

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

DYNAMIKA TOPNÝCH PLOCH A TĚLES VČETNĚ REGULAČNÍCH VENTILŮ

DYNAMICS OF HEATING SURFACES AND RADIATORS INCLUDING CONTROL VALVES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JIŘÍ BARTUSEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ŠTĚTINA, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jiří Bartusek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Technika prostředí (2301T024)**

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

Dynamika topných ploch a těles včetně regulačních ventilů

v anglickém jazyce:

Dynamics of heating surfaces and radiators including control valves

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na demonstračním panelu vytápění zjistí dynamické chování různých instalací podlahového vytápění a různých těles a to včetně zahrnutí vlastností termoregulačních ventilů a servopohonů. Modifikace stávajícího programu v LABVIEW pro ovládání panelu tak, aby umožňoval provádět dynamické změny a měřit odezvy chování topných ploch či těles.

Cíle diplomové práce:

Cílem je získat přehled o konstrukčním řešení otopných ploch a otopných těles, termoregulačních ventilů a servopohonů. Modifikovat stávající program v LABVIEW tak, aby umožňoval provádět dynamické změny (skok, impuls, sinusoida) a zaznamenávat odezvu na ně. Vyhodnocení získaných dat a jejich zpracování do doporučení pro nastavování regulátorů.

Seznam odborné literatury:

1. Bašta, J.: Otopné plochy. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2001. - 328 s. - ISBN 80-01-02365-6
2. Bašta, J.: Návrh otopných těles a tepelná pohoda. In: Vytápění rodinných domů. STP Praha 2001. s. 41 - 50. ISBN 80-02-01457
3. Havlíček Josef, Vlach Jaroslav, Vlach Martin, Vlachová Viktorie Začínáme s LabVIEW, BEN - technická literatura 2008

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 21.11.2013

L.S.

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

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce teoreticky charakterizuje otopné plochy, tělesa a regulační ventily. Jsou zde popsány jejich vlastnosti, výhody či nevýhody a rozdělení dle konstrukce. Cílem této práce je stanovit dynamické charakteristiky jednotlivých otopných podlahových ploch a těles včetně regulátorů, které jsou součástí měřicího panelu. Na základě měření jsou určeny vhodné charakteristiky, ze kterých jsou vypočteny hodnoty pro nastavení regulátorů. Výsledky této práce mohou sloužit jako vodítko k praktickému postupu měření dynamických charakteristik na reálně fungujících otopných soustavách nebo sloužit jako předloha pro nastavení podle naměřených dat.

Abstract

This thesis is theoretically described heating surfaces, radiators and regulation valves. There are also described their features, advantages and disadvantages and division according to design. The aim of the work is determine the dynamics characteristics of heating surfaces and radiators including control valves, which are parts of measurement panel. Based on the measurement are determined appropriate characteristics of which are calculated values for regulating. The result of this study can serve as a guide to the practical measurement method of dynamics characteristics of the real-working heating systems, or serve as a template for the settings according to the measured data.

Klíčová slova

Dynamické charakteristiky, přechodová charakteristika, impulzní charakteristika, frekvenční charakteristika, otopná tělesa, otopné podlahové plochy, LabView, regulace vytápění

Keywords

Dynamics characteristics, step response, impulse response, frequency response, radiators, heating surface, LabView, heating control

Bibliografická citace

BARTUSEK, Jiří. *Dynamika topných ploch a těles včetně regulačních ventilů: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojího inženýrství, 2014. 78 s. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce doc. Ing. Josefa Štětiny, Ph.D. a s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 20. května 2014

.....
Jiří Bartusek

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Josefovi Štětinovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování této diplomové práce. Děkuji také svým rodičům, rodině, přítelkyni a blízkým, kteří mi umožnili studovat a podporovali mě po celou dobu dosavadního studia.

1 ÚVOD	13
1.1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA	13
1.2 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	13
2 DYNAMICKÉ CHARAKTERISTIKY	14
2.1 NUTNOST REGULACE	14
2.2 DYNAMICKÉ VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY	14
3 VELKOPLOŠNÉ SÁLAVÉ VYTÁPĚNÍ	17
3.1 CHARAKTERISTIKA SÁLAVÉHO VYTÁPĚNÍ.....	17
3.2 KONSTRUKCE PODLAHOVÝCH PLOCH	18
3.3 ZPŮSOB TVAROVÁNÍ OTOPNÉHO POTRUBÍ	21
3.4 FIXACE OTOPNÉHO HADA	22
3.5 MATERIÁLY POTRUBÍ.....	22
4 PŘEVÁŽNĚ KONVEKTIVNÍ VYTÁPĚNÍ	23
4.1 CHARAKTERISTIKA KONVEKTIVNÍHO VYTÁPĚNÍ.....	23
4.2 OTOPNÁ TĚLESA	23
4.3 DRUHY OTOPNÝCH TĚLES	24
5 REGULAČNÍ VENTILY A SERVOPOHONY	28
5.1 VENTILY	28
5.2 SERVOPOHONY	31
6 POPIS MĚŘICÍHO PANELU	32
6.1 POUŽITÉ KOMPONENTY	33
7 PŘECHODOVÁ CHARAKTERISTIKA - MĚŘENÍ ČASOVÝCH KONSTANT.....	44
7.1 ČASOVÁ KONSTANTA REGULÁTORŮ OTOPNÝCH PODLAHOVÝCH PLOCH	44
7.2 ČASOVÁ KONSTANTA OTOPNÝCH PLOCH	48
7.3 ČASOVÁ KONSTANTA OTOPNÝCH TĚLES.....	53
8 MĚŘENÍ CHLADNUTÍ OTOPNÝCH PODLAHOVÝCH PLOCH	59
8.1 CHLADNUTÍ OTOPNÝCH PODLAHOVÝCH PLOCH	59
8.2 CHLADNUTÍ OTOPNÝCH TĚLES	61
8.3 POROVNÁNÍ NÁBĚHU A CHLADNUTÍ SUCHÉ A MOKRÉ OTOPNÉ PODLAHOVÉ PLOCHY	63
9 MĚŘENÍ FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKY	65
9.1 FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKA OTOPNÝCH PODLAHOVÝCH PLOCH	65
9.2 FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKA OTOPNÝCH TĚLES	66
9.3 SHRNUTÍ MĚŘENÍ FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKY.....	66
10 IMPULZNÍ CHARAKTERISTIKY	68
10.1 IMPULZNÍ CHARAKTERISTIKA OTOPNÝCH PODLAHOVÝCH PLOCH	68
10.2 IMPULZNÍ CHARAKTERISTIKA OTOPNÝCH TĚLES	68
11 DALŠÍ VYHODNOCENÁ MĚŘENÍ A ZJIŠTĚNÍ.....	70
11.1 POROVNÁNÍ MĚŘENÍ TEPLOT POMOCÍ TERMOČLÁNKU A ODPOROVÉHO TEPLoměRU	70
11.2 ZMĚŘENÍ PRŮTOKOVÉ CHARAKTERISTIKY.....	70

11.3 SOFTWAREVÉ A HARDWAREVÉ CHYBY NA PANELU	71
12 ZÁVĚR	72
12.1 OBECNÁ ZJIŠTĚNÍ.....	72
12.2 DOPORUČENÍ PRO NASTAVENÍ REGULÁTORŮ	72
12.3 OSOBNÍ PŘÍNOS	73
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	74
SEZNAM PŘÍLOH.....	78

1 Úvod

1.1 Obecná charakteristika

Vytápění obytných prostor a s tím spojená tepelná pohoda prostředí je nezbytnou součástí každodenního života. Tento tepelný komfort by nemohl být zajištěn bez regulace otopných soustav. Moderní metody regulace vytápění redukuje uživateli nutnost do otopné soustavy jakkoliv zasahovat, šetří energii v době, kdy uživatel není ve vytápěném prostoru přítomen, a udržují tepelnou pohodu. Otopná soustava je zpravidla dimenzována na krytí tepelných ztrát při nejméně příznivém stavu venkovního počasí, přičemž tepelná ztráta objektu je především závislá na venkovní teplotě, a proto se výkon v průběhu času značně mění. Z tohoto důvodu je nutné znát dynamické chování otopné soustavy a jejich jednotlivých částí, aby byla vhodně zvolena regulace vytápění a její správné nastavení. Touto znalostí je docíleno spokojenosti uživatele a maximální úspory nákladů na vytápění, které se o to víc projeví u větších staveb.

1.2 Cíle diplomové práce

Teoreticky popsat jednotlivé typy teplovodních otopných těles, podlahových ploch a jejich regulátorů.

Modifikovat stávající řídicí program v LabView tak, aby bylo možno provádět dynamické změny na otopném demonstračním panelu a zaznamenávat odezvu na ně.

Vyhodnotit naměřená data jednotlivých dynamických charakteristik pro otopná tělesa a podlahové plochy, porovnat je a stanovit, ze kterých charakteristik lze určit parametry pro nastavení regulátorů.

Pokud to bude možné, stanovit další součásti měření a porovnat aplikované metody měření povrchových teplot.

Nalézt případné chyby v instalaci otopného panelu a řídicího programu.

2 Dynamické charakteristiky

2.1 Nutnost regulace

Návrh a dimenzování otopné soustavy jsou prováděny na základě nejnižší dosahované teploty v dané oblasti a počítají se podle normy ČSN EN 12831 – jedná se o jakousi statickou hodnotu výkonu. Ovšem výkon soustavy odpovídá tepelné ztrátě, která závisí především na proměnlivé venkovní teplotě. Z toho vyplývá, že soustava je po většinu otopného období předimenzována a navíc musí dynamicky reagovat na změnu tepelné ztráty. Teplotní kolísání a změny tepelné ztráty kompenzují regulační prvky otopné soustavy, které slouží k zajištění tepelné pohody vnitřního prostředí. Je tedy nutností, aby soustava byla schopna dynamického provozu, protože v praxi v delším časovém horizontu ji staticky provozovat není vhodné.

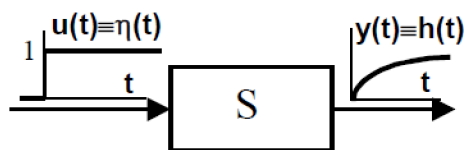
Dalším aspektem, proč je nutné brát ohled na dynamické chování soustavy, je využití individuální regulace jednotlivých pokojů (IRC regulace), při které jsou jednotlivé pokoje vytápěny v čase na různou teplotu, tato se během dne může dle potřeb měnit. Znat dynamické vlastnosti soustavy, resp. otopných těles je důležité právě při nastavení regulace – zjednodušeně řečeno, jak dlouho dopředu je nutné začít topit (viz tab. 1).

Regulaci lze rozdělit na dva základní typy: regulace kvalitativní a kvantitativní. **Kvalitativní regulace** je prováděna změnou teploty otopné vody pomocí řízení výkonu kotle, nebo směšovací armaturou, přičemž hmotnostní průtok tělesem zůstává konstantní. **Kvantitativní regulace** funguje na principu změny hmotnostního toku otopné vody za pomoci škrcení, či rozdělení proudu teplé vody např. trojcestnou armaturou. Soustavu lze regulovat i **kombinovaně**. Nepřímé zaměření této práce je na regulaci otopných těles a podlahových ploch, čili regulaci kvantitativní s pevně nastavenou hodnotou vstupující teplé vody.

2.2 Dynamické vlastnosti a charakteristiky

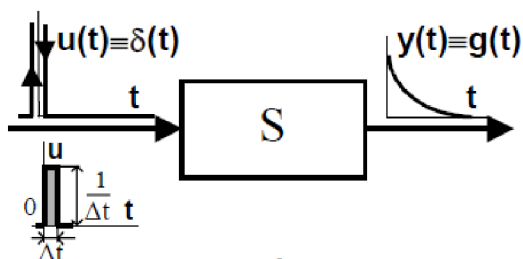
Dynamické vlastnosti lze charakterizovat pomocí vnějšího a vnitřního popisu systému. Vnější popis systému znamená vyjádření či změnu mezi vstupní a výstupní veličinou. To, jaké děje probíhají uvnitř systému, není v tento okamžik podstatné. Výhodou této metody je jednoduchost a možnost experimentálního zisku vstupních a výstupních veličin. Možné způsoby vnějšího popisu jsou jednotlivé dynamické funkce, které jsou odezvou systému daného jevu, a jejich grafické znázornění se nazývá dynamická charakteristika zkoumaného jevu.

- Přechodová – odezva systému na skokovou změnu (obr. 1), výhodou této funkce je snadné experimentální zjištění.



Obrázek 1 Schéma přechodové charakteristiky [1]

- Impulzní – odezva na jednotkový impulz na vstupu systému (obr. 2). Tento impulz je považován za nekonečně krátký o nekonečně velké amplitudě. Experimentální zjišťování se používá převážně u elektrických zařízení než u mechanických.

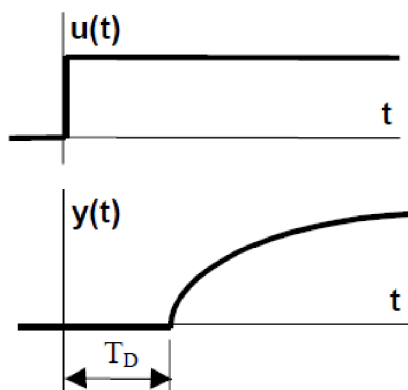


Obrázek 2 Schéma impulzní charakteristiky [1]

- Frekvenční – odezva na harmonický signál s frekvencí ω
- Rychlostní – odezva na vstupní změnu konstantní rychlostí

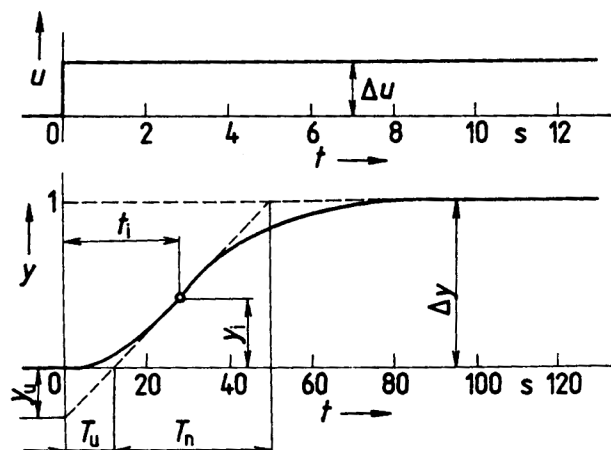
V praxi nejzkoumanější děje dynamických charakteristik jsou setrvačnost náběhu a chladnutí. Dle [2] se určují hodnoty času, za jak dlouho dojde u tělesa k 63% (T_{63} , nebo τ_{63}) a 90% (T_{90} , nebo τ_{90}) změně výkonu.

U některých systémů může nastat případ, že odezva na vstupní veličinu reaguje s jistým zpožděním (obr. 3). Takový jev se nazývá **dopravní zpoždění** T_D . Tento úsek se může pohybovat v řádu sekund až minut.



Obrázek 3 Schéma dopravního zpoždění [1]

Je nutné správně rozlišovat názvosloví časových úseků, aby nedošlo k chybné aplikaci. Časová konstanta je doba, za kterou dojde k náběhu výkonu o 63 %. Protože ne vždy je v průběhu přechodové charakteristiky čisté dopravní zpoždění, zavádí se veličiny **doba průtahu** T_u a **doba náběhu** T_n , jejich součet se nazývá **doba přechodu** T_p (obr. 4). Poměr těchto veličin vyjadřuje kvalitu regulace a slouží k správnému nastavení regulátorů.



Obrázek 4 Časové úseky přechodové charakteristiky [3]

Tabulka 1 Nastavení regulátoru podle Chiena, Hronese a Reswicka na základě přechodové charakteristiky [3]

Typ regulátoru	r_o	T_i	T_d
P	$k \cdot T_n / T_u$		
PI	$0,9 \cdot k \cdot T_n / T_u$	$3,5 \cdot T_u$	
PID	$1,25 \cdot k \cdot T_n / T_u$	$2,0 \cdot T_u$	$0,5 \cdot T_u$

Kde je $k = \Delta y / \Delta u$ viz obrázek 4.

Doba regulace je čas, během kterého se dostane regulovaná veličina na 95 % (podle jiných zdrojů na 90 %) nově nastavené veličiny. Podle [2] je tato doba trojnásobek časové konstanty.

Další vlastnost systému je **stabilita regulačního obvodu**. Předmětem zkoumání je, zda je systém po vychýlení z rovnovážného stavu se schopen opět ustálit na původní nebo nové rovnovážné hodnotě. Pokud ano, nazývá se stabilní obvod. V případě opačném nestabilní, nebo na hranici stability. Otopná tělesa se dají považovat za stabilní díky tepelné kapacitě a setrvačnosti, ovšem jiné prvky otopné soustavy stabilní být nemusí (kmitání oběhového čerpadla apod.).

Dynamické vlastnosti lze pozorovat na regulační armatuře nebo na otopné ploše (tělese), přičemž při měření dynamických charakteristik otopných těles a podlahových ploch je nutné si uvědomit, že dynamika regulátoru má vliv na dynamiku otopného tělesa a z praktického hlediska se na ni nahlíží jako na celek (dynamika otopné plochy včetně regulační armatury).

Dynamika otopné plochy závisí na její konstrukci, množství obsažené vody a rychlosti proudění v potrubí (hmotnostní tok), které by nemělo z důvodu hydraulických ztrát přesáhnout 1 m/s.

Přesnější podmínky průběhu měření jsou popsány v praktické části jednotlivých charakteristik.

3 Velkoplošné sálavé vytápění

3.1 Charakteristika sálavého vytápění

Princip sálavého vytápění je založen na sdílení tepla sáláním (radiací, zářením) ze zdroje na okolní nevytápěné plochy (nábytek, stěny, strop). Od sálajících a osálaných ploch se ohřívá okolní vzduch konvekcí (prouděním). Z toho tedy vyplývá, že povrchové teploty stavebních konstrukcí místnosti a její vybavení jsou vyšší, než je teplota vzduchu.

Sálavá otopná plocha může být pevnou nedělitelnou součástí stavební konstrukce, upevněná na některé ze stavebních konstrukcí (nejčastěji zavěšená), nebo volně ve vytápěném prostoru. Z tohoto uspořádání plyne rozdílné rozpětí povrchových teplot a měrných tepelných toků, které mohou jednotlivé plochy produkovat. Ty jsou dány převážně hygienickými limity (z důvodu popálení nohou, osálení hlavy apod.).

Z pravidla je rozděleno sálavé vytápění následovně:

- velkoplošné vytápění
 - stropní – povrchová teplota 40–45 °C
 - stěnové – povrchová teplota 55–60 °C
 - podlahové – povrchová teplota 25–34 °C
- vytápění závěsnými sálavými panely – povrchová teplota do cca 180 °C
- vytápění tmavými zářiči – povrchová teplota cca 180–500 °C
- vytápění světlými zářiči – povrchová teplota cca 850–900 °C

Podíl sálavé složky pro stropní vytápění je zhruba 80 %, pro stěnové 65 % a pro podlahové 55 % (detailnější parametry jsou obsaženy v tab. 2).

Tabulka 2 Celkový součinitel přestupu tepla a měrný tepelný výkon velkoplošného sálavého vytápění [4]

Použitá plocha			Povrchová teplota plochy t_p [°C]							
			25	30	35	40	45	50	55	60
Stropní	α_p [W/m ² .K]		-	-	7,4	7,5	7,7	-	-	-
	q [W/m ²]		-	-	126	165	208	-	-	-
Podlahová	α_p [W/m ² .K]		9,2	10,0	-	-	-	-	-	-
	q [W/m ²]		64	120	-	-	-	-	-	-
Stěnová	α_p [W/m ² .K]		-	-	-	-	-	11,0	11,4	11,7
	q [W/m ²]		-	-	-	-	-	352	422	491

Další zaměření práce se týká velkoplošného vodního vytápění, především s důrazem na podlahové vytápění, které bylo předmětem měření. Detailnější rozdělení dle konstrukce je popsáno v tabulce 3.

Tabulka 3 Rozdělení velkoplošného podlahového vytápění [4]

Rozdělení podle:	Velkoplošné podlahové vytápění
Teplonosné látky	Teplovodní
	Elektrické
	Teplovzdušné
Montáže	Mokrý proces
	Suchý proces
	Modulové klima desky
	Kapilární rohože
Provedení	Meandr
	Plošná spirála
	Bifilární pokládka
Materiál potrubí	Kovový
	Plastový
	Vícevrstvý
Uložení otopného hadu	Zabudované
	Volně ukládané
Setrvačnost otopné plochy	Akumulační
	Poloakumulační
	Přímotopná

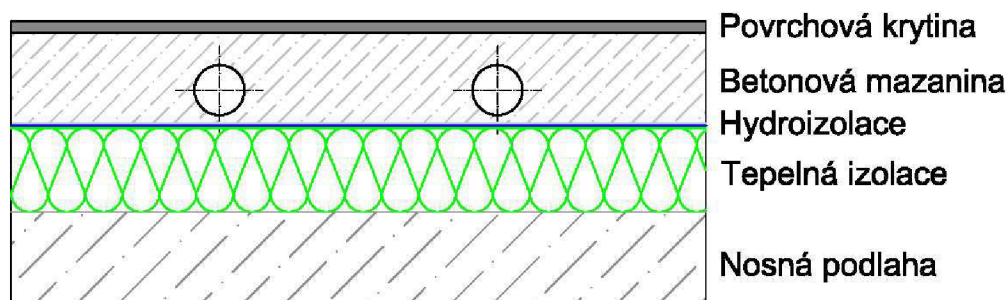
3.2 Konstrukce podlahových ploch

Podlahová plocha musí být konstruována tak, aby splňovala optimální tepelné technické vlastnosti návrhu (zamezení nežádoucího úniku tepla do vrstev směrem od vytápěné místnosti) a aby byly eliminovány negativní vlivy tepelné dilatace materiálu vlivem periodického zahřívání a chladnutí podlahy. S tím souvisí i termín plovoucí podlaha, značící volné spojení podlahové krytiny s nosnou částí podlahy.

Vhodný výběr typu otopné podlahové plochy závisí na mnoha faktorech, které vycházejí z jednotlivých materiálových, tepelně technických či mechanických vlastností použitého příslušenství otopné soustavy a stavebního materiálu.

3.2.1 Mokrý způsob pokládky

Potrubí otopného hadu je zalito přímo do betonové vrstvy (cementový potěr) ležící nad tepelnou izolací (viz obr. 5). Z důvodu dobré tepelné vodivosti betonu a nepřítomnosti vzduchových mezer je dosaženo nízkého tepelného odporu vrstvy, a proto je potřeba volit nízkou teplotu teplé vody procházející v otopném hadu. Doporučená teplota se pohybuje v rozmezí 35–55 °C [4]. Podlaha pracuje s měrným tepelným výkonem nad 50 W/m² [5].



Obrázek 5 Schéma mokré pokládky

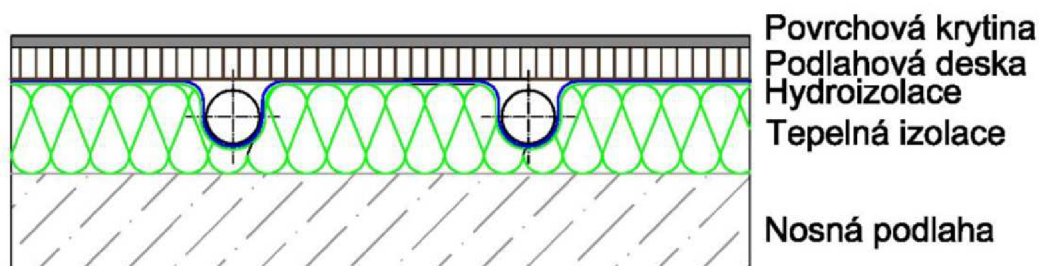
Tento typ pokládky je vhodný do zděných staveb. Povětšinou je nutností provozovat mokré způsob se směřováním otopné vody, nebo s využitím nízkopotencionálního zdroje tepla. Při této pokládce je důležitý pozvolný náběh výkonu, aby nedošlo k poškození otopné soustavy a popraskání lité vrstvy. Nutností je počítat s vyšším měrným zatížením nosné konstrukce stropu způsobeným právě vyšší hmotností betonové vrstvy.

3.2.2 Suchý způsob pokládky

Potrubí otopného hada je uloženo v izolační vrstvě, která leží na nosné konstrukci. Na izolační desce nad otopným hadem je položena podlahová deska, která je vyrobena ze sádrovláknitých materiálů aj. Jako poslední se pokládá nášlapná plocha (linoleum, kameninové dlaždice, parkety apod.) [6]. Schematický řez podlahou lze vidět na obrázku 6.

Tento systém se vyznačuje vyšším tepelným odporem způsobeným nedokonalým kontaktem mezi otopným hadem a podlahovou deskou. Proto je vhodné volit přírodní teplotu teplé vody v rozsahu 40–70 °C. Měrný tepelný výkon je do 50 W/m² a tento způsob pokládky se používá jako dodatková otopná plocha či zastává funkci temperování [4].

Odpadá zde zrání betonu a otopnou soustavu je možné spustit okamžitě v plném výkonu. Suchý systém je charakteristický pro dřevostavby, vyznačuje se nízkým vertikálním profilem, a tím i nízkým zatížením nosné konstrukce [4].

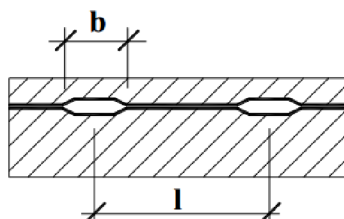


Obrázek 6 Schéma suché pokládky

3.2.3 Modulové klima desky

Prefabrikované deskové jednotky se pokládají na izolační vrstvu a propojují se hydraulicky k sobě. Jejich výhodou je nízká konstrukční výška a rovnoměrný tepelný tok k podlaze (rovnoměrná povrchová teplota podlahy). Nevýhodou je malý průtočný

průřez [4], který vyžaduje čistotu otopné vody (viz obr. 7). Vstupní teplota vody se pohybuje od 25 °C do 35 °C [4].



Obrázek 7 Profil modulové klima desky [4]

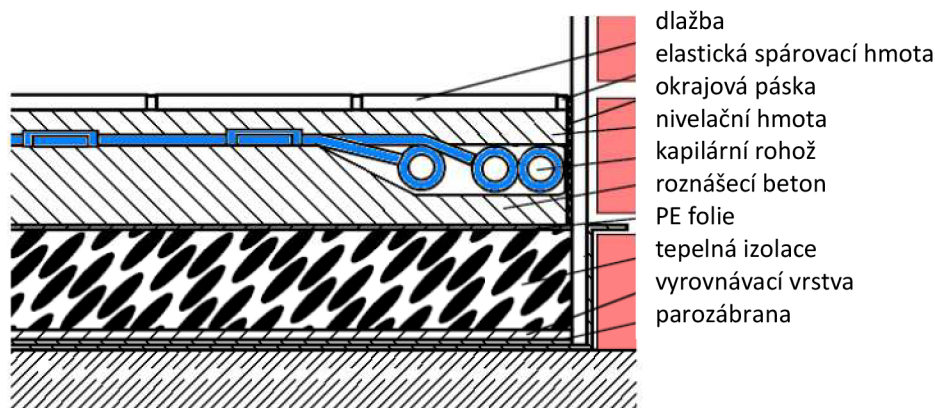
3.2.4 Kapilární rohože

Polypropylenové systémy rozdělovačů, kapilár a sběračů vyráběné v určitých rozměrech se upravují dle potřeby stavby. Spojují se polyfúzním svařováním, přičemž otopná soustava nesmí obsahovat jiné korodující materiály či měď. V případě porušení jedné z kapilár se nejčastěji provádí její zavaření (viz obr. 8). Polypropylen ovšem nevytváří dostatečnou ochranu proti difuzi kyslíku. Je proto vhodné toto vytápění rozdělit do okruhů oddělených tepelným výměníkem. Celý systém se zalévá do betonové mazaniny malé tloušťky, na kterou se klade povrchová krytina či omítka.



Obrázek 8 Kapilární rohož [7]

Jsou vhodné pro použití převážně do stěnových a stropních ploch a v budovách s malou tepelnou ztrátou [4, 7]. Velký pozor se musí dát na následné estetické úpravy místnosti (věšení obrazů, vrtání hmoždinek apod.). Schematický řez lze vidět na obrázku 9.



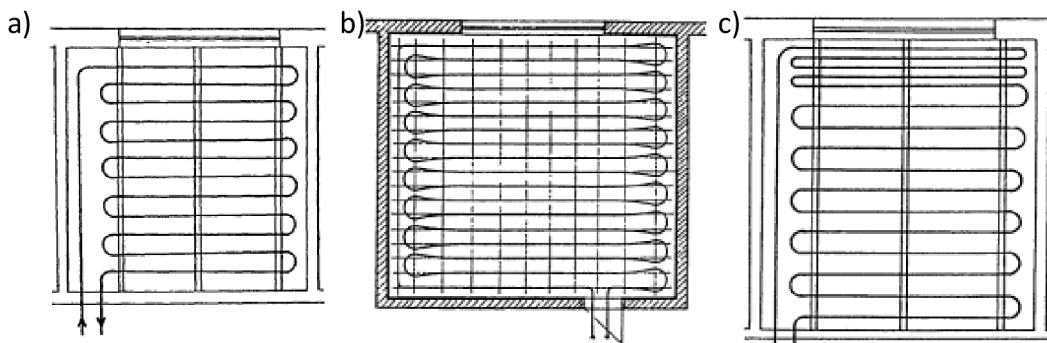
Obrázek 9 Schéma uložení kapilární rohože [7]

3.3 Způsob tvarování otopného potrubí

3.3.1 Meandrový způsob

Teplota otopné vody klesá od vstupu ve směru vinutí vedeného potrubí. Povrchová teplota podlahy místnosti je tedy nerovnoměrná. Proto je vhodné orientovat uložení tak, aby maximálních povrchových teplot bylo dosaženo okolo obvodových zdí a pod okny, což napomáhá zrovnoměnění teplot uvnitř v místnosti v horizontální rovině.

Potrubí se tvaruje v obloucích o úhlu 180° (obr. 10), což vyžaduje potrubí o menším průřezu. Možné je také provést nahuštění otopného hada a vytvořit intenzivní okrajovou zónu (viz obr. obr. 10 c), která částečně zamezí vlivu chladných stěn vytvářející tepelnou nepohodu [4].



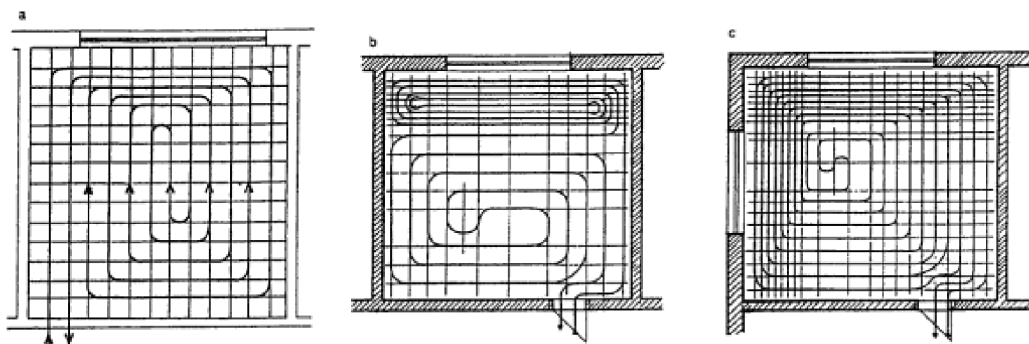
Obrázek 10 Meandrový způsob uložení

- a) klasický [4]
- b) s okrajovou zónou podél stěny [4]
- c) s okrajovou zónou pod oknem [4]

3.3.2 Plošná spirála

Potrubí otopného hada se ukládá do spirálového rovnoběžníku (obr. 11), který způsobuje rovnoměrné rozložení povrchové teploty podlahy. To má za následek nerovnoměrné rozložení teplot vzduchu v místnosti vlivem chladných obvodových stěn. Tento jev lze eliminovat tvorbou intenzivní okrajové zóny.

Při tomto uložení lze volit potrubí o větším průřezu, jelikož se potrubí tvaruje do oblouku 90° .

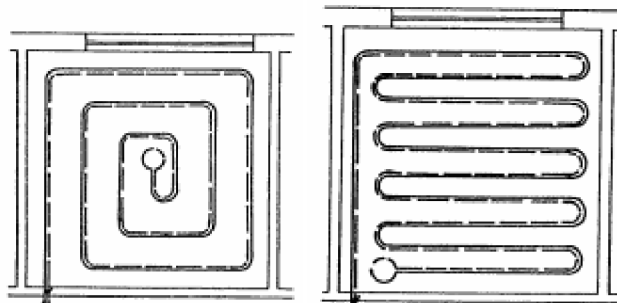


Obrázek 11 Plošná spirála

- a) klasická [4]
- b) s okrajovou zónou pod oknem [4]
- c) s dvěma okrajovými zónami [4]

3.3.3 Bifilární způsob

Potrubí je vedeno tvarem meandru nebo spirály s tím rozdílem, že přívodní a zpětná část větve jsou vedeny blízko sebe (obr. 12), a dojde tak k zprůměrování teplot otopné vody. Povrchová teplota je tedy rovnoměrná.



Obrázek 12 Bifilární uložení [4]

3.4 Fixace otopného hada

Pro zachování navrhovaného a počítaného tvaru je nutné zachovat správné a rovnoměrné rozložení otopného potrubí. K tomu slouží nejrůznější způsoby:

- přivazování na kovovou síť
- pomocí plastových lišt
- připevňování pomocí plastových příchytek (spony, kroužky)
- vsazování trubek do systémových desek
- připevňování do lamelových desek
- apod.

Za zmínku stojí použití systémových desek, které jsou vyráběny z izolačních materiálů (nejčastěji polystyrén) a na horní straně obsahují výstupky, do kterých se ukládá otopná hadice. Výstupky jsou vyrobeny tak, aby mohl být had variabilně uložen v požadovaných roztečích potrubí. Systémovou desku lze zalít betonovou mazaninou (mokrý způsob) nebo na ni umístit podlahovou desku (suchý způsob). Výhodou je výrazné zrychlení instalace a kladení potrubí [4].

3.5 Materiály potrubí

- nerezové potrubí
- měděné potrubí
- termoplasty
- duroplasty (termosety)
- síťovaný polyetylen (PE-Xa)
- polypropylen
- polybuten
- polyvinylchlorid

4 Převážně konvektivní vytápění

4.1 Charakteristika konvektivního vytápění

Při použití konvektivního způsobu vytápění se vzduch ohřívá prouděním okolo otopného tělesa. Ohřátý vzduch vlivem nižší hustoty poté stoupá vzhůru a proudí místností. Tento vzduch předává teplo okolním stěnám a vybavení v místnosti, které mají nižší povrchovou teplotu. Radiační složka je závislá na typu (konstrukci) tělesa, ale ve většině případů má velice malý vliv.

Přestup tepla a následný výpočet tepelného výkonu je složitý a v praxi se řeší na základě teorie podobnosti či empirických vztahů.

4.2 Otopná tělesa

Otopná tělesa jsou jakýmsi výměníky tepla, které prostřednictvím teplonosné látky (voda, pára) sdílí teplo ke krytí tepelné ztráty vytápěného prostoru. Umísťují se vhodným způsobem (nejčastěji pod okno, aby bylo zamezeno studeným proudům) tak, že nejsou pevnou součástí stavební konstrukce. Nejedná se tedy o lokální zdroj tepla, ale o ústřední vytápění. Hlavní zaměření práce je na teplovodní vytápění, a tedy na tělesa, kde teplonosnou látkou je voda.

Jednotlivá tělesa jsou popsána **geometrickými** (konstrukční rozměry), **tepelně-technickými** (parametry určující sdílení tepla, vyjádření výkonu těles) a **provozními charakteristikami** (především hydraulické, teplotní a provozní vlastnosti), na základě kterých jsou konstruktérem vhodně navrhovány [8].

Jednou z důležitých tepelně-technických vlastností je teplotní exponent, který je určen experimentálně výrobcem. Tento údaj popisuje změnu tepelného výkonu, liší-li se skutečné podmínky v místnosti od standardních. V praxi se tato hodnota pohybuje dle [8] v rozmezí 1–1,5 a slouží např. pro přepočítání tepelného výkonu.

Požadavky při výběru otopného tělesa jsou:

- malá hmotnost a vodní obsah
- odstupňování výkonové řady
- vysoká tlaková odolnost
- odolnost vůči korozi
- snadná montáž
- jednoduchá čistitelnost
- vzhled a soulad s interiérem
- žádné ostré hrany
- nízká hladina hluku

4.3 Druhy otopných těles

Otopná tělesa lze podle jejich konstrukce kategorizovat do jednotlivých druhů. Konstrukce ovlivňuje způsob proudění vzduchu okolo tělesa, což tvoří rozhodující vzájemný poměr mezi konvektivní a sálavou složkou. Rozlišují se:

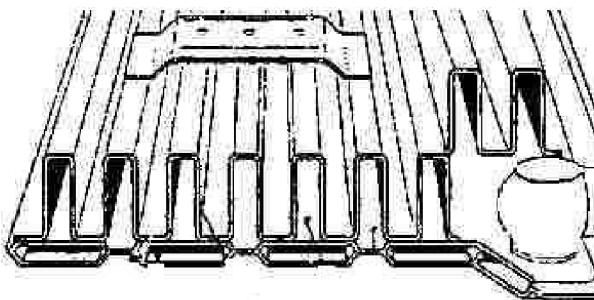
- desková tělesa
- článková tělesa
- trubková tělesa
- konvektory
- designová tělesa

4.3.1 Desková tělesa

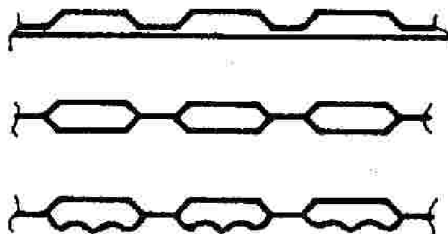
Nejčastěji používaná tělesa jsou tvořena jednou či více deskami, skrz které proudí teplá voda. Profil desek je často tvořen horizontálními a vertikálními kanály pro snížení objemu vody (obr. 13 a 14). Plechy pro výrobu desek se nejčastěji lisují či válcují a poté jsou svařeny. Materiály deskových těles jsou z oceli (tloušťky od 1,25 mm až 2,00 mm), slitin hliníku, plastu, či litinová [8].

Povrch desek může být pro zvětšení přestupní plochy zvlněný a může obsahovat další přivařené plechy pro zvýšení konvekce (soustava žeber). Desková tělesa mají menší vodní obsah oproti tělesům článkovým, což umožňuje rychlou reakci na zásah regulace.

Tělesa mohou být složena až z tří desek a tří konvektivních přídavných plechů. Z toho taky vyplývá jejich typové číselné značení XY, kde hodnota X znamená počet desek a hodnota Y počet konvektivních plechů (např. typ 10, typ 22 apod.).



Obrázek 13 Řez deskovým tělesem typu 11 [8]



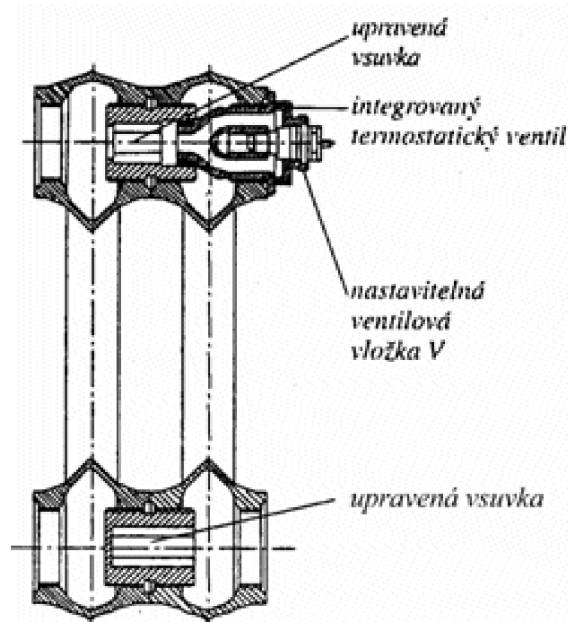
Obrázek 14 Tvarové řešení kanálu [8]

Desková tělesa jsou dnes prakticky nejužívanějšími tělesy v naší oblasti. Výhodou jsou malý vodní obsah (který je vhodný k rychlé regulaci), dobrá čistitelnost, vzhledový soulad s interiérem.

4.3.2 Článková tělesa

Jedná se o tělesa vytvořená z jednotlivých článků, bez ohledu na jejich tvar. Typickým rysem pro článek je větší rozměr hloubky oproti šířce (viz obr. 15). Materiály pro výrobu článkových těles jsou nejčastěji litiny (tlakově i gravitačně lité), ale i lisované a svařované plechy, slitiny hliníku či plasty.

Spojení článků tělesa je zajištěno závitovými vsuvkami s pravým a levým závitem, lepením nebo svařováním. Článek je složen z horní a dolní rozváděcí komory, která může obsahovat závit pro spoj. Tyto komory jsou spojeny vertikálním kanálem (jeden článek jich může obsahovat několik) a na něm mohou být dle modelové řady uchyceny další žebra pro zvětšení přestupní plochy. Vlivem rozmanité konstrukce mají tělesa široký rozptyl velikosti konvektivní složky. Ve většině případů mají litá článková tělesa nižší konvektivní složku vlivem zhoršené zatékavosti litiny pro tvorbu tenkých žebírek (např. těleso Viadrus Kalor). V opačné pozici se nacházejí články z výlisku ocelových plechů, na které lze technologicky snadno přivařit další tenké konvektivní plechy (např. těleso Lipovica Solar). [8]



Obrázek 15 Řez článkového tělesa [9]

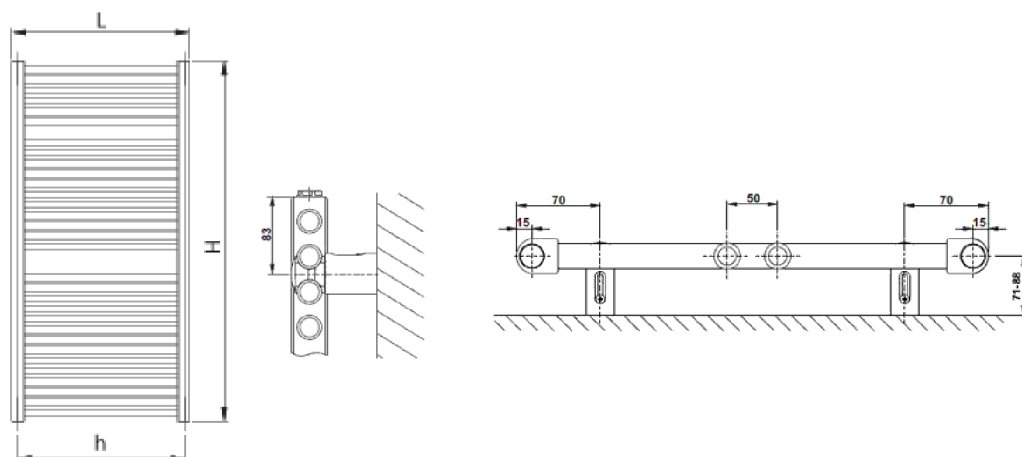
Obecně jsou tato tělesa popisována s ohledem na jeden článek (výkon, rozměry atd.). Volba počtu článků závisí na volbě projektanta, ovšem obecně se bere v úvahu deset článků na jedno těleso.

Výhodou článkových těles je snadná modulovatelnost. Vhodným počtem článků lze dosáhnout optimálních parametrů na pokrytí tepelné ztráty, resp. při rekonstrukcích a dostavbách lze články doplnit, či ubrat. Další kladnou vlastností je nízký hydraulický odpor, využívaný především u přirozené cirkulace otopné vody. Tělesa vykazují vysokou životnost. Obrovskou nevýhodou je v dnešní době, kdy se klade důraz na regulovatelnost, vysoký vodní obsah, který prakticky znemožňuje rychlou reakci na regulační zásah.

4.3.3 Trubková tělesa

Konstrukce trubkových těles je založena na rozvodném a sběrném profilu (registru), mezi kterými jsou vedeny trubky menších průměrů (viz obr. 16). Uspořádání trubek je provedeno do meandru, vodorovně, či svisle. Svislé uspořádání si lze představit jako článkové těleso s tím, že trubkové těleso nelze rozebírat. Z technologického a konstrukčního hlediska je nutné dbát na vhodné napájení těles vodou, aby nebylo dosaženo zkratovitého toku otopné vody [8]. Tomuto jevu lze zabránit vhodným umístěním přepážek a clon vytvářejících lokální tlakové ztráty.

Některá tělesa mohou obsahovat přídavná konvektivní žebra. Materiály trubkových těles jsou v největším zastoupení ocelové, hliníkové či měděné [8].



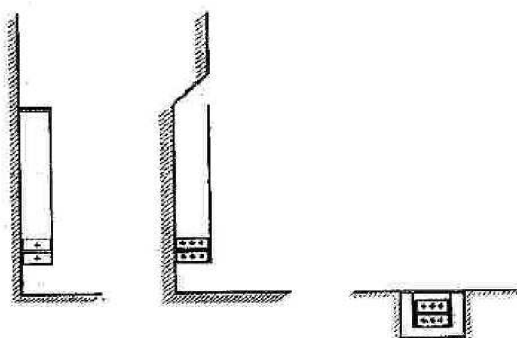
Obrázek 16 Trubkové těleso [10]

Tato tělesa jsou dnes velice známá z použití v koupelnách, kde konstrukce umožňuje snadné sušení textilií a ručníků. Trubky jsou různě prohnuté a mohou být doplněny zrcadlem či elektrickým topným tělesem pro letní provoz. Výkon těchto těles není příliš vysoký, a proto je vhodné je doplnit jiným typem otopného tělesa. Je nutné brát ohled i na to, že výkon tělesa bude v případě zakrytí ručníkem menší.

4.3.4 Konvektory

Konvektor je otopné těleso, které, jak z názvu vyplývá, sdílí teplo do prostoru převážně konvekcí. Konvektory jsou rozděleny do několika kategorií dle konstrukce (viz obr. 17).

- skříňové (dodávány jako celek, umísťují se na stěnu)
- soklové (podparapetní s nízkou skříňí)
- zapuštěné (skříň je zapuštěna v podlaze, na které je nášlapná rohož)



Obrázek 17 Konstrukce konvektorů [8]

Konvektor se obvykle skládá z výměníku (trubka) tepla tvořeného velkým množstvím tenkých žebířů pro intenzivní přestup tepla. Volené materiály jsou ocel

a měď pro potrubí a měď či hliník pro žebra. Těleso konvektoru může obsahovat několik trubek a ty mohou být vedeny přímo nebo meandrem. Mezi potrubím a lamelou žebra nesmí vznikat mezera, která by tvořila velký tepelný odpor, což by zapříčinilo špatné vedení tepla (odstranění pájením, svařováním, aplikací vodivých past) [8].

Skříň konvektoru tvoří nejen estetickou část, ale i funkčně-technickou. Pomocí ní se tvoří komínový efekt (přirozený vztlak) teplého vzduchu, což napomáhá k lepší cirkulaci. Pro zvýšení míry konvekce lze použít elektrický ventilátor umístěný uvnitř skříně. Ta může obsahovat i usměrňovací a regulační klapky na výstupu. Materiály jsou nejčastěji z hladkého hliníku nebo plechu z důvodu snadné čistitelnosti. [8]

Výhodou konvektorů je malý vodní obsah (dobrá regulace, malá tepelná akumulace), nízká hmotnost tělesa. Jako nevýhoda se jeví malý podíl tepelného toku sáláním, který může vyvolat pocit studených zdí. Konvektory mají jiný teplotní exponent oproti ostatním tělesům, proto není vhodné je s nimi kombinovat [8].

4.3.5 Hybridní a designová tělesa

Za dobu vývoje jednotlivých těles se některé typy dle konstrukce dostaly na pomezí jednotlivých výše uvedených kategorií. Některé se ujaly, jiné méně.

V poslední době, s postupně zvětšujícím se důrazem na estetiku interiéru, byli výrobci nuceni reagovat vývojem nejrůznějších typů těles (viz obr. 18). Tato relativně nová tělesa lze kategorizovat dle předchozího rozdělení, ale nejedná se o klasické, běžně používané typy.



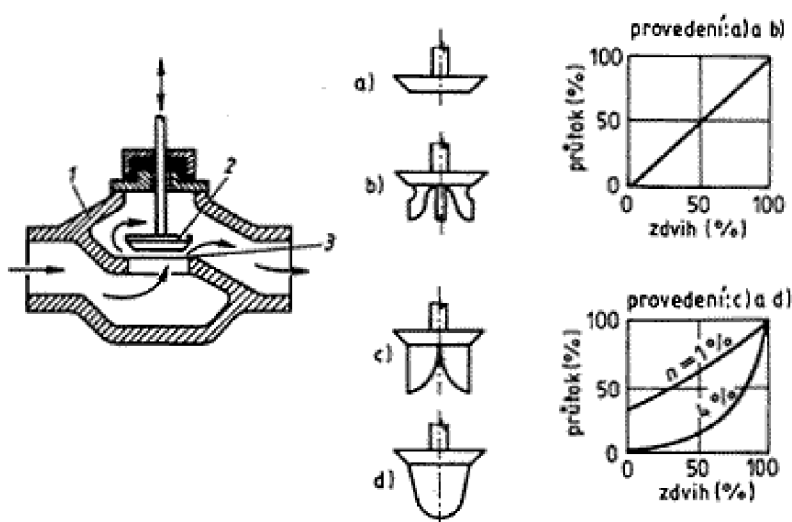
Obrázek 18 Designové typy otopných těles [11]

5 Regulační ventily a servopohony

Otopnou soustavu lze regulovat různými možnostmi. Jeden ze způsobů, na který je tato práce nepřímo zaměřena, je regulace výkonu otopných těles (je myšleno taktéž podlahových ploch). Tento způsob je prakticky nejpoužívanější ve většině staveb. Proces řízení probíhá pomocí regulačních armatur, které jsou nainstalovány na přívodním potrubí, osazeny akčním členem a regulují průtok teplé vody tělesem.

5.1 Ventily

Podle [12] musí být pro správnou funkci regulačního ventilu vhodně zvolené jeho parametry, které jsou dány hlavně jeho konstrukcí (tvar kuželky, průtočný průřez, apod.). Při výběru se volí parametry, jako jsou jmenovitý průměr, jmenovitý průtok, přípustný rozdíl tlaků, charakteristika ventilu, autorita ventilu aj.



Obrázek 19 Řez ventilu a tvary kuželek [12]

- 1) tělo ventilu
- 2) kuželka
- 3) sedlo ventilu
- a) talířová kuželka
- b) talířová kuželka s usměrňujícími žebry
- c) kuželka s logaritmickými vstupy
- d) kuželka s logaritmickým nátokovým profilem

Regulační armatura je složena z těla ventilu, pohonu a regulační kuželky (viz obr. 19). Pohony, které slouží k řízení zdvihu kuželky, se rozdělují na **ruční** (pevně nastavené otevření uživatelem), **bez potřeby elektrické energie** (bimetal, termostatická hlavice - pohon reaguje tepelnou roztažností použité kapaliny vlivem změny teploty) a **elektricky řízené** (termopohon, servopohon – elektrický krokový motor převádějící rotační pohyb na lineární). V topenářském použití se těla ventilů odlévají nejčastěji z niklované či chromované mosazi.

5.1.1 Průtokový součinitel k_v

Dle [12] je průtokový součinitel k_{vS} (rov. 1) charakterizován jako hodnota průtoku v m^3/h v plném otevření ventilu za podmínek tlakové ztráty $\Delta p_0 = 100 \text{ kPa}$ (1 bar) a teplotě vody $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Výhodou tohoto součinitele je snadná interpretace a možnost přepočtení průtoku při jiných podmínkách. Pro případ výpočtu, kdy se počítá s jinou teplonosnou látkou, než je voda, platí:

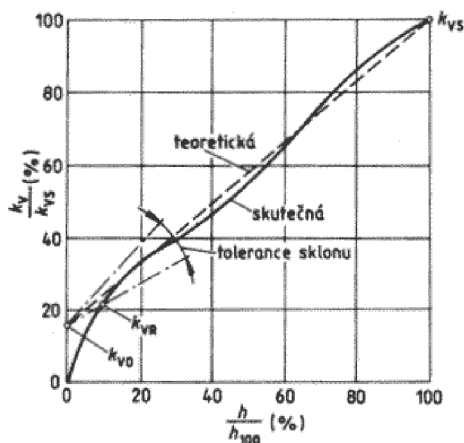
$$k_{vS} = V \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_V}} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (1)$$

kde:

V	objemový průtok armaturou [m^3/h]
Δp_0	nominální tlaková ztráta 100 kPa [kPa]
Δp_V	tlaková ztráta ventilu [kPa]
ρ_0	hustota vody při $15 \text{ }^\circ\text{C}$ [kg/m^3]
ρ	hustota teplonosné látky [kg/m^3]

5.1.2 Autorita ventilu P_V a průtoková charakteristika

Před uvedením pojmu autorita je nutné vědět, co je to charakteristika ventilu (obr. 20). Ta udává závislost okamžitého průtokového součinitele (v procentech) na aktuální poloze otevření armatury (h/h_{100} v procentech). Lze ji rozdělit na dva základní průběhy – **lineární** (obr. 22) a **rovnoprocentní** (ekviprocentní) (obr. 21).



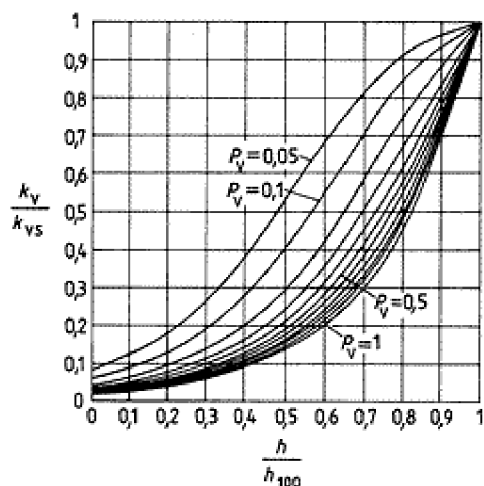
Obrázek 20 Charakteristika ventilu [12]

Autorita ventilu (rov. 2) je definována jako poměr tlakové ztráty ventilu při plném otevření k tlakové ztrátě plně zavřeného ventilu. Pomocí autority ventilu dochází k deformaci křivky charakteristiky ventilu. Obecně lze říct, že čím větší je autorita ventilu, tím lepší je schopnost regulace. Autorita ventilu se pohybuje v rozmezí 0,3–0,5. S tímto rozptylem se ale nedá dosáhnout ideálního průběhu lineární charakteristiky. [12] Pro výpočet platí následující vztah:

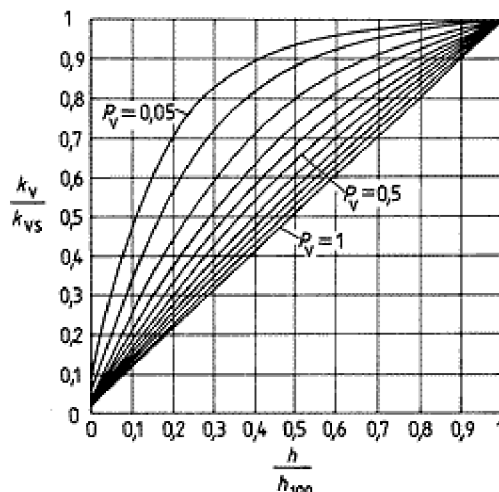
$$P_V = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v0}} \quad [-] \quad (2)$$

kde:

Δp_{v100}	tlaková ztráta ventilu při plném otevření [Pa]
Δp_{v0}	tlaková ztráta uzavřeného ventilu [Pa]



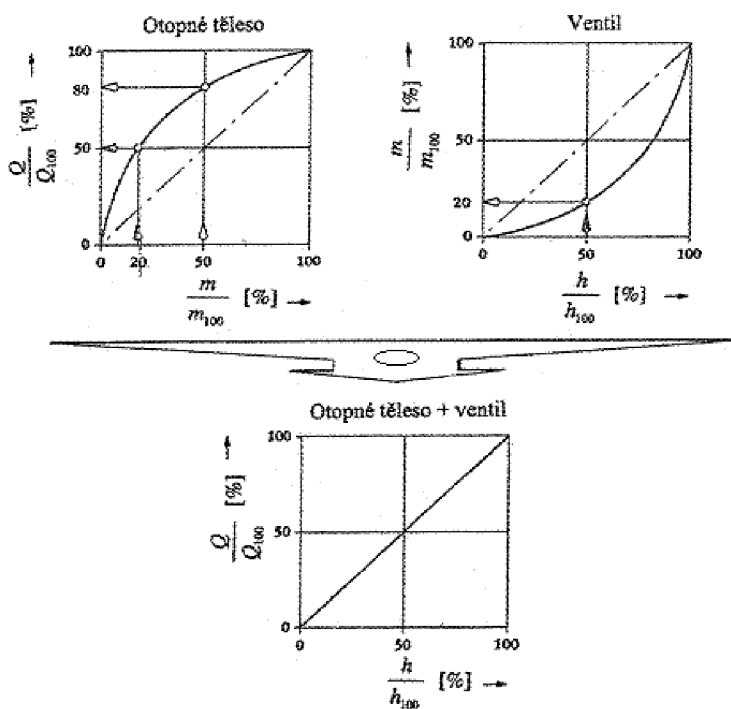
Obrázek 21 Deformace rovnoprocenní statické charakteristiky vlivem autority ventilu [12]



Obrázek 22 Deformace statické lineární charakteristiky vlivem autority ventilu [12]

Při pohledu na lineární charakteristiku lze vidět téměř přímkový průběh s autoritou ventilu $P_v = 1$, čehož v reálné situaci nelze dosáhnout. Nevýhody se projeví s klesající hodnotou autority ventilu, kde dochází k značnému prohnutí křivky průběhu. V topenářské praxi se dává přednost spíše ventilům s rovnoprocenní charakteristikou, kde je dosažitelná lepší regulovatelnost ve spodním pásmu výkonu [8].

Sloučí-li se ekviprocenní charakteristika ventilu s průběhem tepelného výkonu otopného tělesa v závislosti na hmotnostním toku teplotnosné látky, lze vypočítat ideálně lineární závislost výkonu otopného tělesa na otevření ventilu nazývanou výkonová charakteristika (viz obr. 23) [12].



Obrázek 23 Výkonová charakteristika otopného tělesa [12]

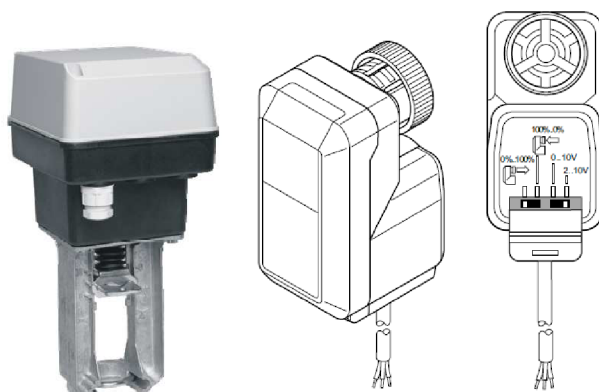
5.2 Servopohony

Pohyb kuželky v termostatickém ventilu je zprostředkován pomocí akčního členu regulátoru. Jedná se o mechanické zařízení, které může pracovat za pomoci elektrické energie nebo vlivem fyzikálních sil (např. tepelná roztažnost látek). Jedním z těchto akčních členů je právě servopohon.

5.2.1 Konstrukce servopohonu

Servopohon je elektrický motor (viz obr. 24), u kterého lze nastavit přesné natočení osy a který má rychlostní, impulzní nebo polohovou zpětnou vazbu. V topenářském použití je rotační pohyb motoru převáděn na přímočarý a řídí zdvih kuželky. Elektromotor je většinou zpřevodován do pomala (šnekový převod), aby byla dosažena větší přesnost lineárního pohybu a vysoká zavírací síla. Právě nízkým převodovým poměrem je způsobena samodržnost pohonu – elektrickou energii je proto nutné dodávat jen při regulačním zásahu.

Nevýhodou je mechanický hluk při běhu servopohonu, který je dnes již dobře eliminován hlukově izolačním zákrytem. Součástí těla servopohonu může být i teplotní prostorové čidlo, pokud regulační armatura splňuje vhodné umístění pro teplotní čidlo (není-li zakryt, nebo není-li negativně ovlivněno měření pokojové teploty).



Obrázek 24 Typy servopohonů [13]

6 Popis měřicího panelu

Měřicí panel je experimentální zařízení simulující chování otopných těles a podlahových ploch v dvoutrubkovém protiproudém zapojení (obr. 25). Umožňuje připojení externího zdroje tepla přímým primárním zdrojem (elektrický kotel) nebo sekundárním zdrojem (výměníková stanice). Většina použitých armatur a zařízení je vyrobena společností Honeywell. O měření a regulaci se stará program vytvořen společností Synerga v softwaru LabVIEW (National Instruments).



Obrázek 25 Měřicí panel

Podlahové vytápění je snímáno odporovými čidly Pt100 (obr. 26), otopná tělesa jsou osazena měřičem tepla (průtokoměr a termočlánek na vstupním potrubí a v průtokoměru na výstupním potrubí).

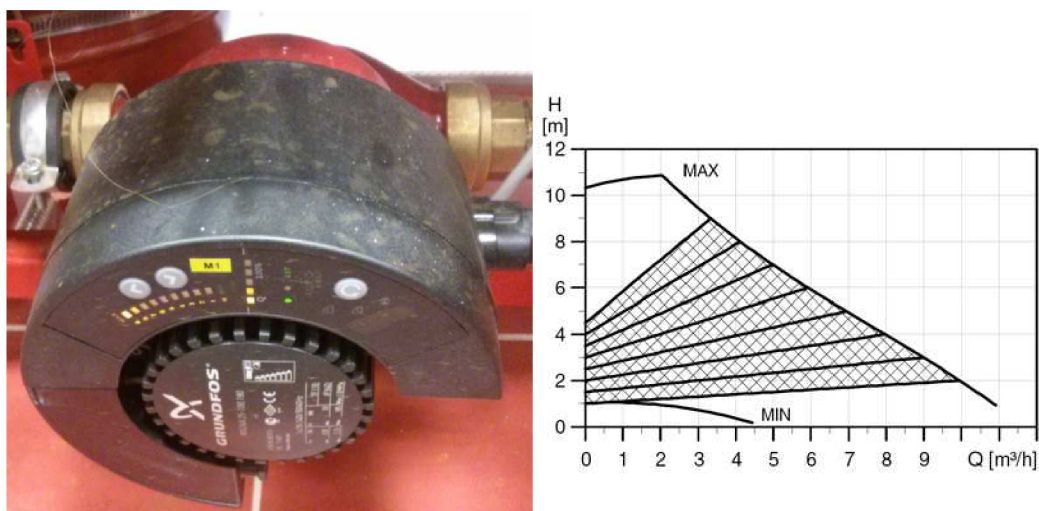


Obrázek 26 Instalace termočidla průtokoměru, odporového čidla PT100 v trubce, nalepovací termočlánek

6.1 Použité komponenty

6.1.1 Čerpadlo Grundfos MAGNA 25-100

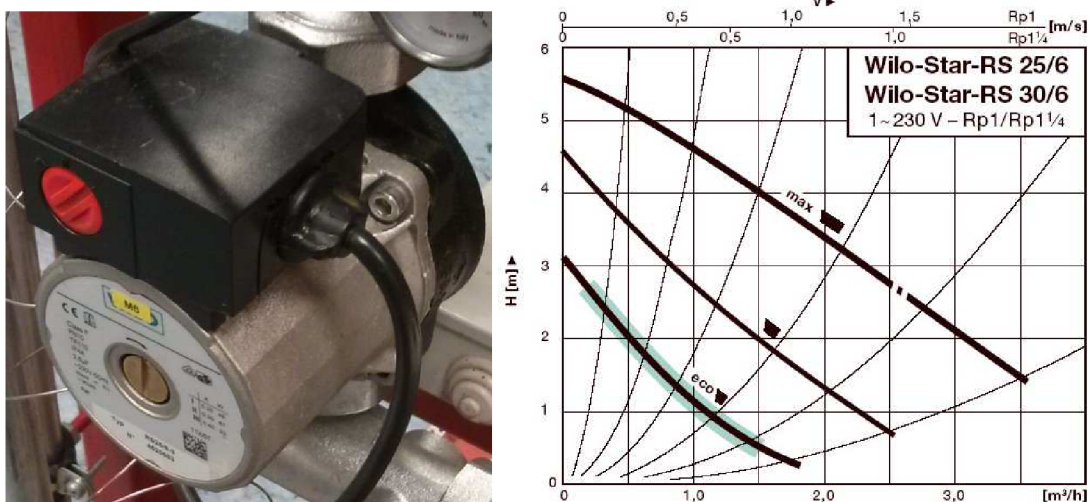
Jedná se o radiální bezucpávkové čerpadlo s elektronickým řízením otáček (frekvenčním měničem) navržené pro oběh teplé vody ve vytápění (obr. 27). Je vhodné pro zajištění cirkulace otopné vody pro malé i větší objekty. Jeho výhodou je vysoká energetická účinnost, funkce AUTOADAPT pro automatickou optimalizaci diferenčních tlaků a snadnost používání. [14]



Obrázek 27 Čerpadlo Grundfos MAGNA, průtoková charakteristika [14]

6.1.2 Čerpadlo WILO Star RS 25/6-3

Toto oběhové topenářské čerpadlo je charakteristické ručně nastavitelnou změnou otáček ve 3 stupních (obr. 28). Teplota otopné vody může dosahovat až 110 °C při maximálním přetlaku 10 bar. [15]



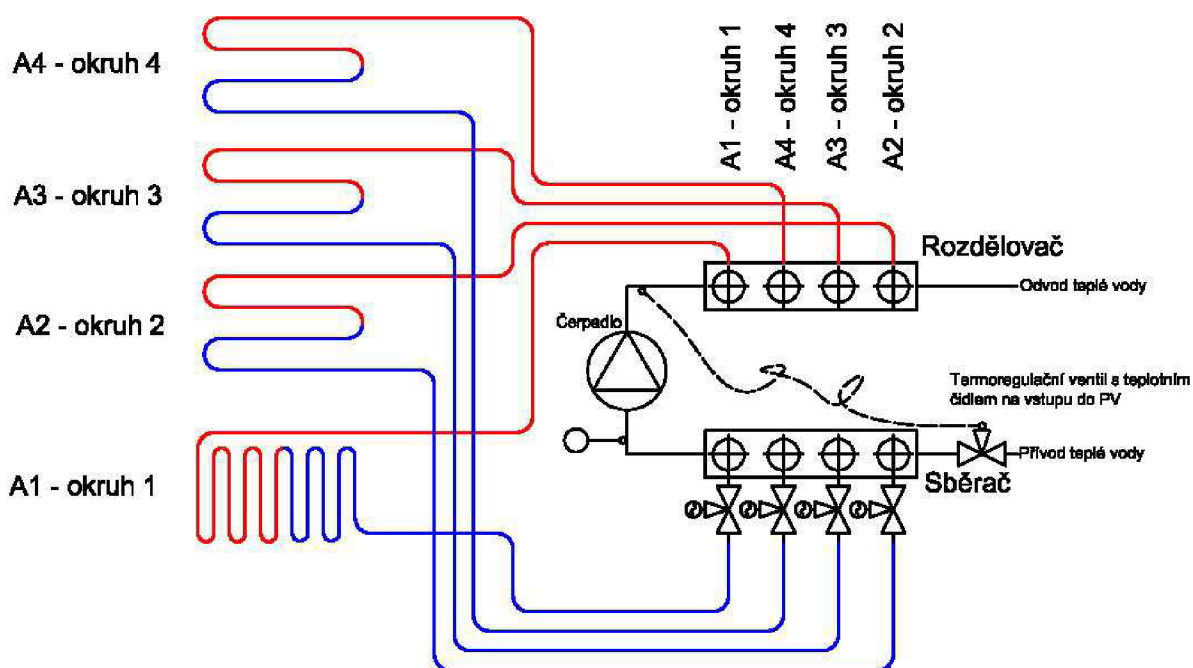
Obrázek 28 Wilo Star RS 25/6, průtoková charakteristika [15]

6.1.3 Rozdělovač/sběrač Giacomini

Instalovaný rozdělovač je použit pro 4 okruhy podlahového vytápění s manuálním nastavením tlakové ztráty (regulačním průtokoměrem) na zpátečce. Maximální dovolená teplota je 110 °C, maximální tlak 16 bar. [16]

6.1.4 Schéma zapojení podlahového vytápění

Teplá voda je přiváděna do sběrače jednotlivých větví přes regulační ventil osazený termoregulační hlavici s externím teplotním čidlem na vstupu do rozdělovače. Tímto zapojením je možno dosáhnout požadované teploty na rozdělovači, před kterým je umístěn teploměr. Jednotlivé větve jsou regulovány pomocí servopohonů, umístěných na konci každé větve před sběračem. Schematický náčrt lze vidět na obrázku 29 a reálné zapojení na obrázku 30.



Obrázek 29 Schéma zapojení podlahového vytápění



Obrázek 30 Zapojení podlahového vytápění

6.1.5 Okruh 1 – mokrá pokládka s keramickým obkladem

Otopný had o průřezu 16 x 2,0 mm je veden v systémové polystyrénové desce o tloušťce 32 mm s 22 mm vysokými válcovými výstupky pro fixaci otopného hada. Tato systémová deska je opatřena 0,7 mm tlustou hydroizolací. Na těchto vrstvách je nalita betonová mazanina o tloušťce 24 mm a položena 8 mm tlustá keramická dlažba (obr. 31). Otopný had je tvarován do meandru rovnoběžného k přívodu potrubí (viz obr. 29). Otopná podlahová plocha je umístěna ve stavebním rámu, jehož rozměry jsou 1900 x 610 mm.



Obrázek 31 Skladba okruhu 1

6.1.6 Okruh 2 – suchá pokládka s keramickým obkladem

Okruh je složen z termoizolační systémové desky s hydroizolací (stejná jako okruh 1), ve které je vinut otopný had ve tvaru meandru kolmém s přívodním potrubím. Na této skladbě je položena podlahová deska z dřevovláknitého materiálu o tloušťce 12,5 mm, na které je umístěna keramická dlažba o tloušťce 8 mm (obr. 32). Mezi otopným potrubím a podlahovou deskou vzniká vzduchová mezera o výšce 3–4 mm. Celá skladba je rovněž vestavěna do stavebního rámu a umístěna na konstrukci měřicího panelu.



Obrázek 32 Skladba okruhu 2

6.1.7 Okruh 3 – suchá pokládka s plovoucí dřevěnou podlahou

Základ skladby a uložení okruhu 3 je totožný se skladbou 2. Na systémové desce je poté položena podlahová deska, nivelační podložka a plovoucí dřevěná podlaha o tloušťce 8 mm (obr. 33).



Obrázek 33 Skladba okruhu 3

6.1.8 Okruh 4 – suchá pokládka s linoleem

Základ skladby a orientace okruhu 4 jsou rovněž totožné s okruhy 2 a 3 s výjimkou svrchních vrstev (obr. 34). Ty tvoří dvě na sebe nalepené podlahové desky o celkové tloušťce 25 mm a linoleum o tloušťce 1 mm.



Obrázek 34 Skladba okruhu 4

6.1.9 Deskové otopné těleso Korado Radik VK 22

Měřené deskové otopné těleso je vyrobeno z válcovaného ocelového plechu, jehož povrch je lakován. Provedení VK (ventil kompakt) znamená pravé spodní připojení k otopné soustavě. Přestupní plocha je tvořena dvěma deskami s horizontálně i vertikálně uspořádanými kanály (obr. 35). Mezi deskami je navařena konvektivní přídavná přestupní plocha pro zvýšení tepelného výkonu. Rozměry

tělesa jsou 500 x 500 mm, hloubka 100 mm. Těleso je uchyceno ze zadní strany pomocí navařených přichytek. Nominální výkon při vnitřní teplotě 20 °C a teplotním spádu 75/65 °C je dle výrobce 726 W. Vodní objem je 2,55 litrů. [10]



Obrázek 35 Deskové těleso Korado Radik

6.1.10 Trubkové otopné těleso Korado Koralux Linear

Trubkové těleso (obr. 36) vhodné pro instalaci do koupelny, WC či kuchyní je vyrobeno z uzavřených profilů různých tvarů svařených do tvaru žebříku (profily ve tvaru „D“ vertikální, profily s kruhovým průřezem jsou horizontální). Připojení na otopnou soustavu je provedeno zespodu. Těleso je uchyceno pomocí kotvících patek držící horizontální trubky. Rozměry tělesa jsou 700 x 450 mm. Nominální výkon při vnitřní teplotě 20 °C a teplotním spádu 75/65 °C je 287 W, vodní objem tělesa je 3,4 litrů (v tab. 4 je srovnání výkonu na množství otopné vody). [10]



Obrázek 36 Trubkové těleso Korado Koralux

6.1.11 Článekové otopné těleso Lipovica Solar 350

Tlakově odlité článekové těleso s převážně konvektivní složkou je vyrobeno ze slitiny hliníku (obr. 37). Teplá voda protéká skrz těleso v horizontálním rozváděcím i vertikálním kanálu. Jeho součástí jsou konvektivní plechy, které jsou navařeny na každém článku. Oproti článekovému radiacnímu tělesu obsahuje méně vody na článek. Těleso je složeno z šesti článků, přičemž rozměry jednoho jsou 429 x 80 x 80 mm. Výkon tělesa je dle výrobce při vnitřní teplotě 20 °C a teplotním spádu 75/65 °C 528 W. Celkový vodní objem činí 1,68 litrů. [17]



Obrázek 37 Článekové těleso Lipovica

6.1.12 Článekové otopné těleso Viadrus Kalor 500/160

Jedná se o klasické litinové článekové těleso s převážně radiacní složkou sdílení tepla. Články jsou tvořeny čtyřmi vertikálními kanály bez přídavných konvekčních ploch (obr. 38). Těleso je tvořeno pěti články, přičemž jeden článek má rozměry 580 x 160 x 60 mm. Celkový výkon tělesa při vnitřní teplotě 20 °C a teplotním spádu 75/65 °C je 459 W. Celkový vodní objem činí 5,5 litrů. Radiátor obsahuje nejvíce otopné vody při shodném výkonu. [18]



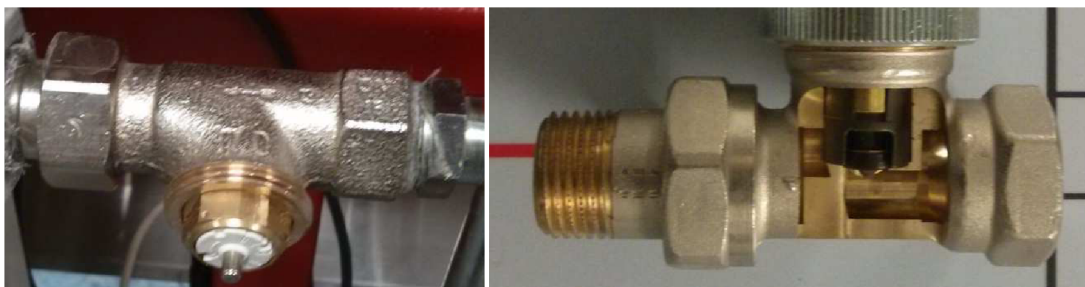
Obrázek 38 Článekové těleso Viadrus

Tabulka 4 Srovnání výkonů otopných těles

	Tepelný výkon při 75/65/20 °C	Vodní obsah	Výkon na litr otopné vody
	[W]	[l]	[W/l]
Korado Radik	726	2,55	284,70
Korado Koralux	287	3,40	84,40
Lipovica Solar	528	1,68	314,30
Viadrus Kalor	459	5,50	83,50

6.1.13 Termostatický ventil Honeywell V2000SL

Tyto přímé termostatické ventily s nastavitelným omezením zdvihu kuželky 2,5 mm jsou instalovány na každém tělese na měřicím panelu. Tělo je odlité z mosazi a povrchově pozinkované (obr. 39). Nominální průtok je 190 kg/h, maximální diferenční tlak 1 bar, maximální pracovní přetlak 10 bar. Pro použité ventily o průřezu PN15 je hodnota průtokového součinitele k_v rovna 1,85.



Obrázek 39 Tělo a schematický řez termostatického ventilu

6.1.14 Servopohon Honeywell M7410E

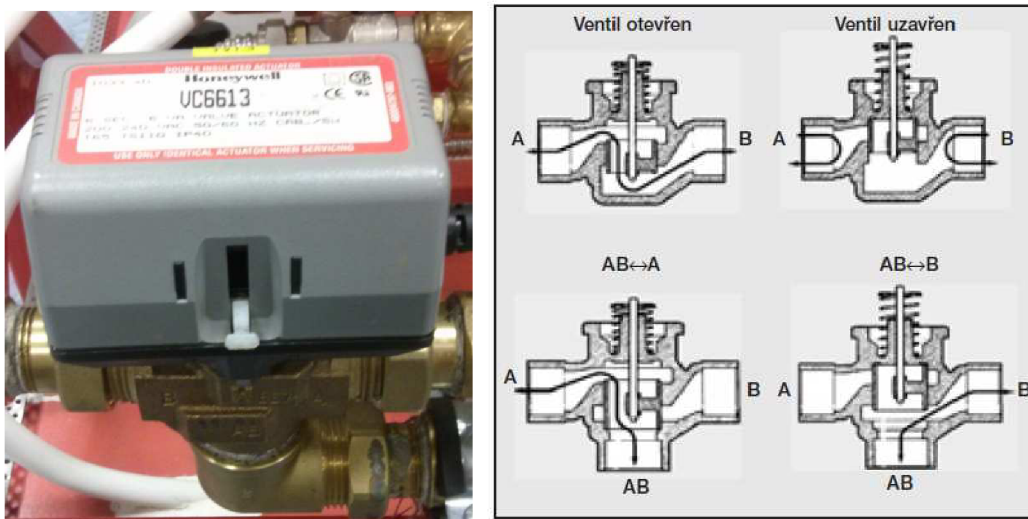
Tento servopohon je speciálně zkonstruován pro kontinuální regulaci lineárních ventilů nejen od společnosti Honeywell (obr. 40). Využití lze nalézt ve všech oblastech vytápění a chlazení pro regulaci průtoku teplé i studené vody. Pohon je možné řídit regulátorem s výstupním signálem v rozsahu 0–10 V nebo 2–10 V. Doba chodu je 150 s. Pozicionér řízený mikroprocesorem umožňuje přesné polohování trnu servopohonu. Součástí servopohonu je mechanický ukazatel míry otevření pro snadnou vizuální kontrolu. Zdvih činí 6,5 mm, síla trnu je 180 N pro ventily DN15–20 a 300 N pro ventily DN25–40.



Obrázek 40 Servopohon Honeywell

6.1.15 Dvoucestný a třícestný ventil Honeywell VC

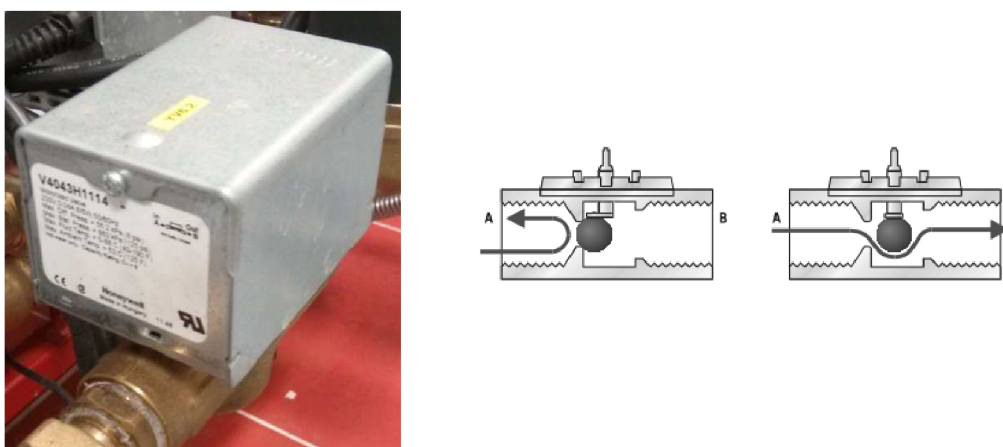
Dvupolohový elektricky ovládaný ventil slouží k řízení směru průtoku teplé nebo studené vody v režimu otevřeno/zavřeno (dvoucestný), nebo v režimu rozdělovací/směšovací (třícestný), přičemž tekutina může proudit oběma směry (obr. 41). Ventil se skládá z elektropohonu, tělesa ventilu a rozdělovacího elementu. Ventil může být řízen napětím o velikosti 24 V nebo 230 V z libovolného regulátoru. K otevření ventilu dojde zhruba po 7 sekundové prodlevě pomocí mechanické vačky. Ventil je možné otevřít i ručně. Uplatnění nalezne v celé škále topenářských aplikací.



Obrázek 41 Třícestný ventil s pohonem Honeywell, řez ventilu [19]

6.1.16 Dvoucestný rozdělovací ventil Honeywell V4043H

Tento elektrický rozdělovací ventil (obr. 42) slouží k řízení směru průtoku v režimu otevřeno/zavřeno. Ventil se skládá z tělesa, uzavíracího kulového pryžového elementu a elektropohonu. Výhodou je vysoká rychlost průtoku a odolnost vůči znečištění. [21]



Obrázek 42 Dvoucestný ventil s pohonem Honeywell, řez ventilem [21]

6.1.17 Lineární pohon Honeywell ML7420A

Jedná se o elektrický pohon k řízení ventilů určených pro aplikace ve vytápění, větrání a klimatizaci (obr. 43). Synchronní motor převádí rotační pohyb na lineární prostřednictvím čelního ozubeného kola na dřív ventilu. Pohon je řízený napětovými signály v rozmezí 2–10 V. Zdvih pohonu je 20 mm, zavírací síla je větší než 600 N. [21]



Obrázek 43 Lineární pohon Honeywell

6.1.18 Potrubí

Použité potrubí a fitinky na panelu, spojující jednotlivá tělesa a rozdělovač, jsou z uhlíkaté oceli (1.0034).

Potrubí otopného hada pro podlahové vytápění je z materiálu PE-Xa. Jeho maximální přetlak je 10 bar a maximální provozní teplota 95 °C

6.1.19 M-Bus převodník HYDRO-Center 25

M-Bus je průmyslová datová sběrnice pro sběr a přenos dat týkajících se proudění tekutin, elektrické energie a tepla, která je využitelná v široké, nejen topenářské oblasti. Proces přenosu se uskutečňuje po dvou vodičové sběrnici s možností přímého napájení účastnických stanic (v případě měřicího panelu, průtokoměrů a měřičů tepla). Hlavním požadavkem kladeným na tento systém je přesnost odečtu na poměrně velké vzdálenosti při velkém množství připojených účastnických stanic. To má za následek špatnou odezvu naměřených hodnot na čase, což je v protikladu s měřením dynamických vlastností jednotlivých prvků. [21]

Použitý převodník HYDRO-Center společnosti Honeywell (obr. 44) instalovaný na panelu dokáže snímat až 25 zařízení.



Obrázek 44 Honeywell Hydro-CENTER

6.1.20 Měřič tepla Honeywell EW447E

Tento měřič tepla (obr. 45) se skládá z elektronického měření teplot a indukčního měření průtoku. Dovolená teplota měřeného média je v rozmezí 5–90 °C při maximálním pracovním tlaku 16 bar. Využití lze nalézt jak ve vytápění, tak i v chlazení. Instalace tohoto měřiče na panelu slouží jak k měření tepla, tak i k odečtu dílčích dat jako je teplota na přívodním potrubí, teplota na odvodním potrubí a průtok média. K přenosu dat dochází právě pomocí zmíněného rozhraní M-Bus.



Obrázek 45 Měřič tepla Honeywell

6.1.21 Vyvažovací stoupačkový ventil Honeywell Kombi-2-plus

Tyto vyvažovací armatury (obr. 46) jsou instalovány na celém panelu a před jednotlivými otopnými tělesy a slouží k hydraulickému vyvážení soustavy k simulaci rozlehlejších staveb. Úplným zavřením lze zcela zamezit průtoku. Při měření konkrétních těles byly dané ventily otevřeny vždy naplno. Maximální jmenovitý tlak je 16 bar, dovolená teplota proudícího média 2–130 °C.

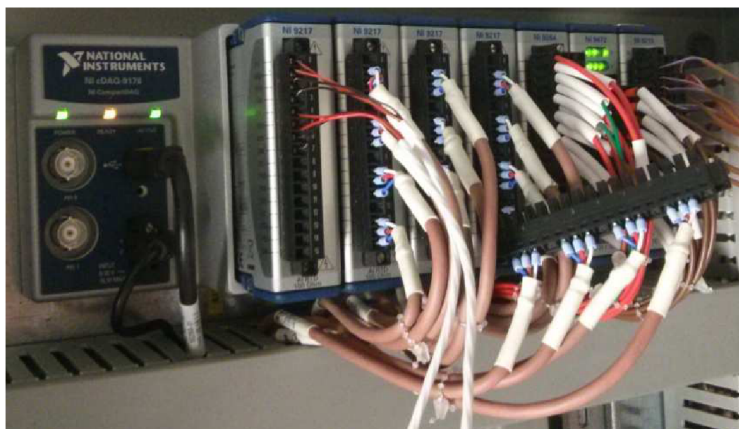


Obrázek 46 Vyvažovací ventil Honeywell

6.1.22 Hardware National Instruments (NI)

Převod signálu z měřicích senzorů je zajištěn analogovými vstupními moduly (kartami), které se zasouvají do kompaktního univerzálního šasi (obr. 47). Karty převádějí signál na digitální prostřednictvím softwaru/ovladače Measurement and

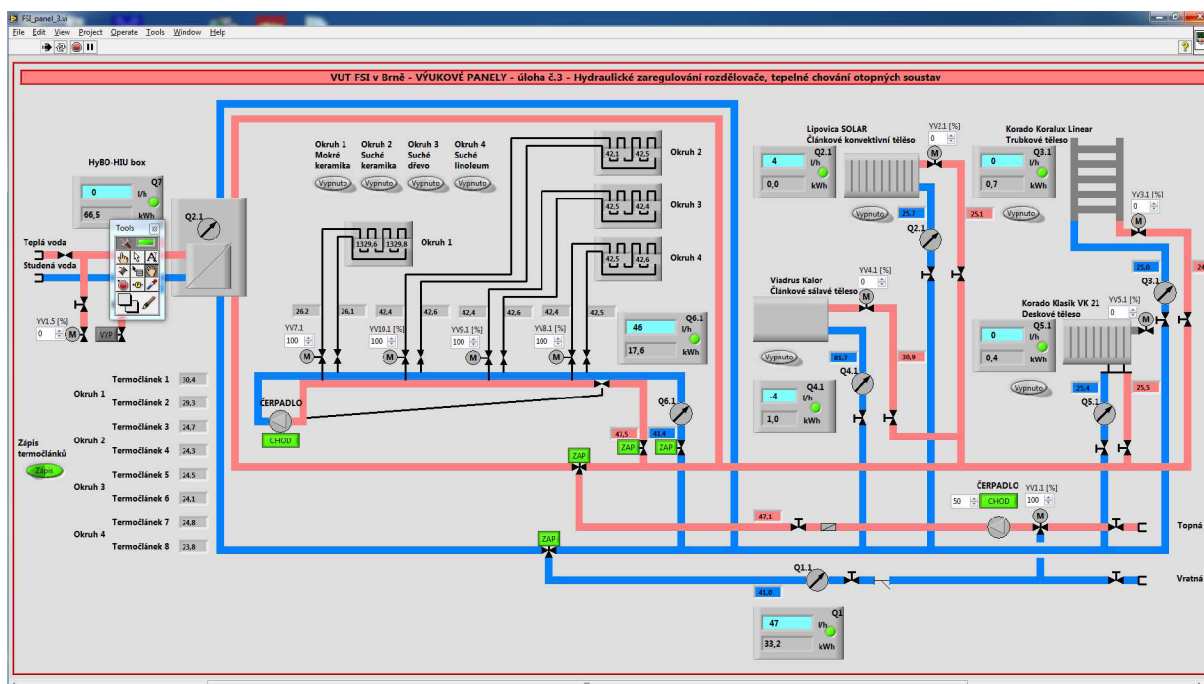
Automation Explorer vyvinutého pro tento účel. Karty jsou určeny pro řízení jednotlivých armatur, snímání teplot odporovými teploměry, termočlánky apod.



Obrázek 47 Měřicí moduly NI

6.1.23 Program LabView

Jedná se o grafický programovací jazyk, který funguje na logickém spojování piktogramů (blokových diagramů). Každý piktogram má svou funkci a jejich vzájemným spojováním lze dosáhnout výsledného programu plnícího svůj účel. Není tedy potřeba znát žádný programovací jazyk ani jeho syntaxi. Program v tomto softwaru byl vytvořen společností Synerga a byl náležitě upraven pro potřeby měření dynamických vlastností. Do programu (obr. 48) byly implementovány další vstupy termočlánků, popisy, tlačítka pro vykonávání zápisu dat, spouštění frekvenčních charakteristik apod.

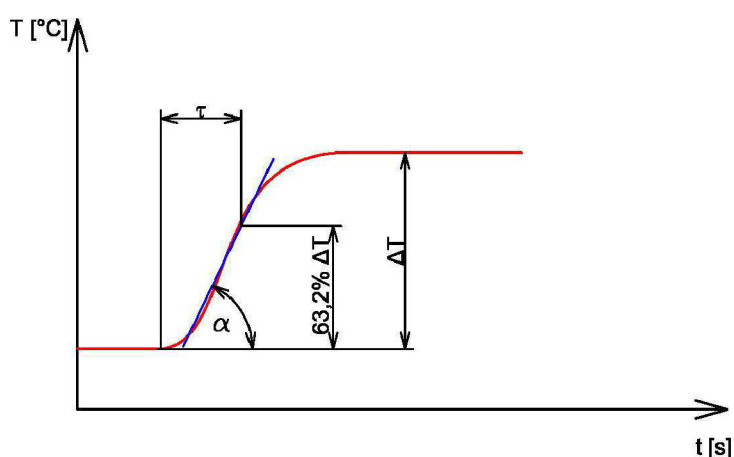


Obrázek 48 Měřicí prostředí LabView

7 Přejíchodová charakteristika - měření časových konstant

Dojde-li ke změně měřené veličiny z jednoho ustáleného stavu do druhého ustáleného stavu, který je funkcí času, nazývá se skoková změna. Jinými slovy se jedná o odezvu na jednotkový skok. Parametrem této změny je časová konstanta τ , která je vyjádřena jako časový úsek, za který dojde k 63,2 % změně měřené veličiny z jednoho stavu na druhý (viz obr. 49). Hodnota 63,2 % vychází z předpisu obecné rovnice 3, X a X_0 jsou obecné veličiny a hodnota okamžitého času t je rovna právě časové konstantě $t = \tau$.

$$X = X_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad [-] \quad (3)$$



Obrázek 49 Schematické znázornění časové konstanty τ

Je nutné rozlišit časovou konstantu pro regulační armaturu a pro otopnou plochu. Časová konstanta regulátoru vypovídá, za jakou dobu se začne otopná plocha napouštět teplou vodou. Časová konstanta otopné plochy udává dobu, za kterou bude plocha dodávat 63,2 % topného výkonu do prostoru.

Výpočet časové konstanty je proveden na základě směrnice z rovnice přímky (rov. 4) proložené teplotním skokem.

$$y = k \cdot x + q \quad [-] \quad (4)$$

Výsledná hodnota časové konstanty je poté vypočítána po úpravě z rov. 5.

$$\tau = 0,632 \cdot \frac{\Delta T}{k} \quad [s] \quad (5)$$

Veškerý výpočet a výsledné grafy jsou provedeny pomocí programu Microsoft Excel na základě naměřených dat. Součástí této kapitoly je zjištění časových konstant a doby, za kterou systém dosáhne 90 % výkonu.

7.1 Časová konstanta regulátorů otopných podlahových ploch

Vyhodnocovaná teplota pro zjištění časové konstanty regulátoru podlahového vytápění je měřena teplotním čidlem umístěným v potrubí za regulační armaturou.

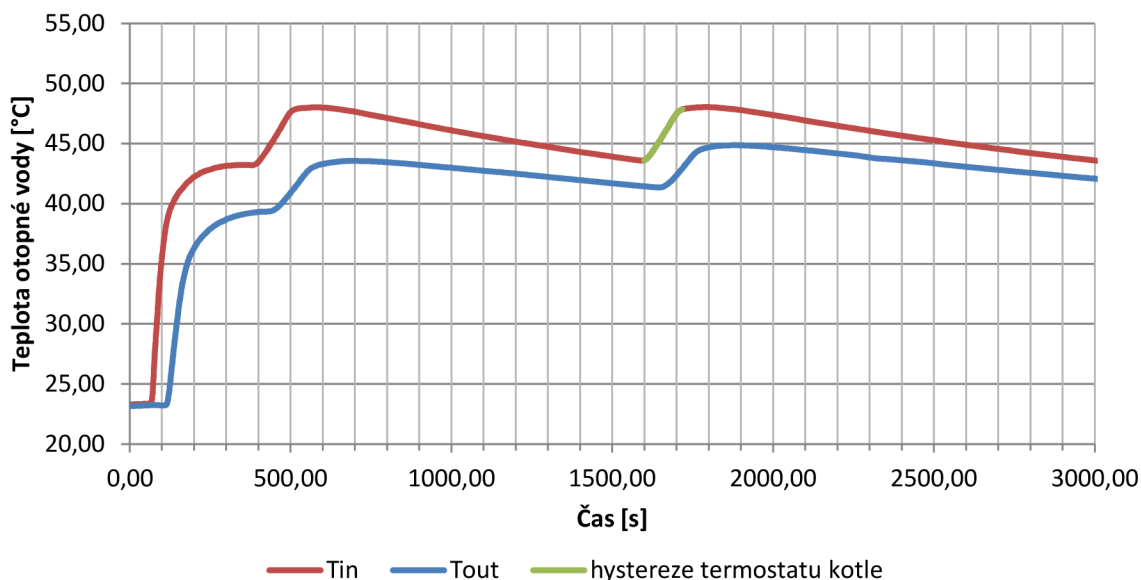
Jak je uvedeno výše, měřicí panel obsahuje čtyři skladby otopné podlahové plochy. Tři jsou zhotoveny suchou pokládkou, jedna pokládkou mokrou. Předpokladem je, že suché pokládky mají téměř stejný charakter. Porovnání je především zaměřeno na podlahu suchou a mokrou, na kterých je položena keramická dlažba jako svrchní vrstva.

Při tomto měření byl elektrokotel nastaven na hodnotu 50 °C. Termostatický ventil byl na podlahovém rozvaděči zcela otevřen. Toto zapojení může např. simulovat nízkopotenciální tepelný zdroj. Reálná teplota na vstupu do rozvaděče je nižší (asi 48 °C), což je způsobeno ochlazením přes neizolované potrubí panelu. Maximální průtok všemi podlahovými plochami byl nastaven na 2 l/min, což při použitém potrubí 16 x 2 mm činí rychlost proudění 0,29 m/s. Měřená data jsou odečítána v intervalu 3 sekund. Rozvaděčem již proudila teplá voda, čímž bylo eliminováno dopravní zpoždění v potrubí od kotle. Teplota vzduchu v laboratoři byla 21 °C.

Jelikož jsou na všech čtyřech otopných podlahových plochách i všech tělesech použity stejné regulační armatury, je předpoklad, že dynamika (časové konstanty) regulátorů bude podobná. To ovšem neplatí pro časové konstanty samotných podlahových ploch, rozdíly mezi mokrou a suchou pokládkou budou značně rozlišné (viz níže).

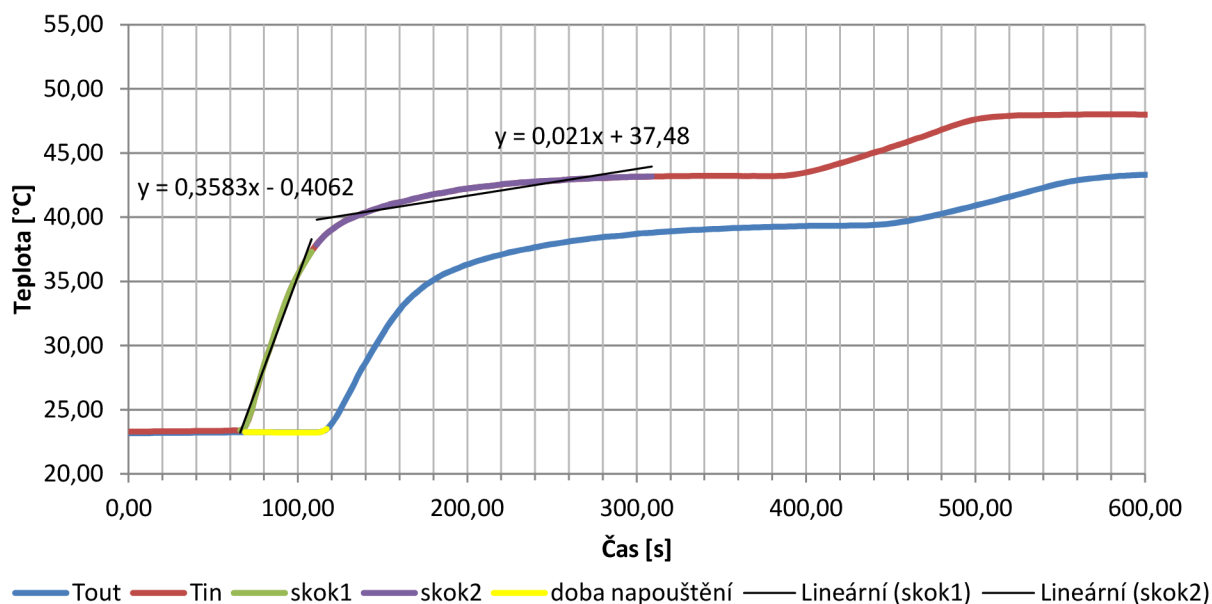
Z praktického hlediska je důležitější znát časovou konstantu otopné plochy (tělesa), která říká, za jak dlouho bude reálně otopná plocha topit z 63 %. Není až tak nutné určovat časové konstanty regulátorů, jelikož jsou z hlediska času zanedbatelně malé a navíc jsou součástí právě při měření časové konstanty otopné plochy.

7.1.1 Okruh 1 - časová konstanta regulační armatury



Obrázek 50 Graf přechodové charakteristiky ventilu okruhu 1

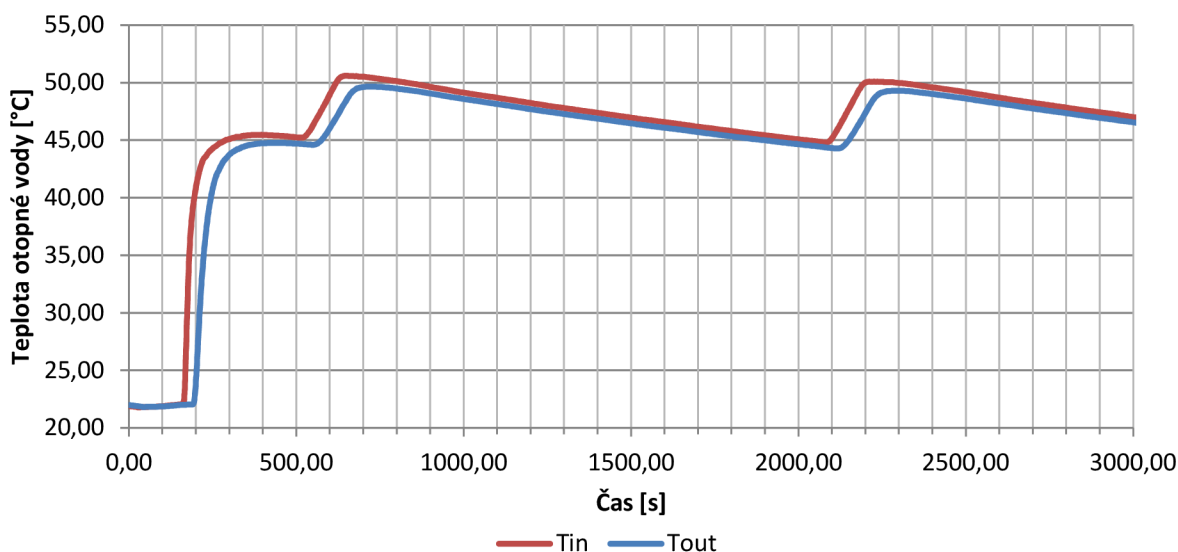
Z uvedeného grafu (obr. 50) lze vidět cyklicky se opakující skoky, které jsou způsobeny hysterezí kotlového termostatu. Jeho hystereze je 4,58 K a v takto zapojené otopné soustavě trvá opětovné nahřátí kotlem 120 s.



Obrázek 51 Graf detailu přechodové charakteristiky ventilu okruhu 1

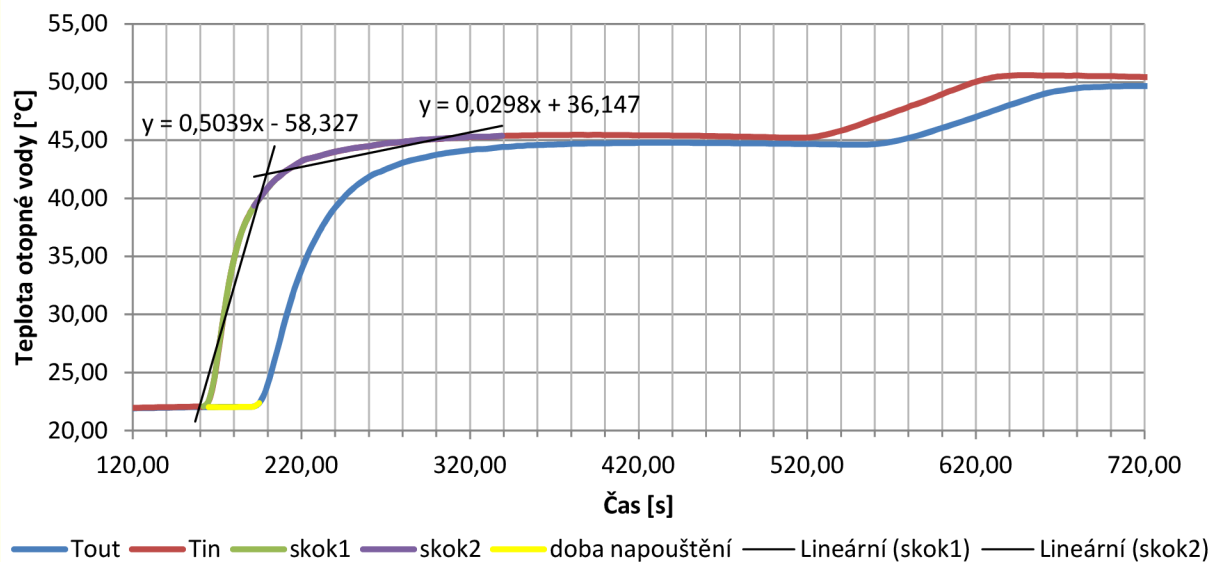
V obrázku 51 lze spatřit teplotní zlom v náběhu. První fáze (skok1) zachycuje postupné otevírání regulační armatury, ze které je vypočtena časová konstanta, která má hodnotu 25,5 s. Druhá část teplotního skoku (skok2) je postupná fáze tepelného nabíjení otopného potrubí směrem k teploměru a nabíjení armatury, ve které je těleso ponořeno. Tento průběh trvá 145,3 s. K dalšímu nárůstu teploty dojde po zhruba 330 s od začátku teplotního skoku důsledkem hystereze kotle. Patrnější je pozvolnější nárůst teploty u výstupní vody, kde se projevuje nahřívání materiálu potrubí v celé jeho délce. Toho si lze lépe povšimnout v předchozím grafu (obr. 50), kde se rozdíl teplot v daném čase přiblíží až v druhé teplotní vlně – v tomto okamžiku lze prohlásit, že potrubí je nahříváno. Doba napouštění okruhu 1 trvá 48 s.

7.1.2 Okruh 2 – časová konstanta regulační armatury



Obrázek 52 Graf přechodové charakteristiky ventilu okruhu 2

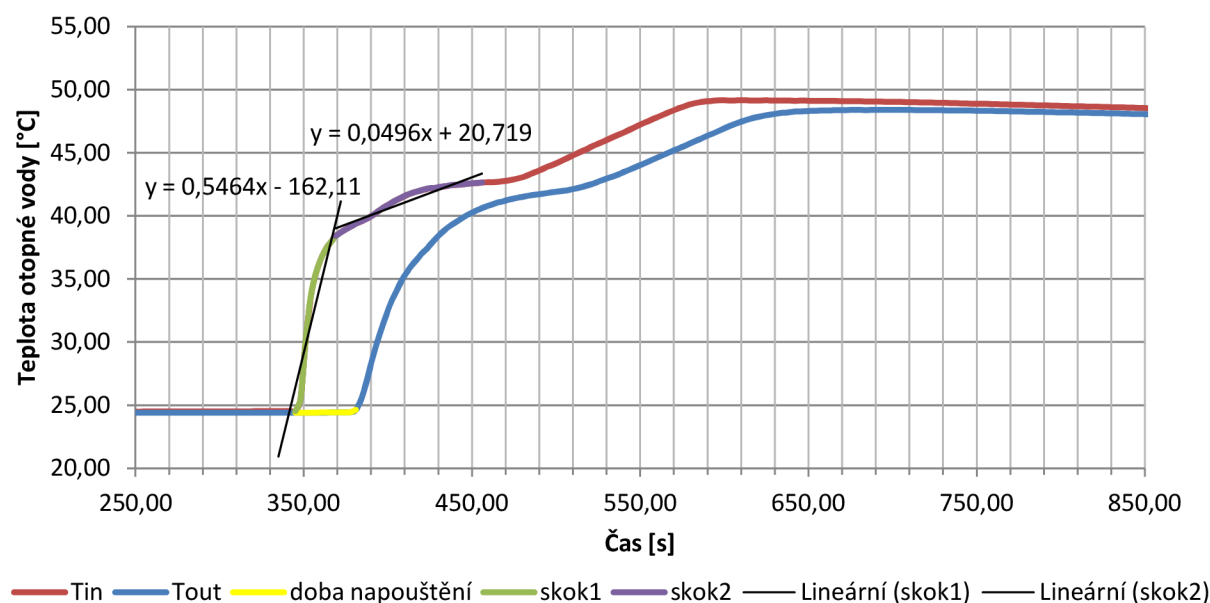
Dynamika teplot a celkový průběh je velice analogický jako u okruhu 1. I v tomto grafu (obr. 52) lze vidět teplotní skoky vzniklé hysterezí kotle, které činí 5,29 K. Rozdíl teplot vody na vstupu a výstupu z podlahové plochy je menší než u podlahové plochy s mokrou pokládkou. Důvodem je rozdíl v intenzitě odvodu tepla (součinitel prostupu tepla). Vzduchová mezera v suché pokládkě snižuje tepelný tok, kdežto u mokré pokládky vzduchová mezera není.



Obrázek 53 Graf detailu přechodové charakteristiky ventilu okruhu 2

Změřená časová konstanta regulátoru v prvním skoku má hodnotu 24,4 s. Doba napouštění otopného hada trvá 30 s, protože potrubí okruhu 2 má jiný tvar než okruh 1 (měně oblouků). I zde (obr. 53) lze vyzorovat zlom v průběhu teplotního skoku. Jedná se o stejný případ teplotního nabíjení materiálu.

7.1.3 Okruh 3 a 4 – časová konstanta regulační armatury



Obrázek 54 Graf detailu přechodové charakteristiky ventilu okruhu 3

Přechodová charakteristika ventilů okruhů 3 a 4 je téměř totožná (viz obr. 54). Výsledná změřená časová konstanta regulátoru okruhu 3 má hodnotu 19,7 s a pro okruh 4 20,3 s. Důvod nižších hodnot těchto časových konstant oproti okruhu 1 a 2 je, že měření nemohlo probíhat současně a nebylo dosaženo stejné počáteční hodnoty otopné vody.

7.1.4 Shrnutí měření přechodové charakteristiky regulátorů

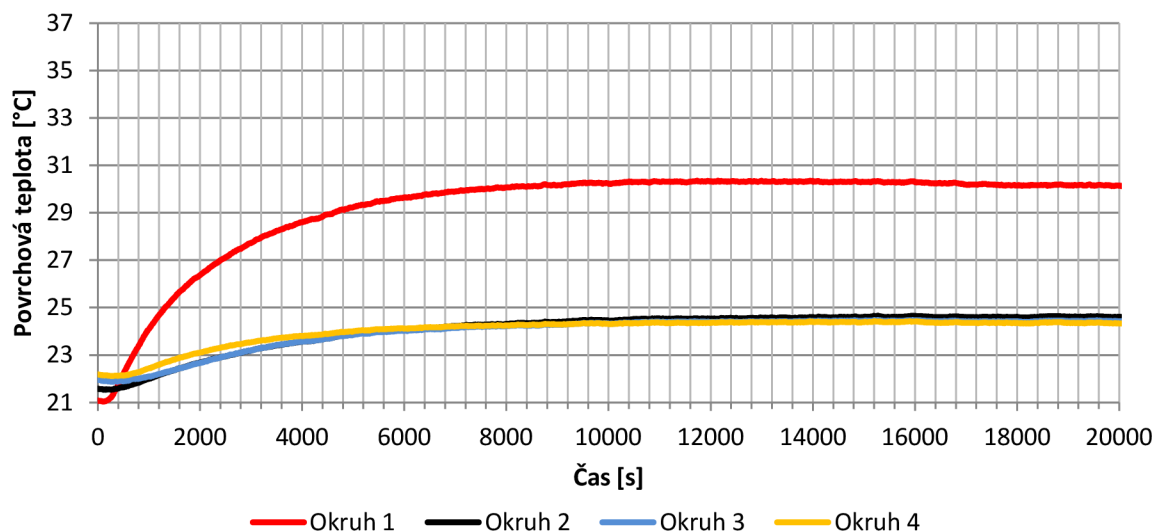
Podle naměřených hodnot lze prohlásit, že za stejných podmínek mají všechny regulátory přibližně stejnou časovou konstantu. Pro použitou regulační armaturu je tato hodnota 25,5 s při počáteční teplotě vody 23 °C a průměrné maximální teplotě vody 46 °C. Ve všech měřeních byl patrný zlom v teplotním skoku, který byl způsoben nabíjením materiálu (akumulací tepla do rozvodných a regulačních prvků). Doba, za kterou regulátor při těchto podmínkách dokáže do potrubí poskytnout 90 % výkonu (bráno v teplotě vody), je podle výpočtu z naměřených dat 294 s.

7.2 Časová konstanta otopných podlahových ploch

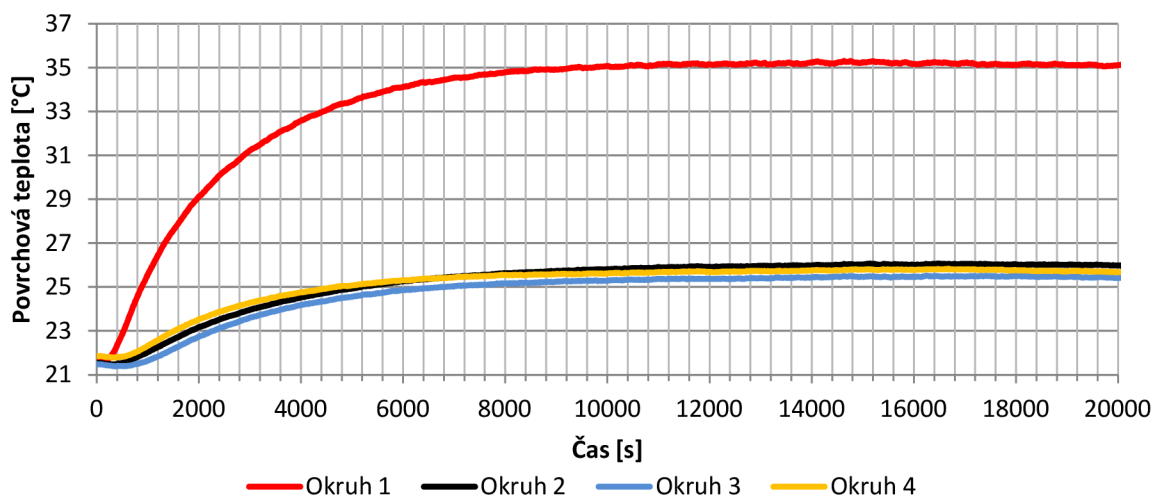
Jak bylo zmíněno výše, větší důraz při regulaci se klade na časovou konstantu otopné plochy, ve které je zahrnuta i časová konstanta regulátoru. V následujícím grafu lze spatřit průběh náběhů všech zkoumaných podlahových ploch. Měření bylo provedeno při dvou teplotách vstupní vody – 40 °C a 60 °C (obr. 55 a 56), objemový průtok otopným potrubím byl nastaven na 2 l/min, čemuž odpovídá rychlost proudění 0,29 m/s. Teplota vzduchu v laboratoři byla 21 °C. Data povrchových teplot byla odečítána ve vzorkovacím intervalu 14 sekund.

Dva nalepovací termočlánky pro vyhodnocení časové konstanty podlah byly nalepeny uprostřed podlahové plochy, jeden v ose otopného hada a druhý mezi potrubím. Výsledná teplota je poté zprůměrována.

Jak je z následujícího grafu (obr. 55) patrné, každá podlahová plocha má jinou počáteční povrchovou teplotu. Tento jev je způsoben uložením jednotlivých konstrukcí podlah nad sebou a vzniká z důvodu stratifikace teplot vzduchu v místnosti.



Obrázek 55 Graf přechodové charakteristiky otopných podlahových ploch při teplotě otopné vody 40 °C

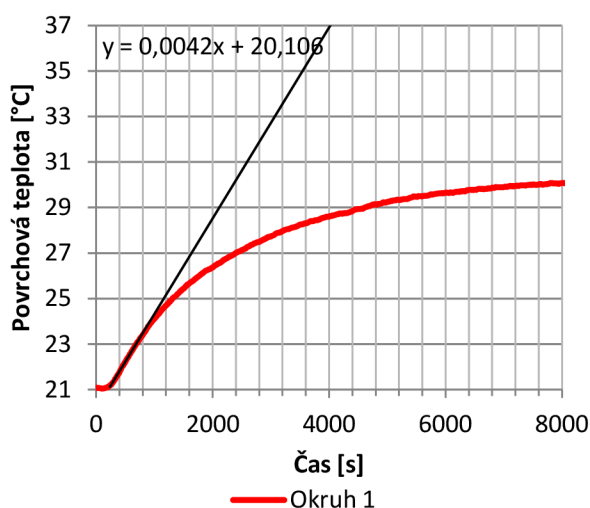


Obrázek 56 Graf přechodové charakteristiky otopných podlahových ploch při teplotě otopné vody 60 °C

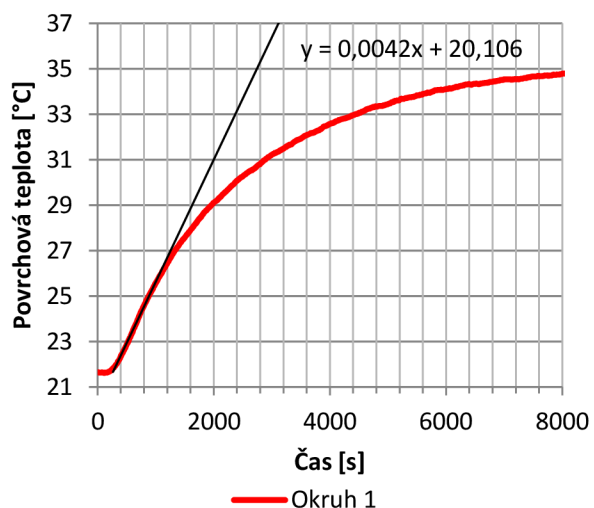
Teplota povrchu v průběhu času mírně klesala. U okruhu 1 (mokrý pokládka) byl tento pokles největší a to 0,86 °C, u ostatních okruhů se suchou pokládkou pokles činil jen 0,2 °C. Důvodem tohoto poklesu bylo zvýšení prostorové teploty vzduchu, který má za následek snížení měrného tepelného toku z podlahy.

K určení časové konstanty bylo použito směrnice tvaru přímky, která je tečnou největšího teplotního gradientu. Jednotlivé otopné podlahové plochy byly zkoumány zvláště při rozdílné volbě otopné vody a detaily náběhu jsou vyobrazeny na obrázku 57, 58, 60, 61, 63, 64, 65 a 66. Je zde vidět jisté dopravní zpoždění systému (tzv. doba průtahu), tj. doba, za kterou docházelo k otevření regulační armatury a prohřívání jednotlivých vrstev podlahy. Souhrnná naměřená data jsou k srovnání v tabulce 5.

7.2.1 Okruh 1 – časová konstanta podlahové plochy



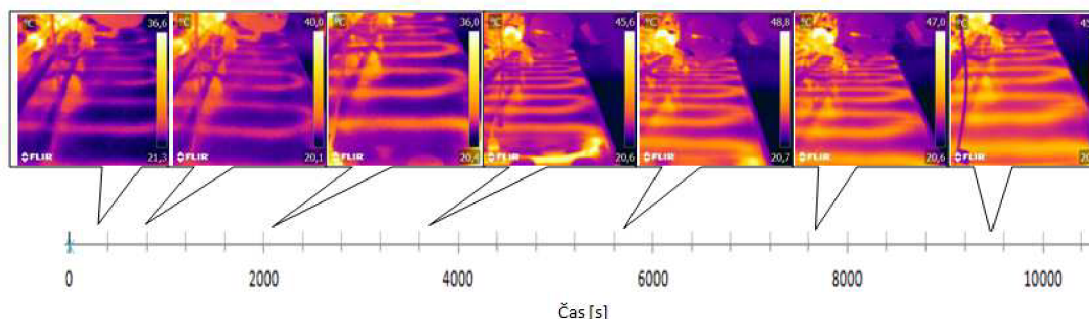
Obrázek 57 Přechodová charakteristika podlahové plochy okruhu 1 (40 °C)



Obrázek 58 Přechodová charakteristika podlahové plochy okruhu 1 (60 °C)

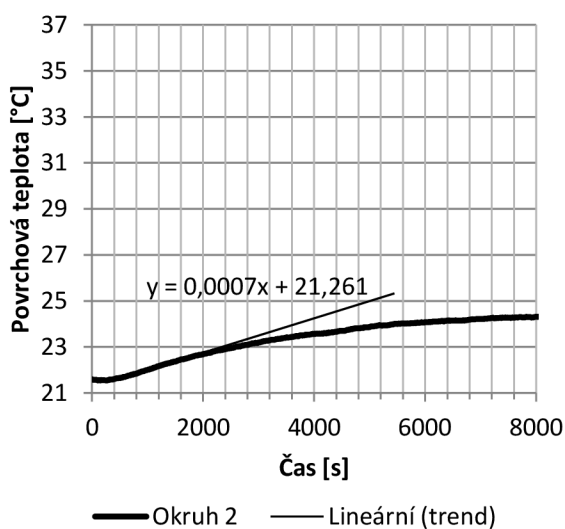
V průběhu měření byla k dispozici termokamera, kterou bylo možno zaznamenat pro orientaci termogramy povrchové teploty při náběhu. Ty jsou u jednotlivých kapitol schematicky znázorněny spolu s časovou osou (obr. 59), kdy byly snímky pořízeny.

Emisivita povrchu byla volena pro keramické obložení na hodnotu 0,90 a zdánlivá odražená teplota na hodnotě 21 °C.

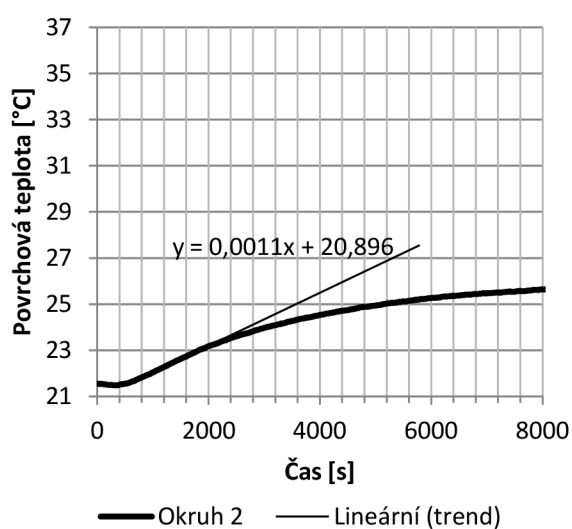


Obrázek 59 Schematické termogramy náběhu otopné plochy okruhu 1 (40 °C)

7.2.2 Okruh 2 – časová konstanta podlahové plochy

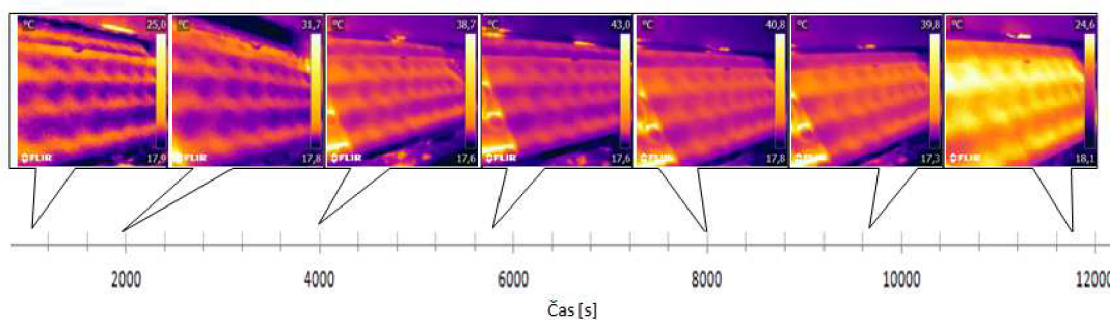


Obrázek 60 Přechodová charakteristika podlahové plochy okruhu 2 (40 °C)



Obrázek 61 Přechodová charakteristika podlahové plochy okruhu 2 (60 °C)

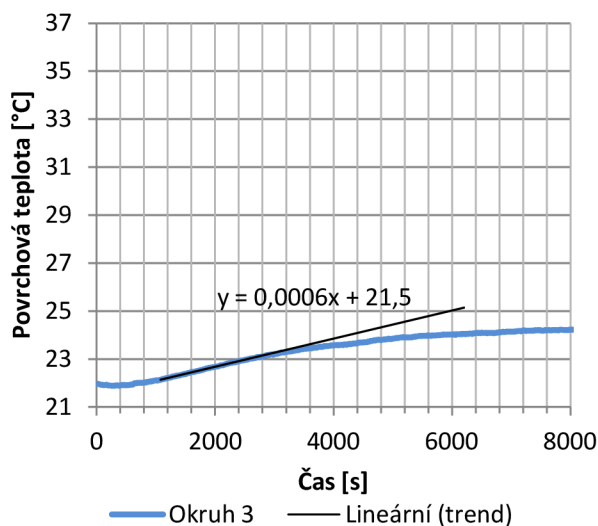
Při měření povrchové teploty termokamerou (obr. 62) byla zvolena emisivita pro keramické obložení na hodnotu 0,90 a zdánlivá odražená teplota na hodnotě 21 °C.



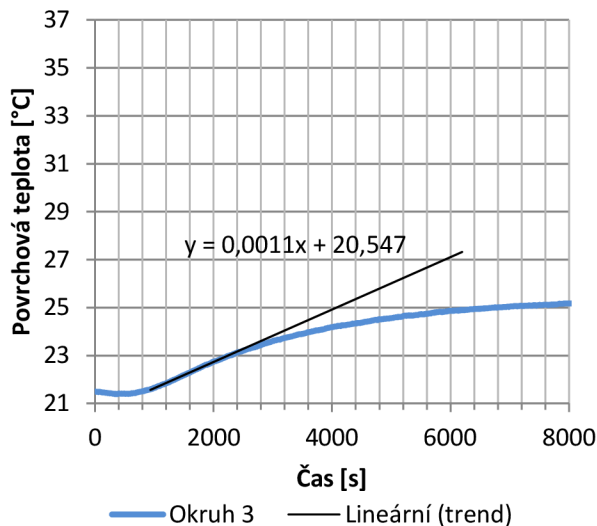
Obrázek 62 Schematické termogramy náběhu otopné plochy okruhu 2 (40 °C)

Z důvodu podobného dynamického chování suchých skladeb a malé teplotní diference s okolím nebyly termogramy okruhů 3 a 4 vyhodnocovány.

Okruh 3 – časová konstanta podlahové plochy

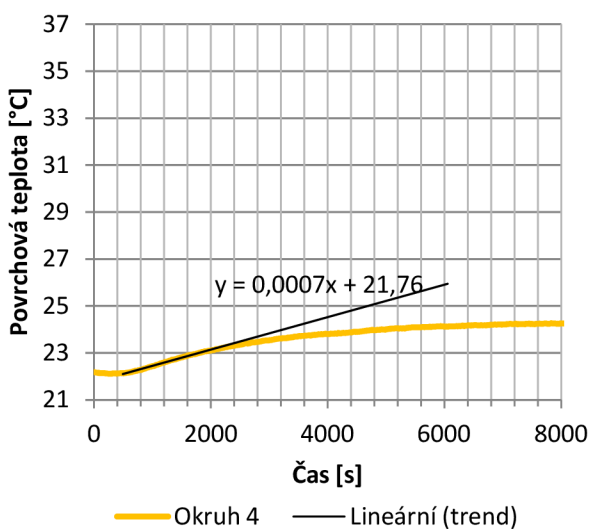


Obrázek 63 Přechodová charakteristika podlahové plochy okruhu 3 (40 °C)

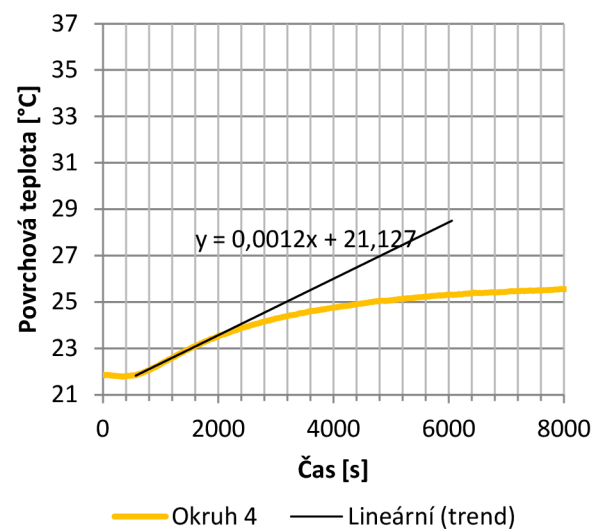


Obrázek 64 Přechodová charakteristika podlahové plochy okruhu 3 (60 °C)

7.2.3 Okruh 4 – časová konstanta podlahové plochy



Obrázek 65 Přechodová charakteristika podlahové plochy okruhu 4 (40 °C)



Obrázek 66 Přechodová charakteristika podlahové plochy okruhu 4 (60 °C)

7.2.4 Shrnutí měření přechodové charakteristiky otopných ploch

Z předchozích grafů a z následující tabulky je patrný rozdíl mezi jednotlivými skladbami podlahových ploch. Mokrý pokládka v porovnání se suchými vykazuje

intenzivnější prostup tepla, a tím i rychlejší dynamiku náběhu a vyšší povrchové teploty. Hlavním důvodem je absence vzduchové mezery mezi otopným hadem a dalšími podlahovými vrstvami. Průběhy suchých pokládek lze téměř ztotožnit.

Při nastavení měření rozdílnými teplotami vstupní vody lze vidět jen malý rozdíl ve změně vypočtených časových konstant u podlah se suchou skladbou – povrchová teplota se zvýšila jen nepatrně. Rozdíl nastává u mokré pokládky, kde časová konstanta výrazně narostla i přes to, že sklon směrnice je stejný. Důvodem je větší diference povrchových teplot při vstupní vodě 60 °C.

Rozdílná je i doba průtahu u jednotlivých skladeb, tedy čas, než dojde ke změně povrchové teploty. To je způsobeno rovněž větším tepelným odporem suchých pokládek.

Je zřejmé, že teplota otopné vody je volena pro mokrou pokládku v obou případech vysoká a nespĺňuje hygienická doporučení. Tato volba ovšem spočívala v objektivním porovnání všech typů podlah.

Tabulka 5 Časové konstanty náběhu podlahového vytápění

Plocha	Vstupní teplota otopné vody 40 °C								
	Časová konstanta		Doba průtahu		Doba přechodu		Čas najetí na 90 % výkonu		Max. povrchová teplota
	T ₆₃	T ₆₃	T _u	T _u	T _p	T _p	T ₉₀	T ₉₀	T _{max}
	[s]	[min]	[s]	[min]	[s]	[min]	[s]	[min]	[°C]
Okruh 1	1394,26	23,24	237,99	3,97	1632,25	27,20	5387,00	89,78	30,35
Okruh 2	2772,24	46,20	657,99	10,97	3430,23	57,17	8509,00	141,82	24,66
Okruh 3	2659,67	44,33	727,99	12,13	3387,67	56,46	7991,00	133,18	24,48
Okruh 4	2359,17	39,32	657,99	10,97	3017,17	50,29	6899,01	114,98	24,43
Plocha	Vstupní teplota otopné vody 60 °C								
	Časová konstanta		Doba průtahu		Doba přechodu		Čas najetí na 90 % výkonu		Max. povrchová teplota
	T ₆₃	T ₆₃	T _u	T _u	T _p	T _p	T ₉₀	T ₉₀	T _{max}
	[s]	[min]	[s]	[min]	[s]	[min]	[s]	[min]	[°C]
Okruh 1	2053,17	34,22	265,99	4,43	2319,17	38,65	5667,00	94,45	35,30
Okruh 2	2598,92	43,32	657,99	10,97	3256,92	54,28	7683,01	128,05	26,08
Okruh 3	2311,01	38,52	727,99	12,13	3039,01	50,65	7683,01	128,05	25,52
Okruh 4	2093,42	34,89	685,99	11,43	2779,42	46,32	7011,00	116,85	25,84

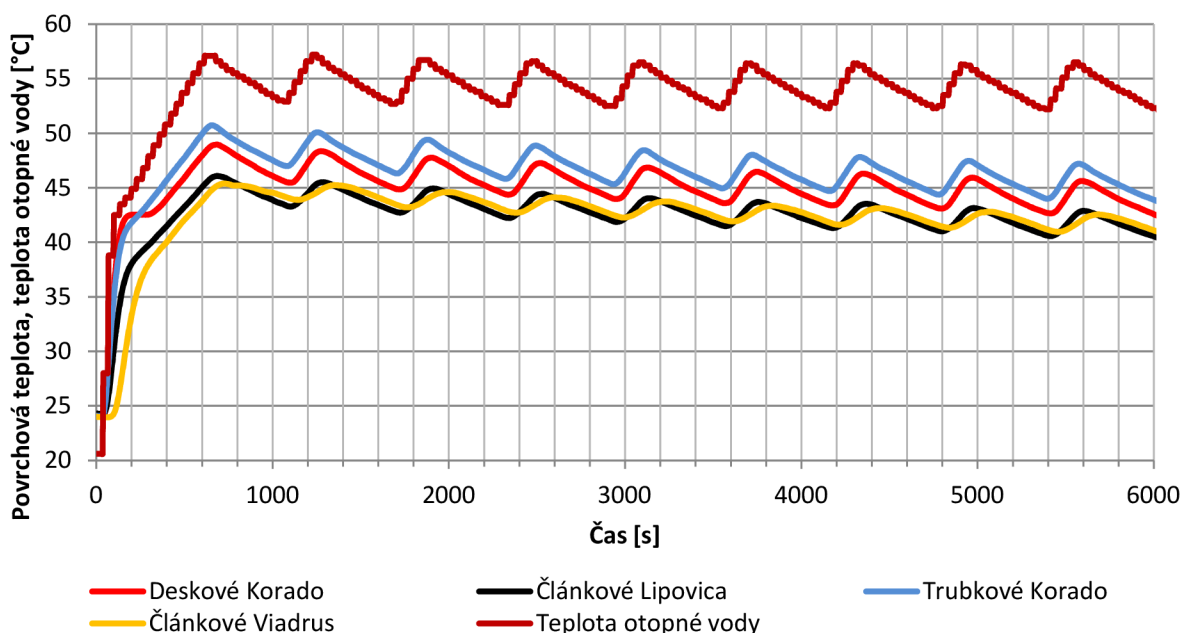
V mnoha člancích např. [20] lze nalézt informaci, že suché pokládky mají menší tepelnou setrvačnost než pokládky mokré. Tato informace by měla být upřesněna – především závisí na konstrukci dané podlahy, volbě a tloušťce jednotlivých vrstev

a přítomnosti vzduchových mezer. Tyto faktory ovlivňují jednak setrvačnost otopných ploch a jejich rozdělení na přímotopné, poloakumulační a akumulaci (viz tab. 3).

7.3 Časová konstanta otopných těles

Měření přechodové charakteristiky otopných těles bylo provedeno současně pomocí dvou nalepovacích termočlánků na každém tělese (viz obr. 67). Snahou bylo umístit termočlánky tak, aby bylo dosaženo vypovídající průměrné povrchové teploty. Na měřicím panelu je rovněž nainstalován sběr dat pomocí protokolu M-Bus, který odečítá pro každé těleso objemový průtok, teplotu na vstupu a výstupu. Teplota otopné vody na výstupu z kotle byla nastavena na hodnotu 60 °C, vlivem proudění v neizolovaném potrubí se ochladila o 3 °C. Všechna otopná tělesa byla nastavena na stejnou hodnotu tlakové ztráty, přičemž průtok jimi činil 181 l/min, což odpovídá rychlosti proudění v potrubí 0,28 m/s.

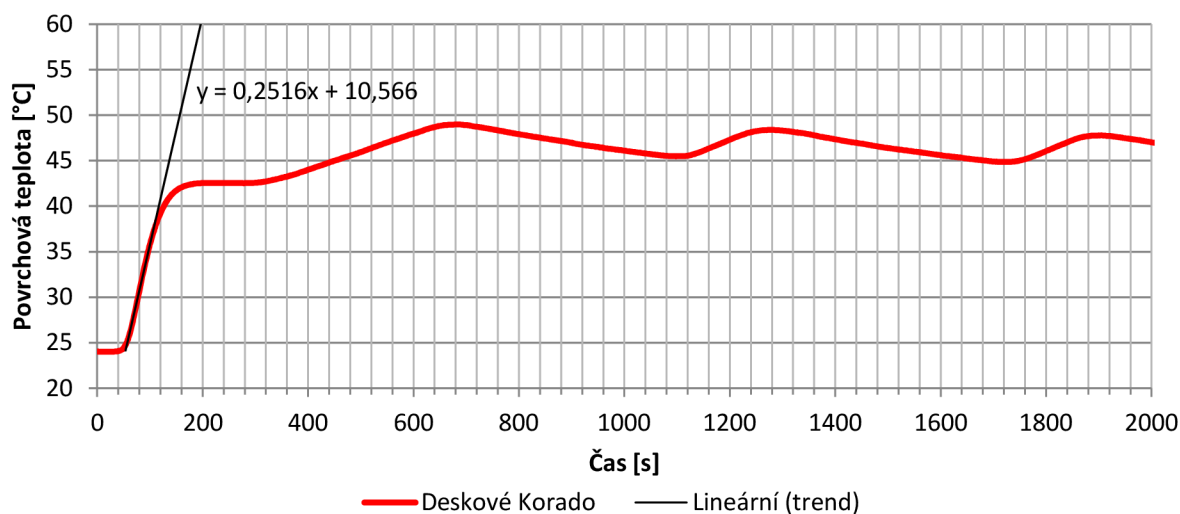
Jelikož je u těles použita stejná regulační armatura i servopohon jako u otopných podlahových ploch, je předpoklad, že přechodová charakteristika regulátoru bude stejná, a proto nebude dále zkoumána.



Obrázek 67 Graf přechodové charakteristiky otopných těles při teplotě otopné vody 60 °C

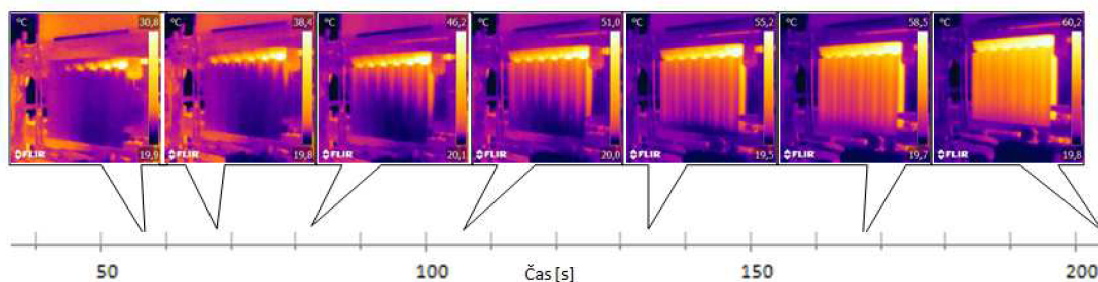
K určení časové konstanty bylo využito směrnice tvaru přímky, která byla tečnou křivky jednotlivých přechodových charakteristik. To lze vidět na obrázku 68, 69, 70, 72 a 74.

7.3.1 Lipovica Solar – časová konstanta článkového konvektívneho tělesa



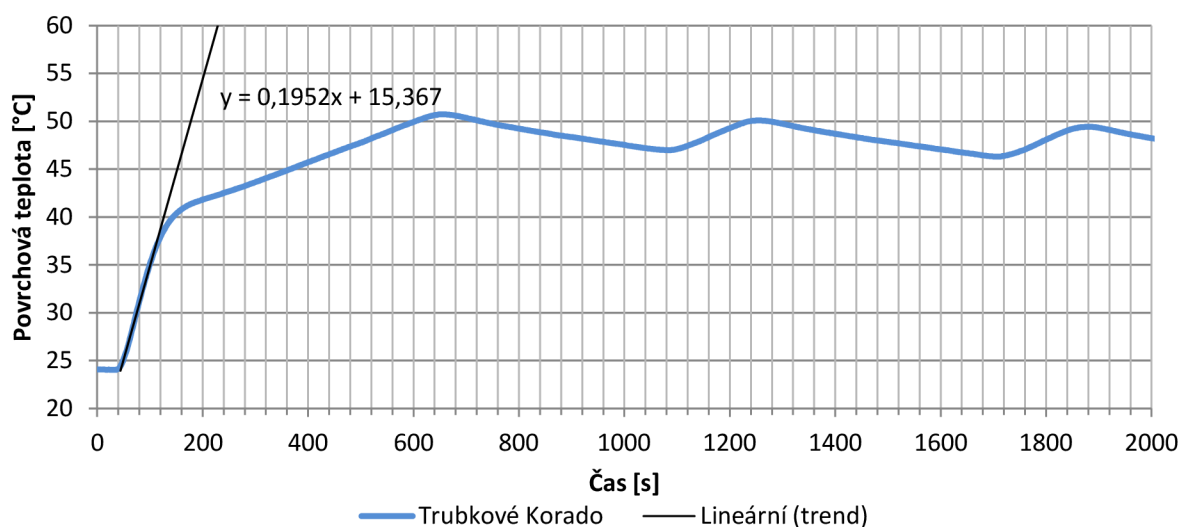
Obrázek 68 Přechodová charakteristika článkového tělesa Lipovica

Při měření povrchové teploty termokamerou (obr. 69) byla zvolena emisivita pro plechový povrch s epoxy-polyesterovým lakem na hodnotu 0,93 a zdánlivá odražená teplota na hodnotu 21 °C.



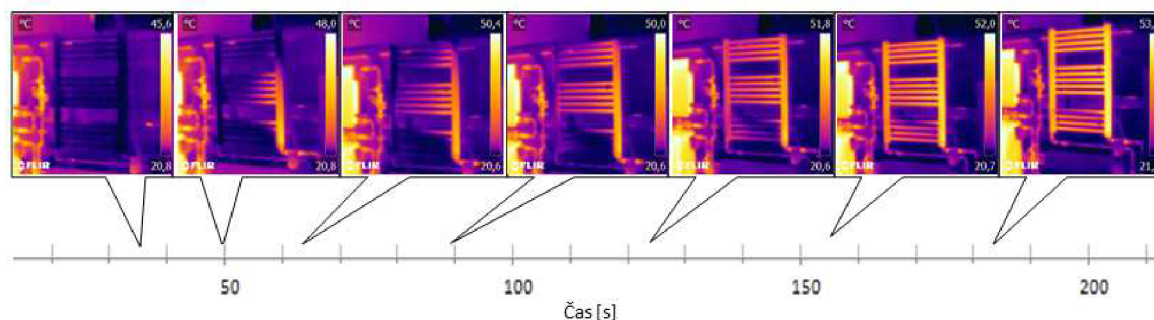
Obrázek 69 Schematické termogramy náběhu článkového tělesa Lipovica

7.3.2 Korado Koralux – časová konstanta trubkového tělesa



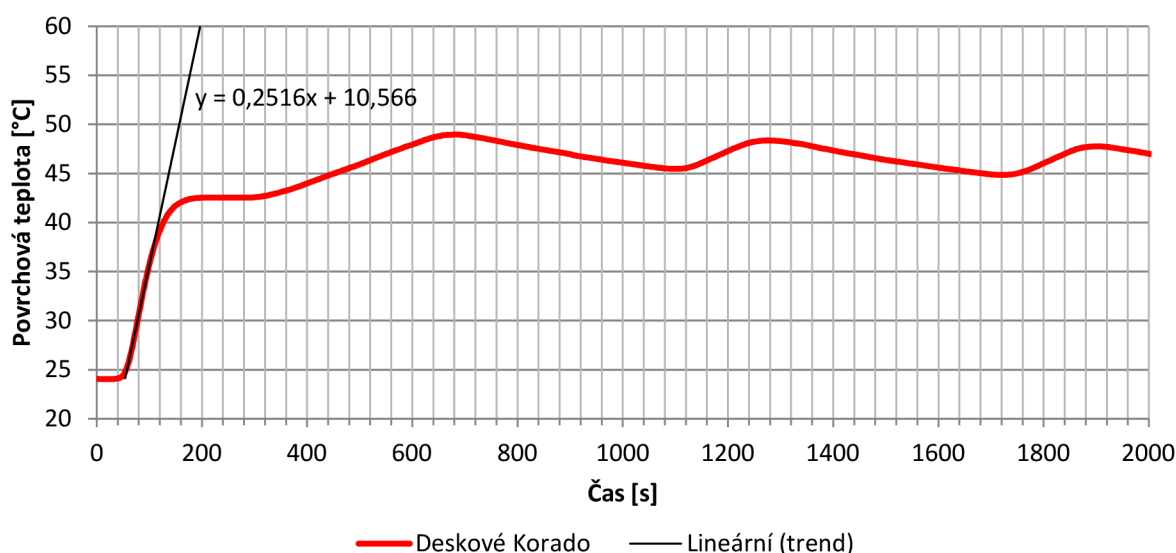
Obrázek 70 Přechodová charakteristika trubkového tělesa Korado

Při měření povrchové teploty termokamerou (obr. 71) byla zvolena emisivita pro kovový povrch s epoxy-polyesterovým lakem na hodnotu 0,93 a zdánlivá odražená teplota na hodnotu 21 °C.



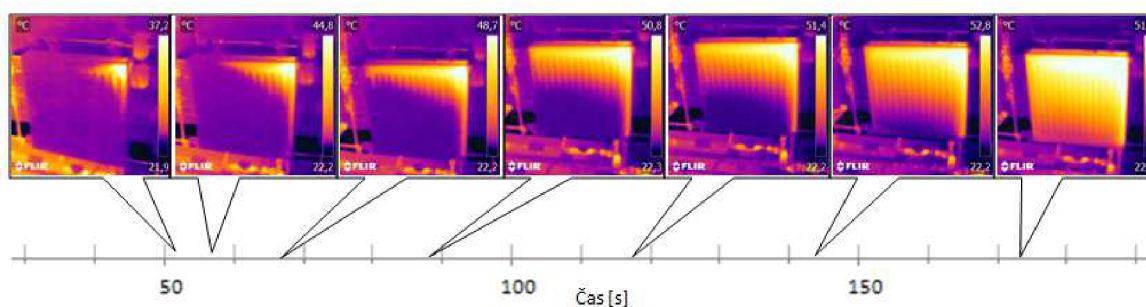
Obrázek 71 Schematické termogramy náběhu trubkového tělesa Korado

7.3.3 Korado Radik – časová konstanta deskového tělesa



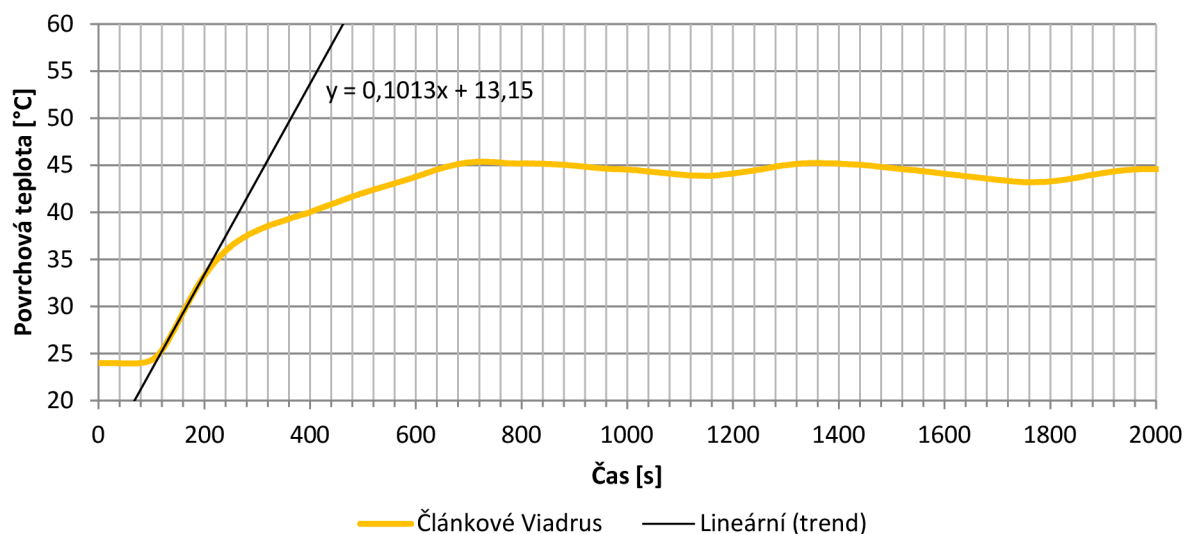
Obrázek 72 Přechodová charakteristika deskového tělesa Korado

Při měření povrchové teploty termokamerou (obr. 73) byla zvolena emisivita pro plechový povrch s epoxy-polyesterovým lakem na hodnotu 0,93 a zdánlivá odražená teplota na hodnotu 21 °C.



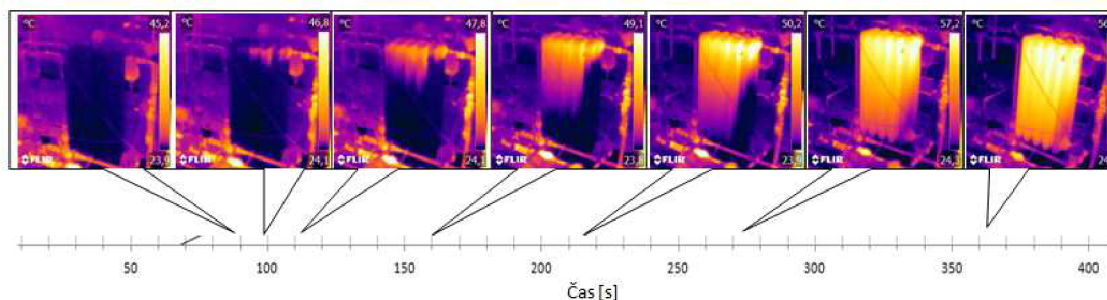
Obrázek 73 Schematické termogramy náběhu deskového tělesa Korado

7.3.4 Viadrus Kolor – časová konstanta článkového sálavého tělesa



Obrázek 74 Přechodová charakteristika článkového tělesa Viadrus

Při měření povrchové teploty termokamerou (obr. 75) byla zvolena emisivita pro lakovanou litinu na hodnotu 0,93 a zdánlivá odražená teplota na hodnotu 21 °C.



Obrázek 75 Schematické termogramy náběhu článkového tělesa Viadrus

7.3.5 Shrnutí měření přechodové charakteristiky otopných těles

Z následující tabulky 6 a předchozích grafů je patrný průběh jednotlivých časových konstant a náběhů. Obecně by mělo platit, že tělesa s malým obsahem vody mají nižší časovou konstantu než tělesa s vyšším obsahem vody. Pokud by se porovnálo množství vody v jednotlivých otopných tělesech, tak tento úzus zde na první pohled vyvrací těleso Lipovica Solar. Je nutno ale zmínit, že termočlánky jsou nalepeny na povrchu těles a v případě tělesa Lipovica je povrch tvořen žebrem, a proto z důvodu nestacionárního vedení tepla žebrem je časová konstanta delší.

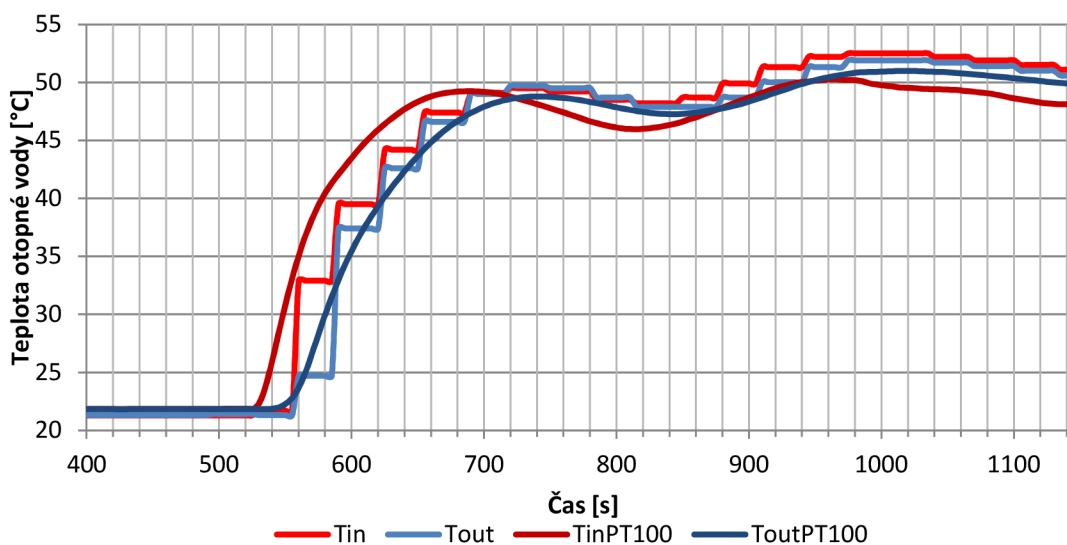
Stejně jako u měření časové konstanty regulátoru je i zde vidět zlom v průběhu nárůstu teploty ve fázi přechodu. To je způsobeno nahříváním jednotlivých částí těles.

Tabulka 6 Naměřená data přechodové charakteristiky otopných těles

Těleso	Vstupní teplota otopné vody 60 °C										
	Časová konstanta		Doba průtahu		Doba přechodu		Čas najetí na 90 % výkonu		Max. povrchová teplota	Kolísání povrchové teploty	Objem vody v otopném tělese
	T_{63}	T_{63}	T_u	T_u	T_p	T_p	T_{90}	T_{90}	T_{max}	ΔT_p	V
	[s]	[min]	[s]	[min]	[s]	[min]	[s]	[min]	[°C]	[°C]	[l]
Deskové Korado	62,63	1,04	46,00	0,77	145,11	2,42	524,01	8,73	48,38	6,01	2,55
Článekové Lipovica	110,78	1,85	53,99	0,90	229,27	3,82	432,00	7,20	44,45	4,18	1,68
Trubkové Korado	80,32	1,34	42,00	0,70	169,08	2,82	432,00	7,20	48,88	5,20	3,40
Článekové Viadrus	133,25	2,22	103,98	1,73	314,82	5,25	570,00	9,50	45,37	4,60	5,50

Z obrázku 67 je patrné teplotní kolísání povrchové teploty v průběhu času, které je způsobeno hystezí elektrokotle. Teplotní rozdíl kotle je v tomto případě 4,6 °C. To, že tělesa takto reagují, je důsledkem malého množství vody v tělesech a tím, že materiál těles má malou tepelnou kapacitu a dobrou tepelnou vodivost. U podlahového vytápění nelze tento jev pozorovat z důvodu vysoké tepelné kapacity. Pro další případné výpočty je možné stanovit průměrnou maximální povrchovou teplotu.

Vlivem zmíněné hystereze kotle byla vyzorována vlastnost projevující se u všech těles, při které otopné těleso „ohřívá“ otopnou vodu v důsledku kolísání vstupní teploty vody (viz obr. 76). Teplota otopné vody na vstupu je tedy v určitém okamžiku nižší než na výstupu. Data křivek T_{in} a T_{out} jsou odečtena pomocí průtokoměrů a sběrnice M-Bus a křivky $T_{inPT100}$ a $T_{outPT100}$ náleží nalepovacím odporovým teploměrům Pt100.



Obrázek 76 Přechodová charakteristika otopného tělesa měřená pomocí sběrnice M-Bus a termočlánků

Nesrovnalost by mohla nastat při špatném umístění nalepovacích termočlánků, které by mohlo způsobit nepřesnosti. Nutný je jejich dostatečný počet a vhodné rovnoměrné umístění.

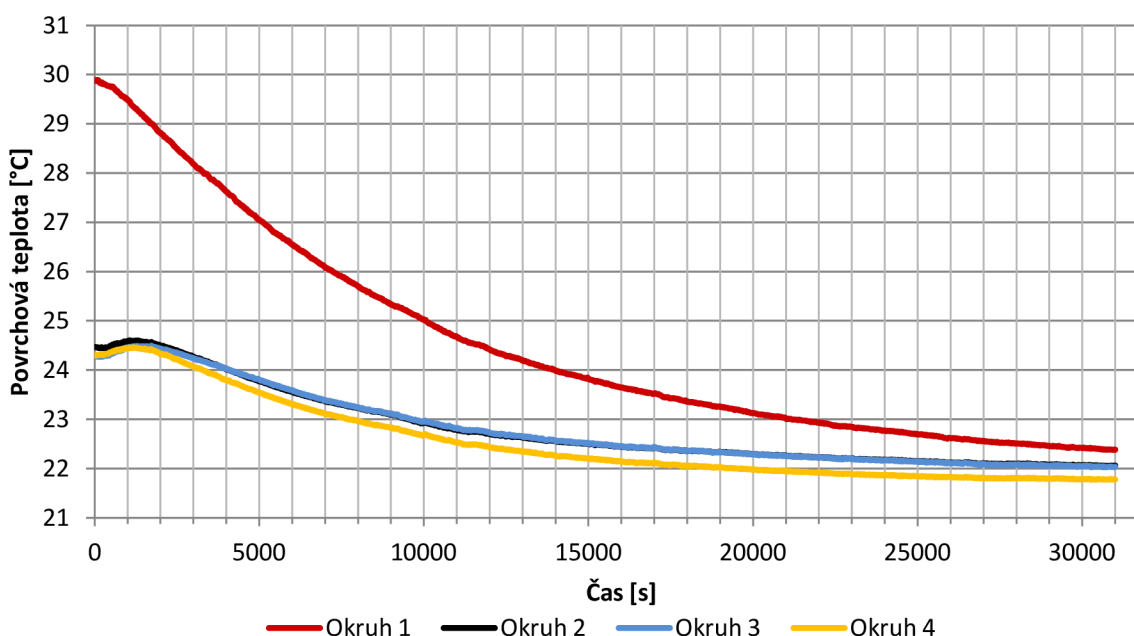
V porovnání s otopnými podlahovými plochami mají tělesa velice zanedbatelnou velikost doby průtahu a hodnotu časové konstanty v řádech jednotek minut. Jsou tedy vhodné pro otopnou soustavu, která se má dynamicky měnit. V porovnání s podlahovými plochami dosáhnou tělesa výkonu 90 % dříve než je trojnásobek časové konstanty.

8 Měření chladnutí otopných podlahových ploch

Dalším důležitým kritériem při hodnocení dynamiky těles je jejich chladnutí neboli čas, za jaký tělesa ochladnou o 63 % a o 90 % z původní teploty. Při chladnutí těles, resp. otopné podlahové plochy se snižuje jejich povrchová teplota vlivem ztrátového tepelného toku do prostoru. Předpokladem je, že těleso je uzavřeno za pomoci ventilu. Průběh chladnutí se dá vyjádřit exponenciální křivkou vedoucí mezi dvěma ustálenými stavy.

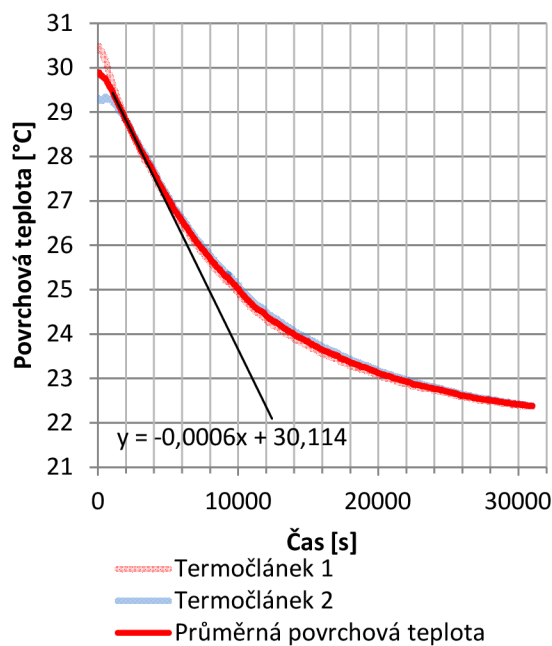
8.1 Chladnutí otopných podlahových ploch

Měření probíhalo z ustáleného stavu podlahových ploch, které byly nahřány po dobu 10-ti hodin. Teplota v místnosti činila 24 °C. Pokynem pro uzavření regulačních armatur bylo měření spuštěno (obr. 77).

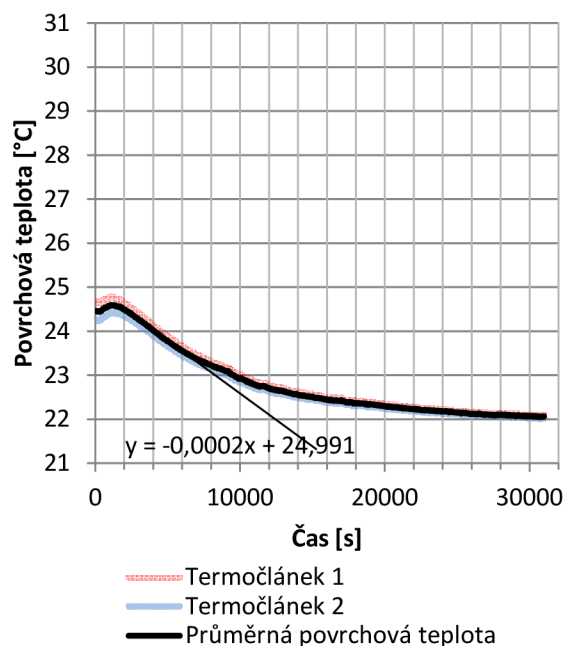


Obrázek 77 Chladnutí otopných podlahových ploch

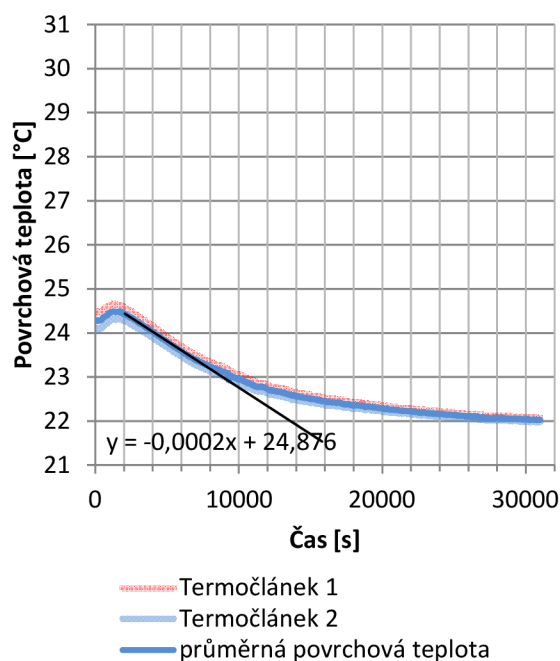
Výsledné časové konstanty chladnutí korespondují s dynamikou náběhu. Mokrā pokládka reaguje poklesem teploty ihned, zbylé suché skladby svojí povrchovou teplotu mírně zvýší a chladnout začínají se („dopravním“) zpožděním. Zvýšení povrchové teploty podlahové plochy po uzavření je způsobeno především snížením prostorové teploty vzduchu, čímž se zvýší tepelný tok z podlah vlivem naakumulovaného tepla. Suché podlahy jsou tvořeny dřevovláknitými deskami o vyšší tepelné kapacitě (dle [9] a [6] 1100–1630 J/kg·K), než má betonová mazanina mokré podlahy (dle [9] 840–1040 J/kg·K). Naakumulované teplo se z tohoto důvodu déle „uvolňuje“ do prostoru.



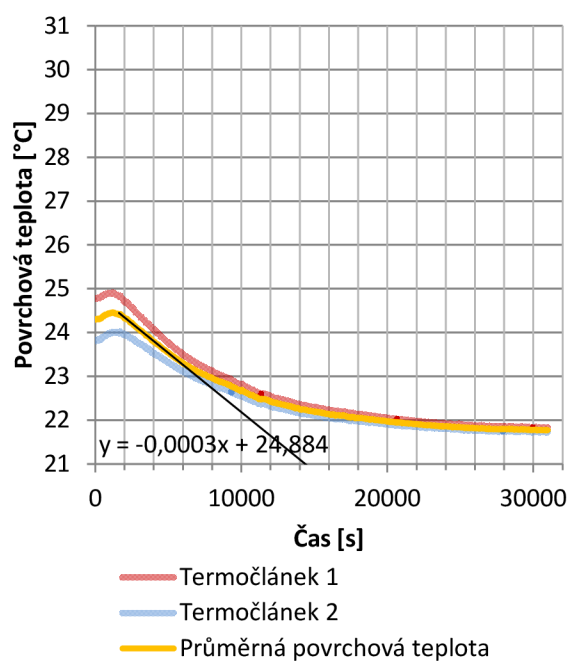
Obrázek 78 Chladnutí okruhu 1



Obrázek 79 Chladnutí okruhu 2



Obrázek 80 Chladnutí okruhu 3



Obrázek 81 Chladnutí okruhu 4

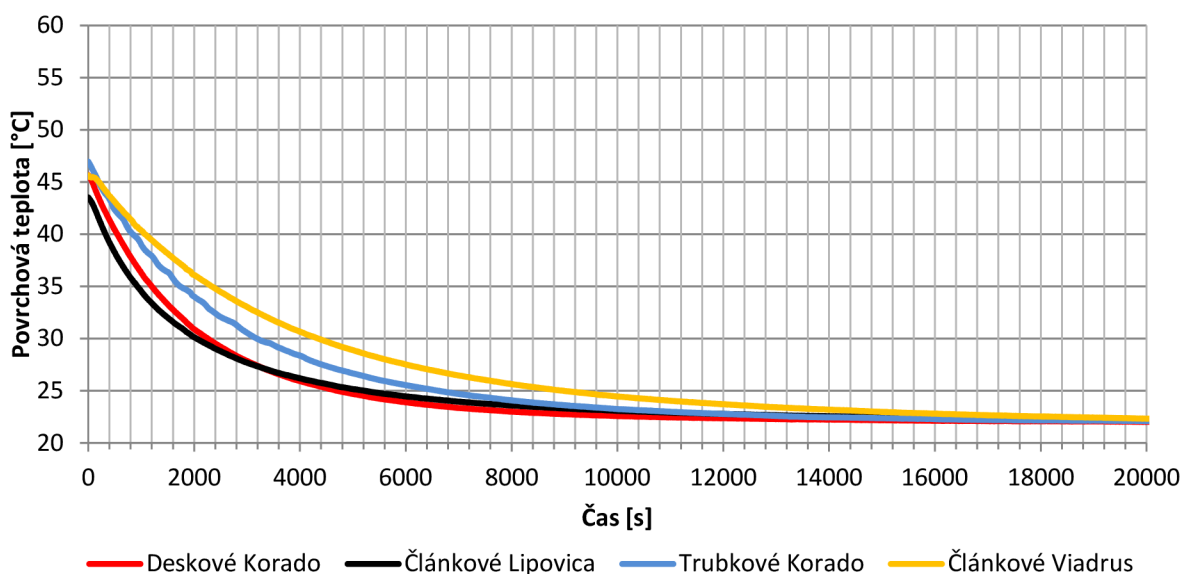
V předchozích grafech (obr. 78, 79, 80 a 81) znázorňujících chladnutí jednotlivých otopných ploch je světlou barvou zaznamenána povrchová teplota čidel umístěných v ose potrubí a mezi potrubím. Sytou barvou je vyznačena průměrná povrchová teplota plochy. Nejlépe rozložené teplotní pole na povrchu vlivem vedení otopného hada v průběhu chladnutí je u mokré pokládky, největší teplotní diference je u plochy 4 (dřevovláknitá deska s linoleem). V následující tabulce 7 jsou číselné hodnoty časových konstant a úseků.

Tabulka 7 Chladnutí otopných podlahových ploch

Plocha	Časová konstanta		Doba průtahu		Doba přechodu		Čas poklesu o 90 % výkonu		Max. průměrná povrchová teplota
	T_{63}	T_{63}	T_u	T_u	T_P	T_P	T_{90}	T_{90}	
	[s]	[min]	[s]	[min]	[s]	[min]	[s]	[min]	
Okruh 1	7917,99	131,97	742,01	12,37	8660,00	144,33	19964,00	332,73	29,89
Okruh 2	8085,04	134,75	2422,00	40,37	10507,05	175,12	19838,01	330,63	24,60
Okruh 3	7819,29	130,32	2422,00	40,37	10241,29	170,69	20468,00	341,13	24,50
Okruh 4	5676,61	94,61	2422,00	40,37	8098,61	134,98	19964,00	332,73	24,46

8.2 Chladnutí otopných těles

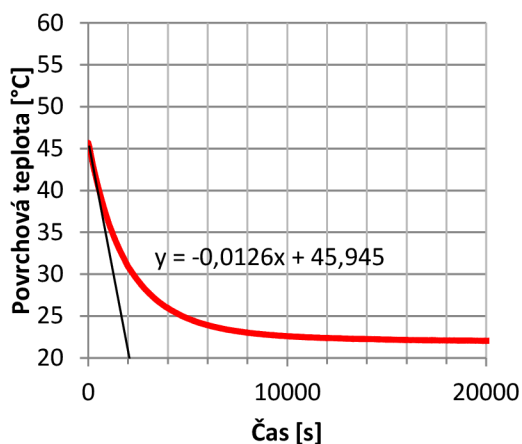
Měření probíhalo z ustáleného stavu otopných těles, která byla nahřána po dobu 3 hodin. Teplota v místnosti činila 24 °C. Pokynem k uzavření regulačních armatur bylo měření spuštěno (viz obr. 82).



Obrázek 82 Chladnutí otopných těles

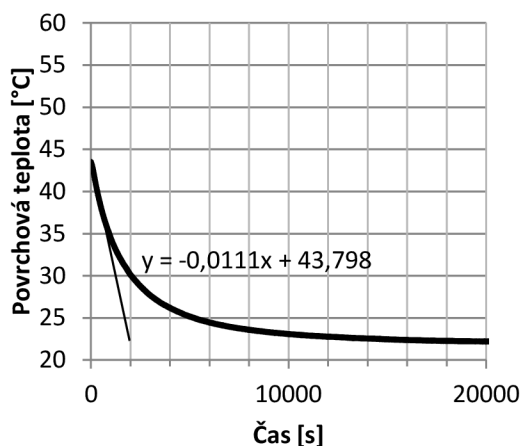
Z předchozího grafu a z grafů následujících (obr. 82, 83, 84, 85 a 86) je patrné nejrychlejší chladnutí u tělesa deskového a konvektivního článkového. To je způsobeno nízkým obsahem vody (malá tepelná setrvačnost) a velkou plochou, kterou vytváří přídatné konvektivní plechy. Tato tělesa jsou schopna bezprostředně reagovat na regulační zásah.

Nejpomaleji chladnoucí těleso je článkové sálavé, které obsahuje nejvíce vody (má vyšší tepelnou kapacitu). Toto těleso reaguje pomaleji na regulační zásah a ne zcela se hodí pro aplikaci v IRC regulaci. Veškerá naměřená data jsou zaznamenána v tabulce 8.



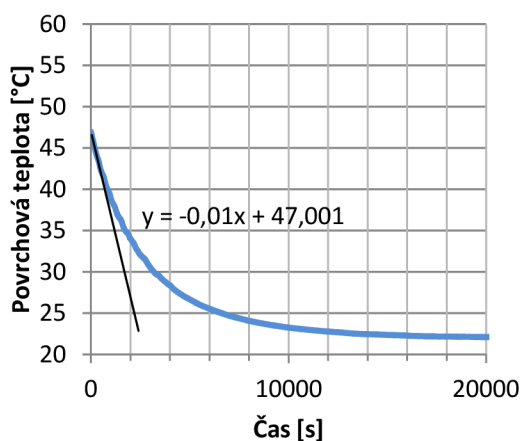
— Deskové Korado — Lineární (trend)

Obrázek 83 Chladnutí deskového tělesa Korado



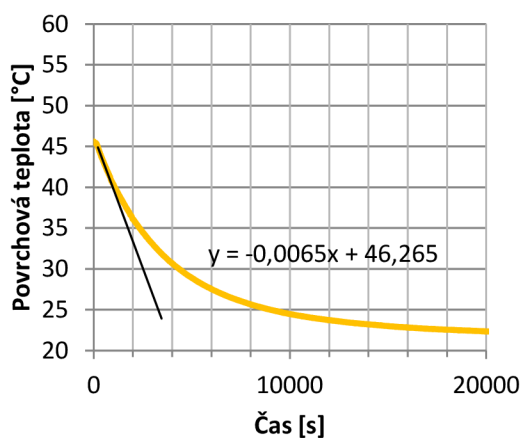
— Článekové Lipovica — Lineární (trend)

Obrázek 84 Chladnutí článekového tělesa Lipovica



— Trubkové Korado — Lineární (trend)

Obrázek 85 Chladnutí trubkového tělesa Korado



— Článekové Viadrus — Lineární (trend)

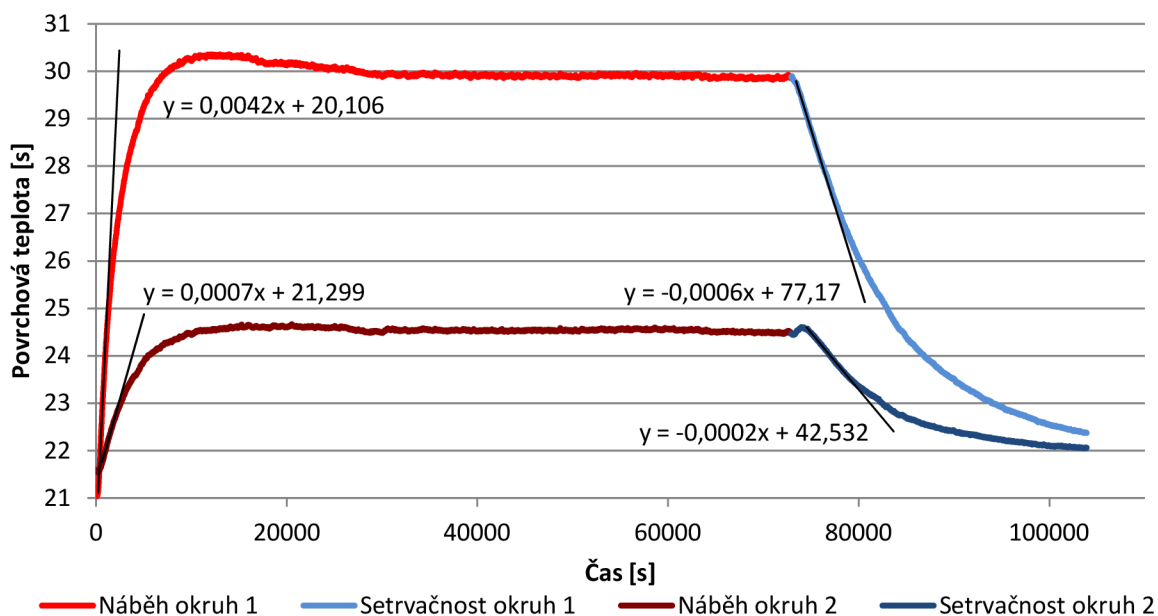
Obrázek 86 Chladnutí článekového tělesa Viadrus

Tabulka 8 Chladnutí otopných těles

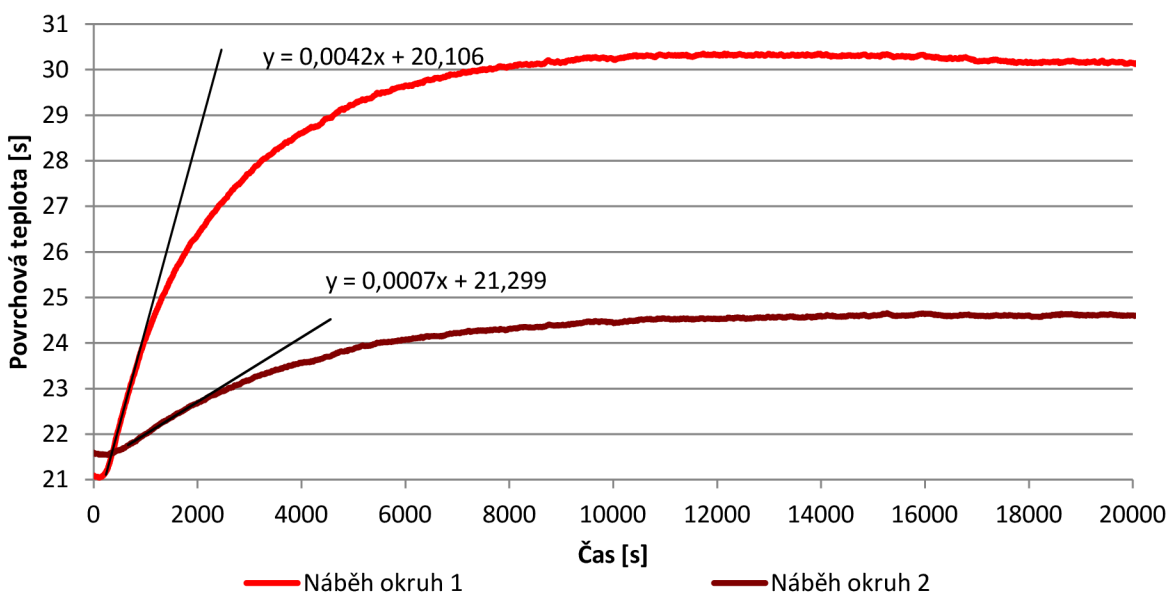
Těleso	Vstupní teplota otopné vody 60 °C								
	Časová konstanta		Doba průtahu		Doba přechodu		Čas poklesu o 90 % výkonu		Max. povrchová teplota
	T_{63}	T_{63}	T_u	T_u	T_P	T_P	T_{90}	T_{90}	
	[s]	[min]	[s]	[min]	[s]	[min]	[s]	[min]	T_{max} [°C]
Deskové Korado	1189,79	19,83	0,00	0,00	1189,79	19,83	5390,00	89,83	37,89
Článekové Lipovica	1214,69	20,24	18,00	0,30	1232,69	20,54	7215,99	120,27	29,54
Trubkové Korado	1573,00	26,22	0,00	0,00	1573,00	26,22	7215,99	120,27	33,23
Článekové Viadrus	2276,60	37,94	103,99	1,73	2380,59	39,68	9813,99	163,57	45,63

8.3 Porovnání náběhu a chladnutí suché a mokré otopné podlahové plochy

V následujícím grafu (obr. 87) je vyobrazeno chování dvou rozdílných podlahových ploch, přičemž se jedná o již měřené plochy – okruh 1 (mokrý skladba) a okruh 2 (suchá skladba). Cílem tohoto grafu je přímé srovnání náběhu a jejich chladnutí.



Obrázek 87 Porovnání náběhu a chladnutí suché a mokré skladby



Obrázek 88 Detail náběhu suché a mokré skladby

Jak bylo popsáno a naměřeno dříve, mokrá skladba má menší tepelnou kapacitu a nízký tepelný odpor, a proto se chová jako přímotopná. Má kratší dobu průtahu

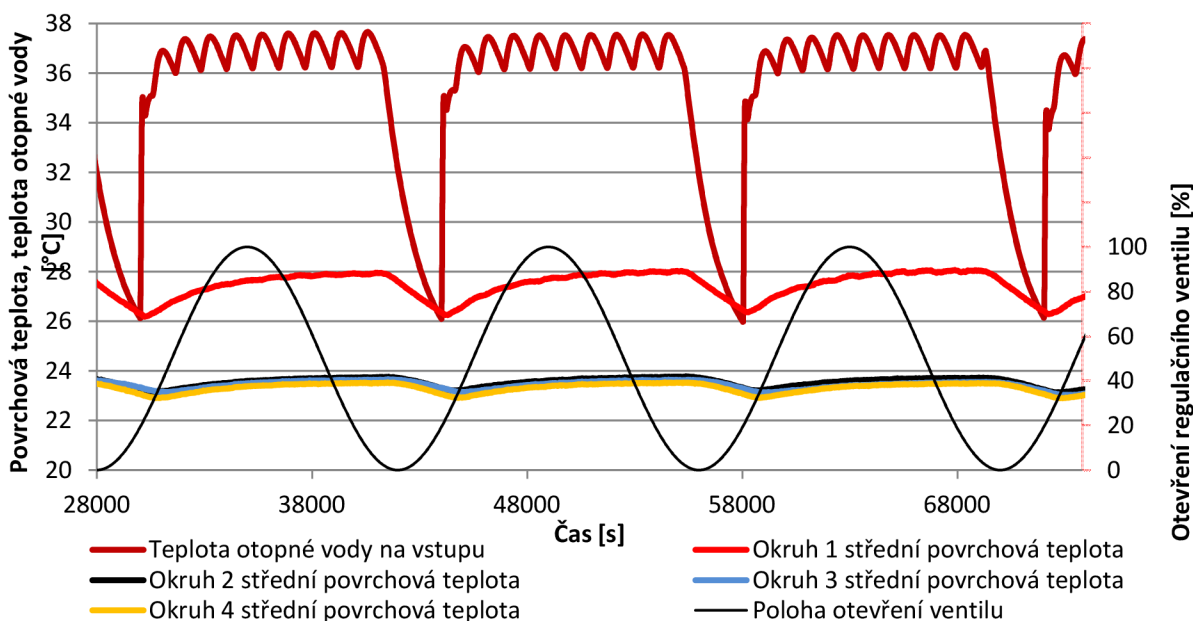
(obr. 88) a kratší časovou konstantu. Naopak tomu je se suchou skladbou podlahy, která je více akumuláční. Těmto vlastnostem odpovídá i dynamika celé plochy.

9 Měření frekvenční charakteristiky

Frekvenční charakteristika je grafické vyjádření dynamického systému na harmonickou budící funkci. Amplitudou budící funkce je plné otevření regulační armatury, resp. maximální hodnota otopné vody systému. Výstupem je povrchová teplota otopných ploch a těles v závislosti na čase a poloze otevření ventilu.

9.1 Frekvenční charakteristika otopných podlahových ploch

V případě měření otopných podlahových ploch (viz obr. 89) byla otopná voda na kotli nastavena na hodnotu 40 °C, na vstupu do otopných podlahových ploch měla hodnotu 37 °C. Perioda otevírání činila 3:52:51 hod.



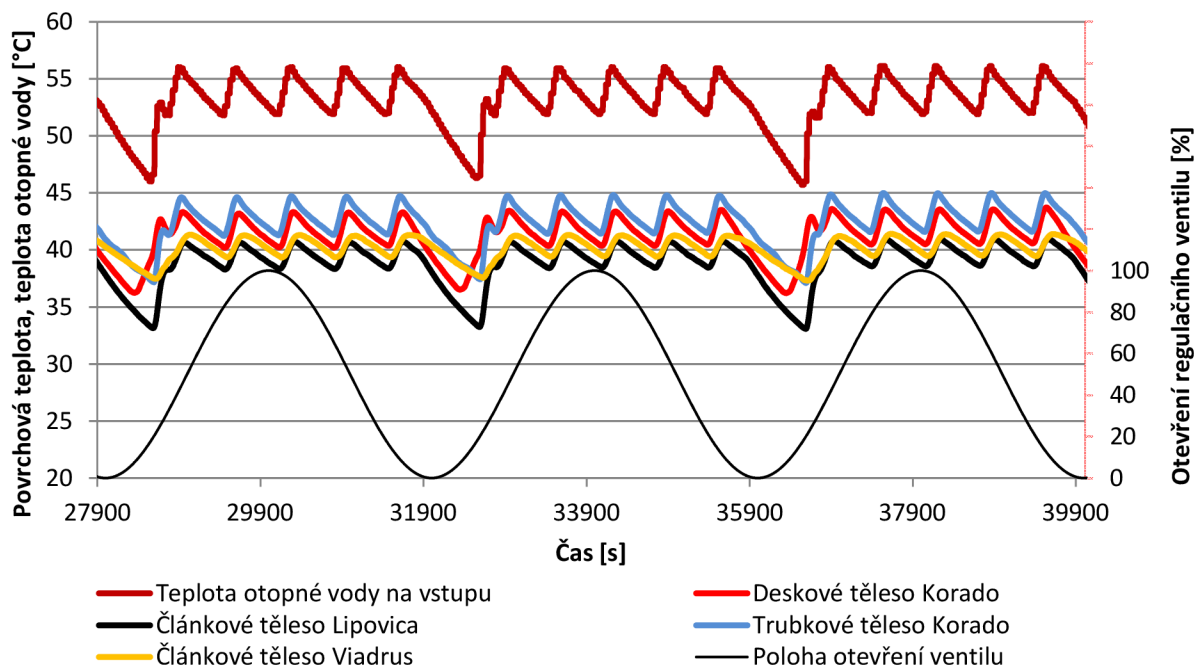
Obrázek 89 Graf frekvenční charakteristiky otopných podlahových ploch

Tabulka 9 Vyhodnocená data frekvenční charakteristiky otopných ploch

Plocha	Max. teplota	Nejnižší teplota vlivem uzavření	Teplotní rozdíl	Průměrná teplota na vstupu	Rozdíl průměrné max. teploty a nejnižší vlivem uzavření	Čas 1 hysterezního kmitu		Čas od otevření ventilu po naježí na prům. max. teplotu		Čas poklesu na nejnižší teplotu vlivem uzavření	
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[s]	[min]	[s]	[min]	[s]	[min]
Teplá voda	37,67	25,98	11,69	37,00	11,02	1210,00	20,17	3891	64,87	2030	33,83
Okruh 1	28,07	26,19	1,88	-	-	-	-	13230	220,50	2226	37,10
Okruh 2	23,78	23,13	0,65	-	-	-	-	13748	229,13	2856	47,60
Okruh 3	23,67	23,03	0,64	-	-	-	-	11074	184,57	3024	50,40
Okruh 4	23,54	22,90	0,64	-	-	-	-	11830	197,17	2870	47,83

9.2 Frekvenční charakteristika otopných těles

U měření otopných těles (viz obr. 90) byla otopná voda na kotli nastavena na hodnotu 60 °C, na vstupu do otopných podlahových ploch měla hodnotu 53,8 °C. Perioda otevírání činila 33 minut.



Obrázek 90 Frekvenční charakteristika otopných těles

Tabulka 10 Vyhodnocená data frekvenční charakteristiky otopných těles

Těleso	Max. teplota hysterezního kmitu	Min. teplota hysterezního kmitu	Teplotní rozdíl hystereze	Průměrná max. teplota hysterezních kmitů	Nejnižší teplota vlivem uzavření	Rozdíl průměrné max. teploty a nejnižší vlivem uzavření	Čas 1 hysterezního kmitu		Čas od otevření ventilu po najeť na prům. max. teplotu		Čas poklesu na nejnižší teplotu vlivem uzavření	
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[s]	[min]	[s]	[min]	[s]	[min]
Otopná voda	56,30	51,90	4,40	53,83	46,30	7,53	673	11,21	1025	17,08	610	10,17
Deskové Korado	43,84	40,21	3,63	41,68	36,52	5,16	482	8,03	630	10,50	360	6,00
Člámkové Lipovica	41,08	38,32	2,76	39,49	33,24	6,25	480	8,00	878	14,63	584	9,73
Trubkové Korado	45,22	41,28	3,94	42,81	37,42	5,39	494	8,23	848	14,13	594	9,90
Člámkové Viadrus	41,40	40,21	1,19	40,41	37,55	2,86	432	7,20	916	15,27	612	10,20

9.3 Shrnutí měření frekvenční charakteristiky

V případě otopných těles lze vidět rychlou reakci na změnu polohy ventilu. Rovněž tělesa reagují na hysterezi kotlového termostatu. Podlahové vytápění vlivem svojí

vysoké tepelné setrvačnosti a kapacitě reaguje s velkým zpožděním. Pokud by toto měření simulovalo řízení (cyklické otevírání a zavírání) průtoku prostřednictvím termostatické hlavičky, tak by bylo zřejmé, že regulace podlahového vytápění nemá u podlahového vytápění smysl, protože reakce na regulační zásah je velice opožděná. Naměřená data podlahového vytápění a otopných těles jsou zapsány v tabulce 9 a 10.

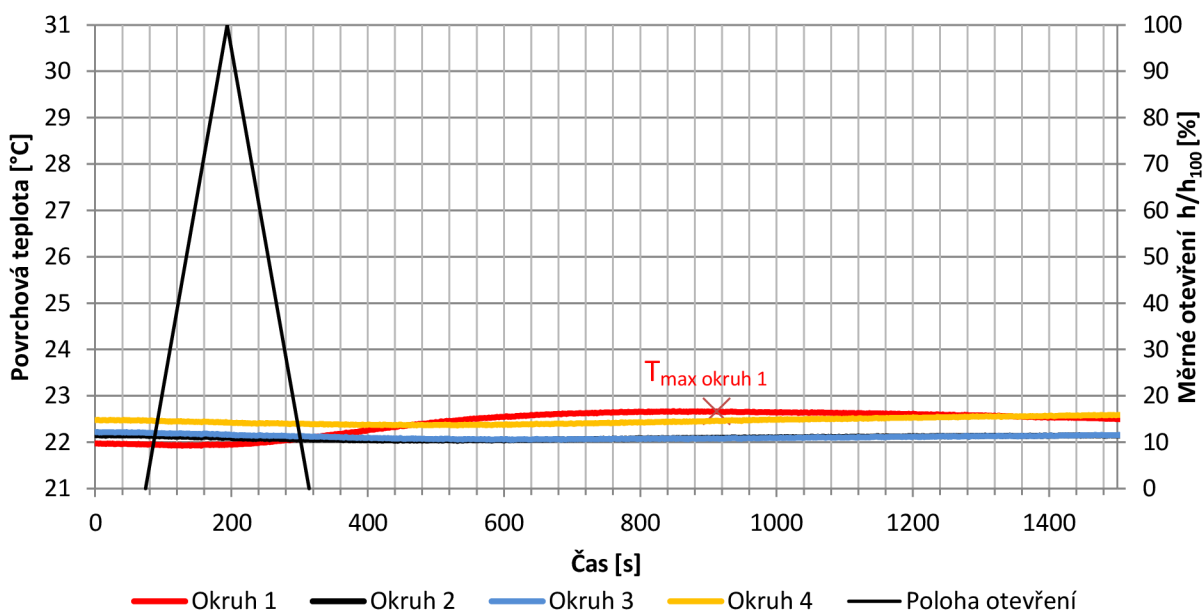
Měření frekvenční charakteristiky jako takové není v oblasti vytápění vhodně aplikovatelné v porovnání měření elektronických přístrojů právě vlivem vysoké setrvačnosti systému a také tím, že poloha otevření ventilu nekoresponduje s měrným průtokem (viz níže).

10 Impulzní charakteristiky

Impulzní charakteristika je popisována jako odezva systému na jednotkový skok. Tento skok je v případě tohoto řešení simulován jako plné otevření regulační armatury a následné uzavření. Amplitudou je vstupní teplota otopné vody a její trvání je závislé právě na době otevírání a zavírání regulátoru.

10.1 Impulzní charakteristika otopných podlahových ploch

Teplota vstupní vody byla nastavena na hodnotu 40 °C. Instalovaný servopohon Honeywell má dobu otevírání (resp. zavírání) 120 s.



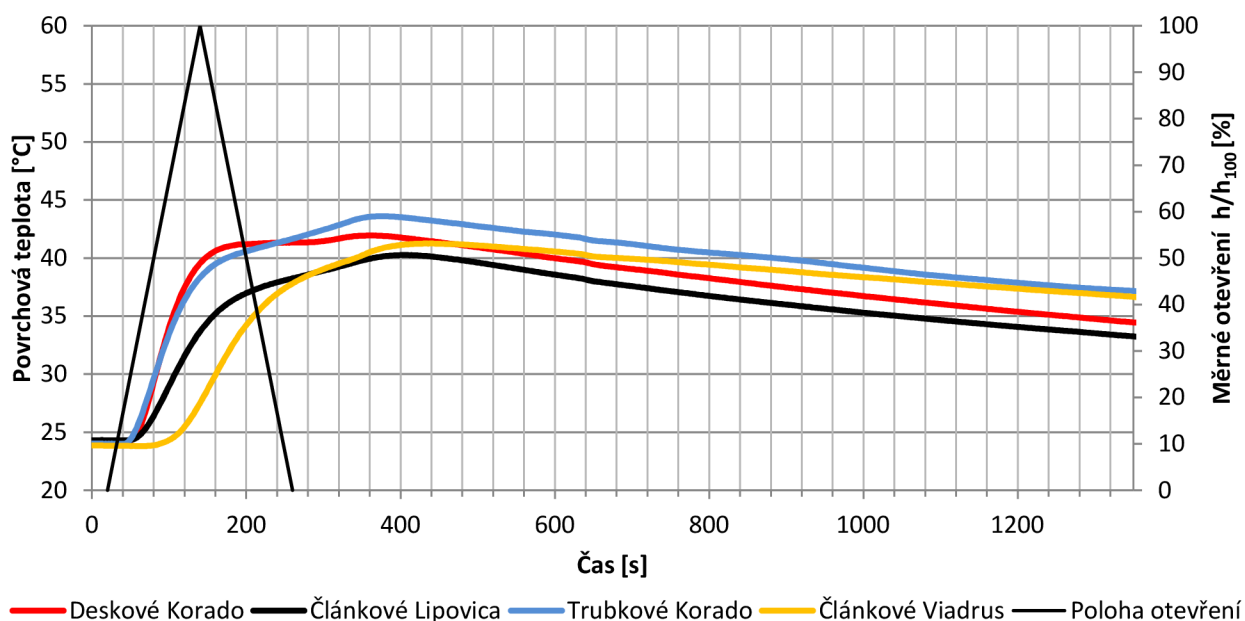
Obrázek 91 Impulzní charakteristika podlahových ploch

Otevírání ventilu započalo po 74 s, maximálního otevření dosáhlo v čase 194 s a k zavření armatury došlo v 314. s měření. Jak je vidět na obrázku 91, u mokré pokládky bylo dosaženo maximální povrchové teploty 22,67 °C v 912. s měření čili za 718 s (téměř 12 minut) po plném otevření. Teplotní diference měřeného impulsu byla 0,74 K. Suché skladby podlah na tento impuls téměř nereagovaly – jejich teplotní diference činila 0,24 K.

Lze tedy usoudit, že měření impulzních charakteristik podlahových ploch nemá žádný význam ani praktický, ani teoretický.

10.2 Impulzní charakteristika otopných těles

Teplota vstupní vody byla nastavena na hodnotu 60 °C. Instalovaný servopohon Honeywell má dobu otevírání (resp. zavírání) 120 s.



Obrázek 92 Impulzní charakteristika otopných těles

Otevírání ventilu započalo 20 s po zahájení měření. Z grafu na obrázku 92 lze vypočítat nárůst teploty až od 20 % otevření. To je způsobeno pásmem necitlivosti regulátoru (viz kapitola 11.2).

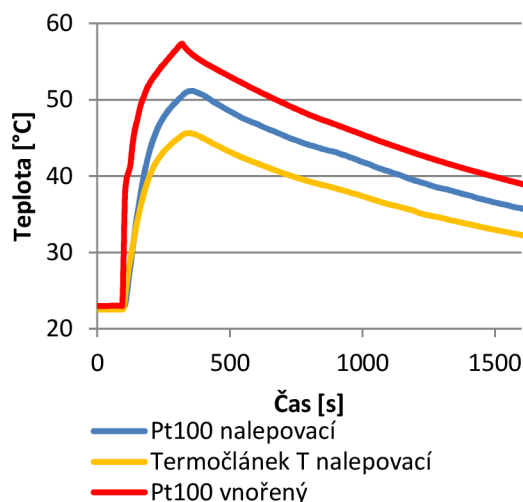
Ačkoli je setrvačnost otopných těles výrazně nižší než otopné podlahové plochy, tak z hlediska dynamiky nemá tato charakteristika rovněž žádný vypovídající význam.

11 Další vyhodnocená měření a zjištění

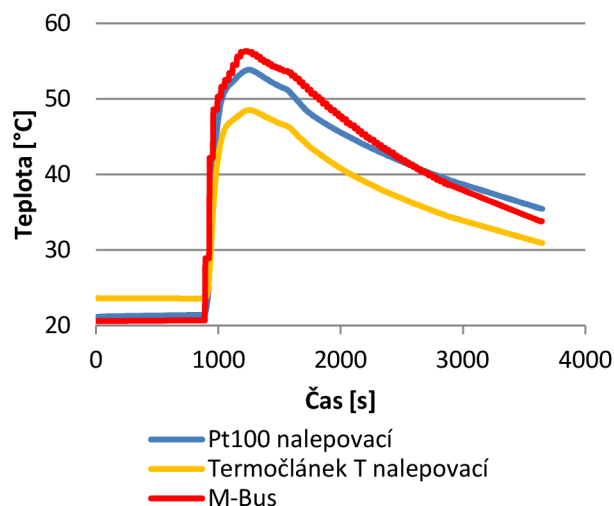
Ačkoli tato kapitola není součástí zadání práce, tak při počátečním seznámení s panelem a průběžném měření bylo zjištěno mnoho zajímavostí, možných srovnání a taky nalezených chyb v instalaci a naprogramování.

11.1 Porovnání měření teplot pomocí termočláneku a odporového teploměru

Snímání teploty při podlahovém vytápění je provedeno pomocí vnořených odporových teploměrů Pt100 a odečet teploty u otopných těles je zprostředkován díky suchým odporovým teploměrům umístěným ve speciální armatuře, která je odečítána sběrnicí M-Bus. S nimi jsou porovnávány nalepovací termočlánek typu T a nalepovací odporový teploměr Pt100. První porovnání bylo měřeno přes potrubí PE-Xa s tloušťkou stěny 2 mm (viz obr. 93), druhé měření probíhalo na ocelovém topenářském potrubí (viz obr. 94).



Obrázek 93 Porovnání měření přes PE-Xa trubku

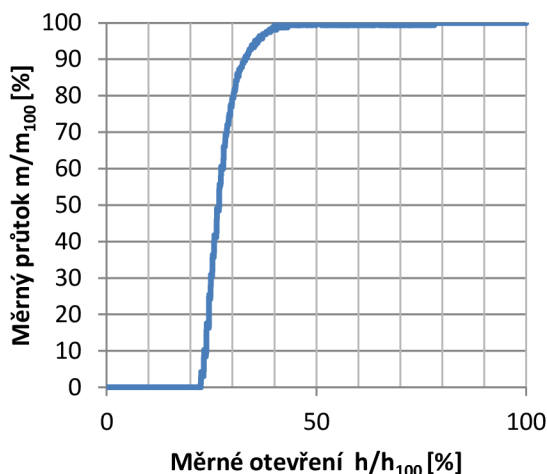


Obrázek 94 Porovnání měření přes ocelovou trubku

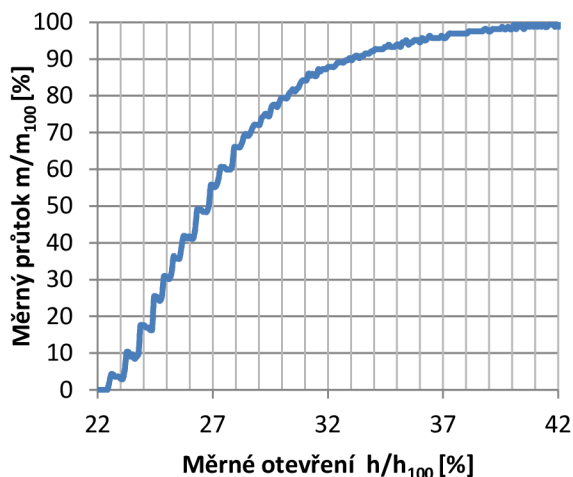
Vlivem teplotního odporu polyetylenového materiálu (PE-Xa) je rozdíl teplot uvnitř potrubí na jeho povrchu značně větší. U ocelového potrubí je tento rozdíl menší. Termočlánek vlivem podstaty své konstrukce má větší nepřesnost měření oproti odporovému teploměru.

11.2 Změření průtokové charakteristiky

Během měření vznikla možnost změření průtokové charakteristiky regulátoru (viz obr. 95, 96), která by byla porovnatelná s charakteristikou výrobce. Bohužel nebylo možné v žádné technické dokumentaci oficiální charakteristiku dohledat, a proto přímé srovnání nelze provést.



Obrázek 95 Průtoková charakteristika termostatického ventilu



Obrázek 96 Detail průtokové charakteristiky

Z předešlého grafu je patrná přítomnost pásma necitlivosti (nevyváženost zdvihu kuželky a servopohonu). Regulační rozsah leží zhruba na 20 % zdvihu servopohonu.

V detailu přiblížení měrného otevření lze pozorovat, že se jedná o lineární charakteristiku s mírným průhybem. Vzniklé mikrokmity v průběhu otevírání jsou způsobeny nestacionárním přenosem dat pomocí sběrnice M-Bus.

Je tedy patrné, že regulátor spolu se servopohonem má špatně nastaven rozsah zdvihu a měl by být např. softwarově zkalibrován.

11.3 Softwarové a hardwarové chyby na panelu

Na panelu byly nalezeny chyby jak v hardwarové, tak i v softwarové instalaci. Měřiče tepla dvou otopných těles vyhodnocovaly špatný průtok, přičemž jeden z nich i špatné teploty. V programu byly zaměněny ukazatele teploty na vstupu a výstupu a na termostatický ventil deskového tělesa nebyl plně dovírán servomotorem. Všechny tyto chyby byly odstraněny nebo byly předány k řešení příslušným osobám.

12 Závěr

12.1 Obecná zjištění

Na základě měření bylo zjištěno několik poznatků, které byly popsány v jednotlivých kapitolách praktických měření. Měření dynamických vlastností otopné soustavy jsou nejlépe aplikovatelná na přechodové charakteristice, ze které se určí potřebné parametry pro nastavení regulátorů. Ostatní charakteristiky vlivem vysoké setrvačnosti otopné soustavy nemají pro tuto aplikaci žádný hlubší vypovídající význam.

Dynamika otopných podlahových ploch závisí především na skladbě podlah, jejich tepelném odporu a tepelné kapacitě jednotlivých vrstev. Mokrý skladba s malou tloušťkou betonové mazaniny a bez přítomnosti vzduchových mezer mezi vrstvami vykazovala rychlejší reakci na regulační zásah než podlahy se suchou skladbou, kde byla vzduchová mezera. Tím, že reakce všech typů podlah je velice pomalá, není proto nijak efektivní jejich přesnější regulace. V případě použití IRC regulace je vhodné zkombinovat podlahové vytápění, které kryje např. polovinu tepelné ztráty a není nijak regulováno a během útlumu slouží k temperování, spolu s jiným tělesem, které naopak vhodně reaguje na změnu tepelné ztráty a je dobře regulovatelné.

Otopná tělesa reagovala na regulační zásah v porovnání s podlahovými plochami mnohonásobně rychleji. To je způsobeno menším tepelným odporem a tepelnou kapacitou jednotlivých těles. Tělesa s vyšším obsahem vody reagují o poznání déle a také déle trvá jejich chladnutí. Taková tělesa proto nejsou vhodná pro aplikaci dynamického režimu regulace (IRC regulace).

Vlivem malé tepelné kapacity bylo u otopných těles vyzorováno kolísání teploty v závislosti na hysterze kotlového termostatu. V periodicky se opakujících časových úsecích docházelo k tomu, že z otopného tělesa vycházela teplejší voda, než do něj přicházela. Tento jev by se dal odstranit přiřazením akumulární nádoby za elektrokotel.

Po mnoha přípravných měřeních, která vedla k odladění měřicího panelu, bylo provedeno vždy jen jedno výsledné měření každé z charakteristik jednotlivých otopných ploch, ze kterých byly vyhodnoceny časové konstanty. Dalším důvodem byla nemožnost zajistit konstantní počáteční teplotu a tepelnou ztrátu laboratoře, ve které měření probíhalo. Vzhledem k charakteru daných dynamických dějů bylo jedno měření dostatečné.

12.2 Doporučení pro nastavení regulátorů

Nové elektronické regulátory vytápění mají funkci nastavení časových programů vytápění s možností útlumu celé soustavy v průběhu dne. Princip nerovnoměrného vytápění jednotlivých pokojů v čase je další dokonalejší stupeň regulace a přesně pro tyto aplikace je potřeba znát dynamické chování soustav. Tato znalost uživateli zpřesní regulaci soustavy, což má za následek zlepšení tepelného komfortu a snížení nákladů na vytápění.

Pro praktické doporučení nastavení regulátoru je potřeba provést přímé měření na konkrétní otopné soustavě k získání dynamických charakteristik. Z přechodové charakteristiky je možné k nastavení regulátoru dle tabulky 1 určit jednotlivé potřebné

konstanty PID regulátoru (rovněž P nebo PI). Zjištění by šlo provést i teoreticky na základě znalostí přenosu tepla, ovšem důsledkem různých nepřesností při pokládce a instalaci by byl výpočet nepřesný. Do dynamiky otopné soustavy je potřeba vzít v úvahu akumulování tepla do okolních stavebních prvků a příslušenství.

Při použití těles a pokládek jiných rozměrů je možné zhruba stanovit z naměřených dat chování jednotlivých těles a podlahových ploch a k tomu odhadem připočíst čas nutný na zvýšení prostorové teploty v místnosti a poté případnou nepřesnost v regulátoru upravit.

Na základě znalostí této diplomové práce by šlo sestavit mobilní zařízení k měření přechodových charakteristik na konkrétních otopných soustavách a případně jej použít i ke komerčním účelům.

12.3 Osobní přínos

Téma této diplomové práce, která navazuje na mou bakalářskou práci týkající se regulace vytápění, mě obohatilo o mnoho nových a zajímavých poznatků uplatitelných v praxi. Utvořilo mi reálnou představu o instalaci otopné soustavy, postupech měření teplot a práci s termokamerou, zacházení s měřicí technikou a programování v prostředí LabView.

Seznam použitých zdrojů

[1] ŠVARC, Ivan. ZÁKLADY AUTOMATIZACE: Učební texty pro kombinovanou formu bakalářského studia. [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://autnt.fme.vutbr.cz/svarc/ZakladyAutomatizace.pdf>

[2] *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC Public, 7/2013 [cit. 2014-02-23]. ISSN 12109592. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Automa/2013/07/Automa_07_2013_output/web/Automa_07_2013_opf_files/WebSearch/page0046.html

[3] ŠVARC, Ivan. *Automatické řízení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, vi, 348 s. ISBN 978-80-214-4398-3.

[4] BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. *Velkoplošné sálavé vytápění: podlahové, stěnové a stropní vytápění a chlazení*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 128 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3524-5.

[5] BAŠTA, Jiří. Velkoplošné vytápění (II). In: [online]. Praha. 28. 6. 2006 [cit. 2014-02-27]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3389-velkoplosne-vytapeni-ii>

[6] *Fermacell - systémy suché výstavby* [online]. [cit. 2014-02-27]. Dostupné z: www.fermacell.cz

[7] *Kapilární rohože G-TERM* [online]. [cit. 2014-02-22]. Dostupné z: <http://www.kapilarni-rohoze.cz/>

[8] BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. *Otopné soustavy teplovodní*. 3., přeprac. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, odborná sekce vytápění, 2008, 96 s. Sešit projektanta - pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 978-80-02-02064-6.

[9] *TZB-info.cz: Stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. [cit. 2014-01-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>

[10] *Korado.cz: Topení, vytápění a radiátory* [online]. [cit. 2014-01-15]. Dostupné z: <http://www.korado.cz/>

[11] *Staspo.cz: Prodej designových otopných těles* [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.staspo.cz/>

[12] BAŠTA, Jiří. *Hydraulika a řízení otopných soustav*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02808-9. Zdroj: Regulace kombinovaných otopných soustav. In: [online]. Praha, 2009 [cit. 2014-02-26]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/5315-regulace-kombinovanych-otopnych-soustav>

- [13] *Honeywell.com: Enviromental and combustion conreols - Product catalogue* [online]. [cit. 2014-02-15]. Dostupné z: <http://ecc.emea.honeywell.com/>
- [14] *Obchod Pumpa.cz: Grundfos MAGNA 25-100* [online]. [cit. 2014-02-20]. Dostupné z: <http://whhttp://obchod.pumpa.cz/zbozi/416-grundfos-magna-25-100-230v-pn10-180mmww.kapilarni-rohoze.cz/>
- [15] *Wilo.com: Product finder* [online]. [cit. 2014-02-15]. Dostupné z: <http://productfinder.wilo.com/cz/CZ/start>
- [16] *Giacomini.cz: ROZDĚLOVAČ S VESTAVĚNOU REGULACÍ A PRŮTOKOMĚREM* [online]. [cit. 2014-02-18]. Dostupné z: <http://www.giacomini.cz/r553m-364>
- [17] *Lipovica.cz: Otopná tělesa a radiátory* [online]. [cit. 2014-01-15]. Dostupné z: <http://www.lipovica.cz/>
- [18] *Viadrus.cz: Litinová článková tělesa* [online]. [cit. 2014-01-15]. Dostupné z: <http://www.viadrus.cz/>
- [19] Ventil VC série Honeywell. In: *Honeywell.com* [online]. [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://www.honeywell.cz/combush/Katalogy/VCVentil.pdf>
- [20] TZB-info.cz: Dynamika vytápěcích systémů (I). In: [online]. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2512-dynamika-vytapecich-systemu-i>
- [21] VOJÁČEK, Antonín. M-BUS (Meter-Bus) - základní popis komunikačního protokolu. In: [online]. 7. 2. 2010 [cit. 2014-02-21]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/mbus-meterbus-zakladni-popis-komunikacniho-modelu>

Seznam symbolů a zkratek

Symbol	Jednotka	Popis
c	[J/kg·K]	Měrná tepelná kapacita
DN	[mm]	Nominální průměr
h	[mm]	Okamžité otevření ventilu
h	[-]	Funkční přepis
h ₁₀₀	[mm]	Plné otevření ventilu
IRC	[-]	Individuální regulace jednotlivých pokojů
k	[s/K]	Směrnice přímky
k	[-]	Konstanta nastavení PID regulace
k _v	[kg/m ³]	Okamžitý průtokový součinitel
k _{vS}	[kg/m ³]	Průtokový součinitel při plném otevření
m	[kg/h]	Hmotnostní tok
M-Bus	[-]	Průmyslový komunikační protokol
P	[-]	Proporcionální regulátor
PE-Xa	[-]	Síťovaný polyetylén
PI	[-]	Proporcionálně integrační regulátor
PID	[-]	Proporcionálně integračně derivační regulátor
PN	[bar]	Nominální tlak
Pt100	[-]	Odporový teploměr s hodnotou odporu 100 Ω při 0°C
Q	[W]	Tepelný výkon
q	[W/m ²]	Měrný tepelný výkon
r _o	[-]	Konstanta pro nastavení PID regulace
t	[s]	Okamžitý čas
T ₆₃	[s]	Časová konstanta 63 % náběhu
T ₉₀	[s]	Časová konstanta 90 % náběhu
T _D	[s]	Dopravní zpoždění
T _d	[s]	Konstanta pro nastavení PID regulace
T _i	[s]	Konstanta pro nastavení PID regulace
T _{max}	[°C]	Maximální povrchová teplota
T _n	[s]	Doba náběhu
t _p	[°C]	Povrchová teplota
T _p	[s]	Doba přechodu
t _p	[°C]	Povrchová teplota
T _u	[s]	Doba průtahu
V	[l]	Objem tělesa
V	[m ³ /h]	Objemový průtok armaturou
VK	[-]	Označení deskového tělesa Ventil kompakt
X	[-]	Okamžitá obecná veličina
X ₀	[-]	Původní obecná veličina
XY	[-]	Schematické označení deskového tělesa
α	[°]	Úhel směrnice
α _p	[W/m ² .K]	Součinitel přestupu tepla
Δp ₀	[kPa]	Nominální tlaková ztráta 100 kPa
Δp _v	[kPa]	Tlaková ztráta ventilu [kPa]
ΔT	[K]	Rozdíl teplot při přechodové charakteristice
ΔT _p	[°C]	Kolísání povrchové teploty

Δu	[-]	Změna regulované veličiny
Δy	[-]	Změna regulační veličiny
μ	[-]	Funkční přepis
ρ	[kg/m ³]	Hustota teplotnosné látky
ρ_0	[kg/m ³]	Hustota vody při 15 °C
τ	[s]	Časová konstanta
τ_{63}	[s]	Časová konstanta 63 % náběhu
τ_{90}	[s]	Časová konstanta 90 % náběhu
ω	[Hz]	Frekvence

Seznam příloh

CD-ROM

- elektronická verze diplomové práce
- měřená data (MS Excel)
- frekvenční charakteristika podlah (MS Excel)
- frekvenční charakteristika těles (MS Excel)
- modifikovaný ovládací program panelu v NI LabView