



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická  
Katedra měření**

**Regulace parametrů v modelu obytného  
prostoru pomocí systému HDL**

**Parameters regulation in living space model by  
HDL system**

Diplomová práce

Studijní program: Inteligentní budovy

Vedoucí práce: Ing. Jiří Ullsperger

**Martin Vít**

---

**Praha 2018**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vít** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **406326**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra měření**  
Studijní program: **Inteligentní budovy**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Zhotovení modelu regulovaného obytného prostoru za použití elektroniky značky HDL**

Název diplomové práce anglicky:

**Realization of the model of a regulated living space using HDL brand electronics**

Pokyny pro vypracování:

Použijte fyzický model obytného prostoru zhotovený v rámci předchozího projektu. Osadte jej regulačními prvky a akčními členy tak, aby bylo možné v modelovém prostoru regulovat tyto veličiny: teplotu a to přitápěním i chlazením, stabilní úroveň osvětlení a kvalitu vzduchu. Zjistěte tepelné parametry regulované soustavy. Zaznamenejte odezvy na definovanou "poruchu" regulovaných veličin. Proveďte rozbor odezev, navrhnete a realizujte optimalizaci systému (ať už zásahem do modelu nebo změnou parametrů regulátorů). Proveďte zhodnocení výsledků, m.j. porovnání vlastností modelového prostoru s reálným obytným prostorem.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Merz, H. aj. (2007). Automatizované systémy budov.
- [2] Barták M., Úvod do přenosových jevů pro Inteligentní budovy [elektronicky]. Praha: ČVUT
- [3] Bašta, J.: Hydraulika a řízení otopných soustav. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2003, ISBN 80-01-02808-9.
- [4] Bašta, J.: Otopné plochy. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2001, ISBN 80-01-02365-6

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Jiří Ullsperger, HDL Automation s.r.o.**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **14.02.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání diplomové práce:  
**do konce letního semestru 2018/2019**

Ing. Jiří Ullsperger  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

**20-03-2018**

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne .....

.....

Martin Vít

# **Poděkování**

Děkuji celé své rodině a všem blízkým za podporu duševní i hmotnou a to jak při studiích, tak i v životě vůbec.

Svému vedoucímu diplomové práce rovněž děkuji za cenné rady.

## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá problematikou řízení vybraných fyzikálních veličin v modelovém prostoru. Pro regulaci jsem použil systém HDL kompatibilní s technologií Buspro, Buspro Wireless a KNX. Systém založený na technologii Buspro jsem implementoval do mnou vyrobeného modelu a zajišťoval jsem jím udržení sledovaných hodnot na požadovaných úrovních. V modelovém prostoru jsem pomocí systému udržoval žádanou hodnotu vnitřní teploty, konstantní hladiny osvětlení a detekoval jsem případnou zvýšenou koncentraci znečištění vzduchu. V neposlední řadě jsem měřil odezvy na uměle vytvořenou poruchovou veličinu.

## **Klíčová slova:**

Buspro, Buspro Wireless, KNX, HDL, MaR, domácí automatizace, regulace, inteligentní budova

## **Abstract**

This Master's thesis deals with the problematics of defined physical quantities' regulation in the model space. I used the HDL system for regulation in my work. The HDL system is compatible with the following technologies: Buspro, Buspro Wireless and KNX. I worked with HDL Buspro modules, which I implemented into my model to ensure the steady required levels of the monitored values. The system was used to regulate internal temperature, lighting and air quality in the model space. Finally, I measured the responses to the artificially created fault quantity.

## **Keywords:**

Buspro, Buspro Wireless, KNX, HDL, BMS, home automation, regulation, intelligent building

## Obsah

1	Úvod.....	11
2	Domovní automatizace.....	12
2.1	Popis pojmu .....	12
2.2	Vztah s pojmem „inteligentní budova“ .....	12
2.3	Základní funkce řídicího systému MaR .....	14
2.4	Centralizovaný a decentralizovaný systém .....	15
2.4.1	Centralizovaný systém .....	15
2.4.2	Decentralizovaný systém .....	15
2.5	Porovnání inteligentní a klasické instalace .....	16
3	Regulace .....	17
3.1	Řízení.....	17
3.1.1	Ovládání .....	17
3.1.2	Regulace.....	19
3.2	Regulované soustavy.....	20
3.3	Členění regulátorů .....	21
3.3.1	Nespojité regulátory .....	21
3.3.2	Spojité regulátory.....	21
3.4	Použití spojitých regulátorů .....	24
3.5	Nastavení spojitých regulátorů .....	25
4	Systém HDL.....	27
4.1	Popis systému (Buspro) .....	27
4.1.1	Základní parametry .....	27
4.1.2	Podrobnější specifikace.....	27
4.1.3	CSMA/CD.....	28
4.1.4	Postup stanice při vysílání dat podle algoritmu CSMA/CD .....	28
4.2	Buspro Wireless .....	29



4.3	KNX .....	30
4.3.1	Základní parametry .....	30
4.3.2	Výpočet rychlosti přenosu dat .....	30
4.4	Specifikace použitých prvků HDL Buspro .....	32
4.4.1	HDL-MDLED0605.432.....	32
4.4.2	HDL-MBUS01IP.431.....	32
4.4.3	HDL-MFH06.432.....	33
4.4.4	HDL-MR0810.432.....	33
4.4.5	SB-DN-PS2.4A.....	34
4.4.6	HDL-MPL8.48 .....	34
4.4.7	HDL-MPPI.48 .....	35
4.4.8	HDL-MSP07M.4C.....	35
4.4.9	SB-CMS-LA.....	36
4.4.10	TS/C 1.0.....	36
5	Teplo a klima budovy .....	37
5.1	Přenos tepla .....	37
5.1.1	Vedení .....	37
5.1.2	Proudění.....	37
5.1.3	Sálání.....	38
5.2	Tepelná pohoda .....	39
5.3	Způsoby vytápění .....	42
5.3.1	Převážně konvekční vytápění.....	42
5.3.2	Převážně sálavé vytápění.....	42
5.4	Tepelné chování budovy .....	43
5.4.1	Vzájemné sálání Země a oblohy.....	44
5.4.2	Solární záření dopadající na průsvitné povrchy .....	44
5.4.3	Solární záření dopadající na neprůsvitné povrchy .....	44
6	Regulace v modelovém prostoru.....	46
6.1	Návrh modelu.....	46
6.2	Realizace .....	49

6.3	Fotodokumentace .....	50
6.3.1	Konstrukce modelu – čelní strana.....	50
6.3.2	Boční část modelu – prostor pro panely .....	51
6.3.3	Vnitřní části modelu .....	51
6.3.4	Zadní část modelu .....	52
6.3.5	Modelový prostor .....	53
6.3.6	Konečná podoba modelu .....	53
6.3.7	Zmenšený model pro chlazení .....	54
6.3.8	Model pro chlazení .....	54
6.3.9	Ostatní použité přístroje a součástky.....	55
6.4	Blokové schéma.....	56
6.5	Vybrané moduly HDL.....	57
6.6	Nastavení zařízení v softwaru HDL .....	58
6.6.1	Vyhledání připojených zařízení .....	58
6.6.2	Nastavení modulu MR08.....	59
6.6.3	Nastavení modulu MFH06 .....	60
6.6.4	Nastavení LCD panelu HDL-MPL8 .....	62
6.6.5	Nastavení modulu MDLED06 .....	64
6.6.6	Nastavení senzoru MSP07M .....	65
6.6.7	Nastavení senzoru SB-CMS-LA .....	66
6.7	Analýza měřených údajů.....	67
6.7.1	Nárůst teploty výstupního vzduchu z VZT šachty .....	68
6.7.2	Ohřev modelového prostoru - VZT .....	71
6.7.3	Ohřev modelového prostoru – odporové sálání.....	73
6.7.4	Ohřev modelového prostoru – VZT + sálání .....	76
6.7.5	Chlazení zmenšeného modelového prostoru .....	78
6.7.6	Chlazení modelového prostoru.....	80
6.7.7	Regulace teploty při poruchové veličině větráním prostoru .....	84
6.7.8	Regulace osvětlení .....	89
6.7.9	Detekce znečištění vzduchu .....	91
7	Závěr.....	93

8	Literatura .....	97
9	Seznam zkratk .....	100
10	Přílohy .....	101
10.1	Seznam obrázků .....	101
10.2	Seznam tabulek .....	104
10.3	Seznam volných příloh.....	105



# 1 Úvod

V posledních letech můžeme pozorovat trend implementace různých systémů do budov. Jedná se např. o řízení vnitřní teploty, které pomáhá snižovat náklady na vytápění. Kromě vytápění je však možné řídit a monitorovat i další prvky budovy. Tyto systémy jsou spolu pak propojeny a uživatel k nim může pomocí určitého rozhraní přistupovat (např. přes vizualizaci z dispečinku). U administrativních budov tento způsob kontroly jednotlivých zařízení představuje snížení nákladů na obsluhu, zajišťující správné fungování budovy.

V teoretickém úvodu do problematiky se zmíním o domácí automatizaci, vysvětlím, co znamená pojem domácí automatizace, popíši jednotlivé oblasti domovní automatizace a její výhody.

Dále pojednám o regulaci. Rozeberu jednotlivé způsoby řízení a klasifikuji typy spojitých regulátorů a možnosti jejich použití.

Následující kapitola se bude týkat systému HDL. Popíši základní parametry, specifikace, použité protokoly systému a vybrané moduly, které budu používat při regulaci.

Vzhledem k tomu, že se podstatná část měření bude týkat zajišťování určité vnitřní teploty modelového prostoru, zařadím na závěr teoretické části kapitolu týkající se přenosu tepla, tepelné pohody a vztahu solární radiace s vnitřním prostředím budovy.

Předmětem praktické části diplomové práce bude zhotovení modelu, výběr a oživení HDL modulů a následná implementace systému do vytvořeného modelu. Systém HDL pak bude po správné konfiguraci zajišťovat řízení vybraných akčních prvků v modelovém prostoru a regulovat vybrané fyzikální veličiny na žádanou hodnotu.

Do regulovaného prostoru umístím digitální čidlo teploty, senzor kvality ovzduší a sdružené čidlo s funkcí udržování konstantní hladiny osvětlení. Sensory budou propojeny sběrníci s moduly HDL, kde bude docházet k vyhodnocování údajů.

Ohřev a chlazení realizuji pomocí odporů a Peltierových článků. Osvětlení vyřeším použitím dvou stmívatelných LED (Light Emitting Diode) žárovek a znečištění budu testovat hořící vonnou tyčinkou zapálenou v modelovém prostoru.

## 2 Domovní automatizace

### 2.1 Popis pojmu

Automatizační a řídicí systém (BACS) budov přizpůsobuje a integruje z informačně-technického hlediska jednotlivá zařízení budov do jednoho celku a umožňuje jejich centrální monitorování a řízení počítačem na úrovni managementu. [1, s. 12; 23]

### 2.2 Vztah s pojmem „inteligentní budova“

Moderně vybavená budova z pohledu řízení budovy (někdy označováno jako tzv. "Inteligentní budova") je jeden komplexní integrovaný celek, ve kterém jsou systémy propojeny do jedné komunikační/vizualizační platformy a řízené technologie jsou schopny spolu vzájemně komunikovat. Srdcem budovy je zcela jednoznačně řídicí systém nazývaný MaR. [2, s. 34; 23]

Provoz inteligentní budovy zajišťuje řada systémů:

- Řízení vytápění
- Chlazení a vzduchotechnika
- Řízení osvětlení
- Řízení energetické soustavy budovy včetně náhradních zdrojů
- Řízení přídatných komfortních zařízení (žaluzie, dveře, garážové vrata, okna, atd.)
- Řízení výtahů
- Požární signalizace (EPS)
- Zabezpečovací systémy (PTZS)
- Přístupový systém
- Uzavřený televizní okruh
- Případně další systémy [2, s. 34; 23]

obr. 1 Automatizované systémy v inteligentní budově



[3]

Technologie v budovách je dále možné rozdělit na 3 skupiny, které je následně možné řídit a dohlížet na jejich stav pomocí vizualizační stanice:

- událostní systémy – reakce na vnější události, data jsou typicky ukládána do historie (jedná se např. o PTZS, EPS)
- spojitě systémy – trvalé zajištění žádaných podmínek v budově (TUV<sup>1</sup>, HVAC<sup>2</sup>)
- inteligentní elektroinstalace – náhrada klasické silové elektroinstalace (světelné, zásuvkové a spotřebičové obvody)

[2, s. 36; 23]

---

<sup>1</sup> Teplá užitková voda.

<sup>2</sup> Vytápění, větrání a chlazení.

## 2.3 Základní funkce řídicího systému MaR<sup>3</sup>

- řízení připojených akčních členů (např. uzavírání ventilů, klapek)
- sběr dat o stavu řízených technologií  
(např. polohy ventilů)
- snímání fyzikálních hodnot pomocí připojených senzorů/snímačů  
(jako např. teploty, tlaku)
- měření odchylek hodnot, regulace (např. porovnání skutečné a požadované teploty v místnosti)
- provádění výkonných povelů řízeným technologiím (např. jako reakce na neočekávané provozní stavy)
- sběr dat a trendů různých hodnot různého typu (např. pro následné analýzy a manažerská rozhodnutí)
- zajištění řízení technologií ve stejném čase (hodnota času pro různé technologie je stejná)
- přenos dat do jiných systémů (např. integrace řízení osvětlení, žaluzií, výtahů, přístupových systémů)
- archivace dat a vizualizace pro obsluhu (což je zejména funkce tzv. řídicí centrály)

[2, s. 35; 23]

---

<sup>3</sup> Měření a regulace.

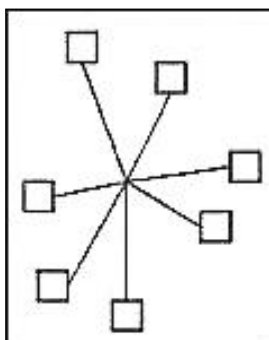


## 2.4 Centralizovaný a decentralizovaný systém

### 2.4.1 Centralizovaný systém

Veškerá komunikace probíhá přes centrální jednotku. Senzory a aktory u centralizovaného systému jsou propojeny hvězdicově. Toto zapojení se používá často v kombinaci s PLC<sup>4</sup>. Všechny vstupy a výstupy jsou zapojeny do PLC jednotky, ve které je nahraný algoritmus zpracovávající přijímané informace.

**obr. 2 Hvězdicová topologie**



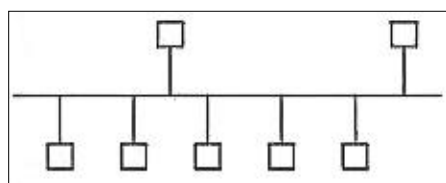
[1, s. 50]

Centralizovaný způsob se používá déle v porovnání s distribuovanými systémy a u rozsahově menších zakázek může vycházet finančně výhodněji. [1, 23]

### 2.4.2 Decentralizovaný systém

U decentralizovaného systému jsou použité moduly mezi sebou propojeny do liniového schématu. Každý modul obsahuje samostatnou řídicí jednotku.

**obr. 3 Liniová topologie**



[1, s. 49]

Distribuované systémy nejsou závislé na centrální jednotce, takže při výpadku jednoho modulu mohou další automatizované oblasti v budově dále fungovat. U větších zakázek je instalace rychlejší a ušetří se na použité kabeláži. [1, 23]

---

<sup>4</sup> Programovatelný logický automat.

## 2.5 Porovnání inteligentní a klasické instalace

Pro zakázky většího rozsahu převažují jednoznačné výhody inteligentní elektroinstalace a to především jednodušší a rychlejší instalace rozvodů a úspora na kabeláži. Rozvody jsou také oproti klasické instalaci přehlednější a dodatečné úpravy je možné provést rychleji.

U klasické elektroinstalace jsou vysoké náklady při dodatečném rozšiřování a jakékoliv úpravy jsou i časově náročnější. Pro menší objekty (byty a menší rodinné domy) jsou však u klasických rozvodů ve srovnání s inteligentní instalací nižší pořizovací náklady. Je tedy nutné zvážit, zda budeme v budoucnu instalaci rozšiřovat, popř. jaké budeme mít nároky na fungování budovy. <sup>[23]</sup>

## 3 Regulace

### 3.1 Řízení

*„Regulace a ovládání jsou obvyklé způsoby řízení pochodů a procesů v technických zařízeních, kterými se významně ovlivňuje jejich funkčnost, využitelnost i užitná hodnota. S pomocí přístrojů, které je obvykle třeba přidat k danému zařízení označovanému obecně jako **řízený objekt**, se zajišťuje potřebné nastavení funkčních operací (např. vykonání v požadovaném sledu při splnění určitých logických podmínek) nebo požadovaném nastavení a udržení provozního stavu sledováním vybraných fyzikálních (procesních) veličin (např. teploty, tlaku, rychlosti) nebo technických parametrů (práce, výkonu, krouticího momentu apod.).“*

[4, s. 10]

Informace z vnějšího světa jsou zaznamenány pomocí senzorů a následně převedeny na analogový či digitální signál. Signál může představovat určitý standardizovaný rozsah fyzikálních veličin jako je např. elektrický proud nebo napětí. Typické rozsahy, se kterými je možné se setkat, jsou např. 0-10 V nebo 0-20 mA.

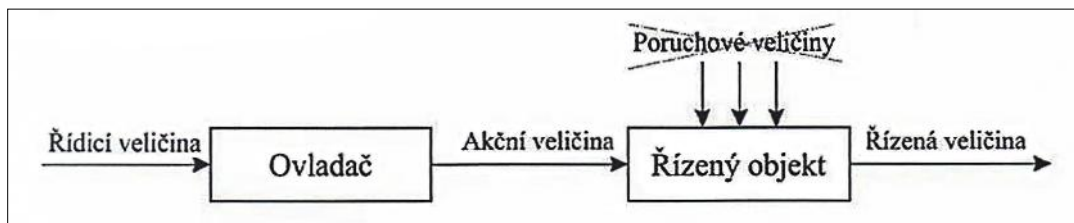
Signály lze dělit na vstupní a výstupní. Vstupním signálem může být např. získaná informace o prostorové teplotě. Výstupním signálem je např. již zmíněný napěťový rozsah 0-10 V pro řízení akčních členů (čerpadlo, ventil aj.). [4, s. 11]

#### 3.1.1 Ovládání

Ovládání je jeden z typů řízení, kdy můžeme mít jednu nebo i více vstupních a výstupních proměnných. Vstupní veličiny mají při ovládání vliv na veličiny výstupní. Kvůli otevřenému obvodu (bez zpětné vazby) však již nemáme zajištěnou zpětnou korekci vstupní veličiny v závislosti na změnu výstupní veličiny.

Tohoto typu řízení se využívá u aplikací ovládaných manuálně obsluhou (např. při najíždění a odstavování strojů z pracovního režimu), dále pak u dvoustavových systémů typu zapnuto-vypnuto. Příkladem může být sepnutí světel časovým relé. Vstupní veličinou je v tomto případě čas, relé dvoustavově spíná osvětlení (výstupní veličinu). Intenzita osvětlení však již zpětně neovlivňuje čas zapnutí popř. vypnutí.

obr. 4 Otevřený řídicí obvod



[4]

Na obr. 4 je znázorněné blokové schéma otevřeného řídicího obvodu. Jak jsem již zmínil, ovládání se vyznačuje neexistující zpětnou vazbou v obvodu. Nedochozí tedy ke kontrole, zda jsme dosáhli požadované hodnoty a řídicí veličina není ovlivňována řízenou veličinou ani poruchovými veličinami.

Výhoda ovládání je v jeho stabilitě. Ovládání nemůže být nestabilní, když je stabilní řízený objekt (právě kvůli principu otevřeného obvodu).

Nevýhoda ovládání je v nemožnosti odstranění poruchových veličin, které působí při řízení negativně, protože do systému zanáší chybu. Ve vytápěném obytném prostoru se jedná např. o venkovní teplotu popř. intenzitu slunečního záření.

Poruchové veličiny mají nepříznivý vliv na řídicí zásah. Použití ovládání má tedy smysl pouze v případě, kdy se s poruchovými veličinami dopředu počítá (jsou stanovené a jejich vliv je potlačený), nebo je jejich vliv na řízení zanedbatelný.

Na blokovém schématu otevřeného řídicího obvodu jsou dále znázorněné dva přístroje pracující se vstupními a výstupními signály a to ovladač (řídicí objekt) a řízený objekt. Jako vstupní signál přijímá ovladač *řídicí veličinu*, kterou je v případě ovládání teploty v místnosti sepnutím časového relé stykače u oběhového čerpadla čas. Ovladačem je v tomto případě časové relé (spínací hodiny), které posílá výstupní *elektrický signál* jako *akční veličinu* pro sepnutí stykače oběhového čerpadla (řízeného objektu). *Řízenou veličinou* (výstupní veličinou čerpadla) jsou pak *otáčky čerpadla*, které jsou závislé na řízené veličině (času).

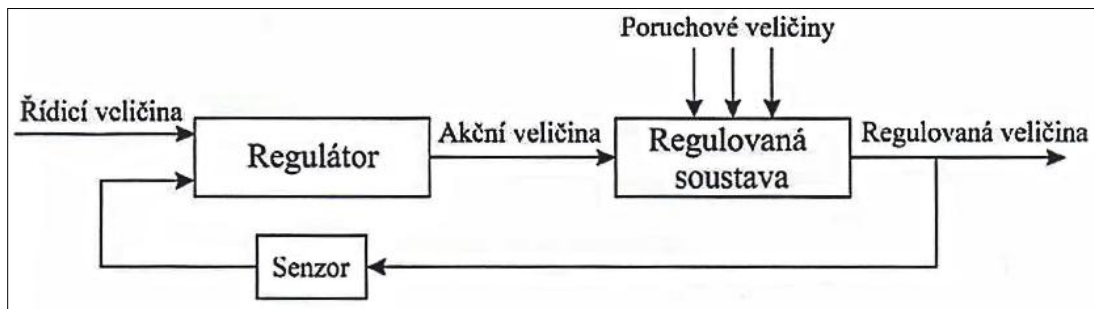
Při procesu ovládání je tedy řízená veličina závislá na veličině řídicí a v obvodu chybí zpětná vazba. [4, 5, 6]

### 3.1.2 Regulace

Při srovnání s ovládáním je regulace vyšší forma řízení. Regulace se od ovládání liší uzavřeným řídicím obvodem, ve kterém dochází díky zpětné vazbě ke korekci řídicí veličiny v závislosti na poruchách vnesených do systému.

Možnost významného potlačení poruchových veličin je výhodou a důvodem použití regulace v případech, kde by poruchové veličiny neměly nezanedbatelný vliv na regulovanou veličinu. [4, 5, 6]

obr. 5 Uzavřený řídicí obvod



[4]

Na obr. 5 je znázorněné blokové schéma regulačního obvodu. V obvodu jsou tři prvky soustavy: regulátor, regulovaná soustava a senzor.

Princip regulačního obvodu lze uvést na příkladu udržování konstantní hladiny osvětlení v obytném prostoru. Regulátor může být např. modul zajišťující stmívání osvětlovací soustavy. Do regulátoru vstupuje *řídicí veličina*, tedy *žádaná hodnota intenzity osvětlení v prostoru* a aktuální *měřená hodnota intenzity osvětlení* prostoru ze senzoru umístěném v regulované místnosti. Rozdíl žádané a naměřené hodnoty tvoří *regulační odchylku*. Regulační odchylka vzniká kvůli poruchovým veličinám, které do systému zanášejí chyby (popř. při změně žádané hodnoty). V uvedeném příkladu jsou poruchovými veličinami intenzita přirozeného osvětlení i intenzita umělého osvětlení (jiného než z regulované osvětlovací soustavy).

Cílem regulačního obvodu je eliminovat regulační odchylku, nebo alespoň ji co nejvíce potlačit, tak aby se aktuální hodnota ustálila co nejbližší hodnotě žádané. Na základě velikosti regulační odchylky posílá regulátor (modul pro stmívání) do regulované soustavy (stmívatelného osvětlení) *akční veličinu*, kterou představuje určitá hodnota *elektrického napětí*. Tím dochází ke korekci *regulované veličiny – intenzity osvětlení v místnosti*.

## 3.2 Regulované soustavy

Pro regulaci soustavy je důležité zhodnocení statických a dynamických vlastností.

V případě, že se při akčním zásahu nedokáže soustava ustálit na nové hodnotě samovolně je označována jako astatická. Když se soustava dokáže na nové hodnotě ustálit (tedy regulovaná veličina je v čase neměnná), soustavu označujeme jako statickou.

Pro posouzení dynamického chování soustav, především tepelně-technických zařízení se často používají přechodové charakteristiky, které nám charakterizují odezvy na skokové změny vstupních veličin.

*„Skoková změna je časová změna jednoho vstupu z výchozí ustálené rovnovážné hodnoty na jinou konstantní hodnotu.“* [4, s. 16]

Z přechodové charakteristiky je možné určit časovou konstantu. Časová konstanta  $\tau$  je dynamickým parametrem, který určuje rychlost reakce soustavy na změnu vstupů (žádané hodnoty a poruchy). Za dobu jedné časové konstanty dojde u soustav 1. řádu k ustálení systému na hodnotě 63 %. Za technické ustálení soustavy se považuje ustálení po době  $3\tau$  na hodnotě 95 %. Ze zjištěné časové konstanty pak můžeme vyvozovat požadavky na dynamiku použitých komponent v regulačním obvodu.

V případě, že je změna regulované veličiny při akčním zásahu zpožděná mluvíme o regulovaných soustavách s dopravním zpožděním. [4]

## 3.3 Členění regulátorů

Regulátory je možné rozdělit na spojité a nespojité podle průběhu akční veličiny v závislosti na vzniklou regulační odchylku.

### 3.3.1 Nespojité regulátory

Nespojité regulátory jsou typické skokovou změnou akční veličiny, která vyvolá pohyb regulované veličiny v určitém provozním rozsahu kolem žádané hodnoty. Nespojité regulátory mohou mít dva nebo i více stavů, mezi kterými přepínají (akční veličina může u nespojitých regulátorů nabývat pouze omezeného množství hodnot, podle toho, kolik stupňů má daný regulátor). Regulace oproti spojitým regulátorům není plynulá a dochází při ní ke kmitání regulované veličiny kolem žádané hodnoty. <sup>[4]</sup>

### 3.3.2 Spojité regulátory

Spojité regulátory reagují při vzniku regulační odchylky okamžitou a plynulou změnou akční veličiny. Akční veličina může ve spojitém čase nabývat neomezeného množství hodnot. U spojitých regulátorů je možné dosáhnout přesnějšího přiblížení žádané hodnotě oproti regulátorům nespojitým<sup>[4]</sup>

#### P-regulátor

*„Proporcionální regulátor (regulační algoritmus) generuje změny akční veličiny (přírůstky  $\Delta y$  přímo úměrné velikosti regulační odchylky  $e$ , tzn., že přírůstky akční veličiny  $\Delta y$  jsou proporcí regulační odchylky  $e$ .“ <sup>[4, s. 29]</sup>*

Jinak řečeno, každé výstupní proměnné (akční veličině) přiřadí regulátor přímo úměrnou hodnotu v závislosti na hodnotě vstupní (řídící) resp. regulační odchylce.

Dalo by se říci, že regulátor funguje jako zesilovač. V případě poklesu regulované hodnoty dojde k nárůstu akční veličiny. Tento nárůst je dán velikostí zesílení, kterou můžeme nastavit parametrem regulátoru. Při zvyšování zesílení docílíme rychlejší regulace za cenu snížení stability. K tomuto faktu je tedy při nastavování regulátoru nutné přihlídnout, abychom dosáhli vyvážení mezi rychlostí a stabilitou regulace.

Zesílení je možné popsat následující rovnicí:  $K_p = \frac{\Delta y}{\Delta e}$ , kde  $\Delta y$  je změna akční veličiny a  $\Delta e$  je změna regulační odchylky.

Pro proporcionální regulátor je charakteristická trvalá regulační odchylka, kterou je možné odstranit použitím P-regulátoru v součinnosti s I-regulátorem.

## I-regulátor

Funkci integračního regulátoru lze popsat rovnicí:  $y(t) = y_0 + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau$ , kde  $y_0$  je počáteční hodnota akční veličiny,  $K_I$  je integrační konstanta určující rychlost regulace a  $e$  je regulační odchylka.

Zřetelnější popis funkce I-regulátoru lze získat derivací výše uvedené rovnice. Pak dostaneme následující tvar rovnice:  $y'(t) = K_I e(t)$ . Rovnice říká, že rychlost změny akční veličiny I-regulátoru je přímo úměrná rychlosti změny regulační odchylky ve stejném čase.

Přínos I-regulátoru spočívá v jeho schopnosti eliminovat regulační odchylku a svoji činnost regulátor neskončí do doby, než bude regulační odchylka nulová. Z toho důvodu se často používá ve spojení s P-regulátorem, který při své činnosti vytváří konstantní regulační odchylku. [4]

## D-regulátor

Jde o teoretický regulátor, který může být pouze součástí nějakého jiného regulátoru. Výstup derivačního regulátoru bude nulový v případě konstantní regulační odchylky. Pouze ve chvíli, kdy se bude odchylka měnit, bude docházet k zásahu regulátoru do řízení. Derivační regulátor tedy není schopný provést regulační zásah na základě velikosti regulační odchylky, ale pouze na velikosti změny regulační odchylky v čase. Z toho plyne, že bude mít regulátor vliv pouze na dynamickou část přechodové charakteristiky a bude tedy přispívat ke zvýšení rychlosti regulace.

Ve sdružených regulátorech se pak objevuje derivační časová konstanta, která je daná vzorcem:  $T_D = \frac{K_P}{K_D}$ , kde  $T_D$  je derivační časová konstanta,  $K_P$  je proporcionální konstanta a  $K_D$  je derivační konstanta. [4, 5]

## PI-regulátor

PI-regulátor zajišťuje rychlou regulaci na žádanou hodnotu pomocí integrační složky (eliminací regulační odchylky) a rovněž i rychlou reakci na poruchové veličiny popř. na změnu žádané hodnoty pomocí proporcionální složky regulátoru. Blokové schéma regulátoru je možné si představit jako paralelně spojený proporcionální a integrační blok.

U PI-regulátoru je nastavitelným parametrem zesílení a integrační časová konstanta.

Pro integrační časovou konstantu platí vzorec:  $T_I = \frac{K_P}{K_I}$ , kde  $T_I$  je integrační časová konstanta,  $K_P$  je proporcionální konstanta a  $K_I$  je integrační konstanta. [4, 5]

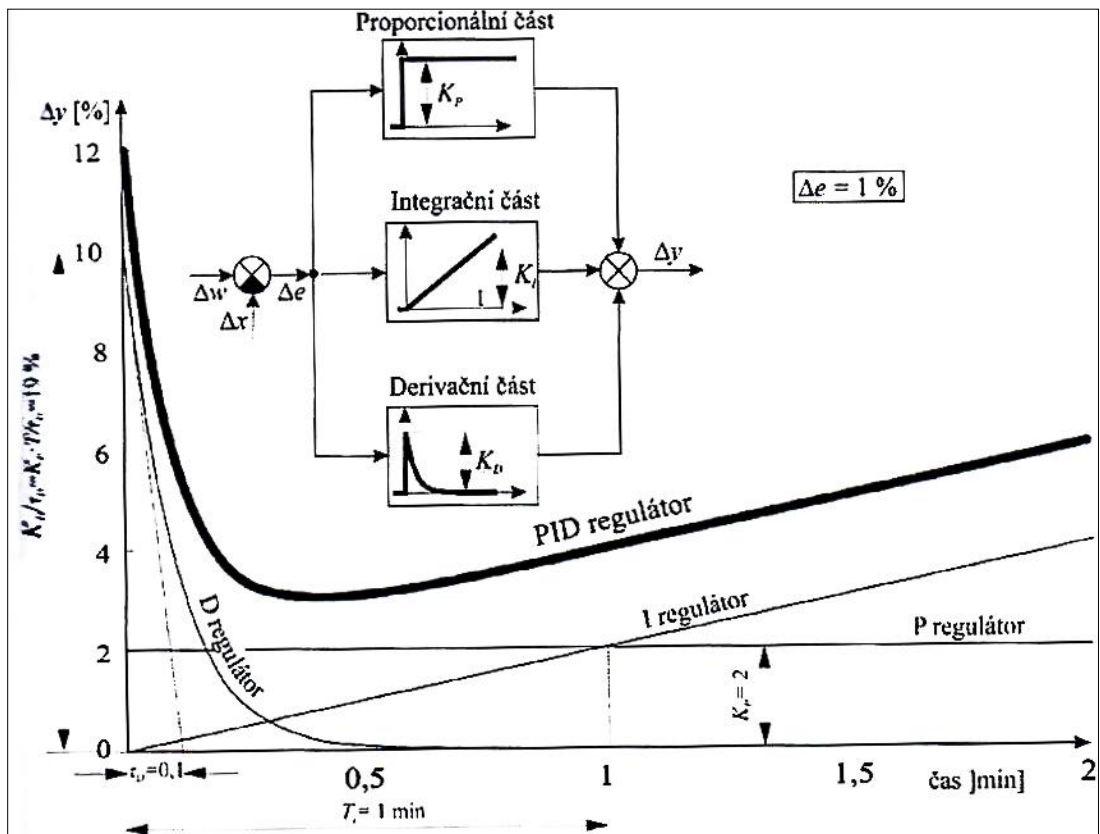


## PID-regulátor

PID-regulátor je sružený regulátor složený z proporcionálního, integračního a derivačního regulátoru. V blokovém uspořádání jsou regulátory v paralelním zapojení.

Výhodou PID-regulátoru je rychlejší změna akční veličiny při vzniku regulační odchylky oproti PI-regulátoru. [5]

obr. 6 Přečtová charakteristika PID regulátoru



[4]

Na obr. 6 je znázorněná přečtová charakteristika PID-regulátoru a blokové schéma paralelně řazených jednotlivých regulátorů.

Na vznik regulační odchylky reaguje nejprve D-regulátor rychlým nárůstem akční veličiny, následně P-regulátor zabrání zpětnému poklesu výstupní veličiny a poté je požadované hodnoty dosaženo pomocí I-regulátoru.

Pro rychlé fungování regulátoru je nutné správně nastavit parametry, kterými jsou: zesílení, integrační časová konstanta a derivační časová konstanta.

## 3.4 Použití spojitých regulátorů

### P-regulátor

Proporcionální regulátor pracuje s trvalou regulační odchylkou. Jeho použití se volí pro nenáročné aplikace. Vhodný je v soustavách, které mají poměrně velkou setrvačnost. V těchto soustavách je možné nastavit velký parametr zesílení a nehrozí nestabilita. Naopak se příliš nehodí pro regulace soustav vyšších řádů, kde dochází k překmitům. Přesnost regulace pak závisí na nastavení zesílení. S rostoucím zesílením je regulace citlivější a rychlejší, ale méně stabilní.

### I-regulátor

Integrační regulátor eliminuje regulační odchylku. Regulátor není schopný rychle odstraňovat poruchové veličiny, hodí se tedy spíše pro regulaci statických soustav. Při zvýšení parametru integrační konstanty je možné urychlit proces snížení regulační odchylky.

### PD-regulátor

PD-regulátor je možné použít pro stejné typy regulací, ve kterých bychom použili P-regulátor. Výhodou PD-regulátoru je rychlejší reakce na vznik regulační odchylky díky derivační složce. Při vhodně zvolené derivační časové konstantě je možné docílit snížení řádu regulované soustavy a tím přispět ke zvýšení stability regulace. Regulátor však stále pracuje s určitou regulační odchylkou.

### PI-regulátor

Stejně jako P-regulátor je i PI-regulátor často používaný (především ve vzduchotechnice). Výhodou regulátoru je jeho schopnost odstraňovat chyby vstupující do soustavy díky proporcionální složce a zároveň docílit eliminace regulační odchylky integrační složkou regulátoru. Hodí se pro regulaci kmitavých soustav. S rostoucím řádem je třeba zvyšovat integrační časovou konstantu popř. snížit zesílení.

### PID-regulátor

PID-regulátor je možné použít v aplikacích, ve kterých je vhodné použití PI-regulátoru. Předností PID-regulátoru je tlumení rychlých překmitů regulované veličiny a dále také rychlejší reakce na vzniklou regulační odchylku způsobenou změnou žádané hodnoty popř. zanesenou poruchovou veličinou do regulační soustavy. Tento regulátor je spolu s PI-regulátorem zdaleka nejpoužívanější.

[4, s. 41-43]

### 3.5 Nastavení spojitých regulátorů

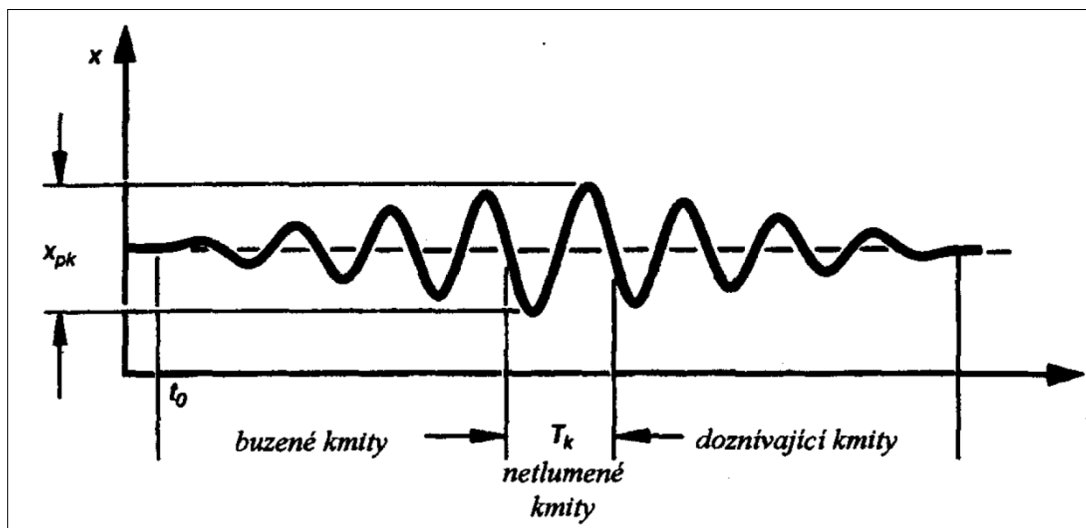
Pro nastavení spojitých regulátorů existuje několik praktických metod. Nejznámější metodou je nastavení regulátorů podle Zieglera a Nicholse. Parametry regulátoru je pak nejlepší nastavovat při provozu s regulovanou soustavou. <sup>[4]</sup>

#### Nastavení regulátorů podle Zieglera a Nicholse

Jednotlivé kroky nastavení spojitého regulátoru:

- nastavovat začínáme regulátor jako proporcionální, tedy s vyřazenou derivační složkou (derivační časová konstanta  $T_D = 0$ ) a integrační složkou (integrační časová konstanta  $T_I = \infty$ )
- následně zvětšujeme pásmo proporcionality  $x_{pk}$  do doby přechodu na netlumené kmitání
- v okamžiku, kdy regulace přejde do stavu netlumeného kmitání, zjistíme hodnoty parametrů kritického pásma proporcionality  $x_{pk}$  a kritické doby kmitu  $T_k$  náležící netlumenému kmitání
- nakonec regulátor nastavíme podle uvedené tab. 1 <sup>[5]</sup>

obr. 7 Určení kritického pásma proporcionality a kritické doby kmitu



[5]

tab. 1 Nastavení parametrů regulátorů podle Zieglera a Nicholse

regulátor	$x_p$	$T_n$	$T_v$
P	$2 x_{pk}$	-	-
PI	$2,2 x_{pk}$	$0,85 T_k$	-
PID	$1,6 x_{pk}$	$0,5 T_k$	$0,12 T_k$

[5]

V případě nastavení PD-regulátoru podle Zieglera a Nicholse postupujeme stejně jako v již popsaném postupu nastavení P-regulátoru, PI-regulátoru a PID-regulátoru. Kritické pásmo proporcionality  $x_{pk}$  nastavíme zkusmo a následně nastavíme derivační časovou konstantu na hodnotu  $T_D = 0.12 \cdot T_k$ .

V případě nastavení I-regulátoru je nejprve třeba postupně zmenšovat integrační časovou konstantu  $T_I$  až do chvíle rozkmitání obvodu. Při rozkmitání obvodu zjistíme hodnotu kritické doby kmitu  $T_k$ . Ideální nastavení I-regulátoru pak odpovídá hodnotě integrační časové konstanty  $T_I = 2 \cdot T_k$ .<sup>[4]</sup>

## 4 Systém HDL

### 4.1 Popis systému (Buspro)

#### 4.1.1 Základní parametry

- přenosová rychlost: 9600 Bd
- maximální délka sběrnice pro zajištění přenosové rychlost: 1200 m
- napájecí napětí na sběrnici: 24 V DC<sup>5</sup>

#### 4.1.2 Podrobnější specifikace

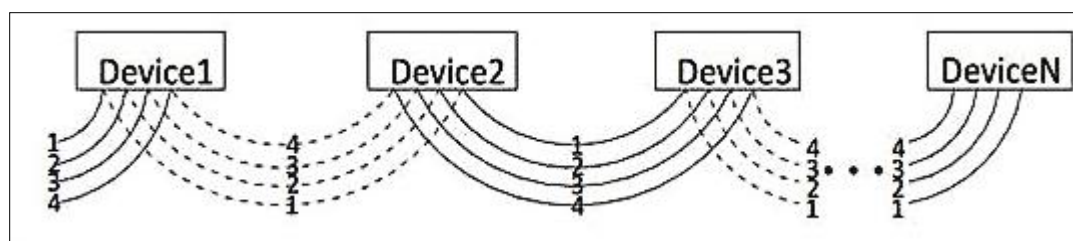
HDL moduly fungují na principu distribuovaného systému. Každý z modulů v sobě tedy obsahuje programovatelnou jednotku a samotné moduly jsou mezi sebou propojené sběrnicovým kabelem KNX<sup>6</sup> nebo ethernetovým kabelem CAT5<sup>7</sup> (popř. vyšší standard).

Sběrnice Buspro obsahuje dva páry kroucené dvojlinky. Po jednom páru se přenáší GND<sup>8</sup> a napájení, druhý pár je datový s potenciály D+ a D-.

Na jednu větev je možné umístit až 64 účastníků a mezi sebou je možné spojit až 255 větví. Při adresaci se jako první uvádí číslo podsítě (tedy 0-254), druhé číslo pak identifikuje použité zařízení, které může mít číslo v rozsahu 0-63.

Při zapojování modulů je třeba dbát na správné topologické zapojení. Moduly se doporučuje zapojovat za sebou do kaskády, popř. je možné použít i hvězdicovou topologii, která instalaci omezuje v maximální použitelné délce sběrnice (odrazy na vedení způsobují šum, který může u dlouhé instalace způsobit ztrátu komunikace). Zapojení do kruhové topologie je zakázané, kvůli zacyklení příkazů a následnému zahlcení komunikace. [7, 23]

obr. 8 Zapojení do kaskádní topologie



[7, 23]

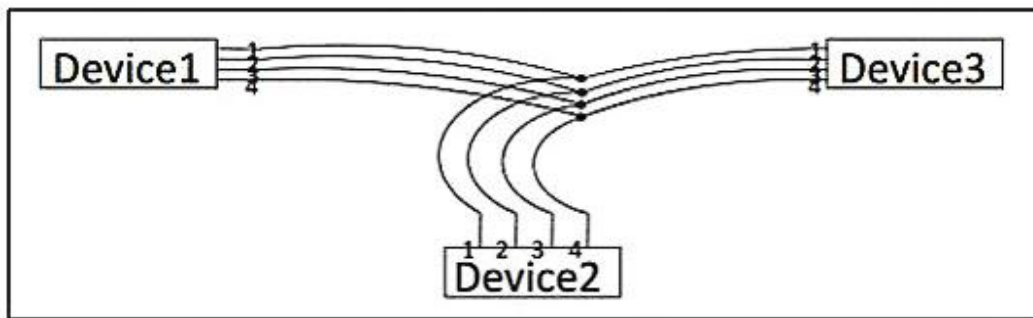
<sup>5</sup> Direct Current

<sup>6</sup> Konex Networks

<sup>7</sup> Standart kabelu pro přenos signálu kroucenou dvojlinkou

<sup>8</sup> Ground

obr. 9 Zapojení do hvězdicové topologie



[7, 23]

Při výběru zdroje je třeba uvažovat napěťový úbytek na jednotlivých modulech a dále pak na samotné sběrnici. V případě, že se napětí dostane pod doporučené hodnoty 15 V pro moduly s relé a 8 V pro ostatní prvky instalace, je třeba přidat další zdroj. Mimo napěťové kritérium nesmí být proudový odběr všech použitých modulů vyšší než je hodnota uvedená ve specifikacích (podle vybraného zdroje 750 mA, nebo 2.4 A). [7, 23]

Technologie Buspro kromě metalické sběrnice ještě nabízí bezdrátový přenos ve verzi Wireless.

#### 4.1.3 CSMA/CD<sup>9</sup>

Přístup ke sběrnici je řešen protokolem CSMA/CD. Protokol v případě kolize zastaví vysílání datového rámce, proto je metoda efektivnější v porovnání s protokolem CSMA, který kolize nezjišťoval, a tak docházelo k odovysílání celého rámce i přesto, že došlo ke kolizi. [9, 23]

#### 4.1.4 Postup stanice při vysílání dat podle algoritmu CSMA/CD

- Stanice zjistí, zda je sběrnice volná, když volná je, začne vysílat. V případě, že je sběrnice obsazená, stanice čeká na uvolnění.
- V době vysílání stanice zjišťuje, zda je jediná, kdo vysílá. V případě, že zjistí vysílání i od jiné stanice, tak došlo ke kolizi. Stanice vyše signál o kolizi a přestane vysílat. Následně čeká stanovenou dobu a pokus o vysílání opakuje.
- Před pokusem o nové vysílání stanice náhodně zvolí číslo mezi 0 a  $2^k$ , kde „k“ je číslo počtu opakovaného pokusu o vyslání dat (max. počet pokusů o vyslání dat je 16). Podle vybraného čísla pak čeká danou dobu před zahájením opakovaného pokusu o vysílání. [9,23]

<sup>9</sup> Carrier Sense Multiple Access with Detection

## 4.2 Buspro Wireless

Buspro Wireless je založený na protokolu Z-Wave.

Z-Wave je bezdrátový protokol, pracující v Evropě na frekvenci 868.42 MHz <sup>[29]</sup>, používaný především v rámci domácí automatizace. Každá Z-Wave síť i každé zařízení v síti má své ID. Zařízení v jiných sítích mezi sebou nemohou komunikovat.

Výhoda protokolu Z-Wave v porovnání s Wifi jsou menší nároky na energii. Oproti konkurenčnímu ZigBee má Z-Wave delší dosah, ale nižší přenosovou rychlost. <sup>[10, 23]</sup>

Každý bezdrátový modul funguje jako vysílač i přijímač zároveň, díky tzv. mesh síti je docíleno zvýšeného dosahu sítě. Dosah je závislý na počtu zřetězených modulů do dálky. Může se jednat o stovky metrů. Přitom dosah jednotlivých modulů se pohybuje kolem 20 m. Akční členy jsou pak napájeny 230 V AC<sup>10</sup> přímo u spotřebiče.

Další výhodou mesh sítě je zastupitelnost jednotlivých modulů. Když jeden prvek ze sítě vypadne, je možné ho nahradit jiným modulem v jeho blízkosti a dosah sítě zůstává zachován (při rozumně volených vzdálenostech mezi jednotlivými prvky sítě). Dalšími výhodami jsou nižší pořizovací i provozní náklady a také úspora pásma (oproti jiným sítím je spojení mezi prvky realizováno jen při přenosu, ne po celou dobu existence zapojení prvků v síti). <sup>[8, 10, 23]</sup>

Bezdrátovou síť je možné používat samostatně nebo ji kombinovat s drátovou technologií Buspro. V případě, že je v síti překročen doporučený počet bezdrátových prvků (přibližně 40), je možné přidat další Wireless segment nastavený na jiném rádiovém kanálu, popř. lze propojit kabelovou a bezdrátovou část sítě. <sup>[7, 23]</sup>

---

<sup>10</sup> Alternating Current

## 4.3 KNX

### 4.3.1 Základní parametry

- přenosová rychlost kroucené dvojlinky: 9600 Bd
- maximální délka sítě: 1000 m
- maximální délka mezi připojenými moduly: 700 m
- max. délka mezi zdrojem a modulem: 350 m
- min. délka mezi dvěma zdroji: 200 m
- napájení: jmenovité 24 V DC (min. 21 V, max. 30 V) <sup>[23]</sup>

### 4.3.2 Výpočet rychlosti přenosu dat

$$v_{bit} = \frac{1}{T} = \frac{1 \text{ [bit]}}{104 \text{ [\mu s]}} \approx 9615 \frac{\text{bit}}{\text{s}} \approx 9615 \text{ Bd}$$

[1, s. 81; 23]

- $v_{bit}$  je propustnost [bit/s]
- $T$  je doba na přenesení 1 bitu [s]

Stejně jako u technologie Buspro se jedná o decentralizovaný systém. Sběrnice je u HDL modulů realizovaná kroucenou dvojlinkou. Doporučuje se použití stíněného kabelu YCYM 2x2x0.8 (dva páry kroucené dvojlinky o průměru 0.8 mm). Kromě toho umožňuje standard KNX využít k přenosu informací další 3 způsoby: Ethernet, silovou síť (230 V) a rádiový signál.

Prvky je možné zapojovat do tzv. linií, do jedné linie je možné zapojit 64 modulů.

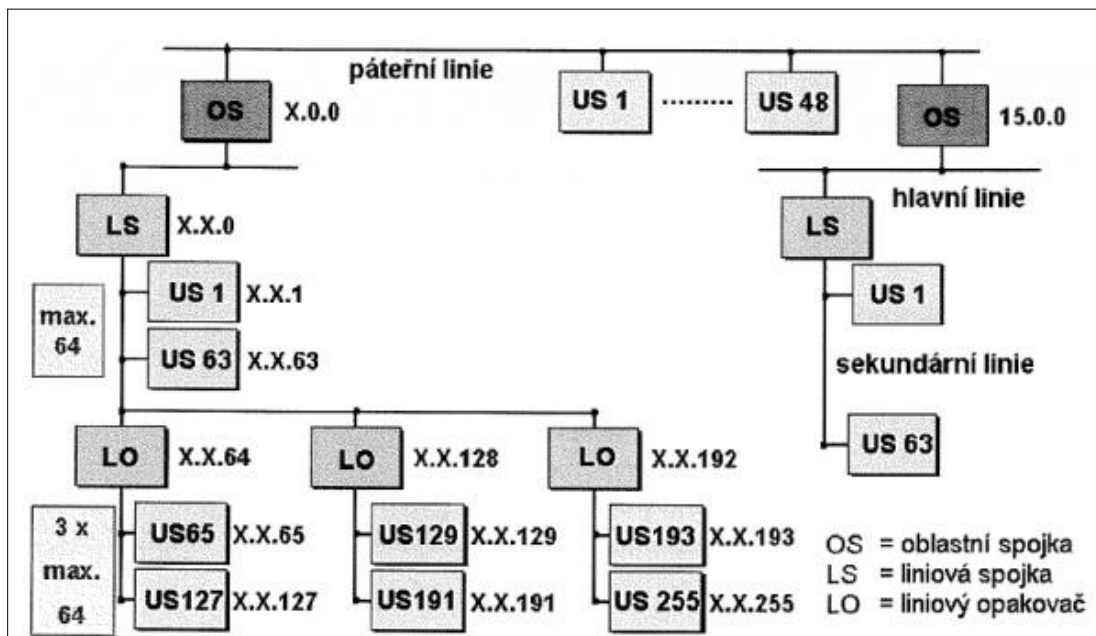
Použitím liniových opakovačů lze vytvářet liniové segmenty (v jednom segmentu může být použito max. 3 opakovačů a tedy zapojeno až 255 modulů).

Při potřebě dalšího rozšíření topologie je možné použít liniovou spojku, která slouží k propojení hlavní linie s vedlejšími liniemi. Takto je možné na hlavní linii připojit až 15 vedlejších linií. Na hlavní linii není možné použít opakovač, proto může být na hlavní linii připojeno maximálně 64 prvků.

Hlavní linii je nadřazená oblast. Pomocí oblastních spojek je možné připojit k páteřní linii až 15 oblastí. <sup>[11, 23]</sup>



obr. 10 Topologie sítě KNX



[12, 23]

K adresaci se většinou využívá tříúrovňová varianta adresy např. 1/5/35. První hodnota v adrese udává oblast, druhé číslo představuje linii a poslední hodnota označuje samotné zařízení.

## 4.4 Specifikace použitých prvků HDL Buspro

Pro regulaci modelového prostoru jsem vybral následující moduly a čidla.

### 4.4.1 HDL-MDLED0605.432

obr. 11 Modul pro stmívání LED



[13, 23]

- 6 kanálů pro stmívání LED, každý kanál má tlačítko pro manuální ovládání
- max. proud na kanál 8 A
- PWM (Pulse Width Modulation) výstup
- funkce scén a sekvencí

Popis:

„Modul stmívače LED 6 kanálů x 5 A na DIN lištu, připojení na sběrnici Buspro, možno připojit 6 LED světelných okruhů s napětím 12-30 VDC a odběrem do 5 A, PWM regulace každého kanálu zvlášť, nastavení scén a sekvencí, nastavitelnost dolního a horního limitu u každého kanálu, obnovení předchozí scény nebo aktivace jiné definované scény, vyžaduje externí napájecí zdroj.“ [26, s. 1]

### 4.4.2 HDL-MBUS01IP.431

obr. 12 Brána pro připojení PC



[14, 23]

- brána mezi HDL Buspro a ethernetem
- obousměrný přenos dat
- rozhraní: Buspro, RJ45
- umožňuje: lokální, vzdálené a p2p ovládání

Popis:

„Modul brány Ethernet na DIN<sup>11</sup> lištu, připojení ke sběrnici Buspro, obousměrná komunikace Buspro - Ethernet.“ [26, s. 7]

<sup>11</sup> Zkratka z německého Deutsches Institut für Normung e. V.

#### 4.4.3 HDL-MFH06.432

obr. 13 Regulátor teploty prostoru



[15, 23]

- 6 kanálů určených pro reg. podlahového vytápění
- každý kanál podporuje AC hlavice nebo el. top. hlavice 0-10 V DC
- funkce ochrany přehřátí podlahy
- možné připojit až 13 dig. senzorů teploty

Popis:

„Modul topení na DIN lištu, připojení na sběrnici Buspro, možnost použití i k podlahovému topení, řízení elektrických nebo teplovodních topných členů, zabudovaný regulátor PID, 6 x 1 A / 220 V výstupy pro ovládání 6 topných okruhů VYP/ZAP, 6 výstupů 0-10 V k proporcionálnímu ovládání topení, roční časovač, režimy doma / prázdný dům / normál atd. Režim samostatný nebo podřízený ovladačům HDL typů MPL8, MPTL14, MPTLC43., snímá a vyhodnocuje až 13 teplotních čidel.“ [26, s. 5]

#### 4.4.4 HDL-MR0810.432

obr. 14 Relé modul



[16, 23]

- modul 8 inteligentních relé
- max. proud na kanál 10 A
- 8 oddělených oblastí, pro každou oblast možné vytvořit až 16 scén

Popis:

„Modul výkonového relé 8 kanálů x 10 A na DIN lištu, nastavení scén a sekvencí, pro napětí střídavé jednofázové i třífázové, max. napětí na kontaktech do 440 VAC.“ [26, s. 1]

#### 4.4.5 SB-DN-PS2.4A

obr. 15 Zdroj



[17, 23]

- vstupní napětí: 220 V AC/  
110 V AC  $\pm$  10 %
- frekvence: 50-60 Hz
- zdroj napětí 24 V DC
- max. výstupní proud: 2.4 A

Popis:

„Modul zdroje 2400 mA, na DIN lištu, napájení sběrnice Buspro, připojení ke sběrnici Buspro šroubovými svorkami, 110/230VAC 50/60Hz, výstup 24 VDC / 2,4 A, ochrana proti nadproudu a přehřátí.“ [26, s. 5]

#### 4.4.6 HDL-MPL8.48

obr. 16 LCD panel



[18, 23]

- 8 tlačítkový ovl. LCD (Liquid Crystal Display) panel
- IR (Infrared) přijímač
- možnost ovládat: podlahové vytápění, alarm, HVAC, hudbu

Popis:

„Ovládací panel DLP, EU, s LCD, volitelně IR přijímač, čidlo teploty, 7 stránek s nastavitelnými povely: 4 stránky po 8 tlačítkách k ovládání světel nebo jiných spínačů, 1 stránka k ovládání klimatizace, 1 stránka k ovládání audia a 1 stránka ovladače topení s PID regulací, čidlo teploty, vyžaduje sběrníkovou spojku HDL-MPPI.48.“ [26, s. 2]

#### 4.4.7 HDL-MPPI.48

obr. 17 Sběrníková spojka k LCD panelu



[19, 23]

- Univerzální sběrníková spojka na zeď
- rozhraní: HDL Buspro

Popis:

Sběrníková spojka, EU, jednotná pro řady ovládacích panelů DLP, iFlex, iScene, iSense, iTouch a čidla jako např. HDL-MSPU05.48. [26, s. 3]

#### 4.4.8 HDL-MSP07M.4C

obr. 18 Senzor osvětlení



[20, 23]

- Senzor osvětlení
- PIR senzor (pasivní infračervené čidlo)
- digitální senzor teploty
- logický modul
- bloky: AND, OR

Popis:

„Čidlo stropní PIR a čidlo intenzity osvětlení, připojení na sběrnici Buspro, obsahuje čidlo PIR s dosahem 8 m, čidlo intenzity osvětlení, čidlo teploty, 2 vstupy bezpotenciálových kontaktů, vnitřní logika k nastavení logických vazeb mezi vstupy zařízení, podpora bezpečnostního módu, podpora funkce konstantní úrovně osvětlení.“ [26, s. 4]

#### 4.4.9 SB-CMS-LA

**obr. 19 Senzor kvality vzduchu**



[21, 23]

- senzor kvality ovzduší
- logický modul
- log. bloky: AND, OR
- možné použití  
s bezpečnostním modulem

Popis:

*„Čidlo stropní teploty, kvality vzduchu a světla, připojení na sběrnici Buspro, obsahuje čidlo pokojové teploty, světla, čidlo kvality vzduchu v místnosti, 2 vstupy bezpotenciálových kontaktů, 24 bloků vnitřní logiky k nastavení logických vazeb mezi vstupy zařízení.“* [26, s. 4]

#### 4.4.10 TS/C 1.0

**obr. 20 Senzor teploty**



[22, 23]

- digitální senzor teploty
- černý - 3 žilový – 1m kabel
- provozní teplota: -25 až 60 °C

Popis:

*„Čidlo teplotní digitální pro podlahové topení s kabelem 2.5 m, připojení k modulu HDLMFH06.432 po sběrnici "one wire bus", zalité v epoxidové pryskyřici s kovovým krytem, může být použito v různorodém prostředí.“* [26, s. 4]

## 5 Teplo a klima budovy

Teplo je možné definovat jako množství energie, které je nutné dodat látce o určité hmotnosti  $m$  a měrné tepelné kapacitě  $c$ , aby se její teplota zvýšila o  $\Delta T$ .

Dodanou, nebo přijatou energii látkou je pak možné vypočítat ze vzorce:  $Q = mc\Delta T$ , kde  $Q$  [J] je teplo,  $m$  [kg] hmotnost,  $c$  [J/(kg·K)] je měrná tepelná kapacita,  $\Delta T$  [K] je rozdíl teplot.

### 5.1 Přenos tepla

#### 5.1.1 Vedení

*„Přenos tepla vedením (kondukce) se uskutečňuje v makroskopicky nehybném prostředí na základě interakce molekul materiálu, proto jej řadíme mezi molekulární (též difúzní) přenosové mechanismy. Vedení tepla je tedy zásadně vázáno na přítomnost hmoty a setkáme se s ním především v pevných látkách, příp. v nepohyblivých tekutinách (ve velmi úzkých mezerách nebo malých dutinách, v těsné blízkosti stěny apod.).“*

[24, s. 60]

#### 5.1.2 Proudění

*„Konvekce je mechanismus přenosu tepla, se kterým se setkáváme výhradně v tekutinách (kapalinách, parách a plynech), v nichž může dojít k makroskopickému pohybu částic (proudění). Další nutnou podmínkou konvekce je samozřejmě teplotní gradient. Jedná se tedy vždy o neizotermické proudění tekutiny.“* [24, s. 70]

Proudění lze dělit podle příčiny vzniku na přirozené a nucené. U přirozené konvekce je pohyb částic vyvolaný vztakovými silami. Nucená konvekce je způsobená vnější příčinou vlivem setrvačných sil (např. ventilátorem). Přirozené proudění se může vyskytovat i při nucené konvekci, i když může být jeho příspěvek na pohyb hmot zanedbatelný.

Dále lze proudění členit podle vlivu prostoru na volné a stísněné. Volná konvekce není omezována blízkostí okolních těles oproti stísněné konvekci, kterou těsný prostor ovlivňuje (např. mezery mezi žebry otopného tělesa).

Poslední možná klasifikace konvekce je dle režimu proudění. Rozlišujeme laminární a turbulentní proudění. Turbulentní proudění se od laminárního liší promícháváním makročástic při pohybu hmoty, díky tomu je turbulentní konvekce intenzivnější. [24]

### 5.1.3 Sálání

*„Základní vlastností přenosu tepla radiací vyplývají z toho, že jeho podstatou je elektromagnetické záření, která má korpuskulárně vlnový charakter (fotony, elektromagnetické vlnění) a šíří se rychlostí světla. Na rozdíl od ostatních dvou mechanismů přenosu tepla (vedení, proudění) není přenos tepla zářením vázán na přítomnost látky mezi tělesy. Naopak přítomnost hmoty představuje vždy menší nebo větší bariéru pro tepelnou radiaci. Radiací se teplo přenáší nejlépe ve vakuu. Obecně musí být prostředí mezi tělesy alespoň částečně průteplivé (diatermií).“* <sup>[25, s. 84]</sup>

Každé těleso, které má termodynamickou teplotu vyšší než 0 K, vyzařuje energii. Výsledný směr zářivého toku mezi dvěma tělesy je pak dán jejich teplotami. Výsledný zářivý tok bude směřovat od tělesa s vyšší povrchovou teplotou k tělesu s nižší povrchovou teplotou. <sup>[25]</sup>



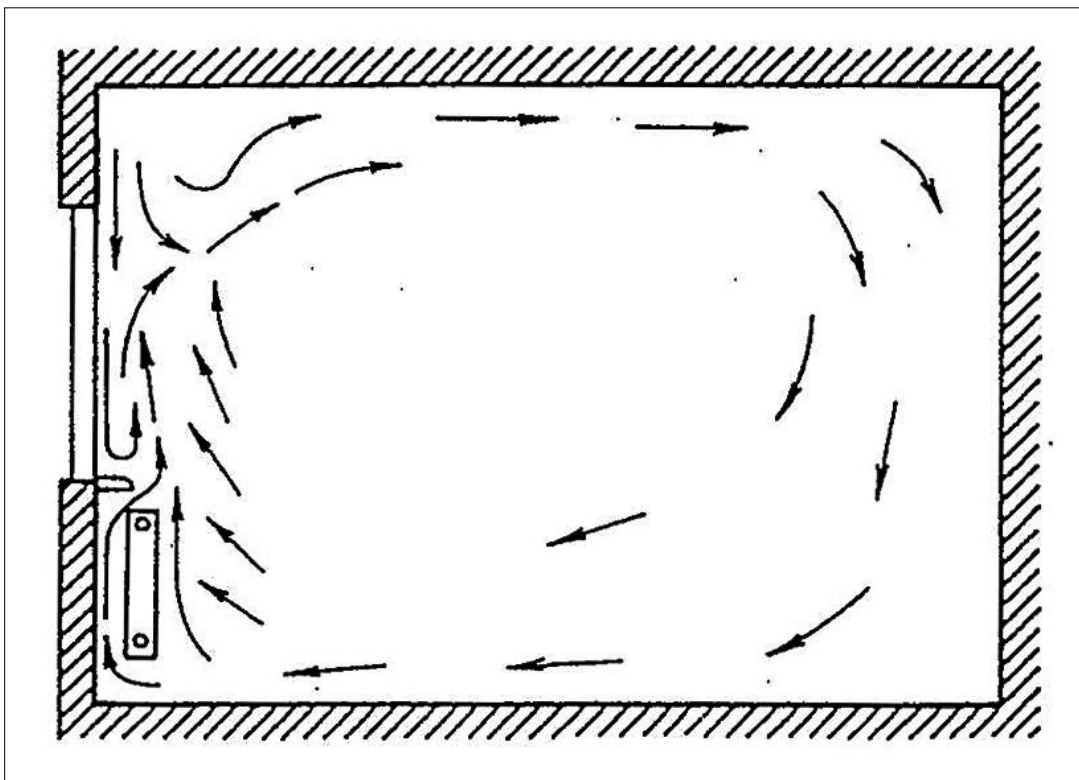
## 5.2 Tepelná pohoda

Plocha otopného tělesa je významným faktorem tepelné pohody v místnosti. Hlavními činiteli, které tepelnou pohodu zajišťují, jsou: rychlost a teplota proudícího vzduchu v místnosti, vlhkost a rovněž povrchová teplota okolních ploch.

Významný vliv na tepelnou pohodu v místnosti má také výběr a umístění otopného tělesa. Jiný tepelný a rychlostní profil bude mít vzduch v místnosti vytápěné otopným tělesem připevněným na ochlazované stěně v blízkosti okna a jiné hodnoty bychom naměřili při použití podlahového vytápění.

První zmíněný případ je znázorněn na obr. 21. Jak je vidět, díky vhodnému umístění otopného tělesa dochází ke střetávání padajícího chladného vzduchu s teplým vzduchem stoupajícím od otopného tělesa vzhůru. Výsledkem je smíchání vzduchu, který pak proudí místností s přijatelnou rychlostí. Dalším pozitivem je, že se chladný vzduch v blízkosti otopného tělesa nedostane až k zemi a je tak zabráněno vzniku lokálních míst tepelné nepohody. [25]

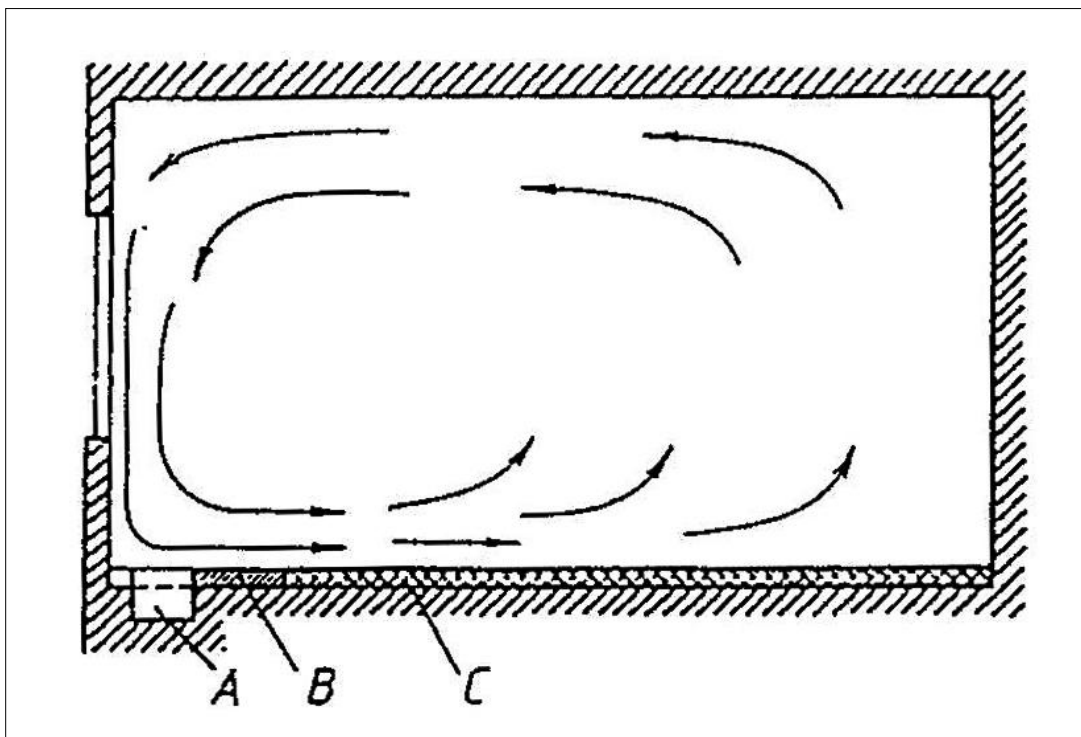
**obr. 21 Proudění vzduchu v místnosti s otopným tělesem**



[25]

Na obr. 22 je zobrazená situace v případě použití podlahového vytápění. U podlahového vytápění padá chladný vzduch až k zemi a jak prochází místností, postupně se ohřívá, až začne stoupat vzhůru. Výhodou podlahového vytápění je vyrovnanější vertikální profil prostorové teploty v místnosti při srovnání s jinými způsoby vytápění.

obr. 22 Proudění vzduchu v místnosti u podlahového vytápění



[25]

Na tepelnou pohodu člověka má vliv mnoho faktorů (např. tělesná konstituce, psychický stav nebo příjem potravy ad.), proto nelze pevně stanovit konkrétní a správnou teplotu, při které se budou všichni cítit dobře. Přesto se jako vhodná teplota pro dosažení tepelné pohody v místnosti uvádí hodnota 22°C (dříve 18-20°C) a pro místnosti obývané převážně ženami pak hodnota 23-24 °C. Tyto hodnoty platí v zimě pro oblečené osoby, které nevykonávají fyzickou činnost.

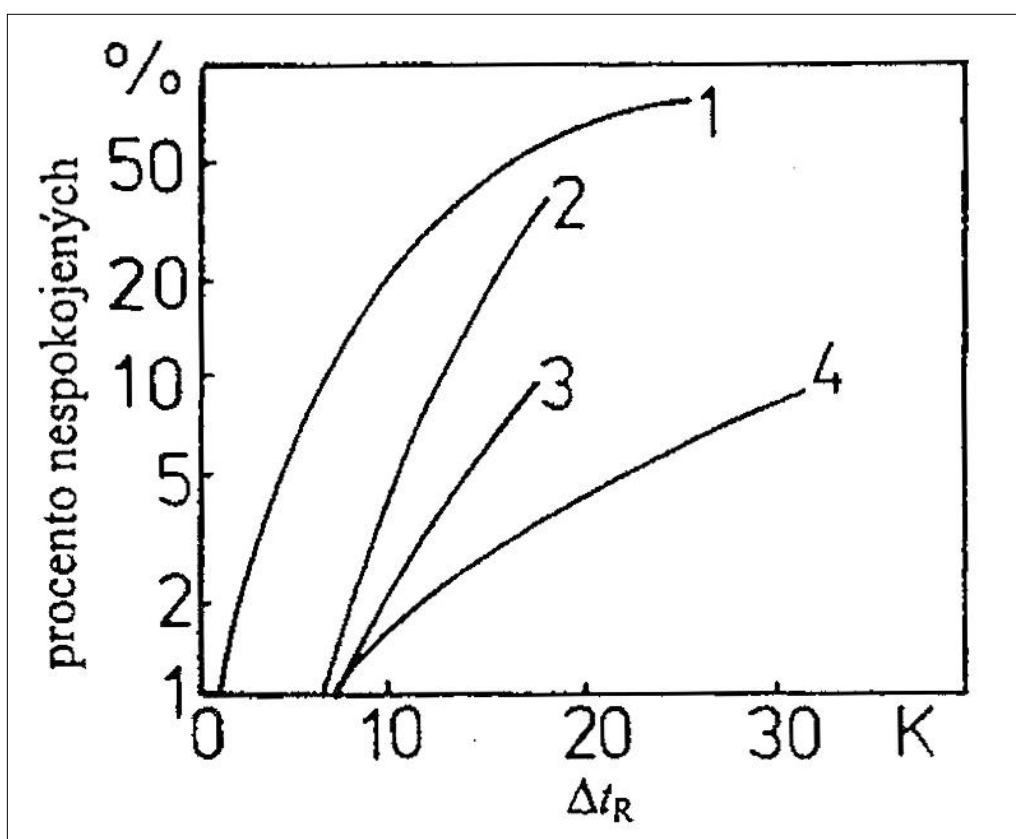
Kromě teploty vzduchu má přinejmenším na tepelnou pohodu vliv i účinná<sup>12</sup> teplota (při poklesu teploty o 1 K hodnotí sedící člověk tuto změnu stejně, ať se jedná o pokles teploty vzduchu, nebo pokles účinné teploty). Proto je pro zachování tepelné pohody důležité snažit se tyto dvě teploty co nejvíce sblížit. Rozdíl mezi účinnou teplotou a teplotou vzduchu by pak neměl přesáhnout 3 K. [25]

<sup>12</sup> Účinná teplota je myšlená teplota okolních ploch se stejnou velikostí *sálového* tepelného toku mezi pokožkou a okolní plochou jako v reálném (nehomogenním) případě.

Na obr. 23 je vyobrazená procentuální nespokojenost lidí v místnosti s asymetrickým sáláním od stropu a stěn při operativní<sup>13</sup> teplotě 22-23 °C. Z výsledků je patrné, že lidé cítili větší tepelnou nepohodu v případě teplého stropu a studených stěn než když byly stěny teplé a strop studený. Při zateplení domu tedy nejenže snížíme tepelné ztráty, ale také zvýšíme tepelnou pohodu nárůstem povrchové teploty stěn.

Za uspokojivý stav a dosažení tepelné pohody je možné považovat případ, kdy je procento lidí nespokojených s podmínkami v místnosti menší než 15 % a zároveň nedochází k lokální nepohodě způsobené např. příliš chladnou, nebo přehřátou podlahou. [25]

**obr. 23 Asymetrické sálání podle Fangera při operativní teplotě 22-23 °C**  
**1 - teplý strop, 2 - studené stěny, 3 - studený strop, 4 - teplé stěny**



[25]

<sup>13</sup> Operativní teplota je ekvivalentem účinné teploty pouze s tím rozdílem, že v případě operativní teploty se jedná o teplo sdílené sáláním a prouděním.

## 5.3 Způsoby vytápění

Převážně konvekční a sálavý způsob vytápění jsou dva druhy vytápění, které se od sebe navzájem odlišují především ve způsobu sdílení tepla mezi otopným tělesem a vytápěným prostorem.

### 5.3.1 Převážně konvekční vytápění

U převážně konvekčního způsobu vytápění dochází k ohřívání vzduchu topným tělesem. Tento vzduch pak předává teplo ochlazeným povrchům v místnosti. K přenosu tepla dochází především konvekcí. Teplý vzduch o nižší hustotě tedy stoupá v místnosti vzhůru a mísí se s chladným vzduchem padajícím k zemi.

V případě převážně konvekčního vytápění je teplota vzduchu vyšší než střední teplota vnitřního povrchu stěn. <sup>[25]</sup>

### 5.3.2 Převážně sálavé vytápění

Převážně sálavý způsob vytápění se od konvekčního vytápění liší jednak typem sdílení tepla, ale také v rozdílu mezi teplotou vzduchu a střední povrchovou teplotou vnitřních stěn.

K převážně většině přenosu tepelného toku dochází prostřednictvím sálání (tedy bez potřeby vzduchu jako přenosového média), pouze malá část tepla se při tomto způsobu vytápění sdílí konvekcí. Z tohoto faktu vyplývá i druhý rozdíl tohoto vytápění a to že, teplota vzduchu v místnosti je obvykle nižší než střední teplota vnitřních ploch stěn místnosti. Pouze v případě, že je místnost minimálně větrána popř. když mají stěny poměrně velký tepelný odpor, může být rozdíl zmíněných teplot minimální. <sup>[25]</sup>

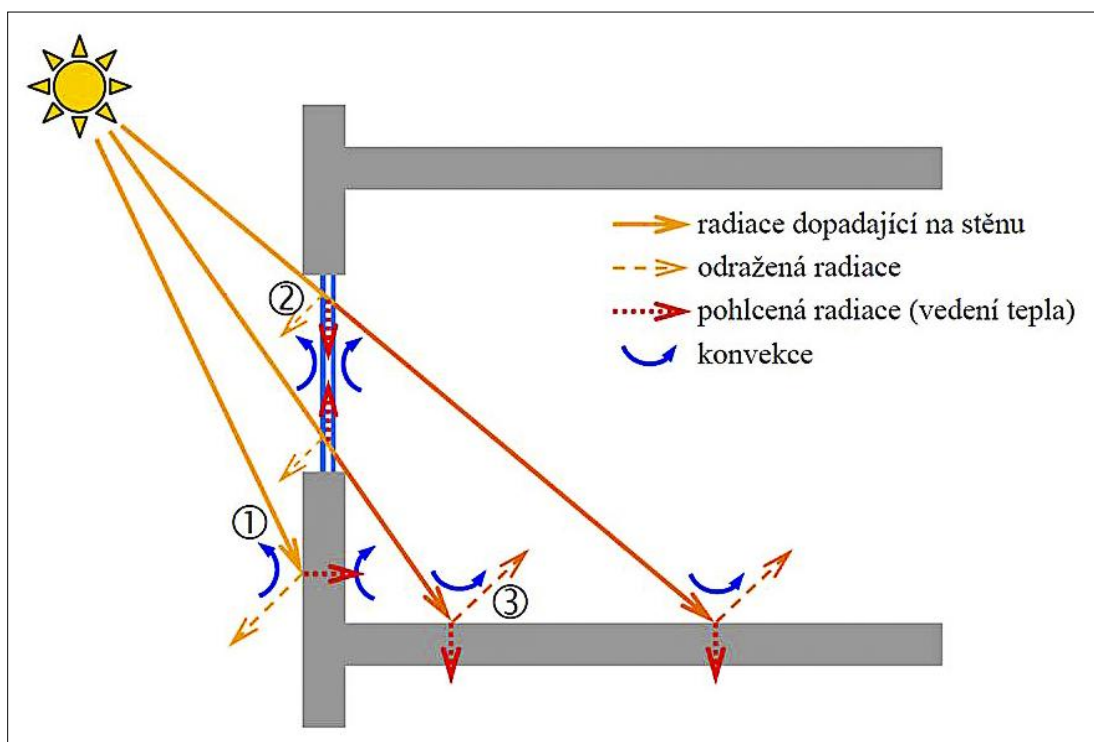
## 5.4 Tepelné chování budovy

Na vnitřní klima budovy mají vliv různé faktory jako: sluneční záření, vlhkost, vítr, teplota vzduchu, ale také přítomné osoby a technické vybavení budovy (větrání, vytápění, klimatizace a osvětlení) ad. Zmíněné vlivy jsou proměnné v čase, a proto ani vnitřní energetický stav budovy nebude nikdy ustálený.

Nejvýznamnější vliv na chování budovy ze zmíněných faktorů má solární záření. Ve vztahu solárního záření k tepelnému chování budovy rozlišujeme dva případy. Solární záření může procházet průsvitným povrchem budovy (výplněmi), nebo uvažujeme případ působení solárního záření na neprůsvitné povrchy (stěny).<sup>[24]</sup>

**obr. 24 Vliv solárního záření na tepelné chování budovy**

**1 – radiace na stěně, 2 – radiace dopadající na výplň, 3 – prošlá radiace**



[24]

### 5.4.1 Vzájemné sálání Země a oblohy

Na vnitřní energetický stav budovy má rovněž vliv sálání Země (budovy) proti obloze. Na sálání atmosféry má především vliv obsah vodních par.

V případě jasné oblohy je sálání Země a tedy i střech budov proti obloze intenzivnější. Tepelný tok ve prospěch Země vychází okolo 60-90 W/m<sup>2</sup>. Dochází tedy k výraznějšímu ochlazení zemského povrchu oproti případu, kdy je obloha zatažená a sálání atmosféry výraznější. <sup>[24]</sup>

### 5.4.2 Solární záření dopadající na průsvitné povrchy

V případě dopadu sluneční radiace na průsvitnou plochu (např. okno) dojde z části k odrazení, pohlcení i průchodu záření. Pohlcené záření ohřívá povrch průsvitné plochy. Na vnitřní i vnější straně povrchu pak dochází k uvolňování tepla do okolí konvekcí.

Druhou složkou přispívající ke zvýšení tepelné zátěže objektu (popř. snížení tepelných ztrát) je prošlá část záření dopadající na neprůsvitné povrchy v interiéru budovy. Následně dochází k jejich ohřívání částečným pohlcením tepla, povrchy pak uvolňují teplo do interiéru konvekcí a sáláním.

Pro výpočet tepelného toku zasklením platí:  $Q = U \cdot S \cdot (T_e - T_i)$ , kde  $U$  [W/m<sup>2</sup>·K] je součinitel prostupu tepla,  $S$  [m<sup>2</sup>] je plocha zasklení,  $T_e$  [°C] je teplota venkovního vzduchu a  $T_i$  [°C] je teplota vnitřního vzduchu. <sup>[24]</sup>

### 5.4.3 Solární záření dopadající na neprůsvitné povrchy

Při dopadu solární radiace na stěnu budovy se část tepelného toku odrazí a zbylá energie se absorbuje stěnou. Vnější povrch stěny se začne ohřívát, což povede k přestupu tepla stěnou vedením do interiéru budovy a také bude docházet k tepelné výměně s venkovním vzduchem konvekcí (částečně i radiací).

Výpočet prostupu tepla stěnou lze počítat z rozdílu teplot tekutin na vnější a vnitřní straně budovy, kdy uvažujeme přenos tepelného toku ve stěně vedením a na obou stranách stěny budovy přenos konvekcí a radiací.

Pro bilance tepelných toků platí:

$$q_{rad} - q_{konv} = h_e(T_{rs} - T_s)$$

$$\alpha_s G - h_k(T_s - T_e) = h_e(T_{rs} - T_s)$$

Kde  $q_{rad}$  a  $q_{konv}$  [ $W/m^2$ ] je hustota tepelného toku radiací a konvekci;  $T_{rs}$ ,  $T_s$  a  $T_e$  [ $^{\circ}C$ ] je teplota: rovnocenná sluneční, vnějšího povrchu a venkovního vzduchu;  $h_k$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] je součinitel přestupu tepla konvekci,  $h_e$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] je kombinovaný součinitel přestupu tepla radiací a konvekci;  $G$  [ $W/m^2$ ] je celková hodnota ozáření (přímého + difúzního);  $\alpha_s$  je součinitel pohltivosti (vyjadřuje poměrnou část z celkového ozáření pohlcenou ve stěně).

Při výpočtu však musíme zohlednit vliv sluneční radiace. Čím bude solární radiace intenzivnější, o to více je třeba zkorigovat vnější teplotu vzduchu na myšlenou hodnotu venkovní teploty tzv. rovnocennou sluneční teplotu.

Rovnocenná sluneční teplota je dána rovnicí:  $T_{rs} = T_e + \frac{\alpha_s \cdot G}{h_e}$ .

Na vnitřní a vnější straně konstrukce budovy dochází v průběhu dne ke kolísání teplot v porovnání s teplotou ve stěně. To, jak výrazný je útlum a časový posun rozdílu teplot na povrchu stěny a teploty ve stěně, je možné hodnotit součinem tepelné jímavosti  $s$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] a tepelného odporu  $R$  [ $(m^2 \cdot K)/W$ ]. Tepelná jímavost lze vypočítat ze vzorce:

$$s = \sqrt{\frac{2\pi}{t_0} \lambda \cdot \rho \cdot c_p}$$

kde  $t_0$  [s] je perioda kolísání (např. pro 1 den je perioda kolísání 86 400 s),  $\lambda$  [ $W/(m \cdot K)$ ] je součinitel tepelné vodivosti,  $\rho$  [ $kg/m^3$ ] je hustota a  $c_p$  [ $J/(kg \cdot K)$ ] je měrná tepelná kapacita stěny.

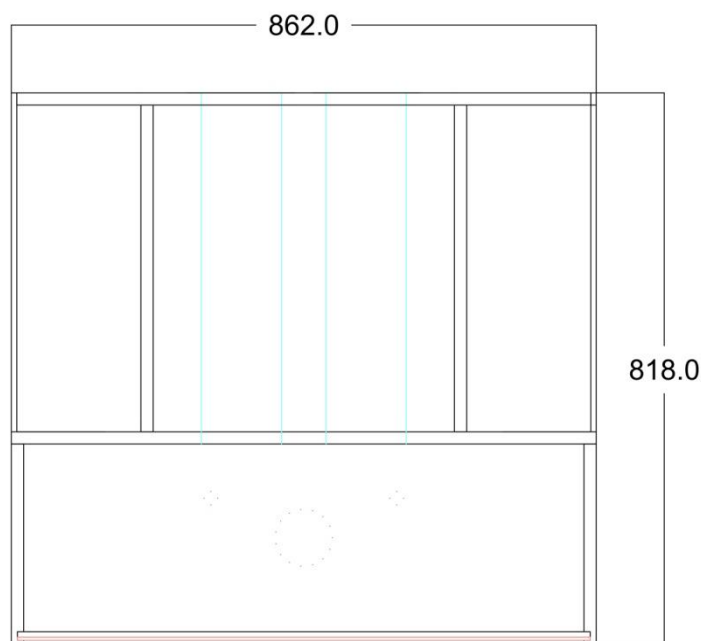
Za velmi těžké stěny považujeme konstrukce, které mají  $s \cdot R > 5$  (např. stěna z plných cihel o průměru 45 cm). U těchto konstrukcí dochází k velké akumulaci energie, útlumu teploty ve stěně a časovému zpoždění při ohřívání a chladnutí stěny. Naopak v případě lehkých stěn ( $s \cdot R \leq 1$ ) nedochází k ukládání energie a nárůst venkovní teploty se projeví v interiéru s minimálním a tedy i zanedbatelným zpožděním (např. stěna z plných cihel do tloušťky 8 cm).<sup>[24]</sup>

Na závěr lze říci, že chování budovy, tedy především její tepelně-izolační vlastnosti a typ konstrukce je nutné brát v úvahu při její regulaci. Velký poměr průsvitných ploch budovy bude představovat potenciální tepelnou zátěž (popř. tepelné ztráty). Lehká obvodová stěna pak bude mít časovou konstantu systému výrazně kratší v porovnání s velmi těžkými stěnami, to se odrazí v nastavení regulátoru. U budov s krátkými časovými konstantami je vhodné nenastavovat příliš velké zesílení regulátoru z důvodu možné nestability regulace.

# 6 Regulace v modelovém prostoru

## 6.1 Návrh modelu

obr. 25 Půdorys modelu



Model se skládá z technické a pohledové (regulované) části. Zadní prostor jsem rozdělil na 3 vzájemně oddělené části. Do prostřední technické části jsem umístil VZT<sup>14</sup> šachty (v půdorysu označeny světle modrou barvou). Šachty prochází do přední regulované části. Dále jsou po stranách 2 menší části pro umístění komponentů sloužících řízení jednotlivých spotřebičů a regulaci předního prostoru. Do regulovaného prostoru jsem zhotovil průhled z plexiskla (v půdorysu označený červenou barvou).<sup>[23]</sup>

Při návrhu modelu jsem vzal v úvahu prostorové požadavky na jednotlivá zařízení: moduly, akční prvky, vzduchotechnické šachty ad. Na základě těchto zhodnocení jsem tedy navrhl konečnou podobu modelu o velikosti 862x818 mm.

---

<sup>14</sup> Vzduchotechnika

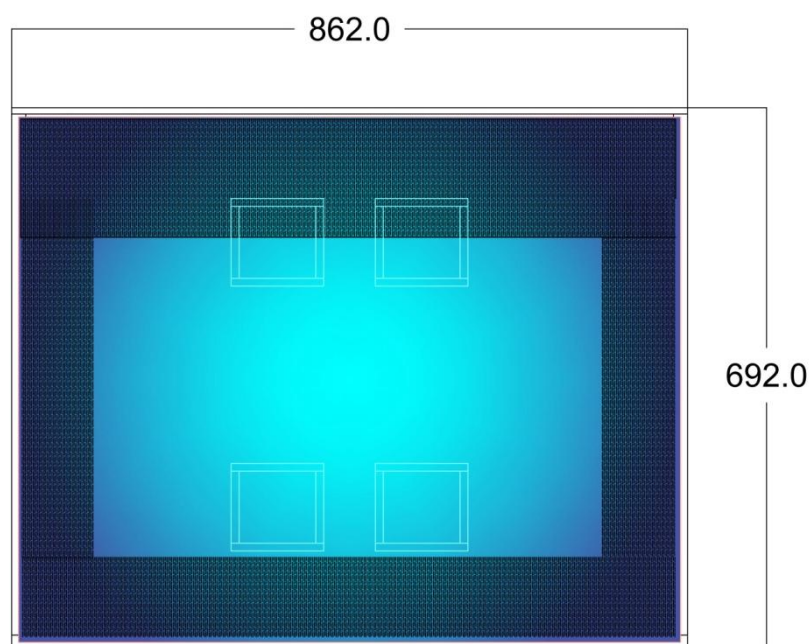


obr. 26 Řez



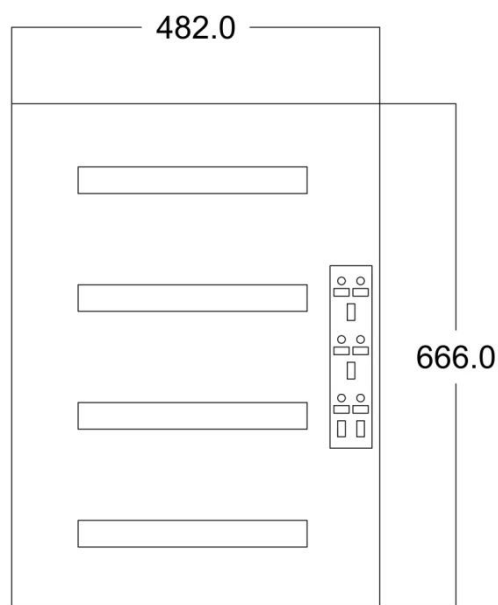
V řezu místnosti (pohled z čelní strany) je vidět umístění dvojitě podlahy a stropu, které jsem v přední části navrhl pro zakrytí přírodních vodičů. Dále jsou v řezu znázorněny 4 vyústky VZT šachet. <sup>[23]</sup>

obr. 27 Řez (zmenšení průhledové části)

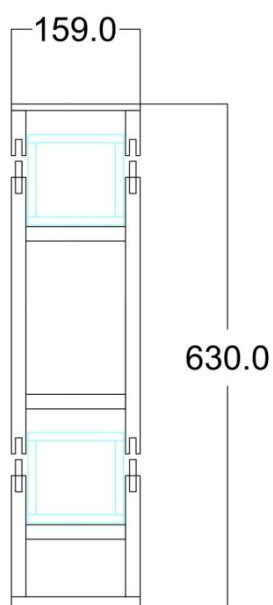


Na následujícím řezu je světle modrou barvou znázorněno plexisklo tvořící čelní průhled. Přes plexisklo je pak umístěn rám z překližky (místo rámu je při měření možné, pro úplné zakrytí průhledového otvoru, použít jeden plný díl překližky). <sup>[23]</sup>

**obr. 28 Panel pro umístění modulů na DIN lištu**



**obr. 29 Podpěra VZT šachty**



Na obr. 28 je vidět část umístěná v bočních technických prostorech modelu. Na panelu jsou umístěny 4 DIN lišty pro uchycení všech modulů a součástí instalace.

Obr. 29 znázorňuje část sloužící jako podpěra pro šachty (celkově jsou v technické části modelu umístěny 2 podpěry). V řezu je naznačeno umístění šachet. Pro případ poruchy a potřeby dostat se k součástkám v šachtách jsou podpěry rozebíratelné (udaná výška podpěry odpovídá složenému stavu).<sup>[23]</sup>

## 6.2 Realizace

Model jsem vyrobil převážně z překližky. Na nosné části jsem použil překližku 18 mm a na zbytek dílů překližku o tloušťce 8 mm.

Vzduchotechnické šachty jsou ze dvou plechových L profilů a po vnějších stranách jsem je polepil polystyrenem. V šachtách jsou umístěny 2 Peltierovy články a ventilátory na 12 V DC sloužící k chlazení, ohřevu prostoru a přísunu čerstvého vzduchu při znečištění vzduchu.

Čelní průhled je z plexiskla. Dále je možné do vodících lišt pro plexisklo zasunout i díl z překližky pro zatemnění a ověření stálé hladiny konstantního osvětlení v prostoru.

Osvětlení jsem řešil pomocí 2 stmívatelných LED žárovek na 12 V DC. <sup>[23]</sup>

## 6.3 Fotodokumentace

### 6.3.1 Konstrukce modelu – čelní strana

obr. 30 Čelní strana



- přední průhledová část konstrukce modelu je rozebíratelná
- průhled z plexiskla <sup>[23]</sup>

obr. 31 Čelní strana - neprůhledná deska



- vyměnitelný průhled za desku pro nastavení parametrů senzoru zajišťující konstantní hladinu osvětlení (testování ustálení na nové žádané hodnotě při zakrytí / odkrytí modelového prostoru) <sup>[23]</sup>

### 6.3.2 Boční část modelu – prostor pro panely

obr. 32 Řídící panel



- propojené HDL moduly
- LCD panel pro ovládání ohřevu / chlazení
- možné připojení PC přes ethernetový kabel

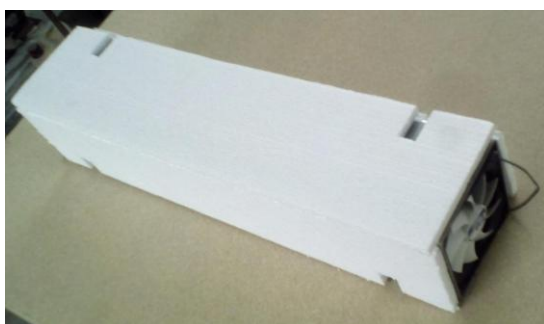
### 6.3.3 Vnitřní části modelu

obr. 33 VZT šachta s Peltier. čl.



- šachta pro ohřev modelového prostoru s Peltierovým článkem uvnitř [23]

obr. 34 VZT šachta s ventilátorem



- šachta zajišťující čerstvý vzduch při zvýšeném znečištění v modelovém prostoru [23]

obr. 35 Podpěry



- podpůrná konstrukce pro vzduchotechnické šachty [23]

#### 6.3.4 Zadní část modelu

obr. 36 Zadní část modelu - šachty



- ohřev – vlevo dole
- chlazení - vpravo nahoře
- kvalita vzduchu
  - přívod – vpravo dole
  - odvod – vlevo nahoře

### 6.3.5 Modelový prostor

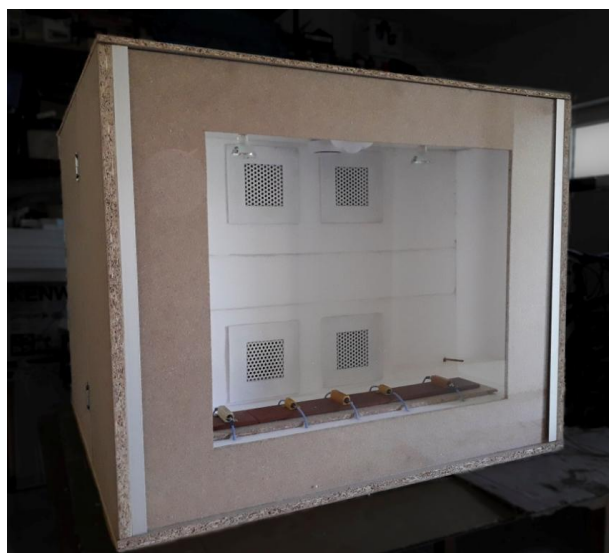
obr. 37 Modelový prostor



- na stropě jsou umístěné stmívatelné LED žárovky spolu se senzory pro zajištění konstantní hladiny osvětlení a detekci znečištění vzduchu
- modelový prostor je vyložený polystyrenem

### 6.3.6 Konečná podoba modelu

obr. 38 Závěrečná podoba modelu



- průduchy na zadní stěně
- odpory pro sálavý ohřev na podlaze
- v pravé dolní části otvor pro teplotní senzor popř. pro zdroj znečištění vzduchu



### 6.3.7 Zmenšený model pro chlazení

obr. 39 Zmenšený model. prostor - chlazení



- zmenšený model pro otestování chlazení
- následně jsem model upravil na použití k chlazení v modelu z překližky

### 6.3.8 Model pro chlazení

obr. 40 Modelový prostor - chlazení



- model pro naměření průběhů poklesů teplot ve vnitřním reg. prostředí
- model má stejný objem regulovaného prostoru jako původní model z překližky

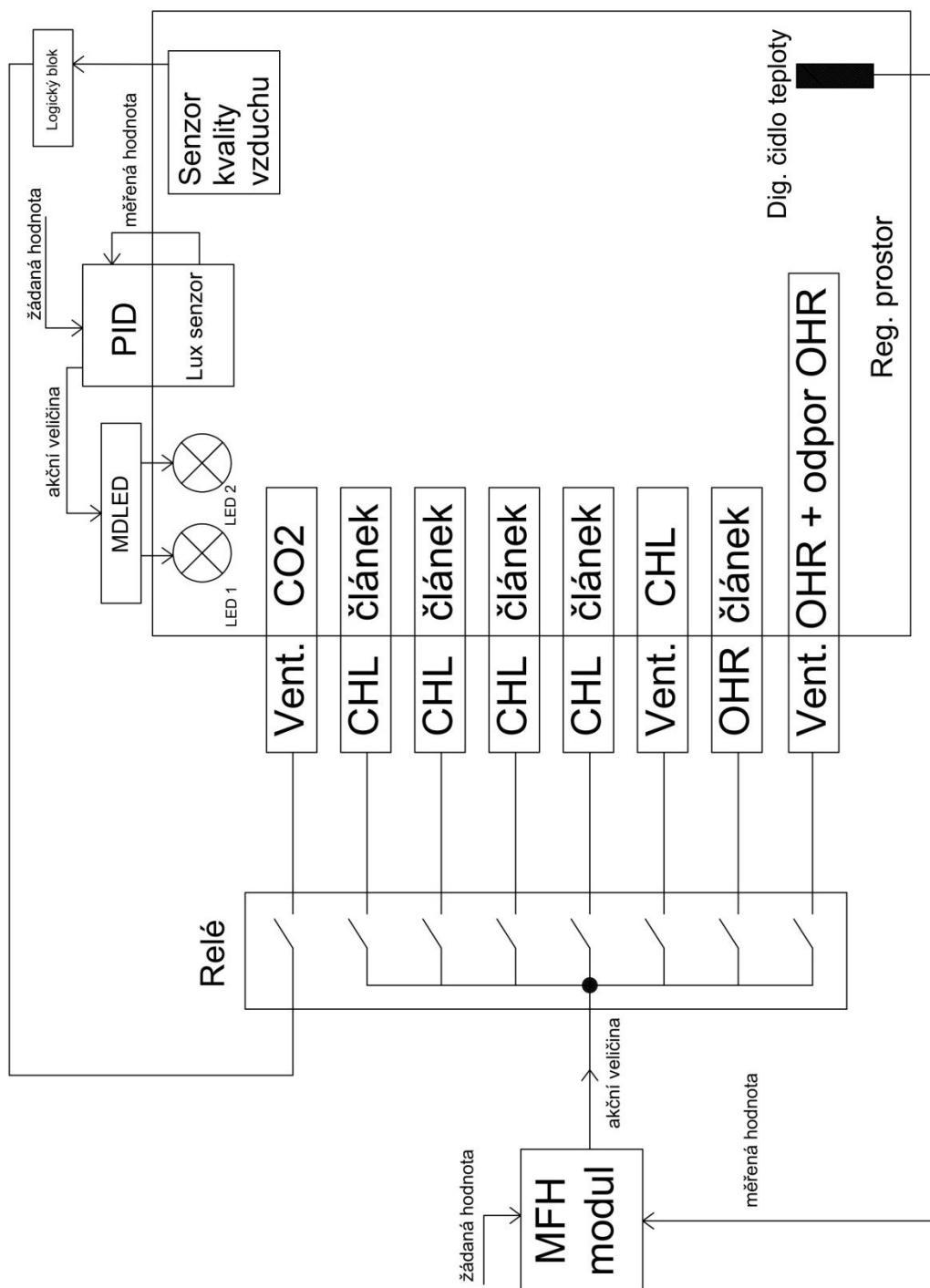


### 6.3.9 Ostatní použité přístroje a součástky

- Digitální teploměr pro odečítání naměřených hodnot v modelovém prostoru
  - citlivost: 0.1 °C
  - přesnost měření:  $\pm 1 \sim 2$  °C
  - teplotní rozsah:  $-50 \sim 110$  °C
- Peltierovy články TEC1 12710 pro ohřev a chlazení
  - napětí: 12 VDC
  - proud: 7.6 A
- Odporové prvky pro sálavý ohřev
  - max. ztrátový výkon: 25 a 50 W
  - hodnoty použitých odporů: 0R22, 0R47, 1R0, 2R2 a 3R3
- Ventilátory pro ohřev a chlazení
  - napětí: 12 VDC
  - proud: 0.15 A
- Ventilátory pro zajištění přívodu a odvodu čerstvého vzduchu
  - napětí: 12 VDC
  - proud: 0.25 A
- Stmívatelné LED žárovky
  - napětí: 12 VDC
  - proud: 0.25 A
- Potenciometry pro regulaci otáček ventilátorů zajišťujících vnitřní cirkulaci v modelu pro chlazení
  - max. ztrátový výkon: 4 W
  - odpor potenciometrů v sérii: 25R0 + 25R0
- Zdroj stejnosměrného napětí
  - napětí: 12 VDC
  - proud: 60 A

## 6.4 Blokové schéma

obr. 41 Blokové schéma zapojení



## 6.5 Vybrané moduly HDL

tab. 2 Vybrané komponenty HDL a jejich funkce

Název	Zapojení do kanálů modulů	Funkce
HDL-MFH06.432	CH1 - ohřev kombi. (vent. + odpor.) CH3 - chlazení (vent.)	Intervaly spouštění Peltierových článků
HDL-MR0810.432	CH1 – vent. pro ohřev + odpor. ohřev CH2 – Pel. čl. pro ohřev CH3 – vent. pro chlazení CH4-7 – Pel. čl. pro chlazení CH8 – vent. pro CO	Řízení ohřevu a chladu Řízení ventilátorů pro ohřev / chlazení a provětrání prostoru
HDL-MDLED0605.432	CH1 - Stmívatelné LED – konst. osvětlení	Řízení LED žárovek
HDL-MBUS01IP.431		Modul brány Ethernet
SB-DN-PS2.4A <sup>15</sup>		Zdroj
HDL-MPL8.48		Ovládací panel
HDL-MPPI.48		Sběr. spojka k ovl. panelu
SB-CMS-LA		Kvalita ovzduší
HDL-MSP07M.4C <sup>16</sup>		Konstantní hladina osvětlení
TS/C 1.0		Digitální čidlo teploty

<sup>15</sup> Původně uvažovaný zdroj HDL-MSP750.431 (750 mA) nebyl momentálně skladem, proto jsem použil výkonnější zdroj SB-DN-PS2.4A (2.4 A).

<sup>16</sup> Senzor osvětlení HDL-MPS08M.4C nebyl momentálně dostupný, místo něj jsem použil senzor HDL-MSP07M.4C

## 6.6 Nastavení zařízení v softwaru HDL

Po osazení všech prvků do modelu jsem musel následně moduly a čidla oživit a vhodně nastavit v HDL softwaru. Konfigurace se provádí z počítače propojeným s moduly přes Ethernet bránu HDL-MBUS01IP.431.

### 6.6.1 Vyhledání připojených zařízení

Předpokladem pro vyhledání připojených modulů je nastavení počítače a Ethernet brány do stejného rozsahu IP adres. Z výroby má brána přiřazenou IP adresu: 192.168.10.250.

Po spuštění programu je třeba IP adresu počítače zvolit v záložce „Option“.

obr. 42 Nastavení IP adresy PC

Internet Protocol Version 4 (TCP/IPv4) Properties

General

You can get IP settings assigned automatically if your network supports this capability. Otherwise, you need to ask your network administrator for the appropriate IP settings.

Obtain an IP address automatically

Use the following IP address:

IP address: 192 . 168 . 10 . 115

Subnet mask: 255 . 255 . 255 . 0

Default gateway: . . .

Obtain DNS server address automatically

Use the following DNS server addresses:

Preferred DNS server: . . .

Alternate DNS server: . . .

Validate settings upon exit

Advanced...

OK Cancel

obr. 43 Nastavení Gateway

1-0\Gateway

Basic Setup Filter RJ45—>485

IP: 192 . 168 . 10 . 250

Router IP: 192 . 168 . 10 . 1

IP MAC: 40 . 03 . F4 . B2 . 1B . B6

Mask IP: 255 . 255 . 255 . 0

Port: 6000

DHCP

Auto DNS

DNS I: 0 . 0 . 0 . 0

DNS II: 0 . 0 . 0 . 0

Read Save

obr. 44 Uložení IP adresy PC v HDL softwaru

Options

Settings Remote access

PC subnet ID: 253

PC device ID: 254

Select IP: 192.168.10.115

Work mode: Work Online

Use 255.255.255.255 as broadcast address

Software's subnet id must not be same as ip gateways.

Hint: please select the ip address which will be used to connect to the system.

OK Cancel

## 6.6.2 Nastavení modulu MR08

Kanál jedna u relé je vyhrazen pro ventilátor na horké straně článku, zároveň se přes kanál spouští i odporový ohřev. Kanálem dva se spouští ohřev Peltierovým článkem. Na třetí kanál jsou připojené ventilátory pro chlazení a kanály 4-7 jsou použité pro Peltierovy články (kvůli proudovému omezení 10A na kanál). Poslední kanál jsem použil na připojení ventilátorů pro provětrání prostoru v případě znečištění vzduchu.

Všechny články se spouští s 2s zpožděním, aby již byly v chodu ventilátory. Zároveň jsem pro ventilátory umístěné na horké straně chladiče nastavil 10s zpoždění odpadu relé pro dostatečný odvod tepla z horké strany článků.

obr. 45 Nastavení HDL modulu relé

Chn No.	Name	Load type	ON delay(0-25.0s)	Protect delay(0-60M)	OFF delay(0-25.0s)	OFF protect delay(0-60M)	Test
1	CH_2_PEL_OHR_VENT+R	Undefined	0.0	0	10.0	0	<input checked="" type="checkbox"/>
2	CH_2_PEL_OHR	Undefined	2.0	0	0.0	0	<input type="checkbox"/>
3	CH_4_PEL_CHL_VENT	Undefined	0.0	0	10.0	0	<input type="checkbox"/>
4	CH_3_PEL_CHL	Undefined	2.0	0	0.0	0	<input type="checkbox"/>
5	CH_3_PEL_CHL	Undefined	2.0	0	0.0	0	<input type="checkbox"/>
6	CH_3_PEL_CHL	Undefined	2.0	0	0.0	0	<input type="checkbox"/>
7	CH_3_PEL_CHL	Undefined	2.0	0	0.0	0	<input type="checkbox"/>
8	CH_6_CO2_VENT	Undefined	0.0	0	0.0	0	<input type="checkbox"/>

Broadcast channels states every 5s

Save & Close

Device: 1-3\Relay 8 CH

### 6.6.3 Nastavení modulu MFH06

V první záložce „Basic information“ je možné podívat se mimo jiné na všechny připojené senzory teploty a zjistit jejich základní parametry. Po otevření okna „Sensor information“ se zobrazí přehled senzorů, dále je možné v případě potřeby senzor zkalibrovat změnou offsetu ve sloupci „Adjust temperature“.

V záložce „Floor heating“ je pak možné nastavit jednotlivé kanály modulu. Vybraný kanál je možné přepnout nastavením parametru „Heating ID“. Možnost „Work mode“ jsem u všech kanálů nastavil na „Fully control“, protože modul pracuje v režimu Master. Zdroj informace o teplotě jsem nastavil jako „Internal“ a dále je třeba zadat „ID“ senzoru, které je možné zjistit v záložce „Basic information“. V levém sloupci lze daný kanál modulu povolit, dále je zde možné nastavit žádanou teplotu a zvolit, zda se jedná o kanál využívaný pro ohřev, nebo pro chlazení.

Podle situace je pak možné různě nastavit parametry: „Heating Speed“, „Control Cycle“ a „Min PWM“.

„Heating Speed“ určuje délku sepnutí ohřevu / chlazení v závislosti na velikost rozdílu mezi aktuální a žádanou hodnotou.

„Control Cycle“ udává délku periody vzorkování (ohřevu / chlazení).

„Min PWM“ určuje, jestli má být ohřev / chlazení aktivní i při dosažení žádané hodnoty.

obr. 46 Nastavení kanálu MFH06 modulu

The screenshot shows the configuration window for the MFH06 module, specifically the 'Floor heating' tab. The interface is divided into several sections:

- Basic information:** Heating ID is set to 1, and the Remark is CH\_2\_P\_O.
- Operation mode and temperature source setting:** The 'Internal' radio button is selected. ID 1 is set to 168. Other IDs (ID 2, ID 3, ID 4) are set to 0. The 'Subnet ID' is 1, 'Device ID' is 4, and 'Channel ID' is 1. The 'Temperature source status' is 'absence'.
- Protection Temperature:** The 'Internal' radio button is selected. ID 1 is set to 7. The 'Current Temperature' is 0C. Other options include 'External' with Subnet ID 255 and Device ID 255.
- Working Setting:** 'PID Enable' is checked. 'Heating Speed' is set to 'Faster'. 'Control Cycle' is set to '1(M)'. 'Min PWM' is set to 'None'. There are also settings for 'Day start time', 'Night start time', and 'Flush' (Flush 1, 2, 3) with 'Start' and 'Flush Time(1-30M)' parameters.
- Working Status of Heating:** 'Channel Enable' is checked. 'Floor Heating' is selected. 'Current Mode' is 'Normal'. 'Normal Temperature' is 20C, 'Day Temperature' is 24C, 'Night Temperature' is 24C, and 'Away Temperature' is 24C. 'Time Mark' is 'Night' and 'Valve status' is 'Close'. 'Temperature Type' is 'C' and 'Current Temperature' is 24. 'Current Value' is 0%.

At the bottom, there are buttons for 'Save & Close' and a status bar showing 'Device: 1-2\MFH 6 CH'.

Při většině měření jsem používal „Control Cycle“<sup>17</sup> 1M, který byl pro potřeby regulace dostatečný. Parametr „Min PWM“ jsem vyzkoušel u měření průběhu teploty při chlazení modelového prostoru, díky nastavení chlazení i při dosažení žádané hodnoty jsem docílil vyhlazení průběhu. „Heating Speed“ jsem volil v závislosti na typu ohřevu / chlazení. Pro odporový ohřev jsem zvolil „Heating Speed: Lower“ (kvůli teple naakumulovaném v kachličkách pod odpory). U VZT ohřevu a chlazení nedocházelo k ukládání tepla do žádného prvku a proto byla odezva soustavy po odpojení zdroje ohřevu / chladu rychlejší, proto jsem pro tento typ regulace volil „Heating Speed: Faster“.

Pro propojení modulu MFH s relé modulem je ještě třeba provést nastavení v záložce „Targets setting“. V dolní části okna jsem pro žádaný kanál modulu MFH zvolil číslo z nabídky „Relay No.“ V tabulce je pak pro zapnutí i vypnutí relé nutné definovat modul přiřazením „Subnet ID“ a „Device ID“. Parametr 1 určuje kanál relé modulu a parametr 2 udává hodnotu relé (ON = 100, OFF = 0). Ve sloupci „Type“ je pro správnou funkci nutné zvolit „Single Channel Lighting Control“. Nakonec již stačí daný kanál jen povolit.

**obr. 47 Propojení MFH06 a MR08 modulů**

The screenshot shows the configuration window for the MFH 6 CH module. The 'Targets setting' tab is selected. Under 'ON/OFF Switching Target Setting', 'Floor Heating ID' is set to 1, and 'Floor Heating/ON' is selected. A table below shows 5 rows with 'Invalid' types. Under 'Relay Target Setting', 'Relay No.' is set to 3, and 'Relay ON' is selected. A table below shows 5 rows with 'Single Channel Lighting Control' types.

Index	Subnet ID	Device ID	Type	Parameter 1	Parameter 2	More parameters	More
1	0	0	Invalid	N/A	N/A	N/A	N/A
2	0	0	Invalid	N/A	N/A	N/A	N/A
3	0	0	Invalid	N/A	N/A	N/A	N/A
4	0	0	Invalid	N/A	N/A	N/A	N/A
5	0	0	Invalid	N/A	N/A	N/A	N/A

Index	Subnet ID	Device ID	Type	Parameter 1	Parameter 2	More parameters	More
1	1	3	Single Channel Lighting Control	3(Channel No.)	100(Intensity)	0:0(Running time)	N/A
2	1	3	Single Channel Lighting Control	4(Channel No.)	100(Intensity)	0:0(Running time)	N/A
3	1	3	Single Channel Lighting Control	5(Channel No.)	100(Intensity)	0:0(Running time)	N/A
4	1	3	Single Channel Lighting Control	6(Channel No.)	100(Intensity)	0:0(Running time)	N/A
5	1	3	Single Channel Lighting Control	7(Channel No.)	100(Intensity)	0:0(Running time)	N/A

<sup>17</sup> Jedná se o periodu vzorkování a na ní závislá akce regulátoru např. ohřev.

## 6.6.4 Nastavení LCD panelu HDL-MPL8

Regulaci ohřevu a chlazení jsem nastavil přes modul MFH06, proto bylo nutné přepnout panel do režimu Slave a jako Master nastavit modul MFH06.

obr. 48 MFH06 jako Master LCD panelu

	Subnet ID	Device ID	Channel
<input checked="" type="checkbox"/> Target1:	1	2	1
<input checked="" type="checkbox"/> Target2:	1	2	3
<input type="checkbox"/> Target3:	255	255	1
<input type="checkbox"/> Target4:	255	255	1
<input type="checkbox"/> Target5:	255	255	1
<input type="checkbox"/> Target6:	255	255	1
<input type="checkbox"/> Target7:	255	255	1
<input type="checkbox"/> Target8:	255	255	1

obr. 49 Nastavení LCD panelu

Settings 1 to 4 Pages AC Floor heating Music Sleep mode

Device Information  
Mode: Auto Slave Control Master

Temperature sensor  
 Inner sensor  
 Read from bus  
 Average of In & Out

Protection temperature: Disable 255 255 255 20C

Outdoor temperature: Disable 255 255 255

Temperature range  
Range from: 5C To 35C

Working setting  
Output: PWM Value Min.-Max.PWM: 0% - 100%  
Heating Speed: Faster Control Cycle: 1(M)  
Day start at(HH:MM): 7 : 0 Night start time: 19 : 0  
Mode:  Normal  Night  Timer  
 Day  Away  
Mode Changeover(auto mode-between floor heating and floor cooling): < 2C

Enable PID  Always ON  Sync command  
 Sync Mode  Sync ON/OFF  Sync Temperature

Test  
 ON Heating Now: 20C  
Mode: Normal  
Normal: < > 20C  
Day: < > 20C  
Night: < > 20C  
Away: < > 20C

Save & Close

Device: | 1-4 LCD Panel



Jak je vidět na obr. 49, v záložce „Floor heating“ jsem musel nastavit režim „Auto“, aby bylo možné z panelu spouštět topení i chlazení.

Dále bylo nutné nastavit pásmo necitlivosti („Mode Changeover“), aby nedocházelo k současnému spouštění topení i chlazení.

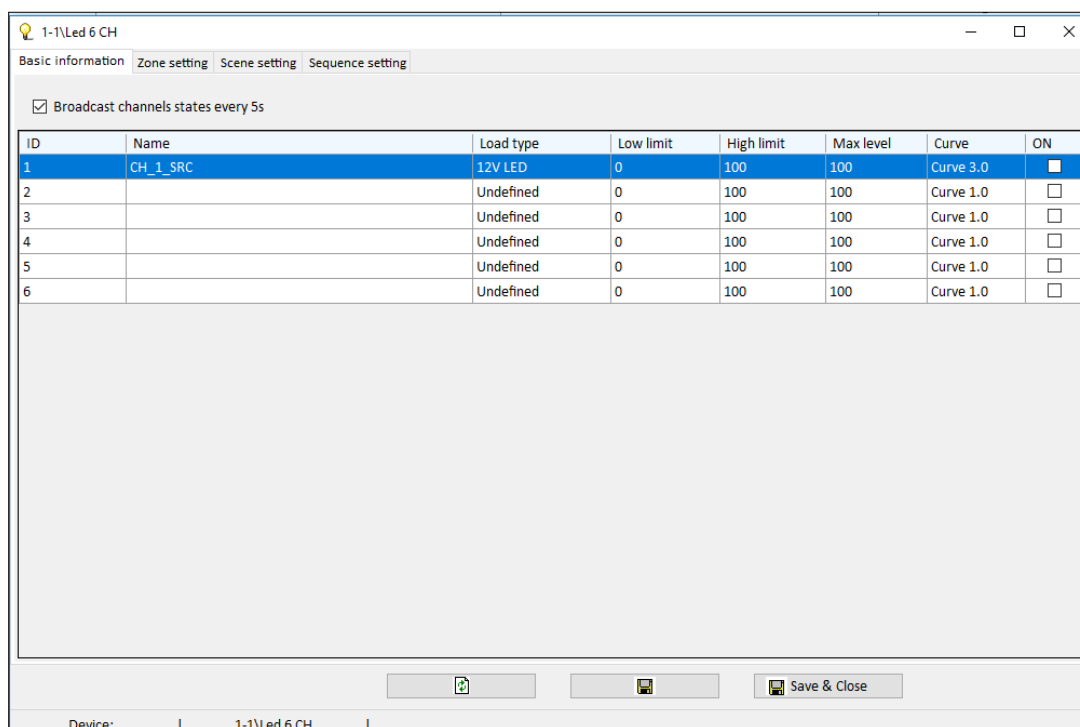
Mezi dalšími parametry je možnost nastavení informace o teplotě pro vizualizaci na LCD panelu (v mém případě šlo o teplotní senzor zapojený do modulu MFH06), rozsahu žádané teploty od uživatele, definování časových režimů ad.

### 6.6.5 Nastavení modulu MDLED06

U modulu MDLED06 jsem pro první kanál nastavil jako zdroj 12 V LED žárovku. Křivku svítivosti, která určuje průběh nárůstu nebo poklesu světelného toku ze svítidla při stmívání, jsem nastavil na 3.0, tato hodnota umožňovala pro LED svítidlo nejplynulejší regulaci.

Další možné parametry nastavení jsou a „Min Limit“ a „Max Limit“, tedy minimální a maximální nastavitelná úroveň světelného toku svítidla uživatelem. Parametr „Max Level“ určuje maximální možné otevření kanálu.

obr. 50 Nastavení modulu MDLED06



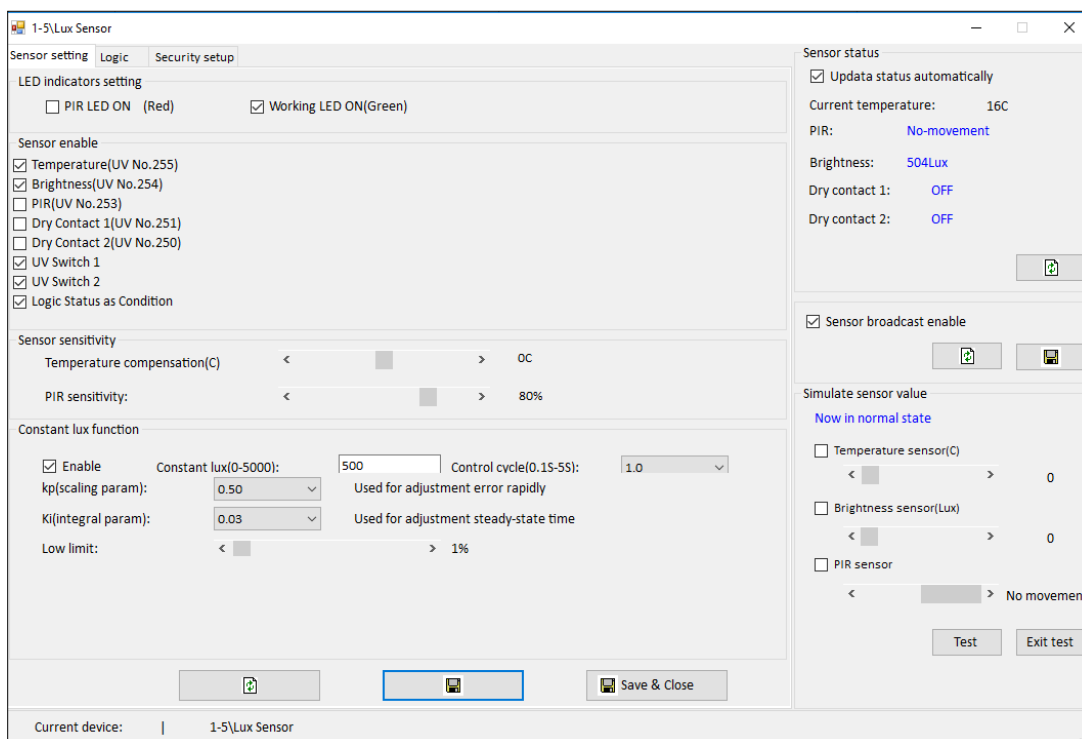
### 6.6.6 Nastavení senzoru MSP07M

U senzoru jsem povolil funkci konstantní hladiny osvětlení a nastavil jsem žádanou hodnotu („Constant Lux“) na 500 lx.

Dále jsem postupným laděním u senzoru nastavil hodnoty parametrů zesilující složky („Scaling param“), integrační složky („Integral param“) a periodu („Control Cycle“), při které senzor kontroluje odchylku žádané a aktuální hodnoty osvětlení.

Nakonec jsem nastavil minimální hodnotu světelného toku svítidel („Low limit“) na 1%. Díky tomu, že žárovky úplně nezhasly, bylo možné docílit plynulejší regulace. Před nastavením tohoto parametru docházelo při prvotním sepnutím ke krátkodobému nárůstu světelného toku žárovek. Tento jev regulaci komplikoval. Ustálení na žádané hodnotě trvalo delší dobu. Také jsem narážel na problém s úzkým intervalem rozsahu, ve kterém bylo možného docílit ustálení aktuální hodnoty v blízkém okolí hodnoty žádané. Nastavením parametru „Low limit“ jsem se těchto komplikací zbavil.

obr. 51 Nastavení parametrů senzoru konstantní hladiny osvětlení



## 6.6.7 Nastavení senzoru SB-CMS-LA

Senzor detekce znečištění vzduchu jsem musel nastavit ve starší verzi softwaru. U senzoru bylo nutné povolit funkci detekce znečištění vzduchu a následně pro jednotlivé podmínky sepnutí a vypnutí propojit senzor s kanálem 8 na modulu výkonového relé.

obr. 52 Sepnutí ventilace od senzoru znečištění

The screenshot shows a configuration window for the SB-CMS-LA sensor. It includes the following settings:

- Air(%) set to Medium pollution To Serious pollution
- Dry Contact 1 set to Disconnect
- Dry Contact 2 set to Disconnect
- UV switch(201-248) with Switch No.: 201, Remark: (empty), OFF, Auto OFF(0-3600s) set to 1
- UV switch(201-248) with Switch No.: 201, Remark: (empty), OFF, Auto OFF(0-3600s) set to 1
- Logic Logic No.: 1 Status: False

obr. 53 Propojení senzoru znečištění s modulem MR08

The screenshot shows the Logic Control Targets Information window. It displays basic information for the device SB-CMS-LA and a table of logic control targets.

Basic information:

- Data acquisition mode: Device
- Model: SB-CMS-LA
- Subnet ID: 1
- Device ID: 6
- Remark: CO
- Current key No.: 1

Options:

- Modify subnet ID synchronously
- Modify device ID synchronously
- Modify type synchronously
- Modify the intensity synchronously
- Modify the running time synchronously

Object no.	Subnet ID	Device ID	Type	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
1	1	3	Single channel lighting control	8(Channel no.)	100(Intensity)	0.0(Running time(mm ss))
2	255	255	Invalid	255	255	N/A
3	255	255	Invalid	255	255	N/A
4	255	255	Invalid	255	255	N/A
5	255	255	Invalid	255	255	N/A
6	255	255	Invalid	255	255	N/A
7	255	255	Invalid	255	255	N/A
8	255	255	Invalid	255	255	N/A
9	255	255	Invalid	255	255	N/A
10	255	255	Invalid	255	255	N/A
11	255	255	Invalid	255	255	N/A
12	255	255	Invalid	255	255	N/A
13	255	255	Invalid	255	255	N/A
14	255	255	Invalid	255	255	N/A
15	255	255	Invalid	255	255	N/A
16	255	255	Invalid	255	255	N/A
17	255	255	Invalid	255	255	N/A
18	255	255	Invalid	255	255	N/A
19	255	255	Invalid	255	255	N/A
20	255	255	Invalid	255	255	N/A

Buttons: Save, Exit

## 6.7 Analýza měřených údajů

Po nastavení prvků jsem mohl přistoupit k měření<sup>18</sup> a následné analýze údajů.

Vzhledem k proměnlivé počáteční teplotě (dané venkovní teplotou) u měření týkajících se ohřevu pomocí VZT, odporů i kombinovaného ohřevu (VZT + odpory) jsem zvolený typ a výkon zdroje tepla hodnotil, nejen podle schopnosti dosáhnout žádané hodnoty, ale i dle minimálního rozdílu mezi venkovní<sup>[27]</sup> a vnitřní<sup>[28]</sup> výpočtovou teplotou používanou pro dimenzování výkonu otopné soustavy např. u rodinných domů. Venkovní výpočtová teplota pro Prahu je -12 °C a vnitřní výpočtová teplota pro obývací místnosti (ložnice, pracovny, dětské pokoje, obývací pokoje a jídelny) je 20 °C. Dostatečně výkonný zdroj tepla by tedy měl být schopný modelový prostor vytopit z ustáleného počátečního stavu minimálně o 32 °C, než dojde k ustálení na nové hodnotě v konečném stavu.

Na rozdíl od měření ohřevu, která byla závislá na venkovní teplotě, jsem měření týkající se chlazení prováděl ve vnitřním regulovaném prostředí. Teplota se tedy při těchto měřeních pohybovala přibližně mezi 25-26 °C.

Všechny měření regulace teploty jsem provedl s vysokým zesílením regulátoru MFH kromě měření odporového ohřevu, pro které bylo vhodnější zvolit malé zesílení.

Na závěr měření změn vnitřní teploty modelového prostoru jsem zaznamenával odezvy na jednotkový skok vyvolaný poruchovou veličinou. U těchto měření bylo důležité zajistit dostatečnou regulační rezervu pro dosažení žádané hodnoty i po vzniku poruchové veličiny. Tento fakt jsem musel zohlednit při výběru výkonu zdroje tepla.

---

<sup>18</sup> Vzhledem k rozsahu naměřených hodnot jsou tabulky umístěné v přílohách.

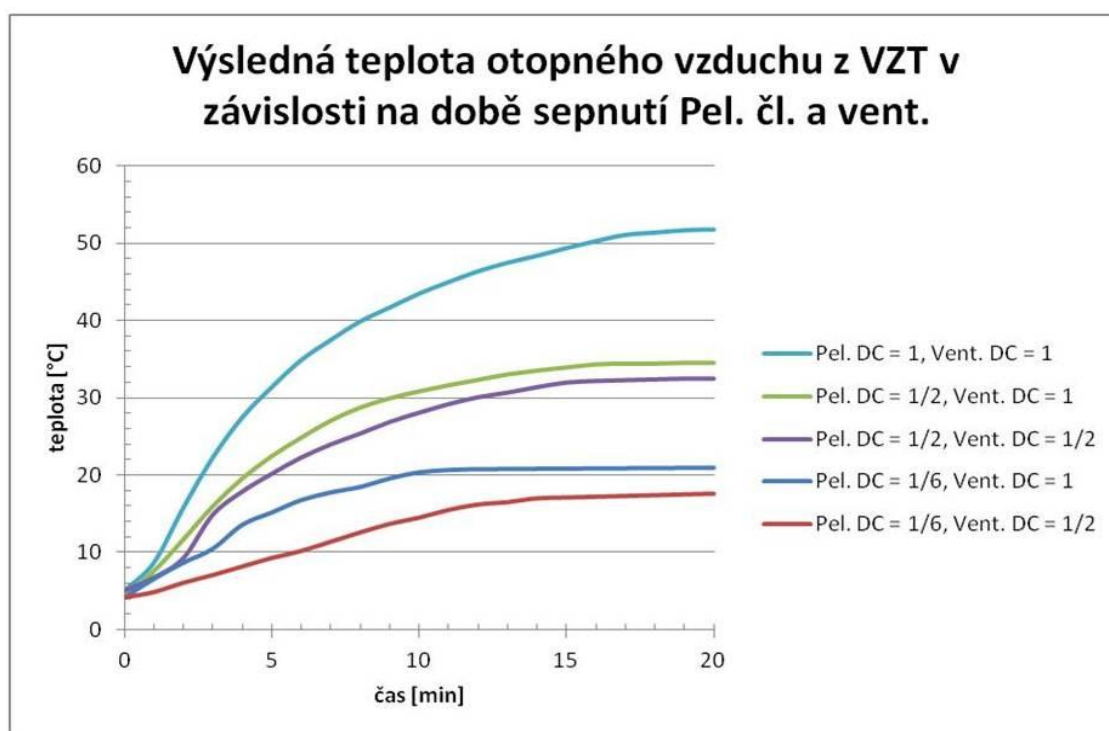
### 6.7.1 Nárůst teploty výstupního vzduchu z VZT šachty

V následující kapitole jsou výsledky z měření ohřevu vzduchu v šachtě, kterou jsem později použil pro vyhřívání modelového prostoru.

Měření jsem prováděl při různě dlouhé době běhu Peltierova článku a ventilátoru umístěném na horké straně. Článek i ventilátory jsem při měření spínal na poměrnou část z doby periody  $T = 1$  min. Tedy např. u nejnižší ustálené hodnoty na obr. 54 byl článek sepnutý na dobu 10 s a ventilátory na dobu 30 s.

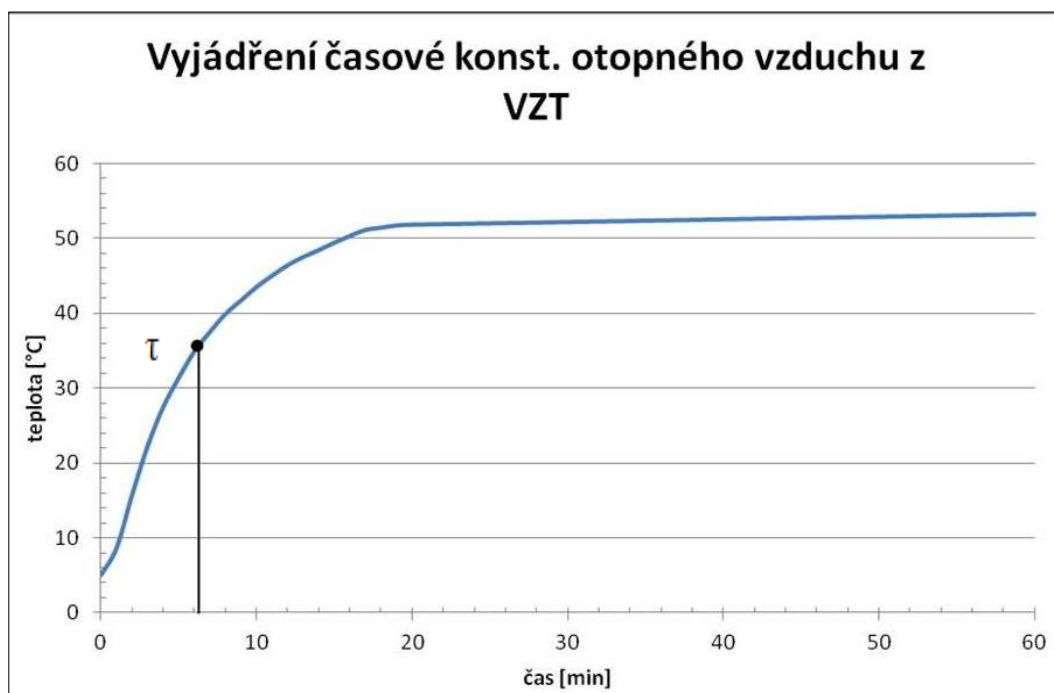
Graf rychlosti ohřevu vzduchu v šachtě

obr. 54 Průběhy nárůstu teploty vzduchu z VZT šachty do model. prostoru



## Časová konstanta pro ohřev vzduchu v šachtě<sup>19</sup>

obr. 55 Vyjádření čas. konst. pro ohřev vzduchu v šachtě



Po interpolaci naměřených hodnot vychází časová konstanta  $\tau = 6.3$  min, což odpovídá grafickému vyjádření konstanty na obr. 56.

<sup>19</sup> Určování všech časových konstant vychází z předpokladu, že se jedná o systémy 1. řádu.

## Závěr měření ohřevu vzduchu v šachtě Peltierovým článkem

Při měření ohřevu vzduchu v šachtě jsem zaznamenával dobu nárůstu teploty v závislosti na různé době sepnutí Peltierova článku nebo ventilátoru na chladiči. Článek byl při měřeních v provozu po dobu: 10 s, 30 s a 60 s a ventilátor byl spuštěný na dobu 30 s, nebo 60 s. Perioda spínání obou akčních členů byla při všech měřeních 1 min.

Nejmenší hodnoty výstupního vzduchu z VZT šachty jsem dosáhl při měření, kdy byl článek v provozu 10 s a ventilátor 30 s. Při dalších měřeních hodnoty rostly především v závislosti na prodlužující se době sepnutí Peltierova článku.

Delší sepnutí ventilátoru při stejné střídě sepnutí článku mělo za následek ustálení na mírně vyšší teplotě. Dále z měření vyplynulo, že se zvyšující se střídou sepnutí článku se rozdíl v ustálené teplotě, při odlišné době běhu ventilátoru, snižoval.

Nejvyšší ustálenou hodnotu jsem naměřil při stále sepnutém článku i ventilátoru.

Z naměřených údajů je vidět, že teplotu odváděného vzduchu z VZT šachty do modelového prostoru lze výrazně ovlivňovat frekvencí spínání otopného členu a ventilátoru, při mnou specifikovaných intervalech spínání se teplota odváděného vzduchu z šachty pohybovala v rozmezí 18-54 °C. Nakonec jsem však dále možnost změny teploty vzduchu na výstupu šachty ústící do modelového prostoru nevyužil z důvodu poměrně malého výkonu článku.



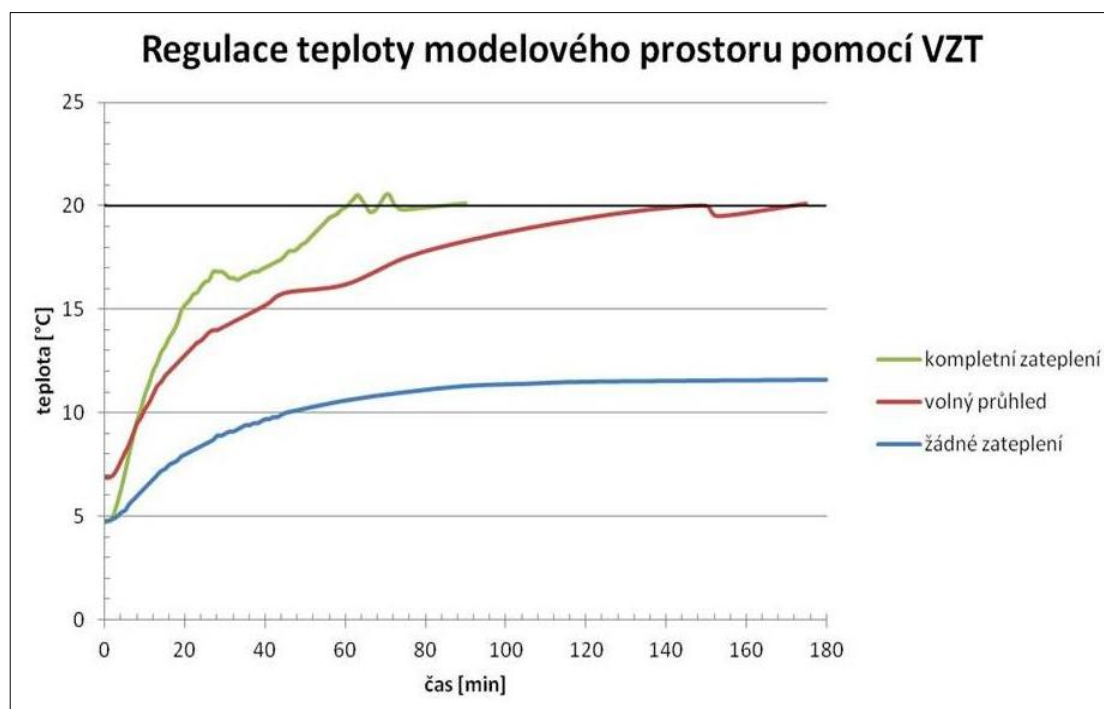
### 6.7.2 Ohřev modelového prostoru - VZT

Pro ohřev modelového prostoru nucenou konvekcí jsem použil Peltierův článek TEC1 12710 provozovaný na 12.1 V a 7.6 A se ztrátovým výkonem 92 W.

Článek byl v průběhu měření uložen mezi chladiči v ocelové šachtě obložené polystyrenem. Na horkou stranu článku jsem umístil ventilátor, který foukal teplý vzduch do modelového prostoru.

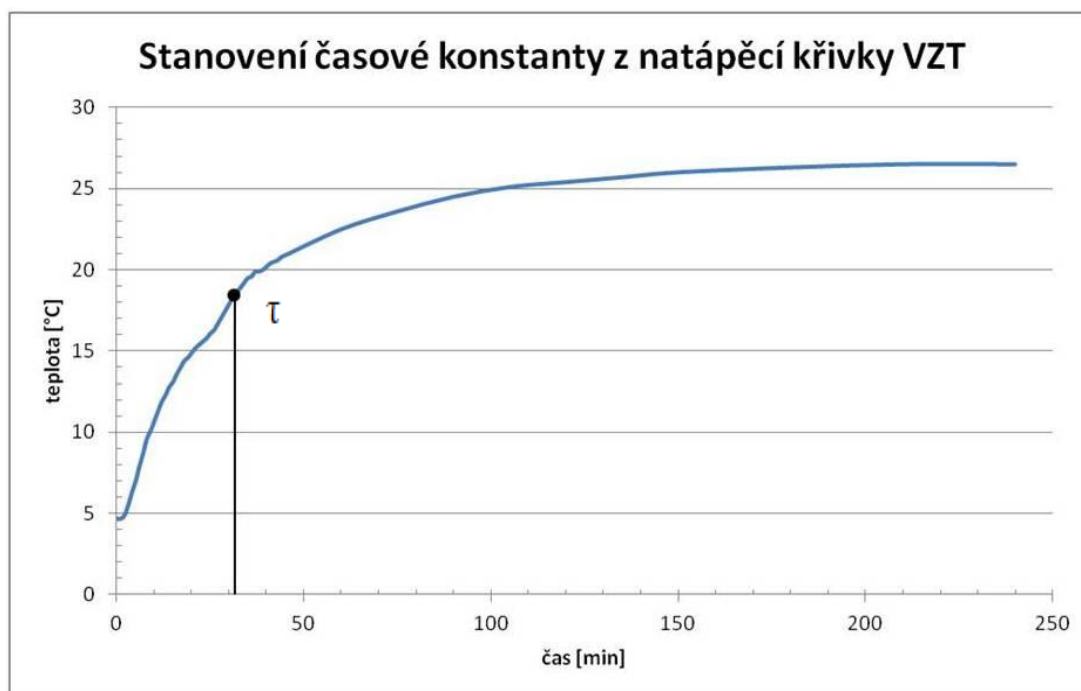
#### Graf regulace teploty modelového prostoru pomocí VZT

obr. 56 Regulace teploty modelového prostoru pomocí VZT



## Časová konstanta pro VZT ohřev modelového prostoru

obr. 57 Časová konst. pro ohřev VZT model. prostoru při komplet. zateplení



Časová konstanta pro ohřev modelu Peltierovým článkem při kompletně zatepleném prostoru vychází  $\tau = 32.6$  min.

### Závěr měření ohřevu modelového prostoru pomocí VZT

Z obr. 56 regulace teploty v modelovém prostoru při odlišném stupni zateplení je vidět, že v případě úplného a částečného zateplení došlo k ustálení průběhu teploty na žádané hodnotě. V případě regulace prostoru bez zateplení, nebyl ohřev dostatečně výkonný pro dosažení žádané hodnoty.

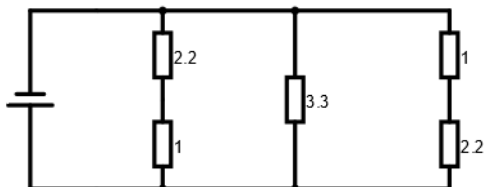
S ohledem na dříve zmíněné kritérium pro posuzování výkonů zdrojů tepla (min. dosažitelný rozdíl mezi venkovní a vnitřní teplotou by měl být 32 °C) však výkon VZT ani při kompletním zateplení objektu dostatečný nebyl. Vzhledem k této skutečnosti jsem po naměření jednotlivých otopných křivek odporů vybral jeden výkon pro použití do kombinovaného ohřevu v součinnosti s VZT ohřevem.

### 6.7.3 Ohřev modelového prostoru – odporové sálání

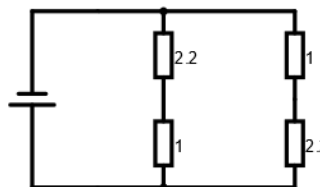
Při ohřívání modelového prostoru pomocí odporů jsem vyzkoušel několik různých zapojení 25 W a 50 W drátových odporů o hodnotách: 0R22, 0R47, 1R0, 2R2 a 3R3.

#### Zapojení odporů

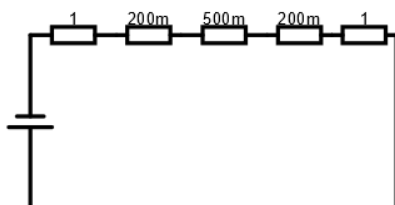
**obr. 58 Odporů - výkon 134 W**



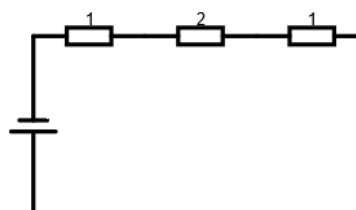
**obr. 59 Odporů - výkon 90 W**



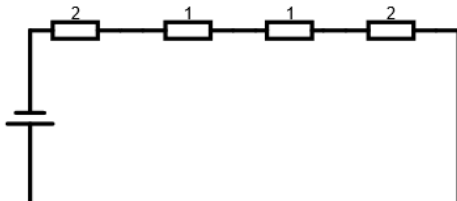
**obr. 60 Odporů - výkon 50 W**



**obr. 61 Odporů - výkon 36 W**

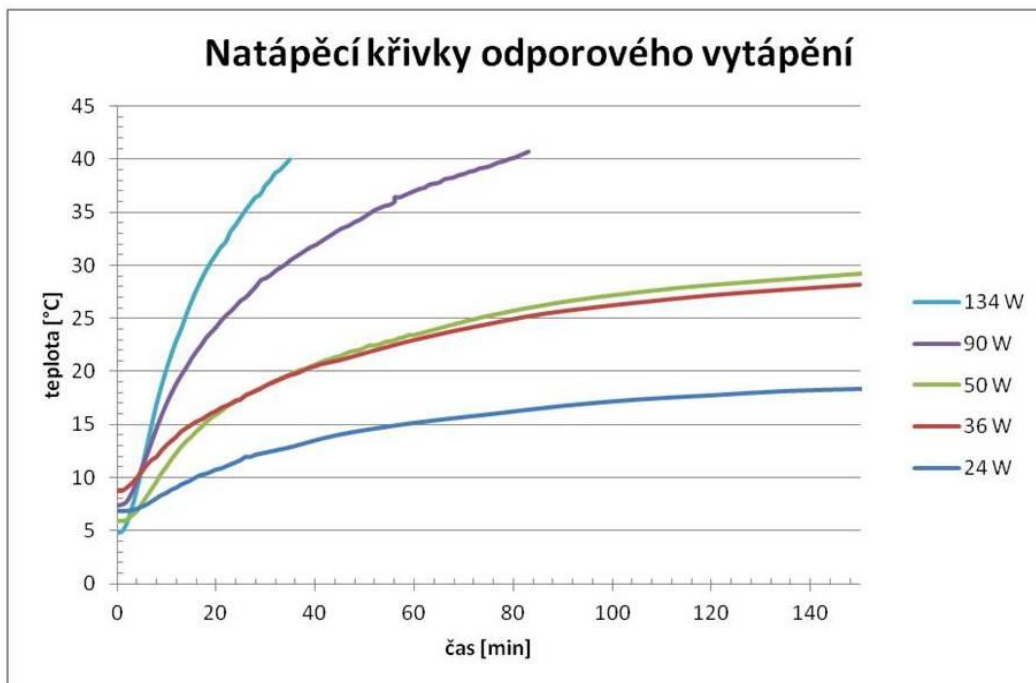


**obr. 62 Odporů - výkon 24 W**



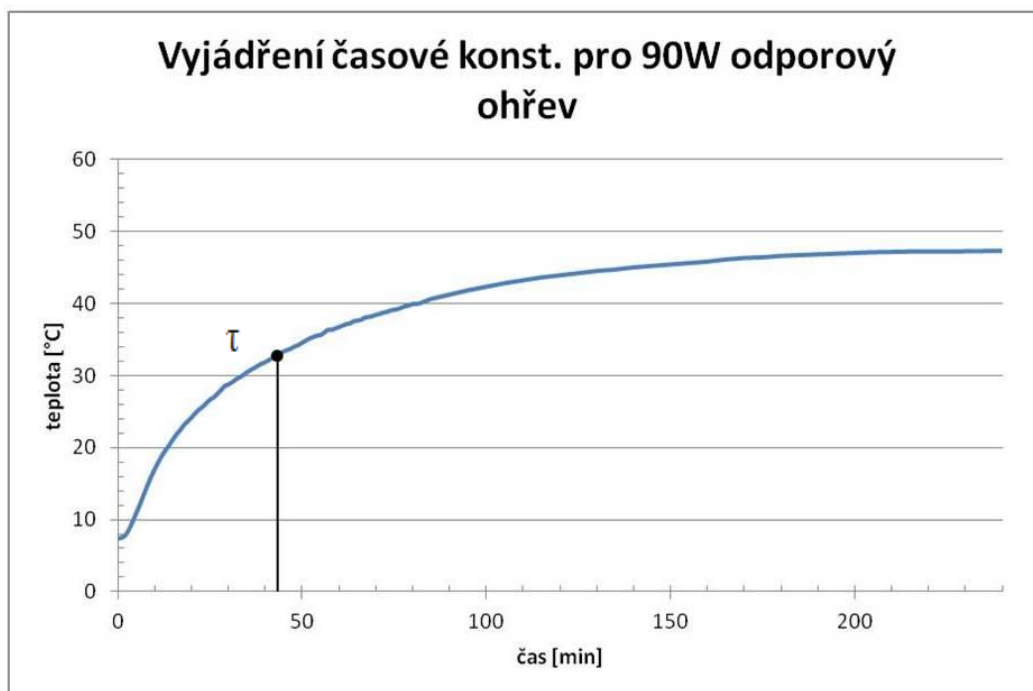
## Graf natápěcích křivek

obr. 63 Natápěcí křivky odporového ohřevu



## Časová konstanta pro ohřev modelového prostoru odporovým sáláním

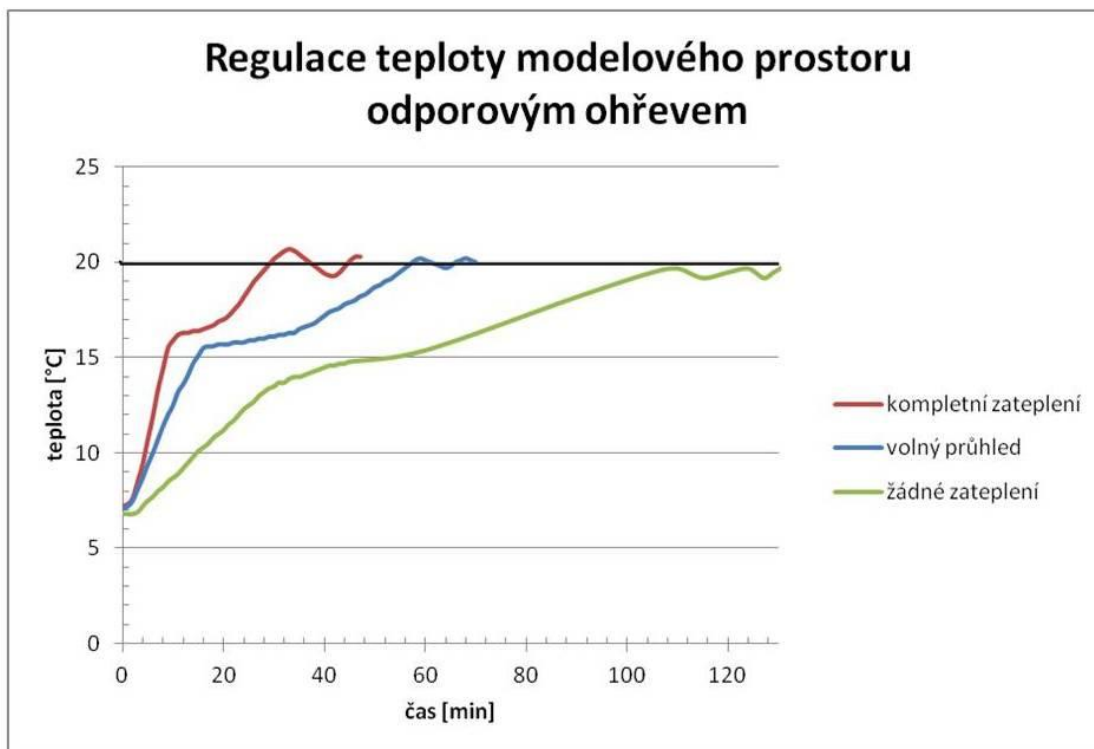
obr. 64 Časová konstanta pro odporový ohřev při completním zateplení



Časová konstanta pro odporový ohřev je  $\tau = 42.7$  min.

## Graf regulace teploty modelového prostoru odporovým ohřevem

obr. 65 Regulace prostorové teploty modelu pomocí odporového ohřevu



### Závěr měření ohřevu modelového prostoru odporovým saláním

Z naměřených natápěcích křivek jsem pro účely regulace teploty modelového prostoru vybral odpory o výkon 90 W, které splňovaly kritérium min. rozdílu mezi vnitřní a vnější teplotou (uvedené v úvodu kapitoly 6.7).

Z grafu na obr. 65 znázorňujícím regulaci vnitřní teploty pomocí odporů je patrné, že byl výkon schopný prostor ohřát na žádanou hodnotu. Rychlost regulace při měření byla závislá na aktuálních tepelných ztrátách. Při zateplení prostoru došlo k rychlejšímu ohřevu na žádanou hodnotu.

Na závěr je třeba dodat, že jsem měřil otopné křivky pro kompletně zateplený prostor (všechny stěny zateplené). Výkon zdroje tepla tedy splňuje kritérium pro tuto situaci. Pro ostatní případy (při částečně zatepleném a nezatepleném prostoru) by bylo nutné provést nová měření natápěcích křivek, aby bylo možné hodnotit splnění stanoveného kritéria.

#### 6.7.4 Ohřev modelového prostoru – VZT + sálání

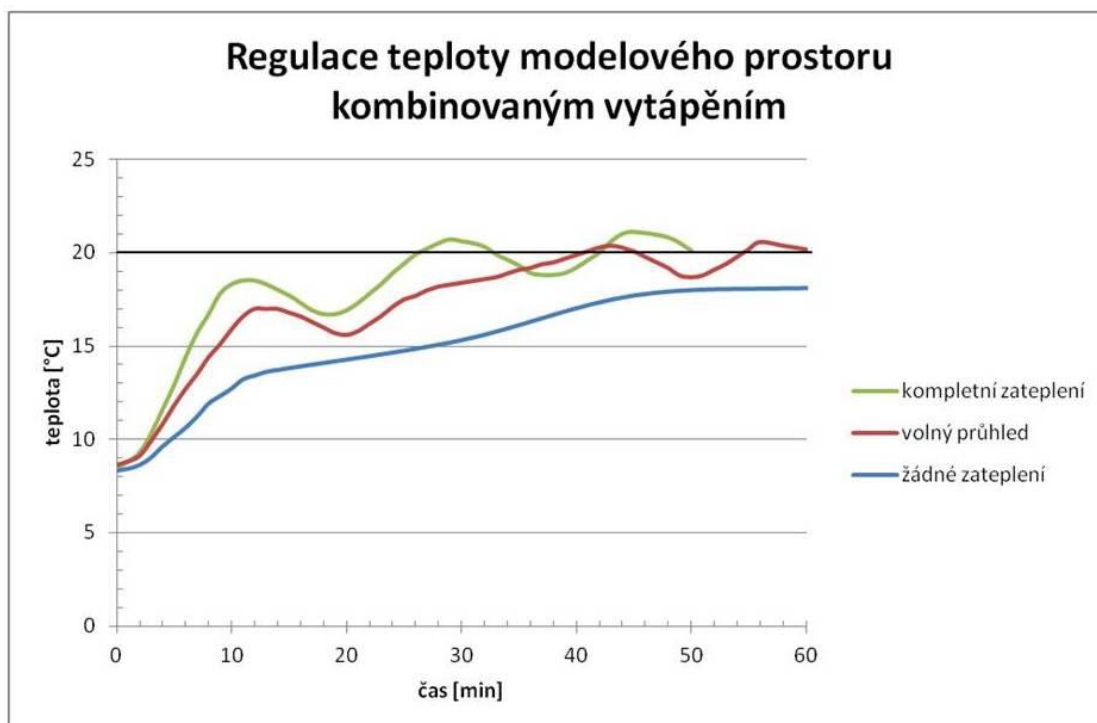
Při měřeních ohřevu modelového prostoru pomocí VZT jsem byl schopný prostor ohřát na žádanou hodnotu 20 °C, ohřev však neplnil požadované kritérium minimálního rozdílu mezi venkovní a vnitřní teplotou 32 °C, proto jsem společně s ohřevem pomocí Peltierova článku použil i odporové vytápění.

Následující měření jsem tedy provedl použitím kombinovaného ohřevu Peltierovým článkem TEC1 12710 a odporovým ohřevem o výkonu 50 W

Zvažoval jsem i případné použití odporu o výkonu 90 W, jako u čistě odporového ohřevu v předešlé kapitole. Po naměření natápěcí křivky jsem však zjistil, že bude 50 W výkon spolu s Peltierovým článkem dostatečný pro dosažení nastaveného kritéria.

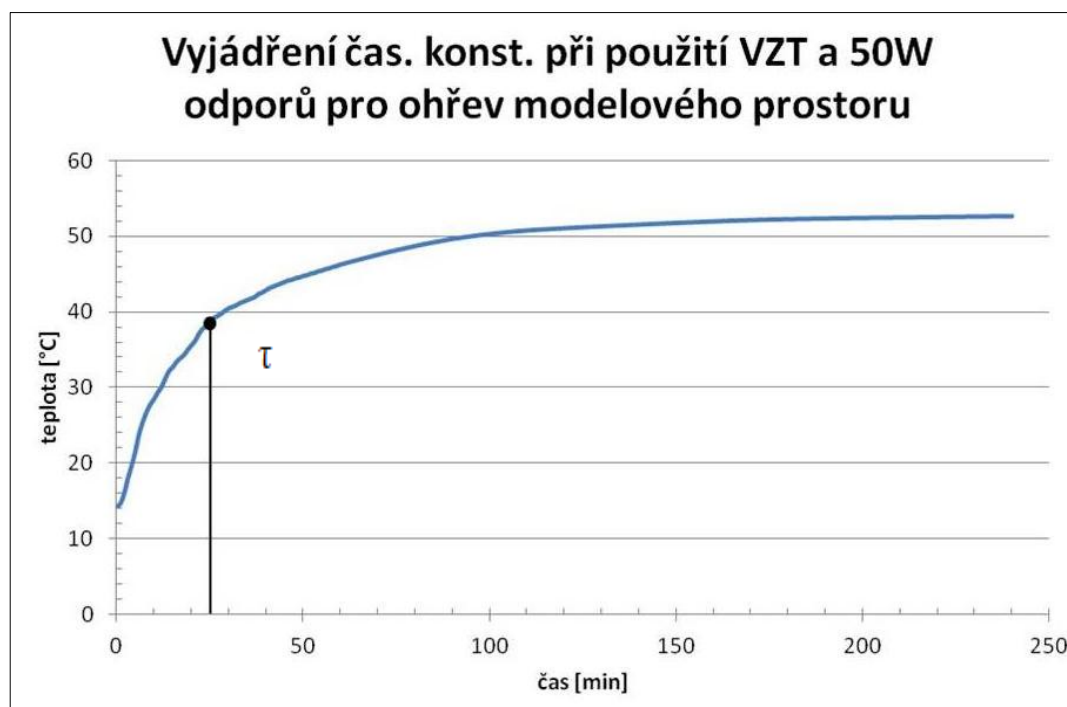
#### Graf regulace teploty modelového prostoru kombinovaným ohřevem

obr. 66 Regulace prostorové teploty modelu kombinovaných vytápěním



## Časová konstanta pro kombinovaný ohřev modelového prostoru

obr. 67 Časová konst. kombinovaného ohřevu při úplném zateplení prostoru



Časová konst. pro kombinovaný ohřev vychází  $\tau = 25.2$  min.

### Závěr měření kombinovaného ohřevu modelového prostoru

Po naměření otopných křivek odporů jsem pro kombinovaný ohřev zvažoval použití odporů o výkonu 50 W popř. 90 W. Vzhledem k tomu, že 50W odporový ohřev a VZT ohřev splňovaly po naměření otopné křivky kombinovaného ohřevu stanovené kritérium minimálního rozdílu vnitřní a venkovní teploty 32 °C, použil jsem pro následnou regulaci prostorové teploty tuto kombinaci.

Stejně jako v případě odporového ohřevu jsem i v tomto případě splnění stanoveného kritéria ověřoval pro případ kompletně zatepleného modelového prostoru.

Z grafu na obr. 66 jsou patrné regulované průběhy vnitřní teploty prostoru. U průběhů kompletně a částečně zatepleného prostoru se aktuální hodnota prostoru pohybuje s větší odchylkou kolem žádané hodnoty v porovnání s čistě odporovým ohřevem. Tento jev je způsobený různými časovými konstantami jednotlivých typů ohřevů, které mají zároveň vliv i na časovou konstantu modelového prostoru (odporový ohřev prodlužuje časovou konstantu modelového prostoru akumulací energie do kachliček umístěných pod odpory).

### 6.7.5 Chlazení zmenšeného modelového prostoru

Pro chlazení modelového prostoru jsem chtěl původně použít stejnou konstrukci (šachtu osazenou Pel. článkem a chladiči), kterou jsem použil pro ohřívání. Při prvním zkušebním vychlazení modelového prostoru, kompletně obloženého polystyrenem, však měření ukázalo pouze minimální schopnost prostor vychladit.

Na vině bylo špatné tepelné odizolování horké a studené strany článku uloženého v šachtě, zpětný tepelný únik a následné ohřívání studené strany na teploty blížíící se teplotě okolí. Chladná strana článku pak nebyla schopná snížit teplotu modelového prostoru na žádanou hodnotu.

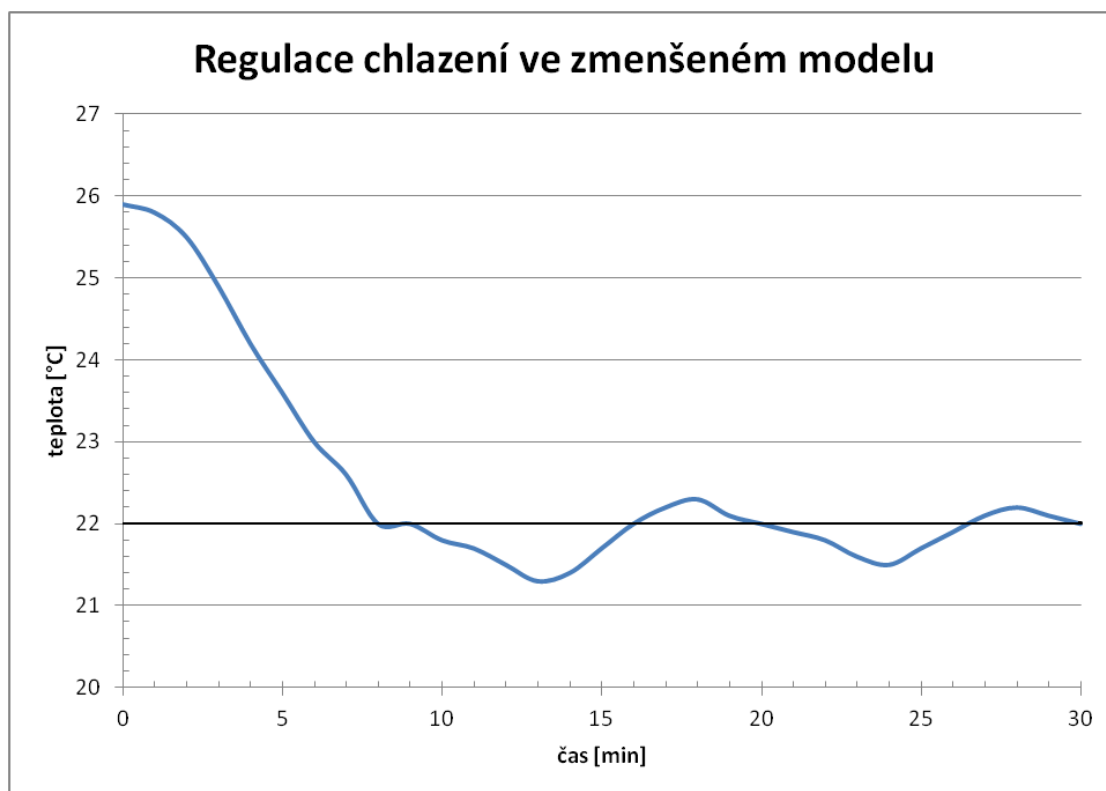
Proto jsem zkonstruoval zmenšený model, u kterého jsem chtěl zajistit lepší tepelnou izolaci a ověřit schopnost článku TEC1 12710 vychladit prostor o objemu 2.3 l.

Jak je vidět z měření, rozdíl byl výrazný. Teplotní difference na horké a studené straně byla přes 50 °C a teplota chladné strany spadla pod bod mrazu.

Regulaci vychlazování prostoru jsem prováděl na žádanou teplotu 22 °C.

#### Graf regulace chlazení zmenšeného modelového prostoru

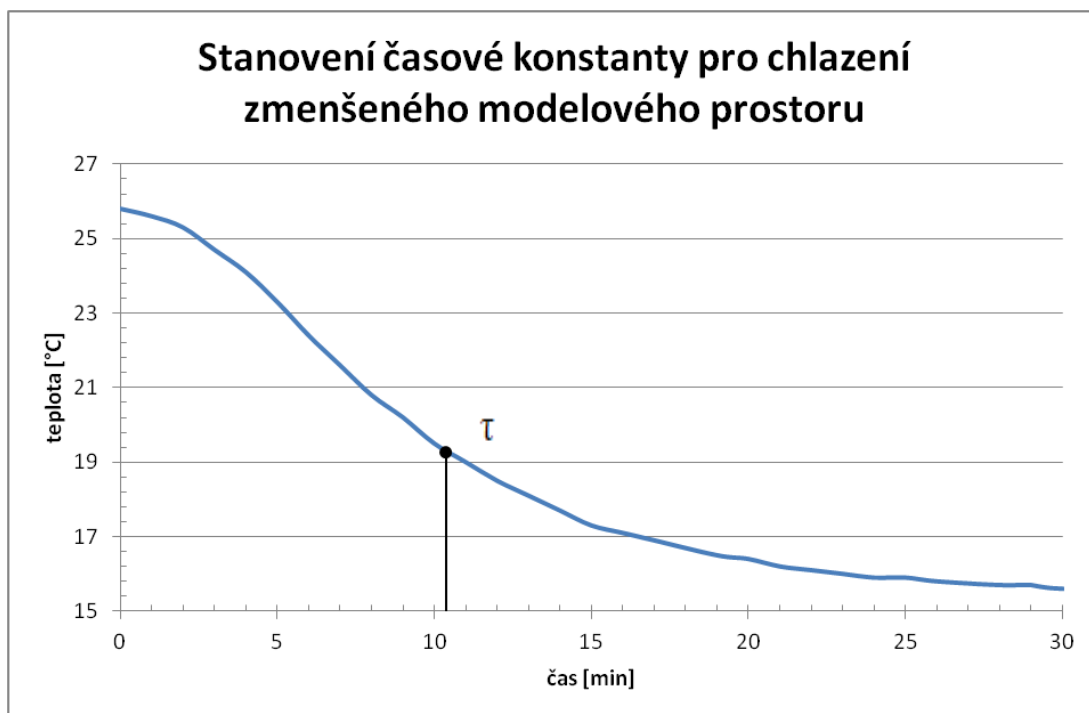
**obr. 68 Regulace vnitřní teploty zmenšeného modelového prostoru**





## Časová konstanta chlazení zmenšeného modelového prostoru

obr. 69 Časová konstanta pro zmenšený modelový prostor



Časová konst. pro chlazení zmenšeného modelu  $\tau = 10.4$  min.

### Závěr měření chlazení zmenšeného modelového prostoru<sup>20</sup>

Z naměřených hodnot je vidět, že rozdíl teploty zmenšeného modelového prostoru oproti teplotě okolí přesáhl 10 °C.

Po naměření průběhů jsem zmenšený model předělal na malou chladicí jednotku, kterou jsem nainstaloval do velkého modelu z překližky. Jednotka byla schopná ochladit modelový prostor pouze o 3-4 °C vůči okolí. Proto jsem uvažoval o dodatečné instalaci dalších článků do horní části modelového prostoru. Konstrukčně by však tento zásah byl poměrně složitý, protože s ním nebylo počítáno při návrhu a realizaci modelu, proto jsem se rozhodl pro naměření průběhů poklesů vnitřních teplot vytvořit model o stejném objemu regulovaného prostoru.

<sup>20</sup> U grafů je záměrně potlačená nula na vertikální ose pro názornější zobrazení průběhů poklesu teplot.

### 6.7.6 Chlazení modelového prostoru

Vzhledem ke schopnosti jednoho článku ochladit modelový prostor pouze o 3-4 °C vůči okolí jsem byl buď nucen provést neplánovaný zásah do původního modelu (který by byl komplikovaný a bylo by nutné mimo jiné vyřešit jiné umístění senzorů a osvětlení), nebo vytvořit nový a zjednodušený model, který by bylo možné chladit více články.

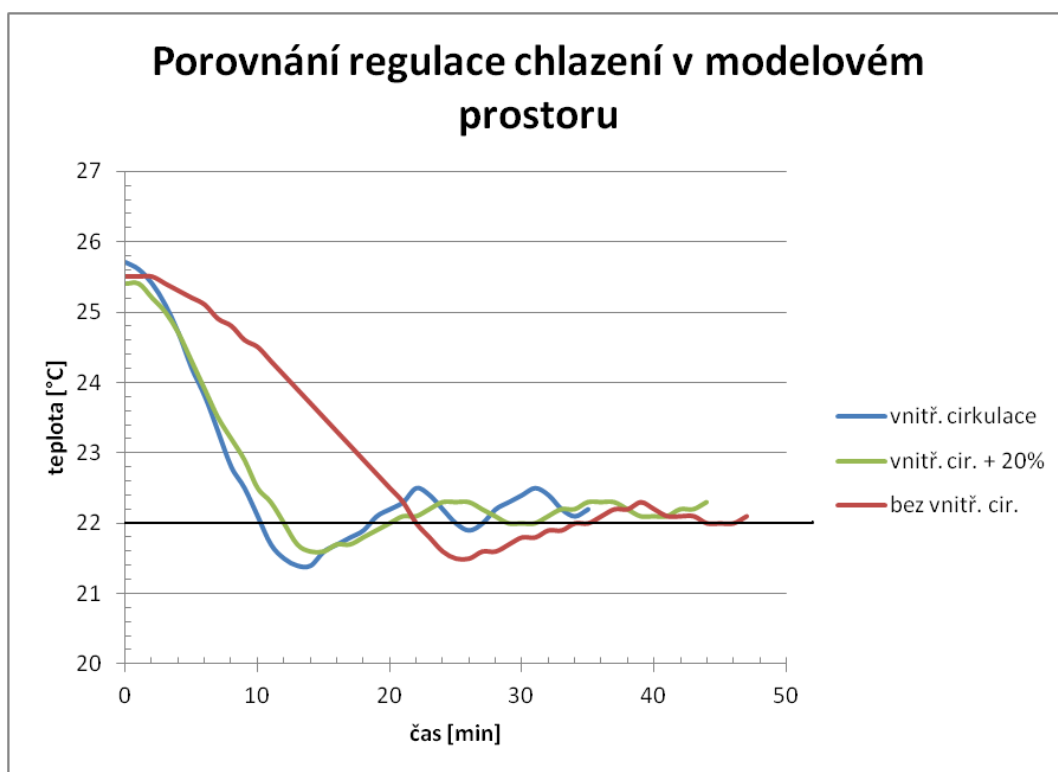
Po této úvaze jsem nakonec zkonstruoval model o stejném objemu modelového prostoru (bez zadní technické části) a o stejné tloušťce polystyrenu, určený výhradně pro naměření průběhů ochlazování prostoru. Při konstrukci jsem se soustředil především na odizolování horké a studené strany článků. Teplota chladičů na teplé straně byla mezi 40.7 °C až 43.2 °C.

Po prvních měřeních jsem dále do prostoru dodatečně nainstaloval ventilátory zajišťující vnitřní cirkulaci vzduchu pro lepší tepelnou výměnu s chladiči na studené straně článků, jejichž teplota byla pod bodem mrazu. Teplota na jednotlivých chladičích se pohybovala mezi -7.8 °C až -3.8 °C.

Žádanou hodnotu při všech regulacích chlazení prostoru jsem nastavil na 22°C.

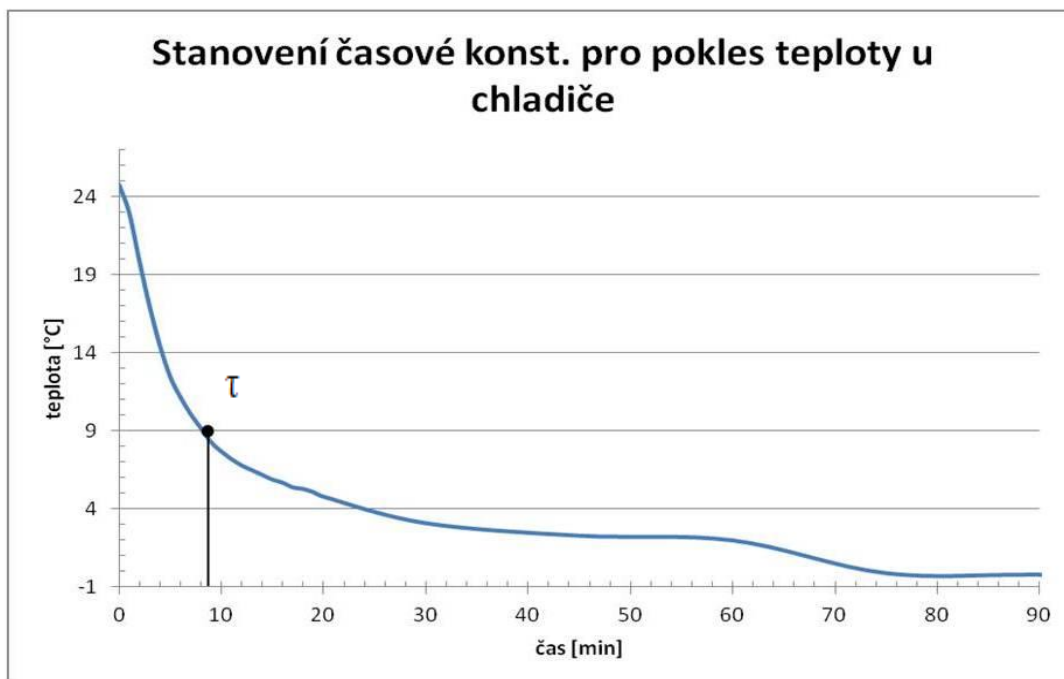
## Graf regulace chlazení modelového prostoru

obr. 70 Regulace chlazení modelového prostoru



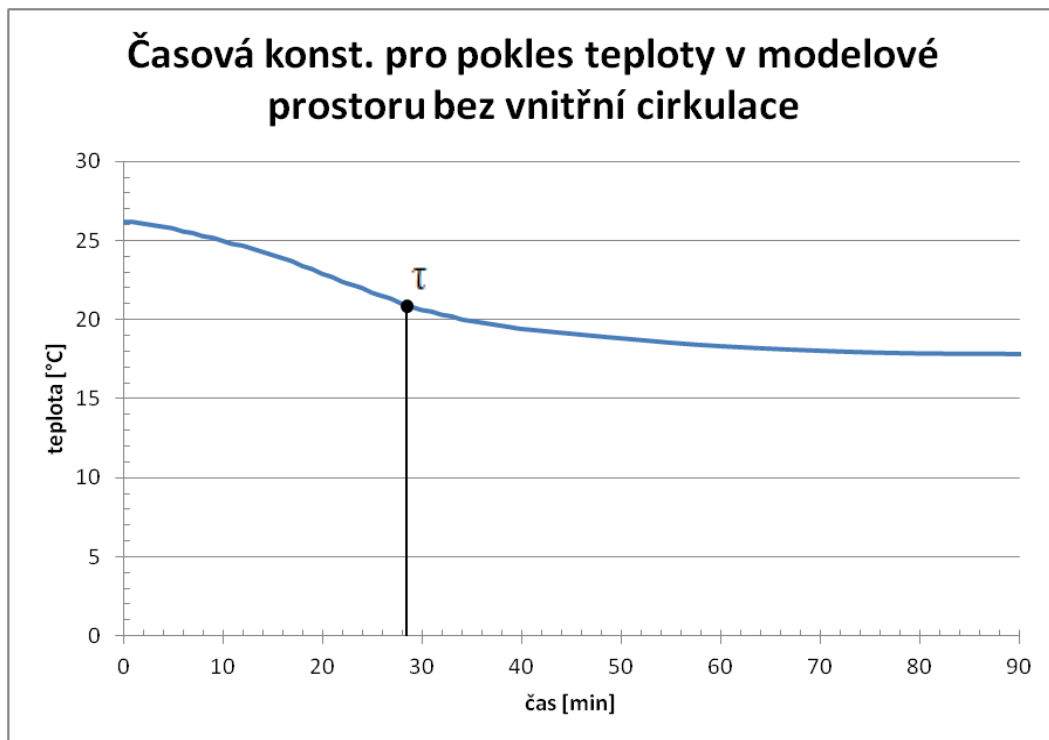
## Časové konstanty pro různé situace chlazení modelového prostoru

obr. 71 Časová konst. pro pokles teploty u chladiče



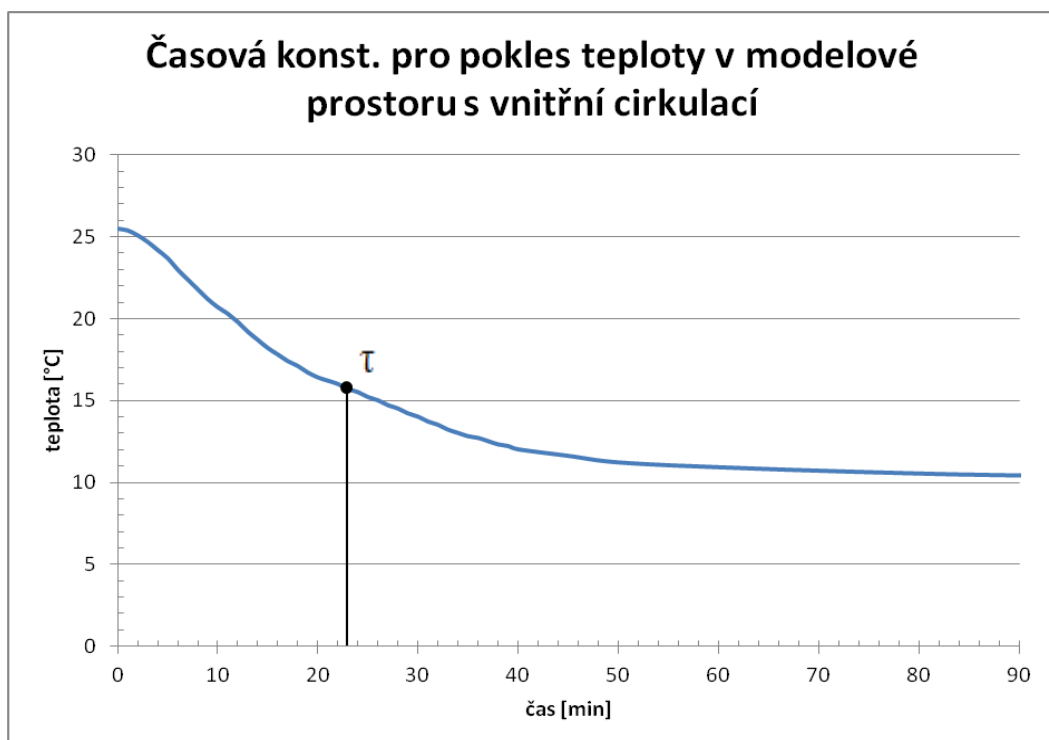
Časová konst. pro pokles teploty u chladiče vychází  $\tau = 8.3$  min.

obr. 72 Časová konst. pro pokles teploty v prostoru bez cirkulace



Časová konst. pro chlazení prostoru bez cirkulace je  $\tau = 28.5$  min.

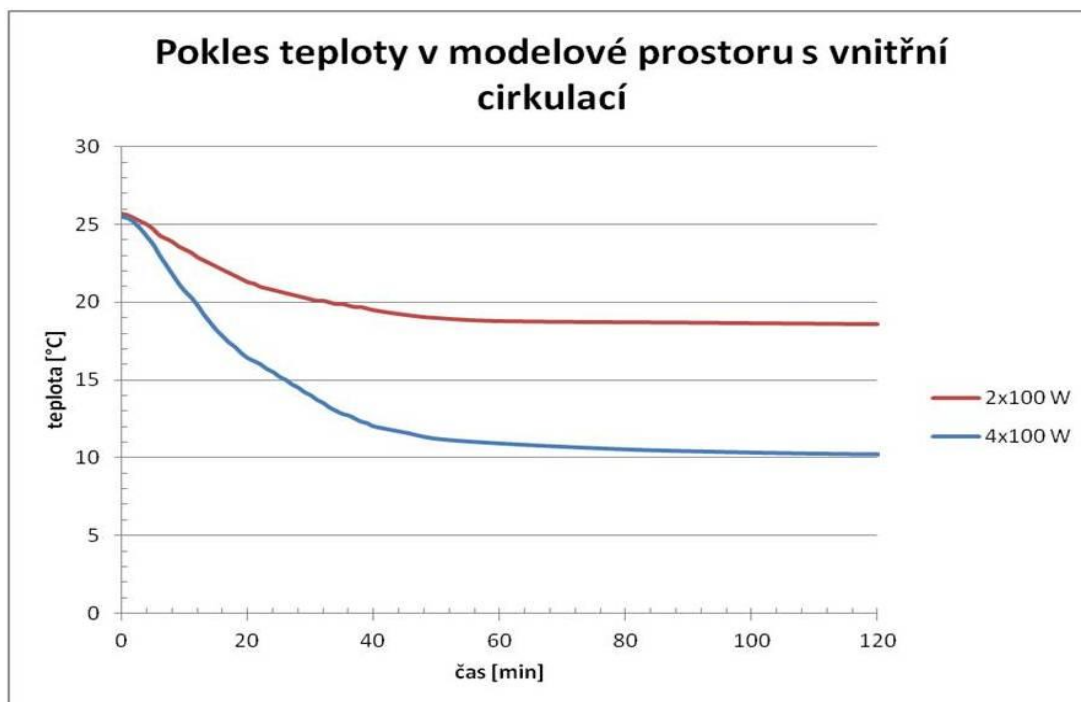
obr. 73 Časová konst. pro pokles teploty v prostoru s cirkulací



Časová konst. pro chlazení s vnitřní cirkulací vychází  $\tau = 22.8$  min.

## Graf chlazení modelového prostoru při různých výkonech

obr. 74 Přechodové char. chlazení model. prostoru při různých výkonech



### Závěr měření chlazení modelového prostoru<sup>21</sup>

Při prvotní realizaci modelu jsem z hliníkových těles na studené straně článků neodváděl chlad. Výsledek měření je vidět na obr. 72. Teplota v modelovém prostoru poklesla vůči okolí o 8.4 °C. Po instalaci vnitřních ventilátorů (obr. 73) se výrazně zlepšila tepelná výměna mezi chladičem a vzduchem modelového prostoru. Při stejném výkonu pak teplota poklesla v modelovém prostoru vůči teplotě okolí o 15.4 °C. Po tomto zlepšení jsem ještě pro zajímavost naměřil průběhy poklesu teploty pouze se dvěma články a výsledek poklesu teploty byl srovnatelný s měřením o dvojnásobném výkonu bez vnitřní cirkulace modelového prostoru.

Při regulaci chlazení modelového prostoru jsem srovnával chlazení prostoru s vnitřní cirkulací a bez vnitřní cirkulace. V prvním případě jsem docílil rychlejšího poklesu teploty na žádanou hodnotu. Regulace prostoru bez cirkulace byla sice pomalejší, ale z obr. 70 je patrné, že měl průběh teploty menší výkyvy kolem žádané hodnoty. Při použití parametru „Min PWM“, který zapínal chlazení i při dosažení žádané hodnoty jsem docílil vyhlazení průběhu snížením maxim oproti průběhu chlazení s vnitřní cirkulací bez „Min PWM“.

S vnitřní cirkulací byl tedy systém účinnější a byl dostačující menší výkon.

<sup>21</sup> U dvou grafů jsem pro názornost potlačil nulu na vertikální ose.

### 6.7.7 Regulace teploty při poruchové veličině větráním prostoru

Na závěr měření týkajících se teploty jsem provedl měření vytápění modelového prostoru s uměle vyvolanou poruchovou veličinou, kterou jsem do systému<sup>22</sup> zanesl provětráváním modelového prostoru.

Při měřeních jsem sledoval odezvu na jednotkový skok (při spuštění ventilace) a následnou reakci regulátoru. Měření jsem provedl pro různá nastavení parametrů regulátoru.

Při měření strmosti nárůstu teploty v závislosti na zesílení regulátoru se venkovní teplota pohybovala kolem 20-21 °C. Při měření odezev v závislosti na nastaveném vzorkování a při optimalizaci nastavení regulátoru byla okolní teplota 16-17 °C. Kvůli tomuto nárůstu venkovní teploty oproti předešlým měřením, při kterých se většinou pohybovala venkovní teplota kolem 4-8 °C, jsem tedy musel zvýšit žádanou hodnotu vnitřní teploty modelového prostoru, abych docílil většího rozdílu mezi aktuální a žádanou teplotou.

Před samotnými měřeními jsem však nejprve potřeboval zjistit, na jakou hodnotu bude schopné vytápění modelový prostor ohřát (při zvoleném výkonu odporového ohřevu 134 W), abych měl určitou regulační rezervu při vzniku poruchové veličiny a mohl v závislosti na naměřené ustálené teplotě ohřátého modelového prostoru zvolit pro regulaci vhodnou žádanou hodnotu. V případě, že by nebyl vybraný výkon dostatečný pro zajištění regulační rezervy, použil bych kombinovaný ohřev (odporový ohřev o výkonu 134 W s VZT ohřevem).

Po 2 hodinách se teplota modelového prostoru ustálila<sup>23</sup> na teplotě 84 °C. Následně jsem při stále zapnutém ohřevu sepnul i ventilaci a čekal jsem na novou ustálenou hodnotu. Teplota modelového prostoru se po 1 hodině ustálila na hodnotě 45 °C.

Žádanou hodnotu jsem tedy nastavil na 35 °C. Při této hodnotě žádané veličiny jsem měl jistotu dostatečné regulační rezervy při vzniku poruchové veličiny.

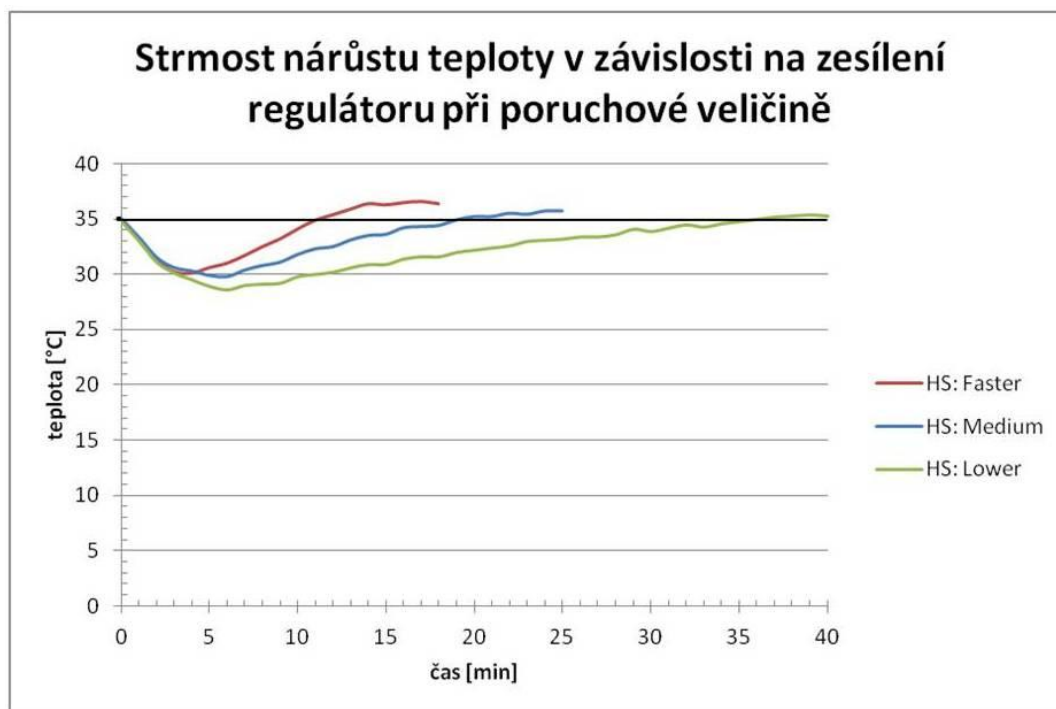
---

<sup>22</sup> Měřil jsem na původním modelu z překližky.

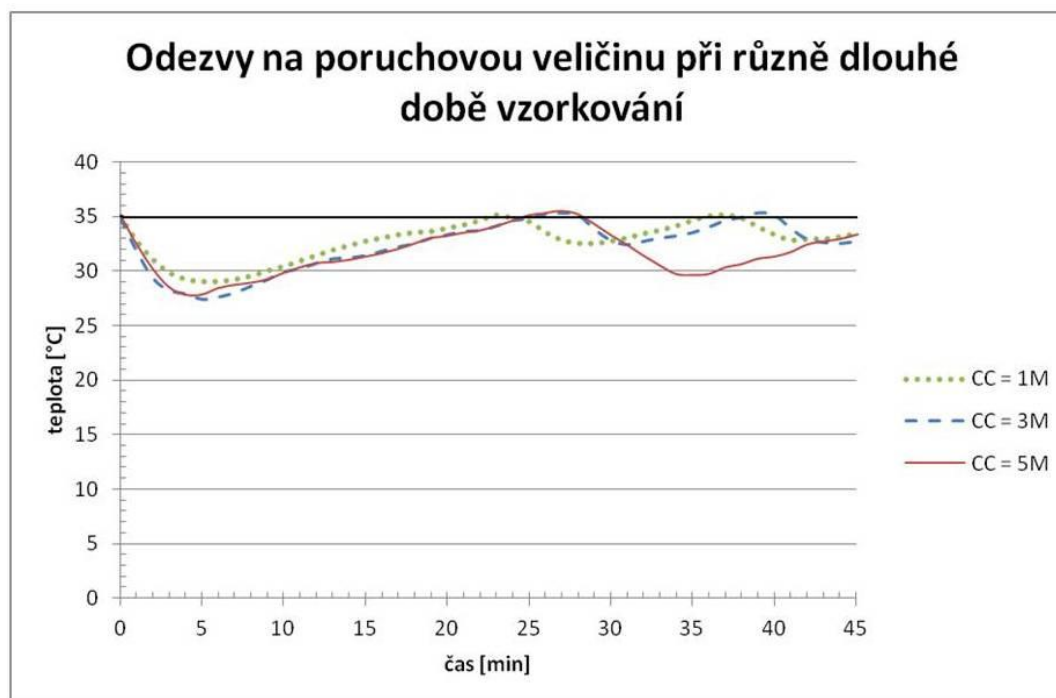
<sup>23</sup> Hodnota ještě mírně rostla, přesto jsem ohřev s ohledem na vysokou teplotu ukončil.

## Grafy odezvy regulátoru na jednotkový skok

obr. 75 Strmost nárůstu teploty v závislosti na zesílení regulátoru

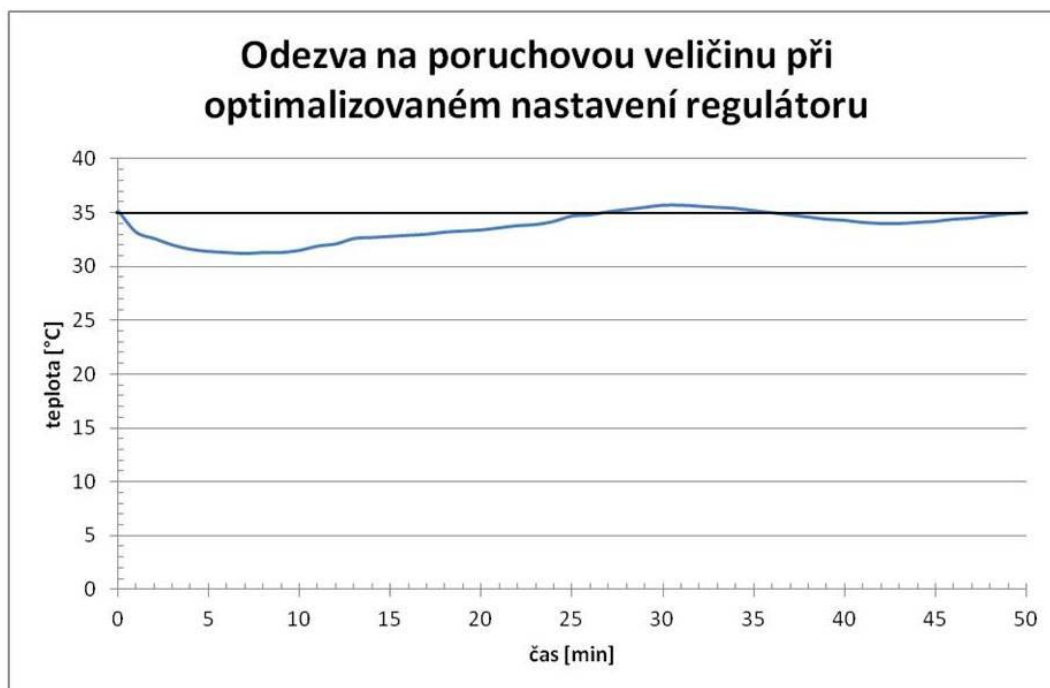


obr. 76 Odezvy na poruchovou veličinu při různých dobách vzorkování



Grafy reakce optimalizovaného regulátoru na jednotkový skok

obr. 77 Odezva na poruchovou veličinu při optimalizovaném nastavení regulátoru





## Závěr měření odezev na poruchovou veličinu vzniklou spuštěním ventilace

Odezvy na jednotkový skok jsou znázorněny na obr. 75 a obr 76. Všechny měření jsem prováděl při žádané hodnotě modelového prostoru 35 °C. Ustáleného stavu s odchylkou  $\pm 0.5$  °C od žádané hodnoty se mi podařilo dosáhnout s nejnižším zesílením regulátoru („Heating Speed: Lower“) při době vzorkování 3 minuty („Control Cycle: 3M“) a hodnotě parametru regulátoru „Min PWM“ 5 %. Každé měření jsem tedy začínal s tímto nastavením regulátoru. Po ustálení na žádané hodnotě jsem následně spustil ventilaci, která přestavovala uměle vytvořenou poruchovou veličinu. Při zapnutí ventilace došlo k rychlému poklesu teploty v modelovém prostoru, tento pokles kompenzoval regulátor MFH, který jsem v okamžiku vzniku poruchové veličiny nastavil na právě měřené parametry.

Měření jsem provedl pro 3 různá nastavení zesílení regulátoru a následně pro 3 doby vzorkování.

V závislosti na volbě zesílení, reagoval regulátor na poruchovou veličinu s odlišnou rychlostí. Jak je vidět na obr. 75, při nejvyšším zesílení byl opětovný nárůst teploty v modelovém prostoru nejrychlejší. Přesto bylo vhodnější regulátor nastavit na střední popř. nízké zesílení, při kterém byl návrat na žádanou teplotu prostředí pozvolnější, regulace však byla stabilnější.

Z obr. 76 je patrné, že volba délky vzorkování neměla velký vliv na počáteční reakci regulátoru na vznik poruchové veličiny. Doba vzorkování 5M a 3M měla téměř shodnou počáteční odezvu na jednotkový skok.

Po dosažení žádané hodnoty a snížení výkonu zdroje tepla však došlo k dalšímu poklesu vnitřní teploty, který byl u doby vzorkování 3M nižší ve srovnání s dobou vzorkování 5M. Nejkratší nastavitelná doba vzorkování 1M byla nejvíce vhodná pro snížení poklesu teploty při vzniku poruchové veličiny. Teplota prostoru však i při tomto měření poklesla o 6 °C. (následující poklesy vnitřní teploty byly již mírnější, mezi 2 až 2,5 °C).

Nakonec jsem tedy provedl optimalizaci nastavení regulátoru MFH (obr. 77). Nejlepších výsledků jsem dosáhl při středním zesílení („Heating Speed: Medium“), dvou minutové době vzorkování („Control Cycle: 2M“) a hodnotě parametru regulátoru „Min PWM“ 20 %. Vhodnější by bylo (vzhledem k rychlé změně teploty při vzniku poruchové veličiny) použití rychlejšího vzorkování než 2M. Dobu vzorkování 2M jsem zvolil kvůli nedostatečné hodnotě „Min PWM“ (hodnota 20 % byla max. nastavitelná). Tato hodnota parametru však zdaleka nedostačovala pro zmírnění poklesu vnitřní teploty prostoru, který vznikl jako reakce na stále běžící ventilaci při dosažené žádané hodnotě a sníženém výkonu ohřevu (způsobeném dosažením žádané hodnoty).

Abych prodloužil dobu běhu ohřevu i při dosažené žádané hodnotě, nastavil jsem odpad relé s celkovým zpožděním 76 s („OFF Delay: 16s“ a „OFF Protect Delay: 1M“). Spolu s nastaveným parametrem „Min PWM: 20 %“ byl tedy ohřev v chodu 100 s z doby vzorkování 2 minuty. Díky tomuto zásahu jsem oproti předchozím měřením docílil mírnějšího poklesu teploty modelového prostoru způsobeného poruchovou veličinou. U prvního poklesu teploty prostoru při vzniku poruchy sice teplota poklesla o 4 °C, následující pokles vnitřní teploty však představoval pokles pouze o 1 °C oproti žádané hodnotě 35 °C. Další zlepšení odezvy na poruchovou veličinu by již bylo pravděpodobně nutné provést na modelu. Rozdíl 3 °C mezi jednotlivými poklesy u optimalizovaného nastavení regulátoru byl dán nedostatečně ohřátými odpory při udržování ustálené hodnoty bez poruchové veličiny. Z toho plyne, že zlepšení by bylo možné docílit použitím ohřevu, který má kratší časovou konstantu ohřátí otopného tělesa a mohl by tak lépe zareagovat na vzniklou poruchovou veličinu.

Dalším možným krokem pro zlepšení stability regulace a snížení regulační odchylky by mohlo být snížení průtoku vzduchu ventilátorů. Vzhledem k tomu, že se mi však již podařilo rychlý pokles teploty (vzniklý při opětovném dosažení žádané hodnoty a následném snížení výkonu zdroje tepla při běžící ventilaci) dostatečně zpomalit, nepředpokládám, že by toto opatření hrálo klíčový faktor ve zlepšení kvality regulace.

Při regulaci je kromě nastavení regulátoru třeba brát v úvahu velikost a parametry regulovaného prostoru a dále také typ a výkon zdroje tepla. Vytápěný prostor je malý s rychlou odezvou na změnu prostorové teploty (vzhledem k typu a tloušťce materiálu) a odporový výkon poměrně velký (kvůli regulační rezervě pro dosažení žádané hodnoty i při poruchové veličině). Z tohoto důvodu by bylo vhodné kromě snížení průtoku vzduchu snížit i výkon zdroje tepla, který by v případě nižší poruchové veličiny již stejně nebyl zapotřebí. Tím by se následně prodloužila časová konstanta systému a nebylo by třeba velkého zesílení a krátké doby vzorkování. Systém by pak pravděpodobně lépe reagoval na vzniklou poruchovou veličinu a regulace by mohla vykazovat vyšší stabilitu.

### 6.7.8 Regulace osvětlení

Při měření a regulaci osvětlení jsem použil senzor HDL-MSP07M.4C. Každou hodinu jsem za slunečného dne v modelovém prostoru měřil hodnotu intenzity přirozeného osvětlení a hodnotu intenzity kombinovaného osvětlení, realizovaného dvěma LED žárovkami.

#### Hodnoty intenzity osvětlení

tab. 3 Intenzita osvětlení

čas	přirozené osv. [lx]	kombinované osv. [lx]
0:00	0	503
1:00	0	510
2:00	0	493
3:00	0	501
4:00	0	488
5:00	0	511
6:00	22	505
7:00	664	664
8:00	1336	1336
9:00	744	744
10:00	532	532
11:00	380	487
12:00	362	504
13:00	203	493
14:00	191	489
15:00	189	507
16:00	143	491
17:00	112	494
18:00	93	502
19:00	47	512
20:00	11	515
21:00	0	490
22:00	0	503
23:00	0	508

#### Nejistota měření hladiny konstantní intenzity osvětlení<sup>24</sup>

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = 500.3$$

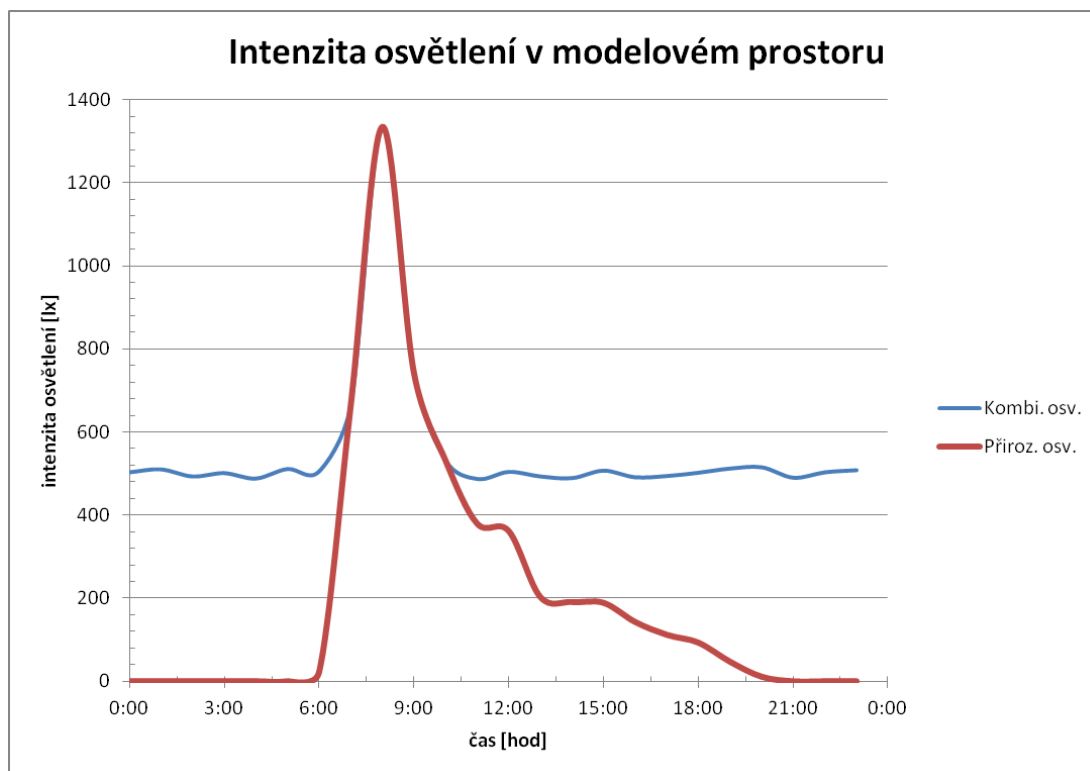
$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = 8.93$$

$$\bar{s} = \frac{s}{\sqrt{N}} \cong 2.0$$

<sup>24</sup> Nejistotu jsem nepočítal z hodnot naměřených v časech 7:00 až 10:00, protože v této chvíli byly LED vypnuté.

## Graf intenzity osvětlení

obr. 78 Intenzita osvětlení v modelovém prostoru



### Závěr měření regulace osvětlení

Z hodnot je patrné, že intenzita přirozeného osvětlení v modelovém prostoru v průběhu dne značně kolísala, naproti tomu hodnota regulované hladiny intenzity osvětlení se v případě nedostatečného osvětlení pohybovala kolem žádané hodnoty 500 lx.

### 6.7.9 Detekce znečištění vzduchu

V modelovém prostoru jsem zajišťoval kvalitu vzduchu pomocí senzoru SB-CMS-LA. Znečištění ovzduší jsem způsoboval vonnou tyčinkou produkující CO, CO<sub>2</sub> a další plyny. Použitý senzor pak detekoval znečištění vzduchu a následně spustil větrání prostoru.

Při prvním měření jsem vonnou tyčinku po detekci plynu z prostoru odstranil, v druhém případě jsem tyčinku ponechal v modelovém prostoru i po sepnutí ventilace. Obě měření jsem provedl pro stejné nastavení senzoru. Senzor spínal při střední až vysoké koncentraci znečištění vzduchu a vypínal při lehké až nulové koncentraci znečištění.

#### Hodnoty měření znečištění vzduchu

tab. 4 Měření A – zdroj dočasně

znečištění pro sepnutí vent.		střední až velké
znečištění pro vypnutí vent.		žádné až lehké
po detekci CO - odstranění tyčinky z prostoru		
měření č.	doba detekce [s]	doba vyvětrání [s]
1	35	95
2	37	92
3	38	89
4	35	90
5	31	91
6	37	88
7	38	95
8	39	91
9	33	91
10	30	92

tab. 5 Měření B - zdroj trvale

znečištění pro sepnutí vent.		střední až velké
znečištění pro vypnutí vent.		žádné až lehké
tyčinka v modelovém prostoru i po detekci CO		
měření č.	doba detekce [s]	doba vyvětrání [s]
1	22	102
2	20	110
3	24	101
4	24	109
5	22	100
6	22	111
7	24	108
8	24	102
9	25	102
10	23	101

#### Nejistoty měření ( $\bar{s}_1$ – detekce, $\bar{s}_2$ – vyvětrání)

$$\bar{x}_{A1} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = 35.3$$

$$\bar{x}_{B1} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = 23.0$$

$$s_{A1} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = 3.09$$

$$s_{B1} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = 1.49$$

$$\bar{s}_{A1} = \frac{s}{\sqrt{N}} \cong 1.0$$

$$\bar{s}_{B1} = \frac{s}{\sqrt{N}} \cong 0.5$$

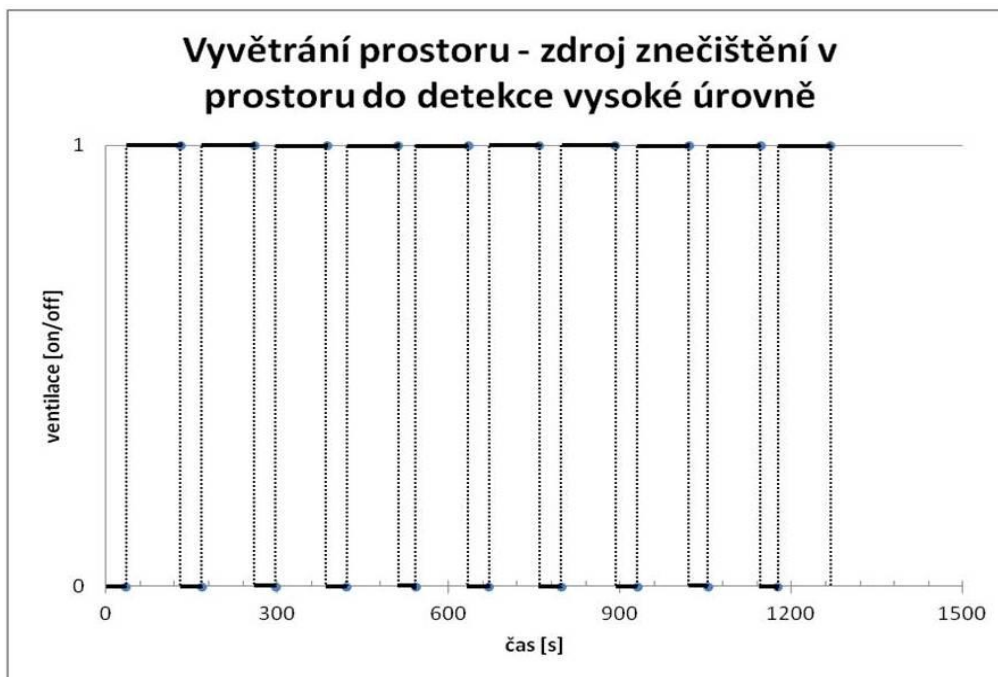
$$\bar{x}_{A2} = 91.4; \quad s_{A2} = 2.27; \quad \bar{s}_{A2} \cong 0.8$$

$$\bar{x}_{B2} = 104.6; \quad s_{B2} = 4.33; \quad \bar{s}_{B2} \cong 1.4$$

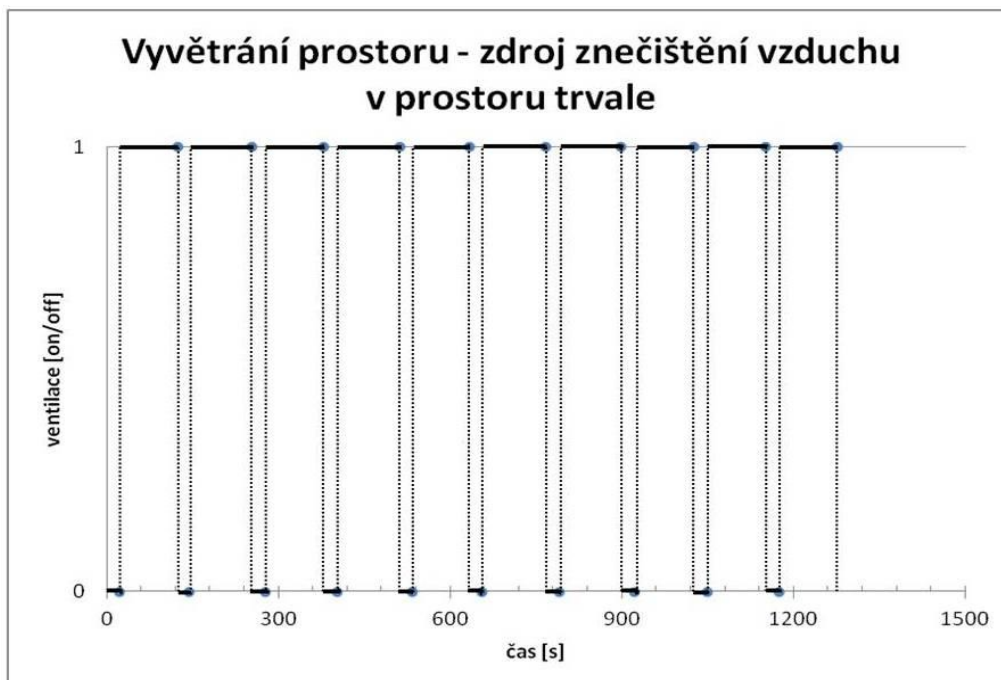
Nejistoty prvního měření vyšly po zaokrouhlení  $\bar{s}_{A1} \cong 1.0$  s,  $\bar{s}_{A2} \cong 0.8$  s; nejistoty u druhého měření vyšly následovně  $\bar{s}_{B1} \cong 0.5$  s,  $\bar{s}_{B2} \cong 1.4$  s.

## Grafy detekce znečištění vzduchu

obr. 79 Znečištění vzduchu – zdroj v prostoru umístěn dočasně



obr. 80 Znečištění vzduchu – zdroj v prostoru umístěn trvale



## Závěr měření detekce znečištění vzduchu

Z naměřených hodnot je vidět, že v druhém př. byla doba detekce plynu rychlejší, protože hned po ukončení vyvětrávání určitá koncentrace plynu v modelovém prostoru zbyla (viz nastavení senzoru v úvodu kap.), zároveň trvalo vyvětrání dle předpokladu o něco déle než při prvním měření.

## 7 Závěr

Na základě požadavků jsem realizoval modelový prostor, do kterého jsem zakomponoval systém od HDL. Následně jsem provedl měření, která hodnotím v následující kapitole.

### Ohřev

Ohřev modelového prostoru jsem reguloval na žádanou hodnotu 20 °C. Při regulaci ohřevu modelového prostoru nepřekročila odchylka od žádané hodnoty pro VZT ohřev  $\pm 0.5$  °C a pro odporový ohřev  $\pm 0.7$  °C.

Při odporovém vytápění jsem použil nejnižší zesílení regulátoru („Heating Speed: Lower“), kvůli energii naakumulované v kachličkách pod odpory. Zvýšení časové konstanty prostoru dlaždicemi bylo tedy nutné zkorigovat zvýšením časové konstanty v regulátoru resp. snížením zesílení otevřené smyčky (dlaždic). U ostatních typů vytápění jsem použil nastavení pro rychlý ohřev představující vyšší zesílení regulátoru. Toto nastavení bylo vhodné především pro ohřev pomocí VZT, u kterého nedocházelo ke změně teploty prostoru se zpožděním v závislosti na vypnutí, nebo zapnutí vytápění.

U kombinovaného ohřevu pomocí Peltierova článku a odporů se odchylka od žádané hodnoty pohybovala v rozmezí  $\pm 1.3$  °C. Větší rozptyl hodnot prostorové teploty je daný kombinací odporového ohřevu s větší setrvačností oproti VZT ohřevu. Z praktického hlediska by bylo výhodnější použití jednoho typu ohřevu, který by se snadněji reguloval, a bylo by ho možné lépe udržet v těsnější blízkosti žádané hodnoty.

V případě, že měl zvolený ohřev nízký výkon a nebyl schopný kompenzovat poruchovou veličinu danou venkovní teplotou, provedl jsem zásah do modelu snížením tepelných ztrát modelového prostoru pomocí zateplení polystyrenem. Vhodnost použití daného ohřevu jsem dále hodnotil podle kritéria o minimálním rozdílu venkovní a vnitřní teploty<sup>25</sup>.

### Chlazení

Žádanou hodnotu jsem při regulaci teploty prostoru nastavil na 22 °C. Při regulaci chlazení modelového prostoru se skutečná teplota pohybovala  $\pm 0.6$  °C kolem žádané hodnoty.

V případě použití parametru regulátoru „Min PWM“ došlo k mírnému vyhlazení průběhu snížením maxim teplot, ale pouze nepatrně. Rozdíl představoval 0.1 až 0.2 °C.

---

<sup>25</sup> Viz úvod kapitoly 6.7

Měření ochlazování prostoru jsem provedl s nejvyšším zesílením regulátoru („Cooling Speed: Faster“).

V případě, že by mělo chlazení plnit funkci „klimatizace“, by pro snížení teploty v modelovém prostoru vyhovovaly 2 Peltierovy články, které byly schopny v prostoru o objemu 126 l snížit teplotu o 7.1 °C. S přihlédnutím k faktu, že se nedoporučuje vychlazovat obytný prostor na vyšší teplotní rozdíl než 5-6 °C oproti venkovní teplotě, by byl výkon chlazení dostatečný.

Stejně jako v případě ohřevu i při chlazení zanášela okolní (pokojová) teplota do systému poruchovou veličinu, která ovlivňovala výslednou teplotu v modelovém prostoru. Zlepšení účinnosti jsem v případě chlazení provedl instalací vnitřní cirkulace do modelového prostoru, díky tomuto zásahu jsem docílil dvojnásobné účinnosti chlazení oproti předchozímu stavu.

### Regulace teploty při poruchové veličině způsobené ventilací prostoru

V rámci těchto měření jsem sledoval odezvu na jednotkový skok vzniklý sepnutím ventilace. Měření jsem prováděl při ustálené teplotě modelového prostoru, které jsem dosáhl při nejnižším zesílení regulátoru („Heating Speed: Lower“), době vzorkování 3 minuty („Control Cycle: 3M“) a parametru „Min PWM<sup>26</sup>“ odpovídajícímu hodnotě 5 %. Jednotlivé odezvy jsem měřil při nejnižším, středním a nejvyšším zesílení regulátoru MFH a dále pro doby vzorkování: 1M, 3M a 5M.

Z výsledků plyne, že s rostoucím zesílením klesala doba návratu prostorové teploty na žádanou hodnotu, zároveň se snižoval rozdíl mezi počáteční (ustálenou) teplotou a minimem průběhu teploty po sepnutí ventilace. Dále je vidět, že s vyšším zesílením rostla strmost průběhu a nepřesnost regulace. Při nejvyšším zesílení regulátoru došlo k prvotnímu překročení žádané hodnoty o 1.6 °C oproti hodnotě 0.4 °C při regulaci s nejnižším zesílením.

Z měření rozdílných dob vzorkování je patrné, že se nejlépe pro danou situaci hodí vzorkování 1M, u kterého byl pokles teploty při vzniku poruchové veličiny nejmenší.

Nakonec jsem však u dalšího měření musel použít dobu vzorkování 2M, kvůli max. nastavitelné hodnotě „Min PWM“ 20 %, která nebyla dostatečná pro snížení rychlosti poklesu teploty. Společně s parametrem „Min PWM“ jsem tedy musel použít zpožděný odpad relé. Zpožděný odpad relé však nebylo možné použít na mnou požadovanou poměrnou dobu ze základu doby vzorkování 1M (nastavitelný rozsah pouze 0-25 s a 0-60 minut), proto jsem zvolil dobu vzorkování 2M.

---

<sup>26</sup> Parametr „Min PWM“ určuje poměrnou dobu sepnutí z periody vzorkování při dosažené žádané hodnotě.



Pro optimalizované nastavení regulátoru jsem použil střední zesílení regulátoru, při kterém byla doba opětovného ustálení na žádané hodnotě delší oproti nejvyššímu zesílení, regulace však byla stabilnější s menší regulační odchylkou. Dále jsem regulátor nastavil na dobu vzorkování dvě minuty a spolu s nastaveným parametrem „Min PWM: 20%“ a relátkem se zpožděným odpadem byl ohřev v chodu i při dosažené žádané hodnotě 100 s ze dvou minut (doby vzorkování). Díky tomu jsem docílil pomalejšího poklesu prostorové teploty u sníženého výkonu ohřevu při dosažené žádané hodnotě a běžící ventilaci (poruchové veličině).

Dalšího zlepšení regulace by bylo možné dosáhnout zásahem do modelu. Např. snížením průtoku vzduchu ventilátorů, které působí, jako poruchová veličina. Současně se sníženým průtokem by bylo možné zmenšit i výkon zdroje tepla, u kterého by již nebyla třeba tak velká regulační rezerva (díky sníženému průtoku ventilace). Následně by došlo k prodloužení časové konstanty systému. Díky tomu by pro regulaci pak nebylo třeba tak rychlého vzorkování a vysokého zesílení a je pravděpodobné, že by bylo takto možné dosáhnout ještě menšího propadu teploty při vzniku poruchy.

## Osvětlení

Cílem této části práce bylo zajistit konstantní hladinu intenzity osvětlení i v případě, že v modelovém prostoru není dostatečné přirozené osvětlení.

Při měření intenzity osvětlení jsem v průběhu dne na daném místě měřil vývoj přirozeného denního osvětlení a zároveň jsem při každém odečtu zaznamenal i hodnotu při spuštěných modulech a senzorech zajišťujících osvětlení v případě poklesu aktuální hodnoty pod žádanou mez. Při zapnutí funkce konstantní hladiny intenzity osvětlení, mnou přednastavený senzor udržoval hladinu intenzity osvětlení kolem žádané hodnoty 500 lx. Při zapojených prvcích regulace, a hladině osvětlení v místnosti pod žádanou hodnotou 500 lx, svou funkci senzor plnil a nebylo třeba ho již dodatečně optimalizovat. V případě změny vzdálenosti senzoru od žárovek by odlišná poloha způsobila změny parametrů regulační smyčky a bylo by tedy třeba změnit i parametry regulátoru v čidle.

## Detekce znečištění vzduchu

V poslední části mé práce, týkající se zajištění kvality ovzduší, jsem ověřoval rychlost reakce senzoru na zapálenou vonnou tyčinku produkující CO, CO<sub>2</sub> a další plyny. Senzor detekoval zvýšenou hladinu znečištění vzduchu za 20-39s a vyvětrání modelového prostoru trvalo 88-111s v závislosti na tom, zda byl zdroj znečištění vzduchu v prostoru po celou dobu měření. Čidlo reagovalo podle očekávání, pouze jsem předpokládal rychlejší návrat do normálního stavu.

V případě, že jsem tyčinku po detekci z modelového prostoru odstranil, byl pravděpodobně prostor vzhledem ke svému objemu 126 l a celkovému průtoku vzduchu ventilátory 250 m<sup>3</sup>/h vyvětraný dříve než čidlo indikovalo normální stav, proto předpokládám, že čidlo reagoval na pokles koncentrace plynu s mírným zpožděním. Rychlejší reakce čidla by bylo možné dosáhnout nastavením senzoru na vyšší citlivost, aby spínalo ventilaci již při mírné koncentraci znečištění modelového prostoru.

### Vlastnosti použitých modelů ve vztahu k reálným objektům

Modely mají konstrukci z tenké překližky a 3 cm polystyrenu, a proto stěny při řízení teploty ovlivňovaly měření naakumulovanou energií minimálně, popř. zanedbatelně. Lze tedy říci, že šlo o model s lehkou obvodovou konstrukcí. Teplota ve stěně rychle narůstala i klesala (se zanedbatelným zpožděním a útlumem maximální hodnoty). Budovy s těžkou obvodovou konstrukcí se oproti tomu projevují akumulací energie ve stěně a pomalejším, časově posunutým nárůstem teploty ve stěně. Díky použité konstrukci modelu, objemu prostoru a zvoleným zdrojům tepla a chladu probíhaly měření s krátkou časovou konstantou, díky tomu pro mě bylo zaznamenávání průběhů teplot časově zvládnutelné. Změny prostorové teploty jsou tak ve srovnání s budovami výrazně rychlejší. Rychlost tepelné odezvy a časové konstanty budovy lze hodnotit ze součinu  $s \cdot R^{27}$ , kde  $s$  [[W/(m<sup>2</sup>·K)]] je tepelná jímavost a  $R$  [(m<sup>2</sup>·K)/ W]] je tepelný odpor. Na vnitřní prostředí budov má kromě typu obvodové konstrukce mimo jiné vliv i množství průsvitných ploch (oken) budovy, což je třeba brát při regulaci v úvahu.

Sběrníkovým systémem HDL lze řídit HVAC a osvětlení, zajišťovat zabezpečení a kvalitu ovzduší, popř. je možné ovládat multimédia v domě. Při použití systému k zabezpečení objektu je možné využít PIR čidel, které detekují přítomnost osob v budově. Při poplachu může systém odeslat varovnou zprávu přes GMS<sup>28</sup> modul majiteli. Dále se nabízí možnost využití dálkového ovládání ať už lokálně (přes Wifi) nebo vzdáleně připojením přes internet. Dálkovým ovládáním je možné ovládat připojené spotřebiče k systému HDL jako osvětlení, topení, klimatizaci. Lze si tak např. na dálku spustit topení před příjezdem do domu. Nebo může majitel přes internet přijímat zprávy o neplánované přítomnosti osob v budově. Výhodou inteligentní instalace oproti klasické je integrace jednotlivých oblastí domovní automatizace pracujících v součinnosti.

Množství budov, řízených automatizačními systémy, roste a tento trend je možné předpokládat i do budoucna, především díky výhodám, které představují: úsporu z vytápění, chlazení a snazší údržbu, díky možnému nahlížení do deníku poruch z dispečinku.

---

<sup>27</sup> Viz kapitola 5.4.3.

<sup>28</sup> Globální Systém pro Mobilní komunikaci

## 8 Literatura

- [1] Merz, H. aj. (2007). *Automatizované systémy budov*. str. 12.
- [2] Doc. Ing. Bohumír Garlík, CSc. (2014). *Elektrotechnika a inteligentní budovy* [online]. [cit. 2017-11-5]. Dostupné z: <<http://tzb2.fsv.cvut.cz/vyucujici/16/oppa/skripta-etb-garlik.pdf>>.
- [3] *iStock by Getty Images* [online]. [cit. 2018-5-12]. Dostupné z: <<https://www.istockphoto.com/photo/concept-of-smart-home-gm927324150-254395469>>.
- [4] Prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D. (2014). *Regulace v technice prostředí staveb*. str. 10-46. Praha: Ediční středisko ČVUT. ISBN 978-80-01-05455-0.
- [5] Prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D. (2003). *Hydraulika a řízení otopných soustav*. Praha: Ediční středisko ČVUT. ISBN 80-01-02808-9.
- [6] Prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D. (2004). *Rozdíl mezi regulací a ovládním* [online]. [cit. 2018-3-22]. Dostupné z: <<https://vytapeni.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/2203-rozdil-mezi-regulaci-a-ovladanim>>.
- [7] *HDL, Systémy pro automatizovaný provoz budov* [online]. [cit. 2018-1-16]. Dostupné z: <[https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/80661/mod\\_resource/content/2/Domovn%C3%AD%20automatizace\\_p%C5%99ehled\\_HDL-rev-IS.pdf](https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/80661/mod_resource/content/2/Domovn%C3%AD%20automatizace_p%C5%99ehled_HDL-rev-IS.pdf)>.
- [8] *Mesh sítě – P2P architektura v bezdrátových sítích* [online]. [cit. 2018-1-17]. Dostupné z: <<https://www.marigold.cz/item/mesh-site-p2p-architektura-v-bezdratovych-sitich>>.
- [9] *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD)* [online]. [cit. 2018-1-18]. Dostupné z: <<http://www.erg.abdn.ac.uk/users/gorry/course/lan-pages/csma-cd.html>>.
- [10] *Understanding Z-Wave Networks, Nodes & Devices* [online]. [cit. 2018-5-15]. Dostupné z: <<https://web.archive.org/web/20121213015518/http://www.vesternet.com/understanding-z-wave-networks>>.
- [11] *KNX základy* [online]. [cit. 2018-1-19]. Dostupné z: <[https://www.knx.org/media/docs/downloads/Marketing/Flyers/KNX-Basics/KNX-Basics\\_cz.pdf](https://www.knx.org/media/docs/downloads/Marketing/Flyers/KNX-Basics/KNX-Basics_cz.pdf)>.
- [12] *Topologie KNX* [online]. [cit. 2018-1-19]. Dostupné z: <<https://vyvoj.hw.cz/energetika-a-smart-grids/topologie-knx.html>>.

- [13] *HDL-MDLED0605.432* [online]. [cit. 2018-1-19]. Dostupné z: <<http://www.hdlautomation.com/wp-content/uploads/2014/06/HDL-MDLED0605.432.pdf>>.
- [14] *HDL-MBUS01IP.431* [online]. [cit. 2018-1-19]. Dostupné z: <<https://community.arubanetworks.com/aruba/attachments/aruba/Indonesia/11/2/HDL-MBUS01IP.431.pdf>>.
- [15] *HDL-MFH06.432* [online]. [cit. 2018-1-19]. Dostupné z: <<http://www.hdlautomation.com/wp-content/uploads/2014/12/HDL-MFH06.432.pdf>>.
- [16] *HDL-MR0810.432* [online]. [cit. 2018-1-19]. Dostupné z: <<http://www.hdlautomation.com/wp-content/uploads/2014/12/HDL-MR0810.432.pdf>>.
- [17] *SB-DN-PS2.4A* [online]. [cit. 2018-1-19]. Dostupné z: <<http://www.hdlautomation.com/wp-content/uploads/2014/12/SB-DN-PS2.4A.pdf>>.
- [18] *HDL-MPL8.48* [online]. [cit. 2018-1-19]. Dostupné z: <<http://www.hdlautomation.com/wp-content/uploads/2015/01/HDL-MPL8.48150422.pdf>>.
- [19] *HDL-MPPI.48* [online]. [cit. 2018-1-19]. Dostupné z: <<http://www.hdlautomation.com/wp-content/uploads/2015/01/HDL-MPPI.48.pdf>>.
- [20] *HDL-MSP07M.4C* [online]. [cit. 2018-1-19]. Dostupné z: <<http://www.hdlautomation.com/wp-content/uploads/2014/12/MSP07M.4C.pdf>>.
- [21] *SB-CMS-LA* [online]. [cit. 2018-1-19]. Dostupné z: <<http://www.hdlautomation.com/wp-content/uploads/2014/12/SB-CMS-LA.pdf>>.
- [22] *HDL KNX / EIB – BUS, M/FCU01.10.1* [online]. [cit. 2018-1-19]. Dostupné z: <<http://www.hdlautomation.com/wp-content/uploads/2014/04/HDL-KNX-FCU-7CH-Heating-Actuator.pdf>>.
- [23] Martin Vít (2018). *Implementace systému HDL*. Praha: ČVUT.
- [24] Ing. Martin Barták, Ph.D. (2010). *Úvod do přenosových jevů pro inteligentní budovy* [online]. [cit. 2018-2-10]. Dostupné z: <[https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni\\_materialy/PJ/Bartak\\_Uvod\\_do\\_prenosovych\\_jevu\\_proIB.pdf](https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/PJ/Bartak_Uvod_do_prenosovych_jevu_proIB.pdf)>.
- [25] Prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D. (2001). *Otopné plochy*. Praha: Ediční středisko ČVUT. ISBN 80-01-02365-6.

**[26]** HDL Automation s.r.o. [email]. *HDL-CZ\_pricing\_BP\_2017-03-01.pdf* (2017).

**[27]** *Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit* [online]. [cit. 2018-3-3]. Dostupné z: < <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>>.

**[28]** *Vnitřní výpočtové teploty dle ČSN EN 12831 a doporučené relativní vlhkosti vzduchu dle ČSN 06 0210* [online]. [cit. 2018-3-3]. Dostupné z: < <https://m.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/28-vnitрни-vypoctove-teploty-dle-csn-en-12831-a-doporucene-relativni-vlhkosti-vzduchu-dle-csn-06-0210>>.

**[29]** *Compatibility of EU spec Z-Wave products with Other Regions* [online]. [cit. 2018-5-10]. Dostupné z <<https://www.vesternet.com/knowledgebase/technical/kb-5/>>.

## 9 Seznam zkratek

- PTZS - Poplachový tísňový zabezpečovací systém
- EPS - Elektrická požární signalizace
- BACS - Building automation and control systems  
(Domovní automatizace a kontrolní systémy)
- MaR - Měření a regulace
- TUV - Teplá užitková voda
- HVAC - Heating, ventilation, and air conditioning  
(Topení, ventilace a klimatizace)
- PLC - Programovatelný logický automat
- DC - Duty cycle (Střída)
- KNX – Konex Networks (Konex z latin. slova Conexio pro  
konektivitu)
- CAT5 – Standart kabelu pro přenos signálu kroucenou dvojlínkou
- PIR Sensor – Passive Infrared Sensor (Pasivní infračervené čidlo)
- CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access with Detection (Metoda  
vícenásobného přístupu ke komunikačnímu kanálu s detekcí kolize)
- IR Sensor – Infrared Sensor (Infračervený senzor)
- GND – Ground (Země)
- PWM – Pulse Width Modulation (Pulzně šířková modulace)
- LED – Light Emitting Diode (Elektroluminiscenční dioda)
- AC – Alternating Current (Střídavý proud)
- DC – Direct Current (Stejnoseměrný proud)
- LCD – Liquid Crystal Display (Displej z tekutých krystalů)
- DIN - Slovo odvozené od „Deutsches Institut für Normung e. V.“  
(Německý ústav pro průmyslovou normalizaci)
- VZT – Vzduchotechnika
- GSM – Globální Systém pro Mobilní komunikaci  
(z francouzského „Groupe Spécial Mobile“)

# 10 Přílohy

## 10.1 Seznam obrázků

obr. 1 Automatizované systémy v inteligentní budově .....	13
obr. 2 Hvězdicová topologie .....	15
obr. 3 Liniová topologie .....	15
obr. 4 Otevřený řídicí obvod .....	18
obr. 5 Uzavřený řídicí obvod.....	19
obr. 6 Přejímová charakteristika PID regulátoru.....	23
obr. 7 Určení kritického pásma proporcionality a kritické doby kmitu .....	25
obr. 8 Zapojení do kaskádní topologie .....	27
obr. 9 Zapojení do hvězdicové topologie .....	28
obr. 10 Topologie sítě KNX.....	31
obr. 11 Modul pro stmívání LED .....	32
obr. 12 Brána pro připojení PC.....	32
obr. 13 Regulátor teploty prostoru .....	33
obr. 14 Relé modul.....	33
obr. 15 Zdroj.....	34
obr. 16 LCD panel .....	34
obr. 17 Sběrníková spojka k LCD panelu .....	35
obr. 18 Senzor osvětlení .....	35
obr. 19 Senzor kvality vzduchu.....	36
obr. 20 Senzor teploty .....	36
obr. 21 Proudění vzduchu v místnosti s otopným tělesem .....	39
obr. 22 Proudění vzduchu v místnosti u podlahového vytápění.....	40
obr. 23 Asymetrické sálání podle Fangerova při operativní teplotě 22-23 °C .....	41
obr. 24 Vliv solárního záření na tepelné chování budovy .....	43
obr. 25 Půdorys modelu.....	46
obr. 26 Řez .....	47
obr. 27 Řez (zmenšení průhledové části) .....	47
obr. 28 Panel pro umístění modulů na DIN lištu .....	48
obr. 29 Podpěra VZT šachty .....	48
obr. 30 Čelní strana .....	50

obr. 31 Čelní strana - neprůhledná deska .....	50
obr. 32 Řídící panel .....	51
obr. 33 VZT šachta s Peltier. čl. ....	51
obr. 34 VZT šachta s ventilátorem.....	51
obr. 35 Podpěry .....	52
obr. 36 Zadní část modelu - šachty .....	52
obr. 37 Modelový prostor .....	53
obr. 38 Závěrečná podoba modelu .....	53
obr. 39 Zmenšený model. prostor - chlazení.....	54
obr. 40 Modelový prostor - chlazení.....	54
obr. 41 Blokové schéma zapojení.....	56
obr. 42 Nastavení IP adresy PC.....	58
obr. 43 Nastavení Gateway .....	58
obr. 44 Uložení IP adresy PC v HDL softwaru .....	58
obr. 45 Nastavení HDL modulu relé .....	59
obr. 46 Nastavení kanálu MFH06 modulu .....	60
obr. 47 Propojení MFH06 a MR08 modulů.....	61
obr. 48 MFH06 jako Master LCD panelu .....	62
obr. 49 Nastavení LCD panelu.....	62
obr. 50 Nastavení modulu MDLED06.....	64
obr. 51 Nastavení parametrů senzoru konstantní hladiny osvětlení.....	65
obr. 52 Sepnutí ventilace od senzoru znečištění .....	66
obr. 53 Propojení senzoru znečištění s modulem MR08 .....	66
obr. 54 Průběhy nárůstu teploty vzduchu z VZT šachty do model. prostoru .....	68
obr. 55 Vyjádření čas. konst. pro ohřev vzduchu v šachtě .....	69
obr. 56 Regulace teploty modelového prostoru pomocí VZT.....	71
obr. 57 Časová konst. pro ohřev VZT model. prostoru při komplet. zateplení.....	72
obr. 58 Odpory - výkon 134 W .....	73
obr. 59 Odpory - výkon 90 W .....	73
obr. 60 Odpory - výkon 50 W .....	73
obr. 61 Odpory - výkon 36 W .....	73
obr. 62 Odpory - výkon 24 W .....	73
obr. 63 Natápěcí křivky odporového ohřevu.....	74



obr. 64 Časová konstanta pro odporový ohřev při kompletním zateplení	74
obr. 65 Regulace prostorové teploty modelu pomocí odporového ohřevu	75
obr. 66 Regulace prostorové teploty modelu kombinovaných vytápěním	76
obr. 67 Časová konst. kombinovaného ohřevu při úplném zateplení prostoru .....	77
obr. 68 Regulace vnitřní teploty zmenšeného modelového prostoru.....	78
obr. 69 Časová konstanta pro zmenšený modelový prostor .....	79
obr. 70 Regulace chlazení modelového prostoru.....	81
obr. 71 Časová konst. pro pokles teploty u chladiče .....	81
obr. 72 Časová konst. pro pokles teploty v prostoru bez cirkulace.....	82
obr. 73 Časová konst. pro pokles teploty v prostoru s cirkulací.....	82
obr. 74 Přechodové char. chlazení model. prostoru při různých výkonech .....	83
obr. 75 Strmost nárůstu teploty v závislosti na zesílení regulátoru .....	85
obr. 76 Odezvy na poruchovou veličinu při různých dobách vzorkování..	85
obr. 77 Odezva na poruchovou veličinu při optimalizovaném regulátoru.	86
obr. 78 Intenzita osvětlení v modelovém prostoru.....	90
obr. 79 Znečištění vzduchu – zdroj v prostoru umístěn dočasně.....	92
obr. 80 Znečištění vzduchu – zdroj v prostoru umístěn trvale .....	92

## 10.2 Seznam tabulek

tab. 1 Nastavení parametrů regulátorů podle Zieglera a Nicholse .....	25
tab. 2 Vybrané komponenty HDL a jejich funkce .....	57
tab. 3 Intenzita osvětlení .....	89
tab. 4 Měření A – zdroj dočasně.....	91
tab. 5 Měření B - zdroj trvale.....	91

## 10.3 Seznam volných příloh

- Hodnoty\_a\_grafy.zip
  - Hodnoty\_a\_grafy.xlsx
    - List 1 – Vzduch v šachtě
    - List 2 – VZT
    - List 3 – Odpory
    - List 4 – Kombinovaný ohřev
    - List 5 – Chlazení zmenšeného modelu
    - List 6 – Chlazení modelu
    - List 7 – Odezvy na poruch. veličinu
    - List 8 – Znečištění vzduchu
    - List 9 – Osvětlení
- Produktove\_listy.zip
  - HDL-MBUS01IP.431.pdf
  - HDL-MDLED0605.432.pdf
  - HDL-MFH06.432.pdf
  - HDL-MPL8.48.pdf
  - HDL-MPPI.48.pdf
  - HDL-MR0810.432.pdf
  - HDL-MSP07M.4C.pdf
  - SB-CMS-LA.pdf
  - SB-DN-PS2.4A.pdf
  - TS\_C-1.0-page-8.pdf