



Středoškolská technika 2024

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Význam teplotní závislosti odporu pasivních elektronických součástek pro měření teploty

Kristýna Kalenská

První soukromé jazykové gymnázium Hradec Králové
Brandlova 875, Hradec Králové

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci „*Význam teplotní závislosti odporu pasivních elektronických součástek pro měření teploty*“ v rámci projektu SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů. Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce jsou shodné. Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Hradci Králové dne _____

Kristýna Kalenská

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala především svému externímu konzultantovi, panu RNDr. Jiřímu Kosovi, který se významně podílel na vzniku této práce. Dále chci poděkovat svému vedoucímu práce, panu Mgr. Tomáši Macháčkovi, za nasměrování a pomoc při psaní. Díky patří i všem ostatním, jež ke vzniku práce jakkoliv přispěli.

Anotace

KALENSKÁ, K. Význam teplotní závislosti odporu pasivních elektronických součástek pro měření teploty. Hradec Králové, 2024. Práce soutěže SOČ na Prvním soukromém jazykovém gymnáziu v Hradci Králové. Vedoucí práce Mgr. Tomáš Macháček. Externí konzultant RNDr. Jiří Kos. 44 s.

Práce „Význam teplotní závislosti odporu pasivních elektronických součástek pro měření teploty“ se zabývá problematikou funkčnosti a principu přístrojů určených k měření teploty. V teoretické části podrobně seznamuje čtenáře s různými druhy teploměrů, které se v dnešní době k měření teploty využívají, i s jejich výhodami a nevýhodami. V rámci části praktické se pak zaměřuje na závislost mezi teplotou a odporem a využitelnost této skutečnosti v praxi. Finálním výstupem tohoto projektu je několik grafů právě závislosti odporu na teplotě u různých druhů elektrických součástek společně s vysvětlením, zda je jejich využití k měření teploty vhodné či nikoliv. Ta nejvhodnější součástka je následně využita v praxi a celý experiment je doplněn o přepočet jejího odporu na teplotu. Práce je určena široké veřejnosti a slouží k pochopení souvislostí i prohloubení znalostí o daném tématu.

Klíčová slova: teploměr, teplota, odpor, rezistor, termistor

Annotation

KALENSKÁ, K. The importance of temperature dependence of resistance of passive electronic components for temperature measurement. Hradec Králové, 2024. Thesis competition SOČ at First Private Language Grammar School of Hradec Králové. Thesis Supervisor Mgr. Tomáš Macháček. External consultant RNDr. Jiří Kos. 44 p.

The thesis „The importance of temperature dependence of resistance of passive electronic components for temperature measurement“ addresses the functionality and principles of devices designed for temperature measurement. In the theoretical part, it provides a detailed overview of various types of thermometers currently used for temperature measurement, along with their advantages and disadvantages. In the practical section, the focus shifts to the relationship between temperature and resistance, exploring the practical utility of this correlation. The final output of this project includes several graphs illustrating the dependence of resistance on temperature for different types of electrical components, accompanied by an explanation of whether their use for temperature measurement is suitable or not. The most suitable component is then applied in practice, and the entire experiment is supplemented by converting the resistance to temperature. The thesis is intended for the general public, aiming to enhance understanding and deepen knowledge of the subject matter.

Keywords: thermometer, temperature, resistivity, resistor, thermistor

Obsah

ÚVOD	8
TEORETICKÁ ČÁST	9
1 HISTORIE	9
2 TEPLOTA	11
2.1 Měření teploty	11
2.2 Teplotní stupnice	11
2.2.1 Celsiova stupnice	11
2.2.2 Fahrenheitova stupnice	12
2.3 Absolutní nula	12
3 TEPLOMĚRY	14
3.1 Kapalinové teploměry	14
3.2 Plynové teploměry	16
3.3 Odporové teploměry	17
3.3.1 Odpor ve vodičích	17
3.3.2 Odpor v polovodičích	17
3.4 Bezdotykové teploměry	17
3.4.1 Infračervené teploměry	17
3.4.2 Laserové teploměry	18
3.4.3 Termokamery	19
4 KALIBRACE TEPLOMĚRŮ	20
4.1 Mezinárodní soustava jednotek	20
4.2 Šíření kalibrace	21
5 REZISTORY A TERMISTORY	22
5.1 Rezistory	22
5.2 Termistory	22
5.2.1 Termistor typu NTC	22
5.2.2 Termistor typu PTC	23
PRAKTICKÁ ČÁST	24
6 VOLBA EXPERIMENTU	24
7 MATERIÁL A METODIKA	25
7.1 Použitý materiál a pomůcky	25
7.2 Metodika	27
7.2.1 Měření závislosti odporu na teplotě	27
7.2.2 Ověření výpočtem	30

8	VÝSLEDKY	31
8.1	Měření závislosti odporu na teplotě	31
8.2	Ověření výpočtem	33
9	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	35
	DISKUSE	36
	ZÁVĚR	38
	LITERATURA	39
	SEZNAM OBRÁZKŮ	41
	SEZNAM TABULEK	42

ÚVOD

Cílem této práce je čtenářům představit téma teploměrů v širokém a obsáhlém slova smyslu. Přesto se domnívám, že veškeré uvedené informace jsou přehledné a srozumitelné, a to i pro laiky v oboru.

Projekt je doplněn o grafy závislosti odporu na teplotě, které demonstrují tyto závislosti u tří různých elektrických součástek, a to včetně výpočtu. Propojuji tak obě části práce a rozšiřuji již nabyté teoretické znalosti.

Téma projektu jsem si zvolila na základě svého zájmu o fyziku. Konkrétně na oblast termiky a teploměrů jsem se zaměřila pro její lehkou představitelnost a praktičnost pro každodenní život. I tak si ovšem myslím, že se každý dozví během čtení nové informace, stejně jako já, když jsem práci vytvářela.

Po celou dobu psaní mě doprovázel RNDr. Jiří Kos. Společně jsme pracovali na experimentu v laboratoři Univerzity Hradec Králové. Významně se podílel na konečné podobě nejen praktické, ale i teoretické části.

Mou snahou je podnítit zájem široké veřejnosti o obor, který je jindy mnohými považován za neoblíbený. Ráda bych toto vnímání fyziky obecně alespoň trochu vylepšila a usiluji o jasné a zároveň podrobné vysvětlení problematiky.

TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE

Prvním přístrojem pro měření teploty byl vynález slavného italského fyzika Galileea Galilee z 16. století. Nazval jej termoskopem a šlo o tenkou skleněnou trubičku dlouhou zhruba 30 cm zakončenou baňkou o velikosti slepičího vejce. Tento vynález využíval tepelné roztažnosti vzduchu: po zahřátí baňky rukou vložil Galilei termoskop otevřeným koncem do nádoby s obarvenou vodou. Jakmile přestal baňku zahřívat, chladnoucí vzduch se smršťoval a do trubičky vystoupala voda. Výška vodního sloupce kolísala dle změn objemu vzduchu v nádobě, který zase ovlivňovala teplota vzduchu. Při oteplení sloupec vody klesal, při ochlazení stoupal. Nevýhodou tohoto přístroje byla absence teplotní stupnice a fakt, že kromě teploty ovlivňoval funkčnost také atmosferický tlak. [1]



Obrázek 1: Termoskop

[2]

Stupnici tomuto přístroji opatřil Ital Santorio Santorio, který taktéž sestrojoval různá měrná zařízení [3]. Dalším zdokonalováním přístrojů k měření teploty se zabývali fyzici jako např. E. Torricelli nebo O. von Guericke [4]. Ten společně s Gasparem Schottem k termoskopu přidal baňky na oba konce a trubičku zahnul do tvaru písmene U. [3]

Do této chvíle se ovšem stále s jakožto teploměrnou kapalinou pracovalo s vodou. Experimentoval s ní i lékař Jean Rey, když roku 1631 sestrojil první skutečný teploměr. Bylo ovšem od počátku zřejmé, že voda není úplně nejvhodnější, jelikož její teplotní roztažnost, kterou do té doby vědci pro měření teploty využívali, nebyla dostatečně velká. [3]

Nejpřesnější a nejpraktičtější přístroj pak zhotovil na začátku 18. století Němec G. D. Fahrenheit [4]. Jako měrnou kapalinu v něm používal zpočátku líh, který později nahradil rtutí [1]. Velmi podobné teploměry tomu Fahrenheitovu používáme dodnes [4].

2 TEPLOTA

Teplota popisuje určitý stav látky, podobně jako u ní můžeme stanovit stav pohybový, magnetický, elektrický a další. Nefyzikálně lze takový stav zjistit subjektivně vlastními pocity [5]. Například dotykem ruky označujeme těleso za horké, vlažné, studené apod. [6]

Výměna tepla je způsobem přenosu energie. U tělesa, které odevzdává energii, platí, že má vyšší teplotu než těleso, které odevzdané teplo přijímá. Díky zjištění, zda se těleso vůči jinému tělesu ohřívá, nebo ochlazuje, přiřazujeme tělesu určitou pozici v posloupnosti zahřátých těles. O teplotě tak můžeme říci, že určuje, pro která tělesa je zkoumané těleso dárcem či příjemcem tepla. [6]

2.1 Měření teploty

Jelikož teplota tělesa souvisí s pohybem molekul a tepla, není přímo pozorovatelná. Pro její měření proto uplatňujeme rozličné nepřímé metody. U takových metod využíváme toho, že při změně teploty látky nastávají i další změny, které již můžeme snadno pozorovat a měřit. Mezi ně patří změny:

- *mechanické* – např. změna délky, tvaru nebo objemu tuhých těles, změna objemu kapalin a plynů, změna tlaku plynů
- *elektrické* – změna elektrického odporu vodičů, vznik termoelektrické síly, některé jevy u polovodičů
- *optické* – změna barvy, indexu lomu, množství vyzážené energie
- *další* – jako například změna skupenství aj. [5]

2.2 Teplotní stupnice

V současné fyzice je za základní stupnici považována termodynamická teplotní stupnice. Na této stupnici měříme tzv. termodynamickou teplotu značenou T , jednu ze sedmi základních veličin SI. Jednotkou termodynamické teploty je kelvin se značkou K. [4]

2.2.1 Celsiova stupnice

V běžném životě se pak setkáváme zejména se stupnicí Celsiovou. Pro sestrojení takové stupnice se využívá dvou základních stavů při tlaku $p_n = 1,01325 \cdot 10^5$ Pa:

1. Rovnovážný stav chemicky čisté vody a jejího ledu – takový stav má na Celsiově stupnici hodnotu $t_0 = 0$ °C.
2. Rovnovážný stav chemicky čisté vody a její syté páry – takový stav má na Celsiově stupnici hodnotu $t_{100} = 100$ °C. [4]

Stupnici na kapalinových teploměrech následně rozdělujeme mezi těmito teplotami na 100 shodných dílků s tím, že každý jeden dílek odpovídá rozdílu jednoho teplotního Celsiova stupně. Pokud bychom chtěli převádět mezi kelviny a stupni Celsia, velikost jednoho dílku na Kelvinově stupnici je shodná s jedním dílkem na stupnici Celsiově. Liší se pouze počátkem a jejich vztah je následující [4]:

$$0\text{ K} \approx -273,15\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

Protože, jak bylo řečeno, velikost jednoho kelvinu je stejná jako velikost jednoho Celsiova stupně, zároveň platí i tento vztah:

$$1\text{ }^{\circ}\text{C} \approx 1\text{ K} \quad (2)$$

Pokud tak chceme převádět teplotu mezi těmito dvěma stupnicemi, stačí přičíst, případně odečíst číslo 273,15. [4]

2.2.2 Fahrenheitova stupnice

Další známou teplotní stupnicí je stupnice Fahrenheitova. Dnes se tato stupnice oficiálně používá především v USA. Již zmiňovaný fyzik při jejím vytváření použil jako nultý bod nejnižší teplotu, jaké se mu podařilo dosáhnout, a sice teplotu směsi chloridu amonného s ledem a vodou. Následně jako 100 stupňů označil běžnou teplotu lidského těla (tato teplota ve skutečnosti odpovídá hodnotě přibližně 37,8 °C). Pro tuhnutí čisté vody tak dostal teplotu 32 °F a pro bod varu 212 °F. Při převodech mezi Celsiovou a Fahrenheitovou stupnicí platí vztah:

$$F = \frac{9C}{5} + 32 \quad (3)$$

Kde ve vzorci 3 je F počet stupňů Fahrenheita a C počet stupňů Celsia. [1]

2.3 Absolutní nula

Již na počátku 18. století vyslovil francouzský vědec G. Amontons myšlenku, že musí existovat nějaká nejnižší teplota, pod kterou dále nelze žádnou látku ochladit. Dnes tuto hodnotu známe a říkáme jí absolutní nula. Odpovídá 0 K a je nedosažitelná – při takovém stavu by se zastavil veškerý tepelný pohyb částic. [7]

Definice absolutní nuly vychází z tzv. třetího termodynamického zákona. K tomuto poznatku docházíme i společně s formulací stavových zákonů plynů, které vyslovují souvislost mezi teplotou, tlakem a objemem plynů. Podle nich by při určité teplotě tlak či objem dosáhly nulové nebo dokonce záporné hodnoty. Jelikož záporný tlak nebo objem u plynů postrádá fyzikální smysl, zavedla se teplotní mez, právě absolutní nula. [7]

Absolutní nuly tedy nelze dosáhnout konečným počtem kroků, nicméně je možné se jí libovolně přiblížit. To zkoumá kryogenika – fyzikální obor zabývající se dosa-

hování velmi nízkých teplot. V minulosti bylo postupně takových teplot dosahováno různými způsoby, například pomocí:

- zkapalněných izotopů helia ^4He (do 4,2 K) a ^3He (do 3,2 K) a čerpáním par těchto kapalin až do asi 0,3 K
- moderních tepelných strojů – kryogenerátoru Gifford-McMahonova typu nebo pulzních trubic do teploty cca 3 K
- rozpouštění ^3He v ^4He do zhruba 2 mK
- Boseho-Einsteinovy kondenzace atomů na úrovni nanokelvinů [7]

Stavu BEC (Boseova-Einsteinova kondenzátu) se vědcům podařilo dosáhnout poprvé v roce 1995. Tehdy realizovali magnetooptickou past, což je zařízení využívající principu laserového ochlazování, kdy laserový paprsek zamezuje pohybu atomů. Díky tomuto postupu se vědci dostali až na teploty nižší než 1 mK. Nejprve experimentovali s atomy rubidia, od té doby dosáhli BEC i se sedmi dalšími prvky včetně sodíku. [7]

Sodík posloužil i při dalších pokusech. V roce 2003 se vědci díky technicky náročnému experimentu dostali na ještě nižší hodnoty. Nejprve uchopili několik milionů atomů sodíku pomocí laserových paprsků. Pak byly tyto atomy „lapy“ do magnetickooptické pasti. Následoval proces adiabatické dekomprese, při němž odstranili teplejší atomy. Poté v pasti snížili tlak a zredukovali počet atomů. Tím dosáhli až neuvěřitelných 450 pK. [7]

3 TEPLoměRY

Jako *teploměr* označujeme přístroj určený k měření teploty [5]. Využíváme je v každodenním životě i ve všech možných odvětvích průmyslu. Jedním z nejdůležitějších je medicína. V lékařství se teploměry používají k měření tělesné teploty různými způsoby (v podpaží, v uchu, ústně pod jazykem nebo bezkontaktně na čelo). Určité profesionální měřicí přístroje jsou nezbytné i ve farmaceutickém průmyslu. Vakcinační teploměry mohou například monitorovat teplotu skladování a přepravy citlivých předmětů jako jsou vakcíny nebo léky. V továrnách se setkáme s teploměry průmyslovými. Ty mají rozličné funkce podle toho, kde teplotu měří, od kontroly teploty v místnostech po chladírny. Nelze opomenout také potravinářství. Ve stravování jsou nádobím jako každé jiné. Slouží nejenom ke kontrole teploty při vaření, ale především k zaručení bezpečnosti a hygieny. V neposlední řadě existují teploměry určené pro vědecké účely. Mezi ty řadíme například meteorologické stanice, které si může každý pořídit na vlastní zahradu a znát tak venkovní teplotu z pohodlí domova. [8]

Měření pomocí takových zařízení spočívá v právě již zmíněných nepřímých metodách [5]. Proces objektivního měření se zakládá na skutečnosti, že teploty těles uvedených do vzájemného styku se po dostatečně dlouhé době vyrovnají a nastane tzv. rovnovážný stav. Tento stav značí, že jsou hodnoty stavových veličin soustavy rovny hodnotám těchto veličin v okolním prostředí a zároveň jsou ve všech místech soustavy shodné. Lze tedy říci, že je-li izolovaná soustava v rovnovážném stavu, pak jsou teploty všech těles uvnitř této soustavy stejné – nachází se ve stavu vzájemné tepelné rovnováhy. [4]

Stav tepelné rovnováhy můžeme označit za tranzitivní. Tzn., jsou-li ze 3 těles A, B, C tělesa A a B ve vzájemné tepelné rovnováze a současně tělesa B a C jsou ve vzájemné tepelné rovnováze, pak jsou také tělesa A a C v takové rovnováze. Tomuto poznatku říkáme také nultá věta termodynamická nebo nultý termodynamický zákon. [4]

Během měření teploty uvádíme do vzájemného styku těleso, jehož teplotu chceme zjistit, a těleso srovnávací, tedy teploměr. Po vytvoření rovnovážného stavu soustavy je tedy teplota tělesa stejná jako teplota teploměru. Přitom předpokládáme, že tepelná kapacita teploměru je oproti tepelné kapacitě měřeného tělesa natolik malá, že během vyrovnávání teplot teplotu tělesa prakticky neovlivní, a udává tak její původní hodnotu. [4]

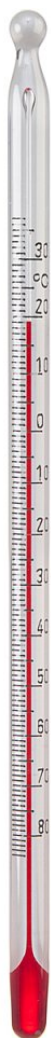
3.1 Kapalinové teploměry

Tento druh teploměrů se zakládá na objemové roztažnosti kapalin. Samotný přístroj se skládá z baňky, skleněné kapiláry naplněné teploměrnou kapalinou a stupnice. S měnící se teplotou se mění právě objem a tedy i poloha hladiny teploměrné kapaliny v kapiláře, a snadno tak odečítáme výslednou teplotu. Teploměrnou kapalinu volíme

s ohledem na předpokládaný obor měřených hodnot. [9]

Dříve hojně využívanou kapalinou do teploměrů byla rtuť. Mezi její výhody patří neprůhlednost, poměrně velká teplotní roztažnost a dobrá tepelná vodivost. Jejích vlastností lze k měření teploty využít mezi $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy zamrzá, a $357\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy se vaří [9]. Výroba a prodej rtuťových teploměrů byly ukončeny Evropskou unií v roce 2009 za účelem ochrany životního prostředí, jelikož rtuť je toxický kumulativní jed, který tělo vylučuje jen velmi pomalu. [10]

Pro měření nižších teplot je pak vhodnější líh, protože tuhne až při $-114\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nevýhodou je ovšem jeho bezbarvost, pokud ho tedy chceme využít k výrobě teploměru, je nutné ho nejprve obarvit. Podobně je tomu i v případě pentanu, který tuhne při teplotě $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ a taktéž se někdy využívá jako teploměrná látka. [9]

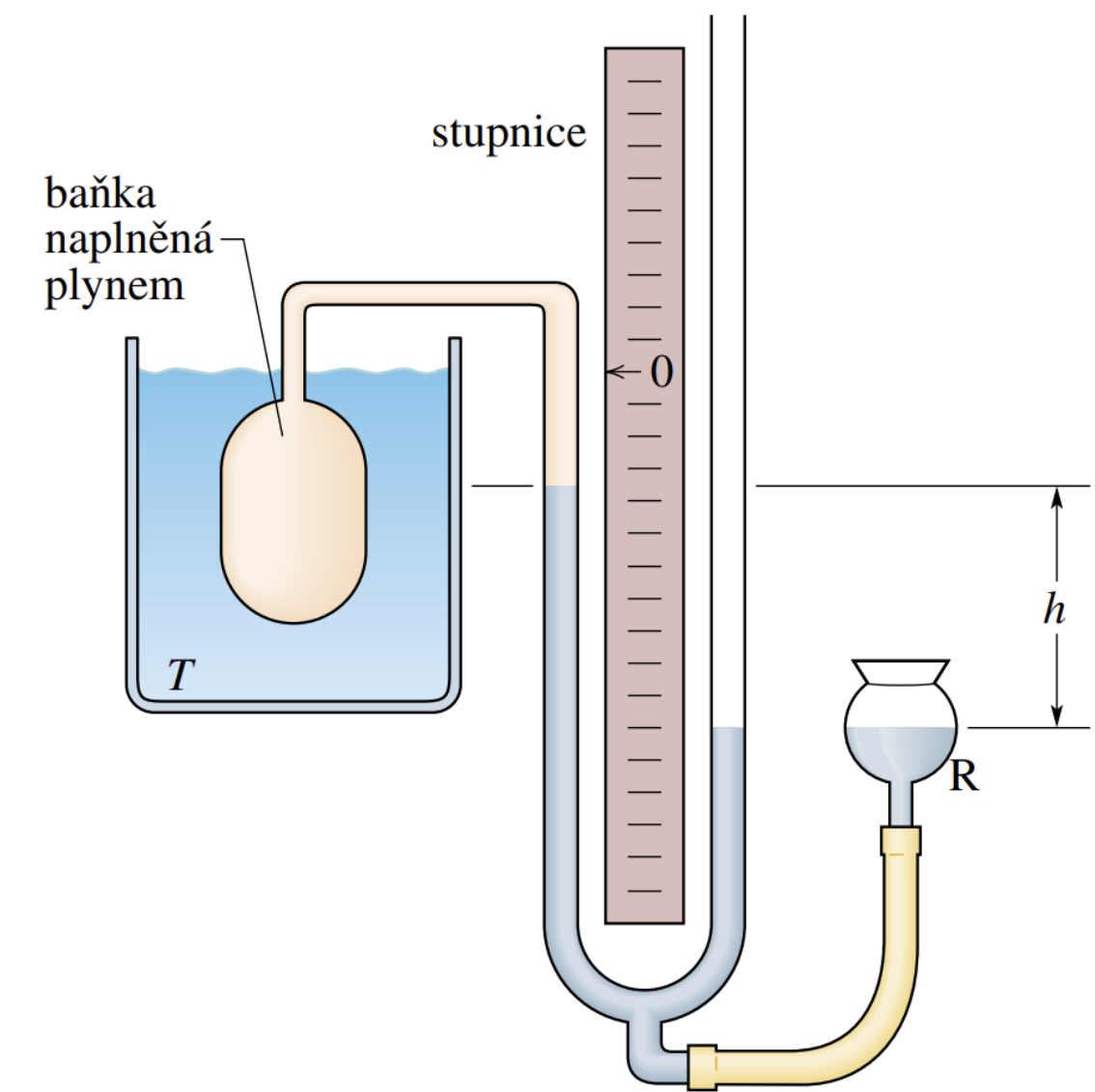


Obrázek 2: Kapalinový teploměr
[11]

3.2 Plynové teploměry

Konstrukce plynových teploměrů s konstantním objemem sestává z baňky (nejčastěji skleněné, případně z taveného křemene či platiny) naplněné plynem a hadičky, která spojuje baňku se rtuťovým manometrem. [12]

S rostoucí teplotou v plynu v baňce roste tlak a vytlačuje rtuť v hadičce. Zvedáním a snižováním zásobníku rtuti (R) udržujeme její hladinu v levé trubici ve stálé poloze, čímž je zajištěno, že zůstává objem uzavřeného plynu stejný. Jakmile se rtuť ustálí, odečítáme teplotu pomocí stupnice a rozdílu výšek rtuti v obou ramenech trubičky. [12]



Obrázek 3: Popis plynového teploměru
[12]

3.3 Odporové teploměry

Odporové teploměry fungují na principu změny elektrického odporu materiálu v závislosti na teplotě. Důležitou vlastností vodičů i polovodičů je právě možnost ovlivnit jejich vodivost vnějším energetickým zásahem, a to například ohříváním nebo ozařováním. Podle druhu použitého materiálu se může odpor s rostoucí teplotou buď zvyšovat, nebo snižovat. [5]

3.3.1 Odpor ve vodičích

Ve vodičích se při vyšší teplotě jejich odpor zvyšuje. Naopak při nižších teplotách klesá a odpor některých kovů jako např. cínu, olova, zinku nebo hliníku v blízkosti absolutní nuly začne prudce klesat a stává se téměř nulovým dříve, než dosáhne právě 0 K. Tomuto stavu vodičů říkáme supravodivost. [9]

3.3.2 Odpor v polovodičích

U polovodičů je tomu přesně naopak – s rostoucí teplotou jejich odpor klesá. Mezi čisté neboli vlastní polovodiče řadíme např. bor, křemík, fosfor, germanium nebo selen. Za předpokladu, že je látka naprosto čistá a její teplota je 0 K, pak se všechny valenční elektrony podílejí na vazbách a žádný elektron není volný, tudíž je látka dokonalým izolantem. [9]

Elektron však lze z vazby uvolnit dodáním potřebné energie. Tuto energii může elektron získat právě kupříkladu zahřátím látky na určitém místě. Uvolněný elektron putuje chaoticky skrze krystalovou mřížku polovodiče a v místě jeho původní vazby vzniká tzv. kladná díra. Na toto místo pak může snadno přeskočit elektron z jiné sousední vazby. Tím se původní díra zaplní a vzniká díra jiná atd. Díru je možno považovat za zdánlivou částici s kladným nábojem, která se chaoticky pohybuje krystalem. Připojíme-li pak krystal v takovém stavu ke zdroji napětí, vznikne v krystalu elektrické pole a pohyb elektronů a děr se usměrní – elektrony se pohybují proti směru pole, díry ve směru pole. V tuto chvíli se krystal stává vodivým. [9]

3.4 Bezdotykové teploměry

Bezdotykových teploměrů můžeme využít k měření tělesné teploty, ale i teploty např. zvířat, pokrmů nebo vzduchu. Patří mezi nejmodernější teploměrné přístroje a jejich největší výhodou je právě bezkontaktnost. Díky ní je měření pohodlné a hygienické, protože nemůže docházet k přenosu bakterií. Tyto teploměry poskytují rychlé a poměrně přesné výsledky – jejich odchylka bývá pouze 0,2 °C. Jejich nevýhodou je pak vyšší pořizovací cena. [13]

3.4.1 Infračervené teploměry

Bezkontaktní infračervený lékařský teploměr funguje na principu skenování tepla, které z lidského těla vychází v podobě infračerveného záření. Skenování probíhá

ze vzdálenosti 3 až 15 cm. Základní modely určené k měření tělesné teploty mívají rozsah od 30 °C do 45 °C, k dostání jsou však i dražší modely s rozsahem od 0 °C do 100 °C vhodné právě pro zjišťování teploty vody, pokrmů a podobně. [13]

3.4.2 Laserové teploměry

Laserové teploměry jsou ve své podstatě také typem infračerveného teploměru. Laser, jenž je součástí stejnojmenného teploměru, poskytuje při měření snadný prostředek k namíření teploměru na zkoumaný objekt. [14]

Jak bylo již řečeno, zařízení skenuje infračervené záření. To vzniká následovně – molekuly, které tvoří předměty, neustále vibrují. Čím je molekula teplejší, tím rychleji vibruje a vytváří neviditelné světlo ve formě infračervené energie. Ke zobrazení teploty teploměr převádí naměřenou infračervenou energii na elektrický signál, který následně zobrazí jako hodnotu teploty. [14]

Infračervená energie má delší vlnovou délku než viditelné světlo a je součástí elektromagnetického spektra světla, které zahrnuje také mikrovlny, rádiové vlny, ultrafialové světlo a gama a rentgenové záření. Infračervenou energii předmětů lze měřit třemi způsoby: jako energii přenášenou, odraženou nebo vyzařovanou. Teploměry při měření pracují s energií vyzařovanou. Infračervené teploměry zachycují vyzařovanou infračervenou energii měřených objektů na detektor. K tomu používají soustavu čoček a zrcadel. Detektor převádí vyzařovanou infračervenou energii na elektrický signál, který teploměr převede na digitální odečet teploty. [14]

Protože každý infračervený teploměr detekuje jak vyzařovanou, tak i vysílanou a odraženou infračervenou energii, musí být kalibrován podle pokynů výrobce pouze pro odečet vyzařované infračervené energie. Vyzařovaná infračervená energie je totiž jedinou z těchto tří energií, která může poskytnout přesné údaje o teplotě povrchu. Pokud chceme teploměr použít pro vícero druhů objektů, je zapotřebí průvodce pro vyzařovanou infračervenou energii. Většina objektů má vyzařovanou infračervenou energii 0,95 (tedy 95 %). Některé objekty však mají o něco vyšší, nebo naopak nižší vyzařovanou infračervenou energii. Průvodce umožňuje nastavení infračerveného teploměru tak, aby odečítal energii vyzařovanou konkrétním objektem a dosáhli jsme co nejpřesnějšího výsledku měření. [14]

Laserové teploměry se používají zejména k měření teploty příliš horkých či studených předmětů, předmětů na těžko dostupných místech nebo nebezpečných materiálů. Pomocí laserového zaměřovače uživatel objekt zaostří. Nejlepších výsledků dosáhneme při měření tmavě zbarvených objektů. U lesklých povrchů může dojít ke zkreslení zobrazené hodnoty mírou infračerveného záření, které se odrazí zpět do teploměru. Při zjišťování teploty takových předmětů se doporučuje část plochy přelepit například černou páskou, nechat ji zahřát (popřípadě ochladit) na okolní teplotu a pak teprve měřit tuto oblast. [14]

3.4.3 Termokamery

Termokamery, celým názvem termovizní kamery, fungují na principu zobrazování tepelného záření, které vyzařuje každý objekt. Princip je v podstatě analogický k záznamu obrazu na film nebo činnosti v lidském oku. V obrazové rovině jsou umístěny světlocitlivé elementy, které obraz zachycují. Čočky pro termovize jsou vyráběny z germania, safíru, případně dalších propustných materiálů, protože sklo nepropouští celou oblast vlnových délek tepelného záření. [15]

Obrovskou výhodou tohoto teploměrného zařízení je zobrazování bez nutnosti osvětlení objektů nebo přísvitů. Naopak jedním z problémů, se kterými se můžeme při měření setkat, je skutečnost, že tepelné záření vyzařuje úplně každý objekt, tedy i objímky objektivu, zobrazovací čočky a dokonce detektor sám. Aby se zabránilo zobrazování těchto nežádoucích elementů, je nutno systém důsledně odclánět nezářivými clonami, případně zajistit dodatečné chlazení detektoru. [15]

4 KALIBRACE TEPLOMĚRŮ

Abychom zajistili správnou funkčnost teploměrných přístrojů, je potřeba je pravidelně kalibrovat. Kalibrace je obecně proces porovnávání testovaného zařízení neznámé hodnoty s referenčním standardem, jehož hodnotu známe. Dalším krokem je pak seřízení nebo oprava zařízení, aby se existující chyba co nejvíce snížila. [16]

Vztáhneme-li proces přímo na oblast teploměrů, jedním ze základních příkladů je provedení kalibrace měřením teploty teploměru ve vařící vodě. Hodnota bodu varu je známým údajem (100 °C, případně 212 °F). Tímto způsobem zjistíme chybu testovaného teploměru. Jelikož určování přesného okamžiku varu vody může být pouhým okem nepřesné, přesnějšího výsledku lze dosáhnout umístěním již kalibrovaného referenčního teploměru do vody. [16]

4.1 Mezinárodní soustava jednotek

Měřicí standardy, podle kterých kalibrujeme naše zařízení, vycházejí z Mezinárodní soustavy jednotek (zkráceně SI, z francouzského *Système International d'Unités*). Jedná se o mezinárodní desítkový systém měr a vah, který je odvozený a zároveň rozšiřuje metrický systém jednotek. Byl přijat 11. Generální konferencí pro váhy a míry v roce 1960. [17]

Rapidní vývoj a pokrok ve vědě a technice během 19. a 20. století se postaral o vznik mnoha vzájemně se překrývajících systémů jednotek pro měření. Vědci často improvizovali tak, aby prakticky uspokojili potřeby svých oborů. První mezinárodní systém, který se snažil napravit vzniklou situaci, se nazýval systém metr-kilogram-sekunda (MKS). Generální konference pro váhy a míry ho v roce 1948 doplnila o tři další jednotky: jednotku síly (newton), jednotku energie (joule) a jednotku výkonu (watt). [17]

Soustava přijatá roku 1960 sestávala ze 7 základních jednotek: pro délku, hmotnost, čas, elektrický proud, svítivost, látkové množství a termodynamickou teplotu. Tyto jednotky vycházely z přírodních zákonitostí, které se nemění, jako je kupříkladu pro metr rychlost světla za 1/299 792 458 sekundy. [17]

Výjimku tvořila hmotnost, pro kterou na Mezinárodním úřadě pro míry a váhy ve francouzském městě Sèvres uchovávali platinovo-iridiový prototyp odpovídající 1000 gramům. [17] Ochránění tohoto artefaktu před vnějšími vlivy, jež by mohly hmotnost jakkoli nepatrně změnit, bylo natolik důležité, že byl pečlivě uložen pod dvojitým skleněným krytem, který k otevření vyžadoval tři různé klíče. Navzdory obrovskému úsilí tento prototyp přesto po určitém čase ztratil část své hmoty odpovídající zhruba zrnku písku, což bylo nemyslitelné. [16]

Musela proto nastat změna. Podoba této soustavy jednotek byla upravena naposledy v květnu roku 2019. Některé jednotky byly redefinovány pomocí významných konstant. Aktuálně je tak kilogram vyjádřen Planckovou konstantou, ampér ele-

mentárním nábojem, kelvin díky Boltzmannově konstantě a mol vychází z konstanty Avogadrovy. [17]

Ostatní jednotky jsou potom odvozené z těchto základních. Na tomto principu tak lze každou jednotku algebraicky vyjádřit kombinováním základních jednotek za účelem vytvoření derivačních jednotek důležitých pro kalibraci. [16]

Klíčovou výhodou řízení SI na celosvětové úrovni je interoperabilita kalibrace. To znamená, že na celém světě používáme stejný systém měření i definice. To umožňuje někomu z jedné části světa koupit si například 1-ohmový rezistor na opačném konci planety a být si jistý, že bude tato hodnota odpovídat i jeho domácím standardům a naopak. K interoperabilitě potřebujeme mít všechna naše měření sledovatelná podle stejné definice. [16]

4.2 Šíření kalibrace

Představme si SI na vrcholku pomyslné pyramidy. Hned pod ní stojí Mezinárodní úřad pro míry a váhy (BIPM) se sídlem ve Francii, který koordinuje celosvětový systém měření a má za úkol zajistit jeho celosvětové sjednocení. Zároveň pomáhá předávat SI do všech úrovní použití v rámci ostatních států od podpory vědeckých výzkumů až po průmyslovou výrobu a mezinárodní obchod. [16]

BIPM zároveň přímo spolupracuje s národními metrologickými instituty všech členských států, případně zemí snažících se o propagaci používání SI. Protože však není pro každého cenově dostupné, efektivní, a dokonce ani možné pracovat přímo se svými metrologickými instituty, používají se pro kalibraci primárních kalibračních přístrojů nebo standardů kalibrační standardy na úrovni těchto institutů. Primární kalibrační přístroje (standardy) se dále používají ke kalibraci těch sekundárních, které pokračují přes pracovní standardy až k potřebným průmyslovým oblastem. Šíření kalibrovaných zařízení je tak efektivní a cenově výhodné. [16]

Tato řetězcová návaznost kalibrace je často vyžadována například u zdravotnických zařízení a ve farmaceutickém, leteckém, vojenském a obranném průmyslu a také v mnoha dalších výrobních odvětvích. [16]

5 REZISTORY A TERMISTORY

Rezistory i termistory řadíme mezi elektronické součástky. To jsou souhrnně prvky, ze kterých se skládají veškerá elektronická zařízení, moduly a konstrukce. [18]

5.1 Rezistory

Rezistory lze zařadit konkrétně mezi pasivní elektronické součástky. To znamená, že mají stálé elektrické vlastnosti, a tyto vlastnosti jsou zároveň nezávislé na přiváděném napětí nebo proudu. Kromě rezistorů řadíme do stejné skupiny součástek také například kondenzátory, pojistky nebo potenciometry. [19]

Konkrétně pomocí rezistorů realizujeme fyzikální veličinu zvanou odpor. To je také důvod, proč se součástkám dříve říkalo přímo odpory. Rezistory můžeme podle provedení dělit na vrstevové a drátové, případně stálé, nebo nastavitelné. [20]

5.2 Termistory

V případě termistorů se jedná o součástky řízené neelektrickými veličinami. Mezi takové veličiny patří teplota, světelné záření, magnetické pole a mechanické napětí. [19]

Co se týče termistorů, jejich funkčnost je závislá právě na teplotě. Jedná se o polovodičové součástky bez přechodu PN vyrobené z polykrystalického materiálu. Jejich typickou vlastností je velký teplotní součinitel jejich odporu. To znamená, že odpor termistorů se značně mění při změně teploty. Protože teplotní součinitel nemá při různých teplotách stejnou hodnotu, můžeme říci, že se odpor se změnou teploty mění nelineárně. Právě na základě teplotního součinitele můžeme termistory dělit na dva typy – NTC a PTC. Oba typy jsou detailněji popsány v kapitolách 5.2.1 a 5.2.2. [19]

K dostání jsou termistory s různými základními odpory. Pokud je potřeba termistoru v zařízení, kde teplota příliš nestoupá, lze použít takový, který má střední až nízký odpor. Na druhou stranu, pokud zařízení dosahuje poměrně vysokých teplot a chceme je ochránit, budeme potřebovat termistor s vysokým odporem. [21]

5.2.1 Termistor typu NTC

Zkratka NTC znamená v překladu z angličtiny „negativní teplotní koeficient“. V takovém termistoru se se zvyšující teplotou odpor součástky snižuje. Změna odporu termistoru může být způsobena jak externě (změnou okolní teploty), tak interně (proudem, který prochází zařízením). Hlavní výhodou tohoto termistoru je schopnost automaticky vypnout zařízení, pokud se přehřívá. Tímto způsobem můžeme z elektronických zařízení získat maximum, aniž by se přehřála. Díky schopnosti vypnutí při přehřátí lze do určité míry předcházet nehodám. Je však důležité si uvědomit, že toto bezpečnostní zařízení se aktivuje až při překročení předem stanoveného teplotního limitu.[22]

Mezi některé výhody NTC termistorů patří jejich velká stabilita v elektrickém obvodu a poskytování záruky funkčnosti i při dlouhodobém vystavování vysokým teplotám až nad 105 °C. Ve vlhkém prostředí nebo v prostředí s vysokou teplotní roztažností mohou nastat problémy, nicméně obecně zaručují termistory vysokou bezpečnost. Mají také malou tepelnou setrvačnost, což umožňuje měřit teplotu s rychlou změnou. Této specifické vlastnosti se využívá kupříkladu v regulátorech napětí či dálkových měřících přístrojích. [22]

Tento typ termistorů se dále používá například v zařízeních určených pro měření teploty, v čidlech domácích termostatů, kde řídí teplotu prostředí, nebo v systémech vozidel, pomocí kterých je řízena teplota jednotlivých částí vozu, pokud dojde k jeho poruše. Dále ho najdeme ve zdrojích elektrického proudu, kde přispívá ke konzistentnosti v průběhu času. [22]

5.2.2 Termistor typu PTC

U termistorů typu PTC zastupuje zkratka „pozitivní teplotní koeficient“. V termistoru tohoto typu je tomu tedy logicky přesně naopak než u termistoru NTC a s rostoucí teplotou se odpor součástky zvyšuje. [22]

Těchto termistorů se využívá v zařízeních, která se zahřívají na velmi vysoké teploty, jako jsou například žehličky na vlasy. V rozmezí určitých teplot chrání cívky elektromotorů a nalezneme je také v domácích pojistkách, kde vypojí proud, když se nadměrně zatíží elektrický systém v domě. Lze je použít i jako senzory pro měření teplot horkých kapalin. [21]

PRAKTICKÁ ČÁST

6 VOLBA EXPERIMENTU

Mým hlavním záměrem v praktické části bylo ověřit (případně vyvrátit) poznatky uvedené v části teoretické. Dále jsem se snažila kriticky zhodnotit naměřená data, srozumitelně vysvětlit veškeré vyzkoumané jevy a výsledky porovnat s výše popsanou teorií.

Právě na základě předem získaných vědomostí jsem se rozhodla zkoumat závislost teploty a odporu. Pro svůj experiment jsem záměrně zvolila takové součástky, u nichž jsem očekávala rozdílný průběh měření. Zahrnula jsem jak prvky jednodušší (měděný vodič), tak ty složitějšího charakteru (rezistor a termistor).

Zaměřila jsem se pouze na interval teplot, se kterými se setkáváme v běžných podmínkách. O přesné zjištění těchto teplotních hodnot se totiž snažíme v každodenním životě, ať už v rámci měření tělesné teploty, nebo například v kuchyni, kdy je nutné striktně dodržet jednotlivé teploty při přípravě pokrmů.

Ve druhé části pokusu jsem se pak součástku, kterou jsem vyhodnotila ze zkoumaných prvků jako pro měření teploty nejvhodnější, pokusila uvést do praxe. Pomocí změřeného odporu jsem tak vypočítala teplotu, která by měla dané hodnotě odporu odpovídat, a ověřila ji pomocí dalšího již kalibrovaného teploměru.

7 MATERIÁL A METODIKA

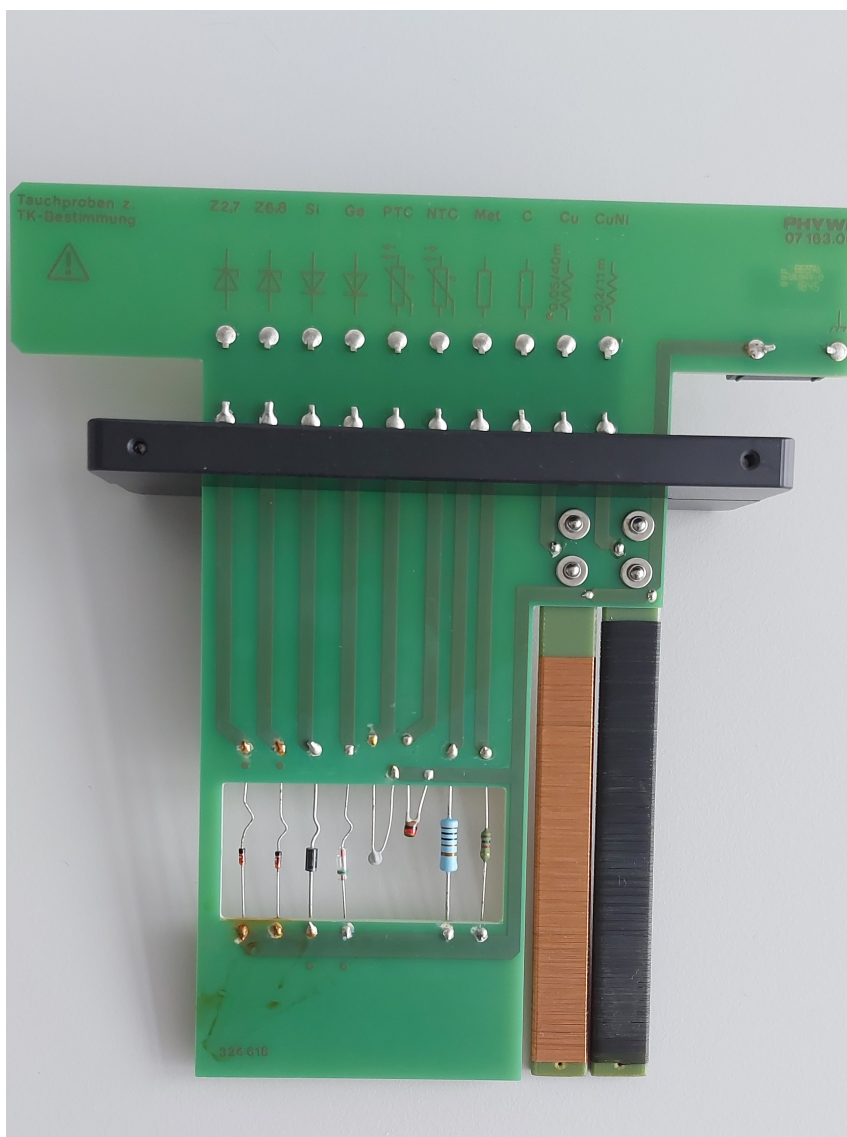
V praktické části jsem se rozhodla zkoumat, jak se liší závislost odporu třech různých elektrických součástek na teplotě. Konkrétně jsem si zvolila měděný drát, rezistor a termistor. Mojí snahou bylo dokázat, proč jsou které součástky vhodné či nevhodné pro měření teploty. Tuto myšlenku jsem následně podpořila konkrétním výpočtem pro jednu ze součástek.

Obě části experimentu jsem prováděla v laboratoři Přírodovědecké fakulty Univerzity Hradec Králové pod odborným vedením RNDr. Jiřího Kose.

7.1 Použitý materiál a pomůcky

Jak jsem již zmínila na začátku této kapitoly, pro své měření jsem si vybrala drát vyrobený z mědi, rezistor a termistor. Konkrétně se jednalo o drát o průměru $d = 0,05 \text{ mm}$ a délce $l = 40 \text{ m}$. V případě rezistoru šlo o součástku s odporem $R = 1000 \Omega$. Termistor z blíže nespecifikovaného vodiče byl typu NTC.

Na Obrázku 4 je detailní pohled na desku se všemi těmito zmíněnými součástkami. Pro lepší orientaci upřesním, které z nich jsem při práci použila. Měděná cívka je charakteristická svou barvou, jedná se tedy o předposlední součástku na desce. Rezistor s odporem $R = 1000 \Omega$ se nachází hned vedle směrem doleva. NTC termistor se dá snadno určit podle popisu nahoře na desce, je tedy šestou součástkou zleva.

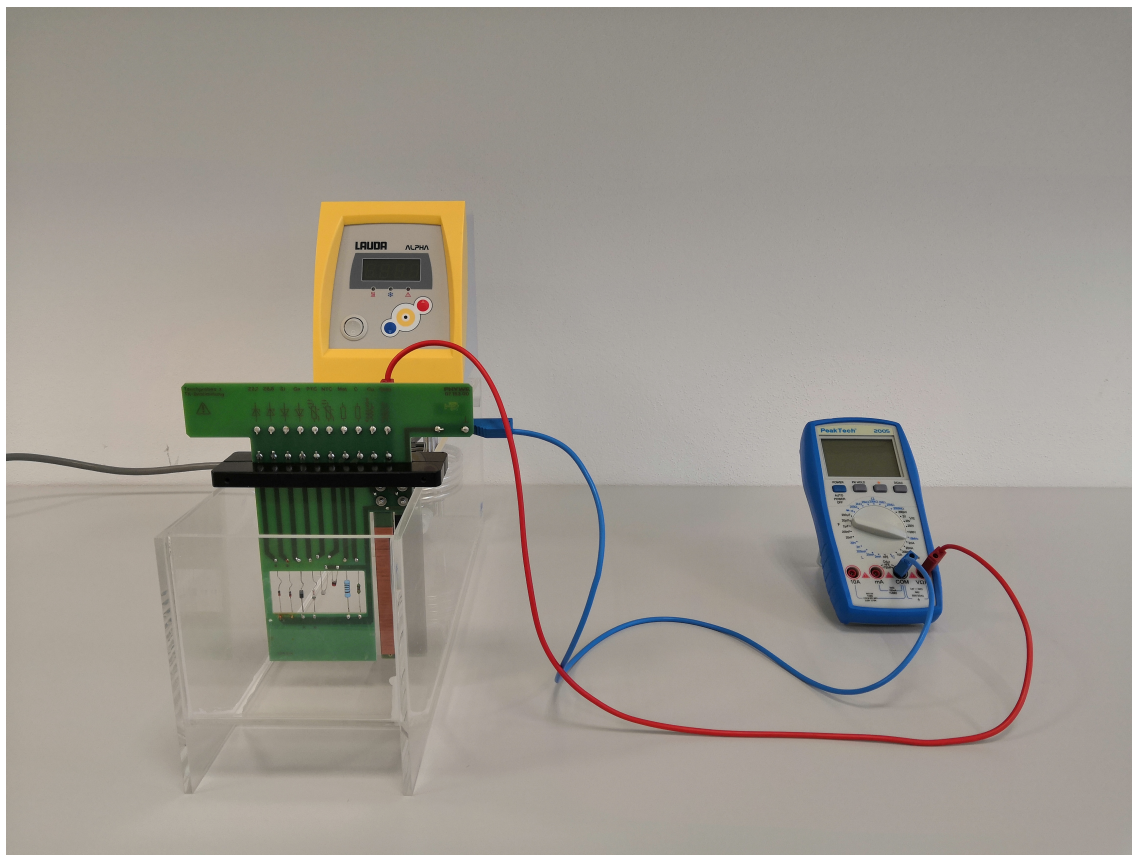


Obrázek 4: Deska s elektrickými součástkami [autorka]

Vodní lázeň, ve které pokus probíhal, jsem připravovala v průhledné plastové nádobě o objemu zhruba 5 litrů. Dále jsem k pokusu použila ponorný termostat s topnou spirálou, čímž jsem zajistila ohřev vody na přesně požadovanou teplotu, ve které jsem pak měření prováděla. S měřením odporu mi pomohl digitální multimetr s funkcí ohmmetru. Kromě těchto zásadních pomůcek jsem pracovala i s ochranným sáčkem, do kterého jsem vkládala součástky, abych zabránila vniknutí vody mezi ně a tím zajistila jejich funkčnost i po ponoru.

Ve druhé části experimentu jsem opět pracovala s obdobnými pomůckami, opět jsem využila tentýž multimetr, nádobu, do které jsem připravovala vodní lázeň, i soubor elektrických součástek. V tomto pokusu jsem ovšem z původních tří součástek pracovala pouze s termistorem, a to na základě výsledků z části první. Navíc přibyl pouze kalibrovaný kapalinový teploměr s lihem a rychlovarná konvice, ve které jsem si předem ohřála vodu do lázně. Lázeň jsem promíchávala plastovou tyčinkou. Její využití je k mému pokusu příhodné, jelikož tento materiál neodvádí teplo tolik, jako

například kovová lžíce. Pokud jsem tak směs promíchávala, nemusela jsem se obávat toho, že mi mezitím tyčinka změní teplotu vody.



Obrázek 5: Pomůcky [autorka]

7.2 Metodika

Jak bylo již dříve zmíněno, celý experiment jsem rozdělila na dvě části. V té první jsem provedla měření odporu tří zvolených součástek, abych mohla vybrat z nich tu nejvhodnější k měření teploty. Z naměřených hodnot poté vznikly tři grafy průběhu měření (jeden pro každou ze součástek) a na nich jsem vzápětí vysvětlila a konkrétně popsala, proč se jak která součástka chovala. Ve druhé části mého experimentu jsem se pokusila pomocí právě té součástky, kterou jsem vyhodnotila jako pro měření teploty velmi vhodnou, změřit teplotu vodní lázně, abych svou domněnku i vlastnosti součástky ověřila.

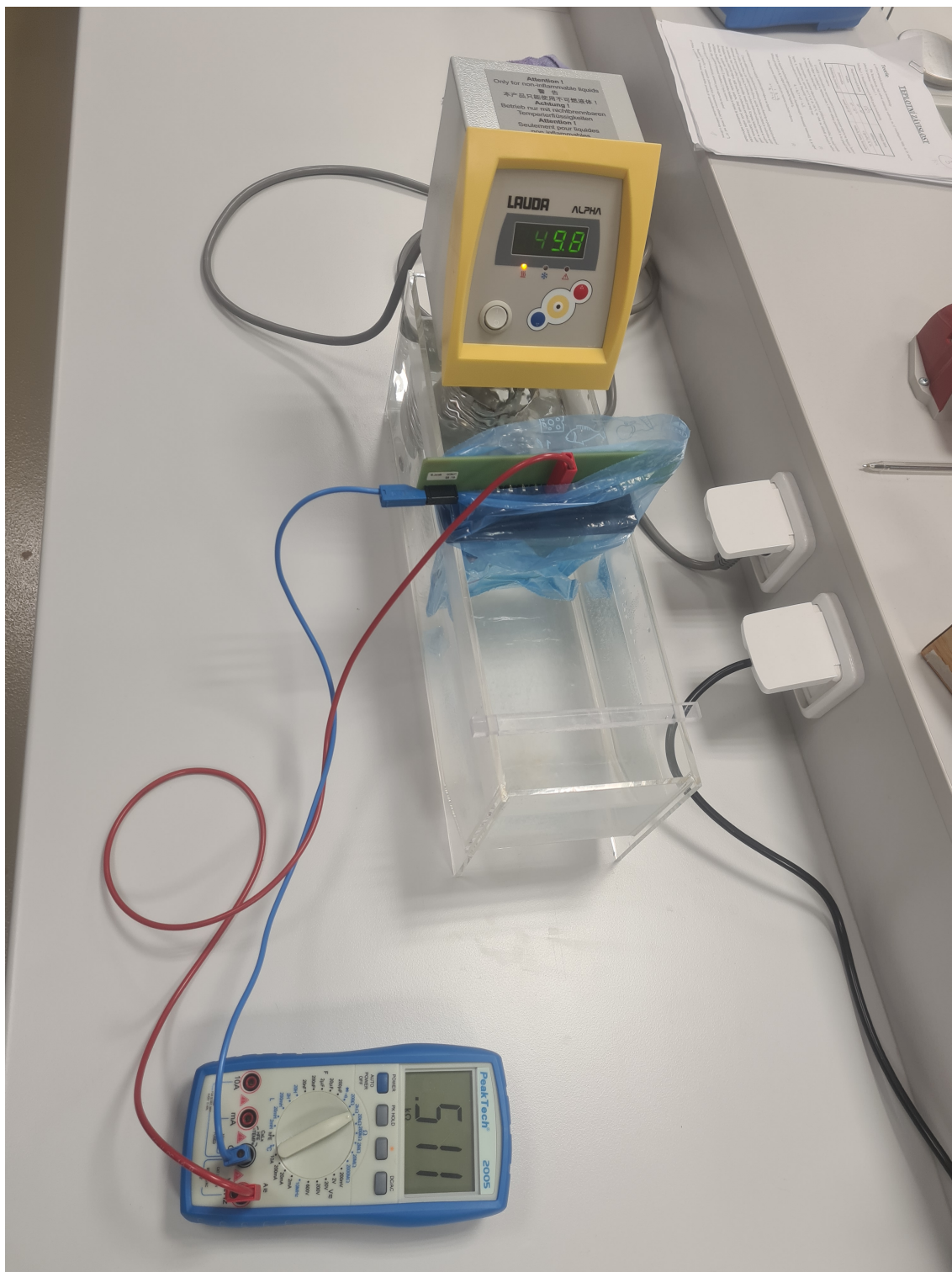
7.2.1 Měření závislosti odporu na teplotě

Nejprve jsem si připravila vodní lázeň. Ta spočívala v plastové nádobě, kterou jsem naplnila pitnou vodou z vodovodu odhadem tak do tří pětin. První elektrickou součástkou, kterou jsem proměřovala, byl měděný drát. Ten jsem předtím připojila k multimetru, na němž jsem si nastavila funkci měření odporu.

Do vodní lázně jsem posléze vložila tento měděný drát v plastovém sáčku, kde byl dostatečně chráněný před vniknutím okolní vody. Na termostatu, který jsem následně do nádoby taktéž vložila, jsem nastavila nejprve 30 °C. Počkala jsem, než se voda zahřeje na požadovanou teplotu a ustálí se.

Jakmile se voda zahřála, dostatečně promísila a teplota se tudíž ve všech místech nádoby ustálila, z multimetru jsem odečetla aktuální odpor drátu a zapsala si ho. Poté jsem na termostatu nastavila hodnotu 40 °C, opět počkala, než se voda prohřeje a ustálí, a znovu změřila. Dále jsem na termostatu nastavila 50 °C, opět provedla všechny potřebné úkony a takto jsem postupovala vždy po 10 teplotních stupních až k teplotě 80 °C.

Obdobně jsem pracovala i v případě rezistoru. Vodu v nádobě jsem vyměnila za studenou, abych urychlila průběh měření. Ponorný termostat má totiž i funkci chlazení, nicméně tento proces trvá déle, než když chceme vodu ohřívat. Pak jsem opět ohřívala vodu a měřila odpor součástky ve stejném teplotním rozmezí od 30 °C do 80 °C. V případě termistoru byl postup práce obdobný. Jak měření probíhalo je vidět na Obrázku 6.



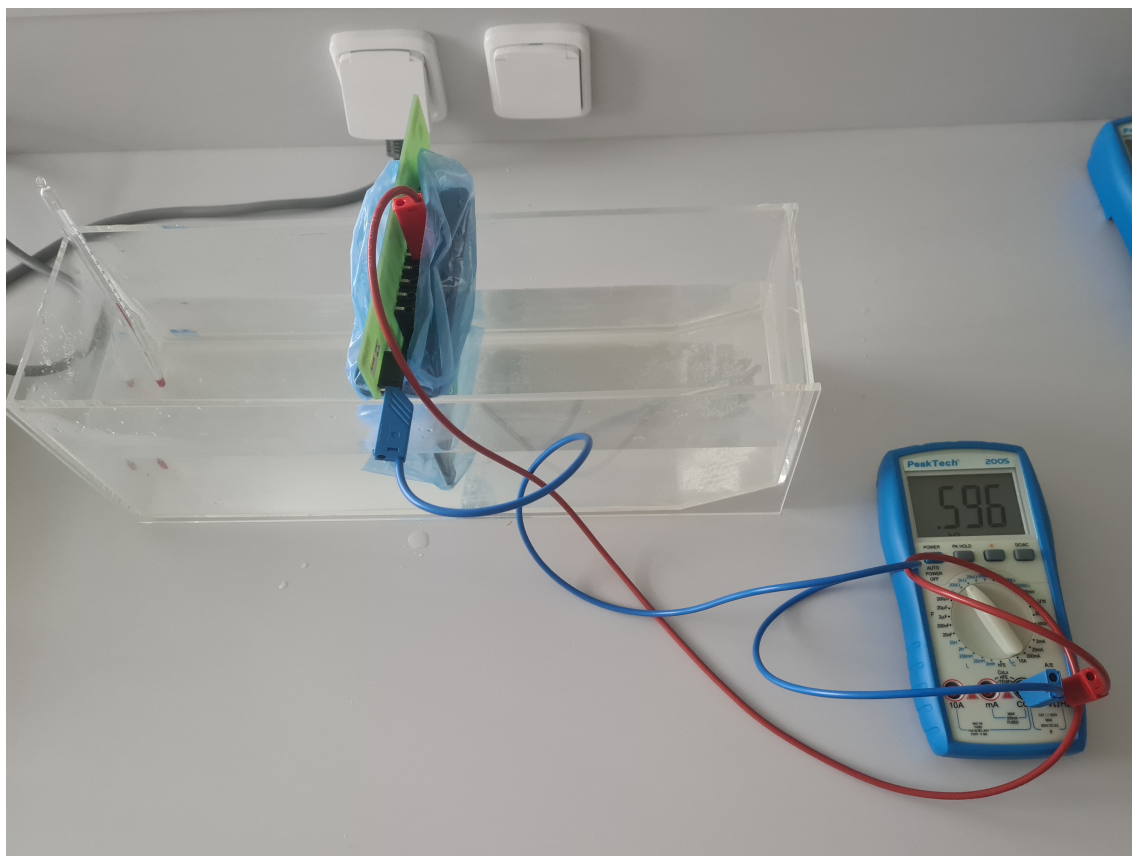
Obrázek 6: První část experimentu [autorka]

7.2.2 Ověření výpočtem

Jak je podrobněji rozepsáno a vysvětleno v kapitole Diskuze a zároveň v návaznosti na výsledky prvního prováděného pokusu, za nejvhodnější součástku k měření teploty jsem ze všech zkoumaných určila termistor. Ve druhé části jsem se tedy tento poznatek rozhodla dále rozpracovat a pokusit se s ním teplotu skutečně změřit.

Stejně jako v první fázi mého praktického pokusu jsem si i tentokrát připravila vodní lázeň. Měření teploty právě vodní lázně je poněkud příhodné, protože nabízí poměrně široké teplotní rozpětí, které si lze snadno připravit i v běžných podmínkách. Tentokrát nebylo potřeba využívat termostat, protože mou snahou nebylo dosáhnout konkrétní teploty této lázně, naopak jsem chtěla její teplotu teprve zjišťovat. Do nádoby jsem si proto vytvořila vlastní směs studené vody z vodovodu a vody ohřáté v rychlovarné konvici.

Termistor jsem obdobně jako v první části experimentu připojila k multimetru a vložila ho do ochranného sáčku, aby v kapalině nedošlo k jeho zkratování. Pečlivě jsem lázeň promíchala, aby byla teplota ve všech jejích částech stejná, a do nádoby kromě termistoru přidala ještě lihový teploměr. Protože byla hodnota odporu na multimetru velmi nestabilní, musela jsem nejprve počkat, až teploměr vyrovná svou teplotu, znovu pro jistotu vodu promísit, a pak teprve hodnoty odečítat a zapsat si je.



Obrázek 7: Druhá část experimentu [autorka]

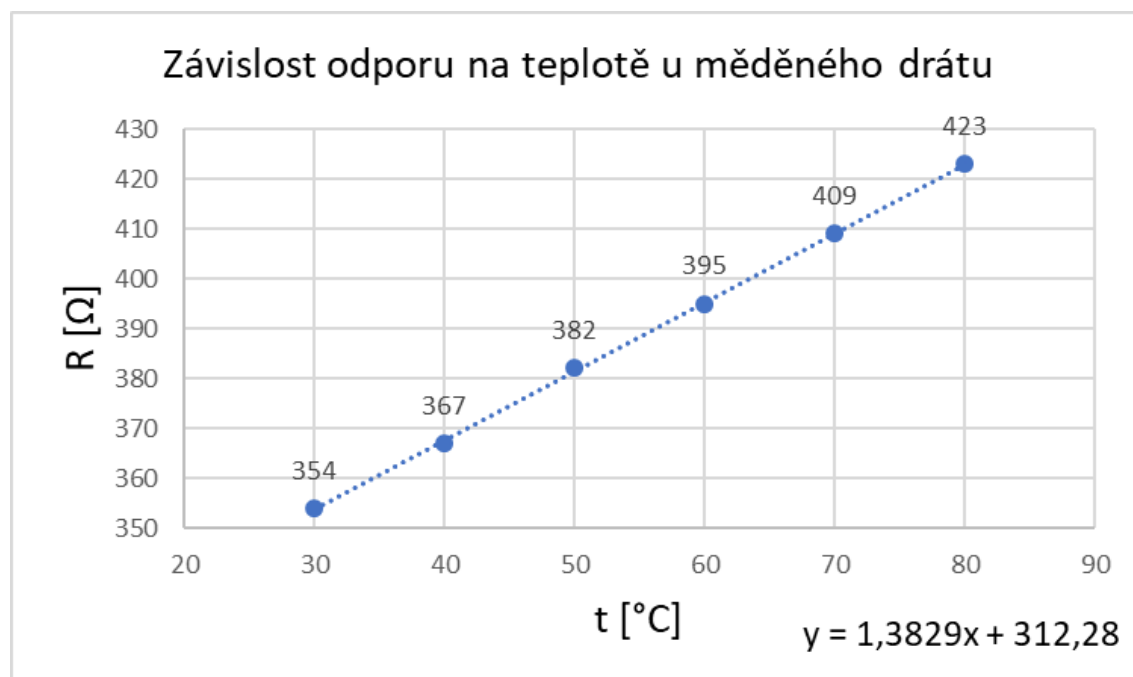
8 VÝSLEDKY

Pro přehlednost je kapitola rozdělena znovu na dvě části prováděného pokusu stejně, jako tomu bylo v kapitole předchozí.

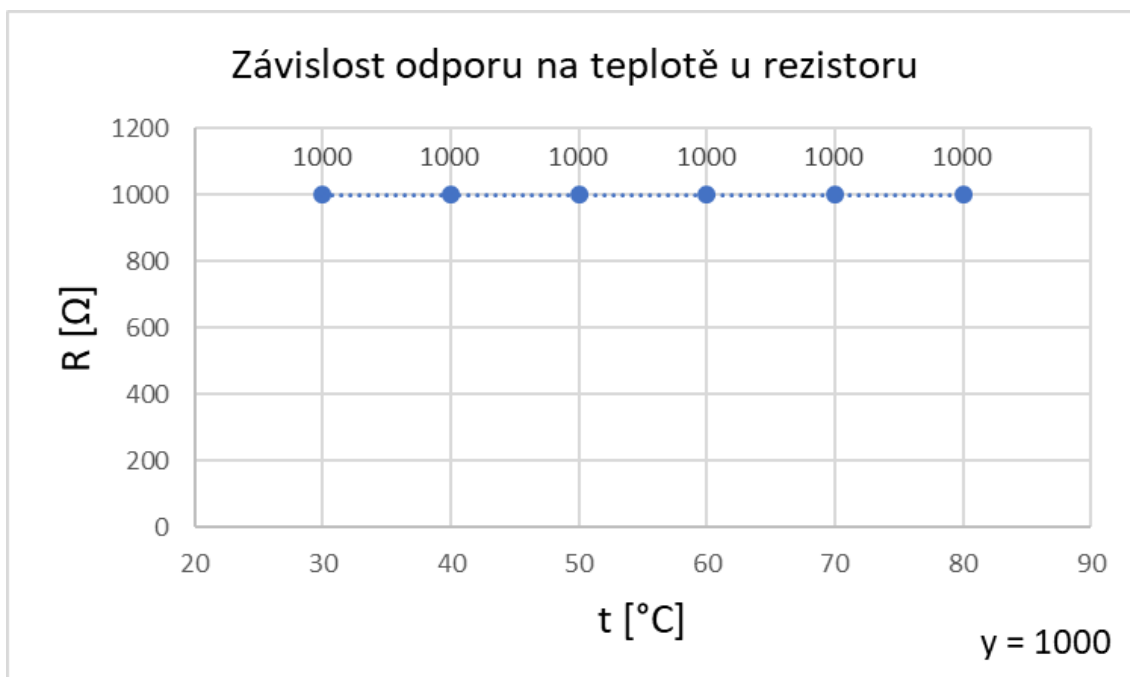
8.1 Měření závislosti odporu na teplotě

Tabulka 1: Naměřené hodnoty

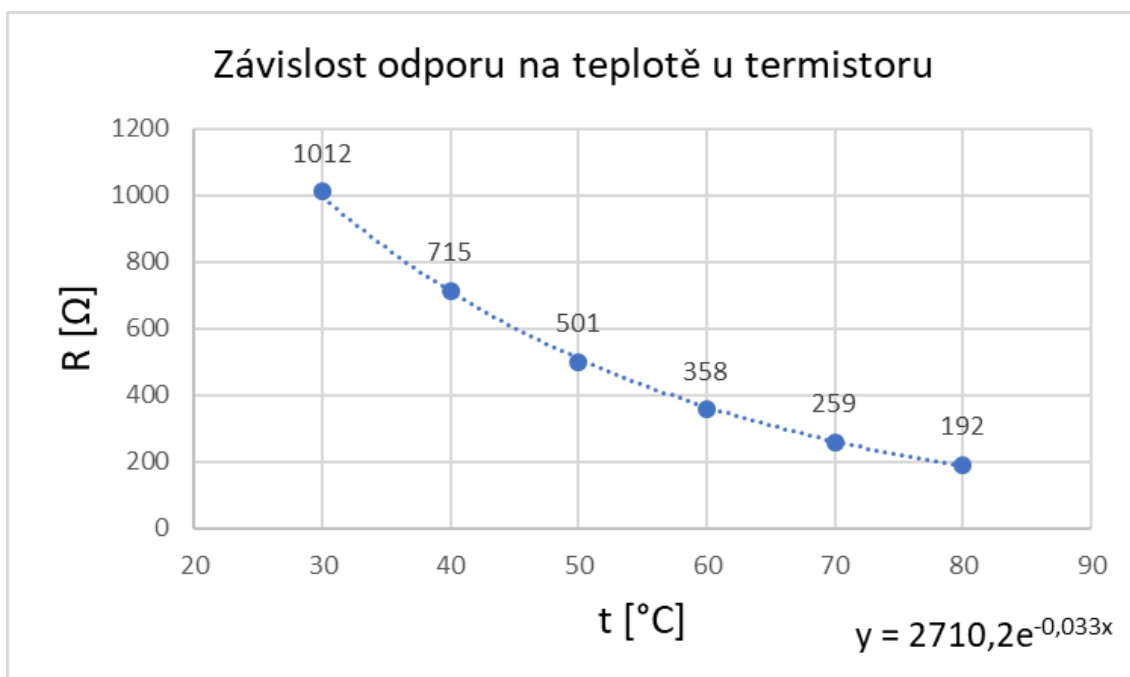
	drát	rezistor	termistor
t [°C]	R [Ω]	R [Ω]	R [Ω]
30	354	1000	1012
40	367	1000	715
50	382	1000	501
60	395	1000	358
70	409	1000	259
80	423	1000	192



Obrázek 8: Závislost odporu na teplotě u měděného drátu



Obrázek 9: Závislost odporu na teplotě u rezistoru



Obrázek 10: Závislost odporu na teplotě u termistoru

8.2 Ověření výpočtem

Ve druhé části mého pokusu jsem se zaměřila na graf termistoru. Pomocí předpisu funkce grafu závislosti odporu na teplotě u termistoru jsem se poté pokusila dopočítat teplotu vodní lázně. Využila jsem k tomu předpis pro logaritmickou funkci, která je inverzní funkcí k funkci exponenciální:

$$y = \log_a x \quad (4)$$

Tento vzorec je zároveň ekvivalentní ke vzorci následujícímu:

$$x = a^y \quad (5)$$

Je důležité pochopit již v tomto kroku, co která proměnná v našem případě konkrétně zastupuje. Odpor je vyjádřen písmenem y , zatímco písmeno x vyjadřuje teplotu.

Pomocí těchto dvou vztahů budu dále upravovat předpis funkce grafu termistoru vytvořený automaticky aplikací Excel podle hodnot naměřených v části Měření závislosti odporu na teplotě:

$$y = 2710,2e^{-0,033x} \quad (6)$$

Vzhledem k tomu, že známe pouze odpor (y) a naší snahou je získat výsledný vztah pro výpočet teploty (x), je nutné rovnici dále upravovat:

$$\frac{y}{2710,2} = e^{-0,033x} \quad (7)$$

Tento tvar si můžeme představit jako druhou podobu logaritmické funkce (zobrazené v rovnici 3). Levá část rovnice představuje ono x , Eurelovo číslo zastoupené písmenem e napodobuje mocněnec a a celý exponent je pomyslné y . Abychom exponent osamostatnili, využijeme první podoby logaritmické funkce:

$$-0,033x = \log_e\left(\frac{y}{2710,2}\right) \quad (8)$$

Nyní už jen vydělíme obě strany koeficientem lineárního členu, aby nám zůstalo x samostatně:

$$x = \frac{\log_e\left(\frac{y}{2710,2}\right)}{-0,033} \quad (9)$$

V tomto bodě by mohl být vzorec zdánlivě hotov, nicméně logaritmus Eurelova čísla (e) je z matematického hlediska lepší přepsat jako matematický operátor $\ln$, takže finální podoba vzorce bude vypadat následovně:

$$x = \frac{\ln\left(\frac{y}{2710,2}\right)}{-0,033} \quad (10)$$

Abych svůj výpočet ověřila a potvrdila, tutéž vodní lázeň jsem zároveň měřila i kapalinovým teploměrem. Tento teploměr mi ve stejnou chvíli, kdy jsem odečítala z multimetru odpor, zobrazil teplotu $t = 47\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Během stejného měření ve vodní lázni mi zároveň po důsledném promíchání multimetr ukázal odpor $R = 551\text{ }\Omega$. Protože, jak je z jeho grafu patrné, je termistor na teplotu velmi citlivý, hodnoty byly poměrně proměnlivé, a musela jsem tak nejprve počkat, až se ustálí i hodnota teploty na lihovém teploměru.

Pokud tedy dosadíme do výsledného vzorce za písmeno y mnou naměřenou hodnotu odporu, budou rovnost a vypočítaná teplota vypadat následovně:

$$x = \frac{\ln(\frac{551}{2710,2})}{-0,033} \quad (11)$$

$$x \doteq 48,274\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (12)$$

9 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Grafy uvedené v první části kapitoly Výsledky zobrazují hodnoty odporu vybraných součástek pro každých 10 stupňů Celsia. Pro každou zkoumanou elektrickou součástku jsem vytvořila samostatný graf, aby byly výsledky přehledné.

Je důležité upozornit, že jsem měření ve všech případech prováděla pouze pro teplotní rozmezí 30 až 80 stupňů Celsia, nicméně se jedná o teploty pro běžný život nejčastější i nejčastěji měřené. Navíc se dá předpokládat, že by se všechny tři součástky i nadále chovaly velmi podobně.

Jak je z jednotlivých grafů zjevné, každá ze zvolených součástek se během prováděného měření chovala zcela rozdílně. Závislost odporu na teplotě u měděného drátu, jak je z jejího grafu patrné, má téměř lineární podobu. V případě této závislosti u rezistoru je odpor po celou dobu měření konstantní. Naopak zajímavý je graf pro termistor – jeho podoba připomíná exponenciální funkci.

Právě z tohoto důvodu jsem se na termistor zaměřila v rámci rozšíření praktické části podrobněji. Ke změřené („ověřené“) teplotě jsem se pokusila dostat výpočtem z naměřeného odporu. Pokud porovnáme můj výpočet z provedeného měření s teplotou naměřenou skutečným teploměrem, liší se tyto dvě hodnoty o zhruba 1 stupeň Celsia.

DISKUSE

Měřený drát, který jsem ve svém pokusu použila, se tedy zachoval podle teorie jako typický vodič. S rostoucí teplotou se jeho odpor měnil – zvyšoval se. Lze tedy konstatovat, že odpor tohoto vodiče je závislý na teplotě. V teoretické rovině by tedy bylo možné měřít, případně jiný vodič, využít k měření teploty. Pokud se ale podíváme na naměřené hodnoty podrobněji, zjistíme, že na 10 teplotních stupňů se odpor měnil průměrně pouze o 13,8 ohmů. Navíc graf skutečně pouze připomíná lineární funkci a během měření vznikala poměrně velká odchylka. Pokud bychom se tak rozhodli tímto způsobem měřit teplotu, není možné, abychom získali nějaké přesnější hodnoty. Tato metoda tudíž není úplně nejvhodnější.

V případě rezistoru se ve zkoumaném teplotním rozpětí odpor za celou dobu nezměnil od své původní hodnoty. Tento výsledek ovšem nepovažuji za jakkoli neuspokojivý, a to vzhledem k tomu, že je funkce rezistoru v obvodu poměrně jasná – nezměnit svůj výrobcem stanovený odpor za žádných podmínek a zajistit v něm tak stabilitu proudu a napětí. Je ovšem velmi pravděpodobné, že by při nějaké výrazně vyšší (nebo nižší) teplotě nastala alespoň drobná odchylka, případně by se v některém bodě zcela přehřál, shořel a ztratil svoji schopnost. Je také na místě upozornit, že taková odchylka mohla nastat i během mnou prováděného měření, nicméně byla tak malá, že ji multimetr ani nezaznamenal a nemohl zobrazit. Tento průběh grafu každopádně možnost využití rezistoru jakožto prvku pro měření teploty naprosto zavrhuje.

Jak jsem již zmínila, z pohledu mého zkoumání je nejzajímavější právě poslední graf, a to proto, že je funkce zobrazená v grafu v podstatě exponenciální. Jak je na grafu patrné, i s malou změnou teploty je změna odporu termistoru velmi výrazná a prudce se mění. Lze takto poměrně snadno každé teplotě přiřadit rozdílnou hodnotu odporu a dostatečně přesně na základě takových dat poté teplotu z odporu určovat. Termistor se tedy jakožto prvek k měření teploty vyloženě nabízí a v porovnání s praxí se na tomto tvrzení shoduje. Této vlastnosti změny odporu u termistorů se totiž skutečně v některých současných teploměrných zařízeních využívá. Znovu je vhodné připomenout, že se jedná o termistor NTC, u typu PTC by byl graf jiný a odpor by samozřejmě rostl.

Z tohoto důvodu jsem se rozhodla měření teploty pomocí termistoru následně sama vyzkoušet. Po ne nijak zvláště komplikovaném výpočtu dostáváme další důkaz, že se prostřednictvím termistoru teplota opravdu měřit dá, a to dokonce relativně přesně. Odchylku, která mezi měřením a výpočtem vznikla, považuji za poměrně zanedbatelnou. Navíc se nemusí jednat o nepřesnost součástky – chyba rozhodně mohla vzniknout již během měření.

Některými z možných prostorů pro odchylku byla například velikost nádoby. Odpor jsem totiž měřila v jedné části nádoby, zatímco teploměr jsem umístila na její druhý konec. Voda tak nemusela mít v obou místech úplně shodnou teplotu, ač jsem se snažila kapalinu poctivě promísit. Dále musíme mít na paměti, že ač je termistor

na jakoukoliv drobnou změnu teploty citlivý, na což jsem již dříve upozorňovala, multimetr nemusí každou změnu zaznamenat a zobrazit naprosto přesnou hodnotu. Stejně tak má nějakou svoji odchylku i použitý lihový teploměr. Nepřesnost měření mohla nastat také při přenosu tepla skrze plastový sáček, případně vzduchovou kapsu vznikající právě mezi sáčkem a samotným termistorem. Během přenosu mohlo teplo tímto způsobem samozřejmě unikat a zkreslit výslednou hodnotu. Nakonec je potřeba dodat, že nejčastěji odchylka vzniká lidským faktorem, tedy mnou, případně mým špatným odečtením teploty nebo odporu.

Oba pokusy, které jsem ve druhé části projektu vykonávala, proběhly víceméně podle mých očekávání. Během jejich provádění nenastal žádný zásadnější problém. Potvrdila se všechna hlavní tvrzení, která jsem interpretovala v rámci teoretické části. Práci proto obecně hodnotím jako zdařilou.

ZÁVĚR

Teoretickou část tohoto projektu jsem věnovala stručné historii, dále pak základním pojmům z termiky, jako je teplota, teploměr, rezistor nebo termistor. Detailněji rozebírám především samotné druhy teploměrů, které jsou dostupné na trhu, a vysvětluji, jak který z nich funguje. Popisuji také základní rozdíly mezi nimi, případně k jakému měření jsou jednotlivé typy určené. V této části práce je také rozebrán význam dvou druhů elektronických součástek úzce souvisejících právě s oblastí termiky, a to konkrétně rezistorů a termistorů. Pokusila jsem se nabídnout čtenářům dostatečné množství informací k pochopení a rozšíření povědomí o principu teploměrů a obecně různých v dnešní době dostupných možnostech pro měření teploty.

V rámci části praktické se pak snažím stejnou problematiku vysvětlit na názorných příkladech. Přesněji se jednalo o dokázání závislosti odporu a teploty, a to v případě tří rozdílných elektrických součástek – měděného drátu (zástupce vodičů), rezistoru a termistoru. Toto měření proběhlo podle očekávání a ve shodě s poskytnutým teoretickým základem. Pro každou ze součástek obsahuje práce vlastní graf vývoje měření. Nakonec jsem každý z grafů podrobně popsala a rozebrala uplatnitelnost každé ze součástek ve složitějších teploměrných zařízeních.

V návaznosti na toto měření vznikla druhá část praxe – díky termistoru jsem zkoumala odpor kapaliny a pomocí něho výpočtetně zjistila teplotu. Tu jsem pak porovнала s hodnotou teploty naměřenou klasickým teploměrem. Tento pokus čtenářům demonstruje, že je takové měření s termistorem skutečně možné.

Co se týče možného rozšíření projektu, rozhodně by bylo zajímavé pokusit se z termistoru, který jsem vyhodnotila ze zkoumaných součástek jako prvek pro měření teploty nejvhodnější, vytvořit vlastní funkční teploměr. Bylo by však nutné pomocí něho změřit několik dalších odlišných teplot a prostřednictvím jiných již kalibrovaných teploměrů zjistit přesnost a odchylku takového měření.

Projekt vysvětluje základní pojmy z oblasti termiky a popisuje souvislosti mezi teorií a praxí. Přehledně shrnuje veškerá důležitá fakta, jak bylo jedním z mých hlavních záměrů, a nabízí mnoho podnětů pro všechny, které tato práce nebo téma zaujaly.

LITERATURA

- [1] KRAUS, I. *Fyzika od Tháleta k Newtonovi: kapitoly z dějin fyziky*. Praha: Academia, 2007. ISBN: 978-80-200-1540-2.
- [2] *Reconstruction of Galileo's Thermoscope, 1592-1600*. [online], cit. 2023-01-14. URL: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co3060/reconstruction-of-galileos-thermoscope-1592-1600-thermoscope-thermometers-reconstruction>.
- [3] *Termoskop, dědeček teploměru*. [online], cit. 2023-01-14. URL: <https://plus.rozhlas.cz/termoskop-dedecek-teplomeru-6648009>.
- [4] BARTUŠKA, K., SVOBODA, E. *Molekulová fyzika a termika*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1978.
- [5] HLAVIČKA, A. a kolektiv. *Fyzika pro pedagogické fakulty. Díl 1*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1971.
- [6] LANDAU, L. V., KITAJGORODSKIJ, A. I. *Fyzika pro každého: (mechanika, termika)*. Praha: Horizont, 1975.
- [7] *Na cestě k absolutní nule*. [online], cit. 2023-01-14. URL: <https://fyzmatik.pise.cz/652-na-cestech-k-absolutni-nule.html>.
- [8] *K čemu slouží teploměr?* [online], cit. 2023-01-14. URL: <https://www.cz.thermometer.eu/blogs/pruvodce-teplomerem/k-cemu-je-teplomer>.
- [9] URGOŠÍK, B. *Fyzika*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1981.
- [10] KROPÁČKOVÁ, I. *Máte ještě doma rtuťový teploměr? Postup, jak prostor bezpečně uklidit, když se rozbije*. [online], cit. 2023-11-25. URL: <https://cnn.iprima.cz/radce/mate-jeste-doma-rtutovy-teplomer-postup-jak-prostor-bezpecne-uklidit-kdyz-se-rozbije>.
- [11] *Teploměr tyčinkový pro kontrolu chladicího zařízení*. [online], cit. 2023-01-14. URL: <https://www.verkon.cz/teplomer-tycinkovy-pro-kontrolu-chladiciho-zarizeni/>.
- [12] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN: 80-214-1868-0.
- [13] *Bezdotykové teploměry*. [online], cit. 2023-11-28. URL: <https://www.alza.cz/bezdotykovye-teplomery/18877654.htm?evt=re&exps=bezdotykovy+teplomer>.
- [14] *How Do Laser Thermometers Work?* [online], cit. 2023-01-05. URL: <https://sciencing.com/use-temperature-laser-gun-5720527.html>.
- [15] *Jak funguje termovize?* [online], cit. 2023-11-28. URL: <https://www.pumaknives.cz/content/33-jak-funguje-termovize>.

- [16] *What is Calibration?* [online], cit. 2023-01-05. URL: <https://us.flukecal.com/literature/about-calibration>.
- [17] *International System of Units*. [online], cit. 2023-01-05. URL: <https://www.britannica.com/science/International-System-of-Units>.
- [18] *Elektronické součástky – typy a využití*. [online], cit. 2023-01-14. URL: <https://blog.laskakit.cz/elektronicke-soucastky-typy-a-vyuziti/>.
- [19] UCHÁČ, R. *Elektrotechnika. Přehled středoškolského učiva*. Praha: ORFEUS, Szalai & Smolan, 1992. ISBN: 80-85522-38-1.
- [20] KRČEK, K. *Akvaristická elektrotechnika*. Praha: SNTL, 1984.
- [21] OÑATE, I. *Cómo funciona un termistor PTC*. [online], cit. 2023-12-30. URL: <https://www.diarioelectronicohoy.com/como-funciona-un-termistor-ptc/>.
- [22] *¿Qué significa NTC en un termistor y cómo funciona?* [online], cit. 2023-12-30. URL: <https://sdindustrial.com.mx/blog/que-significa-ntc-en-un-termistor/>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

1	Termoskop	9
2	Kapalinový teploměr	15
3	Popis plynového teploměru	16
4	Deska s elektrickými součástkami [autorka]	26
5	Pomůcky [autorka]	27
6	První část experimentu [autorka]	29
7	Druhá část experimentu [autorka]	30
8	Závislost odporu na teplotě u měděného drátu	31
9	Závislost odporu na teplotě u rezistoru	32
10	Závislost odporu na teplotě u termistoru	32

SEZNAM TABULEK

1	Naměřené hodnoty	31
---	----------------------------	----