

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

**TEPLOVODNÍ KONVEKČNÍ OTOPNÉ SOUSTAVY**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**



## Souhrn

Cílem této bakalářské práce je zmapovat jednotlivé druhy a provedení teplovodních konvekčních otopných soustav používaných v dnešní době a porovnat jejich výhody a nevýhody. U konkrétní horizontální jednotrubkové soustavy s osmi deskovými otopnými tělesy řazenými za sebou napojeny přes čtyřcestné armatury spočítat a zpracovat graficky závislost velikosti otopné plochy na součiniteli zatékání.

## Summary

The aim of this bachelor thesis is to map possibilities and design of „Hot water convective heating systems“ currently used. One of the goals is also to compare them and find advantages and disadvantages. The thesis includes calculation and graphical display of relationship between a coefficient of leaking and the size of heating surface for a horizontal single – pipe heating system with eight plate radiators serially involved.

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Teplovodní otopné soustavy konvekční“ vypracoval samostatně, pod vedením prof. Ing. Jiřího Bašty, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne.....

.....

Adam Slavík

## Poděkování

Děkuji svému vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D. za ochotu, cenné rady, podklady a čas, který mi věnoval během vypracování této závěrečné práce. Dále také děkuji své rodině a svým blízkým za podporu a povzbuzování během celého studia.

# Obsah

<b>Seznam použitých symbolů a zkratk</b> .....	<b>8</b>
<b>1. Úvod</b> .....	<b>11</b>
<b>2. Teoretická část</b> .....	<b>12</b>
2.1 Historický vývoj vytápění .....	12
2.2 Základy vytápění .....	17
2.3 Popis teplovodních (konvekčních) otopných soustav .....	18
2.4 Požadavky na OS .....	19
2.5 Dělení teplovodních otopných soustav .....	22
2.6 Oběh vody v soustavě .....	23
2.6.1 Přirozený oběh .....	23
2.6.2 Nucený oběh .....	24
2.7 Hlavní ležatý rozvod otopné vody .....	26
2.7.1 Soustava se spodním rozvodem .....	26
2.7.2 Soustava s horním rozvodem .....	27
2.7.3 Soustava s kombinovaným rozvodem .....	28
2.7.4 Etážová soustava .....	28
2.8 Rozvod otopné vody k jednotlivým otopným tělesům .....	29
2.8.1 Horizontální soustava .....	29
2.8.2 Vertikální soustava .....	29
2.8.3 Hvězdicová soustava .....	30
2.9 Způsob přívodu a odvodu otopné vody k/z otopným tělesům .....	31
2.9.1 Dvoutrubkové soustavy .....	31
2.9.2 Jednotrubkové soustavy .....	33
2.10 Spojení s atmosférou .....	37
2.10.1 Otevřená soustava .....	37

2.10.2	Uzavřená soustava .....	38
2.11	Materiál.....	39
2.11.1	Potrubí z oceli .....	40
2.11.2	Potrubí z mědi.....	40
2.11.3	Potrubí z plastů .....	41
<b>3.</b>	<b>Praktická část.....</b>	<b>43</b>
<b>4.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>52</b>
<b>5.</b>	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>54</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>57</b>

## Seznam použitých symbolů a zkratek

### Symboly:

Značení	Význam	Jednotky
$H_{\xi}$	dopravní výška čerpadla	[m]
$M_o$	hmotnostní průtok okruhu	[kg/s]
$M_T$	hmotnostní průtok OT	[kg/s]
$P$	jmenovitý výkon čerpadla	[W]
$Q_N$	jmenovitý výkon	[W]
$Q_{it}$	součet výkonů těles před zkoumaným tělesem	[W]
$Q_o$	výkon celého okruhu	[W]
$Q_s$	skutečný výkon OT	[W]
$R$	tepelný odpor oděvu	[m <sup>2</sup> ·K/W]
$S_N$	jmenovitá teplosměnná plocha OT	[m <sup>2</sup> ]
$S$	skutečná teplosměnná plocha	[m <sup>2</sup> ]
$V_{\xi}$	dopravní množství čerpadla	[m <sup>3</sup> /s]
$V_{EN,T}$	objem tlakové nádoby	[m <sup>3</sup> ]
$V_{eo}$	objem otevřené expanzní nádoby	[m <sup>3</sup> ]
$V_s$	objem vody v otopné soustavě	[m <sup>3</sup> ]
$c$	měrná tepelná kapacita H <sub>2</sub> O	[J/kg·K]
$d$	průměr	[m]
$g$	tíhové zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
$h$	dopravní výška	[m]
$k$	absolutní drsnost	[m]



$n$	součinitel zvětšení objemu	[-]
$n$	teplotní exponent	[-]
pH	zásaditost/kyselost	[-]
$\Delta p$	celkový přetlak soustavy	[Pa]
$\Delta p_{\check{c}}$	dopravní tlak čerpadla	[Pa]
$\Delta p_{DISP}$	dispoziční rozdíl tlaků	[Pa]
$\Delta p_{\rho}$	účinný vztlak vyvolaný rozdílem hustot	[Pa]
$\dot{g}$	celkový tepelný tok	[W/m <sup>2</sup> ]
$\dot{g}_d$	tepelný tok dýcháním	[W/m <sup>2</sup> ]
$\dot{g}_k$	tepelný tok konvekcí	[W/m <sup>2</sup> ]
$\dot{g}_m$	metabolický tepelný tok	[W/m <sup>2</sup> ]
$\dot{g}_s$	tepelný tok sáláním	[W/m <sup>2</sup> ]
$\dot{g}_v$	tepelný tok vedením	[W/m <sup>2</sup> ]
$\dot{g}_w$	tepelný tok vypařováním	[W/m <sup>2</sup> ]
$t_i$	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
$t_{iN}$	jmenovitá vnitřní výpočtová teplota	[°C]
$t_k$	teplota kůže	[°C]
$t_m$	střední teplota na tělese	[°C]
$t_{mN}$	střední jmenovitá teplota na tělese	[°C]
$t_p$	teplota na povrchu oděvu	[°C]
$t_1$	teplota přívodní vody	[°C]
$t_2$	teplota zpátečky	[°C]
$\theta$	ochlazení vody v okruhu na jednotku výkonu	[K/W]
$\alpha$	součinitel teplotní roztažnosti	[1/K]

$\alpha_T$	součinitel zatékání	[-]
$\delta_{tT}$	teplotní spád na tělese	[K]
$\delta_{to}$	teplotní spád na okruhu	[K]
$\lambda$	součinitel třecích ztrát	[-]
$n$	mechanický výkon	[W/m <sup>2</sup> ]
$\eta$	účinnost čerpadla	[-]
$\eta$	stupeň využití expanzní nádoby	[-]
$\rho$	hustota teplotnosné látky	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_p$	hustota vody přívodní	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_z$	hustota vody vratné	[kg/m <sup>3</sup> ]

**Zkratky:**

DN – jmenovitý průměr

EN – expanzní nádoba

OČ – oběhové čerpadlo

OS – otopná soustava

OT – otopné těleso

PjV – pojistný ventil

VK – vypouštěcí kohout

K – kotel

# 1. Úvod

Člověk se od počátku svého věku snaží zdokonalit a zpříjemnit tepelné prostředí svého obydlí. V zimě nechce, aby mu bylo chladno a v létě zase příliš horko. Tato problematika, tj. problematika zajištění tepelné pohody ve vytápěném prostoru v zimním období je předmětem studia vytápění, jednoho z hlavních pilířů oboru Techniky prostředí. Způsobů nebo systémů, kterými lze zajistit tepelnou pohodu je celá řada. V této práci se budu zabývat jedním systémem, resp. soustavou, kterou všichni dobře známe, a kterou lidstvo hojně využívá již po celá staletí. Jedná se o teplovodní vytápění, konkrétně o teplovodní konvekční otopnou soustavu.

V první části práce se věnuji historii vytápění a legislativě otopných soustav (OS). Hlavním cílem teoretické části práce je popis a srovnání konstrukčních řešení otopných soustav. Například zda se jedná o jednotrubkové nebo dvoutrubkové, horizontální nebo vertikální, souproudé nebo protiproudé provedení OS. Jednotlivé druhy OS jsou stručně popsány v rámci kapitol, kde uvádím funkční princip, výhody a nevýhody OS a doplňuji vlastními vytvořenými schémata. Vedle konstrukčního řešení OS se čtenář dozví i něco o materiálech používaných v tepelné technice nebo způsobech zabezpečení a regulace OS.

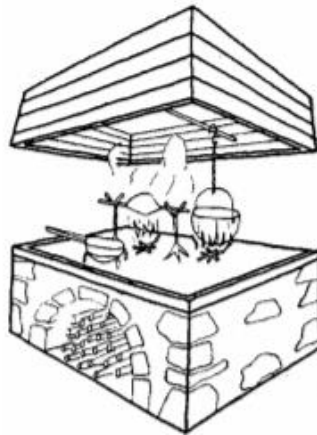
V praktické části se věnuji aktuální problematice jednotrubkové horizontální otopné soustavy s otopnými tělesy napojenými přes čtyřcestné směšovací armatury. U této OS je zajímavé zkoumat proměnlivost vstupních teplot otopné vody proudící do OT v hydraulické řadě za sebou. Kromě proměnných teplot otopné vody, proudící do OT, se zaměříme také na závislost velikosti teplosměnné plochy otopného tělesa (OT) a pořadového čísla umístění OT od zdroje tepla. Budeme pozorovat, jak se soustava bude chovat, když nastavíme na čtyřcestné směšovací armatuře součinitele zatékání do OT  $\alpha_T = 0,5$  a  $\alpha_T = 0,35$ . Veškeré výsledky budou číselně a graficky vyhodnoceny.

## 2. Teoretická část

### 2.1 Historický vývoj vytápění

#### První způsoby vytápění otevřeným ohništěm a krbem

Od počátku našeho letopočtu (n.l.) do Středověku lidé ve Střední Evropě znali pouze jeden druh vytápění a tím byla otevřená ohniště. Nacházela se uvnitř dřevěných staveb. Bylo nutno dbát veliké opatrnosti před vznikem požáru. Z důvodu bezpečnosti se postupem času pod ohniště postavila nízká podezdívka z kamene a hlíny a nad ohniště se zavěsila stříška ze silných prken, které měly zachytit vylétající jiskry a zajistit odvod kouře. Spaliny buď nebyly odváděny z místnosti vůbec, nebo přes dřevěnou stříšku na půdu a netěsnostmi střechy do okolí. Přes noc byl oheň přikrytý kovovým poklopem, jednak kvůli bezpečnosti a aby nevyhasl.



Obr. 1 Otevřené ohniště s dřevěnou stříškou pro zachycení jisker a kouře [1]

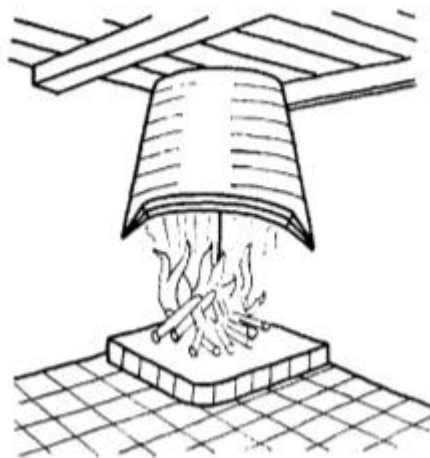
#### Krby

Na pomezí 10. století n.l. se objevilo vylepšené řešení otevřeného ohniště v podobě kamenných a později keramických krbů, které už měly první primitivní odvody spalin. V místnostech vytápěných krbem (italsky „caminata“), se krb nacházel u stěn, odkud se nejspíše odváděl kouř ke stropu podél stěny a posléze z budovy ven do okolí. Později se krby obkládaly mramorovými deskami a byly zdobeny plastikami. V Evropě však krby nenašly veliké uplatnění. Klimaticky horší podmínky nebyl krb schopen zvládnout a dostatečně tak vytopit větší místnosti. O výraznou inovaci krbů se zasloužil mimo jiných také Benjamin Franklin, který instalací dvou kovových desek seškrtl přebytečný tah komína a položil tak základy pro regulaci jeho tahu. Ani ve 20. století krby neklesly na popularitě. Sloužily zejména jako reprezentativní prvek významných místností.

Krby můžeme vidět i v dnešní době. Vyrábí se převážně zděné, plynové nebo ocelové a slouží kromě k vytápění také jako estetický doplněk interiéru.

## **Kamna**

Snaha oddělit zařízení k vaření a vytápění přispělo ke vzniku prvních uzavřených pecí neboli kamen. První zmínky o kamnech sahají do období 10. století. Stavěla se nejdříve kamenná a pak hliněná. Pro zlepšení vzhledu prvních kamen se natírala vápnem a obkládala pestrými ornamenty. Na přelomu 14. a 15. století v období Renesance vývoj kamen značně pokročil a kamna se začala vyrábět v mnoha různých provedeních. Dělí se na bytová (kachlová), litinová, ocelová bez přizdívky nebo etážová. Bytová kamna topila rovnoměrně s poměrně dobrou setrvačností a s nízkou povrchovou teplotou. Bytová kamna však vyžadovala poměrně složitější obsluhu. Litinová kamna se vyznačovala nedokonalým spalováním, vysokými povrchovými teplotami a intenzivním sáláním, ale malou setrvačností. Místnosti se snadno přetopily, a když se včas nepřiložilo, tak kamna rychle vyhasla. Problémem kamen byla snižující se relativní vlhkost vzduchu při vyšších teplotách. Obdivuhodné je, že už tehdy lidé používali zvlhčovače vzduchu (voda odpařující se z misky na kamnech).



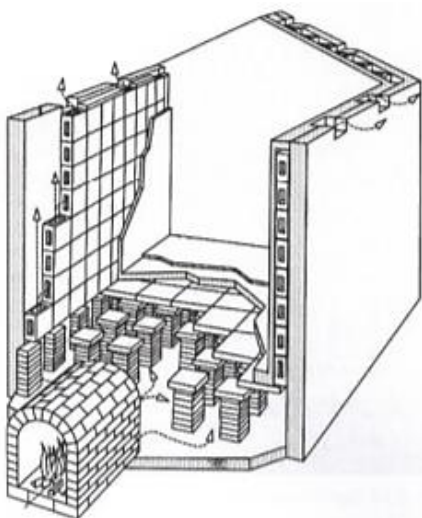
*Obr. 2 Krb [1]*



Obr. 3 Kachlová kamna [22]

### Vytápění ve starověkém Římě a Číně

Ve starověkém Římě stavitel jménem C. Sergius Orata vynalezl vytápění **hypokaustové**. Jednalo se o kombinovaný systém vytápění „teplovzdušného“ (ústředního) a podlahového, kde byly horké spaliny vedeny podzemními, podlahovými prostory pomocí vyzděných kanálků pod velké vily a lázně. Spaliny byly z budovy odváděny otvory podobný komínu nebo dutinami svislých stěn, čímž byly vytápěny ještě stěny. Výhodou bylo umístění zdroje tepla, který byl mimo vytápěnou místnost.



Obr. 4 Starořímské hypokaustum [2]

Hypokaustový způsob vytápění si obyčejní lidé nemohli dovolit. Šlo o velmi drahou záležitost, a proto si vyrobili ohřívací přenosná kamínka. Kamínka byla z oceli nebo bronzu a topilo se v nich dřevěným uhlím. V kamínkách se mimo místnost zapálilo palivo a až se pořádně rozhořelo, kamínka se uzavřela a přenesla do vytápěné místnosti. Přetrvávalo zde bohužel možné riziko otravy spalinami, když místnost nebyla řádně větrána [1, 2].

Velmi podobně propracovaný systém vytápění vznikl nezávisle v Číně. Vytápění **Kang** svou konstrukcí v celku odpovídá hypokastovému způsobu jen s tím rozdílem, že místo zděných kanálů se zde využívalo keramických desek položených na nízkých sloupcích pod podlahou.

### **Vytápění teplým vzduchem**

Vytápění teplým vzduchem bylo takovým prvním přechodem od vytápění kouřovými plyny. Nejednalo se o kontinuální vytápění ale o vytápění rekuperační. Princip spočíval v nahřátí velkých akumulčních kamenů nad pecí a následný přívod venkovního vzduchu vedený přes akumulční kameny do vytápěných místností. Palivo se nechalo zcela vyhořet a uzavřela se přepážka v odtahu kouřových spalin do komínu. Zdokonalení přinesl vídeňský inženýr Meissner, kdy vzduch do ohřívací komory už nebyl přiváděn z venku, ale vzduchovými kanály pro vratný chladnější vzduch při podlaze vytápěné místnosti. Ohřátý vzduch byl přiváděn zhruba v polovině výšky místnosti. Meissner tak dosáhl přirozené cirkulace vzduchu, kdy teplejší vzduch stoupal vzhůru a chladný naopak padal k zemi. Za zdroj tepla se v tomto systému volily takzvané kalorifery (ohňové, parní, vodní). Svým způsobem šlo o ocelová nebo litinová kamna s největším možným povrchem. Bylo nutné také zajistit dostatečné množství ohřivaného vzduchu.

### **Vytápění parou**

První experimenty s vytápěním parou uskutečnil údajně William Cook roku 1745, kdy využil teplo uvolňující se při kondenzaci páry. Roku 1770 James Watt sestrojil pro svou továrnu a dům první skutečný parní aparát pro vytápění. Zprvu využíval tlakovou páru produkovanou přímo v kotli a pak přešel k využití beztlakové výfukové páry z hnacího stroje. Výše uvedené informace nejsou bohužel ničím doložitelné.

Princip je založen na proudění páry vyprodukované ve zdroji tepla (kotel) otopnými tělesy, kde při kondenzaci pára odevzdává teplo do okolí. Vzniklý kondenzát se odvádí z otopných těles zpět ke zdroji a proces se opakuje. Parní vytápění rozlišujeme nízkotlaké, středotlaké a vysokotlaké. Své uplatnění mělo hlavně ve velikých halách, kudy vedlo potrubí na dlouhé vzdálenosti. Přívod páry se musel redukovat z důvodu bezpečnosti a vysokých teplot, které znemožňovaly tehdejší tepelnou pohodu v místnostech. Největší výhodou parního vytápění byl rychlý zátop a časově nenáročná obsluha.

## Vytápění teplou vodou

Na základě různých teorií a historických vykopávek se historici domnívají, že teplovodní otopný systém byl využíván už před dvěma tisíci lety, kdy termální vřídla zahřívala kovové desky, které lze přirovnat k dnešním otopným tělesům. Nálezy z počátku našeho letopočtu z území Anglie odhalují konstrukci tehdejších lázní, kde se v podlaze nacházely keramické trubky, kudy pravděpodobně proudila vřídelní voda. Nicméně zásluhy za první teplovodní vytápěcí systém patří francouzskému fyzikovi Bonnemainovi. Jako první sestavil roku 1777 kompletní teplovodní otopnou soustavu, a to s prvky, které soustava obsahuje i dnes jako kotel, rozvodné potrubí, expanzní nádobu a otopná tělesa.

Vytápění teplou vodou dělíme na nízkoteplotní (do 65 °C), teplovodní (do 110 °C) a horkovodní (nad 110 °C). Ohřátá voda proudí od zdroje tepla k otopným tělesům, kde je ochlazována a prouděním a sáláním z vnějšího povrchu předává svou energii do vytápěné místnosti. V druhé polovině 19. století se hojně rozšířilo teplovodní ústřední vytápění ve Spojených státech, kde byla vynaleznuta litinová OT, která se později rozšířila i do Evropy. V Evropě toho času dominoval ještě parní způsob vytápění, ale se stále nově přicházejícími vynálezy (expanzní nádoba, dvoutrubkový rozvod, nucený oběh apod.), postupně teplovodní vytápění začalo nabírat na otáčkách. Vývoj teplovodních systémů přinesl značné změny v regulacích výkonu zdroje tepla a dosažení požadované tepelné pohody s větší přesností. Teplovodní vytápění překonávalo stávající způsoby vytápění lepšími hygienickými a bezpečnostními kritérii. Navíc oproti páře jsme byli schopni teplonosnou látku dopravovat na mnohem větší vzdálenosti.

## Ústřední vytápění

Ústřední vytápění se začalo hojně využívat hlavně po skončení první světové války, kdy vzniklo najednou obrovské množství nových firem a závodů. Doposud se upřednostňovaly vyspělé lokální nízkotlaké parní a teplovodní systémy, ale s narůstajícím počtem nových energeticky náročných továren se přechází na ústřední vytápění. V roce 1935 se v Čechách objevuje první stropní sálavé vytápění zvané Crittal. Tato technika spočívala v zabetonování trubek vedoucí teplonosnou látku do stropu nebo dokonce i do stropních panelů u více podlažních a rozlehlých budov. S příchodem stropního vytápění přichází i podlahové vytápění, které zprvu nachází uplatnění v menších a památkových stavbách [1].



## 2.2 Základy vytápění

### Pohoda prostředí a tepelná pohoda

Pohoda prostředí je určitý stav prostředí umožňující člověku bez tělesných či duševních problémů žít, tj. stav kdy se člověk nachází v takovém prostředí, které je natolik vyvážené, že si ho ani neuvědomuje. Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující prostředí patří:

- teplota vzduchu a okolních ploch
- rychlost proudění vzduchu
- vlhkost, tepelně izolační vlastnosti oděvu
- koncentrace škodlivin, hladina akustického tlaku, intenzita osvětlení
- tepelné toky

Pohodu prostředí ovlivňují mimo jiné i takové činitele, které pro zákazníky nejsme schopni změnit. Jedná se například o stres, duševní nerovnováhu, frustraci apod. Na pohodu prostředí mohou mít vliv i zvyky a různorodé nároky jednotlivce. Úkolem je najít takové kompromisní řešení, které bude splňovat normy a zároveň uspokojí maximum jednotlivců. Je experimentálně dokázáno, že ať se, jakkoliv vynasnažíme pro zajištění maximálního komfortu, vždy se najdou tací, kterým daný stav nevyhovuje. Jedná se přibližně o 5 % populace.

Tepelná pohoda je jeden z vjemů, který určuje pohodu prostředí. Je dána faktory jak člověka, jako např. jeho činnost (metabolické teplo) nebo tepelný odpor oděvu, tak také faktory ovlivňující pohodu prostředí (teplota vzduchu, vlhkost atd...). Jednoduše řečeno je to určitý stav, kdy námi vyprodukované teplo je odváděno bez viditelného pocení do okolí [1, 3].

Obecně jsou všechny tyto faktory popsány rovnicemi (1) a (2). Jejich součtem získáváme rovnici tepelné pohody.

Rovnice (1) je **rovnice tepelné rovnováhy člověka**,

$$\dot{q} = \dot{q}_m - n = \dot{q}_k \pm \dot{q}_s + \dot{q}_w + \dot{q}_d \pm \dot{q}_v, \quad (1)$$

kde:

$\dot{q}$	je	celkový tepelný tok [W/m <sup>2</sup> ];
$\dot{q}_m$		metabolický tepelný tok [W/m <sup>2</sup> ];
$n$		mechanický výkon – tvoří cca 10 % z $\dot{q}_m$ [W/m <sup>2</sup> ];
$\dot{q}_k$		tepelný tok konvekcí [W/m <sup>2</sup> ];
$\dot{q}_s$		tepelný tok sáláním [W/m <sup>2</sup> ];
$\dot{q}_w$		tepelný tok vypařováním [W/m <sup>2</sup> ];
$\dot{q}_d$		tepelný tok dýcháním [W/m <sup>2</sup> ];
$\dot{q}_v$		tepelný tok vedením [W/m <sup>2</sup> ].

Rovnice (2) je **rovnice toku tepla oděvem**,

$$\dot{q}_k + \dot{q}_s = \frac{1}{R} \cdot (t_k - t_p), \quad (2)$$

kde:

$\dot{q}_k$	je	tepelný tok konvekcí [W/m <sup>2</sup> ];
$\dot{q}_s$		tepelný tok sáláním [W/m <sup>2</sup> ];
$R$		tepelný odpor oděvu [m <sup>2</sup> ·K/W];
$t_k$		teplota kůže [°C];
$t_p$		teplota na povrchu oděvu [°C];

### 2.3 Popis teplovodních (konvekčních) otopných soustav

Teplovodní konvekční otopné soustavy (OS) spadají do soustav ústředního, popř. etážového vytápění, kde teplonosnou látkou je otopná voda s nejvyšší pracovní teplotou 110 °C. OS je tvořena hlavními prvky – zdroj tepla, potrubní síť, pojistné a zabezpečovací zařízení, čerpadla, armatury, regulační prvky a samozřejmě spotřebiče tepla (otopná tělesa – OT). Jejím úkolem je přenos tepla od zdroje do předem navržených vytápěných prostorů. Poskytuje nám tedy určitý teplotní a tepelný stav či pohodlí ve vytápěných prostorech.

Teplonosná látka (v tomto případě voda) přivádí teplo do otopné plochy. Ta sdílí teplo konvekcí a sáláním. U převážně sálavého způsobu vytápění převažuje sdílení tepla sáláním. Konvekční soustavy jsou stále nejrozšířenějším typem OS.

Projektování a návrh OS se dělí na dvě fáze. V první fázi se vytvoří návrh potrubních tras a parametrů potrubí uzpůsobených konkrétnímu objektu. Ve druhé fázi se provede hydraulický výpočet a zaregulování kompletní soustavy.

Samotný návrh OS je definován určitými parametry (geometrické, teplotní, tlakové a materiálové) a musí splňovat příslušné požadavky [4, 5, 6].

## 2.4 Požadavky na OS

### Požadavek na splnění platných norem a předpisů

Při projektování se řídíme základními technickými normami ČSN.

Základní normy jsou:

- ČSN 38 3350 - Zásobování teplem, všeobecné zásady
- ČSN 06 0310 - Tepelné soustavy v budovách – Projektování a montáž
- ČSN 06 1101 - Otopná tělesa pro ústřední vytápění
- ČSN 06 0830 - Tepelné soustavy v budovách – Zabezpečovací zařízení
- ČSN 01 3452 - Technické výkresy – Instalace – Vytápění a chlazení
- ČSN 73 0540 - Tepelná ochrana budov
- ČSN EN 12828 - Navrhování teplovodních tepelných soustav
- ČSN EN 12831 - Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu
- ČSN EN ISO 4126 - Bezpečnostní pojistná zařízení proti nadměrnému tlaku

Provedení musí být takové, aby bylo v souladu s normami a zároveň s optimální ekonomikou pořizovacích a provozních nákladů při současném dodržení technologické dokonalosti, tj. snadná a levná údržba [5].

### Požadavek z hlediska zdroje tepla a návazných technických zařízení

Kvůli nízkoteplotní korozi napadající kotel (plynový, olejový) je nezbytné zajistit takovou teplotu vratné vody, aby neklesla pod teplotu rosného bodu, a to v průběhu celého otopného období. Vodní pára obsažená ve spalinách kondenzuje a způsobuje tak korozi ocelových částí kotle. Výjimkou jsou nízkoteplotní a kondenzační kotle. Nutno také vzít v úvahu návazná technická zařízení pro přípravu teplé vody a vzduchotechniku [5, 7].

### **Požadavky z hlediska teplotní látky**

Dle normy ČSN 06 0310 označujeme teplotní látku (nejčastěji voda) za vhodnou tzn. nepřekračující 110 °C. Výpočtové teplotní parametry se odvíjí od typu vytápěné budovy, druhu OS a jejího zabezpečovacího provedení a také funkčních prvků soustavy (OT, čerpadla, regulační prvky apod.).

Teplotní parametry musí splňovat hygienické požadavky na hygienicky přípustné střední teploty otopných těles. S ohledem na bezpečnost jsou zavedeny maximální přípustné povrchové teploty otopných těles a potrubí. Požadavek vyhlášky č. 193/2007 Sb. určuje maximální vstupní teplotu do otopného tělesa 75 °C. Parametry jsou odlišné pro jednotrubkové a dvoutrubkové OS. V „klasických“ OS se nejčastěji setkáváme s teplotními spády v těchto poměrech: 90/70, 80/60, 70/50 °C. Díky zlepšujícím se tepelně-technickým vlastnostem konstrukcí, se snižují tepelné ztráty, a proto se upouští od vysokých teplot. U nízkoteplotních OS, tj. soustav pod 65 °C jsou spády např.: 50/45, 45/35, 35/25 °C.

### **Požadavek z hlediska zajištění bezpečnosti provozu**

Každý funkční prvek OS musí být navržen tak, aby byl schopen čelit nejvyššímu pracovnímu přetlaku a nejvyšší pracovní teplotě v příslušné části OS. Tlaková odolnost je dána dovoleným pracovním přetlakem s ohledem na všechny funkční prvky. OS musí být také chráněna proti zamrznutí při jakémkoli pracovním režimu, i když je OS mimo provoz. Voda při tuhnutí zvětšuje svůj objem přibližně o 9 %. Vlivem tvorby ledu v uzavřeném potrubí by mohlo dojít k jejímu poškození a následnému úniku vody ze soustavy.

Zabránit zamrznutí vody v potrubích, nádržích apod. lze provádět:

- pasivně-tepelnou izolací
- aktivně-přívodem stejného množství tepla jako tepla odváděného do okolí
- chemickou přísadou, snižující bod tuhnutí vody

### **Požadavek z hlediska zajištění hydraulické a tepelné stability**

Důležitým faktorem při návrhu a provedení OS je zajištění hydraulické a tepelné stability. Požadujeme stabilitu v horizontálním a vertikálním směru za účelem dosažení optimální technické a ekonomické efektivity. Stabilitu dosahujeme dynamickým způsobem pomocí regulačních armatur a zároveň statickým způsobem tzv. hydraulickým vyvážením OS. [5, 1].

### **Požadavek z hlediska energetického provozování**

Při návrhu OS se vždy snažíme, aby provoz byl co nejúčinnější a energeticky co nejúspornější. Docílit toho lze vhodnou hydraulickou a tepelnou regulací jako např.: vytápění na požadované hodnoty, tlumený noční provoz, maximální využití vnitřních a vnějších tepelných zisků nebo snížení tepelných ztrát potrubí vedených mimo vytápěné prostory. Neméně důležité je také měření spotřeby tepla vhodnými měřicími přístroji pro monitorování změn a aktuálních stavů [5].

### **Požadavek z hlediska antikorozní a antiinkrustační ochrany**

OS a jejich prvky jsou nejčastěji napadány korozi a vytvářením vodního (kotelního) kamene. Těmto nepříznivým vlivům je nutno zabránit a vyhnout se tak negativním dopadům jako zkrácení životnosti materiálů a jejich následnou destrukci nebo poškození jednotlivých prvků OS.

**Antikorozní ochrana** je opatření proti „venkovní“ a „vnitřní“ korozi. Mezi hlavní činitele koroze patří vlhkost, sádra, přísady v betonu, násypné izolace atd. Jedná se o činitele venkovní koroze. Nás také ale zajímá vnitřní koroze, která vzniká v důsledku rozpouštění  $O_2$  (kyslík) v otopné vodě. Proces rozpouštění  $O_2$  lze omezit:

- Zajištěním přetlaku v celé OS proti atmosféře
- Vhodný tvar otevřené expanzní nádoby (tj. stojatý), aby plocha hladiny vody ve styku se vzduchem byla co nejmenší
- U uzavřených OS předejít většímu kolísání teplot otopné vody
- Dodržení maximálních rychlostí otopné vody v potrubí

*„Vodovodní voda obsahuje asi 8 mg  $O_2$ /l. Jeden gram  $O_2$  zkoroduje 2,6 gramu Fe (železo).“ [5]* Důležité jsou také vlastnosti a kvalita otopné vody dle normy ČSN 07 7401. Otopnou vodu je nutno upravit na vhodnou hodnotu pH vzhledem k materiálu potrubí.

**Antiinkrustační ochrana** slouží k zamezení tvorby kotelního kamene. Kotelní kámen je usazenina minerálů vylučující se ve formě pevného povlaku na stěnách potrubí, kde dochází k varu tvrdé vody. Kotelní kámen snižuje tepelnou vodivost a celkovou účinnost OS. Pro odstranění kotelního kamene se využívá změkčovadel vody nebo elektrolytické úpravy. Zajímavá je metoda „Krafting“, kde se vodní kámen odstraňuje pomocí magnetické komory [5, 8].

## 2.5 Dělení teplovodních otopných soustav

Teplovodní otopné soustavy lze rozdělit do těchto skupin:

- Dělení podle oběhu otopné vody:
  - Soustavy s přirozeným oběhem
  - Soustavy s nuceným oběhem
  
- Dělení podle provedení hlavního rozvodu otopné vody
  - Soustavy se spodním rozvodem
  - Soustavy s horním rozvodem
  - Soustavy kombinované
  
- Dělení podle rozvodu otopné vody k jednotlivým otopným tělesům
  - Soustavy vertikální
  - Soustavy horizontální
  - Soustavy hvězdicové
  
- Dělení podle způsobu přívodu a odvodu otopné vody z/k otopným tělesům
  - Dvoutrubkové protiproudé
  - Dvoutrubkové souproudé
  - Jednotrubkové bez obtoků otopných těles
  - Jednotrubkové s obtoky otopných těles
  
- Dělení podle spojení s atmosférou
  - Teplovodní otopné soustavy otevřené
  - Teplovodní otopné soustavy uzavřené
  
- Dělení podle materiálu potrubního rozvodu
  - Potrubní rozvod z oceli
  - Potrubní rozvod z mědi
  - Potrubní rozvod z plastů [4]

## 2.6 Oběh vody v soustavě

Oběh otopné vody v soustavě přenáší pomocí potrubního systému tepelnou energii uloženou v teplotně nosné látce (vodě) od zdroje tepla k otopným tělesům. Zároveň také odvádí ochlazenou vodu z otopných těles zpět ke zdroji. Základním principem oběhu vody je rozdíl dispozičních tlaků v potrubní síti  $\Delta p_{DISP}$ , tj. rozdíl celkových tlaků způsobených rozdílem hustot vody nebo dopravním tlakem čerpadla. Rozlišujeme dva typy oběhů, a to oběh přirozený a nucený.

### 2.6.1 Přirozený oběh

Přirozený též nazýván „samotížný“ oběh je založen na rozdílech hustot vody přírodní (teplé) a vratné (ochlazené). Voda ve vratném potrubí má nižší teplotu a větší hustotu než voda v přírodním potrubí. Tento rozdíl hustot se projeví větším hydrostatickým tlakem ( $h \cdot \rho \cdot g$ ) ze strany vratné vody v kotli. Nutným požadavkem přirozeného oběhu je tedy ohřívání vody ve zdroji a zároveň průběžné ochlazování v otopných tělesech. Pokud je vzniklý tlak v rovnováze se vznikajícími tlakovými ztrátami voda, v okruhu kotel – otopná tělesa – kotel začne kolovat samovolně. Docílili jsme tak oběhu vody bez vnějšího zásahu, tj. přirozeně. OS s přirozeným oběhem je výhodné aplikovat u budov menší půdorysné rozlohy s velkými výškovými rozdíly mezi zdrojem tepla a otopnými tělesy s ohledem na zajištění dostatečného vztlaku. Nedostatečný výškový rozdíl nevyvine potřebný vztlak a na druhou stranu příliš velká půdorysná rozlehlost přináší narůstající tlakové ztráty. V praxi to znamená, že kotel bude umístěn v nejnižším možném podlaží a otopná tělesa vždy nad ním. Odpory jsou redukovány většími světlostmi trubek (rychlost proudění 0,1 až 0,2 m/s) a instalací nízkoodporových armatur (kohouty, šoupátka). Teplotní spád se z důvodu dostatečného vztlaku volí 90/70 °C.

Účinný tlak (přirozený vztlak)  $\Delta p_\rho$  je určen vztahem,

$$\Delta p_\rho = g \cdot h \cdot (\rho_z - \rho_p), \quad (3)$$

kde:

$\Delta p_\rho$  je účinný tlak [Pa];

$g$  tíhové zrychlení [ $\text{m/s}^2$ ];

$h$  rozdíl výšky os kotle a otopného tělesa [m];

$\rho_z$  hustota vody vratné [ $\text{kg/m}^3$ ];

$\rho_p$  hustota vody přívodní [ $\text{kg/m}^3$ ].

Přirozený oběh můžeme najít v rodinných domcích s menšími tepelnými příkony, kde není přívod elektrické energie, a to v provedení dvoutrubkové soustavy s hlavním horizontálním rozvodem horním nebo spodním. Jedna z velkých výhod přirozeného oběhu je právě nezávislost na elektrické energii. Soustava je konstrukčně jednoduchá a nenáročná na obsluhu. Příznivou vlastností je také minimální hlučnost. Přirozený oběh se navrhuje pro kotelny na tuhá paliva o výkonu nepřekračujícím 200 kW. Je u nich zajištěn pravidelný odběr tepla. Nevýhodou je velká setrvačnost, špatná regulace, potřeba přesného dimenzování a pomalý zátop [4, 5, 7, 9, 10].

### 2.6.2 Nucený oběh

V rozsáhlých půdorysných budovách s většími nároky na tepelný příkon si mnohdy už nevystačíme s přirozeným oběhem. Průměry potrubí už nechceme rozšiřovat jednak kvůli narůstající ceně a z estetického důvodu. V tu chvíli přistupujeme k nucenému oběhu, který k dosažení potřebného dispozičního rozdílu tlaků využívá oběhových čerpadel. Pomocí čerpadel lze překonávat mnohonásobně větší tlakové ztráty komplikovaných potrubních systémů. Dříve se čerpadla instalovala do vratného potrubí z důvodu nižší teploty namáhání na straně čerpadla. Dnes se upřednostňuje instalování do přívodního potrubí z důvodu lepšího rozložení tlaků v potrubí. Relativní přetlak soustavy zabraňuje riziku přísávání vzduchu do soustavy netěsnostmi v potrubním systému. Vždy je potřeba zajistit přetlak vůči atmosféře. Minimální přetlak pro čerpadlo na sací straně je uváděn výrobcem. Tento přetlak by měl každý projektant vzít v úvahu při navrhování OS. Nebude-li dostatečný přetlak na sací straně čerpadla, je čerpadlo vystaveno nebezpečí jevu kavitace v důsledku tlakové diference na sací a výtlačné straně. Poklesem tlaku v čerpadle pod hodnotu tlaku sytých par by se začaly vytvářet parní



bublínky, které mohou čerpadlo poničit. Moderní čerpadla jsou dimenzována na teplotní odolnost do 120 °C.

Nucený oběh má řady výhod oproti oběhu přirozenému. Menší jmenovité světlosti potrubí DN (Diametre nominal) přináší vyšší rychlosti proudění a zdolání vyšších tlakových ztrát. Díky menším světlostem potrubí se objem vody v soustavě sníží a s ním i doba zátopy. Pořízení čerpadla nám umožní celý oběh regulovat a rovněž snížit finanční náklady na potrubní síť (menší průměry trubek, montáž). Nejsme oproti přirozenému oběhu limitováni umístěním zdroje tepla a otopných ploch, které lze instalovat na úroveň nebo dokonce pod úroveň osy zdroje tepla.

Nevýhodou nuceného oběhu je neustálé dodávání elektrické energie. V případě výpadku elektrického proudu, poruchy nebo vyřazení některého z čerpadel se někdy oběh vody zajišťuje paralelními obtoky čerpadel a soustava se dimenzuje volně. Pořízení čerpadla zvyšuje finanční náklady na provoz a také přináší riziko možného hluku v potrubí. Hluk lze redukovat separováním čerpadla od potrubí pryžovými kompenzátory [4, 5].

Dispoziční rozdíl tlaků soustavy s nuceným oběhem je dán vztahem,

$$\Delta p_{DISP} = \Delta p_{\check{c}} + \Delta p_{\rho}, \quad (1)$$

kde:

$\Delta p_{DISP}$  je celkový tlak soustavy [Pa];

$\Delta p_{\check{c}}$  dopravní tlak čerpadla [Pa];

$\Delta p_{\rho}$  účinný vztlak vyvolaný rozdílem hustot [Pa].

Pro získání potřebného výkonu čerpadla se využívá vztahu,

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot V_{\check{c}} \cdot H_{\check{c}}}{\eta} = \frac{\Delta p_{\check{c}} \cdot V_{\check{c}}}{\eta}, \quad (2)$$

kde:

$P$  je jmenovitý výkon čerpadla [W];

$\Delta p_{\check{c}}$  dopravní tlak čerpadla [Pa];

$\rho$  hustota teplotnosné látky [kg/m<sup>3</sup>];

$g$  tíhové zrychlení [m/s<sup>2</sup>];

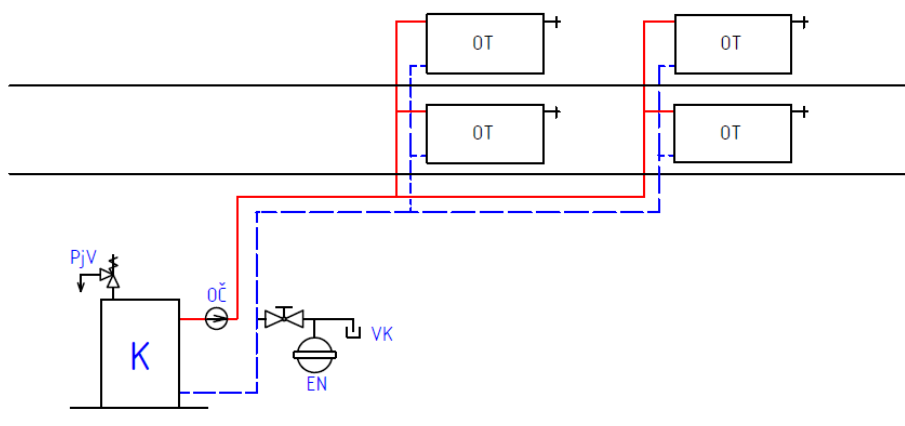
$V_{\zeta}$	dopravní množství čerpadla [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];
$H_{\zeta}$	dopravní výška čerpadla [m];
$\eta$	účinnost čerpadla [-].

## 2.7 Hlavní ležatý rozvod otopné vody

Hlavní ležatý rozvodný systém potrubí vede otopnou vodu od zdroje tepla k navazujícím stoupačkám. Ležaté potrubí se vyrábí ze samonosných materiálů (ocel, měď). Z hlediska uspořádání dělíme soustavy s rozvodem spodním, horním nebo kombinovaným.

### 2.7.1 Soustava se spodním rozvodem

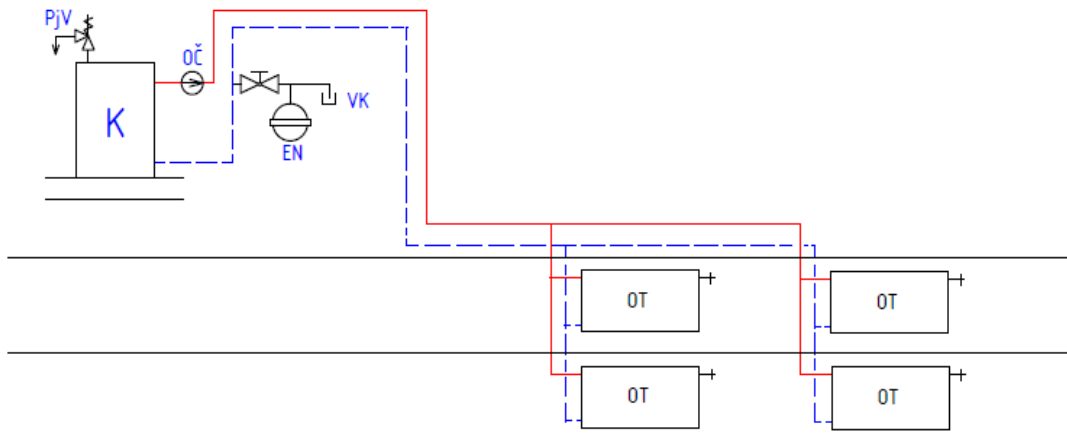
Soustava se spodním rozvodem má hlavní ležaté rozvody umístěné v nejnižším podlaží budovy, kde se nachází zdroj tepla. Jedná se o technické místnosti nebo sklepy. Na hlavní rozvod jsou napojeny jednotlivé vertikální větve (stoupačky) vedoucí do vyšších pater. Jedna z variant vedení hlavního rozvodu je zavěšení pod strop suterénu pomocí objímek nebo závěsů. Druhou variantou je vedení potrubí podlahovými kanály. Zavěšené potrubí se pokládá s mírným sklonem cca 3 až 5 ‰. Potrubí vedené v podlaze se pokládá beze sklonu. Jako u většiny nevytápěných prostorů se za účelem snížení tepelných ztrát trubky opatřují tepelnou izolací. Při projektování dvoutrubkové vertikální OS se neuvažuje ochlazení vody v rozvodu potrubí. Výhodou spodního rozvodu je snadná přístupnost a jednoduchá montáž. Nevýhodou může být přehřívání spodních místností, kde chceme často uskladňovat trvanlivé potraviny, a to i přes zajištění tepelné izolace. Tento způsob rozvodu je dnes nejrozšířenější [1, 4, 11, 12].



Obr. 5 Soustava se spodním rozvodem

### 2.7.2 Soustava s horním rozvodem

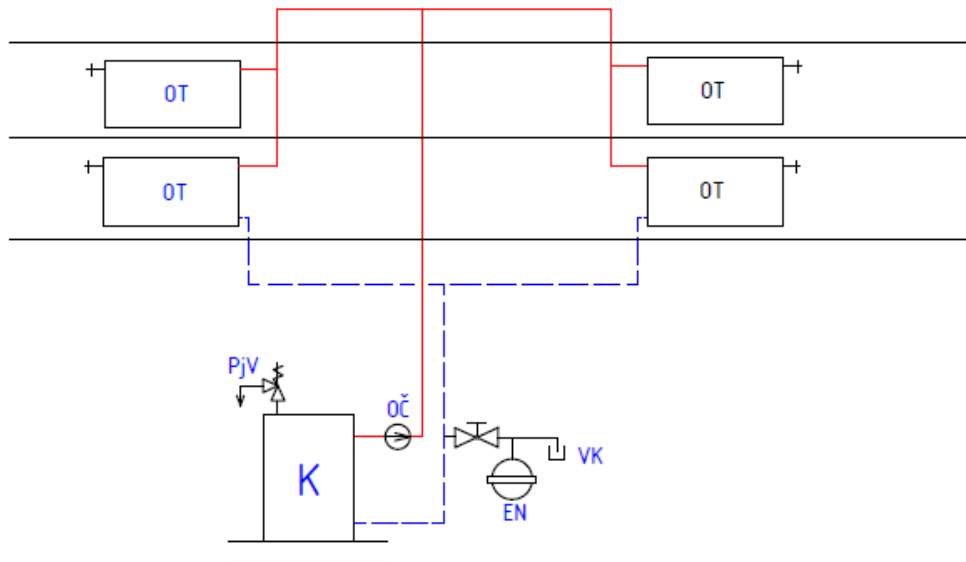
Není-li budova podsklepena nebo z jiných technických důvodů (zdroj tepla se nachází pod střechou budovy) není možné vést hlavní ležatý rozvod v nejnižším patře, přistupujeme k hornímu ležatému rozvodu. Zde je naopak potrubí vedeno v nejvyšším patře, tj. např. půdních prostorách. Opět je zde varianta umístění potrubí do podlahy nebo zavěšení pod strop v nejvyšším patře. Soustavu s horním rozvodem jsme schopni odvzdušnit z jednoho bodu (nejvyšší místo soustavy). Výhodou spodního rozvodu je dosahování vyšších účinných vztlaků a rychlejší uvedení do chodu než u horního rozvodu u soustav s přirozeným oběhem vody. Za každou výhodou se skrývá nevýhoda, kterou je zde nezbytná a pečlivá izolace. Je zde totiž vysoké riziko zamrznutí. Konstrukčně vychází horní rozvod složitěji než spodní, a to se projeví i v nákladech [1, 4, 6, 11].



Obr. 6 Soustava s horním rozvodem

### 2.7.3 Soustava s kombinovaným rozvodem

Jedná se o kombinaci výše uvedených soustav. Používali se dříve, kdy byla podsklepena pouze část objektu, kde byl zdroj tepla a spodní rozvod (přívod i zpátečka) nebylo možné vést obytnými prostory [4, 5].



Obr. 7 Soustava s kombinovaným rozvodem

### 2.7.4 Etážová soustava

Etážové vytápění zásobuje teplem jediné podlaží, přičemž zdroj tepla se nachází na stejném patře jako otopná tělesa. Etážová soustava se realizuje pouze s nuceným oběhem vody. Typickým uplatněním etážové dvoutrubkové horizontální otopné soustavy je bytová otopná soustava, například při rekonstrukci starších objektů. Jako historický náhled dnes již zcela nepoužitelný. Můžeme uvést etážovou otopnou soustavu s přirozeným oběhem vody, která se používala u malých jednopodlažních domů. U takové soustavy byl kotel na tuhá paliva malého výkonu umístěn většinou v síni či nějaké pomocné místnosti. Rozvody musely být krátké, vzhledem k malému dispozičnímu rozdílu tlaků (přirozený vztlak). Vzhledem k tomu nebyla otopná tělesa umístěna pod okna, ale v jednotlivých místnostech co nejbližší zdroji tepla. Přirozený vztlak byl dán ochlazením otopné vody v přívodním potrubí vedeném pod stropem a výškou mezi středem kotle a tímto potrubím pod stropem. Z toho je patrné, že toto přívodní potrubí nesmělo být tepelně izolováno a přirozený vztlak byl velmi malý. Nevzhledné velké průměry jak přívodního, tak vratného potrubí narušovali estetické působení interiéru, a ne zcela optimální umístění otopných těles nezajišťovalo dnešní požadavky na zajištění tepelného komfortu ve vytápěném prostoru. Vzhledem k dnešním

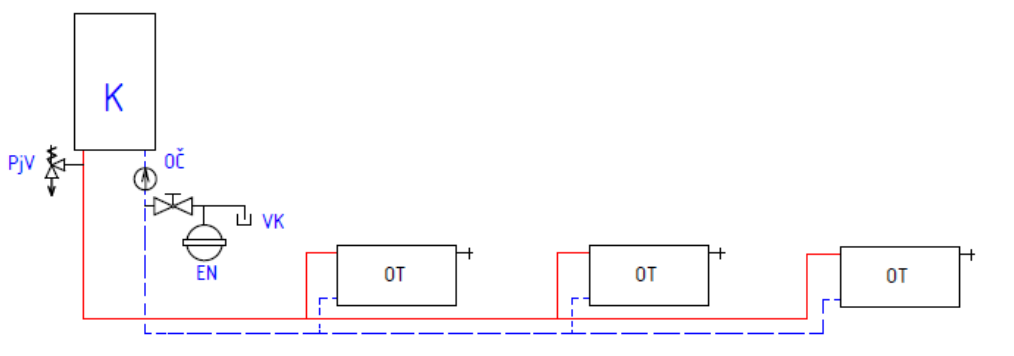
nárokům na vytápěcí systémy a výše uvedenému je patrné, že etážová dvoutrubková otopná soustava s přirozeným oběhem vody je již dávnou historií a dnes je naprosto nepoužitelná. Schématu etážové soustavy odpovídá obrázek č. 8 Horizontální soustava [3, 4, 5, 6].

## 2.8 Rozvod otopné vody k jednotlivým otopným tělesům

Podle vedení rozvodu, na kterém jsou napojeny přípojky otopných těles, dělíme soustavy na horizontální, vertikální a hvězdicové.

### 2.8.1 Horizontální soustava

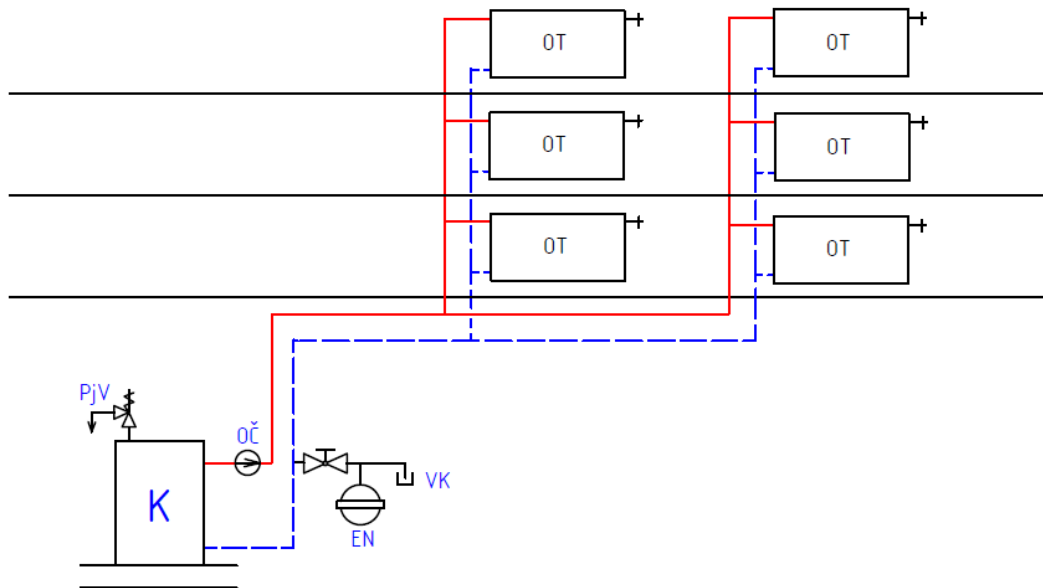
Horizontální soustava je primárně tvořena vodorovným potrubím. Počet vertikálních potrubí (stoupaček) je zde minimální. Na stoupačky v jednotlivých podlažích napojujeme horizontální okruhy. Otopná tělesa jsou krátkými přípojkami napojena na horizontální přívodní a vratné potrubí [4].



Obr. 8 Horizontální soustava

### 2.8.2 Vertikální soustava

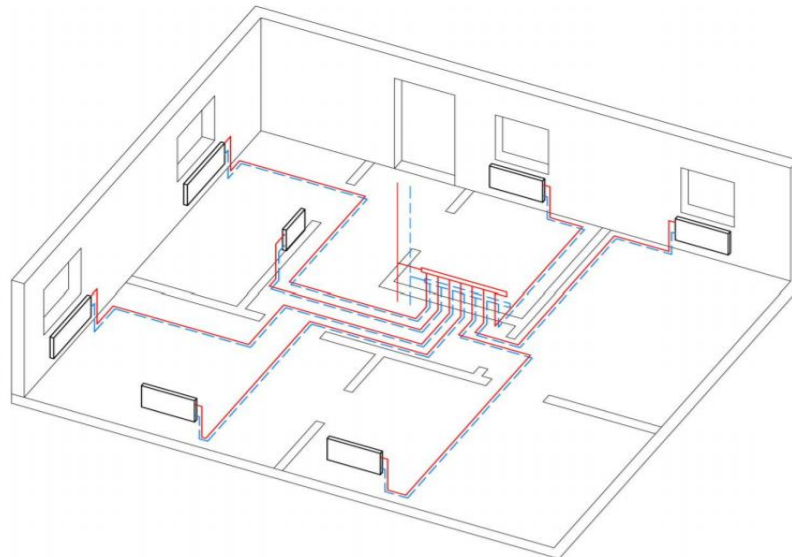
Vertikální soustavu tvoří hlavně stoupačky vedené před stěnou nebo drážkami ve stěně přes prostupy vytápěných podlaží. Od první možnosti se upouští, i když je nejjednodušší. Zvyšujícím se nárokům na komfort a vzhled interiéru tento způsob již nevyhovuje. Možnost vedení drážkou ve stěně vyžaduje řádnou tepelnou izolaci nebo vložení do ochranné trubky. Konce stoupaček tzv. paty se osazují uzavíracími regulačními a vypouštěcími armaturami. U vysokých objektů se připojují ještě regulátory tlakové difference. OT jsou co nejkratšími přípojkami napojena přímo na stoupačky. Na jednu větev vertikálního potrubí mohou být v jednotlivých podlažích napojena maximálně dvě OT [4, 13].



Obr. 9 Vertikální soustava

### 2.8.3 Hvězdicová soustava

Svým uspořádáním odpovídá horizontální dvoutrubkové otopné soustavě, avšak s velmi dlouhými přípojkami ležícími v betonové vrstvě podlahy. V centru objektu na každém podlaží je umístěna stoupačka s rozdělovačem a sběračem, které slouží k centrálnímu zapojení více otopných těles. Tato soustava se projektuje převážně z plastového potrubí, které snižuje náklady na dlouhé rozvody a přípojky, které jsou poměrně drahé. Přípojky těles jsou též plastové a ukládají se do „husích krků“, ohebných plastových trubek sloužících jako ochrana (někdy označována jako „trubka v trubce“). Na druhou stranu plastové potrubí není příliš mechanicky odolné a je nutno jej chránit a vést v podlaze. Tak mohou vzniknout komplikace (křížení potrubí, spoje v podlaze apod.). Je velice obtížné a také velmi drahé lokalizovat problém potrubí ukrytého pod podlahou. Dalším problémem této soustavy je vypouštění otopné vody. Doposud jediná alternativa odstranění vody ze soustavy je stlačeným vzduchem. Vhodnější metoda zatím nebyla objevena. Odvzdušnění probíhá otopnými tělesy, která jsou na přívodní a vratné potrubí napojena zespoda. Tato soustava vykazuje největší spotřebu trubního materiálu. Je vhodné zvážit všechna pro a proti při rozhodování, která soustava je pro daný objekt vhodnější [4, 10].



Obr. 10 Hvězdicová soustava [14]

## 2.9 Způsob přívodu a odvodu otopné vody k/z otopným tělesům

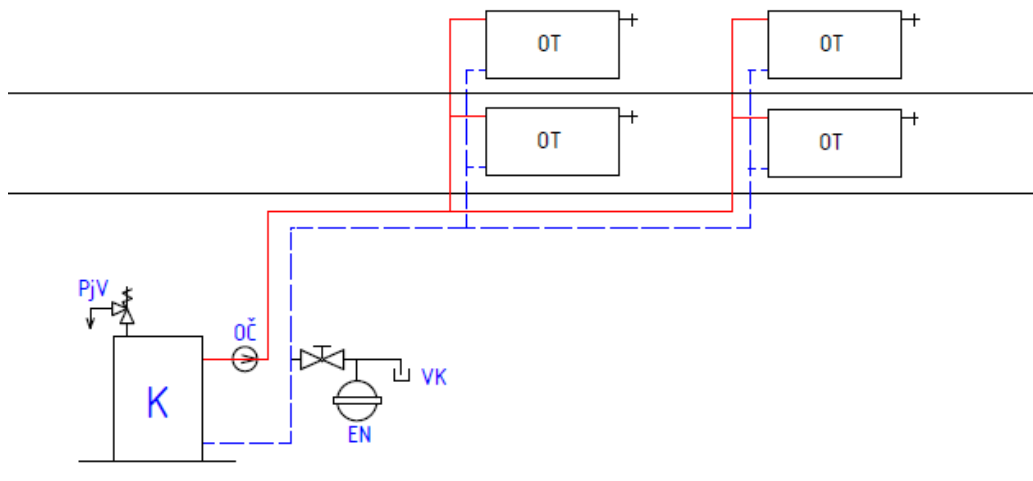
OS z hlediska připojení otopných těles a provedení přívodu a odvodu otopné vody dělíme na jednotrubkovou a dvoutrubkovou.

### 2.9.1 Dvoutrubkové soustavy

Otopná tělesa jsou zapojena do paralelních větví. Přívodní a vratné potrubí jsou zde zcela oddělena a každé má svou vlastní funkci. Přívodní potrubí jen přivádí teplou vodu a vratné zase odvádí ochlazenou vodu zpět ke zdroji tepla. Podle směru proudění vody rozlišujeme protiproudé a sou proudé soustavy. U dvoutrubkových soustav uvažujeme „stejně“ pracovní parametry otopné vody pro všechna tělesa, tzn. neuvažujeme tepelné ztráty rozvodu. V ČR má stále z předešlých let největší zastoupení dvoutrubková vertikální soustava, ale díky zvyšujícímu se množství potřeby exaktního měření spotřeby tepla bytových jednotek nachází stále větší uplatnění horizontální dvoutrubková soustava. Výhoda dvoutrubkového systému tkví v jednoduchosti, snadném návrhu, možnosti použití pro oba způsoby oběhu (přirozený, nucený). Jeho nevýhodou oproti jednotrubkovému systému je spotřeba potrubního materiálu a vyšší tepelné ztráty v rozvodech. Jeden z hlavních rozdílů mezi dvoutrubkovou a jednotrubkovou soustavou je nárůst či pokles teploty zpáteční otopné vody při zavírání ventilů otopných těles [4, 5, 15, 16].

### Protiproudé dvoutrubkové otopné soustavy

U protiproudé OS je montážní trasa vratného potrubí stejná jako trasa přívodního potrubí. Rozdíl je ve směru proudění otopné vody. Tato soustava je nevýhodná z hlediska proměnné vzdálenosti otopných těles od zdroje tepla. To se projeví na délce potrubí a na dráze, kterou musí otopná voda urazit. Rozdílnou dráhou vznikají odlišné tlakové ztráty. Každá paralelní větev je určena vždy stejnou tlakovou ztrátou. My ovšem požadujeme stejnou tlakovou ztrátu při průtocích námi zvolených. Abychom zajistili celkovou stabilitu OS (žádané průtoky, odpovídající výkony), musíme ji celou hydraulicky vyvážit. Dvoutrubková protiproudá OS je nejnáročnější na tlakové vyvážení. Nejrozšířenější způsob vedení rozvodu OS je právě dvoutrubková teplovodní protiproudá s nuceným oběhem vody [4, 5, 17].



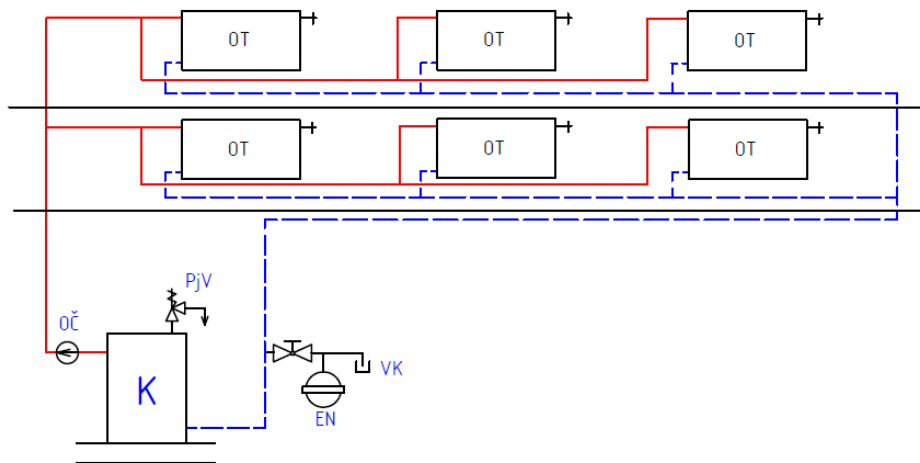
Obr. 11 Protiproudá dvoutrubková soustava

### Souproudé dvoutrubkové otopné soustavy

Souproudé (Tichelmannovo) zapojení se vyznačuje stejným směrem proudění přívodní a vratné otopné vody. Oproti protiproudé OS je zde součet délek potrubí přívodního a vratného ke každému OT téměř konstantní. Tím stoupají náklady na potrubí. Náklady spojené s potrubím jsou zde kompenzovány vysokou hydraulickou stabilitou díky stejným tlakovým poměrům pro všechna OT. Na rozdíl od protiproudé soustavy jsou hydraulické změny a nevyvážení soustavy téměř potlačeny. Případné změny (průtok) ovlivní všechny odbočky rovnoměrně, což je příznivá vlastnost při výpočtech nebo opravách. S vysokou stabilitou se pojí také minimální hluk produkovaný soustavou za provozu.



Toto zapojení se využívá u otopných soustav s velkým počtem otopných těles v řadě za sebou nebo v případech, kdy vyžadujeme rovnoměrné zásobování otopnou vodou bez většího kolísání nebo nutnosti škrcení ostatních hydraulických větví (napojení stoupaček). Výhodou je možnost propojení více jednotek kotlů, napojení solárních kolektorů nebo vzduchotechnických zařízení a stoupaček [1, 4, 5, 16].



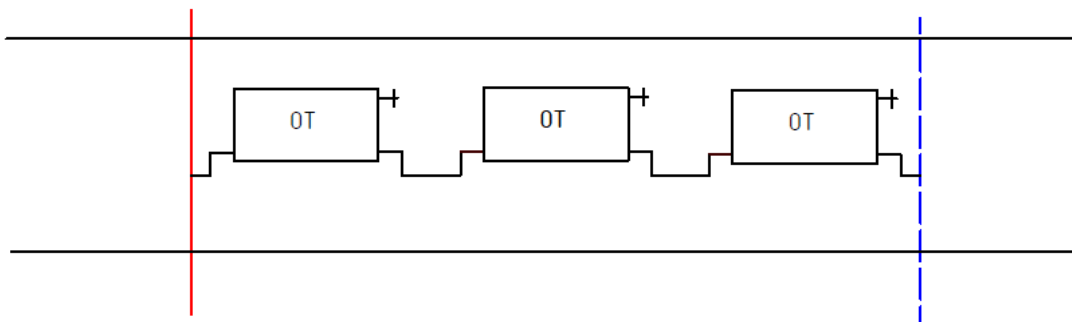
Obr. 12 Souproudá dvoutrubková soustava

## 2.9.2 Jednotrubkové soustavy

Jednotrubková soustava (JOS) je tvořena pouze jedním potrubím, které zároveň přivádí teplou a odvádí ochlazenou otopnou vodu do OT. Funkční princip je velice jednoduchý. Otopná voda či pouze její část postupně protéká jednotlivými otopnými tělesy od prvního k poslednímu. Oproti dvoutrubkové soustavě zde dochází k mísení vody přívodní a vratné. Tím vzniká problematika různých teplot na straně přívodu do OT. Vzdálenější tělesa pracují s o poznání nižšími teplotními parametry otopné vody. S klesající teplotou se mění i měrný výkon na tělesech. Pro zachování stejného výkonu, se musí klesající teplota promítnout do velikosti přestupní plochy těles. Každé těleso vyžaduje přepočítání plochy se skutečnou vstupní teplotou. Teplotní spád se volí menší nežli u dvoutrubkové OS (pouze 10 K), a to za účelem zmírnění vlivu různé střední teploty na tělesech. V podstatě existují dvě možnosti provedení JOS a zapojení otopných těles. Dnes vždy jako horizontálních soustav. Jednou možností je průtočná JHOS se zapojením otopných těles v obtoku a druhou je zapojení se čtyřcestnou směšovací armaturou.

## Průtočná Jednotrubková soustava

Co by náročností a finančních nákladů patří průtočná JOS k nejjednodušším a nejlevnějším. Otopná voda protéká v pořadí první až poslední těleso. V dnešní době už se tato soustava neprojektuje kvůli nemožnosti místní regulace. Mnohdy byly vytápěné místnosti přetopeny nebo naopak nedostatečně vytápěny. Rozlišujeme průtočnou JOS horizontální a vertikální. Dnes se používá pouze horizontální, a to víceméně jen v USA [4, 5, 3].



Obr. 13 Jednotrubková soustava horizontální s průtočným zapojením otopných těles

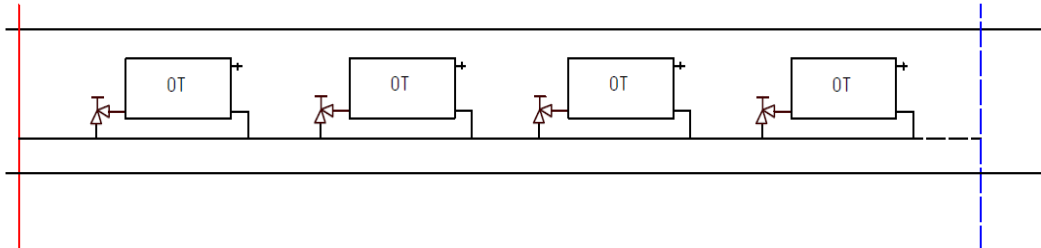
## Jednotrubková soustava s obtoky a směšovacími armatury

Stejně jako průtočné JOS dělíme tento druh na horizontální a vertikální. Vertikální způsob už dnes také není aktuální a upustilo se od něj. Dříve měl zastoupení ve východním Německu ve vysokých budovách, kde byla OT napojena zkratem pod sebou. I v Německu se od toho typu již upustilo. Dále se budeme zabývat jen jednotrubkovou horizontální OS (JHOS). JHOS dělíme podle připojení otopných těles na soustavy s obtokem a soustavy se čtyřcestnou armaturou. Jak pomocí armatur, tak pomocí obtoků jsme schopni měnit výkon u otopných těles.

## Jednotrubková soustava s obtoky

Soustavy s obtokem se připojovaly mnoha způsoby (obtok s clonou, zúžení kmenové trubky, obtok s fitinkem atd.), ale dnes je použitelné pouze jezdecké připojení. U jezdeckého připojení se OT napojují krátkými přípojkami do spodních růžic přes nízkoodporovou armaturu. Klasické termostatické regulační ventily jsou nevhodné, protože svým velkým hydraulickým odporem znemožňují požadované zatékání do otopných těles. Tělesa jsou řazena paralelně s kmenovou horizontální trubkou. Znamená to tedy, že část přívodní vody protéká otopným tělesem a část kmenovou trubkou vedenou pod otopným tělesem. Ve zpětné přípojce se mísí voda z kmenové trubky a otopného tělesa. Protože voda proudící otopným tělesem odevzdá část svého tepla do okolí, má nižší teplotu než voda proudící kmenovou trubkou. Mísí se tedy voda o různé

teplotě a dochází k poklesu teploty přívodní vody do dalších otopných těles. Opět je nezbytné přepočítat každé OT a správně navrhnout jeho přestupní plochu. Kmenové (horizontální) potrubí se může vést pod tělesa v lištách, v podlaze pod nosnou částí nebo i nad tělesa pod parapety oken.

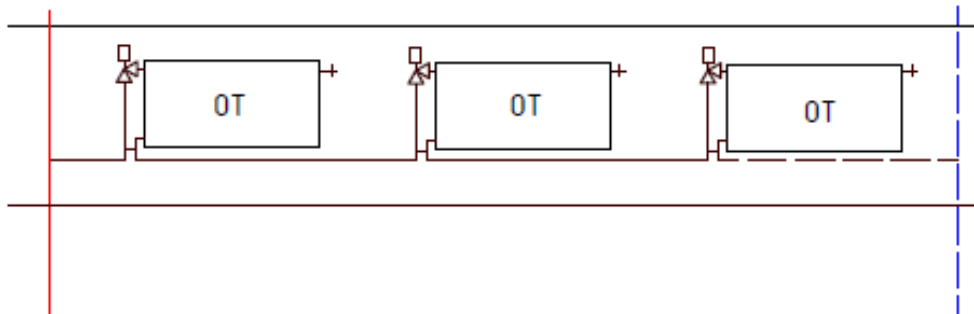


Obr. 14 Jednotrubková soustava s obtoky otopných těles – jezdecké napojení

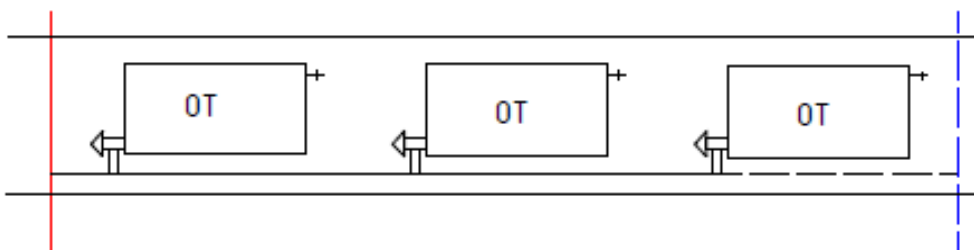
### Jednotrubková soustava se směšovacími armaturami

Tato otopná soustava je ideální pro zajištění vytápění samostatných bytových či zúčtovacích jednotek. Je to dáno tím, že objektem prochází jediné horizontální potrubí a stejně tak i prostupy stěnami jsou tvořeny pouze pro jedinou trubku. U každého OT se umísťuje tzv. čtyřcestná směšovací armatura. Připojení OT přes čtyřcestnou směšovací armaturu může vykazovat znaky dvoubodového nebo jednobodového napojení. U dvou dvoubodového napojení můžeme mít napojení klasických otopných těles se čtyřcestnou směšovací armaturou s tzv. propojovací tyčí, která hydraulicky spojuje tuto armaturu s termostatickým ventilem a těleso je pak připojenou ve dvou bodech, ve spodním čtyřcestnou armaturou a v horním termostatickým regulačním ventilem. U tzv. kompaktních OT se používá tzv. H čtyřcestná směšovací armatura, přes kterou se OT napojuje zespoda. Dnešní směšovací armatury v naprosté většině umožňují plynule nastavení součinitele zatékání do OT. Standartní nastavení však je se součinitelem zatékáním 0,35. Z hlediska přenosových schopností této soustavy jsme na podstatně nižších parametrech než u jednotrubkové horizontální otopné soustavy s jezdeckým napojením otopných těles. Je to dáno tím, že jednotlivé uzly, tj. čtyřcestná armatura, termostatický regulační ventil a otopné těleso, jsou napojeny za sebou, tudíž v sérii a hydraulické ztráty jednotlivých uzlů se sčítají. A tak, vezmeme-li za základ, že maximální potřebná dopravní výška čerpadla pro jeden okruh může být do čtyř metrů vodního sloupce, vychází nám maximální počet těles v okruhu přibližně 8.

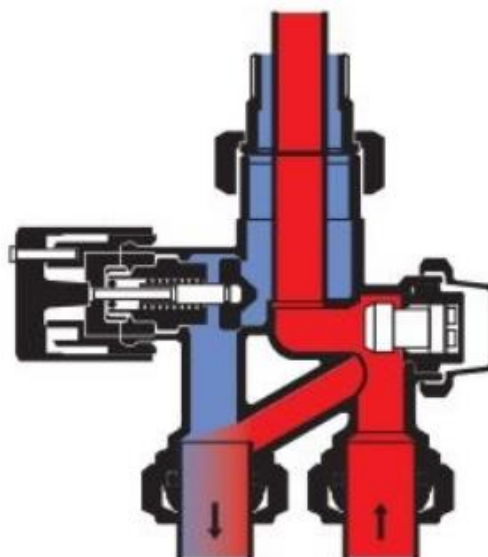
Oba způsoby můžeme vidět na obr. 15 a 16. JHOS vedle způsobu připojení OT dělíme také podle uživatele na JHOS s okruhy bytovými a zónovými. Bytové okruhy jsou velmi výhodné a přehledné. Každá bytová jednotka je napojena na stoupačku separátně. To je velká výhoda oproti dvoutrubkové soustavě. Umožňuje nám přes kalorimetrické měřiče tepla měřit spotřebu tepla v jednom konkrétním bytě. Víme, kolik tepla jsme spotřebovali a kolik zaplatíme [4, 5, 6, 12, 16, 19].



*Obr. 15 Dvoubodové zapojení otopných těles se směšovací armaturou*



*Obr. 16 Jednobodové zapojení otopných těles se směšovací armaturou*



*Obr. 15 Čtyřcestná směšovací armatura firmy GIACOMINI – funkční princip [24]*

## Shrnutí výhod a nevýhod JHOS

### Výhody

- nezávislá místní regulace
- kalorimetrické měření spotřeby tepla v jednotlivých bytových jednotkách (úspory tepelné energie)
- menší náklady na potrubní materiál a s ním práce spojené (minimální počet stoupaček, méně prostupů přes podlaží, hlavní ležatý rozvod jednodušší)
- možnost napojení dalších okruhů
- lepší vzhled interiéru

### Nevýhody

- klesající střední teplota a měrný výkon se vzdalujícími se tělesy od zdroje tepla
- vzájemná interakce těles (ochlazení, vyřazení z provozu) [4, 5]

## 2.10 Spojení s atmosférou

Podle spojení s atmosférou dělíme soustavy na otevřené a uzavřené.

### 2.10.1 Otevřená soustava

Soustava je přes hladinu vody otevřené expanzní nádoby přímo v kontaktu s atmosférou. Zdrojem přetlaku je zde pouze hydrostatický tlak, tj. sloupec vody od nejnižšího místa (kotel) po místo nejvyšší (hladina vody expanzní nádoby). Slouží zároveň jako zabezpečovací a pojistné zařízení. Pojistné zařízení chrání zdroj tepla proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku. Zabezpečovací zařízení zajišťuje stabilitu OS a vyrovnává náhlé změny teplot potažmo tlaků bez zbytečných ztrát otopné vody. Obě zařízení jak pojistné, tak zabezpečovací se řídí svými předpisy. Pojistné potrubí umístujeme co nejbližší ke zdroji tepla a na jeho trase nesmí být uzavírací armatury. Otevřené expanzní nádoby se instalují do půdních prostor, tj. do nejvyšších míst soustavy. To je jeden z důvodů, proč se v současné době příliš nedoporučují. Hrozí zde možnost zamrznutí expanzní nádoby v tepelně neizolovaných prostorech. Další nevýhodou je právě přímý kontakt s atmosférou, která soustavu, resp. vodu obohacuje kyslíkem.

Rostoucí koncentrace kyslíku má za dopad vznik koroze a následné škody. Navíc vlivem odpařování z volné hladiny, je také zapotřebí neustále doplňovat vodu do OS.

Velikost otevřené expanzní nádoby je dána vztahem,

$$V_{eo} = 1,6 \cdot V_S \cdot n, \quad (3)$$

kde:

$V_{eo}$  je objem otevřené expanzní nádoby [ $\text{m}^3$ ];

1,6 bezpečnostní součinitel; zvětšení vlastního expanzního objemu o 60 % [-];

$V_S$  objem vody v otopné soustavě [ $\text{m}^3$ ];

$n$  součinitel zvětšení objemu [-].

### 2.10.2 Uzavřená soustava

Jedná se o soustavu s membránovou tlakovou expanzní nádobu, která není přímo spojena s atmosférou. Také jako otevřená expanzní nádoba zajišťuje teplotní a tlakovou stabilitu, ale pracuje na jiném principu. Voda je nestačitelná a s rostoucí teplotou zvětšuje svůj objem. Přebytný objem se rozpíná na úkor stlačeného plynu v expanzní nádobě nad membránou. Kdyby přeci jen došlo k překročení nejvyššího dovoleného přetlaku, tak potom je zde ještě zařazen pojistný ventil, který se samovolně otevře a přebytečnou vodu odvede ze soustavy pryč. V případě poklesu teploty otopné vody a tím i zmenšení objemu a tlaku, stlačený plyn v expanzní nádobě vtlačuje vodu zpět do OS a tím vyrovnává tlak. V porovnání s otevřenou expanzní nádobou je sice dražší, ale instalace a montáž jsou méně náročné. Navíc nedochází k úbytku otopné vody, nádoba nemusí být izolována a do soustavy nevniká nežádoucí kyslík. Důležitý okamžik před spuštěním je správné dimenzování za studeného stavu a nastavení správného přetlaku plynu v expanzní nádobě. Montáž se odvíjí od pozice čerpadla [4, 18, 19].

Velikost tlakové nádoby se určí ze vztahu,

$$V_{EN,T} = 1,3 \cdot V_S \cdot n \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (4)$$

kde:

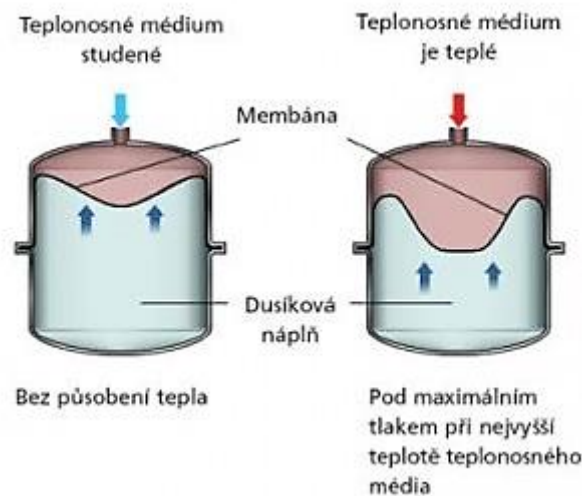
$V_{EN,T}$  je objem tlakové nádoby [ $m^3$ ];

1,3 bezpečnostní součinitel zvětšení vlastního expanzního objemu o 30 % [-];

$V_S$  objem vody v otopné soustavě [ $m^3$ ];

$n$  součinitel zvětšení objemu [-];

$\eta$  stupeň využití expanzní nádoby [-].



Obr. 16 Tlaková expanzní nádoba [20]

## 2.11 Materiál

Velmi důležitou položkou při navrhování OS je vhodná volba materiálu. Materiál má značný vliv na funkčnost OS. Materiál volíme s ohledem na požadované fyzikální a mechanické vlastnosti. Zejména se jedná o mechanickou pevnost a odolnost, teplotní odolnost, teplotní délkovou roztažnost a odolnost vůči korozi. Nesmíme opomenout také konstrukční provedení daného objektu a možnosti instalace OS. V dnešní době používáme nejčastěji ocel, měď nebo plast. Každý materiál má své výhody i nevýhody. Na výkresech se ocelové potrubí značí jmenovitou světlostí DN, plastové a měděné vnějším průměrem krát tloušťka stěny [1, 4, 21].

Při volbě materiálu OS bychom měli mít na paměti tyto vlastnosti:

- teplotní odolnost
- odolnost proti stárnutí (UV a gama záření, teplota, reakce s kyslíkem)
- odolnost vůči korozi, inkrustaci

- hořlavost
- elektrická a tepelná vodivost
- teplotní roztažnost

### 2.11.1 Potrubí z oceli

Používají se trubky bežešvé hladké nebo bežešvé závitové nejčastěji z oceli třídy 11 353.0. Bežešvé závitové trubky se volí pro průměry menší 50 mm. Mají poměrně tlusté stěny z důvodu vyříznutí závitů na vnějším průměru. Pomocí závitových spojů jsme pak schopni připojit na potrubí armatury nebo tvarovky (fitinky). Pro spojování potrubí se používají spoje svařené, a to elektrickým obloukem nebo kyslík-acetonovým plamenem nebo spoje přírubové. Ocelové trubky se mohou vést jak vnitřkem stěny, tak i před ní. Oproti plastovému potrubí nemusí být chráněno. Po celé délce je ocelové potrubí pokryto ochranným nátěrem a v nevytápěných prostorech se ukládá do tepelné izolace. Ocel vyniká oproti plastům malou teplotní délkovou roztažností. Součinitel teplotní délkové roztažnosti  $\alpha$  je okolo hodnoty  $1,2 \cdot 10^{-5}/K$ . Nevýhodou je nízká odolnost proti korozi, způsobená například trvalou přítomností kyslíku v otopné vodě. Jsme schopni korozi redukovat, a to vhodnou úpravou vody (u ocelového potrubí  $pH = 10$ ), zajištěním přetlaku v potrubní síti oproti atmosféře nebo pomocí odvzdušňovacích ventilů [1, 4].

### 2.11.2 Potrubí z mědi

Měď v dnešní době nachází v kapitole vytápění stále větší uplatnění. Jako prvek spadá do poloušlechtilých kovů. Sousedí v elektrochemické řadě s platinou, zlatem nebo stříbrem. Jmenované prvky vyčnívají svou velkou odolností vůči korozi ve srovnání s ocelí. Navíc měď je známá také jako „baktericidní materiál,“ který ničí bakterie v teplonosné látce. Teplonosnou látkou se zde rozumí nejen voda, ale i různé plyny nebo oleje. Měděné potrubí má široké využití v různých okruzích techniky např. v solárních zařízeních či v chladicích rozvodech apod.

Z hlediska mechanických vlastností má měď velkou pevnost. Vysoká pevnost nám dovolí vyrábět menší tloušťky stěn a ušetřit tak hmotnost na délku 1 m potrubí. Právě podle pevnosti rozlišujeme měděné trubky měkké, polotvrdé a tvrdé.

Ve srovnání s ocelí má měď řadu výhod. Jak známo, rychlost proudění v potrubí závisí nejen na druhu teplonosné látky nebo dopravním tlaku, ale i kvalitě povrchu potrubí. Jedna z veličin ovlivňující povrch je relativní drsnost  $k/d$ , kde  $k$  je absolutní drsnost a  $d$  je průměr trubky. Převrácená hodnota, tj. relativní hladkost je výrazně menší u potrubí



měděného než ocelového. Jednoduše řečeno měděné potrubí má menší součinitel třecích ztrát  $\lambda$ . Jak již zmíněno měď koroduje řádově méně než ocel, to však neznamená, že potrubí proti korozi nemusí být nijak chráněno. Předpis například nedovoluje vést potrubí v kyselých vlhkých omítkách. Omítky mají totiž silně korozivní účinky. Proudící voda by neměla klesnout pod hodnotu pH 7, aby se předešlo povrchové korozi. Při plánování potrubních tras musíme oproti oceli uvažovat tepelnou roztažnost, která je o 40 % vyšší oproti oceli. Součinitel tepelné roztažnosti je přibližně  $1,65 \cdot 10^{-5}/K$ .

Spojování se provádí kapilárním pájením nebo technologií lisovaných spojů. Rozebíratelné (závitové) spoje používáme jen k napojení armatur a regulačních zařízení. Izolujeme potrubí vedené pod omítkou, a zvláště kolena nebo odbočky se izolují s přídavkem oproti rovnému potrubí za účelem kompenzace teplotní délkové roztažnosti. Průchody stropem se nejlépe řeší vsazením měděného potrubí do chrániček [1, 4, 25].

### 2.11.3 Potrubí z plastů

Plasty patří mezi makromolekulární látky a podle způsobu jejich interakce s teplem je dělíme na termoplasty, reaktoplasty a elastomery. Každá z těchto skupin má svá specifika. Teplotní roztažnost se u plastů pohybuje v intervalu  $15 \cdot 10^{-5}/K$  až  $20 \cdot 10^{-5}/K$ . Rozdíl oproti oceli je významný. Je nutné potrubní systém opatřit kompenzátory, protože potrubí se rozpíná a stahuje. Potrubní síť z plastu vždy projektant navrhuje v souladu s maximálními teplotními a tlakovými intervaly.

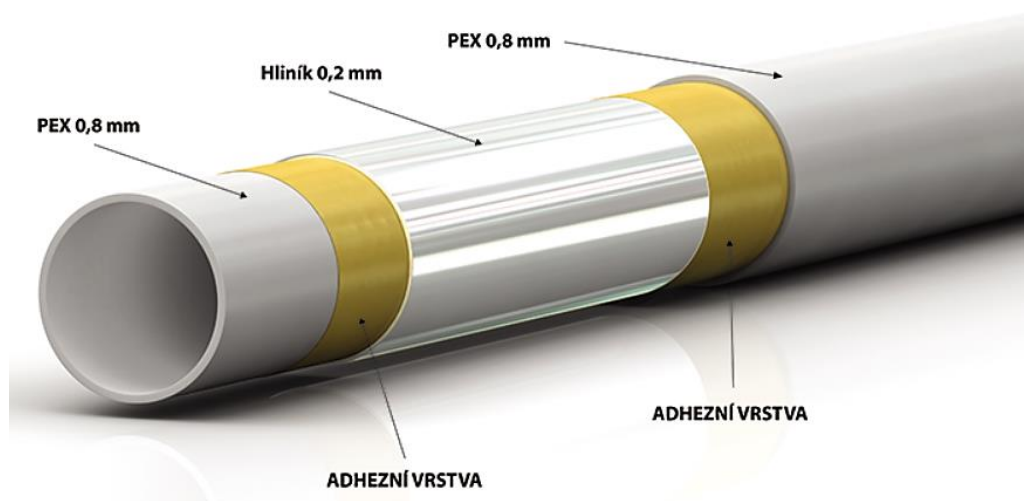
Nízká tepelná vodivost plastů nás může uvést v omyl, že není zapotřebí plastové potrubí nijak tepelně izolovat. Je tomu přesně naopak. Tepelnou izolaci doprovází ochranná potrubí nebo podpěrná zařízení (korýtko, žlaby). Plastové potrubí nemůže být vedeno bez ochrany, podpěr nebo krytů z důvodu vysokého rizika mechanického poškození. Montáž plastového potrubí je ovšem mnohonásobně jednodušší, rychlejší a levnější než u kovových potrubí. Instalace, spojování a napojování se dělá především pomocí mechanických spojek a lisováním. Lze kombinovat i potrubí z jiných materiálů za splnění daných požadavků jako těsnost spoje, plná funkčnost, chemické soužití. Největší zastoupení ve vytápění (podlahové, stropní, stěnové) má dnes síťovaný polyetylén [1, 4].

V potrubních sítích nejčastěji využíváme tyto plasty:

- **síťovaný polyetylén** (PEX-a, PEX-b, VPE)
- **polybuten** (PB)
- **statický polypropylen** (PP-R, PP-RCT, PP-3)
- **vícevrstvá potrubí**

### Vícevrstvá potrubí s kovovou vložkou

Stále se vyvíjející moderní technologií jsou dnes vícevrstvé trubky. Jde o kombinaci plastových a kovových materiálů zakomponovaných do jedné trubky. Průřez potrubí sestává ze tří vrstev. Třívrstvá trubka sestává z vnitřní a vnější plastové vrstvy a mezi nimi je kovová vrstva. Jednotlivé vrstvy jsou navzájem spojeny speciálním adhezním tmelem. Vícevrstvé potrubí slučuje výhody plastů a kovů. Přítomnost kovu rapidně snižuje teplotní délkovou roztažnost a zvyšuje celkovou odolnost a životnost potrubí. Potrubí je nepropustné pro kyslík a další nežádoucí plyny a oproti kovovým rozvodům je znatelně lehčí. Cena je vyšší než u ocelových nebo měděných rozvodů. Na druhou stranu velkým přínosem a úsporou je snadná, rychlá a levná instalace. Spojování je lisováním. [12, 21].



Obr. 17 Vícevrstvá trubka [22]

**Stručné srovnání materiálů ve vytápění podle vlastností**

Tab. 1 Souhrn vlastností materiálů [23]

	Ocel	Měď	Plasty
Koroze	ano	ano	ne
Inkrustace	ano	ne	ne
Životnost [rok]	15	50	50
Rychlost proudění [m/s]	1	1,5	1,2 (3)
Flexibilita	ne	ne	ano
Šíření hluku	ano	ano	nízké
Hmotnost-orientační [g/cm <sup>3</sup> ]	8	8,9	1
Délková roztažnost [mm/m °C]	0,012	0,017	0,13
El. vodivost	ano	ano	ne
Montáž	závitové spoje	pájení, lisované spoje	lisované spoje

### 3. Praktická část

U zadané jednotrubkové horizontální otopné soustavy se čtyřcestnými směšovacími armaturami jsem výpočtem posoudil procentuální nárůst velikosti otopné plochy pro součinitel zatékání do otopných těles 0,5 a 0,35 po délce okruhu s osmi otopnými tělesy s konstantním požadavkem na tepelný výkon.

Jedná se o horizontální jednotrubkovou soustavu s nuceným oběhem, kde otopná voda je čerpadlem dopravována k osmi tělesům řazeným sériově za sebou. Všechna OT mají stejný požadovaný výkon 1000 W. OT jsou desková a budou zavěšena na stěnách vytápěných prostorů. OT definujeme veličinou zvanou teplotní exponent  $n$ . Pro desková OT je  $n = 1,33$ . Tato hodnota byla experimentálně zjištěna z hodnot naměřených v měřicí komoře. Teplotní exponent je závislý na průtoku, typu OT i teplotě. V našem případě uvažujeme teplotní exponent konstantní [2].

Jednotlivá OT jsou na přívodní a vratné potrubí napojena přes čtyřcestné směšovací armatury, které směšují dva proudy otopné vody. To lze vysvětlit tak, že podle zadané hodnoty součinitele zatékání do OT čtyřcestná armatura směšuje vodu přívodní a vratnou. Budeme tedy muset uvažovat proměnnou vstupní teplotu otopné vody do OT v hydraulické řadě. Čtyřcestná armatura ve variantě 1, tj. pro  $\alpha_{T1} = 0,5$  rozděluje před OT množství přívodní vody v poměru 1:1. Znamená to, že 50 % vody přívodní proudí do OT a zbylých 50 % procent se mísí s ochlazenou vodou z tělesa a pokračuje k dalšímu OT.

Přívodní a vratné potrubí je připojeno na vertikální potrubí (stoupačky). Teplotní spád okruhu volím 75/65 °C. Jak již víme z kapitoly Jednotrubkové soustavy, pracujeme zde s proměnlivými teplotními parametry u každého OT. Mým úkolem je prozkoumat problematiku jednotrubkové soustavy a spočítat závislost součinitele zatékání do OT na velikosti jejich teplosměnných ploch.



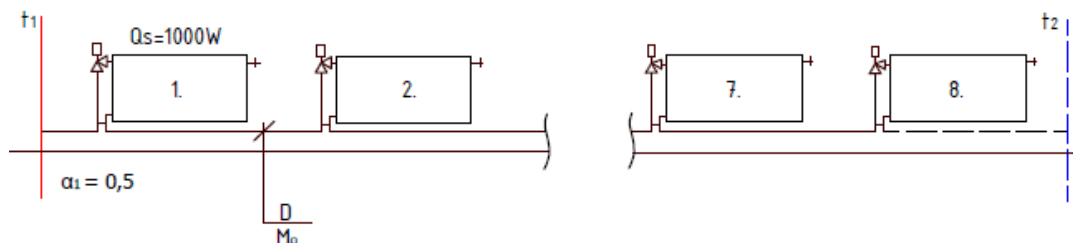
*Obr. 20 Čtyřcestná směšovací armatura – dvoubodové a jednobodové napojení [19]*

Číselné zadání vstupních parametrů můžeme vidět v tabulce č. 2.

Tab. 2 Vstupní hodnoty zadanych veličin

Značka	Význam	Hodnota	Jednotky
$Q_{T(1-8)}$	Skutečný výkon OT 1-8	1000	[W]
$Q_o$	Výkon celého okruhu	8000	[W]
$t_1$	Teplota přívodní vody	75	[°C]
$t_2$	Teplota zpátečky	65	[°C]
$t_{iN}$	Jmenovitá vnitřní výpočtová teplota	20	[°C]
$t_i$	Vnitřní výpočtová teplota	20	[°C]
$\alpha_{T1}$	Součinitel zatékání varianta 1	0,5	[-]
$\alpha_{T2}$	Součinitel zatékání varianta 2	0,35	[-]
$n$	Teplotní exponent deskového OT	1,33	[-]
$c$	Měrná tepelná kapacita H <sub>2</sub> O	4187	[J/Kg·K]
$S_N$	Jmenovitá teplosměnná plocha OT	1	[m <sup>2</sup> ]

### Varianta 1



Obr. 21 Schéma – varianta 1

Na obrázku č. 20 můžeme vidět schéma zadané horizontální jednotrubkové otopné soustavy. Přívodní stoupačka přivádí vodu o teplotě  $t_1$  přes čtyřcestnou směšovací armaturu do prvního OT. První těleso pracuje se vstupní teplotou 75 °C. Jelikož první OT není ničím ovlivněno (změna teploty přívodní vody, ztráty apod.), můžeme ho nazvat etalonem o výkonu 1000 W s přestupní plochou 1 m<sup>2</sup>. Ověření, že tomu opravdu tak je, není nikterak složité [4].

Nejprve si spočítáme hmotnostní průtok okruhem ze vztahu:

$$M_o = \frac{\sum Q_{T1-T8}}{c \cdot \delta_{to}}, \quad (5)$$

kde  $\delta_{to}$  je teplotní spád na okruhu,

$$\delta t_o = t_1 - t_2 = 75 - 65 = 10 \text{ K} . \quad (6)$$

Po dosazení do rovnice (8) dostáváme hmotnostní průtok

$$M_o = \frac{\sum Q_{T1-T8}}{c \cdot \delta t_o} = \frac{\sum 8 \cdot 1000}{4187 \cdot 10} = 0,191 \text{ kg/s} .$$

V dalším kroku potřebujeme hmotnostní průtok OT

$$M_{T1} = M_o \cdot \alpha_{T1} = 0,191 \cdot 0,5 = 0,095 \text{ kg/s} . \quad (7)$$

Nutným mezi výpočtem je střední teplota na tělese,

$$t_{m1} = t_1 - \theta \cdot \sum Q_{iT} - 0,5 \cdot \frac{Q_{T1}}{c \cdot M_{T1}} , \quad (8)$$

kde  $\theta$  je ochlazení vody v okruhu na jednotku výkonu,

$$\theta = \frac{\delta t_o}{Q_o} = \frac{10}{8000} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ K/W} . \quad (9)$$

Dostáváme střední teplotu na prvním tělese

$$\begin{aligned} t_{m1} &= t_1 - \theta \cdot \sum Q_{iT} - 0,5 \cdot \frac{Q_{T1}}{c \cdot M_{T1}} = \\ &= 75 - 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot \sum (0 \cdot 1000) - 0,5 \cdot \frac{1000}{4187 \cdot 0,095} = 73,8 \text{ }^\circ\text{C} . \end{aligned}$$

Poznámka: Násobení nulou znamená, že se jedná o první těleso. U druhého tělesa místo  $0 \cdot W$  bude  $1 \cdot 1000 \text{ W}$ , u třetího  $2 \cdot 1000 \text{ W}$  atd.

Budeme také potřebovat ochlazení na tělese

$$\delta t_T = \frac{Q_{T1}}{c \cdot M_{T1}} = \frac{1000}{4187 \cdot 0,095} = 2,5 \text{ K} . \quad (10)$$

Dále střední jmenovitou teplotu na tělese

$$t_{mN1} = \frac{t_1 + (t_1 - \delta t_T)}{2} - t_{iN} = \frac{75 + (75 - 2,5)}{2} - 20 = 73,8 \text{ }^\circ\text{C} . \quad (11)$$

Nyní přistupujeme k přepočtu výkonu na tělese 1.

$$\frac{Q_{T1}}{Q_{N1}} = \left[ \frac{t_{mT1} - t_i}{(t_{mT1} - t_i)_N} \right]^n \quad (12)$$

Z rovnice (15) si vyjádříme jmenovitý výkon  $Q_{N1}$  a dosadíme.

$$Q_{N1} = \frac{Q_{T1}}{\left[ \frac{t_{mT1} - t_i}{(t_{mT1} - t_i)_N} \right]^n} = \frac{1000}{\left[ \frac{73,75 - 20}{(73,75 - 20)_N} \right]^{1,33}} = 1000 \text{ W}$$

Máme vše potřebné k vyjádření změny teplosměnné plochy tělesa 1.

$$\frac{Q_S}{Q_{N1}} = \frac{S_1}{S_N} \cdot \left[ \frac{t_{mT1} - t_i}{(t_{mT1} - t_i)_N} \right]^n \quad (16)$$

Už jen vyjádříme poměr skutečné plochy  $S_1$  a plochy jmenovité  $S_N$ .

$$\frac{S_1}{S_N} = \frac{Q_1}{Q_N} \cdot \left[ \frac{t_{mT1} - t_i}{(t_{mT1} - t_i)_N} \right]^{-n} = \frac{1000}{1000} \cdot \left[ \frac{73,75 - 20}{(73,75 - 20)_N} \right]^{-1,33} = 1 \text{ m}^2$$

Výpočtem bylo skutečně ověřeno, že první těleso bude mít požadovaný výkon 1000 W a velikost 1 m<sup>2</sup>. Není zde tedy žádný pokles výkonu, tedy nutný nárůst velikosti teplosměnné plochy. První těleso tak můžeme vzít jako jakýsi etalon velikosti otopné plochy.

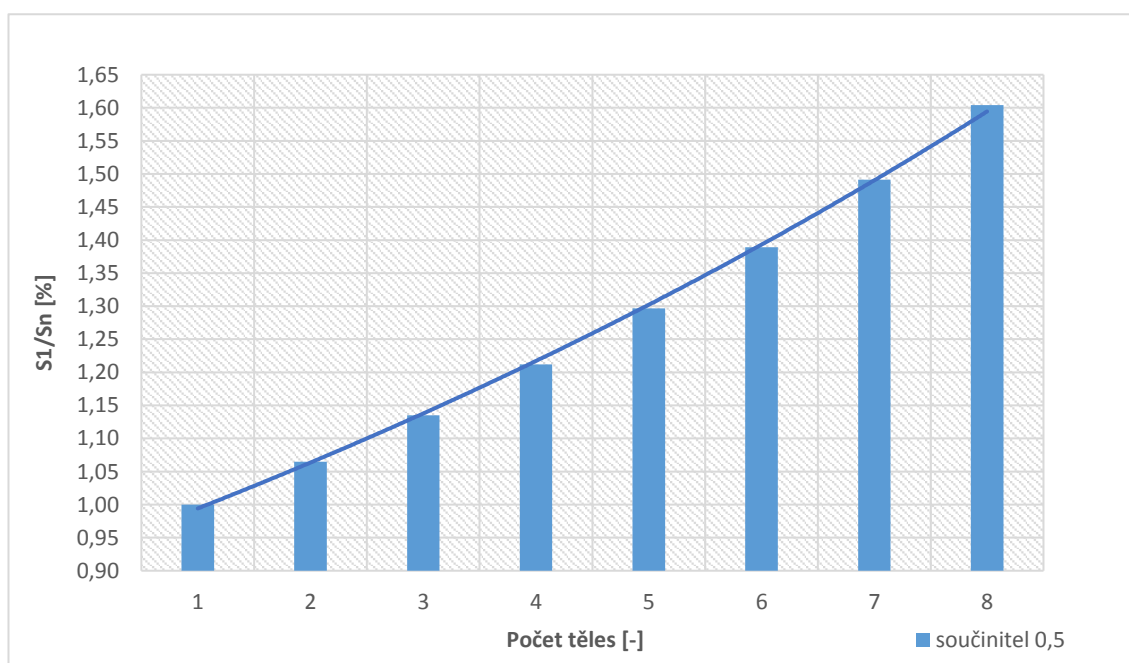
U dalších těles už tomu tak nebude. U těles vzdalujících se od zdroje tepla se bude postupně snižovat přívodní teplota a tím i střední teplota na tělese vlivem ochlazení na předchozích tělesech. V tomto sledu se proces opakuje až k poslednímu tělesu odkud je vratné horizontální potrubí napojeno na stoupačku kudy voda proudí zpět ke zdroji tepla pro znovuzískání tepelné energie.

Pro výpočet zbylých těles a jejich změn výkonů a přestupních ploch bychom postupovali stejně jako u tělesa č. 1. Hmotnostní průtok okruhem  $M_o$  je pro všechna tělesa stejný, stejně je tomu u hmotnostního průtoku tělesem  $M_T$ . První proměnná veličina je střední teplota na tělese  $t_m$  a jelikož je tato veličina obsažena ve vzorcích pro přepočtení tepelného výkonu  $Q$  a teplosměnné plochy  $S$ , tak i tyto veličiny budou pro každé těleso jiné. V tabulce č. 3 jsou vypočtené střední teploty všech OT a jejich přepočtené výkony a teplosměnné plochy.

Tab. 3 Výsledné hodnoty varianty 1

Těleso	Střední teplota [°C]	Katalogový výkon [W]	Teplosměnná plocha [m <sup>2</sup> ]
1	73,8	1000	1,00
2	72,5	1032	1,06
3	71,3	1065	1,14
4	70,0	1101	1,21
5	68,8	1139	1,30
6	67,5	1179	1,39
7	66,3	1221	1,49
8	65,0	1267	1,60

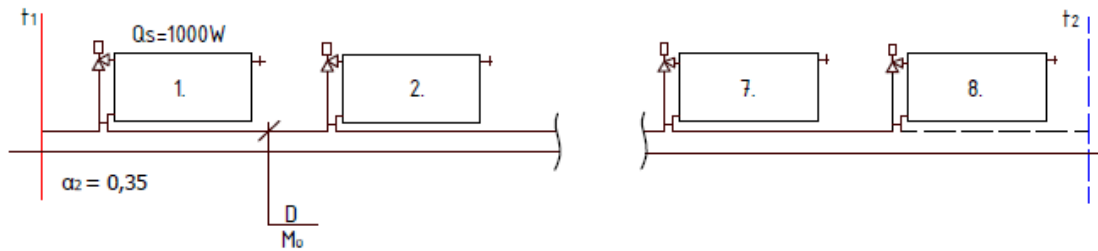
Na obrázku č. 22 je znázorněn procentuální nárůst teplosměnné plochy OT v závislosti na pořadovém čísle OT v okruhu pro  $\alpha_{T1} = 0,5$

Obr. 22 Nárůst teplosměnné plochy OT v závislosti na pořadí tělesa v okruhu pro  $\alpha_{T1} = 0,5$



## Varianta 2

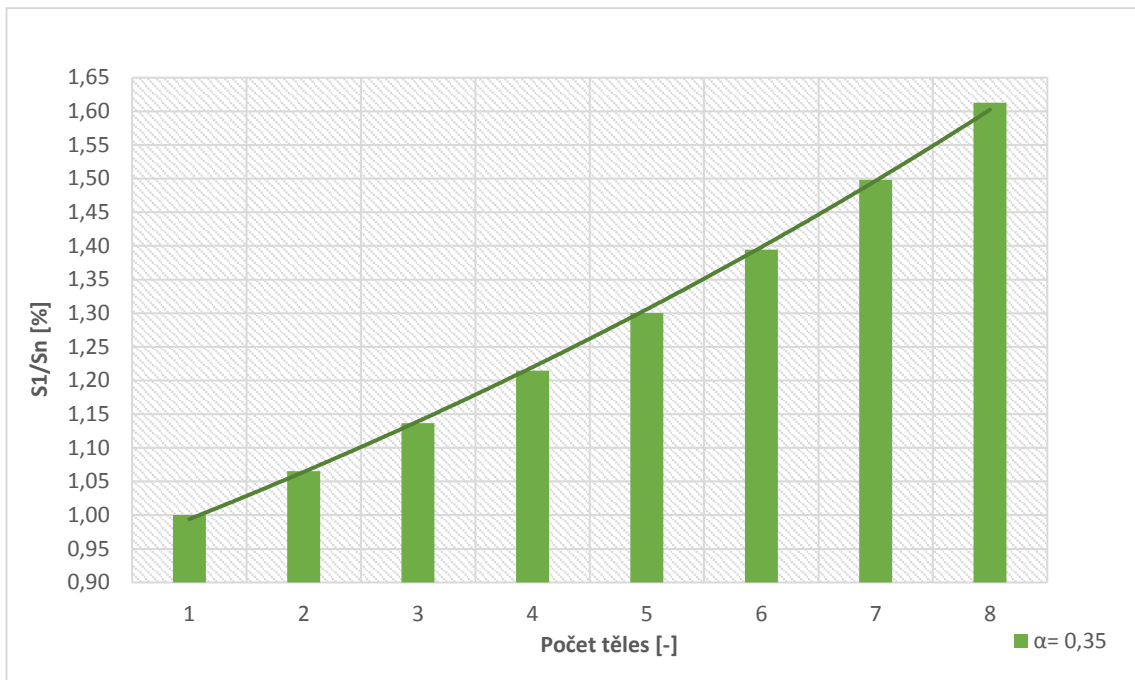
Na obr. 23 je schéma zadané otopné soustavy. Od varianty č. 1 se liší pouze hodnotou součinitele zatékání. Zde budeme uvažovat  $\alpha_{T2} = 0,35$ . Postup výpočtů je stejný. V tabulce č. 4 jsou již spočtené hodnoty podle předchozích rovnic. Na obr. 24 můžeme opět vidět křivku procentuálního nárůstu teplosměnné plochy v závislosti na odlehlosti OT od vstupu do okruhu s  $\alpha_{T2} = 0,35$ .



Obr. 23 Schéma – varianta 2

Tab. 4 Výsledné hodnoty varianty 2

Těleso	Střední teplota [°C]	Katalogový výkon [W]	Teplosměnná plocha [m <sup>2</sup> ]
1	73,2	1000	1,00
2	72,0	1032	1,07
3	70,7	1066	1,14
4	69,5	1102	1,21
5	68,2	1140	1,30
6	67,0	1181	1,39
7	65,7	1224	1,50
8	64,5	1270	1,61

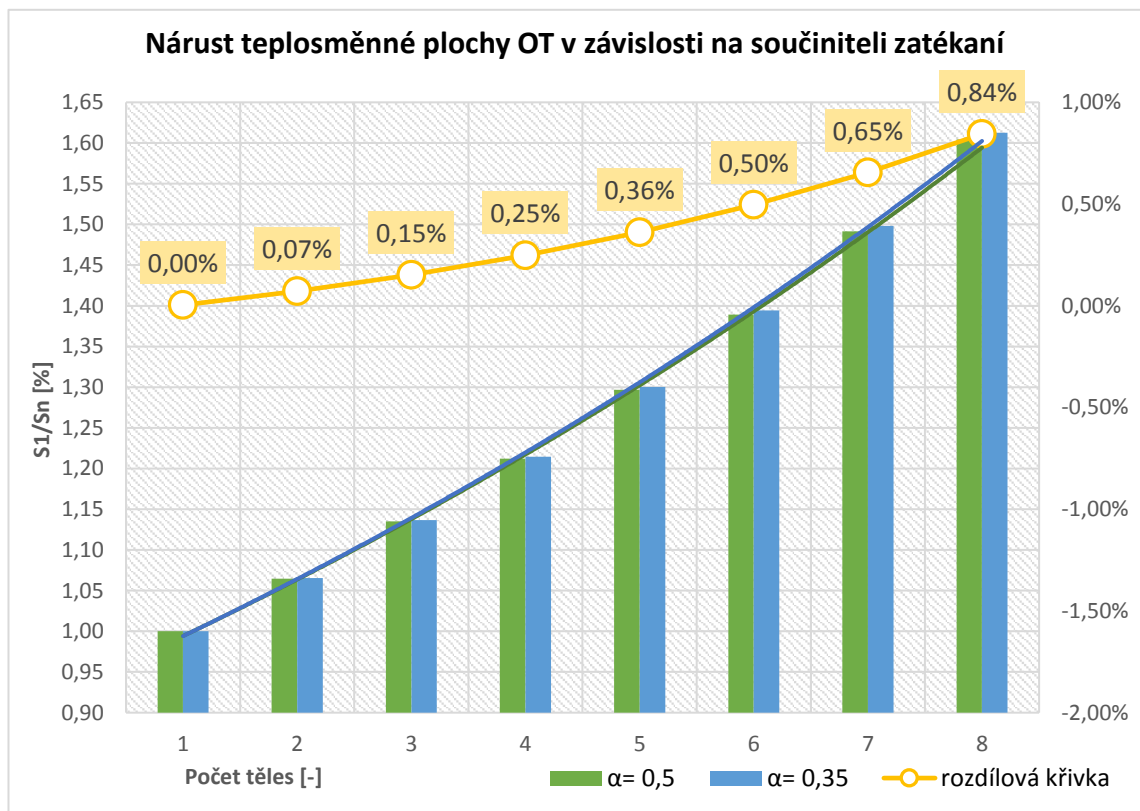


Obr. 24 Nárůst teplosměnné plochy OT v závislosti na pořadí OT v okruhu pro  $\alpha_{T_2} = 0,35$

Z výsledků tabulek 3 a 4 můžeme pozorovat, že potřebný katalogový výkon těles se postupně zvyšuje. My však nebudeme měnit skutečný výkon těles, ten je konstantní. Abychom od tělesa získali námi požadovaný výkon 1000 W, musíme zvětšit teplosměnnou plochu tělesa. Nejprve se podívejme na rozdíl středních teplot v obou variantách. Můžeme si všimnout, že rozdíl středních teplot není nijak veliký. Řádově v desetinách kelvinů. To by nás mohlo vést k myšlence, že se varianta 1 od varianty 2 příliš neliší. Naším klíčovým výstupem bude ale změna velikosti potřebné teplosměnné plochy. Ta roste nepřímě úměrně se střední teplotou.

Z výstupních hodnot je snadno viditelné, že teplosměnná plocha tělesa se mění (roste) přibližně o 8 % z původní etalonové teplosměnné plochy 1 m<sup>2</sup>. Jinak řečeno teplosměnná plocha konkrétního tělesa je o 0,08 m<sup>2</sup> větší než tělesa před ním. Rozdíl mezi prvním a posledním tělesem je už poměrně značný. Těleso na konci hydraulické řady bude přibližně o 60 % (0,6 m<sup>2</sup>) větší než těleso na začátku okruhu.

Sklon křivek nárůstu teplosměnné plochy na obr. 22 a 24 se téměř neliší. Je mezi nimi doopravdy minimální rozdíl. Na obr. 25 jsou znázorněny obě varianty a procentuální rozdílová křivka. Ta nám zobrazuje, že rozdíl mezi osmými tělesy obou variant, co do velikosti, činí pouze 0,84 %. Lze z toho vyvodit závěr, že při navrhování má projektant v podstatě svobodnou volbu součinitele zatékání do OT. Volba součinitele zatékání 0,5 nebo 0,35 nijak významně výsledek neovlivní. Vyšší hodnoty součinitele zatékání se nedoporučují z důvodu výraznějšího ovlivnění střední teploty na OT. Nedoporučuje se rovněž vyšší počet OT v horizontálním okruhu JHOS s ohledem na narůstající požadavek na dopravní tlak čerpadla.



Obr. 25 Procentuální rozdílová křivka pro varianty s  $\alpha_{T2} = 0,5$  a  $0,35$ .

## 4. Závěr

Již před několika tisíci lety se lidé zabývali problematikou vytápění, z důvodů snahy přežít tehdejší mrazivé podmínky. Jako u každé nově se rodící vědy se i zde začínalo prostými pokusy, mnohdy i nebezpečnými. Není nikterak překvapující, že hlavním zdrojem tepla a základem vytápění byl zprvu pouze oheň, jeden z nejdůležitějších objevů lidstva. Prvním způsobem, kterým si člověk vytápěl své obydlí, bylo prosté otevřené ohniště, zpočátku dokonce bez otvorů pro odvod kouře. Postupem času člověk získával zkušenosti a přicházel se stále novými nápady. Od vytápění kouřovými spalinami přechází na teplovzdušné a později na parní vytápění. Poslední jmenované se zrodilo spolu s největším vynálezem 18. století, Wattovým parním strojem. Parní vytápění pracuje s vysokými teplotami otopných ploch a soustavu tak nelze přesně regulovat. Z tohoto důvodu se přechází na teplovodní vytápění (konvekční, stropní, podlahové apod.).

V mé závěrečné práci jsem zpracoval téma teplovodních otopných soustav převážně konvekčních. Jedná se o „klasické“ teplovodní OS, které jsou tvořeny základními prvky každé OS jako je zdroj tepla, potrubní síť, otopná tělesa, zabezpečovací prvky atd. Říká se jim někdy „klasické“ OS, protože jsou obecně známé. Od moderních převážně sálavých teplovodních OS se liší tím, že otopné plochy (tělesa) jsou podstatně menší a teplo do okolí předávají převážně konvekcí a menší část pak sáláním.

Konvekční teplovodní OS se projektují, nebo v minulosti projektovaly, v mnoha provedeních. Při návrhu OS je zapotřebí znát přesné požadavky zákazníka a skloubit je s legislativními náležitostmi každé OS. Na základě těchto obou podmínek se rozhodujeme, zda zvolíme např. přirozený oběh otopné vody v OS nebo nucený oběh. V mé práci se věnuji hlavně konstrukčnímu provedení, tj. způsobům rozvodů hlavního ležatého potrubí, rozvodů otopné vody k OT nebo přívodům a odvodům otopné vody z/k OT. Konstrukčních variant teplovodních OS je poměrně hodně. Vždy se je ovšem snažíme adaptovat na stavební konstrukci daného objektu. Zjednodušený konstrukční popis OS si můžeme uvést na příkladu. Uvažujme např. více podlažní objekt s podsklepeným prostorem. V případě podsklepené budovy je zcela běžné a výhodné umístit zdroj tepla právě do místnosti ve sklepě. Odtud spodním hlavním ležatým rozvodem proudí otopná voda od zdroje tepla k navazujícímu svislému potrubí (stoupačkám). Stoupačky vedou jednotlivými prostupy do jednotlivých podlaží. Na stoupačky napojíme pomocí krátkých přípojek OT. Napojení k/z OT je buď

jednotrubkové nebo dvoutrubkové. Dvoutrubkové napojení je charakteristické tím, že jedno potrubí slouží pouze pro přívod otopné vody a druhé pouze pro odvod. U jednotrubkového napojení je jen jedno potrubí, a to vykonává obě funkce (přívod a odvod otopné vody). Ochlazená voda vede z OT ke stoupačkám a zpět kde zdroji tepla. To je jen jedna z možností, jak lze uvažovat a postupovat při návrhu potrubních tras OS.

Vedle konstrukčního provedení se také při tvorbě projektu OS řeší jejich zabezpečení a odvzdušnění. V současné době se OS opatřují tlakovými expanzními nádobami a zdroje tepla pojistnými ventily. Ty spolu zajišťují teplotní a tlakovou stabilitu OS a zdroje tepla. V neposlední řadě je důležitá vhodná volba materiálu (ocel, měď, plast). Každý ze jmenovaných má své výhody i nevýhody. Při volbě materiálu zohledňujeme zejména teplotní délkovou roztažnost, korozivzdornost a mechanickou odolnost proti poškození.

V praktické části mé práce se zabývám tématem jednotrubkové horizontální OS se čtyřcestnými směšovacími armaturami. Pracoval jsem s OS s osmi OT řazenými sériově za sebou, s konstantním požadavkem na tepelný výkon 1000 W u každého OT. Čtyřcestná armatura směšuje dva proudy otopné. Protože smíšená přívodní otopná voda má u každého OT jiné (nižší) teplotní parametry, musel jsem každé OT zvlášť přepočítat. Požadujeme-li konstantní tepelný výkon při snižující se střední teplotě na OT, změna středních teplot se promítne do velikosti teplosměnných ploch OT. Zkoumal jsem závislost změny teplosměnné plochy na umístění OT v hydraulické řadě od zdroje tepla pro dvě varianty součinitele zatékání  $\alpha_T$  (0,5 a 0,35). Součinitel zatékání  $\alpha_T$  nám určuje, v jakém poměru se budou proudy otopné vody ve čtyřcestné směšovací armatuře mísit. Po přepočtení všech středních teplot a teplosměnných ploch OT jsem došel k závěru, že obě varianty jsou téměř shodné. Rozdíly středních teplot na OT u obou variant jsou srovnatelné, to samé platí i pro rozdíly velikostí teplosměnných ploch. Pro OT v obou případech platí, že jejich teplosměnná plocha se bude s každým OT od zdroje tepla zvětšovat cca o 8 % od první etalonové teplosměnné plochy OT. V OS s osmi OT rozdíl činí 60 % mezi první a posledním OT v hydraulické řadě. Pro projektanta to znamená, že při volbě součinitele zatékání do OT nemusí brát příliš velký ohled na to, jestli zvolí  $\alpha_T = 0,5$  nebo  $\alpha_T = 0,35$ . Zásadně to neovlivní požadovanou funkčnost naší OS. Vyšší hodnoty součinitele zatékání se nedoporučují z důvodu výraznějšího ovlivnění střední teploty na OT. Nedoporučuje se rovněž vyšší počet OT v horizontálním okruhu JHOS s ohledem na narůstající požadavek na dopravní tlak čerpadla.

## 5. Použitá literatura

- [1] J., Bašta, Brož K., Cikhart J., Štorkan M. a Valenta V. *Topenářská příručka*. Praha: GAS, 2001, s. 2395. ISBN 978-80-86-17681-9.
- [2] BAŠTA, Jiří. *Otopné plochy – Otopná tělesa*. 2. Praha: České vysoké učení technické, 2016, s. 206. ISBN 978-80-01-05943-2.
- [3] JIŘÍ, Bašta. *Pohoda vnitřního prostředí a tepelná pohoda* [online]. 2019 [cit. 2019-06-13]. Prezentace. ČVUT – Technika prostředí.
- [4] BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. *Otopné soustavy teplovodní*. 3. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2008, s. 96. ISBN 978-80-02-02064-6.
- [5] LÁZŇOVSKÝ, Miroslav, Milan KUBÍN a Petr FISCHER. *Vytápění rodinných domků*. Praha: Malina, 1996, s. 488. ISBN 978-80-90-19752-7.
- [6] ŠTĚCHOVSKÝ, Jaroslav. *Vytápění pro 3. a 4. ročník SPŠ stavebních*. Praha: Sobotáles, 1987, s. 453. ISBN 978-80-86-81711-8.
- [7] DUFKA, Jaroslav. *Vytápění domů a bytů*. 2. Praha: Grada, 2004, s. 99. ISBN 978-80-24-70642-9.
- [8] VYHNANOVSKÝ, Petr. *KRAFTING – čistě proti vodnímu kameni* [online]. 8.10.2004 [cit. 2019-06-06]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/2175-krafting-ciste-proti-vodnimu-kameni>
- [9] BROŽ, Karel. *Vytápění*. Praha: České vysoké učení technické, 1995, s. 205. ISBN 978-80-01-01313-7.
- [10] VAVŘIČKA, Roman. *Teplovodní otopné soustavy* [online]. Praha [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Kurz%20Vytapeni/Sylabus%20-%20Otopne%20soustavy%20teplovodni%20-%20%20Kurz%20vytapani.pdf>
- [11] VRÁNA, Jakub. *Technická zařízení budov v praxi*. Praha: Grada, 2007, s. 331. ISBN 978-80-24-71588-9.
- [12] TAJBR, Stanislav. *Vytápění pro 1. a 2. roč. UO instalatér*. Praha: Sobotáles, 2003, s. 440. ISBN 978-80-85-92096-3.
- [13] *Otopné soustavy bytových domů* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/regenerace-domu/322-otopne-soustavy-bytovych-domu>

- [14] VAVŘIČKA, Roman, Jiří BAŠTA a Vladimír GALÁD. *Analýza proveditelnosti instalace měřicích zařízení dodaného tepla* [online]. 2015 [cit. 2019-06-13]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/55071/62951/650284/priloha001.pdf>
- [15] BAŠTA, Jiří. *Změny průtoku ve dvoutrubkové protiproudé otopné soustavě* [online]. 29.5.2017 [cit. 2019-06-08]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/potrubi-a-armatury/15826-zmeny-prutoku-v-dvoutrubkove-protiproude-otopne-soustave>
- [16] BAŠTA, Jiří. *Porovnání otopných soustav z hlediska některých parametrů* [online]. 29.10.2018 [cit. 2019-06-08]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/potrubi-a-armatury/18127-porovnani-otopnych-soustav-z-hlediska-nekterych-parametru>
- [17] VANDAS, Milan. *Propojení otopných těles* [online]. 15.12.2011 [cit. 2019-06-08]. Dostupné z: <https://www.stavebniklub.cz/33/propojeni-otopnych-teles-uniqueidmRRWSbk196FNf8jVU4EtuIudZOIacgAlkKz1jbWPNrJfTGJxQrnQ/?query=propojen%ED%20t%ECles&serp=1>
- [18] VANĚK, Vladimír. *Vše o membránových expanzních nádobách* [online]. 8.9.2009 [cit. 2019-06-06]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapeni/5894-vse-o-membranovych-expanznich-nadobach>
- [19] JIŘÍ, Bašta. *Otopné soustavy teplovodní* [online]. 2019 [cit. 2019-06-13]. Prezentace. ČVUT – Technika prostředí.
- [20] *Způsob fungování membránové expanzní nádoby* [online]. In: [cit. 2019-06-08]. Dostupné z: <https://medenerozvody.cz/kombinace-medi-oceli-v-instalacich-topeni>
- [21] HOŘEJŠÍ, Miroslav. *Plasto – hliníkové vícevrstvé trubky pro vytápění a sanitu* [online]. 11.8.2000 [cit. 2019-06-08]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/potrubi-a-armatury/12494-plasto-hlinikove-vicevrstve-trubky-pro-vytapeni-a-sanitu>
- [22] KOPÁČKOVÁ, Dagmar. *Vnitřní vodovody z plastů* [online]. In: 13.6.2001 [cit. 2019-06-08]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/potrubi-trasy-vodovod/574-vnitri-vodovody-z-plastu>

- [23] *Jsou lepší trubky PEX (PE-RT) nebo PEX/AL/PEX* [online]. In: 21.03.2017 [cit. 2019-06-08]. Dostupné z: <http://www.topin.cz/clanky/jsou-lepsi-trubky-pex-pe-rt-nebo-pex-al-pex-pe-rt-al-pe-rt-detail-1371>
- [24] *Dvoucestný termostatický ventil* [online]. In: [cit. 2019-06-08]. Dostupné z: <https://www.koupelny-venta.cz/36652,r357bi-dvoucestny-termostaticky-ventil-s-natrubkem-bez-adapteru-jednobodove-spodni-pripoj-vcetne-injektoru-rohovy-pravy-1-2-quot-x-18.html>
- [25] *Příručka k projektování systému z měděných trubek v technických zařízeních budov* [online]. [cit. 2019-06-13]. Dostupné z: <https://medenerozvody.cz/>
- [26] KRATZ, Werner. *Kachlová kamna v tradičním zámeckém pojetí* [online]. In: [cit. 2019-06-08]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/kachlova-kamna/5445>



## Seznam příloh

- CD obsahující bakalářskou práci v PDF a soubor Excel pro výpočty a grafy zpracované v praktické části