

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: Stavba energetických strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh potrubního uzlu z kompozitního materiálu

Autor: **Lukáš ČIERNY**

Vedoucí práce: **Ing. Pavel Žitek**

Akademický rok: 2015/2016

Prohlášení o autorství

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Čierny	Jméno Lukáš	
STUDIJNÍ OBOR	B 2301 Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Žitek	Jméno Pavel	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKE		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh potrubního uzlu z kompozitního materiálu		

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	44	TEXTOVÁ ČÁST	44	GRAFICKÁ ČÁST	5
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce obsahuje informace potřebné pro návrh potrubní trasy z GRP materiálu, včetně stručného porovnání používaných kompozitních materiálů pro potrubní aplikace. Návrh potrubního úseku byl realizován v softwaru PDMS a následně převeden do programu CESAR II, kde byl proveden komplexní výpočet trasy.
KLÍČOVÁ SLOVA	Potrubí, GRP, uložení potrubí, kompenzace dilatací

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Čierny	Name Lukáš	
FIELD OF STUDY	B 2301 Strojní inženýrství		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Žitek	Name Pavel	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKE		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of piping node made of composite material.		

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

NUMBER OF PAGES (A4 and equivalents A4)

TOTALY	44	TEXT PART	44	GRAPHICAL PART	5
---------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor thesis includes information required for a design of a pipeline made of GRP material, including a brief comparison of composite materials used for pipeline applications. The design of the pipeline section was realized in PDMS software and then transferred to the CESAR II program, where the complex pipeline route calculation was performed.
KEY WORDS	Pipeline, GRP, pipe support, compensation of thermal expansion

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Pavlu Žitkovi za věcné připomínky, ochotu a vstřícný přístup během zpracovávání této práce.

Mé poděkování patří rovněž i mému konzultantovi Ing. Jiřímu Valešovi a Ing. Michalovi Fidrovskému za velmi cenné a přínosné rady při řešení této práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat také Ing. Ondřeji Haškovi za konstruktivní připomínky při korekci práce a samozřejmě děkuji všem kolegům z firmy AF Engineering s.r.o., kteří mi byli nápomocni během zpracování mé bakalářské práce.

Velké poděkování náleží i mé rodině a přátelům, kteří mne po celou dobu studia podporovali.

Obsah

Úvod.....	7
Teoretická část	8
1 Kompozitní materiál.....	8
1.1 Klasifikace kompozitů.....	8
1.1.1 Matrice kompozitních materiálů.....	9
1.1.2 Vlákná kompozitních materiálů.....	10
2 Potrubí z GRP materiálu.....	12
2.1 Části potrubního systému.....	14
2.1.1 Trubky.....	14
2.1.2 Tvarovky.....	17
2.1.3 Spoje.....	17
2.1.4 Kompenzátory.....	19
2.1.4.1 Osové kompenzátory.....	20
2.1.4.2 Ohybové kompenzátory.....	22
2.1.5 Uložení.....	23
2.1.5.1 Druhy potrubních uložení.....	23
2.1.5.2 Zásady ukládání GRP potrubí.....	26
3 Porovnání používaných kompozitních materiálů pro potrubní aplikace.....	29
Praktická část	31
4 Zhodnocení stávající potrubní trasy.....	31
5 Vlastní varianta potrubního systému.....	33
5.1 Výpočet kompenzace dilatací.....	33
5.2 Návrh kompenzačních smyček.....	34
5.3 Statické ověření potrubí v programu CESAR II.....	36
Závěr	39
Seznam použitých zdrojů	40
Seznam obrázků	42
Seznam tabulek	43
Seznam příloh	43

Úvod

Zadání bakalářské práce bylo poskytnuto firmou AF Engineering s.r.o., cílem této práce byl návrh vlastní varianty stávající potrubní trasy, která je realizována v elektrárně Opatovice. Jedná se o dvě sklolaminátová (GRP) potrubí, ve kterých je dopravován produkt o teplotě 62°C a tlaku 0,37 MPa. GRP materiál byl zvolen z důvodu agresivity dopravovaného produktu. Potrubí je vedeno na mostové konstrukci. Bakalářská práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou.

V teoretické části jsou shrnuty informace potřebné k návrhu potrubní trasy z GRP materiálu. Na začátku je vysvětleno, z jakých komponent se kompozit skládá, jaké typy vláken a matric existují. Dále teoretická část pojednává o jednotlivých částech potrubí. Jsou zde uvedeny typy potrubních spojů, způsoby kompenzace dilatace potrubí a typy uložení. Na závěr je uvedeno porovnání používaných kompozitních materiálů pro konkrétní potrubní aplikace.

Praktická část je zaměřena na vlastní řešení kompenzace dilatace potrubí. Je zde popsána stávající trasa a vlastní návrh, jejíž model byl vytvořen v softwaru PDMS. Tato část práce dále zahrnuje popis tepelně dilatačního výpočtu v programu CESARII a vyhodnocení získaných výsledků.

Teoretická část

1 Kompozitní materiál

Kompozitní materiály (kompozity) jsou heterogenní materiály skládající se ze dvou nebo více fází, které mají navzájem výrazně odlišné mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti. Většinou je v kompozitu jedna fáze spojitá, taková fáze se nazývá **matrice**. Naopak nespojitá fáze je **výztuž**. Výztuž má v porovnání s matricí obvykle mnohem lepší mechanické vlastnosti (modul pružnosti, pevnost, tvrdost atd.), primárním účelem vyztužení je zlepšení zmíněných vlastností.

Umělé kompozitní materiály se vyrábějí **postupy mechanického mísení nebo spojování jednotlivých složek**, což je pro ně charakteristické, na rozdíl od slitin, které jsou taktéž heterogenní. U slitin jednotlivé fáze vznikají fázovými přeměnami.

Pro kompozitní materiály je typické, že jejich vlastnosti jsou mnohonásobně lepší, než by odpovídalo poměrnému sečtení vlastností jednotlivých složek. Tento jev je známý jako **synergismus**. Synergický jev vzniká spoluprací jednotlivých složek kompozitu.

Příkladem synergického jevu je kompozit složený z keramické matrice (Al_2O_3), která je vyztužena keramickými vlákny (SiC), přesto, že jsou matrice i vlákna samostatně poměrně křehká, vzniklý kompozitní materiál je celkem odolný vůči náhlému křehkému porušení. Toto chování kompozitu je zapříčiněno tím, že se lomová trhlinka zabrzdí na rozhraní matrice a vláken. Dochází k odklonu šíření trhlinky jiným směrem a zároveň k intenzivnímu tření mezi vytahovanými vlákny a matricí. Kvalita rozhraní mezi matricí a výztuží je tedy velmi důležitá, protože má zásadní vliv na vlastnosti výsledného kompozitu. [1]

1.1 Klasifikace kompozitů

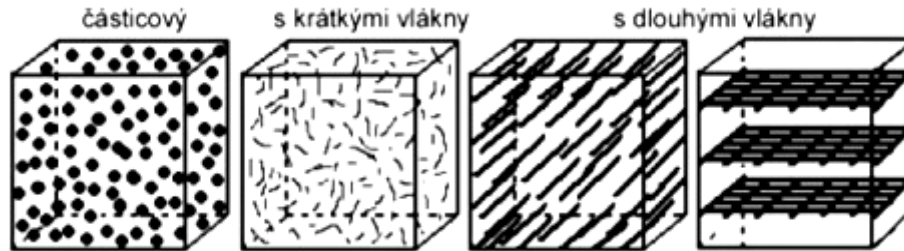
Kompozitní materiály je možné klasifikovat na základě řady parametrů, jako jsou například: geometrický tvar, velikost nebo orientace vyztužujících útvarů. Rozdělení kompozitních materiálů podle tvaru výztuže a druhu matrice viz níže.

- Geometrický tvar výztuže kompozitů:
 - částicové
 - vláknové: - s krátkými vlákny
- s dlouhými vlákny

U částicových kompozitů nepřevyšuje jeden rozměr rozměry ostatní, vyztužující částice mohou mít různé tvary (kulovitý, destičkový, tyčinkový, ale i nepravidelný). Používají se hlavně kvůli zvýšení tvrdosti, oteuvzdornosti atd.. Částicové výztuže jsou charakteristické izotropií. [1] [2]

Vláknové kompozity mají odlišné tvary výztuže (vlákna), než kompozity částicové. V jednom směru mají totiž výrazně větší rozměr, než v ostatních směrech. Vláknové kompozity rozlišujeme podle délky vláken a to, s krátkými vlákny, u nichž je délka vláken značně menší v porovnání s velikostí daného výrobku, a na kompozity s dlouhými (kontinuálními) vlákny, která jsou svou délkou srovnatelná s velikostí výrobku. Kontinuální vlákna mohou být v kompozitech různě orientována, na obr. 1 jsou dvě ukázky orientace

vláken. V prvním případě jsou vlákna orientována jedním směrem, zatímco ve druhém jsou vzájemně spletena do rohoží, takový kompozit má vrstevnatou strukturu. [1]



Obr. 1 - Rozdělení kompozitních materiálů podle geometrického tvaru výztuže [1]

- Klasifikace kompozitů podle povahy matrice
 - kovová
 - keramická
 - polymerní

Mezi kompozity s keramickou matricí se obvykle řadí i kompozity se skleněnými a uhlíkovými matricemi.

1.1.1 Matrice kompozitních materiálů

Úkolem matrice je ochrana výztuže proti vnějším vlivům. Primární funkcí je udržet vlákna v kompozitu ve správné pozici, tak, aby bylo možné zavádění a odvádění zátěže. Zatížení je přenášeno pomocí adheze (přilnavosti) mezi vláknovou výztuží a matricí. Matrice také určuje vlastnosti kompozitu, jako je např. chemická odolnost atd. [4]

Kovová

Pro kovové matrice je typická houževnatost a tvárnost. Významnými zástupci této kategorie jsou lehké slitiny hliníku (rozsah teplot 300 až 400°C), hořčíku a titanu (500 až 600°C). Pro velmi vysoké teploty jsou určeny kompozity s matricemi ze slitin niklu (teplotní rozsah 1000 až 1150°C). K elektrotechnickým účelům se používají kompozity s měděnými nebo se stříbrnými matricemi. [1] [4]

Keramická

Je tvořena sklem, sklokeramikou nebo keramikou. Má dobré pevnostní vlastnosti i při teplotách, kterým některé kovové matrice již nejsou schopny odolávat. Je velmi křehká, má poměrně nízkou vrubovou houževnatost, nicméně dobře odolává chemikáliím a vysokým teplotám. Keramická matrice, obtížně přenáší zatížení do vláken. [4]

Polymerní

Hlavní výhodou je nízká hustota. Jsou využívány zejména pro svou dobrou korozivzdornost, dobré dielektrické vlastnosti a elektrickou nevodivost, v kombinaci se skleněnými, křemennými a polymerními vlákny. Nevýhodou je nízká tepelná stabilita polymerů. Polymerní matrice jsou většinou **reaktoplastové a termoplastové**, někdy se od nich odlišuje menší skupina matric z elastomeru. V posledních letech jsou používanější matrice z reaktoplastů. [1] [4]

a) Termoplastové matrice

„Kompozity s termoplastickou matricí se mohou dodatečně tvarovat nebo svařovat. Po schlazení matrice jsou kompozity hotové k použití. Se zvýšeným obsahem vláken v kompozitu klesá sklon ke zkrucování. Termoplastové matrice jsou vždy vyztuženy textilními vlákny.“ [3]

b) Reaktoplastové matrice

„Reaktoplasty jsou většinou tekuté i při pokojové teplotě, proto se mohou snadno smáčet a prosáknout mezi vyztužovací vlákna, vytvrzování po spojení s výztuží se však musí podporovat chemickými prostředky. Reaktoplastová matrice obsahuje vytvrzovací a urychlující prostředky, neobsahuje však na rozdíl od termoplastů žádná vyztužovací vlákna.“

Kompozitové díly s reaktoplastovou pryskyřicí se po ztvrdnutí resp. zesíťování matrice nedají tvarovat, dají se však použít i při vysokých teplotách a mají vyšší pevnost než kompozity s termoplastovým lůžkem.“ [3]

c) Elastomerové matrice

Vyrábí se z polyuretanové pryskyřice. Z kompozitů s elastomerovými maticemi se vyrábí konstrukční díly na ohebné výrobky (klínové řemeny, spojky atd.). [3]

1.1.2 Vlákná kompozitních materiálů

- Vláknové výztuže
 - **organická** (polymerní): polyethylen, aromatické polyamidy
 - **anorganická** - prvky: C, B, W
 - **sloučeniny**: Al_2O_3 , SiC, oxidická skla

Polymerní

Zpravidla se vlákna z aromatických polyamidů (aramidů) rozdělují na dvě skupiny, které jsou známé pod obchodními značkami jako Nomex a Kevlar. Nomex má dobré elektroizolační vlastnosti a značnou termickou odolnost, Kevlar má podstatně vyšší pevnost v tahu a vyšší modul pružnosti. Aramidová vlákna, kromě vysoké pevnosti a odolnosti vůči vysokým teplotám (vlákna se netaví, až teprve při téměř 400°C zuhelnatí), jsou značně rezistentní vůči chemikáliím. Špatně snáší ultrafialové záření a vlhkost. Využívají ve formě rovingu nebo tkanin, buď samostatně nebo v kombinaci se skleněnými či uhlíkovými vlákny. [4] [6]

Polyethylenová vlákna mají mimořádně vysokou pevnost v tahu, výrobky z těchto vláken dobře odolávají většině chemikálií a ultrafialovému záření. Svazky vláken (filamenty) se přidávají do kompozitů jako jádro mezi uhlíkové nebo skleněné tkaninové vrstvy. [7]

Uhlíková

Tyto vlákna se řadí mezi nejvíce perspektivní materiály pro použití s polymerními (pryskyřice), kovovými (Al) i keramickými matricemi. Vyznačují se dobrými mechanickými vlastnostmi, vysokou tepelnou stabilitou. Uhlíková vlákna jsou velmi drahá, například kompozit C-C s uhlíkovou maticí a zároveň vyztužen uhlíkovými vlákny odolává extrémním teplotám, proto najde uplatnění např. pro brzdová obložení, letecký průmysl aj. [1]

Borová

Jsou vyráběna metodou CVD (Chemical Vapour Deposition), borová vlákna mají wolframové jádro, oproti jiným vláknům mají větší tloušťku 100 až 200 μm . Dříve byla používána ve výrobě raketoplánů, dnes jsou využívány pro vyztužení epoxidových pryskyřic k výrobě sportovního vybavení. [1]

Keramická

Keramická vlákna jsou buď oxidová, nebo neoxidová. Pro výrobu oxidových vláken se používá jako základní surovina oxid hlinitý (Al_2O_3). Mezi přednosti oxidových vláken patří odolnost proti vysokým teplotám, často přes 1000°C a mimo jiné i chemická odolnost. Neoxidová vlákna jsou vyráběna na bázi křemíku a to nejčastěji ve směsi s uhlíkem (SiC), oproti oxidovým vláknům snesou i dlouhodobě vyšší teploty asi o 20 %. Keramická vlákna se používají především jako výztuž do kompozitů známých značek Nicalon, Tyranno a Sylramic. [8]

Skleněná

Vyrábějí se rychlým tažením z taveniny, díky celkem jednoduché výrobě jsou v porovnání s jinými levnější. Sklená vlákna jsou odolná vůči většině chemikálií, mají celkem vysokou pevnost v tahu. V následující tabulce jsou uvedeny druhy skel, pro výrobu vláken např. E-sklo je vhodné jako elektroizolační materiál, rovněž pro kompozity s polymerními matricemi (polyesterové pryskyřice), tzv. sklolamináty. S-sklo je méně pružné, ale snese teploty přes 1000°C a C-sklo je mimořádně rezistentní proti chemikáliím. [1] [5]

Tab. 1 - Druhy skel používaných k výrobě vláken [5]

Druh skla	Pevnost v tahu [GPa]	Modul pružnosti E [GPa]
E	1,7 – 3,5	69 - 72
S	2,0 – 4,5	85
C	1,7 – 2,8	70

2 Potrubí z GRP materiálu

Potrubí je technické zařízení, tvořené těsně spojenými trubkami. Slouží k dopravě tekutin, plynů a různých sypkých materiálů, ovšem ve směsi s nosnou (dopravní) tekutinou. Potrubí se rozděluje a označuje podle účelu použití. Je to konstrukce z dutých prvků, které se pro různé účely mohou lišit tvarem nebo materiálem.

Sklolaminátový (GRP – Glass Reinforced Plastics) materiál patří mezi kompozity, je vyztužený skelnými vlákny, která jsou obklopena pryskyřicí. Více o GRP uvádí norma ISO 14962-1.

Norma ISO 14962 (všechny části) je omezena na výrobu tuhých komponent z reaktoplastových pryskyřic vyztužených vlákny. Typickými pryskyřicemi jsou epoxid, polyester, vinyl ester a fenol. Termoplastové pryskyřice jsou vyloučeny.

Hlavní výztuži stěny komponentu by mělo být skelné vlákno, např. kontinuální a tkané rovingy. Použití ISO 14962 (všechny části) na potrubí vyrobené s jinými vyztužujícími vlákny by mělo být provedeno s opatrností¹.

Maximální přípustná teplota je dána druhem pryskyřice a fází vytvrzení. Navrhované maximální přípustné teploty, které jsou založené na zkušenostech s typickými GRP potrubními systémy jsou uvedeny v tab. 2 v závislosti na druhu pryskyřice. Teploty v tabulce jsou pouze orientační.²

Tab. 2 - Teplotní omezení [9]

Druh pryskyřice	Maximální teplota
epoxid	110°C
vinyl ester	100°C
polyester	70°C
fenol	150°C

Maximální přípustná provozní teplota GRP potrubí nebo potrubního systému může být ovšem značně nižší, v závislosti na agresivitě konkrétní kapaliny a její koncentraci a také na konkrétním tvrdidle. Minimální doporučená teplota pro GRP, bez ohledu na druh pryskyřice je - 35°C, ačkoli snese i nižší teploty. [9]

¹ Skleněné vlákno je preferovaným vyztužujícím materiálem. Jelikož není k dispozici mnoho informací o dlouhodobém odolávání působení tlaku, nárazům a požární odolnosti trubek vyrobených z jiných vyztužujících materiálů, jako jsou uhlíková nebo aramidová vlákna.

² Pryskyřice uvedené v tabulce jsou obecné sloučeniny. Jejich vlastnosti, tepelná, mechanická a chemická odolnost jsou silně závislé na typu pryskyřice a použitém tvrdidle. Uživatel by měl dohlédnout a ujistit se, že vybraná pryskyřice i tvrdidlo jsou vhodně zvoleny pro daný systém potrubí a že splňují všechny požadavky dle ISO 14692 (všechny části).

- Výhody GRP materiálu pro potrubí

GRP materiál je upřednostňován před běžnými oceli, jako konstrukční materiál pro ropný a plynárenský průmysl, zejména pro výbornou korozivzdornost, snadnou výrobu a montáž. Přesto, že jsou pořizovací náklady GRP vyšší, například ve srovnání s ocelí, výdaje spojené s údržbou jsou naopak mnohonásobně nižší.

GRP velmi dobře odolává všem druhům koroze v ropném a plynárenském průmyslu, kterou vyvolávají kyselé plyny, nebo kvůli přítomnosti kyslíku, chloridů a ostatních rozpuštěných solí vzniká tzv. bodová koroze. GRP potrubí je inertní vůči půdní korozi a korozi bludnými proudy, v případě, že je uloženo v zemi. Potrubí není třeba nijak dodatečně chránit proti vnějším vlivům ani v případě nadzemních linek, jako je tomu například u ocelových potrubí.

Vzhledem k nízké hustotě materiálu a tedy logicky zároveň i hmotnosti není při manipulaci a instalaci potrubí zapotřebí těžké manipulační techniky. Hladký vnitřní povrch stěny trubky snižuje třecí ztráty při proudění a to přispívá ke snížení potřebné energie na dopravu tekutiny. [10]

- Nevýhody GRP materiálu pro potrubí

Samozřejmě žádný materiál není dokonalý a i GRP má své nedostatky. Asi nejvýznamnější z nich je dopad na životní prostředí, chemická degradace nebo stárnutí materiálu. Vlivem stárnutí materiálu dochází ke snižování pevnosti v ohybu. Důsledkem chemické degradace pryskyřice je vznik mikrotrhlin a delaminace vyztužujících vláken.

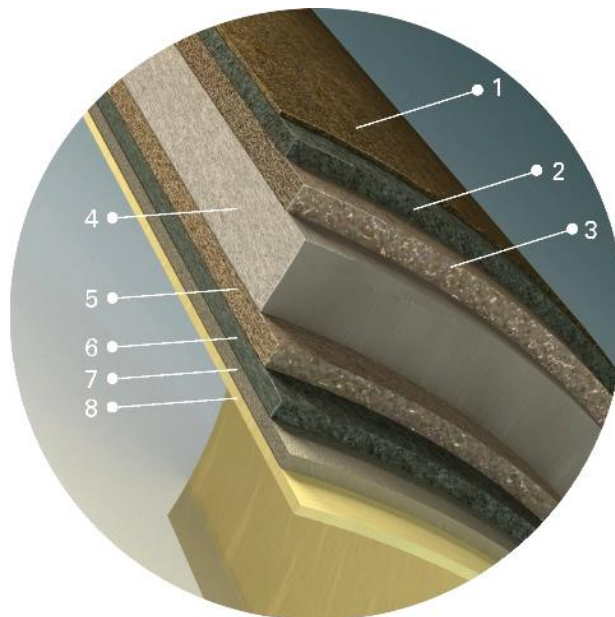
Bohužel není tak snadné zjistit, v jakém technickém stavu je potrubí, aby se dala jednoznačně určit zbývající životnost potrubí NDT metodami (*non-destructive testing*). NDT metody jsou: ultrazvukové, elektromagnetické nebo radiologické. Tyto metody nejsou úplně vyvinuté nebo standardizované, jako je tomu u ocelových potrubí a jejich částí. Rovněž neexistují standardní metody nebo postupy, které podmiňují kontrolu nebo opravy vad materiálu, které vznikly v důsledku zatěžování a potenciálních mechanismů degradace během provozování potrubí. [10]

2.1 Části potrubního systému

2.1.1 Trubky

Trubky tvoří přímé úseky potrubního systému. Existují různé způsoby výroby trubek. Výrobou sklolaminátových trub se zabývá například firma HOBAS, která vyrábí trouby v podstatě dvěma způsoby. Metodou odstředivého lití (CC - GRP) nebo metodou NC Line (Non - Circular). V případě odstředivého lití se do rotující matrice (formy) jsou postupně zaváděny tři základní komponenty: pojivo, výztuž a plnivo. Výsledná struktura a vlastnosti trouby jsou dány použitými surovinami, jejich uspořádáním a technologií zpracování viz obr. 2. V tabulce 3 jsou uvedeny některé základní údaje trub vyráběných metodou odstředivého lití. Druhou metodou výroby je metoda NC Line (Non - Circular), tedy nekruhových profilů trub. Stěna trub je vytvářena navíjením po jednotlivých vrstvách od vnitřního k vnějšímu povrchu. Tyto trouby se většinou používají pro netlakové aplikace, například pro odpadní, či pitnou vodu. [11]

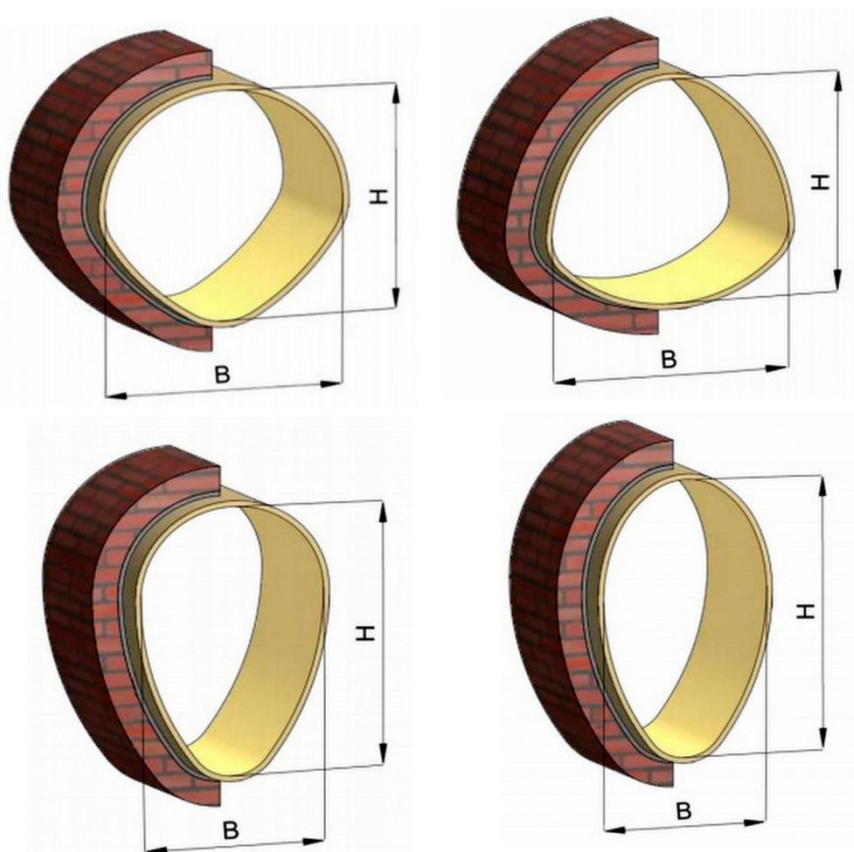
1. Vnější ochranná vrstva (plnivo pryskyřice)
2. Vnější vyztužená vrstva (skleněné vlákno, pryskyřice)
3. Přejímová vrstva (skleněné vlákno, pryskyřice, plnivo)
4. Ztužující středová vrstva (plnivo, pryskyřice, skleněná vlákna)
5. Přejímová vrstva
6. Vnitřní vyztužená vrstva
7. Uzavírací vrstva
8. Vnitřní ochranná vrstva (pryskyřice zvláště odolná proti obrusu)



Obr. 2 - Struktura stěny sklolaminátové CC - GRP trouby [11]

Tab. 3 - Základní charakteristiky CC - GRP trub [11]

Oblast použití	
Jmenovitý průměr (DN)	150 - 3600 mm
Jmenovitý tlak (PN)	1 - 32 bar
Jmenovitá tuhost (SN)	630 – 1 000 000 N/m ²
Výrobky	<ul style="list-style-type: none">– potrubí pro kanalizace– potrubí pro vedení pitné vody– potrubí pro odpadní vzduch



Obr. 3 - Ukázka profilů trub vyráběných metodou NC Line [12]

Návrh světlosti potrubí

Návrh světlosti potrubí, tj. vnitřního průměru potrubí, vychází ze vztahu pro průtok tekutiny potrubím viz (1).

$$Q = S \cdot v = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v, \quad (1)$$

kde: Q - průtok kapaliny, (obvykle zadán) [m^3/s]

S - průtočný průřez potrubí [m^2]

v - rychlost proudění [m/s]

d - vnitřní průměr potrubí [m]

Vnitřní průměr dostaneme vyjádřením z rovnice (1):

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot v}} \quad (2)$$

Do vztahu (2) pro výpočet světlosti potrubí je zapotřebí znát ještě rychlost proudění, která se volí tak, aby byla optimální vzhledem k tlakovým ztrátám v potrubí viz rovnice (3). Je očividné, že tlakové ztráty v potrubí se zvyšují s rostoucí rychlostí proudění, což by se dalo řešit například zvětšením vnitřního průměru, v důsledku klesne rychlost, ale to s sebou samozřejmě nese další úskalí, například nutnost řešit prostorovou dispozici a vyšší náklady na výrobu. [16]

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

kde: $\Delta p_{z,t}$ - tlakové ztráty třením

λ - součinitel tření v potrubí

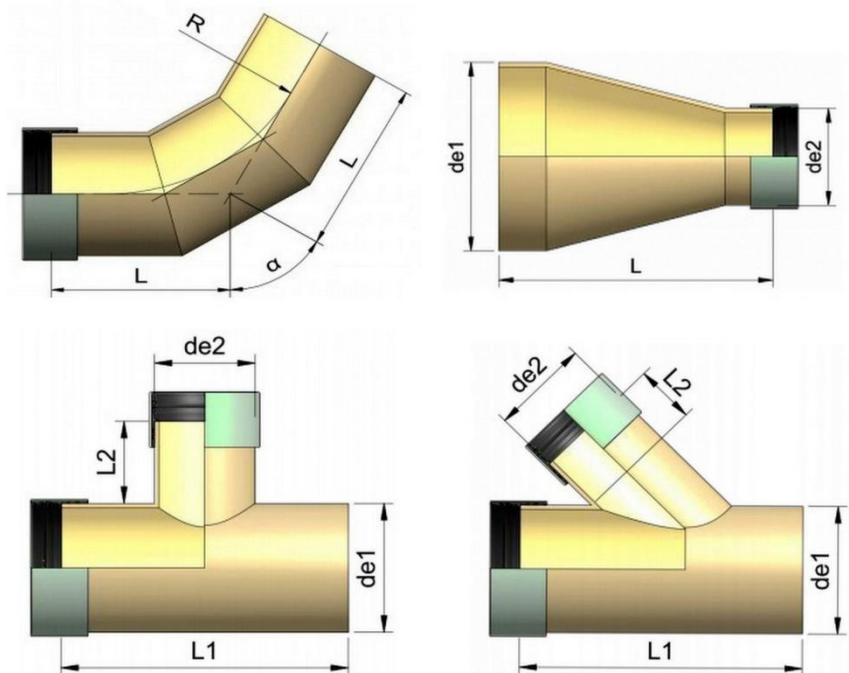
L - délka potrubí [m]

ρ - hustota kapaliny [m^3/kg]

v - rychlost proudění [m/s]

2.1.2 Tvarovky

Tvarovky jsou, jak už z názvu vyplývá, tvarované části potrubí, které umožňují změnit směr nebo průměr, rozdělit potrubí do více větví, případně potrubí připojit nebo ukončit (zaslepit). Typickými reprezentanty tvarovek jsou, kolena, mohou svírat nejrůznější úhly, v rozmezí 1° až 90° . Dalšími zástupci tvarovek jsou redukce, buď excentrické nebo centrické (excentricita rovna nule), dále pak odbočky tvaru T nebo Y atd., viz obr 4.



Obr. 4 - Ukázka některých typů tvarovek [12]

2.1.3 Spoje

Spoje slouží ke spojení dvou částí potrubí, tak, aby vznikl těsný nepropustný spoj. Jsou často největší oblastí zájmu s ohledem na celkovou integritu potrubního systému, jak uvádí norma ČSN EN ISO 14692-2 jsou v podstatě dva způsoby, jak potrubí spojit, a to buď lepením/laminováním a nebo použitím mechanických spojek. Některé druhy spojů umožňují i vychýlení trubky a to tak, že osy spojovaných trubek nejsou kolineární, spojení vlastně částečně supluje tzv. tvarovky (např. koleno). Norma ČSN EN ISO 14692-2 [13] uvádí zásady a doporučení pro správné spojení viz *lepené/pryskyřicí lepené/laminované a mechanické spoje*.

Hlavní typy spojení:

- lepené/pryskyřicí lepené/laminované spoje
- mechanické spoje

- **Lepené/pryskyřicí lepené/laminované spoje**

Lepidlo, použité v průmyslu by mělo být stejné jako je použité v kvalifikačních testech. Lepidlo/laminační pryskyřice musí mít vlastnosti vhodné pro montáž v terénu a musí splňovat následující požadavky:

- a) Lepidlo nebo laminovací pryskyřice musí mít vhodnou viskozitu pro aplikaci pro dané teplotní podmínky a vlhkost prostředí.
- b) Následující instrukce se použijí v závislosti na použité metodě pro stanovení stupně vytvrzení:
 - Teplota skelného přechodu T_g , vytvrzeného lepidla nebo pryskyřice nesmí být menší než 95% minimální uvedené hodnoty výrobcem pro lepidla nebo pryskyřice.
 - Obsah styrenu v použitém lepidle nesmí být větší než 2 % (hmotnostní zlomek) obsahu pryskyřice.
 - Tvrdost podle Barcola musí být alespoň 90 % minimální hodnoty uvedené dodavatelem.

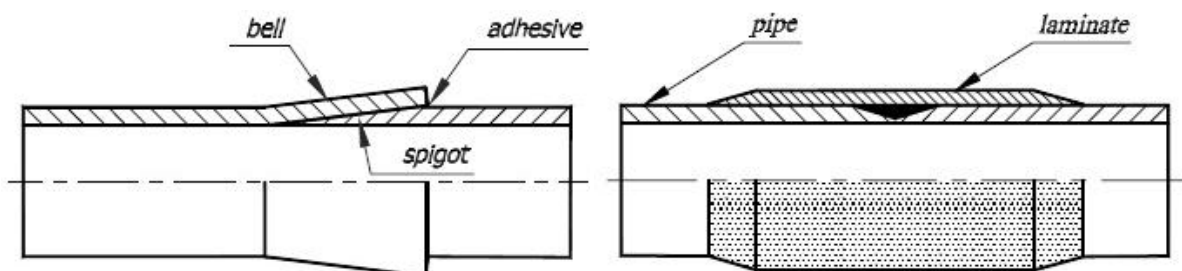
Pokud byla použita jiná (alternativní) metoda pro stanovení výchozího stupně vytvrzení, pak tato kritéria přípustnosti musí být v souladu s teorií.

- **Mechanické spoje**

Výrobce deklaruje, že konstrukční materiály prvků, jako O – kroužky, těsnění, tmel a zajišťovací pásy jsou vhodné pro zamýšlené provozní podmínky.

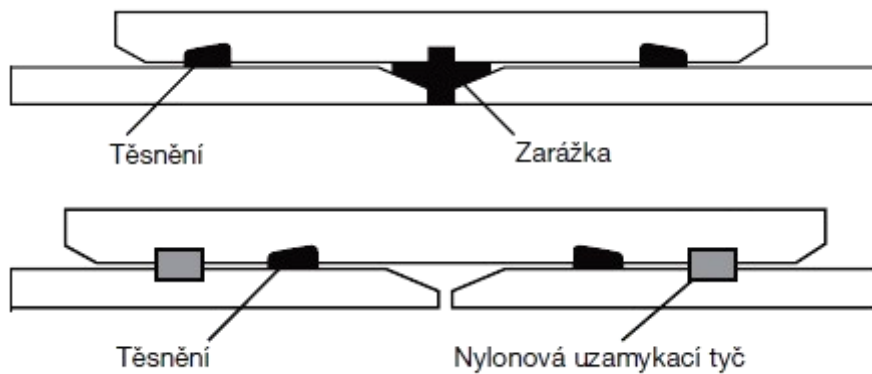
Spojení trub tzv. *bell-spigot joint* (obr. 5) je velice výhodné, zejména pro svou vysokou mechanickou odolnost a kromě toho má tu výhodu, že je poměrně snadno a rychle smontovatelné oproti jiným způsobům spojování. Nevýhodou je teplotní omezení. Potrubní systémy s teplotou média přesahující 90 °C již nelze tímto způsobem spojit, proto se využívá laminace.

Laminovaný spoj je vlákny vyztužený laminát, který je vhodný pro všechny průměry a navržen tak, aby snesl pracovní tlaky přibližně do 16 barů. Laminované spoje jsou typicky používané při opravách potrubí (obr. 5). [14]



Obr. 5 - Lepený spoj tzv. *bell - spigot joint* a laminovaný spoj [14]

Dále je možné spojovat trubky mechanicky, standardními GRP spojkami, které sestávají ze sklolaminátového límce a integrovaného těsnění (obr. 6). Tlaková potrubí jsou namáhána osovými silami, z toho plyne, že spojka musí být schopna zachytit axiální zatížení, proto se používají tzv. uzamykací spoje (obr. 6). Samozřejmě existují i další nejrůznější mechanické spoje (přírubové, šroubované).



Obr. 6 - Mechanické spojení trubek [15]

2.1.4 Kompenzátory

Potrubí se vlivem teploty prodlužuje nebo naopak zkracuje, tzv. dilatuje. Tyto dilatace je třeba kompenzovat, jinak může dojít k destrukci (poškození) potrubní trasy. Vzorec pro výpočet teplotní dilatace viz (4). Ke kompenzaci těchto dilatací se využívají kompenzátory, které vzniklé prodloužení absorbují svou pružností. Dělí se na ohybové a osově.

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha_t \cdot (t_p - t_m), \quad (4)$$

kde: ΔL - dilatace vlivem teploty [m]

L_0 - původní délka [m]

α_t - součinitel teplotní roztažnosti [$m \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

t_p - provozní teplota [K]

t_m - teplota materiálu potrubí při montáži [K]

Část potrubní trasy, kde dochází k dilataci potrubí je tzv. dilatační úsek, je to například vzdálenost mezi:

- dvěma pevnými body (PB)
- PB a změnou směru přímého potrubí - řešeno zarážkou
- PB a osovým kompenzátorem

2.1.4.1 Osově kompenzátory

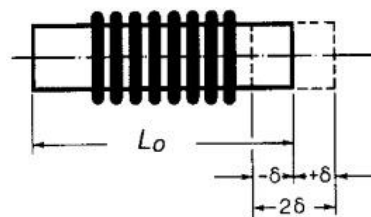
Vyrovňávají prodloužení potrubí stlačováním dutého pístu (ucpávkové) nebo pružných elementů. Umožňují také eliminovat nesouosost dvou trubek nebo úhlové odchylky. Zabírají menší prostor než ohybové, široký rozsah pracovních teplot a tlaků. Pro kompenzaci GRP potrubí se používají spíše vlnovcové. Avšak jsou nevhodné pro vysoké tlaky, vznikají totiž velké reakční síly na uložení viz obr. 10.

- vlnovcové (axiální, angulární, laterální)
- ucpávkové
- pryžové

Vlnovcové kompenzátory:

a) axiální

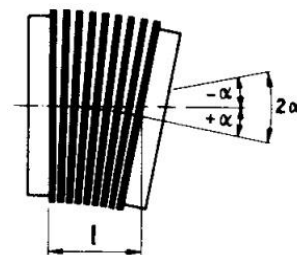
- jednoduchá konstrukce
- pro malé až střední dilatace
- při vysokých tlacích velké axiální síly na uložení
- vyžaduje dobré vedení bezprostředně před a za kompenzátorem



Obr. 7 – Axiální kompenzátor [17]

a) angulární

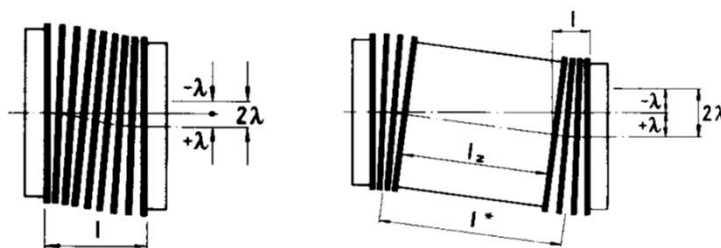
- složitá konstrukce
- neumožňuje axiální posuv
- relativně malé zatížení na ukotvení
- kompenzace úhlových vychylek $\pm \alpha$



Obr. 8 - Angulární kompenzátor [17]

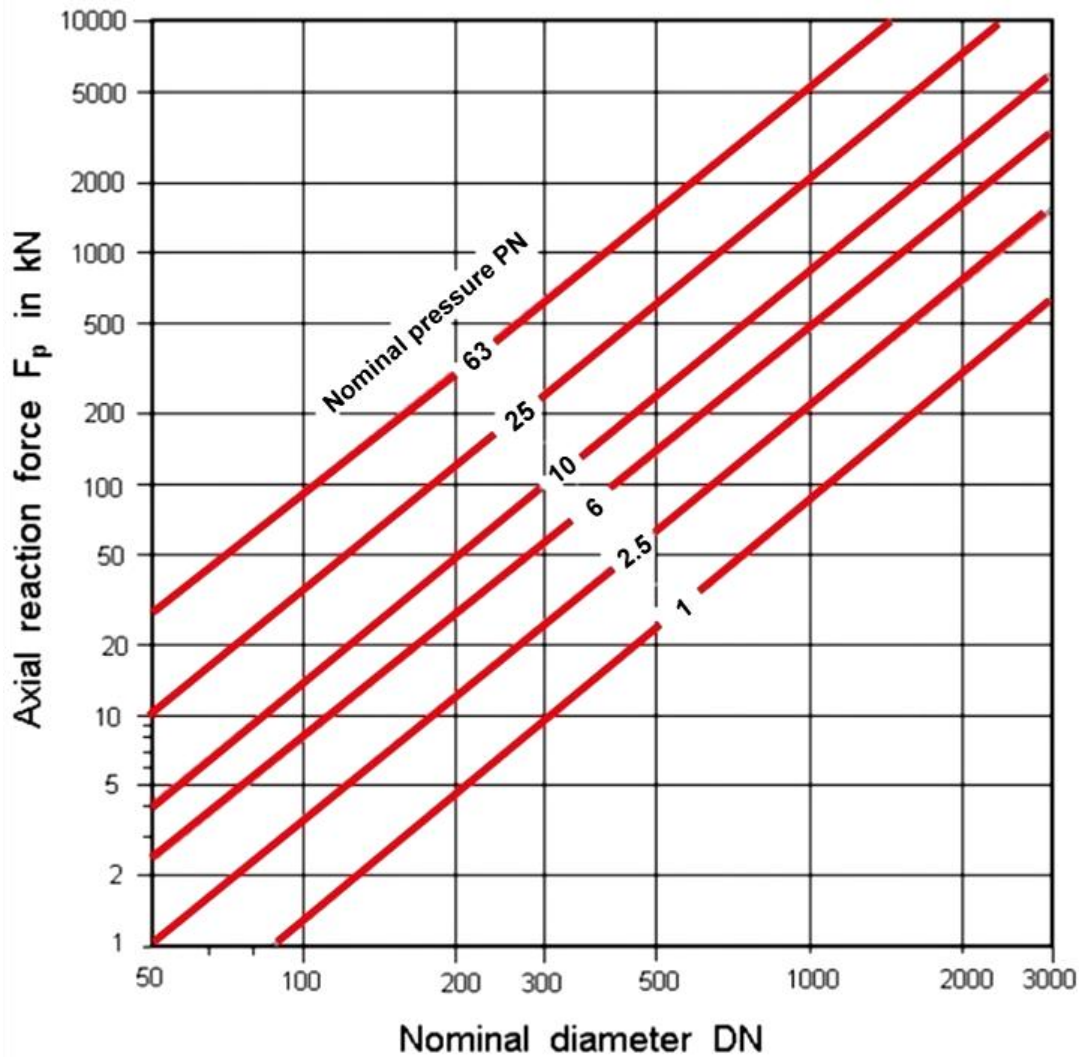
b) laterální

- poměrně jednoduchá konstrukce
- pro malé až střední dilatace
- neumožňuje axiální posuv
- eliminace vychýlení rovnoběžných os o hodnotu $\pm \lambda$

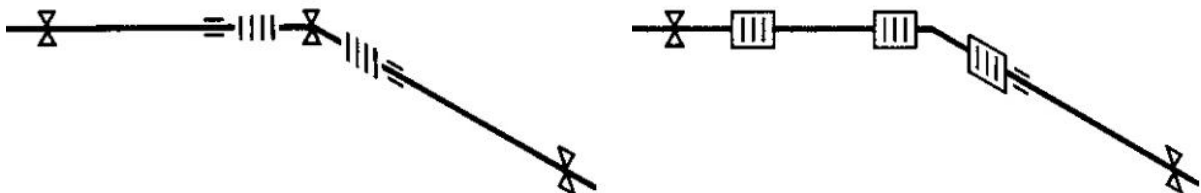


Obr. 9 - Laterální kompenzátor jednoduchý a dvojitý [17]

Pokud jsou použity axiální (osové) kompenzátory, síla na uložení je tvořena axiální reakcí F_p , která je vyvozena tlakem v potrubí, dále pak síla vzniklá odporem samotného kompenzátoru proti deformaci F_δ a třecími silami v uloženích F_t .



Obr. 10 - Axiální reakce F_p na uložení vlivem tlaku v potrubí [17]

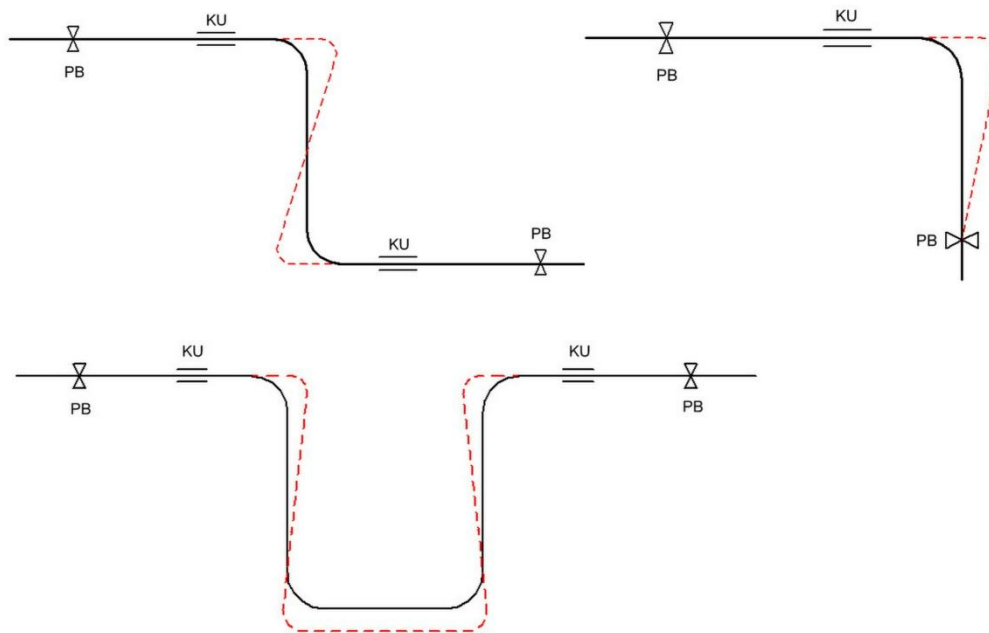


Obr. 11 – Schéma větve s axiálními kompenzátory (vlevo) a s angulárními (vpravo) [17]

2.1.4.2 Ohybové kompenzátory

Ohybové kompenzátory jsou tvarované části potrubí, nejčastěji ve tvaru U, L, Z, (Ω). Na obr. 12 jsou tyto kompenzátory demonstrovány, společně s ukázkou typu uložení (*PB* - *pevný bod*, *KU* - *kluzné uložení*) pro správnou funkci kompenzátoru. Ohybové kompenzátory jsou výrobně jednoduché, levné a spolehlivé, avšak prostorově náročnější oproti osovým. Rovněž zvyšují hydraulickou délku potrubí, s tím jsou spojeny i teplené a tlakové ztráty.

Dále existuje tzv. přirozená kompenzace tvarem, což znamená, že tvar potrubí je značně členitý, a to z jiných důvodů, než kvůli kompenzaci. V případě, že je přirozená kompenzace nedostačující, musí být použit některý z výše uvedených typů kompenzátorů.



Obr. 12 - Ohybové kompenzátory Z, L, U

Výpočet síly na pevný bod:

$$F_{pb} = \sum_{i=1}^n F_{ti} + F_d = \sum_{i=1}^n F_{ni} \cdot \mu_i + F_d, \quad (5)$$

kde: F_{pb} - síla na pevný bod [N]

F_{ti} - třecí síla v kluzném uložení [N]

F_n - normálová síla působící v uložení [N]

F_d - odpor kompenzátoru [N]

μ - součinitel smykového tření [-]

2.1.5 Uložení

Uložení je zařízení, které realizuje spojení potrubí s okolní nosnou konstrukcí a přenáší na ni zatížení z potrubí. Uložení lze obecně rozdělit na podpěry a závěsy, které zachycují určitou kombinaci sil a momentů působících na potrubí (F_x , F_y , F_z , M_x , M_y , M_z). Nezachycené síly způsobují posuvy v daných směrech a momenty zase natočení kolem os. Uložení omezuje vždy alespoň jeden ze šesti stupňů volnosti v daném bodě potrubní větve.

V případě, že k upevnění uložení není stavba způsobilá, resp. podlahy a stěny mají nedostatečnou únosnost, je zapotřebí pomocné konstrukce (sloupy, nosníky aj.), ke kterým se podpory připevní. Tyto pomocné konstrukce se nazývají pomocná (sekundární) uložení. Sekundárního uložení se s výhodou využívá i v případech, kdy je z prostorových důvodů stavby nemožné uložení namontovat přímo na zeď atd.

2.1.5.1 Druhy potrubních uložení

- **Tuhá uložení**

Tuhá uložení se využívají k omezení pohybu potrubí v určitém směru nebo směrech.

Podpěry

Uložení ve formě podpěr zpravidla zamezuje pohybu potrubí ve svislém směru dolů, tím pádem ho pouze podepírá, potrubí se může volně pohybovat ve všech směrech, kromě směru kolmého na podporu. Dále lze potrubí uložit takovým způsobem, že uložení nezachytává osově síly a tedy umožňuje pohyby potrubí pouze v axiálním směru (obr. 13). Uložení, které odebrává všech šest stupňů volnosti, je tzv., **pevný bod**. Neumožňuje posuvy ani rotace potrubí. Pevné body rozdělují potrubí na dilatační úseky, v potrubní větvi by měl být vždy alespoň jeden. Za pevný bod je možné považovat například i přírubový spoj na zařízení.

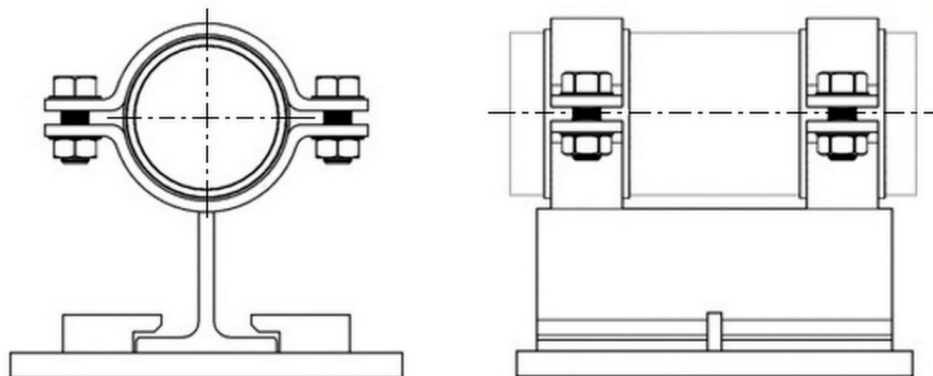
V případě použití směrových zarážek se potrubí pohybuje pouze v požadovaném směru. Při kombinaci více směrových zarážek, tak, že blokují pohyb do všech směrů je možné docílit například toho, že je povolena jen rotace podle všech třech os.

Prutový závěs (rod hanger)

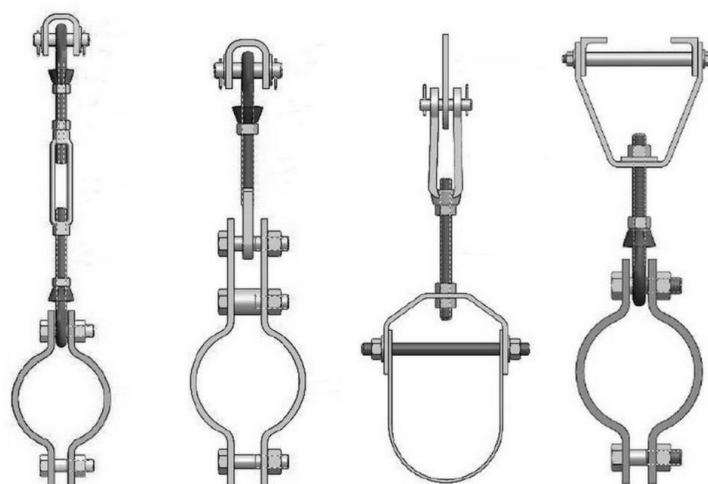
Je navržen tak, aby odolával pouze tahovému zatížení, závěs by neměl být namáhán na tlak, mohlo by dojít k namáhání na vzpěr. Prutový závěs (obr. 14) je tedy určený pouze pro zavěšování potrubí. Skládá se z objímky, matice, táhla a zařízení k přimontování k nosné konstrukci.

Tuhá kloubová vzpěra (rigid strut)

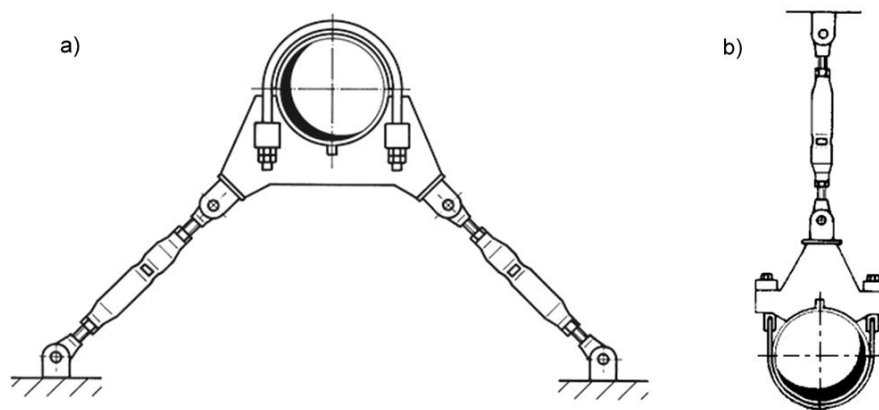
Vytváří pevné spojení mezi potrubím a nosnou konstrukcí. Kloubové vzpěry dovolují otočné připojení, což umožňuje malé úhlové odchylky ($\pm 7^\circ$). Jsou zachycovány tahové i tlakové síly v ose vzpěry. Během dynamického zatěžování absorbuje rázy, vlivem nečekaných změn (např. rychlé zastavení proudění v potrubí). Kloubová podpěra typu V (obr. 15) odebrává dva stupně volnosti.



Obr. 13 - Kluzná podpora s axiálním vedením [20]



Obr. 14 - Ukázka různých prutových závěsů [21]



Obr. 15 - Kloubová podpěra typ V (obr. a), jednoduchá kloubová podpěra (obr. b) [22]

- **Pružinová uložení**

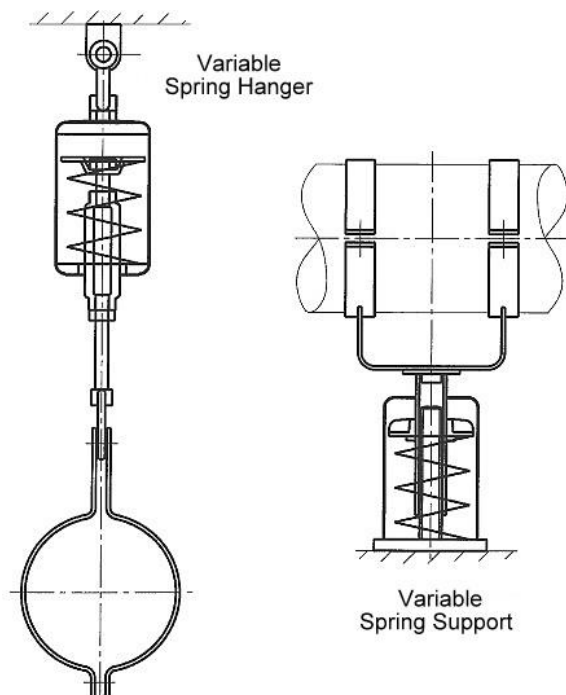
Pružinová uložení využívají ke kompenzaci posuvů potrubí tlačné spirálové pružiny. Rozdělují se do dvou skupin, a to na pružinové závěsy nebo podpěry a na závěsy (podpěry) konstantní síly. [19]

Pružinové závěsy a podpory

Pružinové závěsy a podpory (obr. 16) se používají v případě, že pevné konstrukce nejsou schopny zachytávat svislé nebo velké vodorovné posuvy potrubí. Tato uložení jsou vhodná pro vertikální posuv potrubí do 50 mm a v případě, že vodorovné posuvy potrubí nezpůsobí výchylku táhla větší než 4°. Pro vyšší hodnoty posuvů je vhodné použít závěsů konstantní síly. [19]

Pružinové závěsy a podpory konstantní síly

V případě, že je proměnlivost zatížení >25% a jsou-li posuvy potrubí vyšší než 50 mm, řádově až do 250 mm, používají se uložení konstantní síly. Když se potrubí pohybuje, během přechodu ze studeného do pracovního (teplého) stavu, je zatížení v uložení konstantní. [19]



Obr. 16 – Pružinový závěs a podpora [20]

- **Tlumiče rázů (snubbers)**

Používají se u potrubí, kde je riziko vzniku náhlých dynamických zatěžujících účinků, např. rychlé otevření nebo zavření ventilu, pulzace v důsledku čerpání, provoz pojistných ventilů. Absorbéry rázů se používají i v zařízeních, která leží v lokalitách s možnou seismickou aktivitou nebo u potrubních systémů vystaveným povětrnostním vlivům. V těchto případech tvoří tlumič prakticky ochranný prvek mezi konstrukcí a potrubím, dokáže absorbovat vzniklou dynamickou energii a tím eliminovat nebezpečí destrukce systému.

2.1.5.2 Zásady ukládání GRP potrubí

GRP potrubí může být ukládáno podle stejných zásad, jako potrubí kovové. Nicméně, GRP trouby mají při stejném DN větší vnější průměr, než kovové. Z tohoto důvodu nemusí standardní rozměry uložení odpovídat vnějším průměrům potrubí. Použití sedel a elastomerových podložek (vycpávek) umožňuje použít standardní rozměry uložení.

Následující požadavky a doporučení platí pro použití systému uložení:

- a) Podpory musí být rozmístěny tak, aby se zabránilo prohnutí nebo nadměrným vibračním konstruovaného potrubního systému.
- b) V každém případě by měla být konstrukce podpěry v souladu s pokyny výrobce.
- c) Dlouhé potrubí lze kompenzovat vložením muzikusu s nízkým modulem pružnosti, v tomto případě, musí mít systém dobré vedení a být dobře ukotven.
- d) Ventily nebo jiná těžká připojená zařízení musí být samostatně uložena (podepřena).³
- e) GRP potrubí nesmí být použito k podepření jiných potrubí.
- f) GRP potrubí by mělo být adekvátně uloženo, aby bylo zajištěno, že upevnění hadic v místech užitkových nebo předávacích stanic nemá za následek, že je trubka zatížena takovým způsobem, který by mohl vést k nadměrnému zatížení materiálu.
- g) Je třeba věnovat pozornost možným konstrukčním požadavkům uložení a zajistit elektrické uzemnění.

- **Uložení potrubí - kontakt s povrchem**

- **Pokyny**

Následující pokyny pro GRP potrubí by měly být dodrženy.

- a) Uložení by v každém případě mělo mít dostatečnou šířku k podepření potrubí, aniž by ho poškodilo a mělo by být obloženo nějakým měkkým materiálem. Minimální šíře sedla v milimetrech by měla být $\sqrt{30D}$, kde D je střední průměr potrubí v milimetrech.
- b) Upínací síly by měly být takové, aby nedošlo k rozdrčení trubky.
- c) Podpěry by měly být přednostně umístěny na takových úsecích trubky, kde nejsou spoje aj.

- **Uložení umožňující pohyb potrubí**

Trubky uložené v pevných uloženích, které umožňují pohyb potrubí, musí mít ochranu proti otěru ve formě sedel, elastomerových vložek nebo plechu.

³ Ventily jsou často opatřeny těžkými kontrolními mechanismy, které leží daleko od osy trubky a způsobují zatížení na ohyb a krut.

- **Rozpětí potrubí mezi dvěma podporami**

Schopnost GRP potrubí překlenout vzdálenost mezi dvěma podporami je obecně menší než u ocelových trubek, z důvodu nižšího modulu pružnosti materiálu. Podpory musí být rozmístěny tak, aby nedošlo k prohnutí potrubí a nadměrným vibracím potrubního systému.

GRP potrubí, když je naplněno vodou, by mělo být schopné překlenout vzdálenosti uvedené v tabulce 4, při splnění kritéria vychýlení v radiálním směru, buď ve výši 0,5 % rozpětí (vzdálenost dvou podpor) nebo výchylky 12,5 mm od středu trubky, podle toho, co je nižší. Předpokládá se, že potrubí bude jednoduše podepřeno. V některých případech, může být limitujícím faktorem napětí v ohybu nebo napětí vzniklé kontaktem s podporou a vzdálenost mezi podporami musí být snížena. [18]

Tab. 4 - Délky rozpětí GRP potrubí (jednoduše uloženo) [18]

Jmenovitý průměr potrubí (DN) [mm]	Rozpětí [m]
25	2,0
40	2,4
50	2,6
80	2,9
100	3,1
150	3,5
200	3,7
250	4,0
300	4,2
350	4,8
400	4,8
450	4,8
500	5,5
600 ≥	6,0

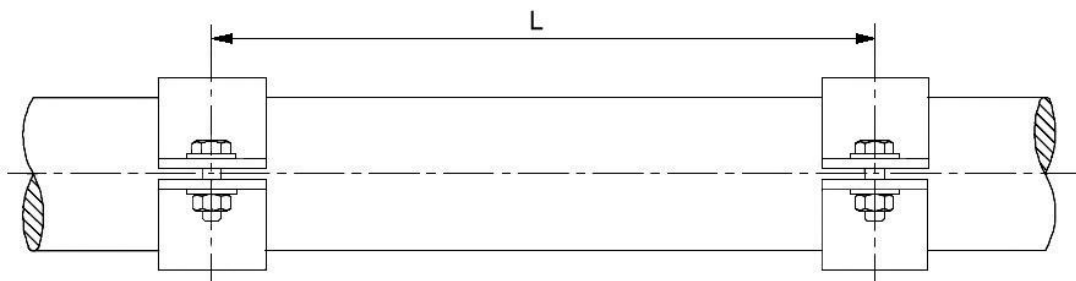
Vzdálenost mezi dvěma podporami lze také určit pomocí vzorce (6).

$$L = 0,5040 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{t(axial)} \cdot I}{q}} \quad (6)$$

kde: L - vzdálenost dvou podpor [m]
 $E_{t(axial)}$ - osový modul pružnosti v tahu [N/mm²]
q - spojité zatížení naplněné trubky [N/mm]
I - kvadratický moment průřezu [mm⁴]

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - DN^4) \quad (7)$$

kde: D - vnější průměr potrubí [mm]
DN - jmenovitý průměr potrubí [mm]



Obr. 17 – Vzdálenost mezi dvěma podporami [23]

3 Porovnání používaných kompozitních materiálů pro potrubní aplikace

Existuje celá řada druhů pryskyřic používaných k výrobě potrubí, stejně tak i vláken. Typickými pryskyřicemi jsou epoxid, vinyl ester, polymer, fenol. Jsou to obecné sloučeniny, které se dále dělí na konkrétní typy (tab. 5). Pro vyztužení se používají vlákna uhlíková, aramidová a skleněná. Nejčastěji se pro výrobu potrubí využívá kombinace skelných vláken s některým druhem pryskyřice, protože skelná vlákna jsou oproti uhlíkovým a aramidovým finančně výhodnější.

Potrubí z GRE, tj. epoxidová pryskyřice vyztužená skelným vláknem, je vhodné pro náročnější aplikace chemického průmyslu, energetiky, těžby a dopravy ropy, zemního plynu atd. Tento materiál je dobrý elektrický izolant, až do 800kV a má nízký koeficient tepelné roztažnosti. Potrubí z polyesterových pryskyřic, je vhodnější pro nižší tlaky a teploty.

Jelikož si každá firma, hlídá své „know how“, není možné zjistit všechny podrobné informace o používaných pryskyřicích a vláknech. Například firma AMERON, která se zabývá výrobou GRE potrubí má své produkty vedené pod obchodními značkami BONDSTRAND®. Jedná se o epoxidové potrubní systémy vyztužené skelnými vlákny. V tab. 6 je pro názornost uvedena chemická odolnost výrobků BONDSTRAND®, pro některé konkrétní sloučeniny, které jsou potrubím dopravovány.

Tab. 5 – Přípustné kombinace teploty a tlaku potrubních GRP systémů Plasticon [23]

		PRACOVNÍ TEPLOTA										
		[°C]										
		-20 až 30	30 až 40	40 až 50	50 až 60	60 až 70	70 až 80	80 až 90	90 až 95	95 až 100	100 až 110	110 až 120
TYP PRYSKYŘICE	TLAKOVÁ TŘÍDA	MAXIMÁLNÍ PŘÍPUSTNÝ PROVOZNÍ TLAK										
		[Bar]										
Isoftalická	PN6	6	6	4,5	3,5	*	*					
	PN10	10	10	7,5	6	*	*					
	PN16	16	16	12	9,5	*	*					
Bisfenol A	PN10	10	10	10	8,5	7	6	*	*	*		
	PN16	16	16	16	13,5	11	9,5	*	*	*		
Epoxidová Vinyl - Esterová	PN6	6	6	6	6	6	5	4	3,5	*	*	*
	PN10	10	10	10	10	10	8,5	7	6	*	*	*
	PN16	16	16	16	16	16	13,5	11	9,5	*	*	

* K dispozici na vyžádání u výrobce potrubních systémů PLASTICON v závislosti na konkrétní specifikaci potrubí.

BONDSTRAND® 4000

- dobrá odolnost vůči agresivním chemikáliím
- tloušťka vnitřní antikoroziční vrstvy: 1,3 mm
- tlaková třída: PN 10
- provozní teploty: -40°C až 121 °C

BONDSTRAND® 7000

- obsahuje elektricky vodivá vlákna
- zabráňuje hromadění statické elektřiny
- tlaková třída: PN 16
- provozní teploty: -40°C až 93 °C
- pro aplikace vyžadující antistatické vlastnosti (doprava pohonných hmot)

Tab. 6 – Chemická odolnost sklolaminátových potrubí NOV FGS (AMERON) – BONDSTRAND [24]

		Teplotní limity pro sérii BONDSTRAND®	
		[°C]	
Sloučenina	Koncentrace	4000	7000
Butan	-	66	49
Motorová nafta	-	121	93
Glycerin	100%	149	99
Topný olej	-	104	99
Zemní plyn	-	107	99
Hydroxid draselný	0 – 25%	82	38
Voda, parní kondenzát	-	121	99
Voda mořská	-	132	99
Letecké palivo	-	121	93

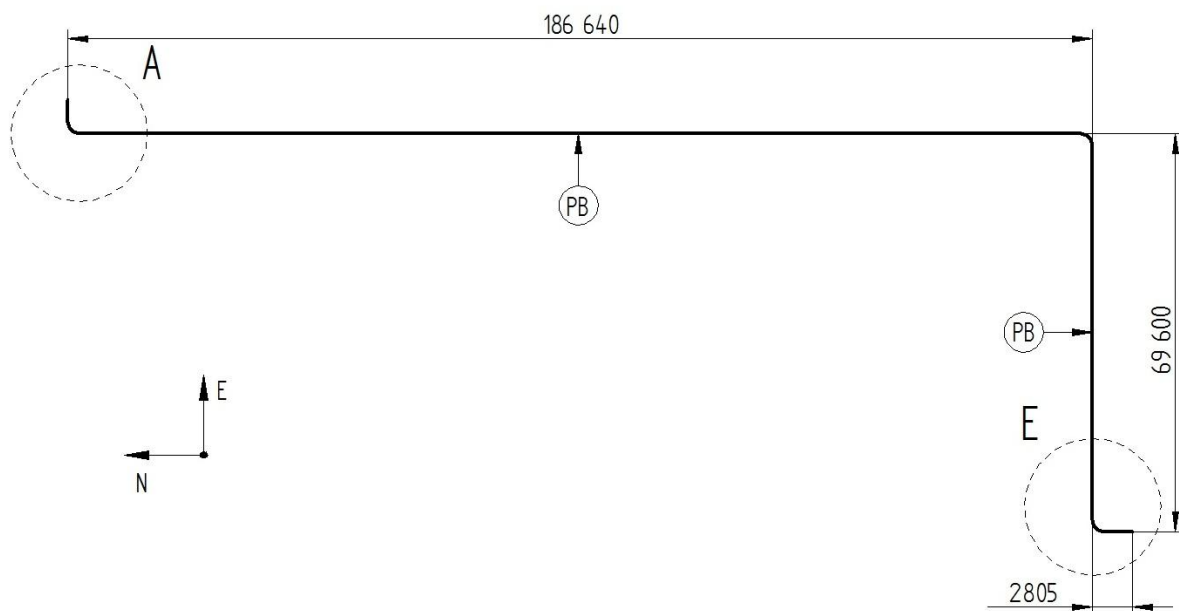
Praktická část

Tato část práce je zaměřena na vlastní návrh kompenzace vybraného úseku potrubní trasy elektrárny Opatovice. Konkrétně se jedná o potrubí uložené na mostové konstrukci. Nejprve je nutné zohlednit dispozici mostní konstrukce elektrárny, neboť právě tudy potrubní trasa prochází. Následně je přistoupeno k předběžnému výpočtu kompenzací a pak k modelování trasy v softwaru PDMS. Jsou vybrány typy uložení, jejich rozmístění a v případě, že byla trasa navržena správně, je celý proces návrhu završen komplexním ověřením pevnosti potrubí v programu CESAR II.

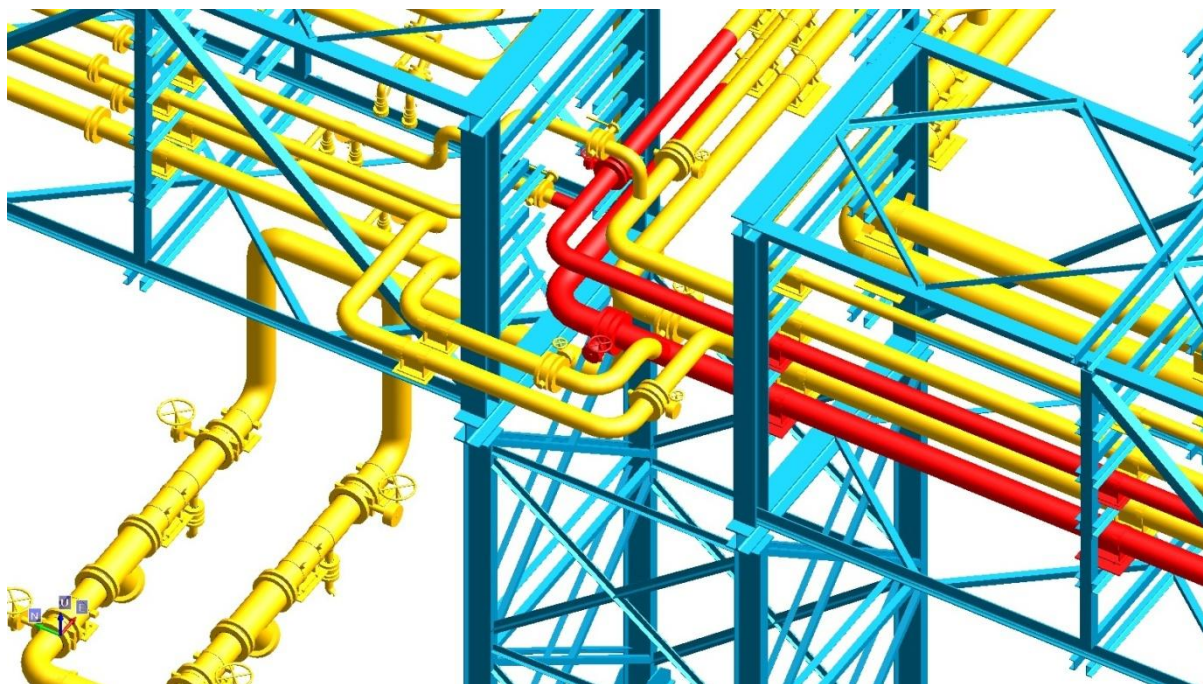
4 Zhodnocení stávající potrubní trasy

Stávající potrubní trasa je vedena na mostové konstrukci, jedná se o dvě sklolaminátová potrubí, sloužící k přepravě produktu o teplotě 62°C a tlaku 0,37 MPa, přičemž designové hodnoty teploty a tlaku jsou 70°C a 0,49 MPa. Dimenze potrubí je DN 150 a DN 200. Jelikož jsou společně propojena (viz detail E na obr. 20), je třeba tento fakt zohlednit při návrhu nové trasy. Z důvodu dilatace potrubí při provozu vyvstává riziko, že se potrubí vychýlí mimo mostní konstrukci a dojde k porušení systému.

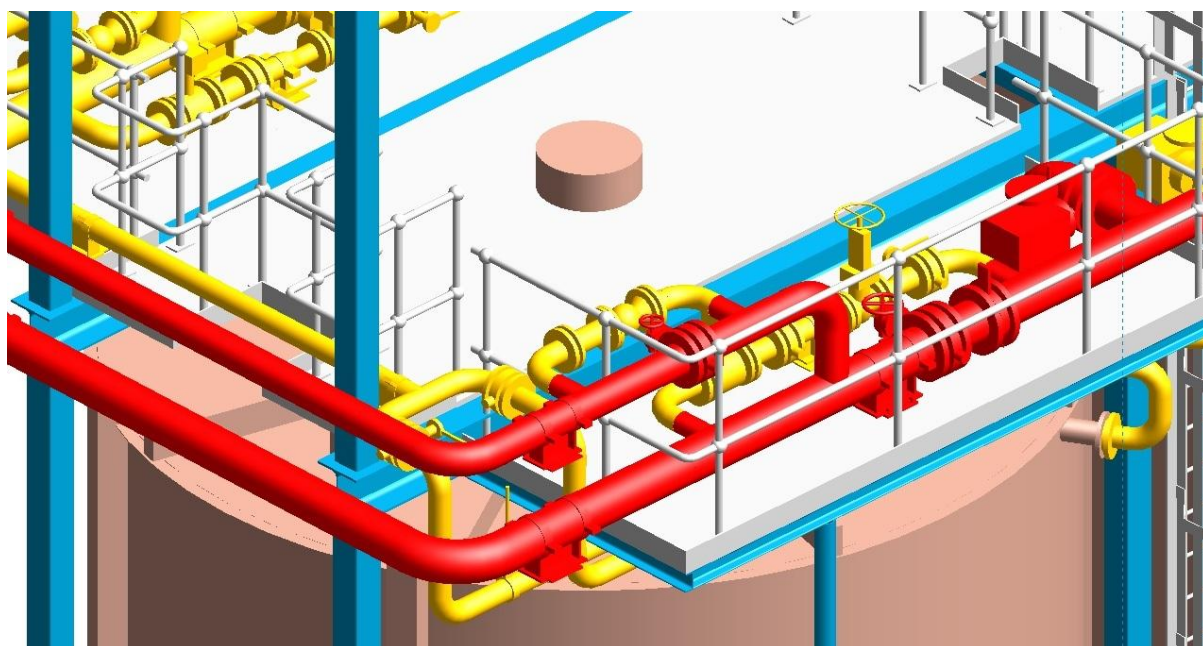
Potrubí je spádované v poměru 1:500 z důvodu, aby při provozu nevznikaly tzv. kapsy, ve kterých by se držel zbytkový dopravovaný produkt, a tedy bylo zajištěno bezproblémové odtékání. Podpory jsou na mostní konstrukci rozmístěny pravidelně a rozpětí mezi nimi je 2910 mm. Na obr. 18 je schematicky znázorněn půdorys trasy, pevné body jsou umístěny přibližně uprostřed. Detaily A a E jsou na obr. 19 a 20.



Obr. 18 - Schéma potrubní trasy v půdorysu



Obr. 19 - Detail A



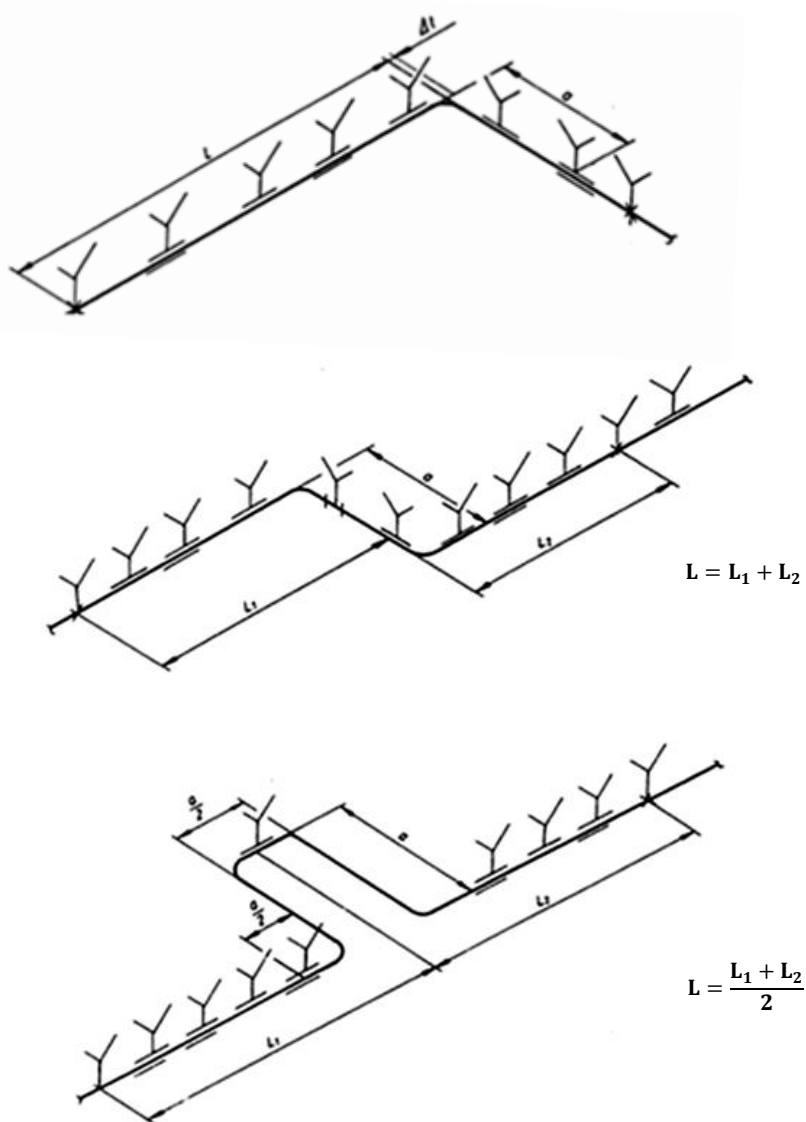
Obr. 20 - Detail E

5 Vlastní varianta potrubního systému

Vlastní návrh potrubního úseku je zaměřen především na vyřešení problému dilatování potrubí vlivem teploty. Nejprve byly pomocí výpočtového programu, který využívá firma AF Engineering s.r.o., zjištěny délky prodloužení potrubí a zároveň potřebné rozměry pro jejich kompenzaci. Rovněž byly určeny maximální možné vzdálenosti podpor. Potrubní trasa byla rozdělena pevnými body na jednotlivé sekce, viz obr. 22. Jelikož je potrubí vystaveno přírodním živlům, především poryvům větru, je nutné rozdělit úsek pevnými body na více částí.

5.1 Výpočet kompenzace dilatací

Obecné vztahy, ze kterých vychází výpočetní program firmy AF Engineering s. r. o. jsou vzaty z norem, viz [25]. Konkrétně výpočet potřebné délky pro kompenzaci dané dilatace uvádí vzorec (8). Rozměr a určuje minimální potřebnou délku potrubí pro kompenzaci dilatace, zobrazeno na obr. 21.



Obr. 21 - Typy kompenzačních smyček

$$a \geq \sqrt{\frac{3 \cdot \Delta l \cdot D}{\epsilon_{Mt}}} \quad (8)$$

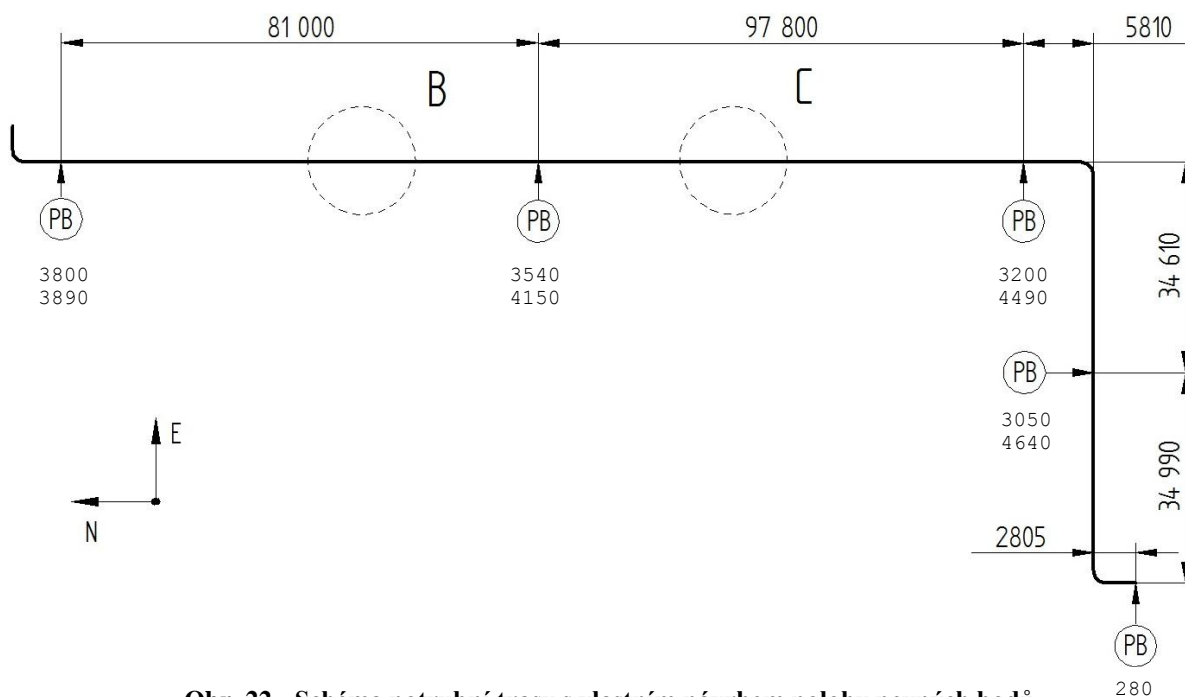
kde: Δl - dilatace potrubí [m]

D - vnější průměr [m]

ϵ_{Mt} - relativní dilatační výchylka [%]

5.2 Návrh kompenzačních smyček

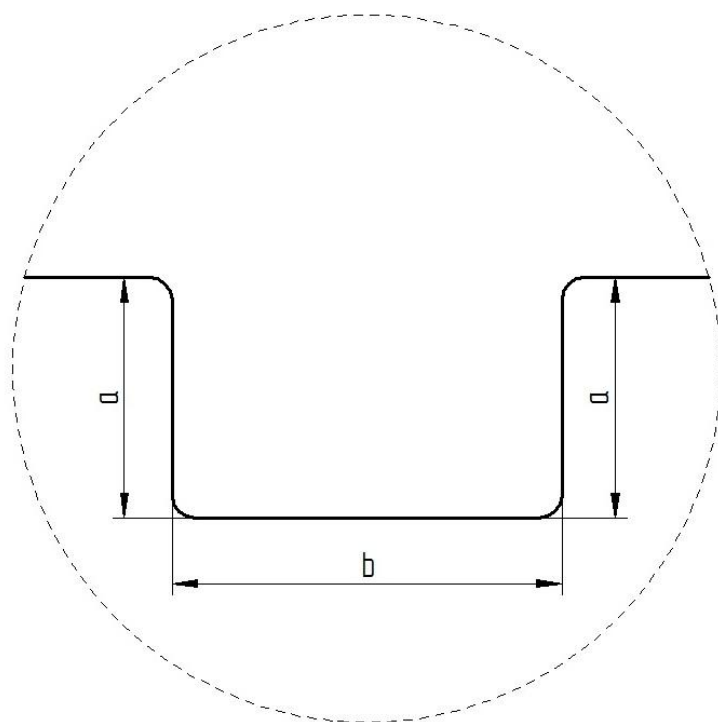
Kompenzační smyčky byly navrženy dle vypočtených rozměrů, nutných k vykompenzování vzniklých dilatací, ale i s ohledem na dispoziční řešení mostové konstrukce. Na obr. 22 je v půdorysu schematicky znázorněna trasa s polohou pevných bodů i s čísly uzlových bodů. Hodnoty sil působící na pevné body jsou uvedeny v příloze 1. V tab. 7 jsou uvedeny rozměry kompenzačních smyček potrubí, rozměry jsou schematicky znázorněny na obr. 23. Pro kompenzační smyčky bylo nutné vytvořit pomocnou konstrukci, která je podepírá, konstrukce byla navržena z profilu HEB 100. Na obr. 24 jsou zobrazeny kompenzační smyčky B (zeleně), společně s původní trasou (červeně) a podpůrná konstrukce (fialově).



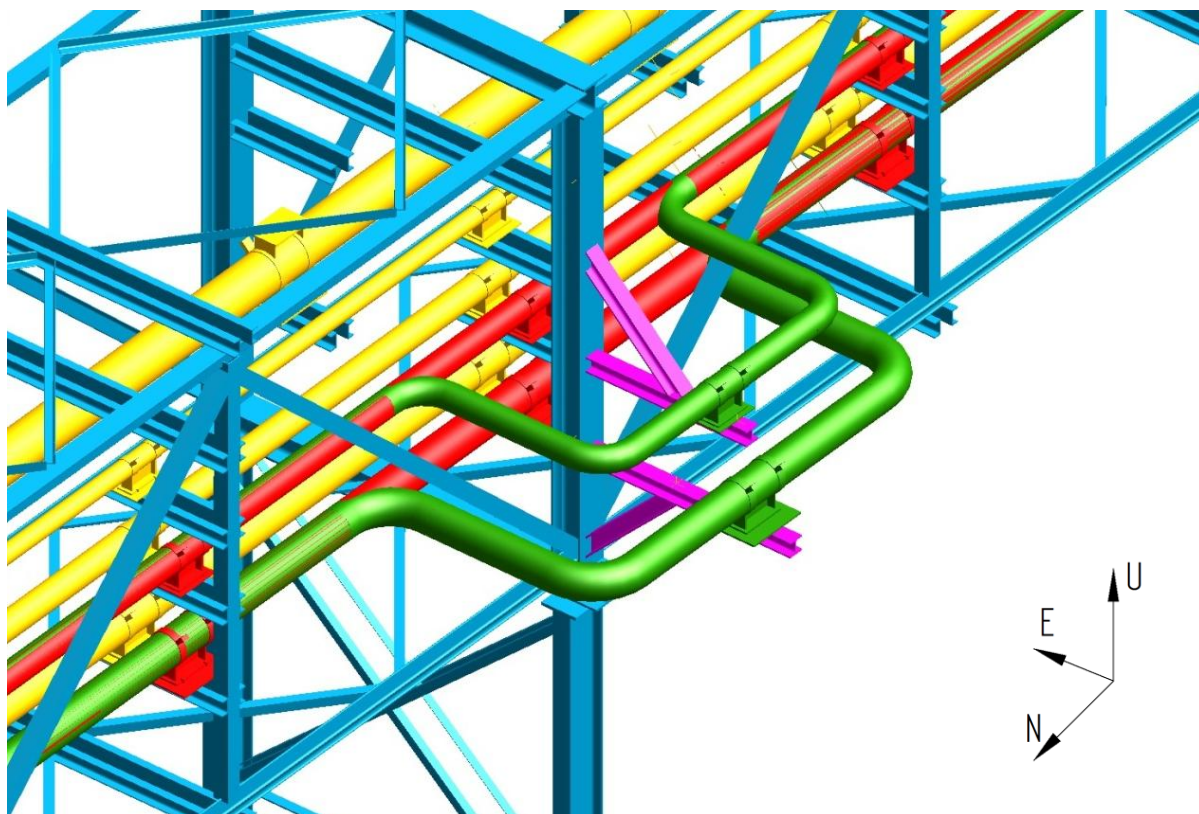
Obr. 22 - Schéma potrubní trasy s vlastním návrhem polohy pevných bodů

Tab. 7 – Rozměry smyček B a C

	B		C	
	DN 150	DN 200	DN 150	DN 200
a [mm]	1300	1500	1450	1650
b [mm]	1610	2140	1680	2210



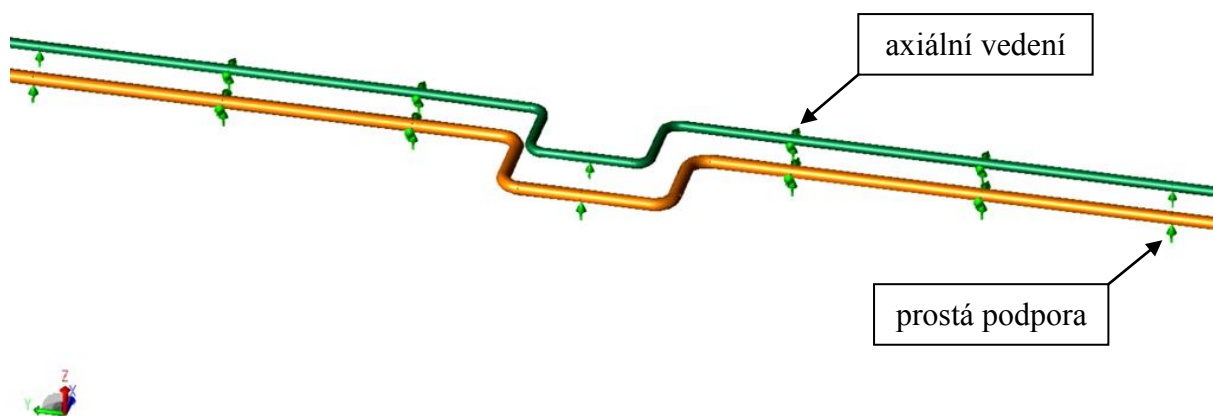
Obr. 23 - Schéma kompenzační smyčky v detailu



Obr. 24 - Kompenzační smyčky B

5.3 Statické ověření potrubí v programu CESAR II

Navržená potrubní trasa byla nejprve převedena z programu PDMS do výpočtového programu CESAR II. V programu CESAR II bylo nutné upravit drobné nepřesnosti v geometrii trasy, které vznikly převodem ze softwaru PDMS. Po těchto úpravách bylo přistoupeno k nadefinování charakteru podpěr potrubí. Pro dané potrubí byly použity podpěry typu: pevný bod (anchor), podpěra s axiálním vedením (guide) a prostá podpora (slide). Podpory byly voleny vždy s ohledem na typ kompenzace. Například u kompenzačních smyček typu U byly bezprostředně před a za smyčkou použity podpory s axiálním vedením dvakrát za sebou, aby bylo zajištěno dobré vedení (obr. 25). Jinak byla tendence střídat prostou podporu s axiálním vedením.



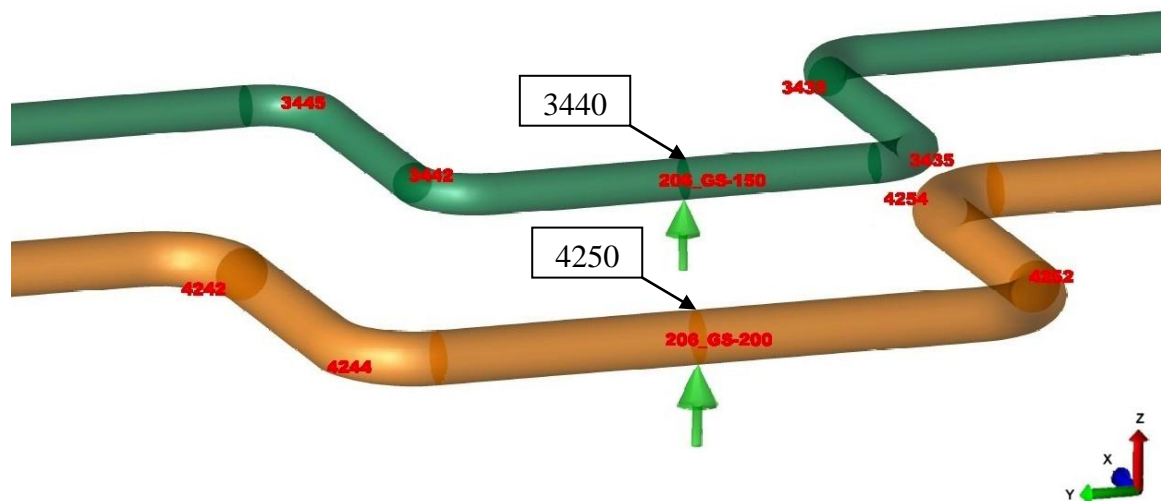
Obr. 25 – Ukázka typu uložení v programu CESAR II

Po výše zmíněných úpravách byly do programu CESAR II zadány požadované hodnoty pro výpočet potrubí, například pracovní a designové teploty a tlaky, materiálové hodnoty a rozměry potrubí. Výpočet byl proveden v souladu s normou ČSN ISO EN 14692. Bylo uvažováno několik zatěžujících případů:

- CASE 1 (OPE) $W+D1+T1+P1$
W - tíhové zatížení od trubky naplněné vodou
D1 - posuv
T1 - operační teplota
P1 - operační tlak
- CASE 2 (OPE) $W+D2+T2+P2$
W - tíhové zatížení od trubky naplněné vodou
D1 - posuv
T2 - designová teplota
P2 - designový tlak

- CASE 7 (SUS) W+P1
W - tíhové zatížení od trubky naplněné vodou
P1 - operační tlak
- CASE 8 (SUS) W+P2
W - tíhové zatížení od trubky naplněné vodou
P2 - designový tlak
- CASE 9 (HYD) WW+HP – hydrotest
WW - zatížení gravitací a vodou
HP - vodní tlaková zkouška
- CASE 10 (EXP) L10=L1-L7 – zatížení čistě operační teplotou
- CASE 11 (EXP) L11=L2-L8 – zatížení čistě designovou teplotou
- CASE 17 (OCC) L17=L9+L16 – občasné zatížení větrem

Kompletní výsledky výpočtu z programu CESAR II jsou uvedeny v příloze 1. Hodnoty jsou vždy přiřazeny uzlovým bodům (node), které trasu rozdělují na jednotlivé části. Tyto uzly mohou reprezentovat uložení nebo jinou část potrubí. Na obr. 26 je ukázka kompenzační smyčky, kde jsou tyto body vyznačeny, v tab. 8 a 9 jsou uvedeny hodnoty posuvů a sil v uzlech **3440** (DN150) a **4250** (DN 200), představující uložení zachycující reakce ve směru z.



Obr. 26 – CESAR II, čísla uzlových bodů

Tab. 8 - Hodnoty posuvů a složek sil v uzlu 3440 pro jednotlivé případy výpočtu

CASE	Síly působící v uložení			Posuvy		
	F_x [N]	F_y [N]	F_z [N]	D_x [mm]	D_y [mm]	D_z [mm]
1(OPE)	-418	126	-1457	-5,537	1,670	0,000
2(OPE)	-415	138	-1457	-10,340	3,446	0,000
7(SUS)	-16	0	-1457	0,000	0,000	0,000
8(SUS)	-24	0	-1457	0,000	0,000	0,000
9(HYD)	-79	1	-697	0,000	0,000	0,000
10(EXP)	-403	126	0	-5,537	1,670	0,000
11(EXP)	-390	138	0	-10,340	3,446	0,000
17(OCC)	-60	-17	-634	1,689	-0,408	0,000

Tab. 9 - Hodnoty posuvů a složek sil v uzlu 4250 pro jednotlivé případy výpočtu

CASE	Síly působící v uložení			Posuvy		
	F_x [N]	F_y [N]	F_z [N]	D_x [mm]	D_y [mm]	D_z [mm]
1(OPE)	-885	176	-3007	-5,146	1,023	0,000
2(OPE)	-871	235	-3007	-8,904	2,405	0,000
7(SUS)	-62	0	-3007	0,000	0,000	0,000
8(SUS)	-95	0	-3007	-0,001	0,000	0,000
9(HYD)	-262	2	-1641	-0,001	0,000	0,000
10(EXP)	-823	176	0	-5,146	1,023	0,000
11(EXP)	-776	235	1	-8,903	2,405	0,000
17(OCC)	-233	-17	-1733	0,585	0,164	0,000

Závěr

Úkolem této práce bylo navrhnout vlastní způsob kompenzace dilatací potrubí, které je realizováno v elektrárně Opatovice.

Zvoleným materiálem potrubí je sklolaminát (GRP), který má v porovnání s ocelí vyšší teplotní roztažnost, takže i přes to, že bylo potrubím dopravováno médium o relativně nízké teplotě, bylo nutné kompenzovat dilatace, a to vzhledem ke značným délkám potrubí.

Na základě rozměrů, pracovních tlaků a teplot potrubí byly určeny rozměry, potřebné ke kompenzaci vzniklých dilatací. Rovněž byly ověřeny minimální potřebné vzdálenosti podpor stávající trasy. 3D model trasy byl vytvořen v softwaru PDMS. Umístění kompenzačních smyček muselo být přizpůsobeno dispozici mostové konstrukce, po které je vedeno. Následně byla potrubní trasa importována do programu CESAR II, kde byl proveden komplexní teplotně dilatační výpočet. Výpočet byl uvažován pro několik případů zatěžování, přičemž trasa v každém z osmi případů vyhověla.

Seznam použitých zdrojů

- [1]. KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. *Úvod do studia materiálů*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005, 190 s. ISBN 80-708-0568-4.
- [2]. PLEŠKOVÁ, Iva. *Mechanické vlastnosti kompozitních materiálů s krátkovlákněným čedičem*. Liberec, 2011. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Ing. Miroslava Maršálková, PhD.
- [3]. Matrice vláknových kompozitů. *Wikipedie, Otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2016-02-04]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Matrice_vl%C3%A1knov%C3%BDch_kompozit%C5%AF
- [4]. MIKULA, Martin. *Kompozitní materiály na bázi uhlíkových vláken*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Karel Němec, PhD.
- [5]. Skleněná textilní vlákna. *Wikipedie, Otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2016-02-04]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sklen%C4%9Bn%C3%A1_textiln%C3%AD_vl%C3%A1kna
- [6]. Aramidová vlákna. *Wikipedie, Otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Aramidov%C3%A1_vl%C3%A1kna
- [7]. Polyethylenová vlákna. *Wikipedie, Otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Polyethylenov%C3%A1_vl%C3%A1kna
- [8]. Keramická textilní vlákna. *Wikipedie, Otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Keramick%C3%A1_textiln%C3%AD_vl%C3%A1kna
- [9]. ČSN EN ISO 14692-1. *Naftový a plynárenský průmysl - Sklolaminátová potrubí (GRP) - Část 1: Názvosloví, značky, použití a materiály*. 2003.
- [10]. Avoiding Internal Corrosion With Glass-reinforced Plastic. *Pipeline & Gas Journal* [online]. 2012 [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: <http://pgjonline.com/2012/03/20/avoiding-internal-corrosion-with-glass-reinforced-plastic/>
- [11]. HOBAS [online]. [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: <http://www.hobas.cz/>
- [12]. HOBAS Přehled výrobků: pro beztlaké použití PNI [online]. 2014 [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: http://www.hobas.cz/fileadmin/Daten/HobasCzech/1409_HOBAS_Gravit_y_Pipe_Systems_HCZ.pdf
- [13]. ČSN EN ISO 14692-2. *Naftový a plynárenský průmysl - Sklolaminátová potrubí (GRP) - Část 2: Odborná kvalifikace a výrobek*. 2003.
- [14]. PLASTICON GRP PIPING SYSTEM: *Jointing methods for pipes and fittings*. 2004. PLASTICON EUROPE.

- [15]. *Trubkové systémy FLOWTITE: Technické charakteristiky* [online]. [cit. 2016-02-27]. Dostupné z: http://www.amiantit.com/media/pdf/brochures/ext/amitech_germany/TechCharacter_CZ/files/ft_techcharacter_cz.pdf
- [16]. PAVLOK, Bohuslav. *POTRUBNÍ SYSTÉMY A ARMATURY* [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2016-03-06]. Dostupné z: http://www.338.vsb.cz/PDF/Dil1_Pav.pdf
- [17]. WITZENMANN: *EXPANSION JOINT MANUAL* [online]. [cit. 2016-03-06]. Dostupné z: http://www.witzenmann.de/repo/assets/Expansion%20joint%20manual%201501uk_5_12_12_20_download.pdf
- [18]. ČSN EN ISO 14692-3. *Naftový a plynárenský průmysl - Sklolaminátová potrubí (GRP) - Část 3: Systém návrhu potrubí*. 2003.
- [19]. Pipe Support. *Wikipedia The Free Encyclopedia* [online]. 2016 [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Pipe_support
- [20]. Introduction to Pipe Supports. *Explore the World of Piping* [online]. [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <http://wermac.org/steel/pipesupports.html>
- [21]. *PIPE SUPPORTS Binder Group: Rigid Hanger Support*. 2015.
- [22]. *SHOCK ABSORBERS, ENERGY ABSORBERS, RIGID STRUTS* [online]. Lisega [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: http://www.lisega.de/pdf/uk/pg3_uk.pdf
- [23]. *PLASTICON GRP PIPING SYSTEM: Engineering guide*. 2004. PLASTICON EUROPE.
- [24]. *AMERON: BONDSTRAND® Product Guide*. 2003.
- [25]. *SFS - KÄSIKIRJA 107: Putkiston kannatus (Pipe supporting)*. 2007.

Seznam obrázků

Obr. 1 - Rozdělení kompozitních materiálů podle geometrického tvaru výztuže [1]	9
Obr. 2 - Struktura stěny sklolaminátové CC - GRP trouby [11]	14
Obr. 3 - Ukázka profilů trub vyráběných metodou NC Line [12].....	15
Obr. 4 - Ukázka některých typů tvarovek [12].....	17
Obr. 5 - Lepený spoj tzv. <i>bell - spigot joint</i> a laminovaný spoj [14]	18
Obr. 6 - Mechanické spojení trubek [15]	19
Obr. 9 - Laterální kompenzátor jednoduchý a dvojitý [17].....	20
Obr. 7 – Axiální kompenzátor [17]	20
Obr. 8 - Angulární kompenzátor [17].....	20
Obr. 10 - Axiální reakce F_p na uložení vlivem tlaku v potrubí [17]	21
Obr. 11 – Schéma větve s axiálními kompenzátory (vlevo) a s angulárními (vpravo) [17]	21
Obr. 12 - Ohybové kompenzátory Z, L, U	22
Obr. 13 - Kluzná podpora s axiálním vedením [20].....	24
Obr. 14 - Ukázka různých prutových závěsů [21].....	24
Obr. 15 - Kloubová podpěra typ V (obr. a), jednoduchá kloubová podpěra (obr. b) [22]	24
Obr. 16 – Pružinový závěs a podpora [20].....	25
Obr. 17 – Vzdálenost mezi dvěma podporami [23]	28
Obr. 18 - Schéma potrubní trasy v půdorysu	31
Obr. 19 - Detail A.....	32
Obr. 20 - Detail E	32
Obr. 21 - Typy kompenzačních smyček.....	33
Obr. 22 - Schéma potrubní trasy s vlastním návrhem polohy pevných bodů	34
Obr. 23 - Schéma kompenzační smyčky v detailu	35
Obr. 24 - Kompenzační smyčka B	35
Obr. 25 – Ukázka typu uložení v programu CESAR II	36
Obr. 26 – CESAR II, čísla uzlových bodů	37

Seznam tabulek

Tab. 1 - Druhy skel používaných k výrobě vláken [5].....	11
Tab. 2 - Teplotní omezení [9].....	12
Tab. 3 - Základní charakteristiky CC - GRP trub [11].....	15
Tab. 4 - Délky rozpětí GRP potrubí (jednoduše uloženo) [18].....	27
Tab. 5 – Příпустné kombinace teploty a tlaku potrubních GRP systémů Plasticon [23].....	29
Tab. 6 – Chemická odolnost sklolaminátových potrubí NOV FGS (AMERON) – BONDSTRAND [24].....	30
Tab. 7 – Rozměry smyček B a C.....	34
Tab. 8 - Hodnoty posuvů a složek sil v uzlu 3440 pro jednotlivé případy výpočtu.....	38
Tab. 9 - Hodnoty posuvů a složek sil v uzlu 4250 pro jednotlivé případy výpočtu.....	38

Seznam příloh

Příloha 1 – Výsledky výpočtu z programu CESAR II.....	44
---	----

Příloha 1

Výsledky výpočtu z programu CESAR II

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 22, 2016 Time: 11:38
Job Name: GS-LINKA3
Licensed To: AF-ENGINEERING S.R.O.
STRESS SUMMARY REPORT: Highest Stresses Mini Statement
Various Load Cases

LOAD CASE DEFINITION KEY

CASE 1 (OPE) W+D1+T1+P1
CASE 2 (OPE) W+D2+T2+P2
CASE 7 (SUS) W+P1
CASE 8 (SUS) W+P2
CASE 9 (HYD) WW+HP
CASE 10 (EXP) L10=L1-L7
CASE 11 (EXP) L11=L2-L8
CASE 17 (OCC) L17=L9+L16

Piping Code: ISO 14692 = ISO 14692 (2005)

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 1 (OPE) W+D1+T1+P1

Highest Stresses: (N./sq.mm.) LOADCASE 1 (OPE) W+D1+T1+P1
Ratio (%): 31.8 @Node 4251
OPE Stress: 14.4 Allowable Stress: 45.2
Axial Stress: 1.6 @Node 220
Bending Stress: 13.6 @Node 3430
Torsion Stress: 3.1 @Node 3632
Hoop Stress: 17.0 @Node 3636
Max Stress Intensity: 15.1 @Node 3430

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 2 (OPE) W+D2+T2+P2

Highest Stresses: (N./sq.mm.) LOADCASE 2 (OPE) W+D2+T2+P2
Ratio (%): 39.5 @Node 4251
OPE Stress: 17.9 Allowable Stress: 45.2
Axial Stress: 2.0 @Node 220
Bending Stress: 16.3 @Node 4251
Torsion Stress: 3.1 @Node 3632
Hoop Stress: 20.2 @Node 3435
Max Stress Intensity: 18.3 @Node 4251

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 7 (SUS) W+P1

Highest Stresses: (N./sq.mm.) LOADCASE 7 (SUS) W+P1
Ratio (%): 22.9 @Node 3430
Code Stress: 14.5 Allowable Stress: 63.1
Axial Stress: 1.6 @Node 220
Bending Stress: 13.6 @Node 3430
Torsion Stress: 3.0 @Node 3632
Hoop Stress: 9.7 @Node 3635
Max Stress Intensity: 14.7 @Node 3430

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 8 (SUS) W+P2

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 22, 2016 Time: 11:38
Job Name: GS-LINKA3
Licensed To: AF-ENGINEERING S.R.O.
STRESS SUMMARY REPORT: Highest Stresses Mini Statement
Various Load Cases

LOAD CASE DEFINITION KEY

Highest Stresses: (N./sq.mm.) LOADCASE 8 (SUS) W+P2
Ratio (%): 23.3 @Node 3430
Code Stress: 14.7 Allowable Stress: 63.2
Axial Stress: 2.0 @Node 220
Bending Stress: 13.6 @Node 3430
Torsion Stress: 3.0 @Node 3632
Hoop Stress: 11.5 @Node 10
Max Stress Intensity: 15.0 @Node 3430

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 9 (HYD) WW+HP

Highest Stresses: (N./sq.mm.) LOADCASE 9 (HYD) WW+HP
Ratio (%): 12.0 @Node 28
Code Stress: 5.8 Allowable Stress: 48.5
Axial Stress: 2.9 @Node 220
Bending Stress: 6.5 @Node 3430
Torsion Stress: 1.4 @Node 3632
Hoop Stress: 16.4 @Node 10
Max Stress Intensity: 8.2 @Node 3430

NO CODE STRESS CHECK PROCESSED: LOADCASE 10 (EXP) L10=L1-L7

Highest Stresses: (N./sq.mm.) LOADCASE 10 (EXP) L10=L1-L7
Ratio (%): 0.0 @Node 3636
Code Stress: 12.8 Allowable Stress: 0.0
Axial Stress: 0.0 @Node 20
Bending Stress: 11.7 @Node 3636
Torsion Stress: 0.3 @Node 28
Hoop Stress: 12.8 @Node 3636
Max Stress Intensity: 12.1 @Node 4251

NO CODE STRESS CHECK PROCESSED: LOADCASE 11 (EXP) L11=L2-L8

Highest Stresses: (N./sq.mm.) LOADCASE 11 (EXP) L11=L2-L8
Ratio (%): 0.0 @Node 3435
Code Stress: 16.0 Allowable Stress: 0.0
Axial Stress: 0.0 @Node 20
Bending Stress: 14.8 @Node 4251
Torsion Stress: 0.4 @Node 28
Hoop Stress: 16.0 @Node 3435
Max Stress Intensity: 15.3 @Node 4251

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 17 (OCC) L17=L9+L16

Highest Stresses: (N./sq.mm.) LOADCASE 17 (OCC) L17=L9+L16
Ratio (%): 15.1 @Node 4051
Code Stress: 6.3 Allowable Stress: 42.0

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 22, 2016 Time: 11:38
Job Name: GS-LINKA3
Licensed To: AF-ENGINEERING S.R.O.
STRESS SUMMARY REPORT: Highest Stresses Mini Statement
Various Load Cases

LOAD CASE DEFINITION KEY

Axial Stress:	2.9	@Node	220
Bending Stress:	7.2	@Node	3430
Torsion Stress:	1.6	@Node	3442
Hoop Stress:	16.4	@Node	10
Max Stress Intensity:	8.9	@Node	3430

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 22, 2016 Time: 11:38

Job Name: GS-LINKA3

Licensed To: AF-ENGINEERING S.R.O.

RESTRAINT SUMMARY REPORT: Loads On Restraint: DN 150

Various Load Cases

Node	Load Case	FX N.	FY N.	FZ N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.
3800	Rigid ANC						
	1 (OPE)	0	7290	-648	331	15	0
	2 (OPE)	-0	7376	-647	331	15	0
	7 (SUS)	0	1096	-660	331	15	0
	8 (SUS)	0	1424	-659	331	15	0
	9 (HYD)	-0	2037	-313	158	7	0
	10 (EXP)	0	6194	12	-0	-0	0
	11 (EXP)	-0	5952	12	-0	-0	-0
	17 (OCC)	-31	1746	-340	144	8	-17
	MAX	-31/L17	7376/L2	-660/L7	331/L7	15/L7	-17/L17
3540	Rigid ANC						
	1 (OPE)	0	242	-1360	36	55	0
	2 (OPE)	-0	312	-1360	36	55	1
	7 (SUS)	0	0	-1361	36	55	0
	8 (SUS)	0	0	-1361	36	55	0
	9 (HYD)	-0	150	-651	17	26	0
	10 (EXP)	0	242	0	-0	0	-0
	11 (EXP)	-0	312	1	-0	0	1
	17 (OCC)	-66	218	-592	19	24	2
	MAX	-66/L17	312/L2	-1361/L7	36/L7	55/L2	2/L17
3200	Rigid ANC						
	1 (OPE)	-81	-9055	-1305	-35	6	-71
	2 (OPE)	-97	-9188	-1306	-35	6	-80
	7 (SUS)	1	-477	-1288	-35	6	1
	8 (SUS)	0	-785	-1289	-35	6	0
	9 (HYD)	-9	-1747	-619	-17	3	-8
	10 (EXP)	-82	-8578	-17	-0	0	-72
	11 (EXP)	-97	-8403	-17	-0	0	-80
	17 (OCC)	54	-2133	-675	-15	3	1
	MAX	-97/L11	-9188/L2	-1306/L2	-35/L2	6/L2	-80/L11
3050	Rigid ANC						
	1 (OPE)	298	-0	-1360	-1	-36	0
	2 (OPE)	253	-0	-1360	-1	-36	-0
	7 (SUS)	0	0	-1361	-1	-36	-0
	8 (SUS)	0	0	-1361	-1	-36	-0
	9 (HYD)	1	0	-651	0	-17	0
	10 (EXP)	298	-0	1	0	0	0
	11 (EXP)	253	-0	1	0	0	-0
	17 (OCC)	65	0	-592	0	-16	0
	MAX	298/L1	0/L17	-1361/L7	-1/L7	-36/L7	0/L17

CAESAR II 2013 R1 Ver.6.10.02.0200, (Build 131024) Date: APR 22, 2016 Time: 11:38

Job Name: GS-LINKA3

Licensed To: AF-ENGINEERING S.R.O.

RESTRAINT SUMMARY REPORT: Loads On Restraints DN 200

Various Load Cases

Node	Load Case	FX N.	FY N.	FZ N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.
3890	Rigid ANC						
	1 (OPE)	-0	11622	-1052	537	11	0
	2 (OPE)	0	11836	-1052	537	11	0
	7 (SUS)	0	1948	-1071	537	11	0
	8 (SUS)	0	2532	-1070	537	11	0
	9 (HYD)	0	3621	-580	293	6	0
	10 (EXP)	-0	9674	19	-0	-0	-0
	11 (EXP)	0	9304	18	-0	-0	0
	17 (OCC)	-34	3956	-611	277	6	-19
	MAX	-34/L17	11836/L2	-1071/L7	537/L7	11/L7	-19/L17
4150	Rigid ANC						
	1 (OPE)	-0	491	-2207	57	27	1
	2 (OPE)	-0	466	-2207	57	27	1
	7 (SUS)	-0	0	-2208	57	27	0
	8 (SUS)	-0	0	-2208	57	27	0
	9 (HYD)	0	255	-1205	31	15	-0
	10 (EXP)	-0	491	1	-0	0	1
	11 (EXP)	-0	466	1	-0	0	1
	17 (OCC)	77	116	-1271	29	14	-2
	MAX	77/L17	491/L1	-2208/L7	57/L8	27/L2	-2/L17
4490	Rigid ANC						
	1 (OPE)	-167	-13219	-2117	-55	-6	-132
	2 (OPE)	-193	-14736	-2120	-55	-6	-136
	7 (SUS)	-2	-945	-2093	-55	-6	-2
	8 (SUS)	-5	-1414	-2094	-55	-6	-6
	9 (HYD)	-27	-3036	-1147	-30	-3	-24
	10 (EXP)	-165	-12274	-24	-0	0	-130
	11 (EXP)	-188	-13322	-26	-0	0	-130
	17 (OCC)	49	-3121	-1084	-31	-3	-6
	MAX	-193/L2	-14736/L2	-2120/L2	-55/L2	-6/L7	-136/L2
4640	Rigid ANC						
	1 (OPE)	307	-0	-2207	-5	-57	0
	2 (OPE)	141	-0	-2208	-5	-57	-0
	7 (SUS)	0	0	-2208	-5	-57	-0
	8 (SUS)	0	0	-2208	-5	-57	-0
	9 (HYD)	0	0	-1205	-3	-31	-0
	10 (EXP)	307	-0	1	0	0	0
	11 (EXP)	141	-0	0	0	0	-0
	17 (OCC)	72	-0	-1272	-3	-33	-0
	MAX	307/L1	-0/L11	-2208/L7	-5/L7	-57/L7	0/L10
280	Rigid ANC						
	1 (OPE)	-151	-515	-1904	-833	163	514
	2 (OPE)	-243	-496	-1900	-835	159	700
	7 (SUS)	-0	-840	-1940	-809	134	9
	8 (SUS)	3	-823	-1939	-810	134	11
	9 (HYD)	2	-416	-1087	-459	81	55
	10 (EXP)	-151	325	36	-23	29	505
	11 (EXP)	-246	327	39	-25	25	689
	17 (OCC)	-75	-436	-1144	-436	96	96
	MAX	-246/L11	-840/L7	-1940/L7	-835/L2	163/L1	700/L2

