

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TEORETICKÉ ELEKTROTECHNIKY**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Automatizované pracoviště s termostatovanou  
kapalinovou lázní**

*Originál (kopie) zadání BP/DP*

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na analýzu funkcí a možností řízení termostatované kapalinové lázně CTB06CP. Získané poznatky jsou sepsány do stručného manuálu pro usnadnění práce s touto lázní. Součástí je také jednoduchý program pro řízení lázně.

## **Klíčová slova**

Termostatovaná kapalinová lázeň, externí obvod, chlazení, ohřev, dynamika

## **Abstract**

The submitted bachelor's thesis is focused on analysis and control possibilities of thermostatic liquid bath CTB06CP. The acquired knowledges are written in a short manual to facilitate the work with the liquid bath. The last part of this bachelors's thesis contains a simple program to control the liquid bath

## **Key words**

Thermostatic liquid bath, external circuit, cooling, heater, dynamics

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 4.6.2015

Jan Steininger

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval svojí rodině a přátelům za zázemí a podporu, kterou mi po celou dobu studia poskytovali. Dále bych rád poděkoval Ing.Radku Zuntovi za dodané materiály a konzultace, vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Šteklovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky, vstřícnost a ochotu při vedení práce.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 TERMOSTATOVANÁ KAPALINOVÁ LÁZEŇ</b> .....	<b>10</b>
1.1 O SPOLEČNOSTI LABIO .....	10
1.2 POPIS TERMOSTATOVANÉ KAPALINOVÉ LÁZNĚ CTB06CP .....	11
1.2.1 Řídící blok elektroniky .....	12
1.2.2 Plechová skříň s vanou .....	13
1.2.3 Chladicí blok.....	14
1.3 PRINCIP FUNKCE KOMPONENTŮ TERMOSTATOVANÉ KAPALINOVÉ LÁZNĚ.....	15
1.3.1 Chladicí obvod.....	15
1.3.2 Topná spirála.....	16
1.3.3 Platinový teploměr.....	16
1.3.4 Odstředivé čerpadlo.....	16
<b>2 ÚVODNÍ MĚŘENÍ NA LÁZNI</b> .....	<b>17</b>
2.1 MĚŘENÍ V SAMOTNÉ LÁZNI.....	17
2.1.1 Chlazení .....	18
2.1.2 Ohřev .....	19
2.1.3 Zhodnocení měření.....	20
<b>3 ANALÝZA ŘÍZENÍ A REALIZACE POČÍTAČOVÉHO ŘÍZENÍ LÁZNĚ</b> .....	<b>21</b>
3.1 REALIZACE PROGRAMU PRO ŘÍZENÍ LÁZNĚ V LABVIEW .....	21
3.1.1 Vývojové prostředí Labview.....	21
3.1.2 Podklady k tvorbě programu.....	22
3.1.3 Komunikace přes sériový port.....	23
3.1.4 Blok pro zasílání příkazů .....	24
3.1.5 Blok pro čtení odpovědi .....	26
3.1.6 Ukládání hodnot do souboru.....	28
3.1.7 Přední panel aplikace v Labview .....	29
3.2 ZHODNOCENÍ MOŽNOSTÍ ŘÍZENÍ.....	29
<b>4 ZÁKLADNÍ SADA DYNAMICKÝCH MĚŘENÍ</b> .....	<b>30</b>
4.1 OHŘEV V SAMOTNÉ LÁZNI .....	30
4.2 CHLAZENÍ V SAMOTNÉ LÁZNI .....	35
4.3 MĚŘENÍ EXTERNÍHO OBVODU .....	40
4.4 MĚŘENÍ ODEBÍRANÉHO PŘÍKONU.....	44
<b>5 MANUÁL K TERMOSTATOVANÉ KAPALINOVÉ LÁZNI CTB06CP</b> .....	<b>45</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>48</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>49</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>1</b>

## Seznam symbolů a zkratk

$k_1, k_2, k_3$ .....	Dílčí konstanty ohřevu, respektive chlazení [ $^{\circ}C/min$ ]
$k_{ohřevu}$ .....	Celková konstanta ohřevu [ $^{\circ}C/min$ ]
$k_{chlazení}$ .....	Celková konstanta chlazení [ $^{\circ}C/min$ ]
$\Delta T$ .....	Rozdíl teplot na měřeném úseku [ $^{\circ}C$ ]
$t_{celk}$ .....	Doba probíhajícího měření [ $min$ ]



## Úvod

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na analýzu funkcí, možností efektivního využití a řízení termostatované lázně CTB06CP. Jedním z výstupů této práce je i vytvoření názorného manuálu pro efektivní ovládání a následné využití lázně v experimentálních podmínkách. Dalším úkolem bylo dle zadání sestavení obslužného programu pro komunikaci s počítačem.

Text je rozdělen do pěti hlavních částí. První teoretičtější kapitola se zabývá funkcí a zevrubným popisem lázně. Následně jsou zde také rozebrány její výhody a nevýhody. Ve druhé části se nachází analýza a vyhodnocení úvodních měření na samotné lázni. Třetí část se věnuje analýze řízení a tvorbě programu pro řízení lázně v LabView. Čtvrtá obsahuje kompletní sadu dynamických měření na lázni, včetně zkušeností z měření a stabilizace teploty externího obvodu. V závěrečné části je pak obsažen manuál určený pro práci s termostatovanou kapalinovou lázní.

# 1 Termostatovaná kapalinová lázeň

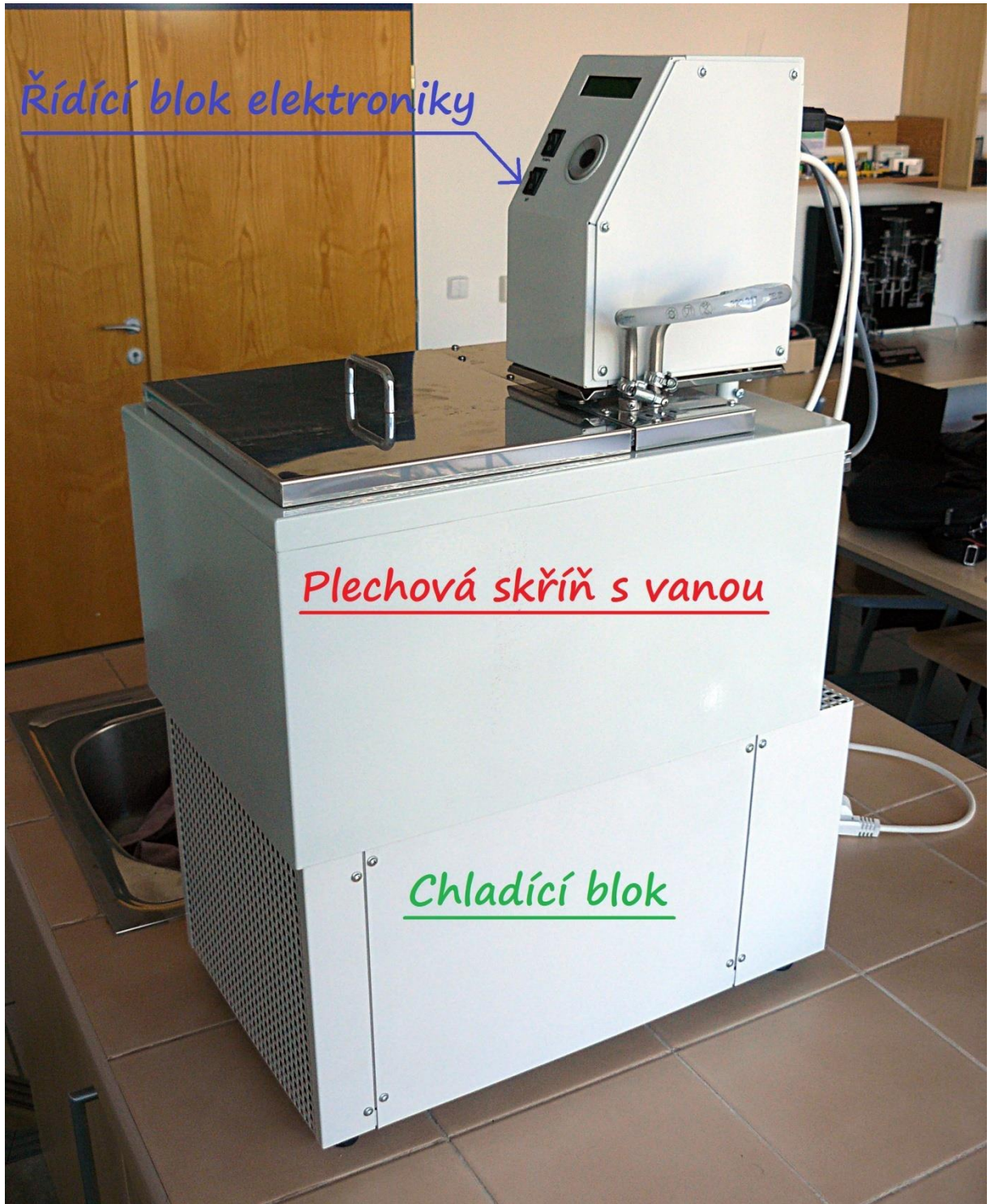
Termostatované kapalinové lázně jsou laboratorní zařízení určená primárně k udržování přesné teploty kapalin. Jejich hlavní funkcí tedy je ohřát či ochladit kapalinu na danou teplotu, kterou jsou pak pomocí elektronických obvodů schopny stabilizovat. Plnění těchto úkolů zajišťuje v části ohřevu topná spirála, v části chlazení je to pak kompresorový chladicí agregát. Homogenizace teplotního rozložení v lázni je zajištěna buď samostatným elektrickým míchadlem, nebo jako u tohoto modelu lázně vhodně uzpůsobeným čerpadlem. Kapalinu požadované teploty pak lze za pomoci čerpadla také využít v externím obvodu. [5]

## 1.1 O společnosti Labio

Společnost Labio byla založena 14.8. 1990 v Praze se základním kapitálem v hodnotě tří milionů a pěti set tisíc korun. Tato firma se zaměřuje na vývoj, výzkum, konstrukci, prodej a servis přístrojů určených pro experimentální chemickou analýzu a separaci látek, zejména pak v oboru chromatografie, elektrografie, ultrafiltrace a dalších metod použitelných v biotechnologii, zdravotnictví a ekologii. Většinu výrobků této firmy představují malosériové zákaznické produkty, které jsou zpravidla ještě při výrobě uzpůsobovány specifickým požadavkům zákazníků většinou z řad školství, vědeckých a výzkumných institucí. Portfolio této společnosti není zaměřeno jen na tuzemský trh, ale dodává vybavení laboratořím například i v Sýrii. Společnost Labio disponuje týmem pracovníků, kteří jsou schopni najít pro své zákazníky optimální řešení v případě požadavků na zakázkovou výrobu. [4][6]

## 1.2 Popis termostatované kapalinové lázně CTB06CP

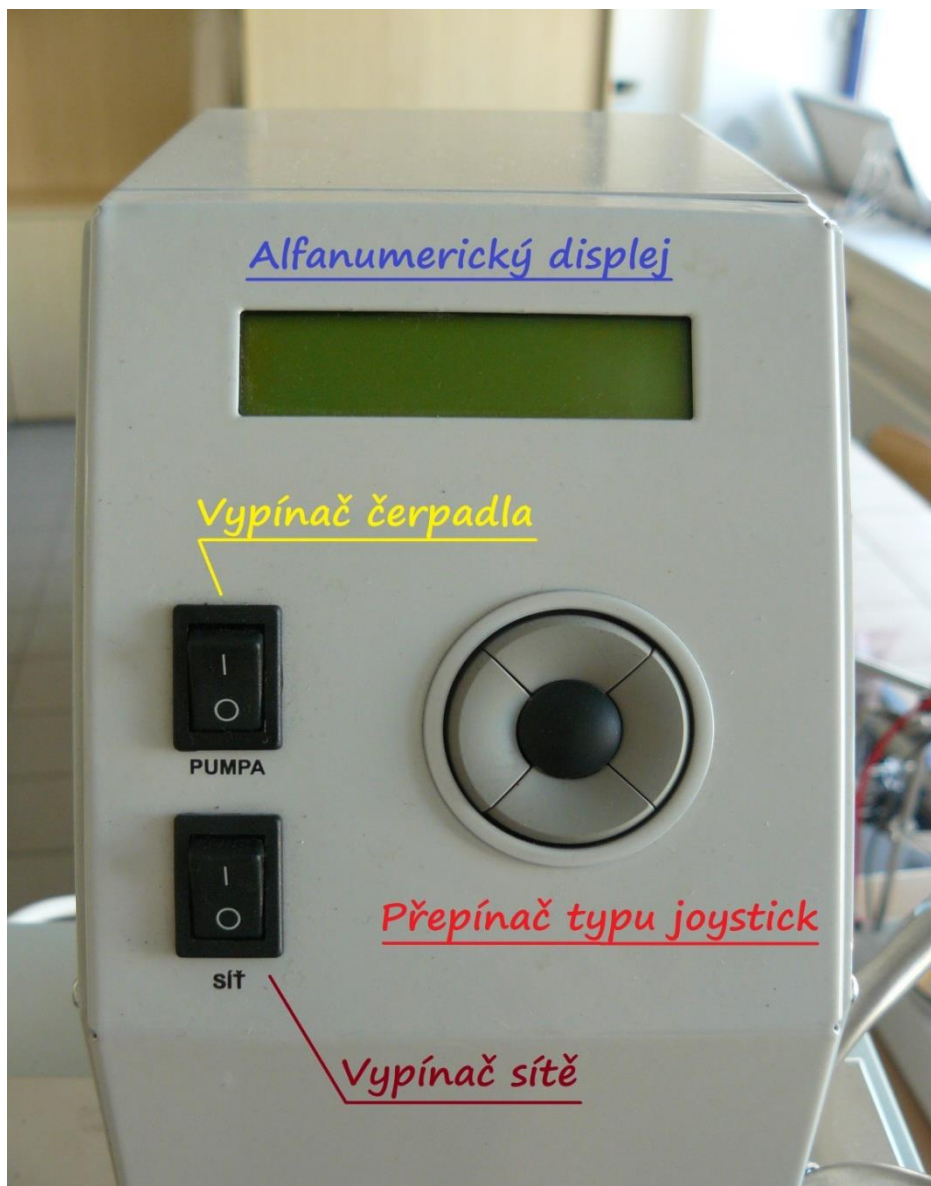
Termostatovaná kapalinová lázeň CTB06CP je složena ze tří hlavních částí: řídicího bloku elektroniky, plechové skříně s vanou a chladicího agregátu umístěného pod vanou.



Obr 1. - Termostatovaná lázeň včetně popsaných bloků

### 1.2.1 Řídící blok elektroniky

V přední části řídicího bloku je umístěn alfanumerický displej a tlačítka určená pro řízení lázně. Nachází se zde dva vypínače určené pro zapínání, respektive vypínání připojení lázně k síti (označeno SÍŤ) a řízení čerpadla (PUMPA). Dalším ovládacím prvkem je přepínač typu joystick sloužící k samotnému řízení chodu lázně (regulaci a řízení teplot).



Obr 2. – Řídící blok elektroniky včetně popisu

V zadní části tohoto bloku se nachází tři propojovací kabely sloužící ke komunikaci lázně s řídicím blokem a jedna přípojka určená pro propojení řídicího bloku s počítačem. Pod těmito propojkami je umístěný mechanický větrák určený k chlazení prvků řídicího bloku. Na zadním panelu termostatované kapalinové lázně se nachází kabel pro síťové připojení. [1]

## 1.2.2 Plechová skříň s vanou

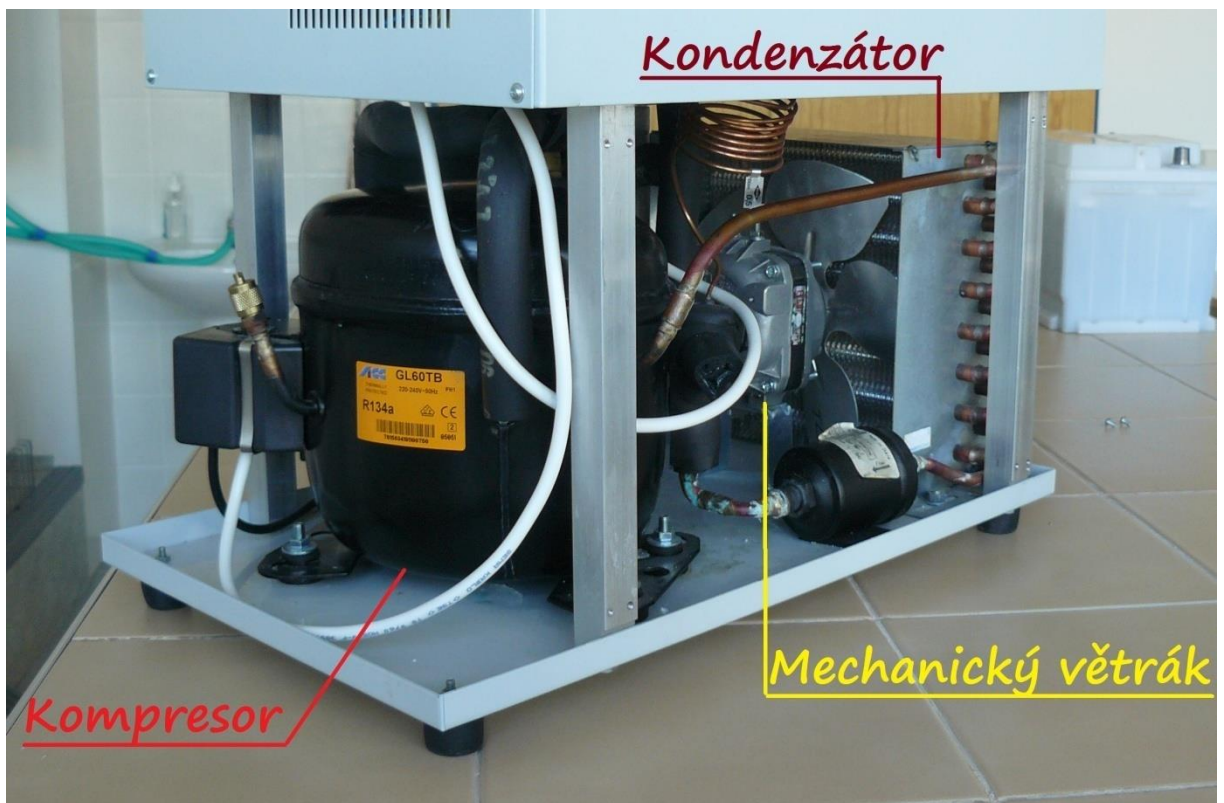
V této části lázně se, jak už její pojmenování napovídá, nachází samotná vana, která dokáže pojmout až 14 l kapaliny, dimenzována však je na 6 l kapaliny. Tato vana je tepelně izolována pro lepší udržování požadované teploty. Nádoba lázně (vana) je vyrobena z jednoho kusu nerezového plechu. Uvnitř vany je topná spirála a odstředivé čerpadlo, které slouží u tohoto typu lázně také jako míchadlo. Z vnějšího pohledu jsou vidět trubice čerpadla pro sání a vytlačování kapaliny, které jsou označeny příslušnými šipkami směřujícími dovnitř (pro sací), respektive ven (pro výtlačnou). V případě, že nevyužíváme externího obvodu, musí být tyto trubice spojeny co nejkratší hadicí pro minimalizaci tepelných ztrát. K výraznému omezení ztrát a snadnější homogenizaci teploty v lázni slouží také izolační poklop, určený k zakrytí vany při jejím provozu. Pro sledování teploty kapaliny je u lázní typu CTB využíváno platinového teploměru. [1] [5]



Obr 3. – Nerezová vana s popisem

### 1.2.3 Chladicí blok

Chlazení je zajištěno prostřednictvím chladicího kompresorového agregátu. Chladicí spirála je umístěna v zadní části spodního chladicího bloku termostatované lázně. Samotný kompresorový agregát se nachází pod nádobou na vlastní kapalinu. Výměník tepla je pak v přímém kontaktu se dnem nádoby, kde je upevněn pomocí speciálního cementu s velmi dobrou teplotní vodivostí. Všechny lázně s kompresorovým chlazením mají vestavěné řízení chladicího agregátu pro práci ve větším teplotním rozsahu. Díky osazení tímto agregátem je možné využít tuto lázeň i pro chlazení. [1] [5]



Obr. 4. – Chladicí blok včetně popisu



### 1.3.2 Topná spirála

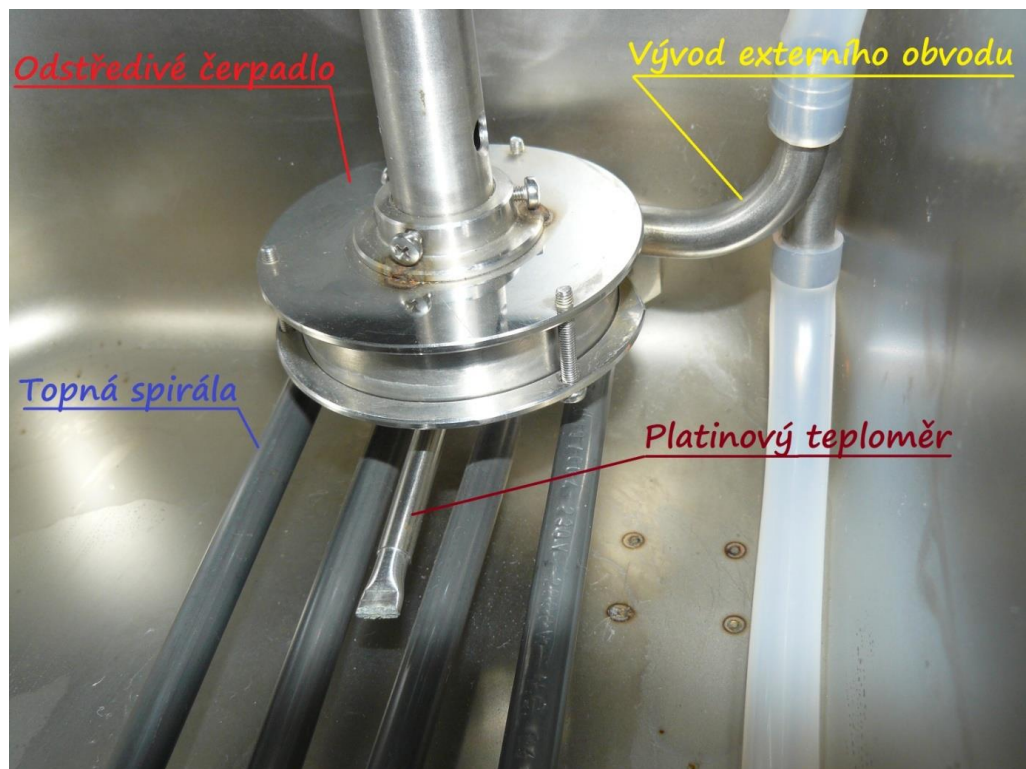
Topná spirála, která je vyrobená z kovu, zajišťuje přeměnu elektrické energie na energii tepelnou. Hlavní výhodou tohoto typu ohřevu topnou spirálou je přímý kontakt s médiem. Ten spočívá v přímém předání tepla ze spirály do dané kapaliny. Při nepřímém ohřevu prochází teplo skrz několik materiálů. Jedním ze závěrů tohoto vyjádření je, že významnou výhodou tohoto procesu je větší rychlost a efektivita tohoto procesu oproti ohřevu nepřímému, kde se při tepelném transportu uplatňuje více koeficientů prostupu u různých látek a dynamika procesu se snižuje.

### 1.3.3 Platinový teploměr

Platinový teploměr je nezbytnou částí pro řízení celé lázně. Slouží k měření okamžité teploty. Princip tohoto teploměru spočívá ve změně vodivosti platiny v závislosti na teplotě. S vyšší teplotou odpor definovaně roste a naopak.

### 1.3.4 Odstředivé čerpadlo

Tento typ čerpadla využívá odstředivou sílu působící na čerpané médium. Hřídel je napojena na rotor. Zahnuté lopatky dodávají čerpanému médiu rotační pohyb. Médium je pak vtlačeno do výstupního otvoru.



Obr 6. – Popis prvků umístěných v nerezové vaně



## 2 Úvodní měření na lázni

V první kapitole je popsána termostatovaná lázeň včetně funkcí jednotlivých částí. V následující kapitole jsou rozebrána provedená úvodní měření. Byla ověřena základní funkčnost zařízení ve všech pracovních režimech včetně chlazení. Zároveň došlo ke zjištění některých zásadních konstant přístroje, nezbytných pro další podrobná měření. Výstupem těchto měření jsou orientační teplotní charakteristiky. Z těchto charakteristik dále plynou některé podklady pro manuál.

### 2.1 Měření v samotné lázni

První manuální měření byla zaměřena na zjištění primárních dynamických vlastností této lázně pro ohřev a chlazení. Zajímavá byla zejména schopnost lázně stabilizovat a měnit teplotu požadovaného média v závislosti na čase. Pro tato měření bylo použito jako kapalně médium voda z kohoutku o objemu 6 l. Stejný objem kapaliny byl použit i pro všechna následná měření, jelikož jde o výrobcem doporučený objem pro provádění experimentálních činností. V případě použití výrazně menšího objemu by nebylo možné použít čerpadlo (ať už pro práci s externím obvodem, nebo k míchání). Také by bylo problematické využití topné spirály pro ohřev. Naopak při větším objemu média než je tato doporučená úroveň by se ještě výrazně zhoršila dynamika tepelných změn tohoto kapalného média. Pro všechna měření je nutné, aby byly vývody externího obvodu propojeny co nejkratším kouskem hadice pro dosažení teplotní homogenizace, dále označováno jako externí obvod nakrátko. V ideálním případě z důvodů zabránění tepelné výměny mezi médiem a okolním prostředím lze ještě tuto krátkou hadicovou spojku izolovat izolační látkou.

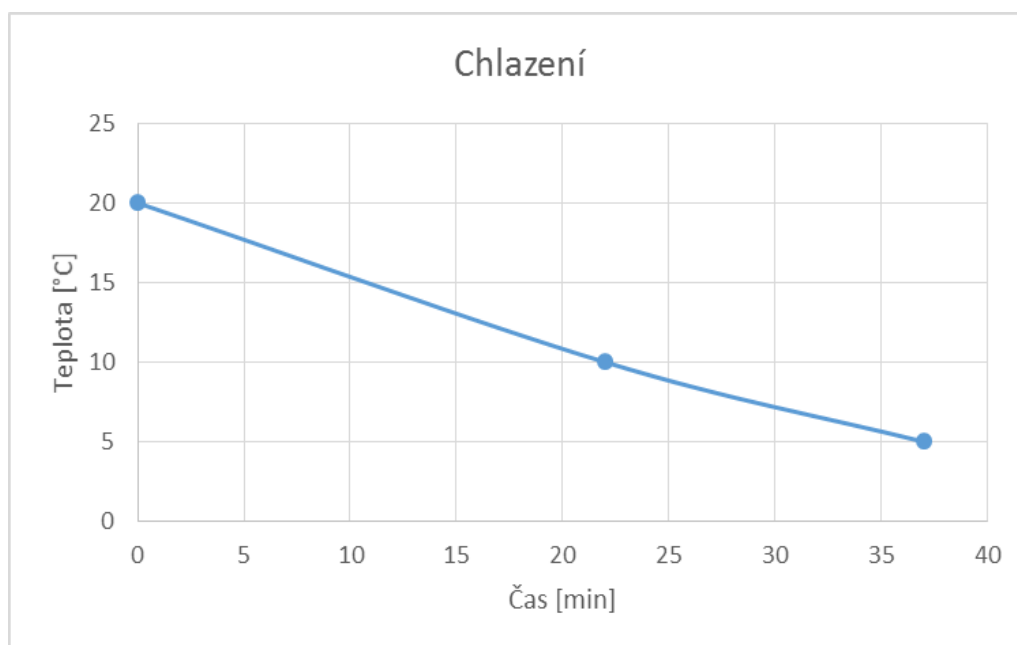
### 2.1.1 Chlazení

První měření bylo zaměřeno na ověření funkce a zjištění základní provozní dynamiky chlazení lázně. Chlazení je výrazně pomalejší proces než ohřev. To je dáno mimo jiné nepřímým charakterem této tepelné výměny. Chladicí okruh, včetně samotného výparníku, se nachází pod nerezovou vanou termostatované lázně.

#### Naměřené závislosti

Tab 1. – Rámcová dynamika chlazení

Teplota [°C]	20	10	5
Čas [min]	0	22	37



Graf 1. – Rámcová dynamika chlazení

#### Výpočet předběžné konstanty chlazení

$$k_{\text{chlazení}} = \frac{\Delta T}{t_{\text{celk}}} = \frac{15}{37} = 0,41 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{min}$$

$k_{\text{chlazení}}$  = konstanta chlazení

$\Delta T$  = rozdíl teplot na měřeném úseku

$t_{\text{celk}}$  = čas měření

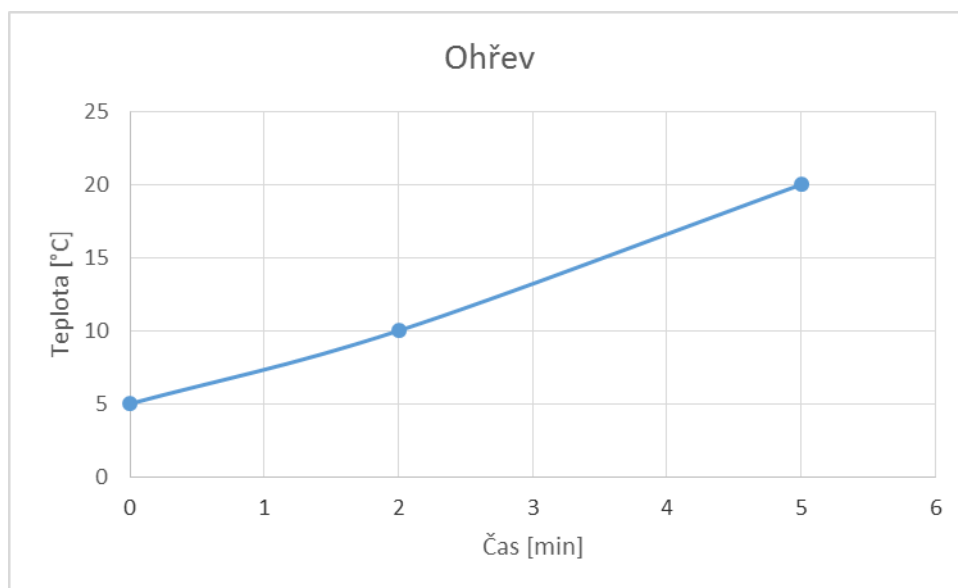
## 2.1.2 Ohřev

Proces ohřevu je vzhledem ke konstrukci lázně, její kapacitě a řešení ohřevného systému, procesem s větší dynamikou nežli chlazení. Tento rozdíl je do značné míry zapříčiněn rozdílnou metodikou ohřevu a chlazení. K ověření tohoto předpokladu bylo užito měření na stejném teplotním rozsahu. Ohřev je v lázni realizován pomocí topné spirály.

### Naměřené závislosti

Tab 2. – Rámcová dynamika ohřevu

Teplota [°C]	5	10	20
Čas [min]	0	2	5



Graf 2. – Rámcová dynamika ohřevu

### Výpočet předběžné konstanty ohřevu

$$k_{\text{ohřevu}} = \frac{\Delta T}{t_{\text{celk}}} = \frac{15}{5} = 3 \text{ °C / min}$$

$k_{\text{ohřevu}}$  = konstanta ohřevu

$\Delta T$  = rozdíl teplot na měřeném úseku

$t_{\text{celk}}$  = čas měření

### 2.1.3 Zhodnocení měření

Z provedených měření na teplotním rozsahu 5 °C – 20 °C je jasně patrné, že ohřev je u této konkrétní testované lázně CTB06CP přibližně sedminásobně rychlejší dějem nežli chlazení. Konkrétně konstanta ohřevu je 3 °C/min a konstanta chlazení pak 0,41 °C/min . Z uvedených experimentálních zjištění plyne základní provozní fakt, že tato lázeň není ideálním nástrojem pro realizaci rychlých termodynamických změn objemového média, ale její hlavní funkcí bude dlouhodobá a kvalitní stabilizace teploty v nastavených mezích.

### 3 Analýza řízení a realizace programu v Labview

Experimentálně bylo zjištěno, že majoritní způsob využití této lázně je v oblasti stabilizace teploty, nikoliv jejích rychlých dynamických změnách. Na základě tohoto faktu lze říci, že řízení pomocí ovládacího panelu na řídicím bloku elektroniky termostatované lázně je pro většinu požadovaných úloh provozně dostačující. Hlavní výhodou při komunikaci přes sériový port tak může být možnost ukládání hodnot teploty lázně v určených časových intervalech. Obecně lze však říci, že nejvhodnějším způsobem řízení je právě ten, který již společnost Labio na své lázni aplikovala a počítačové řízení se stává minoritním způsobem ovládání této lázně.

#### 3.1 Realizace programu pro řízení lázně v LabView

Program vycházel z rozhraní pro sériovou komunikaci. Bylo nutné realizovat bloky pro zaslání správně formulovaného příkazu do sériového portu a také jeho následné správné zpětné přečtení. Dále byl rámcově užit modifikovaný blok k ukládání naměřených hodnot do souboru z diplomové práce Ing.Radka Zunta. [9]

##### 3.1.1 Vývojové prostředí Labview

Samotný název programovacího prostředí Labview je zkratkou slov Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench. Vývoj tohoto prostředí započala společnost National Instruments v roce 1983, kdy při uvedení první k počítači připojitelné desky na trh vznikla myšlenka na realizaci virtuální instrumentace a začala pracovat na prostředí Labview.

V prostředí Labview je využíván grafický jazyk. Každý program vytvořený v tomto prostředí obsahuje dvě okna, a to čelní panel, který slouží především coby uživatelské rozhraní. Druhou částí je pak blokový diagram, který určuje vlastní algoritmus programu a propojení všech vstupů a výstupů čelního panelu. [7][9]

### 3.1.2 Podklady k tvorbě programu

Nezbytné podklady nutné k realizaci propojení lázně přes sériový port s počítačem byly získány od samotné společnosti Labio, se kterou byla komunikace na velmi vysoké úrovni. Dalším cenným zdrojem podkladů a informací se ukázala Diplomová práce Ing. Radka Zunta, která se zabývá obdobnou problematikou návrhu počítačem řízené stanice pro měření vodivosti palivové vody pro PEM články. Součástí této stanice byl pH metr, taktéž vyráběný společností Labio. Práce byla tak v některých bodech inspirativní a v oblasti ukládání hodnot bylo možné po modifikaci přímo využít ukládací blok z tohoto programu.

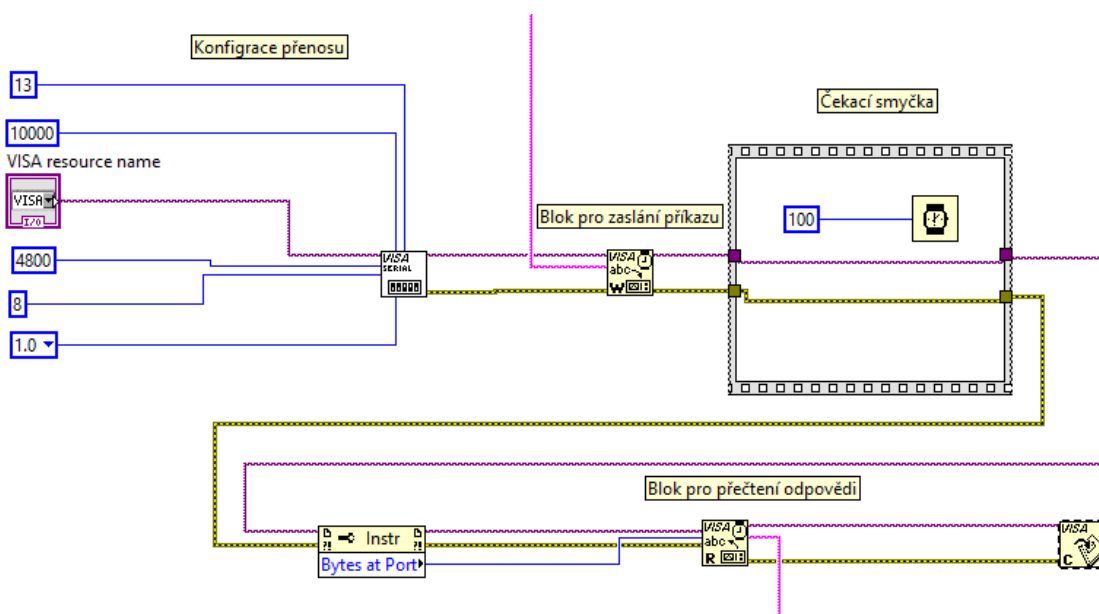
Z materiálů pro sériovou komunikaci se podařilo zjistit komunikační rychlost, která je pro termostatovanou lázeň CTB06CP rovna 4800Bd. Rovněž byly zjištěny další klíčové parametry pro sériovou komunikaci, jako například počet stop bitů a data bitů. Důležitým zjištěním bylo také, jakou formou jsou příkazy, respektive odpovědi lázně posílány. Převod nutný pro zadání a získání teploty, nebo fakt, že čísla jsou lázní komunikována v hexadecimální podobě. [2][3][9]

### 3.1.3 Komunikace přes sériový port

Výhodou prostředí LabView a práce v něm je bezesporu množství hotových knihoven a předdefinovaných funkcí, které může vývojář kdykoliv použít. Není tedy vždy potřeba hlubších znalostí každé složitější problematiky, ze které se výsledná aplikace skládá. To platí i v tomto případě, jelikož základní vrstvy komunikace po sériovém portu jsou již v LabView implementovány v rámci rozhraní NI-VISA, které je přímo vyvinuto společností National Instruments.

Nejprve bylo nutné nakonfigurovat parametry pro sériovou komunikaci, nadefinovat koncový znak, přenosovou rychlost, počet data bitů a stop bitů. V blokovém diagramu (Obr 7.) vlevo nahoře.

Následně bylo potřeba zařadit blok pro zaslání příkazu do lázně, čekací smyčku a blok pro konečné přečtení odpovědi. [3][9]

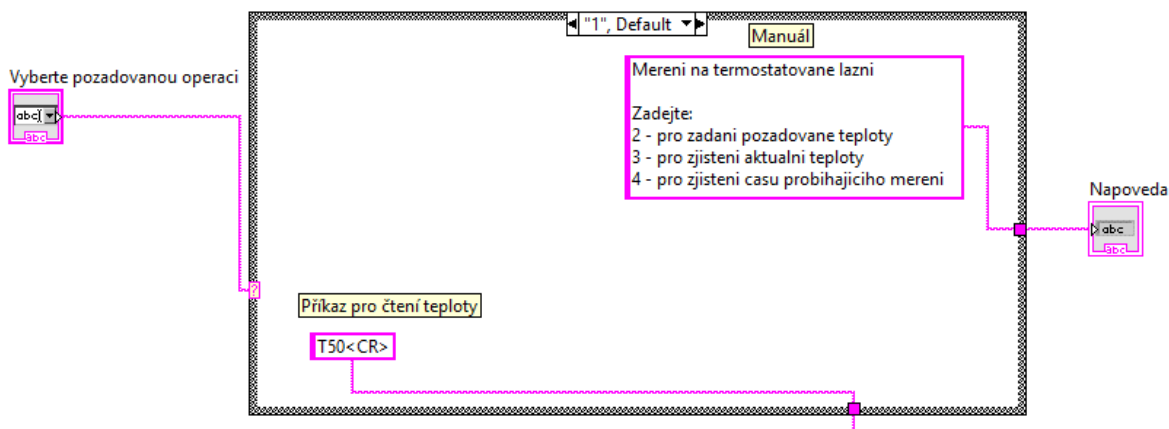


Obr 7. – Komunikace po sériové lince

### 3.1.4 Blok pro zasílání příkazů

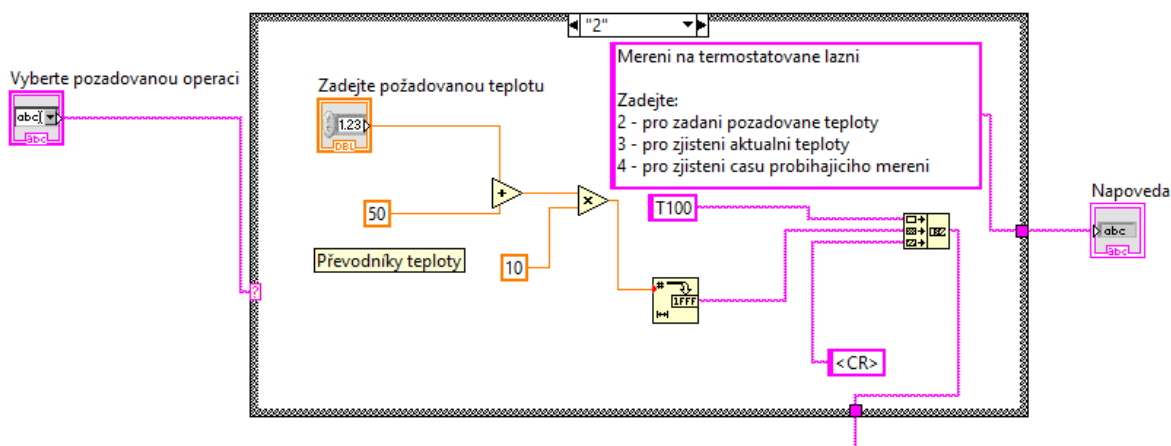
Druhou velice důležitou součástí programu je bezesporu blok pro zadávání příkazů do lázně. Zde je problematika řešena čtyřmi bloky.

První defaultní zobrazí uživatelskou nápovědu a zasílá příkaz pro odečtení aktuální teploty z lázně (Obr 8.).



Obr 8. – 1. Vstupní blok

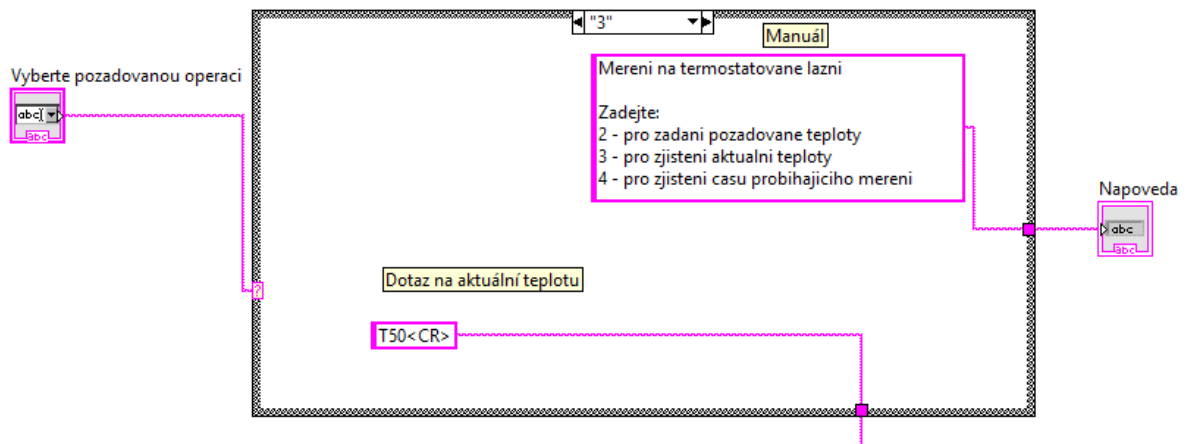
Druhý blok je určen pro zadání hodnoty cílové teploty, tato hodnota je dle požadavků Labia upravena. Nejprve je k ní přičteno padesát a následně je hodnota vynásobena deseti, jak uvádí manuál k sériové komunikaci. Hodnota je následně převedena do hexadecimální podoby a přiřazena na příslušnou pozici do řetězce pro zadání požadované teploty (Obr 9.).



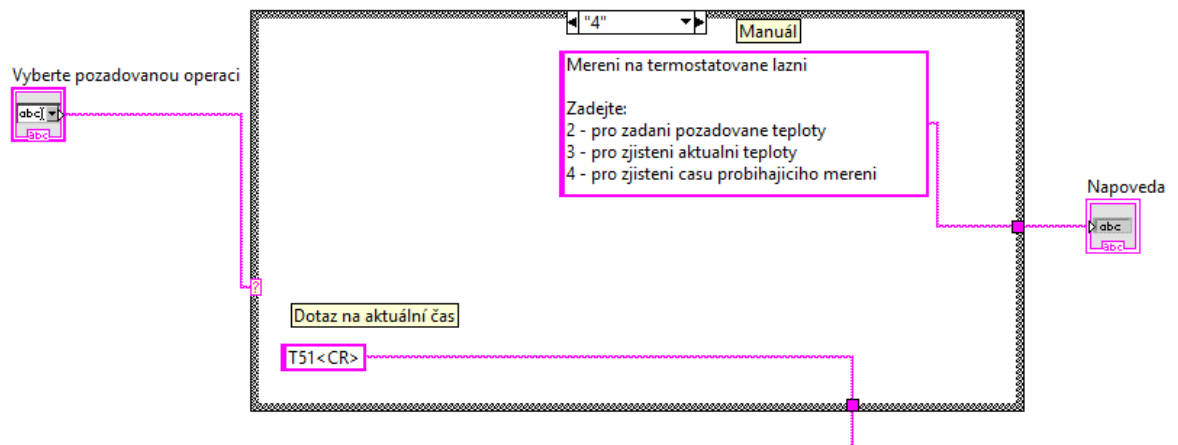
Obr 9. – 2. Vstupní blok



Třetí a čtvrtý blok už pak obsahují jen samotný příkaz pro zjištění aktuální teploty (Obr 10.), respektive pro získání aktuálního času měření (Obr 11.)



Obr 10. – 3. Vstupní blok



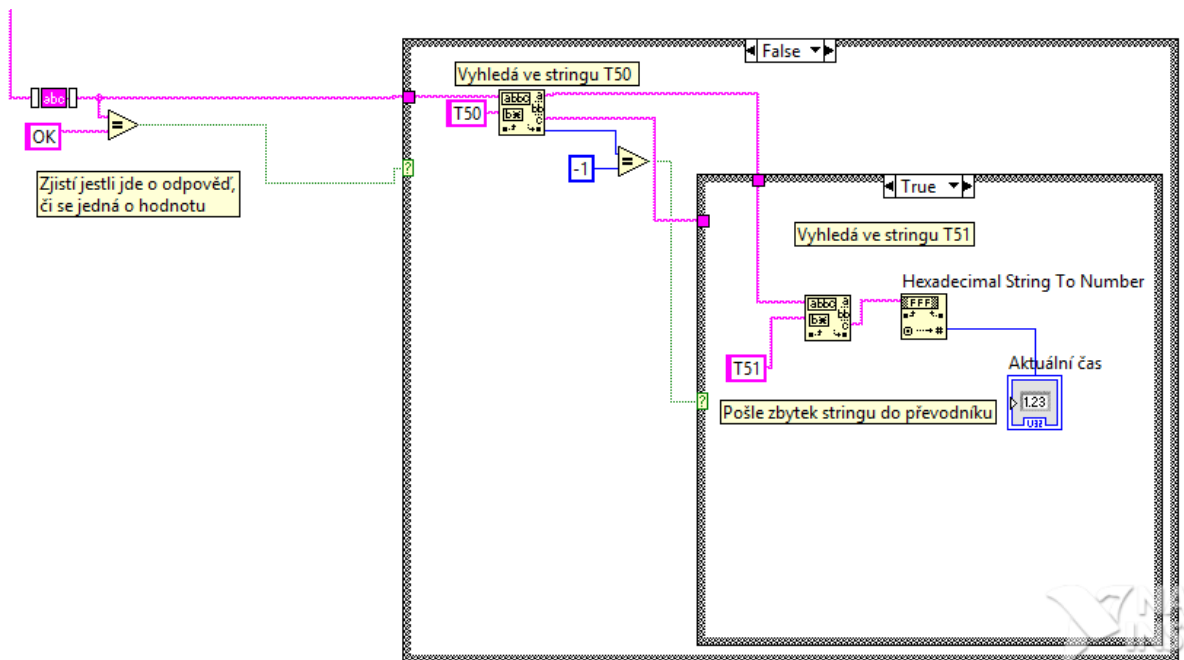
Obr 11. – 4. Vstupní blok

### 3.1.5 Blok pro čtení odpovědi

Po odeslání příkazu následuje odpověď lázně, od lázně můžeme při výše uvedených zadávacích blocích dostat 3 odpovědi.

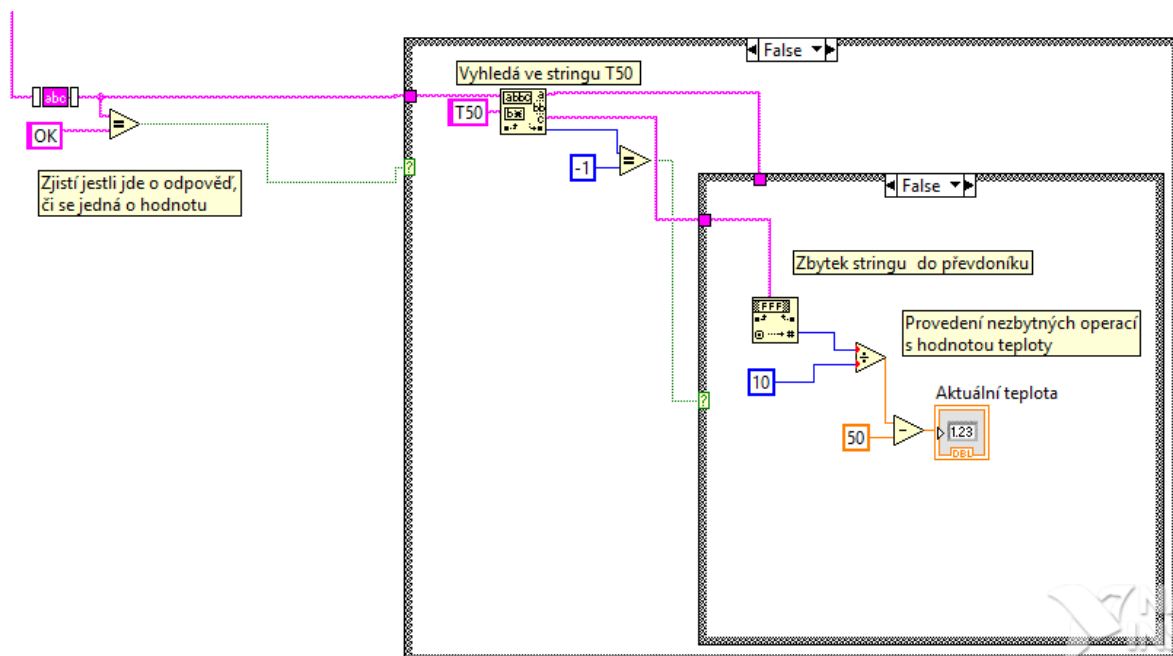
První varianta nastane v případě, kdy zadáváme lázni požadovanou hodnotu teploty. Zde se dostaví v případě pozitivního přijetí této hodnoty odpověď OK. V případě, že řetězec je roven OK, tak hlavní blok nabývá hodnoty „True“ a vytiskne do pole potvrzení příkazu, že vše proběhlo jak má, čili také „OK“.

Další varianta je, že řetězec neobsahuje OK, tedy hlavní blok nabývá hodnoty „False“. Nejprve se řeší, zda přichází řetězec obsahuje znaky T50 (první 3 znaky v odpovědi po dotazu na aktuální teplotu). V případě, že zde tento znak není nalezen, tak podblok nabývá hodnoty „True“. V řetězci jsou vyhledány znaky T51 (první tři znaky v odpovědi pro dotaz na čas) a zbytek řetězce je přeložen do číselné podoby a vytisknut na obrazovku coby „Aktuální čas“ (Obr 12.).



Obr 12. – 2.Blok včetně „True“ varianty podbloku

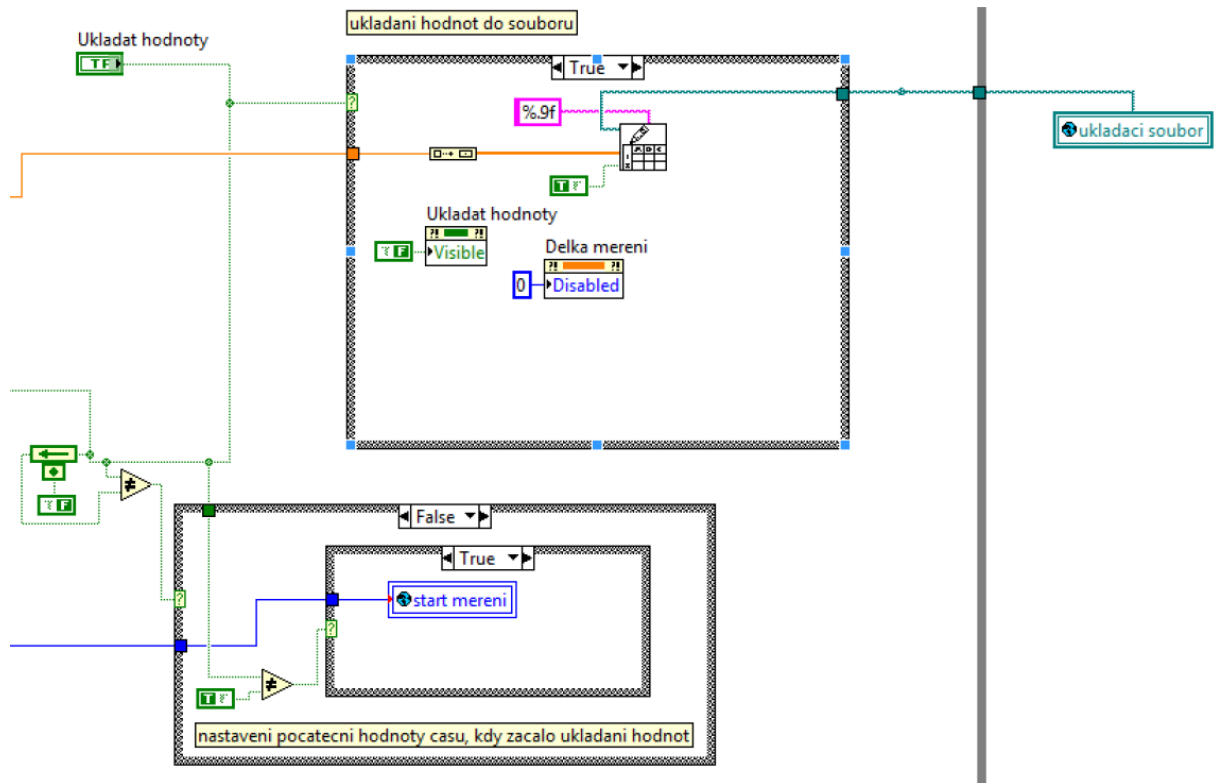
V případě, že je v řetězci nalezena již skupina znaků T50, tak nabývá podblok hodnoty „False“, do tohoto bloku je odeslán již jen zbytek řetězce za znaky T50, tento řetězec je opět převeden z hexadecimálních na dekadická čísla. Stejně jako u vstupu zde musí následovat Labiem uváděný převod, kdy je hodnota nejprve vydělena 10 a následně je od ní odečteno 50. Výstupem je pak v okně „aktuální teplota“ hodnota aktuální teploty (Obr.13).



Obr 13. – 2.Blok včetně „False“ varianty podbloku

### 3.1.6 Ukládání hodnot do souboru

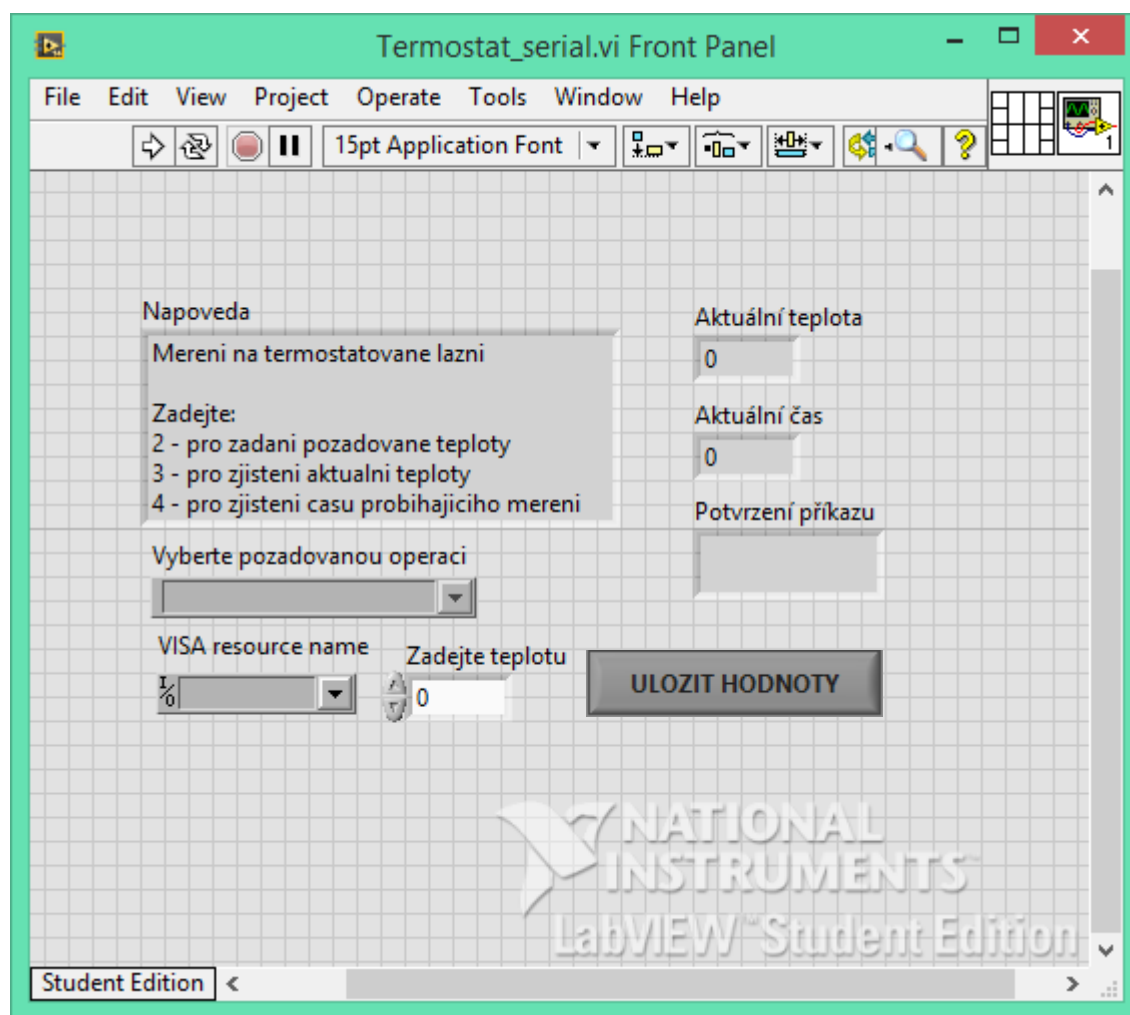
Ukládání hodnot do souboru je realizováno metodikou inspirovanou prací Ing. Radka Zunta. Po stisku tlačítka „Ukládat hodnoty“ dojde k ukládání hodnot do adresáře v počítači a zároveň se začne počítat čas od počátku měření (Obr 14.). [9]



Obr 14. – Blokové schéma ukládání hodnot

### 3.1.7 Přední panel aplikace v Labview

Na panelu aplikace vidíme pole s nápovědou a dále možnost výběru požadované operace. Je zde možnost zadání teploty, dotazu na aktuální teplotu a také čas. Následuje možnost výběru sériového portu a také pole pro zadání požadované teploty. V pravé části se nachází indikátory aktuální teploty, času, respektive potvrzení o přijetí zadané teploty. Ve spodní části pak tlačítko pro ukládání hodnot (*Obr 15.*).



Obr 15. – Přední blok aplikace v LabView

## 3.2 Zhodnocení možností řízení

Po realizaci programu sloužícímu k řízení lázně se ukázalo, že pro experimentální účely je vzhledem k malé dynamice dějů v lázni dostačující řízení manuální. Vzhledem k požadované rychlosti snímání hodnot v intervalech 30-60sekund je počítačové řízení možné, práci však nijak neurychlí.

## 4 Základní sada dynamických měření

Po sadě úvodních předběžných měření je tato část zaměřena na proměření přesných oteplovacích charakteristik, a to jak pro ohřev, tak chlazení, a také pro ohřev pomocí externího obvodu. Všechna tato měření byla provedena s lázní naplněnou 6l vody a zapnutým čerpadlem pro homogenizaci teploty v lázni, respektive využití externího obvodu a teplotní homogenizaci.

### 4.1 Ohřev v samotné lázni

Jak již prokázalo předběžné proměření charakteristik lázně, ohřev probíhá přibližně sedmkrát rychleji nežli chlazení. Z tohoto zjištění plyne základní provozní fakt, že pro dosažení a stabilizaci teploty vyšší než je původní teplota kapaliny bude taktéž dostačující sedminásobně kratší časový interval. Následující část se bude zabývat naměřenými závislostmi, závislostí tepelné konstanty na poměru teploty okolí a teploty uvnitř lázně (tím rozumíme vliv nedokonalé izolace) a tepelné konstanty ohřevu. V této souvislosti lze pouze podotknout, že třeba tepelné výměny netěsnostmi nebo nedostatečnou izolací, popřípadě ztrátami jsou v danou chvíli vedlejší a nebyly součástí systematického výzkumu.

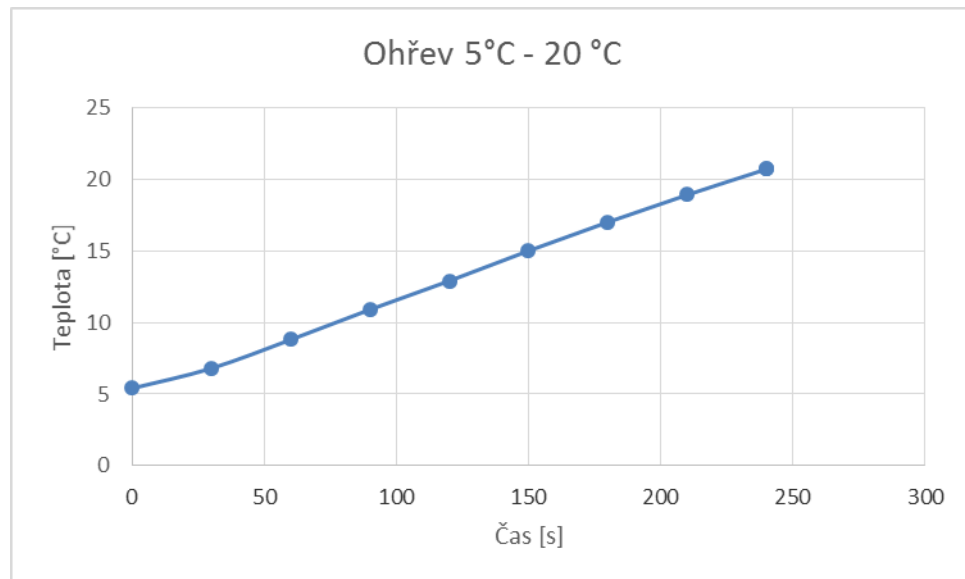
#### Naměřené závislosti

Měření při nárůstu teploty jsem rozdělil do tří intervalů, nejprve z teploty 5°C na teplotu v laboratoři (cca 21°C), následně pak po 15°C na 20°C-35°C, respektive 35°-50°C, Tato měření by měla napovědět rámcové závislosti na fyzikálních parametrech okolí a jejich vlivu na experiment.

## 1. Úsek měření 5°C-20°C

Tab 6. – Ohřev 5°C – 20°C

čas [s]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	240
teplota [°C]	5,4	6,8	8,8	10,9	12,9	15	17	18,9	20,7	20,7



Graf 3. – Dynamika ohřevu 5°C – 20°C

## 1. Úsek měření 5°C-20°C

$$k_1 = \frac{\Delta T}{t_{\text{celk}}} 60 = \frac{15,3}{240} 60 = 3,825 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$$

$k_1$  = konstanta ohřevu pro 1.úsek

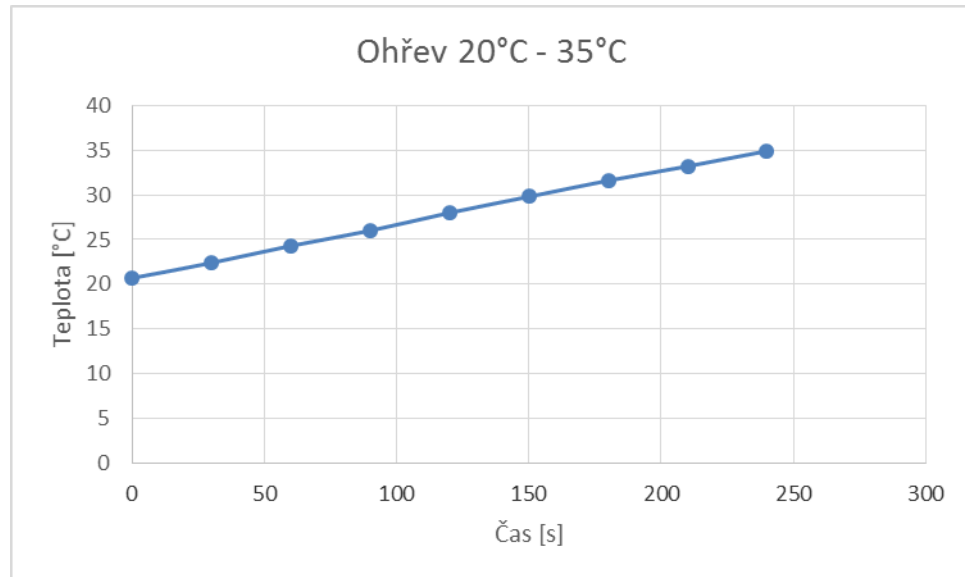
$\Delta T$  = rozdíl teplot na měřeném úseku

$t_{\text{celk}}$  = čas měření

## 2. Úsek měření 20°C-35°C

Tab 7. – Ohřev 20°C – 35°C

čas [s]	0	30	60	90	120	150	180	210	240
teplota [°C]	20,7	22,4	24,3	26	28	29,8	31,6	33,2	34,9



Graf 4. – Dynamika ohřevu 20°C – 35°C

### Výpočet konstanty ohřevu pro 2.úsek

$$k_2 = \frac{\Delta T}{t_{\text{celk}}} 60 = \frac{14,2}{240} 60 = 3,55 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{min}$$

$k_2$  = konstanta ohřevu pro 2.úsek

$\Delta T$  = rozdíl teplot na měřeném úseku

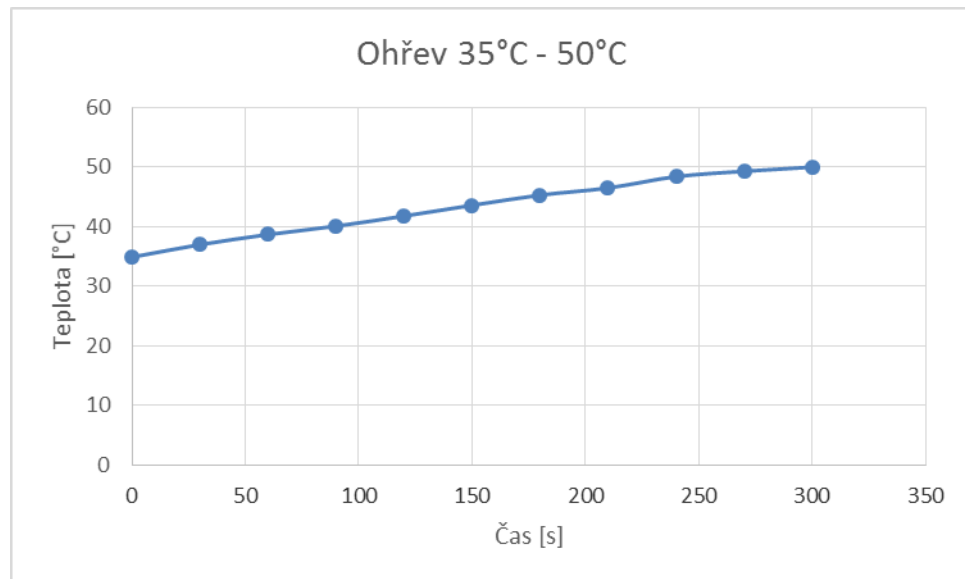
$t_{\text{celk}}$  = čas měření



### 3. Úsek měření 35°C-50°C

Tab. 8. – Ohřev 35°C – 50°C

čas [s]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
teplota [°C]	34,9	37	38,7	40,1	41,8	43,6	45,3	46,5	48,4	49,3	50



Graf 5 – Dynamika ohřevu 35°C – 50°C.

#### Výpočet konstanty ohřevu pro 3.úsek

$$k_3 = \frac{\Delta T}{t_{\text{celk}}} 60 = \frac{15,1}{300} 60 = 3,02^\circ \text{C} / \text{min}$$

$k_3$  = konstanta ohřevu pro 3.úsek

$\Delta T$  = rozdíl teplot na měřeném úseku

$t_{\text{celk}}$  = čas měření

#### Výpočet celkové konstanty ohřevu

$$k_{\text{ohřevu}} = \frac{\Delta T}{t_{\text{celk}}} 60 = \frac{44,6}{780} 60 = 3,43^\circ \text{C} / \text{min}$$

$k_{\text{ohřevu}}$  = celková konstanta ohřevu

$\Delta T$  = rozdíl teplot na měřeném úseku

$t_{\text{celk}}$  = čas měření

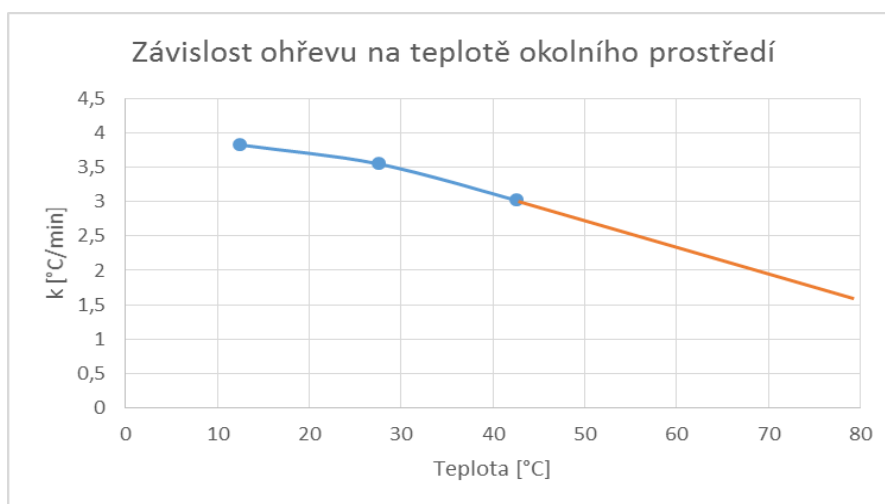
### Závěry měření ohřevu

Na základě měření křivky ohřevu, rozdělené do tří částí, byla zjištěna průměrná konstanta ohřevu  $k_{\text{ohřevu}}$  pro rozsah  $5^{\circ}\text{C}$ - $50^{\circ}\text{C}$ , tato konstanta nabývá hodnoty  $3,43^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . V tomto teplotním rozsahu trvá ohřev vody o jeden stupeň Celsia  $17,5\text{s}$ . Měření se zabývalo i zjištěním vlivu teploty okolního prostředí. Byly tak experimentálně zjištěny a následně spočítány ještě další tři dílčí konstanty –  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ . Jsou to konstanty pro ohřev v jednotlivých teplotních intervalech.

Nejprve interval  $5^{\circ}\text{C}$ - $15^{\circ}\text{C}$ , zde je zvolena konstanta ohřevu  $k_1$ , která nabývá hodnoty  $3,825^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Je patrné, že je to hodnota o  $0,4^{\circ}\text{C}/\text{min}$  vyšší, než je celkový průměr na měřeném rozsahu. To připisujeme právě nedokonalé izolaci, ohřev urychlilo okolní prostředí o teplotě  $21^{\circ}\text{C}$ .

Další měřenou konstantou je pak konstanta  $k_2$  pro ohřev v intervalu  $20^{\circ}\text{C}$ - $35^{\circ}\text{C}$ , tato konstanta nabývá hodnoty  $3,55^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Je patrné, že se ohřev již zpomalil o více než  $0,27^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , což lze přičíst tomu, že je kapalina ohřívána nad teplotu okolního prostředí, tudíž okolní prostředí naopak ohřev zpomaluje.

Posledním úsekem byl ohřev v rozsahu teplot  $35^{\circ}\text{C}$ - $50^{\circ}\text{C}$ . Konstanta ohřevu je zde jen  $k_3 = 3,02^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Je patrné ještě výraznější zpomalení ohřevu, které je opět zapříčiněno teplotou okolního prostředí, vzhledem k tomu, že rozdíl teploty kapaliny v lázni a okolním prostředím je ještě větší, se to projevuje i na výraznějším zpomalení ohřevu o  $0,53^{\circ}\text{C}/\text{min}$ .



Graf 4. – Závislost rychlosti ohřevu na teplotě okolního prostředí

Na grafu 4. je znázorněna naměřená závislost ohřevu v závislosti na čase a v závislosti na teplotě kapaliny v lázni, naměřená závislost je v grafu zanesena modře, oranžovou barvou je znázorněn předpokládaný vývoj časové konstanty pro vyšší teploty. Za zmínku stojí i relativně náročná časová konstanta všech takto prováděných měření.

## 4.2 Chlazení v samotné lázni

Již z úvodního měření plyne, že tento proces bude probíhat přibližně 7x pomaleji. To zapříčiňuje poměrně velkou časovou náročnost. Ovšem je také třeba zmínit, že vybavení termostatované lázně chladícím okruhem znamená zároveň i velkou úsporu času. Kapalina v lázni se díky němu ochladí mnohonásobně rychleji, než by tomu bylo jen za vlivu okolního prostředí. Díky chladicímu okruhu lze dosahovat i teplot pod hodnotou teploty okolního prostředí.

### Naměřené závislosti

Shodně jako u ohřevu bylo měření diverzifikováno do tří teplotních úseků, z nichž každý na intervalu 50°-5°C zaujímá přibližně jednu třetinu daného úseku. Rozdělením do těchto tří úseků by měl být opět dokázán i vliv teploty okolního prostředí na rychlost chlazení kapalného média, v našem případě vody.

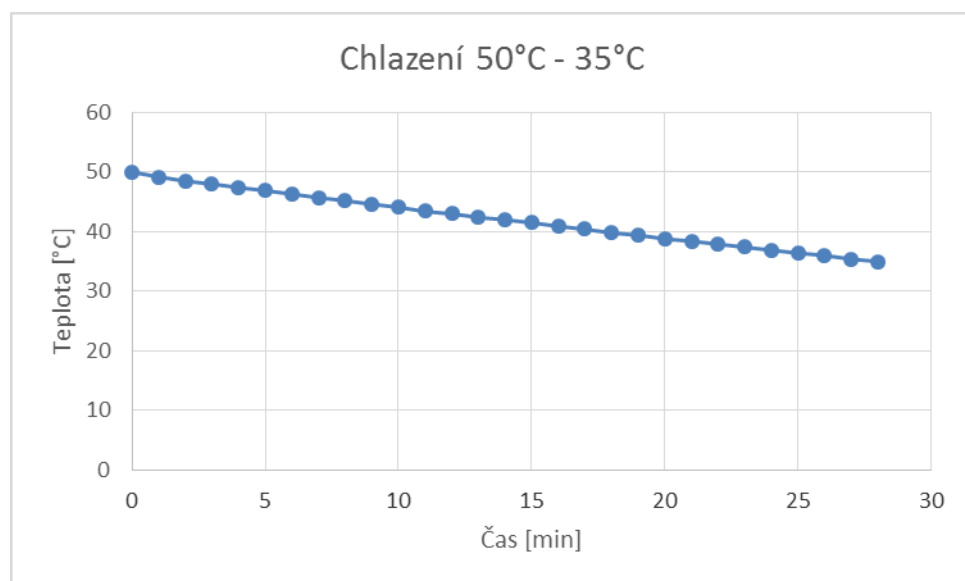
## 1. Úsek měření 50°C-35°C

Tab 9. Chlazení 50°C – 35°C

čas [s]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
teplota [°C]	50	49,2	48,5	48	47,4	46,9	46,3	45,7	45,2	44,6

čas [s]	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
teplota [°C]	44,1	43,4	43	42,4	42	41,5	40,9	40,4	39,8	39,4

čas [s]	20	21	22	23	24	25	26	27	28
teplota [°C]	38,8	38,4	37,9	37,4	36,9	36,4	36	35,4	35



Graf 5. – Dynamika chlazení 50°C – 35°C

### Výpočet konstanty chlazení v 1.úseku

$$k_1 = \frac{\Delta T}{t_{\text{celk}}} = \frac{15}{28} = 0,536 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$$

$k_1$  = konstanta chlazení pro 1.úsek

$\Delta T$  = rozdíl teplot na měřeném úseku

$t_{\text{celk}}$  = čas měření

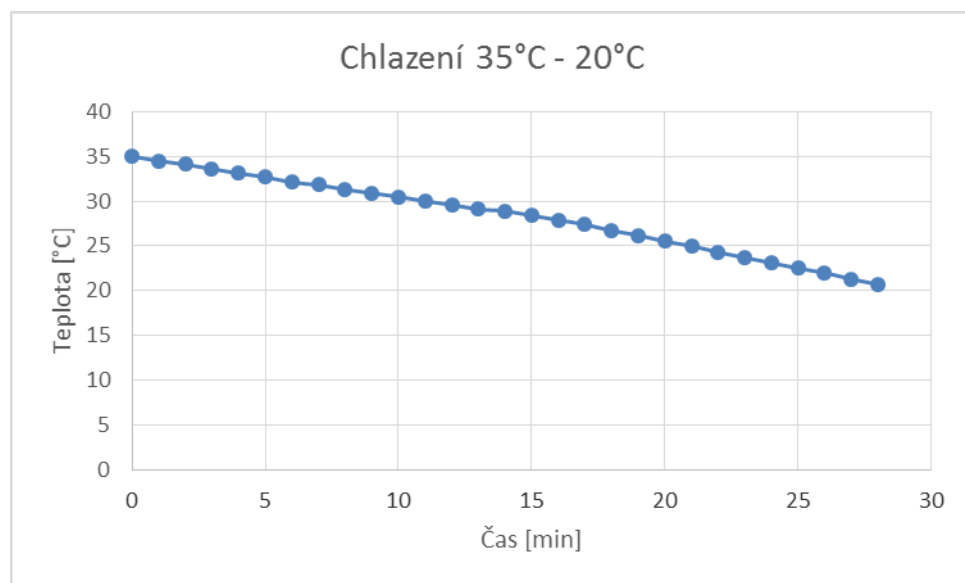
## 2. Úsek měření 35°C-20°C

Tab 10. – Chlazení 35°C – 20°C

čas [s]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
teplota [°C]	35	34,5	34,1	33,6	33,1	32,7	32,1	31,8	31,3	30,9

čas [s]	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
teplota [°C]	30,5	30	29,6	29,1	28,9	28,4	27,9	27,4	26,7	26,2

čas [s]	20	21	22	23	24	25	26	27	28
teplota [°C]	25,5	25	24,3	23,7	23,1	22,5	22	21,3	20,7



Graf 6. – Dynamika chlazení 35°C – 20°C

### Výpočet konstanty chlazení v 2.úseku

$$k_2 = \frac{\Delta T}{t_{\text{celk}}} = \frac{14,3}{28} = 0,511 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$$

$k_2$  = konstanta chlazení pro 2.úsek

$\Delta T$  = rozdíl teplot na měřeném úseku

$t_{\text{celk}}$  = čas měření

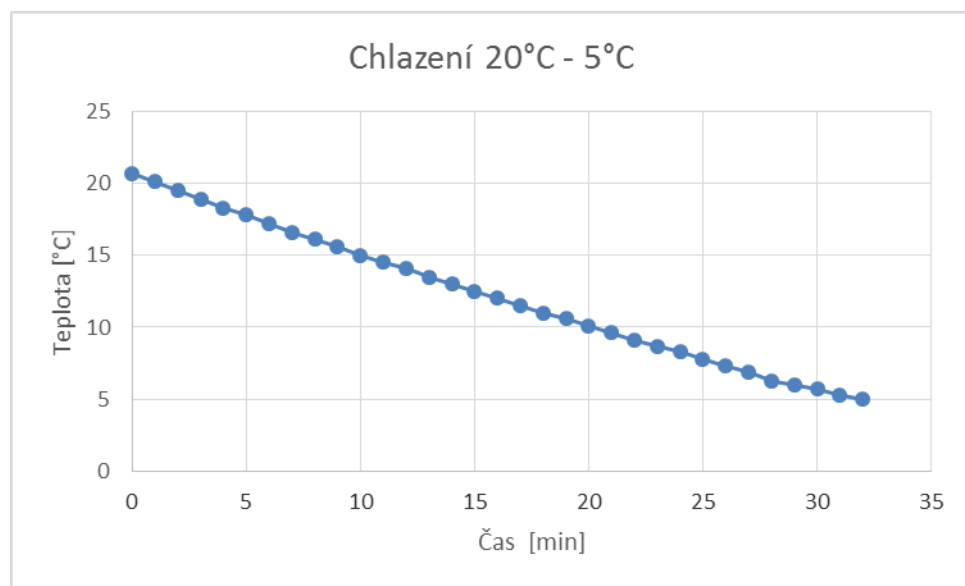
### 3. Úsek měření 20°-5°C

Tab 11. – Chlazení 20 – 5°C

čas [s]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
teplota [°C]	20,7	20,1	19,5	18,9	18,3	17,8	17,2	16,6	16,1	15,6	15

čas [s]	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
teplota [°C]	14,5	14,1	13,5	13	12,5	12	11,5	11	10,6	10,1	9,6

čas [s]	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
teplota [°C]	9,1	8,7	8,3	7,8	7,3	6,9	6,3	6	5,7	5,3	5



Graf 7. – Dynamika chlazení 20°C – 5°C

#### Výpočet konstanty chlazení v 3.úseku

$$k_3 = \frac{\Delta T}{t_{\text{celk}}} = \frac{15,7}{32} = 0,49 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{min}$$

$k_3$  = konstanta chlazení pro 3.úsek

#### Výpočet průměrné konstanty chlazení

$$k_{\text{chlazení}} = \frac{\Delta T}{t_{\text{celk}}} = \frac{45}{88} = 0,511 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{min}$$

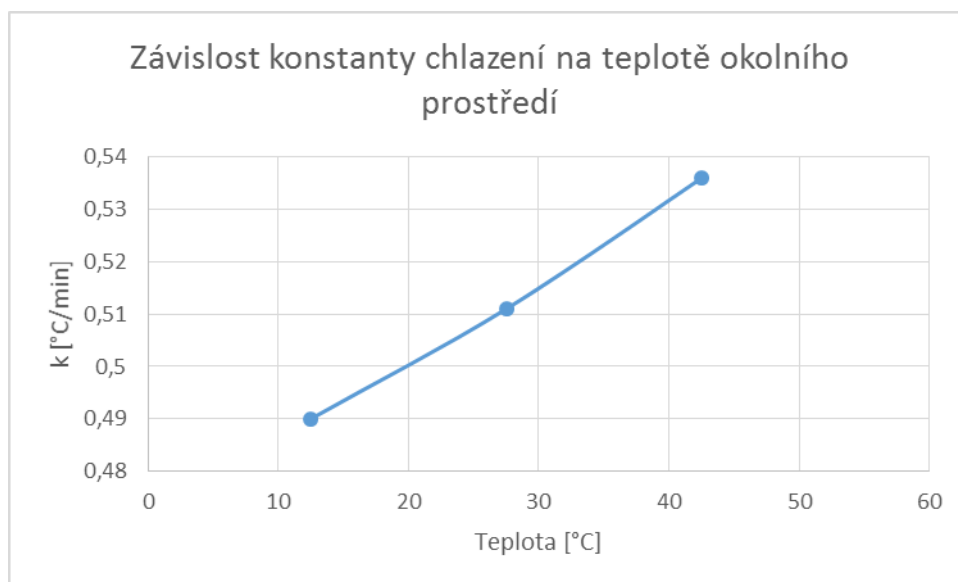
$k_{\text{chlazení}}$  = celková konstanta chlazení

$\Delta T$  = rozdíl teplot na měřeném úseku

$t_{\text{celk}}$  = čas měření

### Závěry měření chlazení

Měření chladicího procesu jasně dokázalo, že chlazení je proces v průměru 7x pomalejší nežli ohřev. Z naměřených konstant pro jednotlivé teplotní úseky je opět patrná závislost konstanty na teplotě okolního prostředí. V prvním měřeném úseku nabývá tato konstanta 0,536 °C / min, ve druhém úseku (35°-20°C )se hodnota této konstanty sníží přibližně o 5%, a to na hodnotu 0,511 °C / min. V posledním úseku, kde byla měřena konstanta pro chlazení z 20°C na 5°C, nabývá tato konstanta hodnoty 0,49 °C / min. To je zhruba o 4% méně než v případě předchozím a o 9% méně nežli na prvním měřeném teplotním rozsahu (50°-35°C). Průměrná konstanta chlazení je pak rovna 0,511 °C / min.



*Graf 8. – Závislost rychlosti chlazení na teplotě okolního prostředí*

Z grafu 8. je opět jasně patrná závislost konstanty chlazení na teplotě okolního prostředí. Je zřejmé, že čím nižší je teplota, tím pomaleji také chlazení probíhá. Více hodnot nebylo opět naměřeno vzhledem k pokrytí majoritní části využitelných oblastí lázně a také časové náročnosti. Změření těchto tří úseků trvalo bezmála 2hodiny.

### 4.3 Měření externího obvodu

Po měření se zapojeným externím obvodem nakrátko následovala analýza potenciálu druhého možného zapojení, tedy s externím obvodem, sloužícím k ohřevu či chlazení. Vzhledem k malé dynamice chlazení bylo rozhodnuto, že v našich laboratorních podmínkách bude aplikovatelný externí obvod převážně pro funkce ohřevu. Tento experiment byl proveden pomocí externího nepřímého ohříváče, kterým bylo ohříváno 100 ml vody v tepelně odizolovaném odměrném válci. Lázeň obsahuje jen jedno čerpadlo, a tak musí být externí obvod při každém využití nutně uzavřený.

#### 4.3.1 Konstrukce externího ohříváče

Vzhledem k tomu, že k lázni nebyl dodán externí obvod pro následnou aplikaci, bylo nutné pro experimentální otestování jeho potenciálu tento obvod sestavit.

Ke konstrukci byl použit odměrný válec o objemu 100ml, zploštělá hadička z měkčeného PVC, pás mirelonu, lepenka a korková zátka. Nejprve byl válec natěsno omotan zploštělou hadičkou (*obr 16.*), pro zlepšení izolace a minimalizaci tepelných ztrát byla hadička z venku odizolována a zároveň tisknuta blíž k válci pomocí obmotaného mirelonu (*obr 17.*). Na závěr byl válec po naplnění požadovaným množstvím kapaliny uzavřen pomocí korkové zátky a do válce bylo umístěno čidlo teploměru pro snímání teploty (*obr 18.*).

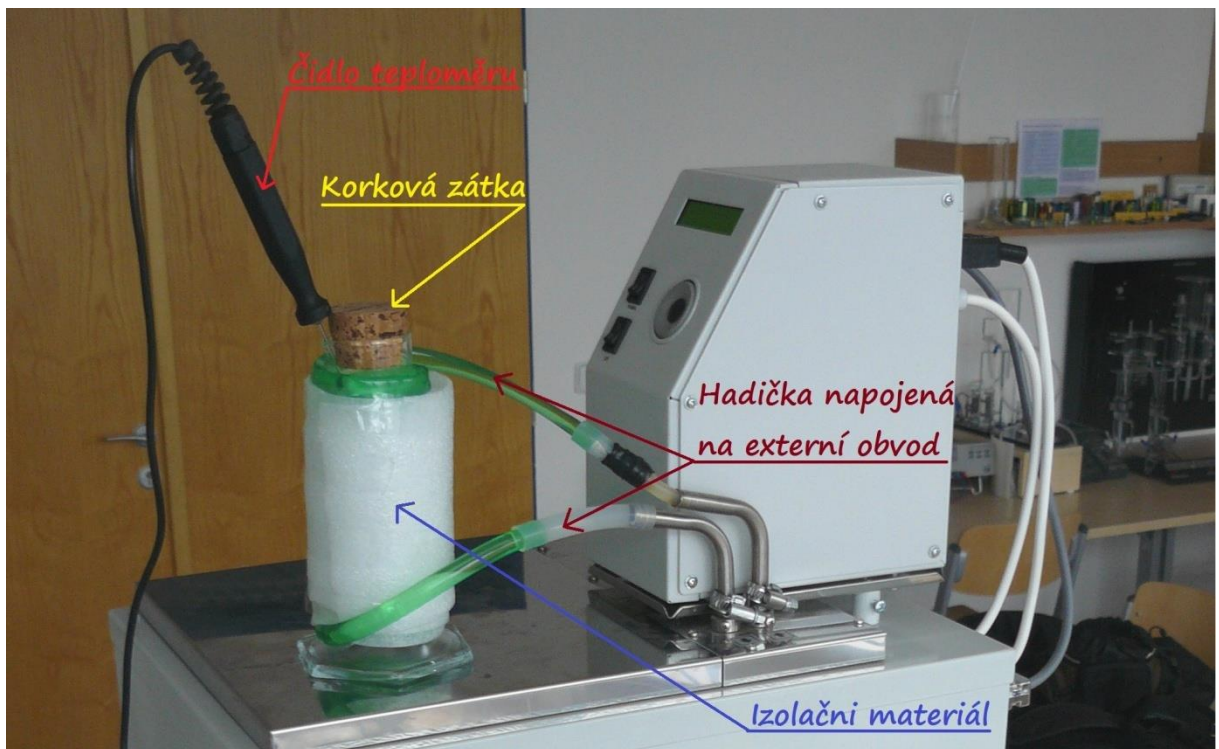


Obr 16. – Odměrný válec omotaný hadičkou



Obr 17. – Odměrný válec s mirelonem





Obr 18. – Zkompletovaný obvod pro externí ohřev

#### 4.3.2 Ohřev pomocí externího obvodu

Po sestavení odizolovaného externího obvodu k regulaci teploty vody v odměrném válci začalo měření. Proměřovala se dynamika ohřevu v rozmezí 25°C (teplota vzduchu v okolním prostředí) až 50°C. Teploty byly odečítány z displeje termostatované kapalinové lázně (pro teplotu vody v externím obvodu) a digitálního teploměru (pro teplotu vody uvnitř válce). Tyto teploty byly odečítány v půlminutových intervalech. Naměřené závislosti pak byly následně zaznamenány do tabulky a vyneseny do grafu.



Obr 19. - Lázeň se zapojeným ext.obvodem

**Naměřené závislosti**

V následujících tabulkách (Tab 12.), jsou zaneseny výsledky měření teplot v lázni a odměrném válci měřené v půlminutových intervalech. Výsledkem měření bylo po 60 minutách dosažení teploty ve válci 49,4°C, což byla hodnota jen o 6 desetin nižší, než teplota v lázni. To ukázalo, že improvizovaný ohřívač díky dobré tepelné izolaci vykazuje jen malé tepelné ztráty. Výsledkem měření je graf, ve kterém jasně vidíme předpokládaný exponenciální průběh ohřívání vody v odměrném válci (graf 9).

Tab 12. – Dynamika ohřevu pomocí externího obvodu

Čas [min]	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Teplota lázně [°C]	23	25,5	27,5	29,5	31,3	33,6	35,2	37	38,8	40,6	42,2
Teplota ve válci [°C]	23	23,7	23,9	24,2	24,6	24,9	25,3	25,8	26,3	26,9	27,6

Čas [s]	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
Teplota lázně [°C]	42,2	43,9	45,8	47,8	48,9	49,8	49,6	50	50	50	50
Teplota ve válci [°C]	27,6	28,2	28,9	29,7	30,5	31,3	31,9	32,6	33,3	34	34,5

Čas [s]	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
Teplota lázně [°C]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Teplota ve válci [°C]	34,5	35,2	35,7	36,2	36,8	37,4	37,9	38,4	38,8	39,3	39,7

Čas [s]	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20
Teplota lázně [°C]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Teplota ve válci [°C]	39,7	40,1	40,6	40,9	41,3	41,7	42,1	42,4	42,7	43	43,3

Čas [s]	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23	23,5	24	24,5	25
Teplota lázně [°C]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Teplota ve válci [°C]	43,3	43,6	43,8	44,1	44,3	44,6	44,9	45,1	45,3	45,5	45,7

Čas [s]	25	25,5	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30
Teplota lázně [°C]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Teplota ve válci [°C]	45,7	45,8	45,9	46,1	46,3	46,4	46,6	46,7	46,8	47	47,1

Čas [s]	30	30,5	31	31,5	32	32,5	33	33,5	34	34,5	35
Teplota lázně [°C]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Teplota ve válci [°C]	47,1	47,2	47,3	47,4	47,5	47,6	47,7	47,7	47,8	47,9	47,9

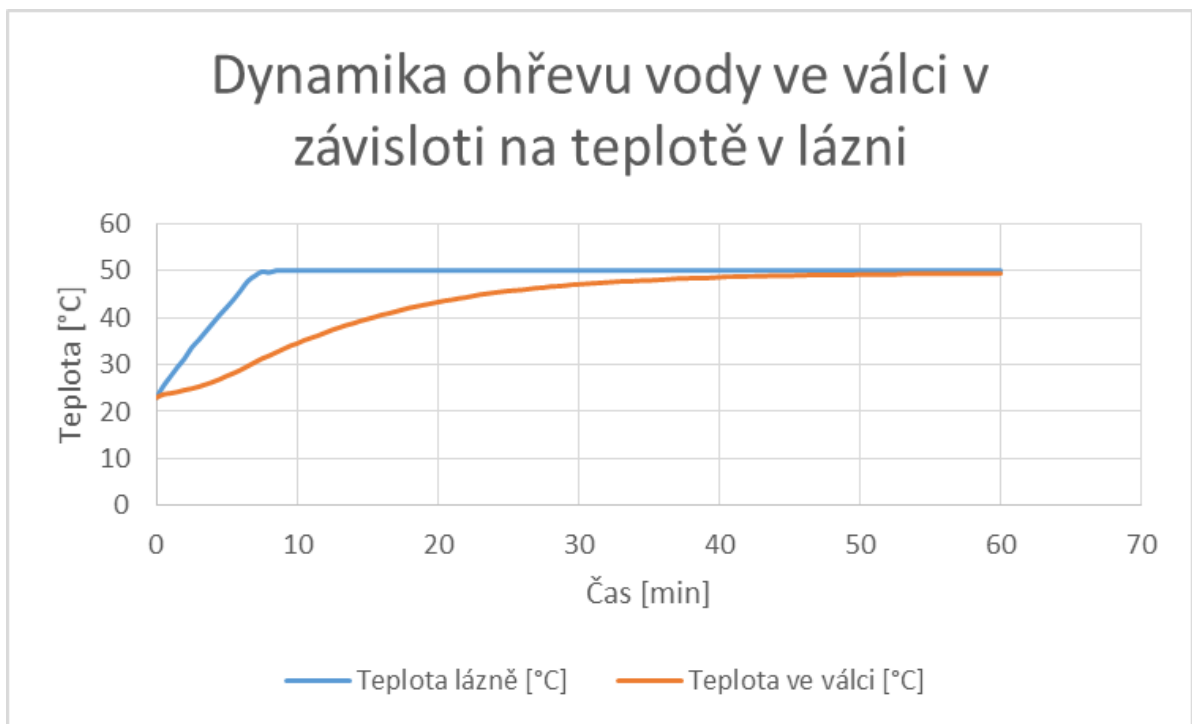
Čas [s]	35	35,5	36	36,5	37	37,5	38	38,5	39	39,5	40
Teplota lázně [°C]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Teplota ve válci [°C]	47,9	48	48,1	48,2	48,3	48,3	48,4	48,4	48,4	48,5	48,6

Čas [s]	40	40,5	41	41,5	42	42,5	43	43,5	44	44,5	45
Teplota lázně [°C]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Teplota ve válci [°C]	48,6	48,7	48,7	48,7	48,8	48,8	48,8	48,9	48,9	48,9	48,9

Čas [s]	45	45,5	46	46,5	47	47,5	48	48,5	49	49,5	50
Teplota lázně [°C]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Teplota ve válci [°C]	48,9	49	49	49,1	49,1	49,1	49,1	49,1	49,1	49,1	49,2

Čas [s]	50	50,5	51	51,5	52	52,5	53	53,5	54	54,5	55
Teplota lázně [°C]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Teplota ve válci [°C]	49,2	49,2	49,2	49,2	49,2	49,2	49,3	49,3	49,3	49,3	49,3

Čas [s]	55	55,5	56	56,5	57	57,5	58	58,5	59	59,5	60
Teplota lázně [°C]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Teplota ve válci [°C]	49,3	49,3	49,3	49,3	49,3	49,3	49,3	49,3	49,3	49,3	49,4



Graf 9. Závislost teploty vody ve válci na teplotě lázně a čase

#### 4.4 Měření odebíraného příkonu

Poslední měření se zaměřilo na odběr příkonu ze sítě. Lázeň byla k síti připojena přes jednofázový wattmetr, na kterém byly průběžně odečítány hodnoty při ohřevu, chlazení i udržování konstantní teploty.

Nejprve bylo měřeno chlazení lázně. Zde se hodnoty pohybovaly v rozmezí 380-400W (odebíraný příkon spínaného kompresorového chlazení). Při měření udržení nízké teploty (nižší než teplota okolního prostředí) už se setkáváme i se skokem výkonu na hodnoty kolem 1400W, což je zapříčiněno sepnutím topné spirály při „podchlazení“ pod požadovanou teplotu. U ohřevu se hodnota výkonu pohybuje konstantě kolem hodnoty 2000W. Z toho je jasně patrné, že topná spirála si ze sítě bere výrazně vyšší výkon nežli kompresorový chladič, a to přibližně pětinasobně.

Po dosažení požadované teploty (vyšší než teplota okolního prostředí) se výkony pohybují skokově buď kolem 400W, nebo 1200W. Tyto intervaly jsou přibližně půlminutové, jedná se o opětovné spínání topné spirály při poklesu teploty média pod hodnotu teploty nastavené lázni. Dále bylo otestováno, že zapnutí, popřípadě vypnutí čerpadla nemá na odebíraný příkon prakticky žádný vliv.

## 5 Manuál k termostatované kapalinové lázni CTB06CP

### 5.1 Úvod

Na následujících stránkách bude popsán princip ovládání termostatované kapalinové lázně. První část je zaměřena na uvedení lázně do provozu, následně je popsáno, jak lázeň nastavit dle konkrétních požadavků a je popsána funkce jednotlivých ovládacích a konstrukčních prvků.

### 5.2 Uvedení do provozu

Nejprve je nutné otevřít poklop, který kryje nerezovou nádobu. Pokud je v lázni neznámá kapalina, se kterou jsme dříve nepracovali, a tudíž nejsou zmapovány její vlastnosti, je vhodné tuto kapalinu z lázně vypustit. Toto je vhodné udělat i tehdy, je-li v lázni například voda z nějakých starších experimentů starší několika týdnů.

#### 5.2.1 Vypuštění lázně

Vypuštění termostatované lázně není tak jednoduché, jak se může zprvu zdát. Lázeň totiž postrádá vývod, kterým by bylo možné kapalinu jednoduše vypustit. Máme tedy dvě možnosti vypuštění kapaliny z lázně.

Prvním je čistě manuální vyprázdnění lázně. K tomu lze využít nejprve větší nádoby pro odebrání vody, následně pak nádobu menší, aby bylo možno se dostat až na dno lázně. K dokonalému vybrání vody je nutné využít houbičky nebo modifikovaní injekční stříkačky.

Druhý způsob, který je manuálně méně náročný, je využití externího obvodu a čerpadla. Vysuneme hadici z trubky označené šipkou dovnitř a vyvedeme ji do umyvadla či jiného místa, kam chceme vodu vypustit. Na hlavním ovládacím panelu je nutné sepnout nejprve spínač SÍŤ a následně spínač PUMPA do polohy zapnuto, na panelu značeno „I“. Čerpadlo pak odčerpá vodu ven z lázně. Je důležité nenechat běžet čerpadlo naprázdno. To by mohlo vést k jeho poškození. Jakmile čerpadlo začne nasávat vzduch, je nutné přepnout spínač PUMPA do polohy vypnuto, značeno „O“. Čerpadlo nedokáže odčerpat z lázně všechnu vodu, jelikož jeho sací ventil je umístěn několik centimetrů nade dnem lázně. Zbylou vodu pak musíme z lázně vybrat tak, jak je popsáno u prvního způsobu vypuštění.

## 5.2.2 Vyčištění vany termostatované lázně

Po vypuštění kapaliny je nutné lázeň vyčistit, abychom ji zbavili nečistot, které obsahovala buď kapalina, či se do lázně dostaly jiným způsobem. To lze provést vlhkou houbičkou. Následně je pak před napuštěním nutné lázeň vysušit, k tomu je možné použít hadříku.

## 5.2.3 Naplnění vany kapalinou

Po vypuštění, vyčištění a následném osušení lázně je třeba ji naplnit kapalinou. Vzhledem k tomu, že je třeba vědět, jaké množství vody je v lázni obsaženo, je nejvhodnější použít nádoby, u které je znám její objem. Kapalina by měla dosahovat minimálně výšky 70mm, při které jsou kapalinou zalaty sací a výstupní otvory čerpadla, topná spirála a platinový teploměr.

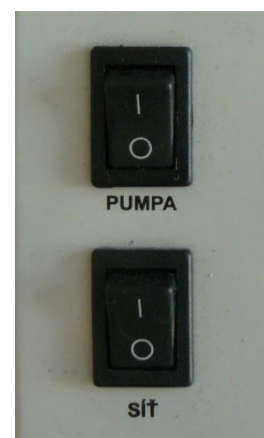
Kapalinu, kterou lázeň naplníme, je nutné volit dle požadavků na prováděná měření. Pro měření v oblasti nad bodem mrazu je vhodným kapalným médiem destilovaná voda. Pokud bude vyžadováno dosažení záporných teplot, je nutné použít kapaliny s nižším bodem mrazu, pro tuto aplikaci lze použít směs vody s etylenglykolem v poměru 1:1, nebo etanol.

## 5.3 Praktické použití lázně

Poté, co byla lázeň uvedena do provozuschopného stavu, jak je popsáno v předchozí kapitole, přejdeme k samotnému zapnutí a provozu lázně.

### 5.3.1 Zapnutí lázně

Nejprve zapojíme síťový kabel do sítě. Ujistíme se, že je v lázni požadovaná kapalina. V případě, že je vypínač čerpadla „PUMPA“ sepnutý, se přesvědčíme, že je zapojený externí obvod, aby nedošlo k úniku kapaliny do okolního prostředí. Následně pak uvedeme vypínač sítě „SÍŤ“ do polohy zapnutý. Po sepnutí tohoto vypínače dojde k zapnutí termostatované kapalinové lázně a na alfanumerickém displeji se objeví aktuální teplota kapaliny.



Obr 20. – Tlačítka PUMPA, SÍŤ

### 5.3.2 Nastavení požadovaných parametrů

V první řadě je nutné se ujistit, že je zapojen externí obvod, který je u této lázně jediným způsobem homogenizace teploty v kapalině. Poté zapneme čerpadlo (uvedením vypínače „PUMPA“ do polohy zapnuto „I“) To bude, zajišťovat při ohřevu i chlazení rovnoměrné rozložení teploty v lázni.

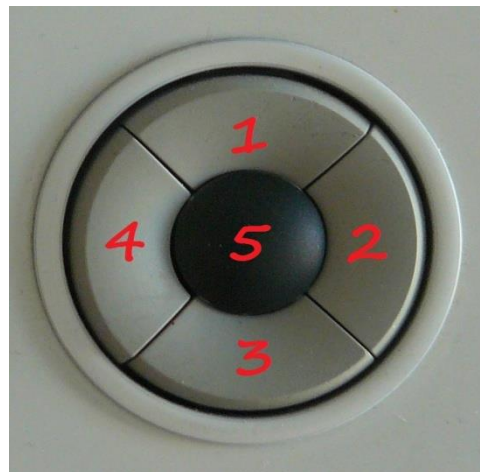
Na displeji lázně vidíme aktuální teplotu kapaliny. Stisknutím spodního tlačítka joysticku, na obrázku značeno 3, vyvoláme na displeji hlášku „TEPLOTA1“. Pomocí tlačítek 2 a 4 můžeme nastavit požadovanou teplotu lázně, kterou pak potvrdíme stisknutím tlačítka 5. V tuto chvíli začne lázeň pracovat na dosažení požadované teploty. Po jejím dosažení se snaží tuto teplotu s co možná nejmenšími výkyvy udržet.

Pro optimální fungování lázně je nutné mít vždy zapojený externí obvod minimálně nakrátko. Toto zapojení se totiž stará o teplotní homogenizaci lázně, jinak se teploty kapaliny v jednotlivých částech lázně mohou lišit. Tím může při chlazení dojít až ke tvorbě slabé ledové krusty na dně lázně. Za takové situace pak nelze lázeň využít, jelikož teplota v nerezové vaně není ve všech místech shodná.

Pokud chceme nastavit jinou teplotu, je nutné pomocí tlačítka 2 dojít na základní obrazovce ke stavu programu. Zde pomocí prostředního tlačítka 5 nastavit stav STOP (možno volit ze stavů START, HOLD, STOP). Po stopování programu již můžeme, tak jak je popsáno výše, přenastavit jinou hodnotu TEPLOTA1, kterou pak opět potvrdíme stiskem středního tlačítka joysticku. (Obr 21.)

### 5.4 Bezpečné vypnutí

Po ukončení měření je nutné lázeň vypnout. To provedeme v následujícím pořadí: přepneme vypínač PUMPA ze stavu zapnuto na stav vypnuto „O“, následně pak vypneme pomocí vypínače také připojení k síti. Po provedení popsanych kroků je již možno lázeň odpojit od sítě i manuálně.



Obr 21. – Joystick s popisky

## Závěr

Na základě provedených měření bylo zjištěno, že nejvhodnějším způsobem řízení lázně je řízení manuální. Hlavní příčinou je, že těžiště využití lázně se nachází především v oblasti udržování konstantních teplot, ať už nad, či pod úrovní teploty okolního prostředí. Vzhledem k nutnému objemu alespoň 6 l kapaliny pro bezpečné spuštění lázně je zde poměrně malá dynamika (především u chlazení). Dynamické změny, či vysoká rychlost snímání hodnot, které umožňuje počítačové řízení, nejsou pro tento přístroj ideálně aplikovatelné.

Bylo zjištěno, že lázeň postrádá míchadlo, tudíž jedinou možností homogenizace teploty je zapojení externího obvodu nakrátko. Zde i při co nejkratším vyvedení vznikají nezanedbatelné tepelné ztráty, což výrazně omezuje využití lázně například pro oblast kovů s nízkou teplotou varu. Vzhledem k výšce vývodů čerpadla to také zapříčiňuje potřebu lázeň naplnit minimálně objemem 6 l kapaliny, což omezuje větší dynamiku ohřevu a chlazení.

Měření dynamiky ohřevu a chlazení lázně ukázalo, že lázeň je schopna ohřívat vodu o objemu 6 l rychlostí 3,43 °C / min a naopak chladit 0,511 °C /min. Chlazení je tak dějem přibližně 7x pomalejším, než ohřev. Co se týče hlavní oblasti využití ( udržování konstantní teploty ) je lázeň schopna udržovat tuto teplotu s odchylkou do 0,2 °C.

Využitelnost externího obvodu je výrazně omezena tím, že lázeň je vybavena pouze jedním čerpadlem. Je tedy nezbytné, aby byl externí obvod uzavřený, jinak by byla voda z lázně jen odčerpána a došlo by ke zničení lázně. Bylo provedeno experimentální měření pomocí laboratorně zkonstruovaného externího obvodu. Toto měření ukázalo, že pro malé objemy je možno využít externí obvod k ohřevu. Tento proces je však poměrně časově náročný. U chlazení by byl tento proces, jak již ukázala úvodní měření dynamiky, přibližně 7x pomalejší, tudíž jeho využitelnost je v této oblasti naprosto minimální.

Pro sběr dat při ověřování dynamiky lázně byl sestaven řídicí program ve vývojovém prostředí Labview. V programu byly zadány parametry komunikace po sériovém portu pro termostat CTB06. Byly vytvořeny bloky pro zadávání a čtení hodnot a následně modifikovaný blok pro ukládání hodnot inspirovaný prací Ing. Radka Zunta. Výsledky měření jsou využity v části zkoumající dynamiku ohřevu, respektive chlazení.

V závěrečné části je formulována uživatelská příručka pro co nejsnazší řízení lázně. Jsou zde také uvedena některá pravidla, která je nutno při práci s termostatovanou lázní dodržovat a respektovat.



## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Manuál termostatované kapalinové lázně CTB06CP. Labio.
- [2] Manuál Labview. [online]. Dostupné z <http://www.ni.com/pdf/manuals/320999e.pdf>
- [3] Návod pro sériovou komunikaci Labview. [online]. Dostupné z <http://www.ni.com/tutorial/4049/en/>
- [4] Obchodní rejstřík České republiky. [online]. Dostupné z <https://or.justice.cz/ias/ui/rejstrik-firma.vysledky?subjektId=424461&typ=UPLNY>
- [5] Termobaths. [online]. Dostupné z [www.labio.com](http://www.labio.com)
- [6] Webové stránky společnosti Labio. [online]. Dostupné z [www.labio.com](http://www.labio.com)
- [7] Webové stránky společnosti National Instruments [online] Dostupné z <http://czech.ni.com/labview>
- [8] Webové stránky Wikipedie. [online]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/>
- [9] ZUNT, Radek. Diplomová práce. Návrh počítačem řízené stanice pro měření vodivosti palivové vody pro PEM článek

## Přílohy

### Příloha A – Zápis z úvodního měření na lázni

#### Postup:

- 1 Z termostatované kapalinové lázně jsme vylili starou vodu.
- 2 Celou lázeň jsme důkladně omyli a vyčistili.
- 3 Nádobu jsme naplnili 6litry vody (pro prvotní proměření byla použita voda z kohoutku)
- 4 Lázeň jsme zapnuli a začali experimentálně ověřovat principy chlazení, ohřevu a externího obvodu.
- 5 Proměřené závislosti a poznatky jsme si zapsali.

#### Průběh měření:

Po zapojení do sítě a stisknutí tlačítka „sít“, které lázeň zapne je nutné nastavit požadovanou teplotu na kterou má lázeň kapalinu ochladit, či zahřát. To lze provést pomoci joysticku (viz.manuál).

Teplota vody byla po nalití do lázně 25°C, chtěl jsem vyzkoušet chladicí obvod a tak byla zvolena TEPLOTA1 = 20°C po přibližně 12min se na displeji již objevuje, že lázeň dané teploty dosáhla, teplota však nadále poměrně výrazně kolísá a tak otevíráme izolační víko nádoby s kapalinou a zjišťuji, že na dně nádoby se utvořila ledová krusta, kdežto zbytek vody v lázni je pořád poměrně teplý.

Zjišťuji, že jediný možný způsob homogenizace kapaliny v lázni je zapnutí čerpadla, které prohání vodu externím obvodem. Ze zjištění, že k homogenizaci je nutné zapnutí čerpadla a zapojení externího obvodu dospívám k závěru, že první měření mi nepřineslo příliš relevantní hodnoty.

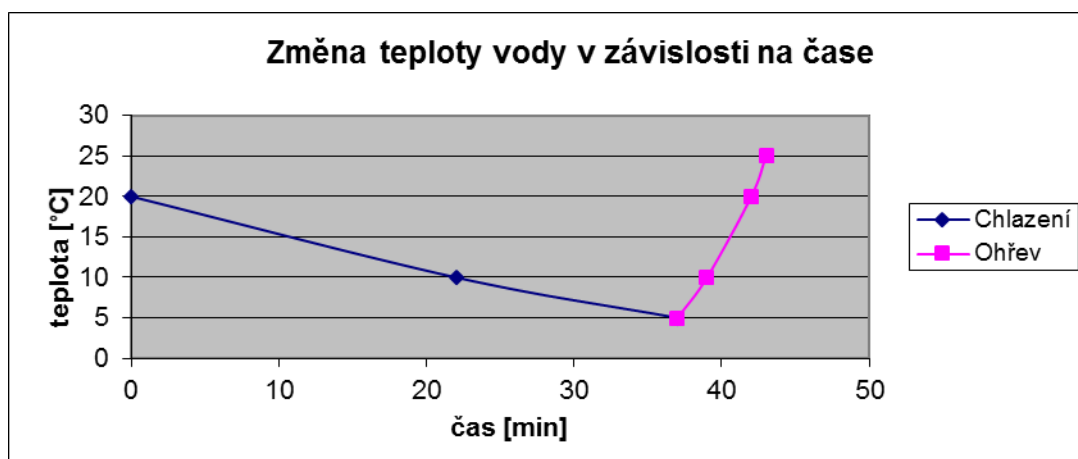
Již ze zapnutým čerpadlem pokračuji v dalším snižování teploty, tentokrát z 20°C na 10°C, toto ochlazení trvá lázni 22min.

Poslední snížení teploty pak směřuji k 5°C (vzhledem k použití vody se nechceme přibližovat teplotám kolem 0°C). Toto ochlazení zabere lázni 15min.

Na závěr pak provádím ohřev z 5°C zpět na 25°C, zde je proces podstatně rychlejší a cílové teploty je dosaženo za 6min.

#### Poznámky:

1. K získání vypovídajících hodnot je nutné zapnout čerpadlo a zapojit externí obvod, jinak nedojde k homogenizaci prostředí
2. Kapalinová lázeň postrádá krom „míchátka“ také vhodný způsob k odčerpání vody



Graf znázorňuje rozdílnou časovou náročnost ohřevu a chlazení

#### Závěr:

Při prvním měření jsem si vyzkoušel možnosti ovládání lázně, nastavování teplot, chlazení a ohřev. Dále jsem přišel na to, že k homogenizaci kapaliny a tím i získání odpovídajících výsledků je nutné zapnout čerpadlo společně se zapojeným externím obvodem. Provedl předběžné proměření charakteristik ohřevu a chlazení z nichž budu schopen dále přibližně odhadnout časovou náročnost následujících měření. Závislosti jsem vynesl i graficky, z posledního grafu je také jasně patrné, že ohřev probíhá přibližně šestkrát rychleji než chlazení.

**Příloha B – Podklady pro sériovou komunikaci s lázní**

Termostat CTB06 – komunikace po sériové lince

Rychlost: 4800Bd MODE COM1:4800,N,8,1

Tabulka příkazů

1zn	2,3zn	...	...	Význam zprávy	Odpověď	Pozn.
?	<CR>			Dotaz na přístroj	CTB06<CR>	
T	00	<CR>		Příkaz zastavení programu termostatu	OK<CR>	
T	01	<CR>		Příkaz odstartování programu termostatu	OK<CR>	
T	02	<CR>		Dotaz na stav programu	T02x<CR>	x..0 program stojí, x..1 beží
T	03	<CR>		Příkaz vypnutí kompresoru	OK<CR>	
T	04	<CR>		Příkaz zapnutí kompresoru	OK<CR>	
T	05	<CR>		Dotaz na stav kompresoru	T05x<CR>	x..0 vypnut, x..1 zapnut

x = 0...Termostat stojí

x = 1...Termostat běží

Tabulka zadávání hodnot

1zn	2,3zn	...	...	Význam zprávy	Odpověď	Pozn.
T	10	nnn n	<CR>	Zadání Teploty 1	OK<CR>	-30...80 °C po 0,1 °C

Tabulka čtení hodnot

1zn	2,3zn	...	...	Význam zprávy	Odpověď	Pozn.
T	50	<CR>		Dotaz na aktuální Teplotu	T50nnnn<CR>	
T	51	<CR>		Dotaz na aktuální Čas	T51nnnn<CR>	
T	60	<CR>		Dotaz na zadanou Teplotu 1	T60nnnn<CR>	

nnnn... Hexadecimální číslo v rozsahu 0...FFFFh vyjádřené v ASCII znacích (decimální rozsah = 0...65535)

Př:decimální číslo 15 = hexadecimální číslo 000Fh = ASCII znaky: 0,0,0,F = ASCII kód: 30h, 30h, 30h, 46h.

Teplota je v 0,1 °C a posunuta o +500

Př: 00C8h = -30,0 °C (decimálně -300 + 500 = 200 = hexadecimálně C8)

Př: 01F4h = 0,0 °C (decimálně 0 + 500 = 500 = hexadecimálně 1F4)

Program vyhodnocuje malé i velké písmena stejně

Př: příkaz T50000F&lt;CR&gt; je totožný s t50000f&lt;CR&gt; nebo T50000f&lt;CR&gt;

Program vysílá všechna písmena jako velké (malou abecedu nepoužívá !)

Př: odpověď na t50&lt;CR&gt; je T50000F&lt;CR&gt;

Pro bezchybné vyhodnocení je doporučeno za koncový znak „&lt;CR&gt;“ vložit mezeru 100ms, tím se vyrovná případná disproporce mezi délkou přijaté a vyslané zprávy a nedojde k přetečení paměti.

## Příloha C – Zápis z měření externího obvodu

### Postup:

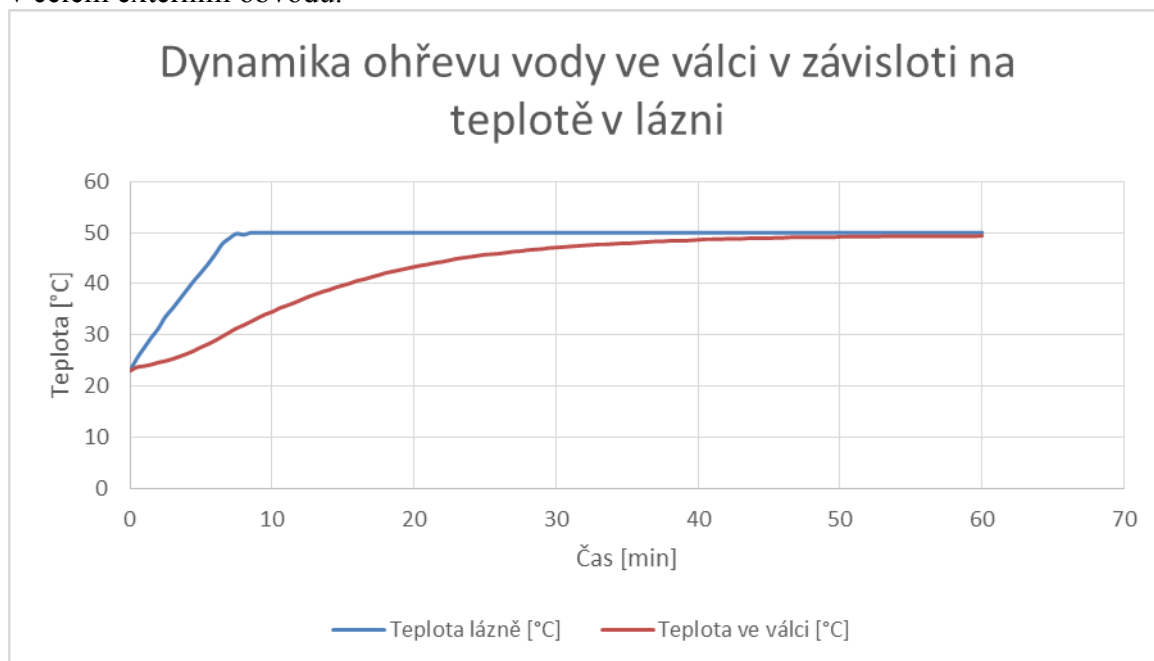
1. Otestovali jsme funkce čerpadla
2. Sestrojili jsme externí ohřivač pro experimentální měření
3. Proměřili jsme závislost rychlosti ohřevu 25°-50°C
4. Naměřené hodnoty byly zpracovány a zaneseny do grafu

### Průběh měření:

Nejprve jsme provedli diagnostiku lázně, kdy bylo testováno, zda je lázeň vybavena dvěma čerpadly (jak pro sání, tak i odčerpávání), došli jsme ke zjištění, že v lázni je čerpadlo pouze jedno, což omezuje využitelnost externího obvodu pro použití k chlazení či ohřevu kapaliny přímo prostřednictvím externího obvodu. Důsledkem tohoto zjištění tak bylo, že jediné aplikovatelné využití může být coby průtočný ohřev, či chlazení a to nepřímou formou, vzhledem k předpokládaným ztrátám a velmi málo dynamickému průběhu chlazení, bylo rozhodnuto, že jediným v našich podmínkách vhodnou formou regulace teploty bude ohřev.

Pro experimentální otestování externího obvodu jsme sestrojili improvizovaný ohřivač, pomocí zploštělé hadičky, mirelonu a korkové zátky na odměrném válci jsme se snažili v maximální možné míře omezit ztráty vlivem okolního prostředí.

Výsledkem měření byla následná v grafu znázorněná závislost, kdy se nám podařilo vlivem externího obvodu dosáhnout ve válci teploty 49,4°C, což bylo jen o 6 desetin méně než teplota v lázni, ze které byla dodávána voda do externího obvodu. Samozřejmě je třeba zohlednit činitele tepelného odporu a to ať už skla, či materiálu trubičky a další tepelné ztráty v celém externím obvodu.



*Graf dynamiky ohřevu pomocí externího obvodu*

### Závěr:

Využitelnost externího obvodu je především pro ohřev, kde se nám i pomocí sestaveného ohřivače podařilo dosáhnout velmi dobrých výsledků. Z grafu je jasně patrná dynamika ohřevu vody v odměrném válci v závislosti na ohřevu kapaliny v lázni, nárůst teploty ve válci je nejprve pomalejší vlivem ještě plně neohřáté kapaliny v lázni, po dosažení 50°C v lázni se již křivka ohřevu vody ve válci blíží exponenciálně.

## **Příloha D – Zápis z měření příkonu lázně**

### ***Postup:***

1. Termostatovanou kapalinovou lázeň jsme připojili na síť přes wattmetr
2. Změřili jsme, jaké hodnoty příkonu lázeň odebírá při chlazení
3. Další měření byla zaměřena na ohřev a udržení dané teploty

### ***Průběh měření:***

Nejprve jsme lázeň připojili na wattmetr, ten jsme společně s lázní zapnuli a průběžně, jak při ohřevu, tak chlazení a udržování teploty, odečítaly hodnoty odebíraného výkonu

Nejprve bylo měřeno chlazení lázně, zde se hodnoty pohybovali v rozmezí 380-400W, u držení nízké teploty (nižší než teplota okolního prostředí) už se setkáváme i se skokem výkonu na hodnoty kolem 1400W, což je zapříčiněno sepnutím topné spirály při „podchlazení“ pod danou teplotu. U ohřevu se hodnota výkonu točí kolem 2000W, z toho je jasně patrné, že topná spirála si ze sítě bere výrazně vyšší výkon, nežli kompresorový chladič. Po dosažení požadované teploty (vyšší než teplota okolního prostředí) se výkony pohybují skokově buď kolem 400W, nebo 1200W, tyto intervaly jsou přibližně půlminutové, jedná se opět o spínání topné spirály.