



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**ZTRÁTY V POTRUBÍCH CENTRÁLNÍHO ZÁSOBOVÁNÍ
TEPLEM**

LOSSES IN CENTRAL HEAT SUPPLY PIPES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jaroslav Stupka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Jaroslav Stupka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

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:

Ztráty v potrubích centrálního zásobování teplem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tepebné ztráty rozvodných sítí jsou jednou ze slabin centrálního zásobování teplem. Intenzita tepelných ztrát závisí na způsobu izolace, způsobu uložení potrubí i na typu a teplotě teplotnosného média. Obsahem bakalářské práce je rešerše teoretických podkladů a výpočet tepelných ztrát pro jednotlivé typy.

Cíle bakalářské práce:

- přehled potrubí a izolací používaných v sítích centrálního zásobování teplem
- přehled možných uložení rozvodných sítí
- výpočet tepelných ztrát pro vybraný úsek teplotrenské sítě

Seznam doporučené literatury:

KRBEK, Jaroslav, Ladislav OCHRANA a Bohumil POLESNÝ. Zásobování teplem a kogenerace. Brno: PC-DIR Real, 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1347-6.

PAVELEK, Milan. Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-8-214-4300-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

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

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

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá tepelnými ztrátami v potrubích centrálního zásobování teplem. Nejdříve byla provedena rešerše možných způsobů izolování, druhů a uložení rozvodných sítí. Následně byl popsán zadaný úsek teplotní sítě. Tepelné ztráty byly vyčísleny samostatně pro každý rozměr, způsob izolování a uložení potrubí. Byly počítány zvlášť v topném a mimo topné období. V závěru práce byla sečtením těchto partikulárních ztrát stanovena celková tepelná ztráta zadaného úseku.

Klíčová slova

Tepelné ztráty, centrální zásobování teplem, izolace, uložení potrubí, teplotní látka

Abstract

This bachelor thesis is dealing with heat loss in central heat supply pipes. First of all, research of pipe insulation, heating networks and pipe installation has been done. Then, the section of heating network has been described. After that, heat loss has been calculated separately for each dimension as well as type of insulation and pipe installation. It has been also evaluated during heating and out of heating season. In the end, total heat loss in the section of heating network using summation of that particular heat loss has been quantified.

Key words

Heat loss, central heat supply, insulation, pipe installation, heat transfer medium

Bibliografická citace

STUPKA, J. Ztráty v potrubích centrálního zásobování teplem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 64 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Ztráty v potrubích centrálního zásobování teplem** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne

.....
Jaroslav Stupka

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Marku Balášovi, Ph.D. za cenné připomínky, rady a čas, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Teplárny Brno, a.s., jmenovitě jejím pracovníkům oddělení primárních sítí – Petru Horákovi a Janu Šerému, za možnost nahlédnutí do projektové dokumentace a poskytnutí cenných rad. Velké poděkování patří také mé rodině.

Obsah

ÚVOD.....	11
1 ROZDĚLENÍ PODLE DRUHU IZOLAČNÍHO MATERIÁLU	12
1.1 Druhy tepelně izolačních materiálů	12
1.2 Sledované vlastnosti tepelně izolačních materiálů	12
1.2.1 Teplotní odolnost.....	12
1.2.2 Hořlavost	13
1.2.3 Součinitel tepelné vodivosti	14
1.2.4 Hydrofobní vlastnosti	14
1.2.5 Další vlastnosti	14
1.3 Nejčastější tepelně izolační materiály v sítích centrální zásobování teplem ..	15
1.3.1 Minerální čedičová (kamenná) vata	15
1.3.2 Minerální skelná vata	16
1.3.3 Polyuretanová pěna	16
1.4 Ochrana izolací před vnějšími vlivy	18
2 ROZDĚLENÍ PODLE DRUHU TEPELNÝCH SÍTÍ.....	20
2.1 Rozdělení tepelných sítí podle druhu teplotního média.....	20
2.1.1 Parovodní sítě.....	20
2.1.2 Horkovodní a teplovodní sítě.....	20
2.2 Rozdělení tepelných sítí podle počtu trubek.....	21
2.2.1 Jednotrubkové tepelné sítě	21
2.2.2 Dvoutrubkové tepelné sítě.....	21
2.2.3 Třítrubkové tepelné sítě.....	22
2.3 Rozdělení tepelných sítí podle půdorysného uspořádání.....	23
2.3.1 Paprskovitá síť	23
2.3.2 Okružní síť	23
2.3.3 Mřížová síť	24
3 ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU ULOŽENÍ TEPELNÝCH SÍTÍ.....	25
3.1 Podzemní uložení.....	25
3.1.1 Kanálové uložení	25
3.1.2 Bezkanálové uložení	27
3.2 Pozemní a nadzemní uložení	30
4 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT.....	31

4.1	Charakteristika zadané sítě.....	31
4.2	Tepelné ztráty potrubí v bezkanálovém uložení.....	33
4.3	Tepelné ztráty potrubí uloženého v neprůlezném kanálu.....	41
4.4	Tepelné ztráty potrubí uloženého v neprůlezném kanálu počítané metodou pro bezkanálové uložení	46
4.5	Tepelné ztráty potrubí uloženého v interiéru	49
4.6	Celkové ztráty na zadaném úseku	51
4.7	Podíl tepelných ztrát na přenášeném výkonu	53
ZÁVĚR		58
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ		59
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A VELIČIN		63
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....		64

ÚVOD

Jedním z hlavních ukazatelů rozhodujících při volbě způsobu vytápění je cena za jednotku spotřebovaného tepla. Právě její výše se v případě centrálního zásobování teplem stává předmětem častých diskuzí. Je to způsobené tím, že teplo distribuované teplotními sítěmi musí čelit stále modernějším a efektivnějším vytápěcím zařízením, musí se vyrovnat s kolísajícími cenami paliv a s měnícím se provozním režimem odběratelských stanic.

Jednou ze složek tvořících celkové náklady na jednotku dodaného tepla v soustavách centrálního zásobování teplem je uhrazení tepelných ztrát v potrubní trase. Ty jsou způsobeny jednak netěsnostmi rozvodných sítí, a tedy únikem teplotní látky, jednak závisí na teplotě provozního média, druhu izolace a způsobu uložení potrubních sítí.

Cílem práce je provést rešerši potrubí a izolací používaných v sítích centrálního zásobování teplem, možných uložení rozvodných sítí a následně uskutečnit výpočet tepelných ztrát na vybraném úseku teplotní sítě. Jak již bylo zmíněno, velikost ztrát je ovlivněna také druhem a teplotou teplotní látky, proto bude v práci uvedeno i toto rozdělení.

Pro vyčíslení tepelných ztrát je klíčové určení či získání rozměrových a dalších parametrů týkajících se potrubních rozvodů. Ztrátový tepelný tok bude nutné vypočítat samostatně pro jednotlivé způsoby izolování, uložení, druh a teplotu teplotní látky. Tento krok posléze umožní vyjádření celkového tepelného toku na zadaném úseku. Za účelem dosažení výsledků je zapotřebí provést výpočet zvlášť pro topnou a mimo topnou sezónu.

1 ROZDĚLENÍ PODLE DRUHU IZOLAČNÍHO MATERIÁLU

1.1 Druhy tepelně izolačních materiálů

Hlavním důvodem, proč se tepelné izolace používají, je zabránit vniknutí či úniku tepla. Setkat se s nimi můžeme typicky při izolaci objektů, kde se jimi opatřují stěny, podlahy, stropy nebo střechy. Neméně podstatné je však izolování technologických zařízení, jako jsou potrubí či kotle.

Původní izolační materiály byly přírodního charakteru. Příkladem mohou být seno, sláma a lišejníky [1]. Dnes se z přírodních izolací užívá také konopí či celulóza [1]. Dalšími izolačními materiály jsou vláknité izolace. Mezi ně lze řadit minerální vlnu (čedičovou (kamennou), skelnou vatu) [1]. V šedesátých letech minulého století došlo také k rozmachu pěnových plastů [1]. Z nich se jako izolanty používají například polystyreny, polyuretanová a polyisokyanurátová pěna, pěnové sklo nebo polyetylen [1]. Kromě zmíněných skupin existují také vakuové, lité a sypké izolace [1]. Výčet vybraných izolačních materiálů a jejich použití jsou uvedeny v tab. 1.1.

Tab. 1.1 Příklady použití uvedených tepelně izolačních materiálů [1], [2], [3], [4], [5]

Izolační materiál	Použití
Minerální čedičová vata	Izolace střech, stropů, podlah, fasád, potrubí
Minerální skelná vata	
Keramická vlákna	Izolace kotlů, potrubí, turbín, reaktorů, pecí a tavicích van
Polyetylenová (PE) izolace	Topenářské rozvody, vnitřní rozvody teplé a studené vody, kanalizační
Polyuretanová (PUR) pěna	Izolace potrubí, automobilů, lodí, ve stavebnictví
Polyisokyanurátová (PIR) pěna	Izolace potrubí, automobilů, lodí, ve stavebnictví
Pěnosklo	Izolace ve stavebnictví
Expandovaný polystyren EPS	Izolace fasád, podlah, plochých střech
Extrudovaný polystyren XPS	Izolace v přímém styku s vlhkostí nebo s vysokým zatížením (pojízdné střechy, izolace stěn v kontaktu s terénem)
Kaučukové izolace	Chladicí a klimatizační zařízení

1.2 Sledované vlastnosti tepelně izolačních materiálů

1.2.1 Teplotní odolnost

Důležitou vlastností, jež předurčuje to, zda lze daný materiál použít jako izolaci pro navrhované horkovodní či parovodní potrubí, je teplotní odolnost materiálu (tab. 1.2) [6]. Některé tepelně izolační materiály nejsou schopny odolávat teplotě médií v parovodech či horkovodech (tab. 1.3). Teplotní odolnost je nutné posuzovat z dlouhodobého hlediska, jelikož některé materiály odolávají krátkodobě teplotám, vlivem kterých však při trvalé expozici ztrácejí své funkční vlastnosti [6].

Tab. 1.2 Horní hranice teplotní odolnosti tepelně izolačních materiálů [5], [6], [7], [8], [9]

Izolační materiál	Horní hranice teplotní odolnosti [°C]
Minerální čedičová vata	700–800
Minerální skelná vata	450
Keramická vlákna	1200–1425
Polyetylenová (PE) izolace	90
Polyuretanová (PUR) pěna	140–160
Polyisokyanurátová (PIR) pěna	140–180
Pěnosklo	430
Expandovaný (EPS) polystyren	80
Extrudovaný (XPS) polystyren	75
Kaučukové izolace	175

Tab. 1.3 Teplota médií v parovodních a horkovodních potrubích [6]

	Parovodní potrubí	Horkovodní potrubí
Přívodní teplota [°C]	180–240	110–160
Teplota ve vratné větvi [°C]	40–70	50–80

Při porovnání teplot médií v přívodní větvi a horní hranice teplotní odolnosti izolantů lze okamžitě některé materiály vyloučit. Materiály, jako jsou polyetylenová pěna či oba typy polystyrenu, by tuto teplotu nevydržely. Nepřípustná by byla také aplikace polyuretanové pěny přímo na přívodní parovodní trubku. Paradoxně se právě polyuretanová pěna pro izolaci parovodů používá, ale v kombinaci s minerální vatou, která tvoří vnitřní část izolace. O tom se podrobněji zmíním v jedné z následujících podkapitol.

1.2.2 Hořlavost

Další vlastností, která rovněž nerozhoduje o velikosti tepelných ztrát, ale má spíše bezpečnostní charakter, je hořlavost. Ta se podle evropské klasifikace „třídy reakce na oheň“ (tab. 1.4) rozděluje do sedmi skupin (A1, A2, B, C, D, E, F), které člení materiály podle toho, jak se podílí na rozvoji a intenzitě požáru [10]. Konkrétně u tepelných izolací potrubí se u označení třídy uvádí také spodní index „L“ [10].

Tab. 1.4 Třídy reakce na oheň a příklady dle normy ČSN EN 13501-1 [10], [11], [12]

Třída reakce na oheň	Vlastnosti	Příklady materiálů
A _{1L}	Nehořlavé	Minerální vata, pěnové sklo
A _{2L}	Téměř nehořlavé	Minerální vata s určitou povrchovou úpravou
B _L	Nesnadno hořlavé	Fenolické pěny
C _L	Hořlavé	PIR pěny
D _L	Snadno hořlavé	PUR pěna
E _L	Velmi snadno hořlavé	PUR pěna
F _L	Extrémně hořlavé	Neklasifikované materiály

1.2.3 Součinitel tepelné vodivosti

Pokud zvolený materiál splňuje předchozí dvě primární bezpečnostní podmínky, hodnotí se jeho součinitel tepelné vodivosti, na kterém závisí tepelný tok izolačním materiálem [6]. Pro zmenšení tepelných ztrát požadujeme u izolací co možná nejnižší součinitel tepelné vodivosti. Součinitel tepelné vodivosti roste s teplotou [6].

1.2.4 Hydrofobní vlastnosti

Součinitel tepelné vodivosti u jednotlivých materiálů je však výrazně degradován navlháním izolací, zejména těch pórovitých a vláknitých [13]. Vlhnutí tepelných izolací bývá způsobeno prostupem vlhkého vzduchu nebo prostupem kapalné fáze vody [13]. S těmito problematickými jevy úzce souvisí paropropustnost a hydrofobizace (vodoodpudivost).

Paropropustnost přímo závisí na difuzním odporu, který udává odpor proti průchodu vodních par vrstvou materiálu [14]. Je-li tento odpor dostatečně nízký (u izolantů požadováno), vlhkost z konstrukce se snadno odvětrává [14]. Hydrofobizace rozhoduje o tom, do jaké míry materiál odpuzuje vodu [14]. Zajišťuje to, že voda steče po povrchu materiálu, a nevnikne tedy do jeho struktury [14].

Obecně platí, že vlhká izolace vede teplo mnohem lépe než vzduch, a tudíž neizoluje [14]. Kromě toho, že materiál ztrácí své izolační vlastnosti, může prostupující vlhkost způsobit korozi kovové medionosné trubky.

1.2.5 Další vlastnosti

Další veličinou ovlivňující výběr izolačního materiálu je objemová hmotnost (hustota), jež má spojitost s velikostí součinitele tepelné vodivosti, ovšem co je hlavní, ovlivňuje ukotvení (uložení) potrubí [6].

Stejně jako samotná medionosná trubka, tak i materiál izolace má určitou teplotní roztažnost [6]. Především na delších úsecích je vhodné, aby se tyto dvě hodnoty od sebe příliš nelišily [6].

1.3 Nejčastější tepelně izolační materiály v sítích centrálního zásobování teplem

V sítích centrálního zásobování teplem se dnes nejčastěji vyskytují minerální vata (čedičová, skelná), tvrdá polyuretanová pěna a jejich kombinace.

1.3.1 Minerální čedičová (kamenná) vata

Čedičová (kamenná) vata je typem minerální izolace. Používá se nejčastěji ve stavebnictví jako tepelná, zvuková a protipožární izolace [15].

Základem směsi je čedič [15]. To znamená, že výsledná vlákna mají krystalickou strukturu této horniny. Kromě čediče však výchozí směs mohou tvořit také vápenec, siderit, dolomit, recyklované sklo a koks [15]. Po natavení této směsi se rozvláknováním, následným přidáním pojiva a dalších přísad, jako jsou hydrofobizační oleje nebo protiplísňové přísady, získají rohože, po jejichž tepelném vytvrzení vzniká výsledný produkt [15].

Čedičová vata se může pyšnit poměrně slušnou teplotní odolností. Jednotlivé zdroje se při stanovování této hodnoty liší, záleží totiž na přesném složení výrobní směsi a výsledném provedení izolace. Lze však tvrdit, že čedičová vata odolává teplotám pohybujícím se kolem 700 °C [5]. Je rovněž nehořlavá [16]. Ve výše zmíněné klasifikaci „třídy reakce na oheň“ zaujímá třídu A1 [16]. Součinitel tepelné vodivosti leží v rozmezí od 0,045 do 0,035 W·m⁻¹·K⁻¹ [16].

Vzhledem k poměrně nízkému faktoru difuzního odporu má tento materiál také dobrou paropropustnost [6]. Dobré hydrofobní vlastnosti zajišťují přísady dodané při výrobě izolačního produktu – viz výše zmíněné hydrofobizační oleje [6]. Objemová hmotnost se pohybuje v intervalu 30 až 200 kg·m⁻³ [17]. Měrná tepelná kapacita závisí na technologii výroby a udává se od 880 do 1150 J·kg⁻¹·K⁻¹ [17].

S minerální vatou se lze nejčastěji setkat ve formě desek (obr. 1.1), skruží nebo vinutých pouzder (obr. 1.2). Vzhledem ke své značné tuhosti, a tedy horší schopnosti ohýbání, se desky používají na potrubí větších průměrů a skruže se naopak vyrábí pro užší trubky [6].



Obr. 1.1 Čedičová vata ve formě desek [15]



Obr. 1.2 Vinuté pouzdro z čedičové vaty [18]

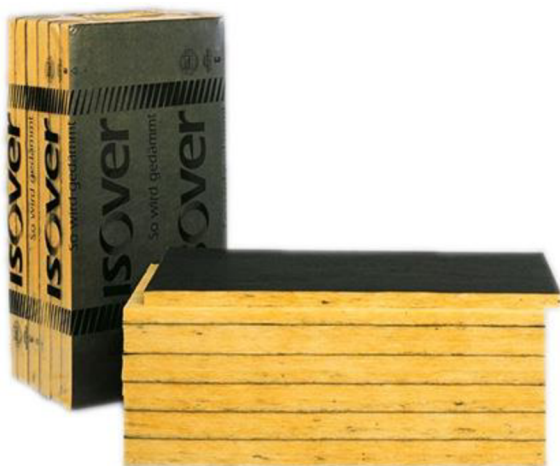
1.3.2 Minerální skelná vata

Dalším zástupcem minerálních izolačních materiálů je skelná vata, jež je také hojně využívána ve stavebnictví. Dost často se právě čedičová (kamenná) a skelná vata stávají předmětem diskuzí o tom, která z nich je výhodnější.

Oproti kamenné vatě tvoří základ směsi pro výrobu recyklované sklo [16]. Příprava skelné vaty je obdobná přípravě té kamenné. Směs se nataví, následně se odstředivou silou směs rozvlákňuje a přidá se pojivo spolu s dalšími přísadami [16].

Z hlediska teplotní odolnosti skelná vata přece jen trochu zaostává. Dokáže odolávat teplotě maximálně 450 °C [6]. Tato hodnota je však pro využití na horkovodech i parovodech plně dostačující. Stejně jako kamenná vata zaujímá v klasifikaci „třídy reakce na oheň“ třídu A1 [16]. Také interval součinitele tepelné vodivosti je obdobný, pohybuje se od 0,045 do 0,035 W·m⁻¹·K⁻¹ [16]. Měrná tepelná kapacita je přibližně 940 J·kg⁻¹·K⁻¹ [17].

Její objemová hmotnost se pohybuje v intervalu 15 až 35 kg·m⁻³, takže je lehčí než kamenná vata [17]. Je zároveň poddajnější, používá se tedy například jako izolace tvarově složitějších prvků nebo armatur [6]. Velkou nevýhodou skelné vaty jsou problémy s přenosem tíhového zatížení od medionosné trubky, z čehož plynou komplikace s uložením potrubí [6]. Skelná vata se dodává ve formě desek (obr. 1.3) či rolí (obr. 1.4) [6].



Obr. 1.3 Skelná vata ve formě desek [19]



Obr. 1.4 Skelná vata ve formě role [19]

1.3.3 Polyuretanová pěna

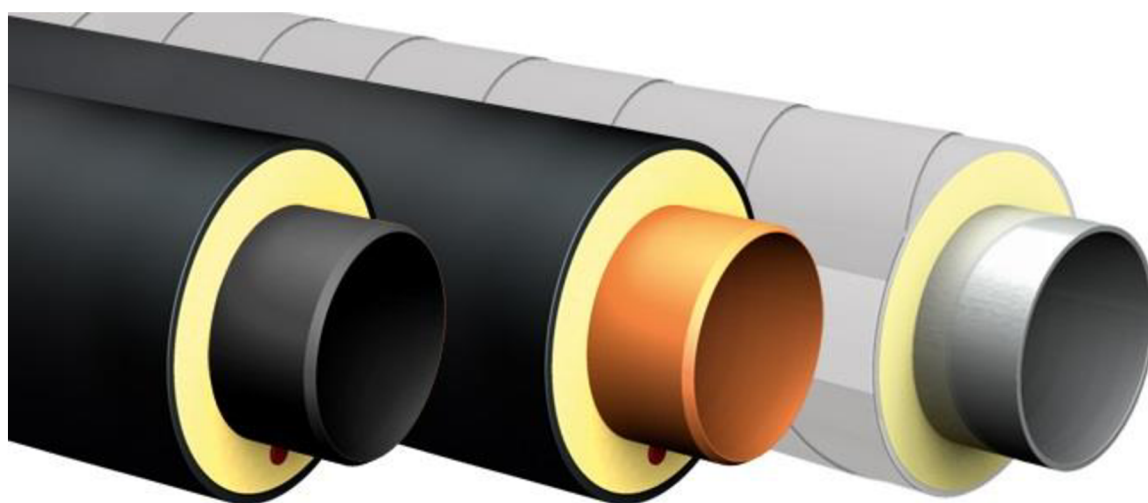
Izolačními materiály, které se v současné době v soustavách centrálního zásobování teplem dostávají do popředí, jsou polyuretanová či v poslední době také podobná polyisokyanurátová pěna. Polyuretanová pěna se vyrábí ve dvou variantách – měkká (známá také jako molitan) nebo tvrdá, jež se hojně využívá jak v různých technických aplikacích včetně potrubních systémů [20].

Nevýhodou tohoto izolačního materiálu je skutečnost, že se jeho teplotní odolnost pohybuje od -200 °C do „pouhých“ 140 °C (výjimečně 160 °C) [6]. Jako samotný izolant může být PUR pěna použita pouze pro izolaci horkovodů, pro parovody se musí PUR pěna kombinovat například s teplotně odolnější čedičovou vatou (více informací v další

podkapitole). Za minerálními vatami pokulhává také z pohledu nehořlavosti, za normálních podmínek disponuje v klasifikaci „třídy reakce na oheň“ některou z tříd v rozmezí C-E, po přidání retardérů hoření však dosahuje třídy B [6].

Součinitel tepelné vodivosti leží v rozmezí od 0,045 do 0,022 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [20]. V některých případech se tedy v tomto ohledu jeví jako lepší volba než minerální vaty. Objemová hmotnost se pohybuje od 30 do 100 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [17]. Měrná tepelná kapacita se udává přibližně 1500 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [17].

Ve stavební praxi se PUR pěna často aplikuje litím nebo nástřikem přímo na povrch konstrukce [20]. Lze se setkat také například s polyuretanovou pěnou ve formě desek [20]. V potrubních systémech se však vyskytuje téměř výhradně v podobě předizolovaných trubek (obr. 1.5), tvarovek (ohyby, T-kusy, odbočky) nebo armatur [6].



Obr. 1.5 Různá provedení předizolovaných potrubí s izolací z polyuretanové pěny [21]

Tyto předizolované trubky se mohou vyrábět dvěma různými způsoby. Tradiční výroba spočívá v lití polyuretanové pěny do prostoru mezi medionosnou a plášťovou trubkou [22]. Při tzv. „konti“ výrobě se polyuretanová pěna nanáší či nástřikuje na povrch vnitřní trubky [22].

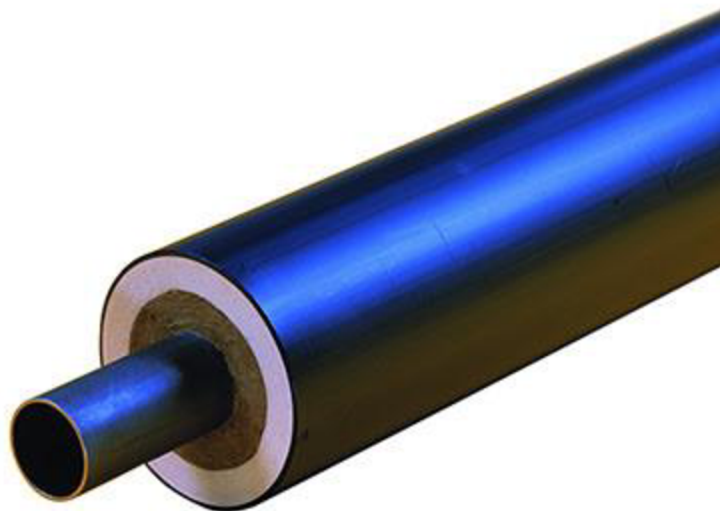
V současné době se předizolované potrubí nejčastěji vyskytuje v podzemním bezkanálovém uložení. Jako velká výhoda se nejen při tomto způsobu uložení jeví velká únosnost tvrdé PUR pěny. Podobně jako izolace z kamenné vaty dokáže vhodně rozložit tíhu medionosné trubky. Při pozemním a nadzemním uložení je možné díky této výhodné vlastnosti potrubí uchytit ne pouze přes medionosnou trubku, ale přímo přes zaizolovaný celek [6].

1.3.3.1 Kombinace minerální vaty a polyuretanové (PUR) pěny

Pro výhodné vlastnosti, avšak nízkou teplotní odolnost tvrdé polyuretanové pěny a sériovost výroby předizolovaných trubek se samotný materiál používá také v kombinaci s minerální vatou (obr. 1.6) [23]. V kombinaci s ní lze totiž izolovat i parovody, což by při použití samotné PUR pěny nebylo přípustné.

Jedná se o vícevrstvou izolaci, kde vnitřní vrstvu tvoří minerální vata, která odolává teplotám dosaženým v parovodním potrubí [23]. Tloušťka vnitřní vrstvy se navrhuje tak, aby

teplota na jejím vnějším okraji ležela v intervalu teplotní odolnost PUR pěny (max. 140 °C), která tedy tvoří vnější vrstvu této kombinované izolace.



Obr. 1.6 Vícevrstvá izolace tvořená vrstvami minerální vaty a PUR pěny [24]

1.4 Ochrana izolací před vnějšími vlivy

Izolační materiál nadzemních i podzemních potrubních systémů je nutné chránit před vlivy okolního prostředí. K ochraně horkovodních a parovodních rozvodů se používá plášťová trubka či fólie [6], jinými slovy „chránička“. V případě kanálového uložení k ochraně před vnějším prostředím slouží také samotné průlezné či neprůlezné kanály [13], čemuž bude věnována pozornost v kapitole týkající se uložení potrubí.

U bezkanálových soustav chrání plášťová trubka izolaci především před vniknutím vlhkosti. Příkladem mohou být moderní předizolovaná potrubí určená pro podzemní uložení. Tato potrubí disponují plášťovou trubkou z polyethylenu, nekorozního materiálu [25].

U kanálových či nadzemních systémů „chránička“ jednak eliminuje mechanické a povětrnostní vlivy, jednak také svou nižší emisivitou redukuje ztráty tepla způsobené zářením [6]. Ochranný plášť izolace tvoří buď kovová trubka (ocelový pozinkovaný, nerezový či hliníkový spirálově překládaný plech), nebo kovová (nejčastěji hliníková – obr. 1.7) či nekovová fólie, která se vyrábí z kompozitního materiálu na bázi polypropylenu [6]. Fólie se používá především v kanálech a interiérech, protože ne zcela chrání před mechanickými vlivy [6].



Obr. 1.7 Plášť izolace tvořený hliníkovou fólií (potrubí v neprůlezném kanálu) [26]

V tab. 1.5 jsou shrnuty některé vlastnosti výše popsaných tepelně izolačních materiálů používaných v sítích CZT.

Tab. 1.5 Materiálové charakteristiky vybraných tepelně izolačních materiálů v sítích CZT

Izolační materiál	Minerální čedičová vata	Minerální skelná vata	Polyuretanová pěna
Horní hranice teplotní odolnosti [°C]	700–800	450	140–160
Součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	0,045–0,035	0,045–0,035	0,045–0,022
Objemová hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	30–200	15–35	30–100
Měrná tepelná kapacita [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	880–1150	940	1500
Třída reakce na oheň	A1	A1	C–E (po přidání retardérů hoření B)

2 ROZDĚLENÍ PODLE DRUHU TEPELNÝCH SÍTÍ

Teplné sítě v soustavě centrálního zásobování teplem lze dělit podle několika faktorů. Jedním z hledisek, které má výrazný vliv na velikost tepelných ztrát, je volba teplotnosné látky. Z pohledu toho, jak jsou sítě konstrukčně navrženy, se rozlišují podle počtu trubek či podle typu půdorysného uspořádání. Rozdělení podle typu uložení bude věnována celá samostatná kapitola.

2.1 Rozdělení tepelných sítí podle druhu teplotnosného média

Úlohu teplotnosného média plní plynné či kapalné látky [27]. Použité plyny či kapaliny však musí splňovat určité fyzikální požadavky a jejich použití musí být rovněž ekonomicky výhodné [27]. Nesmí být hořlavé, výbušné, jedovaté ani vysoce viskózní [27]. Dále je kladen důraz na to, aby nezpůsobovaly přílišnou korozi potrubí a byly chemicky stabilní v intervalu užívaných teplotních a tlakových hodnot [27].

V rozvodných systémech může docházet k nepatrným ztrátám teplotnosné látky netěsnostmi potrubí, a proto by tato látka měla být levná a dostupná [28]. Důležité také je, aby měla vysoké měrné teplo [28]. Díky tomu postačí v oběhu menší množství látky a menší dimenze potrubí, což výrazně sníží pořizovací náklady [28]. K zamezení zbytečného plýtvání teplem je vhodné, aby bylo možné regulovat přenášený tepelný výkon [28].

V drtivé většině případů se jako teplotnosná látka využívá voda a vodní pára, které nejlépe odpovídají uvedeným požadavkům [28]. Ojedinelým médiem, které mohlo rozšířit repertoár používaných látek, byl silikonový olej [28]. Neuspěl však kvůli poměrně vysoké ceně a menšímu měrnému teple [28].

2.1.1 Parovodní sítě

Pára se v rozvodných sítích vyskytuje nejčastěji při tlaku od 0,4 do 3 MPa jako mírně přehřátá [27]. Rychlosti proudění páry se pohybují přibližně mezi 25 až 60 m·s⁻¹ [28]. Teplota kondenzátu ve vratném potrubí dosahuje hodnot 40 až 70 °C [6].

Výhodou použití páry jako teplotnosné látky je skutečnost, že k její dopravě není zapotřebí čerpadel, ale dopravuje se sama na úkor své tlakové energie [27]. Proto je vhodná také do výškově členitých oblastí, kde by doprava vody byla problematická [28]. Při případném rozšiřování sítě a připojování dalších odběratelů není oproti horkovodnímu vedení tak obtížné navrhnout síť, která bude zvládat její tlakové poměry [27]. Zároveň je pára těžko nahraditelná v oblasti využití pro některé technologické procesy [27].

2.1.2 Horkovodní a teplovodní sítě

V soustavě CZT se kromě horké vody lze setkat s vodou teplou. Označuje se tak voda, jejíž teplota je nižší než 110 °C [27]. Teplota horké vody v přívodním potrubí dosahuje výjimečně až 180 °C, obvykle však 130 °C [28]. Její tlak v potrubí leží v rozmezí 1,6 až 2,5 MPa a rychlost proudění odpovídá 1 až 2 m·s⁻¹ [28].

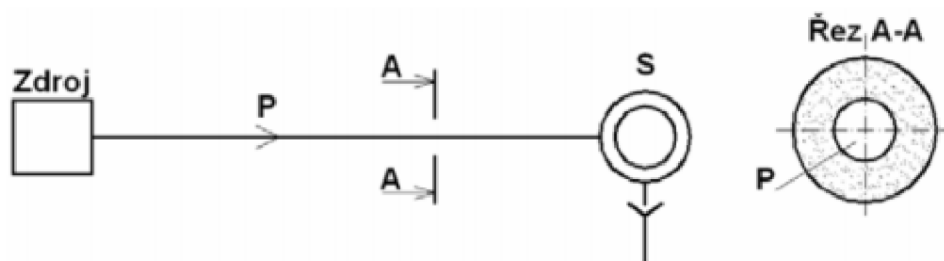
Zásadní výhodou při výrobě horké vody oproti páře v teplárně je vyšší měrná výroba elektřiny [28]. Tepelné ztráty potrubí jsou oproti parovodům nižší a tepelný výkon horkovodní sítě lze změnou teploty vody regulovat [27].

Použití páry k vytápění je v poslední době na ústupu. Objevuje se snaha nahrazovat zastaralé parovody novými předizolovanými horkovody, přesto však pára stále nachází své uplatnění především k výrobním účelům a pohonu zařízení v průmyslových podnicích [28].

2.2 Rozdělení tepelných sítí podle počtu trubek

2.2.1 Jednotrubkové tepelné sítě

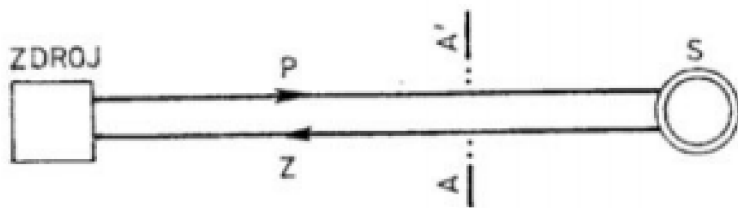
Vedení potrubí se uskutečňuje pouze prostřednictvím přívodní trubky (obr. 2.1) [28]. I přes to, že jsou náklady na tento typ sítě vůbec nejnižší, lze na něj v praxi narazit jen zřídka [28]. Své využití nachází pouze tam, kde se teplotnosné médium nevrací od spotřebitele zpět ke zdroji [28]. Nejčastěji se jedná o parní rozvody, kde se odpadní pára dále zpracovává [28]. V jiných případech se může vzniklý kondenzát vypouštět do stok či vodních toků. Jeho teplota by však neměla překročit 40 °C [13].



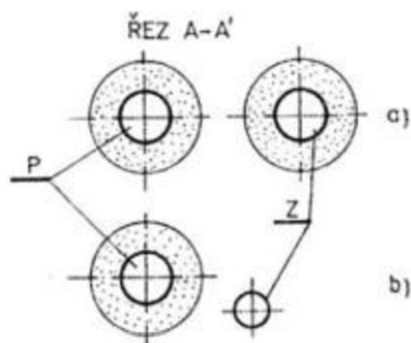
Obr. 2.1 Schéma jednotrubkové tepelné sítě [28]

2.2.2 Dvoutrubkové tepelné sítě

Nejčastějším typem tepelné sítě z hlediska počtu trubek jsou sítě dvoutrubkové (obr. 2.2) [28]. Tvoří je přívodní a vratné potrubí [28]. Průřezy přívodního a vratného potrubí se liší podle toho, zda je teplotnosnou látkou voda, nebo pára (obr. 2.3) [28]. V případě horkovodů je průřez přívodního i vratného potrubí totožný [28]. Naopak u parovodů se vratné (kondenzátní) potrubí liší od přívodního tím, že se zpravidla neizoluje a má většinou třetinový, či poloviční průměr než potrubí přívodní [28]. Výstavba dvoutrubkových tepelných sítí je finančně náročnější než výstavba jednotrubkových [28].



Obr. 2.2 Schéma dvoutrubkové tepelné sítě [28]



Obr. 2.3 Průřez potrubím dvoutrubkové tepelné sítě [28]

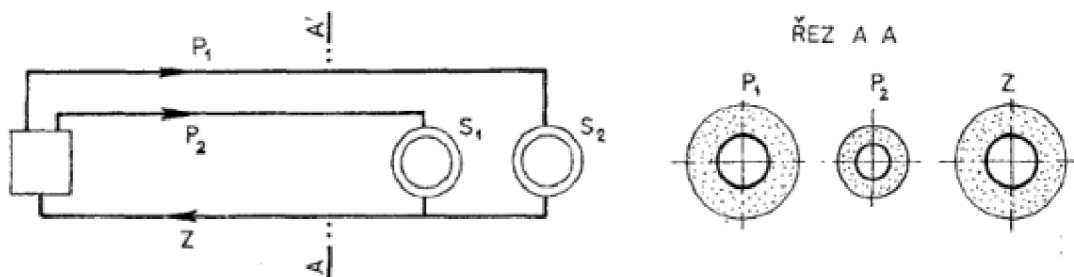
- a) horkovodní potrubí,
b) parovodní potrubí

2.2.3 Třítrubkové tepelné sítě

Méně častou realizací tepelné sítě je síť třítrubková (obr. 2.4). Tuto síť tvoří dvě přívodní a jedno vratné potrubí [13]. Třítrubková tepelná síť se realizuje prakticky ve dvou možných případech [13]. Prvním případem je dodávka tepla dvěma spotřebičům, z nichž jeden si žádá výrazně vyšší teplotní či tlakovou hladinu teplotnosné látky než druhý spotřebič (např. pro výrobní účely) [13].

Druhým případem se myslí dodávka tepla pouze jednomu spotřebiči, u kterého však spotřeba tepla velmi závisí na ročním období (typicky zima vs. léto) [13]. V době nízké poptávky na odběr tepla může být v provozu pouze přívodní potrubí o malém průměru [13]. Naopak v době vyšší poptávky je v provozu přívodní potrubí o velkém průměru, či dokonce obě přívodní potrubí [13]. Vratné potrubí se provozuje celoročně [13]. Výhodou použití třítrubkové sítě je skutečnost, že při odstávce jednoho z přívodních potrubí může dojít k jeho údržbě bez narušení provozu [13]. Avšak při dlouhých odstávkách může docházet ke korozi odstaveného potrubí [13].

Třítrubková tepelná síť se však realizuje pouze v nejnútnejších případech [28]. Její uskutečnění musí být odůvodněno technicko-ekonomickou zprávou [13]. Zvýšené pořizovací náklady na třítrubkovou síť oproti dvoutrubkové síti se musí vrátit za přiměřenou dobu (alespoň za dobu poloviny životnosti potrubí – přibližně 15 let) [28].

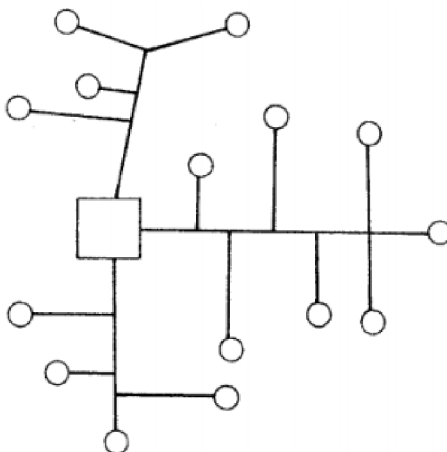


Obr. 2.4 Schéma třítrubkové tepelné sítě [28]

2.3 Rozdělení tepelných sítí podle půdorysného uspořádání

2.3.1 Paprskovitá síť

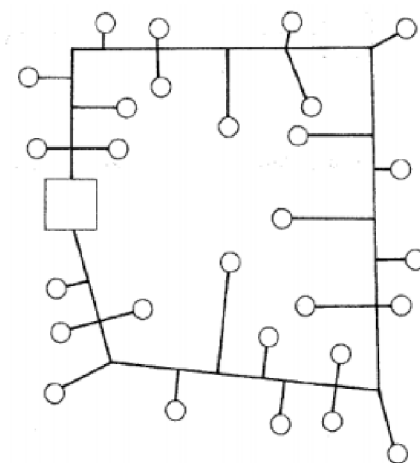
V literatuře se lze setkat také s označením rozvětvená (větvená) síť či síť s jednotlivými napáječi [13], [28]. Tato síť je strukturována takovým způsobem, že ze zdroje tepla vede jeden či několik napáječů, jež se dále paprskovitě rozcházejí k jednotlivým skupinám odběratelů tepla (obr. 2.5) [28]. Jedná se o nejčastější uspořádání tepelné sítě vhodné především pro rozlehlější zásobované území [28].



Obr. 2.5 Paprskovitá (větvená) síť [28]

2.3.2 Okružní síť

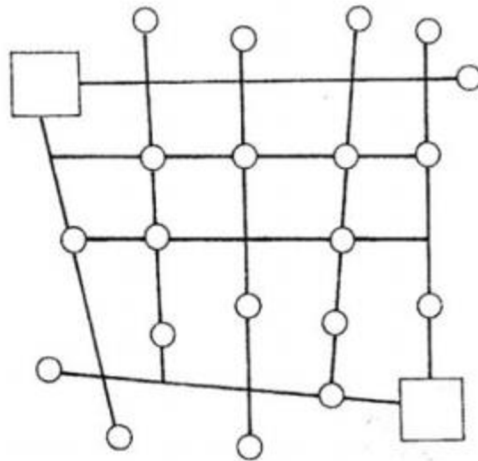
Existuje-li nějaká paprskovitá síť a spojí-li se její dva samostatné napáječe (větve), síť vytvoří okruh a vzniká síť okružní (obr. 2.6) [28]. Tento typ sítě se vyskytuje především v místech ucelenější odběratelské sítě (např. městská zástavba) [28]. Výhodou okružní sítě je skutečnost, že v případě poruchy potrubí na okruhu nemusí dojít k úplnému přerušení dodávky tepla [28]. Slabinou okružních sítí je udržování tlakových poměrů, a to zejména mezi přívodním a vratným potrubím, což lze označit jako hlavní příčinu toho, proč se s nimi v praxi příliš nevyužívají [13].



Obr. 2.6 Okružní síť [28]

2.3.3 Mřížová síť

Z okružní sítě mohou vést jednotlivé větve. Jsou-li některé nebo všechny tyto napáječe propojeny, hovoří se o mřížové síti (obr. 2.7) [28]. Nutné je však podotknout, že mřížová síť se v teplárenství vyskytuje pouze ojediněle [13]. Své uplatnění nalézá zejména v plynárenství a vodárenství, kde jsou potrubní sítě jednorubkové a tepelně neizolované [28]. Síť bývá obvykle vybavena více zdroji [28].



Obr. 2.7 Mřížová síť [28]

3 ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU ULOŽENÍ TEPELNÝCH SÍTÍ

Dalším hlediskem, podle kterého je možné rozdělovat sítě CZT, je jejich uložení. Některé typy uložení, jež se úzce pojí s určitým typem izolace, byly naznačeny již v předchozí kapitole.

Primárně lze rozdělit způsob uložení tepelných sítí do dvou základních skupin – v interiéru a v exteriéru. Za uložení v interiéru se dá označit vedení rozvodů napříč halami průmyslových podniků či například sklepními prostory obytných domů [6]. Uložení v exteriéru lze rozdělit dále na nadzemní, pozemní a podzemní [28].

Stejně jako výběr izolačního materiálu, tak i volba uložení ovlivňuje tepelné ztráty. Uložení se volí na základě toho, kudy daná síť vede. Existuje-li například pozemní síť a je potřeba přemostit nějakou komunikaci či průmyslový podnik, provede se v dané části nadzemní uložení. Je-li nežádoucí, aby potrubí esteticky narušovalo okolní prostředí, volí se vedení pod zemí. V neposlední řadě výběr uložení ovlivňuje také ekonomickou náročnost projektu.

3.1 Podzemní uložení

Již ze samotného názvu je patrné, že se jedná o uložení, které je umístěno pod zemským povrchem. Z tohoto plyne jeden pozitivní společný rys všech typů podzemních uložení spočívající v tom, že tento typ uložení nenarušuje estetický ráz krajiny. Podzemní uložení lze dělit na kanálová a bezkanálová uložení.

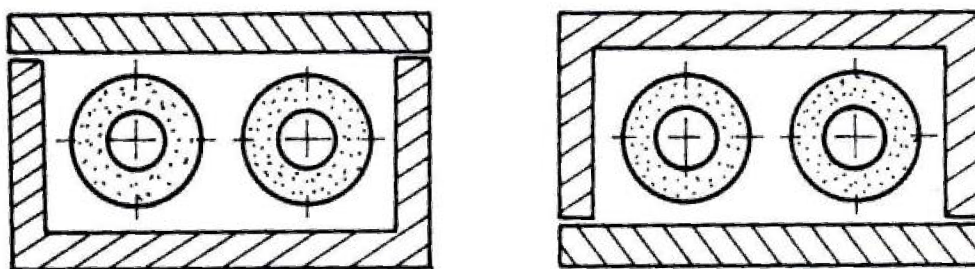
3.1.1 Kanálové uložení

3.1.1.1 Uložení v neprůlezných kanálech

Dříve šlo o poměrně častý, dnes se však jedná již o opomíjený způsob uložení. Neprůlezná kanály jsou v současnosti nahrazovány bezkanálovým uložením předizolovaných trubek, jejichž pokládka a uvedení do provozu jsou mnohem jednodušší.

Železobetonové kanály, jsou vybaveny potrubím s izolací (například minerální vatou), kterou samy svou konstrukcí chrání před půdní vlhkostí. Rozměry neprůlezných kanálů jsou předepsány [13].

V případě horkovodů se lze setkat prakticky s dvěma způsoby provedení těchto kanálů. Nejčastěji se jedná o žlab překrytý rovnou deskou nebo naopak o základovou desku umístěnou pod krytem klenbovitého tvaru či tvaru obráceného „U“ (obr. 3.1) [13].



Obr. 3.1 Příklady uložení potrubí v neprůlezném kanálu [28]

U uložení parovodů lze spatřit určité odlišnosti. Kromě možného umístění obou potrubí (parního i kondenzátního) v jednom žlabu, jak je tomu u horkovodů, se lze setkat i s tím, že parní i kondenzátní potrubí jsou vedena ve dvou samostatných kanálech, popřípadě s tím, že kondenzátní potrubí je uloženo přímo v zemi [13].

Jak jsem však již naznačil, jde o druh uložení, od kterého se ustupuje. Vede k tomu nejen složitost pokládky a montáže, ale i problémy s odváděním vlhkosti [6].

3.1.1.2 Uložení v průlezných kanálech

Jedná se o obdobný případ jako neprůlezné kanály. Tento způsob uložení se prováděl zejména tam, kde bylo obtížné dostat se k potrubí z povrchu země v případě potřebné opravy či zásahu do potrubí (například pod komunikacemi, na kterých nelze přerušit provoz) [13]. Rozměry průlezných kanálů jsou stejně jako rozměry průlezných kanálů normalizovány a přizpůsobeny tomu, aby do tohoto typu kanálu bylo možné vstoupit a provést potřebnou údržbu potrubí [13].

3.1.1.3 Uložení v městských kolektorech

Speciálním případem vedení horkovodů či parovodů v průlezných kanálech je uložení v městských kolektorech. Velká výhoda tohoto uložení spočívá ve vedení různých inženýrských sítí v jedné chodbě, kanálu, popř. tunelu [28]. S tímto způsobem uložení se lze setkat především ve velkých městech, zejména v jejich centrech či na sídlištích. V České republice se rozlehlé kolektorové sítě nachází v Praze nebo v Brně [29]. Méně rozsáhlými městskými kolektory jsou však vybaveny také Ostrava, Tábor, Jihlava, Most, Karlovy Vary, Nové Město nad Metují a Český Krumlov [29].

Jak je již zmíněno v úvodním odstavci, hlavní předností kolektorových sítí je jejich multifunkčnost. Kromě mnou sledovaných parovodních či horkovodních potrubí, městskými kolektory prochází vodovodní, odpadní nebo plynová potrubí, dále také například kabely pro rozvod elektrické energie, televize a internetu [29]. Oproti ostatním typům uložení mohou být upřednostňovány také z důvodu snadno realizovatelných oprav a údržby [28].

Městské kolektory lze rozdělit do dvou základních kategorií. Primární kolektory (obr. 3.2) se nacházejí v hloubce asi 20–30 m a jsou vytvářeny klasickou ražbou [30]. Slouží k rozvádění sítí na delší vzdálenosti, mají tedy většinou celoměstský nebo obvodový charakter, a nejsou přímo propojeny s uliční sítí [29].



Obr. 3.2 Chodba primárního brněnského kolektoru [31]

Sekundární kolektory leží v hloubkách do 10 m [30]. Slouží k distribuování sítí do jednotlivých objektů [30]. Průřez jeho chodby je menší než průřez chodby primárního kolektoru [30]. Mohou existovat jak ražené, tak i hloubené [30]. U hloubených je však nutné počítat s narušením pozemních komunikací [30].

3.1.2 Bezkanálové uložení

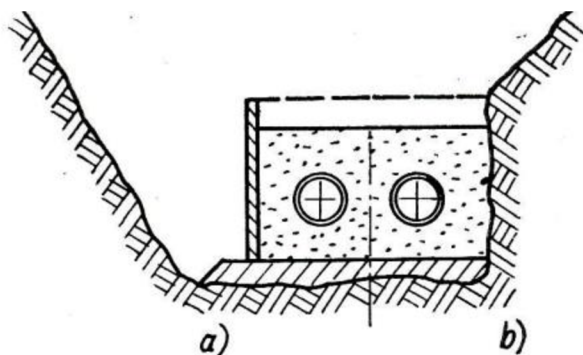
V dnešní době se jedná o častý typ uložení. Ve městech, která nejsou vybavena sítí podzemních kolektorů, je tedy tento typ uložení, když opominu ustupující vedení v průlezných či neprůlezných kanálech, jedinou variantou podzemního uložení. Absence kanálů u tohoto typu uložení přináší velké finanční úspory a značně usnadňuje pokládku potrubí. V současnosti se pro bezkanálové aplikace používají nejčastěji předizolované potrubí s PUR, popř. PIR pěnou.

3.1.2.1 Historické způsoby bezkanálového uložení

V minulosti se však v rámci bezkanálového uložení používaly jiné technologie a jiné izolační materiály.

Jedním z nich je potrubí uložené do výkopové rýhy. Kolem něj se základovou deskou a pažením ohraničí prostor, který se následně vylije tepelně izolační hmotou – lehčeným betonem, jenž je nasákavý, a proto musí být buď izolační lepenkou, nebo fólií z plastu chráněn proti vodě [13].

Druhý způsob, který je technologicky téměř totožný s tím prvním, avšak s tím rozdílem, že se namísto zálivky lehčeným betonem užívá zásyp hydrofobní tepelněizolační hmotou (obr. 3.3) [13]. Tento zásyp se již poté žádnou izolační ochranou proti vodě neopatřuje a spoléhá se zde na jeho vodoodpudivé vlastnosti [13]. Tuto hydrofobní izolační vrstvu tvoří přírodní nebo umělé asfaltity rozemleté na prášek či hydrofobizované práškovité tepelně izolační hmoty (například expandovaný perlit hydrofobizovaný silikony) [13].



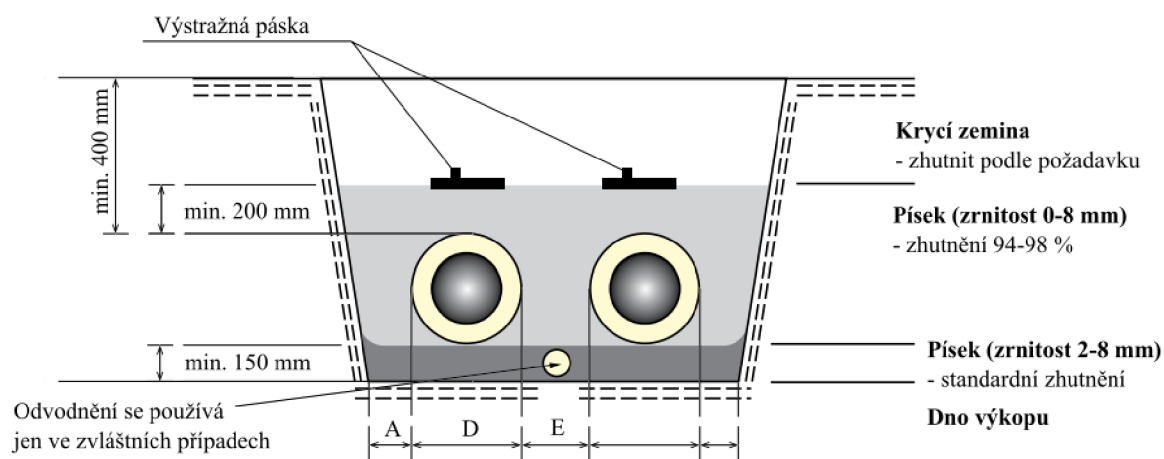
Obr. 3.3 Uložení potrubí v hydrofobní tepelněizolační zálivce [13]

Poslední „historický“ způsob bezkanálového uložení se do značné míry podobá pokládce předizolovaného potrubí s izolací z PUR pěny. Odlišnost spočívá v tom, že se v minulosti užívaly jiné materiály při výběru izolace a plášťové trubky. V minulosti se do prostoru mezi medionosnou trubkou a azbestocementovou či ocelovou plášťovou trubkou vylil lehčený beton, nebo byl tento prostor vyplněn minerální vatou [13]. V jiném případě se používaly medionosné trubky s prefabrikovanou izolací z lehčeného betonu, jejichž plášť musel být samozřejmě chráněn nějakým typem izolace proti vodě [13]. Takto opatřené potrubí se již mohlo pokládat do pískového lože na dně výkopové rýhy [13].

Přechod od těchto zastaralých způsobů k předizolovaným trubkám z PUR pěny lze zdůvodnit informacemi obsaženými v předchozí kapitole týkající se izolačních materiálů. Lehčený beton provází problémy s nasákavostí, které souvisí s jeho pórovitostí a vznikajícími trhlinami [13]. Prostupu vlhkosti dokonale nezabraňují ani sytké tepelněizolační hmoty [6].

3.1.2.2 Bezkanálové uložení neflexibilního předizolovaného potrubí

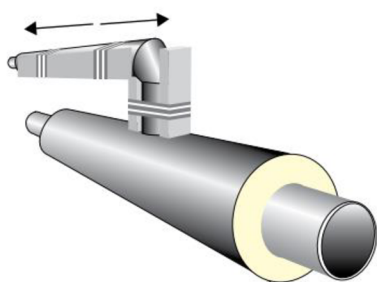
Předizolované potrubí s PUR izolací je určeno k pokládce do výkopu (obr. 3.4), který musí být suchý a před samotným uložením vyčištěn od úlomků betonu, kamenů nebo ostrých předmětů, aby nedošlo k narušení pláště potrubí [32]. V případě, že je hlubší než 1 m, musí být také zkontrolován proti sesunutí [32].



Obr. 3.4 Schéma výkopu pro uložení předizolovaného potrubí [32]

Ke zlepšení soudržnosti pískového lože a oddělení od zeminy se pískové lože v některých případech obepíná geotextilní fólií [32]. Výška jednotlivých pískových vrstev ve výkopu a výška mezi vrcholem potrubí a zemským povrchem jsou dány katalogem výrobce potrubí. Hloubku, ve které se nachází vrchol potrubí, při vedení pod pozemní komunikací ovlivňuje také dopravní zatížení [32]. Šířka výkopu a osová vzdálenost mezi přívodním a vratným potrubím závisí na průměru plášťové trubky.

V místech oblouků a odboček je nutné výkop rozšířit kvůli montáži dilatačních prvků [32]. Dilatační pěnové prvky (polštáře) se montují na potrubí z důvodu délkové roztažnosti potrubí, jež je zapříčiněna změnami teplotního média v trubce [32]. Tyto dilatační polštáře se používají v místech oblouků s úhly v rozmezí 60° až 90° [32]. Jedná se nejčastěji o přirozené kompenzační tvary „L“, „Z“, „U“ [32]. Kromě oblouků je jimi potrubí opatřeno také v místech odbočení (obr. 3.5), redukci, armatur a záslepek potrubí [32].



Obr. 3.5 Odbočka osazená dilatačním pěnovým prvkem [32]

3.1.2.3 Bezkanálové uložení flexibilního předizolovaného potrubí

Zvláštním případem podzemního typu uložení je flexibilní potrubí, jež je dodáváno navinuté na cívce podobně jako elektrovodné kabely (obr. 3.6) [13]. Jeho nespornou výhodou je rychlá a snadná pokládka, která však k realizaci vyžaduje speciální zařízení [33].

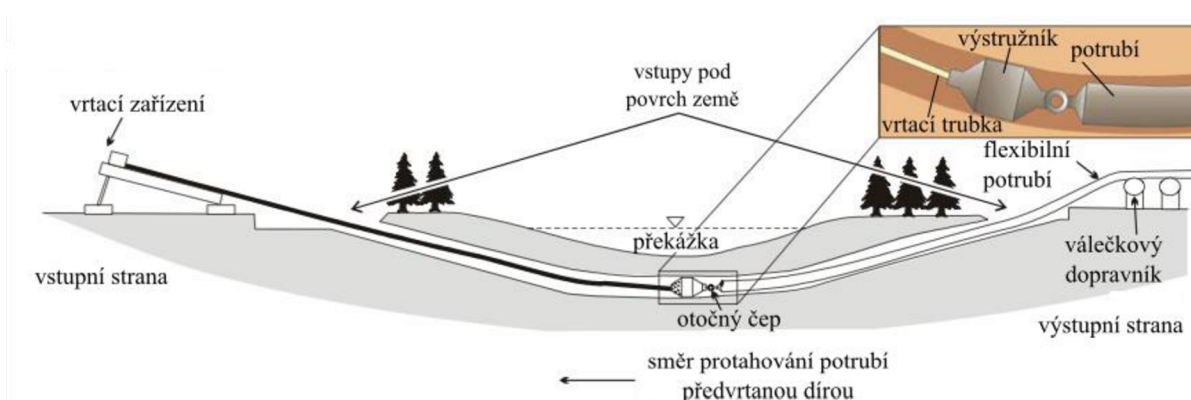


Obr. 3.6 Flexibilní potrubí navinuté na cívce [34]

Medionosnou trubku tvoří chrom-niklová ocelová trubka z vlnovce [33]. Jako izolace se používá pružná PUR pěna (s odolností do 150 °C) [35]. Plášťovou trubku tvoří trubka z chrom-niklového ocelového vlnovce, a na vnějším povrchu plášť z polyetylenu [33]. Mezi těmito dvěma plášťovými vrstvami se nachází ještě antikoroziční povlak na bázi živice a kaučuku [33]. Jmenovitá světlost flexibilního potrubí se pohybuje od 25 do 150 mm [35].

Existují různé způsoby samotné pokládky. Příkladem by mohla být uložení do ochranných trubek či uložení do připravených výkopů obdobně jako u standardních (nepružných) potrubí [33]. Zvláštním způsobem je však předvrtání díry, její následné rozšíření a protažení horkovodního vedení vzniklým otvorem [33]. Toto řešení se aplikuje zejména v případech, kdy se klade důraz na co nejmenší zásah do povrchu krajiny (městské, chráněné oblasti), nebo v situacích, kdy je nutné překonat nějakou překážku na potrubní trase (vodní tok, železnice, dálnice) [33]. K provedení totiž postačí pouze jáma na začátku a konci horkovodního úseku.

K samotné aplikaci je však zapotřebí speciálního vrtacího zařízení s naváděcí vrtací hlavou, kterou je možné navigovat podle plánované potrubní trasy [33]. V první fázi se předvrtává úzký otvor, vrtací hlava je přitom chlazená směsí vody a bentonitu. Tato směs zároveň napomáhá k rozmělnění zeminy a následnému vytvoření stabilního otvoru [33]. Po vynoření vrtáku ze zemského povrchu a dovtáčení úzkého otvoru se k úzké vrtací hlavě připojí širší, aby se dosáhlo potřebných rozměrů pro průchod horkovodních hadic [33]. Po rozšíření otvoru se jím již mohou protáhnout samotné horkovodní hadice (obr. 3.7) [33].



Obr. 3.7 Princip "razení" potrubní cesty vrtáním s navigovatelnou vrtací hlavou [36]

3.2 Pozemní a nadzemní uložení

Pozemní uložení bývá označováno za nejlevnější způsob uložení horkovodů či parovodů [28]. Z estetických důvodů se zřídka vyskytuje v městských částech. Spodní okraj izolace pozemního potrubí musí ležet minimálně 0,3 m nad zemským povrchem [13]. Konstrukce je vedena na nízkých betonových podstavcích [13].

Vyšší investici při vybudování a obdobný či v některých případech ještě větší zásah do krajiny si vyžaduje uložení nadzemní. Využívá se v případech, kde je nutné překonat například vodní tok, silniční, železniční komunikaci (obr. 3.8) nebo nějaký průmyslový podnik [28]. Podchozí nadzemní konstrukce musí být vedeny ve výšce větší než 2,1 m, konstrukce umístěné nad silničními vozovkami minimálně ve výšce 3 m podle druhu komunikací a potrubní systémy nad železnicí minimálně ve výšce 5,2 až 6,5 m podle druhu trakce [13]. K realizaci nadzemního uložení je velmi výhodné využít stávající konstrukce, jako jsou silniční a dálniční mosty [28].

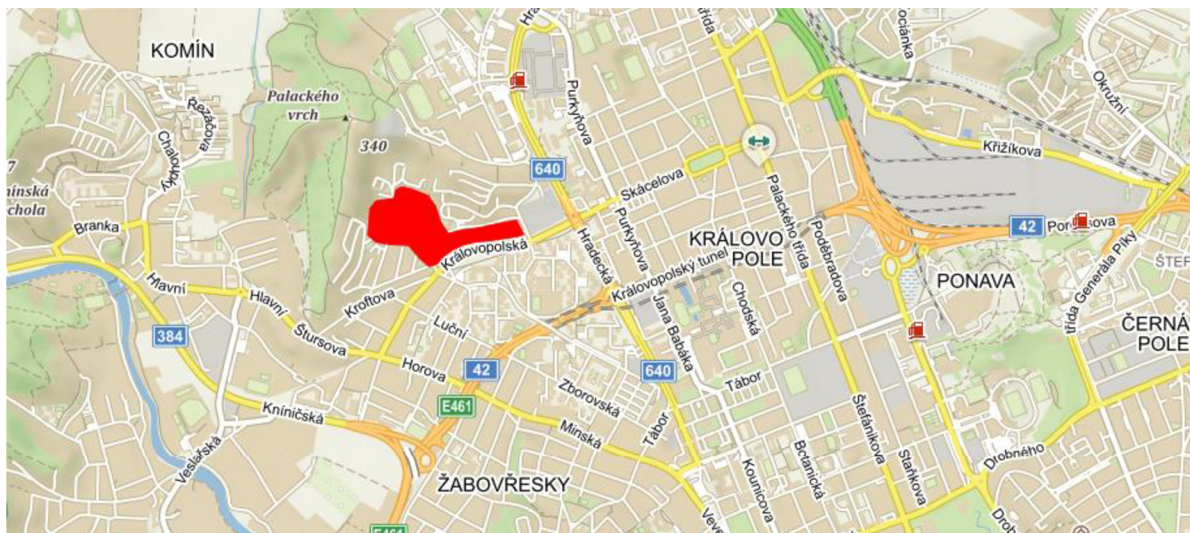


Obr. 3.8 Příklad nadzemního uložení nad železniční tratí [37]

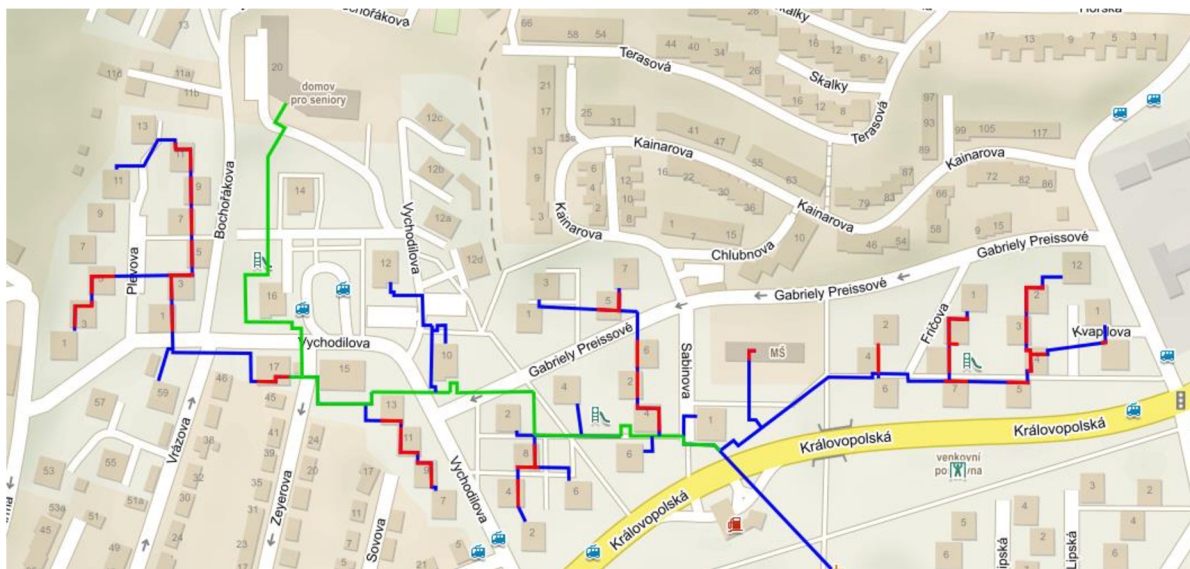
4 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

4.1 Charakteristika zadané sítě

Práce se bude zabývat výpočtem tepelných ztrát na části území městské části Brno Žabovřesky (obr. 4.1, obr. 4.2). Prvním krokem je zmapování potrubní sítě a určení jejích základních parametrů.



Obr. 4.1 Oblast zájmu reprezentovaná červeně zvýrazněnou oblastí, upraveno z mapy.cz



Obr. 4.2 Mapa tepelné sítě v zadaném území¹, upraveno z mapy.cz
modře – bezkanálové uložení předizolovaného potrubí, zeleně – uložení v neprůlezném kanálu, červeně – uložení v interiéru

¹ Mapu a charakteristiku sítě včetně dimenzí potrubí, typu uložení a materiálu izolace mi poskytl Petr Horák a Jan Šerý, zaměstnanci Teplárny Brno, a.s., během osobní konzultace.

Základní technické údaje a parametry, které platí pro celou tepelnou síť, jsou uvedeny v tab. 4.1.

Tab. 4.1 Základní technické údaje a parametry sítě

Přenášené médium	horká voda
Teplota (přívodní/vratné)	130/70 °C (topné období), 80/50 °C (mimo topné období) ²
Tlak	2,5 MPa
Typ sítě	dvoutrubková (přívodní a vratné potrubí)
Izolace potrubí	třída 2 ³
Technologie uložení	předizolované potrubí v bezkanálovém provedení ocelové izolované potrubí uložené v sklepních prostorech objektů ocelové izolované potrubí uložené v neprůlezných kanálech

V zadané lokalitě se nacházejí tři různé typy uložení potrubí. Hlavní řad je tvořen potrubím uloženým v neprůlezném kanálu. Odbočky z něj, původně také v neprůlezném kanálu, byly před několika lety rekonstruovány a nyní jsou tvořeny předizolovanými trubkami v bezkanálovém provedení. Třetím typem instalace potrubí je vedení horkovodů sklepními prostory objektů (interiérem). Pro každý typ uložení se bude výpočet tepelných ztrát lišit. V tab. 4.2 je provedeno rozdělení potrubní trasy na jednotlivé úseky podle typu uložení a jmenovitého průměru medionosné trubky.

Tab. 4.2 Délky jednotlivých úseků horkovodní sítě stanovené na základě typu uložení

Interiér		Kanálové uložení		Bezkanálové uložení	
Označení	Délka [m]	Označení	Délka [m]	Označení	Délka [m]
DN 40	142,5	DN 80	357	DN 40	332
DN 50	222	DN 200	484,5	DN 50	178,5
DN 65	298,5			DN 65	310
DN 80	184,5			DN 80	100,5
				DN 100	52,5
				DN 125	259
				DN 150	82,5
				DN 200	57
Celkem	931,5		841,5		1288
Celková délka úseku [m]				3061	

² V horkovodní síti dochází pouze k malému úbytku teploty vody po délce potrubí (méně než 1 °C/km) [27], proto lze i s přihlédnutím na nepříliš rozlehlou síť ze zadání při výpočtu ztrát uvažovat teplotu v přívodní, respektive ve vratné trubce za konstantní.

³ Označení třídy izolace platí pouze pro předizolovaná potrubí bezkanálového uložení. Izolace potrubí uložených v neprůlezných kanálech nebo v interiéru (sklepních prostorech) se tímto označením neřídí.

Tepelné ztráty v potrubí budou počítány zvlášť pro topné období (září–květen) a zvlášť pro období mimo topnou sezónu – dále jen letní období (červen–srpen). Délka topného období je 273,25 dní/rok⁴ a délka letního období je 92 dní. Teploty v přívodním i vratném potrubí jsou během léta znatelně nižší, lze tedy očekávat i nižší tepelné ztráty.

4.2 Tepelné ztráty potrubí v bezkanálovém uložení

Při výpočtu tepelných ztrát horkovodů uložených bezkanálově je zapotřebí stanovit si několik základních parametrů, nezbytných pro další řešení.

Zapotřebí je určit teplotu zeminy v hloubce uložení. Jelikož je cílem spočítat ztráty v topném i v letním období, hodnoty budou dvě. Teplotu zeminy volím v topném období 5 °C [13] a v letním období 15 °C.

Nepostradatelným parametrem je součinitel tepelné vodivosti izolace. Jako izolační materiál v našem případě vystupuje PUR pěna. Výrobce udává hodnotu jejího součinitele tepelné vodivosti 0,026 W·m⁻¹·K⁻¹ [25]. Pro suchý písek je podle odborné literatury hodnota součinitele tepelné vodivosti 1,5 W·m⁻¹·K⁻¹, pro vlhkou zeminu pak 2,5 W·m⁻¹·K⁻¹ [38]. Součinitel tepelné vodivosti zeminy tedy volím 2 W·m⁻¹·K⁻¹.

Všechny zvolené parametry jsou shrnuty v tab. 4.3.

Tab. 4.3 Zvolené parametry pro výpočet tepelných ztrát v bezkanálovém uložení

Vzdálenost mezi přívodní a vratnou trubkou	[mm]	150–200
Vzdálenost od osy trubky k povrchu země (hloubka uložení)	[m]	1,5
Teplota zeminy v topném období	[°C]	5
Teplota zeminy v letním období	[°C]	15
Součinitel tepelné vodivosti zeminy	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	2
Součinitel tepelné vodivosti PUR pěny	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	0,026

Rozměrové údaje charakterizující délku, velikost potrubí, tloušťku izolace nebo rozměry vztahující se k uložení, odečtené z projektové dokumentace horkovodu, se nachází v tab. 4.4.

⁴ V délce topného období je zohledněn také přestupný rok, který je jednou za 4 roky.

Tab. 4.4 Rozměrové parametry potrubí v bezkanálovém uložení

		DN 40	DN 50	DN 65	DN 80
Délka úseku	[m]	332	178,5	310	100,5
Vnější průměr medionosné trubky	[mm]	48,3	60,3	76,1	89,1
Tloušťka izolace	[mm]	35	37	39	43
Vnější průměr trubky s izolací	[mm]	113	129	148	168
Vzdálenost mezi okraji trubek	[mm]	150	150	150	150
Osová vzdálenost potrubí	[mm]	263	279	298	318
Vzdálenost od osy trubky k povrchu země	[m]	1,5	1,5	1,5	1,5
		DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
Délka úseku	[m]	52,5	259	82,5	57
Vnější průměr medionosné trubky	[mm]	114,3	139,7	168,7	219,1
Tloušťka izolace	[mm]	52	52	52	63
Vnější průměr trubky s izolací	[mm]	211	237	265	336
Vzdálenost mezi okraji trubek	[mm]	200	200	200	200
Osová vzdálenost potrubí	[mm]	411	437	465	536
Vzdálenost od osy trubky k povrchu země	[m]	1,5	1,5	1,5	1,5

Předizolované potrubí je na zadané oblasti použito v dimenzích DN 40, DN 50, DN 65, DN 80, DN 100, DN 125, DN 150 a DN 200. Z poskytnuté dokumentace byla odečtena délka jednotlivých úseků. **Vzorové dosazení** budu demonstrovat na **potrubí DN 40 pro topné i letní období**.

Z katalogu výrobce [25] při znalosti toho, že se jedná o izolační třídu 2, lze snadno určit vnější průměr medionosné trubky a tloušťku izolace. Z rov. (4.1) se spočítá vnější průměr trubky s izolací.

$$d_2 = d_1 + 2 \cdot t \quad (4.1)$$

kde: d_2 je vnější průměr trubky s izolací
 d_1 vnější průměr medionosné trubky
 t tloušťka izolace

Po dosazení:

$$\begin{aligned} d_2 &= 48,3 + 2 \cdot 35 \\ d_2 &= 113,3 \text{ mm} \end{aligned} \quad (4.1)$$

kde: d_2 je vnější průměr trubky DN 40 s izolací

Vzhledem k tomu, že vedle sebe leží přívodní a vratné potrubí, která se tepelně ovlivňují, je nutné určit jejich osovou vzdálenost, která se vypočítá jednoduše jako součet vzdálenosti mezi okraji trubek a poloměrů obou potrubí s izolací (přívodního i vratného) pomocí rov. (4.2). Vzdálenost mezi okraji trubek je kvalifikovaným odhadem pro menší rozměry potrubí (DN 40, DN 50, DN 65, DN 80) stanovena na 150 mm, pro větší rozměry (DN 100, DN 125, DN 150, DN 200) na 200 mm (tab. 4.4). Posledním potřebným délkovým

rozměrem je hloubka uložení potrubí (vzdálenost od osy trubky k povrchu země), kterou na základě sdělených poznatků⁵ volím 1,5 m.

$$s = x + \frac{d_2^I}{2} + \frac{d_2^{II}}{2} \quad (4.2)$$

kde: Symboly I a II signalizují, jestli se daná veličina vztahuje k přívodní (I), nebo vratné trubce (II).

s je osová vzdálenost přívodního a vratného potrubí
 x vzdálenost mezi okraji trubek
 d_2 vnější průměr trubky s izolací

V případě předizolovaného potrubí ještě není nutné rozměrově rozlišovat přívodní a vratnou trubku, jelikož jsou totožné. Tento přístup se však vyplatí při řešení ztrát pro potrubí uložené v kanálu, kde je na každém z potrubí použita různá tloušťka izolace, a tedy i vnější průměr trubky s izolací se liší.

Po dosazení:

$$s = 150 + \frac{113}{2} + \frac{113}{2} \quad (4.2)$$

$$s = 263 \text{ mm}$$

kde: s je osová vzdálenost potrubí DN 40

K vyčíslení tepelných ztrát použijí postup řešení s tepelnými odpory. V odborné literatuře se lze setkat s rovnicí, vyjadřující tepelný odpor v případě dvou různě velkých tepelně izolovaných trubek o nestejně pracovní teplotě uložených v zemi [28]. Při výpočtu se zanedbávají přestup tepla z média na vnitřní stranu trubky a vedení medionosnou trubkou. Při výpočtu tepelných ztrát neuvažují ani tepelný odpor plášťové trubky z polyethylenu, jelikož je její tloušťka zanedbatelná. Všechny tyto tepelné odpory jsou obvykle malé. Přibližný výpočet tepelného odporu přívodní trubky popisuje rovnice (4.3).

⁵ Podle pracovníků Teplárny Brno, a.s., se hloubka výkopu pro předizolovaná potrubí pohybuje v rozmezí 1–2 m.

$$R_I = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} \cdot \frac{\left(\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{d_2^{II}}{d_1^{II}} + \ln \frac{4h}{d_2^{II}} \right) \cdot \left(\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{d_2^I}{d_1^I} + \ln \frac{4h}{d_2^I} \right) + \left(\ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{h}{s} \right)^2} \right)^2}{\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{d_2^{II}}{d_1^{II}} + \ln \frac{4h}{d_2^I} - \frac{t_1^{II} - t_2}{t_1^I - t_2} \cdot \ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{h}{s} \right)^2}} \quad (4.3)$$

kde: Symboly I a II signalizují, jestli se daná veličina vztahuje k přívodní (I), nebo vratné trubce (II).

R	je	tepelný odpor
λ_z		součinitel tepelné vodivosti zeminy
λ_{iz}		součinitel tepelné vodivosti izolace
d_2		vnější průměr potrubí s izolací
d_1		vnější průměr medionosné trubky
h		vzdálenost od osy potrubí k povrchu země
s		osová vzdálenost přívodního a vratného potrubí
t_1		teplota teplonosné látky
t_2		teplota zeminy v hloubce potrubí

V zadaném úseku u předizolovaných potrubí platí, že izolační materiály přívodní i vratné trubky jsou stejné, zároveň vnější průměry medionosných trubek, potažmo vnější průměry trubek s izolací se shodují, rovnici lze tedy zjednodušit do tvaru.

$$R_I = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} \cdot \frac{\left(\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \ln \frac{4h}{d_2} \right)^2 + \left(\ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{h}{s} \right)^2} \right)^2}{\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \ln \frac{4h}{d_2} - \frac{t_1^{II} - t_2}{t_1^I - t_2} \cdot \ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{h}{s} \right)^2}} \quad (4.3)$$

Následovat bude vzorové dosazení do rov. (4.3) pro potrubí DN 40 v topném období.

Po dosazení:

$$R_I = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2} \cdot \frac{\left(\frac{2}{0,026} \cdot \ln \frac{0,1133}{0,0483} + \ln \frac{4,1,5}{0,1133} \right)^2 + \left(\ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{1,5}{0,263} \right)^2} \right)^2}{\frac{2}{0,026} \cdot \ln \frac{0,1133}{0,0483} + \ln \frac{4 \cdot 1,5}{0,1133} - \frac{70 - 5}{130 - 5} \cdot \ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{1,5}{0,263} \right)^2}} \quad (4.3)$$

$$R_I = 5,626 \text{ m} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

kde: R_I je tepelný odpor přívodní trubky DN 40 v topném období

Pro úplnost uvedu také dosazení do stejné rovnice pouze s tím rozdílem, že se bude jednat o období mimo topnou sezónu. V rovnici se změní pouze teploty médií v obou potrubích.

Po dosazení:

$$R_I = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2} \cdot \frac{\left(\frac{2}{0,026} \cdot \ln \frac{0,1133}{0,0483} + \ln \frac{4 \cdot 1,5}{0,1133}\right)^2 + \left(\ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{1,5}{0,263}\right)^2}\right)^2}{\frac{2}{0,026} \cdot \ln \frac{0,1133}{0,0483} + \ln \frac{4 \cdot 1,5}{0,1133} - \frac{50 - 5}{80 - 5} \cdot \ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{1,5}{0,263}\right)^2}} \quad (4.3)$$

$$R_I = 5,626 \text{ m} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

kde: R_I je tepelný odpor přívodní trubky DN 40 mimo topné období

Tepelný odpor vratné trubky vznikne jednoduše přehozením horním indexů I za II a naopak. Tepelný odpor vratné trubky popisuje rovnice (4.4).

$$R_{II} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} \cdot \frac{\left(\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}^I} \cdot \ln \frac{d_2^I}{d_1^I} + \ln \frac{4h}{d_2^I}\right) \cdot \left(\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}^{II}} \cdot \ln \frac{d_2^{II}}{d_1^{II}} + \ln \frac{4h}{d_2^{II}}\right) + \left(\ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{h}{s}\right)^2}\right)^2}{\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}^I} \cdot \ln \frac{d_2^I}{d_1^I} + \ln \frac{4h}{d_2^I} - \frac{t_1^I - t_2}{t_1^{II} - t_2} \cdot \ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{h}{s}\right)^2}} \quad (4.4)$$

Stejně jako rovnici (4.3) lze zjednodušit rovnici (4.4).

$$R_{II} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} \cdot \frac{\left(\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \ln \frac{4h}{d_2}\right)^2 + \left(\ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{h}{s}\right)^2}\right)^2}{\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \ln \frac{4h}{d_2} - \frac{t_1^I - t_2}{t_1^{II} - t_2} \cdot \ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{h}{s}\right)^2}} \quad (4.4)$$

Po dosazení:

$$R_{II} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2} \cdot \frac{\left(\frac{2}{0,026} \cdot \ln \frac{0,1133}{0,0483} + \ln \frac{4 \cdot 1,5}{0,1133}\right)^2 + \left(\ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{1,5}{0,263}\right)^2}\right)^2}{\frac{2}{0,026} \cdot \ln \frac{0,1133}{0,0483} + \ln \frac{4 \cdot 1,5}{0,1133} - \frac{130 - 5}{70 - 5} \cdot \ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{1,5}{0,263}\right)^2}} \quad (4.4)$$

$$R_{II} = 5,890 \text{ m} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

kde: R_{II} je tepelný odpor vratné trubky DN 40 v topném období

Po dosazení:

$$R_{II} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2} \cdot \frac{\left(\frac{2}{0,026} \cdot \ln \frac{0,1133}{0,0483} + \ln \frac{4 \cdot 1,5}{0,1133} \right)^2 + \left(\ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{1,5}{0,263} \right)^2} \right)^2}{\frac{2}{0,026} \cdot \ln \frac{0,1133}{0,0483} + \ln \frac{4 \cdot 1,5}{0,1133} - \frac{80 - 5}{50 - 5} \cdot \ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{1,5}{0,263} \right)^2}} \quad (4.4)$$

$$R_{II} = 5,877 \text{ m} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

kde: R_{II} je tepelný odpor vratné trubky DN 40 mimo topné období

Ze zjednodušených rovnic (4.3) a (4.4) vyplývá, že tepelné odpory přívodní a vratné trubky se v tomto konkrétním případě vzájemně liší pouze v důsledku rozdílné teploty látky v přívodním a vratném potrubí.

Délková hustota tepelného toku (velikost tepelných ztrát) přívodní a vratné trubky se pak jednoduše vyjádří rovnicí (4.5), respektive rovnicí (4.6) [28].

$$q_I = \frac{t_1^I - t_2}{R_I} \quad (4.5)$$

$$q_{II} = \frac{t_1^{II} - t_2}{R_{II}} \quad (4.6)$$

kde: Symboly I a II signalizují, jestli se daná veličina vztahuje k přívodní (I), nebo vratné trubce (II).

q je délková hustota tepelného toku (měrná tepelná ztráta)

R tepelný odpor

t_1 teplota teplotonosné látky

t_2 teplota zeminy v hloubce potrubí

Po dosazení do rov. (4.5), (4.6):

$$q_I = \frac{130 - 5}{5,623} \quad (4.5)$$

$$q_I = 22,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$$

kde q_I je délková hustota tepelného toku přívodní trubky DN 40 v topném období

$$q_I = \frac{80 - 15}{5,626} \quad (4.5)$$

$$q_I = 11,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$$

kde q_I je délková hustota tepelného toku přívodní trubky DN 40 mimo topné období

Po dosazení do rov. (4.6):

$$q_{II} = \frac{70 - 5}{5,890} \quad (4.6)$$

$$q_{II} = 11,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$$

kde q_{II} je délková hustota tepelného toku vratné trubky DN 40 v topném období

$$q_{II} = \frac{50 - 15}{5,877} \quad (4.6)$$

$$q_{II} = 6,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$$

kde q_{II} je délková hustota tepelného toku vratné trubky DN 40 mimo topné období

Celková délková hustota tepelného toku je dána součtem hustoty tepelného toku přívodní a vratné trubky (4.7).

$$q = q_I + q_{II} \quad (4.7)$$

kde: q_I je délková hustota tepelného toku přívodní trubky

q_{II} délková hustota tepelného toku vratné trubky

Po dosazení:

$$q = 22,2 + 11,0$$

$$q = 33,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \quad (4.7)$$

kde: q je celková délková hustota tepelného toku potrubí DN 40 v topném období⁶

$$q = 11,6 + 6,0$$

$$q = 17,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \quad (4.7)$$

kde: q je celková délková hustota tepelného toku potrubí DN 40 mimo topném období

Vypočtené tepelné odpory, hustoty tepelného toku a celková hustota tepelného toku obou potrubí charakterizující tepelnou ztrátu obou potrubí jsou uvedeny v tab. 4.5 (topné období), respektive v tab. 4.6 (mimo topné období).

⁶ Očekávaný součet dvou čísel uvedených v této rovnici by odpovídal hodnotě 33,2 W·m⁻¹. Tato zdánlivá chyba je však způsobena pouze tím, že v tomto textovém souboru jsou dosazeny hodnoty zaokrouhlené jen na jedno desetinné místo, ve výpočtu se však pracovalo s mnohem větším desetinným rozvojem. Podobný jev se může objevit ještě v dalších výpočtech.

Tab. 4.5 Výpočet tepelných ztrát potrubí v bezkanálovém uložení v topném období

		DN 40	DN 50	DN 65	DN 80
Tepelný odpor vztažený k přívodní trubce	$[m \cdot K \cdot W^{-1}]$	5,623	5,035	4,452	4,260
Tepelný odpor vztažený k vratné trubce	$[m \cdot K \cdot W^{-1}]$	5,890	5,302	4,718	4,523
Délková hustota tepelného toku vztažená k přívodní trubce	$[W \cdot m^{-1}]$	22,2	24,8	28,1	29,3
Délková hustota tepelného toku vztažená k vratné trubce	$[W \cdot m^{-1}]$	11,0	12,3	13,8	14,4
Celková délková hustota tepelného toku	$[W \cdot m^{-1}]$	33,3	37,1	41,9	43,7
		DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
Tepelný odpor vztažený k přívodní trubce	$[m \cdot K \cdot W^{-1}]$	4,113	3,571	3,096	2,936
Tepelný odpor vztažený k vratné trubce	$[m \cdot K \cdot W^{-1}]$	4,360	3,817	3,344	3,174
Délková hustota tepelného toku vztažená k přívodní trubce	$[W \cdot m^{-1}]$	30,4	35,0	40,4	42,6
Délková hustota tepelného toku vztažená k vratné trubce	$[W \cdot m^{-1}]$	14,9	17,0	19,4	20,5
Celková délková hustota tepelného toku	$[W \cdot m^{-1}]$	45,3	52,0	59,8	63,1

Tab. 4.6 Výpočet tepelných ztrát potrubí v bezkanálovém uložení mimo topné období

		DN 40	DN 50	DN 65	DN 80
Tepelný odpor vztažený k přívodní trubce	$[m \cdot K \cdot W^{-1}]$	5,626	5,039	4,455	4,263
Tepelný odpor vztažený k vratné trubce	$[m \cdot K \cdot W^{-1}]$	5,877	5,289	4,704	4,510
Délková hustota tepelného toku vztažená k přívodní trubce	$[W \cdot m^{-1}]$	11,6	12,9	14,6	15,2
Délková hustota tepelného toku vztažená k vratné trubce	$[W \cdot m^{-1}]$	6,0	6,6	7,4	7,8
Celková délková hustota tepelného toku	$[W \cdot m^{-1}]$	17,5	19,5	22,0	23,0
		DN 100	DN 125	DN 150	DN 200
Tepelný odpor vztažený k přívodní trubce	$[m \cdot K \cdot W^{-1}]$	4,116	3,574	3,099	2,939
Tepelný odpor vztažený k vratné trubce	$[m \cdot K \cdot W^{-1}]$	4,347	3,805	3,331	3,162
Délková hustota tepelného toku vztažená k přívodní trubce	$[W \cdot m^{-1}]$	15,8	18,2	21,0	22,1
Délková hustota tepelného toku vztažená k vratné trubce	$[W \cdot m^{-1}]$	8,1	9,2	10,5	11,1
Celková délková hustota tepelného toku	$[W \cdot m^{-1}]$	23,8	27,4	31,5	33,2

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že se délková hustota tepelného toku bezkanálového uložení v topném období pohybuje od 33 do 63 $W \cdot m^{-1}$ v závislosti na světlosti potrubí. V létě jsou vypočtené hodnoty přibližně poloviční.

4.3 Tepelné ztráty potrubí uloženého v neprůlezném kanálu

Výpočet tepelných ztrát potrubí uloženého v kanálu vyžaduje větší množství početních operací než výpočet potrubí uloženého bezkanalově. Výpočet se dále komplikuje, jsou-li v kanálu místo jednoho potrubí dvě tak, jako je tomu ve většině případů včetně našeho.

Pro výpočet použijí hned několik zjednodušení. Hlavním zjednodušením bude to, že na rozdíl od předizolovaného potrubí, nebudu uvažovat, že se přívodní a vratné potrubí ovlivňují. Předpokládám pouze velmi malý rozdíl teplot na povrchu izolace přívodní a vratné trubky, a proto zanedbávám tepelný tok zářením mezi povrchy izolací.

Dalším zjednodušením je to, že při výpočtu uvažuji konstantní teplotu vzduchu v kanále, která se navíc bude rovnat teplotě na vnitřním povrchu kanálu. Zanedbávám tedy součinitel přestupu tepla mezi kanálem a vzduchem v kanálu. Tato skutečnost mi umožní použít stejnou teplotu pro odhad součinitele přestupu tepla konvekcí povrchu izolace a vzduchu v kanálu i pro odhad součinitele přestupu tepla zářením mezi povrchem izolace a stěnami v kanálu.

Prvním krokem výpočtu je zvolit teplotu v kanálu. Jelikož je výpočet prováděn pro topné a letní období, mohu stanovit dvě různé teploty v kanálu. Odborná literatura doporučuje volit teplotu v kanálu v rozmezí 25–30 °C [28]. Pro topné období volím 25 °C, pro letní 30 °C. Dalším krokem je odhadnout teplotu na povrchu izolace. Ta se doporučuje volit o něco málo vyšší než teplota v kanálu. Volbu této teploty v závěru výpočtu ověřím.

Ke správnému řešení je nutné kromě teplot určit také rozměry kanálu a materiály, které tvoří vnitřní stěny kanálu, respektive opláštění izolace. Rozměry kanálu se pro různé dimenze horkovodů mohou lišit. Podle projektové dokumentace má příčný průřez kanálu pro horkovod DN 200 rozměry 1,4 × 0,6 m, pro DN 80 pak 0,8 × 0,6 m. Stěny kanálu tvoří beton s emisivitou 0,91 [39]. Izolačním materiálem je čedičová vata. Opláštění izolace tvoří plechová chránička opatřená základním korozivzdorným nátěrem s poměrně vysokou emisivitou 0,925, což nepřispívá ke snížení tepelných ztrát zářením [39]. Všechny zvolené parametry pro kanálové uložení jsou shrnuty v tabulce 4.7.

Tab. 4.7 Zvolené parametry pro výpočet tepelných ztrát v kanálovém uložení

Teplota vzduchu kanálu a jeho vnitřních stěn v topném období	[°C]	25
Teplota vzduchu kanálu a jeho vnitřních stěn v letním období	[°C]	30
Emisivita vnitřních stěn kanálu (beton)	[-]	0,91
Emisivita vnějšího povrchu (oppláštění) izolace (nátěr topných těles)	[-]	0,925
Součinitel tepelné vodivosti čedičové vaty	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	0,040

Rozměrové údaje charakterizující délku, velikost potrubí, tloušťku izolace nebo rozměry vztahující se k uložení, odečtené z projektové dokumentace horkovodu, se nachází v tab. 4.8.

Tab. 4.8 Rozměrové parametry potrubí v kanálovém uložení

		DN 80		DN 200	
Rozměry kanálu	[m]	0,8 × 0,6		1,4 × 0,6	
Vnitřní povrch kanálu o délce 1 m	[m ²]	2,8		4	
Vnější průměr medionosné trubky	[mm]	89		219	
		Prívodní	Vratné	Prívodní	Vratné
Tloušťka izolace	[mm]	70	50	95	65
Vnější průměr trubky s izolací	[mm]	229	189	409	349
Povrch pláště trubky s izolací o délce 1 m	[m ²]	0,720	0,594	1,285	1,096

K použití tohoto postupu pro výpočet tepelných ztrát je nutné podotknout, že k získání kompletních výsledků pro jeden rozměr potrubí se provádí tento výpočet čtyřikrát. Zapříčiněno je to tím, že se uskutečňuje jak pro přívodní, tak pro vratné potrubí a navíc pro každé z nich zvlášť v topném a zvlášť v letním období.

Pro přehlednost práce bude **vzorové dosazení** demonstrováno pouze na **přívodním potrubí DN 200 v topném období**. Při dosazování ve zbylých třech případech se postupuje obdobně. Navržené teploty v kanálovém uložení budou společně s výsledky uvedeny v tab. 4.9, respektive 4.10.

Po ustanovení volených a rozměrových parametrů přichází na řadu odhad součinitele přestupu tepla konvekcí. Pro volnou konvekci v klidném vzduchu, která je způsobena rozdílem teplot, platí pro přestup konvekcí z Nusseltova vztahu pro válcové těleso rovnice (4.8) [28].

$$\alpha_k = 1,163 \cdot \left(\frac{t_p - t_k}{d_2} \right)^{0,25} \quad (4.8)$$

kde: α_k je součinitel přestupu tepla konvekcí
 t_p navržená teplota na povrchu izolace
 t_k odhadnutá teplota vzduchu a vnitřních stěn kanálu (interiéru)
 d_2 vnější průměr potrubí s izolací

Po dosazení:

$$\alpha_k = 1,163 \cdot \left(\frac{29,2 - 25,0}{0,409} \right)^{0,25} \quad (4.8)$$

$$\alpha_k = 2,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

kde: α_k je součinitel přestupu tepla konvekcí pro přívodní potrubí DN200 v topném období

Určení součinitele přestupu tepla zářením mezi pláštěm potrubí a vnitřní stěnou kanálu vychází ze Stefan-Boltzmannova zákona pro zářivosti černého povrchu. Ten však závisí i na příčném průřezu obou objektů. Pro náš případ lze zjednodušit obdélníkový příčný průřez kanálu na kruhový při zachování stejného vnitřního povrchu kanálu. Nyní již lze vyjádřit Stefan-Boltzmannův zákon pro konfiguraci dvou nekonečně dlouhých soustředných válců (rov. (4.9)) [40].

$$Q_{1-2}^{\cdot} = \frac{\sigma \cdot S_1 \cdot (T_p^4 - T_k^4)}{\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{1-2}} + \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2}} \quad (4.9)$$

kde: Q_{1-2}^{\cdot} je tepelný tok zářením 1 m potrubí v kanálu
 σ Stefan-Boltzmannova konstanta, $\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
 S_1 vnější povrch izolace o délce 1 m
 S_2 povrch vnitřních stěn 1 m kanálu (interiéru)
 T_p navržená termodynamická teplota na povrchu izolace
 T_k odhadnutá termodynamická teplota vzduchu a vnitřních stěn kanálu (interiéru)
 ε_1 poměrná zářivost (emisivita) vnějšího povrchu izolace
 ε_2 poměrná zářivost (emisivita) vnitřních stěn kanálu (interiéru)
 F_{1-2} úhlový (tvarový) součinitel

Za úhlový faktor se v případě soustředných válcových ploch dosazuje $F_{1-2} = 1$. Rovnici 4.8 se tímto zjednoduší do tvaru.

$$Q_{1-2}^{\cdot} = \frac{\sigma \cdot S_1 \cdot (T_p^4 - T_k^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2}} \quad (4.9)$$

Pro vyjádření součinitele přestupu tepla zářením je nutné vyjádřit tepelný tok také v závislosti právě na součiniteli přestupu tepla zářením.

$$Q_{1-2}^{\cdot} = \alpha_z \cdot S_1 \cdot (t_p - t_k) \quad (4.10)$$

kde: α_z je součinitel přestupu tepla zářením

Po porovnání rovnic 4.9 a 4.10 lze vyjádřit součinitel přestupu tepla zářením (rovnice (4.11)).

$$\alpha_z = \frac{\sigma \cdot (T_p^4 - T_k^4)}{t_p - t_k} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2}} \quad (4.11)$$

V předchozích výpočtech se vyskytoval ve vzorcích pouze rozdíl teplot, bylo možné tedy dosazovat hodnoty teplot v jednotkách °C. Nyní je však již nezbytně nutné v čitateli dosazovat přímo termodynamickou teplotu v jednotkách K (kvůli čtvrté mocnině teploty vyskytující se ve vzorci).

Po dosazení:

$$\alpha_z = \frac{5,669 \cdot 10^{-8} \cdot ((29,2 + 273,15)^4 - (25 + 273,15)^4)}{29,2 - 25} \cdot \frac{1}{\frac{1}{0,925} + \frac{1,285}{4} \cdot \frac{1 - 0,91}{0,91}}$$

$$\alpha_z = 5,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

kde: α_z je součinitel přestupu tepla zářením pro přívodní potrubí DN200 v topném období

Výsledný součinitel přestupu tepla je dán součtem přestupů tepla konvekcí a zářením (rovnice (4.12)) [28].

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_z \quad (4.12)$$

Po dosazení:

$$\alpha = 2,1 + 5,5$$

$$\alpha = 7,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (4.12)$$

kde: α je výsledný součinitel přestupu tepla pro přívodní potrubí DN200 v topném období

Tepelný odpor zahrnující vliv vedení, proudění i záření tepla má poté přibližnou hodnotu vyjádřenou rovnicí (4.13) [28].

$$\sum R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi \cdot d_2 \cdot \alpha} \quad (4.13)$$

kde: R je tepelný odpor
 λ_{iz} součinitel tepelné vodivosti izolace
 d_1 vnější průměr medionosné trubky
 d_2 vnější průměr potrubí s izolací
 α výsledný součinitel přestupu tepla (zahrnující konvekci i záření)

Po dosazení:

$$\sum R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,04} \cdot \ln \frac{0,409}{0,219} + \frac{1}{\pi \cdot 0,409 \cdot 5,5} \quad (4.13)$$

$$\sum R = 2,6 \text{ m} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

kde: R je tepelný odpor přívodního potrubí DN200 v topném období

Po určení tepelného odporu se hustota tepelného toku (tepelná ztráta na 1 m délky potrubí) vyjádří stejně jako u předizolovaných trubek v bezkanálovém uložení (rovnice 4.14) [28].

$$q = \frac{t_1 - t_k}{\sum R} \quad (4.14)$$

kde: q je délková hustota tepelného toku (měrná tepelná ztráta)
 t_1 teplota teplotonosné látky
 t_k odhadnutá teplota vzduchu a vnitřních stěn kanálu (interiéru)
 R tepelný odpor

Po dosazení:

$$q = \frac{130 - 25}{2,6} \quad (4.14)$$

$$q = 40,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$$

kde: q je délková hustota přívodního potrubí DN200 v topném období

K ověření toho, zda teplota na povrchu izolace byla na začátku výpočtu zvolena vhodně, lze využít úvahy, že hustota tepelného toku procházející izolací se má rovnat hustotě tepelného toku unikající z povrchu izolace do vzduchu v kanálu (rovnice (4.15)) [28].

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \cdot (t_1 - t'_p) = \pi \cdot d_2 \cdot \alpha \cdot (t'_p - t_k) \quad (4.15)$$

kde: t'_p je kontrolní teplota na povrchu izolace

Z rovnice 4.14 již lze stanovit kontrolní teplotu na povrchu izolace (rovnice (4.16)).

$$t'_p = \frac{\frac{2 \cdot \lambda_{iz} \cdot t_1}{\ln \frac{d_2}{d_1}} + d_2 \cdot \alpha \cdot t_k}{\frac{2 \cdot \lambda_{iz}}{\ln \frac{d_2}{d_1}} + d_2 \cdot \alpha} \quad (4.16)$$

Po dosazení:

$$t'_p = \frac{\frac{2 \cdot 0,04 \cdot 130}{\ln \frac{0,409}{0,219}} + 0,409 \cdot 7,6 \cdot 25}{\frac{2 \cdot 0,04}{\ln \frac{0,409}{0,219}} + 0,409 \cdot 7,6} \quad (4.16)$$

$$t'_p = 29,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

kde: t'_p je kontrolní teplota na povrchu izolace přívodního potrubí DN200 v topném období

Po zjištění kontrolní teploty na povrchu izolace je ji třeba porovnat se zvolenou teplotou na povrchu izolace, která byla zvolena pro výpočet součinitelů přestupu tepla. Pokud tyto hodnoty nevykazují dobrou shodu, je vhodné stanovit jinou teplotu na povrchu izolace, výpočet nechat zopakovat a znovu ověřit volbu s kontrolní teplotou až do toho okamžiku, kdy se výsledky dostatečně shodují.

V uvedeném vzorovém dosazení zvolená a kontrolní hodnota teplot vykazují dobrou shodu (na 1 desetinné místo). Je to dáno tím, že zvolená hodnota byla vybírána v průběhu několika iterací.

Navržená teplota na povrchu izolace, vypočtené součinitele přestupu tepla, tepelné odpory, délkové hustoty tepelného toku a celková délková hustota tepelného toku obou potrubí charakterizující tepelnou ztrátu obou potrubí jsou uvedeny v tab. 4.9 (topné období), respektive v tab. 4.10 (mimo topné období).

Tab. 4.9 Výpočet tepelných ztrát potrubí v kanálovém uložení v topném období

		DN 80		DN 200	
Navržená teplota v kanálu	[°C]	25		25	
		Přívodní	Vratné	Přívodní	Vratné
Navržená teplota na povrchu izolace	[°C]	29,6	28	29,2	27,8
Součinitel přestupu tepla zářením	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	5,6	5,5	5,5	5,5
Součinitel přestupu tepla konvekcí	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	2,5	2,3	2,1	2,0
Celkový součinitel přestupu tepla	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	8,0	7,9	7,6	7,5
Tepelný odpor	[m·K·W ⁻¹]	3,9	3,2	2,6	2,0
Délková hustota tepelného toku	[W·m ⁻¹]	26,7	14,0	40,6	22,8
Celková délková hustota tepelného toku obou potrubí	[W·m⁻¹]	40,7		63,3	

Tab. 4.10 Výpočet tepelných ztrát potrubí v kanálovém uložení mimo topné období

		DN 80		DN 200	
Navržená teplota v kanálu	[°C]	30		30	
		Přívodní	Vratné	Přívodní	Vratné
Navržená teplota na povrchu izolace	[°C]	32,3	31,4	32,0	31,3
Součinitel přestupu tepla zářením	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	5,8	5,8	5,7	5,7
Součinitel přestupu tepla konvekcí	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	2,1	1,9	1,7	1,6
Celkový součinitel přestupu tepla	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	7,8	7,7	7,5	7,4
Tepelný odpor	[m·K·W ⁻¹]	3,9	3,2	2,6	2,0
Délková hustota tepelného toku	[W·m ⁻¹]	12,7	6,2	19,3	10,1
Celková délková hustota tepelného toku obou potrubí	[W·m⁻¹]	18,9		29,4	

Výsledky délkových hustot tepelného toku v kanálovém uložení jsou velmi podobné hodnotám, které byly vypočteny v případě bezkanálového uložení. Při porovnání ztrát v topném období a mimo něj je možná lehce patrný pokles ztrát v letním období, což může být způsobeno například poměrně vysokou zvolenou teplotou v kanálu (30 °C). Z hlediska minimalizace ztrát u kanálového uložení hovořily ve prospěch větší tloušťky izolace a uložení v kanálu („tepelný odpor vzduchu“), v neprospěch pro změnu materiál izolace (čedičová vata), která má vyšší součinitel tepelné vodivosti než PUR pěna.

4.4 Tepelné ztráty potrubí uloženého v neprůlezném kanálu počítané metodou pro bezkanálové uložení

Z důvodu poměrně velké složitosti výše uvedeného výpočtu bylo celé zadání kanálového uložení řešeno také početními vztahy pro bezkanálové uložení, jak je také doporučeno v odborné literatuře [28]. Výsledné ztráty za použití tohoto postupu očekávám vyšší, jelikož u bezkanálového uložení odpadá vliv tepelného odporu vzduchu v kanálu. Pro nadcházející výpočet budou samozřejmě zachovány tloušťky i materiál izolace.

Rozměrové parametry kanálového uložení potřebné pro postup, jakým by se řešilo bezkanálové uložení, jsou uvedeny v tab. 4.11.

Tab. 4.11 Rozměrové parametry potrubí v kanálovém uložení (postup výpočtu pro bezkanálové uložení)

		DN 80	DN 200
Délka úseku	[m]	357	484,5
Vnější průměr medionosné trubky	[mm]	89,1	219
Tloušťka izolace přívodní trubky	[mm]	70	95
Tloušťka izolace vratné trubky	[mm]	50	65
Vnější průměr přívodní trubky s izolací	[mm]	229,1	409
Vnější průměr vratné trubky s izolací	[mm]	189,1	349
Vzdálenost mezi okraji trubek	[mm]	90,9	111
Osová vzdálenost potrubí	[mm]	300	490
Vzdálenost od osy trubky k povrchu země	[m]	1,5	1,5

Jak již bylo zmíněno v jednom z předchozích odstavců, postup výpočtu bude prakticky totožný s výpočtem ztrát předizolovaného potrubí v bezkanálovém uložení. Rozdíl spočívá pouze v tom, že předizolované trubky disponovaly stejnou tloušťkou izolace na přívodním i vratném potrubí. U horkovodů vedených v kanálech izolace má izolace přívodních trubek větší tloušťku než izolace těch vratných, k výpočtu bude tedy nutné použít původní tvar rovnic (4.3), resp. (4.4) – ne jejich zjednodušené formy.

V následující části rov. (4.3) a (4.4) opět uvedu výpočet pro tepelný odpor vztažený k přívodní, resp. vratné trubce (tentokrát již bez legendy všech veličin) a provedu dosazení. **Vzorové dosazení** bude provedeno pro **potrubí DN 200 v topném období**.

$$R_I = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} \cdot \frac{\left(\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}^{II}} \cdot \ln \frac{d_2^{II}}{d_1^{II}} + \ln \frac{4h}{d_2^{II}} \right) \cdot \left(\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}^I} \cdot \ln \frac{d_2^I}{d_1^I} + \ln \frac{4h}{d_2^I} \right) + \left(\ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{h}{s} \right)^2} \right)^2}{\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}^{II}} \cdot \ln \frac{d_2^{II}}{d_1^{II}} + \ln \frac{4h}{d_2^{II}} - \frac{t_1^{II} - t_2}{t_1^I - t_2} \cdot \ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{h}{s} \right)^2}} \quad (4.3)$$

kde: Symboly I a II signalizují, jestli se daná veličina vztahuje k přívodní (I), nebo vratné trubce (II).

Po dosazení:

$$R_I = \frac{1}{2\pi \cdot 2} \cdot \frac{\left(\frac{2}{0,04} \cdot \ln \frac{0,349}{0,219} + \ln \frac{4 \cdot 1,5}{0,349} \right) \cdot \left(\frac{2}{0,04} \cdot \ln \frac{0,409}{0,219} + \ln \frac{4 \cdot 1,5}{0,409} \right) + \left(\ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{1,5}{0,490} \right)^2} \right)^2}{\frac{2}{0,04} \cdot \ln \frac{0,349}{0,219} + \ln \frac{4 \cdot 1,5}{0,409} - \frac{70 - 5}{130 - 5} \cdot \ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{1,5}{0,490} \right)^2}}$$

$$R_I = 2,835 \text{ m} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

kde: R_I je tepelný odpor přívodní trubky DN 200 v topném období

$$R_{II} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} \cdot \frac{\left(\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}^I} \cdot \ln \frac{d_2^I}{d_1^I} + \ln \frac{4h}{d_1^I} \right) \cdot \left(\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}^{II}} \cdot \ln \frac{d_2^{II}}{d_1^{II}} + \ln \frac{4h}{d_1^{II}} \right) + \left(\ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{h}{s} \right)^2} \right)^2}{\frac{\lambda_z}{\lambda_{iz}^I} \cdot \ln \frac{d_2^I}{d_1^I} + \ln \frac{4h}{d_1^I} - \frac{t_1^I - t_2}{t_1^{II} - t_2} \cdot \ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{h}{s} \right)^2}} \quad (4.4)$$

kde: Symboly I a II signalizují, jestli se daná veličina vztahuje k přívodní (I), nebo vratné trubce (II).

Po dosazení:

$$R_{II} = \frac{1}{2\pi \cdot 2} \cdot \frac{\left(\frac{2}{0,04} \ln \frac{0,409}{0,219} + \ln \frac{4 \cdot 1,5}{0,409} \right) \cdot \left(\frac{2}{0,04} \ln \frac{0,349}{0,219} + \ln \frac{4 \cdot 1,5}{0,349} \right) + \left(\ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{1,5}{0,490} \right)^2} \right)^2}{\frac{2}{0,04} \cdot \ln \frac{0,409}{0,219} + \ln \frac{4 \cdot 1,5}{0,349} - \frac{130 - 5}{70 - 5} \cdot \ln \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{1,5}{0,490} \right)^2}}$$

$$R_{II} = 2,331 \text{ m} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

kde: R_{II} je tepelný odpor vratné trubky DN 200 v topném období

Vypočtené tepelné odpory, hustoty tepelného toku a celková hustota tepelného toku obou potrubí charakterizující tepelnou ztrátu obou potrubí jsou uvedeny v tab. 4.12 (topné období), respektive v tab. 4.13 (mimo topné období).

Tab. 4.12 Výpočet tepelných ztrát potrubí v kanálovém uložení v topném období (postup výpočtu pro bezkanálové uložení)

		DN 80	DN 200
Tepelný odpor vztažený k přívodní trubce	[m·K·W ⁻¹]	4,159	2,835
Tepelný odpor vztažený k vratné trubce	[m·K·W ⁻¹]	3,554	2,331
Délková hustota tepelného toku vztažená k přívodní trubce	[W·m ⁻¹]	30,1	44,1
Délková hustota tepelného toku vztažená k vratné trubce	[W·m ⁻¹]	18,3	27,9
Celková délková hustota tepelného toku	[W·m⁻¹]	48,3	72,0

Tab. 4.13 Výpočet tepelných ztrát potrubí v kanálovém uložení mimo topné období (postup výpočtu pro bezkanálové uložení)

		DN 80	DN 200
Tepelný odpor vztažený k přívodní trubce	[m·K·W ⁻¹]	4,163	2,839
Tepelný odpor vztažený k vratné trubce	[m·K·W ⁻¹]	3,543	2,321
Délková hustota tepelného toku vztažená k přívodní trubce	[W·m ⁻¹]	15,6	22,9
Délková hustota tepelného toku vztažená k vratné trubce	[W·m ⁻¹]	9,9	15,1
Celková délková hustota tepelného toku	[W·m⁻¹]	25,5	38,0

Délkové hustoty tepelného toku v kanálovém uložení vyšly počítané touto alternativní metodou opravdu vyšší. V porovnání s výsledky v předchozí kapitole se lišily přibližně o 10–30 %. Pro další výpočty (výpočet ztrát na celém zadaném úseku) však budu uvažovat právě výsledky v předchozí podkapitole.

4.5 Tepelné ztráty potrubí uloženého v interiéru

Při výpočtu tepelných ztrát rozvodů v interiéru, za který je možné označit povětšinou sklepní prostory objektů, se použije stejného postupu jako při počítání ztrát v neprůlezném kanálu.

Na rozdíl od kanálového uložení se namísto rozměrů kanálů použijí rozměry sklepních prostor. Ve většině případů jde o větší obytné domy, rozměry příčného řezu volím tedy $18 \times 2,3$ m.

Teplotu v suterénu pro zimní období určím odhadem na $13 \text{ }^\circ\text{C}$, pro letní období zvolím teplotu $16 \text{ }^\circ\text{C}$.

Emisivita zdí (omítky) zůstává v porovnání s emisivitou stěn kanálu (betonu) přibližně stejná. Velká změna ale nastává v případě opláštění izolace, které v případě horkovodů v interiéru tvoří hliníková fólie s nízkou emisivitou přibližně 0,15. Všechny zvolené parametry pro uložení v interiéru jsou shrnuty v tabulce 4.14.

Tab. 4.14 Zvolené parametry pro výpočet tepelných ztrát v interiéru

Teplota vzduchu a vnitřních stěn v interiéru v topném období	[$^\circ\text{C}$]	13
Teplota vzduchu a vnitřních stěn v interiéru v letním období	[$^\circ\text{C}$]	16
Emisivita vnitřních stěn interiéru (omítka)	[-]	0,91
Emisivita vnějšího povrchu (opláštění) izolace (hliníková fólie)	[-]	0,15
Součinitel tepelné vodivosti čedičové vaty	[$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	0,04

Rozměrové údaje charakterizující délku, velikost potrubí, tloušťku izolace nebo rozměry vztahující se k uložení, odečtené z projektové dokumentace horkovodu, se nachází v tab. 4.15.

Tab. 4.15 Rozměrové parametry potrubí v interiéru

Rozměry interiéru	[m]	18 × 2,3			
Vnitřní povrch interiéru o délce 1 m	[m^2]	40,6			
		DN 40	DN 50	DN 65	DN 80
Vnější průměr medionosné trubky	[mm]	48,3	60,3	76,1	89,1
Tloušťka izolace	[mm]	40	50	60	70
Vnější průměr trubky s izolací	[mm]	128,3	160,3	196,1	229,1
Povrch pláště trubky s izolací o délce 1 m	[m^2]	0,403	0,504	0,616	0,720

Po dosazení do rovnic uvedených dříve – viz kap. 4.3 Tepelné ztráty potrubí uloženého v neprůlezném kanálu – byly získány výsledky, které jsou uvedeny v tab. 4.16 (topné období), respektive v tab. 4.17 (mimo topné období).

Tab. 4.16 Výpočet tepelných ztrát potrubí uloženého v interiéru v topném období

Navržená teplota v interiéru	[°C]	13							
		DN 40		DN 50		DN 65		DN 80	
		Přív.	Vrat.	Přív.	Vrat.	Přív.	Vrat.	Přív.	Vrat.
Navržená teplota na povrchu izolace	[°C]	27,2	20,7	25,4	19,8	24,3	19,1	23,2	18,6
Součinitel přestupu tepla zářením	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Součinitel přestupu tepla konvekci	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	3,8	3,2	3,4	3,0	3,2	2,7	3,0	2,6
Výsledný součinitel přestupu tepla	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	4,6	4,1	4,3	3,8	4,0	3,6	3,8	3,4
Tepelný odpor	[m·K·W ⁻¹]	4,4	4,5	4,4	4,4	4,2	4,2	4,1	4,2
Délková hustota tepelného toku	[W·m ⁻¹]	26,5	12,7	26,9	12,9	28,1	13,5	28,4	13,7
Celková délková hustota tepelného toku obou potrubí	[W·m⁻¹]	39,1		39,8		41,6		42,1	

Tab. 4.17 Výpočet tepelných ztrát potrubí uloženého v interiéru mimo topné období

Navržená teplota v interiéru	[°C]	16							
		DN 40		DN 50		DN 65		DN 80	
		Přív.	Vrat.	Přív.	Vrat.	Přív.	Vrat.	Přív.	Vrat.
Navržená teplota na povrchu izolace	[°C]	24,5	21,1	23,4	20,3	22,7	19,7	22,1	19,2
Součinitel přestupu tepla zářením	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	0,9	0,7	0,9	0,9	0,9	1,1	0,8	1,3
Součinitel přestupu tepla konvekci	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	3,3	2,9	3,0	2,6	2,8	2,4	2,6	2,2
Výsledný součinitel přestupu tepla	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	4,2	3,6	3,9	3,5	3,7	3,5	3,5	3,5
Tepelný odpor	[m·K·W ⁻¹]	4,5	4,6	4,4	4,5	4,2	4,2	4,2	4,2
Délková hustota tepelného toku	[W·m ⁻¹]	14,3	7,4	14,5	7,6	15,2	8,0	15,4	8,2
Celková délková hustota tepelného toku obou potrubí	[W·m⁻¹]	21,7		22,2		23,2		23,6	

Pozoruhodným jevem při pohledu na výsledky délkových hustot tepelného toku uložení v interiéru je skutečnost, že se získané hodnoty s rostoucím průměrem potrubí příliš nemění. To je způsobeno zejména tím, že se tloušťka izolace u jednotlivých dimenzí trubek mění poměrně výrazně (s každým rozměrem skokově o 1 cm tloušťky). Vypočtené hodnoty v letním období vyšly opět přibližně poloviční.

4.6 Celkové ztráty na zadaném úseku

Cílem této práce je vyčíslit celkovou tepelnou ztrátu na zadaném úseku. K tomuto účelu nám poslouží součin délkové hustoty tepelného toku pro jednotlivé dimenze či uložení a délky jednotlivých úseků (rov. (4.17)). Celý tento výraz se následně ještě vynásobí opravným součinitelem (rov. (4.18)), který zohledňuje navýšení tepelných ztrát armaturami, podpěrami a kompenzátory [28]. Rozmezí užívaných hodnot opravného součinitele pro jednotlivé typy uložení je uvedeno v tab. 4.18.

$$\dot{Q} = \sum q_i \cdot l_i \quad (4.17)$$

kde: \dot{Q} je tepelný tok celého zadaného úseku
 q_i celková délková hustota tepelného toku jednotlivých podoblastí
 l_i délka úseku potrubí jednotlivých podoblastí

Tab. 4.18 Rozmezí hodnot opravného součinitele δ zohledňujícího zvýšení tepelných ztrát armaturami, podpěrami a kompenzátory [28]

Typ uložení	Opravný součinitel δ [-]
bezkanálové	1,10–1,15
v kanálech	1,15–1,25

Vzhledem k poměrně velké spletnosti horkovodní sítě v zadané oblasti volím při výběru součinitele δ hodnoty na horní hranici intervalu. Pro bezkanálové uložení 1,15, pro uložení v kanálech a interiéru 1,25.

$$\dot{Q}_Z = \sum q_i \cdot l_i \cdot \delta_i \quad (4.18)$$

kde: \dot{Q}_Z je tepelný tok celého zadaného úseku zohledňující zvýšení tepelných ztrát armaturami, podpěrami a kompenzátory
 δ_i opravný součinitel zohledňující navýšení tepelných ztrát armaturami, podpěrami a kompenzátory

Při řešení tepelných ztrát v kanálu do výpočtu zahrnu výsledky spočítané první metodou (nižší ztráty). Nepřesnosti ve výpočtu může z části pokrýt právě opravný součinitel. Celkové ztráty jsou vyjádřeny jednak pro topné období (tab. 4.19), jednak pro letní období (tab. 4.20).

Tab. 4.19 Tepelné ztráty na zadaném úseku v topném období

	Délka úseku [m]	Délková hustota tepelného toku [W·m ⁻¹]	Tepelný tok [kW]	Délková hustota tepelného toku se započítáním opravného součinitele [W·m ⁻¹]	Tepelný tok se započítáním opravného součinitele [kW]
Bezkanálové uložení					
DN 40	332,0	33,3	11,0	38,3	12,7
DN 50	178,5	37,1	6,6	42,6	7,6
DN 65	310,0	41,9	13,0	48,1	14,9
DN 80	100,5	43,7	4,4	50,3	5,1
DN 100	52,5	45,3	2,4	52,1	2,7
DN 125	259,0	52,0	13,5	59,8	15,5
DN 150	82,5	59,8	4,9	68,8	5,7
DN 200	57,0	63,1	3,6	72,5	4,1
Uložení v kanálech					
DN 80	357,0	40,7	14,5	50,9	18,2
DN 200	484,5	63,3	30,7	79,2	38,4
Uložení v interiéru					
DN 40	142,5	39,1	5,6	48,9	7,0
DN 50	222,0	39,8	8,8	49,7	11,0
DN 65	298,5	41,6	12,4	52,0	15,5
DN 80	184,5	42,1	7,8	52,6	9,7
Celkem	3 061	–	191,4	–	233,3

Celkový ztrátový tepelný výkon po celé délce potrubí, která činí 3061 m, vyšel v topném období po započtení všech úseků 191,4 kW. Při uvažování opravného součinitele, který zohledňuje navýšení tepelných ztrát armaturami, podpěrami a kompenzátory, hodnota vzrostla na 233,3 kW.

Tab. 4.20 Tepelné ztráty na zadaném úseku mimo topné období

	Délka úseku	Délková hustota tepelného toku	Tepelný tok	Délková hustota tepelného toku se započítáním opravného součinitele	Tepelný tok se započítáním opravného součinitele
	[m]	[W·m ⁻¹]	[kW]	[W·m ⁻¹]	[kW]
Bezkanálové uložení					
DN 40	332,0	17,5	5,8	20,1	6,7
DN 50	178,5	19,5	3,5	22,4	4,0
DN 65	310,0	22,0	6,8	25,3	7,9
DN 80	100,5	23,0	2,3	26,5	2,7
DN 100	52,5	23,8	1,3	27,4	1,4
DN 125	259,0	27,4	7,1	31,5	8,2
DN 150	82,5	31,5	2,6	36,2	3,0
DN 200	57,0	33,2	1,9	38,2	2,2
Uložení v kanálech					
DN 80	357,0	18,9	6,8	23,7	8,4
DN 200	484,5	29,4	14,3	36,8	17,8
Uložení v interiéru					
DN 40	142,5	21,7	3,1	27,2	3,9
DN 50	222,0	22,2	4,9	27,7	6,2
DN 65	298,5	23,2	6,9	29,1	8,7
DN 80	184,5	23,6	4,4	29,5	5,4
Celkem	3 061	–	99,1	–	120,7

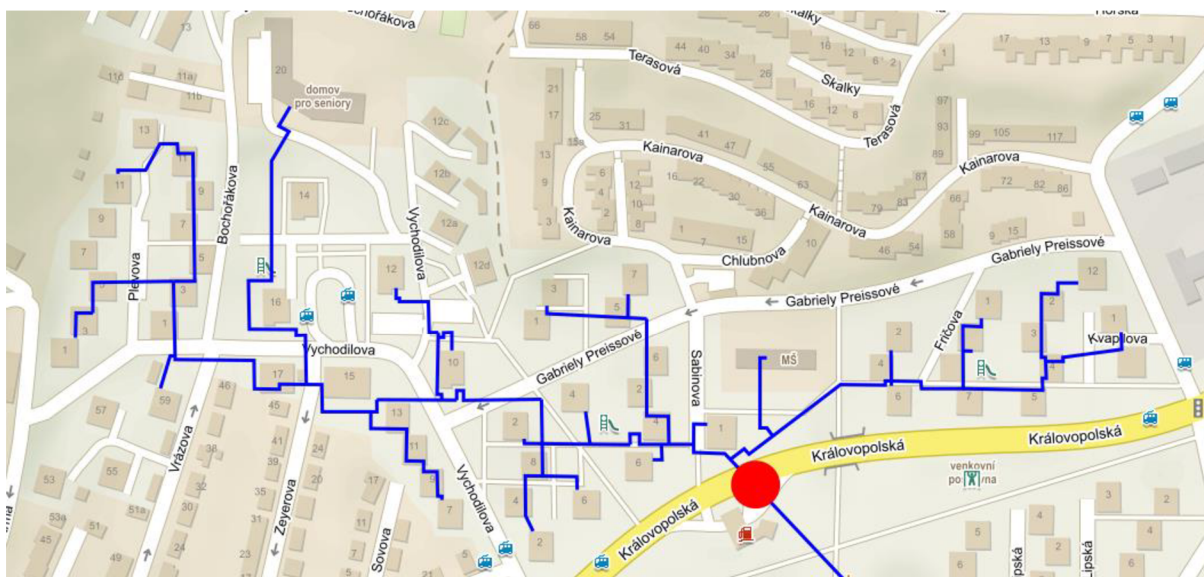
Celkový ztrátový tepelný výkon po celé délce potrubí je v letním období po započtení všech úseků roven 99,1 kW. Při uvažování opravného součinitele, který zohledňuje navýšení tepelných ztrát armaturami, podpěrami a kompenzátory, hodnota vzrostla na 120,7 kW.

4.7 Podíl tepelných ztrát na přenášeném výkonu

Zajímavým ukazatelem výpočtu je podíl tepelných ztrát na přenášeném výkonu. Celkový přenášený výkon se stanoví jako součin hmotnostního průtoku potrubím a měrné entalpie média (rov. (4.19)). Hmotnostní průtok bude počítán v místě společného vstupu do zadaného úseku sítě a výstupu z něj (na obr. 4.3 místo zvýrazněné červeně vyplněným kroužkem).

$$P = \dot{m} \cdot h_x \quad (4.19)$$

kde: P je přenášený výkon
 \dot{m} hmotnostní tok
 h_x měrná entalpie



Obr. 4.3 Zvýrazněné místo v horkovodní síti určené pro výpočet hmotnostního průtoku

Hmotnostní tok závisí na vnitřním průměru potrubí, rychlosti proudění a hustotě média. Stanoví se z rovnice (4.20).

Ve zvýrazněném místě se nachází přírodní i vratné potrubí DN 200, jehož vnitřní průměr je 210,1 mm. Rychlost proudění se v horkovodních sítích pohybuje v rozmezí od 1 do 2 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na základě doporučení vedoucího volím rychlost 1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Hustota bude následně společně s měrnou entalpií média určena na základě znalosti teploty média a tlaku v síti, který má hodnotu 2,5 MPa. Tyto hodnoty lze určit buď z tabulek či z dostupných online kalkulačů. Všechny zvolené a zjištěné hodnoty veličin jsou uvedeny v tab. 4.21, resp. 4.22.

Tab. 4.21 Zvolené parametry pro výpočet celkového přenášeného výkonu

Vnitřní průměr medionosného potrubí DN 200	[mm]	210,1
Rychlost proudění média v potrubí	[$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	1

Tab. 4.22 Zjištěné parametry pro výpočet celkového přenášeného výkonu [41]

Tlak v horkovodní síti	[MPa]	2,5
Teplota vody	Měrná entalpie vody	Hustota vody
[$^{\circ}\text{C}$]	[$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]	[$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
50	211,5	989,1
70	295,0	978,8
80	336,9	972,9
130	547,9	936,0

$$\dot{m} = \pi \cdot \frac{d_v^2}{4} \cdot w \cdot \rho \quad (4.20)$$

kde: \dot{m} je hmotnostní tok
 d_v vnitřní průměr potrubí
 w rychlost proudění média
 ρ hustota média

Přenášený výkon zahrnující spotřebu odběratelů a tepelné ztráty se stanoví jako rozdíl celkového přenášeného výkonu k místu spotřeby a výkonu, který se vrací zpět ke zdroji tepla (rov. (4.21)). Podíl ztrát na celkovém přenášeném výkonu se pak již jednoduše vyjádří rovnicí (4.22).

$$P = P_p - P_v \quad (4.21)$$

kde: P je přenášený výkon
 P_p celkový přenášený výkon k místu spotřeby
 P_v výkon vracející se zpět ke zdroji tepla

$$z = \frac{\dot{Q}_z}{P} \cdot 100 [\%] \quad (4.22)$$

kde: z je podíl ztrát na přenášeném výkonu
 \dot{Q}_z ztrátový tepelný tok celého zadaného úseku zohledňující zvýšení tepelných ztrát armaturami, podpěrami a kompenzátory
 P přenášený výkon

Teplárenská síť se provozuje ve dvou režimech – v topném období (130/70 °C), mimo topné období (80/50 °C). **Vzorové dosazení** celého výpočtu podílu ztrát na celkovém přenášeném výkonu provedu **pro topné období**.

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \pi \cdot \frac{d_v^2}{4} \cdot w \cdot \rho \\ \dot{m} &= \pi \cdot \frac{0,2101^2}{4} \cdot 1 \cdot 936,0 \\ \dot{m} &= 32,5 \text{ kg s}^{-1} \end{aligned} \quad (4.20)$$

kde: \dot{m} je hmotnostní tok přívodní trubkou v topném období

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \pi \cdot \frac{d_v^2}{4} \cdot w \cdot \rho \\ \dot{m} &= \pi \cdot \frac{0,2101^2}{4} \cdot 1 \cdot 978,8 \\ \dot{m} &= 33,9 \text{ kg s}^{-1} \end{aligned} \quad (4.20)$$

kde: \dot{m} je hmotnostní tok vratnou trubkou v topném období

$$\begin{aligned}
 P_p &= \dot{m} \cdot h_x \\
 P_p &= 32,5 \cdot 547,9 \cdot 10^3 \\
 P_p &= 17,8 \text{ MW}
 \end{aligned}
 \tag{4.19}$$

kde: P_p je celkový přenášený výkon k místu spotřeby v topném období (přívodní potrubí)

$$\begin{aligned}
 P_v &= \dot{m} \cdot h_x \\
 P_v &= 33,9 \cdot 295,0 \cdot 10^3 \\
 P_v &= 10,0 \text{ MW}
 \end{aligned}
 \tag{4.19}$$

kde: P_v je výkon vracející se zpět ke zdroji tepla v topném období (přívodní potrubí)

$$\begin{aligned}
 P &= P_p - P_v \\
 P &= 17,8 - 10,0 \\
 P &= 7,8 \text{ MW}
 \end{aligned}
 \tag{4.21}$$

kde: P je přenášený výkon v topném období

$$\begin{aligned}
 z &= \frac{\dot{Q}_z}{P} \cdot 100 [\%] \\
 z &= \frac{233,3}{7,8 \cdot 10^3} \cdot 100 \\
 z &= \mathbf{3,00} \%
 \end{aligned}
 \tag{4.22}$$

kde: z je podíl tepelných ztrát na přenášeném výkonu v topném období
 \dot{Q}_z tepelný tok celého zadaného úseku zohledňující zvýšení tepelných ztrát armaturami, podpěrami a kompenzátory v topném období

Kompletní výsledky jsou shrnuty v tab. 4.23 (topné období), resp. 4.24 (mimo topné období).

Tab. 4.23 Podíl ztrát na přenášeném výkonu v topném období

Hmotnostní tok přívodní trubkou	[kg·s ⁻¹]	32,5
Hmotnostní tok vratnou trubkou	[kg·s ⁻¹]	33,9
Celkový přenášený výkon k místu spotřeby (přívodní potrubí)	[MW]	17,8
Výkon vracející se zpět ke zdroji tepla	[MW]	10,0
Přenášený výkon	[MW]	7,8
Ztrátový tepelný tok	[kW]	233,3
Podíl tepelných ztrát na přenášeném výkonu	[%]	3,00

Tab. 4.24 Podíl ztrát na přenášeném výkonu mimo topné období

Hmotnostní tok přívodní trubicou	[kg·s ⁻¹]	33,7
Hmotnostní tok vratnou trubicou	[kg·s ⁻¹]	34,3
Celkový přenášený výkon k místu spotřeby (přívodní potrubí)	[MW]	11,4
Výkon vracející se zpět ke zdroji tepla	[MW]	7,3
Přenášený výkon	[MW]	4,1
Ztrátový tepelný tok	[kW]	120,7
Podíl tepelných ztrát na přenášeném výkonu	[%]	2,94

Na základě výpočtu dosahuje podíl ztrát na přenášeném výkonu v topném období 3 % a v letním období 2,94 %.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo nejdříve provést rešerši izolací a možných uložení používaných v sítích centrálního zásobování teplem a následně vyčíslit tepelné ztráty na vybraném úseku teplárenské sítě.

V rešeršní části byly shrnuty možné způsoby izolování rozvodných sítí. Ze zjištěných skutečností je patrný ústup od litých či sypkých izolací a přechod k materiálům, jako jsou minerální vaty či pěnové plasty (nejčastěji PUR, PIR pěna), popřípadě jejich kombinace, u níž pozitivní roli sehrává jednak vysoká teplotní odolnost minerální vaty, jednak nízký součinitel tepelné vodivosti PUR pěny.

V případě možných uložení teplárenských sítí je pro změnu zřetelný trend ubývání rozvodů v neprůlezných kanálech a stále častějšího využívání bezkanálového uložení předizolovaného potrubí, jehož pokládka je poměrně snadná a zároveň odpadají náklady na výrobu železobetonového kanálu. Tato změna uložení dnes často probíhá paralelně s nahrazováním parovodů horkovody, vedoucím ke snížení tepelných ztrát. Ve městech, která jsou vybavena městskými kolektory, je výhodné využít tento způsob společného vedení různých inženýrských sítí. Všechny zmíněné podzemní způsoby uložení navíc na rozdíl od pozemních či nadzemních sítí nenarušují vzhled okolní krajiny.

Výpočet tepelných ztrát probíhal na horkovodní síti na území městské části Brno Žabovřesky. Délka úseku činí 3 061 m. V celé oblasti se nacházely tři různé typy uložení. Hlavní řad je tvořen potrubím uloženým v neprůlezném kanálu. Odbočky z hlavního řadu, původně též v neprůlezných kanálech, byly před několika lety rekonstruovány a nahrazeny předizolovaným potrubím s PUR izolací. Posledním typem uložení na zadaném úseku je potrubí vedené sklepními prostory (interiérem).

Ztráty byly počítány nejdříve zvlášť pro jednotlivé typy uložení a jednotlivé dimenze potrubí. K tomuto účelu bylo nutné vyjádřit délkové hustoty tepelného toku jednotlivých částí. V případě potrubí uloženého v neprůlezném kanálu byly ztráty pro ověření počítány také metodou pro bezkanálové uložení podle doporučení v literatuře. Podle předpokladů vyšly takto počítané ztráty o něco vyšší, protože nezohledňovaly vzduch v kanálu.

Po započítání všech uložení a rozměrů potrubí byl kvantifikován ztrátový tepelný tok celé oblasti. Jeho výpočet byl proveden pro topnou i mimo topnou sezónu. Během topné sezóny s režimem 130 °C (teplota vody v přívodním potrubí) a 70 °C (teplota vody ve vratném potrubí) tento ztrátový tepelný tok činil 191,4 kW, po započítání nárůstu tepelných ztrát armaturami, podpěrami a kompenzátory hodnota vzrostla na 233,3 kW. Mimo topné období s režimem 80 a 50 °C tepelný ztrátový tok dosáhl hodnoty o něco málo více než poloviční – 99,1 kW. V případě uvažování nárůstu se hodnota mimo topné období zvýšila na 120,7 kW.

S navýšenými (tj. při uvažování nárůstu tepelných ztrát armaturami apod.) hodnotami se pracovalo v poslední podkapitole, jejímž cílem bylo vyčíslit podíl ztrát na přenášeném tepelném výkonu. V topném období poměrné ztráty vyšly 3,00 %, mimo topné období 2,94 %.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1 Tepelné izolace – přehled, materiály, druhy, způsoby použití. Nejvíce informací o stavebnictví v ČR | Stavebnictvi3000.cz [online]. Hradec Králové: Vega, 2009 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tepelne-izolace-prehled-materialy-druhy-zpusoby-po/>
- 2 Technické izolace. Stavebniny DARTE | Darte s.r.o. [online]. Praha: Darte, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.darte.cz/technicke-izolace>
- 3 Tepelné izolace. Stavebniny DARTE | Darte s.r.o. [online]. Praha: Darte, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.darte.cz/tepelne-izolace>
- 4 Pěnosklo. Nízkoenergetické a pasivní domy | Dřevostavby Origis [online]. Praha: Origis, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://www.origis.cz/technologie/penosklo/>
- 5 Minerální izolace a její použití. Odborný portál pro profesionály v oblasti stavebnictví [online]. Bratislava: JAGA GROUP, 2009 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobky/tepelne-izolace/mineralni-izolace-a-jeji-pouziti>
- 6 HURDA, Lukáš. Tepelné ztráty parního potrubí [online]. Plzeň, 2014 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/12661/1/BP%20-%20Hurda%20-%20Tepelne%20ztraty%20parniho%20potrubi.pdf>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- 7 Keramické vlákno. Stavebniny DARTE | Darte s.r.o. [online]. Praha: Darte, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.darte.cz/technicke-izolace/keramicke-vlakno>
- 8 Chladové a tepelné izolace. Izolace potrubí, tepelná izolace potrubí - Aeroflex [online]. Brandýs nad Labem - Stará Boleslav: Aeroflex, c2014 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.aeroflex.cz/chladove-a-tepelne-izolace-1-9-4-podkat.html>
- 9 CHALOUPKA, Karel a Zbyněk SVOBODA. Pěnový polystyren - nejpoužívanější tepelná izolace. Tepelné izolace – katalog tepelných izolací, veškeré info o zateplení a izolacích | Izolace-info.cz [online]. Brno: Izolace-Info, 2016 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/zateplovani-obecne-informace/?nid=20692-penovy-polystyren-nejpouzivanejsi-tepelna-izolace.html#.WvBTaoiFPIV>
- 10 HEJTMÁNEK, Petr, Hana NAJMANOVÁ a Marek POKORNÝ. Vybrané požárně technické charakteristiky stavebních výrobků a hmot. TZB–info [online]. Praha: Topinfo, 2016 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13649-vybrane-pozarne-technicke-charakteristiky-stavebnich-vyrobku-a-hmot>
- 11 Požární bezpečnost staveb. LINDNER - zdvojené podlahy, příčky a podhledy [online]. Praha: Konstruktis-Delta, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.systemy-lindner.cz/zdvojene-podlahy-pozarni-bezpecnost-staveb.html>

- 12 Použijte na zateplení kamennou vlnu. Odborný portál pro profesionály v oblasti stavebnictví [online]. Bratislava: JAGA GROUP, 2016 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobky/tepelne-izolace/pouzijte-na-zatepleni-kamennou-vlnu.-snizite-tepelne-ztraty-a-zvysite-pozarni-bezpecnost>
- 13 CIKHART, Jiří. Soustavy centralizovaného zásobování teplem. Vyd. 2. Praha: SNTL, 1989, 555 s. ISBN 80-03-00021-1.
- 14 NOVOTNÝ, Václav. Tepelné izolace potrubí v jaderných elektrárnách [online]. Praha, 2017 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/70857/F2-DP-2017-Novotny-Vaclav-Diplomova%20prace%20Novotny.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Strojní fakulta.
- 15 Čedičová vata. Stavebniny DARTE | Darte s.r.o. [online]. Praha: Darte, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.darte.cz/tepelne-izolace/cedicova-vata>
- 16 Minerální izolace. Stavba - TZB-info [online]. Praha: Topinfo, c2001-2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/298-mineralni-izolace>
- 17 Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů. Stavba - TZB-info [online]. Praha: Topinfo, c2001-2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu>
- 18 Otulina PAROC Hvac Section GreyCoat. Caldo Izolacja | Materiały izolacyjne, termiczne, przeciww kondensacyjne [online]. c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.caldo-izolacja.pl/produkt/otulina-paroc-hvac-section-greycoat>
- 19 Skelná vata. Stavebniny DARTE | Darte s.r.o. [online]. Praha: Darte, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.darte.cz/tepelne-izolace/skelna-vata>
- 20 Izolace PUR, PIR a fenolická pěna. Stavba - TZB-info [online]. Praha: Topinfo, c2001-2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/299-izolace-pur-pir-a-fenolicka-pena>
- 21 Preinsulated pipes for chilled water system. In: Alfariq Trading [online]. Sharjah: Alfariq Trading, c2016-2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.alfariqtrading.com/preinsulated-pipes>
- 22 Předizolované potrubí. Polynet s.r.o [online]. Liberec: Polynet, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.polynet.cz/cz-predizolovane-potrubi-v15/>
- 23 Dodávka a montáž horkovodů a parovodů. Instalátorské práce, topenář, potrubář, voda, topení, plyn, rekonstrukce kotelen, svařování potrubí nerez, plast, ocel [online]. Kolín: GAS-PRESS service, c2016 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.gaspress.cz/parovody-potrubi-montaz.html>
- 24 Pre insulated pipe for high temperature hot water steam. In: PPSL District Heating Ltd [online]. Penzance: PPSL District Heating, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://ppsl-districtenergy.co.uk/img/pre-insulated-pipe-for-hthw-steam.jpg>

- 25 Produktový katalog předizolovaného potrubí a příslušenství. In: Uponor Infra Fintherm předizolovaného potrubí s PUR izolací [online]. Praha: Uponor Infra Fintherm, 2017 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.fintherm.cz/-/media/country-specific/czech/fintherm/download-center/cz/katalog-u-2017-cz-08.pdf>
- 26 Horkovody, parovody. In: HOMOLA a.s. [online]. Ostrava: MARF, c2013-2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.homola.as/nase-nabidka/horkovody-parovody.html>
- 27 VLACH, Josef. Zásobování teplem a teplárenství. Praha: SNTL, 1989, 543 s.
- 28 BROŽ, Karel. Zásobování teplem. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 217 s. : il. ; 29 cm. ISBN 80-01-02521-7.
- 29 POKORNÝ, Vladimír. Analýza kolektorové sítě v Praze [online]. Praha, 2017 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68670/F1-BP-2017-Pokorny-Vladimir-F1-BP-Pokorny-Vladimir-Analyza%20kolektorove%20site%20v%20Praze.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- 30 Druhy kolektorů. Technické sítě Brno, akciová společnost [online]. Brno: Technické sítě Brno, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.tsb.cz/sluzby/tsb-kolektory-brno/druhy-kolektoru/>
- 31 Chodba Dornych, Křenová. In: Technické sítě Brno, akciová společnost [online]. Brno: Technické sítě Brno, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.tsb.cz/wp-content/uploads/2016/07/chodba-dornych-krenova-1920x1285.jpg>
- 32 Montážní manuál předizolovaného potrubí. In: Uponor Infra Fintherm předizolovaného potrubí s PUR izolací - Uponor [online]. Praha: Uponor Infra Fintherm, 2017 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.fintherm.cz/-/media/country-specific/czech/fintherm/download-center/cz/uponor-infra-fintherm-montazni-manual-2017-cz.pdf>
- 33 FLEXWELL district heating cable, catalog. In: Brugg Pipesystems - Your specialist in flexible and rigid pipe system [online]. Kleindöttingen: Brugg Rohrsysteme, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: http://www.pipesystems.com/domains/pipesystems_com/data/free_docs/FHK_GB_jun_i17_2.pdf
- 34 Slider Brugg Pipesystems Rohrsysteme. In: BRUGG [online]. Brugg: Kabelwerke Brugg AG Holding, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://www.brugg.com/portal/pics/Division-Rohrsysteme/1-Slider-Brugg-Pipesystems-Rohrsysteme.jpg>

- 35 FLEXWELL district heating cable. Brugg Pipesystems - Your specialist in flexible and rigid pipe systems [online]. Kleindöttingen: Brugg Rohrsystem, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: http://www.pipesystems.com/en/Flexible_pipe_systems/FLEXWELL_district_heating_cable_FHK
- 36 Horizontal directional drilling diagram. In: Leading copper wire manufacturer | Kris-Tech Wire [online]. Rome, NY: Kris-Tech Wire, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.kristechwire.com/wp-content/uploads/2016/07/horizontal-directional-drilling-diagram.jpg>
- 37 Rozvod tepla. In: Dálkové vytápění - ekologické teplo bez starostí [online]. Praha: Teplárenské sdružení České republiky, c2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.naseteplo.cz/shared/obr.php?file=rozvod03.jpg>
- 38 Katalog projektování předizolovaného potrubí. In: Uponor Infra Fintherm předizolovaného potrubí s PUR izolací [online]. Praha: Uponor Infra Fintherm, 2015 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.fintherm.cz/-/media/country-specific/czech/fintherm/download-center/cz/uponor-infra-fintherm-designing-manual-2015-cz.pdf>
- 39 Součinitelé sálání a poměrné tepelné pohltivosti. TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. Praha: Topinfo, c2001-2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/56-soucinitele-salani-a-pomerne-tepelne-pohltivosti>
- 40 PAVELEK, Milan. Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6.
- 41 Online calculation of properties of water and steam. Peace software [online]. Berlin: Peace software, c2018 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: http://www.peacesoftware.de/einigewerte/wasser_dampf_e.html

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A VELIČIN

Symbol	Jednotka	Význam
d_1	[mm]	vnější průměr medionosné trubky
d_2	[mm]	vnější průměr trubky s izolací
d_v	[mm]	vnitřní průměr medionosného potrubí
F_{1-2}	[-]	úhlový (tvarový) součinitel
h	[m]	vzdálenost od osy potrubí k povrchu země
h_x	[kJ·kg ⁻¹]	měrná entalpie
l	[m]	délka úseku
\dot{m}	[kg·s ⁻¹]	hmotnostní tok
P	[MW]	přenášený výkon
P_p	[MW]	celkový přenášený výkon k místu spotřeby
P_v	[MW]	výkon vracející se zpět ke zdroji tepla
q	[W·m ⁻¹]	délková hustota tepelného toku
\dot{Q}	[kW]	tepelný tok zadaného úseku
\dot{Q}_{1-2}	[W]	tepelný tok zářením
\dot{Q}_z	[kW]	tepelný tok zohledňující zvýšení tepelných ztrát armaturami, podpěrami a kompenzátory
R	[m·K·W ⁻¹]	tepelný odpor
s	[mm]	osová vzdálenost přívodního a vratného potrubí
S_1	[m ²]	vnější povrch izolace
S_2	[m ²]	povrch vnitřních stěn kanálu (interiéru)
t	[mm]	tloušťka izolace
t_1	[°C]	teplota teplonosné látky
t_2	[°C]	teplota zeminy v hloubce potrubí
t_k	[°C]	odhadnutá teplota vzduchu a vnitřních stěn kanálu (interiéru)
T_k	[K]	odhadnutá termodynamická teplota vzduchu a vnitřních stěn kanálu (interiéru)
t_p	[°C]	navržená teplota na povrchu izolace

T_p	[K]	navržená termodynamická teplota na povrchu izolace
t_p'	[°C]	kontrolní teplota na povrchu izolace
w	[m·s ⁻¹]	rychlost proudění média
x	[mm]	vzdálenost mezi okraji přívodní a vratné trubky
z	[%]	podíl tepelných ztrát na přenášeném výkonu
α	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	výsledný součinitel přestupu tepla
α_k	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla konvekcí
α_z	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla zářením
δ	[-]	opravný součinitel zohledňující zvýšení tepelných ztrát armaturami, podpěrami a kompenzátory
ε_1	[-]	poměrná zářivost (emisivita) vnějšího povrchu izolace
ε_2	[-]	poměrná zářivost (emisivita) vnitřních stěn kanálu (interiéru)
λ_{iz}	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti izolace
λ_z	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti zeminy
ρ	[kg·m ⁻³]	hustota média
σ	[W·m ⁻² ·K ⁻⁴]	Stefan-Boltzmannova konstanta

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CZT	centrální (centralizované) zásobování teplem
DN	Diamètre Nominal (jmenovitý vnitřní průměr potrubí, popř. světlost potrubí)
EPS	zpěňovatelný (expandovaný) polystyren
PE	polyetylen
PIR	polyisokyanurát
PUR	polyuretan
XPS	vytláčovaný pěnový (extrudovaný) polystyren