

Systém sběru dat pro laboratorní úlohu na měření teploty dotykovým způsobem

Jan Masný

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav informatiky a umělé inteligence

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan Masný**
Osobní číslo: **A20274**
Studijní program: **B0613A140020 Softwarové inženýrství**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Systém sběru dat pro laboratorní úlohu na měření teploty dotykovým způsobem**
Téma práce anglicky: **Data Acquisition System for a Contact Temperature Measurement Laboratory Task**

Zásady pro vypracování

1. Seznamte se s konstrukcí stávající laboratorní úlohy na měření teploty dotykovým způsobem a odstraňte případné nedostatky.
2. Nastudujte a popište principy měření použitých senzorů teploty, popište současné možnosti řešení sběru naměřených dat v rámci dané úlohy.
3. Na základě získaných poznatků navrhnete a realizujete vhodný systém na sběr a monitorování naměřených dat.
4. Naměřená data zpracujete a vizualizujete pro výukové účely, tj. vypracování protokolu z měření.
5. Zpracujte vzorový protokol, a to včetně návodu pro ovládání systému.
6. Zhodnoťte Vámi zrealizovaný systém jako celek a navrhnete jeho další případné vylepšení.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. FRADEN, Jacob. Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications. Fifth edition. Cham: Springer, [2016]. ISBN 978-3-319-19302-1.
2. HRUŠKA, František. Senzory: fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití (e-book). 2. rozš. vyd. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, [202] s. ISBN 978-80-7454-096-7. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/18582>.
3. BALÁTĚ, Jaroslav. Automatické řízení. Praha: BEN – technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-020-2.
4. DERENZO, Stephen E. Practical interfacing in the laboratory: using a pc for instrumentation, data analysis, and control. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003, xvii, 610 s. ISBN 0521815274.
5. ANGUS, Robert B. a E. Thomas HULBERT. VEE Pro: practical graphical programming. London: Springer-Verlag, 2005. ISBN 1-85233-870-9.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Skočik, Ph.D.**
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce: **5. listopadu 2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2024**



doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan

prof. Mgr. Roman Jašek, Ph.D., DBA v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 5. ledna 2024

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 9. 5. 2024

Jan Masný, v. r.
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací systému sběru dat pro laboratorní úlohu na dotykové měření teploty. Úloha je součástí laboratorních cvičení předmětu Senzory. Teoretická část práce popisuje principy měření u použitých senzorů teploty a související základní pojmy. Praktická část práce je zaměřena na stávající stav úlohy a návrh nutné modernizace úlohy, včetně její realizace, za účelem sběru dat. Dále se zabývá návrhem a realizací systému sběru dat. Část práce je věnována praktickému ověření správné funkčnosti zmodernizované úlohy. Nezbytnou součástí práce je i úprava stávajícího zadání k úloze, včetně ukázkového protokolu.

Klíčová slova: Měření teploty, Senzory teploty, Systém sběru dat, Vee Pro, Arduino UNO

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the design and implementation of a data collection system for a laboratory task on touch temperature measurement. The task is part of laboratory exercises in the Sensors course. The theoretical part of the thesis describes the measurement principles of the temperature sensors used and related basic concepts. The practical part of the thesis focuses on the current state of the task and the proposal for necessary modernization of the task, including its implementation, for the purpose of data collection. It also addresses the design and implementation of the data collection system. Part of the thesis is dedicated to the practical verification of the correct functionality of the modernized task. An essential aspect of the thesis is the modification of the existing task assignment, including a sample protocol.

Keywords: Temperature measurement, Temperature sensors, Data collection system, Vee Pro, Arduino UNO

Rád bych poděkoval Ing. Petrovi Skočíkovi, Ph.D. za jeho vynikající vedení mé bakalářské práce. Jeho odborné znalosti, podnětné nápady a trpělivá podpora byly pro mě neocenitelné během celého procesu psaní práce.

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 TEPLOTA	10
1.1 TEPLOTNÍ STUPNICE	10
2 MĚŘENÍ TEPLoty	13
2.1 BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ TEPLoty	14
3 DOTYKOVÉ MĚŘENÍ TEPLoty	15
3.1 ODPOROVÉ KOVOVÉ SENZORY TEPLoty	15
3.1.1 Platinové odporové senzory teploty	17
3.2 ODPOROVÉ POLOVODIČOVÉ SENZORY TEPLoty	19
3.3 TERMOELEKTRICKÉ TEPLOTNÍ SENZORY	21
II PRAKTICKÁ ČÁST	24
4 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI	25
5 AKTUÁLNÍ STAV ÚLOHY	26
6 NÁVRH MODERNIZACE STÁVAJÍCÍ ÚLOHY	29
7 REALIZACE NÁVRHU MODERNIZACE ÚLOHY	30
8 REALIZACE SYSTÉMU SBĚRU DAT	35
9 OVĚŘENÍ SPRÁVNÉ FUNKČNOSTI SYSTÉMU PRO SBĚR DAT	41
ZÁVĚR	45
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	50
SEZNAM OBRÁZKŮ	51
SEZNAM TABULEK	52
SEZNAM PŘÍLOH	53

ÚVOD

Teplota patří mezi nejčastěji měřené veličiny. Měření teploty je klíčovým prvkem mnoha průmyslových procesů, zdravotnických aplikací a každodenního života. Přesnost a spolehlivost měření teploty má významný vliv na kvalitu výrobků, bezpečnost prostředí a lidské zdraví.

Tato práce se zabývá návrhem systému sběru dat pro laboratorní úlohu na dotykové měření teploty, která je součástí laboratorních cvičení předmětu Senzory. Cílem práce je podpora při studiu, se kterou souvisí nutná modernizace stávající laboratorní úlohy na dotykové měření teploty. Implementace systému pro sběr dat má usnadnit a zefektivnit práci na této úloze. Pomocí realizovaného systému na sběr dat nebude student nucen ručně opisovat data z měřících přístrojů do předpřipravených tabulek a bude mít tedy více času se věnovat používaným principům měření.

Předložená práce se zabývá návrhem a realizací systému sběru dat pro laboratorní úlohu na dotykové měření teploty, včetně její nezbytné modernizace. Část práce je věnována také praktickému ověření správné funkčnosti zmodernizované úlohy. Nezbytnou součástí práce je i nutná úprava stávajícího návodu k úloze, včetně zhotovení ukázkového protokolu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEPLOTA

Teplota je stavová fyzikální veličina, která vyjadřuje stupeň tepla nebo tepelné energie v látce. Zatímco teplo je definováno jako energie, kterou si mezi sebou vyměňují tělesa o různých teplotách a na rozdíl od teploty je teplo dějovou veličinou nikoliv stavovou [1]. Je to míra průměrné kinetické energie částic (atomů a molekul) v dané látce. Čím rychleji se tyto částice pohybují, tím vyšší je teplota látky. Když se dvě tělesa s různými teplotami spojí, těleso s vyšší teplotou začne předávat část své kinetické energie tělesu s nižší teplotou, dokud nedosáhnou teplotní rovnováhy. Teplotní rovnováha nastává, jestliže jsou dvě tělesa ve vzájemném kontaktu a jejich teploty se ustálí na stejné hodnotě. Teplotu lze měřit pomocí různých škál, nejběžnější jsou však Celsiova (°C) a Kelvinova (K) stupnice. Nejnižší teplotou je tzv. **Absolutní nula**, která představuje hodnotu 0 K na Kelvinově stupnici, ale na Celsiově stupnici představuje hodnotu -273,15 °C. Dalším základním pojmem pro teplotu je tzv. **Trojný bod vody**, ve kterém dochází při jediné teplotě a tlaku k tepelné rovnováze tří skupenství vody, tj. pevné (led), kapalné (voda) a plynné (pára). Teplota trojného bodu vody je na Kelvinově stupnici stanovena na 273,15 K a je používána jako standartní teplota pro kalibraci teploměrů [2].

Celsiova teplotní stupnice používána ve většině zemí je dána vztahem [2]:

$$t = T - 273,15 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1)$$

1.1 Teplotní stupnice

Teplotní stupnice je systém, který vyjadřuje teplotu tělesa v číselné škále. Je to uspořádaná sada hodnot, které popisují teploty různých stavů látek. Každá teplotní skupina má své vlastní referenční body. Stupnice umožňují vyjádřit, jak je těleso „horké“ nebo „studené“. Teplotní stupnice má dva základní referenční body, tj. bod varu a bod mrazu [2; 3].

Bod mrazu je stav, při kterém se látka za normálního atmosférického tlaku mění z pevného na kapalný stav (v případě vody při 0 °C) [2; 3].

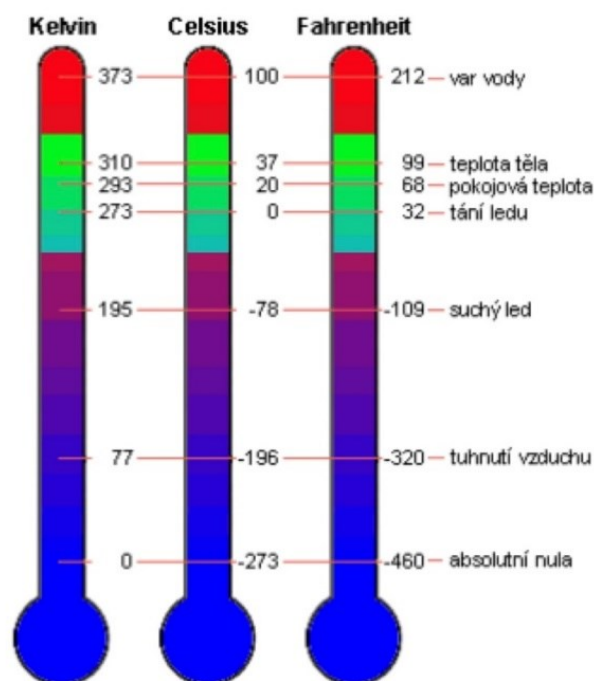
Bod varu je stav, při kterém dochází ke změně látky z kapalného na plynný stav (v případě vody při 100 °C) [2; 3].

Nejpoužívanějšími stupnicemi pro měření teploty jsou Celsiova, Kelvinova, Fahrenheintova teplotní stupnice.

- **Celsiova stupnice** je pojmenována po švédském astronomovi Anderssu Celsiusovi, který ji navrhl. Jako základní dvě teploty určil teplotu 0 °C pro rovnovážný stav chemicky čisté vody a její sytou páru. Druhou zvolenou teplotou je 100 °C pro teplotu rovnovážného stavu pro chemicky čistou vodu a ledu. Mezi těmito hodnotami je stupnice rozdělena na 100 stejně velkých dílků [4].
- **Kelvinova stupnice** je také zvána jako termodynamická teplotní stupnice. Je pojmenována po britském matematikovi a fyzikovi Williamu Thomsovi Kelvinovi, který ji navrhl. Kelvinova teplotní stupnice má počátek v absolutní nule a je tedy řazena do absolutních teplotních stupnic. Druhým bodem Kelvinovi stupnice je bod teploty trojného bodu vody, který má hodnotu 273,15 K. Jednotkou této stupnice je Kelvin (K) [4].
- **Fahrenheintova stupnice** je dodnes používána v některých státech a její návrh předložil roku 1724 německý fyzik Daniel Gabriel Fahrenheit. Za základní body své teplotní stupnice zvolil tepelný stav směsi vody, ledu a salmiaku. Druhým zvoleným bodem je teplota zdravého lidského těla, která na této stupnici odpovídá hodnotě 96 °F [4].

V porovnání s Celsiovou stupnicí platí vztah [3; 4]:

$$T_F = \frac{9}{5}T + 32 \text{ [}^\circ\text{F]} \quad (2)$$



Obrázek 1. Ukázka rozdílu v teplotních stupnicích [4]

Mezinárodní teplotní stupnice ITS-90 (The International Temperature Scale of 1990) definuje teplotní stupnici pomocí počtu definičních pevných bodů a pomocí přesně určených postupů realizace teplotní stupnice v intervalech mezi definičními pevnými body, jež se uskutečňují interpolačními přístroji (odporovými teploměry). Každý definiční pevný bod je založený na určitých změnách vnitřní struktury některých vybraných látek reprodukovatelných při odpovídající teplotě [5].

Státním etanolem teploty je realizovaná teplotní stupnice ITS-90 v rozsahu od 196 °C do 1084,62 °C. Realizace teplotní stupnice umožňuje kalibrovat etalonové odporové teploměry (OT) a termoelektrické teploměry (TC) s nejistotami uvedenými v Tab. 1 [5].

Tabulka 1. Státní etalony teploty [5]

Pevný Bod			Nejistota kalibrace	
Látka a její stav	Chemická značka	Teplota [°C]	OT [mK]	TC [K]
Bod varu dusíku	N ₂	-196	5	
Trojný bod argonu	Ar	-189,3442	0,9	
Trojný bod rtuti	Hg	-38,8344	0,4	
Trojný bod vody	H ₂ O	0,01	0,15	
Bod tání galia	Ga	29,7646	0,4	
Bod tuhnutí india	In	156,5985	0,8	
Bod tuhnutí cínu	Sn	231,928	0,8	
Bod tuhnutí zinku	Zn	419,527	0,9	0,12
Bod tuhnutí hliníku	Al	660,323	2	0,12
Bod tuhnutí stříbra	Ag	961,78	5	0,17
Bod tuhnutí mědi	Cu	1084,62		0,17

2 MĚŘENÍ TEPLOTY

Teplotu lze měřit pomocí teploměrů, jinak nazývanými jako snímače. Teplotu je nutné měřit v mnoha oblastech, např. meteorologii, farmacii. Lze ji měřit dvěma způsoby, a to dotykově nebo bezdotykově. Teploměry se dělí podle jejich vlastností [6].

Samotné měření teploty lze rozdělit na dva sériově spojené bloky [7]:

- **blok převodu teploty na elektricky zpracovatelný signál**

Tento blok obsahuje teplotní senzory, které převádí teplotu na elektricky měřenou veličinu (odpor, napětí) a mohou pracovat na nejrůznějších principech. Využívá se hlavně vlastností materiálů, které jsou v jiných aplikacích považovány za parazitní, a tedy nežádoucí [7].

- **Blok zpracování elektrického signálu**

V tomto bloku jsou využiti jak jednoduché, tak i složité elektrické obvody pro úpravu a následný přenos signálu. Signál může být pouze zesilován nebo přizpůsobován. Analogový elektrický signál již lze unifikovat. Případě je použita korekce nežádoucích vlastností, jako je například šum nebo nelinearita. Je možné provádět i přímý převod analogového signálu na digitální a případnou korekci řešit softwarově [7].

V případě, že jsou oba bloky součástí jednoho čidla, je čidlo označováno jako inteligentní (smart) [7].

Pro tuto práci je však nejzásadnější rozdělení podle kontaktu s měřeným tělesem [6]:

- **Dotykový způsob měření teploty**

Senzor teploty je v přímém kontaktu s objektem či látkou, jejíž teplotu má měřit. Je zde využit přímý přenos tepla mezi dvěma objekty. Lze jej využít při snadném přístupu k měřenému objektu [7].

- **Bezdotykový způsob měření teploty**

Senzor teploty se nachází v předem určené vzdálenosti od měřeného objektu. Využívá se zde infračerveného záření – pyrometrie [7].

Další rozdělení teploměrů je např. podle fyzikálních principů [6]:

- dilatační,
- termoelektrické,
- odporové,
- polovodičové,
- chemické,
- radiační.

2.1 Bezdotykové měření teploty

Tento princip měření je používán pro stálé měření teploty u objektu ve velmi nepřístupných nebo nebezpečných prostorách. Výhodou bezdotykového měření teploty je i měření velmi vysokých teplot, které mohou dosahovat až 3000 °C nebo naopak nízkých teplot překračujících hranici -200 °C. Je nutné zvolit správný fyzikální princip a materiál použitého senzoru. Nevýhodou může být odražení záření z okolního prostředí a propustnost, která způsobuje chyby v měření [7].

Dělení bezdotykových senzorů dle fyzikálního principu [7]:

- **Tepelné senzory infračerveného záření**
Využívají ohřátí citlivé části senzoru vlivem infračerveného záření a převodu teploty na elektrický signál.
- **Kvantové senzory**
Využita je přímá interakce fotonů záření s polovodičovým materiálem detektoru.

Dotykovému měření teploty se věnuje podrobněji následující samostatná kapitola, protože je zásadní pro danou úlohu spolu s podrobným popisem využívaných dotykových senzorů a jejich principem.

3 DOTYKOVÉ MĚŘENÍ TEPLoty

Dotykové měření teploty je postaveno na základě přímého kontaktu senzoru s měřeným objektem. Nejčastěji se využívá při měření, kde je snadný přístup k objektu. Kovové a polovodičové teplotní senzory jsou nejrozšířenějšími odporovými senzory. Pro tuto práci byly použity konkrétně platinové (Pt100, Pt1000), termistorové (NTC, PTC) a termočlánky typu J a K [6].

3.1 Odporové kovové senzory teploty

Principem odporových kovových senzorů je teplotní závislost elektrického odporu kovu na teplotě [6]. Krystalová mřížka obsahuje volné elektrony, jež se odpoutaly od atomů a umožňují tak vedení elektrického proudu. Volné elektrony po připojení napájecího zdroje jsou ovlivňovány elektrickým polem. To orientuje jejich pohyb ve směru intenzity působícího pole. Tímto procesem dojde k vytvoření elektrického proudu. Pohybující se elektrony v kovu narážejí do iontů, předávají jim část své kinetické energie, která se mění na teplo, a tím se kov zahřeje. Se zvyšující se teplotou dochází k těmto srážkám častěji, zkracuje se jejich dráha a dochází k růstu odporu kovu [6; 8].

Konduktivitu (měrnou elektrickou vodivost) lze vyjádřit vztahem [6]:

$$\sigma = n * e^2 * \frac{\tau}{m} \text{ [S/m]}, \quad (3)$$

kde σ je konduktivita v [S/m], n je počet elektronů v jednotce objemu [$1/\text{m}^3$], e je elementární náboj [C], τ je relaxační čas elektronů [s], m je hmotnost nosiče náboje [kg].

Závislost odporu kovů na teplotě můžeme vypočítat v rozsahu 0 °C až 100 °C jako [6]:

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta t) \text{ [\Omega]}, \quad (4)$$

kde R je odpor při teplotě t [°C], R_0 je odpor při teplotě 0 [°C], α je teplotní součinitel odporu [°C], Δt je rozdíl teplot mezi $(t - t_0)$ [°C].

Střední hodnotu teplotního součinitele α můžeme vyjádřit vztahem [6]:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0} \text{ [°C]}, \quad (5)$$

kde R_{100} je odpor při teplotě 100 [°C], R_0 je odpor při teplotě 0 [°C].

Pro výrobu odporových teplotních senzorů se využívají čisté kovy se stálým a co největším teplotním součinitelem odporu. Mezi tyto kovy patří např. platina, nikl, měď a další vzácné kovy. Ovšem platí, že nejrozšířenější jsou odporové teplotní senzory vyrobené z platiny.

Tabulka 2. Vlastnosti materiálů pro kovové odporové teplotní senzory [9]

Materiál	$\alpha \cdot 10^{-3} \text{ [K}^{-1}\text{]}$	Meze použití [$^{\circ}\text{C}$]
Platina	3,85 až 3,93	-260 až 850
Nikl	6,17 až 6,75	-70 až 200
Měď	4,26 až 4,33	-50 až 150

Odporové teplotní senzory se vyrábí pomocí **drátkové, tlustovrstvé a tenkovrstvé technologie**.

- **Drátková technologie**

Drátkový měřicí odpor je tvořen velmi tenkým platinovým drátkem (0,007 do 0,05 mm) a je bifilárně navinutý na keramické tělísko a zafixován skleněným povlakem [6]. Díky tomuto je zajištěna odolnost proti chvění a vibracím, ale na úkor hystereze. Hystereze vzniká z důvodu rozdílné teplotní délkové roztažnosti mezi platinou a izolačním materiálem (sklo, keramika), které jsou ve vzájemném dotyku. Hystereze je tedy vlastnost odporových teplotních senzorů, kdy hodnoty teploty jsou jiné při klesající teplotě nebo při rostoucí teplotě. Pro potlačení efektu hystereze je drátek stáčen do spirály a vkládán do válcového otvoru keramického tělíska, kde musí být vhodně zafixován. V tomto provedení však není senzor odolný proti chvění a vibracím. Obvykle se drátkové teplotní senzory vyrábí s odpory 100 Ω , 500 Ω nebo 1000 Ω . Standartní odpor platinového teplotního senzoru je 100 Ω při 0 $^{\circ}\text{C}$ [6; 9].

- **Tlustovrstvá technologie**

Technologie spočívá v nanášení aktivní kovové vrstvy ve formě pasty na korundovou destičku pomocí sítotisku. Následně se sítotisková vrstva vypálí pro zajištění stability a dále je pomocí laseru (laserové trimování) nastavena základní hodnota odporu tedy 100 Ω , 500 Ω nebo 1000 Ω . Na závěr je podložka rozřezaná na jednotlivé senzory, které jsou osazeny vývody a ty jsou zafixovány [6; 9].

- **Tenkvrstvá technologie**

Je nejnovější a nahrazuje sítotisk (tlustovrstvá technologie) vakuovou depozicí (napařováním) platiny, niklu nebo mědi s následnou tvorbou finální struktury pomocí fotolitografie. Jedná se o kovovou vrstvu o tloušťce 1 nm nebo 1 μm , která je pomocí vakuové depozice nanášena na korundovou desku. Přesné nastavení odporu se provádí stejně jako u tlustovrstvé technologie laserovým trimováním. Laserovým ořezem aktivní vrstvy dochází k růstu odporu. Tento proces je prováděn opakovaně až do doby, kdy dosáhneme požadovaného odporu, který může být od 50 – 20 000 Ω . Na závěr se provádí více vrstvá pasivace aktivní vrstvy, rozřezání keramické podložky na pásky, kontaktování vývodů, včetně jejich fixace pomocí skleněné pájky a finální rozřezání pásků na jednotlivé senzory. Sensory vyrobené touto technologií jsou drobné a křehké, a proto jsou osazovány do kovových pouzder, aby se předešlo jejich mechanickému poškození. Sensory jsou vhodně fixovány co nejbližší k povrchu pouzdra, aby byl zajištěn co nejlepší přenos tepla přes stěnu pouzdra [6; 9].

3.1.1 Platinové odporové senzory teploty

Mezi nejpoužívanější kovy pro výrobu kovových odporových sensorů patří platina. Je známa především svou vysokou teplotou tavení, chemickou odolností a časovou stálostí. Pro výrobu je používána platina s mimořádnou čistotou (99,999 %). Běžným senzorem vyrobeným z platiny je Pt100 (odpor 100 Ω). Vyrábí se i se základními hodnotami odporu (50 Ω , 200 Ω , 500 Ω , 1000 Ω a 2000 Ω).

Čistota platiny pro provozní teploměry se určuje podle redukovaného odporu W_{100} , který je dán vztahem [10]:

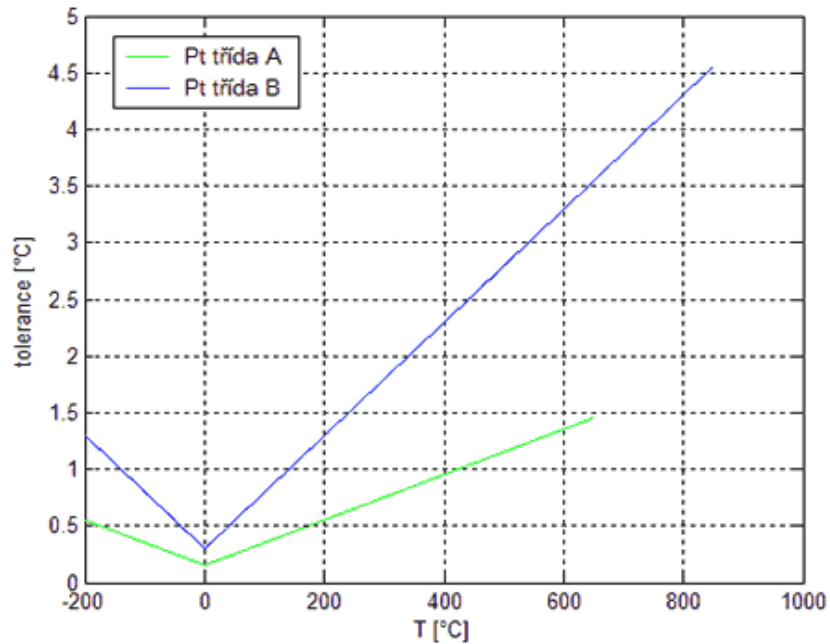
$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0} \geq 1,385 [\Omega], \quad (6)$$

kde R_{100} je odpor při teplotě 100 $^{\circ}\text{C}$, R_0 je odpor při teplotě 0 $^{\circ}\text{C}$.

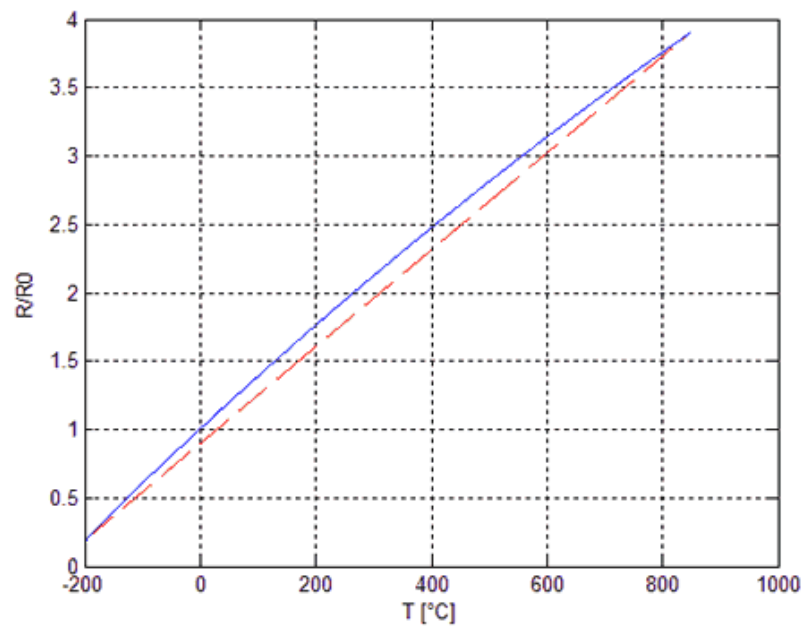
Podle IEC (International Electrotechnical Commission) dělíme platinové odporové senzory ($W_{100} = 1,385$) do dvou tolerančních skupin [10]:

- **Třída A**, pro niž platí teplotní rozsah od -200 $^{\circ}\text{C}$ do 650 $^{\circ}\text{C}$.

- Třída B platí pro rozsah teplot od -200 °C do 850 °C .



Obrázek 2. Tolerance Pt standardních měřících odporů dle IEC [10]



Obrázek 3. Závislost odporu Pt senzoru na teplotě [10]

Na obrázku (Obr. 2) je možné vidět toleranční přímky pro platinový odporový senzory třídy A i B. Z modré přímky na obrázku (Obr 3) je patrná chyba linearity platinového odporového senzoru vůči teplotě, resp. jeho nelinearita [10].

3.2 Odporové polovodičové senzory teploty

Principem odporových polovodičových senzorů teploty je stejně jako u kovových odporových teplotních senzorů využíváno změny odporu na teplotě. Polovodiče mají méně valenčních elektronů v porovnání s kovy a k jejich uvolnění je potřeba více energie. Při nízkých teplotách blížících se k absolutní nule jsou elektrony pevně vázány a nevedou elektrický proud, tudíž se polovodič chová jako izolant. Naopak s rostoucí teplotou se elektrony uvolňují, a polovodič tak může vést elektrický proud. Vlastní polovodivost se vyskytuje u všech polovodičů. Vlivem rostoucí teploty přijmou elektrony energii a přejdou z valenčního pásma do vodivostního pásma, čímž překonají zakázaný pás. Odpor polovodičů může být až o několik řádů vyšší než u kovů [6; 11].

Polovodičové odporové senzory můžeme dělit na [6]:

- termistory,
 - Negastory (NTC – Negative Temperature Coefficient)
 - Pozistory (PTC – Positive Temperature Coefficient)
- monokrystalické odporové senzory.

Termistory vyráběné z polovodičových feroelektrických keramických materiálů mohou mít různé tvary, např. destička, kapka, váleček. Termistory jsou vyráběny v široké škále odporových hodnot od $0,1 \Omega$ až do několika $M\Omega$. Vynikají malými rozměry a velmi dobrou citlivostí, která jim umožňuje monitorovat i teplotní šoky. Jsou to nelineární teplotně závislé rezistory, které mohou mít záporný nebo kladný teplotní součinitel, díky kterému se dělí na negastory a pozistory [6; 11].

a) Negastory – NTC

Jedná se o termistory se záporným teplotním součinitelem odporu. Závislost je nepřímo úměrná a přibližně hyperbolická, což nám značí, že s rostoucí teplotou klesá elektrický odpor, jak je možné vidět na obrázku (Obr 4) [9].



Obrázek 4. Negastor – závislost odporu na teplotě [9]

Závislost odporu negastoru na teplotě je dána přibližným vztahem [9]:

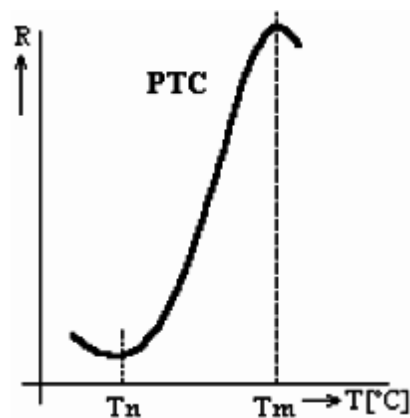
$$R_{NTC} = R_{25} * e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{25}} \right)} [\Omega], \quad (7)$$

kde R_{NTC} je odpor negastoru při teplotě T [°C], R_{25} je odpor při teplotě 25 [°C], T_{25} je rovno 298,15 [K], β je teplotní koeficient [K].

V praxi se nejčastěji používají převážně NTC termistory, které jsou vyrobeny pomocí lisování směsi kovů s polovodičovými vlastnostmi, jako je např. Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO , NiO a dalších za vysokých teplot. Nejčastější tvar, do kterého jsou termistory lisovány, je terčík nebo perlička s dvěma vývody. Je zde využívána již dříve zmíněná tlustovrstvá a tenkovrstvá technologie. Běžný teplotní rozsah negastorů se pohybuje mezi -60 °C až 200 °C. Jsou vyráběny také speciální negastory, které jsou určeny pro speciální účely, a jsou schopny měřit teploty v rozsahu od 4 K do 1000 °C [6].

b) Pozistory – PTC

Pozistory jsou opakem negastorů a mají kladný teplotní součinitel odporu. S rostoucí teplotou elektrický odpor nejprve mírně klesá, nad Curieovou teplotou pak dochází k prudkému nárůstu (o cca 3 řády) a pak opět mírně klesá (Obr 5). Po překročení Curieovy teploty látka ztrácí své feromagnetické, feroelektrické a piezoelektrické vlastnosti. Zároveň Curieova teplota je charakteristická vlastnost pro feromagnetické, piezoelektrické a feroelektrické látky [9].



Obrázek 5. Pozistor – závislost odporu na teplotě [9]

Pozistor je často označován jako bezkontaktní termostat, který nabývá dvou stavů „Zapnuto“ nebo „Vypnuto“. Při výrobě je možné změnit poměr složek, a vyrobit tak pozistor na konkrétní teplotu. Jsou vyráběny práškovou technologií, která spočívá v lisování polykrystalické feroelektrické keramiky za vysokých teplot a tlaku [6].

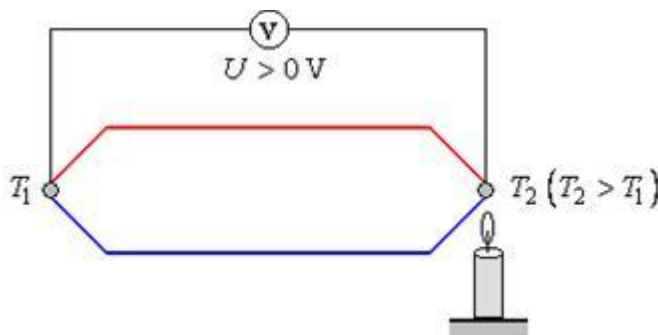
Rozlišujeme dvě kategorie pro dělení pozistorů [11]:

První kategorie pozistorů obsahuje teplotně závislé křemíkové rezistory („silistory“). Tyto termistory mají ve vzestupné části charakteristiky téměř stálý kladný teplotní koeficient, při teplotách nad 150 °C mají pak záporný teplotní koeficient. Termistory této kategorie jsou nejčastěji používány v teplotním rozsahu -60 °C až 150 °C [12].

Druhá kategorie pozistorů je tvořena klasickými pozistory s charakteristickou teplotní závislostí. K výrobě je nejčastěji používána sloučenina baria a olova. Jak už je výše uvedeno, tyto pozistory mají tři fáze – nejdříve mají malý záporný koeficient, po překročení Curieho teploty dojde k obrovskému skoku ze záporného na vysoký kladný koeficient a poté dojde opět k poklesu na malý záporný koeficient. Pozistory v této kategorii jsou nejčastěji využívány jako teplotní čidla od 60 °C do 180 °C. Další možností využití je polovodičová pojistka k ochraně před nadměrným proudem v rozsahu od mA do jednotek A. Pro jejich velkou nelinearitu charakteristiky se používají k měření teploty jen minimálně [12].

3.3 Termoelektrické teplotní senzory

Princip termočlánu se zakládá na Seebeckově jevu, při kterém se tepelná energie převádí na elektrickou. Termočlánek je tvořen dvěma společně spojenými vodiči (Obr 6) v uzavřeném jednoduchém elektrickém obvodu, přičemž každý vodič je z jiného vodivého (polovodivého) materiálu. V případě, že mají oba spoje rozdílnou teplotu, vznikne termoelektrické napětí a obvodem začne protékat proud [6; 13].



Obrázek 6. Seebeckův jev [6]

Pro malý teplotní rozdíl spojů platí téměř lineární závislost [6]:

$$U = \alpha_{12}(T_1 - T_2) = \alpha_{12}\Delta T, \quad (8)$$

kde U je termoelektrické napětí [V], α_{12} je Seebeckův koeficient závisící na dvojici použitých kovů [$V \cdot K^{-1}$], T_1 a T_2 jsou teploty měřících spojů [K], ΔT je rozdíl teplot T_1 a T_2 [K].

Materiály používané pro výrobu termočlánků jsou označovány typy a normalizovány. Použitelné materiály pro výrobu termočlánků by měly mít co největší linearitu závislosti termoelektrického napětí na teplotě, stabilitu a dobrou chemickou a mechanickou odolnost.

Termočlánky dělíme z hlediska použitých materiálů na [14]:

- termočlánky z obecných kovů typy **J, K, T, E** a **N**.
- termočlánky z ušlechtilých kovů typy **R, S, C, G** a **B**.

V níže uvedené tabulce jsou uvedeny teplotní rozsahy termočlánků a jejich dlouhodobé a krátkodobé využití závisí na konstrukci snímače [6].

Tabulka 3. Teplotní rozsahy termočlánků [15]

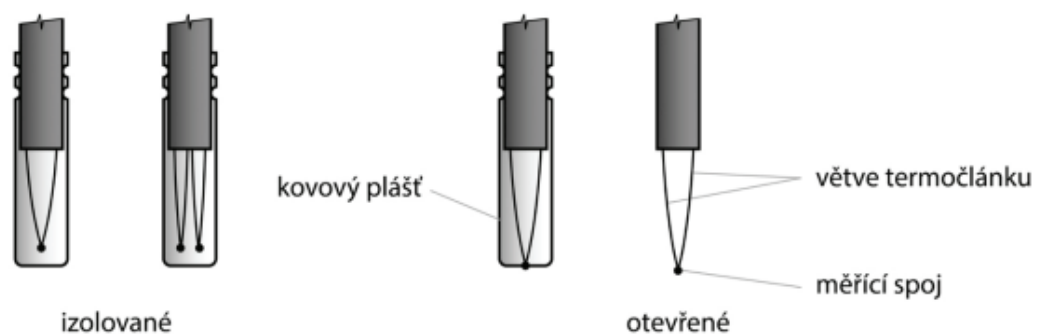
TYP	Maximální rozsah [°C]
K	-270 až 1372
T	-270 až 400
J	-210 až 1200
N	-270 až 1300
E	-270 až 1000
R	-50 až 1768
S	-50 až 1768
B	0 až 1820
G	0 až 2320
C	0 až 2320
D	0 až 2320

Dále můžeme termočlánky dělit podle konstrukce [6]:

- s drátkovými termočlánky
- s plášťovými termočlánky

a) Drátková konstrukce termočlánků

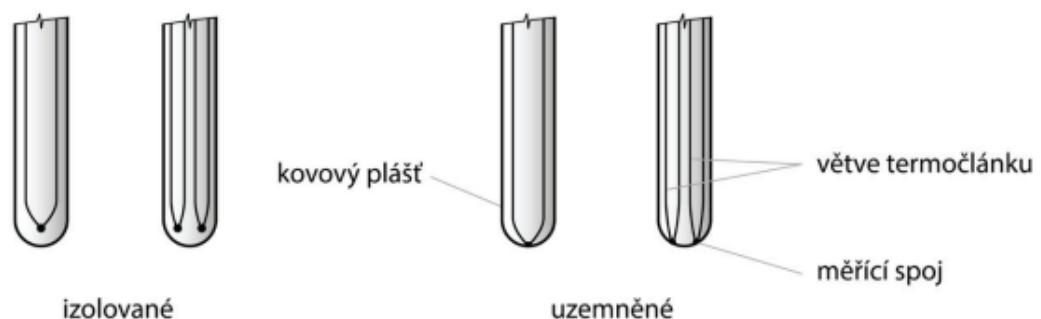
Termočlánky jsou ze dvou vodičů odlišných materiálů a navzájem izolovaných. Na konci těchto vodičů je proveden svar ve tvaru kuličky. Vlastnosti jsou dány materiálem a konstrukcí izolace termočlánku. Izolace může být z plastu, smaltu, skleněných vláken, keramických kapilár a dalších [9].



Obrázek 7. Provedení měřícího konce drátkového termočlánku [9]

b) Plášťová konstrukce termočlánku

Provedení vodičů je stejné jako u drátkových termočlánků. U plášťových termočlánků jsou vodiče vloženy do zhutnělého keramického zásypu z oxidu Al_2O_3 nebo MgO a pevně zalisovány. Pláště bývají vyrobeny z nerezových ocelí nebo materiálů na bázi niklu. Hlavní výhodou této konstrukce je velmi vysoká mechanická a chemická odolnost a také široký rozsah měřených teplot [9].



Obrázek 8. Provedení měřícího konce plášťových termočlánků [9]

Pomocí obou konstrukcí je možné realizovat jednoduché i vícenásobné termočlánky pro širokou škálu využití [8].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI

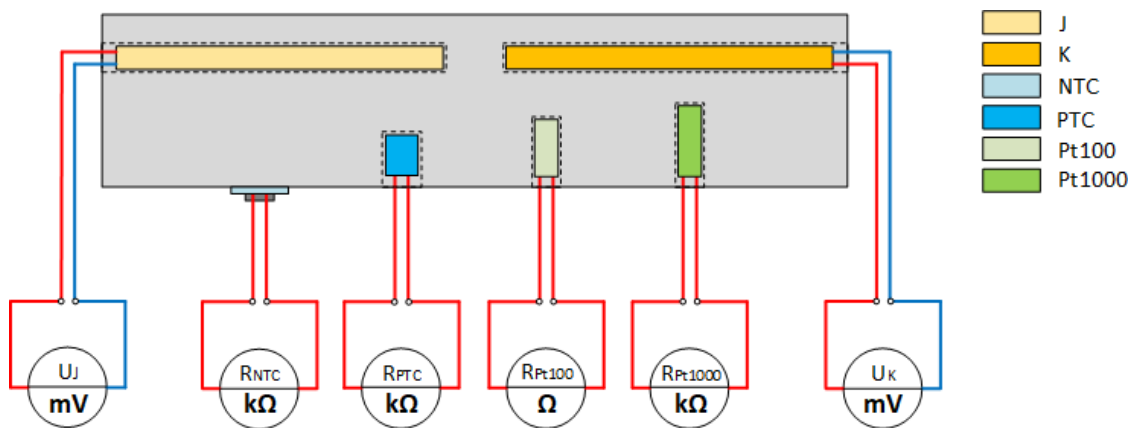
Cílem praktické části práce bylo navrhnout a realizovat systém sběru dat pro laboratorní úlohu pro měření teploty dotykovým způsobem. Stávající úloha slouží jako podpůrný výukový nástroj pro předmět Senzory, který je součástí studijního plánu Fakulty aplikované informatiky na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. Studenti se v rámci úlohy seznámí s používanými senzory a technikami měření teploty dotykovým způsobem.

Za účelem zefektivnění výuky i vzhledem k praktickému využití výše uvedené úlohy bylo nejprve nezbytné tuto úlohu zmodernizovat a následně ji rozšířit o systém sběru dat. Při návrhu modernizace bylo nutné uvažovat časovou dotaci daného cvičení, ovladatelnost, přehlednost a přesnost měření. Dále po konzultaci s vedoucím práce bylo nezbytné zachovat i přímý kontakt studentů s měřícím a přístrojovým vybavením. Automatický sběr dat zajistí, že studenti se mohou více věnovat studiu používaných principů, tj. měření teploty dotykovým způsobem.

5 AKTUÁLNÍ STAV ÚLOHY

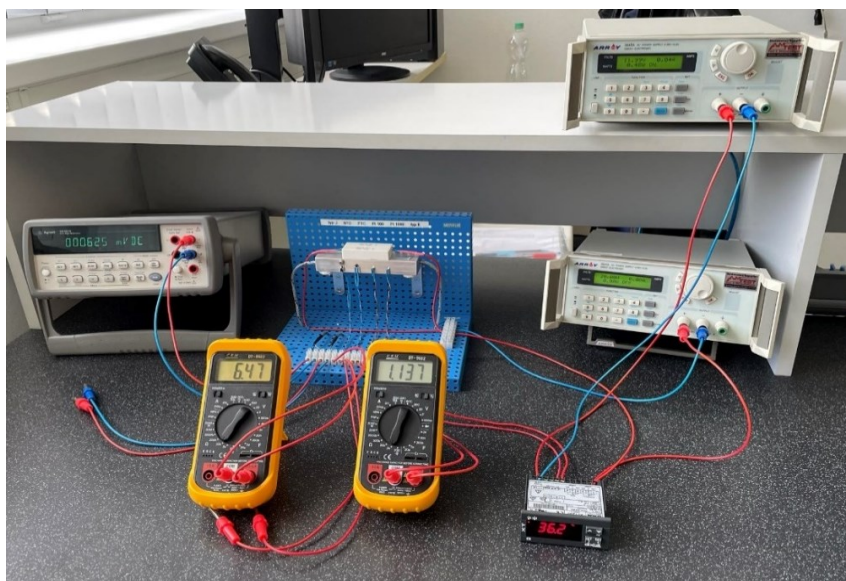
Před samotným návrhem systému sběru dat, a s tím související modernizací stávající úlohy, tj. úlohy pro dotykové měření teploty, viz. kap. 4, bylo nejdříve nutné seznámit se s aktuálním stavem úlohy.

Úloha obsahuje šest typů senzorů (odporové senzory Pt100 a Pt1000, polovodičové odporové senzory NTC, PTC a termočlánky typu J a K), jejichž principy jsou popsány v teoretické části této práce, tj. v kap. 3. Senzory jsou instalovány na vyhřívaném tělese s cílem měřit jeho teplotu, jak lze vidět i na obrázku (Obr. 9). Z obrázku je patrné i jejich rozmístění, včetně jejich měřených výstupních veličin.



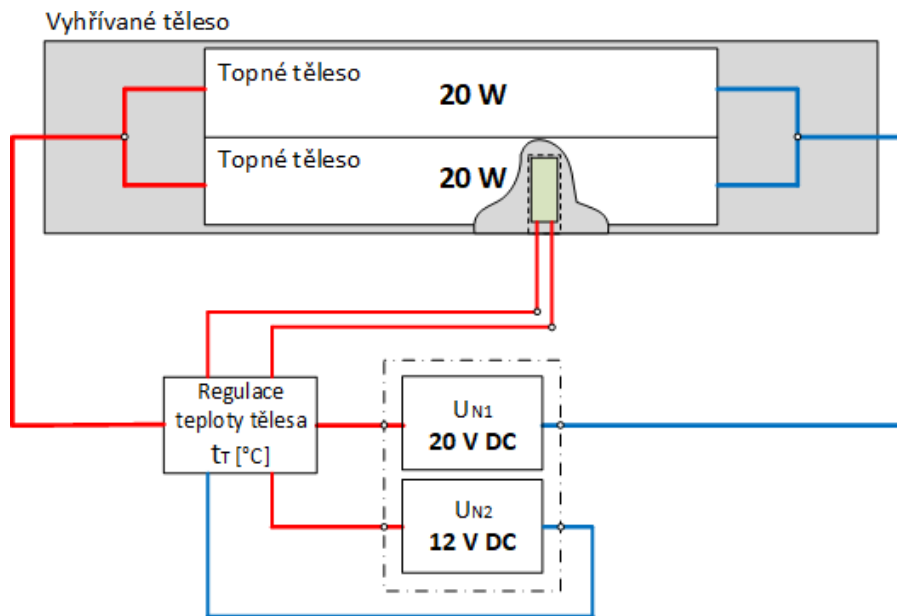
Obrázek 9. Osazené senzory a jejich měřené výstupní veličiny [16]

K měření výstupních veličin u výše uvedených senzorů se používají různé typy měřicích zařízení. U senzorů Pt100, Pt1000 a NTC, PTC se využívají digitální ruční multimetry



Obrázek 10. Měření teploty dotykovým způsobem pomocí regulace

CEM – DT – 9602. Pro měření napětí u termoelektrických senzorů typu J a K je v úloze použit digitální stolní multimetr Agilent 34401A. Tyto přístroje a základní zapojení celé úlohy jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 10).



Obrázek 11. Vyhřívání měřeného tělesa s regulací teploty [16]

Teplota měřeného tělesa je regulována pomocí dvou polohového regulátoru DIXELL XT120C, který ovládá zdroj pro vyhřívání topných těles. Jedná se o dvě paralelně zapojená odporová topná tělesa o celkovém výkonu 40 W. Regulátor vyžaduje napájecí napětí 12 V. K tomu účelu je využíván napěťový zdroj ARRAY 3645A. Stejný typ zdroje také slouží pro napájení topných těles, pouze s rozdílem že je nastaven na 20 V, jak lze vidět i na obrázku (Obr. 11).

Záznam naměřených dat probíhá ručně, a to jejich zápisem do předpřipravených tabulek. Cílem úlohy je vyhotovit protokol z měření.

Vyučující zadá studentovi vždy jeden z dvojice odporových senzorů, polovodičových senzorů a termočlánků, jejichž typy jsou zmíněny výše. Samotné měření probíhá v rozmezí od pokojové teploty až po 70 °C s krokem vždy po 5 °C. Podle stávajícího návodu k úloze si na regulátoru nastavíme požadovanou teplotu. Při zadávání požadované teploty musí být vypnutý výstupní kanál zdroje, který slouží pro výhřev topných těles. Po nastavení požadované teploty si sepneme výstupní kanál na zdroji pro výhřev topných těles, a umožníme tak „to-

pení“, pokud je požadovaná teplota vyšší než stávající. Ovšem po ukončení procesu „topení“, dojde k teplotnímu překmitu. Dále následuje zápis daných hodnot do tabulek. Z důvodu překmitu se musí zápis pro každou teplotu provést 10x a poté musíme z dat vypočítat průměrnou hodnotu, a to včetně průměrné hodnoty pro teplotu.

Uvedený postup je časově náročný z důvodu velkého množství dat, které si student musí správně zapsat do předpřipravených tabulek. Pro každou teplotu připadá až 40 hodnot. To znamená, že pro rozmezí teplot od pokojové až po 70 °C se jedná o přibližně 440 hodnot.

Druhý způsob, který lze použít, zahrnuje postup na stejném principu s tím rozdílem, že při překmitu se hodnota nezapisuje, ale čeká se na ustálení teploty na požadovanou hodnotu. Tím dojde k redukci množství dat, které je potřebné zapisovat. Při nastavení první žádané teploty dojde k překmitu až o 5 °C a k ustálení na žádanou hodnotu nastane po cca 15 minutách. Pro další požadované teploty se již jedná pouze o překmit v rozsahu 3 – 4 °C a časová prodleva se zkrátí na 7 – 9 minut.

Z uvedeného vyplývá, že tento postup zpracování dané úlohy zabírá cca 95 minut čistého měření, proto je časově náročný a student nemá možnost se podrobněji seznámit s používanými principy měření dotykovým způsobem.

6 NÁVRH MODERNIZACE STÁVAJÍCÍ ÚLOHY

Z kap. 5 vyplývá nutnost modernizace stávajících měřících přístrojů a regulátoru. Hlavním cílem modernizace této úlohy je zvýšit přesnost regulace teploty a snížit časovou náročnost, respektive usnadnit studentům práci v podobě automatického sběru dat. Po konzultaci s vedoucím práce bylo rozhodnuto, že je nezbytné nahradit současný regulátor za PID (Proporcionální – Integrální – Derivační) regulátor. Měřicí zařízení nahradit za vhodné měřicí přístroje schopné komunikovat s PC (Personal Computer) pomocí USB (Universal Serial Bus). Výběrem vhodného programu, ve kterém bude realizován systém pro sběr dat. Tento program musí splňovat požadavek na kompatibilitu s měřicími přístroji, mít schopnost komunikovat pomocí USB a možnost spolupracovat s MS Office. Opět po konzultaci s vedoucím práce bylo zvoleno grafické vývojové prostředí Vee Pro. Rozhodnutí bylo přijato s ohledem na to, že program Vee Pro je již vyučován na Fakultě aplikované informatiky, což studentům usnadní orientaci v programu. Je však nutno podotknout, že program Vee Pro není součástí studijního plánu pro studijní program Softwarové inženýrství, který i osobně studuji, a proto se musím seznámit s programem Vee pro i veškerým přístrojovým a měřicím vybavením dané laboratoře.

Dále bych navrhol rozšířit úlohu o mikrokontrolér, který bude schopný komunikovat s Vee Pro a sloužil by pro zápis aktuální zobrazené teploty na displeji regulátoru. V této souvislosti bych zvážil použití jednoho z typů Arduina pro jejich spolehlivost a uživatelsky přívětivé rozhraní, který také obsahuje digitální a analogové vstupy/výstupy, jenž se hodí právě pro sběr dat [18].

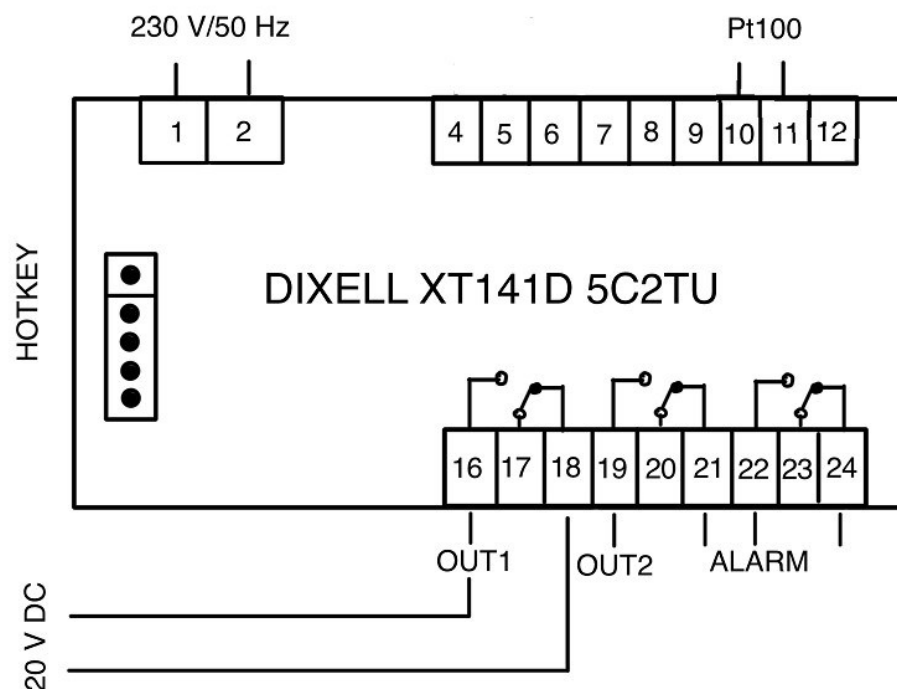
7 REALIZACE NÁVRHU MODERNIZACE ÚLOHY

Kapitola se zabývá modernizací stávající laboratorní úlohy na měření teploty dotykovým způsobem. Nejprve bylo nutné nahradit regulátor teploty DIXELL XT120C, tj. dvoupolohovou regulaci za vhodnější způsob regulace. Po konzultaci s vedoucím práce byl určen regulátor teploty DIXELL XT141D, viz (Obr. 12), protože byl již součástí vybavení laboratoře Senzorů. Nutno podotknout, že regulátor byl nový a doposud nepoužitý. Jedná se o kombinovaný PID regulátor, a to s dvoupolohovým regulátorem. V praxi to znamená, že se regulátor chová jako dvoupolohový, dokud nedosáhne pásma proporcionality, poté se přepne na PID regulátor [17]. Výhodou tohoto regulátoru je stejný výrobce jako u dvoupolohového regulátoru DIXELL XT120C, tedy ovládání v rámci menu, včetně nastavení žádané teploty je shodné s předchozím typem. Předností je i množnost instalace na DIN (Deutsches Institut für Normung) lištu.



Obrázek 12. PID regulátor DIXELL XT141D

Po prvním připojení regulátoru bylo nutné upravit stávající návod k úloze. Zapojení regulátoru je možné vidět na (Obr. 15).



Obrázek 13. Svorkovnice zapojení regulátoru DIXELL XT141D bez analogového výstupu

Bylo nutné ověřit funkčnost regulátoru s přednastavenými PID parametry od výrobce. Tento test byl proveden praktickým měřením, které ukázalo, že tyto parametry nejsou optimální. Docházelo k výrazným teplotním překmitům, podkmitům a ustálení hodnoty bylo velmi pomalé a trvalo až cca 8 minut.

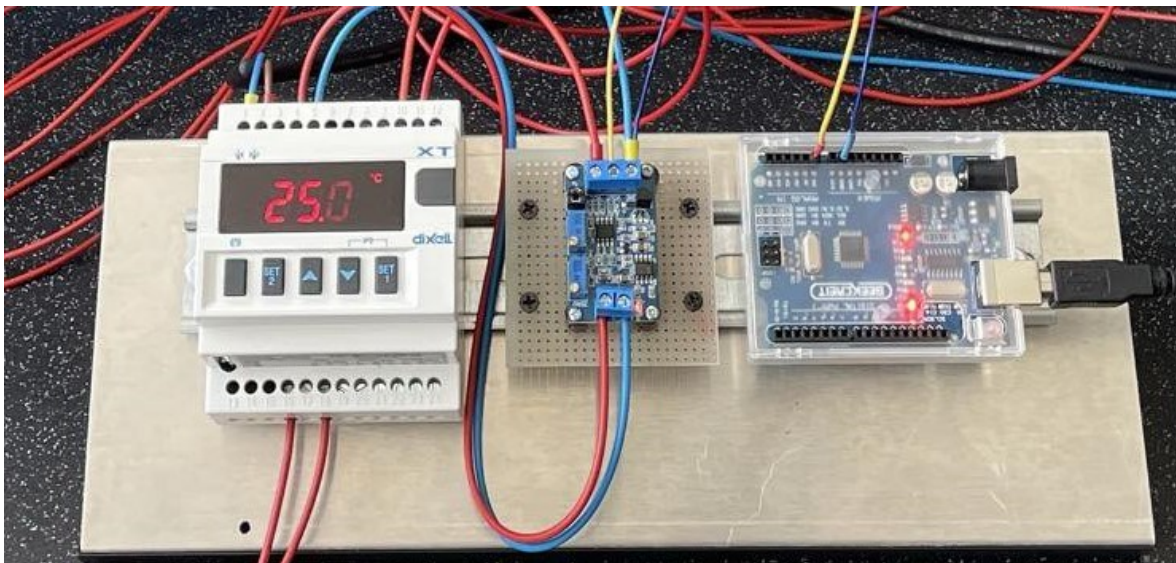
Proto bylo nutné zjistit vhodnější PID parametry. Jelikož se jedná o atypický PID regulátor, vyžadovalo to i specifický postup pro zjištění PID parametrů podle pokynů výrobce. Zjišťování vhodnějších parametrů zahrnovalo nastavení výstupu OUT1 pouze na ON/OFF regulaci a zaznamenávání procesní teploty v pravidelném cyklu do grafu. Tímto způsobem bylo možné určit časový interval mezi dvěma po sobě jdoucími maximy a pomocí vzorečků přiložených v návodu dopočítat vhodnější PID parametry.

Následovalo opětovné ověření přesnosti regulace s novými PID parametry a jejich případné doladění experimentální formou. Všechny tyto doladěné PID parametry jsou uvedeny v upraveném návodu k úloze, který je dostupný jako příloha P I a je přiložen k práci.

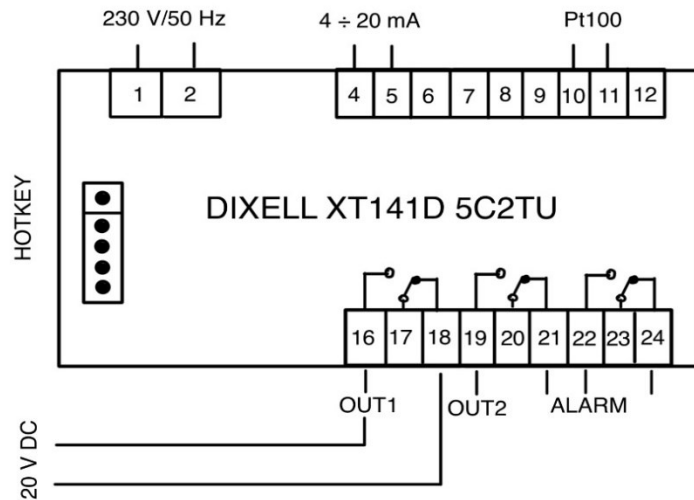
Dále bylo nutné vybrat vhodné měřicí přístroje, které budou schopny komunikovat s PC pomocí USB. Po konzultaci s vedoucím práce bylo rozhodnuto o použití digitálních stolních multimetrů HMC 8012, které jsou dostupné v laboratoři Senzorů. Tyto multimetry jsou

schopny měřit požadované veličiny a jsou plně kompatibilní s programem Vee Pro. Měřicí přístroje bylo nutné nastavit na komunikaci po sériovém portu a také na požadované veličiny, které se pomocí nich budou měřit.

Regulátor PID má také analogový unifikovaný výstup, konkrétně proudový v rozsahu 4 – 20 mA. Převodník dále převede proudový signál v již uvedeném rozsahu na napěťový signál v rozsahu 0 – 5 V. Napěťový signál na rozdíl od proudového je možné připojit k poskytnutému mikrokontroléru Arduino UNO, a převést tak původní proudový signál zpět na teplotu a následně ji přes sériovou komunikaci posílat do programu Vee Pro, který bude schopný ji exportovat společně s daty z měřících přístrojů do předpřipravených tabulek v excelu. Propojení Arduino s PID regulátorem realizované přes převodník je viditelné na obrázku (Obr. 14). Je možné také vidět že PID regulátor, převodník signálu a Arduino UNO jsou instalovány na DIN lištu, což přineslo výhody v podobě lepší ovladatelnosti a vyšší přehlednosti. V návaznosti na provedené změny bylo také nutné provést opravu stávajícího návodu k úloze. Upravená verze návodu je dostupná v příloze P I.

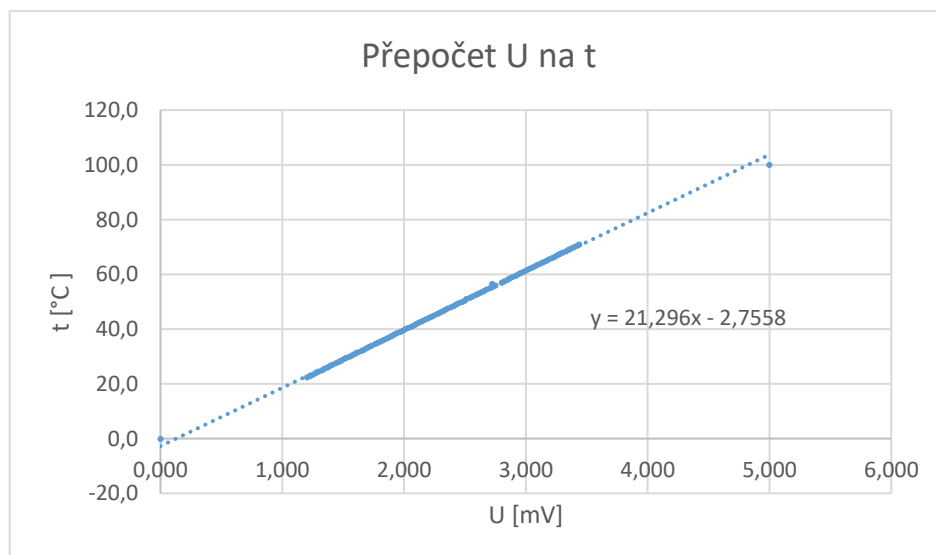


Obrázek 14. Zapojení PID regulátoru do Arduino přes převodník signálu



Obrázek 16. Zapojení svorkovnice regulátoru DIXELL XT141D

Pro vytvoření programu, který bude převádět napěťový signál zpět na teplotu, bylo nutné zjistit přímkou pro převod, která je na obrázku (Obr. 16) anebo je také dostupná v elektronických přílohách, konkrétně příloha P VII. Pro vytvoření této přímky jsem pro každý půl stupeň od pokojové teploty až po 70 °C změřil hodnotu napětí na výstupu převodníku. Do grafu byly přidány také krajní body tj. 0 °C a 100 °C, které byly uvažovány z důvodu nastavení regulátoru v rozmezí mezi těmito body, a tudíž by pro ně měly platit hodnoty 0 V pro teplotu 0 °C a 5 V pro teplotu 100 °C.



Obrázek 15. Přímka pro převod napětí na teplotu

Po zjištění přímký pro převod jsem vytvořil program pro Arduino UNO, který převádí vstupní napěťový signál zpět na teplotu. Vytvořený program nahraný do mikrokontroléru Arduino UNO je možné vidět na obrázku (Obr. 17), a je také dostupný v elektronické příloze P VI.

```
1  const int analogInPin = A0;
2  const int numSamples = 10; // Počet vzorků pro průměrování
3
4  void setup() {
5      Serial.begin(9600);
6  }
7
8  void loop() {
9      // Inicializace proměnné pro uložení sumy vzorků
10     float sum = 0;
11
12     // Čtení a sumování více vzorků
13     for (int i = 0; i < numSamples; i++) {
14         sum += analogRead(analogInPin);
15         delay(10); // Čekání mezi vzorky (10 ms)
16     }
17
18     // Výpočet průměru
19     float averageValue = sum / (float)numSamples;
20
21     // Převod na napětí
22     float voltage = averageValue * (5.0 / 1023.0);
23
24     // Přepočítání na teplotu (lineární vztah mezi napětím a teplotou)
25     float temperature = (21.296*voltage)-2.7558; // 100°C odpovídá 5V, tedy 20°C na 1V
26
27     // Výpis teploty na sériový port
28     Serial.println(temperature,2);
29
30     // Zpoždění pro stabilitu čtení
31     delay(900); // Celkové zpoždění 1000 ms
32 }
33
```

Obrázek 17. Program implementovaný do Arduina

8 REALIZACE SYSTÉMU SBĚRU DAT

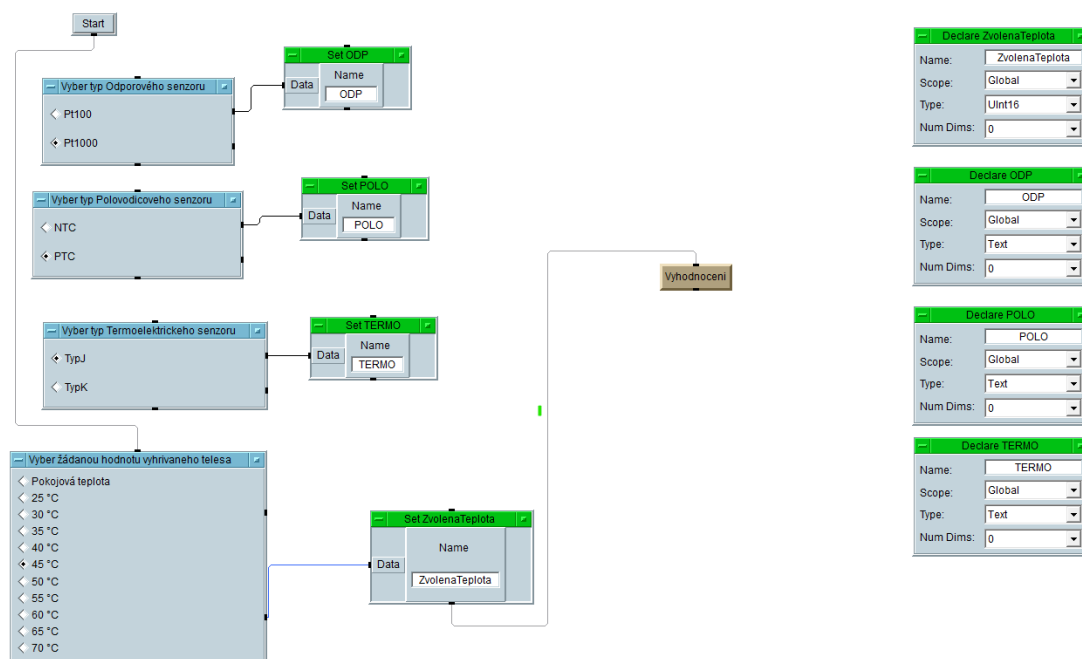
Tato kapitola popisuje postup při realizaci systému sběru dat pro úlohu na dotykové měření teploty viz. kap. 6. Cílem této kapitoly je poskytnout ucelený pohled na vývoj systému sběru dat.

Prvním krokem v procesu realizace bylo seznámení se s vývojovým prostředím Vee Pro a následný návrh první verze programu pro samostatný sběr dat a jejich export do Ms Office-Excel.

- Jedná se o grafické vývojové prostředí a je přímo určeno pro rychlé a efektivní řešení technických problémů. Nabízí široké možnosti přímého řízení měřicích přístrojů, práce s daty a umožňuje tvorbu přehledných grafických prostředí pro obsluhu hotových programů. Vee Pro nabízí všechny služby již v základním balíčku, a není tedy nutné řešit dokupování různých rozšíření pro určité specifické aplikace jako tomu může být u jiných programů [19].
- Testovací program Vee Pro sleduje [20]:
 - jaké virtuální nebo skutečné přístroje jsou připojeny,
 - určené parametry,
 - jak se mají údaje zpracovat,
 - kde mají být data uložena,
 - jak jsou data zpracovány pro tabulky, zprávy a databáze.
- Pro ukládání tabulek je využíván Microsoft Excel, pro písemné zprávy Microsoft Word a pro velké množství dat se využívá uložení do Microsoft Access. Data mohou být přenášena pomocí USB, Fire Wire, LAN nebo protokoly řady RS. Vee Pro je velmi výkonný a flexibilní software [20].

Tato úvodní fáze zahrnovala implementaci náhodného generátoru čísel, který dočasně zastupoval laboratorní přístroje, z nichž se plánovalo v konečné verzi načítání dat. Dále byla nedílnou součástí této fáze tvorba šablon tabulek v programu Excel, do kterých měla být data exportována. Pro každou teplotu, pro kterou byla plánována realizace měření, byla vytvořena samostatná tabulka v Excelu. Jako vzor pro tyto tabulky sloužila struktura tabulek uvedená v existujícím návodu k úloze.

Následně bylo v samotném programu nutné pečlivě určit, do kterých buněk tabulek budou data přesně zapisována, aby byla zachována shoda s vytvořenou předlohou tabulek.

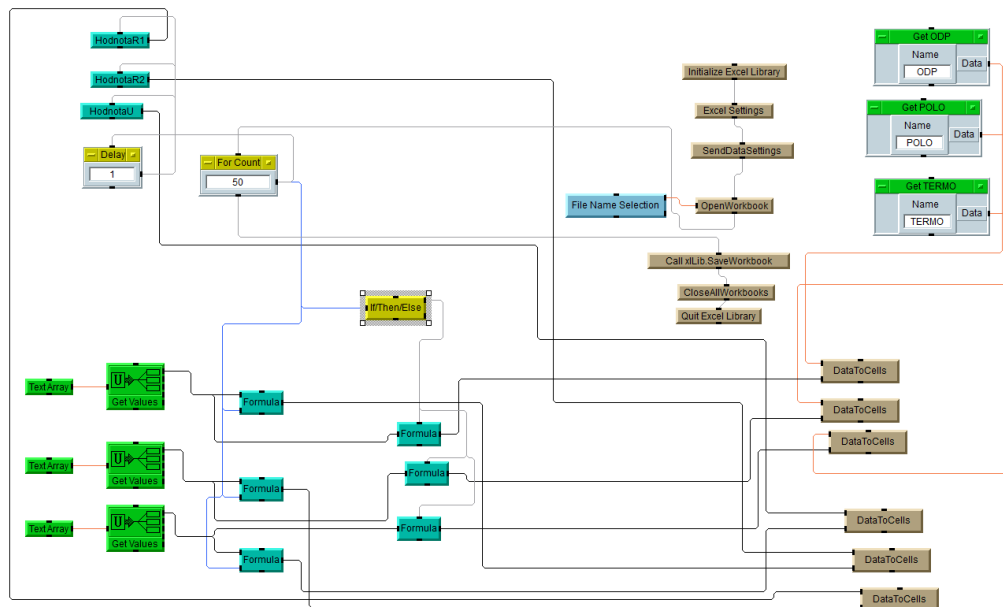


Obrázek 18. Main funkce programu

Na obrázku (Obr 18) je demonstrována main funkce programu, ve které dochází k výběru používaných senzorů a specifikaci teploty, pro kterou se provede sběr dat. V tomto programu jsou proměnné deklarovány jako globální, což umožňuje jejich použití v různých částech programu.

Další částí je funkce „Vyhodnoceni“, která je znázorněna na obrázku (Obr. 19). V této části programu dochází k dočasnému generování náhodných čísel, která zastupují data ze senzorů. Tyto data jsou následně exportována do předem definovaných tabulek v programu Excel.

Funkce „Vyhodnocování“ je klíčovou částí celého procesu, neboť zajišťuje zpracování a uložení dat do požadovaného formátu pro další analýzu a interpretaci. Tato část programu je důležitá pro úspěšné fungování celého systému sběru dat a jejich následné zpracování.



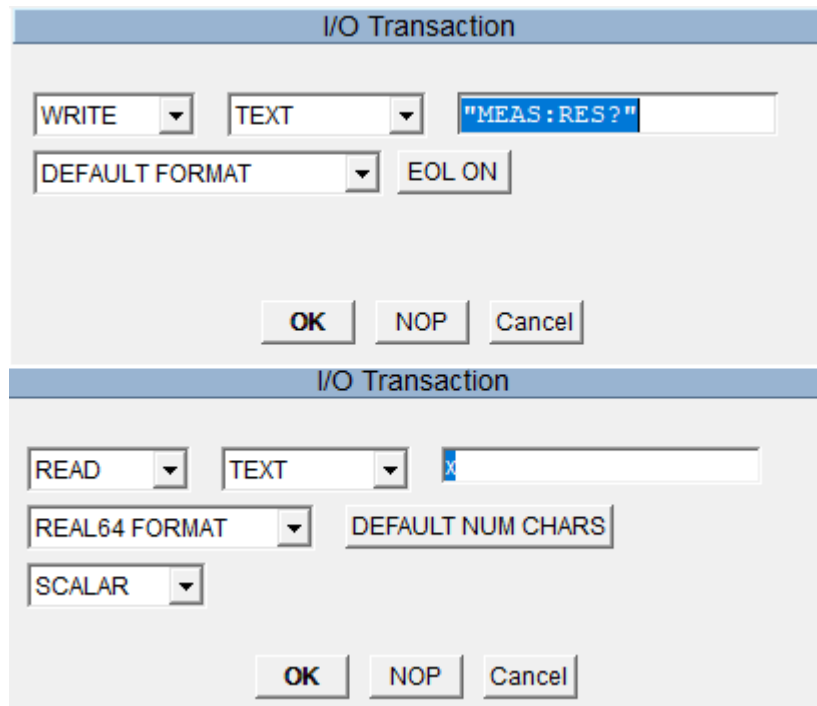
Obrázek 19. Funkce pro čtení dat a export do Excelu

Pro další postup v realizaci návrhu jsem se rozhodl navštívit laboratoře s cílem úspěšné implementace měřících instrumentů do již připraveného programu. První pokus o implementaci proběhl s jediným přístrojem. Po připojení přístroje k počítači pomocí USB kabelu se však ihned objevila první chyba, kterou bylo nutné řešit, program Vee Pro nedokázal identifikovat měřící přístroj.

Pro odstranění této překážky bylo potřeba nainstalovat IO Libraries Suit. Tento software slouží k identifikaci připojených měřících přístrojů a poskytuje nejen název přístroje, ale také VISA adresu, která je nezbytná pro ruční přidání přístroje do programu VEE Pro.

Tímto způsobem bylo možné přejít k dalšímu kroku, kterým byla úspěšná integrace měřících přístrojů do navrženého programu.

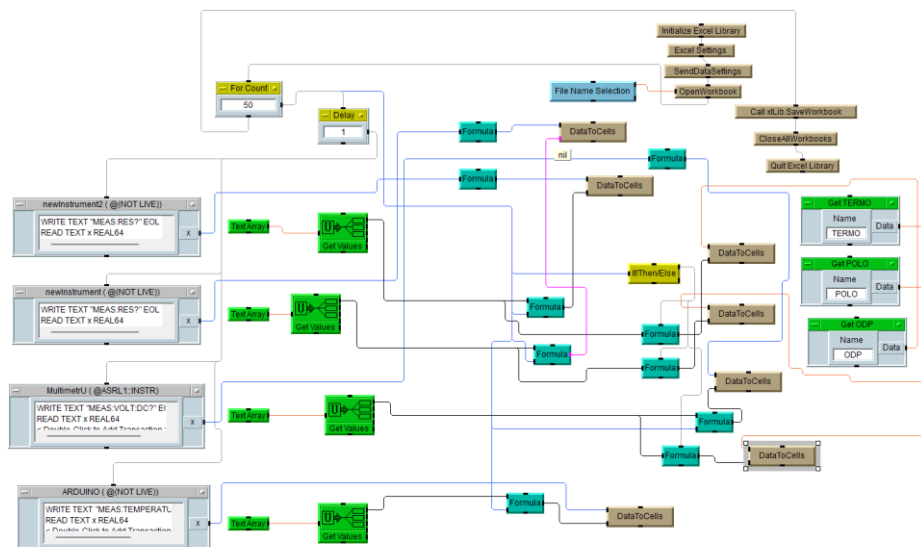
Po úspěšném přidání měřicího přístroje do prostředí Vee Pro bylo nezbytné umístit příslušný blok na pracovní plochu a nahradit ho za správný dočasný generátor náhodných čísel. Dále bylo nutné provést nastavení tohoto bloku, aby bylo možné zapisovat hodnoty z měřicího přístroje a následně tyto hodnoty číst. Tato konfigurace je detailně znázorněna na obrázku (Obr. 20), kde je patrný proces nastavení bloku pro zápis (Write) a čtení (Read) hodnot z měřicího přístroje.



Obrázek 20. Nastavení bloku instrumentu

Tento krok byl klíčový pro správné fungování celého systému, neboť umožnil přímou interakci s měřicím přístrojem a zajistil přesný sběr dat.

Výsledný program s integrovanými všemi třemi měřicími přístroji a Arduinem je dostupný jako elektronická příloha P V, anebo je možné ho vidět na obrázku (Obr. 21). Tento krok představoval dokončení integrace všech měřicích přístrojů do navrženého programu, což umožnilo jejich součinnost a efektivní sběr nezbytných dat pro další analýzu a interpretaci.



Obrázek 21. Finální podoba funkce pro čtení a zápis dat

Spuštění samotného programu zahrnuje výběr přidělených senzorů. Vždy se měří pro 3 senzory, a je tedy nutné si z každé dvojice vybrat požadovaný senzor. Následně je potřeba si zvolit teplotu, pro kterou bude prováděn sběr dat a spustit program tlačítkem „start“ viz (Obr. 20). Výběrem teploty dojde ke správnému zápisu dat do předpřipravených tabulek. Po spuštění programu se objeví vyskakovací okno s možností výběru souboru, do kterého se data budou zapisovat. Správný soubor je již nastaven v programu, není tedy nutné toto vyskakovací okno nijak řešit a stačí jej pouze potvrdit. Po provedení zápisu 50 hodnot se soubor s tabulkami automaticky uloží a zavře, aby byl připraven pro další použití.

Jako poslední krok bylo provedeno finální měření od pokojové teploty po 70 °C a pomocí vytvořeného programu byla zaznamenána data pro požadované teploty. Také byl měřen čas z důvodu zjištění časové náročnosti. Z mého měření vyplývá, že shromáždění 50 hodnot pro každou požadovanou teplotu je úplně dostatečné. S rezervou 20 minut na úvodní přípravy a seznámení se s úlohou bude student schopen úkol zvládnout v požadovaném čase (cca 85 minut), aniž by měl úlohu dokončenou příliš brzy. Měření bylo opakováno 2x, aby bylo provedeno měření pro všechny typy senzorů a bylo možné následně vyhotovit vzorový protokol, který je připojen k této práci jako příloha P II.

Tento postup byl schválen po konzultaci s vedoucím práce, jelikož bylo vhodné uvést ve vzorovém protokolu všechny charakteristiky. Bohužel ve vzorovém protokolu se nachází pouze 5 charakteristik a nikoliv 6. Důvodem je nedostupnost druhého senzoru Pt100, který

by byl použit jako zpětná vazba pro regulátor. Proto by bylo do budoucna vhodné osadit na topné těleso druhý senzor Pt100, který by se využil jako zpětná vazba pro regulátor.

9 OVĚŘENÍ SPRÁVNÉ FUNKČNOSTI SYSTÉMU PRO SBĚR DAT

Tato kapitola se zabývá ověřením správné funkčnosti systému na sběr dat, včetně nutné modernizace stávající úlohy viz. kap. 6. Kapitola je zaměřena na funkčnost programu, zda funguje správně a zároveň na výsledky měření pomocí systému na sběr dat, zda jsou správné a splňují potřebné požadavky.

V první řadě bude zhodnocena modernizaci stávající úlohy v podobě nového PID regulátoru, výměny měřících zařízení a propojení všech komponentů, které zahrnovalo i výrobu potřebné kabeláže. Tento proces byl zásadní pro další vývoj. Je nutno podotknout, že veškerá kabeláž byla nacvakována a upravována podle potřeby přímo v laboratoři.

Dále budou zhodnoceny samotné výstupy z měření, kterým předcházela úspěšná implementace měřících přístrojů do programu pro sběr dat viz. kap. 8.

Všechny tyto výsledky včetně tabulek jsou dostupné v elektronických přílohách P III a IV, které jsou přiloženy k této práci a jsou nadále zpracovány v podobě vzorového protokolu z měření, který je taktéž dostupný v přílohách práce, tj. příloha P II.

Nejprve jsou zde zobrazeny tabulky průměrných hodnot, a poté prezentovány výsledné charakteristiky pro použité senzory.

Tabulka 4. Naměřené a vypočítané hodnoty

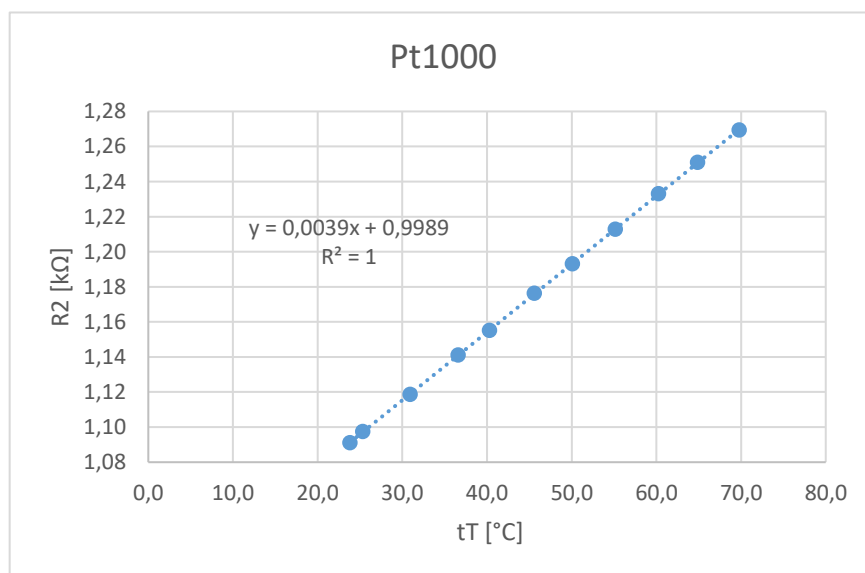
Teplota tělesa		Použité senzory					
		NTC		Pt1000		Termočlánek typ J	
tT [°C]	σ tT [°C]	R1 [k Ω]	σ R1 [k Ω]	R2 [k Ω]	σ R2 [k Ω]	U1 [mV]	σ U1 [mV]
23,80	0,01	10,714	0,003	1,091	0,000	-0,013	0,001
25,32	0,01	9,976	0,006	1,097	0,000	0,072	0,001
30,94	0,16	7,927	0,085	1,119	0,001	0,327	0,021
36,60	0,32	6,248	0,105	1,141	0,001	0,619	0,030
40,29	0,10	5,388	0,029	1,155	0,000	0,826	0,011
45,58	0,19	4,325	0,083	1,176	0,001	1,102	0,020
50,09	0,02	3,615	0,006	1,193	0,000	1,346	0,004
55,17	0,08	3,007	0,011	1,213	0,000	1,608	0,009
60,28	0,14	2,495	0,009	1,233	0,000	1,885	0,011
64,87	0,06	2,123	0,003	1,251	0,000	2,141	0,001
69,78	0,03	1,803	0,005	1,269	0,000	2,399	0,002

Tabulka 5. Naměřené a vypočítané hodnoty

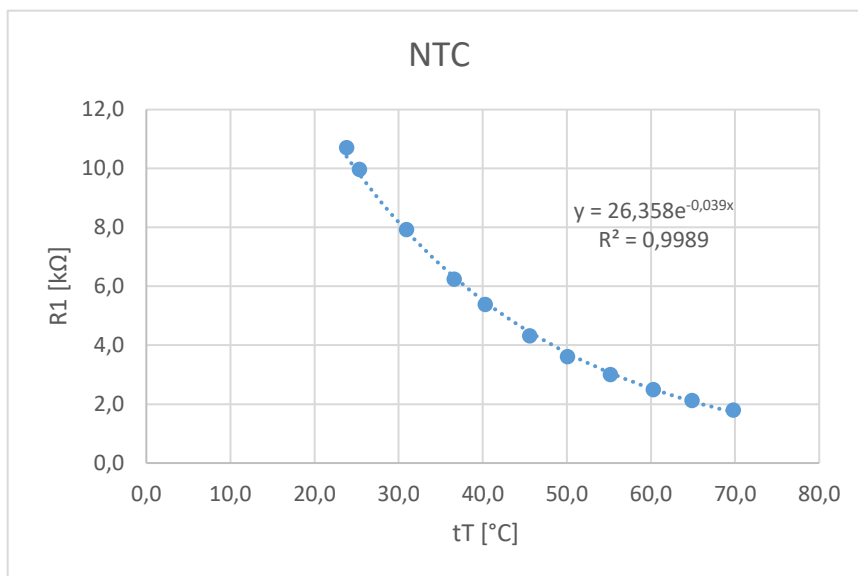
Teplota tělesa		Použité senzory			
		PTC		Termočlánek typ K	
tT [°C]	σ tT [°C]	R1 [kΩ]	σ R1 [kΩ]	U1 [mV]	σ U1 [mV]
24,73	0,01	2,007	0,000	-0,016	0,000
26,14	0,28	2,023	0,003	0,027	0,013
31,68	0,62	2,090	0,009	0,248	0,031
35,32	0,06	2,136	0,001	0,417	0,002
40,62	0,25	2,203	0,003	0,643	0,015
45,43	0,20	2,264	0,002	0,846	0,008
50,10	0,01	2,326	0,002	1,046	0,004
55,05	0,02	2,386	0,002	1,253	0,002
60,09	0,06	2,453	0,002	1,475	0,004
65,00	0,15	2,531	0,002	1,666	0,004
69,48	0,15	2,600	0,002	1,858	0,006

Tyto tabulky byly použity pro vytvoření grafů, které zobrazují charakteristiky pro dané senzory. Tyto tabulky jsou vytvořeny za použití odkazů na buňky, do kterých byl prováděn prvotní zápis hodnot, a je z nich vypočítáván průměr pomocí funkce dostupné přímo v MS Excel.

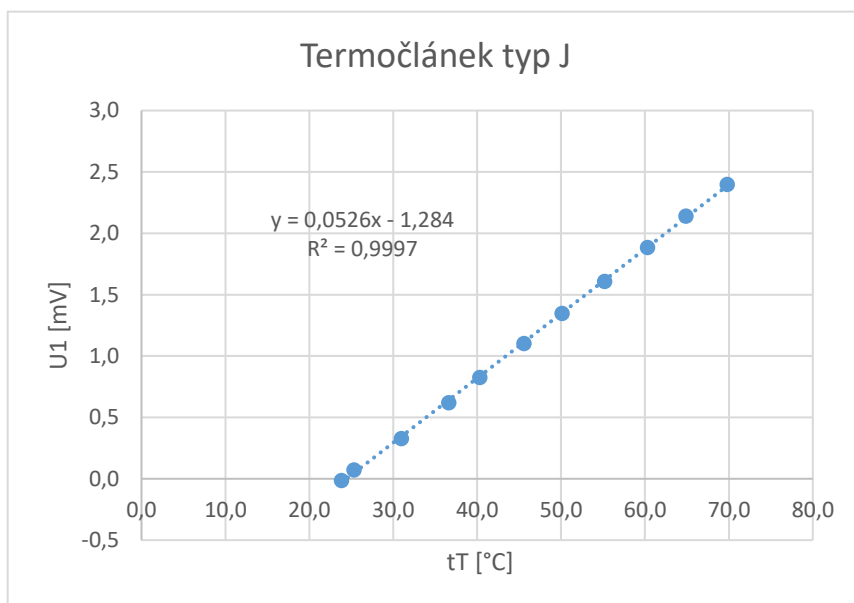
Dále si zde zobrazíme charakteristiky pro použité senzory.



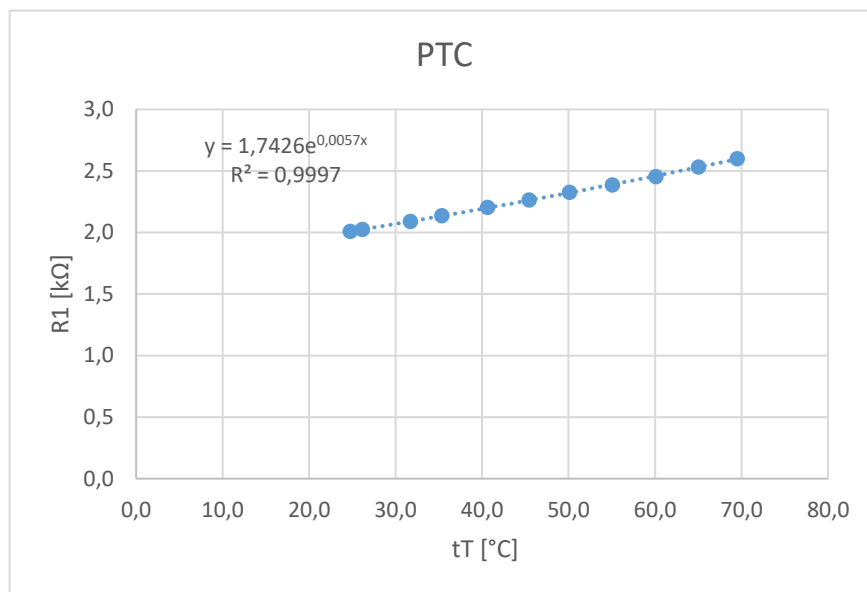
Obrázek 22. Výsledná charakteristika pro senzor Pt1000



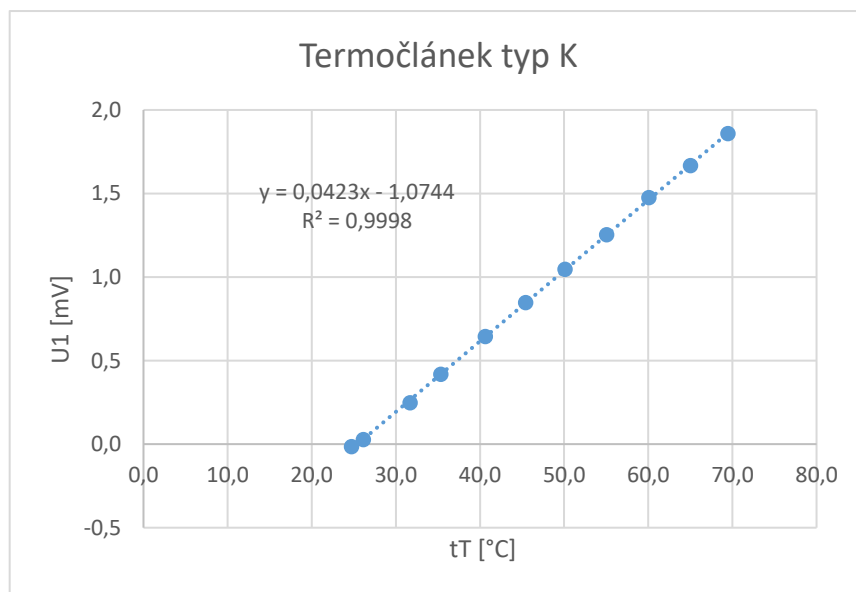
Obrázek 23. Výsledná charakteristika pro senzor NTC



Obrázek 24. Výsledná charakteristiky pro termočlánek typu J



Obrázek 25. Výsledná charakteristika pro senzor PTC



Obrázek 26. Výsledná charakteristiky pro termočlánek typu K

Z přiložených charakteristik lze usoudit, že průběhy charakteristik odpovídají teoretickým očekáváním. Z charakteristiky uvedené v obrázku (Obr. 23), tj. pro termistor NTC, je patrná exponenciálně klesající závislost, zatímco pro termistor PTC, tj. obrázek (Obr. 25), platí exponenciálně rostoucí závislost. Z charakteristik vyobrazené na obrázku (Obr. 22) je patrná lineární závislost senzoru Pt1000. Obrázky (Obr. 24) a (Obr. 26) vyobrazují charakteristiky pro termočlánek typu J a K a z charakteristik lze soudit nelineární závislost těchto senzorů.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout a realizovat systém sběru dat pro laboratorní úlohu měření teploty dotykovým způsobem, která slouží jako podpůrný výukový nástroj pro předmět Senzory na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část práce popisuje principy měření u použitých senzorů teploty a související základní pojmy.

Praktická část se zabývá samotným návrhem a realizací systému pro sběr dat v úloze na dotykové měření teploty. Nejprve bylo nutné se seznámit s úlohou, a proto jsem si přečetl návod k úloze a následně jsem si úlohu i sám změřil. Bylo zjištěno, že měření úlohy je časově neefektivní. Důvodem byla především dvoupolohová regulace teploty měřeného tělesa a ruční zápis naměřených dat. Z uvedeného vyplynulo, že bude nezbytná i částečná modernizace stávající úlohy, a to z pohledu přístrojového i měřicího vybavení. Nejdříve byla stávající regulace teploty nahrazena za efektivnější, tj. prostřednictvím kombinovaného PID regulátoru s dvoupolohovým. Dále byly použity měřicí přístroje, konkrétně stolní multimetry podporující připojení k PC, což bylo nezbytné pro realizaci systému sběru dat. Jako vhodný software pro vývoj uvedeného systému byl zvolen Vee Pro. Jedná se o software, který je pro studenty Fakulty aplikované informatiky známý, protože je součástí studijního plánu. Analogový výstup regulátoru, konkrétně unifikovaný proudový signál 4 až 20 mA, byl použit pro sběr měřených hodnot teploty vyhřívaného tělesa. Za tímto účelem bylo využito Arduino UNO a odpovídající převodník, tj. proudového signálu na napěťový 0 až 5 V. Pro převod napětí na teplotu byl vytvořen program, který byl následně implementován do mikrokontroléru, tj. Arduina, a je součástí elektronických příloh pod označením P VI. Následně byl vytvořen samotný program pro sběr dat. Účelem bylo zefektivnit práci s měřenou úlohou, a to s ohledem na časovou dotaci cvičení. Studenti tak získávají více času na teoretické seznámení s používanými principy, tj. měření teploty dotykovým způsobem, a přitom byl zachován přímý kontakt studentů s měřicím a přístrojovým vybavením dané úlohy. Výstupem z uvedeného programu pro sběr dat jsou zpracované výsledné tabulky a grafické závislosti měřených veličin na teplotě, tj. statické charakteristiky jednotlivých senzorů teploty, v MS Office Excell. Tyto výstupy byly zpracovány v požadovaném rozsahu cvičení předmětu Senzory a slouží studentům pro vypracování protokolu z měření. Na závěr bylo provedeno ověření správné funkčnosti systému na sběr dat, včetně zmodernizované části úlohy. Výstupem

z toho ověření je i protokol z měření, který je součástí přílohy P II. Kompletně naměřená data jsou k dispozici v příloze P III a P IV, které se nacházejí v elektronických přílohách této práce. V těchto přílohách se nachází také program pro systém sběru dat, tj příloha P V. Nedílnou součástí práce je i aktualizovaná část laboratorního návodu, která je uvedena v příloze P I. Rozsah úprav odpovídá pouze zmodernizované části úlohy.

Do budoucna bych doporučil úlohu rozšířit, a to v rámci měření o další senzor Pt100, který se během řešení této práce nepodařilo zajistit. Stávající senzor Pt100 byl použit pro měření teploty za účelem regulace vyhřívaného tělesa.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZEMAN, Radek, 2023. Teplo, teplota, měrná tepelná kapacita. ZEMAN, Radek. *Onlineschool.cz* [online]. [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://onlineschool.cz/fyzika/teplo-teplota-merna-tepelna-kapacita/>
- [2] MÁJOVÁ, Světlana. *Fyzika* [online]. In: . Ostrava, 2006, s. 1-81 [cit. 2023-10-22]. Dostupné z: https://www.sse-najizdarne.cz/dokumenty/studijni_materialy/fyzika.pdf
- [3] TEPLOTNÍ STUPNICE. *Techmania science center* [online]. Plzeň: Techmania Science Center, 2007 [cit. 2023-08-26]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/struktura-latek/teplota/teplotni-stupnice>
- [4] VODIČKOVÁ, Kateřina, 2019. Jaké existují teplotní stupnice? *Meteopress* [online]. Praha 7: Meteopress spol, 1 [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.meteopress.cz/vysvetleni/jake-existuji-teplotni-stupnice/>
- [5] Státní etalon teploty. *Český metrologický institut* [online]. [cit. 2023-10-22]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/node/412>
- [6] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřící obvody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01500-9.
- [7] VOJÁČEK, Antonín, 1997. Měření teploty v průmyslu. HW SERVER S.R.O. *HW.cz* [online]. [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-v-prumyslu.html>
- [8] HRUŠKA, František. *Senzory: fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití (e-book)*. 2. rozš. vyd. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011. ISBN 9788074540967. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/18582>.
- [9] JANÍČEK, RNDr. Jan, 2023. *Příručka Sensit* [online]. 10. vydání. Rožnov pod Radhoštěm [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.sensit.cz/cz/pri-rucka-sensit-5849/>

- [10] ŠPRINGL, Vít. Měření teploty - kovové odporové senzory teploty. *Vyvoj.hw.cz* [online]. 2004, 20. Květen 2004 [cit. 2023-11-27]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-kovove-odporove-senzory-teploty.html>
- [11] MUDRUŇKOVÁ, Anna. *Elektrotechnické materiály I.* [online]. Praha: publi.cz, 2016 [cit. 2024-02-10]. ISBN 978-80-88058-90-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/353/Cover.html>
- [12] KOUTNÝ, Jaroslav a Ivo VLK. Elektronika I učebnice. VYTVOŘENO V RÁMCI PROJEKTU: DIGITÁLNÍ ŠKOLA: ICT VE VÝUCE TECHNICKÝCH PŘEDMĚTŮ, REG. Č. CZ.1.07/1.1.04/01.0137, Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola elektrotechnická, Olomouc 2009
- [13] FRADEN, Jacob. Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications. Fifth edition. Cham: Springer, [2016]. ISBN 9783319193021.
- [14] Co je termočlánek / Termoelektrický snímač teploty? *JAKAR electronics* [online]. 1 [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.jakar.cz/advisor/co-je-termoclanek>
- [15] OMEGA ENGINEERING, INC. Wire Color Codes and Limits of Error. OMEGA ENGINEERING, INC. *Omega Engineering* [online]. [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://www.omega.com/en-us/colorcodes>
- [16] SKOČÍK, Petr, ed., 2020. SENZORY: Návod pro zmodernizovanou část úloh laboratorních cvičení.
- [17] BALÁTĚ, Jaroslav. Automatické řízení. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 8073000202
- [18] DERENZO, Stephen E. Practical interfacing in the laboratory: using a pc for instrumentation, data analysis, and control. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003. ISBN 0521815274.

- [19] PAVLIŠ, Adam, c2024. VÝUKOVÝ KURZ - VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ KEYSIGHT VEE PRO. HTEST [online]. [cit. 2024-04-16]. Dostupné z: https://www.htest.cz/vyukovy-kurz-vyvojove-prostredi-keysight-vee-pro?gad_source=1&gclid=CjwKCAjww_iwBhApEiwAuG6ccNAepg5R7po-AKqzxUqmlssL-a8At6TRCJ1psAqwkTOXXMbpVjGVg7RoC954QAvD_BwE
- [20] ANGUS, Robert B. a HULBERT, Thomas E. VEE Pro: practical graphical programming. London: Springer, c2005. ISBN 1852338709.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Tzv.	takzvaně
Tj.	to jest
Např.	například
Kap.	kapitola
cca	asi, přibližně

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Ukázka rozdílu v teplotních stupnicích [4]	11
Obrázek 2. Tolerance Pt standartních měřících odporů dle IEC [10].....	18
Obrázek 3. Závislost odporu Pt senzoru na teplotě [10].....	18
Obrázek 4. Negastor – závislost odporu na teplotě [9].....	19
Obrázek 5. Pozistor – závislost odporu na teplotě [9]	20
Obrázek 6. Seebeckův jev [6]	21
Obrázek 7. Provedení měřícího konce drátkového termočlásku [9]	23
Obrázek 8. Provedení měřícího konce plášťových termočlásků [9]	23
Obrázek 9. Osazené senzory a jejich měřené výstupní veličiny [16]	26
Obrázek 10. Měření teploty dotykovým způsobem pomocí regulace	26
Obrázek 11. Vyhřívání měřeného tělesa s regulací teploty [16].....	27
Obrázek 12. PID regulátor DIXELL XT141D	30
Obrázek 13. Svorkovnice zapojení regulátoru DIXELL XT141D bez analogového výstupu	31
Obrázek 14. Zapojení PID regulátoru do Arduina přes převodník signálu	32
Obrázek 15. Přímka pro převod napětí na teplotu	33
Obrázek 16. Zapojení svorkovnice regulátoru DIXELL XT141D	33
Obrázek 17. Program implementovaný do Arduina	34
Obrázek 18. Main funkce programu	36
Obrázek 19. Funkce pro čtení dat a export do Excelu	37
Obrázek 20. Nastavení bloku instrumentu.....	38
Obrázek 21. Finální podoba funkce pro čtení a zápis dat.....	39
Obrázek 22. Výsledná charakteristika pro senzor Pt1000	42
Obrázek 23. Výsledná charakteristika pro senzor NTC	43
Obrázek 24. Výsledná charakteristiky pro termočlánek typu J	43
Obrázek 25. Výsledná charakteristika pro senzor PTC	44
Obrázek 26. Výsledná charakteristiky pro termočlánek typu K.....	44

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Státní etalony teploty [5]	12
Tabulka 2. Vlastnosti materiálů pro kovové odporové teplotní senzory [9]	16
Tabulka 3. Teplotní rozsahy termočlánků [15].....	22
Tabulka 4. Naměřené a vypočítané hodnoty	41
Tabulka 5. Naměřené a vypočítané hodnoty	42

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Aktualizovaný návod k laboratorní úloze pro dotykové měření teploty

Příloha P II: Vzorový protokol z měření

Příloha P III: Kompletní tabulky pro senzory Pt1000, NTC a Typ J

Příloha IV: Kompletní tabulky pro senzory Pt1000, PTC a Typ K

Příloha V: Vytvořený program ve Vee Pro

Příloha VI: Vytvořený program pro Arduino UNO

Příloha VII: Tabulka pro výpočet rovnice pro převod napětí zpět na teplotu

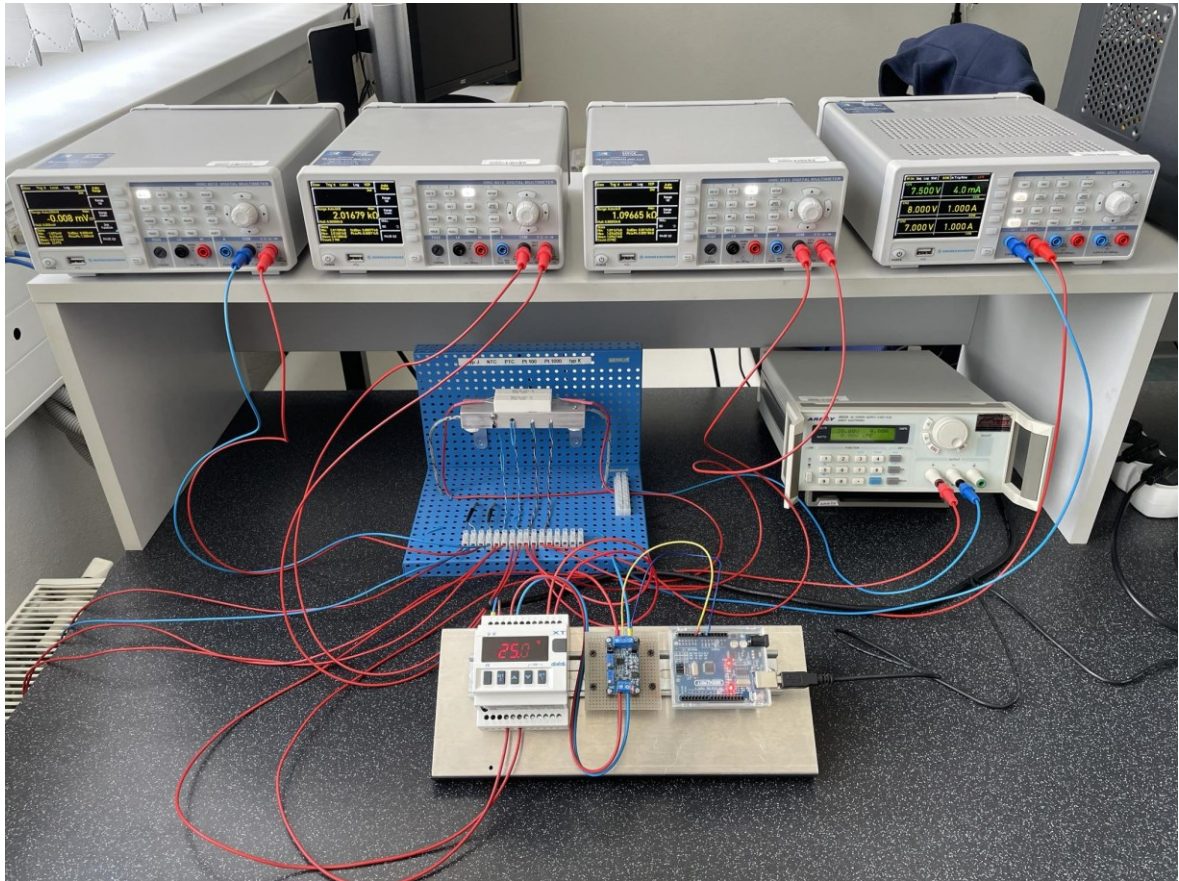
PŘÍLOHA P I: AKTUALIZOVANÝ NÁVOD K LABORATORNÍ ÚLOZE PRO DOTYKOVÉ MĚŘENÍ TEPLoty

Tato příloha je zaměřena na aktualizaci návodu pro úlohu „Měření teploty dotykového způsobem“. Níže jsou uvedeny pouze kapitoly 1.2 a 1.3 z původního návodu [16], ve kterých byly provedeny změny. Aktualizované části textu byly označeny červenou barvou. V kapitole 1.2 byla provedena aktualizace seznamu použitého měřicího a přístrojového vybavení úlohy. Dále kapitola 1.3 byla upravena konfigurace laboratorní úlohy a popis prvotního nastavení PID regulátoru.

1.2 Seznam použitých přístrojů

Rohde & Schwarz - HMC 8043	3 – kanálový programovatelný napájecí zdroj <ul style="list-style-type: none">• Napájení převodníku I/U
Rohde & Schwarz - HMC 8012	Digitální stolní multimetr <ul style="list-style-type: none">• Měření U_J [mV] a U_K [mV]• Měření R_{Pt100} [Ω] a R_{Pt1000} [kΩ]• Měření R_{NTC} [kΩ] a R_{PTC} [kΩ]
Arduino UNO	Mikrokontrolér <ul style="list-style-type: none">• Slouží pro převod napětí zpět na $^{\circ}C$
Dixell XT141D 5C2TU	PID regulátor teploty <ul style="list-style-type: none">• Referenční teplota tělesa• Regulace teploty měřeného tělesa
Převodník I/U	Převodník proudu 4 – 20 mA na napětí 0 – 5 V
ARRAY 3645A	Programovatelný napájecí zdroj <ul style="list-style-type: none">• Napájení topných těles

1.3 Popis a zjednodušené schéma zapojení laboratorní úlohy



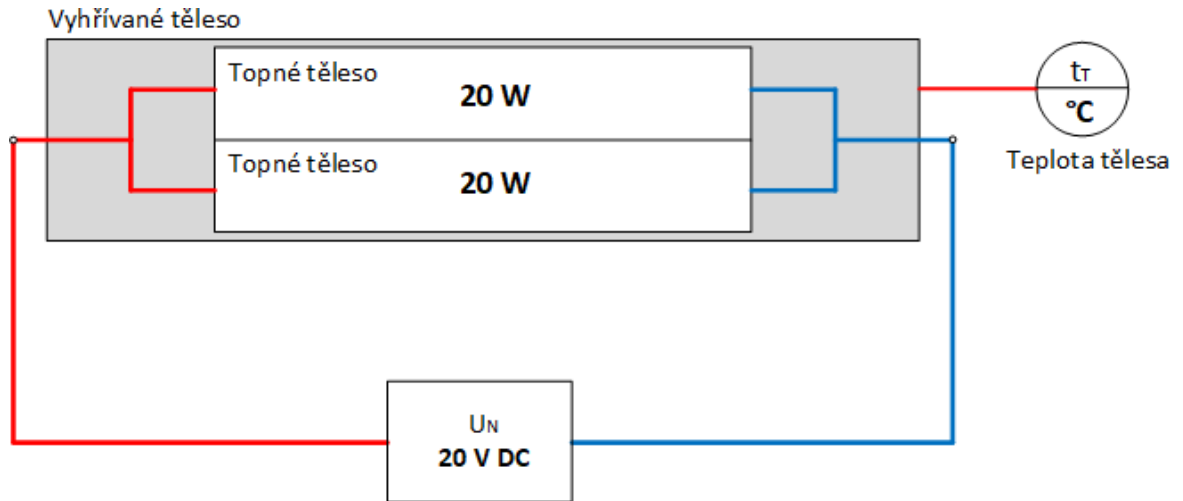
Obrázek 1.1 Měření teploty dotykovým způsobem

Provedení laboratorní úlohy zaměřené na měření teploty dotykovým způsobem je ukázáno na obr. 1.1, kde se nachází ve výchozím zapojení **s PID regulátorem teploty.**

Měřené hliníkové těleso, viz obr. 1.2, je vyhříváno v rozsahu teplot **od 25** do 70 °C prostřednictvím dvou paralelně zapojených odporových topných těles, každé o výkonu 20 W. Topná tělesa jsou realizována metal oxidovými rezistory ROYAL OHM – 281 (20 W, 22 Ω), která jsou napájena z programovatelného zdroje ARRAY 3645A (0-36 V DC, 0 - 3 A), viz obr. 1.1, vpravo dole. Z provozních důvodů je vhodné napájecí zdroj napětově omezit na hodnotu 20 V DC. Regulace teploty měřeného tělesa je v tomto případě prováděna manuálním způsobem, tj. ovládáním výstupu (OUT) zdroje. Aktuální a současně i ustálená (referenční) teplota vyhřívajícího tělesa t_T je **zobrazena na displeji PID regulátoru.**

Poznámka:

vyhřívání hliníkové těleso je od nosné kovové konstrukce, viz obr. 1.1, tepelně izolováno.

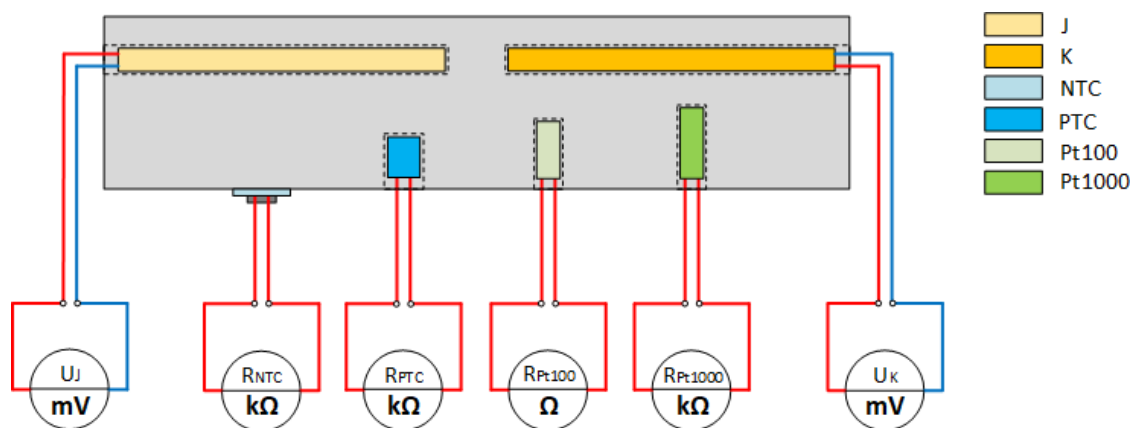


Obrázek 1.2 Vyhřívání měřeného tělesa

Hlavním cílem úlohy je měření statických charakteristik vybraných senzorů teploty. Za tímto účelem je vyhřívání těleso osazeno celkem 6 různými senzory, viz obr. 1.3:

- Odporové senzory teploty
 - o kovové
 - platinové:
 - Pt100 – HERAEUS – MR828 - 32209340
 - Pt1000 – HERAEUS – MR828 - 32209342
 - o polovodičové
 - termistory:
 - NTC (negastor) - EPCOS - B57703M0103G040
 - PTC (pozistor) - NXP Semiconductors - KTY81/210
 - Termoelektrické senzory teploty
 - o termočlánky z obecných kovů:
 - J - GUENTHER - 72-21301142-0300-0060.GGP-J
 - K - GUENTHER - 72-21301141-0300-0060.GGP-K

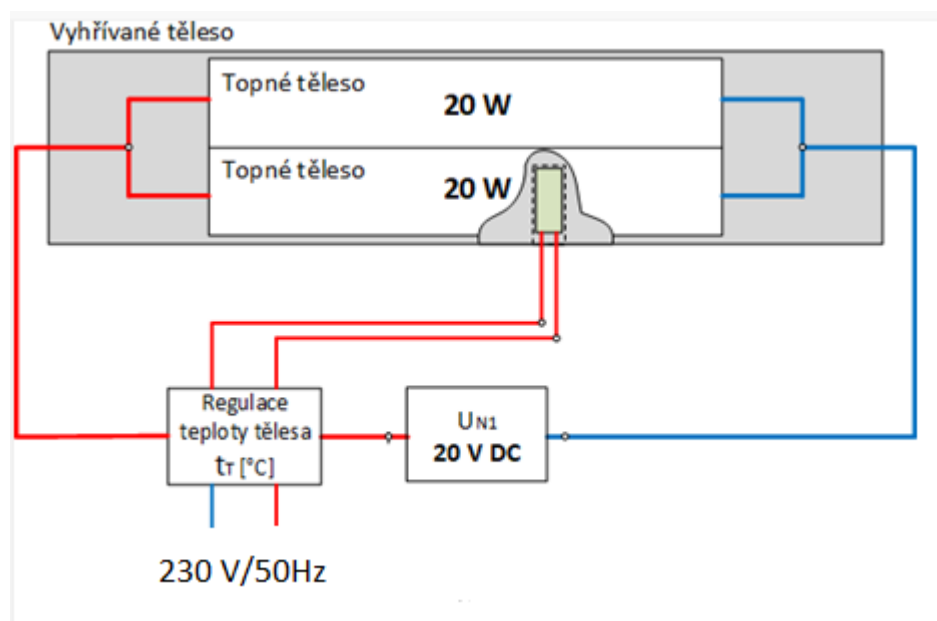
Rozmístění a způsob osazení senzorů je patrný z obr. 1.3, jedná se o pohled na měřené těleso shora. Podrobná technická specifikace jednotlivých senzorů je uvedena v elektronické příloze E-P1.1 až E-P1.4 a po stránce teoretické jsou senzory popsány v kap. 1.4.3.



Obrázek 1.3 Osazené senzory teploty a jejich měřené výstupní veličiny

Výstupní veličiny odporových a termoelektrických senzorů teploty, které jsou označeny na obr. 1.3, konkrétně elektrický odpor R_{Pt100} [Ω], R_{Pt1000} [$k\Omega$], R_{NTC} [$k\Omega$] a R_{PTC} [$k\Omega$], je měřen společně s termoelektrickým napětím, tj. U_J [mV] a U_K [mV] pomocí digitálních stolních multimetrů HMC 8012 od ROHDE & SCHWARZ, viz obr. 1.1.

Na obr. 1.4 je zobrazen způsob vyhřívání měřeného tělesa s regulací teploty, kterou zajišťuje PID regulátor Dixell XT141D 5C2TU.



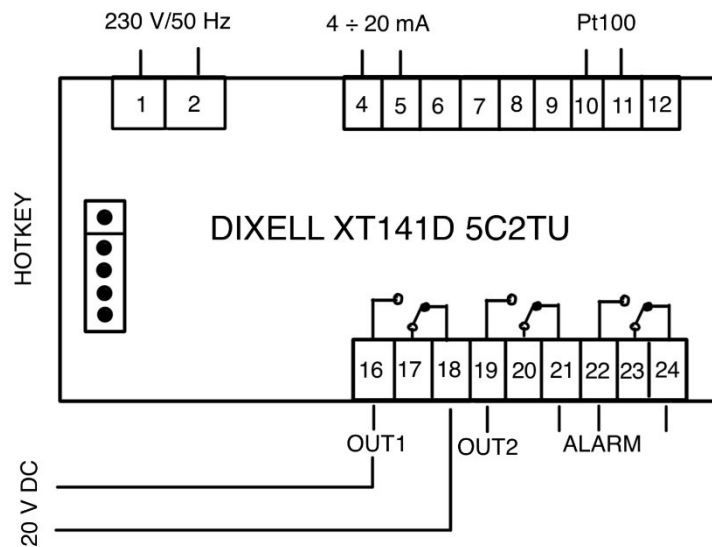
Obrázek 1.4 Vyhřívání měřeného tělesa s regulací teploty

Z obr. 1.4 je zřejmé, že výstupní kanál zdroje ARRAY 3645A je nastaven na 20 V DC a napájí přes OUT1 odporová topná tělesa. Druhý napájecí zdroj, viz obr. 1.1, má výstupní kanál č.1 nastaven na 7,5 V, a zajišťuje napájení převodník I/U. Výstupní signál převodníku je připojen na PIN A0, mikrokontroléru Arduino. Napájení arduina je zajištěno pomocí USB kabelu propojeného s PC. Regulátor je napájen přímo ze sítě nízkého napětí, tj. 230 V/50 Hz. Regulátor sleduje teplotu vyhřívaného tělesa pomocí stávajícího odporového senzoru teploty Pt100, viz obr. 1.3. Regulátor zobrazuje požadovanou (nastavenou) i aktuální (referenční) teplotu tělesa.



Obrázek 1.5 Regulátor DIXELL – XT141D

Na obr. 1.6 je schematicky zobrazena a označená svorkovnice regulátoru Dixell XT141D 5C2TU pro možné připojení napájení regulátoru, analogového výstupu, výstupu napájecího zdroje ARRAY 3645A pro výhřev i zapojení odporového senzoru teploty Pt100.



Obrázek 1.6 Zapojení svorkovnice regulátoru DIXELL XT141D

Další změny byly provedeny až v kapitole 1.5 v části textu, která se zabývá konfigurací regulátoru, a to od bodu c.

- c. Zapněte výstup kanálu zdroje určený pro **vyhřívání topných těles přes regulátor**, tj. pouze tlačítko MASTER (ON/OFF).
- Uvedené nastavení se provádí při první instalaci regulátoru a na pokyn vyučujícího:
 - V menu regulátoru proveďte výběr a nastavení senzoru teploty, který bude využíván pro regulaci teploty vyhřívajícího tělesa. V tomto případě bude zpětnou vazbu regulace zajišťovat odporový senzor teploty Pt100, viz obr. 1.4, kap. 1.3. Pro vstup do programovacího menu regulátoru použijte tlačítka **SET1+▼** (šipka směrem dolů). Obě tlačítka stiskněte a podržte po dobu **3 s**. Pomocí tlačítek **▲▼** pak vyberte parametr **Pbc** (konfigurace senzoru teploty) a stiskněte tlačítko **SET1**. Prostřednictvím **▲▼** nastavte požadovaný typ senzoru teploty, tj. **Pt** (= Pt100). Výběr opět potvrďte stiskem tlačítka **SET1**. **Dále přejděte pomocí ▲▼ na Pr2 a výběr potvrďte pomocí SET1.** Regulátor po vás bude požadovat heslo (**321**) nastavení hesla provedete pomocí **▲▼** a následný stisk tlačítka **SET1** vás posune na další číslici, po zadání poslední číslice vás stisk tlačítka **SET1** posune do programovacího menu **Pr2**. V programovacím menu **Pr2** pomocí **▲▼** nastavte jednotlivé parametry takto: Pb = 10, int = 350, dEt = 5, Sr = 0, rS = 0, Ar = 0, cyt = 10, drb = 0. Pro opuštění

programovacího menu regulátoru použijte tlačítka **SET1 + ▲** (šipka směrem nahoru) nebo vyčkejte **10 s** a opuštění uvedeného menu se provede automaticky. Regulátor teploty **vypněte** a znovu **zapněte**.

- Dále v programovacím menu regulátoru nastavte hystereze u obou jeho výstupů na minimální hodnotu, tj. **0,0 °C**. Pro vstup do menu opět stiskněte a podržte po dobu **3 s** tlačítka **SET1 + ▼**. Pomocí tlačítek **▲▼** nejprve vyberte parametr Hy1 (nastavení hodnoty hystereze pro **OUT1**) a stiskněte tlačítka **SET1**. Změnu hodnoty proveďte prostřednictvím **▲▼** a nastavení opět potvrďte stiskem **SET1**. Nastavení opakujte i pro parametr Hy2. Po dokončení opusťte programovací menu regulátoru stiskem tlačítek **SET1 + ▲** nebo vyčkejte po dobu **10 s** a požadovaná operace se provede automaticky.
- d. Dále postupujte propojením senzorů s měřicími přístroji, pro termočlánky typu J a K využijte digitální stolní multimetr označený č. 29038 a připojeným na com4. Pro připojení senzorů NTC a PTC použijte měřicí přístroj č. 29037 připojený na com6. A pro dvojici senzorů Pt100 a Pt1000 použijte měřicí přístroj č. 29036 připojený na com5. Otevřete si program pro automatizovaný sběr dat. Proveďte výběr požadovaných senzorů a následně teploty, pro kterou chcete provést sběr dat. Stisknutím tlačítka „Start“ při dosažení požadované teploty provedete automatizovaný sběr dat. Dále není nutné opakovat výběr použitých senzorů, pouze změňte výběr požadované teploty a spusťte opět sběr dat po dosažení požadované teploty.
- e. Prostřednictvím regulátoru teploty vyhřívejte měřené těleso v rozsahu teploty od **25** do **70 °C** a to po **5 °C**.
- f. Změnu žádané hodnoty, resp. Nastavení teploty vyhřívaného tělesa proveďte podle následujícího postupu:
 - Na regulátoru stiskněte tlačítka **SET1** a podržte po dobu **2 s**. Následně pomocí tlačítek **▲▼** proveďte změnu nastavení teploty na požadovanou hodnotu a potvrďte opět stiskem **SET1**. V případě nečinnosti po dobu **10 s** se nově nastavená hodnota uloží automaticky.

Poznámka: postup je platný pro použitý výstup regulátoru **OUT1**, viz obr. 1.6 v kap. 1.3. Pro výstup

OUT2 je změna prováděna pomocí tlačítka SET2.

Oba výstupy umožňují nezávislé nastavení i použití.

Dále postupujte podle bodu zadání č. 5 uvedeného v postupu měření stanoveného pro základní, tj. výchozí konfiguraci úlohy.

PŘÍLOHA P II: VZOROVÝ PROTOKOL Z MĚŘENÍ

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky			
Předmět:		Senzory	
Název úlohy:		Dotykové měření teploty	
Datum měření/odevzdání:		30.04.2024/2.05.2024	
Jméno:		Jan Masný	
Skupina:		AP4SE	
Číslo měření:	1	Hodnocení:	

1. Úkol:

Měření a vyhodnocení základních statických charakteristik pro senzory teploty NTC, PTC, Pt100, Pt1000, termočlánky typu J a K.

2. Měření:

Po nastudování teoretických principů u použitých senzorů se seznámte i s jejich technickými parametry, které jsou součástí technických dokumentací, viz původní návod k úloze [16].

Nastavte na zdroji napětí 20 V a proud 1,8 A. Manuálním zapínáním a vypínáním výstupu zdroje regulujte teplotu tělesa. Měření proveďte pro 11 různých teplot, nejprve pro pokojovou teplotu a dále v rozsahu od 25 °C do 70 °C po kroku 5 °C. Pro každou teplotu proveďte automatizovaný sběr dat. Měření a vyhodnocení zpracujte formou protokolu, a to dle požadavků předmětu Senzory.

3. Vypracování:

3.1 Použité přístroje:

Napájecí zdroj: ARRAY 3645A 0 - 36 V/0 – 3 A DC

Digitální stolní multimetr: 3x HMC 8012

Napájecí zdroj pro převodník: HMC 8043

Mikropočítač: Arduino UNO

Převodník I/U: Převodník proudu (4 – 20 mA) na napětí (0 – 5 V)

3.2 Tabulky naměřených a vypočítaných hodnot:

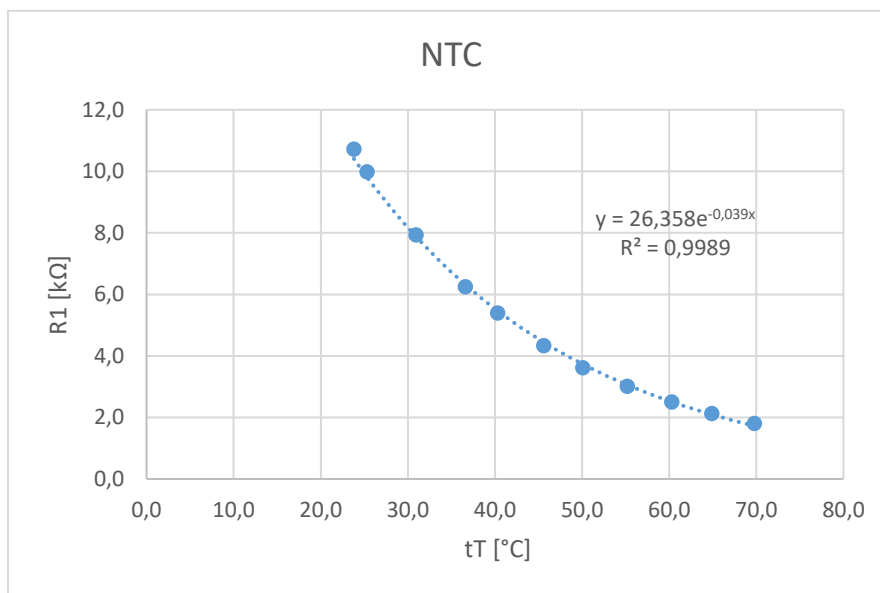
Tabulka 3.2.1 Naměřené a vypočítané hodnoty

Teplota tělesa		Použité senzory					
		NTC		Pt1000		Termočlánek typ J	
tT [°C]	σ tT [°C]	R1 [k Ω]	σ R1 [k Ω]	R2 [k Ω]	σ R2 [k Ω]	U1 [mV]	σ U1 [mV]
23,80	0,01	10,714	0,003	1,091	0,000	-0,013	0,001
25,32	0,01	9,976	0,006	1,097	0,000	0,072	0,001
30,94	0,16	7,927	0,085	1,119	0,001	0,327	0,021
36,60	0,32	6,248	0,105	1,141	0,001	0,619	0,030
40,29	0,10	5,388	0,029	1,155	0,000	0,826	0,011
45,58	0,19	4,325	0,083	1,176	0,001	1,102	0,020
50,09	0,02	3,615	0,006	1,193	0,000	1,346	0,004
55,17	0,08	3,007	0,011	1,213	0,000	1,608	0,009
60,28	0,14	2,495	0,009	1,233	0,000	1,885	0,011
64,87	0,06	2,123	0,003	1,251	0,000	2,141	0,001
69,78	0,03	1,803	0,005	1,269	0,000	2,399	0,002

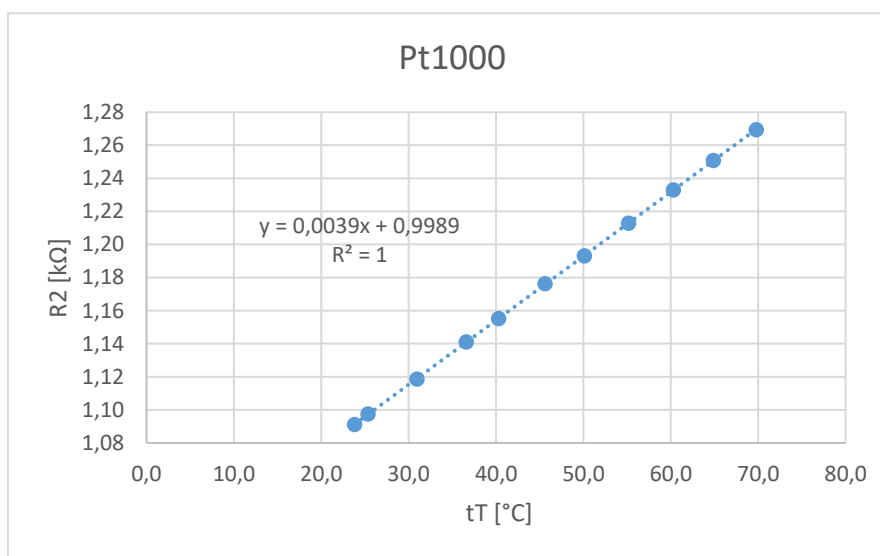
Tabulka 3.2.2 Naměřené a vypočítané hodnoty

Teplota tělesa		Použité senzory			
		PTC		Termočlánek typ K	
tT [°C]	σ tT [°C]	R1 [k Ω]	σ R1 [k Ω]	U1 [mV]	σ U1 [mV]
24,73	0,01	2,007	0,000	-0,016	0,000
26,14	0,28	2,023	0,003	0,027	0,013
31,68	0,62	2,090	0,009	0,248	0,031
35,32	0,06	2,136	0,001	0,417	0,002
40,62	0,25	2,203	0,003	0,643	0,015
45,43	0,20	2,264	0,002	0,846	0,008
50,10	0,01	2,326	0,002	1,046	0,004
55,05	0,02	2,386	0,002	1,253	0,002
60,09	0,06	2,453	0,002	1,475	0,004
65,00	0,15	2,531	0,002	1,666	0,004
69,48	0,15	2,600	0,002	1,858	0,006

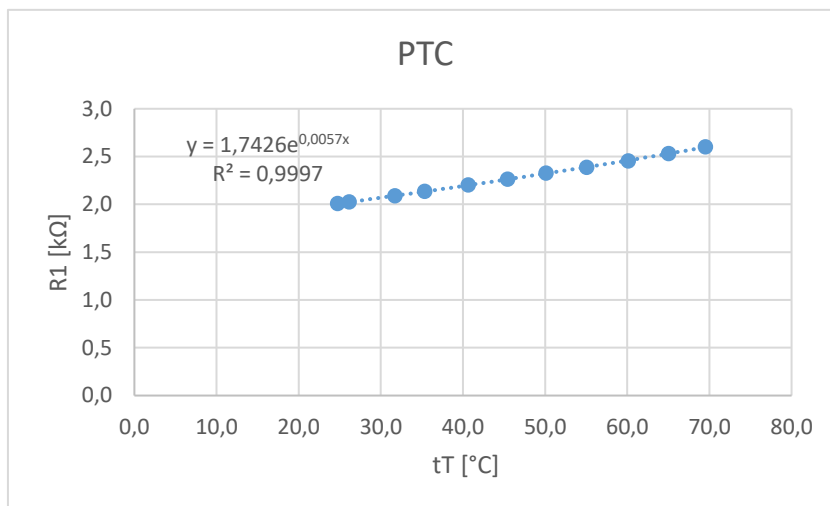
3.3 Grafy:



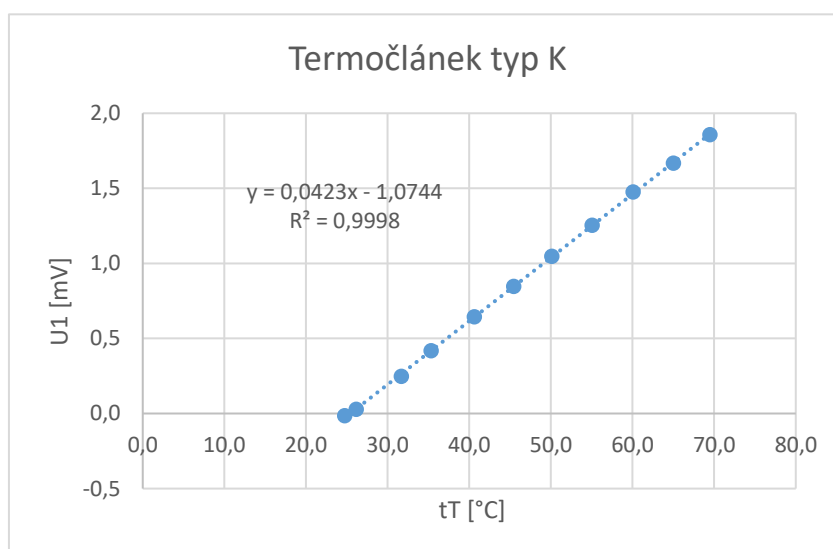
Obrázek 3.3.1 Charakteristika pro termistor NTC



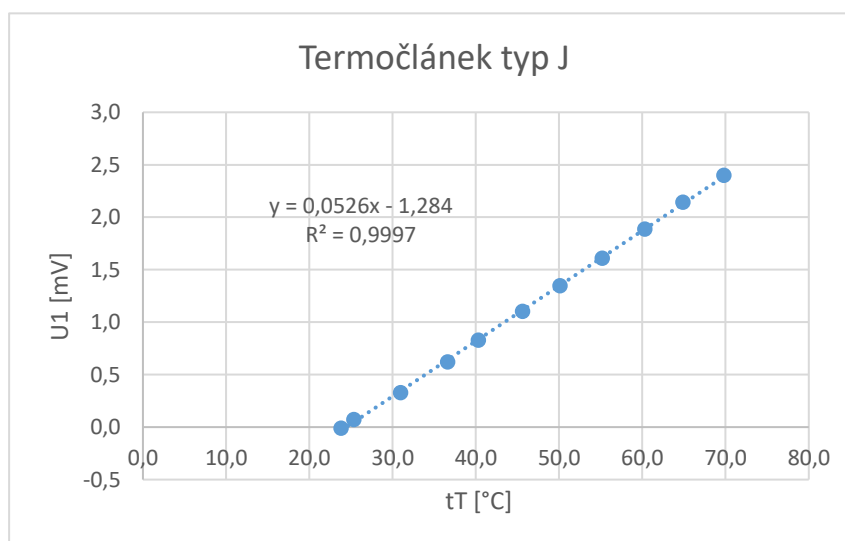
Obrázek 3.3.2 Charakteristika odporového kovového senzoru Pt1000



Obrázek 3.3.3 Charakteristiky pro termistor PTC



Obrázek 3.3.4 Charakteristiky pro termočlánek typu K



Obrázek 3.3.5 Charakteristika pro termočlánek typu J

4. Závěr:

Z přiložených charakteristik lze usoudit, že průběhy odpovídají teoretickým očekáváním. Z charakteristik uvedené v obrázku 3.2.1, tj. pro termistor NTC, je patrná exponenciálně klesající závislost, zatím co pro termistor PTC, tj. obrázek 3.3.3, platí exponenciálně rostoucí závislost. Z charakteristik vyobrazené na obrázku 3.3.2 je patrná lineární závislost senzoru Pt1000. Obrázky 3.3.4 a 3.3.5 vyobrazují charakteristiky pro termočlánky typu J a K a z charakteristik lze soudit nelineární závislost těchto senzorů.