

Západočeská univerzita v plzni
Fakulta strojní

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

Bakalářská práce

Náhrada ocelového potrubí plastovým potrubím

Autor: **Jan Sova**
Vedoucí práce: **Ing. Vladimír Křenek**

Akademický rok 2013/2014

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/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Sova	Jméno Jan	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Stavba energetických strojů a zařízení“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Křenek	Jméno Vladimír	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKE		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Náhrada ocelového potrubí plastovým potrubím		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKE	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	78	TEXTOVÁ ČÁST	47	GRAFICKÁ ČÁST	31
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce obsahuje rešerši plastů pro průmyslová potrubí, návrh plastového potrubí ve dvou materiálových variantách, výpočet tlakových ztrát a srovnání těchto ztrát s ocelovým potrubím o stejné jmenovité světlosti.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Potrubí, Plasty, Tlakové ztráty</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Sova	Name Jan	
FIELD OF STUDY	B2301 "Mechanical Engineering"		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Křenek	Name Vladimír	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKE		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	The replacement of steel pipeline for plastic pipeline		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Department of Power System Engineering	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	--	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	78	TEXT PART	47	GRAPHICAL PART	52
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Bachelor work contains research of plastic materials for industrial pipelines, design of plastic pipeline in two material variants, calculation of pressure losses and comparison of these losses with steel pipeline of same nominal diameter.
KEY WORDS	Pipeline, Plastic, Pressure losses

Poděkování :

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce, panu ing. Vladimíru Křenkovi za cenné rady a připomínky při řešení mé bakalářské práce.

OBSAH:

1	ÚVOD	1
2	SROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ RŮZNÝCH MATERIÁLŮ POTRUBÍ	2
2.1	OCELOVÁ POTRUBÍ.....	2
2.2	NEŽELEZNÉ KOVY	2
2.3	PLASTOVÁ POTRUBÍ.....	3
2.3.1	<i>Dělení plastů.....</i>	3
2.3.2	<i>Chování plastů za zvýšené teploty a při zatížení</i>	4
2.3.3	<i>Koroze, degradace a odolnost plastů</i>	7
2.4	VYBRANÉ PLASTY VHODNÉ PRO PRŮMYSLOVÁ POTRUBÍ.....	11
2.4.1	<i>Polyethylen</i>	11
2.4.2	<i>Polypropylen.....</i>	13
2.4.3	<i>Terpolymer Akrylonitrilbutadienstyren (ABS).....</i>	13
2.4.4	<i>Polyvinylchlorid</i>	14
2.5	SROVNÁNÍ MAXIMÁLNÍ MOŽNÉ PROVOZNÍ TEPLoty PRO PLASTOVÉ MATERIÁLY.....	14
2.5.1	<i>Hodnocení pevnosti plastových potrubí při dlouhodobém zatížení a při zvýšené teplotě.....</i>	16
3	NAMÁHÁNÍ POTRUBÍ.....	18
4	NÁVRH NOVÉ POTRUBNÍ TRASY.....	20
4.1	PŮVODNÍ POTRUBNÍ TRASA.....	22
4.1.1	<i>Požadavky na nové potrubí část 1. (obr 12).....</i>	22
4.1.2	<i>Požadavky na nové potrubí část 2.(obr 12).....</i>	23
4.1.3	<i>Požadavky na nové potrubí část 3. (obr 13).....</i>	24
4.2	URČENÍ ZÁKLADNÍCH ROZMĚRŮ POTRUBÍ.....	24
4.2.1	<i>Průměr potrubí.....</i>	24
4.2.2	<i>Tloušťka stěny trubek.....</i>	25
4.3	URČENÍ ŽIVOTNOSTI V ZÁVISLOSTI ZPŮSOBU POUŽÍVÁNÍ.....	25
4.4	VZDÁLENOST PODPĚR	28
4.5	ZMĚNY DÉLKY PŘI PROVOZU POTRUBÍ.....	29
4.5.1	<i>Změna délky způsobená změnami provozní teploty.....</i>	29
4.5.2	<i>Změna délky způsobená vnitřním přetlakem</i>	30
4.5.3	<i>Kompensace délkových změn potrubí</i>	32
4.6	ČÁSTI NOVÉHO PLASTOVÉHO POTRUBÍ.....	35
4.6.1	<i>Oblouky</i>	35
4.6.2	<i>T-kus.....</i>	36
4.6.3	<i>Lemový nákržek pro otočné příruby a otočná příruba.....</i>	36
4.6.4	<i>Vytvoření pevného bodu a kluzného uložení.....</i>	38
5	TLAKOVÉ ZTRÁTY	40
5.1	TŘECÍ ZTRÁTY	40
5.1.1	<i>Určení součinitele tření λ při různých stavech proudění pro použité materiály.</i>	41
5.2	MÍSTNÍ ZTRÁTY.....	43
5.2.1	<i>Hodnoty součinitele místních ztrát pro použité části potrubí.....</i>	44
5.3	VÝPOČET TLAKOVÉ ZTRÁTY.....	44
5.3.1	<i>Vliv drsnosti</i>	44
5.3.2	<i>Vliv rozdílných vnitřních průměrů pro ocel a plast a místních odporů</i>	45

5.3.3	<i>Charakteristika nového plastového potrubí</i>	46
6	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	48
7	ZÁVĚR	49
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	50
9	PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ VČETNĚ JEDNOTEK	52
10	SEZNAM PŘÍLOH	54

1 Úvod

Potrubí je důležitou součástí dnešního světa. Může se použít pro dopravu velkého množství kapalin, plynů i pevných látek. První potrubí se stavěly již starověké civilizace. Nejprve se používaly přírodní materiály. Ve starověké Číně to byl hlavně bambus, Starověcí Egypťané stavěli dřevěná potrubí, následovala zděná a kamenná potrubí.

Postupem času člověk přešel k materiálům, které sám vytváří a cílevědomě mění jejich vlastnosti, k oceli a plastům. Původním účelem plastů byla náhrada strategických surovin. Proto jsou plasty mnohými lidmi stále považovány pouze za pouhou levnou náhražku klasických materiálů.

Největšími výhodami plastů jsou nízká hmotnost, hladký povrch a snadné a svařování. Největšími nevýhodami jsou tečení materiálu již za nízkých teplot, nízká pevnost a stárnutí. Tato práce demonstruje výhody a nevýhody plastů na konkrétním návrhu potrubí.

2 Srovnání vlastností různých materiálů potrubí

Tato kapitola je zaměřena na srovnání fyzikálních vlastností různých druhů plastových, ocelových a měděných potrubí.

2.1 Ocelová potrubí

Pro potrubí které není namáháno vysokými teplotami a vysokým tlakem postačují nelegované oceli se zaručenými mechanickými vlastnostmi. Je-li potrubí namáháno vysokými tlaky, cyklickým namáháním a vysokými teplotami je nutné použít nízkolegované až středně legované oceli. V případě, že potrubí přichází do styku s agresivními látkami (louhy, kyseliny atd.) je nutné použít vysoce legované nerezové oceli, nebo při návrhu potrubního systému počítat s postupným zeslabováním stěny potrubí.[1]

Jelikož je tato práce zaměřena na návrh potrubí pro provozní tlak do 0,7 Mpa a provozní teploty mezi 30°C až 70°C bude blíže popsán vybraný zástupce nelegované oceli se zaručenými mechanickými vlastnostmi (třída 11 dle ČSN) viz tab. 1.

značka oceli	výrobek	tl.stěny mm	min.mez kluzu		min.R _m MPa	svař- itelnost	použití
			°C	MPa			
11353 podle DIN:	bezešvé trubky tvářené za tepla .1	do 12	20	235	343	Z	Statically namáhané trubkové konstrukce, potrubí do 4 MPa a 200°C, nebo 3,2 MPa a 300°C.
		12-25	20	226	343	Z	
		25-36	20	216	343	ZP	
St35 USt37 podle ASTM: 1020	přesné bezešvé trubky tvářené za studena .1	do 25	20	225	390	Z	
		nad 25	20	225	390	ZP	
všechny bezešvé trubky .1			100	186			
			200	167			
			300	137			
chemické složení							
max. 0,18 C, limitovaný obsah P, S, max. 0,090 P+S							

Tabulka 1 vlastnosti oceli 11353 převzato z [1]

2.2 Neželezné kovy

Z neželezných kovů se nejčastěji používají Měď a hliník a slitiny těchto kovů s dalšími prvky. Pro trubky tažené za studena se nejčastěji používá technicky čistá měď a čistý hliník. Fyzikální vlastnosti těchto kovů jsou uvedeny v tab. 2 a tab. 3. [1]

	ρ	Teplota tavení	c_p	α_T	λ
	kg.m ⁻³	°C	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	K ⁻¹	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Měď 99,5% Cu	8890	1083	390	17,5.10 ⁻⁶	180
	min. 99,5 Cu, max. 0,15 Sn, max. 0,1 As, max. 0,1 Pb, max. 0,08 Sb, max. 0,05 Al, Fe, S				
	R _p 0,2	R _m	A ₁₀	tvrdost	E
	MPa	MPa	%	HB	GPa
	max.108	205-249	min.40	40-65	108
	Velmi dobré plastické vlastnosti, houževnatá, hůř se obrábí. Spojování pájením i svařováním. Odolává běžným atmosférám, užitkové vodě, v mořské vodě úbytek 50 μm/rok, vodní páře do 500°C aj., nedolává chloru, amoniaku, siriým sloučeninám. Polotovary: trubky kruhové lisované za tepla, tažené za studena, tyče, plechy aj. Výrobky: trubky, ohyby, příruby, šrouby, matice, šroubení, těsnění aj.				

Tabulka 2 vybrané vlastnosti Cu 99,5 převzato z [1]

	ρ	Teplota tavení	c_p	α_T	λ
	kg.m ⁻³	°C	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	K ⁻¹	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Hliník 99,7% Al	2700	657	900	24.10 ⁻⁶	240
	min. 99,7 Al, max. 0,2 Si, max. 0,25 Fe, omez. Cu, Mn, Mg, Zn, Ti				
	R _p 0,2	R _m	A ₁₀	tvrdost	E
	MPa	MPa	%	HV	GPa
	20-50	min. 55	min. 27	min. 11	71
	Odolává proti korozi v běžných atmosférách, průmyslových atmosférách, čisté tlakové vodě a páře do 180°C, nedolává hydroxid ům NaOH, KOH, hyselinám HCl, HF. Svařitelnost velmi dobrá plamenem, odporově, technologií MIG s použitím tavidla. Polotovary: trubky lisované za tepla, tažené za studena ve stavu tvrdém nebo měkkém, tyče, plechy. Použití: potrubí, šrouby, matice, těsnění, v potravinářském a chemickém průmyslu.				

Tabulka 3 vlastnosti Al 99,7 převzato z [1]

2.3 Plastová potrubí

2.3.1 Dělení plastů

Polymery		
plasty		elastomery
termoplasty	reaktoplasty	

Tabulka 4 základní rozdělení polymerů převzato z [2]

Plasty patří mezi polymery. Vedle plastů řadíme mezi polymery také elastomery. Základní rozdíl mezi plastem a elastomerem spočívá v chování při zatížení za normální teploty. Zatímco plasty jsou většinou tvrdé a někdy dokonce křehké, elastomery je možno relativně malou silou značně deformovat, přičemž tato deformace je převážně vratná.[2]

Plasty je možné rozdělit podle chování za vyšší teploty na termoplasty a reaktoplasty (dříve termosety). Pro potrubí se nejčastěji využívají termoplasty. Termoplasty při zvýšené teplotě pouze měknou, ale jinak v podstatě nemění jejich chemické složení, ani vnitřní struktura materiálu.[3]

Díky tomu je možné termoplasty snadno opakovaně tvarovat a svařovat. Další nemalá výhoda termoplastů je snadná recyklace odpadu, který se při práci s potrubím vytváří, jako jsou hobliny, odřezky atd. Mezi nejpoužívanější termoplasty patří polyetylén, polyvinylchlorid, polypropylen, akrylonitrilbutadienstyren (ABS) atd.[4]

Reaktoplasty při vyšší teplotě nejprve měknou, při dalším zahřívání začne docházet k prostorovému zesíťování struktury (vytvrzení). Vytvrzení reaktoplastu je nevratné, při dalším zahřívání začne docházet k rozkladu hmoty (tzv. degradace). Proto se nemohou reaktoplasty svařovat. Samostatně se reaktoplasty pro potrubí většinou nepoužívají, často však bývají obsaženy v kompozitních materiálech, jako jsou např. lamináty. [3]

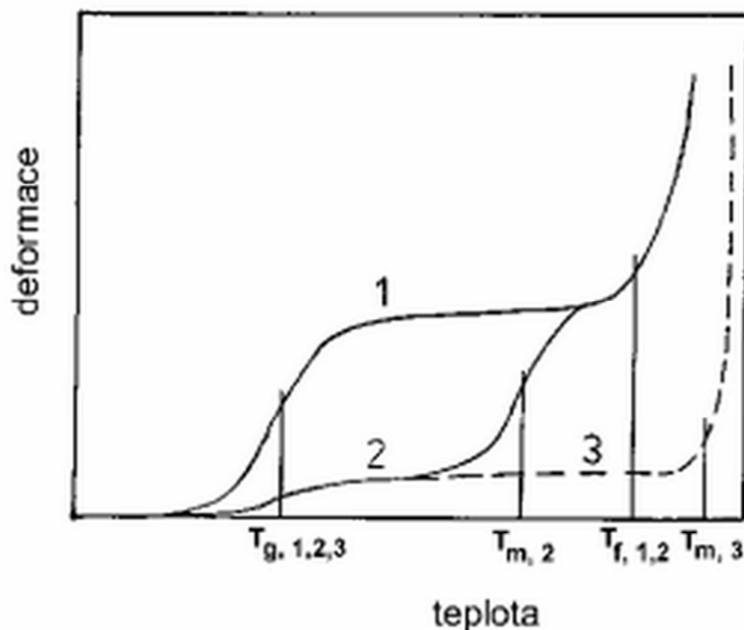
Plasty také můžeme dělit podle uspořádání makromolekul za normální teploty na amorfnní a semikrystalické. V literatuře která se podrobně zabývá morfologií plastů např.[5] se můžeme setkat další skupinou plastů a to s plasty čistě krystalickými (monokrystaly). Všechny plasty, využívané v praxi jsou buď amorfnní, nebo mají určitý podíl krystalické a amorfnní fáze. Proto můžeme pojmy semikrystalický plast a krystalický plast považovat ve většině případů za zaměnitelné. [3]

2.3.2 Chování plastů za zvýšené teploty a při zatížení

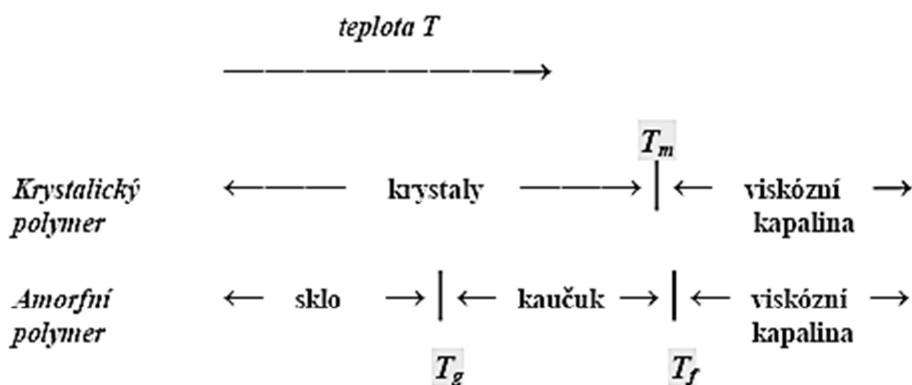
Polymery se obecně mohou vyskytovat ve čtyřech fázových stavech. Za povšimnutí stojí, že díky vysoké hmotnosti makromolekul se polymer nikdy nevyskytuje v plynném stavu, protože bod varu vždy leží nad teplotou rozkladu [6].

Podle uspořádanosti vnitřní struktury rozlišujeme stav krystalický, který je velmi vysoce uspořádaný a stav amorfnní, jehož struktura je naprosto neuspořádaná. Neuspořádaná amorfnní struktura se může vyskytovat ve třech fyzikálních stavech a to sklovitém, kaučukovitém a plastickém. Rozdělení jednotlivých fází v závislosti na teplotě znázorňuje obr.2. [2].

Amorfnní plast se chová při zvyšující se teplotě jinak než semikrystalický. Chování čistě amorfnního plastu a dvou semikrystalických schematicky znázorňuje následující graf závislosti deformace způsobené silou stálé velikosti a konstantní době působení na teplotě. Pro zjednodušení je teplota skelného přechodu T_g pro všechny tři plasty stejné viz obr. 1.



Obrázek 1 termomechanická křivka pro amorfní plast (1), semikrystalický plast $T_f > T_m$ (2), semikrystalický plast $T_f < T_m$ (3) T_g -teplota zesklnění, T_m -teplota tání, T_f -teplota toku převzato z [2]



Obrázek 2 schématické rozdělení fází v amorfním a krystalickém polymeru převzato z [6]

2.3.2.1 Chování amorfního plastu

Za teploty nižší než je teplota skelného přechodu, je u amorfního plastu velmi omezen pohyb makromolekul a to jen na vibrace jednotlivých atomů kolem rovnovážné polohy a pohyb omezeného počtu atomů v rámci hlavního, či postranního řetězce makromolekuly. Pohyb celých makromolekul, či jejich segmentů je v tomto stavu možný jen při extrémně dlouhých časových intervalech. Proto je amorfní plast pod teplotou skelného přechodu tvrdý a často křehký. Tento stav se označuje jako sklovitý. [7]

Zahřejeme-li amorfní plast nad teplotu T_g , dojde k tomu, že tepelný pohyb převáží mezimolekulární interakce a tím se umožní pohyb jednotlivých segmentů makromolekul. Makromolekuly se tedy mohou ohýbat, různě natáčet a sbalovat. To má za následek, že se amorfní plast chová jako elastomer. Při zatížení dochází k velkým, převážně vratným

deformacím. Zbytková trvalá deformace (creep) je způsobena částečným tokem materiálu, toto chování se označuje jako viskoelastické a fázový stav se označuje jako kaučukový. Tento stav přetrvává, dokud není dosaženo teploty T_f která se nazývá teplota toku [7].

Po dosažení T_f je umožněn pohyb celých makromolekul. To vede k tomu, že je možné dosáhnout velkých plastických deformací bez žádné vratné deformace. Tento stav je označován jako plastický. Většina technologií zpracovávající amorfnní termoplasty (vstřikování, vytlačování, válcování atd.) pracuje právě s plastem v plastickém stavu [7].

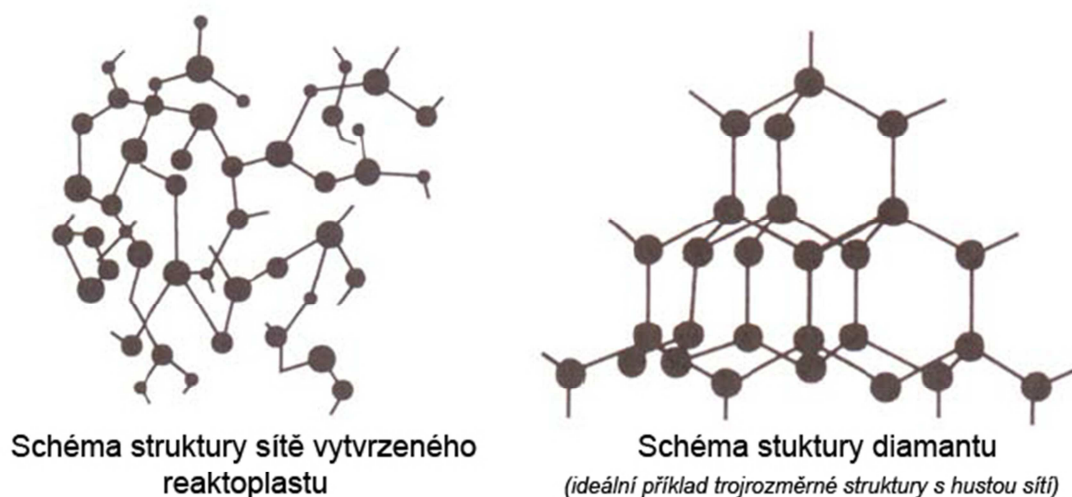
2.3.2.2 Chování semikrystalického plastu

Odlíšné chování můžeme pozorovat u krystalické fáze. V této fázi jsou segmenty makromolekul pravidelně uspořádány a zafixovány nevazebnými interakcemi. Jediný tepelný pohyb, který toto uspořádání umožňuje, je vibrace jednotlivých atomů a omezený pohyb atomů v rámci hlavního řetězce. U teoretického čistě krystalického plastu nemůžeme najít teplotu skelného přechodu. Jelikož každý reálný krystalický plast obsahuje určité procento amorfnní fáze, můžeme u takového plastu pozorovat teplotu skelného přechodu, ale při vysokém podílu krystalické fáze je tato teplota nevýrazná[7].

Do plastického stavu přejde krystalická fáze po dosažení teploty tání T_m . Pokud je teplota tání krystalické fáze vyšší než teplota toku fáze amorfnní, přejde při ohřevu plast nejprve do kaučukového stavu a teprve po překročení T_m přejde do stavu plastického viz obr.1 křivka 2. V opačném případě se po dosažení T_f zvýší houževnatost a po dosažení T_m dojde k viskóznímu toku viz obr. 1 křivka 3 [7].

2.3.2.3 Chování reaktoplastu

Naprosto odlíšné chování můžeme pozorovat u reaktoplastu. Při vytvrzení reaktoplastu získáme hustou trojrozměrnou síť chemických vazeb. To je důvod proč jsou reaktoplasty tvrdé a křehké.



Obrázek 3 schématické znázornění trojrozměrné struktury reaktoplastu převzato z [3]

Vzájemný posuv makromolekul také nepřipadá v úvahu, neboť při vytvrzení se makromolekuly vzájemně prováží chemickými vazbami a tím se v podstatě vytvoří jedna velká makromolekula. To je důvodem proč nemůže dojít k plastickému toku u reaktoplastu.

Za vysokých teplot dochází k degradaci reaktoplastu, tedy k rozštěpení chemických vazeb. Při nižších teplotách jsou vlastnosti reaktoplastu neměnné [6].

2.3.3 Koroze, degradace a odolnost plastů

Polymerní materiály, mezi něž patří plasty, se neustále mění. Dochází ke změnám jak v molekulové tak nadmolekulární struktuře a to je příčinou změny fyzikálních vlastností plastu. Tyto změny souhrnně označujeme jako stárnutí [8].

Vlivem času a prostředí dochází k nevratným, neúmyslným změnám fyzikálních vlastností plastu. Tyto změny se označují jako stárnutí, degradace, znehodnocování, koroze, porušování či odbourávání. Význam těchto pojmů je podobný, ale není stejný. Zatímco pojem degradace označuje změny způsobené rozkladem makromolekul, pojem stárnutí zdůrazňuje časový faktor těchto změn. Odbouráváním je myšlena eliminace nízkomolekulárních látek. Znehodnocováním se označuje negativní změna užitných vlastností [8].

Degradace plastů má dvě etapy. První etapa probíhá při samotné výrobě plastového výrobku. Vlivem teploty a smykového zatížení dochází k odbourávání makromolekulárního řetězce, nebo k jeho štěpení. Probíhá-li výrobní proces v otevřeném zařízení, projevuje se také vliv vzdušného kyslíku. U některých polymerů dochází k zesíťování struktury, někdy se záměrně přidávají látky podporující tento proces. Zesíťování struktury je základem zpracování reaktoplastů [8].

Druhá etapa degradace probíhá v pevném stavu. Hotový výrobek je vystaven vnějším a vnitřním vlivům. Mezi vnitřní vlivy můžeme zařadit např. termodynamickou nerovnováhu systému, mezi vnější pak ozon, kyslík, UV záření, oxidy síry a dusíku, prašný spad, statické i dynamické zatížení, agresivní média atd [8].

2.3.3.1 Fyzikální stárnutí

Při zpracování je plast ohřátý na vysokou teplotu a poté rychle ochlazen. Výrobek je pak v nerovnovážném stavu, je „podchlazený“, „zamrzlý“. V takovém výrobku dochází neustále k samovolným změnám struktury a vlastností. V pevné fázi jsou tyto změny pomalé, protože jak již bylo zmíněno, je umožněna pouze vibrace atomů kolem rovnovážných poloh, přemístění jednotlivých atomů v rámci makromolekuly a pohyb segmentů makromolekul (pod T_g . Je velice pomalý). Změny, při kterých nedochází k chemické reakci, se souhrnně označují jako fyzikální stárnutí. Mezi nejvýznamnější projevy fyzikálního stárnutí patří zmenšování volného objemu amorfní fáze, dokrystalizace (nárůst krystalinity v důsledku pozvolného přeuspořádání jednotlivých úseků makromolekul) a fázové přeměny (některé plasty mají více krystalických modifikací a každá je stabilní jen v určitém rozmezí teplot). Některé projevy fyzikálního stárnutí jsou krátkodobé, jako např. dosmrštění, jiné mají dlouhodobý charakter, např. dokrystalizace může probíhat celé měsíce [8].

2.3.3.2 Vliv jednotlivých klimatických jevů na stárnutí plastu

Plast při svém používání přichází do styku s mnoha jevy, které urychlují jeho stárnutí. Většina projevů stárnutí je doprovázena chemickými reakcemi. Mezi ně se řadí chemické reakce s látkami z okolního prostředí, štěpení makromolekul, depolymerace, fotolýza atd [9].

2.3.3.2.1 Fotochemická degradace

Je známým faktem, že pokud jsou uloženy polymerní materiály v temnu za běžných podmínek, tak většina z nich nemění své vlastnosti po relativně dlouhou dobu. Zatímco na

světla dochází k relativně rychlým změnám důležitých technických vlastností. Světelné záření může vyvolat štěpení chemických vazeb a iniciovat reakce s okolními látkami. V mnoha případech dochází k reakcím, které v temnu vůbec neprobíhají [9].

Světlo, které dopadá na materiál, může být odraženo, absorbováno, rozptýleno nebo propuštěno. Fotochemické změny vyvolává pouze absorbovaná část záření. Na rozdíl od normálních chemických reakcí musíme u fotochemických reakcí rozlišovat mezi primárními a sekundárními procesy. Primární fotochemický proces je vyvolán přímým účinkem světla, zatímco sekundární procesy jsou reakce molekul, atomů a radikálů vzniklých primárním procesem. Nejdůležitější reakce vyvolané účinkem světla jsou ty, které vedou ke štěpení a síťování polymeru [9].

2.3.3.2 Vliv kyslíku

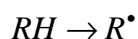
V praxi je většina plastů vystavena účinkům atmosférického kyslíku, který má významný vliv na stárnutí plastů. Nejvíce se projevuje, je-li plast vystaven kromě kyslíku také světlu. Účinky atmosférického kyslíku jsou patrné, i pokud je plast uložen v temnu. I mírná oxidace je velmi škodlivá, neboť i malé změny chemického složení polymerů způsobují znatelné změny fyzikálních vlastností. Vliv kyslíku se často projevuje až při zatížení, zahřátí nebo ozáření polymeru [9].

Za běžných podmínek bez přítomnosti světla probíhá oxidace velmi pomalu, ani po několika letech nevznikají výrazné změny fyzikálních vlastností. Na sklon polymeru k oxidaci má vliv hlavně chemická struktura. Polymery, které neobsahují dvojně vazby, jsou relativně odolné vůči oxidaci. Nebezpečné jsou také skupiny $-CH_3$ proto je např. polyethylen odolnější proti oxidaci než polypropylen [9].

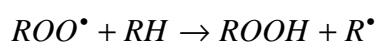
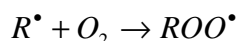
Kromě chemického složení má na oxidaci také velký vliv difuze a rozpustnost kyslíku v polymeru. Zde se velmi projevuje morfologie plastu. V amorfní fázi je rychlost difuze rychlejší než ve fázi krystalické. Proto jsou amorfní plasty méně odolné proti oxidaci než plasty krystalické. U krystalických plastů napadá kyslík nejprve amorfní fázi [9].

Oxidaci polymeru lze nejjednodušeji popsat následujícím schématem na obr.4. Oxidace polymeru je označována jako autokatalický proces, protože náhodně vznikající hydroperoxydy, které tuto řetězovou radikálovou reakci iniciují, jsou katalyzátory dalších reakcí. Obecně se předpokládá, že polymerní radikál R^* vzniká absorpcí tepla, UV zářením, mechanickým namáháním, nukleárním zářením, nebo reakcí polymeru s radikály z cizích zdrojů [9],[8].

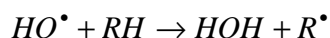
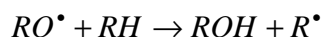
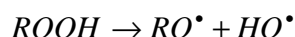
Iniciace:



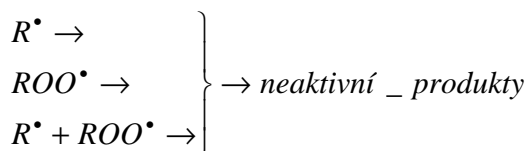
Propagace:



Rozvětvení řetězce



Terminace

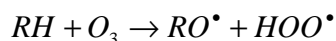


Obrázek 4 schéma průběhu oxidace [9],[2]

Složitější reakce nastávají, obsahují-li makromolekuly polymeru heteroatomy. Např. u polyvinylchloridu do reakce vstupuje odštěpování atomů chlóru (dechlorace) [9].

2.3.3.2.3 Vliv ozonu

Přestože je koncentrace ozonu u zemského povrchu velmi malá, má výrazný vliv na stárnutí polymerů. U nasycených polymerů vyvolává podobné degradační procesy jako kyslík, ale s tím rozdílem, že jsou rychlejší. Např. polyethylen se rozkládá v ozonu mnohem rychleji, než v kyslíku, také dechlorace PVC je urychlena. Zajímavou anomálií je že polypropylen degraduje v ozonové atmosféře pomaleji než v kyslíku. Možná příčina této anomálie spočívá v nižší prostupnosti krystalické fáze pro ozon (ozon má větší molekulu než kyslík). U nasycených polymerů funguje jako iniciátor řetězové reakce [9].



Obrázek 5 [9]

U nenasyčených polymerů způsobuje výraznější degradaci než u polymeru nasycených, to se týká hlavně pryží, kaučuků a některých plastů obsahujících kaučukovou fázi. Způsobuje štěpení nebo síťování řetězce. Nejvýraznější degradaci způsobuje při kombinaci s mechanickým namáháním [9].

2.3.3.2.4 Vliv tepla

Přesto že se při provozu nenachází polymer v teplotách, které by přímo způsobovali změny materiálu. Má teplo vliv na ostatní projevy stárnutí. Urychluje chemické degradační reakce. Podporuje vytěkání některých složek, které stárnutí zpomalují, jako jsou stabilizátory, antioxidanty atd. Střídání teplot může dále ovlivnit míru krystalinity polymeru, což se navenek projeví změnou mechanických vlastností. Další nepříznivý účinek, který změna teploty vyvolává, jsou rozměrové změny. Ty mohou způsobit mechanické pnutí. Toto pnutí může způsobit popraskání materiálu. Proto je nutné při návrhu výrobku z polymerního materiálu věnovat větší pozornost tvaru a upevnění. Musí být umožněno smršťování a roztahování materiálu [9].

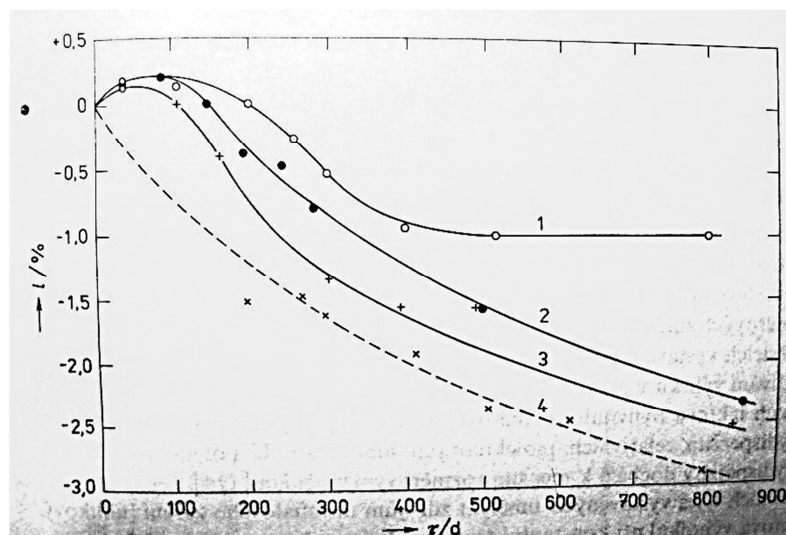
2.3.3.2.5 Vliv vody

Voda má v procesu stárnutí polymerních látek důležitou úlohu. Může působit jak na polymer samotný, tak na různá aditiva. Účinky vody mohou být chemické, mechanické, nebo fyzikální povahy. Voda může způsobit bobtnání polymeru, a tím výrazně měnit mechanické vlastnosti.

Dále může docházet k vyluhování aditiv, jako jsou různá plniva (látky vyztužující plast), antidegradanty (souhrnné označení pro přísady, které zpomalují stárnutí), změkčovadla (látky zvyšující pohyblivost makromolekul a tím snižují tvrdost) apod. U skelných laminátů může způsobit snížení adheze mezi skelnými vlákny a pryskyřicí a tím snížit pevnost po vysušení se mechanické vlastnosti obnovují [9].

2.3.3.2.6 Vliv plynných nečistot v ovzduší

Ovzduší může být znečištěno různými plyny. Ty mohou být přírodního původu, nebo mohou vznikat lidskou činností. Přírodní znečištění pochází převážně od rostlin. Téměř každá rostlina vylučuje etherické oleje, jejichž podstatou jsou uhlovodíky. Např. šalvějový porost dokáže vyprodukovat na 1 km^2 až 90kg etherických látek za den. V obydlených oblastech je v ovzduší pestrá paleta různých plynných nečistot. Mezi nejvýznamnější patří oxidy síry a dusíku, sirovodík, amoniak [9]. Na obr.6 je znázorněna závislost změny délky zkušebního tělesa při stárnutí v různých podmínkách.



Obrázek 6 změna délky l (v procentech původní hodnoty) rozvětveného polyethylenu s dobou stárnutí T v přírodních podmínkách (středoevropské klima); 1 - silně znečištěná průmyslová atmosféra; 2 - mírně znečištěná městská atmosféra; 3 - čistá venkovská atmosféra; 4 - jako u křivky 3. Převzato z [9]

Praktické zkušenosti ukazují, že vliv těchto nečistot není zanedbatelný. Mohou vyvolávat rozličné degradační chemické reakce, ale mohou také zvyšovat odolnost polymeru. Např. bylo experimentálně zjištěno, že oxid dusný snižuje degradaci polyisobutylenu radičním zářením [9]. Každá nečistota vyvolává odlišné reakce. Bližší popis těchto reakcí přesahuje rozsah této publikace, neboť je nutný individuální přístup. Protože každý plast má odlišné chování v přítomnosti různých nečistot [9].

2.3.3.2.7 Vliv tuhých nečistot přítomných v ovzduší

Jedná se hlavně o prach, jemný písek, saze a popílek. Pokud nepůsobí v kombinaci s jinými faktory, je jejich vliv zanedbatelný. Mohou způsobit mechanickou abrazi povrchu a tím ztrátu lesku, zvýšení drsnosti povrchu a změnu optických vlastností. Rozrušení povrchu podporuje absorpci vlhkosti a tím vytváří živnou půdu pro různé bakterie, plísně, řasy apod. Nečistoty, které pevně lpí na povrchu plastu, mohou zvyšovat odolnost proti slunečnímu záření [9].

2.3.3.2.8 *Biologická koroze*

O syntetických polymerních materiálech se obecně předpokládalo, že nemohou vytvářet živné látky a že proto nebudou mikroorganismy napadány. Časem však přibývalo údajů, které hovořily o napadení syntetických polymerů bakteriemi a plísněmi. Dále se zjistilo, že kromě mikroorganismů mohou polymer napadat i vyšší organizmy, např. hmyz, hlodavci a rostliny [9].

Nejčastěji jsou plasty napadány plísněmi. Hlavní podmínkou pro růst plísní je dostatek vlhkosti. Teplota není zas tolik důležitá, protože některé druhy plísní mohou růst i při teplotě kolem 0°C. Na růst plísní mají vliv i jiné doprovodné faktory. Např. obsah vlhkosti v materiálu, kombinace materiálů, mikroklima apod. K napadení plastu plísněmi dochází nejvíce v tropických oblastech, ale i v našich klimatických podmínkách je celkem běžné [9].

Plísně znehodnocují plastový výrobek hlavně po stránce vzhledové a hygienické. Produkují pigmenty, které i po odstranění plísňového porostu zanechávají na výrobku nevzhledné skvrny, které jsou prakticky neodstranitelné. Dále plísňový porost hromadí vlhkost, a tím podporuje absorpci vody, což následně vede ke změnám mechanických a elektrických vlastností [9].

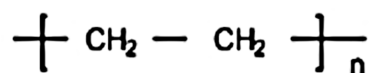
Plísně také produkují látky, které mohou reagovat s plastem, nebo s jeho přísadami. Mezi hlavní produkty metabolismu plísní patří CO₂, voda, dále organické kyseliny (k. jablečná, k. šťavelová, k. mléčná, k. vinná atd.) a enzymy. Tyto látky mohou fungovat jako katalyzátor, či iniciátor oxidace. Nebo mohou přímo reagovat s polymerem a způsobit štěpení řetězců, nebo síťování polymerů [9].

2.3.3.2.9 *Vliv kombinace různých faktorů na stárnutí*

Při používání plastového výrobku není materiál namáhán izolovanými faktory, ale jedná se vždy o kombinaci různých škodlivých faktorů. Nelze tvrdit, že se jejich účinky sčítají. Někdy se násobí, jindy působí protichůdně. Např. současné působení kyslíku a světla vyvolává mnohem větší degradaci než působení samotného kyslíku a samotného světla [9].

2.4 *Vybrané plasty vhodné pro průmyslová potrubí*

2.4.1 Polyethylen



Obrázek 7 vzorec polyethylenu převzato z [2]

2.4.1.1 *Shrnutí základních poznatků*

Čistý polyethylen je bílá hmota bez chuti a zápachu, mastného omaku [10]. Jedná se o celosvětově nejpoužívanější plast. Prvotně se rozděloval na vysokotlaký a nízkotlaký polyetylen. Toto rozdělení se postupem času ukázalo jako nevhodné, neboť se zlepšujícími se technologiemi výroby polyethylenu je možné za vysokého tlaku vyrobit polyetylen, který má vlastnosti srovnatelné s nízkotlakým a naopak za nízkého tlaku vyrobit polyetylen s vlastnostmi vysokotlakého polyethylenu. Proto toto rozdělení nahradilo dělení podle hustoty. Hustota polyethylenu vypovídá o jeho linearitě a tím i o jeho krystalinitě. Jelikož se vlastnosti polyethylenu odvíjí od jeho struktury, zavedlo se jiné dělení a to na lineární a rozvětvený

polyetylen. Jelikož hustota polyetyleny je tím větší, čím je více lineární, používá se v dnešní době opět označení podle hustoty. Často se používá zkratků převzatých z angličtiny [2].

Zkratka	Anglický název	Český název
PE-HD	High density polyethylene	Vysokohustotní polyetylen
PE-LD	Low density polyethylene	Nízkohustotní polyetylen
PE-MD	Medium density polyethylene	Polyetylen o střední hustotě
PE-LLD	Linear low density polyethylene	Lineární nízkohustotní polyetylen
PE-UHMW	Ultra high molecular weight polyethylene	Polyetylen o vysoké molekulové hmotnosti

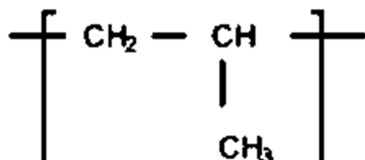
Tabulka 5 základní dělení PE

Struktura polyetyleny je tvořena krystalickými oblastmi, které vytváří jednotlivé segmenty makromolekul. Čím více je polyetylen lineárnější, tím větší je rozloha a četnost krystalických oblastí. Se vzrůstající krystalinitou roste jeho chemická odolnost, při normálních teplotách odolává vodě, neoxidujícím chemikáliím (kyseliny, soli, polární rozpouštědla). Polyetylen má velmi omezenou odolnost proti polárním rozpouštědlům, hlavně při vysokých teplotách. Za vysokých teplot není odolný i proti některým nepolárním rozpouštědlům (např. benzen, toluen) [2].

2.4.1.2 Polyetylen pro potrubí

Pro průmyslová potrubí se nejčastěji používá PE o střední až vysoké hustotě. Používá se značení materiálu podle minimální požadované pevnosti, dále jen MRS (Minimum Required Strength)[12]. MRS udává zaokrouhlenou hodnotu dolní meze pevnosti při 20°C po dobu 50 let [13]. Např. PE 40 má dolní mez pevnosti 4Mpa. Dolní mez pevnosti je 97,5% dlouhodobého srovnávacího napětí pro danou teplotu a tlak [13]. Někdy se také hovoří o PE první, druhé a třetí generace. Do první generace patří PE40 a PE 63, tyto materiály dnes mají využití jen v potrubních rozvodech domácností. V průmyslových aplikacích byly již dávno překonány. Do druhé generace patří hlavně PE 80. Tento materiál má stále četné praktické využití. PE 100 patří do třetí generace [12]. Pro zvýšení odolnosti proti stárnutí se do PE nejčastěji přidávají saze [9].

2.4.2 Polypropylen



Obrázek 8 vzorec polypropylenu převzato z [2]

2.4.2.1 Shrnutí základních poznatků

Polypropylen je semikrystalický termoplast ze skupiny polyolefinů. Oproti PE poskytuje vyšší tepelnou odolnost. V nezátíženém stavu snáší dlouhodobě teploty kolem 150°C. Proto si tento materiál našel místo ve zdravotnictví. PP potrubí je možné použít pro teploty do 95°C. Oproti PE má však menší odolnost vůči mrazu a stárnutí [12].

2.4.2.2 PP pro potrubí

Pro potrubí se vyrábí PP ve třech modifikacích:

1. Izotaktický PP homopolymer (PP-H)
2. PP blokový kopolymer (PP-B)
3. Random (náhodný) PP kopolymer (PP-R)

Pro průmyslová potrubí se nejčastěji používá PP-H, díky své pevnosti. PP-B je vhodný pro kanalizační potrubí, protože má dobrou odolnost proti rázu za nízkých teplot. PP-R se používá v oblasti hygieny díky nízkým modulům pružnosti (flexibilní potrubí), odolnosti proti desinfekcím a vyšší tepelné odolnosti [12].

2.4.3 Terpolymer Akrylonitrilbutadienstyren (ABS)

2.4.3.1 Shrnutí základní poznatků

Terpolymer ABS je polymer používaný v různých oborech. Vyrábí se např. roubováním kopolymeru styren-akrylonitril na butadien-styrenový kaučuk [9]. Má velmi hezký lesklý hladký povrch, a proto si našel své místo v mnoha aplikacích např. automobilovém průmyslu [2]. Rozmanitost jeho využití je umožněna snadnou změnou jeho vlastností. Protože na rozdíl od PE a PP je složen ze tří složek, můžeme jeho vlastnosti měnit variací těchto složek. První z nich je akrylonitril, který dává ABS pevnost. Další složkou je butadien. Ten dává ABS vysokou rázovou houževnatost. Styrenová složka je příčinou jeho hezkého povrchu [12].

2.4.3.2 ABS pro potrubí

Hladký povrch ABS je příčinou nižších tlakových ztrát. Dále má dobrou rázovou houževnatost za nízkých teplot. Je netoxický a nepodporuje růst mikroorganismů. Má dobrou odolnost proti oděru, tlakovému rázu, chvění a šíření trhlin. Díky akrylonitrilové složce je možné používat lepené spoje. Další nemalou výhodou ABS je velmi malý vodní výluh. Oproti jiným plastům má však nižší pevnost při zvýšené teplotě. [12]

2.4.4 Polyvinylchlorid

Po PE a PP je třetí nejvíce vyráběný plast na světě. PVC je amorfni plast. PVC má dvě základní třídy a to tvrdý PVC-U a měkčený PVC-P. Nejčastěji je měkčený ftaláty. Pro potrubí se používá zejména PVC-U a dále PVC-C, což je PVC modifikované chlórem [12].

Při stárnutí PVC má dominantní vliv UV záření. Při stárnutí PVC se odštěpuje HCl, mění se relativní molekulová hmotnost a mechanické vlastnosti. PVC-P se potýká při stárnutí se ztrátou změkčovadel. Neměkčený a nestabilizovaný polyvinylchlorid však odolává atmosférickému stárnutí lépe než PE i PP [9].

2.4.4.1 PVC pro potrubí

Pro potrubí se používá zejména PVC-U a PVC-C. PVC má dobrou pevnost, tepelnou a chemickou odolnost a dobrou houževnatost. Další výhodou je že nepodporuje růst mikroorganismů. PVC je možné jak svařovat tak lepit. PVC-C má proti PVC-U lepší mechanické vlastnosti při vyšších teplotách. Nevýhodou PVC-C oproti PVC-U je jeho vyšší cena [12].

2.5 Srovnání maximální možné provozní teploty pro plastové materiály

Plastová potrubí mají mnoho výhod. Plastové potrubí je mnohem lehčí, proto není zapotřebí masivních podpor. Plasty se dají velmi dobře svařovat. U svaru z plastů není žádná tepelně ovlivněná zóna, dají se kontrolovat světlem přímo na staveništi a každý svar je identický, protože teplotu i dobu ohřevu kontrolují speciální svářečky pro plasty. Další výhodou je, že plastová potrubí nevyžadují masivní kotvení díky své nízké měrné hmotnosti. Plastové potrubí také vyniká svou chemickou odolností a hladkým povrchem [12].

Plasty mají ovšem své nevýhody. Oproti kovovým materiálům mají mnohem nižší odolnost proti teplotě a tlaku. Následující tabulka (tab. 6) zobrazuje přehled nejpoužívanějších plastů pro průmyslová potrubí a jejich mezní teploty použitelnosti. Pro názornost jsou uvedeny hodnoty pro měď a ocel.

Materiál	Zkratka	Max. teplota média
Polyethylen 100	PE100	80°C
Polyethylen 80	PE80	80°C
Polypropylen-izotaktický homopolymer	PP-H	110°C
Polypropylen-Blokový kopolymer	PP-B	110°C
Polypropylen-náhodný kopolymer	PP-R	110°C
Chlorovaný polyvinylchlorid	PVC-C	95°C
Neměkčený polyvinylchlorid	PVC-U	60°C
Akrylonitrilbutadienstyren	ABS	60°C
Ocel se zaručeným obsahem S a P	11 353	300°C
Měď 99,5% čistoty	Cu 99,5	500°C

Tabulka 6 přehled plastů používaných pro průmyslová potrubí a jejich maximální provozní teplota převzato z [11], [1]

Odolnost proti tlaku je také mnohem nižší než u kovových materiálů. Jak bylo vysvětleno v předchozí kapitole, stárnutí plastů je nezastavitelný proces, který se projevuje i na pevnosti materiálu. Proto při posuzování odolnosti proti přetlaku musíme brát v úvahu nejen dobu zatížení ale i teplotu, při které je potrubí zatíženo.

Podle odolnosti proti přetlaku se potrubní díly klasifikují podle tzv. Jmenovitého tlaku. Značí se PN. Hodnota PN je rovna tlaku v barech, který je rovný maximálnímu přípustnému tlaku, PS, pokud jsou oba tlaky odečítány při 20°C [13].

Pro plastové potrubí dopravující vodu je PN definován jako maximální nepřetržitý provozní tlak v barech, který může být vyvozen vodu po dobu 50 let při teplotě 20°C, vycházející z minimálního celkového provozního (konstrukčního) koeficientu vypočítaný podle následující rovnice: [13]

$$PN = \frac{10\sigma_s}{S} = \frac{20\sigma_s}{SDR-1} \quad (2.1)$$

kde: σ_s značí přípustné napětí v megapascalch pro dané použití a sadu provozních podmínek
 S značí řadu trubek
 SDR značí standartní rozměrový poměr (D/e)

Značení SDR, S a PN jsou zaměnitelné.

2.5.1 Hodnocení pevnosti plastových potrubí při dlouhodobém zatížení a při zvýšené teplotě

Pro stanovení pevnosti plastových trubek v závislosti na čase a teplotě se provádí tzv. zkoušky dlouhodobé hydrostatické pevnosti. Zkušební těleso má tvar trubky, kde volná délka je rovna trojnásobku vnějšího průměru [13].

Materiál se nezkouší pro všechny teploty, ale pouze pro několik vybraných teplot. Např. polyethylen se zkouší při teplotách 20°C, 40°C a 80°C. Napětí se volí tak, aby při každé teplotě leželi alespoň tři doby porušení v následujících intervalech [13] :

- 10h až 100h
- 100h až 1000h
- 1000h až 8760h
- ≥ 8760 h.

Pro matematické vyjádření závislosti dlouhodobé hydrostatické pevnosti na čase používáme dle [14] čtyř parametrický model, který je popsán následující rovnicí:

$$\log_{10} \sigma = c_1 + \frac{c_2}{T} + c_3 \log_{10} \sigma + \frac{c_4 \log_{10} \sigma}{T} + e \quad (2.2)$$

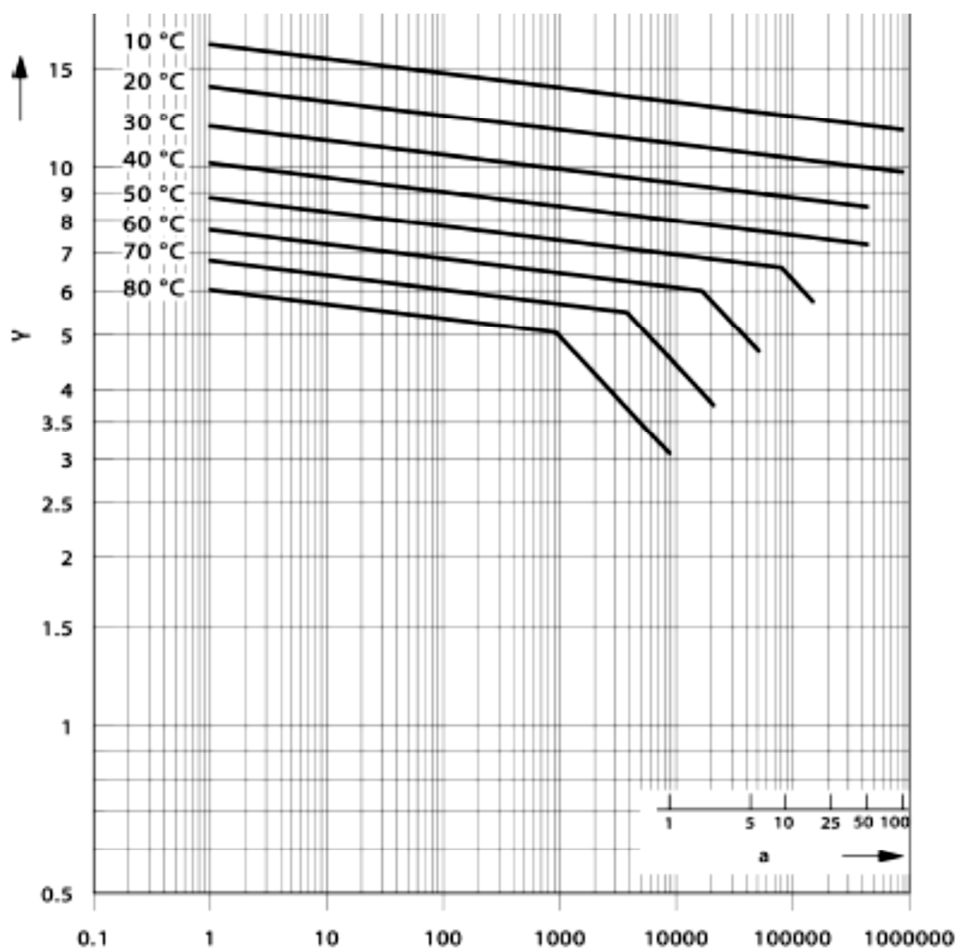
kde: c_1, c_2, c_3, c_4 jsou parametry
 σ značí obvodové napětí v megapascalch
 T značí teplotu v kelvinech
 e je chybový člen (podléhá Laplaceovo - Gaussovu rozdělení, s nulovou střední hodnotou a konstantním rozptylem).

Dosazením naměřených hodnot se získá přeuročená soustava rovnic, ze které se vypočítají parametry c_1, c_2, c_3 a c_4 pomocí metody nejmenších čtverců [14].

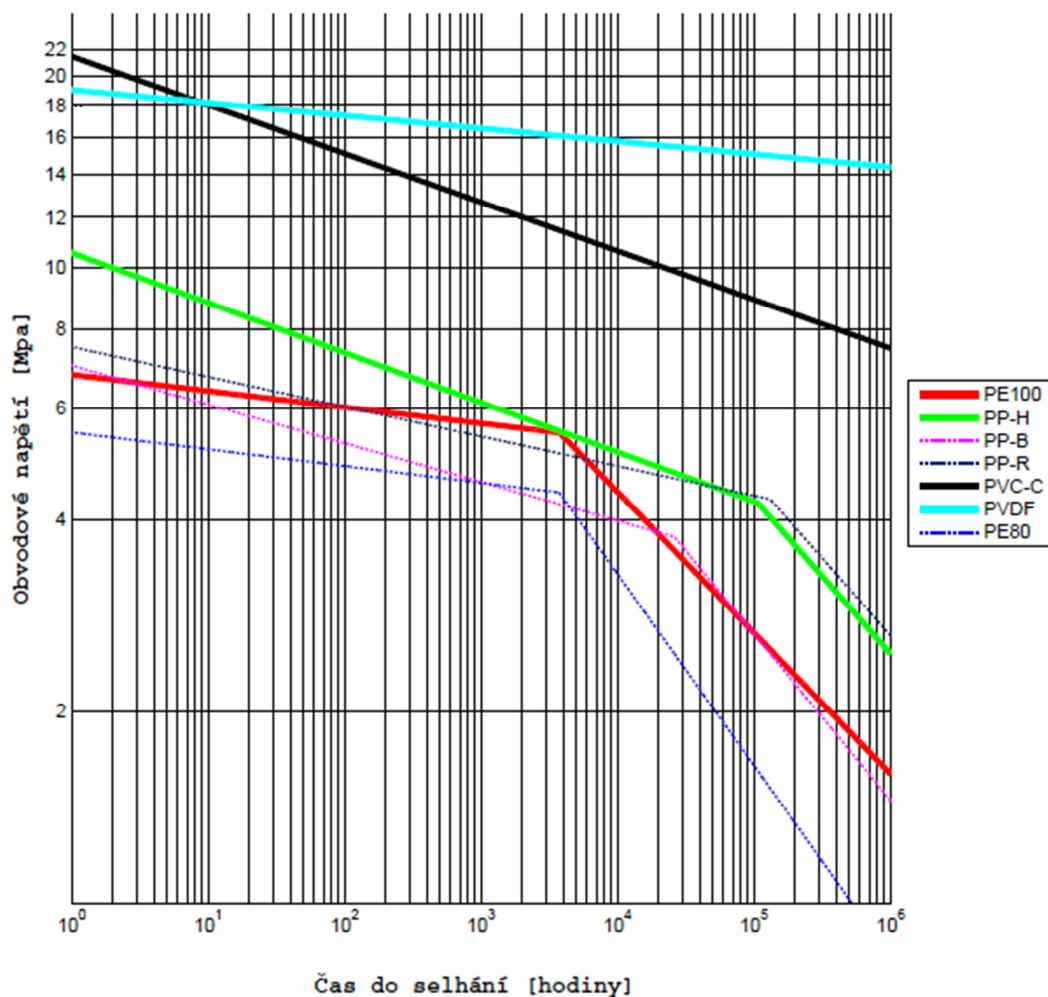
Následující diagram na *obrázku 9* zobrazuje hodnotu dlouhodobé hydrostatické pevnosti pro PE 100, který je přílohou lit. [13]. Za povšimnutí stojí zlom, který se na těchto křivkách vyskytuje při vyšších teplotách. Tento jev je charakteristický právě pro krystalické termoplasty, jako je právě polyethylen.

Na *obrázku 10* jsou zobrazeny křivky dlouhodobé hydrostatické pevnosti pro vybrané termoplastické materiály schopné pracovat při 70°C. Tyto křivky byly získány pomocí rovnic, které jsou součástí příloh literatury [13] pro polyolefiny **PE**, **PP** literatury [15] pro **PVDF** a literatury [16] pro **PVC-C**.

Nejvyšší hodnoty hydrostatické pevnosti mají **PVDF** a **PVC-C**. Pevnost **PVC-C** však klesá výrazně rychleji než u **PVDF**. Nejhorší hydrostatickou pevností disponuje polyethylen starší generace **PE80**. Z polyolefinů má nejvyšší pevnost **PP-H**.



Obrázek 9 křivky minimální hydrostatické pevnosti pro PE100 vodorovná osa značí dobu do selhání, svislá napětí, parametrem křivek je teplota. Převzato z [11]



Obrázek 10 Křivky dlouhodobé hydrostatické pevnosti pro vybrané materiály při 70°C

3 Namáhání potrubí

Při prvotním návrhu vycházíme z namáhání vnitřním přetlakem. Potrubí je však vystaveno dalším druhům namáhání, které jsou způsobeny vlastní tíhou potrubí, tíhou dopravované tekutiny, dynamickými účinky tekutiny a délkovou roztažností. Tato kapitola je pouze informativní. Při návrhu plastového potrubí se dle technických příruček výrobců potrubí [11], [22] a [23] vychází pouze z namáhání vnitřním přetlakem. Vliv ostatních namáhání zohledňuje konstrukční koeficient, jeho minimální hodnoty jsou dány normou ČSN EN ISO 12 162 [21].

3.1.1.1 Namáhání vnitřním přetlakem

Dle [18] můžeme potrubí zatížené vnitřním přetlakem považovat za tenkostěnnou válcovou nádobu. Vztah pro obvodové napětí, vyvolané vnitřním přetlakem vypadá dle [12] takto:

$$\sigma_o = p \frac{D-e}{2e} \quad (3.1)$$

kde: σ_o je (odvodové) napětí v Mpa
 D je vnější průměr trubky v mm
 e je tlouška stěny v mm
 p je vnitřní přetlak v Mpa

U tenkostěnných válcových nádob zanedbáme radiální složku napětí. U uzavřených nádob vzniká také osová složka napětí, ta je způsobena působením tlaku na dna nádoby. Potrubí však považujeme za tenkostěnnou válcovou nádobu bez den.

3.1.1.2 Namáhání ohybem

Namáhání potrubí ohybem vzniká od vlastní tíhy potrubí, armatur a dopravované tekutiny u vodorovných a šikmých úseků a od tepelné roztažnosti. Při prostém ohybu vzniká v části průřezu tahové a v další části průřezu tlakové napětí. Největší tahová a tlaková napětí jsou na povrchu součásti. V tzv. neutrální ose ohyb nevyvolává žádné napětí. Je-li průřez symetrický, prochází neutrální osa těžištěm průřezu [20]. Při zatížení příčnými silami vzniká také namáhání na smyk, které zplošťuje průřez. Pro štíhlé součásti, jako jsou trubky, je však vliv smykového namáhání zanedbatelný [10]. Pro určení maximálního ohybového napětí, je nutné vyšetřit průběh ohybového momentu. Maximální ohybové napětí se pak určí jako podíl maximálního ohybového momentu a modulu průřezu v ohybu (rovnice 3.2). [20]

$$\sigma_{oh} = \frac{M_{omax}}{W_o} \quad (3.2)$$

kde: σ_{oh} značí ohybové napětí v Mpa
 M_{omax} značí maximální ohybový moment v Nmm
 W_o značí modul průřezu v ohybu v mm³

Modul průřezu pro mezi kruhový průřez je dán vztahem 3.3 [10].

$$W_o = \frac{\pi D^3}{32} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right] \quad (3.3)$$

kde: W_o je průřezový modul v ohybu v mm³
 D je vnější průměr trubky v mm
 d je vnitřní průměr trubky v mm

3.1.1.3 Namáhání na krut

Namáhání na krut vzniká v potrubí od teplotní roztažnosti v ramenech kompenzačních útvarů. Při krutu vzniká v součásti tečné napětí, které má své maximum na povrchu součásti. Velikost tečného napětí se určí podle následujícího vztahu, [20]

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \quad (3.4)$$

kde: τ_k je tečné napětí v Mpa
 M_k je kroutící moment v Nmm
 W_k je modul průřezu v krutu v mm^3

Modu průřezu v krutu se určí podle následujícího vztahu:

$$W_k = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} \quad (3.5)$$

kde: W_k značí modul průřezu v krutu v mm^3
 D značí vnější průměr trubky v mm
 d značí vnitřní průměr trubky v mm

3.1.1.4 Namáhání osovými silami

Namáhání osovými silami vzniká ve svislých úsecích od tíhy potrubí a od teplotní roztažnosti u vodorovných úseků. Podle směru síly vzniká tahové nebo tlakové napětí. Určí se dle následujícího vztahu,

$$\sigma_a = \frac{F}{S} \quad (3.6)$$

kde: σ_a je osově napětí v Mpa
 F je osová síla v N
 S je plocha průřezu v mm^2

4 Návrh nové potrubní trasy

Nová trasa bude svým tvarem kopírovat původní trasu. Jmenovitá světlost **DN 200** bude zachována i přesto že pro stejnou jmenovitou světlost vychází pro plastová potrubí menší průtočný průřez.

Protože je dlouhodobá pevnost plastů výrazně závislá na nejen provozní teplotě, ale i na době, kterou potrubí při této teplotě pracuje, budou při návrhu uvažována dvě materiálová

provedení. První z nich je **PE 100 SDR11**, které je levné, ale má výrazně nižší životnost při vyšší teplotě a druhé je **PP-H SDR11**, které je dražší ale má výrazně vyšší pevnost při vyšších teplotách. *Tabulky 7 a 8* popisují vlastnosti těchto dvou materiálů

	PE 100		
Charakteristika	Hodnota	Jednotky	Norma testu
Hustota	0.95	g/cm ³	EN ISO 1183-1
Mez průtažnosti při 23 °C	25	N/mm ²	EN ISO 527-1
Ohybový e-modul při 23 °C	900	N/mm ²	EN ISO 527-1
Vrubová houževnatost při 23 °C	83	kJ/ m ²	EN ISO 179-1/1eA
Vrubová houževnatost při -40 °C	13	kJ/ m ²	EN ISO 179-1/1eA
Tvrdost metodou kulového vtisku (132N)	37	MPa	EN ISO 2039-1
Bod tání krystalitu	130	°C	DIN 51007
Tepelná vodivost při 23 °C	0.38	W/m K	EN 12664
Absorbce vody při 23 °C	0.01 – 0.04	%	EN ISO 62
Barva	9005	-	RAL
Mezní index kyslíku (LOI)	17.4	%	ISO 4589-1

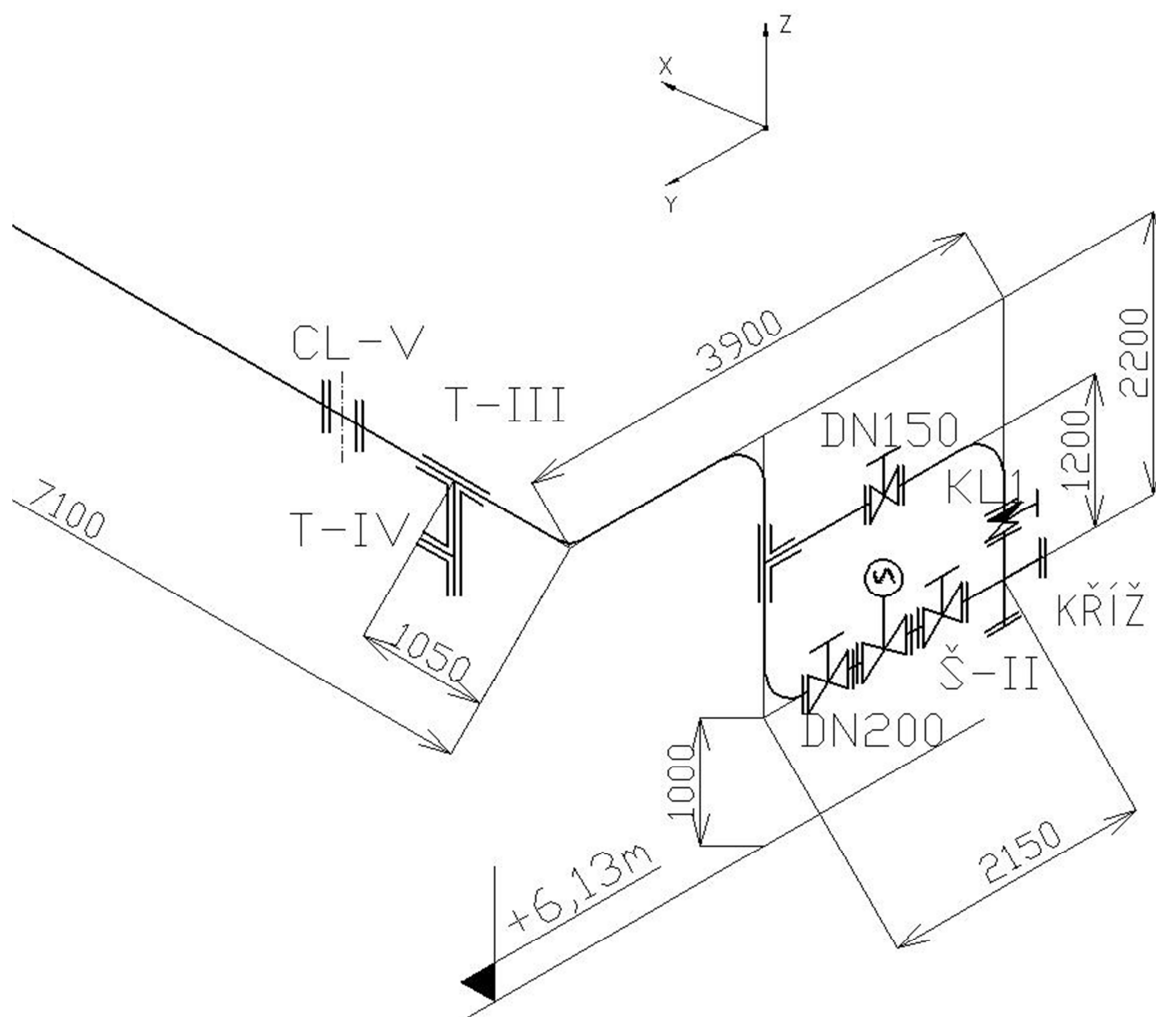
Tabulka 7 Vlastnosti PE 100 převzato z [12]

Charakteristika	B PP-H	Units	Test Standart
Hustota	0.90-0.91	g/cm ³	EN ISO 1183-1
Mez průtažnosti při 23°C	31	N/mm ²	EN ISO 527-1
Ohybový e-modul při 23°C	1250	N/mm ²	EN ISO 527-1
Vrubová houževnatost při 23°C	85	kJ/m ²	EN ISO 179-1/1eA
Vrubová houževnatost při 0°C	4.8	kJ/m ²	EN ISO 179-1/1eA
Tvrdost metodou kulového vtisku (132N)	58	MPa	EN ISO 2039-1
Teplota tepelné deformace HDT B 0.45 MPa	95	°C	EN ISO 75-2
Bod tání krystalitu	150-167	°C	DIN 51007
Koeficient tepelné roztažnosti	0.16 ... 0.18	mm/m K	DIN 53752
Tepelná vodivost při 23°C	0.23	W/m K	DIN 52612-1
Absorpce vody při 23°C	0.1	%	EN ISO 62
Barva	7032	-	RAL
Mezní index kyslíku (LOI)	19	%	ISO 4589-1

Tabulka 8 Vlastnosti PP-H převzato z [12]

4.1 Původní potrubní trasa

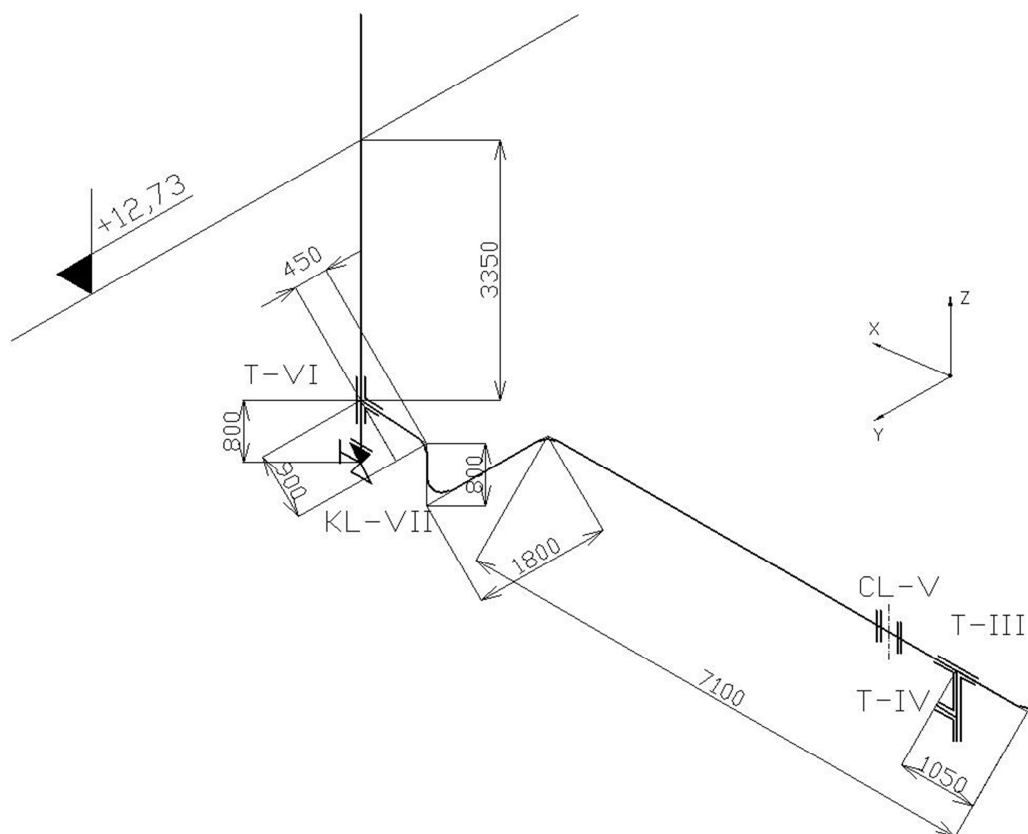
Na obr 11,12 a 13 je zobrazeno axonometrické schéma původní potrubní trasy DN 200 (\emptyset 219 x 6,3) z pogumované oceli. Původní potrubí bude demontováno a odvezeno do šrotu. Nová potrubní trasa bude vycházet z původního tvaru.



Obrázek 11 Axonometrické schéma původní potrubní trasy-část 1. Podlaží +6,13m

4.1.1 Požadavky na nové potrubí část 1. (obr 12)

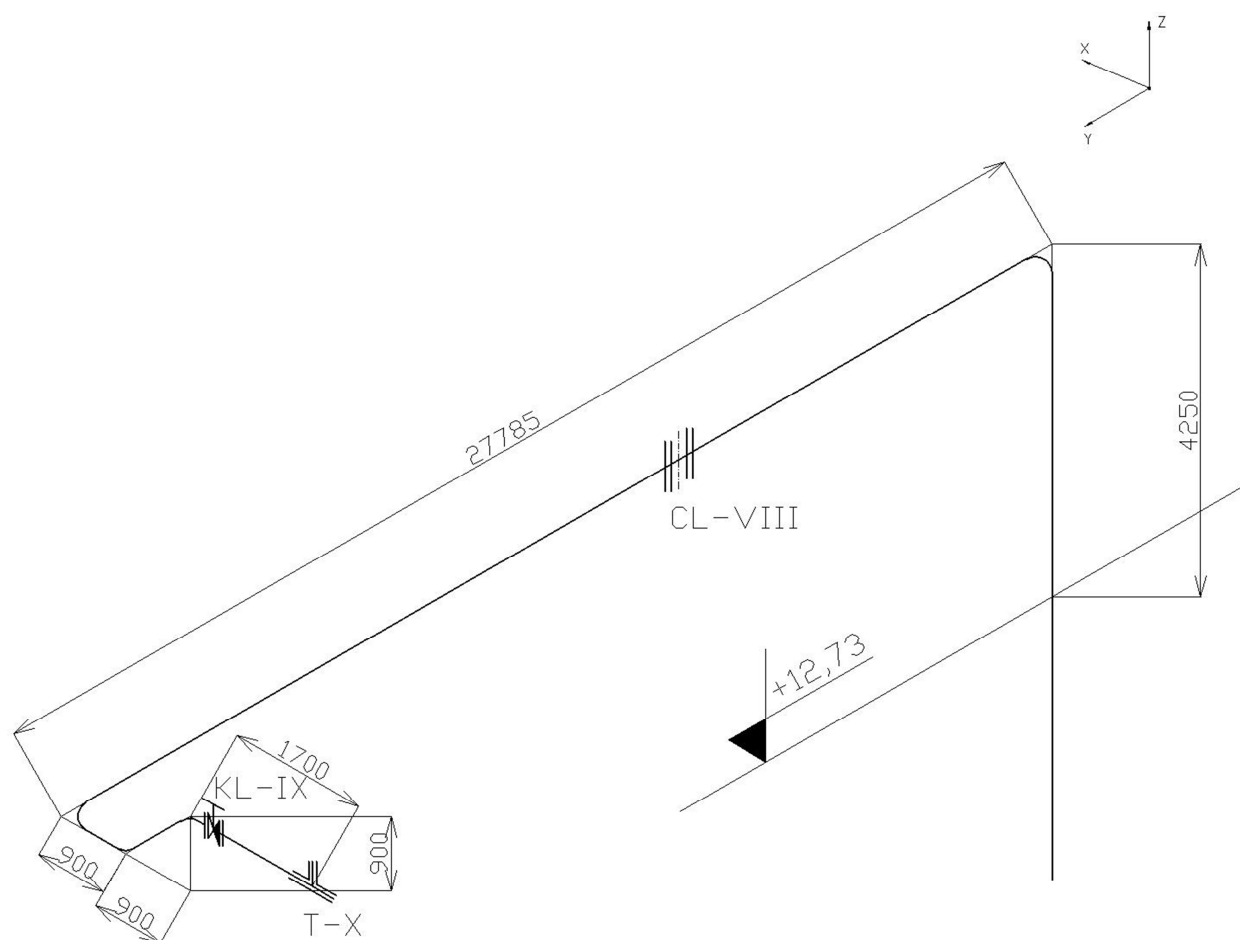
Původní „KŘÍŽ“ bude zachován. Klapka „KL1“ bude demontována a příruba po ní bude zaslepena. Na výstupu z kříže bude namontována klapka „KL-I“. T kus pro vypouštění „T-III“ bude dodán nový plastový. T-kus „T-IV“ bude zachován stávající. Ostatní armatury (včetně „Š-II“ a clony „CL-V“) budou demontovány bez náhrady.



Obrázek 12 Axonometrické schéma původní potrubní trasy-část 2. Podlaží +6,13m a stoupačka na podlaží +12,73m

4.1.2 Požadavky na nové potrubí část 2.(obr 12)

Propojení do stoupačky „T-VI“ bude demontováno a nahrazeno novým, plastovým. Armatura „KL-VII“ pro propojení do demistanice bude zachována původní.



Obrázek 13 Axonometrické schéma původní potrubní trasy-část 3. Podlaží +12,17m

4.1.3 Požadavky na nové potrubí část 3. (obr 13)

U vodorovné trasy na podlaží +12,73 bude zachováno měření „CL-III“, které bude vloženo do nové trasy. T-kus „T-X“ bude zachován původní. Klapka „KL-IX“ bude demontována a přemístěna k přírubě T-kusu „T-IX“.

4.2 Určení základních rozměrů potrubí

4.2.1 Průměr potrubí

Původní trasa byla sestavena s ocelových trubek o vnějším průměru 219mm (DN 200) a tloušťce stěny 6,3 mm. Jmenovitá světlost bude zachována. Nové potrubí se zhotoví z trubek DN200 o vnějším průměru 225mm a tloušťce stěny 20,5mm (PE 100 SDR11, PP-H SDR11).

Při navrhování nového potrubí se obecně vychází z doporučených středních průtočných rychlostí, rovnice kontinuity a rozšířené Bernoulliho rovnice. S rostoucím průměrem klesají tlakové ztráty, ale rostou investiční náklady a tedy i roční odpisy [17].

4.2.2 Tloušťka stěny trubek

Dle [12] se tloušťka stěny určí dle následující rovnice:

$$e = \frac{p \cdot D}{2\sigma_p + p}, \quad (4.1)$$

kde: p je maximální provozní tlak v Mpa,
 D je vnější průměr potrubí v mm,
 e je tloušťka stěny trubky,
 σ_p je přípustné obvodové napětí.

V případě uvažování jednoho provozního stavu se přípustné obvodové napětí se získá podílem hodnoty minimální požadované dlouhodobé hydrostatické pevnosti (pro danou teplotu, tlak a dobu zatížení) s celkovým provozním součinitelem. V této práci bude posuzován vliv teploty na životnost potrubí, proto budou uvažovány dva provozní stavy, pak rovnice 4.1 nelze použít.

4.3 Určení životnosti v závislosti způsobu používání

Nové potrubí má pracovat při tlaku 7 barů a v rozmezí teplot 30°C až 70°C.

Životnost plastového potrubí je velmi výrazně závislá na teplotě a době zatížení. Pokud uvažujeme pouze jeden, nejvíce nepříznivý provozní stav, můžeme získat předdimenzované potrubí. Případně to může vést na užití odolnějších a dražších materiálů tam, kde to není nutné. Uvažujeme-li více provozních stavů, je nutné použít tzv. Minerovo pravidlo (rovnice 4.2),

$$\sum_{i=1}^n \frac{a_i \cdot T_x}{100 \cdot T_i} = 1 \quad (4.2)$$

kde n je počet provozních stavů
 a_i je procentuální zastoupení jednotlivého provozního stavu v celkové provozní době
 T_i je životnost při jednotlivém provozním stavu
 T_x je celková životnost.

Dle [13] se hodnota minimální požadované hydrostatické pevnosti pro PE 100 a PP-H při určitém provozním stavu, určí podle následujících rovnic:

Levá část křivky PE100:

$$\log(t) = -38,9375 + 24482,467 \times \frac{1}{T} - 38,9789 \times \log(\sigma) \quad (4.3)$$

Pravá část křivky PE100:

$$\log(t) = -20,3159 + 9342,693 \times \frac{1}{T} - 4,5076 \times \log(\sigma) \quad (4.4)$$

Levá část křivky PP-H:

$$\log(t) = -46,364 - 9601,1 \times \frac{\log(\sigma)}{T} + 2038,15 \times \frac{1}{T} + 15,26 \times \log(\sigma) \quad (4.5)$$

Pravá část křivky PP-H:

$$\log(t) = -18,387 + 8918,5 \times \frac{1}{T} - 4,1 \times \log(\sigma) \quad (4.6)$$

kde: t je doba zatížení v hodinách

T je provozní teplota v kelvinech

σ je obvodové napětí, které při dané teplotě a čase způsobí lom.

Pro určení životnosti je nutné znát napětí. Posouzení životnosti vychází z napětí od vnitřního přetlaku, které určíme dle rovnice 3.1. Dosazením za tlak 0,7 Mpa, vnější průměr 225mm a tloušťku stěny 20,5mm získáme obvodové napětí rovno 3,49 Mpa. Vliv přídatných napětí bude zohledněn konstrukčním koeficientem.

Dle technických příruček výrobců potrubí [11], [22], [23] se při návrhu plastového potrubí uvažuje pouze zatížení od vnitřního přetlaku. Toto zatížení je nutné zvýšit o konstrukční koeficient. Jsou zvoleny minimální hodnoty konstrukčního koeficientu dle ČSN EN ISO 12 162. Hodnota minimálního konstrukčního koeficientu je pro PE100 rovna 1,25 a pro PP-H 1,6. Napětí od vnitřního přetlaku pro PE 100 tedy bude rovno 4,4Mpa a pro PP-H 6,2 Mpa.

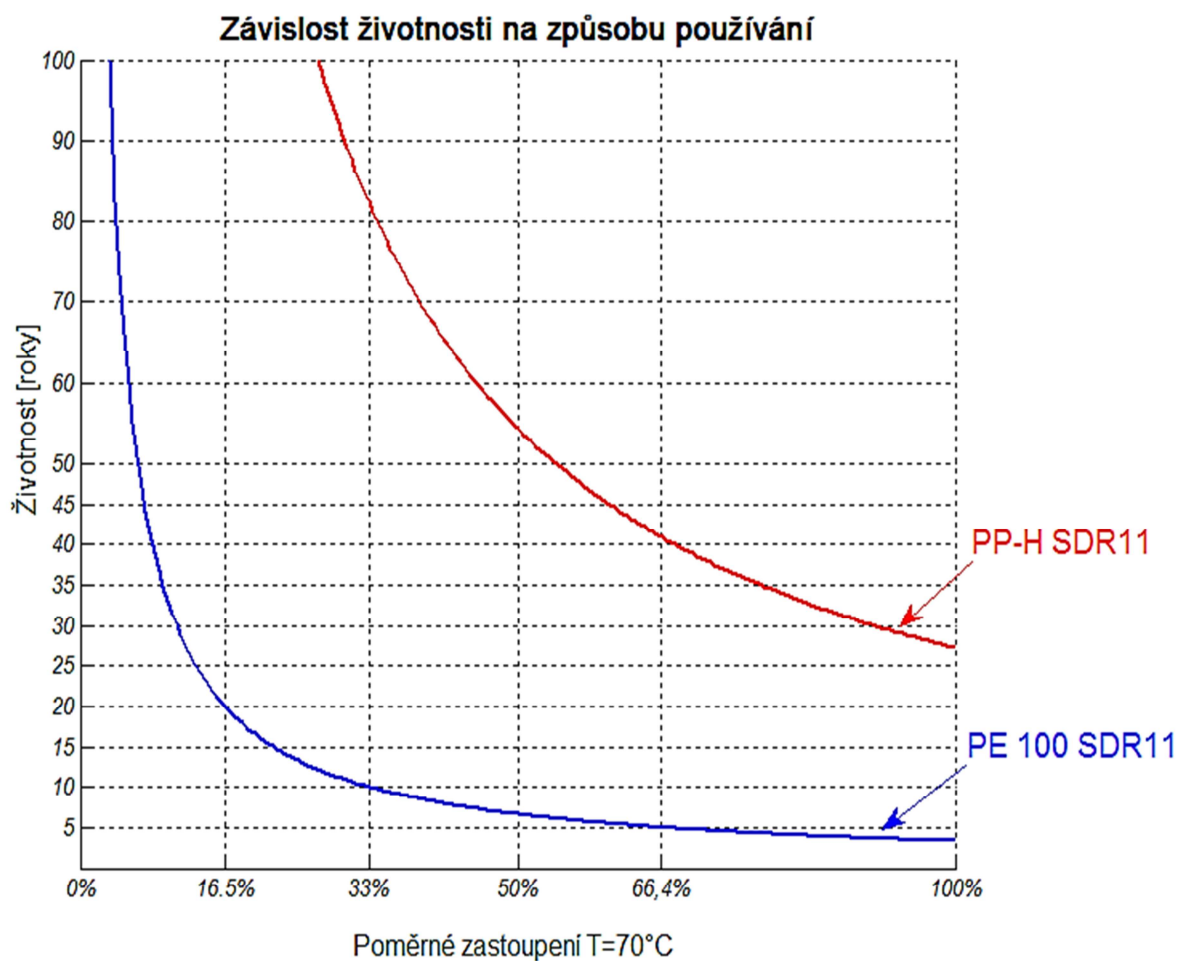
Při odhadu životnosti byly uvažovány dva provozní stavy, pro které bude nová trasa navrhována. První při tlaku 0,7 Mpa a teplotě 30°C a Druhý při stejném tlaku 0,7 Mpa a teplotě 70°C. Životnost byla určena za předpokladu nepřetržitého provozu potrubí při maximálním tlaku. Program pro sestavení grafu na obr. 14 je v příloze č.3.

Na následujícím grafu (obr. 14) je znázorněna závislost životnosti na poměrném zastoupení provozního stavu při 70°C z celkové doby provozu. Hodnotě 0% na vodorovné ose odpovídá situace, kdy potrubí pracuje pouze při 30°C a hodnota 100% stav opačný, kdy potrubí pracuje při 70°C po celou dobu životnosti.

Zatím co PE 100 potrubí vykazuje výbornou životnost při 30°C která teoreticky přesahuje 100 let, již při 16,5% zastoupení teploty 70°C v celkové době provozu klesne životnost na 20 let. Při zastoupení 33% zastoupení teploty 70°C klesne životnost PE 100 na 10 let. Při 66,4% zastoupení teploty 70°C životnost klesne na 5 let.

PP-H má dobrou životnost i v případě že bude pracovat pouze při teplotě 70°C. Při této teplotě jeho životnost stále přesahuje 25 let.

V této práci bude proveden návrh pro obě materiálové provedení.



Obrázek 14 Grafické znázornění životnosti při různém používání potrubí

4.4 Vzdálenost podpěr

Pipe bracket spacing for PE for liquids with a density of 1 g/cm³

d mm	Pipe bracket intervals L for pipes SDR 11 in mm at pipe wall temperature:				
	≤20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
16	500	450	450	400	350
20	575	550	500	450	400
25	650	600	550	550	500
32	750	750	650	650	550
40	900	850	750	750	650
50	1050	1000	900	850	750
63	1200	1150	1050	1000	900
75	1350	1300	1200	1100	1000
90	1500	1450	1350	1250	1150
110	1650	1600	1500	1450	1300
125	1750	1700	1600	1550	1400
140	1900	1850	1750	1650	1500
160	2050	1950	1850	1750	1600
180	2150	2050	1950	1850	1750
200	2300	2200	2100	2000	1900
225	2450	2350	2250	2150	2050
250	2600	2500	2400	2300	2100
280	2750	2650	2550	2400	2200
315	2900	2800	2700	2550	2350
355	3100	3000	2900	2750	2550
400	3300	3150	3050	2900	2700

Tabulka 9 Maximální vzdálenost podpěr pro PE100 SDR11 převzato z [12]

V tabulce 9 jsou uvedeny hodnoty pro maximální vzdálenost podpěr pro PE100 SDR11. V této tabulce však nejsou uvedeny hodnoty pro teplotu 70°C. Pro vnější průměr 225mm se tato vzdálenost sníží o 100mm při každém zvýšení teploty o 10°C. Proto volím maximální vzdálenost podpěr 1950mm. Pro svislé úseky se dle [12] tato hodnota násobí konstantou 1,3. Vzdálenost podpěr pro svislé úseky z PE 100 SDR11 tedy bude 2535mm.

Pipe bracket spacing for PP-H for liquids with a density of 1 g/cm³

d mm	Pipe bracket intervals L for SDR 11 pipes in mm at pipe wall temperature:					
	≤20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	80 °C
16	650	625	600	575	550	500
20	700	675	650	625	600	550
25	800	775	750	725	700	650
32	950	925	900	875	850	750
40	1100	1075	1050	1000	950	875
50	1250	1225	1200	1150	1100	1000
63	1450	1425	1400	1350	1300	1200
75	1550	1500	1450	1400	1350	1250
90	1650	1600	1550	1500	1450	1350
110	1850	1800	1750	1700	1600	1400
125	2000	1950	1900	1800	1700	1500
140	2100	2050	2000	1900	1800	1600
160	2250	2200	2100	2000	1900	1700
180	2350	2300	2200	2100	2000	1800
200	2500	2400	2300	2200	2100	1900
225	2650	2550	2450	2350	2250	2000
250	2800	2700	2600	2500	2400	2150
315	3150	3050	2950	2850	2700	2450

Tabulka 10 Maximální vzdálenost podpěr pro PP-H SDR 11

V *tabulce 10* je uvedena maximální vzdálenost podpěr pro PP-H SDR 11 při 60°C a při 80°C. Protože maximální teplota média je 70°C bude zvolena hodnota rovna aritmetickému průměru těchto dvou hodnot. Maximální vzdálenost podpěr pro PP-H SDR11 je tedy 2125 pro vodorovné úseky a pro svislé 2760mm.

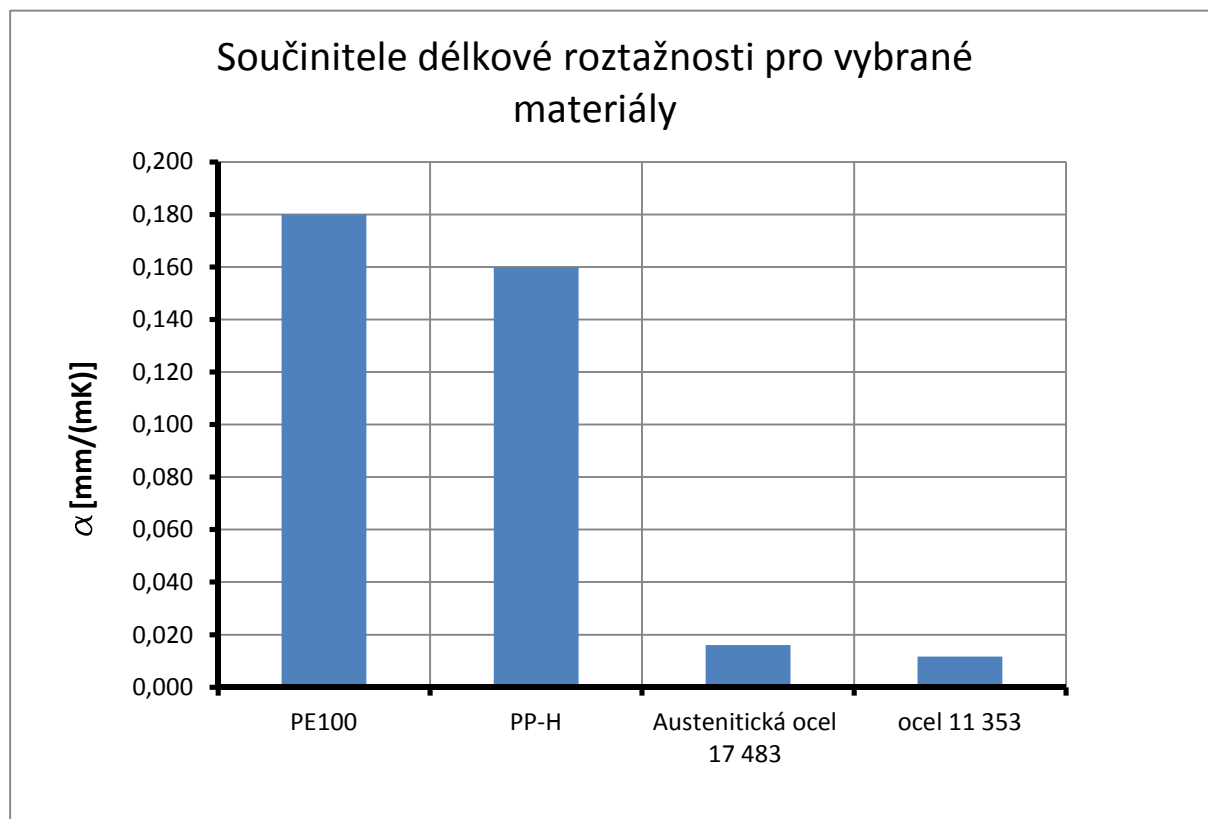
4.5 Změny délky při provozu potrubí**4.5.1 Změna délky způsobená změnami provozní teploty**

Pokud je potrubní úsek vystaven za provozu jiným teplotám než teplotě při montáži, dochází ke změně délky. Změnu délky lze vyjádřit následujícím vztahem [22] :

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T \quad (4.7)$$

kde ΔL je změna délky v mm
 α je součinitel délkové roztažnosti v mm/(m K)
 L je volná délka trubky v m
 ΔT je rozdíl teplot v K.

Následující graf (obr.15) porovnává hodnoty součinitele délkové roztažnosti pro PE100 a PP-H s ocelí. Je patrné, že plasty mají výrazně větší součinitel délkové roztažnosti oproti oceli, ze které byla zhotovena původní potrubní trasa.



Obrázek 15 Součinitele délkové roztažnosti pro vybrané materiály, hodnoty převzaty z [12] a [1]

4.5.2 Změna délky způsobená vnitřním přetlakem

Změny délky způsobuje také vnitřní přetlak. Dle [22] se změna délky od vnitřního přetlaku určí dle rovnice 4.8.

$$\Delta L = \frac{0,1 \cdot p \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}{E_c \cdot \left(\left(\frac{D}{d} \right)^2 - 1 \right)} \cdot L \quad (4.8)$$

Kde ΔL je změna délky v mm

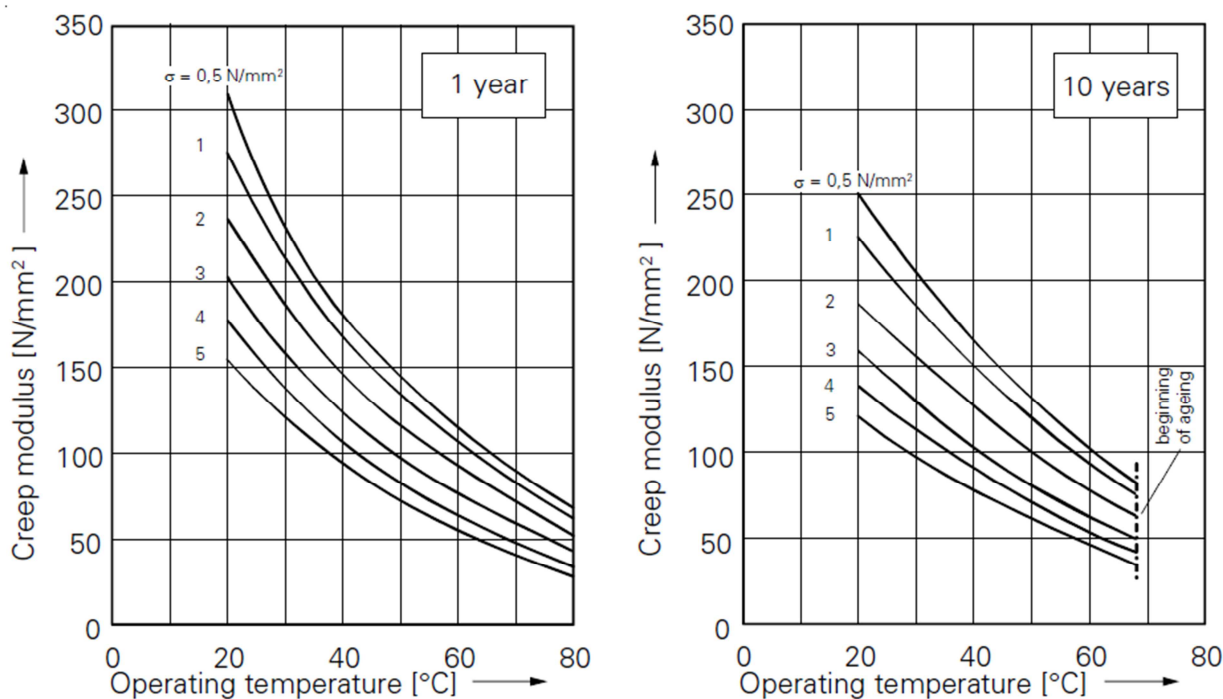
p je vnitřní přetlak v bar

μ je poissonova konstanta pro termoplasty 0,38

E_c je modul tečení v Mpa pro danou teplotu, zatížení a dobu zatížení

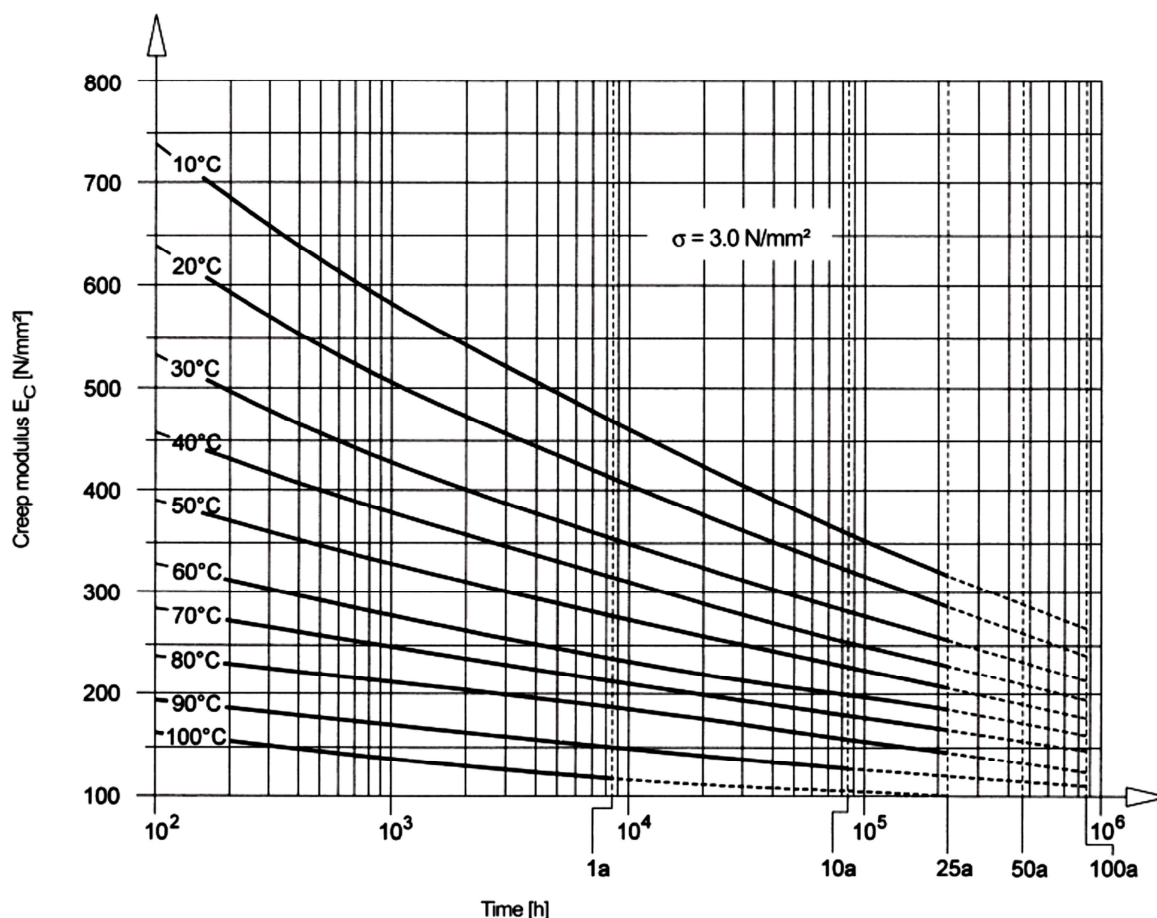
D je vnější průměr trubky v mm

d je vnitřní průměr trubky v mm.



Obrázek 16 Modul tečení pro PE 80 převzato z [22]

Na *obrázku 16* jsou grafy závislosti modulu tečení na teplotě pro dobu zatížení 1 a 10 let. Grafy jsou určeny pro PE 80. Dle technické příručky společnosti AGRU Kunststofftechnik GmbH [22] se pro PE 100 doporučuje zvýšit hodnoty pro PE 80 o 10%. Na grafu pro dobu zatížení 10 let nejsou znázorněny hodnoty pro 70°C protože se při této teplotě a době zatížení začne výrazně projevovat stárnutí materiálu. Ovšem z grafu závislosti životnosti na poměrném zastoupení teploty 70°C (*obr. 14*) je patrné, že použití PE 100 přichází v úvahu, pouze pokud při používání bude výrazně převažovat teplota 30°C. Proto se nedopustíme velké chyby, když při návrhu budeme vycházet z modulu tečení pro teplotu 68°C. Modul tečení pro PE 100 při napětí 4 Mpa a době zatížení 10 let je tedy 43 Mpa. Za referenční napětí je považováno napětí od vnitřního přetlaku.



Obrázek 17 Graf závislosti modulu tečení pro PP-H na době zatížení a teplotě převzato z [23]

Na obrázku 17 je znázorněna závislost modulu tečení pro PP-H na teplotě a době zatížení. Z předběžného odhadu životnosti vyplývá že PP-H může bez problémů pracovat při teplotě 70°C po dobu více než 25 let. Pro zatížení 4Mpa dle technického manuálu společnosti Simona AG [23] se pro napětí 4 Mpa doporučuje násobit hodnoty z tohoto diagramu opravným součinitelem 0,96. Modul tečení pro PP-H, teplotu 70°C a dobu zatížení 25 let je tedy 160 Mpa.

Dosazením do rovnice 4.8 bylo vypočteno prodloužení pro 1 m potrubí. Pro PE100 je prodloužení 1m rovno 0,008 mm a pro PP-H 0,002 mm. Dosazením do rovnice 4.7 za rozdíl teplot 50 °C (maximální teplota je 70°C předpokládaná teplota montáže je 20 °C) získáme prodloužení od změny teploty. Pro PE 100 je toto prodloužení rovno 9 mm a pro PP-H je rovno 8 mm.

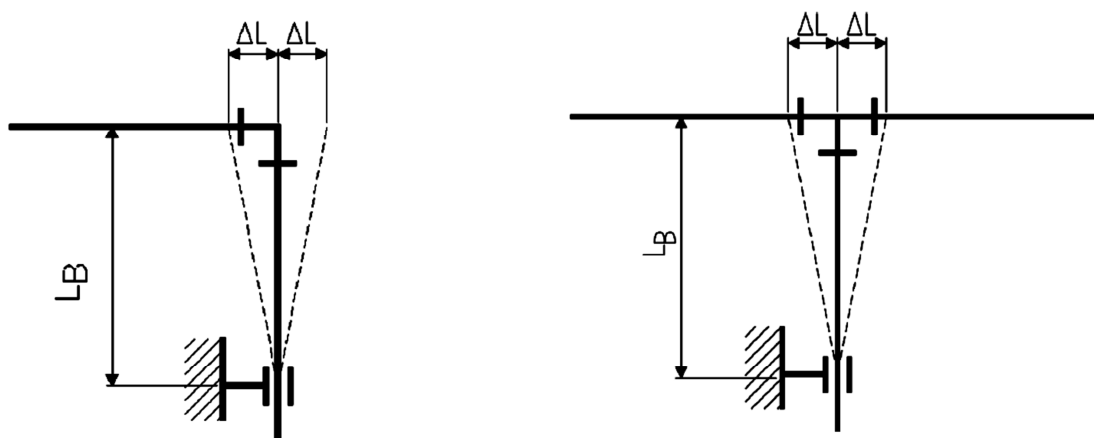
Prodloužení od vnitřního přetlaku je v porovnání s prodloužením od tepelné dilatace zanedbatelné. Proto při návrhu dilatačních ramen a rozmístění osových kompenzátorů bude uvažováno pouze prodloužení způsobené změnou teploty.

4.5.3 Kompenzace délkových změn potrubí

4.5.3.1 Přirozená kompenzace pomocí dilatačních ramen

Nízký modul pružnosti plastových materiálů je z hlediska tepelné dilatace výhodou. Délka pružného úseku závisí na průměru potrubí, středním modulu tečení, kompenzované délkové

změně a dovoleném ohybovém napětí (zvoleno 13% z obvodového napětí od vnitřního přetlaku pro PE 100 a 20% pro PP-H) [12]. Na *obrázku 18* jsou znázorněny příklady dilatačních ramen pro změnu směru a odbočku. L_B označuje délku dilatačního ramena a ΔL kompenzovanou změnu délky, která může být jak kladná tak záporná. Někdy se používá předepnutá ramena a tím se sníží kompenzovaná délka.



Obrázek 18 dilatační rameno pro změnu směru potrubí (vlevo) a pro odbočku (vpravo) převzato z [12]

Následující vztah (rovnice 4.9) slouží pro určení délky dilatačního ramena, tento vztah byl převzat s technické příručky společnosti Georg Fisher [11].

$$L_B = \sqrt{\frac{3 \cdot D \cdot E_c \cdot \Delta L}{\sigma_{do}}} \quad (4.9)$$

Kde: D značí vnější průměr potrubí v mm,

E_c značí průměrný modul tečení (aritmetický průměr z modulu tečení při maximální a minimální provozní teplotě a dané životnosti) v Mpa,

ΔL značí kompenzovanou změnu délky v mm,

σ_{do} značí dovolené ohybové namáhání v Mpa.

Protože nová trasa má kopírovat svým tvarem trasu původní, jsou možnosti přirozené kompenzace omezené. Proto také nebude u dlouhých úseků použito kompenzátorů typu U nebo lyrových. Graf na *obr. 16* porovnává součinitel délkové roztažnosti PE 100 a PP-H s ocelí. Z grafu je jasně patrné, že teplotní roztažnost plastů je několika násobně vyšší než u ocelí. Proto bude nutné použít osově kompenzátory.

4.5.3.2 Osově kompenzátory

Pro plastová potrubí je výběr typů kompenzátorů omezený. Hlavním kritériem výběru je odpor kompenzátoru, který způsobuje dodatečné osově namáhání trubky. Proto pro plastové materiály přichází v úvahu jen gumové kompenzátory, vlnovce z PTFE eventuálně kovové vícelamelové. [12]

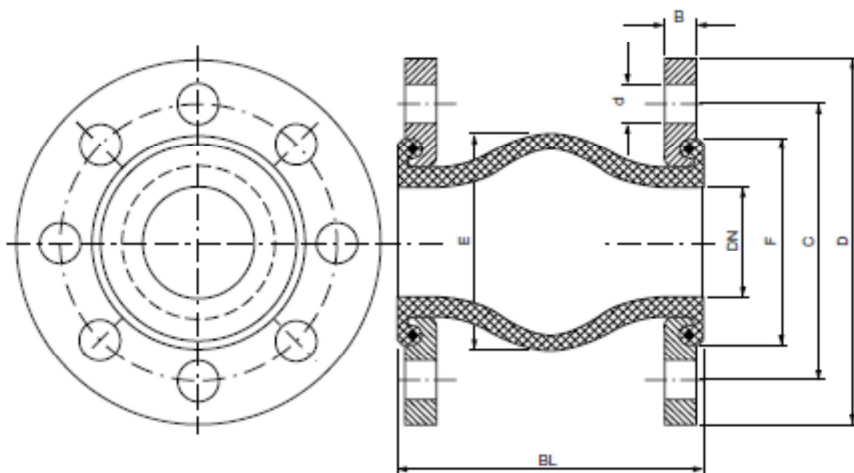
Kromě osově síly způsobené tuhostí kompenzátoru, vznikají při použití kompenzátorů také osově síly od vnitřního přetlaku. Kompenzátor se v podstatě chová jako píst. Plocha, na

kteřou tlak působí, se nazývá efektivní průřez a je to jedním ze základních parametrů uváděných výrobcem. Dle [24] se osová síla od vnitřního přetlaku určí následovně:

$$F_a = 0,01 \cdot A_{ef} \cdot p \quad (4.10)$$

kde F_a je osová síla od vnitřního přetlaku v N,
 A_{ef} je efektivní průřez v cm^2 ,
 p je vnitřní tlak v barech.

Pro kompenzaci tepelné dilatace přímých úseků bude použit kompenzátor vyráběný společností Trelleborg typ Teguflex P BL130 DN 200 PN16.



Obrázek 19 Gumový kompenzátor Teguflex P BL130 DN200 PN16

Následující tabulka (tab. 11) udává vybrané rozměry a vlastnosti kompenzátoru Teguflex P BL1300 DN200 PN16

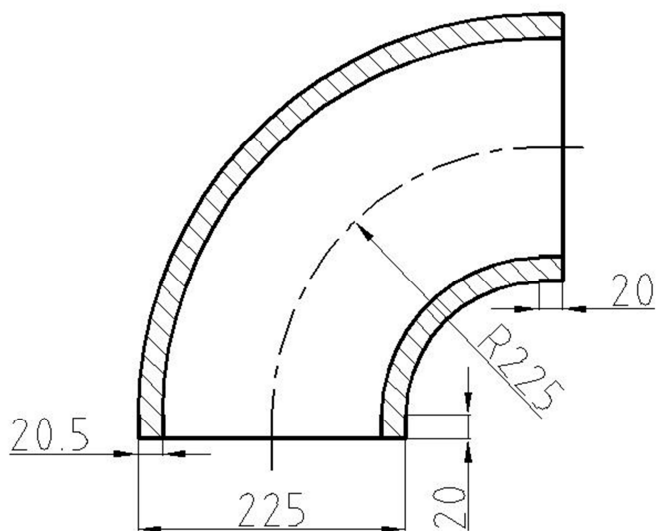
DN [mm]	BL [mm]	A_{ef} [cm^2]	E [mm]	F [mm]	Povolené pohyby				Hmotnost [kg]	tuhost		
					Stlačení [mm]	Prodloužení [mm]	Laterální [mm]	úhlový		Stlačení [kg/cm]	Prodloužen [kg/cm]	Laterální [kg/cm]
200	130	525	245	240	30	20	20	15°	16,8	75	100	75

Tabulka 11 rozměry a vlastnosti kompenzátoru Teguflex P BL 130 DN 200 PN16 převzato z [24]

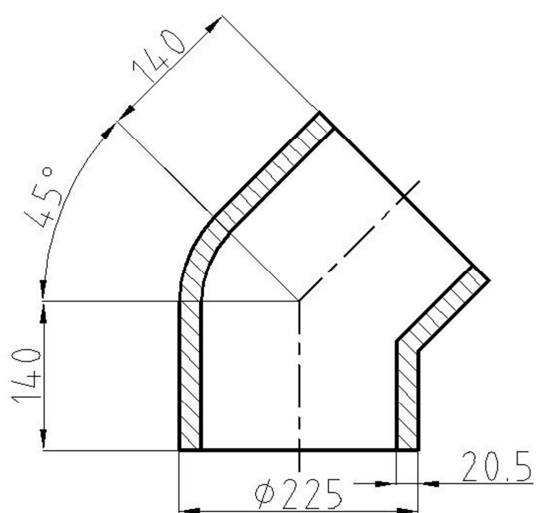
4.6 Části nového plastového potrubí

4.6.1 Oblouky

Pro změnu směru potrubí budou použity oblouky pro svařování na tupo. Rozměry oblouků jsou shodné pro obě materiálová provedení. Na *obrázku 20* jsou znázorněny rozměry oblouku 90°. Na *obrázku 21* jsou znázorněny rozměry oblouku 45°. Rozměry byly převzaty z katalogu společnosti Titan-Plastimex s.r.o [12].



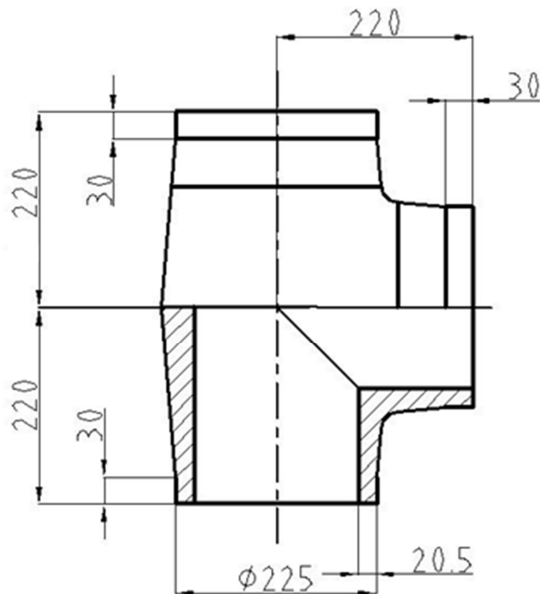
Obrázek 20 oblouk 90°



Obrázek 21 oblouk 45°

4.6.2 T-kus

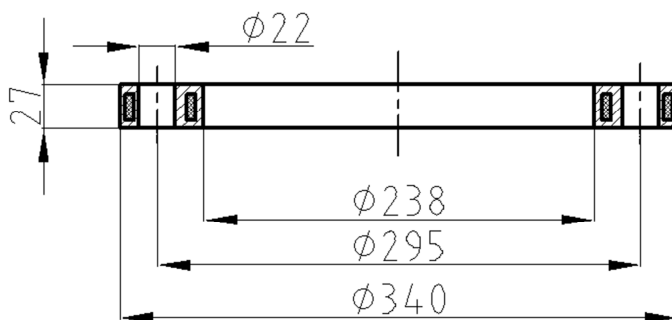
Pro realizaci odboček bude použit vstříkovaný T-kus pro svařování na tupo. Rozměry jsou pro obě materiálová provedení shodné. Rozměry byly převzaty z katalogu společnosti Titan-Plastimex s.r.o [12].



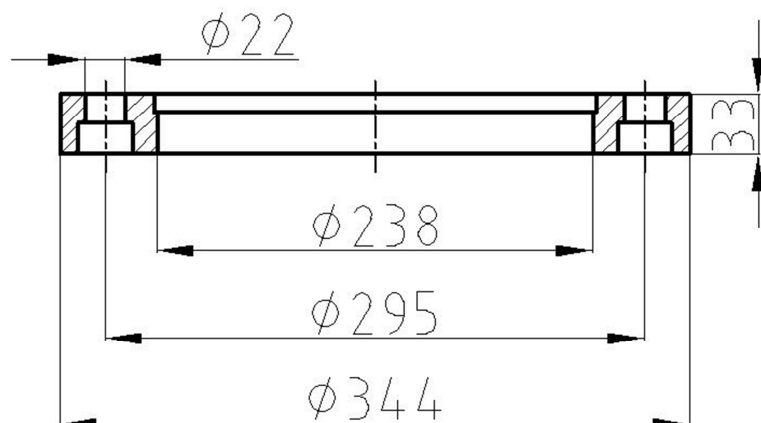
Obrázek 22 T-kus

4.6.3 Lemový nákrůžek pro otočné příruby a otočná příruba

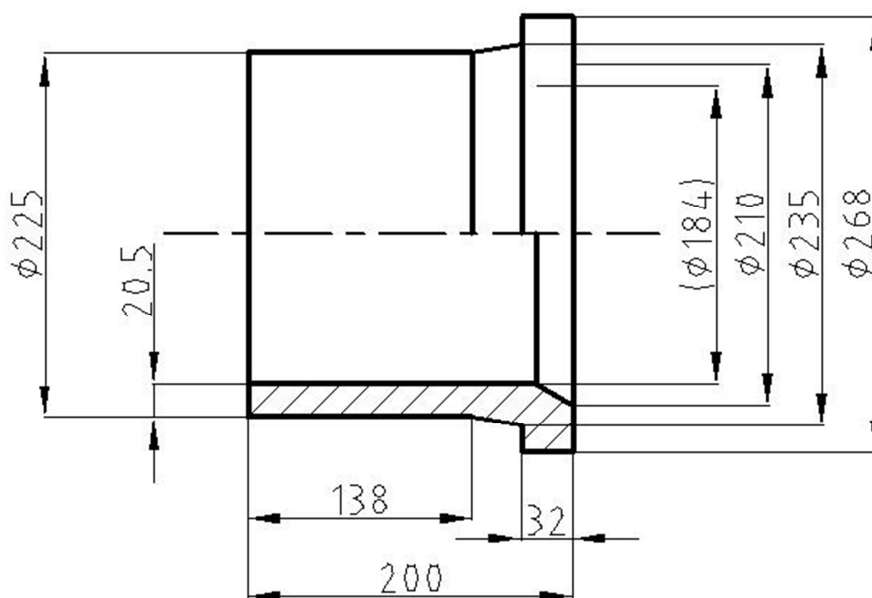
Používá se pro vytvoření přírubového spoje. Přírubový spoj bude použit pro napojení na stávající ocelové potrubí, nebo při nedostatku místa pro svařování. K plastovému potrubí se připojí tupým svarem. Rozměry dle katalogu společnosti Titan-Plastimex s.r.o. [12] Lemový nákrůžek je na *obrázku 25*. Pro vytvoření přírubového spoje se stávajícím ocelovým potrubím bude použita otočná příruba z PP vyztužená ocelovými kroužky a skelnými vlákny. Příruba pro spoj s ocelovým potrubím je na *obrázku 23*. Pro připojení kompenzátoru bude použita příruba z PP vyztužená skelnými vlákny a vložkou z tvárné litiny. Příruba pro připojení kompenzátoru je na *obrázku 24*. Kompletní přírubový spoj znázorňující napojení nové trasy na stávající ocelové potrubí je znázorněn na *obrázku 26*.



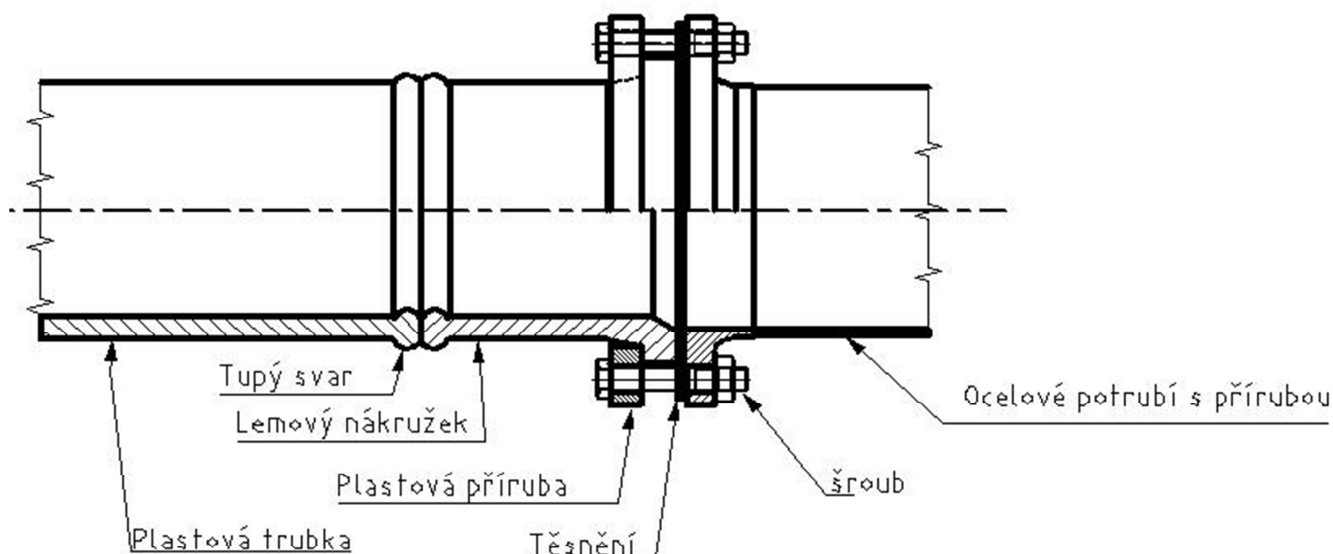
Obrázek 23 Otočná příruba PN10 DN200



Obrázek 24 Otočná příruba PN16 DN 200



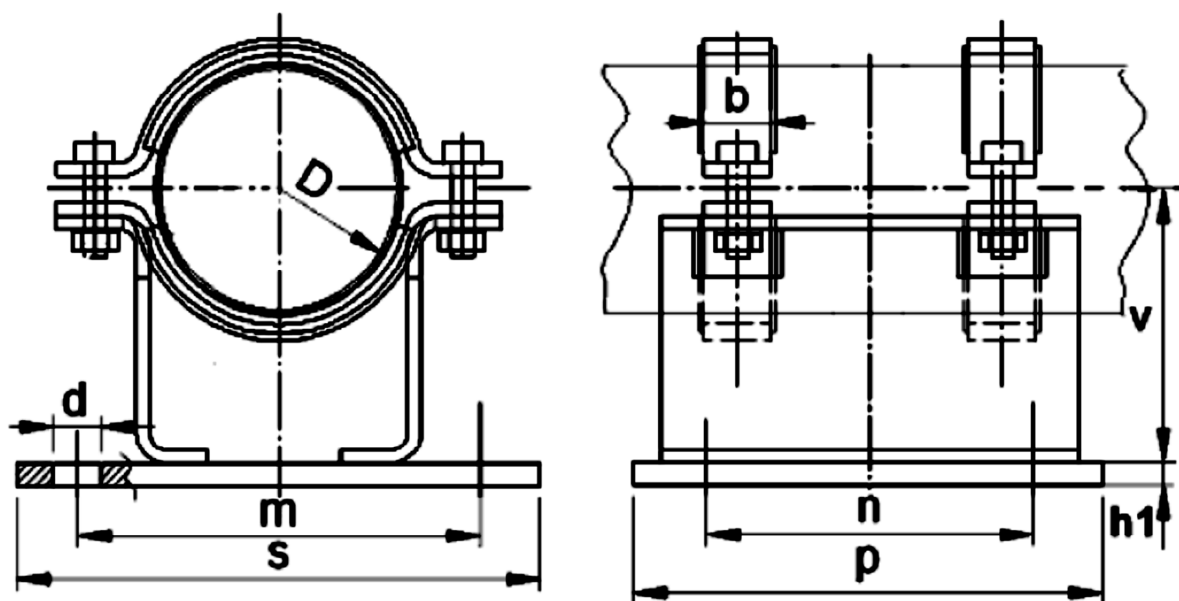
Obrázek 25 Lemový nákrůžek pro otočné příruby



Obrázek 26 Napojení nového plastového potrubí na stávající potrubí pomocí přírubového spoje

4.6.4 Vytvoření pevného bodu a kluzného uložení

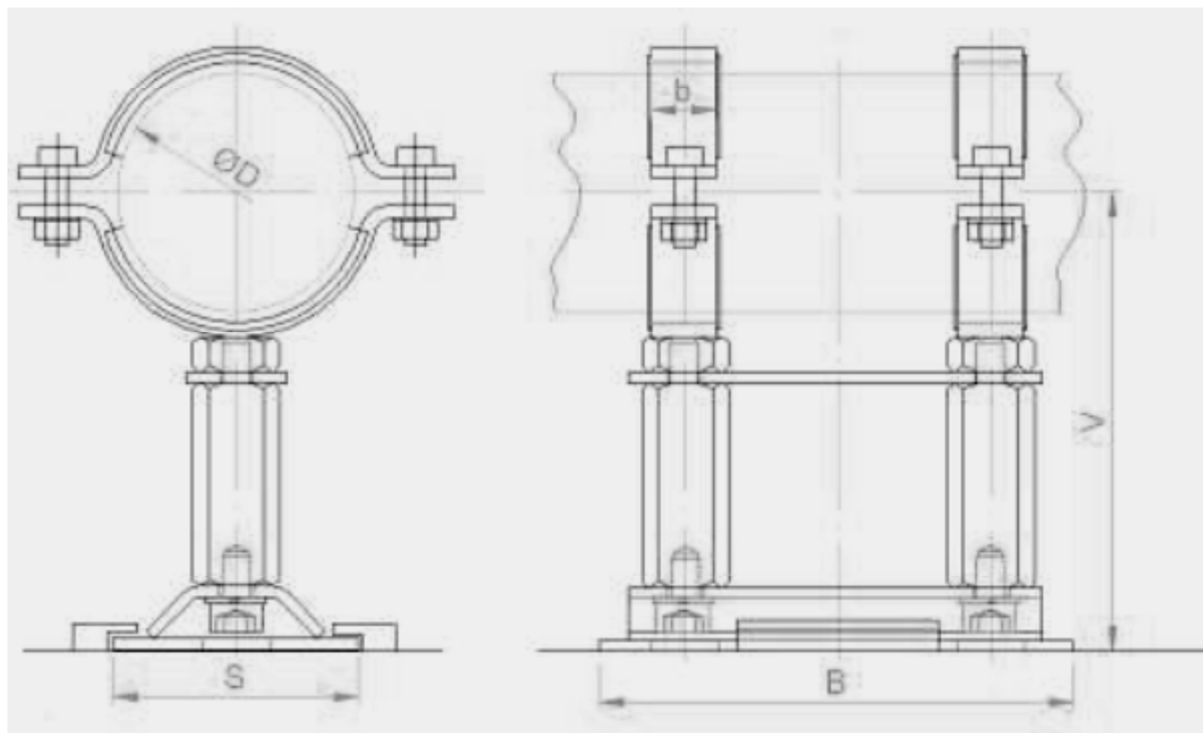
Pro plastové potrubí není vhodné používat stejná uchycení jako pro kovové. Musí být umožněn pohyb od tepelné dilatace (kromě pevných bodů). Vnitřní povrch podpěry nesmí poškozovat trubky. Pro uložení budou použity podpěry vyráběné společností ADECO. Na obrázcích 27, 28 a 29 jsou kluzná uložení a pevné body pro svislé a vodorovné potrubí.



Obrázek 27 Pevný bod pro vodorovný úsek převzato z [25]

Katalogové číslo	Vnější průměr D	Hlavní rozměry (mm)						Hmotnost (kg)	Síly a momenty, které uložení přeneše (N, Nm)					
		v+h1 (mm)	d (mm)	m (mm)	n (mm)	s (mm)	p (mm)		Fx Síla vodorovná, v ose trubky	Fy Síla vodorovná kolmá na osu trubky	Fz Síla svislá	Mx	My	Mz
SA.1514.225	225	302	22	410	530	480	600	19,5	6000	800	9000	900	1500	650

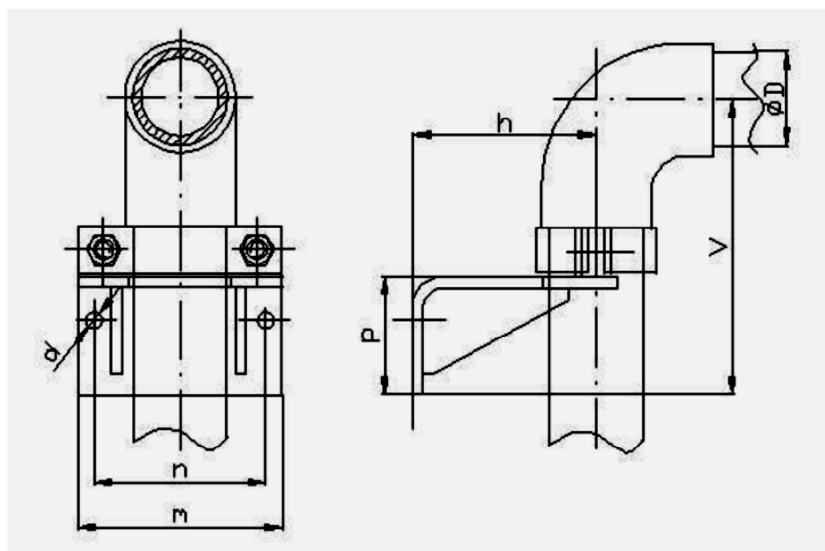
Tabulka 12 Rozměry a povolené zatížení pro vodorovná pevný bod převzato z [25]



Obrázek 28 Kluzné uložení pro vodorovný úsek převzato z [25]

Katalogové číslo	Vnější průměr D	Hlavní rozměry (mm)					Hmot. (kg)	Síly a momenty, které uložení přeneše (N, Nm)		
		v (mm)	m (*) (mm)	n (*) (mm)	s (mm)	B (mm)		Fx Síla vodorovná, v ose trubky	Fy Síla vodorovná kolmá na osu trubky	Fz Síla svislá
SA.3524.225	225	302	340	640	300	600	17,2	5400	1100	9000

Tabulka 13 Rozměry a vlastnosti kluzného uložení pro vodorovný úsek převzato z [25]



Obrázek 29 pevný bod pro svislé potrubní úseky převzato z [25]

Katalogové číslo	Vnější průměr D	Hlavní rozměry (mm)					Hmotnost (kg)	Síly, které uložení přenese (N)		
		h (mm)	d (mm)	m (mm)	n (mm)	p (mm)		F _x Síla vodorovná, směřující k základně	F _y Síla vodorovná rovnoběžná se základnou	F _z Síla svislá
SA.2616.225	225	302	22	480	410	300	3,7	3000	3000	6500

Tabulka 14 Rozměry a vlastnosti pevného bodu pro svislé úseky převzato z [25]

5 Tlakové ztráty

Při proudění v potrubí neustále dochází k disipaci. To je příčinou poklesu celkového tlaku. A nemění-li se rychlost proudění i tlaku statického. Tlakové ztráty můžeme rozdělit na třecí a místní. Obě tlakové ztráty se vyjadřují pomocí ztrátového součinitele ζ . Tlaková ztráta se vyjádří následovně:[26]

$$\Delta p = \zeta \rho \frac{w^2}{2} \quad (5.1)$$

kde Δp udává tlakovou ztrátu v pa

ζ je ztrátový součinitel

w je střední rychlost proudění v potrubí v m/s.

Ztráty můžeme také udávat ve tvaru ztrátové výšky a měrné ztrátové energie.

5.1 Třecí ztráty

Dle lit. [26] se ztrátový součinitel tření ζ_t v přímém úseku o délce L a vnitřním průměru d určí podle vztahu (5.2). Kde λ značí součinitel tření.

$$\zeta_t = \frac{\lambda \cdot L}{d} \quad (5.2)$$

Tlaková ztráta přímého úseku se tedy určí následovně (rovnice 5.3):

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{d} \rho \frac{w^2}{2} \quad (5.3)$$

5.1.1 Určení součinitele tření λ při různých stavech proudění pro použité materiály.

Součinitel tření λ obecně závisí na střední rychlosti proudící kapaliny w , drsnosti stěny k , vlastnostech proudící kapaliny a vnitřním průměru trubky d . Pro určení součinitele rozeznáváme 6 oblastí druhu proudění: [27]

- Laminární proudění kde $\lambda_t=f(\text{Re})$
- Přechodová oblast mezi laminárním prouděním a turbulentním prouděním v hydraulicky hladkém potrubí $\lambda_t=f(\text{Re})$,
- Turbulentní proudění v hydraulicky hladkém potrubí $\lambda_t=f(\text{Re})$,
- Přechodová oblast mezi turbulentním prouděním v hydraulicky hladkém a hydraulicky drsném potrubí $\lambda_t=f(\text{Re}, d/k)$
- Turbulentní proudění v hydraulicky drsném potrubí (také se nazývá automodelní oblast, nebo kvadratická oblast) $\lambda_t=f(d/k)$

Při laminárním proudění nemá drsnost stěny potrubí vliv na tlakovou ztrátu, součinitel tření je závislá pouze na Reynoldsově číslu. Při turbulentním proudění je v blízkosti stěny vždy vazká podvrstva. Tato vazká podvrstva se s narůstajícím Reynoldsovým číslem zmenšuje. Při nižších Reynoldsových číslech nevystupují nerovnosti z vazké podvrstvy a jejich vliv je tedy potlačen, součinitel tření závisí pouze na Reynoldsovu číslu, hovoříme o hydraulicky hladkém potrubí.

Při vyšších Reynoldsových číslech začínají nerovnosti vystupovat z vazké podvrstvy a začíná se projevovat jejich vliv, hovoříme o tzv. Hydraulicky drsném potrubí. V přechodové oblasti mezi hydraulicky hladkým a drsným potrubí je součinitel tření závislý na Reynoldsově číslu a poměrné drsnosti d/k . Při zvyšování Reynoldsova se jeho vliv snižuje a proudění přejde do kvadratické oblasti kde je součinitel tření závislý pouze na poměrné drsnosti [26], [27].

Tlakovou ztrátu při laminárním proudění lze odvodit analyticky. Vztahy pro ostatní oblasti byly získány zobecněním měření. Následující tabulka (*tab 15*) zobrazuje použité vztahy pro řešení tlakových ztrát v novém plastovém potrubí, starém ocelovém a novém ocelovém.

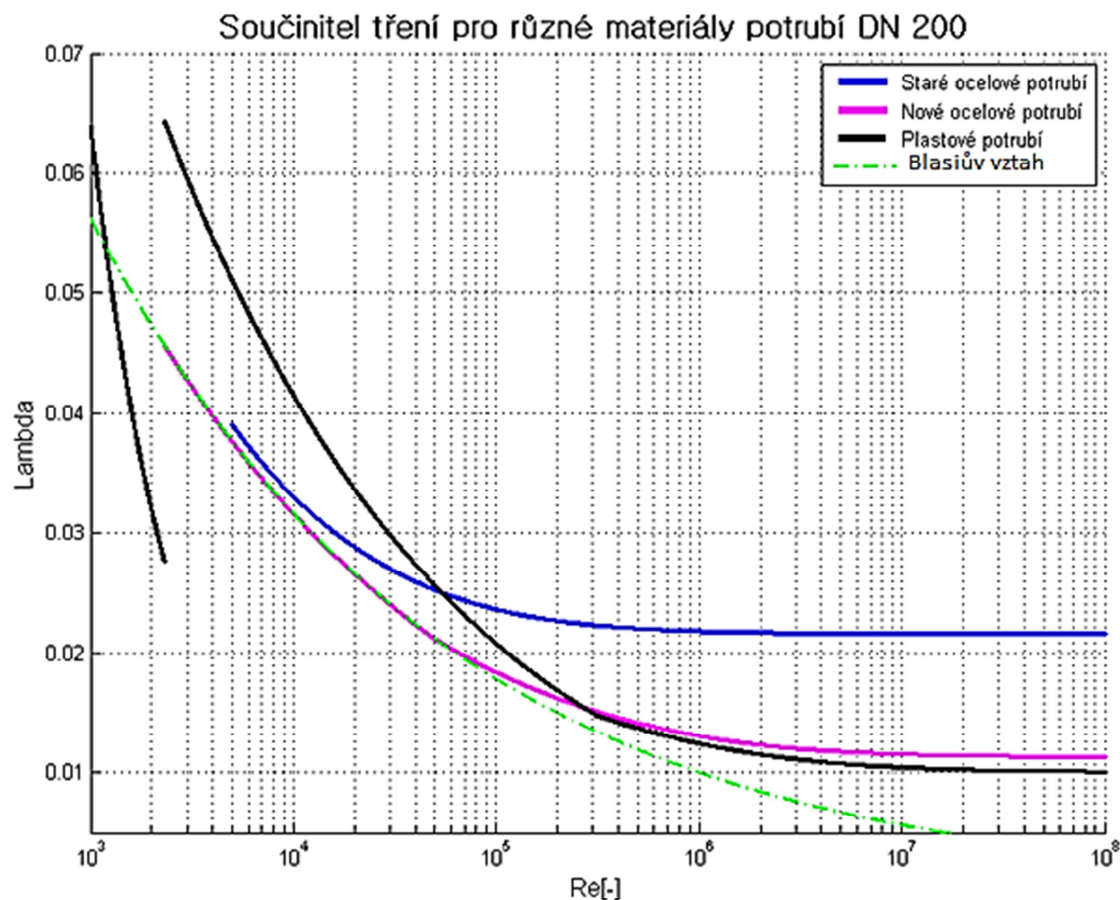
Oblast proudění	Vztah	Autor vztahu	Rozsah platnosti
Laminární	$\lambda = \frac{64}{Re}$	Hagen-Poiseule	$Re < 2300$
Přechodová oblast mezi laminárním pr. a Hydraulicky hladkým turbulentním pr.	Volba vyšší hodnoty mezi výsledkem z Hagen-Poiseulova vztahu a Blasiova vztahu		$2300 < Re < 5000$
Turbulentní proudění hydraulicky hladkou trubkou – kovové potrubí	$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$	Blasius	$2300 < Re < 8 \times 10^4$
Turbulentní proudění Hydraulicky hladkou trubkou – plastové potrubí	$\lambda = 0,738 \frac{d^{0,068}}{Re^{0,3}}$	ČVUT	$2300 < Re < 2 \times 10^5$
Přechodová oblast mezi turbulentním prouděním hydraulicky hladkou trubkou a kvadratickou oblastí	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,74 - 2 \cdot \log \left(\frac{2k}{d} + \frac{18,7}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right)$	Colebrook - White	$0,34 \leq \frac{k \cdot Re \cdot \sqrt{\lambda}}{32,5 \cdot d} \leq 0,62$
Kvadratická oblast	$\lambda = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \log \frac{d}{k}\right)^2}$	Prandtl-Karmán	$Re \cdot \frac{k}{d} \cdot \sqrt{\lambda} \geq 200$

Tabulka 15 Použité vztahy pro řešení součinitele λ v různých režimech proudění vztahy převzaty z [27], [28], [29].

U plastového potrubí při proudění v hydraulicky hladkém potrubí neplatí Blasiovův vztah, protože se projevuje vliv odlišného povrchového napětí plastových materiálů oproti kovovým. Tento vliv se projevuje při nižších Reynoldsových číslech, s narůstajícím Re číslem se vliv povrchového napětí snižuje a hodnoty součinitele tření λ se začínají asymptoticky přibližovat k Blasiově křivce.[28]

Tato závislost je patrná z následujícího grafu (*obr. 30*). Tento graf byl sestaven na základě rovnic uvedených v *tabulce 10*. Znárodnuje závislost součinitele tření na Reynoldsově čísle pro plastové potrubí o vnitřním průměru 184mm a pro ocelové potrubí nové a zkorodované o vnitřním průměru 206,4mm.

Pro sestrojení grafu byl použit výpočetní software Matlab R2011a. Sestrojení závislosti λ na Re je jeden z výstupů skriptu na výpočet tlakových ztrát. Zdrojový kód tohoto programu je uveden v příloze 1. Dále tento program sestaví charakteristiku potrubní větve na základě zadaného průměru potrubí, střední drsnosti povrchu, zadané délky, výškového rozdílu a součinitelů místních odporů. Dále tento program vytváří charakteristiku dvou paralelních větví.

Obrázek 30 Závislost součinitele tření λ na Reynoldsovu číslu

5.1.1.1 Drsnost potrubí

Pro výpočet tlakových ztrát budou použity následující hodnoty střední drsnosti potrubí. Tyto hodnoty jsou převzaty z [27].

Materiál	Střední drsnost v mm
PE 100, PP-H	0,007
Ocel nová	0,015
Ocel zkorodovaná	0,3

Tabulka 16 Hodnoty střední drsnosti povrchu trubek použité pro výpočet tlakových ztrát převzato z [27]

5.2 Místní ztráty

Místní ztráty obecně závisí na vlastnostech proudící tekutiny, geometrii protékaného prostoru a drsnosti obtékaných stěn. Vznikají zde víry, které následně dissipují na teplo, dále dochází ke vzájemnému tření částic tekutiny a ke tření kapaliny o stěny. Protože zde vzniká velmi

složité proudění, kdy nelze separovat jednotlivé vlivy, určují se místní ztráty výhradně experimentálně. Místní ztráty se určují dle následujícího vztahu (rovnice 5.4) [27], [26].

$$\Delta p = \zeta_m \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \quad (5.4)$$

Kde: ζ_m značí součinitel místní hydraulické ztráty
 ρ značí hustotu kapaliny v kg/m^3
 w značí střední rychlost proudění v m/s

5.2.1 Hodnoty součinitele místních ztrát pro použité části potrubí

Ohyb 90°	0,4
Ohyb 45°	0,3
Kompenzátor	0,5
T-kus	1,3
Spoj	0,1

Tabulka 17 Hodnoty použitých součinitelů místní ztráty hodnoty převzaty z [11]

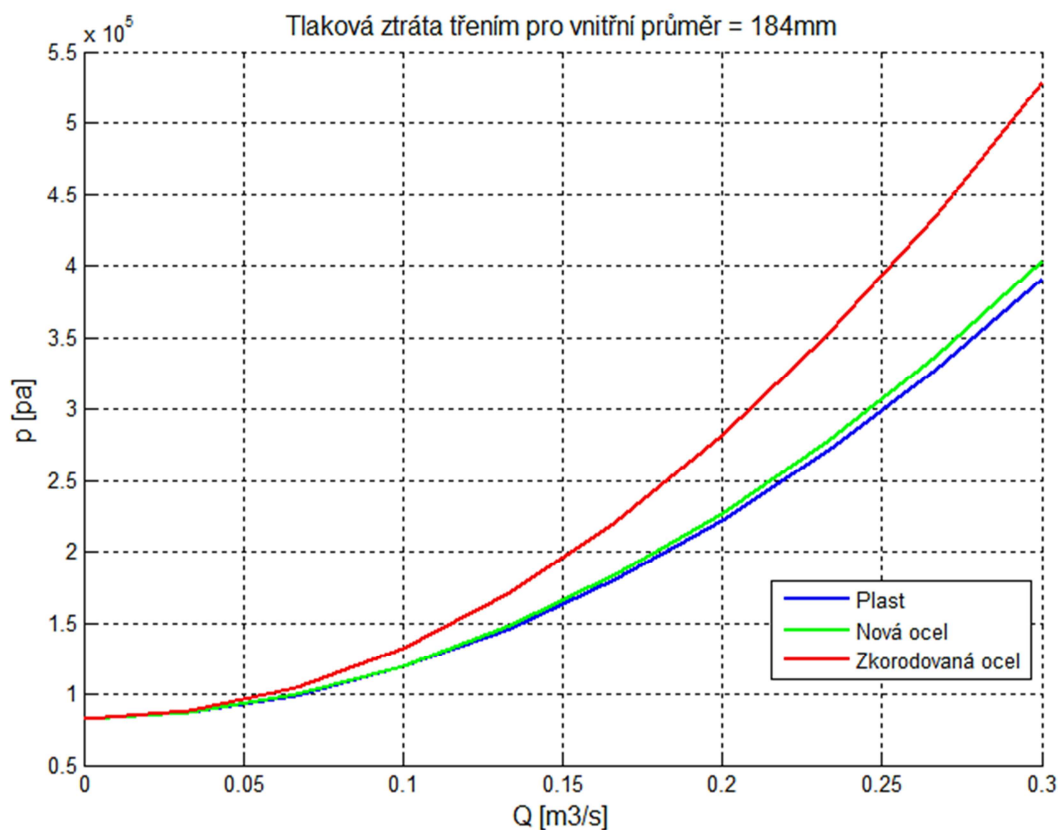
Tyto hodnoty jsou jen přibližné, však dle [11] postačující pro většinu případů. Je možné najít přesnější hodnoty v odborné literatuře v závislosti na rychlosti, rozměrech a střední drsnosti povrchu. Řešení tlakových ztrát s proměnnými součiniteli místních ztrát by se tím samozřejmě zkomplikovalo.

5.3 Výpočet tlakové ztráty

Protože není známá odporová charakteristika navazujících potrubí, bude pouze určena charakteristika nahrazovaného úseku. Kapalina přitéká v místě napojení do demistanice klapkou KL-VII. V T-kusu T-2 se trasa rozděluje na 2 větve. Tedy celková charakteristika se získá složením charakteristik dvou paralelních větví s jednou krátkou sériovou větví.

5.3.1 Vliv drsnosti

Následující graf (obrázek 31) zobrazuje tlakovou ztrátu třením a změnou výšky (bez místních odporů) větve mezi T-2 a KL-IX v závislosti na průtočném množství. Tento graf ukazuje tlakovou ztrátu pro stejný vnitřní průměr potrubí. Je patrné, že tlakové ztráty mezi novým ocelovým potrubím a plastovým se příliš neliší. Ztráta způsobená třením v zkorodovaném potrubí je naopak znatelně vyšší.

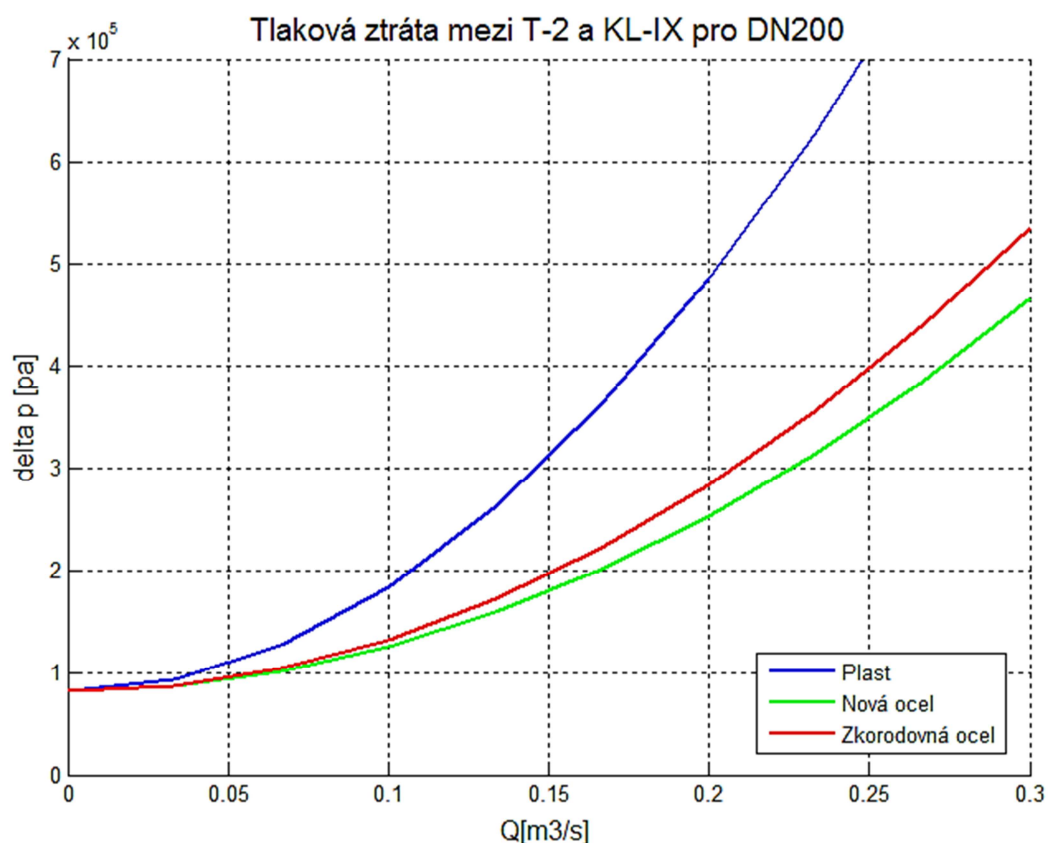


Obrázek 31 Tlaková ztráta způsobená třením pro stejný vnitřní průměr potrubí

5.3.2 Vliv rozdílných vnitřních průměrů pro ocel a plast a místních odporů

Na *obrázku 32* je uveden graf závislosti tlakové ztráty na průtočném objemu pro stejnou potrubní větev jako na *obrázku 31*. Rozdíl je v tom, že nyní je zahrnut vliv místních odporů. Místní odpory jsou uvažovány téměř stejné.

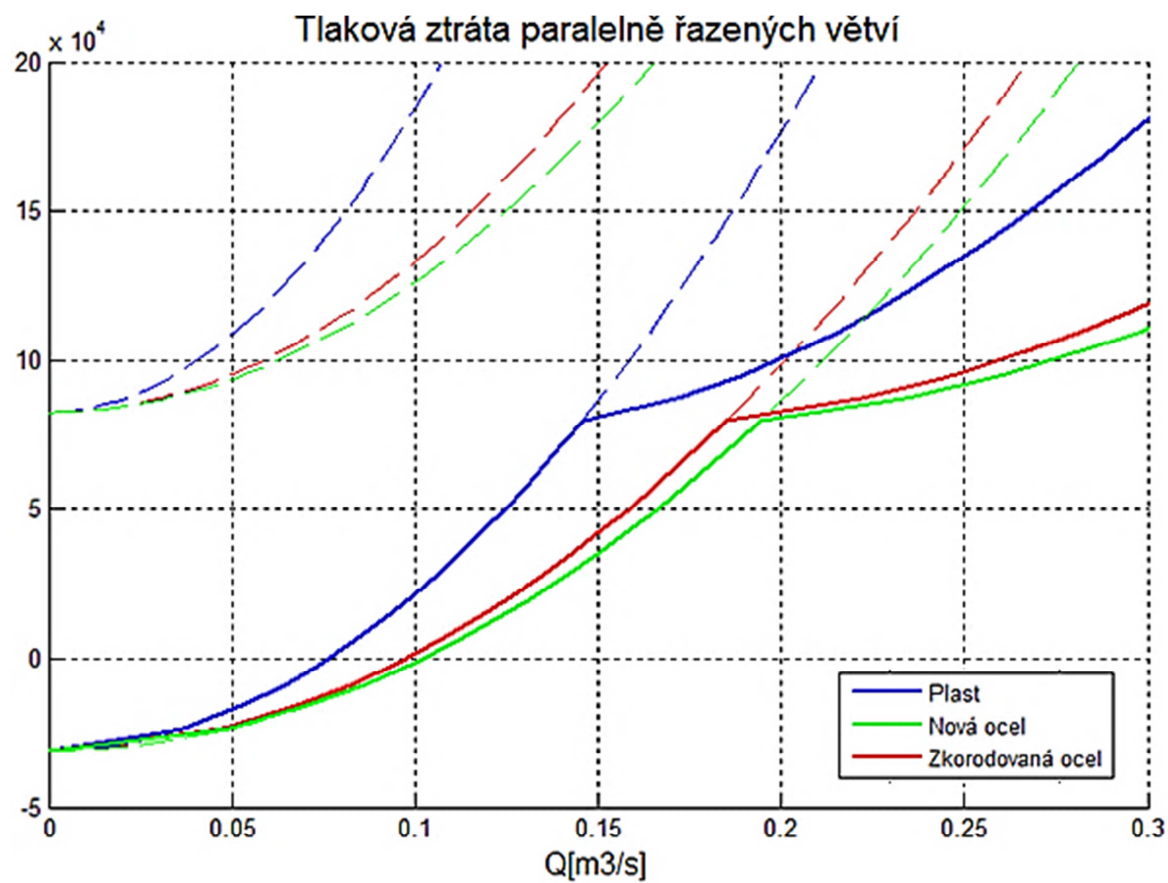
Rozdíl je v tom, že u plastového potrubí navíc přibyl odpor osových kompenzátorů, které v případě ocelového potrubí není nutné používat. Ukazuje se, že vliv průtočného průřezu a místních odporů je v této konkrétní úloze mnohem výraznější, než vliv drsnosti povrchu. Dominantním jevem je vliv menšího průtočného průřezu pro stejnou jmenovitou světlost DN200.



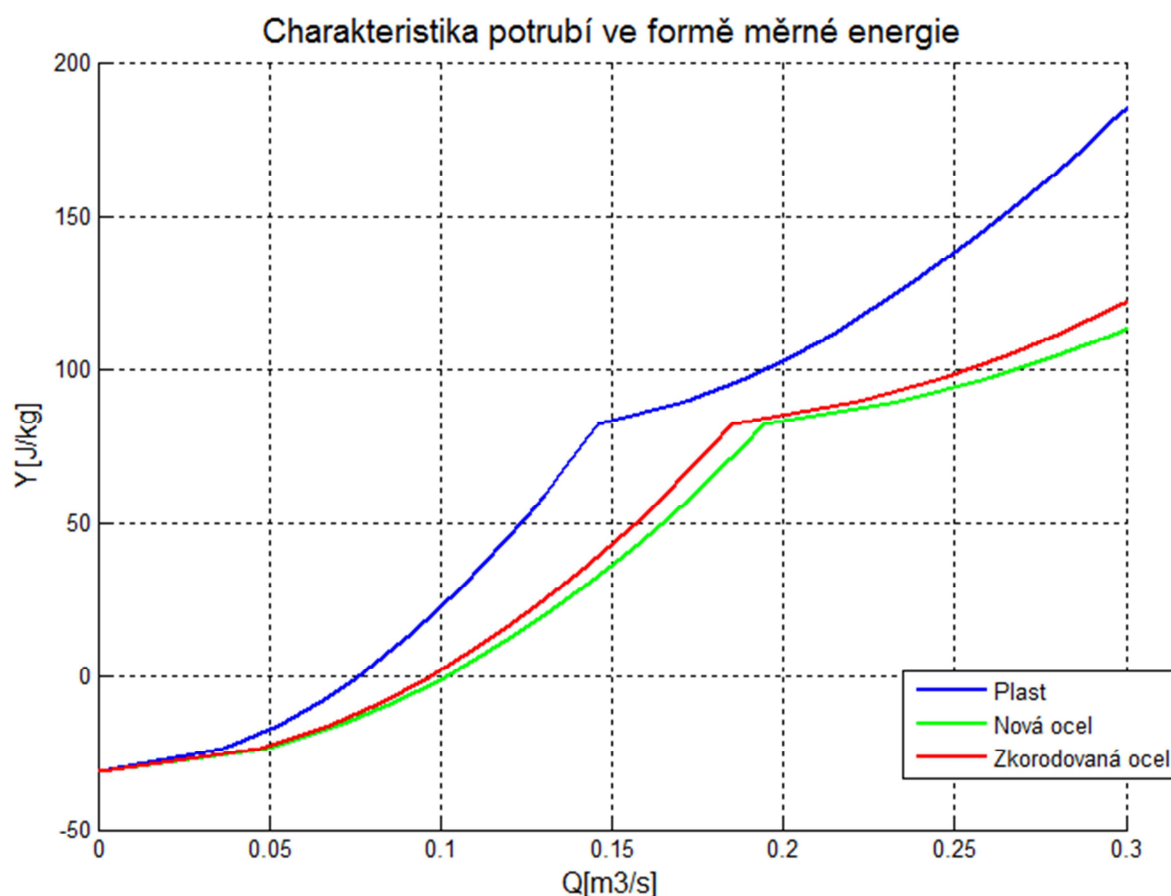
Obrázek 32 Tlaková ztráta při zahrnutí místních odporů a zohlednění rozdílného vnitřního průměru

5.3.3 Charakteristika nového plastového potrubí

Kapalina vtéká do nahrazované části v napojení na KL-VII. V T-2 se potrubí rozděluje na dvě větve. V níže uvedené charakteristice byl krátký úsek mezi KL-VII a T-2 zanedbán, protože jeho délka je v porovnání se zbylými úseky několikanásobně menší. Pro paralelně řazené úseky platí, že pro tlak je pro obě větve totožný. Záporné hodnoty charakteristiky jsou způsobeny tím, že jedna větev má výstupní výšku nižší oproti výšce na vstupu do T-2, která byla zvolena jako referenční. Na *obrázku 33* je znázorněna charakteristika ve formě tlaku, čárkovaně jsou znázorněny charakteristiky jednotlivých potrubních větví. Bývá zvykem uvádět charakteristiku ve formě měrné energie. Proto byla charakteristika na *obr. 33* přepočítána a tím byl získán graf na *obr. 34*.



Obrázek 33 tlaková ztráta paralelně řazených větví



Obrázek 34 Charakteristika potrubí ve formě energie

6 Ekonomické zhodnocení

Pro přesné zhodnocení provozních a investičních nákladů, by byly nutné další doplňující údaje. Protože je v tomto případě zadání nekompletní, nebylo možné objektivně zhodnotit náklady na provoz potrubí. Chybí údaje o požadovaném průtoku, navazujících zařízení, dále chybí údaje o použitém čerpadle a o provozních režimech potrubí.

Pro zhodnocení nákladů na čerpací práci je nutné znát způsob provozu potrubí. Zda je provoz kontinuální, či periodický. Jaký je požadovaný průtok, zda jsou obě větve používány současně nebo nikoliv. Tyto údaje však nejsou známy, proto není možné objektivně zhodnotit náklady na provoz potrubí na základě dostupných údajů. Přibližnou představu

Srovnáme-li výslednou cenu za součásti potrubí (*tab. 18*), zjistíme, že výsledná cena u oceli je nejnižší. Tento údaj může být mírně zavádějící, protože nejsou zahrnuty náklady na montáž a dopravu potrubí, které jsou u oceli vyšší díky větší měrné hmotnosti a náročnějšímu svařování. U plastového potrubí je sice výrazně nižší cena za 1 metr trubky, ale naopak tvarovky jsou oproti oceli mnohem dražší. Dále v případě použití oceli není nutné používat kompenzátory.

	M.j	PE100			PP-H			Ocel		
		Cena za m.j.	Počet m.j.	celkem	Cena za m.j.	Počet m.j.	celkem	Cena za m.j.	Počet m.j.	celkem
Trubky	m	234 Kč	56	13 115 Kč	336 Kč	56	18 794 Kč	1 214 Kč	56	67 984 Kč
Ohyb 90°	ks	3 797 Kč	8	30 376 Kč	2 985 Kč	8	23 880 Kč	1 511 Kč	8	12 088 Kč
Ohyb 45°	ks	3 986 Kč	2	7 972 Kč	3 134 Kč	2	6 268 Kč	867 Kč	2	1 734 Kč
T-kus	ks	7 261 Kč	2	14 522 Kč	5 709 Kč	2	11 418 Kč	2 524 Kč	2	5 048 Kč
Kompenzátor	ks	4 000 Kč	12	48 000 Kč	4 000 Kč	10	40 000 Kč	4 000 Kč	0	0 Kč
Lemový nákrůžek	ks	1 020 Kč	3	3 060 Kč	869 Kč	3	2 607 Kč	755 Kč	3	2 265 Kč
Cena celkem				117 045 Kč			102 967 Kč			89 119 Kč

Tabulka 18 cena materiálu

7 Závěr

Potrubní trasa byla navržena dle postupu doporučeného výrobcem. Při hodnocení tlakových ztrát bylo překvapivě zjištěno, že pro stejnou jmenovitou světlost DN 200 jsou tlakové ztráty vlivem menšího průtočného průřezu plastového potrubí vyšší než v případě ocelového potrubí, a to jako nového, tak zkorodovaného. Vlivem vyšší ceny tvarovek je výsledná cena součástí plastového potrubí vyšší než v případě ocelového.

Životnost plastového potrubí je při teplotě 70°C značně omezená, protože dochází k tečení materiálu i při nízkých teplotách. Pro přesné posouzení životnosti by bylo nutné doplnit zadání o údaje o provozních režimech potrubí. Přibližný odhad životnosti pro dva provozní režimy oba při tlaku 7 barů a každý při jedné mezní provozní teplotě ukazuje, že pokud plastové potrubí pracuje pouze při 30°C tak jeho životnost přesahuje 100 let. Již při 30% zastoupení teploty 70°C je životnost polyetylenu PE100 nedostačující. Polypropylén PP-H má přijatelnou životnost i v případě, že potrubí pracuje při teplotě 70°C po celou dobu své životnosti. Ovšem životnost byla určena za předpokladu kontinuálního provozu, což nemusí být v praxi splněno, dále se provozní teplota pravděpodobně bude měnit odlišným způsobem, než pouhým střídáním mezních teplot.

Na základě zjištěných poznatků je možné tvrdit, že použití plastového potrubí je v tomto konkrétním případě méně vhodné, než použití ocelového potrubí. Vykazuje jak větší tlakové ztráty, tak nízkou životnost.

Přesto však lze vyvodit závěr, že pro nižší provozní teploty jsou plastové materiály výhodným řešením, obzvláště u velmi dlouhých potrubí kde vliv nižšího součinitele tření převažuje nad vlivem menšího průtočného průřezu pro stejnou jmenovitou světlost a u méně členitých potrubí, kde bude vliv vyšší ceny tvarovek potlačen vlivem nízké ceny trubek.

8 Seznam použité literatury

- [1] PAVLOK, B., DRÁBKOVÁ, S. RAUTOVÁ, J.: *Potrubní systémy a armatury: studijní opora*. 1. vyd. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2011. ISBN 978-80-248-2518-2
- [2] DUCHÁČEK, V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-617-6
- [3] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm#012
- [4] GRUNDĚL, F. A kol. *Potrubí z plastických hmot*. Praha: SNTL, 1968
- [5] <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Morfologie.pdf>
- [6] KRATOCHVÍL B., ŠVORČÍK V., VOJTĚCH D.: *Úvod do studia materiálů*. 1. vyd. 2005. ISBN 80-7080-568-4
- [7] PROKOPOVÁ IRENA: *Makromolekulární chemie*. 2nd ed. Praha : VŠCHT Praha, 2007. ISBN 978-80-7080-662-3
- [8] http://umi.fs.cvut.cz/files/kkm_koroze_plastu.pdf
- [9] DOLEŽEL, B. *Odolnost plastů a pryží*. PRAHA. SNTL, 1981
- [10] VÁVRA, P a kol.: *Strojírenská příručka*. 3. svazek SCIENTIA, 1993, ISBN 80-85827-23-9
- [11] *Planning Fundamentals For Industrial Piping Systems* dostupné z: http://www.gfps.com/content/gfps.com/en/support_and_services/planning_assistance/planning_fundamentals.html
- [12] <http://www.titan-plastimex.cz>
- [13] ČSN EN ISO 15494 *Plastové potrubní systémy pro průmyslové aplikace – Polybuten (PB), Polyethylen (PE) a Polypropylen (PP) – Specifikace pro součásti a systém – Metrické řady*
- [14] ČSN EN ISO 9080 *Plastové rozvodné a ochranné potrubní systémy – Stanovení dlouhodobé hydrostatické pevnosti termoplastů ve formě trubek metodou extrapolace*
- [15] ČSN EN ISO 10931 *Plastové potrubní systémy pro průmyslové aplikace – Polyvinylidenfluorid (PVDF) – Specifikace pro součásti a systém*
- [16] ČSN EN ISO 15493 *Plastové potrubní systémy pro průmyslové aplikace – Akrylonitrilbutadienstyren (ABS), neměkčený polyvinylchlorid (PVC-U) a chlorovaný polyvinylchlorid (PVC-C) – Specifikace pro součásti a systém – Metrické řady*
- [17] WILDA, V a kol.: *Projektování průmyslových potrubí a potrubních rozvodů*. Praha: SNTL, 1968
- [18] ZÝMA, J., NEUŽIL, M. *Části a mechanismy strojů Potrubí a armatury* Praha: ČVUT, 1998
- [19] ČSN 130021 *Potrubí – Technická pravidla*
- [20] <http://www.kme.zcu.cz/kmet/pp>

- [21] ČSN EN ISO 12162 Materiály z termoplastů pro tlakové trubky a tvarovky – Klasifikace, označování a konstrukční (výpočtový, návrhový) koeficient
- [22] *Technical catalogue* dostupné online:
<http://www.agru.at/en/products/agru-line/brochures/technical-catalogue/>
- [23] *Engineering Manual for Piping systems* dostupné online:
<http://www.simona.de/en/infomaterial/rohre/index.html>
- [24] <http://www.trelleborg.com>
- [25] *Katalog společnosti ADECO s.r.o* dostupné online:
<http://www.adeco-ct.cz/index.php>
- [26] LINHART, Jiří. *Mechanika tekutin I*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2009. 123 s. ISBN 978-80-7043-766-7
- [27] MELICHAR, J. *Úvod do čerpačích techniky Praha: ČVUT, 2012. ISBN 978-80-01-05056-9* (brož.)
- [28] MACH, V: *Tlakové ztráty třením v polyethylenových trubkách*. Časopis Zdravotní technika a vzduchotechnika, č. 6/1964. Nakladatelství ČSAV, Praha, 1964
- [29] KOLEKTIV AUTORŮ: *Plasty pro rozvod médií a svařované konstrukce*, GAS s.r.o., Praha 2001 ISBN 80-86176-97-5

9 Přehled použitých zkratk a symbolů včetně jednotek

Zkratka	Název	Jednotky
ρ	hustota	kg/m ³
R_m	Mez pevnosti kovových materiálů	Mpa
c_p	Specifické teplo	J/(kg·K)
α	Součinitel teplotní roztažnosti	1/K; mm/(m·K)
λ	V kapitole 1- součinitel tepelné vodivosti	W/(m·K)
	V kapitole 5 – součinitel tření v potrubí	1
$R_{p0,2}$	Mez kluzu pro kovové materiály	Mpa
E	Youngův modul pružnosti	Gpa
E_t	Modul tečení pro plastové materiály	Mpa
A_{10}	Tažnost	%
T_m	Teplota tání	°C
T_g	Teplota skelného přechodu	°C
T_f	Teplota toku	°C
MRS	Minimální požadovaná hydrostatická pevnost	bar
PE 100, PE 80, PE 40	Polyethylém o MRS 100, 80, 40	-
PP-H	Polypropylen-Homopolymer	-
PVDF	Polyvinylidenfluorid	-
PP-R	Polypropylen-Náhodný kopolymer	-
PP-B	Polypropylen-Blokový kopolymer	-
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren	-
PVC-U	Polyvinylchlorid-neměkčený	-
PVC-	Polyvinylchlorid-Chlorovaný	-

σ	Normálové napětí	Mpa
τ	Tečné napětí	Mpa
t	čas	hodina
p	tlak	Mpa; bar; pa
Y	Měrná energie	J/kg
L,l	Délka	mm; m
ΔL	Změna délky	mm
ΔT	Změna teploty	°C
L_b	Délka kompenzačního ramena	mm
S	Řada trubek	-
DN	Jmenovitá světlost	mm
SDR	Standartní rozměrový poměr	-
w	Střední rychlost v potrubí	m/s
Q	průtok	m ³ /s
k	Drsnost povrchu trubky	mm
Re	Reynoldosovo číslo	-
ζ	Ztrátový součinitel	-
D	Vnější průměr trubky	mm
d	Vnitřní průměr trubky	mm

10 Seznam příloh

- Příloha č.1 - Program pro sestavení závislosti $\lambda - Re$ a pro výpočet tlakových ztrát
- Příloha č.2 – Návrh dilatačních ramen a rozmístění kompenzátorů
- Příloha č.3 – Ostatní použité programy
- Příloha č.4 – Axonometrické schéma trasy z PE100
- Příloha č.5 – Axonometrické schéma trasy z PP-H

PŘÍLOHA č. 1

**Program pro sestavení závislosti λ – Re
a pro výpočet tlakových ztrát**

```
clc;
clear all;
close all;
%definice konstant
dp=184; %vnitrni prumer plastove trubky mm
do=204.5; %vn, pr, ocelove trubky mm
kp=0.007; %drsnost plast. tr. mm
kon=0.015; %drsnost nove oc, tr
kos=0.3; % dr. ocel rezava
ro=977.81; %hustota vody 30C
ny=1.006*10^-6; %kin vazkost vody 30C
pm=0.7*10^6; %max tlak

Re=logspace(0,8,5000); %str. rychlost na pocatku vypoctu
for i=1:length(Re)
    lamoln(i)=64/(Re(i));
    lampl(i)=64/Re(i);
    lamols(i)=64/(Re(i));

    %HH blasius
    lamobn(i)=0.3164/(Re(i)^0.25);
    lamobs(i)=0.3164/(Re(i)^0.25);
    lambp(i)=0.738*((dp*10^(-3))^0.068)/(Re(i)^0.3);

    %c-w nova ocel

    lcw=0.000000001;
    c=0;
    p=0.01;
    while c==0
        b=(1/((lcw)^0.5))+2*log10((2*kon/do)+(18.7/(Re(i)*(lcw^0.5))));
        if b>1.74;
            lcw=lcw+p;
            c=0;
        else
            lcw=lcw-p;
            p=0.5*p;
            c=0;
        end
        if p<0.0000001
            c=1;
        end
    end

    end

    if Re(i)>10^4
        lamocwn(i)=lcw;
    else
        lamocwn(i)=0;
    end
end

% CWplast

lcw=0.000000001;
c=0;
p=0.01;
```

```
while c==0
    b=(1/((lcw)^0.5))+2*log10((2*kp/dp)+(18.7/(Re(i)*(lcw^0.5))));
    if b>1.74
        lcw=lcw+p;
        c=0;
    else
        lcw=lcw-p;
        p=0.5*p;
        c=0;
    end
    if p<0.0000001
        c=1;
    end
end

if Re(i)>10^4
    lampcw(i)=lcw;
else
    lampcw(i)=0;
end

%cw stara ocel
lcw=0.000000001;
c=0;
p=0.01;

while c==0
    b=(1/((lcw)^0.5))+2*log10((2*kos/do)+(18.7/(Re(i)*(lcw^0.5))));

    if b>1.74;
        lcw=lcw+p;
        c=0;
    else
        lcw=lcw-p;
        p=0.5*p;
        c=0;
    end
    if p<0.0000001
        c=1;
    end

end

if Re(i)>(5*10^3)
    lamocws(i)=lcw;
else
    lamocws(i)=0;
end

%p/k
lamopkn(i)=1/((1.74+2*log10(do/(2*kon)))^2);
lamppk(i)=1/((1.74+2*log10(dp/kp))^2);
lamopks(i)=1/((1.74+2*log10(do/(2*kos)))^2);

end

for i=1:length(Re)
    if Re(i)<=2320
        lamos(i)=lamols(i);
```

```
else
    if lamobs(i)>lamocws(i)
        lamos(i)=lamobs(i);
    else if lamocws(i)>lamopks(i)
        lamos(i)=lamocws(i);
    else
        lamos(i)=lamopks(i);
    end
end
end
for i=1:length(Re)
    if Re(i)<=2320
        lamon(i)=lamoln(i);
    else
        if lamobn(i)>lamocwn(i)
            lamon(i)=lamobn(i);
        else if lamocwn(i)>lamopkn(i)
            lamon(i)=lamocwn(i);
        else
            lamon(i)=lamopkn(i)
        end
    end
end
end
end

for i=1:length(Re)
    if Re(i)<=2320
        lamp(i)=lamp1(i);
    else if lampb(i)>lampcw(i)
        lamp(i)=lampb(i);
    else if lampcw(i)>=lamppk(i)
        lamp(i)=lampcw(i);
    else
        lamp(i)=lamppk(i);
    end
end
end

end
figure
    hold on
    plot(Re,lamos,'b')
    plot(Re,lamon,'m')
    plot(Re,lamp,'k')
    plot(Re,lamobs,'y')
    xlim([10^3 10^8])
    ylim([0.005 0.07])
    grid on
    % plot(Re,lamocws,'b')
    xlabel('Re[-]')
    ylabel('Lambda')
    legend('Stare ocelove potrubí', 'Nove ocelove potrubí', 'Plastove
potrubí', 'Balsiuv vytah')
```

```
%tlakove ztraty
clc

g=9.81;

h1=8.6;
h2=-3.2;
h3=1;
p0=10^5;

zk=0.5;
z90=0.4;
z45=0.3;
zs=0.1;
zt=1.3;

%vetev 1
s1=31;
l1=37.68;
k91=2;
k451=2;
komp1=10;

%vetev 2
s2=18;
l2=15.28;
k92=6;
k452=0;
komp2=2;

%vetev 3
s3=2;
l3=1;
k93=0;
k453=0;
komp3=0;

%vektor rychosti
q=linspace(0.0001,0.3,100);

%plast
for i=1:length(q)
w(i)=q(i)/(pi*0.25*(dp*0.001)^2);
re=(dp*10^-3*w(i))/ny;

%vetev 1

w1=w(i);
re=(dp*10^-3*w1)/ny;
dph1=h1*ro*g;
dpm1=((s1*zs)+(z90*k91)+(z45*k451)+(komp1*zk)+2*zt)*(ro*0.5*w1^2);
lambda=interp1(Re,lamp,re);
dpt1=lambda*(l1/(dp*0.001))*ro*0.5*w1^2;

p11(i)=dph1+dpm1+dpt1;

%vetev 2
```

```
w2=w(i);
re=(dp*10^-3*w2)/ny;
dph2=h2*ro*g;
dpm2=((s2*zs)+(z90*k92)+(z45*k452)+(komp2*zk)+zt)*(ro*0.5*w2^2);
lambda=interp1(Re,lamp,re);
dpt2=lambda*ro*(12/(dp*10^-3))*0.5*w2^2;

p21(i)=dpt2+dpm2+dph2;

% vetev 3

w3=w(i);
re=(dp*10^-3*w3)/ny;
dph3=h3*ro*g;
dpm3=((s3*zs)+(z90*k93)+(z45*k453)+(komp3*zk)+zt)*(ro*0.5*w3^2);
lambda=interp1(Re,lamp,re);
dpt3=lambda*ro*(13/(dp*10^-3))*0.5*w3^2;

p31(i)=dph3+dpm3+dpt3;

%ocel nova
w(i)=q(i)/(pi*0.25*(0.001*do)^2);
re=(do*10^-3*w(i))/ny;

%vetev 1

w1=w(i);
re=(do*10^-3*w1)/ny;
dph1=h1*ro*g;
dpm1=((s1*zs)+(z90*k91)+(z45*k451)+2*zt)*(ro*0.5*w1^2);
lambda=interp1(Re,lamon,re);
dpt1=lambda*ro*(11/(do*10^-3))*0.5*w1^2;

p12(i)=dph1+dpm1+dpt1;

%vetev 2

w2=w(i);

dph2=h2*ro*g;
dpm2=((s2*zs)+(z90*k92)+(z45*k452)+zt)*(ro*0.5*w2^2);
lambda=interp1(Re,lamon,re);
dpt2=lambda*ro*(12/(do*10^-3))*0.5*w2^2;

p22(i)=dpt2+dpm2+dph2;

% vetev 3

w3=w(i);

dph3=h3*ro*g;
dpm3=((s3*zs)+(z90*k93)+(z45*k453)+zt)*(ro*0.5*w3^2);
lambda=interp1(Re,lamon,re);
dpt3=lambda*ro*(13/(do*10^-3))*0.5*w3^2;

p32(i)=dph3+dpm3+dpt3;

%ocel stara
w(i)=q(i)/(pi*0.25*(0.001*do)^2);
```

```
re=(do*10^-3*w(i))/ny;

%vetev 1

w1=w(i);
re=(do*10^-3*w1)/ny;
dph1=h1*ro*g;
dpm1=((s1*zs)+(z90*k91)+(z45*k451)+2*zt)*(ro*0.5*w1^2);
lambda=interp1(Re,lamos,re);
dpt1=lambda*ro*(11/(do*10^-3))*0.5*w1^2;

p13(i)=dph1+dpm1+dpt1;

%vetev 2

w2=w(i);

dph2=h2*ro*g;
dpm2=((s2*zs)+(z90*k92)+(z45*k452)+zt)*(ro*0.5*w2^2);
lambda=interp1(Re,lamos,re);
dpt2=lambda*ro*(12/(do*10^-3))*0.5*w2^2;

p23(i)=dpt2+dpm2+dph2;

% vetev 3

w3=w(i);

dph3=h3*ro*g;
dpm3=((s3*zs)+(z90*k93)+(z45*k453)+zt)*(ro*0.5*w3^2);
lambda=interp1(Re,lamos,re);
dpt3=lambda*ro*(13/(do*10^-3))*0.5*w3^2;

p33(i)=dph3+dpm3+dpt3;

end
p1= linspace(p21(1),700000,100);

for i=1:length(q)

    if p1(i)<p11(1)
        qp1(i)=interp1(p21,q,p1(i));

    else
        q2p1=interp1(p11,q,p1(i));
        q2p2=interp1(p21,q,p1(i));
        qp1(i)=q2p1+q2p2;

    end

end
p2= linspace(p22(1),700000,100);
for i=1:length(q)

    if p2(i)<p12(1)
        qp2(i)=interp1(p22,q,p2(i));

    else
        q2p1=interp1(p12,q,p2(i));
```



```
        q2p2=interp1(p22,q,p2(i));
        qp2(i)=q2p1+q2p2;

    end
end
p3= linspace(p23(1),700000,100);
for i=1:length(q)

    if p3(i)<p13(1)
        qp3(i)=interp1(p23,q,p3(i));

    else
        q2p1=interp1(p13,q,p3(i));
        q2p2=interp1(p23,q,p3(i));
        qp3(i)=q2p1+q2p2;

    end
end

for i=1:length(qp1)
    H1(i)=p1(i)/(ro*g);

end
for i=1:length(qp2)
H2(i)=p2(i)/(ro*g);
end
for i=1:length(qp3)
    H3(i)=p3(i)/(ro*g);
end

    for i=1:length(qp1)
        y1(i)=p1(i)/(ro);

    end
for i=1:length(qp2)
y2(i)=p2(i)/(ro);
end
for i=1:length(qp3)
    y3(i)=p3(i)/(ro);
end

figure
hold on
    plot (qp1,y1, 'b')
        plot (qp2,y2, 'g')
            plot (qp3,y3, 'r')

figure
hold on
    plot (qp1,H1, 'b')
        plot (qp2,H2, 'g')
            plot (qp3,H3, 'r')

figure
hold on
    plot (q,p13, 'r')
        plot (q,p23, 'r')
            plot (qp3,p3, 'r')
                plot (q,p11)
```

```
plot (q,p21)
plot (qp1,p1)
plot (q,p12, 'g')
plot (q,p22, 'g')
plot (qp2,p2, 'g')
ylim([-200000 300000])
grid on
```

PŘÍLOHA č. 2

Návrh dilatačních ramen a rozmístění kompenzátorů

Důležité rozměry a materiálové vlastnosti

	PE 100	PP-H
Předpokládaná životnost	10 let	25 let
Předpokládané zatížení teplotou	20% při 70°C	100% při 70°C
Modul tečení při 30°C	132 Mpa	250 Mpa
Modul tečení při 70°C	43 Mpa	160 Mpa
Průměrný modul tečení	87,5 Mpa	205 Mpa

Maximální vzdálenosti podpěr

Podpěry byly rozmístěny na základě těchto hodnot:

Maximální vzdálenost podpěr pro PE100:

- vodorovné úseky 1950mm
- svislé úseky 2535mm

Maximální vzdálenost podpěr pro PP-H:

- vodorovné úseky 2125mm
- svislé úseky 2760mm

Výpočet dilatačního ramena:

Pro urychlení práce byla vytvořena jednoduchá funkce v programu MATLAB R2011a. Příkazový script je uveden níže. Vychází z rovnice 4.9.

$$L_B = \sqrt{\frac{3 \cdot D \cdot E_c \cdot \Delta L}{\sigma_{do}}} \quad (4.9)$$

```
function dilat(L)
dT=50; %rozdil max teploty a montazni
aPE=0.18; %souc. alfa
aPP=0.16;
EPE=87.5; %prumerny modul teceni
EPP=205;
sPE=0.13*3.49; %dovolene ohybove namahani (pro PE100 13% a pro PP-H 20% z
namahani pretlakem)
sPP=0.2*3.49;
D=225; %prumer trubky
dLPE=aPE*dT*(L/1000) %zmena delky
```

$$dLPP = a_{PP} \cdot dT \cdot (L / 1000)$$

$$L_{PE} = ((3 \cdot D \cdot E_{PE} \cdot dL_{PE}) / (s_{PE}))^{0.5} \quad \% \text{dilatační ramena}$$

$$L_{PP} = ((3 \cdot D \cdot E_{PP} \cdot dL_{PP}) / (s_{PP}))^{0.5}$$

End

Kompenzované délkové změny a délky dilatačních ramen pro přímé úseky.

Maximální stlačení kompenzátoru: $l_k = 30 \text{ mm}$.

Maximální délka kompenzovaného úseku: $l = l_k / (\alpha \cdot \Delta T)$

Pro PE 100: 3 333,3 mm

Pro PP-H : 3750 mm

úsek	Délka úseku	Změna délky PE100	Změna délky PP-H	Délka dilatačního ramena PE 100	Délka dilatačního ramena PP-H	Nutný kompenzátor
K90 1-2	2200	19,8	17,6	1605	1868	ne
K90-3 T-1	1050	9,5	8,4	1109	1290	ne
T-1 K90-4	6950	62,5	55,6	2854	3320	Ano 2ks
K90-4 T-2	2250	20,3	18	1624	1889	ne
T-2 K90-7	7400	66,6	59,2	2945	3426	Ano 2ks zbytek dil. rameno
K90-7 K90-8	27785	250,1	222,3	5706	6638	Ano 8ks PE100 7ks PP-H zbytek dil. rameno

PŘÍLOHA č. 3

Ostatní použité programy

Program pro sestavení diagramu MRS-čas pro různé materiály a zadanou teplotu

```
%PE80
s=(1:0.0001:25);
for i=1:length(s)
    t1(i)=(10.^(-19.9417+(8804.4333/343.15)-(3.3219*(log10(s(i))))));

    t2(i)=(10.^(-40.9578+(23596.3495/343.15)-37.5758*log10(s(i))));
end

for i=1:length(s)
    if t1(i)<=t2(i)
        tpe80(i)=t1(i);
    else
        tpe80(i)=t2(i);
    end
end

%PE 100
for i=1:length(s)
    t1(i)=(10.^(-20.3159+(9342.693/343.15)-(4.5076*(log10(s(i))))));

    t2(i)=(10.^(-38.9375+24482.467/343.15-38.9789*log10(s(i))));
end

for i=1:length(s)
    if t1(i)<=t2(i)
        tpe100(i)=t1(i);
    else
        tpe100(i)=t2(i);
    end
end

%ppH
for i=1:length(s)
    t1(i)=(10.^(-46.364-
(9601.1*(log10(s(i)))/(343.15))+(20381.5/343.15)+(15.24*(log10(s(i))))));

    t2(i)=(10.^(-18.387+(8918.5/343.15)-(4.1*(log10(s(i))))));

end
for i=1:length(s)
    if t2(i)<=t1(i)
        tpph(i)=t2(i);
    else
        tpph(i)=t1(i);
    end
end
%PPB
for i=1:length(s)
```

```
t1(i)=(10.^(-56.086-
(10157.8*(log10(s(i)))/(343.15))+(23971.7/343.15)+(13.32*(log10(s(i))))));

t2(i)=(10.^(-13.699+(6970.3/343.15)-(3.82*(log10(s(i))))));

end
for i=1:length(s)
    if t2(i)<=t1(i)
        tppb(i)=t2(i);
    else
        tppb(i)=t1(i);
    end
end
end
%ppr
for i=1:length(s)
    t1(i)=(10.^(-55.725-
(9484.1*(log10(s(i)))/(343.15))+(25502.2/343.15)+(6.39*(log10(s(i))))));

    t2(i)=(10.^(-19.98+(9507/343.15)-(4.11*(log10(s(i))))));

end
for i=1:length(s)
    if t2(i)<=t1(i)
        tppr(i)=t2(i);
    else
        tppr(i)=t1(i);
    end
end
end

%PVC-C
for i=1:length(s)
    t1(i)=(10.^(-109.95-
((21897*(log10(s(i)))/(343.15))+(43702.87/343.15)+(50.74202*(log10(s(i))))
));

end
for i=1:length(s)

    tpvcc(i)=t1(i);
end

%PVDF
for i=1:length(s)
    t1(i)=(10.^(-165.4958-
((36518.7*(log10(s(i)))/(343.15))+(78465.65/343.15)+(57.0467*(log10(s(i))))
));

    t2(i)=(10.^(-23.19426-
((1611.69*(log10(s(i)))/(343.15))+(12100/343.15)-
(0.40473*(log10(s(i))))));

end
for i=1:length(s)
    if t2(i)<t1(i)
        tpvdf(i)=t2(i);
```



```
        else
            tpvdf(i)=t1(i);
        end
    end
end
figure
hold on
grid on
plot(tpel100,s,'r',tpe80,s,'b',tpph,s,'g',tppb,s,'m',tppr,s,'y',tpvcc,s,'k',
tpvdf,s,'c')
legend('PE100','PE80','PP-H','PP-B','PP-R','PVC-C','PVDF')
```

Program pro aplikaci Minerova pravidla na PE100 a PP-H

```
clear all
close all
T30=30+273.15;
T70=70+273.15;
dT=0.01;
s1=4.4;
s2=6.2;

tpe301=(10.^(-20.3159+(9342.693/T30)-(4.5076*(log10(s1)))));
tpe302=(10.^(-38.9375+24482.467/T30)-(38.9789*(log10(s1))));

tpph301=(10.^(-46.364-
(9601.1*(log10(s2))/(T30))+(20381.5/T30)+(15.24*(log10(s2)))));
tpph302=(10.^(-18.387+(8918.5/T30)-(4.1*(log10(s2)))));
if tpe301<tpe302
    tpe30=tpe301;
else
    tpe30=tpe302;
end
if tpph301<tpph302
    tpph30=tpph301;
else
    tpph30=tpph302;
end
roky30=tpph30/(365.25*24)

tpe701=(10.^(-20.3159+(9342.693/T70)-(4.5076*(log10(s1)))));
tpe702=(10.^(-38.9375+24482.467/T70)-(38.9789*(log10(s1))));

tpph701=(10.^(-46.364-
(9601.1*(log10(s2))/(T70))+(20381.5/T70)+(15.24*(log10(s2)))));
tpph702=(10.^(-18.387+(8918.5/T70)-(4.1*(log10(s2)))));

if tpe701<tpe702
    tpe70=tpe701;
else
    tpe70=tpe702;
end

if tpph701<tpph702
    tpph70=tpph701;
else
    tpph70=tpph702;
end

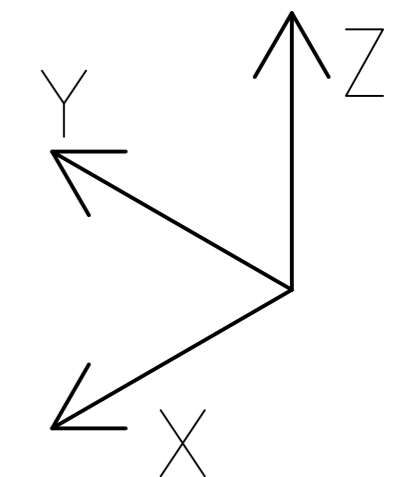
tpvc30=(10.^(-109.95-
((21897*(log10(6.94)))/(T30))+(43702.87/T30)+(50.74202*(log10(6.94)))));
tpvc70=(10.^(-109.95-
((21897*(log10(6.94)))/(T70))+(43702.87/T70)+(50.74202*(log10(6.94)))));
roky70=tpvc70/(365.25*24)
a30=100;
a70=0;
for i=1:201
    tpe(i)=((100*tpe30*tpe70)/((a30*tpe70)+(a70*tpe30)))/(24*365.25);
```

```
tpph(i)=(100*tpph30*tpph70)/((a30*tpph70)+(a70*tpph30))/(24*365.25);

tpvc(i)=(100*tpvc30*tpvc70)/((a30*tpvc70)+(a70*tpvc30))/(24*365.25);
a(i)=a70;
a30=a30-0.5;
a70=a70+0.5;
t10(i)=10;
t20(i)=20;
t30(i)=30;
if tpe(i)<20
    if abs (tpe(i)-20)>=abs(tpe(i-1)-20)
        a20=i-1
    else
        a20=i
    end
end

hold on
plot(a,tpph,'r',a,tpe)
axis([0 100 0 50]);
grid on;
xlabel ('pomerne zastoupeni T=70°C v [%]');
ylabel ('zivotnost [roky]');
legend('PP-H','PE 100');

end
```

LEGENDA :

- PB=PEVNÝ BOD
- KU=KLUZNÉ ULOŽENÍ
- GK=GUMOVÝ KOMPENZÁTOR
- PBS=SVISLÝ PEVNÝ BOD

PŘÍRUBA - NAPOJENÍ NA
STÁVAJÍCÍ KLAPKU KL-VII

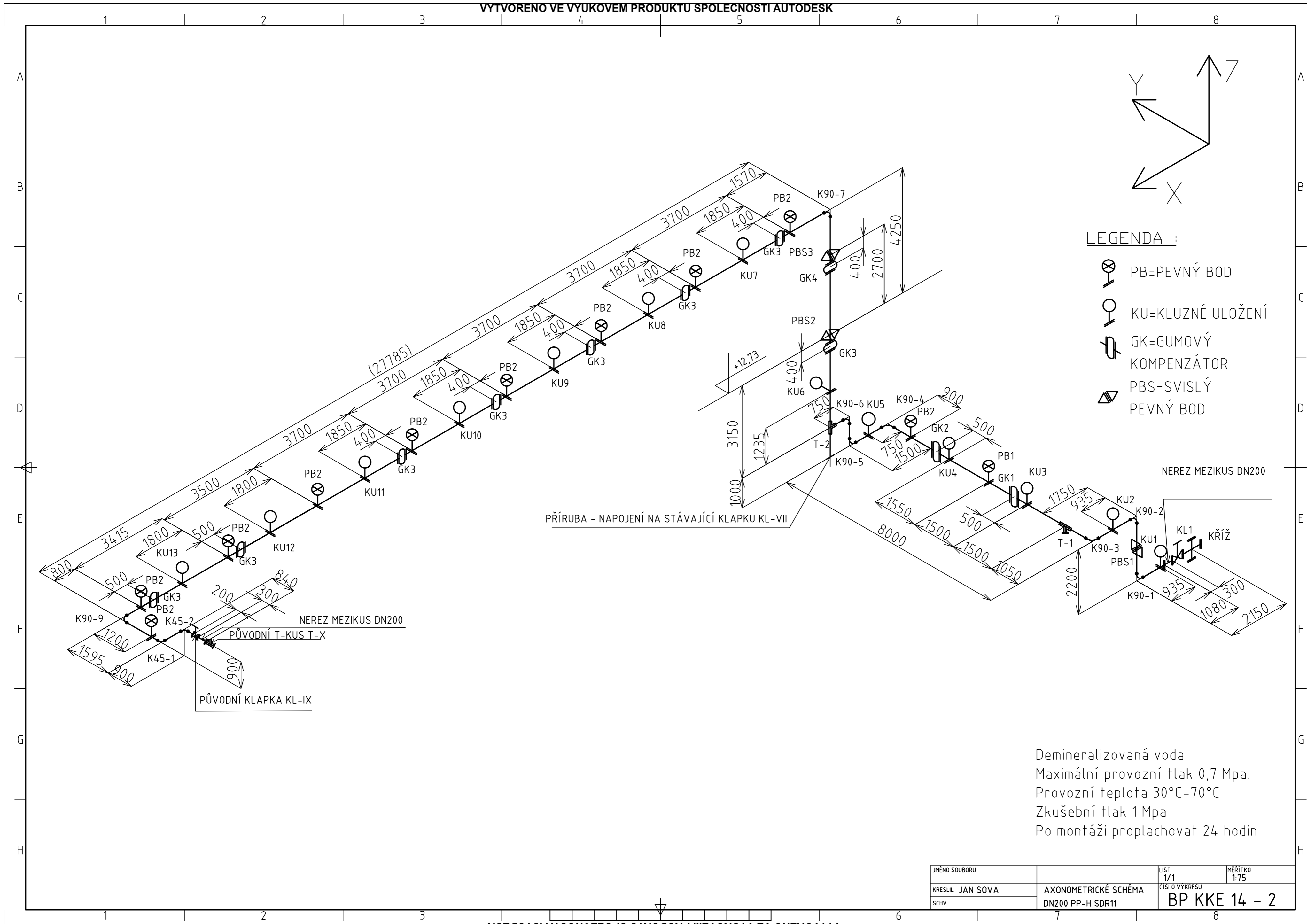
NEREZ MEZIKUS
DN200
KŘÍŽ

Demineralizovaná voda
Maximální provozní tlak 0,7 Mpa.
Provozní teplota 30°C-70°C
Zkušební tlak 1 Mpa
Po montáži proplachovat 24 hodin

JMÉNO SOUBORU	LIST	MÉRÍTKO
KRESLIL Jan Sová	1/1	1:75
SCHV.	CÍSLO VYKRESU	
	AXONOMETRICKÉ SCHÉMA	BP KKE 14 - 1
	DN200 PE100 SDR11	

VYTVOŘENO VE VYUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VYUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK



LEGENDA :

- PB=PEVNÝ BOD
- KU=KLUZNÉ ULOŽENÍ
- GK=GUMOVÝ KOMPENZÁTOR
- PBS=SVISLÝ PEVNÝ BOD

PŘÍRUBA - NAPOJENÍ NA STÁVAJÍCÍ KLAPKU KL-VII

NEREZ MEZIKUS DN200

NEREZ MEZIKUS DN200

PŮVODNÍ T-KUS T-X

PŮVODNÍ KLAPKA KL-IX

Demineralizovaná voda
 Maximální provozní tlak 0,7 Mpa.
 Provozní teplota 30°C-70°C
 Zkušební tlak 1 Mpa
 Po montáži proplachovat 24 hodin

JMÉNO SOUBORU	AXONOMETRICKÉ SCHÉMA	LIST 1/1	MÉRÍTKO 1:75
KRESLIL JAN SOVA	DN200 PP-H SDR11	ČÍSLO VYKRESU	
SCHV.		BP KKE 14 - 2	

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK