

Vysoká škola báňská – Technická univerzita
Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra materiálového inženýrství



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

TECHNICKÉ MATERIÁLY POUŽÍVANÉ V PLYNÁRENSTVÍ V OBLASTI ROZVODU TOPNÝCH PLYNŮ

ENGINEERING MATERIALS USED IN GAS INDUSTRY IN THE AREA
OF HEATING GASES DISTRIBUTION

Vypracoval:

Pavel Peňáz

Author:

Vedoucí práce:

Doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.

Supervisor:

Ostrava

2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra materiálového inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Pavel Peňáz**
Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství
Studijní obor: 3911R036 Progresivní technické materiály
Téma: **Technické materiály používané v plynárenství v oblasti rozvodu topných plynů**
Engineering materials used in gas industry in the area of heating gases distribution

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Historie plynárenství v ČR
2. Používané technické materiály v současnosti v ČR
3. Používané technické materiály v současnosti v zahraničí
4. Degradční mechanizmy materiálů
5. Protikorozní ochrana materiálů
6. Technické a ekonomické posouzení
7. Diskuze, závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] DUCHÁČEK, V.: Polymery–výroba, vlastnosti, zpracování, použití. VŠCHT Praha, Praha, 2006, 278 s.
[2] STRNADEL, B.: Nauka o materiálu II., Degradční procesy a design konstrukčních materiálů, VŠB Ostrava, 1. vyd., Ostrava, 2008, 280 s.
[3] Encyklopedie plynárenství, Informační systém GAS, Praha, 2006.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2016

Datum odevzdání: 17.05.2017

prof. Ing. Vlastimil Vodárek, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm, zarovnání do bloku. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9). Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám.

Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků. Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

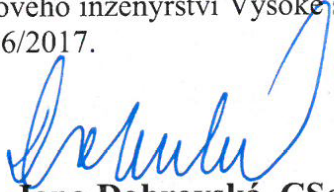
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2016/2017.

Ostrava 2. 11. 2016


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

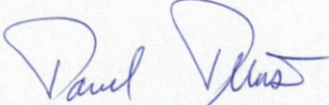
PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 3.5.2014

.....

.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá přehledem materiálů používaných v plynárenství v oblasti rozvodu plynů, určených pro veřejné zásobování, jejich vlastnostmi a charakteristikou materiálů včetně jejich použití pro různé tlakové aplikace.

Předmětem a cílem této bakalářské práce je provést analýzu vývoje technických materiálů používaných v plynárenství ČR v oblasti trubních materiálů, určených k rozvodu topných plynů od historie do současnosti, popsat vlastnosti jednotlivých materiálů, jejich výhody a nevýhody, popsat druhy provozní degradace a ochranu v případě nejvýznamnější degradace, a to koroze ocelových materiálů, provést základní porovnání se stavem používaných materiálů v zahraničí, provedení technického a ekonomického srovnání stěžejních materiálů, používaných pro rozvody plynu, a to materiálů ocelových a plastových s ohledem na jejich použití v současné praxi. Tato práce se zabývá sektorem tzv. veřejných nízkotlakých, středotlakých a vysokotlakých plynovodů.

Klíčová slova

plynovod, ocelové materiály, plastové materiály, distribuční a přepravní soustava

Abstrakt

This bachelor thesis deals with the overview of materials used in the gas distribution sector for public supply, their properties and characteristics of materials including their use for various pressure applications.

The subject and aim of this bachelor thesis is to analyze the development of technical materials used in the Czech gas industry in the field of pipe materials designed to distribute heating gases from history to present, to describe the properties of individual materials, their advantages and disadvantages, to describe the types of operational degradation and protection in the case of the most significant degradation and it means corrosion of steel materials, to make basic comparison with the state of the materials used abroad, technical and economic comparison of the basic materials used for gas distribution, steel and plastic materials with regard to their application in current practice. This thesis deals with the sector of so-called public low-pressure, medium-pressure and high-pressure gas pipelines.

Key words

gas pipeline, steel materials, plastic materials, distribution and transmission system

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mi byli nápomocni při tvorbě této bakalářské práce. Poděkování patří především mému vedoucímu, Doc. Ing. Petru Jonštovi, Ph.D. za podnětné rady a připomínky.

OBSAH

Úvod.....	3
1 Historie českého plynárenství	3
1.1 Historie používání a definice topných plynů	4
1.2 Historie používaných materiálů v oblasti rozvodu plynů	5
1.2.1 Kovové materiály	5
1.2.1.1 Litina a ocel	5
1.2.2 Nekovové materiály	6
1.2.2.1 Azbestocement	6
1.2.2.2 Plastové materiály.....	6
1.2.2.3 Kompozitní materiály.....	9
2 Technické materiály v oblasti rozvodu plynů v současnosti v ČR	11
2.1 Technické předpisy pro oblast rozvodu plynů a vymezení základních pojmů.....	11
2.2 Rozdělení plynovodů dle provozního tlaku a účelu.....	11
2.3 Rozdělení plynovodů dle provozního tlaku a použitého materiálu.....	12
2.4 Vlastnosti a charakteristika kovových materiálů	12
2.4.1 Základní požadavky na ocelové trubní materiály a bezpečnost plynovodů	13
2.4.1.1 Chemické složení.....	14
2.4.1.2 Struktura a vlastnosti používaných ocelí	14
2.4.1.3 Tepelné zpracování a vlastnosti ocelí	14
2.4.1.4 Mechanické vlastnosti.....	15
2.4.1.5 Výrobní a technologické vlivy	16
2.4.1.6 Provozní zatížení plynovodů	18
2.4.2 Požadavky provozovatele distribuční a přepravní soustavy pro ocelové plynovody ...	18
2.4.2.1 Rozdělení plynovodů do skupin a podskupin	18
2.4.2.2 Požadavky na výstavbu, rekonstrukce a opravy místních (NTL, STL) sítí	19
2.4.2.3 Požadavky na výstavbu, rekonstrukce a opravy VTL plynovodů	19
2.5 Vlastnosti a charakteristika plastových materiálů	21
2.5.1 Rozdělení plastů.....	22
2.5.2 Dělení polymerů do skupin	23
2.5.3 Struktura polymeru	23
2.5.4 Fázový stav polymerů	23
2.5.5 Složení plastů	23
2.5.6 Mechanické vlastnosti a vybrané předepsané zkoušky plastů	24

2.5.7	Jednotlivé typy polyetylenů používaných v současnosti pro trubní rozvody plynu a jejich charakteristika	26
2.5.7.2	Trubky PE-HD 100 s ochranným pláštěm PP	26
2.5.7.3	Trubky PE-HD 100 s ochrannou vrstvou PE 100 RC	28
2.5.7.4	Trubky PE-X	28
2.5.7.5	Barevné značení trubek	29
2.5.8	Požadavky provozovatele distribuční soustavy pro plastové plynovody	30
2.5.8.1	NTL, STL plynovody a přípojky (místní sítě)	30
3	Používané technické materiály v oblasti rozvodu plynů v současnosti v zahraničí	31
3.1	Evropa	31
3.2	Severní Amerika	31
3.3	Austrálie	32
4	Degradační procesy jednotlivých materiálů během provozu	33
4.1	Degradační procesy ocelových materiálů	33
4.1.1	Koroze a základní druhy korozního napadení	33
4.1.3	Korozní praskání a korozní únava	33
4.1.4	Erozivní opotřebení	34
4.1.5	Únavové poškození	34
4.2	Degradační procesy plastových materiálů	34
5	Protikorozní ochrana ocelových materiálů	35
5.1	Pasivní ochrana	35
5.1.1	Tovární izolace trub	36
5.1.1.1	Asfaltové izolace	36
5.1.1.2	Plastové izolace	36
5.2	Aktivní ochrana	37
5.2.1	Elektrochemická ochrana	37
5.2.2	Princip katodické ochrany	37
6	Technické a ekonomické posouzení	38
6.1	Srovnání technických parametrů	38
6.2	Srovnání ekonomických parametrů	39
7	Závěr	41
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	43

Úvod

Předmětem a cílem této bakalářské práce je provést analýzu vývoje technických materiálů používaných v plynárenství ČR v oblasti trubních materiálů, určených k rozvodu topných plynů od historie do současnosti, popsat vlastnosti jednotlivých materiálů, jejich výhody a nevýhody, popsat druhy provozní degradace a ochranu v případě nejvýznamnější degradace a to koroze ocelových materiálů, provedení technického a ekonomického srovnání stěžejních materiálů, používaných pro rozvody plynu a to materiálů ocelových a plastových s ohledem na jejich použití v současné praxi a stručné porovnání se stavem v zahraničí v použití materiálů pro rozvody plynu.

Tato práce se zabývá sektorem tzv. veřejných plynovodů, provozovaných v tlakové hladině nízkotlakých (NTL), středotlakých (STL) a vysokotlakých (VTL) plynovodů, určených pro veřejné zásobování.

V plynárenství obecně, rozvody plynu nevyjímaje, mají používané technické materiály stěžejní důležitost pro zajištění bezpečného a spolehlivého provozu plynárenských zařízení. Rozvody plynů z charakteru jejich použití představují vyšší míru ohrožení pro společnost, tudíž jsou zařazeny mezi tzv. vyhrazená technická zařízení, respektive vyhrazená plynová zařízení a podléhají dle platné legislativy pod dohled Státního odborného dozoru ČR.

Vzhledem k omezenému rozsahu práce a současně ze široka zvolenému tématu a obsahu práce, jsou některé kapitoly a podkapitoly zpracovány stručněji, než by si jistě zasloužily, ale vždy se snahou zachování srozumitelnosti daného tématu.

1 Historie českého plynárenství

První zmínka použití svítíplynu v Čechách a to jednotlivcem se datuje již k roku 1815, kdy osvětlení své kanceláře uhelným svítíplynem zavedl jakýsi Mebold ve Vrchlabí. V roce 1818 v časopise Hlasatel, vydávaném profesorem češtiny na pražské univerzitě J. Nejedlým, bylo v článku J.V. Sedláčka poprvé použito v českém jazyce slovo „plyn“.

Počátky českého plynárenství se datují do první poloviny 19. století, přesněji do roku 1844, kdy byla mezi obcí pražskou a Vratislavskou plynárenskou společností uzavřena smlouva na výstavbu plynárny v Praze, která byla uvedena do provozu v roce 1847 v Karlíně, tehdy v předměstské obci Prahy.

Výroba svítíplynu, která byla v tehdejší době orientována prakticky pouze na osvětlování, byla založena na karbonizaci černého uhlí. Na konci 19. století však začala plynovému osvětlení bytů i ulic konkurovat elektrická energie, nicméně plyn se již používal i k jiným účelům než k osvětlování, tudíž byla otevřena další cesta k rozvoji výroby a použití svítíplynu. V 19. století a první polovině 20. století bylo hlavním úkolem plynáren vyrobít svítíplyn. Díky zvyšující se poptávce po svítíplynu, který se čím dál více používal k různým průmyslovým účelům, v potravinářství apod., se postupně budovaly v českých zemích plynárny, jejíž výroba byla stále ještě založena na karbonizaci černého uhlí.

Velký rozmach plynárenství na celém světě i u nás nastal až po druhé světové válce. V této době se taktéž začíná mohutně rozvíjet těžba, dálková doprava a spotřeba zemního plynu. Souběžně s rozvojem výroby svítíplynu a těžby zemního plynu se po druhé světové válce rozšiřuje mohutným tempem také výroba a použití zkapalněného topného plynu propan-butanu, který začal být používán také jako dočasný zdroj tepelné energie před zavedením dálkového svítíplynu nebo zemního plynu v průmyslových podnicích i na sídlištích.

Jedním z rozhodujících způsobů výroby svítíplynu, používaným v závěrečné etapě svítíplynové éry byla výroba plynu katalytickým štěpením kapalných nebo plynných uhlovodíků (benzínu, propan-butanu, zemního plynu).

Zemní plyn byl zpočátku používán z vlastních zdrojů např. na severní Moravě, kde se jednalo o zemní plyn karbonový z důlní degazace. V roce 1953 bylo započato s výstavbou dálkovodů na zemní plyn. V letech 1965–1966 vybuďoval Plynostav Pardubice 790 km dlouhý plynovod propojující plynovodní systémy bývalého Sovětského svazu a Československa a v r. 1967 byl uveden do provozu náš první mezistátní plynovod Bratrství a zahájeny dodávky zemního plynu ze Sovětského svazu.

Koncem 60. let 20. století začal zásadní přechod plynárenství z výroby, rozvodu a využívání svítíplynu na dopravu, rozvod a přímé využívání plynu zemního. První záměna svítíplynu zemním plynem v Československu byla provedena v roce 1951 v Českém Těšíně, zemní plyn byl karbonského původu. Posledním místem v České republice, převedeným ze svítíplynu na zemní plyn, byla severočeská Bílina a v červnu roku 1996 ukončila výrobu svítíplynu poslední plynárna v českých zemích – tlaková plynárna Vřesová na Sokolovsku. Odstavením této největší plynárny u nás z provozu skončila definitivně po 149 letech výroba svítíplynu v českých zemích [1-3].

1.1 Historie používání a definice topných plynů

Jak bylo uvedeno výše, prvním v širším měřítku používaným topným plynem byl svítíplyn. Jeho hlavní použití spočívalo v oblasti osvětlování městských ulic a budov, později po stagnaci plynárenství díky rozvoji průmyslové výroby elektrické energie se využíval pro přípravu jídel v domácnostech, ohřevu užitkové vody a pro průmyslové účely jako otop pecí, sušáren a kotlů. Začátkem padesátých let postupně docházelo k přímému využití zemního plynu. Z počátku šlo o dodávky zemního plynu z ložisek na našem území na Moravě, na které později navázaly dodávky zemního plynu z tehdejšího Sovětského Svazu.

V současném plynárenství u nás i ve světě má dominantní postavení zemní plyn, jehož charakteristickým znakem je vysoký obsah methanu (CH_4), který vysoce převažuje nad jinými hořlavými složkami.

Topné plyny patří mezi látky označované jako paliva. Základní definice paliv říká, že se jedná o látky, které jsou schopny uvolňovat technicky využitelné teplo za ekonomicky a ekologicky přijatelných podmínek. U topných plynů se dále předpokládá, že jde o látky, které jsou za běžných podmínek (atmosférickém tlaku a 20 °C) plynné.

Z hlediska původu je rozdělujeme na primární paliva (fosilní), která se získává přímo z primárních nalezišť a lze je bez přeměny chemického složení přímo využít a nebo sekundární paliva, která se získává zušlechťovacími procesy z primárních zdrojů s cílem získání vyšší konečné využitelnosti. Jako primární plynná paliva označujeme zemní plyn, případně důlní plyny doprovázející uhlí. Mezi sekundární plynná paliva zařazujeme svítiplyn, koksárenský plyn, generátorové plyny, rafinérské plyny, bioplyn, vodík a další [4].

1.2 Historie používaných materiálů v oblasti rozvodu plynů

1.2.1 Kovové materiály

1.2.1.1 Litina a ocel

Od počátku plynárenství u nás byla po dlouhá desetiletí nejvhodnějším trubním materiálem pro výstavbu plynovodů litina, respektive z ní vyrobené litinové hrdlové trubky (obr. 1), které se pro zvýšení odolnosti proti korozi namáčely do asfaltu. Litinové plynovody ve své době vydržely několik desítek let a uchovaly si i potřebnou těsnost spojů, protože v minulosti v ulicích nejezdily těžké nákladní automobily, které později způsobovaly v důsledku značných otřesů půdy porušení hrdlových spojů, které byly utěsněny olovem, cementem nebo azbestocementem. Litinové trubky byly sice ekonomicky příznivější a měly lepší protikorozní odolnost než ocelové trubky, ale s nárůstem povrchové dopravy a měrného zatížení vozovek stále těžšími vozidly, začaly svou povahou poměrně křehké a ve spojích jen temované litinové plynovody být pro časté mechanické poškození a netěsnosti spojů neúnosné. V čtyřicátých letech minulého století se městské plynovody stavěly ještě jak z litinových trubek, tak i z ocelových trubek, které byly opatřeny proti korozi asfaltovým nátěrem a následným omotáním tkaninou (jutou), namočenou do asfaltu. Litinové trubky měly přednost v místech, kde se předpokládal větší vliv koroze a ocelové trubky zase v oblastech, kde hrozilo sesedání a pohyb půdy (např. v oblastech s těžbou uhlí). Mostní vedení se také doporučovalo provést v oceli, jelikož litinová mostní vedení musela být zabezpečena proti škodlivému vlivu průhybu mostu.

Obecně se litina a ocel, označované jako slitiny železa především s uhlíkem a dalšími prvky, rozlišují podle obsahu uhlíku, kdy obsah uhlíku v oceli činí do 2,14 % a v litině nad 2,14 % uhlíku. Vyšší obsah uhlíku v litině je důvodem i vyšší křehkosti materiálu.

V padesátých letech minulého století byly litinové trubky na ústupu a městské plynovody se stavěly již převážně z ocelových trubek. Ocelové potrubí vykazovalo příznivější vlastnosti pro stavbu plynovodů, bylo daleko pružnější, lehčí a pevnější než křehčí potrubí litinové. Rozsáhlá výstavba plynovodů z oceli byla umožněna především po vynalezení autogenního řezání v roce 1901 a sváření kovů v roce 1905. V roce 1926 bylo u nás poprvé položeno ocelové potrubí se svařovanými hrdly a to v Jablonci.



Obr. 1: Temovaný hrdlový spoj litinového potrubí [7]

V témže roce bylo položeno ocelové potrubí také v Praze. První dálkový ocelový vysokotlaký plynovod u nás Chrudim–Pardubice–Rybitví s provozním tlakem do 10 bar a délce 16,7 km byl vybudován v roce 1941 [3, 5-7].

1.2.2 Nekovové materiály

1.2.2.1 Azbestocement

Ocelové plynovody se však také nejevily jako nejlepší řešení pro provoz místních plynárenských sítí. Ocelové trubky s tehdy nepřilíš odolnou a často i nekvalitně provedenou nebo provozem poškozenou izolací byly napadány korozi. Problémy s litinovými a ocelovými plynovody vedly k hledání jiných, vhodnějších materiálů pro výrobu plynového potrubí místních sítí a to materiálů nekovových. Azbestocementovými plynovody se začalo zabývat u nás v padesátých letech minulého století. V roce 1955 Berounské eternitové závody rozšířily výrobu azbestocementových trub i o trubky pro plynárenské účely. Vyráběly se lisováním homogenní směsi cementu a azbestových vláken s vodou, v délkách 3 až 4 m a v průměrech od 50 do 500 mm. Konce trub se spojovaly Gibaultovými spojkami. Pro zvýšení těsnosti byly trubky opatřovány vnitřním nátěrem Inertolu. Výhodou azbestocementových plynovodů byla jejich nízká cena, malá hmotnost, snadná opracovatelnost (bylo je možno snadno řezat pilkou, vrtat apod.) a především pak jejich odolnost proti korozi. Již v prvním roce výroby plynových azbestocementových trub byly z tohoto materiálu postaveny nízkotlaké plynovody v Jihlavě, Lanškrouně a Olomouci. V roce 1956 byl postaven azbestocementový plynovod v Chodově u Prahy a následovala místa další. Přes počáteční optimismus se azbestocementové plynovody neosvědčily. Byly poměrně křehké a nehodily se proto vůbec do ulic s živější povrchovou dopravou. Rovněž spoje plynovodů vykazovaly časté netěsnosti. Definitivní konec azbestocementových plynovodů znamenala záměna svítíplynu zemním plynem, kdy v rámci přípravy plynárenských sítí na nové médium byly všechny azbestocementové plynovody ze země vyjmuty a nahrazeny plynovody z oceli. Dnes by byly nepřijatelné i z důvodu známých karcinogenních účinků osinkových vláken na lidský organismus [7].

1.2.2.2 Plastové materiály

Pro použití v plynárenství byla se střídavými úspěchy zkoušena řada plastů. Pro jejich použití mluvila jejich korozní odolnost vzhledem k ocelovému potrubí, proti mluvila menší mechanická pevnost plastových materiálů. V neposlední řadě rozhodovala o spolehlivosti plastového potrubního rozvodu i spojovací technika a dodržování zásad správného ukládání s ohledem na posuzování z hlediska používání oceli.

Začátkem šedesátých let bylo v ČSSR experimentálně položeno několik přípojek z lineárního polyetylenu PE 63 (MRS 6,3) a z polyvinylchloridu (PVC). Po několika letech došlo k zhodnocení provozu a bylo konstatováno, že potrubí z polyetylenu bude použito i pro rozsáhlejší stavby.

Hlavním důvodem od ustoupení použití trubek z polyvinylchloridu byla citlivost PVC na chemické složení dopravovaného plynu a doprovodných látek (např. benzol, naftalen), nebo také odorizačních prostředků ve zvýšených koncentracích, které způsobovaly korozi za napětí, jejímž výsledkem byly trhlinky v povrchu potrubí, při současném působení provozních napětí. Další nevýhodou PVC byla také jeho značná tuhost, která neumožnila navinování trubek do kruhových svazků a v neposlední řadě i omezení, co se týče maximálního provozního tlaku, který činil pouze 0,1 MPa v porovnání až 0,3 MPa u polyetyleny (později až 0,4 MPa), což umožňuje pro stejné přepravované množství plynu použít menších průměrů.

První celistvá stavba z lineárního polyetyleny se v ČSSR začala realizovat během měsíce srpna v roce 1968 v městě Studénka poblíž Nového Jičína. Bylo zde položeno v rámci výstavby nízkotlaké místní sítě 620 m potrubí, z toho 218 m přípojek. Pro páteřní plynovody bylo použito dimenze d_n 110 mm a pro přípojky d_n 63 mm. Vše z materiálu Hostalen GM 5010 ve středně těžké řadě. Po vyhodnocení stavby ve Studénce bylo konstatováno, že použití potrubí z plastů pro dopravu plynu má celou řadu výhod oproti stavbám standardně realizovaným ze svařovaných ocelových trubek.

Sedmdesátá léta, zejména jejich druhá polovina, byla ve znamení nástupu lineárního polyetyleny pro rozvody místních sítí na území celého Československa. Významnou měrou se



Obr. 2: LITEN PL 10 vyjmutý ze země při rekonstrukci (foto autor)

o tento stav přičinily CHZ Litvínov, které zahájily výrobu tuzemského lineárního polyetyleny DGDJ 2467 dle licence firmy Union Carbide Corporation pod označením LITEN PL 10 (obr. 2). Potrubí a vstřikované tvarovky černé barvy byly vyráběny v podniku Plastika Nitra, která se stala až do roku 1989 jediným domácím výrobcem. V letech 1968 – 1989 bylo na území Československa postaveno cca 1100 km převážně nízkotlakých sítí. Rovněž byly zrealizovány z lineárního polyetyleny první stavby v tlakové hladině 0,1 MPa.

Novou etapou lze označit období počínaje rokem 1989, kdy byl dánskou společností DANCCO, ltd. ve spolupráci se Severomoravskými plynárnami otevřen nový závod na výrobu plastového potrubí ve městě Havířov v prostorách místního závodu na výrobu svítiplynu.



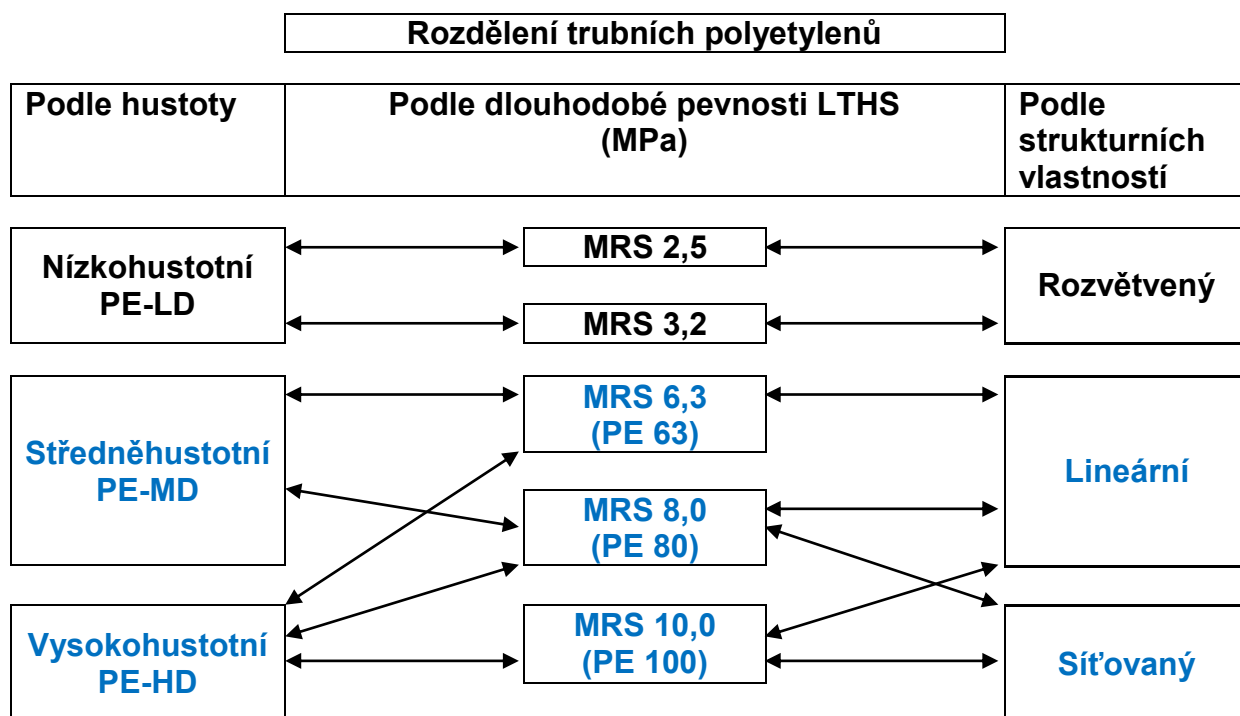
Obr. 3: LITEN GL 10 vyjmutý ze země při rekonstrukci (foto autor)

Pro výrobu potrubí bylo použito nového typu granulátu z CHZ Litvínov pod označením LITEN GL 10 (obr. 3). Uvedený granulát druhé generace byl po proměření tlakové isotermy klasifikován jako PE 80. Výroba probíhala v souladu s normou ČSN 64 3041 (Rúry a tvarovky z polyethylenu), která platila pro výrobu PE potrubí a tvarovek od roku 1981. Nejen však zahájení výroby potrubí v Havířově, ale i celospolečenské změny nastartovaly nové možnosti v oblasti

výstavby plynovodů. Zlepšila se dostupnost nových materiálů a technologií pro pokládku a svařování PE potrubí. Nelze opomenout v oblasti předpisů pro výrobu a zkoušení trubek a tvarovek vydání normy ČSN 64 3042 „Trubky a tvarovky z polyetylenu (PE) pro rozvod topných plynů uložených v zemi“, vydané 1.3.1994, která nahradila již zmíněnou normu ČSN 64 3041. Tato norma byla určena pro trubky a tvarovky pro rozvod topných plynů do provozního přetlaku 0,4 MPa a její platnost byla ukončena nástupem evropských norem řady ČSN EN 1555, vydaných 1.9.2003. Trubky z PE 80 byly žluté nebo černé barvy. Trubky černé barvy byly označeny podélnými koextrudovanými žlutými pruhy, rovnoměrně rozloženými po obvodu trubky. Na potrubí bylo uvedeno PE 80 nebo MRS 8.

Kolem roku 2000 se v českém plynárenství prosadil nový materiál PE 100. Potrubí z materiálu PE 100, v porovnání s dosud používaným materiálem PE 80, se vyznačuje lepšími užitnými vlastnostmi a to zejména vyšší hustotou materiálu, která se pozitivně odráží ve vyšší mechanické pevnosti a odolnosti proti rychlému šíření trhliny. Mimo jiné i z tohoto důvodu je možnost použít pro rozvod plynu v tlakové hladině 0,4 MPa potrubí středně těžké řady SDR 17,6 při zachování koeficientu bezpečnosti C min. 2,5 (viz. TPG 702 01). Základním důvodem pro přechod na výše uvedený materiál PE 100 byly zejména důvody ekonomické. Při zachování stejných parametrů a užitných vlastností, jako u PE 80, je možno použít levnějších trubek a tvarovek. Rozdíl ceny je dán úsporou materiálu, vyplývající z rozdílů tloušťky stěny e_n SDR 11 oproti SDR 17,6 při zachování vnějšího průměru (d_n). Trubky z PE 100 jsou barvy černé s oranžovými pruhy nebo celooranžové s označením PE 100 [8, 9].

Vývojové generace trubních typů polyetylenů jsou schematicky znázorněny na následujícím obrázku (obr. 4).



Obr. 4: Schematické znázornění vývojových typů trubních polyetylenů, typy použité v plynárenství jsou vyznačeny modře [8]

Charakteristika 1. generace polyetylenů :

Lineární, vysokohustotní polyetyleny s malým podílem kopolymerní fáze, nízký obsah krátkých bočních větví, vysoká pevnost v tahu, špatná odolnost proti pomalému šíření trhliny SCP, špatná odolnost proti rychlému šíření trhliny RCP. Označení trubky PE 63.

Charakteristika 2. generace polyetylenů :



Lineární, středněhustotní polyetyleny s velkým podílem kopolymerní fáze, vysoký obsah krátkých bočních větví, střední pevnost v tahu, výborná odolnost proti pomalému šíření trhliny SCP, dobrá odolnost proti rychlému šíření trhliny RCP. Označení trubky PE 80 (obr. 5) žluté barvy německé produkce, hojně používané v ČR v 90. letech.

Obr. 5: Označení trubky PE 80 žluté barvy německé firmy UPONOR z 90. let (foto autor)

Charakteristika 3. generace polyetylenů (bimodální polyetyleny) :

Lineární, vysokohustotní polyetyleny s řízeným podílem kopolymerní fáze, vysoký obsah krátkých bočních větví na dlouhých řetězcích, vysoká pevnost v tahu, výborná odolnost proti šíření trhliny SCP a RCP. Označení trubky PE 100 (obr. 6) současné české produkce.



Obr. 6: Označení trubky PE 100 firmy Gascontrol Plast (foto autor)

Velmi dobré vlastnosti materiálu PE 100 pramení z tzv. bimodálního složení polymeru, který vykazuje poměrně široké distribuce molekulové hmotnosti, s relativně vysokým podílem dlouhých polymerních řetězců, které propůjčují polymeru houževnatost, ale i řetězců krátkých, jež mu dávají zase dobrou ohebnost. Množství řetězců se střední délkou je uměle potlačeno.

Výhody jsou vyšší přenosová kapacita potrubí z důvodů možnosti použití pro rozvody plynu do přetlaku 0,4 MPa v středně těžké řadě (SDR 17,6) namísto těžké řady (SDR 11). Snížení hmotnosti umožňuje lepší manipulaci, vyšší bezpečnost potrubí, zkrácení časů při svařování, odolnost proti vrypům do potrubí s ohledem na jeho vyšší pevnost a houževnatost a minimálně poklesla i pravděpodobnost vzniku rychlého i pomalého šíření trhlin na nově pokládaném potrubí, v neposlední řadě i nižší finanční náklady na vlastní potrubí [8, 10].

1.2.2.3 Kompozitní materiály

Pro úplnost přehledu použitých technických materiálů je potřeba se zmínit i o kompozitním materiálu s polymerní maticí a to o sklolaminátech. Za sklolaminátové potrubí se označuje potrubí vyrobené z polymerů, zpevněných skleněnými vlákny. Sklolaminátové potrubí bylo původně vyvinuto ke tlakové dopravě chemicky agresivních médií a v zahraničí se uplatnilo v průmyslu těžby a zpracování ropy a zemního plynu. V České republice bylo používáno převážně jako vysokotlaké sběrné ropovody pro přepravu

surové ropy. Pro rozvod zemního plynu byl využit poprvé v roce 1997 společností Moravské naftové doly a.s. pro VVTL přípojku, určenou k těžbě zemního plynu z důvodu možnosti výskytu bludných proudů v dané oblasti. V roce 1999 byl použit i společností Jihomoravská plynárenská a.s. ve vysokotlaké aplikaci při řešení složité lokální korozní situace v Brně, díky své odolnosti proti korozi způsobované bludnými proudy.

Pro tlakové potrubí se jako výhodnější pojivo skleněných vláken používá epoxidová pryskyřice, tvrzená alifatickým aminem a to vzhledem k lepší adhezi epoxidové pryskyřice ke skleněnému vláknu, větší rychlosti síťovací reakce (vytvrzování) a také pro vyšší výslednou hustotu sítě (vyšší koncentrace příčných vazeb) než při použití polyesterové pryskyřice.

Pro vysokotlaké aplikace jsou vhodnější sklolaminátová potrubí (obr. 7), zpevněná navíjením nekonečných impregnovaných vláken a to pro vyšší hodnoty dlouhodobé hydrostatické pevnosti než potrubí, vyrobené odstředivým litím, kdy zpevnění materiálu závisí na nahodilé orientaci krátkých vláken.



Obr. 7: Sklolaminátové potrubí STAR DN 200 PN 25 [12]

Výhody sklolaminátového potrubí v oblasti rozvodu plynu jsou elektrická nevodivost a odolnost vůči korozi všech forem (uvnitř i vně potrubí) včetně koroze, způsobené bludnými proudy, tudíž žádná opatření k ochraně proti korozi (odpadají náklady na provoz aktivní ochrany), snadná a rychlá montáž, příznivá cena, chemická i teplotní stálost, dlouhodobá odolnost provoznímu tlaku až 13 MPa, nevýhody se spatřují v nedořešeném způsobu provádění odboček případně oprav za provozu (pod tlakem), v citlivosti na porušení díky křehkosti materiálu (nižší odolnost

proti rázu) a také v neohebnosti trubek.

Nicméně v některých případech se jeví použití laminátových potrubí pro rozvody plynu jako výhodné. Jedná se zejména o lokality, kde není technicky dostupná ochrana ocelových potrubí proti bludným proudům a současně přepravní kapacita plynovodu vyžaduje VTL nebo VVTL plynovod.

I přes zjevné výhody těchto materiálů se sklolaminátové trubky v plynárenství u nás zatím neujaly, použití v oblasti chemického průmyslu je v ČR celkem běžné, použití v plynárenství zatím spíše ojedinělé, přestože jejich problematika pro rozvod plynu byla zpracována v technickém předpisu TD 701 02 již v roce 1999. Důvodem byly především nedostatečná vybavenost plynárenských společností potřebnou technikou a školenými pracovníky a výše zmíněné související komplikace při řešení odboček a případných oprav potrubí pod tlakem plynu. Tudíž ani v současnosti nejsou tyto trubní materiály začleněny v technickém předpisu, a to „Technickém požadavku“ provozovatele přepravní a distribuční soustavy pro projektování a výstavbu plynovodů pro rozvod zemního plynu [10-12].

2 Technické materiály v oblasti rozvodu plynů v současnosti v ČR

2.1 Technické předpisy pro oblast rozvodu plynů a vymezení základních pojmů

Kromě stěžejních právních předpisů pro obor plynových zařízení jako jsou např. Energetický zákon č. 458/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů nebo zákon č. 174/1968 Sb. o státním odborném dozoru nad bezpečností práce, v platném znění a souvisejících vyhlášek č. 85/1978 Sb. o kontrolách, revizích a zkouškách plynových zařízení a č. 21/1979 Sb., kterou se určují vyhrazená plynová zařízení, v platném znění, se v České republice pro splnění konkrétních technických požadavků používají nejen české a převzaté technické normy ČSN (EN, ISO), ale i předpisy profesní tzv. „pravidla správné praxe“. V oboru plynových zařízení jsou těmito „pravidly správné praxe“ Technická pravidla G (TPG), Technická doporučení G (TDG) a Technické instrukce (TIN), které vydává Český plynárenský svaz. Tyto české technické normy a Technická pravidla pro projektování a výstavbu plynovodů navíc doplňují tzv. „Technické požadavky“ majitele a provozovatele veřejných plynovodů v ČR společnosti GasNet (člen skupiny Innogy), které v zásadě vycházejí z požadavků příslušných českých technických norem a pravidel správné praxe, ale doplňují je o své specifické požadavky.

Plynárenským zařízením se rozumí veškerá plynová zařízení s výjimkou odběrných plynových zařízení.

Plynovod je soustava potrubí včetně kompletačních prvků, která zahrnuje také příslušenství plynovodů.

Plynovod slouží jako zařízení k potrubní dopravě plynu přepravní nebo distribuční soustavou a přímé a těžební plynovody.

Přepravní soustava je vzájemně propojený soubor vysokotlakých plynovodů o provozním tlaku nad 4,0 MPa, kompresních stanic a souvisejících technologických objektů.

Distribuční soustava je vzájemně propojený soubor vysokotlakých plynovodů o provozním tlaku do 4,0 MPa, středotlakých a nízkotlakých plynovodů, plynovodních přípojek ve vlastnictví provozovatele distribuční soustavy a souvisejících technologických objektů [13].

2.2 Rozdělení plynovodů dle provozního tlaku a účelu

Doprava plynu potrubím plynovodů se děje pomocí přetlaku. Podle velikosti přetlaku (dále jen tlaku), kterým se plyn dopravuje, rozdělujeme plynovody na:

- ❖ Nízkotlaké (NTL), s provozním tlakem do 0,005 MPa (5 kPa)
- ❖ Středotlaké (STL), s provozním tlakem nad 0,005 až do 0,4 MPa (nad 5 až do 400 kPa)
- ❖ Vysokotlaké (VTL), s provozním tlakem nad 0,4 až do 4 MPa
- ❖ Velmi vysokotlaké (VVTL), s provozním tlakem nad 4 až do 10 MPa

Nízkotlaké plynovody slouží k místní dopravě plynu ve městech a obcích pro maloodběratele (především domácnosti) i velkoodběratele (především v průmyslu).

Středotlaké plynovody slouží také k místní dopravě plynu ve městech a obcích pro maloodběratele (především domácnosti) a velkoodběratele (především v průmyslu).

Vysokotlaké plynovody, označované také jako dálkové, slouží k vnitrostátní dálkové dopravě plynu do gazifikovaných měst a obcí v republice a k přímým průmyslovým velkoodběratelům. Přímo ve městech se však smějí vysokotlaké plynovody používat jen za zvláštních podmínek.

Velmi vysokotlaké plynovody, označované také jako tranzitní, slouží k dálkové dopravě zemního plynu na velké vzdálenosti, zpravidla z jedné země do jiných zemí. Českou republikou například prochází tranzitní plynovod, kterým se dopravuje zemní plyn z oblasti těžby v Rusku do zemí západní Evropy. Z tohoto plynovodu odebírá ČR značnou část plynu pro svou potřebu [2].

2.3 Rozdělení plynovodů dle provozního tlaku a použitého materiálu

Základní rozdělení používaných materiálů pro plynovody v závislosti na provozním tlaku:

- ❖ Nízkotlaké – plast, ocel
- ❖ Středotlaké – plast, ocel
- ❖ Vysokotlaké – ocel
- ❖ Velmi vysokotlaké – ocel [2].

2.4 Vlastnosti a charakteristika kovových materiálů

Vlastnosti materiálů jsou dány jeho vnitřní stavbou – strukturou materiálu, která závisí kromě chemického složení, vlastností atomů a molekul, také na technologii výroby a zpracování materiálu. Pokud se změní technologie výroby nebo zpracování materiálu, může se ovlivnit změna struktury a tím i jeho vlastnosti. Vlastnosti materiálu jsou rozděleny do čtyř základních skupin na chemické, fyzikální, mechanické a technologické.

Jako zástupce chemických vlastností u kovů lze uvést odolnost proti korozi, zástupce fyzikálních vlastností např. elektrická a tepelná vodivost, magnetické vlastnosti atd. Co se týče mechanických vlastností, nejsou zcela jednoznačné, jelikož kovy mohou být měkké i pevné, houževnaté i docela křehké, jejich zástupcem je pružnost a pevnost. Nejdůležitější technologické vlastnosti zastupují tvárnost, kujnost, obrobitelnost a svařitelnost.

Mechanické vlastnosti kovů jsou nejčastěji deklarovány materiálovými charakteristikami, získanými při tahové zkoušce. Základní pevnostní vlastnosti jsou mez pružnosti (mez kluzu) – R_e nebo $R_{p0,2}$ a mez pevnosti – R_m . Mez pružnosti (mez kluzu) R_e je maximální napětí, do něhož se materiál deformuje elasticky (vratně), mez pevnosti R_m je maximální napětí, které je materiál schopen přenášet bez vzniku defektů. Plastické vlastnosti kovů charakterizuje tažnost A , což je poměrné prodloužení při lomu. Tažnost je spjata s houževnatostí, materiál s větší tažností se obvykle vyznačuje větší houževnatostí. Modul pružnosti charakterizuje pružnost materiálu, což je odpor materiálu proti pružné deformaci při působení vnějších sil. Kovové materiály disponují vysokým modulem pružnosti v tahu.

Pro většinu konstrukčních materiálů je požadováno, aby byly pevné a houževnaté. Kovové materiály jsou zatěžovány téměř výhradně v elastické oblasti. Je-li třeba zvýšit

pevnost kovových materiálů, znamená to, že je třeba zvýšit jejich mez pružnosti (mez kluzu), to je napětí, do kterého se deformují pružně (vratně) [14].

2.4.1 Základní požadavky na ocelové trubní materiály a bezpečnost plynovodů

S růstem nároků na spolehlivost a bezpečnost plynovodů se postupem času zvýšily požadavky na vlastnosti a kvalitu dodávaných trubek a v současné době jsou dány standardem ČSN EN ISO 3183 a požadavky ČSN EN 1594 a TPG 702 04. Podle požadavku TPG 702 04 se pro stavbu potrubí do tlaku 16 bar včetně používají ocelové trubky kruhového průřezu podle ČSN EN ISO 3183 PSL 1 nebo 2 a pro tlak nad 16 bar podle ČSN EN ISO 3183 PSL 2. Je přípustné použít též oceli ekvivalentní k ocelím v uvedené normě, dle příslušných materiálových ČSN to mohou být např. vybrané oceli tř. 11, 12, 13 s ohledem na provozní tlak plynu a průměr potrubí. Základním požadavkem provozovatele na potrubní materiál je použití oceli plně uklidněné se zaručenou svařitelností a se zaručenou mezí kluzu ve výši alespoň 235 MPa.

Trubkové ocelové konstrukce, tak jako každé ocelové konstrukce, vyžadují dostatečnou pevnost, ale současně i dostatečnou míru houževnatosti materiálu pro zajištění bezpečného provozu. Na plynovodním potrubí uloženém v zemi běžně neklesá teplota pod bod mrazu, při které je pokles houževnatosti ještě přijatelný, musí se ale zohlednit např. u potrubí uloženém nad zemí jako např. přechody přes vodní toky, kdy pokles teploty při zimních atmosférických podmínkách ovlivňuje změnu mechanických vlastností materiálu. Dostatečná houževnatost samozřejmě umožňuje použití ocelového potrubí v zimních podmínkách i pro vlastní výstavbu plynovodů a pro odstranění případných poruch na obnaženém potrubí. Totéž platí i při vlastním defektu v potrubí a současně velkém přetlaku v potrubí, kdy při úniku plynu dochází vlivem prudkého snižování tlaku k velkému poklesu teploty materiálu kolem defektu.

Vlivem rozdílných odběrů během dne a v průběhu roku dochází ke kolísání tlaku v potrubí, kdy zejména u trubek s případnými defekty je nutné změny provozního tlaku a napětí ve stěně trubky brát v úvahu. Požadavky na kvalitu ocelí se netýkají jen pevnosti a houževnatosti, ale také technologického zpracování při výrobě trubek.

Spolehlivost a bezpečnost ocelových plynovodů je podmíněna řadou faktorů, které se různou měrou podílejí na provozní životnosti a bezpečnosti ocelového potrubí. Tyto faktory v zásadě můžeme rozdělit na materiálové vlastnosti (typ použité oceli, chemické složení, struktura a metalurgická čistota oceli, pevnostní a lomové vlastnosti), dále technologické vlastnosti (technologie výroby trubek a technologie spojování trubek při montáži na stavbě) a provozní podmínky (namáhání vnitřním přetlakem, působení korozního prostředí, nízkocyklová únava při kolísání tlaku v síti, vysokocyklová únava u VTL plynovodů v okolí kompresorových stanic a teplota pracovního prostředí) [15-17].

2.4.1.1 Chemické složení

Při dodávce trubek je dnes běžnou součástí uvedení chemického složení v atestech materiálu, kterými výrobce zaručuje kvalitu oceli a trubek, strukturní a metalurgickou čistotu a mechanické vlastnosti. V normě ČSN EN ISO 3138 jsou přesně stanovené hodnoty pro maximální hodnotu obsahu uhlíku v rozmezí od 0,21 do 0,28 hm. % v případě trubek PSL 1 a v rozmezí od 0,16 do 0,24 hm. % v případě trubek PSL 2 dle jakosti oceli.

Další dva stěžejní obsažené prvky jsou síra a fosfor, u kterých je v případě trubek s označením PSL 1 u všech jakostí stanoven limit obsahu síry do hodnoty 0,030 hm. % a limit obsahu fosforu také do hodnoty 0,030 hm. %. U trubek PSL 2 je stanoven limit obsahu síry dle jakosti oceli v rozmezí hodnot od 0,01 do 0,015 hm. % a limit obsahu fosforu v rozmezí hodnot od 0,02 do 0,025 hm. %. K zajištění dobré svařitelnosti je významný tzv. uhlíkový ekvivalent (CEV), který smí dosahovat hodnoty maximálně do 0,45 hm. % dle požadované jakosti oceli a provozního tlaku. Současně je vyžadováno použití tzv. uklidněné oceli, která vyjadřuje požadovaný stupeň dezoxidace oceli (snížení obsahu kyslíku).

Dle TPG 704 02 se pro trubky volí uhlíkový ekvivalent podle ČSN EN ISO 3183 PSL 2 (max. 0,43 hm. %), pro ostatní součásti plynovodu platí ČSN EN 1594 [15-18].

2.4.1.2 Struktura a vlastnosti používaných ocelí

Pro výstavbu plynovodů se nejčastěji používají nízkouhlíkové a nízkolegované oceli, normalizačně žíhané s feriticko-perlitickou strukturou. Pro stavbu dálkových a tranzitních VTL plynovodů se používají i termomechanicky zpracované ocelové materiály, které mohou vykazovat dvoufázovou austeniticko-feritickou, bainiticko-feritickou nebo martenziticko-feritickou strukturu. U termomechanicky zpracovaných ocelí je dosaženo zvýšení meze kluzu a pevnostních vlastností při zachování příznivé houževnatosti a tranzitního teplotního chování. Výhodné také je, že u termomechanicky zpracovaných ocelí je snížen obsah C a tyto oceli potom vykazují nižší uhlíkový ekvivalent a tím současně dobrou svařitelnost [15,16].

2.4.1.3 Tepelné zpracování a vlastnosti ocelí

Potrubi oceli pro rozvody plynu se používají ve stavu normalizačně žíhaném nebo termomechanicky zpracovaném.

Normalizační žíhání spočívá v ohřevu dané oceli o 20 až 50 °C nad teplotu A_{c3} , respektive A_{cm} , to je do oblasti stabilního austenitu, po prodlevě následuje ochlazování na vzduchu. Cílem je zrovnoměrnění struktury po předchozím zpracování, vytvoření jemnozrnné struktury a odstranění vnitřních pnutí. Výsledná struktura u uhlíkových a nízkolegovaných ocelí je jemnozrnná směs feritu a perlitu podle obsahu uhlíku v oceli, která současně vykazuje vyšší mez kluzu a mez pevnosti a zároveň dobré plastické vlastnosti.

Zvýšení pevnostních vlastností u normalizačně žíhaných ocelí je limitováno obsahem uhlíku, jelikož musí být vždy zaručena bezproblémová svařitelnost ocelí, jako mezní hranice je považován obsah 0,23 až 0,24 hm. % C. Jedna z možností ke zvýšení meze kluzu je zjemnění feritického zrna s použitím mikrolegur Nb, Ti, Al, případně V a Mo. Mikrolegura

Nb brzdí rekrystalizační procesy v průběhu tváření v austenitické oblasti. V procesu chladnutí po tváření za tepla vznikají karbonitridy, nitridy a karbidy mikrolegur, které brání nárůstu feritického zrna při následující rekrystalizaci z austenitu na ferit. Vzniklá jemnozrná struktura disponuje nejen zvýšenou mezí kluzu, ale současně i vyšší houževnatostí.

Zavedení termomechanického zpracování ocelí spolu s řízeným postupem válcování pásů za tepla, případně se zrychleným ochlazováním pásu v oblasti Ar_3 a Ar_1 je další významnou skupinou ocelí v oblasti rozvodu plynů. Při termomechanickém zpracování probíhá řízený proces s definovaným úběrem a sledem válcovacích stupňů tak, aby po zjemnění zrn, které tváření přináší, nemohlo dojít k úplné rekrystalizaci struktury a tím i k jejímu zhrubnutí. Přitom se využívá na proces rekrystalizace i brzdící vliv mikrolegury Nb. Dochází postupně k tváření a zjemnění zrna jak v oblasti čistě austenitické, tak i případně v oblasti existence dvoufázové struktury austeniticko-feritické (mezi teplotami Ac_3 a Ac_1 , případně Ar_3 a Ar_1), kdy v druhém případě při tváření dochází kromě zjemnění zrna i k dislokačnímu zpevnění vlivem částečné plastické deformace struktury za studena [15, 16, 19].

2.4.1.4 Mechanické vlastnosti

V rozvodném potrubí, zejména u rozměrných vysokotlakých plynovodů se stlačeným plynem je přítomna ohromná kumulace energie, což může vést při případném porušení materiálu ke vzniku destrukcí obrovských rozměrů. Tudíž se kromě náročných požadavků na pevnostní charakteristiky klade důraz i na vysokou houževnatost ocelí a lomově mechanické vlastnosti [15, 16].

Mez kluzu a mez pevnosti

Mez kluzu základního materiálu trubky představuje pro projektování plynovodu nejvýznamnější hodnotu. U dodávaných ocelových trubek bezešvých i svařovaných patří k základním požadavkům u ocelí s výraznou mezí kluzu stanovení R_e (R_{eH}) nebo u ocelí s nevýraznou mezí kluzu stanovení $R_{p0,2}$, případně $R_{t0,5}$, mez pevnosti R_m základního materiálu a maximálně přípustná hodnota poměru $R_{t0,5}/R_m$. Nevýrazná mez kluzu $R_{p0,2}$, případně $R_{t0,5}$ odpovídá celkové deformaci 0,2 %, respektive 0,5 %. U potrubních ocelí jsou rozdíly mezi $R_{t0,5}$ a $R_{p0,2}$ minimální. Další významnou uvedenou hodnotou je tažnost A, která nám charakterizuje přetvárné rezervy (deformační schopnost) oceli [15, 16].

Vrubová houževnatost

Vrubová houževnatost podává významné informace k posuzování chování potrubních ocelí v podmínkách porušování. Při posuzování jakosti potrubních ocelí jsou rozhodující nejnižší hodnoty nárazové práce KV, nebo vrubové houževnatosti KCV. Podle normy ČSN EN ISO 3183 jsou rozhodující při dodávkách trubek hodnoty nárazové práce KV při 0 °C, což je vhodnější vzhledem k provozní teplotě plynovodu, uloženého v zemi. U důležitých nadzemních úseků, vystavených atmosférickým teplotám, by měly být doloženy v rámci materiálové dokumentace úplné přechodové závislosti KV, respektive KCV na teplotě.

Hodnoty se stanovují na vzorcích s V-vrubem, orientovaným kolmo na povrch. Výsledkem je střední hodnota, dosažená ze tří vzorků a minimální hodnota jednotlivá. Další důležitou informací, charakterizující porušování oceli, kterou lze ze zkoušek získat a doplňuje naměřené hodnoty KCV, je podíl tvárného lomu na přeražených vzorcích a plastické rozšíření vzorků [15, 16].

Lomová houževnatost

Zkoušky lomové houževnatosti zatím nejsou zahrnuty do technických dodacích podmínek trubek, ovšem při konkrétním posuzování vlivu defektů v materiálu trubek jsou velmi důležité a mohou významně doplnit, nebo korigovat hodnocení ocelí, získané zkouškami vrubové houževnatosti.

Lomová houževnatost vyjadřuje odpor materiálu vůči lomu, respektive nárůstu trhliny. Tento odpor lze vyjádřit kritickou hodnotou lomové veličiny, nazývané jako faktor intenzity napětí K_I . Kritická hodnota faktoru intenzity napětí pro vznik nestabilního lomu v podmínkách rovinné deformace se označuje jako lomová houževnatost K_{IC} . Čím je materiál křehčí, tím má nižší hodnotu lomové houževnatosti. Hodnoty lomové houževnatosti jsou závislé na složení a struktuře materiálu a jsou snižovány vlivem škodlivých prvků fosforu a síry a působením vodíku.

Lomová houževnatost K_{IC} umožňuje posoudit odolnost tělesa ke křehkému lomu. Materiál s trhlinou se neporuší, když $K_I < K_{IC}$ a naopak lom nastane, když $K_I \geq K_{IC}$ [15, 16].

Rázové zkoušky velkých těles (DWT)

Zkoušky DWT jsou vhodné pro stanovení přechodové teploty plechů skutečné tloušťky, hlavně na tlaková svařovaná potrubí např. plynovody, včetně oblastí svarových spojů. Tyto zkoušky jsou důležitou součástí dodacích podmínek u trubek s vyšší pevností ($R_e \geq 360$ MPa), označované DWT (Drop Weight Test). Jedná se o rázové zkoušky padajícím závažím na rozměrných tělesech s vrubem, odebraných z potrubí a s tloušťkou rovnou tloušťce stěny trubek o rozměrech 75 x t x 350 mm. Byla zjištěna dobrá korelace charakteru lomů při zkouškách na rozměrných zkušebních tělesech s charakterem lomů na reálném potrubí. Rozhodujícím požadavkem je podíl tvárného lomu při příslušné teplotě, dle normy ČSN EN ISO 3183 je požadováno, aby při teplotě 0 °C představoval podíl tvárného lomu na zkušební tyči 85 % [15, 16, 20, 21].

2.4.1.5 Výrobní a technologické vlivy

K výrobně technologickým vlivům a z toho plynoucím vadám při výrobě trubek lze zařadit především vnitřní pnutí z výroby, zdvojení tloušťky stěny, ovalitu trubek, defekty výrobního svaru, lokální místa se zvýšenou tvrdostí oceli, defekty a vruby na vnitřním i vnějším povrchu trubek.

Významné jsou materiálové vady na povrchu trubek, který je obecně nejslabším místem, jelikož je zdrojem většiny poruch. Povrchová vrstva vykazuje nejhorší strukturu, nejnižší mez kluzu, bývá často oduhličena a vykazuje zpravidla nejvyšší strukturní a

makroskopické vnitřní pnutí, proto je nejvíce náchylná na účinky koroze. Dle způsobu výroby se dělí trubky na bezešvé, podélně a šroubovicově svařované [15, 16].

Bezešvé trubky

Bezešvé trubky se uplatňují ve větším rozsahu u plynovodních potrubí menších průměrů a to do 300 mm, případně do 500 mm. U větších průměrů jsou především z ekonomických důvodů vytlačovány trubkami svařovanými. V současné době podélně svařované trubky (většinou vysokofrekvenčně) konkurují bezešvým trubkám válcovaným za tepla i u menších průměrů od 100 mm do 500 mm.

Za nedostatky bezešvých trubek lze uvést vyšší kolísání tloušťky stěny po obvodě trubky i po její délce, dodržení tolerance koncových průměrů a ovality potrubí, což může vést k potížím při montážním svařování na stavbě. Vzhledem k technologii výroby často dochází ke vzniku převalků a přeložek, které jsou těžko zjištělné především na vnitřním povrchu. Vnitřní pnutí vzniká při výrobě, kdy je důležité dodržování předepsaného teplotního režimu doválcování a konečného chladnutí. Při rychlém chladnutí mezi jednotlivými vrstvami se vytvoří napěťový spád a doválcováním za nižších teplot dochází ke zpevnování povrchu trubky a ke vzniku vysoké úrovně povrchových pnutí, která mohou být nebezpečná z hlediska náchylnosti oceli ke korozi pod napětím. Stabilizace je možná provedením normalizačního žíhání. Přírozeným nedostatkem je možnost oduhlíčení povrchů a výskyt drobných necelistvostí, které vznikají často ve fázi doválcování. Jako další vadu lze uvést tzv. pleny. Tato vada je zaručitelně zjištělná pouze pomocí defektoskopické kontroly na zdvojení stěny, výstupní tlakování nebo tlaková zkouška po konečné montáži nemusí tuto vadu objevit. Jedině pomocí tzv. stresstestu, který vyvolá otevření potrubí nebo alespoň reálný únik media, lze tuto vadu odhalit.

Stresstest nebo-li napěťová zkouška je technologická operace a zároveň hydraulická tlaková zkouška na položeném a zasypaném potrubí, prováděná za účelem odstranění výrobně-montážních vnitřních pnutí ve stěně potrubí, odstranění vlivu geometrických imperfekcí a koncentrátorů napětí v oblastech lokálních a ostrých defektů plastickými deformacemi v okolí meze kluzu. Stresstest také ověřuje dosažení požadované hodnoty součinitele bezpečnosti potrubí vůči nejvyššímu provoznímu tlaku MOP [15- 17].

Podélně a šroubovicově svařované trubky

V současné době vzhledem k technologiím svařování a defektoskopické kontrole není běžně tovární svár slabým místem potrubí. V porovnání s bezešvými trubkami válcovanými za tepla je kvalita svařovaných trubek vzhledem k zavedeným výrobním kontrolám kvality plně srovnatelná nebo vyšší. Na druhé straně vyšší úroveň pnutí, se kterou se musí ve svařovaných trubkách uvažovat, je určitým nedostatkem. Mohou se nepříznivě projevit vznikem plastické deformace při větším zatížení, případně nepříznivými korozně napěťovými účinky v místě poškození izolace, nebo i na vnitřním povrchu. Výstupní hydraulická zkouška u výrobce pro její krátkou dobu zatížení není schopna vnitřní pnutí eliminovat a přetrvávají



ve stěně potrubí i po víceletém provozu. Jejich snížení lze dosáhnout řízeným procesem přetěžování (stresstestem), normalizační žíhání každé trubky není efektivní a nepoužívá se. Svařované trubky (obr. 8) vykazují menší odchylky vnitřního průměru na koncích trubek větších průměrů i v průběžné délce a menší odchylky v tloušťce stěny [15, 16].

Obr. 8: Šroubovicově svařované trubky [22]

2.4.1.6 Provozní zatížení plynovodů

Za nejdůležitější zatížení plynovodu při provozu je považováno namáhání vnitřním přetlakem. U nízkotlakých (NTL) plynovodů není zatížení vnitřním přetlakem rozhodující, ale vlastní mechanická pevnost potrubí a odolnost proti vnějším vlivům a zatížení. Kromě vnitřního přetlaku plynu je potrubí vystaveno účinkům zatížení hmotností zeminy nad plynovodem, nahodilým zatížením na povrchu terénu, zatížením z nespojitého uložení na dně výkopu, případně pohybem zemin nebo účinkům působení korozního prostředí. Tyto a jiné účinky bývají obecně často opomenuty, přestože jejich vliv v místních oblastech může být významný.

Plynovod lze označit jako tenkostěnné válcové potrubí, namáhané vnitřním přetlakem, který vyvozuje ve stěně potrubí napětí obvodové a napětí podélné. Tato napětí se označují jako membránová a přenášejí vlivem tenkostěnnosti rotačního geometrického útvaru pouze tahová napětí. Ocelové potrubí vzhledem k větší tloušťce je ale schopno přenášet i ohybová napětí, tudíž se označuje za skořepinu kruhového průřezu. Potrubí musí být schopno přenášet ohybové napětí vzhledem k možnému působení přídatného vnějšího zatížení, které vzniká např. při deformaci terénu, pohybu zemin nebo nežádoucím bodovém podpírání potrubí při nedostatečně vyrovnaném dně výkopu. Přestože potrubí plynovodů jsou posuzována jako staticky zatížené trubkové konstrukce, musí se brát v úvahu i vliv únavového poškození, a to nízkocyklová únava při kolísání tlaku v síti a vysokocyklová únava u VTL plynovodů v okolí kompresorových stanic [15, 16].

2.4.2 Požadavky provozovatele distribuční a přepravní soustavy pro ocelové plynovody

2.4.2.1 Rozdělení plynovodů do skupin a podskupin

Dle TPG 702 04 je provedeno zařazení plynovodů do skupin A a B a to s ohledem k tlakovým hladinám rozvodů plynu používaných v ČR s vazbou na ČSN EN 12007-1,3,4 a ČSN EN 1594:

Skupina plynovodů A – plynovody s tlakem do 16 barů včetně:

Podskupina plynovodů A1 - nízkotlaké plynovody do 0,05 barů včetně (NTL)

Podskupina plynovodů A2 - středotlaké plynovody nad 0,05 baru do 4 barů včetně (STL)

Podskupina plynovodů A3 - vysokotlaké plynovody nad 4 bary do 16 barů včetně (VTL)

Skupina plynovodů B – plynovody s tlakem nad 16 barů:

Podskupina plynovodů B1 - vysokotlaké plynovody nad 16 barů do 40 barů včetně (VTL)

Podskupina plynovodů B2 - vysokotlaké plynovody nad 40 barů do 100 barů včetně (VTL)

Podskupina B2 byla dříve označována jako velmi vysokotlaké plynovody (VVTL) a v plynárenské praxi se stále toto zažité označení používá.

V rámci přepravy a distribuce zemního plynu jsou plynovody v ČR provozovány pouze ve čtyřech tlakových hladinách, kdy tlaková hladina A3 se v ČR nevyužívá. Tento nesoulad je dán historickou odlišností rozdělení plynovodů dle provozních tlaků u nás a v Evropě při zavedení evropských norem (EN) do systému českých státních norem (ČSN) a technických pravidel (TPG).

V plynárenské praxi se stále používá toto zažité základní rozdělení :

Místní sítě – nízkotlaké a středotlaké plynovody (zahrnuje podskupina A1, A2)

Dálkové plynovody – vysokotlaké plynovody (zahrnuje podskupina A3+B1)

Tranzitní plynovody – velmi vysokotlaké plynovody (zahrnuje podskupina B2) [2, 17].

2.4.2.2 Požadavky na výstavbu, rekonstrukce a opravy místních (NTL, STL) sítí

V úvodu požadavku je zdůrazněno, že nová výstavba a rekonstrukce stávajících plynovodů u místních sítí se z ocelových materiálů provádí jen výjimečně (přednostně z mater. PE), a to pouze v technicky odůvodněných případech jako např. opravy stávajícího ocelového plynovodu, požadavek nadzemního vedení nebo požadavek velké dimenze.

Základní požadavky na ocelové materiály plynovodů a souvisejících kompletačních prvků jsou uvedeny v TPG 702 04 a ČSN EN ISO 3183.

Pro trubní materiál se smí použít výhradně plně uklidněná ocel se zaručenou svařitelností a se zaručenou mezí kluzu ve výši minimálně 235 MPa.

Co se týče chemické čistoty ocelového materiálu, je požadován celkový obsah S+P (síra s fosforem) maximálně do výše 0,050 hm. %. Současně nejvyšší hodnota uhlíkového ekvivalentu CEV, který nám vyjadřuje dobrou svařitelnost, je stanovena na hodnotu 0,45 hm. %. Použitý materiál kompletačních prvků musí disponovat srovnatelnými vlastnostmi jako materiál trubek.

Pro rozvody plynu jsou doporučeny Technickým požadavkem tyto materiály dle příslušných norem a uvedené jakosti:

dle ČSN EN ISO 3183, příloha L – L210, L245, L290 pro PSL 1 a L245N, L290N pro PSL 2
dle příslušných materiálových ČSN – 11 353.1, 11 373.1, 11 378.1, 12021.1, 12022.1

Pro dokladování materiálů trubek musí zhotoviteli dodavatel trubek a kompletačních prvků poskytnout k dodaným materiálům tyto dokumenty kontroly: „Zkušební zpráva 2.2“ nebo „Inspekční certifikát 3.1“ podle ČSN EN 10204 [23].

2.4.2.3 Požadavky na výstavbu, rekonstrukce a opravy VTL plynovodů

Výchozím materiálem pro trubky a kompletační díly pro výstavbu, rekonstrukce a opravy plynovodů a přípojek musí být ocel jemnozrnná, plně uklidněná. Použitá ocel musí

mít minimální zaručenou mez kluzu $R_e \geq 235$ MPa pro plynovody do 40 bar a $R_e \geq 360$ MPa pro plynovody nad 40 bar do 100 bar. Materiálem musí být ocel zaručeně svařitelná. Nejvyšší uhlíkový ekvivalent musí být v souladu s požadavkem ČSN EN ISO 3183, příloha M, kde je stanoven dle jakosti oceli v rozmezí hodnot 0,4 – 0,43 hm. % (při obsahu C > 0,12 hm. %) nebo 0,25 hm. % (při obsahu C ≤ 0,12 hm. %). Chemická čistota materiálu musí splňovat požadavek ČSN EN ISO 3183, příloha M, tabulka M. 1, kde obsah uhlíku je stanoven dle jakosti oceli v rozmezí max. hodnot 0,12 až 0,23 hm. %, obsah síry musí splňovat max. hodnotu 0,015 hm. % a obsah fosforu max. hodnotu 0,025 hm. % u všech jakostí.

Oceli pro trubky na výstavbu, rekonstrukce a opravy se používají dle ČSN EN ISO 3183, příloha M. Chemická čistota i mechanické parametry ocelí pro kompletační materiály musí být jednoznačně ekvivalentní ocelím pro trubky. Jako příklad běžně užívaných ocelí lze uvést trubky min. požadované jakosti L245NE(ME) (obr. 10, 11) a vyšší např. L360NE(ME).

Materiál všech ocelových trubek musí být podroben zkoušce vrubové houževnatosti dle ČSN EN ISO 3183, příloha G. Materiál trubek, který splňuje zároveň podmínky $D \geq 500$ mm, $T \geq 8$ mm a $R_{emin} \geq 360$ MPa bude podroben testu DWT dle ČSN EN ISO 3183, příloha G. Odběr vzorků pro obě zkoušky musí odpovídat ČSN EN ISO 3183, příloha M, tabulka M. 7 a M. 8. U trubek určených pro podzemní provedení plynovodu musí být obě zkoušky provedeny při 0°C, při určení trubek pro nadzemní provedení plynovodu musí být tyto zkoušky provedeny při -30°C.

V případě kompletačního materiálu určeného ke svařování lze volit materiál jednoznačně ekvivalentní, který má zaručenou svařitelnost a srovnatelné mechanické vlastnosti se základním materiálem trubek. Výchozím materiálem pro ohyby (obr. 9) vyráběné



Obr. 9: Ohyby vyráběné za tepla [24]

- bude zohledněn možný pokles mechanických vlastností trubky při volbě výchozího materiálu trubky určené pro ohyb a zvolí se tedy pevnostní stupeň oceli přiměřeně vyšší
- výrobce ohybů bude mít prokázáno materiálovou zkouškou v místě ovlivnění materiálu indukčním ohřevem, že jeho výrobní technologií ohybu, tzn. zvolenou indukční teplotou, nedochází k degradaci mechanických a lomových vlastností trubky.

Dodavatel trubek a kompletačních dílů je povinen poskytnout odběrateli finálního výrobku inspekční certifikát min. 3.1 v souladu s ČSN EN 10204 v českém, anglickém nebo německém jazyce [18, 25].



Obr. 10 a 11: Dílenským způsobem provedený ocelový svařenec VTL Armaturního uzlu (jakost mat. L245NE, L245ME) a jeho zabudování (foto autor)

Volba typu trubek dle způsobu výroby

Pro výstavbu plynovodů se používají trubky výhradně podle ČSN EN ISO 3183 a to:

- bezešvé (S)
- vysokofrekvenčně podélně svařované (HFW)
- obloukově nebo kombinovaně podélně svařované (SAWL, COWL)
- obloukově nebo kombinovaně šroubovicově svařované (SAWH, COWH)

Použití výše uvedených trubek je prakticky rovnocenné. Určitá omezení platí pro kombinaci různých druhů trubek na úsecích podrobovaných stresstestu. Není vhodné různé typy trub kombinovat. Zejména se nedoporučuje kombinace podélně svařovaných za studena expandovaných trub s ostatními typy [25].

2.5 Vlastnosti a charakteristika plastových materiálů

Plasty jsou polymery za běžných podmínek většinou tvrdé, často i křehké s malou vratnou deformační schopností. Polymerům se říká makromolekulární látky, protože se skládají z velkých, obřích molekul. Základními stavebními kameny plastů jsou uhlík (C) a vodík (H) jako např. molekuly eténu (etylénu) (C_2H_4), propénu (C_3H_6), buténu (C_4H_8). Polymery vznikají zvláštním procesem, zvaným polymerací z malých molekul organických látek tzv. monomerů, které obvykle obsahují alespoň jednu dvojnou vazbu. Polymerací vzniká tzv. makromolekulární řetězec, který představuje základní součást polymerů. Polymer je tedy tvořen molekulami složenými z velkého počtu jednoduchých merů, spojených chemickými vazbami, kde mer je definován jako jednoduchá chemická jednotka, která pomocí chemických vazeb je schopna tvořit dlouhé řetězce.

Proces polymerace je chemická reakce, při které působením energie, katalyzátorů a různých přísad vznikl z monomeru polymer (slučují se jednoduché molekuly v molekuly mnohonásobné). Tento proces se používá pro výrobu většiny termoplastů.

Podle způsobu polymerace jsou známy základní typy polyetylenů jako **nízkohustotní PE-LD** (Low Density), **středněhustotní PE-MD** (Medium Density), **vysokohustotní PE-HD**

(High Density). Jejich vlastnosti jsou silně závislé na molekulární hmotnosti, prostorovém uspořádání merů v řetězci makromolekuly a stupni krystalinity. Kromě prostorového uspořádání merů v makromolekulách polyetyleny, má na jeho vlastnosti významný vliv také střední molární hmotnost [10, 14, 26].

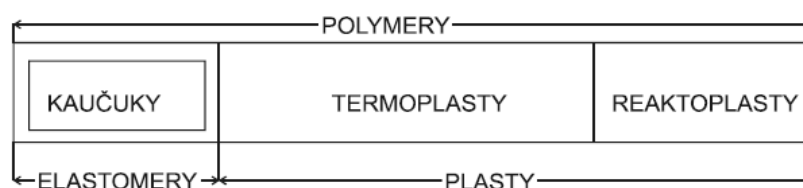
2.5.1 Rozdělení plastů

Podle chování za tepla a způsobu technologického zpracování dělíme plasty na dvě základní skupiny, které vyjadřují i obsah jejich použití a to na termoplasty a reaktoplasty.

Termoplasty jsou polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, měknou, ztrácejí svůj tvar, přecházejí do viskozní taveniny a lze je snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Při vyšší teplotě dochází k uvolnění jednotlivých makromolekul a polymer se chová jako kapalina se značnou viskozitou. Schopnost převedení polymeru do kvazi tekutého stavu umožňuje použití technologií pro kontinuální vytlačování (trubky, profily), nebo vstřikování do formy, uplatňuje se rovněž při svařování termoplastů. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty). Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení, jedná se pouze o fyzikální proces. K termoplastům patří většina zpracovávaných plastů, jako je polyetylen (PE), polypropylen (PP), polybuten (PB), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd. Termoplasty se dále dělí na polyolefiny (PE, PP, PB atd.), vinylchloridy (PVC, C-PVC atd.) a styroly (ABS, PS atd.).

Reaktoplasty (termosety) jsou polymery obsahující reaktivní skupiny. Při tepelném zatížení sice tají, ale chemickými reakcemi vytvářejí sítě propojené velmi silnými vazbami, přecházejí z lineárního do síťovaného stavu, nebo-li jiným označením se tzv. vytvrzují. Tento proces je nevratný, nedají se teplem tvářet a některé jsou i nesvařitelné, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci). Reaktoplasty jsou chemicky zesíťované polymery, při zvyšování teploty zachovávají svůj tvar a nepřecházejí v taveninu. Používají se především pro výrobu kompozitů (laminátů).

Termoelasty (elastomery) tvoří zvláštní skupinu polymerů, kdy mají částečně vlastnosti termoplastů (ohebnost) a částečně reaktoplastů. Elastomery lze za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení, přičemž je deformace převážně vratná (kaučuky) [10, 26]. Základní klasifikace polymerů je znázorněna na obrázku (obr. 12).



Obr. 12: Základní klasifikace polymerů z hlediska chování za běžné a zvýšené teploty [8]

2.5.2 Dělení polymerů do skupin

Z hlediska dělení polymerů do skupin dělíme polymery na **homopolymery**, **kopolymery blokové** a **kopolymery statistické**. Polyetyleny, které jsou klasickým reprezentantem polyolefinů, můžeme označit jako homopolymery etylenu, u kterých se makromolekulární řetězec skládá z pravidelně se opakujících a neustále stejných monomerů (molekul) [26].

2.5.3 Struktura polymeru

Z hlediska prostorového uspořádání makromolekul dělíme polymery podle geometrických tvarů řetězců na:

- a) **lineární**, které jsou lehce tavitelné a zpracovatelné, mají dobrou houževnatost i při nižších teplotách (PE-HD, PE-MD, PE-LLD)
- b) **rozvětvené**, které ve srovnání s lineárním PE mají nižší odolnost proti koroznímu praskání, nižší pevnost v tahu a modul pružnosti v ohybu (PE-LD)
- c) **síťované**, u kterých s počtem příčných vazeb roste tvrdost, pružnost a houževnatost, snižuje se však tavitelnost a rozpustnost (PE-X) [26].

2.5.4 Fázový stav polymerů

Polymery mohou existovat ve čtyřech stavech, a to ve stavu **krystalickém** nebo **amorfním**, který vykazuje stav **sklovitý**, **kaučukovitý** a **plastický**. O tom, ve kterém z těchto stavů se polymer nachází a jak široké je teplotní rozmezí existence těchto stavů, rozhoduje především chemické složení, struktura a molární hmotnost makromolekulární látky.

Teplota zesklenění T_g je oblast, kdy ochlazováním přecházejí amorfní polymery z kaučukovitého do sklovitého stavu. **Teplota tání T_m** vyjadřuje teplotu, nad kterou se polymer nachází v plastickém stavu a ohraničuje oblast krystalického stavu. **Teplota toku T_f** je teplota, kdy při zahřívání dochází k náhlému a značnému růstu deformací při působení konstantní síly, protože se začne projevovat právě viskosní tok, který se vyznačuje nevratnou deformací [10, 26].

2.5.5 Složení plastů

Základem každého plastu je **vlastní makromolekulární látka** (pojivo), která je nositelem základních fyzikálně-mechanických vlastností. Kromě této základní látky obsahují plasty další přísady, kterých je celá řada a které významně ovlivňují mechanické, technologické a fyzikálně technické vlastnosti plastů.

Mezi tyto přísady patří **plniva**, která zlepšují mechanické vlastnosti materiálů a jeho odolnostní charakteristiky, **stabilizátory** (antidegradanty), které zlepšují zpracovatelnost, prodlužují životnost, chrání plast před UV-zářením a tepelnými účinky (saze od 2-4 %, organické a anorganické kyseliny) a zpomalují stárnutí, **maziva** zlepšují zpracovatelnost a tokové vlastnosti, **změkčovadla** zlepšují ohebnost a houževnatost, **barviva** vyjadřují barevné označení procházejícího média [26].

2.5.6 Mechanické vlastnosti a vybrané předepsané zkoušky plastů

Krátkodobá tahová zkouška

U krátkodobé tahové zkoušky se zjišťuje modul pružnosti v tahu, napětí na mezi kluzu, poměrné prodloužení, nominální poměrné prodloužení při přetržení, napětí při poměrném prodloužení 50 %, napětí při přetržení, poměrné prodloužení při přetržení a krátkodobá pevnost v tahu. Pro konkrétní materiály je předepsaná zkušební rychlost (pro PE-HD 50 mm/min.) [26].

Křípový modul při namáhání v tahu

Plasty disponují větším či menším sklonem k deformaci za studena působením síly, často i jen vlastní hmotností (creep). Tečení (creep) je pomalá deformace tělesa (elastická i plastická) narůstající s časem, vyvolaná konstantním mechanickým napětím. Projevuje se při dlouhodobém zatížení, výrazněji se stoupající teplotou, lze ho stanovit z dlouhodobých tahových zkoušek.

Vztah mezi deformací a napětím u pružných materiálů je dán Hookeovým zákonem. Modul pružnosti se považuje za konstantu pro velký rozsah časů zatěžování, teplot i napětí.

U plastů je situace složitější. Plasty vykazují viskoelastické vlastnosti, to znamená, že při vzniku napětí při zatížení konstrukce z plastů (např. trubkové) nastává jak vratná (elastická), tak nevratná (viskózní) deformace. Při zatížení a vzniku napětí dochází nejprve k elastické, vratné deformaci a dále rovněž k viskózně vratné deformaci a viskózně nevratné deformaci. Po odtížení konstrukce dochází k relaxaci, kdy okamžitě vymizí elastická deformace, postupně se zmenšuje vratná viskózní deformace, nicméně vždy zůstává deformace nevratná [26].

Zkouška vrubové houževnatosti

Zkouška spočívá v přeražení zkušební tyče jedním rázem kyvadlového kladiva, přičemž zkušební těleso ve tvaru hranolu je podloženo na obou koncích. Zkouškou se stanovuje nárazová práce v $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$, která je měřítkem odolnosti materiálu proti rázovému porušení. Naměřené hodnoty jsou významné pro poznání chování plastů za různých teplot, případně pro odhad citlivosti materiálu k vrubům [26].

Dlouhodobá pevnost

Dlouhodobá pevnost je základní charakteristika plastů, která udává vztah mezi napětím, teplotou a dobou do porušení. Prokázání těchto vlastností je vyžadováno pro termoplasty určené pro výrobu trubek pro tlakové aplikace. Dlouhodobá pevnost je stanovena měřením na vzorcích trubek dlouhodobými zkouškami vnitřním přetlakem. Výsledkem jsou naměřené pevnostní isotermy.

Superpozicí teplota – čas a extrapolací na čas do lomu 50 let je na spodním intervalu spolehlivosti regresní křivky 20 °C pro tento čas odečtena hodnota napětí do lomu. Tato hodnota udává napětí ve stěně, kterému může být materiál vystaven po dobu 50 let při teplotě 20 °C, aniž by došlo k poškození s pravděpodobností 97,5 %. Klasifikace termoplastů se

provádí podle naměřené hodnoty napětí do lomu, podle které je určena hodnota MRS (Minimum Required Strength) – nejmenší požadované pevnosti. Například polyetylen s MRS 10 (v MPa) bude na trubce označen jako PE 100 [26].

Chemická odolnost

Všeobecně lze plasty považovat za materiály s velmi dobrou chemickou odolností, řádově do 10 % koncentrace odolávají většině běžných kyselin a zásad. Neodolávají lučavce královské (HNO_3+3HCl), halovým prvkům a jejím sloučeninám (Cl, F, Br, I) a organickým rozpouštědlům (trichlor, tetrachlor, chlorofolm), ozónu (O_3), kyslíku (O_2) a oxidu siřičitému (SO_2). Vlivem světelného, tepelného záření a vlivem mechanického poškození se chemická odolnost snižuje (degradace plasty, napěťová koroze).

Plasty jsou velmi dobře odolné proti korozi, kterou lze definovat jako nežádoucí změnu složení a vlastností plastů, způsobenou vnějšími podmínkami a vedoucí k jejich znehodnocení. Korozi mohou způsobovat různé vlivy jako např. agresivní chemická činidla, zvýšená teplota, vliv povětrnosti, ultrafialové záření, mikroorganismy apod. Chemická odolnost polyetylenu se zvětšuje se stoupající krystalinitou [8, 26].

Tepelná délková roztažnost

Teplotní délková roztažnost je u plastů cca 10x vyšší ve srovnání s kovovými materiály a vyjadřuje změnu délky v mm na 1 m délky při změně teploty o 1 °C. U plastových potrubních systému to je důležitá veličina, kterou je nutno brát v úvahu a počítat s jejími vlivy na pevnost a stabilitu potrubí. Teplotní součinitel délkové roztažnosti (Δl) udává, o kolik se prodlouží nebo zkrátí 1 m trubky při zahřátí nebo ochlazení o 1 °C (K).

U potrubí uloženém v zemi, kde jsou rozdíly teploty zanedbatelné, není tepelná délková roztažnost podstatná, určitý přechodný problém při montáži plynovodů může nastat v případě dočasně odkrytého, nezasypaného potrubí delšího úseku, kdy se musí počítat s délkovou změnou při velkých teplotních rozdílech během dne (např. ve slunečných dnech v letních měsících) a kdy napětí vyvolané délkovou změnou v materiálu již nepokryje dodatečná relaxace materiálu [26].

Kontrola výroby

Pro kontrolu výroby polotovarů, vlastností polymerů a výrobků z nich se používají následující normalizované zkušební metody:

zkouška tahem při kontrole polotovarů z plastů slouží především k ověření homogenity výrobku. Obvykle nebývá posuzována pevnost, ale především tažnost zkušebních těles a rozptyl hodnot,

hustota vyjadřuje zejména nadmolekulární strukturu a obvykle se porovnává její změna na vstupní surovině a konečném výrobku (pro PE plynovody $\rho \geq 930 \text{ kg/m}^3$),

index toku taveniny (MFR) vyjadřuje viskozitu taveniny za definovaných podmínek. V procesu výroby slouží ke kontrole teplotního a mechanického namáhání polymeru v procesu výroby. Měří se také na vstupní surovině a výrobku. Zvýšení hodnoty MFR

vypovídá o snížení střední molekulové hmotnosti a nadměrné zátěži (špatné stabilizaci při výrobě). Veličina MFR je důležitá pro svařování trubek, protože pouze polymery stejného typu, stejné struktury řetězců a o podobné viskozitě lze bez problémů svařovat,

termooxidační stabilita (TOS) vyjadřuje odolnost plastů vůči zvýšené teplotě (obvykle 220 °C) v prostředí kyslíku. Hodnotí se doba rozběhnutí oxidační reakce. Požaduje se hodnota nejméně 20 minut, aby bylo zjištěno, že při svařování nedojde k termodegradaci a k nekvalitnímu sváru, který se vyznačuje křehkostí (pro PE plynovody TOS ≥ 20 min) [26].

2.5.7 Jednotlivé typy polyetylenů používaných v současnosti pro trubní rozvody plynu a jejich charakteristika

Pro rozvody plynu připadají v úvahu vysokohustotní (PE-HD) a sesíťovaný vysokohustotní (PE-HD) polyetylen. V současné době se pro tlakové rozvody plynu v plynárenství používá výhradně vysokohustotní polyetylen PE 100 nebo PE 100 RC pro jeho velmi dobré mechanické a chemické vlastnosti, případně lze použít i sesíťovaný vysokohustotní polyetylen PE-X, který se ale u nás téměř nevyužívá, v minulosti byl ojedinele použit typ PE-Xa. Trubky jsou vyráběny jako přímé (tyčové) nebo v návinech (svitcích) až do průměru d_n 110. Všechny konkrétní typy trubních polyetylenů uvedené níže, lze použít u nás pro rozvody plynu do provozního tlaku 0,4 MPa (400 kPa), ale pro veřejné plynovody pouze typy v souladu s požadavky provozovatele distribuční soustavy [27].

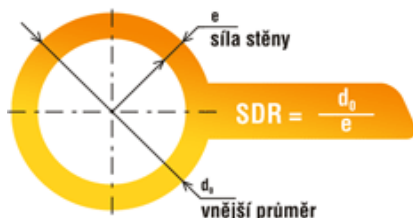
2.5.7.1 Trubky PE-HD 100 – vysokohustotní (lineární, tvrdý) polyetylen s MRS 10 MPa,



Obr. 13: Trubka PE-HD 100 [28]

vysoká pevnost v tahu, vyšší pevnost než u PE-MD, výborná houževnatost při nízkých teplotách (- 40 °C), výborná odolnost proti šíření trhliny SCP a RCP. Trubky (obr. 13) se dnes nejčastěji vyrábí o \varnothing (d_n) 32 - 63 mm (SDR 11) a o \varnothing 90 - 560 mm (SDR 17,6) v souladu s požadavky provozovatele distribuční soustavy GasNet a s tím odpovídající základní nabídky výrobce GASCONTROL PLAST, a.s. Havířov, smluvního partnera společnosti GasNet.

SDR vyjadřuje standardní poměrový rozměr d_n/e_n (obr. 14), což je základní faktor



Obr. 14: Schematické znázornění SDR [28].

pro určování typové řady trubek a tvarovek vzhledem k největšímu dovolenému pracovnímu tlaku procházejícího media. Symbol \varnothing vyjadřuje vnější průměr potrubí „ d_n “. V praxi se nejvíce využívají vnější průměry (d_n) od \varnothing 32 do \varnothing 400 mm s odpovídajícím SDR [26, 28].

2.5.7.2 Trubky PE-HD 100 s ochranným pláštěm PP - trubky z vysokohustotního polyethylenu (HDPE 100+) s ochranným pláštěm z polypropylenu (PP) (obr. 15) jsou odolné

proti oděrům, vrypům a jinému mechanickému poškození. Tloušťka pláště je plně dostačující pro dokonalou ochranu trubky. Trubky se nejčastěji vyrábí o \varnothing (d_n) 32 - 63 mm (SDR 11) a o \varnothing 90 - 450 mm (SDR 17,6) dle základní nabídky výrobce GASCONTROL PLAST s typovým označením **DUALTEC**, která zohledňuje požadavky provozovatele distribuční soustavy.

Výhody spočívají v trvalé ochraně vnitřní trubky proti poškození při dovozu, skladování, manipulaci a pokládání potrubí, efektivnější a racionálnější bezvýkopová



Obr. 15: Pokládka trubního materiálu PE 100 SDR 17,6 s ochranným pláštěm z PP (označení DUALTEC) odvíjením ze svitku [28]

technologie, bez nákladů na odvoz, testování vykopané zeminy a na speciální obsypové materiály, u bezvýkopového pokládání při zatahování potrubí nedochází k oddělení jednotlivých vrstev (pláště od samotné trubky), ekologicky šetrný výrobek, recyklovatelný a hygienicky nezávadný, korozivzdornost a chemická odolnost, nízká měrná hmotnost, životnost potrubí nejméně 50 let, očekávaná vyšší (až 100 let).

Výroba probíhá ve dvou krocích. Nejprve je vyrobena PE trubka ve známých rozměrových a tlakových řadách, PE trubka je opatřena kompletním popisem. Ve druhém kroku je na vnější povrch PE trubky extrudována vrstva materiálu z polypropylenu (PP), která se vyznačuje vysokou odolností proti otěru a místním koncentracím napětí, rovněž je tato trubka kompletně označena. Vrstva z PP se nanáší v tloušťkách od 0,1 do 1,0 mm v závislosti na tloušťce PE trubky [26, 28]. Na obrázku (obr. 16, 17) jsou zachyceny tyto trubky při vlastní výstavbě.



Obr. 16, 17: Skladování trubního materiálu dn 225 PE 100 SDR 17,6 s ochranným pláštěm z PP (označení DUALTEC) na stavbě a jeho svaření do sekcí (foto autor)

2.5.7.3 Trubky PE-HD 100 s ochrannou vrstvou PE 100 RC - trubky z vysokohustotního polyetylenu se zvýšenou odolností proti pomalému šíření trhlin (RC - resistance to crack vyjadřuje odolnost proti trhlinám). Specifikace PAS 1075 (Publicly Available Specification) stanoví požadavky na polymer, který lze označit jako PE 100 RC a rozděluje trubky dle jejich konstrukce na uvedené typy:

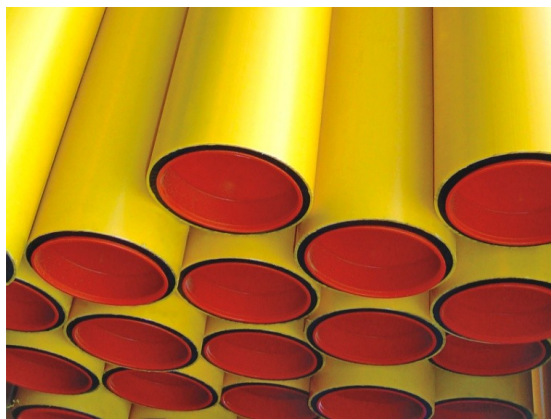
Typ 1 – jednovrstvé trubky, celá tloušťka stěny trubky je z PE 100 RC

Typ 2 – vícevrstvé (dvou nebo třívrstvé) trubky s ochrannou vrstvou:

- dvouvrstvé z PE 100 a PE 100 RC mají vnější vrstvu z PE 100 RC
- třívrstvé z PE 100 a PE 100 RC mají vnitřní a vnější vrstvu z PE 100 RC

Trubky se vyrábějí koextruzí do jedné hlavy tak, aby všechny koextrudované vrstvy byly neoddělitelně propojeny (svařeny). Tloušťka ochranné vrstvy (vnější nebo vnitřní) je minimálně 2,5 mm. Trubky se nejčastěji vyrábí o \varnothing 32 - 63 mm (SDR 11) a o \varnothing 90 - 560 mm (SDR 17,6) dle základní nabídky výrobce GASCONTROL PLAST s označením **RCTEC**.

Typ 3 – jednovrstvé trubky, celá tloušťka stěny trubky je z PE 100 RC, ale navíc jsou opatřeny ochranným pláštěm z polypropylenu (trubky PE 100 RC s ochranným pláštěm PP). Tento typ (obr. 18) tedy kombinuje výhody trubky s ochranným pláštěm z polypropylenu (PP) s trubkou RC do nového typu, který je vhodný pro pokládky s nejvyšším stupněm zatížení. Trubky se nejčastěji vyrábí o \varnothing 32 - 63 mm (SDR 11) a o \varnothing 90 - 450 mm (SDR 17,6) dle základní nabídky výrobce GASCONTROL PLAST s typovým označením **RC-DUALTEC**.



Obr. 18: PE trubky typu RC-DUALTEC [28]

RC materiál se chová obdobně jako běžně používané typy HDPE 100, ale díky speciální receptuře výroby granulátu jsou však pevnější vazby v řetězcích jednotlivých makromolekul. Nevznikají tak zvláštní požadavky na práci s potrubím, veškeré metody spojování se nemění.

Výhody spočívají ve vysoké spolehlivosti, životnosti a bezpečnosti (nad 100 let), nižší náklady při pokládce, díky úsporám za obsypový materiál, umožňuje náročnější podmínky pokládky, vysoká dlouhodobá tlaková

odolnost při porušení povrchu, vynikající odolnost proti bodovému zatížení (hrubozrný materiál), lepší odolnost při manipulaci, zvýšená kvalita a odolnost svarů, žádné omezení pro metody pokládky a obsypové materiály [26, 28].

2.5.7.4 Trubky PE-X – síťovaný vysokohustotní polyetylen (PE-HD) s MRS 8,0 nebo 10,0 MPa, odolnost proti SCG - pomalému šíření trhlin (vrypy - místní koncentrace napětí), odolnost proti RCP - rychlému šíření trhlin, teplotní odolnost, chemická odolnost, otěruvzdornost, dobrá ohebnost (flexibilita).

Druhy síťovaných polyetylenů:

PE-Xa – síťování organickými peroxidy, výsledkem procesu vytlačování je sesíťovaná trubka.

PE-Xb – síťování reaktivními silany, výsledkem procesu vytlačování je nesesíťovaná trubka, sesíťování je provedeno párou nebo horkou vodou.

PE-Xc – síťování vysoko-energetickým zářením, výsledkem procesu vytlačování je nesesíťovaná trubka, sesíťování je provedeno vysokoenergetickými elektrony nebo gama zářením.

Síťovaný PE vzniká sesíťováním makromolekul v již hotovém výrobku (trubce). Polymer se síťuje v tavenině při teplotě nad 150 °C, tedy v amorfním stavu. Po procesu sesíťování vzniká zcela nový materiál, který vykazuje odlišné vlastnosti v porovnání s původním polymerním materiálem. Sesíťování zvyšuje výrazně odolnost proti SCG a zvyšuje teplotu použití pro sesíťované materiály, snižuje hustotu polymeru a zvyšuje ohebnost (lze použít menší poloměry ohybu při pokládce potrubí).

PE-Xa však není zcela síťovaným polyetylenem. Za předpokladu, že by tomu tak bylo, nebyl by termoplastický. Ve skutečnosti významný podíl jeho makromolekulárních řetězců nezapojených účinně do prostorové sítě mu zachovává zbytky termoplasticity, umožňující vytvářet spoje svařováním elektrofúzí.

V případě typu PE-Xb jsou trubky dodávány v nesesíťovaném stavu. Výstavba proběhne klasickým svařováním na tupo, nebo pomocí elektrotvarovek a celé dílo je následně sesíťováno (vytvrzeno) horkou párou.

Je nutné však podotknout, že v současné době se pro novou výstavbu a rekonstrukce veřejných plynovodů trubky z PE-X nepoužívají. V TPG 702 01 je možnost použití trubek z PE-X uvedena, ale provozovatel distribuční soustavy použití trubek z PE-X v praxi nevyužívá a ve svém „Technickém požadavku“ tuto možnost ani nepřipouští [10, 23, 26].

2.5.7.5 Barevné značení trubek

Barevné značení musí být u trubek z PE 100 a PE 100 RC provedeno v oranžové (RAL 1033) nebo černé barvě (RAL 9005), trubky černé barvy musí být označeny podélnými koextrudovanými oranžovými pruhy (RAL 1033), rovnoměrně rozloženými po obvodu trubky v počtu s $d_n \leq 110$ mm nejméně čtyři pruhy, s $d_n > 110$ mm nejméně šest pruhů. Z popisu musí být jednoznačná identifikace použití RC materiálu.

Trubky z PE-X s MRS 8,0 MPa musí být na povrchu žluté barvy (RAL 1016) a PE-X s MRS 10,0 MPa musí být na povrchu oranžové barvy (RAL 1033).

Trubky z PE 100 a PE 100 RC s ochranným pláštěm musí mít plášť oranžové barvy (RAL 1033), případně s koextrudovanými zelenými pruhy v počtu s $d_n \leq 110$ mm nejméně čtyři pruhy, s $d_n > 110$ mm nejméně šest pruhů, způsob popisu trubek musí být proveden dle TPG 702 01 [27].

2.5.8 Požadavky provozovatele distribuční soustavy pro plastové plynovody

2.5.8.1 NTL, STL plynovody a přípojky (místní sítě)

Prvotním požadavkem je, aby nová výstavba, opravy a rekonstrukce plynovodů a plynovodních přípojek u místních sítí byla provedena přednostně z polyetylenových (PE) materiálů včetně kompletačních prvků při splnění příslušných požadavků ČSN EN 12007-1,2,4 a TPG 702 01.

Pro výstavbu, opravy a rekonstrukce (výměnu) plynovodů a plynovodních přípojek v tlakové hladině do 4 barů (400 kPa) včetně se mohou použít následující PE materiály:

1. Trubky v níže uvedených konstrukcích:

- K1 - jednovrstvé trubky z PE 100 (bez ochranného pláště)
- K2 - jednovrstvé trubky z PE 100 v modifikaci s oddělitelným ochranným pláštěm
- K3 - jednovrstvé trubky z PE 100-RC (bez ochranného pláště)
- K4 - jednovrstvé trubky z PE 100-RC v modifikaci s oddělitelným ochranným pláštěm
- K5 - vícevrstvé trubky s rozměrově integrovanými vzájemně neoddělitelnými vrstvami (kombinace materiálů PE 100-RC, PE 100)

2. Tvarovky z materiálu PE 100 nebo mechanické tvarovky.

3. Ostatní kompletační prvky z PE 100 nebo z PE 100 RC.

Trubky a kompletační prvky se smí použít jen za podmínek stanovených výrobcem. Trubky a tvarovky musí být vyrobeny v souladu s ČSN EN 1555 – 1,2,3,4 a jejich barevné značení musí odpovídat aktuálnímu znění TPG 702 01. Trubky jsou zhotoveny a používány ve svitcích nebo tyčích. Použití mechanických tvarovek pro výstavbu musí odsouhlasit zástupce provozovatele při zpracování projektové dokumentace. Dodavatel trubek a tvarovek musí doložit k dodaným materiálům Inspekční certifikát 3.1 v souladu s ČSN EN 10204 pro:

- PE trubky - je nedílnou součástí dodávky (pro každou výrobní šarži)
- PE tvarovky - je dodáván výrobcem tvarovky na vyžádání do 5 dnů

Standardní rozměrová řada používaná u přípojek je d_n 32, d_n 40, d_n 50, d_n 63 v SDR 11, u plynovodů d_n 63 (v SDR 11), d_n 90, d_n 110, d_n 160, d_n 225, d_n 315, d_n 400 (v SDR 17, 17,6) [23]. Použití PE trubek v praxi podle konstrukcí uvádí následující tabulka č. 1.

Tabulka č. 1: Použití PE trubek podle konstrukcí (23)

Uložení potrubí v otevřených výkopech	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5
V podsypu a obsypu pískem - resp. materiál bez ostrohranných částic s ojedinělými zrny do 16 mm *)	ano	ano	ano	ano	ano
Výkopkem - s ojedinělými zrny do 63 mm *)	ne	ano	ano	ano	ano
Výkopkem - bez omezení zrnitosti za předpokladu, že nebude narušena tvarová stabilita trubky (SN) *)	ne	ne	ne	ano	ne
Výkopkem - ukládání nových potrubí pluhováním	ne	ano	ne	ano	ne

*) výkopek musí být bez cizorodých částic (beton, cihly, sklo, keramika, kovy, apod.)

3 Používané technické materiály v oblasti rozvodu plynů v současnosti v zahraničí

3.1 Evropa

Lze obecně konstatovat, že situace používaných technických materiálů v Evropě je obdobná té naší. Toto tvrzení posiluje skutečnost, že v rámci technické normalizace byly do systému českých státních norem (ČSN) postupně zavedeny evropské normy (EN) a mezinárodní normy (ISO), zabývající se plynárenskou problematikou a trubních materiálů nevyjímaje. Každá členská země Evropské unie je povinna zavést evropské normy do svých národních soustav a po převzetí se stávají normami národními. Přejímání ISO norem je do systému ČSN dobrovolné, po převzetí se ale taktéž stávají normami národními.

V případě potřeby si mohou členské země pro doplnění svých specifických požadavků, které nejsou uvedeny v evropských normách pro svou někdy přílišnou stručnost, a která je dána právě zohledněním velkého počtu členských zemí a jejich národních odlišností v normách, vydávat tzv. bližší národní předpisy pro konkrétní problematiku, které respektují ustanovení evropských, případně mezinárodních norem, ale doplňuje je o své specifické požadavky dané členské země (v plynárenství u nás jsou těmito předpisy TPG, TDG a TIN).

Vzhledem k výše uvedenému můžeme říci, že pro rozvody plynu v Evropě jsou používány identické materiály jako u nás a to v případě ocelových materiálů dle normy ČSN EN ISO 3183 a v případě plastových materiálů dle norem řady ČSN EN 1555-1 až 5 [13].

3.2 Severní Amerika

V USA je situace obdobná jako v Evropě. Výstavba plastových plynovodů distribučních sítí v současnosti probíhá z materiálu polyetylen, přepravní plynovody o vyšších provozních tlacích jsou realizovány z ocelových materiálů příslušné jakosti.

Výběr použitých materiálů v minulosti pro rozvody distribučních sítí byl podobný jako u nás. Používaly se nejprve litinové trubky, které byly postupně vytlačeny trubkami z ocelových materiálů a ty posléze byly a jsou nahrazovány trubkami z plastových materiálů, resp. polyetylenových trubek. V USA je více než 97 % všech nově instalovaných plynovodních potrubí provedeno z polyetylenového potrubí (obr. 19, 20).

První polyetylenové rozvody plynu byly instalovány v padesátých letech minulého století. Od chvíle, kdy společnost Union Gas v Caney úspěšně vložila 4-palcové polyetylenové potrubí do zkorodovaného ocelového potrubí o průměru 6 palců v roce 1959, polyetylenové trubky se staly rozhodujícím materiálem pro severoamerický trh distribuce plynu. S více než padesáti lety v provozu, polyetylenové trubky prokázaly svou spolehlivost a trvanlivost. Díky tomu se polyetylenové trubky staly používaným materiálem pro distribuční sítě plynu v USA v příslušných tlakových hladinách, provozovaných v USA [29-32].



Obr. 19, 20: Montáž 18-palcového PE potrubí v Chicagu, IL [29]

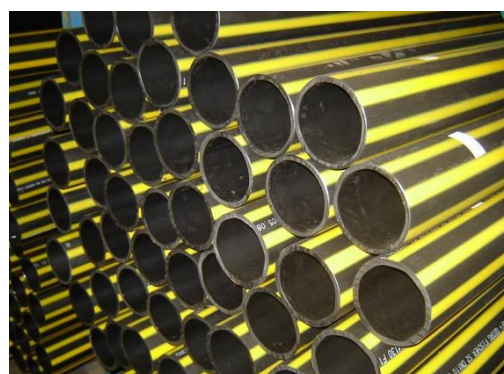
3.3 Austrálie

V Austrálii je situace co se týče plastových materiálů odlišná. Používají se zde nejen polyetylenové trubky (obr. 23), ale především trubky polyamidové (obr. 21, 22). Polyamid se postupně stal dominantním materiálem pro rozvody plynů a přibližně 80 % nových rozvodů v rámci distribučních sítí v současnosti v Austrálii je provedeno z polyamidu 11 (PA11) a polyamidu 12 (PA12). Tyto materiály se vyznačují vynikající chemickou odolností a vysokou pevností v tahu, která umožňuje výrobu trubek s menší tloušťkou stěny v porovnání s trubkami z polyetylenu při zachování stejné pevnosti. Další užitnou vlastností v klimatických podmínkách Austrálie je, že polyamid odolává značným namáháním při maximálních teplotách v oblasti až 80 °C (suché teplo).

Při vyšších přepravních tlacích, které jsou nad možností materiálových charakteristik a mechanických vlastností plastů, se využívá tak jako jinde ve světě ocelových materiálů [33-35].



Obr. 21, 22: Polyamidové trubky v tyčích a v návínu [36]



Obr. 23: Trubky PE 100 [36]

4 Degradální procesy jednotlivých materiálů během provozu

Vzhledem k omezenému rozsahu práce je tato velice důležitá problematika řešena pouze výčtem a stručnou charakteristikou jednotlivých druhů degradačních mechanismů, které mohou mít negativní vliv na provoz a bezpečnost plynovodů.

4.1 Degradální procesy ocelových materiálů

4.1.1 Koroze a základní druhy korozního napadení

Obecně je možno korozi definovat jako znehodnocování materiálu reakcí s okolním prostředím, především v prostředí půdním. Postupné znehodnocování může vést až k narušení vlastní funkce plynového zařízení. Jestliže je kovový (ocelový, litinový) materiál uložen ve vlhkém prostředí (což je u půdy téměř vždy), vzniká elektrochemická reakce, jejímž výsledkem je oxidace kovu [1].

Koroze v půdě - kovové materiály uložené v půdě mohou být korozi napadány z různých příčin. Fyzikální a chemické vlivy spojené s vlastnostmi půdy vyvolávají tzv. prostou půdní korozi. Půdou mohou téci elektrické proudy, jejich působením na úložná zařízení dochází ke korozi označované jako koroze bludnými proudy. Za určitých podmínek může na povrchu kovu v půdě docházet i k rozvoji kolonií mikroorganismů, jejichž vliv se může projevit jako mikrobiální koroze.

Vnitřní koroze - může se uplatnit pouze tehdy, jsou-li pro ni vytvořeny složením plynu vhodné předpoklady a ve srovnání s korozi vnějších povrchů potrubí jsou korozní projevy na vnitřních částech přepravních plynovodů v podstatě minimální.

Atmosférická koroze - se týká úseků potrubí, které nejsou uloženy v zemi, ale nad zemí jako např. nadzemní ocelové přechody vodotečí a které jsou vystaveny účinkům elektrochemické koroze [20, 37].

Druhy korozního napadení

Rovnoměrná koroze - je nejběžnějším druhem korozního napadení. Materiál pod plochou vystavenou prostředí ubývá téměř stejnoměrně, snížení pevnosti materiálu je úměrné koroznímu úbytku materiálu.

Bodová (důlková) koroze - místní narušení pasivního filmu způsobuje často bodovou korozi (pitting) ve formě důlků, jejichž průměr na povrchu může být menší než jejich hloubka. Důlkovou korozi, která je více nebezpečná než rovnoměrná koroze, ovlivňuje více faktorů, které lze rozdělit do dvou základních skupin:

- a) výrobně konstrukční (průměr potrubí, tloušťka stěny, sklon potrubí)
 - b) provozní (složení plynu, obsah vody, pevné částice v potrubí, provozní tlak, teplota)
- [20, 38].

4.1.3 Korozní praskání a korozní únava

Působením tahového napětí a specifického prostředí nebo působení cyklického napětí a korozního prostředí může vyvolat vznik trhlin a lomů. Tato porušení se nazývají korozní

praskání nebo korozní únava. Trhliny mají křehký charakter, probíhají kolmo na směr hlavního napětí, často i pod mezí kluzu materiálu. Stanoví se z doby do lomu nebo rychlosti šíření trhlin v souvislosti s životností zařízení např. potrubí.

Korozním praskáním je označováno náhlé porušování kovu lomem, vzniklým vlivem působení prostředí a mechanického tahového napětí, často bez jakýchkoliv průvodních jevů, jako např. patrná koroze na povrchu kovu. Napadení postupuje interkrystalicky (po hranicích zrn) nebo transkrystalicky (přes zrna dovnitř materiálu) a nebo kombinací obou mechanismů [15, 20, 21].

4.1.4 Erozivní opotřebení

Erozivní opotřebení unášenými částicemi se vyskytuje mimo jiné právě v proudu plynů, např. částice prachu v plynovém potrubí. V důsledku rozdílné hustoty proudícího média a unášených částic, dochází k erozi přednostně v místech změny směru proudění (kolena, ohyby). Objemový úbytek materiálu při erozi závisí na složení, velikosti a tvaru erodujících částic, na rychlosti dopadajících částic, na jejich hmotnosti a na úhlu dopadu na povrch [20, 21].

4.1.5 Únavové poškození

Únavové poškození je druh porušení konstrukcí vlivem působení časově proměnlivých složek napětí v materiálu. Přitom hodnoty napětí mohou být tak nízké, že její statické působení snáší kov bez známek porušení. Postupné rozrušování materiálu při proměnlivém zatěžování má nevratný, kumulativní charakter, který se až v samotném závěru procesu projeví růstem makroskopické trhliny.

U středotlakých a zejména vysokotlakých plynovodů připadá v úvahu nízkocyklová únava, zapříčiněná odstávkami a kolísáním tlaku plynu v závislosti na odběru a vysokocyklová únava u vysokotlakých plynovodů v okolí kompresorových stanic [15, 21].

4.2 Degradační procesy plastových materiálů

Korozi plastů lze definovat jako nežádoucí změnu složení a vlastností plastů, způsobenou vnějšími podmínkami a vedoucí k jejich znehodnocení. Korozi plastů mohou obecně způsobit různé vlivy, u trubních polyetylenů lze brát v úvahu při skladování a manipulaci před pokládkou vliv zvýšené teploty, vliv povětrnosti, ultrafialového záření, případně styk s agresivními chemickými činidly a mechanické namáhání [8, 26].

Vliv agresivních činidel

Polyetylen je dosti stálý proti účinkům neoxidačních kyselin, zásad a solí i proti slabým oxidačním činidlům a naopak silnější oxidovadla nebo oxidační atmosféra je silně porušují. Nepolární polymery jako polyethylen botnají nebo se rozpouštějí v nepolárních rozpouštědlech, např. v benzínu, benzenu nebo tetrachlormethanu, odolávají však polárním rozpouštědlům – vodě a alkoholům [8, 26].

Vliv světla (slunečního záření) a stárnutí plastů

Největší vliv na stárnutí plastů má světlo, konkrétně ultrafialové záření, které je neviditelnou součástí slunečního spektra. Sluneční záření je tedy jeden z nejvýznamnějších činitelů přirozeného stárnutí plastů, způsobujících degradaci plastů, kdy dochází k rozkladu polymerů oxidací, štěpením, síťováním řetězců atd. [8, 26].

Vliv mechanického namáhání

Je-li makromolekulární látka při působení chemického činidla nebo atmosféry současně podrobena mechanickému namáhání, je korozní účinek prostředí daleko větší. Tento jev se obecně nazývá koroze za napětí [8].

5 Protikorozní ochrana ocelových materiálů

S ohledem na nejrozšířenější a nejzávažnější druh z uvedených degradačních procesů při provozu ocelových plynovodů a tím je míněna koroze, jsou zde blíže popsány běžně používané způsoby protikorozní ochrany.

Plynárenství je oborem, kde protikorozní ochrana nabývá mimořádného významu, neboť velmi úzce souvisí nejen s plynulou a bezporuchovou dodávkou plynu, ale i s bezpečností osob a zařízení. Cílem protikorozní ochrany je rovněž zachování dlouhodobé životnosti rozvodných zařízení. Korozní znehodnocování materiálu znamenají také náklady na opravu poškozených míst a ekonomické ztráty vyvolané únikem plynu včetně omezení dodávek plynu [1].

5.1 Pasivní ochrana

Korozní děje na potrubích nebo jiných zařízeních uložených v zemi, mohou probíhat pouze tehdy, když ke kovu má přístup voda nebo kyslík. Tedy prvotní snaha je dobře oddělit povrch kovu od okolního prostředí, aby žádný z depolarizátorů neměl ke kovu přístup. Povléknout povrch chráněného zařízení vhodným materiálem, který bude mimo jiné, velmi málo propustný pro vodu i kyslík, bude mít vysoký elektrický odpor a dostatečnou odolnost vůči mechanickému namáhání. Z toho, že takový povlak, resp. izolace žádným způsobem aktivně nezasahuje do probíhajících korozních pochodů, se tento způsob protikorozní ochrany nazývá pasivní. Opačně při tzv. aktivní ochraně proti korozi se uměle vyvolané změny potenciálu účastní korozních pochodů aktivně. Pasivní ochrana je tedy základním prvkem protikorozní ochrany.

Izolace, jak bylo již uvedeno, tvoří bariéru mezi chráněným povrchem kovu a obklopujícím prostředím. Izolace jako základní prvek pasivní protikorozní ochrany musí splňovat řadu důležitých požadavků. Musí mít malou propustnost pro vodu i kyslík, aby zamezila v první řadě kontaktu hlavních korozivních činitelů s povrchem kovu. Dále musí odolávat elektrochemickým vlivům elektrického proudu, musí mít vysoký elektrický odpor a odolnost vůči vlivům látek obsažených v půdě. Soli rozpuštěné ve vodě nebo půdě působí jako elektrolyt. Nejzávažnější ovlivnění izolací je způsobeno stejnosměrným proudem, např.

bludných proudů unikajících z elektrifikované dopravy nebo indukovaných proudů v místě vedení vysokého napětí. Izolace musí být neporézní, vyznačovat se trvalou přilnavostí k povrchu kovu, nesmí obsahovat látky podporující korozi kovu a musí dostatečně odolávat biologickým vlivům. Také je nezbytná dostatečná odolnost vůči mechanickému namáhání za všech podmínek, ať při dopravě, skladování, montáži, ukládání nebo provozu.

Požadavky pro pasivní ochranu v plynárenství řeší technická pravidla TPG 920 21, která obsahují požadavky pro volbu izolací a izolačních systémů [37, 39].

5.1.1 Tovární izolace trub

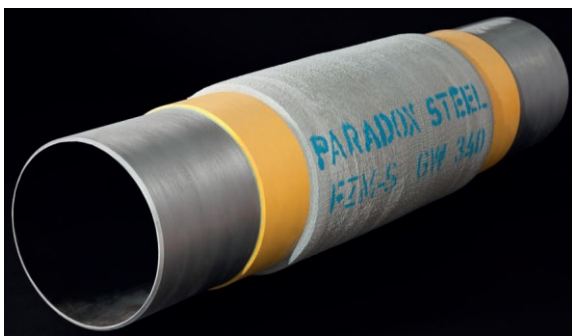
Tímto pojmem označujeme izolace trub, se kterými jsou dodávány již od výrobce. Tovární izolace dělíme podle materiálu, ze kterého jsou vyráběny na asfaltové a plastové. Podle tloušťky izolačního povlaku rozlišujeme izolace normální a zesílené [39].

5.1.1.1 Asfaltové izolace

Nejstarším typem izolací jsou asfaltové izolace, které se pro výstavbu nových potrubí v plynárenství již přestaly používat, a které dnes u nás již jen okrajově a pouze na zakázku Mittal Steel Ostrava, a.s. Asfaltová izolace u trubek rozměru nad DN 50 může být provedena dle ČSN 42 0022 jako normální, zesílená a zesílená speciální. Přestože se jedná o nejstarší typ používaných izolací, jsou kvalitně provedené asfaltové izolace schopny spolehlivě zajistit protikorozi ochranu kovových zařízení, uložených do země [37, 39].

5.1.1.2 Plastové izolace

Moderní technologie protikorozi izolací využívají plasty. Mezi plastové izolace se obecně zahrnují také izolace na bázi epoxidových pryskyřic. Největšího rozšíření doznaly tovární izolace, vyráběné extruzí (vytlačováním) nebo sintrováním (slinováním) polyolefinů polyetylenu a polypropylenu, ale nejčastěji se využívá polyetylen. Extrudovaná izolace může



být dvouvrstvá (tavné adhezivum + polyetylen) nebo třívrstvá (epoxidová vrstva + tavné adhezivum + polyetylen nebo polypropylen). Třívrstvé PE izolace pro zajištění lepší mechanické ochrany izolace mohou být navíc v provedení s cementovým (obr. 24), případně sklolaminátovým povlakem [37, 39, 40].

Obr. 24: Mechanická ochrana trubek s PE izolací vláknito-cementovým povlakem [24]

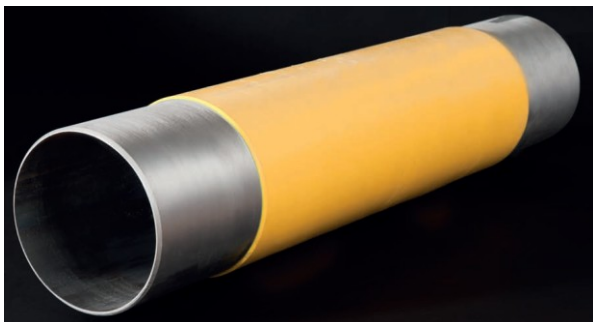
Sintrovaná izolace

Sintrovaná izolace je vyráběna postupným nanášením práškového polyetylenu na ohřátou rotující trubku. První vrstvička polyetylenu se tepelně degraduje a zbytky polyetylenu se pevně zakotví na kovovém povrchu, v dalších vrstvách se PE nataví a sline do izolační vrstvy potřebné tloušťky. Tloušťka vrstvy se pohybuje zpravidla od 2,0 do 3,5 mm v závislosti na průměru trubky. U nás se tento typ izolace nevyrábí, takto izolované trubky

byly dříve dováženy většinou z Německa. Dnes se tento typ již pro stavbu potrubí nepoužívá [37, 39].

Extrudovaná izolace

Extrudovaná izolace je tvořena několika vrstvami. Na vyčištěný přehřátý povrch trubky se nanáší vrstva adheziva, které zprostředkuje přilnutí vlastní izolační polyetylenové



Obr. 25: Ocelová trubka s třívrstvou extrudovanou PE izolací [24]

vrstvy ke kovu. Polyetylenová vrstva se vytlačuje za tepla tzv. extrudérem buď po celém obvodu trubky najednou (u menších průměrů), kdy se trubka protahuje kruhovou tryskou extrudéru, nebo je postupně štěrbinovou tryskou vytlačován pruh materiálu „navíjený“ ve šroubovici na otáčející se trubku. Tento typ izolace je označován jako „dvouvrstvá“ extrudovaná izolace. U „třívrstvé“ izolace (obr. 25) je navíc povrch kovu pod adhezivem opatřen tenkou vrstvičkou základního nátěru, zpravidla na bázi epoxidových pryskyřic. Celková tloušťka izolace se zpravidla pohybuje od 2,0 do 4,0 mm v závislosti na průměru trubky [39].

vrstvy ke kovu. Polyetylenová vrstva se vytlačuje za tepla tzv. extrudérem buď po celém obvodu trubky najednou (u menších průměrů), kdy se trubka protahuje kruhovou tryskou extrudéru, nebo je postupně štěrbinovou tryskou vytlačován pruh materiálu „navíjený“ ve šroubovici na otáčející se trubku. Tento typ izolace je označován jako „dvouvrstvá“ extrudovaná

5.2 Aktivní ochrana

5.2.1 Elektrochemická ochrana

Obecně lze aktivní, elektrochemické ochrany označit jako postupy, které vycházejí ze skutečnosti, že všechny korozní pochody jsou vyvolávány elektrochemickými reakcemi, probíhajícími na povrchu kovu, a že je tedy možno je dalšími elektrochemickými reakcemi ovlivňovat.

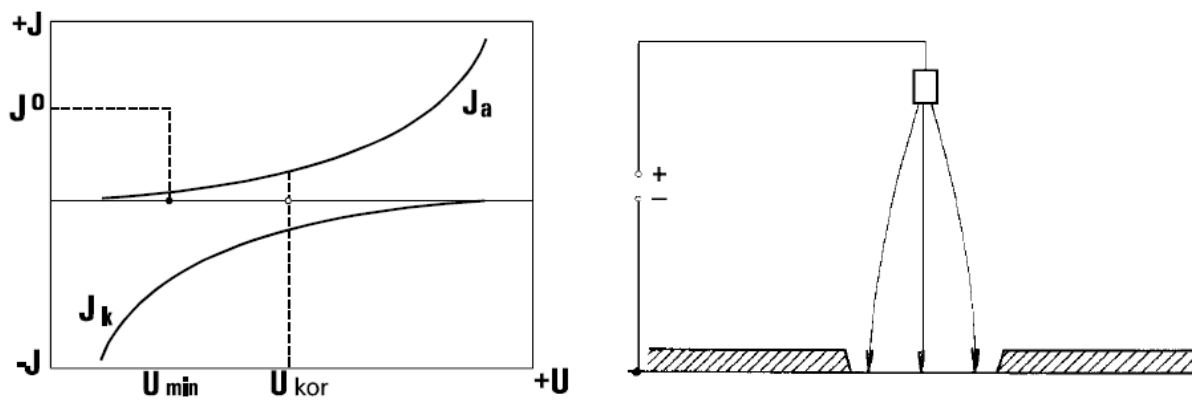
Podle polarizace elektrochemické ochrany rozlišujeme anodickou a katodickou ochranu. Označení vychází z toho, že při anodické ochraně je chráněné zařízení zapojeno jako anoda, při katodické ochraně je naopak katodou. Zatímco anodická ochrana se využívá převážně při ochraně vnitřních povrchů zařízení v některých chemických výrobcích, které svým charakterem její aplikaci umožňují, pro ochranu vnějších povrchů zařízení uložených v zemi je použitelná pouze katodická ochrana [37].

5.2.2 Princip katodické ochrany

Jak již bylo uvedeno, princip katodické ochrany spočívá v ovlivnění elektrochemických korozních pochodů, postup je znázorněn v diagramu na obrázku (obr. 26). Posunem potenciálu doleva od výchozí hodnoty U_{kor} dochází postupně ke snižování hodnoty proudové hustoty J_a , tedy i ke snižování korozního rozpouštění kovu. Účelem je snížit tuto hodnotu tak, aby byla koroze snížena pod technicky významnou, respektive pod přípustnou mez. Hodnotu potenciálu, při které je tohoto stavu dosaženo označujeme jako minimální ochranný potenciál U_{min} . Dosažení uvedeného stavu samozřejmě není možné bez dodávání

proudu zvětší. Ochranný proud, v obrázku označený J^0 , musí být vždy o něco větší než původní korozní proud.

Katodickou ochranou jsou potlačeny projevy korozního článku, proud do vzorku zeminou pouze vstupuje, vzorek je katodicky chráněn. Připojením zařízení, které chceme chránit na záporný pól stejnosměrného zdroje a s použitím vhodné anody připojené na kladný pól, lze realizovat katodickou ochranu libovolného ocelového zařízení [37].



Obr. 26: Princip a schematické znázornění katodické ochrany [37]

6 Technické a ekonomické posouzení

6.1 Srovnání technických parametrů

Výhody použití plastového PE potrubí ve srovnání při použití ocelového potrubí:

- malá měrná hmotnost ve srovnání s ocelí a s tím související snadnější doprava, manipulace a technika pokládání
- dobrá odolnost proti chemické korozi a všem druhům koroze obecně, odpadá izolace svárů a aktivní protikorozní ochrana
- elektrická nevodivost, je vyloučena elektrochemická koroze, způsobená bludnými proudy
- trvalá výborná hladkost povrchu, to znamená menší hydraulický odpor, menší tlakové ztráty a tím vyšší přepravní kapacita ve srovnání s ekvivalentním průměrem ocelového potrubí při stejném provozním tlaku
- vyšší životnost potrubí, pro ocel se uvádí 40-50 let, pro PE je minimálně 50 let a vyšší (očekávaná životnost dle typu dokonce až 100 let, u typu RC-DUALTEC nad 100 let)
- zvýšení bezpečnosti provozu vzhledem ke vzniku případného úniku plynu, vyvolaném degradací ocelového materiálu (koroze) a s tím spojené finanční náklady
- možnost výroby trubek v různých délkách a popřípadě jejich navíjení do svitků, dobrá ohebnost využitelná nejen k navíjení do svitků (až $d_n \geq 110$), ale i pro samotnou pokládku
- houževnatost i za nízkých teplot
- hygienická nezávadnost

- nižší nároky na zručnost svářeče PE potrubí než u svářeče ocelového potrubí a eliminace případných defektů ve svarových spojích ocelového potrubí a možného úniku plynu
- optimálnější technologičnost montáže a spojování potrubí a s tím spojená vyšší produktivita práce
- kratší doba výstavby vzhledem k vyšší rychlosti montáže a produktivitě práce
- možnost použití pro bezvýkopové technologie a pro rekonstrukce vyvložkováním původního potrubí
- při nutné odstávce daného úseku plynovodu lze do průměru d_n 160 provést přerušeni toku plynu vlastním zmáčknutím plastového potrubí s využitím vratné paměti materiálu
- podstatně menší energetická náročnost při výrobě i zpracování než u kovových potrubí, což znamená v konečném důsledku, že výroba méně zatěžuje životní prostředí [8, 9, 32].

Nevýhody použití plastového PE potrubí ve srovnání při použití ocelového potrubí:

- horší mechanické vlastnosti
- náchylnější k poškození třetí stranou
- lze použít jen do provozního tlaku 400 kPa (NTL, STL), ocelová trubka může pracovat při vyšších provozních tlacích a s vyšší přenosovou kapacitou (VTL)
- nižší tepelná odolnost než kovy
- uložení potrubí pouze v zemi, nelze použít pro případné nadzemní přechody
- vyšší tepelná roztažnost
- nižší tvrdost povrchu náchylného k mechanickému poškození
- nepatří mezi úplně nehořlavé látky
- jsou v převážně většině citlivé k UV-záření, před kterým se musí chránit vhodnými stabilizátory
- pro lokalizaci potrubí se musí pokládat souběžně signalizační vodič
- s použitím PE trubek historicky nejsou takové dlouhodobé zkušenosti z praxe

Některé uvedené nevýhody použití PE potrubí jsou zohledněny dodržováním zásad pro skladování, přepravu, manipulaci, spojování, pokládání do výkopu včetně obsypu a záhozu a především neustálým vývojem různých a odolnějších typů PE materiálů pro potrubní rozvody včetně jejich vnější mechanické ochrany (jako např. použití PE potrubí s ochranným pláštěm, signalizační vodič může být již součástí PE potrubí apod.) [8, 9, 32].

6.2 Srovnání ekonomických parametrů

Ekonomická analýza vychází z předpokladu, že výrobní cena plastového potrubí je přiměřeně levnější než výrobní cena izolovaného ocelového potrubí o stejném průměru a délce, tudíž i cena od výrobce, případně dodavatele je rozdílná ve prospěch plastového potrubí. Totéž platí i pro samotnou montáž potrubí, kde je rozdíl v jednotlivých materiálech ještě výraznější.

Pro porovnání cen a názornou ilustraci byl vybrán běžně používaný typ a průměr plastového potrubí PE 100 SDR 17,6 d_n 160 s ochranným (PP) pláštěm a jeho ekvivalent DN 150 v případě ocelového potrubí s běžně používanou jakostí L245N a se standardní PE izolací. Pro srovnání základních cen byly použity cenové podklady z Cenové soustavy ÚRS, která obsahuje nejpoužívanější a nejvíce aktualizované podklady pro oceňování stavební produkce v České republice a zahrnuje i Sborník pořizovacích cen materiálů a Katalogy montáží technologických zařízení. Srovnání základních cen ÚRS doplňují základní ceny od výrobců trubek včetně zvýhodněné ceny PE trubek pro zhotovitele staveb a partnery společnosti GasNet (člen skupiny Innogy v ČR). Celkové srovnání cen trubních materiálů přibližuje následující tabulka č. 2.

Tabulka č. 2: Celkové srovnání cen materiálů (platnost cen uvedena ke dni 23.2.2017)

Druh materiálu potrubí	Cena v Kč (bez DPH)					
	materiálu dle ÚRS	montáže dle ÚRS	materiálu výrobce základní	materiálu GasNet pro zhotovitele a partnery	montáže zhotovitele	celková materiálu + montáž zhotovitele
Plastové d_n 160	669,-	160,-	669,-	384,-	165,-	549,-
Ocelové DN 150	857,-	582,-	756,-	875,-	315,-	1071,-

Z tabulky jednoznačně vyplývá výrazné cenové zvýhodnění v případě použití plastového potrubí pro výstavbu plynovodů. Cena plastového materiálu činí 51 % ceny ocelového materiálu, kdy finanční úspora činí 49 %. Cena montáže plastového potrubí činí 52 % ceny montáže ocelového potrubí, kdy finanční úspora činí 48 %. Celková reálná cena materiálu včetně montáže v případě použití plastového potrubí činí 51 % celkové ceny materiálu a montáže ocelového potrubí, tudíž celková finanční úspora činí 49 % ve prospěch plastového potrubí. Cena zemních prací není důležitá, neboť je pro oba druhy materiálu shodná jak vzhledem ke způsobu provedení výkopu a uložení potrubí, tak i k jasně definované minimální šíři výkopu 0,8 m.

Při použití bezvýkopových technologií v technicky zdůvodněných případech, kde lze použít pouze plastové potrubí, mohou vykazovat určitou finanční úsporu i zemní práce, a to v závislosti na povrchu terénu, např. vedení v asfaltové komunikaci, kdy zpětná oprava narušených asfaltových povrchů významně zvyšuje cenu zemních prací [41, 42].

7 Závěr

Materiály pro rozvody plynu u nás prošly v historii několika zásadními proměnami. Během historie v plynárenství u nás až po současnost se pro rozvody plynu vyzkoušely různé druhy technických materiálů a to zejména u plynovodů místních sítí.

S rozvojem průmyslové výroby svítiplynu se uplatnily kovové materiály litina a ocel. U kovových materiálů se dlouhodobým provozem osvědčila ocel pro své lepší mechanické vlastnosti a při rekonstrukcích plynovodů postupně zcela vytlačila křehčí litinu, náchylnou na vnější zatížení a poškození. Litinové trubky byly sice ekonomicky příznivější a měly lepší protikorozní odolnost než ocelové trubky, ale s nárůstem povrchové dopravy a měrného zatížení vozovek stále těžšími vozidly, začaly svou povahou poměrně křehké a ve spojích jen temované litinové plynovody být pro časté mechanické poškození a netěsnosti spojů neúnosné.

První pokus v hledání nekovových materiálů odolných korozi pro místní NTL sítě proběhl v padesátých letech minulého století, kdy byl pro plynovodní trubky vyzkoušen azbestocement. Výhodou azbestocementových plynovodů byla jejich nízká cena, malá hmotnost, snadná opracovatelnost a především pak jejich odolnost proti korozi. Přes počáteční optimismus se azbestocementové plynovody neosvědčily. Byly poměrně křehké a proto nevhodné do ulic s živější povrchovou dopravou, kde i spoje plynovodů vykazovaly časté netěsnosti.

Tudíž začátkem šedesátých let se začalo experimentovat s plasty, kdy bylo v ČSSR zkušebně položeno několik přípojek z lineárního polyetylenu PE 63 (MRS 6,3) a z polyvinylchloridu (PVC). Po následném vyhodnocení zkušebního provozu, rozvody plynu u místních sítí (NTL, STL plynovody) díky svým vlastnostem jednoznačně ovládl polyetylen. Hlavním důvodem od ustoupení použití trubek z polyvinylchloridu byla citlivost PVC na chemické složení dopravovaného plynu, doprovodných látek (např. benzol, naftalen), nebo také odorizačních prostředků ve zvýšených koncentracích, které způsobovaly korozi za napětí, jejímž výsledkem byly při současném působení provozních napětí trhlinky v povrchu potrubí. Další významnou nevýhodou PVC byla také jeho značná tuhost a omezení, co se týče maximálního provozního tlaku, který činil pouze 0,1 MPa v porovnání až 0,3 MPa u polyetylenu (později 0,4 MPa), což umožňuje pro stejné přepravované množství plynu použít menších průměrů. Správně zvolenou cestu v použití polyetylenu u nás potvrdily obdobné zkušenosti v zahraničí. Polyetylenové materiály vývojovými typy PE 63, PE 80 a PE 100 u místních sítí od sedmdesátých let minulého století s určitými problémy postupně vytlačily ocelové materiály a od počátku devadesátých let při nové výstavbě již zcela nahradily ocelové materiály (vyjma nezbytných nadzemních přechodů) a při plánovaných rekonstrukcích úspěšně vytlačují zbylé rozvody z ocelových materiálů do současnosti. Je

potřeba zmínit i současně probíhající vytlačení 1. generace polyetylenů (PE 63) s obchodním označením LITEN PL 10 z produkce bývalé ČSSR (Plastika Nitra) z místních sítí v celé české republice z důvodu zjištění degradace materiálu na základě provozních poruch i provozní havárie, a tím nižší provozní životnosti trubního materiálu, než se původně předpokládalo.

U vysokotlakých plynovodů vzhledem k pracovním tlakům v potrubí jsou stále dominantní ocelové materiály díky svým nezastupitelným vlastnostem. V devadesátých letech sice byly úspěšně provedeny v několika případech VTL plynovody ze sklolaminátu z důvodu řešení složité lokální korozní situace v dané oblasti, díky své odolnosti proti korozi, způsobované bludnými proudy, nicméně se nakonec v širším měřítku neuplatnily. Jako nevýhody se spatřují v nedořešeném způsobu provádění odboček případně oprav za provozu (pod tlakem) a v citlivosti na porušení díky křehkosti materiálu (nižší odolnost proti rázu).

Vzhledem k uvedeným výhodám a nevýhodám, vyplývajícím z použití a provozu jednotlivých potrubních materiálů a s ohledem k výsledkům technicko-ekonomického posouzení, kdy použití plastového potrubí jak z hlediska ceny, tak i montáže vykazuje celkově významnou finanční úsporu, se jako nejprogresivnější materiál u místních (NTL, STL) sítí osvědčily různé vývojové typy polyetylenů s neustálým zvyšováním jeho užitných vlastností, a tím provozní životnosti plynovodů. Nejodolnější typy polyetylenových trubek v současnosti pro zvýšení své mechanické ochrany využívají jiného zástupce polyolefinů, a to propylenu jako ochranného pláště.

U VTL plynovodů se osvědčily nízkouhlíkové nelegované nebo nízkolegované ocelové trubní materiály požadované jakosti pro své výborné pevnostní vlastnosti při zachování příznivé houževnatosti a tranzitního teplotního chování. Pasivní protikorozní ochrana ocelových potrubí je dnes zajištěna již moderními plastovými izolacemi na bázi polyetylenů a propylenu, ale většinou polyetylenů, který opět takto potvrzuje své uplatnění v plynárenství i v oblasti izolačních materiálů. Kromě pasivní ochrany, napomáhá k posílení maximální protikorozní ochrany ocelových potrubí i současně provozovaná aktivní protikorozní ochrana, respektive katodická ochrana.

V současnosti jsou pro dopravu a distribuci plynu v případě vysokotlakých (VTL) a velmi vysokotlakých (VVTL) plynovodů používány výhradně ocelové trubky příslušné jakosti, dle výrobního provedení jako bezešvé a podélně nebo šroubovicově svařované z nízkouhlíkových nelegovaných nebo nízkolegovaných ocelových materiálů, ve stavu tepelně zpracovaných, a to normalizačně žíhaných nebo termomechanicky zpracovaných. Pro nízkotlaké (NTL) a středotlaké (STL) plynovody se jako progresivní, výrobně technologicky nenáročná, cenově výhodná, odolná vůči korozi a šetrná k životnímu prostředí používají trubky z plastových materiálů, a to výhradně z polyetylenů PE 100 a PE 100 RC a jejich typových modifikací.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] **Pertlík, Jiří.** *Instalace zařízení pro rozvod a použití plynu.* Říčany u Prahy : GAS s.r.o., Říčany u Prahy, 2003. ISBN 80-86176-84-3.
- [2] **Jančar, Dalibor.** Plynárenství. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2013.
- [3] **Kolektiv autorů.** *ENCYKLOPEDIE PLYNÁRENSTVÍ.* Praha : GAS s.r.o., Praha, 2006. ISBN 978-80-7328-105-2.
- [4] **Čapla, Libor a Beneš, Miloš.** Vlastnosti topných plynů. Praha : Vysoká škola Chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-592-7.
- [5] **Hájek, Gustav.** *Zařizování plynovodů a vodovodů.* 2. vydání. Praha : Josef Hokr, 1947. Sv. VIII.
- [6] **Borodin, I.V.** *Zámečnická potrubí - Montáž venkovních vodovodů, plynovodů, kanalisace a průmyslového potrubí.* Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1953.
- [7] **Novák, Rudolf.** U Plynárny 500. *Měsíčník pražské plynárenské, a.s., 3/2006.* 2006.
- [8] **Bachmann, Jiří a kolektiv.** *Plasty pro rozvod médií a svařované konstrukce.* Praha : GAS s.r.o., Praha, 2001. ISBN 80-86176-97-5.
- [9] **Kolektiv autorů.** *Problematika rozvoje staveb plynovodů z nekovových materiálů.* Hradec Králové : Dům techniky ČSVTS Pardubice, 1980. 60/868/80.
- [10] **Ducháček, Vratislav.** Polymerní materiály pro plynárenství. Praha : Vysoká škola Chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-594-3.
- [11] **Nezbedová, Eva a Vinarský, Pavel.** Specifikace aplikace sklolaminátových potrubí. *Slovgas 1/2008.* 2008.
- [12] **Chrástek, Josef.** Teorie a praxe při výstavbě VTL plynovodů ze sklolaminátových potrubních systémů STAR. *Slovgas 6/2003.* 2003.
- [13] **Kolektiv autorů.** Kurz od těžby ke spotřebě. *Základy plynárenství.* Praha : Český plynárenský svaz, 2015. ISBN 978-80-87992-07-4.
- [14] **Sojka, Jaroslav.** Technické materiály. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2013.
- [15] **Gajdoš, Lubomír a kolektiv.** *Bezpečnost a integrita vysokotlakých plynovodů.* Praha : Český plynárenský svaz, 2011. ISBN 978-80-904619-2-5.
- [16] **Gajdoš, Lubomír a kolektiv.** *Spolehlivost plynovodních potrubí.* Praha : Vydavatelství ČVUT, Praha, 2000. ISBN 80-01-02143-2.
- [17] TPG 702 04. *Plynovody a přípojky z oceli s nejvyšším provozním tlakem do 100 bar včetně.* Praha : Český plynárenský svaz, 2013. ISBN 978-80-7328-284-4.
- [18] ČSN EN ISO 3183. *Naftový a plynárenský průmysl - Ocelové trubky pro porubní přepravní systémy.* Praha : ÚNMZ, 2014.
- [19] **Kolektiv autorů.** *Materiály a jejich svařitelnost.* Ostrava : Česká svařečská společnost ANB, 2001. ISBN 80-85771-85-3.
- [20] **Lasek, Stanislav.** Základy degradačních procesů. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2013.

- [21] **Strnadel, Bohumír.** Nauka o materiálu II - Degradací procesy a design konstrukčních materiálů. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1842-9.
- [22] ArcelorMittal se podílí na stavbě 2000km plynovodu v Polsku. *PRŮMYSL.CZ*. [Online] [Citace: 2. Květen 2017.] <http://www.prumysl.cz/arcelormittal-se-podili-na-stavbe-2000km-plynovodu-v-polsku/>.
- [23] **Humhal, František.** Zásady pro projektování, výstavbu, rekonstrukce a opravy místních sítí. *Technický požadavek GRID_TX_G08_04_04*. Brno : RWE GasNet, 2014.
- [24] Katalog produktů. *Paradox steel s.r.o.* [Online] [Citace: 2. Květen 2017.] http://www.trubky.eu/dokumenty/Catalogue_manufacturing_part.pdf.
- [25] **Kráska, Tomáš.** Zásady pro projektování, výstavbu, opravy a rekonstrukce VTL plynovodů a přípojek do 40 bar. *Technický požadavek GRID_TX_08_02_03*. Brno : RWE GasNet, 2014.
- [26] **Horák, Miroslav.** Informační materiál pro Vyšší svařečský personál. Ostrava : M+M perfekt svar, s.r.o., ČSSP - Česká společnost pro svařování produktů.
- [27] TPG 702 01. *Plynovody a přípojky z polyetyleny*. Praha : Český plynárenský svaz, 2016. ISBN 978-80-87992-25-8.
- [28] GASCONTROL PLAST, a.s. *Produkty*. [Online] [Citace: 27. Únor 2017.] www.gascontrolplast.cz.
- [29] **Lively, Karen S.** Large Diameter Gas Distribution Mains. [Online] [Citace: 15. Duben 2017.] <https://plasticpipe.org/pdf/large-diam-gas-distribution-mains.pdf>.
- [30] **Lively, Karen S.** Large-Diameter Plastic Pipe Mains Are Helping Gas Distribution. *Pipeline and Gas Journal*. [Online] [Citace: 16. duben 2017.] <https://pgjonline.com/2009/12/11/large-diameter-plastic-pipe-mains-are-helping-gas-distribution/>.
- [31] Natural Gas Delivery System Materials. *American Gas Association*. [Online] [Citace: 1. květen 2017.] <https://www.aga.org/natural-gas-delivery-system-materials>.
- [32] **Ampfer, Christopher W.** Evaluation of 12-inch Polyethylene Pipe for Cinergy Gas Distribution. *American Gas Association*. [Online] [Citace: 1. květen 2017.] <https://www.aga.org/sites/default/files/legacy-assets/SiteCollectionDocuments/Committees/PlasticMaterials/100416Paper.pdf>.
- [33] About Polyamide (Nylon) Pipe Systems. *Georg Fischer Piping Systems Australia 2016*. [Online] [Citace: 25. duben 2017.] <https://www.georgfischerblog.com.au/about-polyamide-nylon-pipe-systems/>.
- [34] History of Use of Polyamide 12 in atural Gas. [Online] [Citace: 28. duben 2017.] http://gasapps.gastechnology.org/webroot/app/rtpGuidelines/docs/PA12/HISTORY_OF_USE_OF_POLYAMIDE_12_IN_NATURAL_GAS_TRANSPORTATION_SYSTEMS-AUS.pdf.
- [35] The Australian Pipelines and Gas Association. [Online] [Citace: 1. květen 2017.] <http://www.apga.org.au/industry/facts-and-figures-about-pipelines-and-gas/>.

- [36] ACP Australian Custom Pipes. [Online] [Citace: 1. květen 2017.] <http://www.acpipes.com.au/markets/plastic-fittings-gf/>.
- [37] **Člupek, Otakar a Davidová, Helena.** *Protikorozní ochrana*. Praha : GAS s.r.o., Praha, 1998. ISBN 80-902339-8-8.
- [38] **Papavinasam, S., Doiron, A. a Revie, R.** Model to Predict Internal Pitting Corrosion of Oil and Gas Pipelines. *Corrosion*. 2010. ISSN 00109312.
- [39] **Člupek, Otakar a Davidová, Helena.** Kurz pro získání odborné způsobilosti k izolování plynárenských zařízení uložených v zemi podle TPG 927 02. *Učební texty*. Praha : ÚVP - protikorozní ochrana, s.r.o., Praha 9 - Běchovice, 2015.
- [40] TPG 920 21. *Protikorozní ochrana v zemi uložených ocelových zařízení. Volba izolačních systému*. Praha : Český plynárenský svaz, 2014. ISBN 978-80-7328-300-1.
- [41] Cenová soustava ÚRS. [Online] [Citace: 23. únor 2017.] <http://www.pro-rozpocety.cz/software-a-data/cenova-soustava-urs-cs-urs-/>.
- [42] GasNet. [Online] [Citace: 23. únor 2017.] <https://dpo.gasnet.cz/dodavatel/ceniky-a-smlouvy>