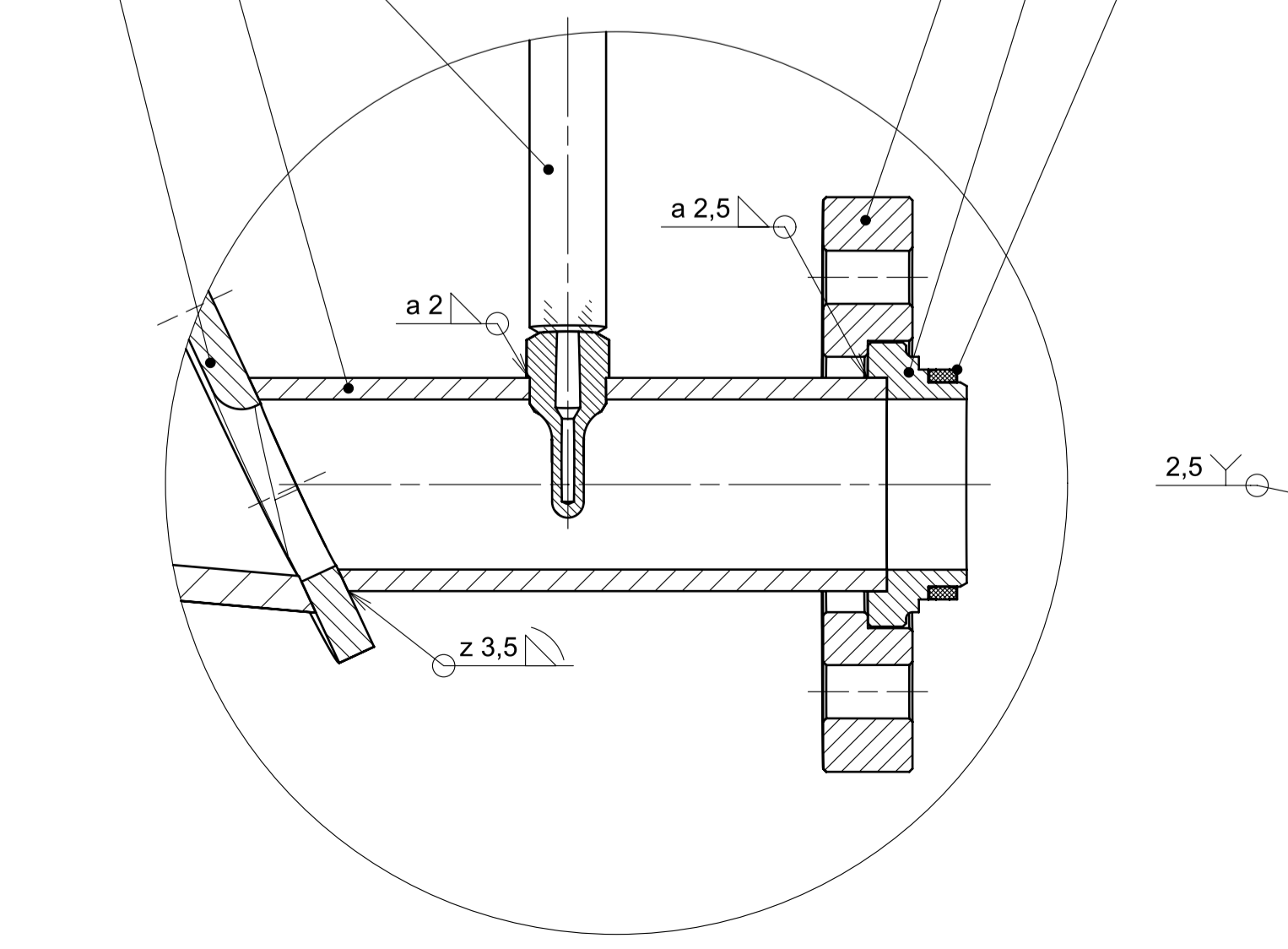
DETAIL X M 1:1

DETAIL Y M 1:1



DETAIL W M 1:1

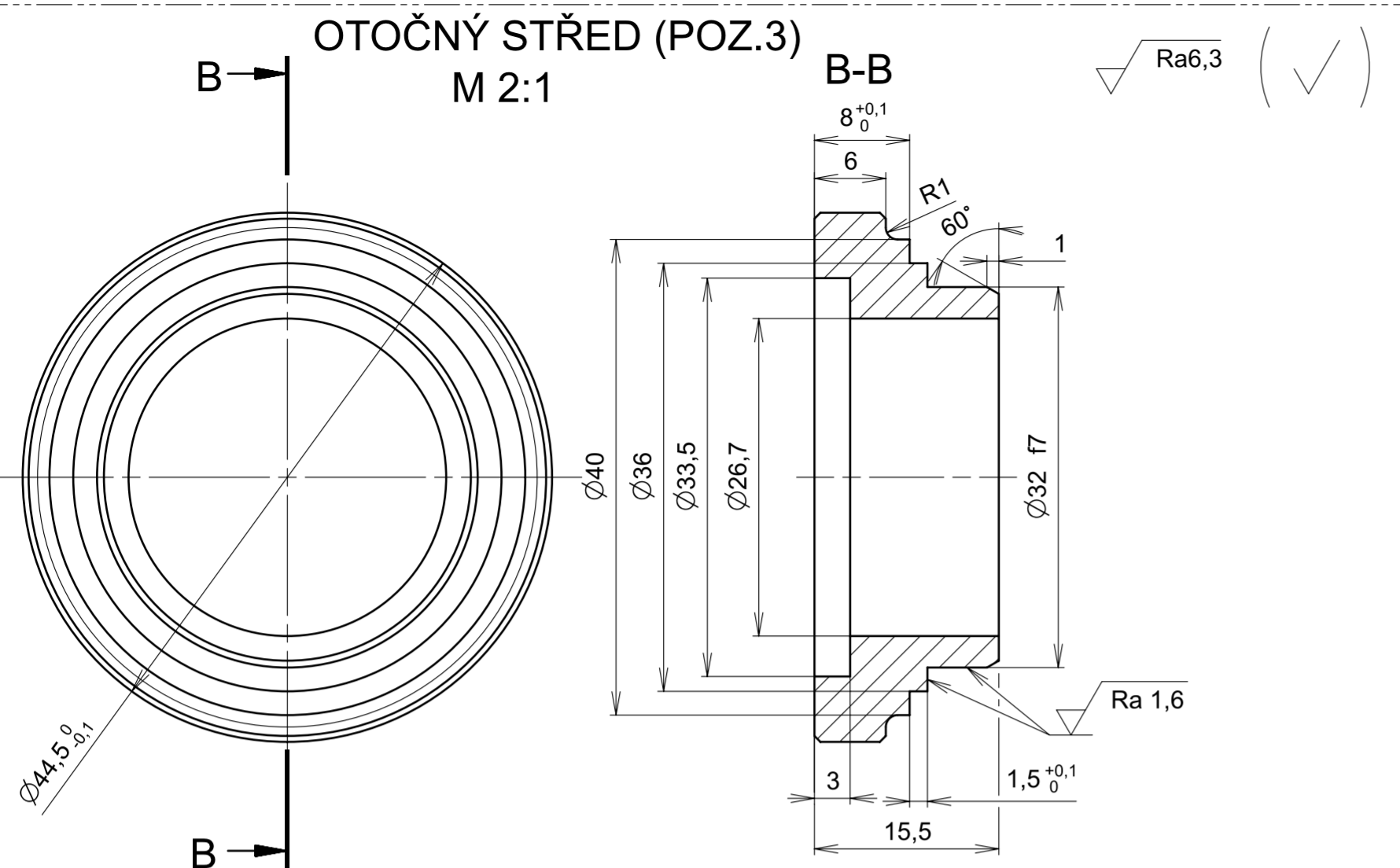
DETAIL Z M 1:1



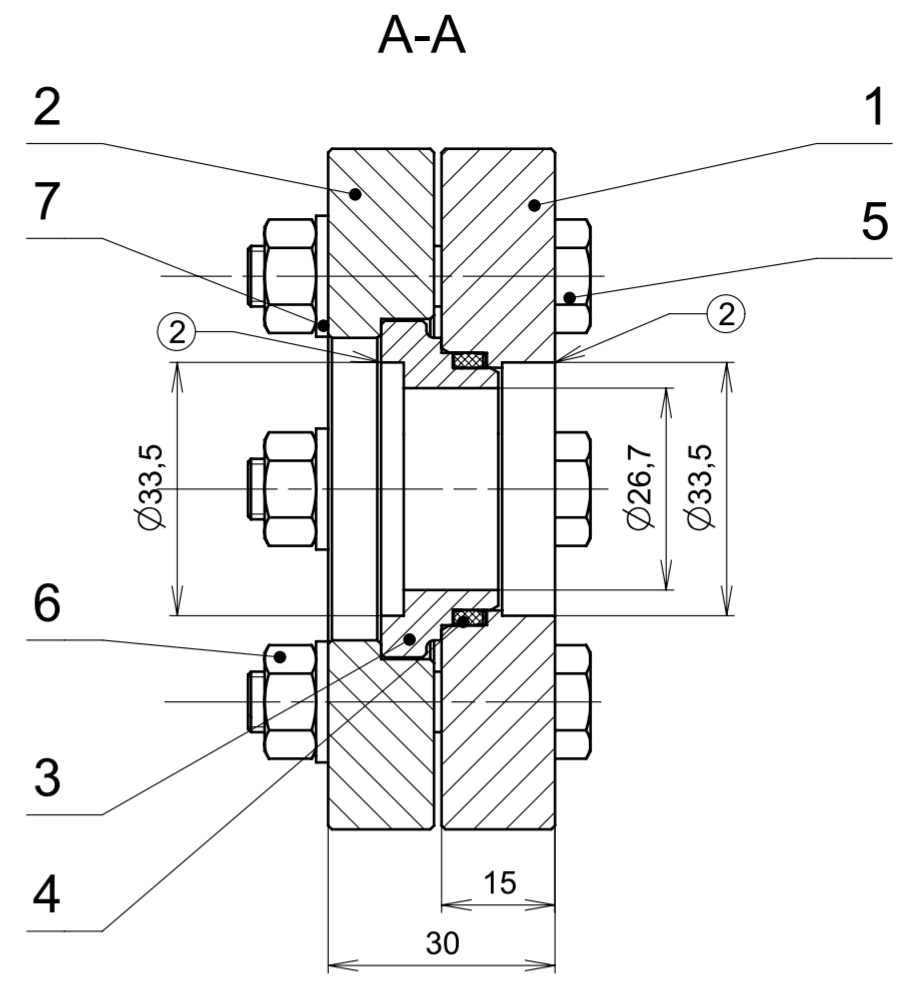
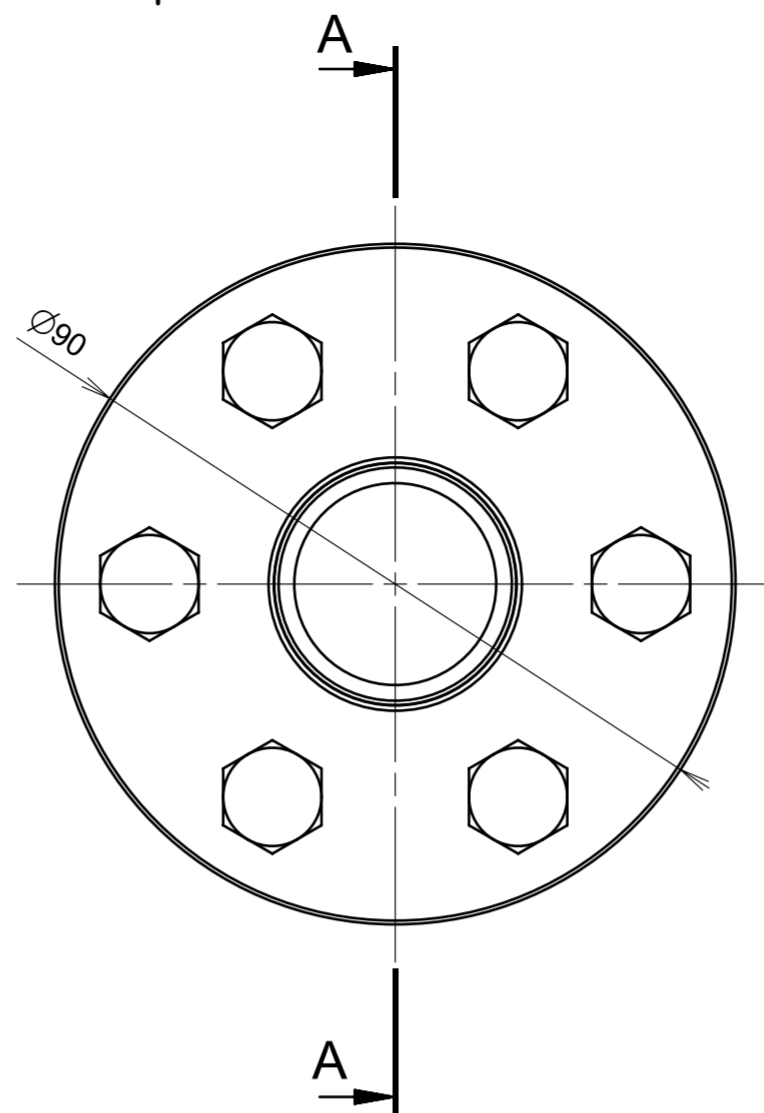
1. SVAŘOVACÍ METODA PRO VŠECHNY SVARY: TIG - 141
2. VŠECHNY SVARY KONTROLOVAT KAPILÁRNÍ METODOU PROVEDENÍ KAPILÁRNÍ ZKOUŠKY DLE ČSN EN ISO 3452-1 VYHODNOCENÍ DLE ČSN EN ISO 23277-1 (1. ST.)
3. POŽADAVEK NA JAKOST SVARŮ DLE ČSN EN ISO 3834-2
4. PRO PŘÍVAŘOVÁNÍ VÍK (POZ.10 a 12), PŘÍPADNĚ NÁVARKU (POZ.9 a 11) POUŽÍT SVAŘOVACÍ PŘÍPRAVKY
5. PŘED VYHOTOVENÍM POSLEDNÍHO SVARU (1) NASTAVIT POLOHU SOUČÁSTÍ VE VÝHOTOVACÍM PŘÍPRAVKU TAK, ABY VÍKA BYLA K SOBĚ CO MOŽNÁ NEJVÍCE PŘÍBLIŽENA
6. OTOČNÉ PŘÍRUBY (POZ.13) VLOŽIT NA VSTUPNÍ/VÝSTUPNÍ POTRUBÍ (POZ.15, 16) PŘED PŘÍVAŘENÍM OTOČNÉHO STŘEDU (POZ.14)
7. PO SVAŘENÍ OTOČNÝCH STŘEDŮ (POZ.14) A VSTUPNÍHO/VÝSTUPNÍHO POTRUBÍ PŘÍPADNĚ JE NUTNÉ PROVĚST SROVNÁNÍ DOSEDACÍCH PLOCH PRO OTOČNOU PŘÍRUBU (POZ.13).
8. PO VYHOTOVENÍ SVARŮ VÍK A NÁVARKŮ ZAČINIT Vnitřní HRANU R=2 TĚSNĚNÍ (POZ.18) VLOŽIT NA OTOČNÝ STŘED (POZ.14) PŘED FINÁLNÍ MONTÁŽÍ
10. PO SVAŘENÍ VYPRAŤ TEPELNÝ VÝMĚNÍK V ULTRAZVUKOVÉ ČISTIČCE
11. TLAKOVÁ ZKOUŠKA BUDE PROVEDENA PO MONTÁŽI VÝMĚNÍKU NA KONVERZNÍ JEDNOTKU ZKOUŠKU PROVEDE DODAVATEL KONVERZNÍ JEDNOTKY (STROJÍRNY BOHDALICE)

POZ.	NÁZEV	ROZMĚR	KS	x	x
1	TĚLO VÝMĚNÍKU - VSTUPNÍ	TR KR 88,9 x 5,49 - 290 DLE Ae 371797	1		
2	TĚLO VÝMĚNÍKU - VÝSTUPNÍ	TR KR 88,9 x 5,49 - 290 DLE Ae 371798	1		
3	SVAŘENEC TRUBKOVNICE	DLE KKS 371800	1	0	-x První vydání First issue
4	DESKA VÝMĚNÍKU	DLE KKS 371801	1		Rev. index
5	DESKA VÝMĚNÍKU S MĚŘENÍM TEPLoty	DLE KKS 371802	1		Číslo změny Change identification
6	VÍKO VÝMĚNÍKU	DLE KKS 371804	2		Datum vydání Date of issue
7	VLNOVEC 316420 REGENERAČNÍHO VÍKA	DLE KKS 371810	1		Kremlil Drawn by MATOUŠEK
8	VLNOVEC 316420 EXPANZNÍHO VÍKA	DLE KKS 371790	1		Specialist Specialista
9	STŘEDÍCÍ KROUŽEK	DLE KKS 626107	2		Technology Technology eng.
10	EXPANZNÍ VÍKO STIRLINGOVA MOTORU	DLE KKS 228436	1		Svarování Welding eng.
11	REGENERAČNÍ VÍKO STIRLINGOVA MOTORU	DLE KKS 228437	1		Technology spec. Technology spec.
12	OTOČNÁ PŘÍRUBA	DLE PŘÍRUBOVÝ SPOJ DN 25 (KKS 228424)	2		Jakost Quality
13	OTOČNÝ STŘED	DLE PŘÍRUBOVÝ SPOJ DN 25 (KKS 228424)	2		Welds - tolerances, quality EN ISO 3834-2
14	VSTUPNÍ POTRUBÍ	DLE KKS 371811	1		Nondestructive zk. Nde
15	VÝSTUPNÍ POTRUBÍ	DLE KKS 371812	1		EN ISO 5817-B, 13920-B
16	JÍMKA TERMOČLÁNKU DO POTRUBÍ	DLE KKS 371727	2		Material spec.
17	TĚSNĚNÍ GM 4,0/32/36 x 4,5	32/36 x 4,5	2		
18	JÍMKA TERMOČLÁNKU TEP. VÝMĚNÍKU	DLE KKS 371813	2		

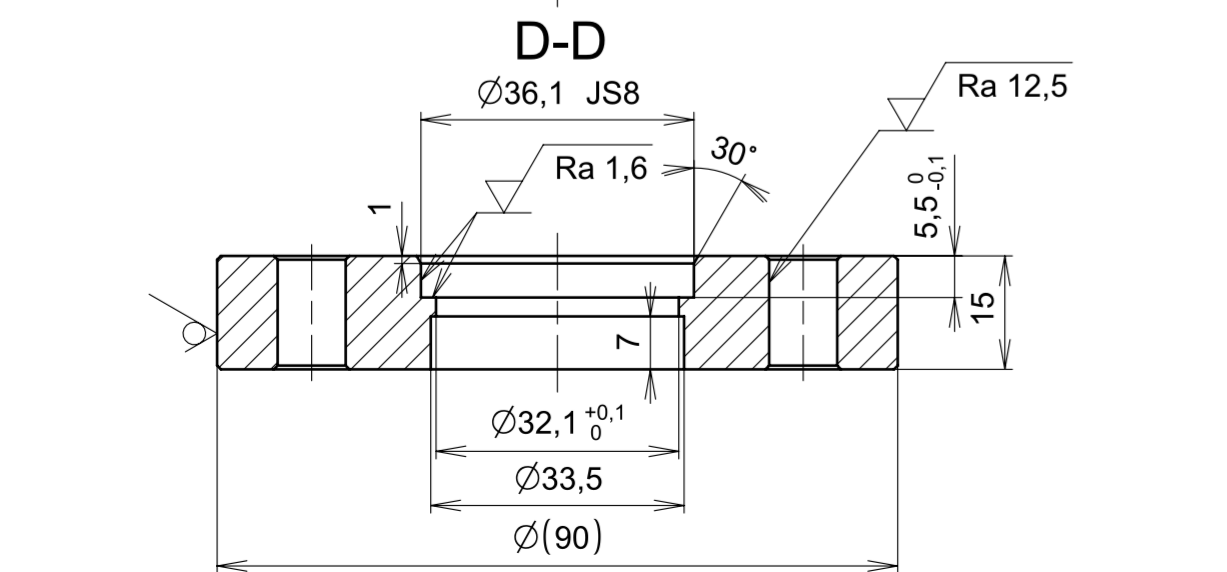
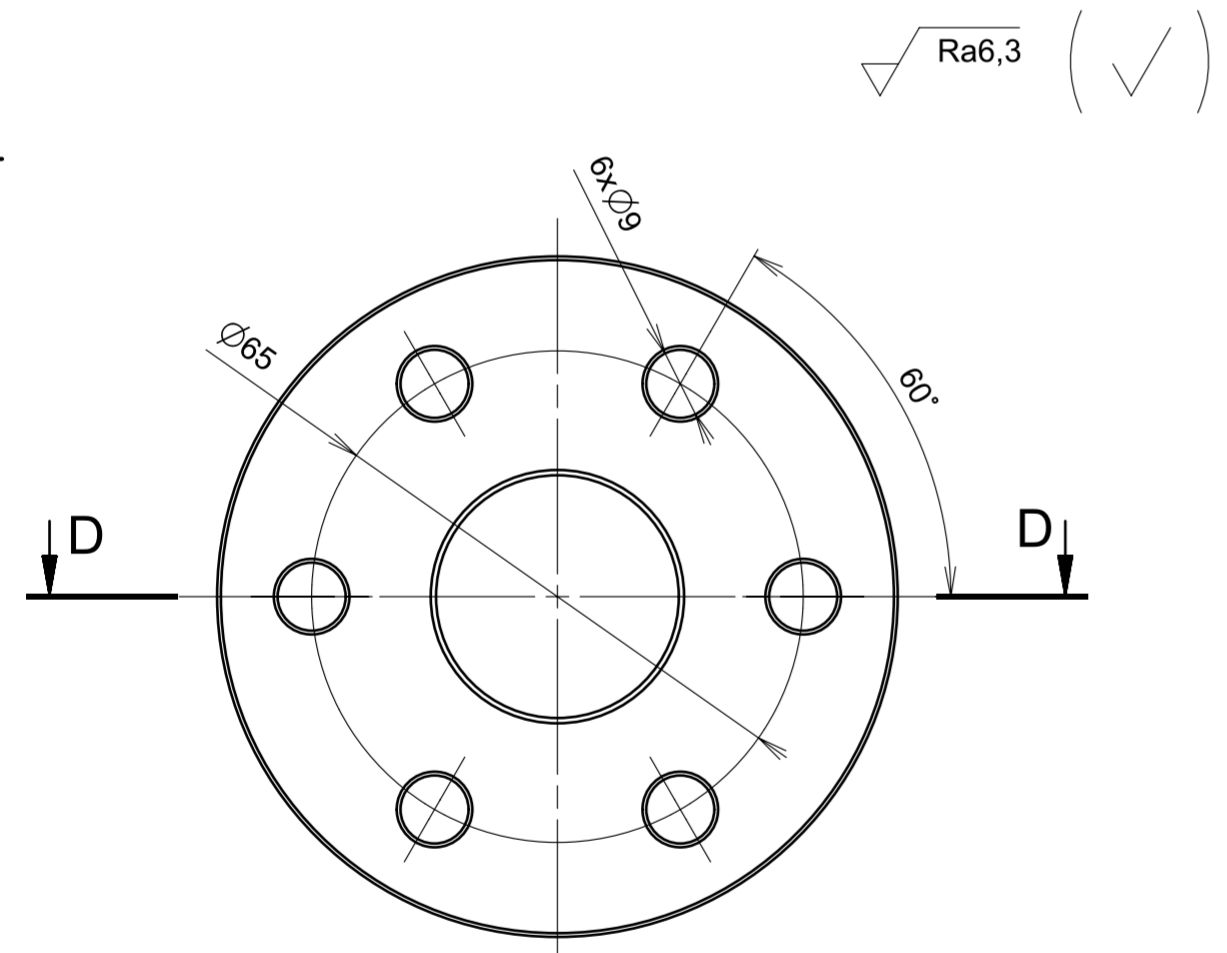
Formát Size A1	Jednotky Units mm	Material -	Položkovar Semiproduct	SESTAVA	
Scale 1:2	TDP Tech. del. con.				
Klas. Class. 1	Projekt Project CSP	Typ Type			
	Název Name				
	TEPELNÝ VÝMĚNÍK PbBi-He			KKS 115402	1
	Kurzovník Part list	List / počet listů Sheet / no. of sheets			1/1
	TC Item				A000570/0



- VŠECHNY NEKOTOVANÉ SRAŽENÍ 0,5x45°
- POLOTOVAR TYČ KR 50

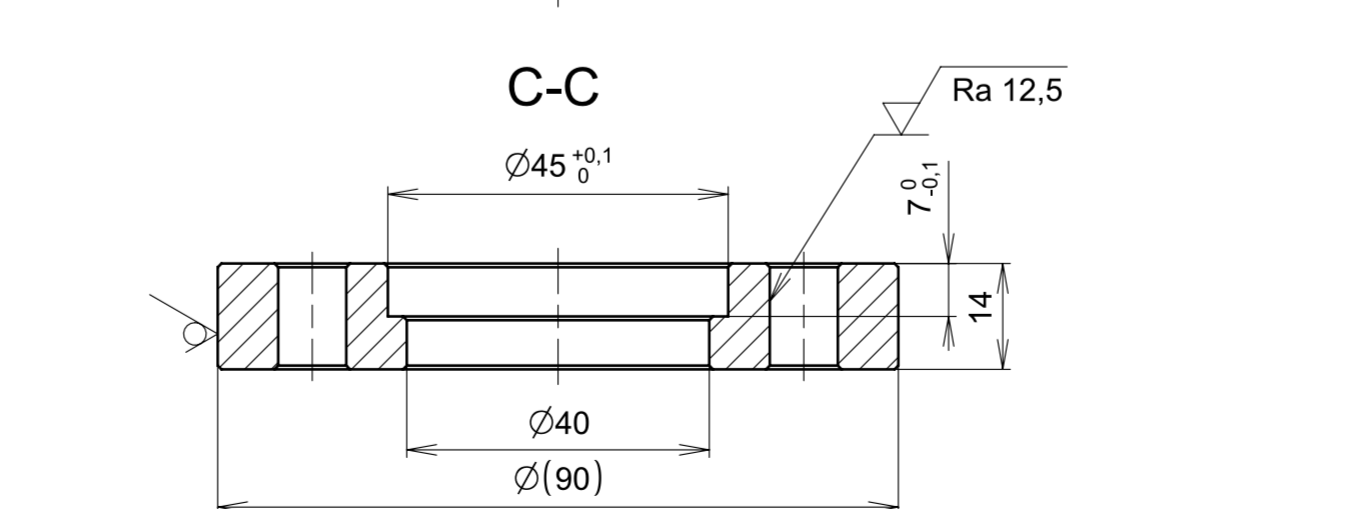
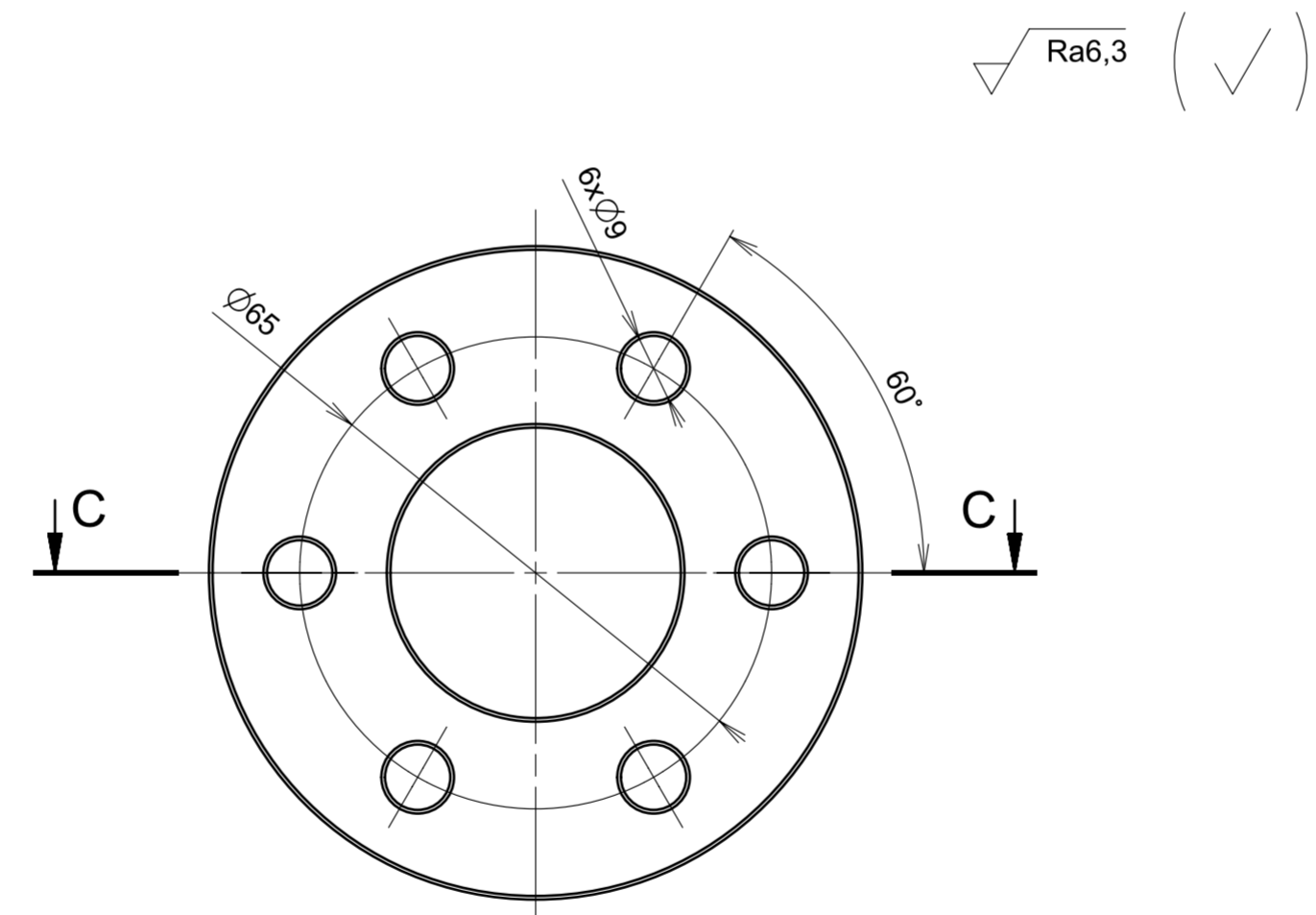


PŘÍRUBA PEVNÁ DN 25 (POZ.1)



- VŠECHNY NEKOTOVANÉ SRAŽENÍ 0,5x45°
- POLOTOVAR TYČ KR 90

PŘÍRUBA OTOČNÁ DN 25 (POZ.2)

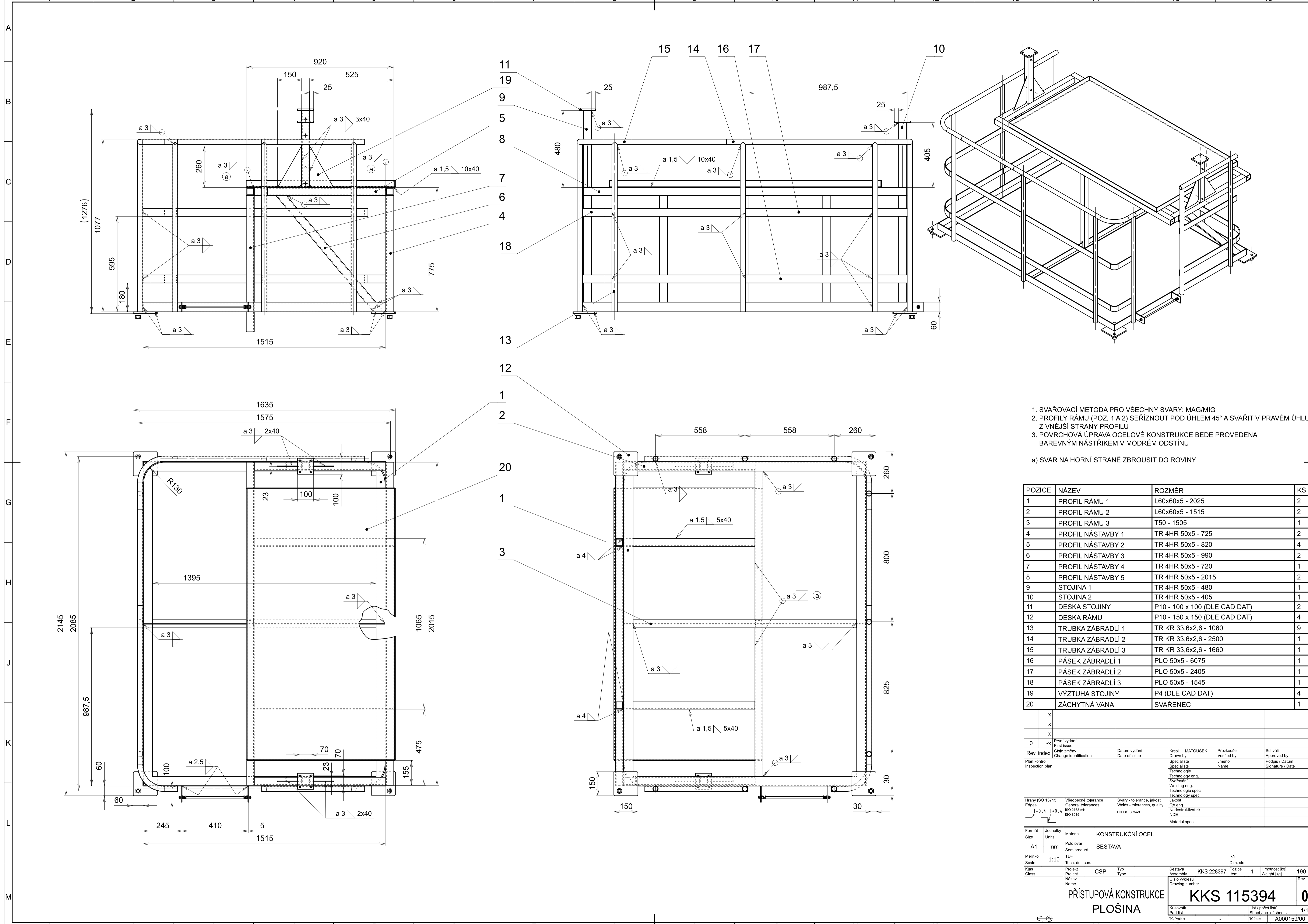


- VŠECHNY NEKOTOVANÉ SRAŽENÍ 0,5x45°
- POLOTOVAR TYČ KR 90

- PŘÍRUBOVÝ SPOJ BUDE MONTOVÁN AŽ NA MÍSTĚ MONTÁŽE ZAŘÍZENÍ
- MÍSTA NA PROVEDENÍ KOUTOVÝCH SVARŮ S POTRUBÍM
- UTAHOVACÍ MOMENT ŠROUBOVÝCH SPOJŮ M8 JE 42 Nm

POZICE	NÁZEV	ROZMĚR	KS
1	PŘÍRUBA PEVNÁ DN 25	KR 90 - 15	15
2	PŘÍRUBA OTOČNÁ DN 25	KR 90 - 15	13
3	OTOČNÝ STŘED	KR 44,5 - 15,5	13
4	TĚSNĚNÍ GM 4.0	GM 4.0/32/36 x 4,5	17
5	ŠROUB M8 - 40	ISO 4016	78
6	MATICE M8 - POJISTNÁ CELOKOVOVÁ	ISO 7042	66
7	PODLOŽKA 8	ISO 7091	78

0	-x	První vydání First issue			
Rev. index		Číslo změny Change identification	Datum vydání Date of issue	Kreslil Drawn by	Průzkoušel Verified by
Plán kontrol Inspection plan				Specialisté Specialists	Podpis / Datum Signature / Date
Hrany ISO 13715 Edges		Všeobecné tolerance General tolerances ISO 2768-mk ISO 8015	Svary - tolerance, jakost Welds - tolerances, quality	Jakost QA eng.	---
Formát Size	Jednotky Units	Material AISI 316/316L (1.4404)			
A2	mm	Polotovary Semiproduct			
Měřítka Scale	1:1	TDP Tech. del. con.			
Klas. Class.	---	Projekt Project	CSP	Typ Type	---
Název Name		Sestava Assembly		Pozice Item	Hmotnost [kg] Weight [kg]
PŘÍRUBOVÝ SPOJ DN 25		---		---	1,35
Číslo výkresu Drawing number		KKS 228424		Rev.	0
Kusovník Part list		---		List / počet listů Sheet / no. of sheets	1/1
TC Project		---		TC Item	A000471/00



1. SVAŘOVACÍ METODA PRO VŠECHNY SVARY: MAG/MIG
2. PROFILY RÁMU (POZ. 1 A 2) SEŘÍZNOUT POD ÚHEM 45° A SVAŘIT V PRAVÉM ÚHLU Z VNĚJŠÍ STRANY PROFILU
3. PОВRCHOVÁ ÚPRAVA OCELOVÉ KONSTRUKCE BEDE PŘEVEDENA BAREVNÝM NÁSTRÍKEM V MODRÉM ODSTÍNU

a) SVAR NA HORNÍ STRANĚ ZBROUSIT DO ROVINY

POZICE	NÁZEV	ROZMĚR	KS
1	PROFIL RÁMU 1	L60x60x5 - 2025	2
2	PROFIL RÁMU 2	L60x60x5 - 1515	2
3	PROFIL RÁMU 3	T50 - 1505	1
4	PROFIL NÁSTAVBY 1	TR 4HR 50x5 - 725	2
5	PROFIL NÁSTAVBY 2	TR 4HR 50x5 - 820	4
6	PROFIL NÁSTAVBY 3	TR 4HR 50x5 - 990	2
7	PROFIL NÁSTAVBY 4	TR 4HR 50x5 - 720	1
8	PROFIL NÁSTAVBY 5	TR 4HR 50x5 - 2015	2
9	STOJINA 1	TR 4HR 50x5 - 480	1
10	STOJINA 2	TR 4HR 50x5 - 405	1
11	DESKA STOJINY	P10 - 100 x 100 (DLE CAD DAT)	2
12	DESKA RÁMU	P10 - 150 x 150 (DLE CAD DAT)	4
13	TRUBKA ZÁBRADLÍ 1	TR KR 33,6x2,6 - 1060	9
14	TRUBKA ZÁBRADLÍ 2	TR KR 33,6x2,6 - 2500	1
15	TRUBKA ZÁBRADLÍ 3	TR KR 33,6x2,6 - 1660	1
16	PÁSEK ZÁBRADLÍ 1	PLO 50x5 - 6075	1
17	PÁSEK ZÁBRADLÍ 2	PLO 50x5 - 2405	1
18	PÁSEK ZÁBRADLÍ 3	PLO 50x5 - 1545	1
19	VÝZTUHA STOJINY	P4 (DLE CAD DAT)	4
20	ZÁCHYTNÁ VANA	SVARENEC	1

0	x				
0	-x	První vydání First issue	Datum vydání Date of issue	Kremlil MATOUŠEK Drawn by	Přezkoušel Verified by
Rev. index		Číslo změny Change identification			Schválil Approved by
Plan kontrol Inspection plan				Specialista Specialists	Podpis / Datum Signature / Date
Hrany ISO 13715 Edges	Všeobecné tolerance General tolerances	Svary - tolerance, jakost Welds - tolerances, quality	Jakost QA eng.	Technologie Technology	
	ISO 2768-mk ISO 2768	EN ISO 3834-3	NDE	Svařování Welding eng.	
				Technologie spec. Technology spec.	
				Nedestruktivní zk. NDT	
				Material spec.	
Formát Size	Jednotky Units	Material KONSTRUKČNÍ OCEL			
A1	mm	Položkovar Semiproduct			
Měřítko Scale	1:10	TDP Tech. del. con.		RN Dim. std.	
Klas. Class.	Projekt Project	CSP	Typ Type	Sestava KKS 228397	Item 1
	Název Name	Přístupová konstrukce Plošina		Hmotnost [kg] Weight [kg]	190
		Číslo výkresu Drawing number			Rev.
				KKS 115394	0
		Kurzovník Part list		List / počet listů Sheet / no. of sheets	1/1
				TC Item	A000159/00