



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

TLAKOVÉ ZTRÁTY V POTRUBÍ MODERNÍHO TYPU

PRESSURE DROP IN MODERN PIPELINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Přikryl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jakub Elcner, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Pavel Přikryl**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jakub Elcner, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Tlakové ztráty v potrubí moderního typu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Moderní řešení rozvodů TZB (technické zařízení budov) představují vlnovcové trubky, které umožňují jednoduché tvarování a snižují tak náklady na nákup některých armatur. Takto zvolené řešení rozvodů však může mít nevýhodu v podobě vyšší tlakové ztráty v potrubí a tedy i vyšších pořizovacích a provozních nákladů (výkonnější čerpadlo). Cílem této práce je provést rešerši dostupných systémů a na modelové trati provést srovnání s běžně používanými systémy.

Cíle bakalářské práce:

Provést rešerši dostupných řešení pro rozvody TZB
Na modelové trati provést srovnání vybraných systémů

Seznam literatury:

PETRÁŠ, Dušan. Vytápění rodinných a bytových domů. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2005, 246 s. : il. ISBN 80-8076-020-9.

POČINKOVÁ, Marcela a Lea TREUOVÁ. Vytápění. 4., aktualiz. vyd. Brno: ERA, 2008, xvi, 144 s. : il. ; 21 cm. ISBN 978-80-7366-116-8.

IDELCHIK, I. E, M. O STEINBERG, Greta R MALYAVSKAYA a Oleg G MARTYENKO. Handbook of hydraulic resistance. 3rd ed. Mumbai: Jaico Publishing House, 2006, 790 s. : il. ISBN 81-7992-118-2.

MCQUISTON, Faye C, Jerald D PARKER a Jeffrey D SPITLER. Heating, ventilating, and air conditioning: analysis and design. 6th ed. Hoboken: John Wiley, 2005, 623 s. : il., vlepěná příl. ISBN 0-471-47015-5.

VALENTA, Vladimír. Topenářská příručka. 3, Návody na projektování tepelných zařízení. 1. vyd.
Praha: Agentura ČSTZ, 2007, 378 s. : il. ISBN 978-80-86028-13-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 14. 11. 2016



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o vývoji materiálů potrubních systémů a zaměřuje se zejména na trendy současné doby. Popsány jsou materiály kovové, plastové a vícevrstvé. Následující pasáž tyto materiály porovnává a vyhodnocuje. Součástí je návrh a realizace modelové trati, která slouží k porovnání tlakových ztrát a pořizovacích cen rozdílných potrubních materiálů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Technické zařízení budov (TZB), rozvody TZB, potrubní systémy, potrubí, tlakové ztráty.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the development of pipeline materials and especially aims on the current trends. It describes metal, plastic and multi-layer materials. Following part compares and evaluates these materials. This work includes a project and a realization of a model circuit in order to compare price and pressure drops of different pipeline materials.

KEY WORDS

Building services, building services distribution, pipeline systems, pipeline, pressure drop.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PŘIKRYL, Pavel. *Tlakové ztráty v potrubí moderního typu*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jakub Elcner, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci Tlakové ztráty v potrubí moderního typu vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jakuba Elcnera, Ph.D. a že jsem v seznamu literatury uvedl všechny použité zdroje.

V Brně dne 26.5.2017

.....

Pavel Přikryl

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Jakobovi Elcnerovi, Ph.D. za vedení této bakalářské práce, za poskytnutí odborných podkladů a konzultaci pro vypracování této práce. Poděkování patří také Ing. Ivu Galíkovi za poskytnuté informace v oblasti projektování.

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 ROZDĚLENÍ DLE POUŽITÉHO MATERIÁLU	10
1.1 MATERIÁLY KOVOVÉ	10
1.1.1 MĚDĚNÉ POTRUBÍ.....	10
1.1.2 OCELOVÉ POTRUBÍ	13
1.1.3 NEREZOVÝ VLNOVEC.....	14
1.2 MATERIÁLY PLASTOVÉ.....	16
1.2.1 POLYPROPYLEN.....	17
1.2.2 POLYETHYLEN	20
1.2.3 POLYVINYLCHLORID.....	23
1.3 MATERIÁLY VÍCEVRSTVÉ	24
1.3.1 PLASTOHLINÍKOVÉ POTRUBÍ	24
1.3.2 MEZIVRSTVA ZE SKELNÝCH VLÁKEN	27
1.3.3 MEZIVRSTVA Z ČEDIČOVÝCH VLÁKEN	27
2 SROVNÁNÍ SYSTÉMŮ	28
2.1 SYSTÉMY PRO ROZVODY STUDENÉ A TEPLÉ VODY.....	29
2.2 SYSTÉMY PRO VYTÁPĚNÍ	30
3 MODELOVÁ TRÁŤ.....	31
ZÁVĚR	34
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	35

ÚVOD

V dnešní době je dostupnost teplé a studené vody považována za samozřejmost. Nebylo tomu tak ale vždy, byly doby, kdy si tento komfort mohli dovolit pouze ti nejbohatší. Samotné počátky prvních rozvodů sahají do Babylonie a Asýrie, kde byl vystavěn první gravitační vodovod. Naopak v Číně byly k dopravě vody využívány duté bambusové kmeny. Na místech jako je Kréta a Sever Afriky vodovody stavěli z pálené hlíny. Značný pokrok byl následně zaznamenán v době Antiky. Bohaté římské budovy byly dokonce napojeny k rozvodům teplé vody. Pitnou vodu ve velkých městech rozváděly trubky olovené. Římané si bohužel neuvědomovali, že olovo je vysoce toxické a tímto způsobem dochází ke kontaminaci jejich pitné vody. Po tomto období však následoval úpadek. Rozvoj začal znovu až na přelomu 16. a 17. století. Ve Francii byly zavedeny jedny z prvních litinových tlakových systémů a lidé si začali uvědomovat důležitost vody. Dostupnost tak rostla. V 19. století započaly první úpravy a čištění. Postupem času se tak dostáváme z bambusových trubek až k materiálům kovovým.

Bakalářská práce se věnuje poslední vývojové etapě. Do této kategorie spadají materiály kovové a plastové. Právě plasty a vícevrstvé materiály prochází v současnosti významným pokrokem. Ačkoli se může zdát, že návrh a projektování potrubí v budovách je vedlejší a náklady na potrubí dosahují jen minima celkových nákladů, i zde je nutné plně věnovat pozornost správnému výběru a provedené montáži. V případě výskytu závady nebo havárie se pak totiž cena spojená s opravami může razantně vyšplhat. Započteme-li případnou výměnu opotřebovaných částí méně kvalitního materiálu, může se tak nakonec kvalitnější, byť původně dražší systém projevit cenově výhodnějším. Dalším důležitým aspektem jsou pak provozní náklady. Výběrem vhodného materiálu se snažíme docílit co možná nejmenších teplotních a tlakových ztrát. Častým řešením bývá proto využít hned několika typů potrubí a skloubit tak jejich výhody dohromady.

Cílem bakalářské práce je tedy porovnat produkty na trhu vzhledem k jejich spolehlivosti, pořizovací ceně a schopnosti omezit tepelné a tlakové ztráty. Druhá část práce se zaměřuje na konkrétní výpočty tlakových ztrát provedené na modelové trati.

1 ROZDĚLENÍ DLE POUŽITÉHO MATERIÁLU

Obecně je možné produkty rozdělit do skupin podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Takto rozlišujeme materiály kovové, plastové a vícevrstvé.

1.1 MATERIÁLY KOVOVÉ

O kovových materiálech lze obecně říci, že jsou spolehlivé, nehořlavé a odolné jak mechanicky, tak vůči vysokým teplotám a tlakům. Disponují nízkou teplotní roztažností, proto se hodí pro rozvody vytápění. Hladký povrch klade malý odpor topné vodě a zároveň zaručuje odolnost proti usazeninám. Na stranu druhou je nutno počítat s delší montáží, především v důsledku vyšší hmotnosti a pracnějšího spojování.

1.1.1 MĚDĚNÉ POTRUBÍ

Ušlechtilý kov a typický zástupce kovových materiálů. Řadí se bezesporu mezi nejtradičnější a jeden z dosud nejpoužívanějších materiálů rozvodů TZB. První známá instalace z tohoto materiálu byla provedena již ve Starém Egyptě před téměř 5000 lety. Pyšní se výbornými vlastnostmi a konkurenci tak zvedá vysokou laťku.

Výhody při výběru tohoto materiálu můžeme spatřit ve spolehlivosti a vysoké pevnosti, které měděné trubky dosahují i při malé tloušťce stěny. Podle pevnosti je rozlišujeme do skupin měkkých, polotvrdých a tvrdých. Měď časem nestárne a její vlastnosti zůstávají pořád stejné. Hladký povrch zaručuje menší odpor kladený protékajícímu médiu a spolu s olygodynamickými vlastnostmi činí z mědi potrubí odolné vůči usazování bakterií a inkrustaci. Celkově tak měděné potrubí umožňuje provést vnitřní rozvody v budově nejenom spolehlivě, ale i esteticky. Výborné tepelné vodivosti se pak využívá i při výrobě kotlů a radiátorů. V případě výměny a likvidace starého měděného potrubí se přičítá i plus z hlediska ekologického, neboť recyklací se takřka zcela navrátí její plnohodnotné využití. Měděný šrot se obvykle roztaví a odlije na anodové desky, aby bylo možné pomocí elektrolyzy cizí látky odstranit. [1]

Využití je vhodné nejen u vytápěcích systémů, ale i pro rozvody vody, v tomto případě se však musí volit zásadně s dokladem o shodě. Pitná voda splňující požadavky na kvalitu vody nemůže v měděném potrubí způsobit korozi. Ve výjimečných případech k ní ale může dojít při působení měkkých vod s hodnotou pH menší než 7. Problémy může také způsobit nevhodný výběr materiálu při vzájemném spojování prvků. „V rozvodech pitné vody, odlišně od otopných soustav, je vždy přítomen pohlčený kyslík. Měď vstupuje do reakce s kyslíkem pohlčeným ve vodě a na stěně trubky se vytvoří ochranná vrstva oxidu měďnatého. Po dobu tvorby ochranné vrstvy je stále ve vodě určité, velmi malé množství rozpuštěné mědi. Jestliže rozpuštěná měď přijde do styku s pozinkovanou ocelí, nejprve rozleptá zinkovou vrstvu a pak způsobí korozi samotné oceli. Proto je důležité, aby ve směru proudění vody byly umístěny nejprve prvky ocelové pozinkované a teprve po nich měděné. Toto pravidlo se musí dodržet i při instalaci potrubí pro teplou užitkovou vodu. Jestliže rozvod má cirkulační potrubí, celý rozvod musí být proveden z mědi.“ [2]

U měděných rozvodů se potýkáme s poněkud pracnější montáží, z toho vyplývající vyšší pořizovací cenou a četností spojů. Špatně provedené spoje mohou být příčinou kavitace, zejména pokud montáž nebyla provedena rukou zkušeného instalatéra. Podívejme se proto nyní na spojování měděných trubek. Spoj je možno provádět dvěma způsoby, pájením a lisováním. Starším a cenově výhodnějším způsobem je pájení. Dle teplot pracovních pájek rozlišujeme pájení měkké (do 450°C) a tvrdé (nad 450°C). Na měkké pájení se používají hořáky pracující s propanbutanovým plynem a vzduchem, ale je možné využít i jiné metody svařování, jako je například svařování odporem. U tvrdého pájení se nejčastěji využívá kyslíko-acetylenový hořák. Pro rozvody pitné vody do průměru 28 mm (včetně) se měděné trubky pro rozvod vody smí pájet pouze naměkko. Nad průměr 28 mm pak natvrdo i naměkko. Rozvody plynů, olejů, podlahového vytápění a chladicích zařízení je možné svařovat pouze metodou natvrdo. [3]

Princip pájení funguje na základě vytvoření kapilární mezery mezi spojovanými částmi. Tyto spojované části musí být odjehleny (zbaveny otřepků vzniklých při řezání) a případně zkalibrovány. Pájené plochy je dále nutno očistit na kovový lesk. Po zasunutí daných součástí do sebe se spoj zahřeje na požadovanou teplotu a přiloží se pájka, nikoliv však pod přímý plamen. Vztlínáním se natavená pájka vsaje do kapilární mezery. Tato kapilární mezera je správně zaplněna, jestliže se na vnější straně tvarovky vytvoří rovnoměrné osazení a na spodní straně vznikne kapka pájky. Správně pájený spoj má mít celý obvod bez pórů a při vodorovném spoji má být kapka pájky jasně viditelná. Pro zjednodušení procesu se často nanáší tavidlo ve formě pasty na konec vnější trubky, která je vsunuta do tvarovky.



Obr. 1.1: Pájení [4]

Lisování je efektivní způsob jak rychle zajistit spoj součástí, avšak kvůli vyšší pořizovací ceně tvarovek není tolik využíván, jako v případě pájení. Je možné lisovat všechny pevnostní třídy měděných trubek malých i velkých průměrů. Lisovací tvarovky jsou vyrobeny z mědi nebo červeného bronzu. Opět platí, že spojované součásti musí být zbaveny nežádoucích otřepů, které by mohly porušit těsnící prvek a zkrátit tak životnost spoje. Pro snadnou kontrolu se na povrch trubky označí správná hloubka zasunutí. Zkontroluje se uložení těsnícího prvku v tvarovce a trubka se s případným lehkým otáčením opatrně zasune. Spoj je nachystán pro uložení do vhodné lisovací čelisti. Velmi důležité je lisovací čelist uložit kolmo k ose, sebemenší vychýlení je zdrojem netěsností a vad.



Obr. 1.2: Lisovací způsob s těsnícími kroužky [5]

1.1.2 OCELOVÉ POTRUBÍ

Potrubí, které se v minulosti především kvůli dostupnosti na trhu používalo ve většině rozvodů, je v dnešní době nahrazováno kvalitnějšími materiály a setkat se s ním můžeme jen ojediněle například u rozvodů větších průměrů. Malé průměry totiž snadno zarůstají, projevuje se inkrustace.

Ocelové potrubí vykazuje slabou míru odolnosti proti korozi a to zejména u rozvodů teplé vody. Jakékoli zvýšení teploty urychluje korozivní proces. První poruchy spojené s důlkovou korozi se objevují zhruba po 3 letech provozu a v případě pravidelně se opakujících přehřátích, jako je například termická dezinfekce, se první poruchy mohou objevit už do 2 let. Částečným řešením může být pozinkování, ale i to se projevuje krátkou trvanlivostí a po čase vzniká důlková koroze vedoucí až k proděravění trubek. Další nevýhody spojené s ocelovými rozvody jsou především ve vysoké hmotnosti a o to pracnější montáži. Spoje se provádí nejčastěji závitovými fitinkami z temperované litiny. [6]



Obr. 1.3: Koroze ocelového potrubí [6]

Naopak výhodou oceli je její malá teplotní roztažnost, vysoká pevnost a mechanická odolnost. Ovšem těmito výhodami disponuje i zmiňované potrubí měděné a to s řadou dalších výhod. V kategorii kovových materiálů tak měď ocelové rozvody z velké části předčí. A je to mimo jiné právě měď, která ze značné části stojí za vytlačení ocelových trubek z trhu.

1.1.3 NEREZOVÝ VLNOVEC

Vlnovcové trubky s vlnovým profilem jsou novým typem potrubí, které si rychle získalo oblíbenosti. Mezi výrobce nerezových vlnovců patří firma Flexira nebo IVAR.CS. Sortiment nabízí různé druhy vlnovcových potrubí a hadiček, čímž se dosahuje univerzálního využití v rozvodech vody, vytápění i plynu. Hlavní přednost spočívá v kombinaci elastických vlastností spolu s pevnostními charakteristikami. Vlnovce tak vyplňují mezeru na trhu a nahrazují sanitární hadičky s opletem, které sice disponují vysokou elasticitou, avšak vnitřní vrstva nejčastěji tvořená pryžovou duší neposkytuje dlouhou životnost, jelikož podléhá stárnutí a v průběhu let své elastické vlastnosti ztrácí. Dle normy mají domovní rozvody vydržet stejně dlouho jako samotná budova, nejméně potom 50 let, což je hranice, kterou sanitární hadičky s opletem na rozdíl od vlnovce zdaleka nedosahují.



Obr. 1.4: Ohebnost vlnovce [7]

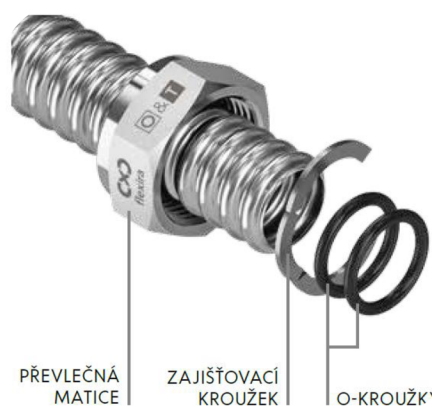
Materiál, který výrobci uplatňují při výrobě nerezových vlnovců je kvalitní nerezová ocel různých tříd (AISI 304, AISI304L, AISI 316L, AISI 316 TI). Nerezová, lépe řečeno korozivzdorná ocel, má vysoký obsah chromu, který v atmosféře reaguje s kyslíkem a vytváří tenkou ochrannou vrstvu oxidů chromu. Tato pasivní vrstva oxidů chrání ocel před korozí, avšak některé chemické částice mohou tuto vrstvu narušovat. Nejčastěji jsou to částice na bázi chloru, v domácnostech přítomné v různých čistících a chemických přípravcích. Narušením této pasivní vrstvy může ocel korodovat stejně jako každá jiná. Firma Flexira proto přišla s ochranným opláštěním Steelprotect, které proti těmto částicím potrubí chrání. Jedná se o pevně přilnutý plastový povlak nanesený zpravidla extruzí. Funkčnost a životnost opláštění jsou ovlivněny teplem a UV zářením. Tloušťka se pohybuje v rozmezí 0,5 – 1,0mm. Podobně se dá využít také chráničky, která na rozdíl od opláštění není pevně přilnuta a disponuje o něco lepší mechanickou ochranou, zejména proti otěru. [8]

S nerezovým vlnovcem se velmi dobře pracuje. Je elastický a drží svůj tvar. Toho je docíleno zvlněním trubky v korugátoru a následným žiháním v ochranné atmosféře vodíku. Míra povoleného ohnutí závisí na světlosti profilu, čili jeho vnitřním průměru označující se parametrem DN. Pro představu mohu uvést některé hodnoty z montážního návodu firmy Flexira. Světlosti DN8 odpovídá minimální poloměr ohybu 130 mm pro dynamické a 18 mm pro statické zatížení. Je logické, že se zvětšujícím se průměrem pak tyto hodnoty rostou také.

Mezi nesporné výhody proto patří jednoduchá montáž. Dělit materiál je možné jak řezákem, tak pilkou na železo. Důležité je dosáhnout pravidelného okraje bez nežádoucích otřepů. Široká škála tvarovek umožňuje napojení vlnovce na jakýkoli jiný typ materiálu a díky zmíněným elastoplastickým vlastnostem lze potrubí vést s minimálním počtem spojů. Ohýbání trubky je však přijatelné pouze při instalaci, nikoliv již za provozu. Spojování je možné dvěma způsoby. Prvním z nich je využití lisovacího způsobu (Flexira xConnect System T). Po nasazení převlečné matice se konec trubky vloží do pákového lisu a stlačením posledních tří vlnovek o doraz dojde ke vzniku pertlu. Vytvoří se tak rovná plocha pro usazení plochého těsnění. Druhý způsob (Flexira xConnect System O), spočívá v pouhém nasazení převlečné matice, zajišťovacího kroužku a dvou o - kroužků. Spoj je připraven k nasunutí do tvarovky a sešroubování. Podobný montážní postup využívá i firma IVAR.CS. K vytvoření dosedací plochy pro umístění těsnění lze dojít závitovou nebo lisovací metodou. Závitová metoda spočívá v nasazení převlečné matice a zajišťovacího kroužku za první vlnovku. Stěžejním prvkem je lisovací hlava, kdy se postupným utahováním převlečné matice na odpovídající lisovací hlavu uchopenou staticky docílí vzniku dosedací plochy (pertlu). Mosazná lisovací hlava je následně vyšroubována a trubka připravena k vložení těsnění a napojení na náležitý závitový přechod. Lisovací postup opět vyžaduje nasazení převlečné matice a zajišťovacího kroužku, za ten se však umístí dorazová objímka. Takto se vloží do lisovacího přípravku a pravidelnými údery rukojetí lisovacího přípravku dojde k rozlisování okraje trubky. Ten tím pádem obsahuje dvě vlnovky a zajišťovací kroužek.



Obr. 1.5: Flexira xConnect System T [8]



Obr. 1.6: Flexira xConnect System O [8]

Potenciál nerezového vlnovce se nejčastěji uplatňuje k propojení krátkých úseků, kde by jinak bylo nutné vytvoření četných spojů. Šetří se tak montážní čas a zvyšuje bezpečnost daného úseku. Vzhledem k vysoké pořizovací ceně a vyšším tlakovým ztrátám se na delší úseky většinou nepoužívá. Málo pravděpodobná je také volba instalace nerezového vlnovce v místnosti. Takové řešení není příliš estetické a členitý povrch usnadňuje usazování prachových částic. Vodovodní přípojovací hadice je možné použít k veškerým sanitárním zařízením a spotřebičům, jako jsou baterie, toalety, pračky, apod.

1.2 MATERIÁLY PLASTOVÉ

V dnešní době tvoří plasty nejrozšířenější skupinu materiálů vnitřních vodovodních rozvodů. Pro tento účel mají totiž ideální vlastnosti. Ve prospěch hraje zejména jejich nízká hmotnost usnadňující montáž a instalaci. Nízká je také pořizovací cena. Plastové materiály nekorodují, nevedou elektrický proud a díky hladkému povrchu jsou za provozu méně hlučné a nezarůstají. Dnešní plastové materiály navíc dosahují vysoké životnosti. Z pohledu topenářského se však objevují určité technické nedostatky, jako je velká teplotní délková roztažnost, až 6x větší než u kovů. Navíc není potrubí samonosné, což vede k nutnému zpevnění pomocí kovových žlabů nebo ke kratším vzdálenostem mezi podporami a celý systém tak prodražuje.

Tab. 1.1: Nejčastější plastové materiály rozvodů vody a vytápění [9]

Materiál	Třída	Spojování	Využití
PP	PP-H	svařování mechanicky	studená voda průmyslové aplikace
	PP-R	svařování mechanicky	studená/teplá voda podlahové a ústřední vytápění
	PP-RCT	svařování mechanicky	studená/teplá voda podlahové a ústřední vytápění
PE	PE-LD	svařování mechanicky	studená voda – přípojky
	PE-HD	svařování mechanicky	studená voda – přípojky
	PE-X	mechanicky	studená/teplá voda podlahové a ústřední vytápění
PVC	PVC-U	lepení	studená voda
	PVC-C	lepení	studená/teplá voda

Uvedená tabulka nejčastěji používaných plastů potvrzuje jejich poněkud jednostranné využití. Většina plastových rozvodů se používá pro vedení studené, případně teplé vody. Uplatnění ve vytápěcích systémech si našly pouze modernější plastové materiály, jako jsou polypropylen třetí a čtvrté generace nebo síťovaný polyethylen. Dále jsou uvedeny doporučené varianty spojování, firmy však často nabízí i další alternativní způsoby, jako je spojení elektrotvarovkou, přírubovým spojem nebo kombinovanou přechodkou.

Pokud plasty nejsou mechanicky nebo chemicky zatěžovány, prakticky nestárnou a jejich vlastnosti se nemění. Při trvalém, dostatečně velkém mechanickém namáhání a zvýšené teplotě však dochází ke creepovému chování (tečení). Polymerní řetězce se dávají do pohybu a tento jev může vést k oslabení tloušťky stěny a následné poruše. [10]

1.2.1 POLYPROPYLEN

Polypropylen je termoplast, jehož základní stavební jednotky jsou vodík, metanový radikál a uhlík. Je klíčovým materiálem pro potrubní rozvody a to díky své mechanické a chemické odolnosti a odolnosti proti tepelné deformaci. Velmi dobře tudíž snáší horkou vodu. Naopak polypropylen není odolný vůči UV záření a oxidačním činidlům, stejně tak jako sloučeninám na bázi chloru. Rozděluje se na homopolymer (PP-H), blokový kopolymer (PP-B) a random (PP-R).

Uplatnění v domácnosti nachází nejčastěji random polypropylen PP-R, který ve srovnání s konkurenty vykazuje lepší výsledky komplexního posouzení, přičemž hraje roli cena materiálu, cena montáže a hygienická nezávadnost. Trubky mají vysokou odolnost a dlouho životnost. Materiál je navíc plně recyklovatelný.

Nejčastěji nese materiál PP-R označení dle talkové řady PN. Obecně platí, že hodnota tlakové řady vyjadřuje tloušťku stěny trubky pro výpočet napětí ve stěně, tlakové odolnosti potrubí a životnosti potrubí při odlišných podmínkách. S rostoucí tlakovou řadou roste i tloušťka stěny při zachování stejné dimenze. Samotné dimenzování potom probíhá na základě provozních parametrů, čímž se rozumí maximální provozní tlak, teplota a životnost systému a souvislost mezi nimi. Potrubí tlakové řady PN 20 může být vystaveno teplotám do 70°C.

Možnosti vedení potrubí vodovodu a vytápění jsou shodné. Je třeba zabezpečit mechanickou ochranu potrubí a zohlednit nutnost potrubí podepřít a kompenzovat dilatace. Potrubí pro vytápění v interiéru je doporučeno vést ve stavební konstrukci nebo zakrýt krytem. Napojení otopných těles se často z estetických důvodů provádí kovovým připojením.

Montáž polypropylenového potrubí je jednoduchá, pro zajištění správných podmínek je však nutné dodržovat určité zásady. Trubky lze dělit použitím speciálních nůžek nebo řezáku pro plastové potrubí. Ohýbání se provádí bez jakéhokoli nahřívání při minimální teplotě 15°C. Spojování plastových a kovových částí se provádí tvarovkami se závitem, je však nepřipustné řezat závity na plastové prvky. Závity se těsní teflonovou páskou, těsnící nití nebo speciálními těsnícími tmely. Při tomto spojení nelze nadále kovovou část v blízkosti tvarovky s ohledem na možný přenos tepla do tvarovky spojovat pájením nebo svařováním. [11]



Obr. 1.7: Tvarovky se zalisovanými závity [11]

Potrubí pro teplou vodu a ústřední vytápění se izoluje proti tepelným ztrátám, potrubí studené vody proti tepelným ziskům a proti orosení. Izolování potrubí studené vody pro udržení teploty maximálně 20 °C je důležité s ohledem na udržení hygienické nezávadnosti pitné vody. Stejně tak udržování teploty teplé vody na horní hranici, kterou stanovuje norma s ohledem na ochranu proti opaření, je opatřením k omezení vlivu bakterií. Tloušťka a druh izolace se stanoví na základě jejího tepelného odporu, na základě vlhkosti vzduchu v prostoru vedení potrubí a rozdílu teploty vzduchu v místnosti a teploty proudící vody.

Spojování plastových částí se provádí nejčastěji polyfúzním svařováním. Pro zajištění podmínek pro vytvoření kvalitních spojů by teplota okolí neměla klesnout pod 5°C. Polyfúzním svařováním vzniká homogenní spoj s vyšší pevností, než je vlastní trubka. Používají se polyfúzní svářečky trnové nebo ploché. U profilů nad 40 mm se doporučuje použít svářečky ploché, které díky větší ploše lépe přenáší teplo. Před svařováním je vhodné provést odmaštění spojovacích povrchů a ujistit se, že spojované části do sebe nejdou vložit. Svářečky se nahřívají na teplotu kolem 260°C a obě části se nasunují zároveň a bez otáčení. Po uplynutí nahřívací doby se pomalým stejnoměrným tlakem, opět bez otáčení, vloží části do sebe. V rámci několika sekund je možná případná korekce. Hloubka zasunutí je normována dle průměru trubky. Spoj je třeba na krátkou dobu fixovat, poté již spoj nedovolí vzájemnou změnu polohy tvarovky vůči trubce. Plné zatížení spoje je možné provádět až po úplném zchladnutí, zhruba po jedné hodině.



Obr. 1.8: Homogenita polyfúzního spoje [12]

Rozdíl teploty při montáži a při provozu způsobuje délkové změny, prodloužení nebo zkrácení. Tyto délkové změny je v systému nutno kompenzovat vhodným způsobem, jinak dochází ke koncentraci přídatných tahových a tlakových napětí ve stěnách trubek, která zkracují životnost potrubí. Vhodným způsobem kompenzace je odklonění ve směru kolmém na původní trasu a vytvoření kompenzační délky na této kolmici. Kompenzační délka závisí na vypočteném prodloužení (zkrácení) trasy, materiálu a průměru potrubí. Příkladem může být využití kompenzátorů do U nebo smyčkových.

Novou generací polypropylenových trubek jsou trubky PP-RCT. Tento materiál byl vyvinut v rámci zvyšujících se nároků na rozvodné systémy. Ve srovnání se standardním PP-R je rozdílem jeho jemnější struktura, která je tvořena optimalizovanou hexagonální krystalickou mřížkou, označovanou též jako beta krystalizace. [13] To umožňuje trubkám operovat při vyšším napětí a za vyšších teplot. Dochází tak k navýšení hydraulické kapacity (průtočnosti) a zpětně k úsporám materiálu a nákladů. Jinými slovy je umožněno volit trubky se slabší stěnou popřípadě menším průměrem nebo působení vyšších tlaků při zachování stejných rozměrů. Podkladem jsou výsledky ze zkoušek švédského zkušebního ústavu Bodycote Polymer AB, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 1.2: Srovnání dlouhodobé pevnosti PP-R s PP-RCT [14]

Teplota	Čas	Dlouhodobá pevnost PP-R	Dlouhodobá pevnost PP-RCT
20°C	50 let	9,7 MPa	11,5 MPa
60°C	50 let	4,9 MPa	6,1 MPa
70°C	50 let	3,2 MPa	5,1 MPa
95°C	5 let	1,9 MPa	3,3 MPa
110°C	1 rok	1,9 MPa	2,6 MPa

Co se týče montáže, nedochází k žádným změnám a stejně jako u PP-R se nadále využívá polyfúzního svařování, není tak nutné investovat do nových spojovacích zařízení. Firmy nabízející polypropylen nové generace jsou například FV Plast a Wavin Ekoplastik.

1.2.2 POLYETHYLEN

Polyethylen je termoplast, který vzniká polymerací ethenu. Má podobné fyzikálně-chemické vlastnosti jako polypropylen. Disponuje dobrými elektroizolačními vlastnostmi a je zdravotně nezávadný. Mezi nevýhody patří sklon k oxidaci a poškrábání. Rozlišují se dva základní druhy polyethylenu, s nízkou (PE-LD) a vysokou hustotou (PE-HD). [15]

Nízkohustotní polyethylen (PE-LD) je měkký, pevný a ohebný druh polyethylenu s vysoce rozvětvenou strukturou. Má pevný a poddajný charakter. Vyrábí se polymerací v trubkových nebo vsádkových reaktorech za extrémně vysokých tlaků a teplot. Převážně se využívá pro výrobu plastových sáčků a fólií. Potrubí se obvykle vyrábí jen do průměru 63mm a je vhodné pouze pro přípojky. V moderních vodovodních systémech se jeho použití nedoporučuje.

Vysokohustotní polyethylen (PE-HD) je naopak díky svému vysokému stupni krystality nejvíce tvrdým a zároveň nejméně ohebným typem polyethylenu s velmi lineární strukturou a minimem postranních řetězců. Má tuhý a tvrdý charakter. Existují dva hlavní typy výrobních procesů. Typ 1 s úzkým a typ 2 s širokým pásem rozložení hmotnosti, přičemž právě typ 2 je používán pro výrobu potrubí. To se ukládá do země a je určeno pro vnější tlakové rozvody pitné vody a jiných médií, vůči kterým je daný typ PE stálý. Nejčastěji probíhá pokládka na pískové lože. Trubky odolávají vlivu běžných složek půdy včetně umělých hnojiv. Mají rovněž vysokou odolnost proti vlivům sedání zeminy a technické seismicity. Jsou jako materiál poměrně měkké, mají však velmi vysokou odolnost proti abrazi, takže nejsou poškozovány pevnými částicemi obsaženými v dopravovaném médiu. Trubky jsou černé s modrými pruhy pro vodovodní potrubí, hnědými pro potrubí kanalizační. [10]



Obr. 1.9: Vodovodní PE potrubí [16]

Pro výpočty maximálního trvalého provozního tlaku je důležitým parametrem pevnost použitého polymeru, vyjádřená hodnotou MRS (Minimum Required Strength). MRS se udává v MPa a je to pevnost daného plastu pro 50 let života při 20°C. Nejčastěji se s použitím hodnoty MRS setkáváme právě u polyethylenu. K zatřídění je používáno také označení v podobě desetinásobku hodnoty MRS (typ PE 100 má hodnotu MRS 10 MPa). Další důležitou veličinou je hodnota SDR (Standart Dimensions Ratio). Tato hodnota odpovídá poměru vnějšího průměru trubky a její tloušťky.

Spojování polyethylenových trubek se provádí svařováním nebo mechanicky. Trubky není dovoleno lepit. Stejně jako u PP trubek je zakázáno řezat závit na povrch trubky. Závitové tvarovky určené pro závitové spoje mají speciální geometrii a vznikají při vstřikováním.

Velmi rychlým způsobem spojení dvou částí trubek, je použití svěrné spojky. Takto lze kombinovat trubky různých SDR, případně i různých materiálů. Svěrné spojky se vyrábí plastové, kovové, nebo v této kombinaci. Výsledný spoj vykazuje vyšší, nebo stejnou pevnost v tahu, než vlastní trubka. Spoj ovšem musí být správně nainstalovaný. Špatně zvolená hloubka zasunutí může způsobit netěsnosti, přestože vykazuje velkou tahovou pevnost.

Svařuje se natupo nebo elektrotvarovkami. Na rozdíl od PP se zde metoda polyfúzního svařování používá jen výjimečně. Nelze mezi sebou svařovat PE s PP, stejně tak ani PE-HD s PE-LD, u nichž se výhradně využívá spojů mechanických. Elektrotvarovkami se spojují trubky i o různých tloušťkách stěn, vždy však nad 3 mm. Pro správné svaření je podmínkou čistý povrch, kruhovitost, správná hloubka zasunutí a zamezení vzájemného pohybu. Samotný proces je již automatický, kontakty elektrotvarovky se připojí ke svářečce a ta sama vyhodnotí data. Spoj lze namáhat až po vychlazení podle předpisů dané tvarovky. Metodou natupo se spojují pouze stejné tloušťky stěn. Svařované části musí být při svařování i během chladnutí souosé, proto se upínají do upínacího zařízení. Konce trubek, které musí být správně očištěné a hladké, se nahřejí svařovacím zrcadlem ustálené teploty a následně přitlačí předepsaným tlakem k sobě. Z upínacího zařízení je možno trubky uvolnit teprve po uplynutí doby chlazení při předepsaném tlaku. [10]



Obr. 1.10: Svařovací jednotka pro manuální svařování na tupo [17]

Pro posouzení správně provedeného svaru slouží vytvoření rovnoměrného svarového nákrůžku po celém obvodu svaru. Svarový nákrůžek musí být ve všech místech svaru vytlačen nad povrch trubky. Šířka svarového nákrůžku musí být po obvodu stejná. Barva svařeného materiálu se nesmí lišit od barvy materiálu původního. Ve svarovém nákrůžku nesmí být póry, nehomogenity jakéhokoliv druhu (nečistoty) ani praskliny, svar nesmí vykazovat přesazení trubek větší jak desetina tloušťky stěny. Nepřipouští se ostré zářezy v prohlubni výronku.

Stále větší obliby díky svým vlastnostem se dostává síťovanému polyethylenu PE-X. Faktory, kterými se zásadně liší od ostatních plastových materiálů, jsou křivka stárnutí, která na rozdíl od ostatních plastů nevykazuje zlom a schopnost materiálu zabraňovat šíření trhlin. To je podstatou dlouhodobé životnosti a provozní spolehlivosti.

Konstrukčně se jedná o polymer propojený neviditelnou vnitřní příčnou vazbou. Tato příčná vazba vzniká při chemické reakci a má zásadní vliv na vlastnosti trubek. Zvyšuje jeho chemickou odolnost a v případě vyšších teplot přebírá v polymeru napětí a z původně termoplastické trubky se tak stává netavitelná termoelastická. Za zvýšené teploty sice měkne, ale zachovává si dostatečnou pevnost. Vzhledem k tomu, že síťování také účinně blokuje creep, lze PE-X trubky při teplotách nad 60°C zatěžovat vyššími tlaky, než trubky stejných rozměrů z termoplastického polyethylenu. [18]

Rozdíl mezi PE-Xa,b,c v oblasti použití není prakticky žádný. Určuje pouze, jaký výrobní postup byl využit k vytvoření příčné vazby. Těchto postupů je celá řada, ale v praxi se využívá zatím jen metoda peroxidická (a), silánová (b) a radiační (c). Peroxidická metoda je nejstarší a výrobně nejdražší. Silánová je nejlevnější a zároveň se ukazuje, že je vhodná ke zvýšení stabilizace na určitý jev (UV záření, chlór, kyseliny). Zbývající dvě metody reagují na tento jev negativně, neboť zvýšená stabilizace u nich brzdí tvoření příčných vazeb.

Při projektování je nutné dodržet obecné zásady pro projektování plastových potrubí. Je potřeba vhodným způsobem řešit teplotní roztažnost a chránit před mechanickým poškozením a UV zářením. Obzvláště při vedení ve zdech a příčkách se proto navléká do různých druhů ochranných hadic. Například sortiment firmy REVEL proto nabízí PE-X trubky již včetně ochranné vrstvy dle výběru. K dispozici je také ochranná vrstva EVOH sloužící jako bariéra vůči pronikání kyslíku. Jiným možným řešením je přímé uložení potrubí do betonu. Trubka se díky své termoelastičnosti chová jako jeden velký kompenzátor délkových změn, rozšiřuje a zužuje svou stěnu, aniž by jí to uškodilo na pevnosti či životnosti. Další vhodnou a estetickou možností je vedení potrubí v ochranných lištách HZ upevněných na stěnu. Nevýhodou jsou poněkud hlučnější provozní podmínky, v obytných domech se proto doporučuje potrubí odhlučnit. [18] [19]



Obr. 1.11: PE-X trubky pro otopné systémy s vrstvou EVOH [18]

1.2.3 POLYVINYLCHLORID

V žebříčku nejvíce produkováných plastů se řadí na třetí místo hned po výše zmíněném polypropylenu a polyethyleny. PVC je amorfní termoplast a nejčastěji se vytváří polymerací vinylchlorid monomeru (VCM). Vzniklý produkt je bílý prášek nebo zrnitá hmota. Příčinou hojného využití tohoto materiálu spočívá ve snadné zpracovatelnosti, poměrně levném způsobu výroby vinylchloridu a vlastnostech jeho polymeru. Je to materiál chemicky a tepelně odolný, pevný a pružný. Přidáním aditiv lze jeho vlastnosti dále měnit. Pro výrobu trubek, zejména kanalizačních, se používá neměkčený polyvinylchlorid (PVC-U), zpracovává se bez změkčovadel, pouze se stabilizátory a modifikátory a je znám pod zobecněným obchodním názvem novodur. Při teplotách pod 0°C křehne. Měkčený se používá pro fólie a podlahoviny a znám je jako novoplast. Většina PVC výrobků bývá považována za neškodné při správném zacházení. Nicméně některé přísady a změkčovadla se mohou z PVC výrobků uvolňovat, například při hoření. Spalování a ukládání na skládkách proto nelze považovat za vyhovující, materiál je tedy nutno recyklovat nebo regenerovat.

Významných vlastností dosahuje také chlorovaný polyvinylchlorid (PVC-C). Jeho cena oproti neměkčenému je podstatně vyšší, ale vyznačuje se ještě o to vyšší chemickou a tepelnou odolností. Může být vystaven i agresivním podmínkám a přesto si zachová dlouhou provozní životnost. Často je pro tuto vlastnost využíván v průmyslových objektech. Není doporučen pro dopravování plynů.

Pro snadnou montáž se může využít lepeného spoje, kdy je potřebné lepené povrchy pouze zdrsnit smirkovým papírem a nanést dostatečné množství lepidla.

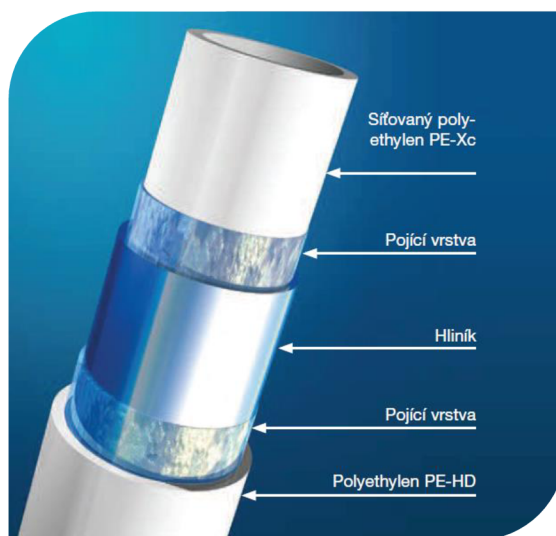
1.3 MATERIÁLY VÍCEVRSTVÉ

Nová doba přináší i nové technologie a proto jsou v posledních letech na trhu dostupné i systémy vícevrstvé, zpravidla obsahující 3 až 5 vrstev. Konstrukce těchto trubek snižuje některé nevýhody trubek plastových. Mají především malou teplotní roztažnost a jsou více samonosné. Příkladem může být kombinace kovu a plastu. Spojovat je možné pomocí tvarovek a to polyfúzním svařováním nebo lisováním. Výhodou je také jejich univerzální použití.

1.3.1 PLASTOHLINÍKOVÉ POTRUBÍ

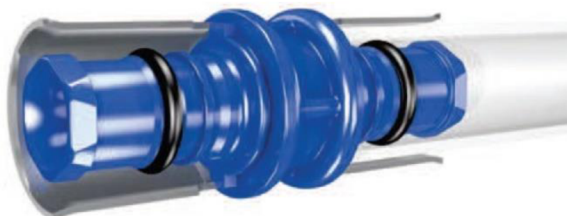
Typický příklad kombinace plastu a kovu. Tímto směrem se vydala již řada výrobců, jedním z nich je společnost Wavin a jejich systém K-press a M-press. Toto označení vychází z typu konstrukce spojovací tvarovky. Systém je určený pro instalace tlakových rozvodů teplé a studené vody, ústředního a podlahového vytápění. Oba potrubní systémy splňují i požadavky kladené na instalační systémy pro rozvody pitné vody. Tvořeny jsou vícevrstevnými trubkami typu PE-Xc/Al/PE-HD a širokou škálou lisovaných plastových a kovových tvarovek. Lisované tvarovky jsou navrženy způsobem zaručujícím trvalé a těsné spojení. Systém je předurčen pro instalaci ve zdi nebo podlaze. Zároveň je tak totiž chráněn před UV zářením, které by jej mohlo poškodit.

Vícevrstvé trubky jsou složeny ze 3 vrstev: z vnitřní vrstvy tvořené síťovaným polyethylenem (PE-Xc), natupo svařeného hliníkového pláště a vnější ochranné vrstvy z vysokohustotního polyethylenu (PE-HD). Díky abrazivnímu spojení jednotlivých vrstev mají trubky PE-Xc/Al/PE-HD jak vlastnosti typické pro plasty, tak i pro kovy. Mají malou tepelnou roztažnost spolu s vysokou plasticitou. To umožňuje jejich libovolné ohýbání, přičemž je zachována stabilita tvaru a vysoká odolnost vůči zborcení. Vrstva síťovaného PE zaručuje dlouhodobou odolnost vůči vysoké teplotě a tlaku. Hliníková vrstva slouží jako nosný prvek a zároveň funguje jako antidifúzní vrstva - zamezuje pronikání kyslíku do trubky a zabraňuje tak možnosti koroze kovových částí rozvodů. Naopak nevýhodou je údajná tvorba mikrotrhlin v ohybových místech potrubí. Systém však není na trhu dostatečně dlouho, aby bylo možné potvrdit či naopak vyvrátit toto tvrzení.



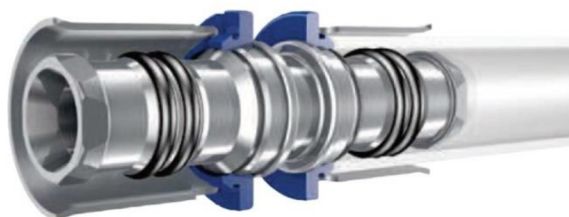
Obr. 1.12: Složky vícevrstvého potrubí [11]

Lisovací tvarovka Wavin K-press je vyrobena z vysoce odolného plastu polyfenylsulfonu (PPSU). Odolný je vůči vysokým teplotám, korozi, usazeninám a rázům. Zajímavostí je šestihranný průřez, který kladně ovlivňuje nasouvací síly. Součástí tvarovek je lisovací límec z ušlechtilé oceli vybavený kontrolním otvorem, pomocí kterého lze před zalisováním bezpečně zkontrolovat zásuvnou hloubku trubky. Těsnění je zajištěno pomocí speciálního O-kroužku. Tvarovky s vnějším závitem jsou vyráběny z čistého PPSU. Tvarovky s vnitřním závitem mají vložku z mosazi odolné proti odzinkování. V případě potřeby lze spoj utěsnit pomocí těsnicí nitě nebo teflonové pásky, ne však těsnicími pastami. [11]



Obr. 1.13: Tvarovka K-press [11]

U tvarovky M-press vyšla firma Wavin z již patentovaného designu tvarovky K-press. Změna byla provedena pouze v použitém materiálu. Plast byl nahrazen pocínovanou mosazí a těsnění je zajištěno pomocí dvou O-kroužků. Vlastnosti a konstrukce zůstávají stejné.

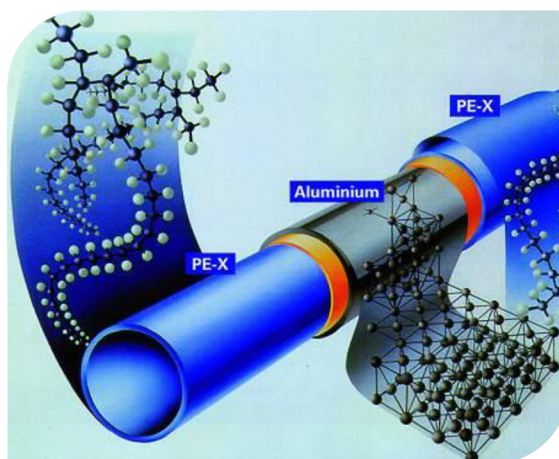


Obr. 1.14: Tvarovka M-press [11]

V případě montáže dlouhých úseků rozvodů pro teplou vodu a topení je nutno provést instalaci tak, aby byl rozvod schopen pojmout eventuální tepelná prodloužení. Přestože je teplotní roztažnost trubek velmi blízká roztažnosti trubek měděných, doporučuje firma řešit jejich kompenzaci. Kotvení volně vedeného potrubí systému je založeno na vhodné kombinaci pevných a posuvných bodů. Umístění pevných bodů vychází z celkové koncepce kotevního systému.

Montáž je založena na lisovacím způsobu. Po provedení řezu a seříznutí vnitřní hrany (zkalibrování) se trubky vsunou do požadované spojky. Správnou hloubku zasunutí indikuje kontrolní otvor. Podle typu systému se používá náležité lisovací nářadí. Lisovací čelisti se musí nacházet na vnitřním dorazu lisovací objímky. Proces trvá tak dlouho, dokud se čelisti zcela nedovřou. Nedovření čelistí znamená špatný spoj a proces nelze znovu opakovat. Nesmí se používat ani žádné dodatečné chemické těsnicí prostředky a lepidla. [11]

Dalším výrobcem zabývajícím se technologií spojování plastových materiálů s výhodami hliníkové mezivrstvy je firma FV Plast. Jedním ze zástupců jsou trubky PE-X/Al/PE-X. Rozdílem je pouze materiál vnější vrstvy. V tomto případě se rozhodli využít kvalit sítovaného polyethylenu PE-X. Vzhledem k tomu, že vnější vrstva slouží pouze jako mechanická ochrana, vlastnosti se tedy neliší. Obecně se svrchní vrstva volí tak, aby byla levná a jednoduchá k výrobě.



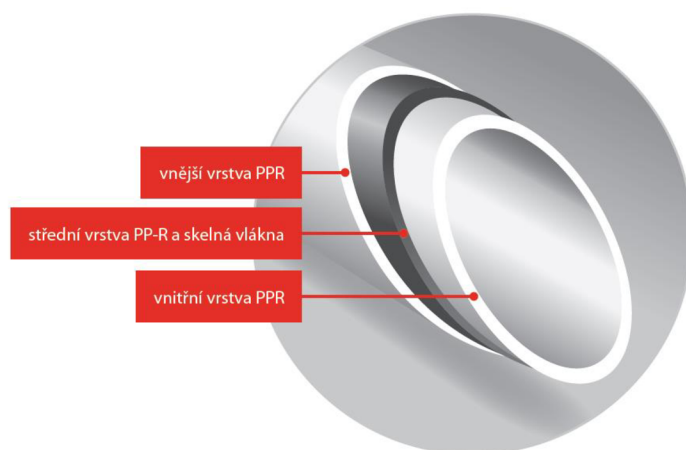
Obr. 1.15: Trubky PE-X / Al / PE-X [20]

Alternativní variantou jsou trubky Stabi v kombinaci s polypropylenem PP-R nebo PP-RCT, na trh dodávané opět firmami FV Plast a Wavin. Trubky jsou určeny pro teplou vodu a ústřední vytápění. Opět jsou složeny ze tří vrstev. Vnitřní a vnější stěna trubky je v tomto případě tvořena polypropylenem PP-R, popřípadě PP-RCT a při výrobě následně spojena s hliníkovou mezivrstvou. Složení vrstev lze schematicky popsat jako PP-R/Al/PP-R (firma FV Plast) a PP-RCT/Al/PP-R (firma Wavin).

Využití polypropylenu přináší zásadní změnu ve spojování. Kromě mechanických spojovacích tvarovek lze využít také polyfúzního svařování. Před svařováním je však nutno v délce zasunutí do hrdla tvarovky odstranit ořezávačem horní polypropylenovou a střední hliníkovou vrstvu. Délka zasunutí do tvarovky je nastavena na ořezávači. S ořezanou trubkou se následně pracuje stejně jako s trubkou celoplastovou.

1.3.2 MEZIVRSTVA ZE SKELNÝCH VLÁKEN

Jiný směr zdokonalení plastových materiálů nabízí technologie vyztužení různými druhy vláken. Jedním z takových procesů je vyztužení vlákny skelnými. Touto technologií se zabývá firma FV Plast. Jsou složeny ze 3 vrstev, vnější a vnitřní z klasického PP-R a PP-R mezivrstvy obsahující skelná vlákna. Vícevrstvá konstrukce spolu s vyztužením dodává vyšší tvarovou a teplotní odolnost, umožňuje tedy pracovat s větším rozsahem pracovních teplot (0-90°C). Zároveň jsou trubky více samonosné a vzdálenost podpor tak může být větší. Trubky se spojují jako běžné celoplastové PP-R s tím rozdílem, že před svařováním je potřeba odstranit vnější vrstvy. Svařuje se tedy pouze vnitřní PP-R vrstva. Určeny jsou pro rozvody studené a teplé vody a otopné soustavy do 70°C a pracovním přetlaku do 6 bar. [21]



Obr. 1.16: PP-R vyztužený skelnými vlákny [21]

1.3.3 MEZIVRSTVA Z ČEDIČOVÝCH VLÁKEN

Dalším zástupcem firmy Wavin jsou trubky Fiber Basalt Plus pro teplou vodu a ústřední topení a Fiber Basalt Clima pro studenou vodu, klimatizaci a chlazení. Oba tyto typy se skládají ze tří vrstev tvořených polypropylenem PP-RCT nové generace, který sám o sobě přináší výborné vlastnosti. Navíc je prostřední vrstva vyztužena čedičovými vlákny, díky nimž trubky dosahují až 3x nižší teplotní délkové roztažnosti v porovnání s trubkami z PP-R. Čedičová vlákna se vyrábí rozvlákněním taveného sopečného minerálu čediče (basaltu). Tato výroba je ekologická díky nízké energetické náročnosti a kompletní recyklovatelnosti. Vlákna jsou vysoce pevná a ohebná a předčí i vlákna skelná.

Trubky jsou určeny pro teploty média do 90°C a nabízí vyšší průtočnost a nižší hmotnost, než jejich předchůdce zpevněný skelnými vlákny. Jsou ideálním řešením pro systémy, jejichž oprava je komplikovaná a nákladná, tedy u rozvodů ve špatně přístupných prostorách.

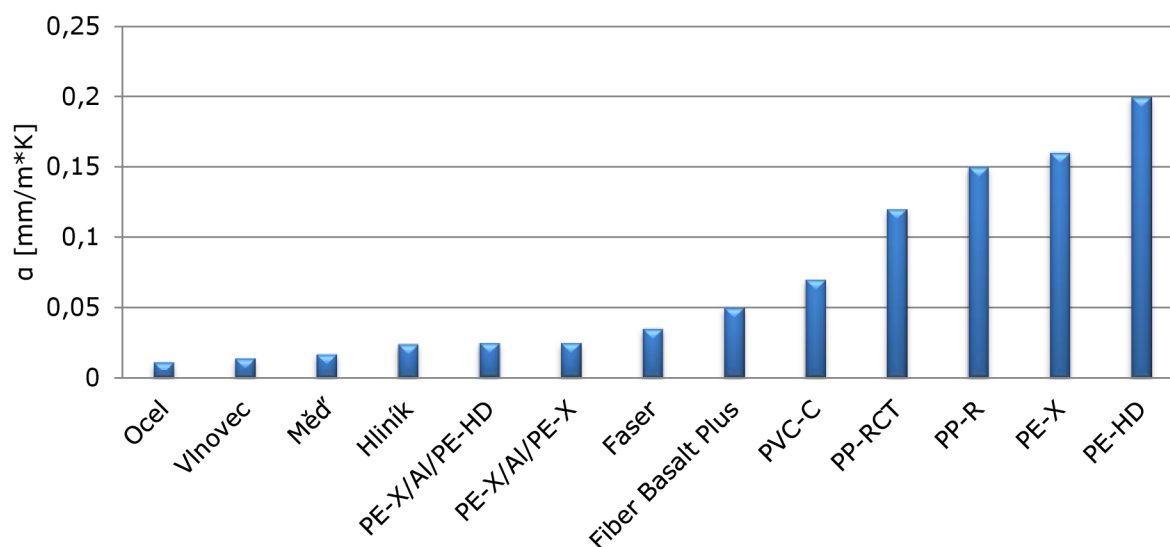
U tohoto systému odpadá nutnost ořezávat vrstvy před svařováním, jako tomu bylo u předchozího systému.

2 SROVNÁNÍ SYSTÉMŮ

Základním faktorem, z kterého vychází projektování rozvodných systémů je teplo. Teplo je potřebné nejen pro samotné vytápění, ale i pro ohřev vody během roku. Stejně tak, jako je nutné zvážit vhodný energetický zdroj a topivo, je důležité zvážit volbu rozvodného systému, díky kterému je teplo dopraveno na cílené místo. Výsledné řešení by mělo poskytnout co nejefektivnější dopravu tepla s minimálními ztrátami. Záleží tak na volbě materiálu a především na jeho vlastnostech. Jednotlivým materiálům byla věnována pozornost v rešeršní části. Navazující druhá část má za úkol tyto materiály mezi sebou porovnat na základě tlakových ztrát.

Při projektování potrubních systémů je také důležitá znalost teplotních roztažností daných materiálů. Rozdíl teplot při montáži a při provozu má totiž za následek délkové změny – prodloužení nebo zkrácení. Tyto délkové změny je potřeba určitým způsobem zohlednit a to zejména u materiálů plastových, u kterých délkové změny dosahují největších hodnot. Následující sloupcový diagram přehledně znázorňuje jednotlivé materiály potrubních rozvodů z hlediska jejich teplotních roztažností. [22]

Graf. 3.1: Porovnání součinitelů teplotní roztažnosti jednotlivých potrubních materiálů



2.1 SYSTÉMY PRO ROZVODY STUDENÉ A TEPLÉ VODY

Hledisko tlakových ztrát rozvodů studené a teplé vody porovnává následující tabulka. Výsledky závisí na průtoku a rozměrech daného potrubí. Rozměr byl zvolen DN20 a průtok 0,2 l/s. U výrobců, jejichž sortiment nenabízí totožný rozměr byl volen rozměr nejbližší. Výsledky je tak nutno považovat pouze za orientační. Důležité je také zmínit, že hledisko tlakových ztrát rozvodů studené a teplé vody není natolik rozhodující, jako u rozvodů otopných. Systémy netvoří cirkulační oběh a tlak je především ovlivněn umístěním a počtem odběrných míst.

Tab. 2.1: Tlakové ztráty potrubí teplé a studené vody

Materiál	Výrobce	Rozměr	Tlakové ztráty [kPa/m] ($t_1=10^\circ\text{C}$)	Tlakové ztráty [kPa/m] ($t_2=60^\circ\text{C}$)
Nerezový vlnovec	Flexira	DN20	3,59	3,53
Fiber Basalt Plus	Wavin	DN18 (25x3,5)	1,87	1,48
EVO PP-RCT	Wavin	25x2,8	1,27	1,03
Měď	Supersan	DN20 (22x1)	1,13	0,94
PP-R (PN10)	Wavin	DN20 (25x2,5)	1,124	0,8
PEXa	Rehau	25x2,3	0,99	0,8

Při pohledu na tlakové ztráty je patrné, že s rostoucí teplotou tlakové ztráty klesají. To je dáno skutečností, že médium, v našem případě voda, se nechová jako ideální kapalina. Za ideální považujeme kapalinu nestlačitelnou, neviskózní a o konstantní hustotě za všech podmínek. Ve skutečnosti se však voda chová jako kapalina reálná a hustota je funkcí teploty. S rostoucí teplotou její hustota klesá. To má za následek i menší tlakové ztráty.

2.2 SYSTÉMY PRO VYTÁPĚNÍ

Jak již bylo řečeno, znalost tlakových ztrát hraje mnohem větší roli u otopných soustav. Jedná se totiž o cirkulační oběhy, u kterých se dle tlakových a teplotních ztrát dimenzují rozměry potrubí a velikosti otopných těles. Tlakové ztráty musí zároveň odpovídat i návrh a volba čerpadla. Celkový projekt má tak za následek ovlivnění výše pořizovacích a provozních cen. V dlouhodobém měřítku pak náklady na provoz čerpadla a případné opravy hrají o to důležitější roli a ve výsledku se tak výběr materiálu potrubního systému stává klíčovým. [23]

Vytápěcí systémy pracují s nejvyššími teplotami média. Mnohem větší nároky jsou proto kladeny na potrubí z hlediska teplotní odolnosti. Případné délkové změny je nutné zohlednit. Řešením mohou být různé kompenzátory, jejichž aplikací však může docházet k prodloužení celkové trasy a k navýšení délkových a místních ztrát. Z tohoto důvodu byly do tabulky přidány údaje o koeficientech teplotních roztažností daných vytápěcích materiálech.

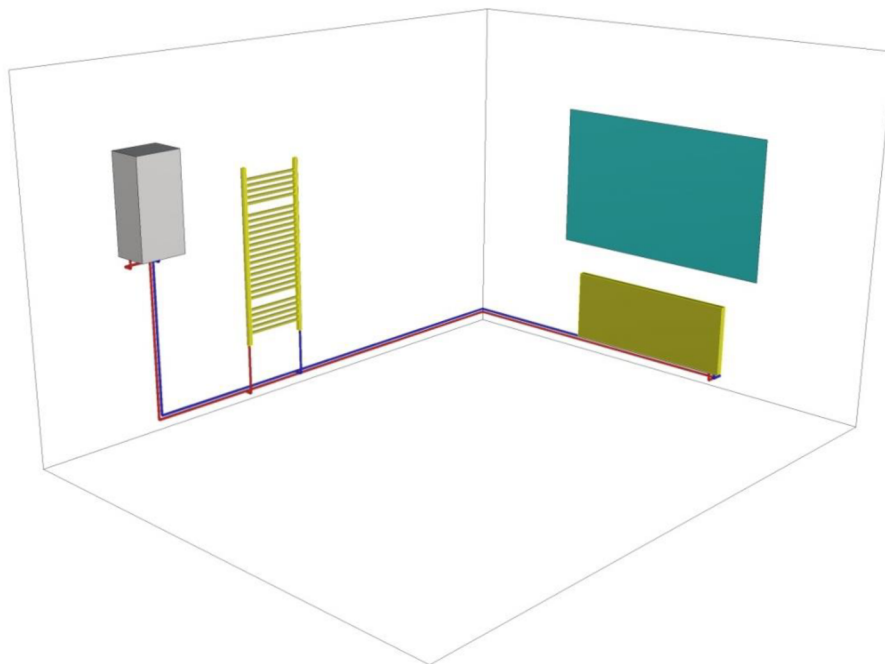
Tab. 2.2: Tlakové ztráty potrubí pro vytápění

Materiál	Firma	Rozměr	Tlakové ztráty [kPa/m] (t=80°C)	Koeficient teplotní roztažnosti [mm/m K]
Nerezový vlnovec	Flexira	DN20	3,73	0,014
Fiber Basalt Plus	Wavin	DN18 (25x3,5)	1,4	0,05
PE-X/Al/PE-HD	Wavin	DN20 (25x2,5)	1,05	0,025
Měď	Supersan	DN20 (22x1)	0,9	0,017
PE-Xa	Rehau	25x2,3	0,75	0,16

Kromě rozměrů jsou výpočty ovlivněny také drsností povrchu daných materiálů. Nejmenších hodnot tlakových ztrát bylo dosaženo u materiálů plastových. Je tak potvrzena skutečnost, že plastové materiály disponují velmi hladkým povrchem, který protékajícímu médiu klade malý odpor. To je jedním z důvodů, proč u vícevrstvých trubek tvoří vnitřní část právě vrstva z plastu. Podobně obstojných výsledků dosáhla také měď, jejíž parametry jsou srovnatelné s materiály plastovými. Materiálem s nejvyšší tlakovou ztrátou je potom nerezový vlnovec. Jeho speciální zvlnění přináší nesporné výhody ve formě ohebnosti spolu s vysokými pevnostními charakteristikami nerezové oceli, ovšem na stranu druhou klade protékajícímu médiu větší odpor. V porovnání s plastovými materiály jsou ztráty u menších průměrů vlnovců až 4x větší. Také to je jedním z důvodů, proč se vlnovcové trubky používají nejčastěji na propojení krátkých úseků.

3 MODELOVÁ TRATĚ

Pro názorné srovnání byla sestavena modelová trať, kterou tvoří pokoj o rozměrech 5x4m. Pokoj obsahuje kotel, žebřiny a otopné těleso. Jedná se tedy o vytápěcí systém s přívodem ohřívání a odvodem ochlazené vody. Kritéria hodnocení modelové trati jsou tlakové ztráty a pořizovací cena. Výběr materiálů vyplývá ze současných používaných systémů. Zařazena byla tradiční měď, nerezový vlnovec a za zástupce vícevrstvých trubek potom systém K-press, jenž se řadí do kategorie plastohliníkového potrubí.



Obr. 3.1: Ilustrační obrázek modelové trati

Parametry otopné soustavy:

- přívodní potrubí.....8490 mm
- zpětné potrubí.....8220 mm
- odbočka k žebřinám..... 500 mm
- celková délka17680 mm
- armatury na teplé voděkoleno 8x, T-kus 1x
- armatury na ochlazené voděkoleno 7x, T-kus 1x

Postup výpočtu vychází z Bernoulliho rovnice pro reálné kapaliny. Pohyb vody je příčinou tlakových ztrát. Na rozdíl od rovnice pro kapaliny ideální zde proto vystupuje člen měrné ztrátové energie. Tento člen je dle Weisbachova vztahu definován jako součet délkových a místních ztrát. Výsledný vztah pro výpočet místní ztráty na tvarovce pak vychází z těchto dvou rovnic. [24]

Nezbytnou součástí výpočtu je znalost součinitelů místních odporů. Součinitel místního odporu charakterizuje úbytek tlaku v armaturách a tvarovkách. Stanovuje se experimentálně, v tomto případě byly hodnoty součinitelů vyčteny z technických listů daného typu potrubí. V závislosti na teplotě média jsou zároveň v technických listech uváděny i tlakové ztráty na metr potrubí, což situaci usnadňuje. Při výpočtech bylo vycházeno z rozměru potrubí DN20, průtoku 0,2 l/s a z hustoty vody odpovídající teplotě 80°C, tedy 972 kg/m³.

Bernoulliho rovnice reálné kapaliny:

$$\frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 + Y_{z1,2} \quad (1)$$

p – tlak [Pa]

ρ – hustota [kg/m³]

v – střední rychlost proudění [m/s]

g – gravitační zrychlení [m/s²]

z – výška vzhledem k nulové potenciální hladině [m]

Y_{z1,2} – měrná ztrátová energie [J/kg]

Weisbachův vztah:

$$Y_{z1,2} = \xi_C \cdot \frac{v^2}{2} = \sum \xi_L \cdot \frac{v^2}{2} + \sum \xi_M \cdot \frac{v^2}{2} \quad (2)$$

ξ_L – součinitel délkového odporu [-]

ξ_M – součinitel místního odporu [-]

Výsledný vztah pro výpočet tlakové ztráty na dané tvarovce má pak následující tvar:

$$\Delta p = \xi_M \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad (3)$$

Tab. 3.1: Tlakové ztráty modelové trati

Materiál	Výrobce	Rozměr	Tlaková ztráta na metr [kPa/m]	Tlaková ztráta na tvarovkách [kPa]	Celková tlaková ztráta [kPa]
Měď	Supersan	DN20 (22x1)	0,25	4,19	8,61
Nerezový vlnovec	Flexira	DN20	0,872	5,41	20,82
PE-X/Al/PE-HD	Wavin	DN20 (25x2,5)	0,24	20,31	24,55

Samotný výpočet modelové trati má však pouze orientační charakter, neboť se jedná o zidealizovaný případ s konstantním průtokem, hustotou a neměnným průřezem potrubí. Ve skutečnosti jsou projekty vytápěcích sítí mnohem složitější, detailnější a rozsáhlejší.

Cenový přehled těchto tří systémů názorně ukazuje, jak se pořizovací náklady navzájem liší. U nerezového vlnovce zákazník ušetří na tvarovkách. Vlnovec je ohebný a flexibilní, dá se tudíž tvarovat podle potřeby. Na stranu druhou samotná cena nerezového potrubí je dražší, než oba zmíněné systémy dohromady. Při projektování celé trasy nerezovým vlnovcem se tak pořizovací cena značně navýší. Zajímavé je srovnání mědi s plastohliníkovým potrubím. Jednotková délková cena plastohliníkového potrubí je ve srovnání s mědí poloviční, ovšem prodraží se nákup lisovacích tvarovek. Opačná situace je u mědi. Ve výsledném součtu jsou však pořizovací ceny těchto dvou materiálů podobné.

Tab. 3.2: Pořizovací ceny (ceny jsou uvedeny bez DPH)

Materiál	Výrobce	Rozměr	Cena za metr	Cena tvarovek	Celková cena
Měď	Supersan	DN20 (22x1)	111,00 Kč	327,00 Kč	2 325,00 Kč
PE-X/Al/PE-HD	Wavin	DN20 (25x2,5)	57,67 Kč	1 467,03 Kč	2 505,09 Kč
Nerezový vlnovec	Flexira	DN20	300,00 Kč	-	5 400,00 Kč

ZÁVĚR

Za posledních několik desítek let, prošly materiály využívané při projektování technických zařízení budov značným vývojem. Mezi první materiály používané na našem území patří ocel. Ocel, jakožto jediný dostupný materiál, tvořil většinu rozvodů studené a teplé vody. Ocelové potrubí procházelo žárovým pozinkováním zabraňující korozi, ta se ale přesto objevovala již po několika letech provozu. Poté, co se na trhu objevila měď, začala ocelové rozvody velmi rychle nahrazovat. Svoje místo si drží až do dnešní doby, kdy je stále považována za tradiční a časem prověřený materiál.

Rozmach plastů znamenal jejich průnik i do oblasti potrubních materiálů. Jejich nejčastější aplikace směřují k projektování vodovodních rozvodů studené a teplé vody. V této oblasti totiž disponují ideálními vlastnostmi a to zejména netečností a hladkým povrchem. Nízkou hmotnost a jednoduché spojování potom obzvláště ocení samotní instalatéři. Plastové materiály však stále prochází svým vlastním vývojem. Technický pokrok umožňuje jejich zdokonalování. Příkladem může být polypropylen nové generace PP-RCT. Technologickými postupy bylo dosaženo jemnější struktury, v důsledku čehož se zlepšila jeho pevnost a teplotní odolnost. To dovoluje materiál použít při aplikacích až do 70 stupňů s životností do 50 let. Podobným příkladem je proces síťování polyethylenu. Při této chemické reakci vzniká neviditelná příčná vazba mezi molekulami. Ta má zásadní vliv na chování materiálu, neboť z původně termoplastického materiálu se stává materiál termoelastický. Při vyšších teplotách měkne, ale zachovává si dostatečnou pevnost. Velmi zajímavě působí u aplikací podlahového vytápění. Zalití betonem zabrání délkové teplotní roztažnosti a materiál nemá jinou možnost kompenzace, než měnit tloušťku stěny. To však materiálu díky zmíněným termoelastickým vlastnostem vůbec nevádí.

A je to právě vysoká teplotní roztažnost, kterou trpí všechny plastové materiály. Snahou proto bylo zmírnit tento nežádoucí efekt. Řešení se ukázalo v podobě kombinace s jiným materiálem, nově se tak zrodila skupina vícevrstvých materiálů. Typickým příkladem je plastohliníkové potrubí, spojení plastu a kovu. Přítomnost hliníkové mezivrstvy zabrání délkové roztažnosti a zvýší samonosnost celé konstrukce. Zároveň působí jako kyslíková bariéra. Potrubí zaručuje vysokou spolehlivost a životnost, cenově je však dražší, zejména nákup spojovacích tvarovek. Jiný úhel pohledu přináší metody vyztužování skelnými nebo čedičovými vlákny. Obdobně jako u plastohliníkového potrubí dochází ke zpevnění a zvýšení samonosnosti.

Novinkou v oblasti kovového potrubí jsou nerezové vlnovce. Speciální zvlnění dodává materiálu ohebnost při současném zachování vysokých pevnostních charakteristik. Montáž je tak podstatně urychlena, ohnutí na požadované parametry lze provést ručně. Za kvalitu si však zákazník připlatí. Také proto se vlnovec často využívá pouze k propojení krátkých a členitých úseků.

Druhá část práce byla věnována porovnání materiálů z hlediska tlakových ztrát a pořizovacích nákladů, což jsou stěžejní faktory zejména při volbě vytápěcích systémů. Srovnání potvrdilo, proč je měď stále nejpoužívanějším materiálem, dosáhla totiž nejmenší tlakové ztráty. Cenově si konkuruje s dražšími moderními systémy. Naopak z pohledu firem je nejvýhodnější volit ten typ potrubí, ke kterému vlastní certifikované příslušenství.

Směr, kterým se bude pokrok dále ubírat, je obtížné předpovídat. Jednou z možností je vývoj nových vrstev ke zlepšení vlastností plastového potrubí. Již v dnešní době existují ochranné vrstvy jako například vrstva EVOH, zabraňující difuzi kyslíku. Stejně tak je možné vytvoření nových kombinací materiálů v oblasti vícevrstvého potrubí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *PŘÍRUČKA K PROJEKTOVÁNÍ SYSTÉMŮ Z MĚDĚNÝCH TRUBEK V TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍCH BUDOV*. Budapešť: Evropský institut mědi (dříve Hungarian Copper Promotion Centre), b.r., 74 s. Dostupné také z: http://medenerozvody.cz/sites/default/files/publication_files/7_prirucka_k_projektovani_systemu_2012.pdf
- [2] *MĚDĚNÉ TRUBKY* [online]. Havlíčkův Brod: Mipoplast s.r.o., b.r. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: http://www.mipoplast.cz/htm/medene_trubky/medene_trubky.htm
- [3] *Odborná instalace měděných trubek* [online]. Budapešť: Evropský institut mědi (dříve Hungarian Copper Promotion Centre), 2006, 101 s. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://medenerozvody.cz/publication/odborna-instalace-medenych-trubek-ucebnice-ceska-verze>
- [4] *Keményforrasztás a gyakorlatban. Sulinet* [online]. Maďarsko, b.r. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/gepeszet/gepeszeti-szakismeretek-2/kemenyforrasztas-a-gyakorlatban/femlapkak-felfogatasa>
- [5] *Profipress Kupfer: Jahrzehnte bewährt und sicher* [online]. Neustadt-Diedesfeld: Dieter Ziesecke e.K., b.r. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.ziesecke-neustadt.de/de/Technik---7.html>
- [6] *ŽABIČKA, Zdeněk a Zdeněk POSPÍCHAL. Žárově pozinkované ocelové potrubí a koroze. In: tzb.info* [online]. 2012 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/materialy-voda-kanalizace/8493-zarove-pozinkovane-ocelove-potrubi-a-koroze>
- [7] *Vychytávky s vlnovcem. NAŠE HOBBY: receptář pro každého* [online]. 2016 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.nasehobby.cz/vychytavky-s-vlnovcem/>
- [8] *Katalog xConnect: Rozvody snadněji a rychleji s nerezovým vlnovcem*. Čermákovice: Flexira s.r.o., 2016, 23 s. Dostupné také z: <https://www.flexira.eu/docs/flexira-xconnect-2016-catalogue-cz.pdf>
- [9] *KOPUBKOVÁ, Ilona. Materiály pro vnitřní vodovody se zatím v praxi příliš nemění. In: tzb.info* [online]. 2014 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/materialy-voda-kanalizace/11879-materialy-pro-vnitri-vodovody-se-zatim-v-praxi-prilis-nemeni>
- [10] *Katalog Tlakové potrubí PE 100 a PE 100RC: vodovodní potrubí tlaková a podtlaková kanalizace*. Otrokovice: Pipelife Czech s.r.o., 2014, 48 s. Dostupné také z: http://www.pipelife.cz/media/cz/pdf_products/TLAKOVE_POTRUBI_PE100_PE100RC_2014.pdf
- [11] *Katalog Systém Ekoplastik*. Kostelec nad Labem: Wavin Ekoplastik s.r.o., 2016, 145 s. Dostupné také z: http://www.wavinacademy.cz/wp-content/uploads/2015/08/wavin_-katalog_rozvody-vody_vytapeni_podlahove-vytapeni.pdf
- [12] *Správné svařování trubek a tvarovek z PPR a PP-RCT*. In: *Youtube* [online]. Wavin Ekoplastik, 2015 [cit. 2017-05-24].
- [13] *Novinky v produkci FV Plast - od PP-R k PP-RCT* [online]. Čelákovice: FV - Plast a.s., b.r. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.fv-plast.cz/novinka-novinky-v-produkci-fv-plast---od-pp-r-k-pp-rct>
- [14] *GARD, Reinhold a Petr VONDRÁČEK. PP-RCT - nová třída plastových materiálů pro vodovodní a topnářské aplikace* [online]. Praha: Borealis s.r.o., 2007 [cit. 2017-05-07].
- [15] *POLYOLEFINY polyethylen polypropylen: Výroba, vlastnosti, použití* [online]. In: . Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, 2013, s. 79 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/PE%20a%20PP2013.pdf>
- [16] *PE potrubí vodovodní tlakové* [online]. Havířov: GASCONTROL PLAST, a. s., b.r. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.gascontrolplast.cz/potrubi-vodovodni.html>
- [17] *DELTA 160 M* [online]. Liberec: GE-TRA centrum svařování, b.r. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.centrumsvarovani.cz/katalog/svarovani-na-tupo/delta-160-m>

- [18] *Katalog REVEL-PEX*. Příbram: Revel Příbram s.r.o., 2016, 28 s. Dostupné také z: <http://www.revel-pex.com/katalog-revel/>
- [19] *Sítovaný polyetylen - PEX* [online]. Lanškroun: HST Žichlínek s.r.o., b.r. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.hst-zichlinek.cz/vseobecne-informace-FC-PC-249.html>
- [20] Vícevrstvá trubka PEX/Al/PEX PURMO HKS Sitec. *Purmo: Clever heating solutions* [online]. Rettig Heating, b.r. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.purmo.com/cz/produkty/trubkovy-system-hks/trubka-pex-al-pex-i-pe-rt-al-pe-rt.htm>
- [21] *FV Plast FASER: nová generace vícevrstvých PPR trubek se skelným vláknem*. Čelákovice: FV Plast, b.r. Dostupné také z: http://www.maroc.cz/pool/novinka_priloha_21.pdf?PHPSESSID=hnpb6r2qdq5ssdlr2c53l6in32
- [22] VRÁNA, Jakub. *Rozvody teplé vody - II* [online]. Brno: VUT v Brně, 2009 [cit. 2017-05-07].
- [23] VALENTA, Vladimír. *Topenářská příručka 3: Návod na projektování tepelných zařízení*. 1. vydání. Praha: Agentura ČSTZ, 2007, 378 s. ISBN 978-80-86028-13-2.
- [24] PETRÁŠ, Dušan. *Vytápění rodinných a bytových domů*. 1. české vydání. Bratislava: Jaga, 2005, 246 s. ISBN 80-8076-020-9.