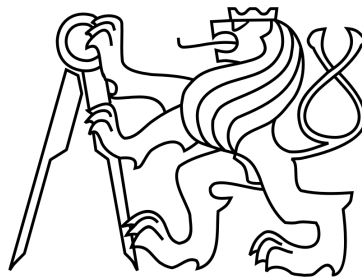


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA STAVEBNÍ  
Katedra technických zařízení budov**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Využití velkoplošných systémů pro vytápění a  
chlazení budov**

Vypracoval: Bc. Dominik Beneš

Vedoucí diplomové práce: Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.

2022/2023

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Beneš	Jméno: Dominik	Osobní číslo: 477012
Zadávací katedra: K125 - Katedra technických zařízení budov		
Studijní program: B - Budovy a prostředí		
Studijní obor/specializace: B - Budovy a prostředí		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Využití velkoprošných systémů pro vytápění a chlazení budov	
Název diplomové práce anglicky: Use of large scale systems for heating and cooling buildings	
Pokyny pro vypracování: Teoretická část: Rešerše využití velkoprošných systému vytápění a chlazení (význam, druhy a možná praktická řešení, specifikace návrhu a regulace, výhody a nevýhody, atd.)	
Praktická část: Návrh a zpracování projektové dokumentace systému vytápění a chlazení objektu s přednostním využitím velkoprošných systémů v rozsahu: - výpočet tepelných ztrát a zisků, bilance potřeby tepla a chladu, návrh otopné/chladicí soustavy včetně návrhu zdroje tepla/chladu, dimenzování potrubních rozvodů na základě hydraulických výpočtů, technická zpráva	
Seznam doporučené literatury: D. Petráš a kol.: Vytápění rodinných a bytových domů, Jaga 2005 J. Bašta, K. Kabele: Otopné soustavy teplovodní - Sešit projektanta č.1 - Společnost pro techniku prostředí 2008 Zmrhal Vladimír: Sálavé chladicí systémy ve vztahu k tvorbě vnitřního prostředí, ČVUT 2012 Bašta Jiří: Velkoprošné sálavé vytápění, Grada 2010 Bašta Jiří: Sálavé a průmyslové vytápění, ČVUT 2021 server katedry TZB - tzb.fsv.cvut.cz	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 26.9.2022	Termín odevzdání DP v IS KOS: 9.1.2023 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

# Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „**Využití velkoplošných systémů pro vytápění a chlazení budov**“ zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

V Praze dne .....

.....  
Bc. Dominik Beneš

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Stanislavu Frolíkovi, Ph.D. za profesionální přístup, cenné rady, ochotu a trpělivost při vedení mé diplomové práce.



## Abstrakt

Diplomová práce se skládá z rešerše velkoplošných sálavých systémů pro vytápění a chlazení budov a návrhu takového systému pro zvolený objekt.

Práce je rozdělena na teoretickou, výpočtovou a praktickou část. V rámci teoretické části jsou mimo jiné popsány věci související s tepelnou pohodou, jednotlivé druhy velkoplošných systémů, druhy otopných ploch, využívané zdroje tepla a chladu, možnosti regulace a nakonec jsou uvedeny příklady realizací takových systémů v praktických aplikacích.

Ve výpočtové části jsou provedeny veškeré potřebné výpočty, na základě kterých je dále proveden návrh otopné/chladicí soustavy a souvisejících zařízení.

V praktické části je vypracována projektová dokumentace vytápění a chlazení pro zvolený objekt s přednostním využitím kapilárních rohoží, kde se při návrhu uplatní poznatky získané v rešerši.

## Klíčová slova

Vytápění, chlazení, tepelná pohoda, zdroje tepla a chladu, velkoplošné systémy, stropní vytápění, stropní chlazení, kapilární rohože, otopná soustava, chladicí soustava

## Abstract

The diploma thesis consists of the research of large-scale radiant heating and cooling systems of buildings and the design of such a system for the chosen object.

The work is divided into a theoretical, calculation and a practical part. Within the theoretical part, among other things, things related to thermal comfort, individual types of large-scale systems, types of heating surfaces, heating and cooling sources, control options are described, and finally, examples of the implementation of such systems in practical applications are given.

In the calculation part, all necessary calculations are made, based on which the design of the heating/cooling system, including necessary equipment, is made.

In the practical part, a project documentation for heating and cooling is drawn up for the chosen object with priority use of capillary tube mats, where the knowledge obtained in the research is applied during the design.

## Key words

Heating, cooling, thermal comfort, heating and cooling sources, large-scale systems, ceiling heating, ceiling cooling, capillary tube mats, heating system, cooling system

# **Obsah práce**

## **1. Textová část**

## **2. Výpočtová část**

2.1 Příloha výpočtové části

## **3. Projektová část**

3.0 Technická zpráva

3.1 Situace - vrty

3.2 Půdorys 1.PP

3.3 Půdorys 1.NP

3.4 Půdorys 2.NP

3.5 Funkční schéma strojovny

3.6 Půdorys strojovny

3.7 Schéma rozvodů vytápění a chlazení

## **4. Technické listy**

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod k sálavým systémům .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Tepelná pohoda .....</b>	<b>12</b>
2.1	Tepelná pohoda obecně .....	12
2.2	Lokální tepelná pohoda .....	13
2.2.1	Sálavá asymetrie .....	13
2.2.1.1	Stropy .....	13
2.2.1.2	Stěny .....	14
2.2.1.3	Podlahy .....	14
2.2.2	Rozložení teplot vzduchu .....	14
2.2.3	Rychlost proudění vzduchu .....	15
2.2.4	Povrchová teplota .....	16
<b>3</b>	<b>Základní rozdělení velkoplošných systémů.....</b>	<b>17</b>
3.1	Teplovzdušné systémy .....	17
3.2	Teplovodní systémy.....	18
3.3	Elektrické systémy .....	19
<b>4</b>	<b>Zdroje tepla a chladu .....</b>	<b>20</b>
4.1	Vytápění.....	20
4.2	Chlazení .....	22
4.2.1	Pasivní chlazení .....	22
4.2.2	Aktivní chlazení.....	22
<b>5</b>	<b>Umístění otopných ploch .....</b>	<b>23</b>
5.1	Podlahové systémy .....	23
5.1.1	Suché systémy.....	23
5.1.2	Mokrý systémy.....	24
5.2	Stropní systémy .....	26
5.2.1	Suché systémy.....	26
5.2.2	Mokrý systémy.....	27
5.3	Stěnové systémy.....	27
5.3.1	Suché systémy.....	28
5.3.2	Mokrý systémy.....	28
5.4	Kapilární rohože .....	29
5.4.1	Výhody kapilárních rohoží .....	30
5.4.2	Nevýhody kapilárních rohoží.....	31
5.5	Aktivace betonového jádra .....	31

<b>6</b>	<b>Materiály rozvodů otopných/chladících ploch .....</b>	<b>33</b>
<b>6.1</b>	<b>Plastové a vícevrstvé potrubí .....</b>	<b>33</b>
6.1.1	Síťovaný polyetylen (PE-X) .....	33
6.1.2	Polyetylen (PE-RT).....	33
6.1.3	Polybuten (PB).....	34
6.1.4	Vícevrstvá trubka (PEX-AL-PEX).....	34
6.1.5	Propylen .....	35
<b>6.2</b>	<b>Měděné potrubí.....</b>	<b>35</b>
<b>6.3</b>	<b>Nerezové potrubí.....</b>	<b>36</b>
<b>6.4</b>	<b>Elektrické topné kabely a fólie .....</b>	<b>36</b>
6.4.1	Topné kabely.....	36
6.4.2	Topné fólie.....	37
<b>7</b>	<b>Regulace systému.....</b>	<b>38</b>
<b>7.1</b>	<b>Regulace tepelného výkonu.....</b>	<b>38</b>
7.1.1	Regulace podle vnitřní teploty .....	38
7.1.2	Regulace podle teploty venkovního vzduchu – ekvitermní.....	38
7.1.3	Ekvitermní regulace se zpětnou vazbu na vnitřní teplotu.....	39
<b>7.2</b>	<b>Regulace rosného bodu.....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>Příklady realizací.....</b>	<b>40</b>
<b>8.1</b>	<b>Kapilární rohože .....</b>	<b>40</b>
<b>8.2</b>	<b>Aktivace betonového jádra .....</b>	<b>41</b>
<b>9</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>43</b>
<b>10</b>	<b>Seznamy .....</b>	<b>44</b>
10.1	Literatura a použité zdroje .....	44
10.2	Seznam obrázků.....	47
10.3	Seznam grafů.....	47

# 1 Úvod k sálavým systémům

Sálavé systémy jsou v dnešní době hojně využívané, ať už v rodinných domech, tak také bytových či administrativních budovách. Převážně k sálavému vytápění řadíme velkoplošné vytápění stropní, stěnové a podlahové a také lokální vytápění sálavými panely a tmavými nebo světlými zářiči.

Pokud se bavíme o sálavých systémech, je třeba vysvětlit, co to vlastně sálavé systémy jsou. U běžných systémů, kde jsou využity pro vytápění například otopná tělesa či konvektory, se teplo sdílí především prouděním (konvekcí). U sálavých systémů, jak již název napovídá, se teplo sdílí do prostoru především sáláním (radiací). Například u stropního vytápění je 80 % celkového tepla sdíleno sáláním, u stěnového 65 % a u podlahového 55 % [1].

Jako každý jiný systém, tak i sálavé systémy mají své pro a proti. Okrajové podmínky pro návrh takovýchto systémů se liší budovu od budovy. Je vždy nutné posoudit vhodnost tohoto řešení pro konkrétní objekt. Obecně lze s výhodou používat velkoplošné systémy tam, kde máme zajištěnou dostatečnou plochu pro pokrytí sálavými systémy. V tu chvíli je vhodné tyto systémy použít, vzhledem k tomu, že díky dostatečné ploše můžeme snížit teplotu otopné vody a s výhodou poté lze využít nízkoteplotních zdrojů tepla, které při nízké teplotě otopné vody dokáží pracovat s výbornou účinností. Další výhodou je lepší vertikální rozložení teplot vzduchu ve vytápěné místnosti, které přímo ovlivňuje tepelnou pohodu. Při využití sálavého vytápění je střední radiační teplota vyšší než teplota vzduchu, zatímco u konvenčních systémů je tomu naopak. V neposlední řadě, ačkoliv to přináší spoustu dalších specifik, které musí být brány v úvahu při návrhu, můžeme takové systémy s výhodou využívat i pro chlazení.

Mezi nevýhody velkoplošných sálavých systémů můžeme považovat zpravidla pomalou odezvu na změnu teploty místnosti způsobenou značnou akumulací konstrukcí, a to především u teplovodního podlahového vytápění a aktivovaného betonového jádra. Na druhou stranu nelze tvrdit, že se jedná pouze o nevýhodu. Tepelná akumulace konstrukcí přispívá k vyšší stabilitě vnitřního prostředí při špičkových výkyvech vnějších teplot.

Dalšími nevýhodami mohou být například vyšší pořizovací náklady nebo nutnost předchozího plánování rozmístění pevně zabudovaných prvků interiéru (skříně, postele, kuchyňské linky), které snižují výkon. Také musí být bráno v úvahu, že použitím velkoplošných systémů, například ve stěnách nebo ve stropu snižujeme variabilitu využití prostoru – případným vrtáním, kotvením do stěn a stropů, umístěním svítidel apod.

## 2 Tepelná pohoda

### 2.1 Tepelná pohoda obecně

Vytápění a chlazení, ať už se bavíme o konvenčních systémech, nebo sálavých systémech má za úkol zajistit tepelnou pohodu v prostoru. Každý z nás někdy zažil ten pocit, kdy mu při práci byla zima nebo naopak nepřiměřené teplo – říkáme, že vznikla tepelná nepohoda. Z toho vyplývá, že tepelná pohoda je zjednodušeně takový pocit, kdy nepocitujeme ani chlad ani nepřiměřené teplo – tepelné toky mezi člověkem a okolím musí být v rovnováze s metabolickým tepelným tokem.

Tepelnou pohodu ovlivňuje množství faktorů [2]:

#### a) faktory osoby

- činnost vyjádřená metabolickým tepelným tokem  $q_m$  [ $W/m^2$ ]
- tepelný odpor oblečení  $R_{ob}$  [ $m^2 \cdot K/W$ ] [clo]

#### b) faktory prostředí

- teplota vnitřního vzduchu  $t_i$  [ $^{\circ}C$ ]
- střední radiační teplota  $t_r$  [ $^{\circ}C$ ]
- rychlost proudění vzduchu  $w$  [ $m/s$ ]
- tlak vodních par ve vzduchu  $p_D$  [ $Pa$ ]

Tyto parametry a jejich kombinace přímo ovlivňují tepelnou pohodu. Obecně lze říci, že za akceptovatelný stav lze považovat takový, kdy procento nespokojených je nižší než 15 %. Současně musí platit, že žádná část těla se nadměrně nepřehřívá ani nepodchlazuje, tedy nevzniká lokální nepohoda.

Lokální tepelná nepohoda může být způsobena:

- asymetrickým tepelným sáláním
- nevhodným vertikálním teplotním gradientem vzduchu
- zvýšeným prouděním vzduchu
- příliš teplou či chladnou podlahou

## 2.2 Lokální tepelná pohoda

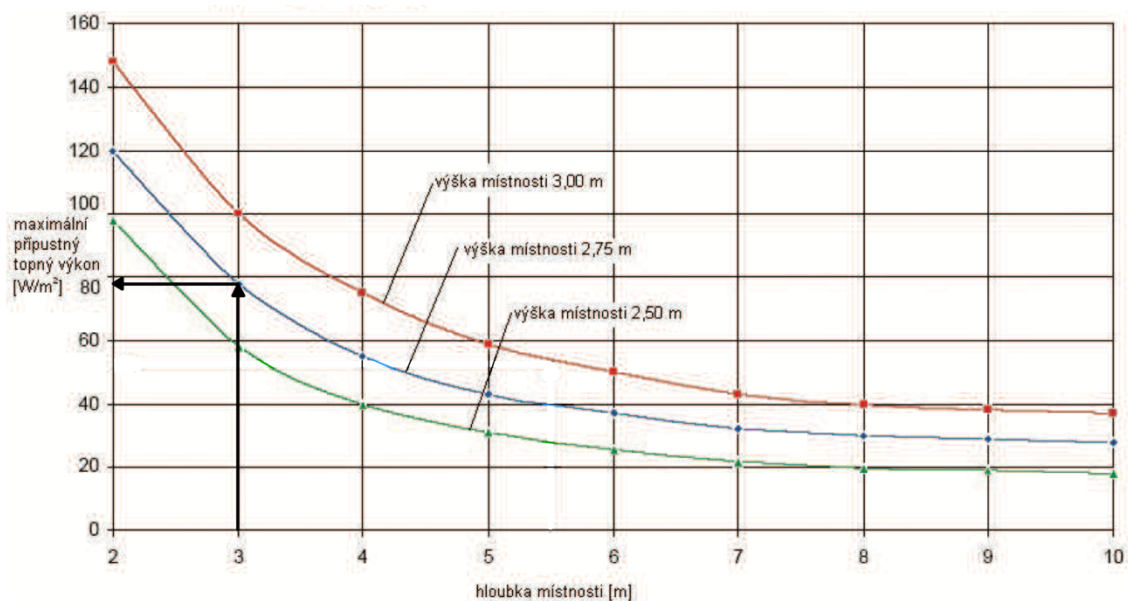
### 2.2.1 Sálavá asymetrie

Sálavá asymetrie se projevuje jako lokální diskomfort uživatelů, kteří jsou nejvíce citliví zejména na asymetrii způsobenou teplým stropem a chladnými okny.

#### 2.2.1.1 Stropy

Sálavá asymetrie je rozhodujícím prvkem při návrhu zejména otopných stropů, kdy musí být omezena povrchová teplota stropu tak, aby nedocházelo k nadměrnému osálení temene hlav uživatelů, kteří pak pocítují diskomfort.

Výrobci systémů otopných stropů na tohle pamatují a většinou je součástí jejich projekčních podkladů graf, který v závislosti na hloubce a výšce místnosti stanovuje maximální přípustný výkon otopné plochy vztažený na 1 m<sup>2</sup> povrchu.



Graf 1: Maximální přípustný výkon systému kapilárních rohoží

Lze pozorovat, že s narůstající hloubkou místnosti se maximální přípustný výkon rapidně snižuje, stejně tak se snižuje s výškou místnosti. Z toho vyplývá, že takové systémy nejsou vhodné pro aplikace, kdy máme hluboké dispozice a zároveň potřebujeme velký výkon k pokrytí tepelných ztrát.

Riziko sálavé asymetrie zpravidla nenastává u stropních systému pro chlazení. Je to z toho důvodu, že nejnižší přívodní teplota chladicího média do chladicích stropu je omezená především teplotou rosného bodu, v našich podmínkách běžně 16 °C. Povrchová teplota tedy není dostatečně nízká, aby způsobovala lokální diskomfort uživatelů.



### 2.2.1.2 Stěny

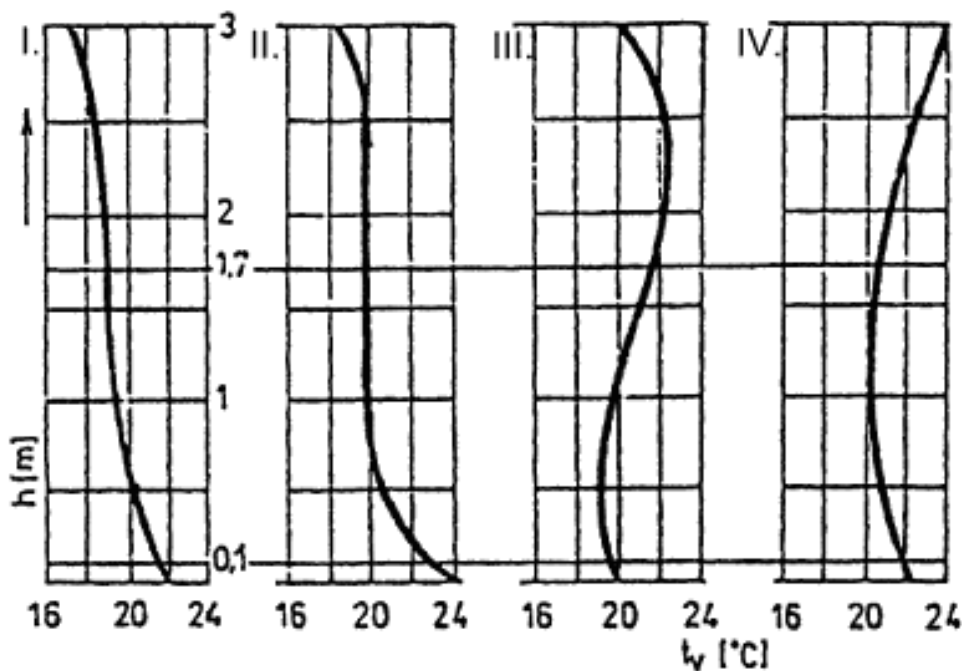
V případě otopných stěn je sálavá asymetrie při návrhu druhotným faktorem. Sálání ve vodorovném směru je člověk poměrně málo citlivý. Díky tomu může být povrchová teplota otopných stěn znatelně vyšší, než případě otopných stropů – běžně mezi 50 a 60 °C.

### 2.2.1.3 Podlahy

Povrchová teplota při využití podlahového vytápění není omezená sálavou asymetrií, nýbrž z fyziologického hlediska, kdy je omezována maximální teplota povrchu z hlediska přímého kontaktu mezi chodidlem a povrchem podlahy.

## 2.2.2 Rozložení teplot vzduchu

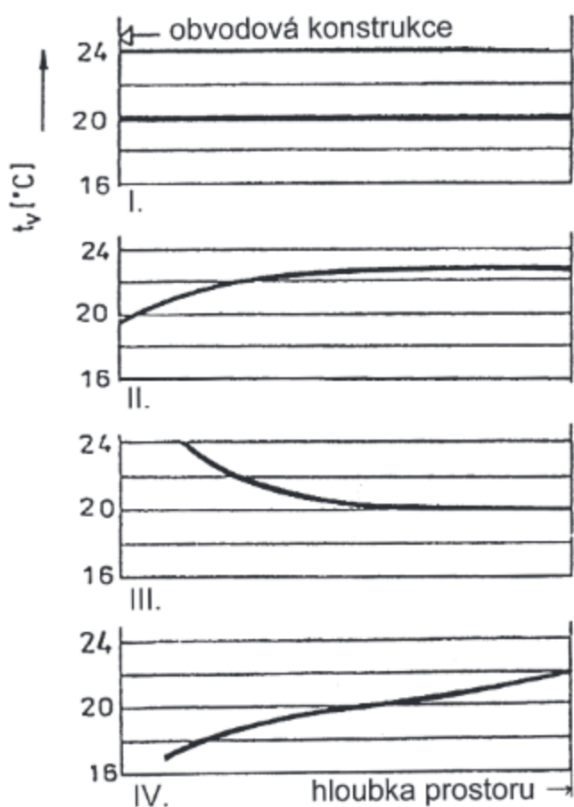
Velmi důležité pro tepelnou pohodu je také optimální rozložení teplot, jak v rovině vertikální, tak i horizontální.



Obrázek 1: Vertikální průběh teploty vzduchu ve vytápěné místnosti [2]

Na obrázku č. 1 můžeme vidět rozložení teplot po výšce místnosti. Na prvním grafu je zobrazen ideální průběh teploty, kdy by teplota v úrovni hlavy měla být o 2 °C nižší než v oblasti kotníků.

Na druhém grafu je zobrazen průběh teplot u podlahového vytápění. Lze pozorovat, že tento průběh se nejvíce blíží k ideálnímu průběhu. Na dalším grafu můžeme vidět průběh teploty při použití článkových otopných těles a na posledním při použití stropního vytápění, kde je teplota v úrovni hlavy zhruba o 1 až 2 °C nižší než v úrovni kotníků a zároveň se teplota zvyšuje směrem ke stropu.



Obrázek 2: Horizontální průběh teploty vzduchu ve vytápěné místnosti (pořadí shodné s Obr. 1)

Pokud se podíváme na horizontální průběh teploty vzduchu, můžeme pozorovat, že podlahové vytápění vykazuje znovu téměř ideální průběh teploty, kde je patrné její snížení u obvodových konstrukcí. Toto snížení lze částečně kompenzovat vytvořením okrajové zóny, kde je otopné potrubí kladeno hustěji u sebe v šířce zhruba 0,5 až 1 m od ochlazované stěny.

U článkových otopných těles logicky pozorujeme vyšší teplotu v místě ochlazovaných konstrukcí, která se směrem do místnosti snižuje.

V případě stropního vytápění můžeme pozorovat snížení teploty vzduchu u ochlazované konstrukce, stejně jako u podlahového vytápění, avšak s tím rozdílem, že teplota u ochlazované konstrukce je nižší, a pozvolněji lineárně narůstá směrem do prostoru.

### 2.2.3 Rychlost proudění vzduchu

Proudící vzduch, který je způsobený průvanem, infiltrací netěsnými stavebními konstrukcemi nebo přívodním vzduchem z vzduchotechnických vyústek také ovlivňuje tepelnou pohodu uživatelů prostoru. Obecně se uvádí maximální rychlost proudění vzduchu v rozmezí 0,1 až 0,2 m/s.

## 2.2.4 Povrchová teplota

Jak už bylo zmíněno výše, povrchová teplota podlah při využití velkoplošného vytápění je limitována především z fyziologického (hygienického) hlediska. Norma ČSN EN 1264-4 [5] upravuje povrchové teploty při využití podlahového vytápění takto:

- |   |          |
|---|----------|
| - obytné prostory (pobytové)                        | 29 °C    |
| - prostory obytné a pracovní, převážně stojící lidé | 26–27 °C |
| - koupelny, bazény                                  | 33 °C    |
| - okrajové zóny                                     | 35 °C    |

U stěnového, ale především u stropního velkoplošného vytápění hraje hlavní roli sálavá asymetrie.

Při využití velkoplošného chlazení pomocí at' už chladících stropů, stěn nebo případně podlah, musí být povrchová teplota omezená. Teplota přívodní vody se omezuje tak, aby teplota neklesla pod teplotu rosného bodu, respektive byla alespoň o 1 K vyšší, než je teplota rosného bodu. V našich podmínkách je běžná nejnižší přívodní teplota vody 16 °C, což v závislosti na skladbě konstrukce odpovídá povrchové teplotě otopné plochy zhruba 20 °C.

V praxi se toto řeší pomocí čidla rosného bodu, které je umístěno v místnosti zpravidla nejdále od okna a je spojeno s akční členem, jehož ovládním dochází k regulaci buď průtoku nebo teploty přívodní vody.

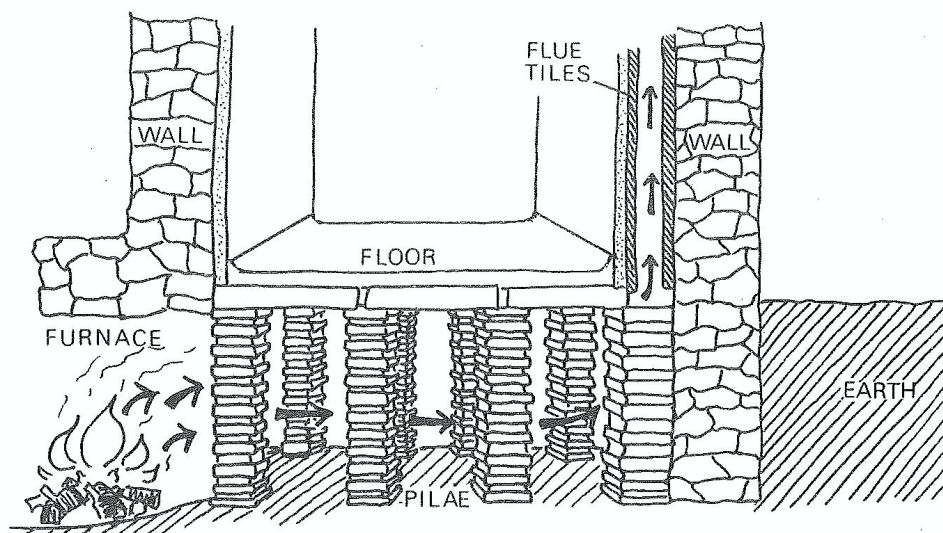
### 3 Základní rozdělení velkoplošných systémů

Velkoplošné sálavé systémy dělíme především podle toho, jak je otopná plocha zahřívána. První zmínky o podlahovém vytápění byly zaznamenány již ve starověkém Římě, kdy jako zdroj pro ohřev otopné plochy byl využíván teplý vzduch. [2]

Až v posledních zhruba 30 letech dochází k rozmachu teplovodních a také elektrických systémů.

#### 3.1 Teplovzdušné systémy

Teplovzdušné velkoplošné sálavé systémy jsou nejstaršími systémy vytápění, které využívaly spaliny pro vytápění. Byly využívány už ve starém Římě, zhruba v 1. století př.n.l. v římských hypokaustech. Hypokaustum byl prostor pod podlahou lázní nebo vil, který sloužil k jejich vytápění. [6]



Obrázek 3: Řez římským hypokaustem

Z obrázku je patrné, jak celý systém fungoval. V peci se rozdělal oheň a spaliny procházeli pod silnou podlahou, která byla posazená na pilířích vysokých zhruba 60 cm až 1 m a byla spalinami ohřívána. Dále spaliny odcházeli komínem do vnějšího prostředí.

## 3.2 Teplovodní systémy

Teplovodní velkoplošné systémy nabírají především v posledních letech na větší a větší oblíbenosti. Jak už z názvu lze odvodit, jedná se o systémy, kde je topným médiem voda. Topná nebo chladící voda je rozváděna zpravidla plastovým potrubím nebo kapilárními rohožemi. Tyto systémy jsou s výhodou využívány v kombinaci s nízkoteplotními zdroji tepla, například tepelnými čerpadly, a to především v novostavbách a budovách s nižšími tepelnými ztrátami. Na rozdíl od elektrických systémů je v kombinaci s vhodným zdrojem tepla možné použít i pro chlazení, které má především v novostavbách podstatný význam.

Mohou být instalovány v různých provedeních – buď suchým nebo mokrým způsobem, či ve speciálních aplikacích (aktivace betonového jádra).

Základním předpokladem dobré funkce teplovodního velkoplošného vytápění je přestup tepla z povrchu trubky. V mokrých systémech se přestup tepla z trubky zajišťuje jejím zalitím betonovou mazaninou nebo anhydritem, čímž se dostane celý nebo většina povrchu trubky do styku se zálivkou a přestup tepla neprobíhá přes vzduchovou vrstvu, která mu klade velký odpor. V suchých systémech je většinou systémová deska vybavena „kovovým povrchem“, který co nejvíce trubku obklopuje, neboť kovy lépe vedou teplo. [7]

Teplovodní systémy jsou charakteristické svou akumulací schopností a menší pružností při změně požadované teploty v místnosti, a to především při realizaci mokrým způsobem. To přináší své výhody i nevýhody. Výhodou je, že takový systém udržuje stabilnější teplotu v místnosti při špičkových výkyvech teplot, ale zároveň nevýhodou je, že nedokáže tak pružně reagovat jako suché systémy.

### 3.3 Elektrické systémy

Elektrické systémy nezůstávají oproti teplovodním systémům pozadu. Z principu u nich platí stejné zásady jako u teplovodního vytápění. Mohou sloužit jako lokální zdroje tepla nebo pouze jako doplňková otopná plocha.

Elektrické systémy mohou být provozovány v zásadě ve třech režimech.

V plně akumulacním režimu zajišťuje akumulaci tepla betonová deska (akumulační vrstva) jejíž tloušťka se pohybuje od 90 do 150 mm. Časová konstanta plně akumulacních podlah má být v rozmezí 8 až 12 hodin. Betonáž betonové desky probíhá dvoufázově. Nejdříve je vybetonována první třetina tloušťky desky, poté jsou kladeny topné kabely a nakonec přijde druhá fáze, kdy je deska dobetonována do finální tloušťky. Pracovní cyklus tohoto systému je rozdělen do dvou fází. V první fázi probíhá nabíjení akumulacní hmoty, ke kterému dochází v době sníženého zatížení sítě (v době nízkého tarifu). To trvá po dobu 8 až 10 hodin, načež po zbytek dne dochází k vybíjení naakumulované energie. Příkon v takovémto režimu musí být navýšen, vzhledem k tomu, že pro nabytí dostatečného množství energie máme omezený čas.

Poloakumulační podlahy vykazují časovou konstantu v rozmezí 4 až 8 hodin. Akumulační vrstva má běžně tloušťku od 60 do 90 mm a topné kabely jsou uloženy zhruba v polovině tloušťky. Pracovní cyklus je podobný cyklu plně akumulacní podlahy, s tím rozdílem, že nabíjení neprobíhá pouze přes noc, v době nízkého tarifu, ale i přes den v odpoledních hodinách. Díky tomu může být celkový potřebný příkon snížen.

Třetí režim je přímotopný režim, kde je časová konstanta menší než 4 hodiny a většinou nabývá hodnot 30 až 90 min. Betonová vrstva většinou slouží pouze jako podkladní vrstva pro uložení topných prvků, které se kladou přímo pod nášlapnou vrstvu. U přímotopného režimu je odebírána elektrická energie ze sítě podle potřeby během celého dne nezávisle na tarifu. Díky tomu se zmenšuje instalovaný příkon zhruba o polovinu oproti plně akumulacnímu režimu. Z toho plynou i úspory investiční – slabší elektrická přípojka, jištění atd.

Z hlediska roční spotřeby elektrické energie zjistíme, že plně akumulacní režim má o cca 10% vyšší spotřebu elektrické energie než přímotopný režim. Poloakumulační systém se nachází někde mezi těmito dvěma variantami. [2]

## 4 Zdroje tepla a chladu

Pro návrh velkoplošných systémů vytápění a chlazení je podstatné už v rámci koncepce myslet na výběr vhodného zdroje tepla nebo chladu. U teplovodních sálavých systémů se s výhodou využívají nízkoteplotní zdroje tepla.

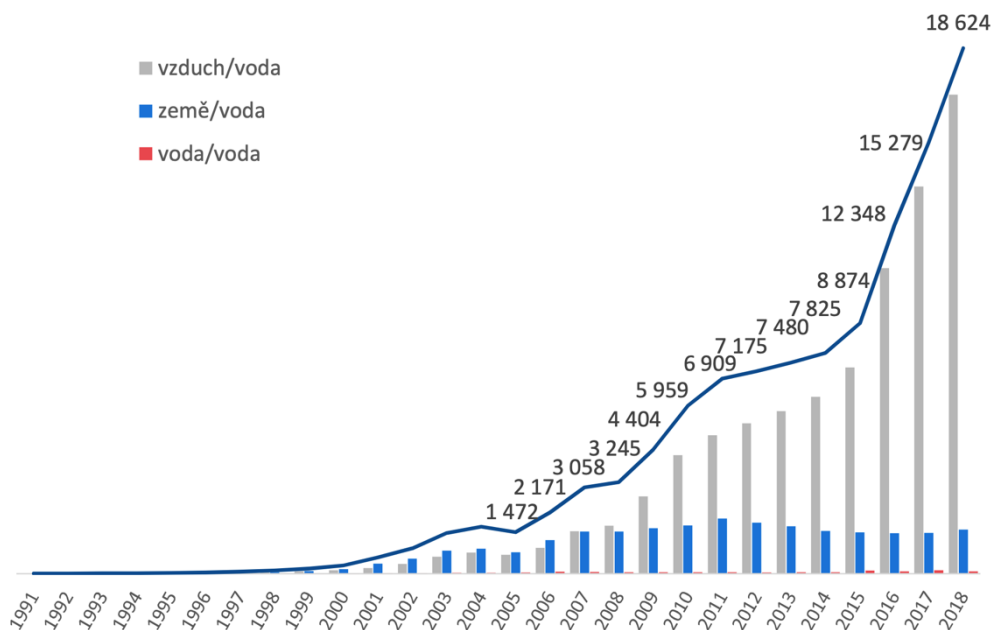
Pokud řešíme návrh pro novostavbu, která vyhovuje současným tepelně technickým normám, tak zjistíme, že tepelné ztráty jsou v těchto budovách řádově menší, než tomu bylo v minulosti. Často větším problémem při návrhu novostaveb bývá řešení chlazení v letním období. Trendem dnešní doby je osazování velkých prosklených ploch do obvodových konstrukcí, které mají za následek vysoké tepelné zisky v letním období, které způsobí přehřívání interiéru a tím tepelnou nepohodu obyvatel.

Výběr vhodného zdroje tepla nebo chladu se tedy odvíjí od konkrétního požadavku investora pro konkrétní budovu.

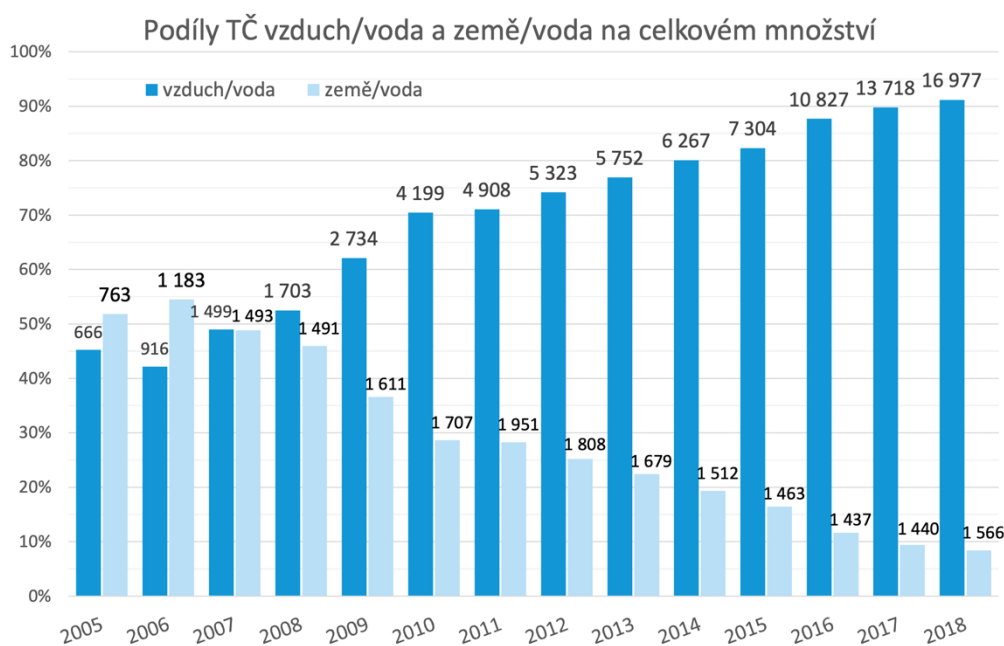
### 4.1 Vytápění

Pokud řešíme pouze vytápění, nabízí se nám jako vhodné řešení více zdrojů. Nejoptimálnějším zdrojem se ve spoustě případů jeví být tepelné čerpadlo, které nabízí vysokou účinnost a při správném návrhu nám může ušetřit značnou sumu za vytápění a přípravu teplé vody. Z hlediska výběru konkrétního typu tepelného čerpadla v Čechách převládají instalace tepelných čerpadel vzduch/voda, které mají stoupající trend, oproti instalacím tepelných čerpadel země/voda, které jsou investičně nákladnější a v konfiguraci s vrty vyžadují hydrogeologický posudek a další příslušná povolení.

### Počet prodaných tepelných čerpadel celkem a dle typu



Obrázek 4: Počet prodaných tepelných čerpadel v letech 1991 – 2018 – šetření MPO [8]



Obrázek 5: Vývoj podílů prodeje tepelných čerpadel od roku 2005

Z uvedených grafu je patrné, že poptávka po tepelných čerpadlech poslední roky rapidně stoupá a zároveň podíl instalovaných tepelných čerpadel vzduch/voda a země/voda, který byl v minulosti v podstatě vyrovnaný je v dnešní době diametrálně odlišný, kdy počet instalací TČ vzduch/voda tvoří zhruba 90% všech instalací.



Mezi další vhodné zdroje tepla pro vytápění budov, především rodinných domů a menších objektů patří elektrokotle a kondenzační plynové kotle, kdy oba tyto zdroje umí pracovat s nižšími teplotami otopné vody. Pro menší instalace často vychází jako výhodnější varianta instalace elektrického kotle, jelikož taková instalace nevyžaduje vysokou vstupní investici, na rozdíl od plynového kotle, kde musíme zajistit zásobování objektu plynem, tzn. vybudování plynovodní přípojky, rozvod plynu po objektu a vybudování nebo vyvločkování komínu.

## **4.2 Chlazení**

K chlazení objektů se nejčastěji využívají reverzibilní tepelná čerpadla, ať už s využitím aktivního, tak i pasivního chlazení. Je vhodné kombinovat systém chlazení se stíněním prosklených ploch, ideálně pomocí venkovních žaluzií.

### **4.2.1 Pasivní chlazení**

Pasivní chlazení je přímé chlazení budovy chladem ze země a lze ho využít u tepelných čerpadel země/voda a voda/voda. Výhodou je, že se jedná o energeticky málo náročné řešení, kdy v provozu není kompresor tepelného čerpadla, nýbrž pouze oběhové čerpadlo. Zapojení je jednoduché – primární okruh tepelného čerpadla je propojen s chladícím systémem budovy buď přímo nebo odděleně přes výměník.

Zdrojem chladu pro pasivní chlazení mohou být vrty, studny se spodní vodou, spodní voda z hlubších nádrží, a omezeně i plošné zemní kolektory. U plošných zemních kolektorů, které jsou uloženy v hloubce kolem 1,5 m pod povrchem hrozí ke konci léta prohřátí zeminy, které má za následek výrazné snížení maximálního výkonu pasivního chlazení. [14]

### **4.2.2 Aktivní chlazení**

Vhodným zdrojem pro aktivní chlazení jsou reverzibilní tepelná čerpadla vzduch/voda, země/voda, ale i plynová tepelná/čerpadla.

Aktivní chlazení, oproti pasivnímu není tak energeticky výhodné, protože při chlazení je v provozu kompresor tepelného čerpadla. Na druhou stranu lze díky tomu získat větší a stálý chladící výkon. Zároveň se při aktivním chlazení využívá stejná otopná, respektive chladící soustava, takže investičně jde o zajímavou možnost, jak řešit tepelný komfort ve vnitřním prostředí. [14]

## 5 Umístění otopných ploch

Umístění otopných ploch velkoplošných systémů, ať už do podlah, stěn nebo stropů závisí vždy na konkrétním řešení a konkrétní situaci. Obecnými faktory, které výběr ovlivňují jsou cena, poté požadavek na vytápění či chlazení nebo jejich kombinaci, požadovaný výkon a možnosti umístění z hlediska praktičnosti.

### 5.1 Podlahové systémy

Jedná se o nejvyužívanější systém velkoplošného vytápění, který nalézá uplatnění především v rodinných a bytových domech, ale také v užitkových místnostech, v obchodech, průmyslu atd. [19]

#### 5.1.1 Suché systémy

Podlaha vytvořená na suchý způsob je vhodná tam, kde postačují měrné tepelné výkony do  $50 \text{ W/m}^2$ . Může být realizována jako dodatková otopná plocha nebo v případech, kde stačí pouze temperovat nebo pokud je požadavek na nízkou konstrukční výšku podlahy (u rekonstrukcí). Suché systémy pracují s vyššími teplotami otopné vody, které se pohybují v rozsahu 40 až  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Potrubí suchých systémů se klade pouze meandrovým způsobem. Je vedeno v pokládacích deskách, které jsou na horní straně opatřeny tepelně vodivými hliníkovými nebo ocelovými profily, které slouží k rovnoměrnému rozvrstvení tepla. Spodní strana desek je tvořena z polystyrenu nebo jiné tepelné izolace.

Mezi výhody těchto systémů patří lehká skladba, která se s výhodou využívá pro aplikace podlahového vytápění do podkroví, kde by mokřý systém činil potíže z hlediska statiky a únosnosti stávajících stropních konstrukcí. Menší stavební výška, menší tepelná setrvačnost oproti mokrému systému a možnost okamžitého zátupu bezprostředně po dokončení montáže jsou další z výhod těchto systémů. [20]

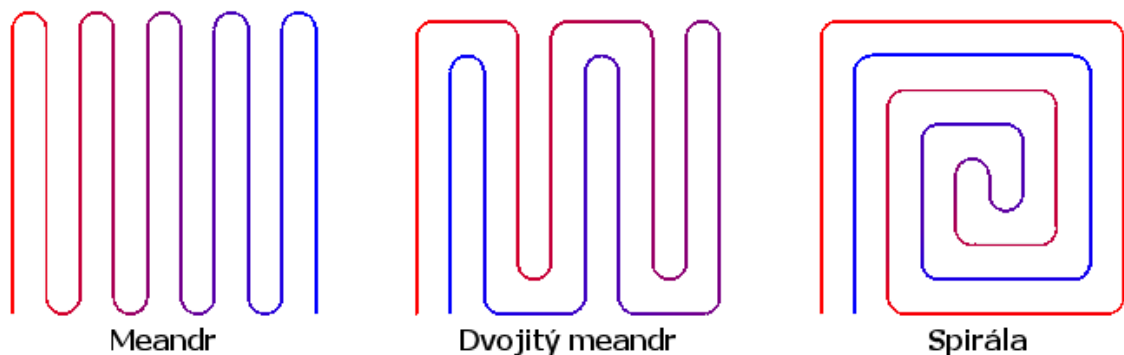


Obrázek 6: Příklad realizace suchého systému [20]

### 5.1.2 Mokrý systémy

Nejběžnější způsob pokládky podlahového vytápění je mokrý způsob. Provádí se takovým způsobem, že je otopný had zalit přímo do betonové mazaniny, která se nachází nad tepelně-zvukovou izolací. Teplota otopné vody je oproti suchým systémům nižší, a to zpravidla v rozmezí 35 až 40 °C. Podlaha pracuje oproti suchému systému s vyšším měrným tepelným výkonem nad 50 W/m<sup>2</sup>.

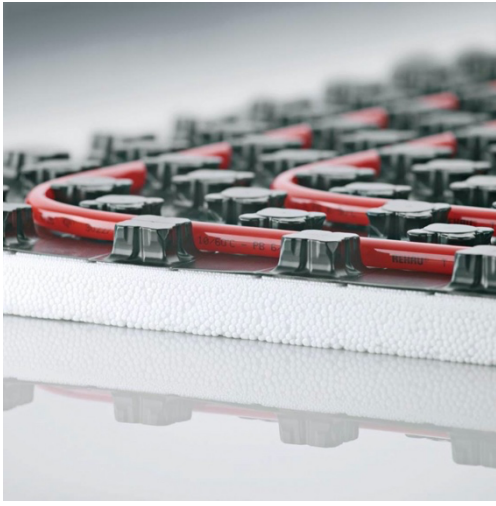
Z hlediska formy pokládky podlahového vytápění lze potrubí uložit třemi způsoby: do spirály, meandru nebo dvojitého meandru.



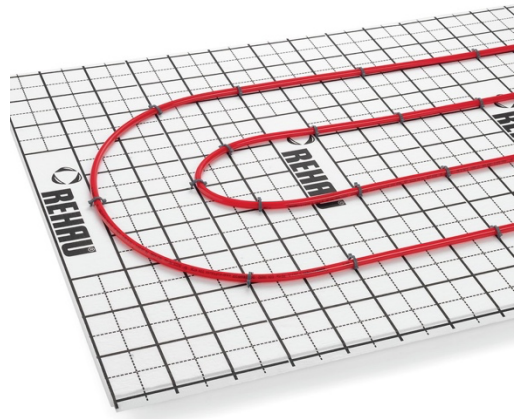
Obrázek 7: Formy pokládky podlahového vytápění [21]

Potrubí podlahového vytápění může být uloženo několika způsoby, a to:

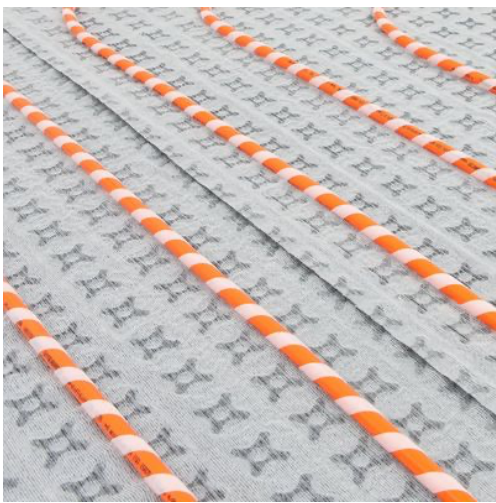
- do systémové desky
- pomocí příchytek přes PE fólii do tepelné izolace (Tacker systém)
- do lišt
- použitím potrubí se suchým zipem



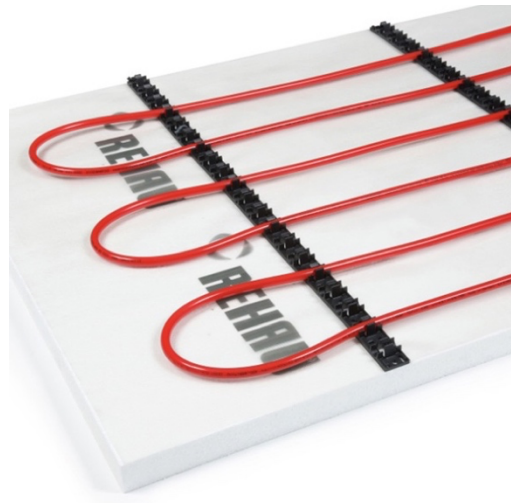
Obrázek 9: Systémová deska s tepelnou izolací [22]



Obrázek 8: Systém s příchytkami Tacker [23]



Obrázek 11: Systém Speed se "suchými zipy" [23]



Obrázek 10: Systém s lištami [22]

## 5.2 Stropní systémy

Stropní systémy lze s výhodou využívat pro chlazení i vytápění nebo jejich kombinaci. Systémy je možné realizovat buď suchou nebo mokrou cestou.

### 5.2.1 Suché systémy

Otopné plochy suchých systémů mohou být tvořené lamelami, sálavými panely či pasy. U sálavých panelů či pasů, které jsou umístěny v podhledu pod stropní konstrukcí je proveden ještě sádkartonový záklop nebo jsou použity speciální perforované desky.

Je možné systém realizovat také za pomoci modulových desek s předinstalovaným potrubím, které se mezi sebou hydraulicky propojí.



Obrázek 12: Stropní otopné/chladicí panely před zaklopením [26]



Obrázek 13: Pohled na stropní panely v kombinaci s perforovanou podhledovou deskou [27]



### 5.2.2 Mokrý systémy

Mokrý systémy pro stropní vytápění a chlazení jsou realizovány tak, že se potrubí otopných hadů uchyťí do lišt kotvených do stropní desky a nimi je potrubí vedené meandrovým způsobem. Poté se potrubí zakryje vrstvou omítky. Takový systém je nízkoteplotní a má pružnou odezvu na změnu teploty díky slabé tloušťce omítky. Stejně tak jako klasické potrubí můžeme umístit do omítky pod strop i kapilární rohože.

Stropní vytápění a chlazení lze také realizovat zalitím trubek do konstrukce monolitického stropu, čímž můžeme využít akumulaci schopnost konstrukce. Jedná se o takzvané systémy aktivace betonu, které jsou popsány dále.



Obrázek 14: Stropní vytápění/chlazení – mokrý způsob [25]

### 5.3 Stěnové systémy

U stěnového vytápění se ukládá otopný had na stěnu pod omítku. Na rozdíl od podlahového i stropního vytápění má stěnové svá specifika, ale i mnoho společného. Největší výhodou oproti podlahovému a stropnímu vytápění je, že teplota otopné vody může být podstatně vyšší a tím i plošný výkon systému. Stěnové systémy lze využít i pro vysokoteplotní chlazení v letním období.

Nevýhodou je potřeba skryté instalace, kdy uživatel musí počítat, že danou stěnu nebude moci využívat například pro zavěšování velkých obrazů, pro zastavení nábytkem nebo vůbec pro mechanické kotvení předmětů do stěny. [28]

### 5.3.1 Suché systémy

Suché systémy jsou vhodné pro nízkoenergetické a montované domy, dřevostavby, podkroví a rovněž pro rekonstrukce. Výrazným zástupcem suchých systémů je již hotový otopný had z trubek 6×1 mm uložený v sádro-vláknitých deskách. Tyto desky s otopným hadem se montují na sádrokartonové stěny, případně na pomocné konstrukce na zděných stěnách. K dokončení povrchové úpravy se využívá vrstva šterky či omítky [2].



Obrázek 15: Stěnový systém – suchá instalace [28]

### 5.3.2 Mokrý systémy

Mokrý systémy jsou vhodné pro zděné stavby a rekonstrukce. Otopný had se upevňuje šroubovacími příchytkami do hmoždinek, či se využívá zatloukacích spon. Rovněž tak je obvyklé využití hřebenových lišt především u nepravidelných či jinak specifických ploch. Po upevnění otopného hadu a omítací sítě přijde do kontaktu s otopným hadem přímo mokrá omítka. Ani zde nelze zapomínat na dodržování dilatačních spár a použití omítek určených pro stěnové vytápění. [2]



Obrázek 16: Stěnový systém – mokrá instalace [29]

## 5.4 Kapilární rohože

Speciální samostatnou kategorií jsou kapilární rohože, které jsou svým způsobem výjimečné a při jejich návrhu je třeba myslet na určitá specifika. Nejčastěji se využívají ve stropních systémech pro chlazení a vytápění, ale lze je využít i pro aplikaci do podlahy nebo pro stěnové vytápění/chlazení.

Kapilární rohože jsou systémem jemné sítě plastových kapilár, které se využívají pro velkoplošné vytápění a chlazení s aplikacemi do vrstev stropů, stěn, podhledů, ale i do podlah. Lze je využívat v jakémkoliv prostoru od moderních kanceláří, přes památkově chráněné budovy až po různorodé rekonstrukce. Hodí se tam, kde je požadavek co nejméně snížit světlou výšku místnosti, jelikož výška skladby je minimální. [15]



Obrázek 17: Kap. rohože – podlahové vytápění [15]



Obrázek 18: Kap. rohože – stěnové vytápění/chlazení [15]



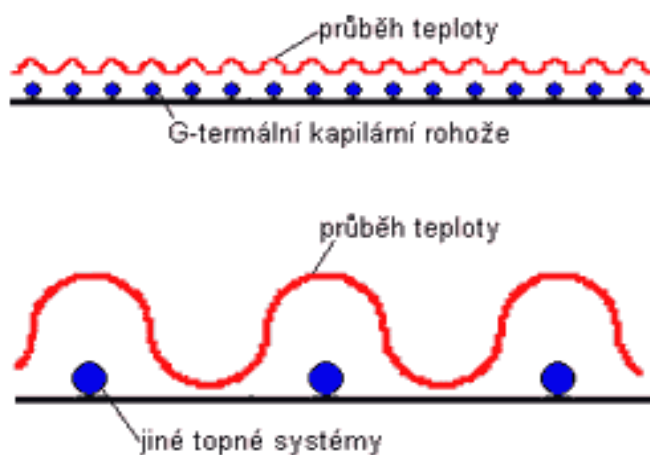


Obrázek 19: Kap. rohože – stropní vytápění/chlazení [15]

Rohože mají šířku od 120 mm až do 1200 mm. Jejich délka se pohybuje od 500 do 6000 mm a závisí na konkrétním návrhu. Dodávány jsou vždy na míru dle projektové dokumentace.

#### 5.4.1 Výhody kapilárních rohoží

Ve srovnání s klasickými rozvody velkoplošného vytápění a chlazení chladí a vytápí prostory mnohem rovnoměrněji, a to především díky výrazně menší vzdálenosti mezi jednotlivými trubičkami a malému teplotnímu spádu otopné, respektive chladicí vody.



Obrázek 20: Průběh teploty u kapilárních rohoží ve srovnání s klasickými systémy [15]

Jedná se o pružné systémy, které rychle reagují na změnu požadované teploty, jelikož jsou ve většině případů umístovány těsně pod omítku nebo nad sádkartonový podhled. I díky tomu jsou vhodné pro rekonstrukce nebo historické budovy, kde nelze aplikovat tradiční systémy pro svou větší konstrukční výšku. Nespornou výhodou je také bezhlučný provoz bez průvanu.

### **5.4.2 Nevýhody kapilárních rohoží**

Nelze říci, že kapilární rohože mají vyloženě nevýhody, spíše se jedná o specifika, která musí být brána v potaz už v prvotní fázi a investor si musí srovnat výhody a nevýhody, které toto řešení přináší.

Nejdůležitější věcí, kterou je třeba si uvědomit, je nutnost oddělit okruh kapilárních rohoží od ostatních okruhů deskovým výměníkem. Je to z toho důvodu, že samotné kapilární rohože jsou vyrobeny z propylenových trubek, které nemají kyslíkovou bariéru, která by zabránila vniknutí vzduchu difuzí přes stěny potrubí. Z toho důvodu je nutné do uzavřeného okruhu kapilárních rohoží instalovat čerpadla, armatury, rozdělovače, aj. v nerezovém nebo bronzovém provedení. Pokud by tyto součásti systému byly instalovány v klasickém provedení, mohlo by docházet k jejich korozi, tvorbě kalů a jejich zanášení. Jelikož se jedná o samostatný okruh, je nutné ho také doplnit o pojistné a zabezpečovací zařízení – expanzní nádobu a pojistný ventil.

Z hlediska návrhu je pro systémy kapilárních rohoží uvažován malý teplotní spád topné/chladicí vody, ideálně kolem 3-4K s maximem 6K, který je ještě systém schopný přenést. Malý teplotní spád má z logické podstaty vliv na dimenze potrubí, které musí být dostatečně velké, aby přenesly projektovaný průtok.

Samotné kapilární rohože mají o něco větší tlakové ztráty než klasické systémy. V kombinaci s deskovým výměníkem, který musí být instalován to přináší větší nároky na návrh oběhového čerpadla.

V neposlední řadě je třeba si uvědomit, že tento systém je oproti klasickým systémům dražší.

## **5.5 Aktivace betonového jádra**

V moderních budovách, které kladou velké nároky na zajištění vnitřního prostředí, je třeba zvolit inovativní řešení.

Jedním z takových řešení je použití aktivace betonového jádra. Základním konceptem, který je třeba pochopit, o aktivaci betonového jádra je, že systémy využívají stávající hmotu budovy pro akumulaci tepelné energie, bez využití dalšího instalačního prostoru pro konvenční systémy vytápění a chlazení. Výhodou je, že v případě novostaveb nevyžaduje systém aktivace betonového jádra žádné nákladné stavební úpravy a také se jedná o skrytý a bezhlučný systém.

Vzhledem k velkým teplosměnným plochám systému mohou být teploty topných nebo chladících médií blízké požadované teplotě v interiéru.

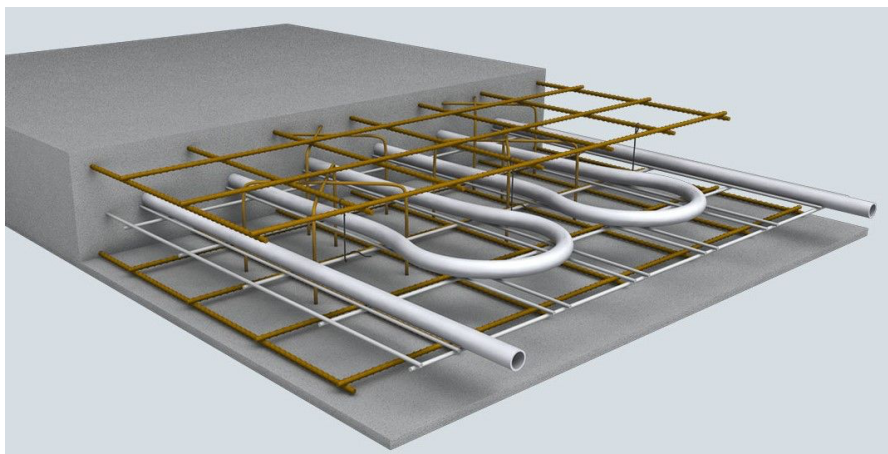
Potřebné teploty na přívodu se pohybují v následujících mezích:

- chlazení: 16 – 22 °C
- vytápění: 24 – 28 °C

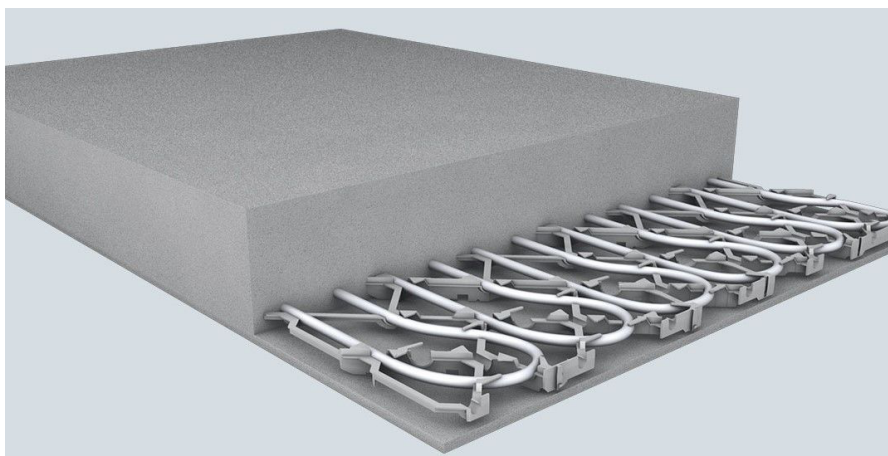
Díky tomu systém funguje v režimu nízkoteplotního vytápění a vysokoteplotního chlazení a je tady ho vhodné kombinovat s obnovitelnými zdroji energie, ať už tepelnými čerpadly země/voda nebo s reverzibilními tepelnými čerpadly pro chlazení a vytápění.

Ve srovnání s konvenčními systémy se značně redukuje náklady na servis a údržbu celého systému.

Nevýhodou pak může být často složitý proces návrhu pro konkrétní budovu, který může zahrnovat například dynamické simulace průběhu teplot a zátěží. [9]



Obrázek 21: Uponor Contec [11]



Obrázek 22: Uponor Contec ON [11]

## 6 Materiály rozvodů otopných/chladících ploch

U teplovodních velkoplošných systémů se dá rozvod realizovat z různých materiálů.

Používají se trubky vyrobené z:

- plastů
- vícevrstvé trubky
- mědi
- chromniklové oceli (nerez)
- plastové kapiláry (kapilární rohože)

U elektrických systémů se používají:

- topné kabely a rohože
- topné fólie

### 6.1 Plastové a vícevrstvé potrubí

Plastové a vícevrstvé potrubí jsou nejvyužívanějšími materiály pro realizaci velkoplošných systémů. V dnešní době existuje množství materiálů, které se pro výrobu potrubí využívají. Dále jsou popsány nejběžněji používané druhy potrubí.

#### 6.1.1 Síťovaný polyetylen (PE–X)

Pro velkoplošné systémy se používá v průměrech od  $16 \times 2$  mm do  $25 \times 2,3$  mm. Základní surovinou pro výrobu síťovaného polyetylenu je většinou vysokohustotný polyetylen, u kterého je pomocí speciálních procesů dosaženo příčného zesíťování molekulových řetězců. PE-X trubky mají velmi dobré mechanické vlastnosti, vysokou odolnost proti šíření trhlin, vysokou houževnatost a velmi dobrou tlakovou odolnost za vyšších teplot. Samozřejmostí je ochrana proti difúzi kyslíku přes stěnu trubky do otopné vody. [12]

Nevýhodou síťovaného polyethylenu je oproti vícevrstvým potrubím zhruba 8x vyšší délková roztažnost. [13]

#### 6.1.2 Polyetylen (PE–RT)

Trubky s pětivrstvou konstrukcí, pro rozvody velkoplošných systémů se vyrábí v průměrech od  $8 \times 1$  mm do  $20 \times 2$  mm. Vynikají dlouhodobou životností a dokonalou těsností kyslíkové bariéry z EVOH. [12]

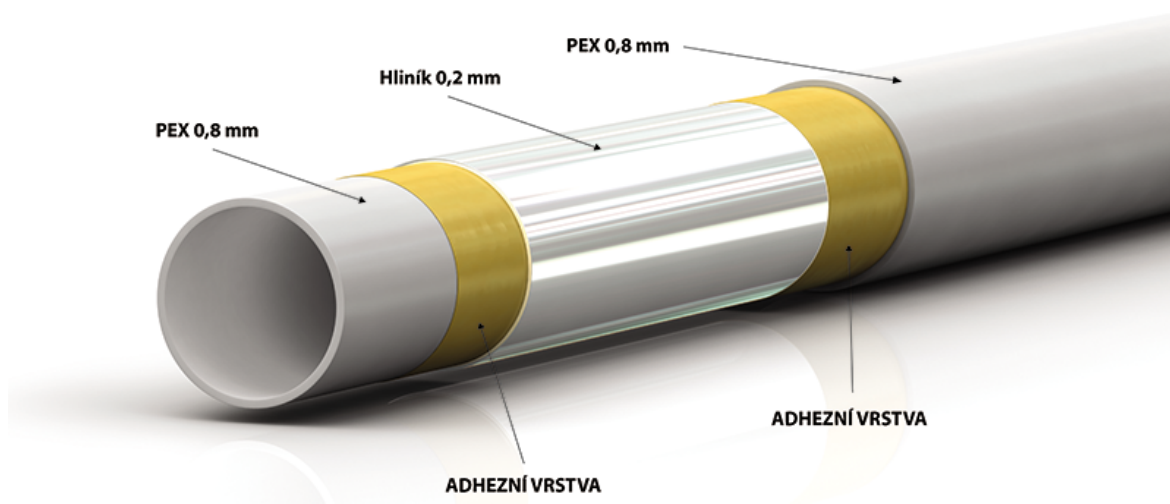
### 6.1.3 Polybuten (PB)

Polybutenové trubky se využívají pro rozvody ústředního vytápění a velkoplošných systémů. Výhodami je menší hmotnost, pevnost a odolnost proti tvorbě napěťových trhlin. Obsahují kyslíkovou bariéru z EVOH. Jelikož mají dobré mechanické vlastnosti, vyrábí se s tenčími stěnami než ostatní plastová potrubí. [12] [2]

### 6.1.4 Vícevrstvá trubka (PEX–AL–PEX)

Pro velkoplošné systémy se vyrábí v průměrech od 16 do 20 mm, síla hliníkové vrstvy do průměru 20 mm je 0,2 mm, má malý koeficient délkové roztažnosti a tvarovou stálost. [12]

Obecnou nevýhodou plastů je relativně malá pevnost, která je ovšem kompenzována velmi výhodnou a potřebnou vyšší pružností. Jednovrstvé trubky zohledňují potřebnou pevnost pouze tloušťkou stěny, ale u vícevrstvé trubky účinně pomáhá hliníková vrstva, která má pozitivní vliv na celkovou mechanickou a tlakovou odolnost potrubí. [13]

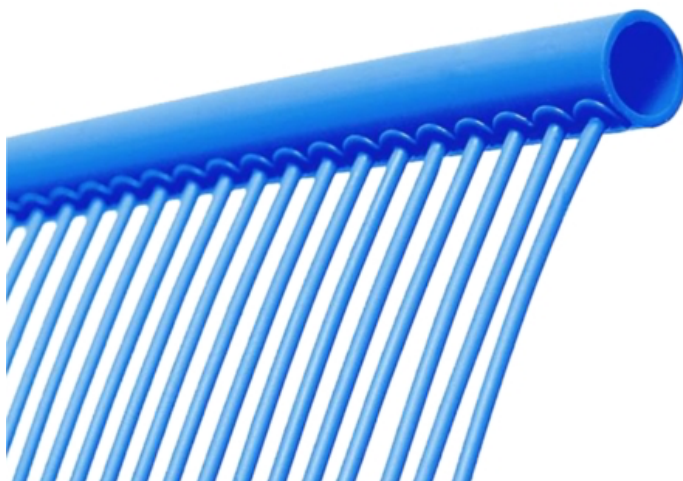


Obrázek 23: Skladba PEX-Al-PEX trubky [13]

Ze všech druhů plastových trubek se nejčastěji používají materiály PE-X a PEX-AL-PEX. Nejlépe vyhovují požadavku pořizovací cena – užitné vlastnosti. Trubka polybutenová má nejlepší vlastnosti jak z hlediska dlouhodobé životnosti, tak z hlediska montáže (je „měkká“ a snadno ohebná i při nižších teplotách), avšak cena je ve srovnání PE-X znatelně vyšší. Všechny plastové trubky používané pro velkoplošné systémy musí být opatřeny kyslíkovou bariérou. Jde o to, že celková plocha povrchu instalovaných trubek je velmi velká a bez kyslíkové bariéry dochází k difuzi tohoto plynu ze vzduchu do otopné vody a pak podporuje korozi. [12]

### 6.1.5 Propylen

Kapilární rohože, které se využívají k vytápění či chlazení budov jsou vyrobeny z propylenových trubek, které nemají kyslíkovou bariéru, která by zabránila vniknutí vzduchu difuzí přes stěny potrubí. S tímto je třeba počítat při návrhu systému, který kapilární rohože využívá, viz další kapitola.



Obrázek 24: Propylenová kapilární rohož [24]

## 6.2 Měděné potrubí

Měděné potrubí se využívá především pro rozvody hlavních rozvodů. Můžeme se setkat ale i s aplikací například u podlahového vytápění. Pro takové účely se využívá dezoxidovaná měď, konkrétně měkké trubky typu F 22, které jsou povlakované PVC, což zabraňuje vzniku koroze při působení betonových či omítkových směsí.

Výhodami měděného potrubí je vysoká odolnost proti korozi, malá tloušťka stěny, velká pevnost, malá hmotnost, jednoduchá montáž, bezpečné spoje, atd. Každopádně těmito vlastnostmi už dnes disponuje také plastové potrubí, které měděné potrubí téměř úplně nahradilo. [2]



Obrázek 25: Měděné potrubí v aplikaci pro podlahové vytápění [10]

### 6.3 Nerezové potrubí

Nerezové potrubí pro podlahové vytápění je především věcí minulosti, jelikož jeho používání přinášelo spoustu problémů. Hlavně zpočátku byl problém ve spojování, jelikož svařování tohoto potrubí vyžaduje speciální postup jinak dochází k nežádoucí rekrytalizaci a pájení přinášelo riziko koroze. V sedmdesátých letech však přišel obrat, když byly vyvinuty nerezové trubky s lisovanými objímkami z nerezové oceli. Avšak i tak je použití nerezového potrubí zcela výjimečné, především kvůli své ceně. [2]

### 6.4 Elektrické topné kabely a fólie

Elektrické topné kabely nebo fólie se používají především v kombinaci s podlahovým vytápěním.

#### 6.4.1 Topné kabely

Topné kabely a rohože se používají pro mokré skladby podlahové konstrukce, kdy jsou zality vrstvou betonu nebo anhydridu, který zajišťuje rovnoměrné rozložení teploty v podlahové ploše. Tento systém považujeme za akumulární nebo poloakumulární.

Topným prvkem je elektrický odporový kabel, který je v případě složitějších aplikací ukládán volně, ale ve většině případů je připevněn na plastovou rohož nebo tkaninu a pokládán v pásech. [16]





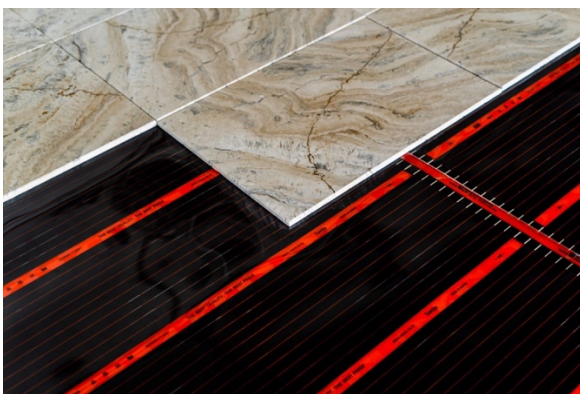
Obrázek 26: Topné kabely na rohoži pokládáné v pásech [17]



Obrázek 27: Topné kabely ukládané do vodících lišt [18]

## 6.4.2 Topné fólie

Topné fólie lze používat pro mokrou i suchou skladbu podlahové konstrukce, běžně se ale využívají spíše pro suchou montáž. Jedná se o tenkou fólii od tloušťce zhruba 0,4 mm, která je běžně kladena přímo pod nášlapnou vrstvou, a zahřívá tedy povrch podlahy v celé ploše, což vede k optimálnímu rozložení teploty. Nášlapná vrstva běžně nemívá dostatečnou akumulační schopnost, z toho důvodu fungují topné fólie jako přímotopný zdroj tepla. [16]



Obrázek 28: Topná fólie pod nášlapnou vrstvou (zdroj: autor)



## **7 Regulace systému**

### **7.1 Regulace tepelného výkonu**

Regulaci tepelného výkonu lze provést třemi způsoby, a to:

- podle teploty vnitřního vzduchu
- podle teploty venkovního vzduchu – ekvitermní
- ekvitermní regulací se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu

#### **7.1.1 Regulace podle vnitřní teploty**

U regulace podle vnitřní teploty se výkon řídí například prostorovým termostatem umístěným v referenční místnosti. Další variantou je P regulátor s čidly teploty v jednotlivých místnostech, který ovládá pohony u regulačních ventilů na patrovém rozdělovači jednotlivých otopných hadů. Také můžeme využít termostatické ventily s termostatickými hlavicemi, které jsou instalovány buď přímo u každého otopného hadu v jednotlivých místnostech nebo na patrovém rozdělovači s čidlem v místnosti spojeným s pohonem kapilárou.

Při změně teploty akční člen reaguje okamžitě, avšak vzhledem k vysoké akumulaci schopnosti otopných ploch se tato změna projeví až za delší časový úsek. Proto se částečně spoléhá i na takzvanou samoregulační schopnost otopných ploch, kdy při zvyšování teploty otopné plochy její výkon klesá a naopak. [2]

#### **7.1.2 Regulace podle teploty venkovního vzduchu – ekvitermní**

Při ekvitermní regulaci se výkon řídí pomocí regulátoru, v kombinaci se snímačem teploty venkovního vzduchu a snímačem teploty otopné vody. Akčními členy jsou směšovací trojcestný ventil či dvojcestný v zapojení pro směšování v pevném bodě potrubní sítě. V případě velkých směšovacích poměrů, které by bylo obtížné zajistit vzhledem k charakteristikám směšovacích armatur, projektujeme i pevný zkrat, neboť jen tak zajistíme u regulační armatury regulovatelnost v širokém rozsahu zdvihu. Rovněž lze použít kvantitativní regulaci s využitím škrťacího dvoucestného regulačního ventilu.

V praxi regulace funguje tak, že je v regulátoru nastavena příslušná ekvitermní křivka, která vyjadřuje závislost teploty otopné vody na venkovní teplotě. Při změně venkovní teploty regulátor dává povel k přestavení například trojcestné armatury tak, aby teplota přívodní otopné vody odpovídala geometrické venkovní teplotě.

U tohoto druhu regulace se reakce akčního členu díky velké setrvačnosti otopných ploch projeví s velkým zpožděním, musíme se tedy opět spoléhat na samoregulační schopnost otopných ploch. [2]

### **7.1.3 Ekvitermní regulace se zpětnou vazbu na vnitřní teplotu**

Jedná se o optimalizovanou variantu ekvitermního regulačního procesu. Vzhledem k vnějším a vnitřním tepelným ziskům vstupuje do ekvitermní regulace zpětná vazba z prostoru. Regulátor vyhodnocuje aktuální teplotu v místnosti a koriguje systém ekvitermní regulace.

Systém je vybaven samoadaptivním regulátorem s prediktivní funkcí. Regulátor si na základě dříve uložených a vyhodnocovaných dat sám koriguje otopnou křivku v souladu s předjímaným časovým průběhem teplot. Znamená to, že přenastavení trojcestné směšovací armatury zahájí například o 2 hodiny dříve, a to na základě vyhodnocení průběhu venkovní a vnitřní teploty z minulých dní a předpokládaného současného trendu vývoje teplot. Zároveň zpětně koriguje své kroky na základě aktuálně snímaných teplot a adaptuje se na nové podmínky. [2]

## **7.2 Regulace rosného bodu**

Jelikož, jak už bylo zmíněno výše, jsou velkoplošné systémy vhodné pro vysokoteplotní chlazení, je nutné zabránit kondenzaci vodních par na ochlazovaných konstrukcích pomocí regulace teploty chladicí vody dle teploty rosného bodu. V našich podmínkách se náběhová teplota přívodní vody omezuje běžně na minimální teplotu 16 °C.

V praxi je nutné do místnosti osadit čidlo rosného bodu do nejchladnějšího místa prostoru, zpravidla do nejvzdálenějšího rohu od okna. Čidlo je spojeno s termoelektrickým ventilem osazeným na zpátečce na rozdělovači topných okruhů, kdy ventil při riziku orosování automaticky uzavře na krátkou dobu přívod chladicí vody.

Vzhledem k akumulární schopnosti otopné plochy se krátkodobé uzavření přívodu vody v interiéru ani neprojeví a bude pro uživatele nepozorovatelné. [33]

## 8 Příklady realizací

### 8.1 Kapilární rohože

Jako příklad realizace systému s kapilárními rohožemi jsem zvolil unikátní budovu V-TOWER stojící v Praze v městské části Praha 4 – Krč.

Stavba V-TOWER je unikátní a luxusní stavba nacházející se v Praze 4 na pankrácké plošině. Požadavkem investora bylo především zajištění maximálního komfortu obyvatel jednotlivých bytů, kde v kombinaci s velkými prosklenými plochami, které zajišťují dostatek světla a krásné výhledy na Prahu bylo nutné kromě vytápění řešit také chlazení.

Prvotní požadavek investora na byl na klasický systém vytápění a chlazení. Ale vzhledem k charakteru budovy, která má poskytovat maximální komfort a zároveň architektonicky čistý prostor bylo navrženo velkoplošné sálavé vytápění a chlazení v kombinaci s kapilárními rohožemi, který zajišťuje bezprůvanový a bezúdržbový provoz.

Systém chlazení je v obytných místnostech řešen ve většině případů pouze za použití kapilárních rohoží. Pouze v několika místnostech s extrémním tepelným zatížením byly instalovány v kombinaci s indukčními jednotkami.

Systém vytápění je rovněž řešen pomocí stropního systému v kombinaci s podlahovými konvektory, které eliminují vliv chladných stěn především u velkých prosklených ploch.

Každý byt je řešen jako samostatná jednotka, ve které je umožněno samostatné vytápění, chlazení i větrání v průběhu celého roku a zároveň v rámci jedné bytové jednotky je umožněno souběžné chlazení a vytápění jednotlivých místností. [30] [31]



Obrázek 30: Pohled před dokončením [30]



Obrázek 29: Montáž rozdělovače topné a chladicí vody v podhledu [30]

## 8.2 Aktivace betonového jádra

Asi nejvýznamnějším objektem v České republice, kde byl realizován systém aktivace betonového jádra je budova Národní technické knihovny v Praze. Systém využití v této budově je nejen v měřítku České republiky, ale také v mezinárodním měřítku zcela unikátní. Historicky poprvé v České republice se tento systém instaloval do obousměrně předpínaných monolitických stropních desek, což kladlo extrémní důraz na koordinaci na stavbě, protože veškeré potrubí bylo nutné pokládat ručně, nikoliv standartním modulovým provedením. Využilo se plastové potrubí s průměry 17 nebo 20 mm. Objekt je navržen v knihovni části pouze s přirozeným větráním a dále disponuje vnějším stíněním s dvojitou fasádou pro redukci tepelných zisků v letním období.

Systém aktivace betonu byl navržen pro vytápění a chlazení prostorů knihovny a čítáren ve 3. až 6. NP. V 300 mm tlusté stropní desce je uprostřed ní umístěn potrubní systém s roztečí 150 mm, do něhož je přiváděna chladicí nebo otopná voda.

Provozně systém funguje na principu nočního předchlazení nebo předehřátí betonové stropní desky v nočních hodinách od 20. do 8. hodiny, kdy využívá výhodnější nízký tarif elektřiny. V průběhu dne pak dochází ke sdílení naakumulované energie do prostoru. Chladicí systém pracuje s teplotním spádem 18/21 °C a s výkonem 40 W/m<sup>2</sup>. Aktivní plocha tvoří 71% celkové plochy stropu.

Z hlediska energetické výhodnosti je tento systém aktivního chlazení kombinován v letních dnech s nočním chlazením venkovním chladnějším vzduchem, který pomáhá předchladit betonové jádro bez spotřeby elektrické energie.

Jelikož návrh takového systému překračuje možnosti běžného projektování, tak bylo nutné využít energetickou počítačovou simulaci.

V reálném provozu se potvrdili závěry energetické simulace. Část letního období lze používat noční přirozené větrání pro předchlazení betonových konstrukcí bez aktivace vodním systémem. Vodní systém je v provozu pouze v kancelářských prostorách s vyšší tepelnou zátěží, v knihovni části pouze v letních extrémech a rovněž v zimním období je systém vytápění v provozu jen v zimních extrémech.

V zimním období je nucené větrání provozováno jen minimálně a v letním období přirozené noční větrání zajišťuje dostatečné provětrání prostoru knihovny. Měrná roční spotřeba na chlazení se u této budovy nachází zhruba na třetině spotřeby běžně klimatizovaných budov v České republice. [9] [32]



Obrázek 31: Pokládka potrubního systému do betonového jádra [32]



Obrázek 32: Pokládka potrubního systému do betonového jádra - 2. etapa [32]

## 9 Závěr

Cílem této práce bylo mimo jiné představit velkoplošné sálavé systémy využívané pro vytápění a chlazení objektů a také zmínit specifika použití a provozu jednotlivých řešení.

Úvodem byly uvedeny vlastnosti sálavých systémů s následnou vazbou na tepelnou pohodu uživatelů prostoru. Konkrétněji byly popsány možné druhy lokální tepelné nepohody, které mají přímou vazbu na návrh systémů. Následně byly systémy rozčleněny dle teplotnosné látky a byly uvedeny možné zdroje tepla a chladu. V neposlední řadě byly popsány otopné plochy z hlediska jejich umístění, materiálového řešení a byly popsány možnosti regulace takových systémů. Také byly uvedeny dva příklady realizací kapilárních rohoží a aktivace betonu, oba z nich na nezvyklých a unikátních budovách.

Na základě této rešerše byl vypracován projekt vytápění a chlazení pro rodinnou vilu, kde byly maximálně využity velkoplošné systémy vytápění a chlazení. Bylo zvoleno řešení za použití kapilárních rohoží, které mají svá specifika popsána výše. Toto řešení se nabízelo právě kvůli své neobvyklosti, kde jsem v projektové části názorně popsal a představil postup návrhu.

Tato práce umožňuje pochopit souvislosti mezi jednotlivými druhy velkoplošného vytápění a chlazení volbou vhodného systému ve vazbě na jeho přednosti či slabé stránky a požadavky či omezení, které jsou dány povahou sálavého vytápění nebo konkrétním technickým řešením.

# 10 Seznamy

## 10.1 Literatura a použité zdroje

- [1] - BAŠTA, Jiří. *Otopné plochy*. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2001. -328 s. ISBN 80-01-02365-6
- [2] BAŠTA, Jiří. *Velkoplošné sálavé vytápění: podlahové, stěnové a stropní vytápění a chlazení*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 9788024735245.
- [3] ZMRHAL, Vladimír. *Přípustné povrchové teploty sálavých ploch na základě asymetrie radiální teploty*. Vytápění, větrání, instalace. 2007, dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavl/Publikace/VVI-2007-04\\_s209.pdf](http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavl/Publikace/VVI-2007-04_s209.pdf)
- [4] Podrobné informace. *Revel – tepelná pohoda pro Váš domov | REVEL* [online]. Dostupné z: <https://www.revel-pex.com/sortiment/podlahove-topeni-a-chlazení/specifikace-teplovodního-podlahového-topení-chlazení>
- [5] ČSN EN 1264-4. *Zabudované vodní velkoplošné otopné a chladicí soustavy: Část 4: Instalace*. 2021.
- [6] Hypokaust – Wikipedie. [online]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hypokaust>
- [7] Teplovodní velkoplošné vytápění suchou cestou. TZB-info.cz [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3vftq2a>
- [8] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Tepelná čerpadla v letech 1981 – 2018*. Dostupné z: <https://bit.ly/3PTCqUc>
- [9] Aktivace betonového jádra – více tepla za méně energie. *TZB – Haustechnik*. 2022. č. 4. s. 14 - 15
- [10] Premium Photo | Plumber laying copper pipes on floor with warm heating. *Free Vectors, Stock Photos & PSD Downloads*. Dostupné z: <https://bit.ly/3jwjajE>
- [11] Aktivace betonového jádra. Uponor [online]. Dostupné z: <https://www.uponor.com/cs-cz/produkty/stropni-vytapeni-a-chlazení/aktivace-betonového-jadra#contec>
- [12] Základy podlahového vytápění a chlazení. *Část 4. Trubkové hady, části, regulace, chyby*. TZB-info.cz [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3C6YN2N>
- [13] Jsou lepší trubky PEX (PE-RT) nebo PEX/AL/PEX (PE-RT/AL/PE-RT)? | TOPIN. *TOPIN - Topenářství instalace* [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3Gk4A7M>
- [14] Projektuj tepelná čerpadla 5. díl – Chlazení tepelným čerpadlem. TZB-info.cz [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3IaYSpY>

- [15] Kapilární rohože G-TERM - chlazení a vytápění inspirované přírodou. TZB-info.cz [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3vmNwHU>
- [16] Základy podlahového vytápění a chlazení. Část 7. Elektrické podlahové vytápění a jeho části. TZB-info.cz [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3GyiLGxs>
- [17] Elektrické topné rohože jsou vhodné jak pro hlavní vytápění objektů, tak pro doplňkové vytápění. | Elmatern s.r.o. | *Tepelná čerpadla a topné kabely* [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3WwyScW>
- [18] Elektrické podlahové vytápění pomocí topných kabelů - nízkoteplotní způsob vytápění v podlaze, kdy se teplota v podlaze pohybuje okolo 30°C. | Elmatern s.r.o. | | *Tepelná čerpadla a topné kabely* [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3WKIwJn>
- [19] Základy podlahového vytápění a chlazení. Část 1. Typické vlastnosti a zdroje tepla. TZB-info.cz [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3jDg1OL>
- [20] Základy podlahového vytápění a chlazení. Část 3. Trubkové hady – montáž. TZB-info.cz [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3vlk7hp>
- [21] Podlahové topení svépomocí. [online]. Dostupné z: [https://www.domeceksnu.cz/Podlahove\\_topeni?&tisk=1&limit1=&all1](https://www.domeceksnu.cz/Podlahove_topeni?&tisk=1&limit1=&all1)
- [22] Systémová deska REHAU Varionova 30-2 [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3Wx0oXW>
- [23] Vytápění a chlazení v oblasti bytové výstavby. Rehau.com [online]. Dostupné z: <https://www.rehau.com/cz-cs/vytapeni-chlazení>
- [24] Kapilární rohože. *Subitech s.r.o - Projekce technických zařízení budov* [online]. Dostupné z: <https://www.subitech.cz/kapilarni-rohoze/>
- [25] Stěnové a stropní vytápění a chlazení | Gabotherm CZ. *Gabotherm CZ* [online]. Dostupné z: <https://www.gabotherm.cz/o-systemu-gabotherm/stenove-vytapeni-a-chlazení/>
- [26] Thermatop S flexibilní sálavý systém | Uponor. [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3voPBD8>
- [27] Thermatop M bežešvé stropní vytápění | Uponor. [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3WNTHjQ>
- [28] Stěnové vytápění – energeticky efektivní řešení vytápění? TZB-info.cz [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3jDK7lk>
- [29] Stěnové vytápění v dřevostavbě - vysoká efektivita a úspora | Dřevostavby, časopis o bydlení - DřevoStavby. [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3WOcCuM>
- [30] Sálavé vytápění a chlazení v budově bytového projektu V TOWER TZB-info.cz [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3WT70zD>



[31] Jak zajistit tepelnou pohodu v unikátním V TOWER? Unikátními kapilárami TZB-info.cz [online]. Dostupné z: <https://bit.ly/3jyiXMB>

[32] ZMRHAL, Vladimír a LAIN, Miloš. *Národní technická knihovna od návrhu k provozu*. časopis Stavebnictví. 2016. č. 01-02, dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Publikace/stavebnictvi\\_2016\\_1-2\\_NTK.pdf](http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Publikace/stavebnictvi_2016_1-2_NTK.pdf)

[33] Kapilární rohože – souhrn pro projektanty. HENNLICH s.r.o. [online]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/g-term/pro-projektanty/>

[34] - BAŠTA, Jiří. *Otopné soustavy teplovodní*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 1998. ISBN 80-02-01254-2

[35] BAŠTA, Jiří a Ondřej HOJER. *Sálavé a průmyslové vytápění*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2021. ISBN 9788001068144.

## 10.2 Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: VERTIKÁLNÍ PRŮBĚH TEPLoty VZDUCHU VE VYTÁPĚNÉ MÍSTNOSTI [2].....	14
OBRÁZEK 2: HORIZONTÁLNÍ PRŮBĚH TEPLoty VZDUCHU VE VYTÁPĚNÉ MÍSTNOSTI (POŘADÍ SHODNÉ S OBR. 1) .....	15
OBRÁZEK 3: ŘEZ ŘÍMSKÝM HYPOKAUSTEM .....	17
OBRÁZEK 4: POČET PRODANÝCH TEPELNÝCH ČERPADEL V LETECH 1991 – 2018 – ŠETŘENÍ MPO [8] .....	21
OBRÁZEK 5: VÝVOJ PODÍLŮ PRODEJŮ TEPELNÝCH ČERPADEL OD ROKU 2005 .....	21
OBRÁZEK 12: PŘÍKLAD REALIZACE SUCHÉHO SYTÉMU [20].....	23
OBRÁZEK 13: FORMY POKLÁDKY PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ [21].....	24
OBRÁZEK 17: SYSTÉM S LIŠTAMI [22].....	25
OBRÁZEK 14: SYSTÉM S PŘÍCHYTKAMI TACKER [23] .....	25
OBRÁZEK 15: SYSTÉMOVÁ DESKA S TEPELNOU IZOLACÍ [22] .....	25
OBRÁZEK 16: SYSTÉM SPEED SE "SUCHÝMI ZIPY" [23].....	25
OBRÁZEK 18: STROPNÍ OTOPNÉ/CHLADÍCÍ PANELY PŘED ZAKLOPENÍM [26] .....	26
OBRÁZEK 19: POHLED NA STROPNÍ PANELY V KOMBINACI S PERFOROVANOU PODHLEDOVOU DESKOU [27] .....	26
OBRÁZEK 20: STROPNÍ VYTÁPĚNÍ/CHLAZENÍ – MOKRÝ ZPŮSOB [25] .....	27
OBRÁZEK 21: STĚNOVÝ SYSTÉM – SUCHÁ INSTALACE [28] .....	28
OBRÁZEK 22: STĚNOVÝ SYSTÉM - MOKRÁ INSTALACE [29].....	29
OBRÁZEK 23: KAP. ROHOŽE – PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ [15]	
OBRÁZEK 24: KAP. ROHOŽE – STĚNOVÉ VYTÁPĚN/CHLAZENÍ [15] .....	29
OBRÁZEK 25: KAP. ROHOŽE – STROPNÍ VYTÁPĚN/CHLAZENÍ [15].....	30
OBRÁZEK 26: PRŮBĚH TEPLoty U KAPILÁRNÍCH ROHOŽÍ VE SROVNÁNÍ S KLASICKÝMI SYSTÉMY [15] .....	30
OBRÁZEK 27: UPONOR CONTEC [11].....	32
OBRÁZEK 28: UPONOR CONTEC ON [11].....	32
OBRÁZEK 6: SKLADBA PEX-AL-PEX TRUBKY [13].....	34
OBRÁZEK 7: PROPYLENOVÁ KAPILÁRNÍ ROHOŽ [24] .....	35
OBRÁZEK 8: MĚDĚNÉ POTRUBÍ V APLIKACI PRO PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ [10].....	36
OBRÁZEK 9: TOPNÉ KABELY NA ROHOŽI POKLÁDANÉ V PÁSECH [17] .....	37
OBRÁZEK 10: TOPNÉ KABELY UKLÁDANÉ DO VODÍCÍCH LIŠT [18] .....	37
OBRÁZEK 11: TOPNÁ FÓLIE POD NÁŠLAPNOU VRSTVOU (ZDROJ: AUTOR) .....	37
OBRÁZEK 29: MONTÁŽ ROZDĚLOVAČE TOPNÉ A CHLADÍCÍ VODY V PODHLEDU [30].....	40
OBRÁZEK 30: PODHLED PŘED DOKONČENÍM [30].....	40
OBRÁZEK 31: POKLÁDKA POTRUBNÍHO SYSTÉMU DO BETONOVÉHO JÁDRA [32].....	42
OBRÁZEK 32: POKLÁDKA POTRUBNÍHO SYSTÉMU DO BETONOVÉHO JÁDRA - 2. ETAPA [32] .....	42

## 10.3 Seznam grafů

GRAF 1: MAXIMÁLNÍ PŘÍPUSTNÝ VÝKON SYSTÉMU KAPILÁRNÍCH ROHOŽÍ .....	13
--	----