

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Analýza spotřeby energie průmyslových chladicích  
jednotek SMC**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2017/2018

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin HAVLÍK**

Osobní číslo: **E15B0054P**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**

Název tématu: **Analýza spotřeby energie průmyslových chladicích jednotek SMC**

Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

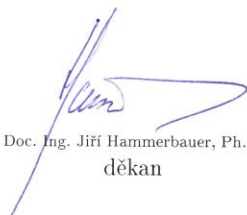
1. Popište problematiku chlazení a chladicích jednotek.
2. Popište metodiku měření spotřeby elektrické energie.
3. Provedte systémovou analýzu chladicí jednotky a změřte spotřebu elektrické energie při umělém zatížení.
4. Provedte porovnání dvou systémů z hlediska energetické spotřeby.
5. Vyhodnoťte získaná data a provedte kalkulaci návratnosti investice.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

1. Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vladimír Kindl, Ph.D.  
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 10. října 2017  
Termín odevzdání bakalářské práce: 7. června 2018

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou průmyslového chlazení a chladicích zařízení. Jsou zde uvedeny principy chlazení používané v praxi. Dále je práce zaměřena na oblast měření spotřeby elektrické energie chladicích jednotek a výpočet finančních nákladů s ní spojené. Za účelem následného využití v průmyslu byla sestrojena měřicí stanice spotřeby elektrické energie a s ní poté provedena praktická měření.

## **Klíčová slova**

Průmyslové chlazení, Kompresorové chlazení, peltierův článek, měření spotřeby, měřicí stanice spotřeby elektrické energie, výpočet spotřeby energie.

## **Abstract**

This bachelor thesis is focused on problems in the area of industrial cooling and cooling equipment. The principles of cooling used in practise are stated in practical part. This thesis is also focused on measurement technique of electrical energy consumption in cooling units and calculation of financial costs related to industrial cooling. For the purpose of resultant use in industry the measurement station of electric energy consumption was constructed and afterwards practical measurements were made.

## **Key words**

Industrial cooling, compressor cooling, Peltier element, power consumption measurement, measuring station of electric energy consumption, calculation of energy consumption.

## **Prohlášení**

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

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

.....  
podpis

V Plzni dne 6.6.2018

Martin Havlík

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Vladimíru Kindlovi, Ph.D. a konzultantu Ing. Martinu Neuhäuserovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Poděkování také patří společnosti SMC za poskytnutí příležitosti řešit danou problematiku. Dále bych rád poděkoval své rodině za vytvoření vhodných podmínek pro vznik této práce.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>11</b>
<b>1 TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
1.1 PROBLEMATIKA A PRINCIPY CHLAZENÍ.....	12
1.1.1 <i>Kompresorové chlazení</i> .....	14
1.1.2 <i>Chlazení peltierovým článkem</i> .....	19
1.2 PROBLEMATIKA MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN.....	21
1.2.1 <i>Měření elektrického napětí</i> .....	21
1.2.2 <i>Měření elektrického proudu</i> .....	22
1.2.3 <i>Přístroje pro měření kmitočtu</i> .....	24
1.2.4 <i>Princip měření přístroje SMZ-133</i> .....	24
<b>2 PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>27</b>
2.1 NÁVRH A STAVBA MĚŘICÍ STANICE.....	27
2.1.1 <i>Volba měřicího systému</i> .....	27
2.1.2 <i>Stavba stanice</i> .....	28
2.2 MĚŘENÍ S UMĚLOU TEPELNOU ZÁTĚŽÍ.....	30
2.2.1 <i>Výpočet tepelné energie produkované umělou tepelnou zátěží</i> .....	35
2.2.2 <i>Závěr měření s umělou tepelnou zátěží</i> .....	37
2.3 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ V PRŮMYSLOVÉ PRAXI.....	38
2.3.1 <i>Měření konkurenční chladicí jednotky</i> .....	38
2.3.2 <i>Měření chladicí jednotky SMC</i> .....	40
2.3.3 <i>Výpočet nákladů na provoz jednotek</i> .....	41
2.3.4 <i>Výpočet tepelného výkonu produkovan laserovými diodami</i> .....	44
2.3.5 <i>Vyhodnocení a závěr měření</i> .....	46
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>48</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>49</b>



## Úvod

Teoretická část práce je zaměřena na popis a seznámení čtenáře s problematikou průmyslového chlazení a měření spotřeby průmyslových chladicích jednotek. Na začátku jsou uvedeny způsoby chlazení, které se dnes v průmyslu standardně používají a jsou vyvíjeny nejen společností SMC. Je zde popsán běžně používaný systém kompresorového chlazení a další způsob chlazení pomocí Peltierova článku. Každý zde popsán chladicí systém lze považovat za elektrické zařízení, jelikož je napájen zdrojem elektrického napětí a převádí elektrickou energii na energii tepelnou. Součástí práce je popis vnitřního uspořádání jednotky s vysvětlením základních funkcí jednotlivých komponentů. Z důvodu zaměření práce na analýzu spotřeby energie je v další fázi popsána podstata měření elektrických veličin a vysvětlení funkčního principu měření přístroje, který je použit při praktickém měření.

V praktické části je čtenář seznámen s průběhem řešení problematiky zadané společností SMC. Je zde názorně vypracován popis návrhu a stavby přenosné měřicí stanice. Dále je popsán průběh prvního měření s přenosnou stanicí. Měřena byla chladicí jednotka od firmy SMC, která pracovala s umělou tepelnou zátěží. Práce rovněž popisuje měření provedené u jednoho ze zákazníků společnosti SMC, kde byla chladicí jednotka porovnána s konkurenční jednotkou z hlediska spotřeby elektrické energie. Na základě vyhodnocených a naměřených dat byla odhadnuta návratnost investice pro koncového uživatele. K celé práci je napsán závěr s vyhodnocením získaných výsledků. Též byl vypracován manuál k měřicí stanici.

## Seznam obrázků

OBR. 1 - INDUKČNÍ OHŘEV S DUTÝM INDUKTOREM PROTÉKANÝM CHLADICÍ VODOU [1].....	12
OBR. 2 - OKRUH JEDNOSTUPŇOVÉHO KOMPRESOROVÉHO ZAŘÍZENÍ [9] .....	15
OBR. 3 - P-H DIAGRAM CHLADICÍHO OKRUHU [10] .....	16
OBR. 4 - SCHÉMA NEPŘÍMÉHO KOMPRESOROVÉHO CHLAZENÍ [2].....	17
OBR. 5 - NÁZORNÁ UKÁZKA VÝHODY MOTORU S FREKVENČNÍM MĚNIČEM [2] .....	18
OBR. 6 - PELTIERŮV ČLÁNEK PRACUJÍCÍ V CHLADICÍM A OHŘÍVACÍM REŽIMU [14] .....	19
OBR. 7 – VNITŘNÍ USPOŘÁDÁNÍ CHLADICÍ JEDNOTKY S PELTIEROVÝM ČLÁNKEM [14] .....	20
OBR. 8 - BLOKOVÉ SCHÉMA ZÁKLADNÍCH ČÁSTÍ ČÍSLICOVÉHO VOLTMETRU [18] .....	22
OBR. 9 – PŘEVOD ANALOGOVÉHO SIGNÁLU DO ČÍSLICOVÉ PODOBY [18] .....	22
OBR. 10 - BLOKOVÉ SCHÉMA PŘÍMÉHO ČÍSLICOVÉHO MĚŘENÍ KMITOČTU [18] .....	24
OBR. 11 - PANELOVÝ MĚŘICÍ PŘÍSTROJ SMZ - 133.....	27
OBR. 12 - OSAZOVÁNÍ VNITŘKU STANICE SOUČÁSTKAMI.....	28
OBR. 13 - OSAZOVÁNÍ VNITŘKU MĚŘICÍ STANICE SOUČÁSTKAMI.....	28
OBR. 14- POPIS MĚŘICÍ STANICE ZVENKU .....	29
OBR. 15 - VNITŘNÍ SILOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ STANICE [16] .....	29
OBR. 16 – ZAŘÍZENÍ PRACUJÍCÍ JAKO UMĚLÁ TEPELNÁ ZÁTĚŽ.....	30
OBR. 17 - DETAIL OVLÁDACÍHO DOTEKOVÉHO PANELU ZAŘÍZENÍ UMĚLÉHO TEPELNÉHO ZATÍŽENÍ.....	31
OBR. 18 - ZAPOJENÍ MĚŘENÍ S UMĚLOU TEPELNOU ZÁTĚŽÍ.....	31
OBR. 19 - USPOŘÁDÁNÍ MĚŘENÍ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE U KONCOVÉHO ZÁKAZNÍKA.....	39
OBR. 20 - USPOŘÁDÁNÍ MĚŘENÍ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE U KONCOVÉHO ZÁKAZNÍKA.....	39
OBR. 21 - SENZORY PRŮTOKU A TEPLoty PF3W711-F10-FT-M OD SPOLEČNOSTI SMC .....	39

## Seznam symbolů a zkratk

SMC.....	Sintered Metal Corporation
HFC .....	Hydrofluorocarbons (Fluorované uhlovodíky)
PFC .....	Perfluorinated compound (Zcela fluorované uhlovodíky)
GWP .....	Global warming potencial (Potenciál globálního oteplování)
SF6.....	Fluorid sírový
CO2.....	Oxid uhličitý
kg .....	kilogram
K .....	Kelvin
J.....	Joule
PID .....	Regulátor složený z proporciální, integrační a derivační části
R410A.....	Označení chladicí směsi
Bi-Te-Se .....	Bismut-tellur-selenid
Bi-Sb-Te .....	Bismut-antimon-tellurid
MTP .....	Měřicí transformátor proudu
°C.....	Stupně celsia
Cosφ.....	účinník
s.....	sekunda
3f.....	Tři fáze

# 1 Teoretická část

V teoretické části, jsou uvedeny základní principy chlazení, které se dnes v průmyslové praxi běžně používají. Dále je teoretická část zaměřena na principy měření elektrických veličin, zejména na podstatu měření přístroje SMZ-133 od společnosti KMB Systems, který je použit k měření v praktické části práce.

## 1.1 Problematika a principy chlazení

V dnešní průmyslové praxi je práce většiny zařízení doprovázena uvolňováním velkého množství tepla. U mnoha případů je toto teplo nežádoucí, jelikož může poškozovat provozovaný přístroj, nebo snižovat jeho účinnost. Typickým příkladem je laserová dioda, která při své funkci produkuje značné množství tepla. Kdyby toto teplo nebylo v dostatečném množství odváděno, došlo by k poškození polovodičové struktury, a tím i ke zničení laserové diody. Dalším příkladem je dnes stále více využívaný indukční ohřev, kde je induktor o několika závitích napájený zdrojem o vysoké frekvenci (řádově desítky kHz). Ve středu induktoru se vytváří silné elektromagnetické pole. Do středu induktoru se vkládá vsázka v podobě vodivého materiálu, který je taven nebo ohříván. Vsázka se ohřívá vířivými proudy ve vsázce naindukovaných díky magnetickému poli. Přičemž chlazen musí být měděný induktor, aby nedošlo k jeho přílišnému zahřátí, a v horším případě tavení. Realizováno je to tím způsobem, že je induktor dutý a protéká v něm chladicí voda. Příklad tohoto procesu je zobrazen na Obr. 1. [1] [2]



Obr. 1 - Indukční ohřev s dutým induktorem protékaným chladicí vodou [1]

Základním účelem chladicích zařízení je tedy odebírat dostatečné teplo objektům, tělesům, či látkám, které se tím ochlazují na teplotu požadovanou. Je-li využíváno teplo z chladicího zařízení, nazýváme toto uspořádání tepelným čerpadlem. Toto uspořádání se dnes běžně používá pro vytápění budov i podniků. [3] [4]

Při návrhu chladicího zařízení pro konkrétní aplikaci musí být brán zřetel zejména na tepelný výkon produkovaný zařízením, které chceme chladit. V první řadě tedy dochází k výpočtu produkovaného tepelného výkonu, a tím ke zjištění jaký chladicí výkon bude zapotřebí. Dalším krokem je volba druhu chlazení, který bude pro danou aplikaci vhodný. Problémem může být prašnost prostředí či vysoká teplota okolního vzduchu u vzduchem chlazených aplikací. Dalším kritériem je v dnešní době jednoduchost obsluhy a údržby chladicích zařízení. Proto se v průmyslových aplikacích stále častěji setkáváme s kompresorovými chladicími jednotkami, jejichž výrobcem je nejenom společnost SMC. [5]

Palčivým problémem, který je v současnosti u průmyslového chlazení řešen, jsou nebezpečné fluorované skleníkové plyny (dále jen F-plyny), se kterými většina těchto chladicích zařízení pracuje a využívá je ve svém interním chladicím okruhu. F-plyny se dělí do několika skupin dle obsahu částečných fluorovaných uhlovodíků (látky HFC), celkově fluorovaných uhlovodíků (látky PFC), plynu SF<sub>6</sub> (fluorid sírový) a dalších. Tyto plyny mají potenciál vytvářet skleníkový efekt, a tím i způsobovat globální oteplování. Byl stanoven takzvaný potenciál globálního oteplování (GWP), který je vztažen k jedné molekule CO<sub>2</sub> (oxid uhličitý), pro nějž je rovný jedné. Některé F-plyny mají tento potenciál tisícinásobně větší. Pokud má tedy látka například tento potenciál roven 500, má jedna molekula vypuštěného plynu stejný efekt jako 500 molekul CO<sub>2</sub>. Kvůli nebezpečnosti těchto plynů se musí pečlivě kontrolovat, zda nejsou na těchto zařízeních úniky. Navíc je práce s plynem z hlediska životního prostředí nebezpečná při převozu, skladování a výrobě. Z těchto důvodů je cílem dnešních vývojářů a techniků eliminovat používání těchto plynů a vymyslet řešení, které by bylo stejně účinné a nepoškozovalo životní prostředí. [6]

### 1.1.1 Kompresorové chlazení

Kompresorové chlazení patří k nejpoužívanějšímu druhu strojního chlazení. Z hlediska využití tepelné energie, kterou produkují, ho můžeme rozdělit na přímé a nepřímé. S kompresorovým chlazením se můžeme setkat nejen v průmyslových aplikacích, ale i v domácnostech. Nejjednodušším zařízením pracujícím ve většině případů na principu přímého kompresorového chlazení je obyčejná lednice, kterou disponuje každá domácnost. Jak již název napovídá, přímé chlazení využívá tepelné energie ke chlazení přímo, což znamená, že dochází k ochlazení vzduchu, který je volnou konvekcí, či ventilátorem dopravován do prostoru, který má být chlazen. V průmyslové praxi se však setkáváme spíše s nepřímým chlazením a to hlavně z důvodu měrné tepelné kapacity teplotnosného média. Nepřímé chlazení využívá většinou některé z kapalných médií, např. vodu či směs ethylenglykolu s vodou. Měrná tepelná kapacita udává množství tepla, které je potřebné k ohřátí 1 kg látky o 1 K. V tabulce 1 lze vidět porovnání hodnot pro vzduch a vodu při 20 °C. [7]

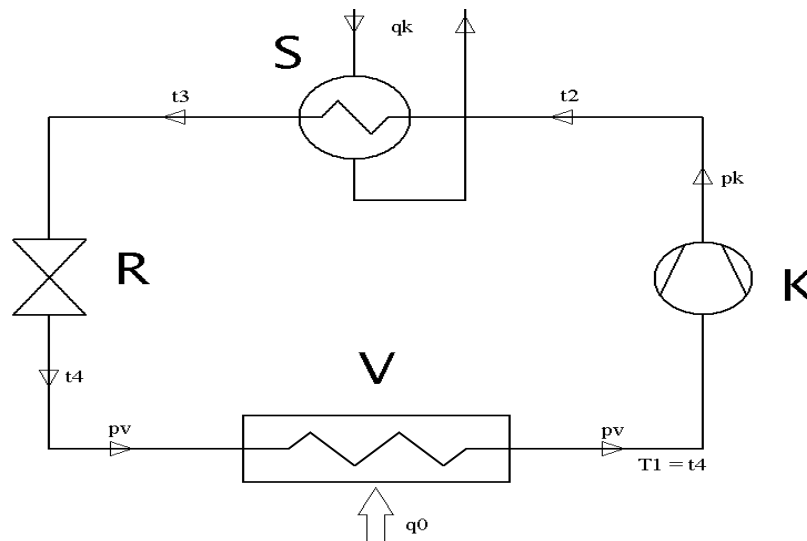
**Tabulka 1 - Porovnání měrné tepelné kapacity voda x vzduch [7]**

TEPLONOSNÉ MÉDIUM	MĚRNÁ TEPELNÁ KAPACITA (J/kg/K)
Voda	4180
Vzduch	1010

Z hodnot v tabulce 1 lze usoudit, že voda je z hlediska odvodu tepla lepším médiem než vzduch, jelikož 1 kg látky odvede více než čtyřnásobné množství tepla.

Cyklus v lednici probíhá tak, že do kompresoru vstupuje plyn, který má teplotu o něco málo vyšší než je vnitřní teplota prostoru lednice. Plyn je následně v kompresu stlačen, čímž dojde k jeho poměrně velkému zahřátí. Pod tlakem pak plyn prochází systémem trubic, kde je následně ochlazen teplotou okolního prostředí a kondenzuje. Z plynu se tak stává kapalina, jež má o něco větší teplotu, než je teplota okolí. Kapalina se dále odvádí expanzním ventilem do prostoru s nižším tlakem, kde dochází k jejímu skokovému odpaření. Odpaření má za následek odebrání velkého množství tepla z prostoru lednice a tím tedy ochlazení prostoru lednice. Lednice je typickým příkladem přímého

kompresorového zařízení. [8]



Obr. 2 - Okruh jednostupňového kompresorového zařízení [9]

Na Obr. 2 je znázorněn systém jednostupňového kompresorového chladicího zařízení, jehož principi byl vysvětlen výše. Na obrázku jsou vidět základní části zařízení, kde:

R - redukční (expanzní) ventil

K – kompresor

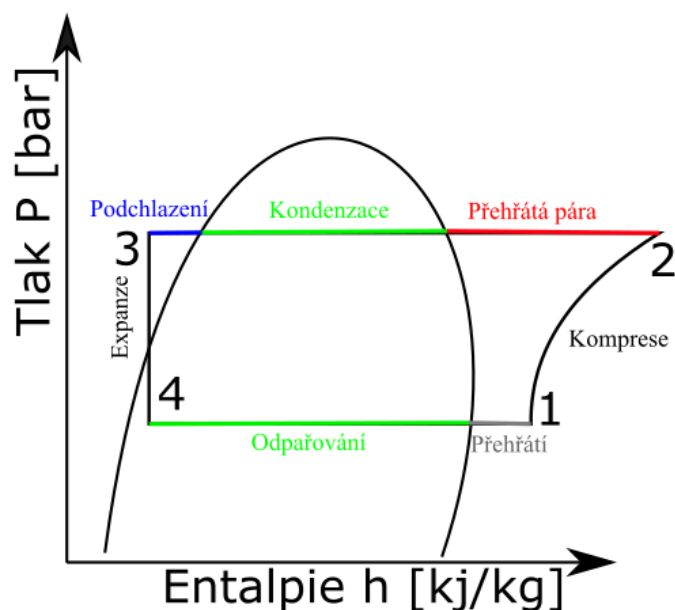
V – výparník

S – kondenzátor (srážník)

Pro chladicí okruh, u kterého zanedbáme tepelné ztráty, platí rovnice:

$$Q_0 + A_k = Q_k \quad (1)$$

Dle tohoto vzorce lze vypočítat výsledné teplo  $Q_k$  odebrané chladicím zařízením.  $Q_0$  v rovnici značí teplo ve výparníku V.  $A_k$  je práce provedená kompresorem.



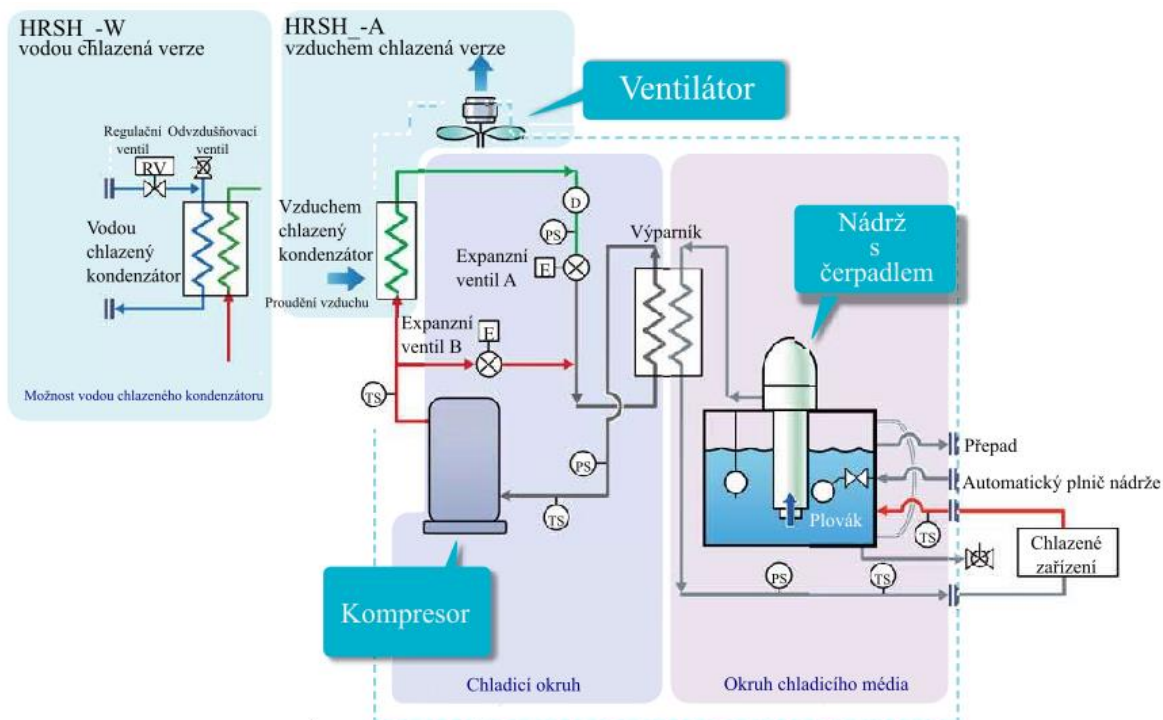
Obr. 3 - P-h diagram chladicího okruhu [10]

Pro zpřehlednění jednotlivých fází chladicího oběhu byly navrženy různé tepelné diagramy. Kompresorovému chladicímu oběhu nejlépe odpovídá takzvaný P-h diagram, což je závislost tlaku v systému na entalpii (vnitřní energii termodynamického systému), která je uvedena na Obr. 3. Proces chlazení začíná v bodě (1), kde se nasává vypařené chladivo. Na křivce z bodu (1) do bodu (2), probíhá komprese, při čemž se stlačují a kompresním teplem zahřívají páry. Tyto páry vstupují do kondenzátoru. Kondenzátor má za následek ochlazení a kondenzaci páry, která se ochladí. Dále dochází k podchlazení kapalného chladiva a dostáváme se do bodu (3). Na přímce z bodu (3) do bodu (4) je tlak kapalného chladiva prudce snížen po průchodu škrtkicím orgánem. Dochází k odpařování chladiva při teplotě  $T_e$ . Výparné teplo je pomocí teplosměnné plochy přiváděno z chlazeného prostoru. Přehřátí par v bodě (1) zajišťuje expanzní ventil. Je tomu tak, jelikož by mohlo dojít k poškození kompresoru, kdyby pára nebyla dostatečně suchá. Černá křivka v diagramu pak naznačuje, kdy je chladivo plynné a kdy kapalné. Pokud se nacházíme uvnitř křivky, je chladivo kapalina, pokud se nacházíme venku křivky, je chladivo plyn. Přičemž tvar křivky je dán použitým chladivem v oběhu. [11]

Avšak v průmyslových kompresorových chladicích jednotkách vypadá celý systém trochu jinak. Rozdíl je v tom, že se jedná o kompresorové chlazení nepřímé. Což znamená v podstatě to, že výparník neochlazuje přímo zařízení, které potřebujeme chladit, ale teponosné médium. To následně ochlazuje provozované zařízení. Jako teponosné médium se ve většině případů používá voda. Tento sekundární okruh je tedy složen



z několika základních částí, jimiž jsou čerpadlo pohánějící teplotně médium, tepelný výměník (na primární straně výparník) a chlazené zařízení. Obrázek popisující toto uspořádání je zobrazen níže. [11] [12]

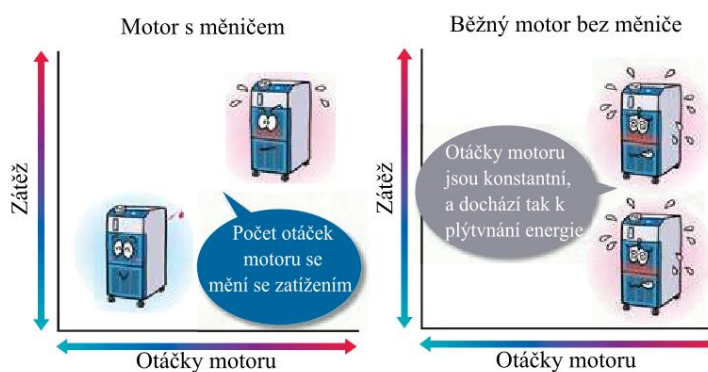


Obr. 4 - Schéma nepřímého kompresorového chlazení [2]

Na Obr. 4 je zobrazeno principiální schéma průmyslové chladicí jednotky SMC s označením HRSH100-AF-40. Můžeme vidět dva základní okruhy systému. Chladicí okruh nacházející se uprostřed obrázku pracuje na stejném principu, jako je uvedeno v předešlé části. V chladicím okruhu je použit F-plyn, označovaný jako R410A s GWP (potenciál globálního oteplování) 2088. Hlavními částmi okruhu jsou kompresor, kondenzátor a výparník s tepelným výměníkem, který předává tepelnou energii sekundárnímu okruhu (okruh chladicího média). Rozdílem oproti schématu na Obr. 2 je bypass (přemostění) kondenzátoru. Součástí bypassu je expanzní ventil B, který s expanzním ventilem A, a jejich správným řízením zajišťuje vysokou teplotní stabilitu. Expanzní ventily jsou řízeny pomocí PID regulátoru na základě signálů z teplotních senzorů (TS) a senzorů tlaku (PS) v chladicím okruhu. [2] [6]

Výhodou chladicích jednotek ze série HRSH je moderní kompresor poháněný synchronním motorem s rotorem s permanentními magnety, který je napájen z měniče kmitočtu. Měnič frekvence zajišťuje změnu frekvence a velikostí napájecího napětí řízení

otáček motoru. Otáčky motoru jsou řízeny na základě tepelné zátěže, s kterou chladicí jednotka pracuje. Tímto způsobem jednotka dokáže šetřit energii oproti zastaralému řešení, kdy se motor pohánějící kompresor točí konstantními otáčkami a chladicí výkon je řízen pouze bypassem a expanzními ventily. Další výhodou tohoto uspořádání je životnost motoru, která je zvýšena nejen menším zatěžováním, ale i jednoduchou konstrukcí motoru (neobsahuje kroužky a uhlíky jako běžný synchronní motor). Na druhou stranu jsou tyto motory náchylnější na přehřátí. Principiální porovnání je zobrazeno níže na Obr. 5. [2]



**Obr. 5 - Názorná ukázka výhody motoru s frekvenčním měničem [2]**

Stejným způsobem jako je řízený motor pohánějící kompresor, je řízen také motor ventilátoru ochlazující kondenzátor v primárním okruhu. Otáčky motoru ventilátoru také reagují na aktuální tepelnou zátěž v procesu. SMC nabízí tento produkt s možností chlazení kondenzátoru vodou s označením HRS100-WF-40. Množství odebraného tepla z kondenzátoru pak není řízeno otáčkami ventilátoru, ale objemovým průtokem média, který je řízen redukčním ventilem (RV). Odpadá tak nutnost ventilace tepla do okolního prostředí, což může mít určité výhody, zejména co se týče hluku, nebo vyšší účinnosti stroje při vysoké okolní teplotě, kdy by aktivní chlazení vzduchem bylo neefektivní. Dalším benefitem je možnost stroje pracovat ve velmi prašném prostředí. V takovémto prostředí by se žebra výměníku vzduchem chlazené jednotky zanesla a nečistoty by pak neumožňovaly dostatečný odvod tepla. Dále odpadá nežádoucí oteplování okolního prostředí, například výrobní haly. [2]

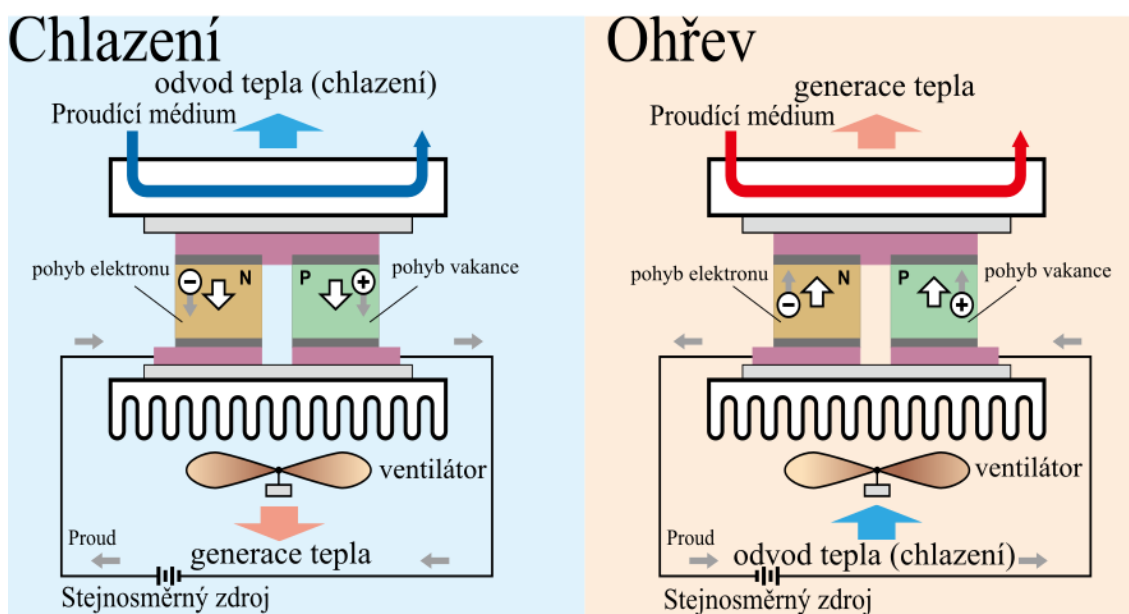
Na Obr. 4 je v pravé části zobrazen sekundární okruh (okruh chladicího média), jehož hlavními částmi jsou čerpadlo s nádrží, tepelný výměník (na primární straně také výparník) a chlazené zařízení. Ponorné čerpadlo je zde vestavěné do nádrže kvůli úspoře místa. Je opět poháněno synchronním motorem s permanentními magnety, jako je tomu v primárním

okruhu u ventilátoru a kompresoru. Synchronní motor je napájen stejným způsobem, tedy měničem frekvence. [2]

### 1.1.2 Chlazení peltierovým článkem

Mimo dnes nejrozšířenější kompresorové chlazení se v praxi začíná používat chladicí zařízení pracující na principu peltierova jevu.

Princip peltierova jevu se nejlépe vysvětluje na peltierově článku, který tento děj umožňuje. Tento článek je složen z dvojice polovodičů, z nichž je jeden typu N a druhý typu P. Dvojice polovodičů je na jednom konci spojena takzvaným spojovacím můstkem a na druhém má přívodní elektrody. Přívodní elektrody mají primární funkci přivést elektrickou energii do článku a sekundární odvod tepla z peltierova článku. [13]

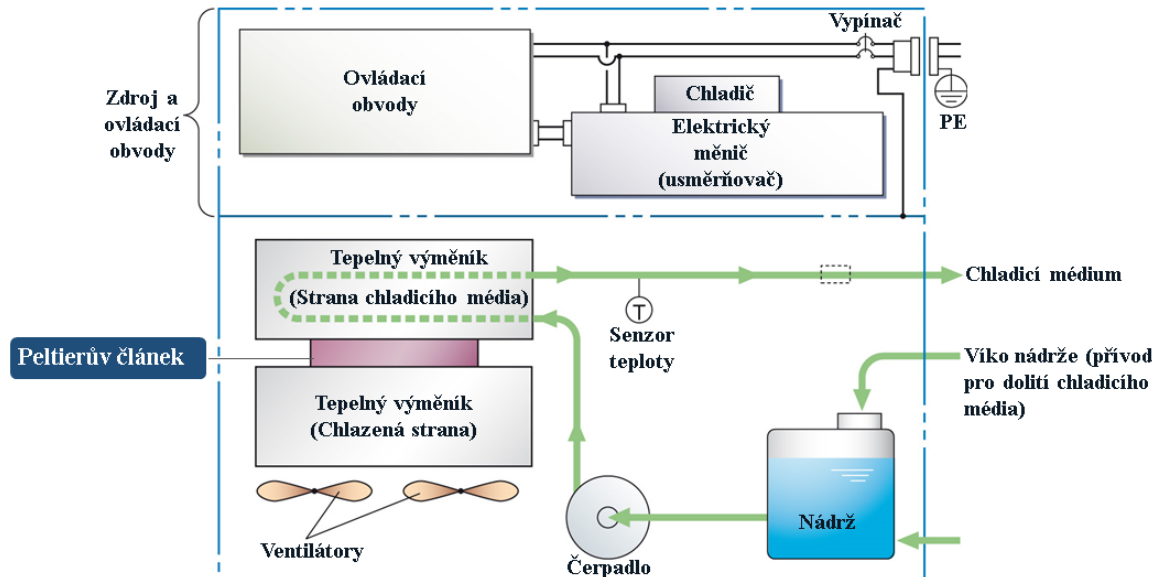


Obr. 6 - Peltierův článek pracující v chladicím a ohřívacím režimu [14]

V zapojení uvedeném v levé části na Obr. 6 chlazení, jsou z polovodiče typu N odváděny ke zdroji napětí elektrony, které jsou jeho majoritní nosiče. Podobně se tak děje v polovodiči typu P, kde se stejným směrem přemísťují majoritní nosiče typu P, elektronové vakance. U přívodních elektrod tedy roste počet volných nosičů náboje a tím pádem stoupá kontaktní napětí mezi přívodními elektrodami a polovodiči. Přívodní elektrody se tímto způsobem začnou zahřívat. Zatímco na spojovacím můstku u polovodičů klesne počet volných nosičů náboje a můstek začne absorbovat teplo (začne se ochlazovat). [13]

Na výrobu peltierova článku se ve většině případů používají Bizmut-telluridy. Pro polovodič typu N je to Bi-Te-Se, a pro polovodič typu P Bi-Sb-Te. Tyto materiály disponují malou tepelnou vodivostí, výbornými termoelektrickými vlastnostmi a malým měrným elektrickým odporem. Spojovací můstky se zhotovují z mědi, jejíž nevýhodou je možná difúze do polovodiče. Ta zhoršuje vlastnosti polovodiče a tím i účinnost článku. Dalším nepříznivým jevem je přechodový odpor mezi polovodičem a spojovacím mostem, který omezuje výkon chladicího článku a rozdíl teplot mezi spojovacím mostem a přívodními elektrodami. Ke zvýšení účinnosti celého cyklu se články řadí do série. Zapojením do série vznikají větší celky a ty se spojují do kaskád pro dosažení většího tepelného rozdílu mezi chladným a teplým spojem. [15] [16]

Tento princip chlazení využívají i některé chladicí jednotky SMC. Nejvýkonnějším zařízením tohoto typu, které společnost SMC vyrábí, je chladicí jednotka s označením HECR012-W. Chladicí kapacita zařízení je 1,2 kW a dokáže udržovat chladicí médium dle nastavené teploty od 10 do 60 °C. Využití peltierova článku a fungování zařízení je popsáno na Obr. 7. [14]



Obr. 7 – Vnitřní uspořádání chladicí jednotky s peltierovým článkem [14]

Toto uspořádání disponuje velikou teplotní stabilitou chladicího média v rozsahu  $\pm 0,01$  do  $\pm 0,03$  °C. Jeho výhodou je rychlost změny z ohřevu na chlazení a naopak. Přičemž stačí na článku otočit polaritu napětí a strana, která se ochlazovala, se bude ohřívat. Na Obr. 7 můžeme také vidět ventilátor, který při chlazení média zvyšuje účinnost

zařízení odebráním tepla ohřívané strany článku. Snižuje se tak rozdíl teplot mezi ohřívanou a ochlazovanou stranou peltierova článku. Dalšími benefity tohoto principu chlazení je delší životnost, nízká hlučnost a fakt, že k funkci zařízení není potřeba použití žádných ekologicky nebezpečných F-plynů na rozdíl od kompresorového typu chlazení. Jeho nevýhodou je na druhou stranu vyšší pořizovací cena při stejném chladicím výkonu zařízení a maximální dosažitelný chladicí výkon zařízení produkovaných společností SMC je 1,2 kW, což je dáno účinností peltierova článku. [14]

## 1.2 Problematika měření elektrických veličin

Z důvodu rozsahu práce je tato část zaměřena hlavně na principy měření použité v praktické části. Uvedeny jsou způsoby měření, kterými byly naměřeny hodnoty pro vyhodnocení spotřeby energie chladicích jednotek SMC.

Základem digitálních měřicích přístrojů je analogově číslicový převodník, jinak také A/D převodník. Je to obvod, který převádí analogový signál elektrické veličiny na číselnou hodnotu v binární soustavě. Údaj je přístrojem zpracován a převeden do číslicové formy, která se zobrazí na displeji. Některé složitější přístroje jsou často řízeny mikroprocesorem, který dokáže připravit data na počítačové zpracování. [17]

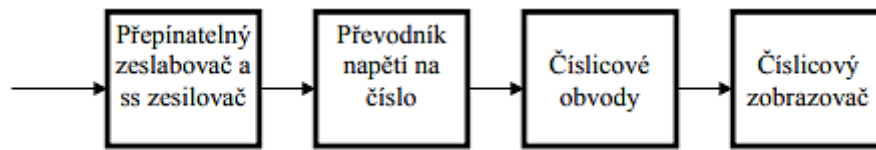
### 1.2.1 Měření elektrického napětí

Číslicové voltmetry se většinou skládají z funkčního hlediska z několika obvodů. Prvním obvodem je část, kde se volí dílčí měřicí rozsahy. Tato část upravuje hodnotu měřeného napětí na hodnotu vyhovující dalšímu zpracování. Další součástí je obvod zajišťující převod napětí na číslo. Tento převod se ve většině případů provádí integrační metodou, jelikož potlačuje rušivé napětí doprovázející měřené stejnosměrné napětí. Střední hodnota měřeného napětí je pak:

$$U = U_x + U_{ru} \frac{\cos\alpha - \cos(2\pi f_{ru} T_i + \alpha)}{2\pi f_{ru} T_i} \quad (2)$$

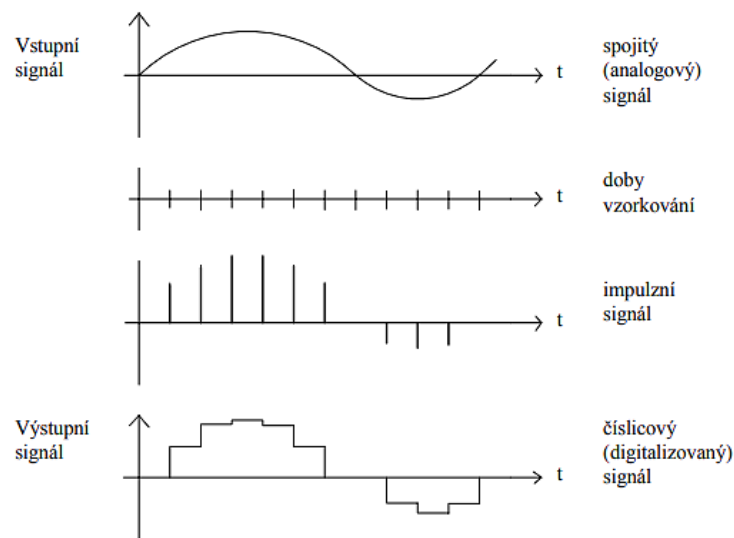
Ve vzorci značí  $U_x$  měřené stejnosměrné napětí.  $U_{ru} \sin(2\pi f_{ru} T_i + \alpha)$  je průběh rušivého střídavého napětí a  $T_i$  je doba integrace. Po-té následuje obvod zajišťující

dočasné uchování a překódování naměřených dat a číselný zobrazovač (displej). Blokové schéma popsaného principu je zobrazeno dále na Obr. 8.



Obr. 8 - Blokové schéma základních částí číslicového voltmetru [18]

Co se týče měření střídavého napětí, je univerzálním způsobem diskretizace průběhu napětí neboli takzvané vzorkování. Navzorkovaný průběh se posléze digitalizuje. Z posloupnosti dat je možné určit střední, efektivní i maximální hodnotu průběhu napětí. Tento způsob měření napětí je velice přesný, chyba metody se pohybuje i pod 0,1%. Nevýhodou je ztráta možnosti měření neperiodického průběhu s kmitočtem nad několik set hertzů. Proces vzorkování a digitalizace signálu je naznačen na Obr. 9. [18]



Obr. 9 – Převod analogového signálu do číslicové podoby [18]

### 1.2.2 Měření elektrického proudu

Je-li vyžadována vysoká přesnost měření střídavých proudů, je nutno použít proudový komparátor. Komparátor funguje na principu porovnávání tepelných účinků stejnosměrného proudu a střídavého proudu na vhodný subjekt (ve většině případů topný vodič). Porovnávání obvykle zajišťuje termočlánek nebo modernější termoelektrický měnič se specifickou polovodičovou strukturou. [18]

Pro střídavý proud se také používá metoda, u které měřený proud protéká termistorem. Termistor se protékaným proudem ohřívá, a tím se mění jeho výsledný odpor. Výsledný odpor se dá měřit více způsoby. Jedním z používaných principů je užití nějakého z druhu můstek. Před započítáním měření se můstek vyváží. Protékaný proud termistorem rozváží můstek změnou jeho odporu. Velikost měřeného proudu se pak určí z indikátoru reagujícího na rozvážení můstku. Touto metodou lze měřit velmi malé proudy až hluboko pod 1 mA. [18]

Pro možnost měření větších proudů se často setkáváme s měřicími transformátory. Měřicí transformátor proudu snižuje hodnotu měřeného průběhu na hodnotu vhodnou k dalšímu zpracování. V úvahu zde připadají pouze střídavé průběhy. Transformační převod se vypočte pomocí vzorce:

$$p_I = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (3)$$

Proudový převod ve vzorci výše je bezrozměrná jednotka a lze jí vyhodnotit více způsoby. Jedním z nich je podíl primárního proudu  $I_1$  k sekundárnímu proudu  $I_2$ . Dalším způsobem jak lze vyhodnotit proudový převod je pomocí počtu závitů na primární a sekundární straně transformátoru. Ve vzorci je tedy  $N_2$  počet závitů na sekundární straně a  $N_1$  je počet závitů na primární straně transformátoru.

Skutečný transformátor však pracuje s určitou chybou, která je způsobena jednak ztrátami transformátoru tak i rozptylovou indukčností primárního a sekundárního vinutí transformátoru. Každý měřicí transformátor má svoji třídu přesnosti, která udává poměrnou amplitudovou chybu proudu v procentech. [18]

Podle českých technických norem mají měřicí transformátory:

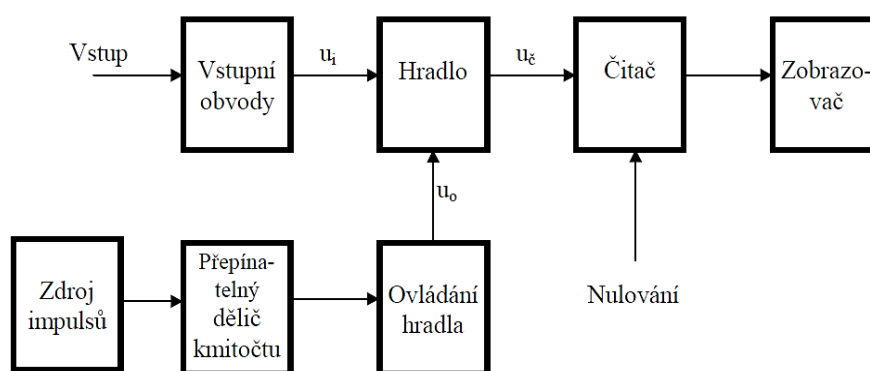
Třídu přesnosti v řadách 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3,

Sekundární jmenovité proudy 1 nebo 5 A,

Jmenovité sekundární zátěže: 5; 10; 15; 30; 45; 60; 90 nebo 120 VA

### 1.2.3 Přístroje pro měření kmitočtu

Kmitočty se dnes většinou měří číslicově. Je tomu tak, protože jde tímto způsobem dosáhnout velké přesnosti a zároveň pohodlnosti měření. Navíc číslicové přístroje pro měření frekvence jsou s vývojem stále lacinější a dovolují zapojení do měřicího systému. Kmitočty se dá měřit číslicově několika způsoby. Jedním z nich je přímé číslicové měření kmitočtu. To vychází z faktu, že frekvence je převrácená hodnota periody. Počet period se zjišťuje čítáním měřeného signálu. Čítání je realizováno v délce známého intervalu  $T$ . Blokové schéma takového způsobu měření je zobrazeno na Obr. 10. [18]



Obr. 10 - Blokové schéma přímého číslicového měření kmitočtu [18]

### 1.2.4 Princip měření přístroje SMZ-133

Tento přístroj patří mezi nejmodernější digitální měřicí přístroje. Je to analyzátor sítě, který vyhodnocuje všechny důležité elektrické veličiny. Je opatřen třemi napětovými vstupy a třemi proudovými vstupy. Umožňuje vyhodnocení harmonických složek až do 50. řádu a dokáže fungovat i jako elektroměr. [19]

Přístroj SMZ-133 je použit v praktické části této práce. Proto je zde popsán jeho základní způsob měření a vyhodnocování dat.

Přístroj měří frekvenci, vzorkuje napětové a proudové signály a vyhodnocuje veličiny z těchto získaných dat. Napětové i proudové signály jsou vyhodnocovány dle IEC 61000-4-30 ed.2., kde je základním vyhodnocovacím intervalem úsek o délce deseti cyklů sítě neboli deseti period sítě pro 50 Hz. Pro 60 Hz je interval dlouhý 12 period sítě, aby byl úsek dlouhý shodně 200 ms. Počet vzorků za jednu periodu je pak u 50 Hz 128 a u 60 Hz



96 za periodu. Tato data jsou základem pro vyhodnocení a výpočet ostatních elektrických veličin důležitých pro analýzu odběru elektrické energie. [19]

Četnost vzorkování je tedy řízena podle frekvence naměřené na napěťových vstupech  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ . Pokud bude frekvence mimo rozsah přístroje, nebudou hodnoty skutečné a nebudou mít žádný výpovědní charakter. [19]

Z navzorkovaných hodnot se počítají efektivní hodnoty napětí podle následujících rovnic:

$$\text{Fázové napětí:} \quad U_1 = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n U_{i1}^2} \quad (4)$$

$$\text{Sdružená napětí:} \quad U_{12} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (U_{i1} - U_{i2})^2} \quad (5)$$

$$\text{Fázový proud:} \quad I_1 = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n I_{i1}^2} \quad (6)$$

Kde  $n$  ve vzorcích znázorňuje počet vzorků za jeden cyklus,  $i$  je index vzorku a  $U_{i1}$ ,  $I_{i1}$  jsou jednotlivé vzorky napětí a proudů.

Vyhodnocovány jsou také harmonické složky a THD (Total Harmonic Distortion), což je celkové harmonické zkreslení a je definováno jako součet výkonů všech harmonických k výkonu první harmonické. Harmonické zkreslení proudu a napětí se vyhodnocuje podle následujících vzorců:

Celkové harmonické zkreslení napětí:

$$THD_{U_1} = \frac{1}{U_{11}} \sqrt{\sum_{i=2}^{50} U_{i1}^2} \cdot 100\% \quad (7)$$

Celkové harmonické zkreslení proudu:

$$THD_{I1} = \frac{1}{I_{11}} \sqrt{\sum_{i=2}^{50} I_{i1}^2} \cdot 100\% \quad (8)$$

Činný, jalový i zdánlivý výkon se vyhodnocují z harmonických složek pomocí vztahů nacházejících se níže:

$$\text{Činný výkon:} \quad P_1 = \sum_{n=1}^{50} U_{i1} \cdot I_{i1} \cdot \cos\varphi_{i1} \quad (9)$$

$$\text{Jalový výkon:} \quad Q_1 = \sum_{n=1}^{50} U_{i1} \cdot I_{i1} \cdot \sin\varphi_{i1} \quad (10)$$

$$\text{Zdánlivý výkon:} \quad S_1 = U_1 \cdot I_1 \quad (11)$$

$$\text{Deformační výkon:} \quad D_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2 + S_1^2} \quad (12)$$

Kde:

$U_{11}$  ..... První harmonická napětí

$I_{11}$  ..... První harmonická proudu

$i$  ..... řád harmonické složky

$\varphi_{i1}$  ..... úhel mezi  $i$ -tými harmonickými složkami  $U_{i1}, I_{i1}$

Měření spotřebované energie za jednotku času vyhodnocuje nezávislý člen v měřicím přístroji, který je oddělen od části vzorkující napětí a proudy. Mimo jiné tento člen zaznamenává také maximální hodnoty průměrných činných výkonů. [19]

Měřicí přístroj také zaznamenává vnitřní teplotu přibližně každých 10 sekund, čímž kontroluje provozní teplotu. Ta by neměla stoupnout nad 60 °C a neměla by být nižší než -20 °C. [19]

## 2 Praktická část

Praktická část je zaměřena na analýzu a měření spotřeby chladicích jednotek SMC. Úkolem bylo vyvinout systém, který by byl vhodný pro danou problematiku a přinesl tak informace potřebné k výpočtu investičních nákladů na provoz chladicí jednotky. V této části je popsán proces návrhu a stavby celého systému a jsou zde vysvětlena praktická měření a výpočty návratnosti investice.

### 2.1 Návrh a stavba měřicí stanice

#### 2.1.1 Volba měřicího systému

Prvním krokem bylo navrhnout, jakým způsobem a jakým systémem měřit. Nejdříve byl uskutečněn důkladný průzkum o problematice měření a o dostupných měřicích přístrojích vhodných pro danou aplikaci. S vhodnými přístroji pro měření byl seznámen zadavatel práce a byl vytvořen užší okruh měřicích přístrojů. Po zvážení všech kritérií, jimiž byla cena, dostupnost a uživatelské rozhraní, byla zvolena zařízení zhotovená firmou KMB Systems sídlící v Liberci, která nabízí produkty pro analýzu sítě, měření spotřeby elektrické energie a podobně. Byl vytvořen rozpočet na stavbu měřicí stanice s panelovým přístrojem SML-33 a se všemi komponenty potřebnými ke stavbě stanice. V rozpočtu byly uvedeny ceny vodičů, jištění, měřicích transformátorů a krabice, do které by se všechny komponenty vložily a vznikl by tak jeden kompletní přenosný systém. Po konzultaci ve firmě KMB Systems se však jevil panelový přístroj SML-33 jako nedostatečný pro daný projekt, jelikož nemá vlastní paměť a musel by k němu být po celou dobu měření připojený počítač. Proto byl zvolen přístroj SMZ-133 v panelovém provedení, který má vlastní paměť pro ukládání naměřených dat. Mezi jeho výhody také patří měření až do 50. harmonické, dostatek analogových vstupů i výstupů, digitálních vstupů a výstupů, možnost připojení k internetu a sledování tak aktuálních hodnot online.



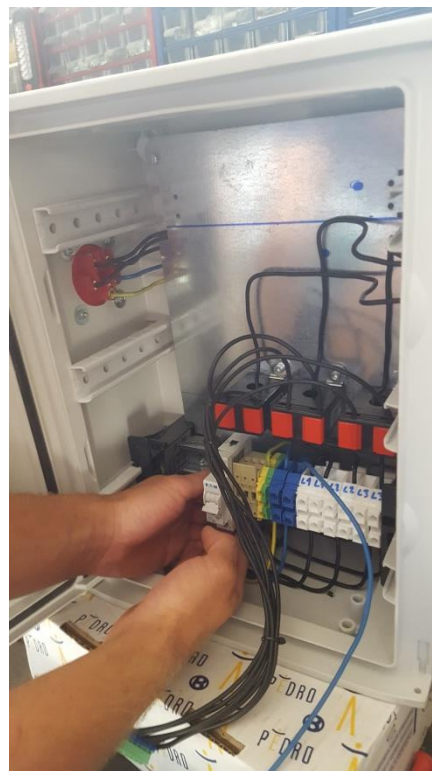
Obr. 11 - Panelový měřicí přístroj SMZ - 133

Dalším krokem bylo najít vhodnou konstrukci, do které by se panelový měřicí přístroj společně se všemi komponenty umístil. Jako vhodné řešení se ukázalo vložit panelový přístroj do rozváděčové skříně. Přičemž rozváděč musel vyhovovat především z hlediska

velikosti, proto byl vytvořen náčrt celého systému, který pomohl zvolit správný rozměr. Po prozkoumání trhu s elektrickými rozváděči byla pořízena skříň IBOCO z řady Pedro s krytím IP65 o rozměrech 504 x 434 x 210 mm (výška x šířka x hloubka).

### 2.1.2 Stavba stanice

Po pořízení všech částí bylo zvoleno umístění panelového přístroje v horní části druhých dveří rozvaděčové skříně. Otvor o rozměrech 144mm x 144mm pro panelový přístroj od firmy KMB Systems byl zhotoven pomocí dvoubřité drážkovací frézy o průměru 8mm. Pod panelovým přístrojem uvnitř skříně se nachází DIN lišta, která je upevněna pomocí plastových jezdců na vnitřních stranách skříně. DIN lišta je osazena jističem s vypínací charakteristikou B, třemi pojistkami a svorkovnicemi, ze které jsou vyvedeny všechny tři fáze do proudových transformátorů s převodem 40 A / 5 A. Ty zajišťují měření proudu bez přetěžování měřícího panelového přístroje a jsou upevněny na zadní



Obr. 12 - Osazování vnitřku stanice součástkami

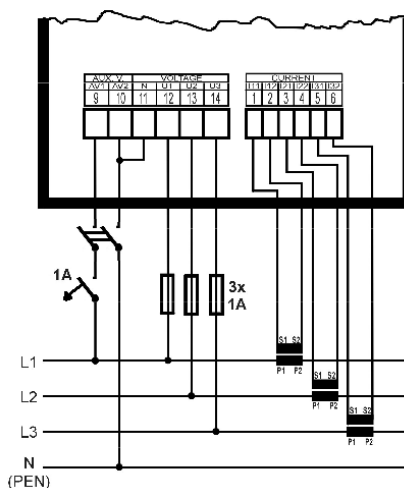
kovovou desku, kterými je rozvaděčová krabice IBOCO opatřena. Přichyceny jsou 6mm šrouby s maticemi, na které byly vytvořeny otvory pomocí stojanové vrtačky. Třífázový vstup do stanice, pomocí kterého se stanice připojuje na síť, je proveden pomocí pětipólové vidlice na 32 A s krytím IP44. Podobným způsobem je zhotoven výstup z pětipólové zásuvky na 32 A se stejným krytím. Zásuvka i vidlice jsou přidělány pomocí imbusových šroubů o průměru 5mm, které jsou opatřeny podložkami, aby nedocházelo k mechanickému poškození plastového rámečku. Díry ve skříni pro imbusové šrouby byly vyrobeny stolní stojanovou vrtačkou. Pod přístrojem v levé části se nachází hlavní vypínač, pomocí něhož se vypíná napájení panelového přístroje. Ze zadní části panelového přístroje jsou na druhá dvířka skříně vyvedeny analogové a digitální vstupy, na něž mohou být připojeny například senzory průtoku nebo senzory teploty. Proudový obvod je zhotoven pomocí Cu vodičů o průřezu 4 mm<sup>2</sup> s proudovou zatížitelností až 41 A. Napěťový obvod je spojen pomocí flexibilních Cu vodičů o průřezu 2 mm<sup>2</sup> z důvodu snadného otevírání

druhých dveří, jejichž proudová zatížitelnost je jistěna pojistkami. Na horní část skříně je přiděláno kovové madlo pro snadnou manipulaci s měřícím zařízením. Spodní část stanice je opatřena gumovými nožičkami, aby nedocházelo k mechanickému odírání spodní části stanice.



Obr. 14- Popis měřicí stanice zvenku

Měřicí panelový přístroj má jištěné napájení, které je zabezpečeno pomocí jističe s vypínací charakteristikou B a vypínacím proudem 1 A, přičemž je připojen na první fázi. Jištěny jsou také napěťové vstupy ze všech fází, jejichž ochrana je zajištěna rychlými pojistkami s tavným proudem 1 A. Vnitřní schéma zapojení stanice je zobrazeno na Obr. 15 dále.



Obr. 15 - Vnitřní silové schéma zapojení stanice [16]

## 2.2 Měření s umělou tepelnou zátěží

Měření proběhlo 2. 11. 2017 v hlavním sídle společnosti SMC nacházející se v Korneuburgu v Rakousku. Měřeným subjektem byla chladicí jednotka SMC HRS100-AF-40. Úkolem bylo otestovat měřící stanici a zanalyzovat odběr chladicí jednotky, která byla zatěžována umělou tepelnou zátěží. Dále bylo ověřeno správné fungování sběru dat z čidel průtoku a teploty, které byly připojeny na analogové a digitální vstupy.

Umělá tepelná zátěž byla realizována pomocí komplexního zařízení navrženého pro účely testování chladicích jednotek SMC. Zařízení bylo napájeno ze sítě 3 x 400 V. Primárně se pomocí umělé tepelné zátěže testuje správná funkce chladicí jednotky, která byla před testováním opravena. Součástmi systému pro generování umělé tepelné zátěže jsou ovládací dotykový panel, odporový ohřev, senzor průtoku chladicího média a senzory teploty ověřující správnou funkci zařízení. Dále je zařízení vybaveno prostorem pro menší chladicí jednotku, která slouží jako simulace centrálního rozvodu podnikové vody. Díky této menší chladicí jednotce mohou být umělou tepelnou zátěží testovány i vodou chlazené jednotky.

Na Obr. 16 je vyfoceno zařízení popsané výše. Na fotce můžeme vidět tři odporová topení v otevřených dveřích, jejichž požadovaný tepelný výkon lze nastavit na dotykovém displeji.

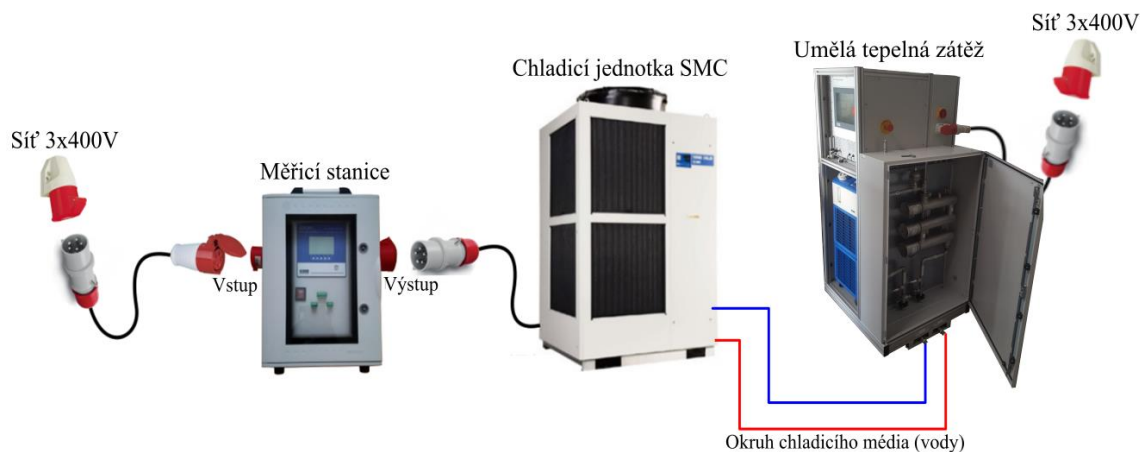


Obr. 16 – Zařízení pracující jako umělá tepelná zátěž



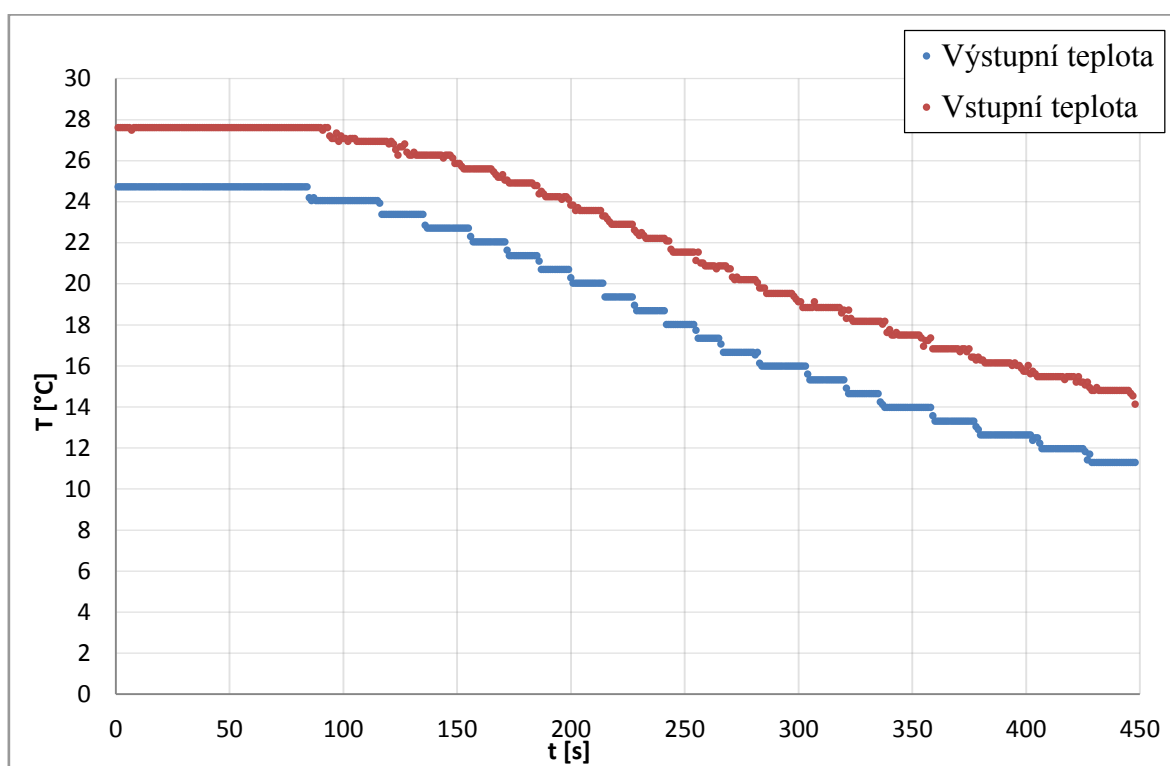
**Obr. 17 - Detail ovládacího dotekového panelu zařízení umělého tepelného zatížení**

Na Obr. 17 je zobrazen ovládací panel, pomocí něhož se ovládá zařízení pracující jako umělá tepelná zátěž. V levé části panelu se jezdcí ovládá tepelný výkon jednotlivých odporových ohřivačů, v tomto případě jsou nastaveny zhruba na polovinu svého maximálního elektrického výkonu. Pod titulkem Elektrische Leistung (elektrická energie) je zobrazena elektrická energie dodávaná do odporových ohřivačů v procentech a v kilowatech. Dále jsou na panelu zobrazeny pod titulkem Sensor Werte (hodnoty snímačů) hodnoty teplot média při vstupu a při výstupu ze zařízení. Také je zde zobrazen průtok média zařízením v litrech za minutu.



**Obr. 18 - Zapojení měření s umělou tepelnou zátěží**

Měřicí stanice byla připojena na síť 3 x 400 V a do výstupu měřicí stanice byla zapojena chladicí jednotka podle Obr. 18. Okruh chladicí vody byl zhotoven pomocí plastových hadic, přičemž na výstupu a vstupu chladicí jednotky byly nainstalovány nezávislé senzory průtoku s integrovaným měřením teploty. Snímač poskytuje využitelné signály o obou veličinách. Analogově se ze senzoru vyhodnocovala teplota signálem 4-20 mA a digitálně průtok, přičemž digitální signál udával hodnotu průtoku jako pulz na litr média o šířce 50 ms. Tyto signály byly přivedeny do měřicí stanice a vyhodnocovány. Důležité bylo správné nastavení stanice, aby vyhodnocovala signály správně a měřila tak skutečné hodnoty průtoku a teplot. [20]

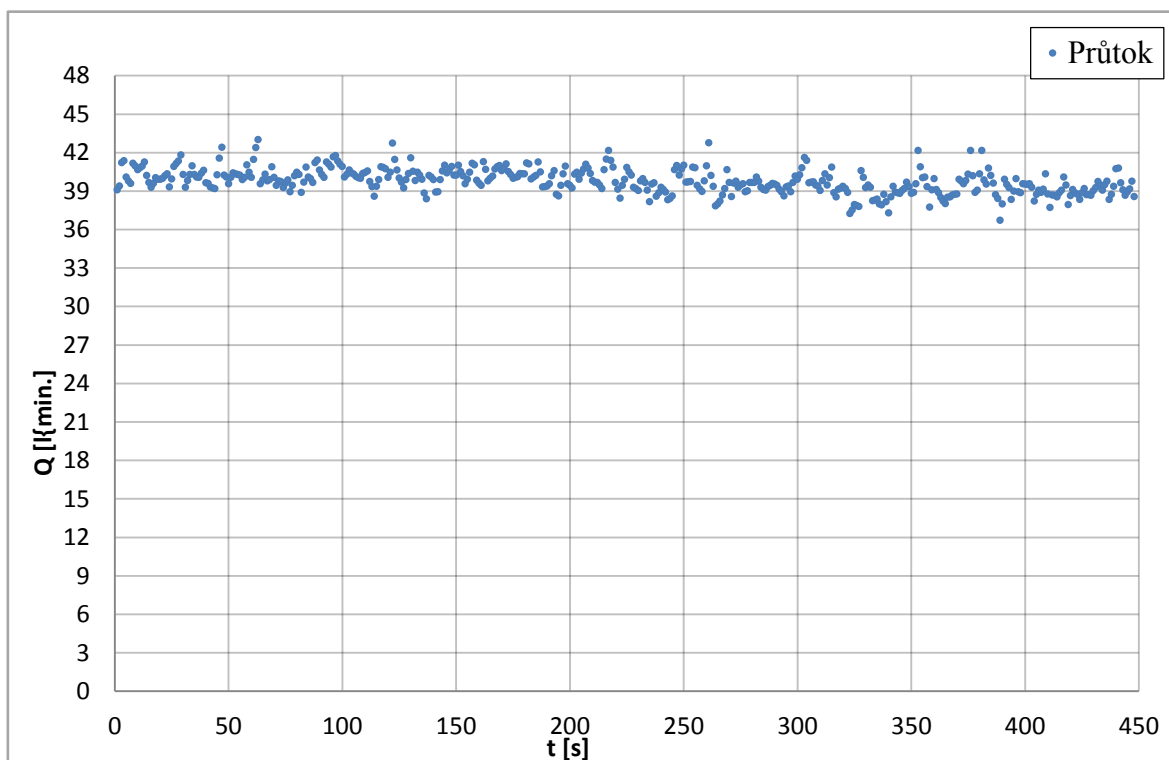


Graf 1 - Teploty chladicího média při vstupu a výstupu z chladicí jednotky

Prvním úkolem bylo ověřit správné zaznamenávání teplot do měřicí stanice ze vstupu a výstupu chladicí jednotky HRS1100-AF-40. Ověření správného fungování zápisu hodnot do stanice bylo ověřeno tak, že se kontrolovala shoda měřených hodnot přímo na senzoru s hodnotami zapisujícími se do měřicí stanice. Vizuální kontrola proběhla v pořádku i při radikální změně teplot o téměř 15 °C. Graf 1 zobrazuje naměřené hodnoty zaznamenané měřicí stanicí pomocí analogových signálů ze senzorů teploty a průtoku. V čase  $t = 0$  byla umělá zátěž zapnuta na plný elektrický výkon a na chladicí jednotce byla nastavena teplota výstupního chladicího média na 25 °C. V čase  $t = 70$  s byla hodnota výstupního chladicího



média nastavena na 10 °C a začal proces chlazení. Jak je vidět z grafu, teplota se začala konstantně snižovat až na požadovanou teplotu. V grafu 2 můžeme vidět průtok chladicího média, vyhodnocený také měřicí stanicí. Průtok byl měřen pouze na výstupu z chladicí jednotky, jelikož je zřejmé, že vstupní a výstupní průtok se musí rovnat. Průtok byl po celou dobu tohoto měření téměř konstantní, jelikož byl nastaven na chladicí jednotce konstantní výtlak. Zde docházelo k drobným odchýlkám od údaje zobrazovaného přímo na druhém senzoru průtoku  $\pm 2$  l/min. Tato nepřesnost byla z největší pravděpodobnosti způsobena instalací senzoru blízko ohybu trubice v chladicí jednotce a docházelo tak k víření kapaliny a tím k nepřesnému měření. Nicméně chyba nebyla způsobena měřicí stanicí, proto můžeme považovat hodnoty za relevantní.



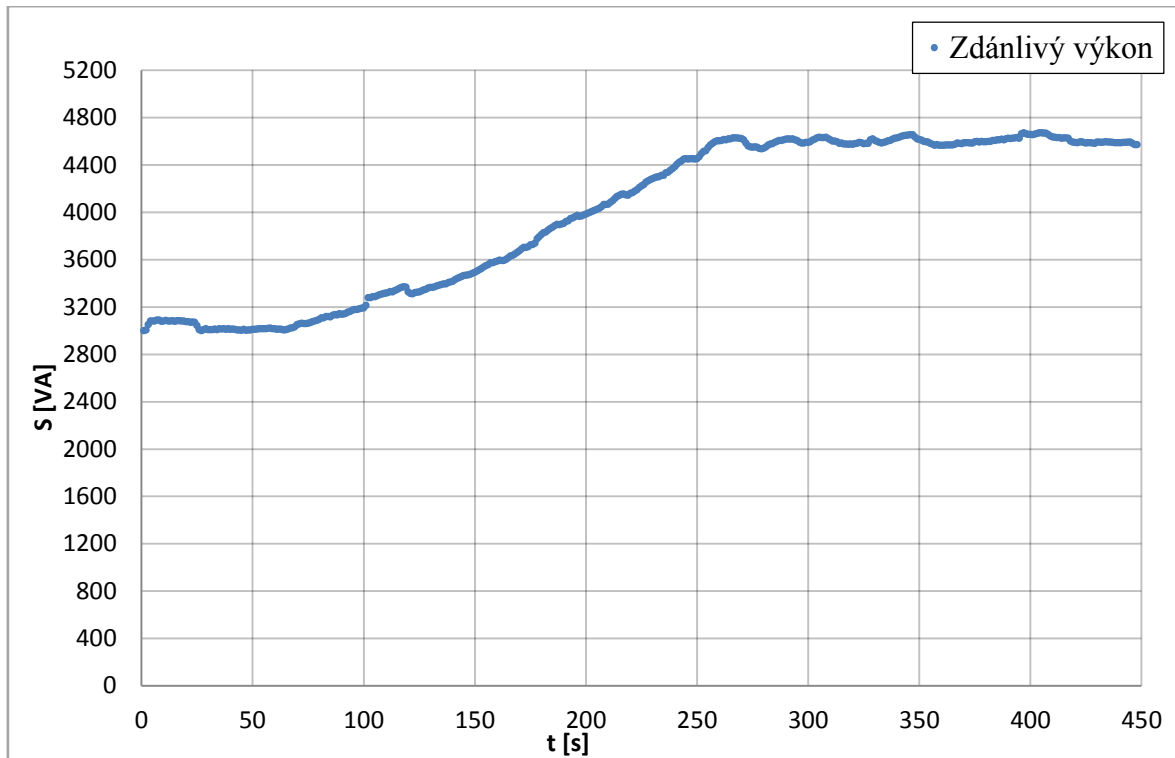
**Graf 2 - Hodnota průtoku v litrech za minutu**

. V grafu 3 je znázorněn odebíraný zdánlivý výkon chladicí jednotkou při ochlazování média z 25 °C na 10 °C při konstantní umělé tepelné zátěži. Odebíraný výkon jednotky se začal postupně zvyšovat v souvislosti s potřebou většího chladicího výkonu k dosažení žádané teploty a s tím spojené větší otáčky kompresoru a ventilátoru. Při měření však nebylo zapnuto ukládání naměřených výkonů do měřicí stanice, proto musel být zdánlivý výkon numericky dopočítán v programu excel. Výpočet byl po té ověřen tím, že byl vypočítán výkon u měření, kde bylo ukládání výkonů zapnuto. Zde byla zkontrolována

shoda z hodnot uložených a vypočtených. Hodnoty se shodli téměř přesně, což je dáno tím, že stanice dělá totožný výpočet automaticky. Zdánlivý výkon byl vypočten pomocí následujícího vzorce. Je zde popsán i konkrétní příklad s dosazenými hodnotami.

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{3} \cdot \frac{U_{12} + U_{23} + U_{31}}{3} \cdot \frac{3I}{3} = \\ &= \sqrt{3} \cdot \frac{404,41 + 404,3 + 404,26}{3} \cdot \frac{12,86}{3} = \\ &= 3001,77 \text{ VA} \end{aligned} \tag{13}$$

Pro výpočet je uvažována souměrná zátěž, proto je zde použit průměr z jednotlivých sdružených napětí a průměr z odebíraných proudů v každé fázi.  $3I$  je součet proudů v každé fázi, který počítá stanice automaticky. Odebíraný proud ve fázích se lišil pouze minimálně, proto lze použít tento vztah, který počítá zdánlivý výkon odebíraný chladicí jednotkou s minimální chybou. Zároveň došlo k podrobné studii toho, jak stanice měří výkony. Činný i jalový výkon z naměřených hodnot nelze spočítat, jelikož chybí hodnoty proudů a napětí vyšších harmonických. Uvažovalo by se tedy pouze s první harmonickou, což by vedlo k velmi nepřesně spočítaným výkonům a k spočtení falešného účinníku  $\cos\varphi$ , který počítá pouze s první harmonickou a nezahrnuje deformační výkon. Vyšší harmonické tu nelze zanedbat zejména proto, že ke své funkci chladicí jednotka využívá měniče frekvence, které deformují odebíraný proud ze sítě a způsobují značný vznik vyšších harmonických. Konkrétně měniče frekvence použité v chladicí jednotce mají na vstupu třífázový diodový usměrňovač, který vytváří zejména 5. a 7. harmonickou a všechny liché kromě lichých násobků 3.



Graf 3 - Zdánlivý výkon odebíraný chladicí jednotkou

### 2.2.1 Výpočet tepelné energie produkované umělou tepelnou zátěží

Tepelná energie generovaná v zařízení pracujícím jako umělá tepelná zátěž může být vypočtena pomocí rozdílu teplot vstupujících a vystupujících ze zařízení a průtoku chladicího média. [21]

Výchozí vzorec pro tepelnou energii  $Q$ :

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} m \cdot c \cdot dT \quad (14)$$

Vzorec pro výpočet hmotnosti  $m$ :

$$m = \rho \cdot V \quad (15)$$

Průtok  $\dot{V}$  můžeme psát jako:

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \quad (16)$$

Po dosazení dostaneme:

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} \dot{V} \cdot t \cdot \rho \cdot c \cdot dT \quad (17)$$

V našem rozsahu teplot předpokládáme, že všechny veličiny jsou konstantní a můžeme tedy integrovat.

Po integraci: 
$$Q = \dot{V} \cdot t \cdot \rho \cdot c \cdot [T]_{T_1}^{T_2} \quad (18)$$

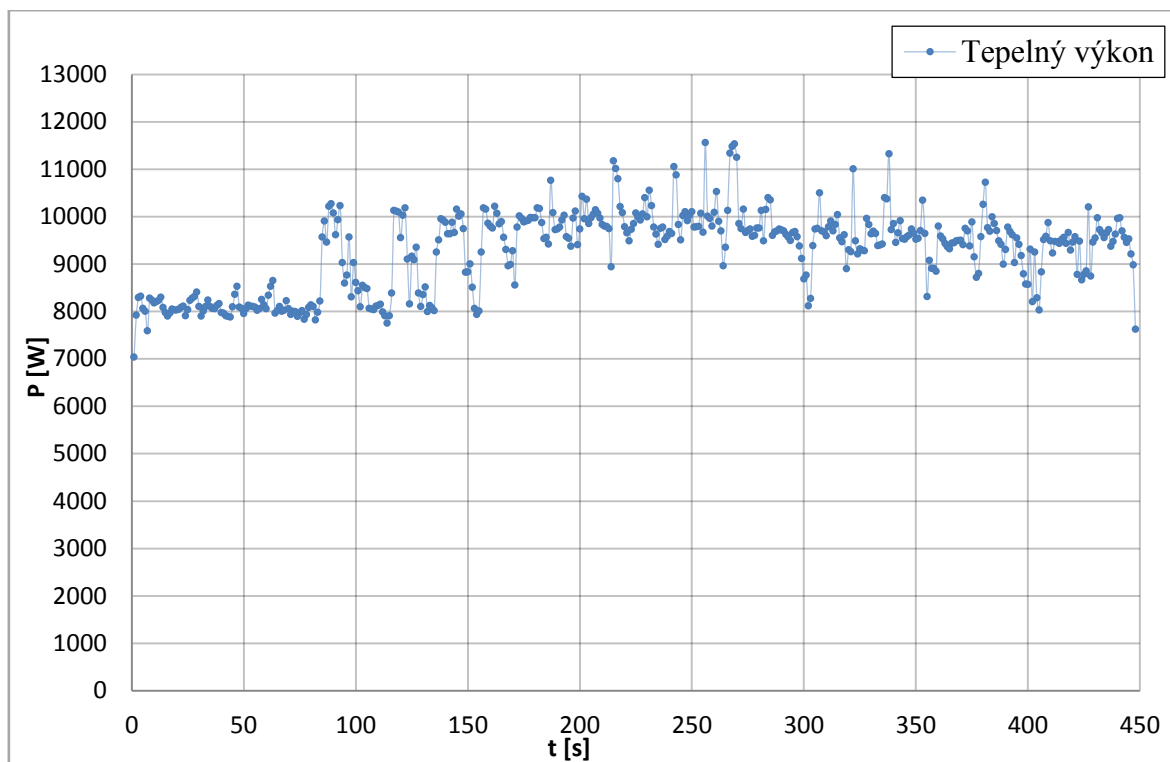
Po dosazení mezi dostaneme: 
$$Q = \dot{V} \cdot t \cdot \rho \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \quad (19)$$

A jelikož platí: 
$$P = \frac{Q}{t} \quad (20)$$

Kde je  $Q$  tepelná energie a  $t$  je čas.

Můžeme psát: 
$$P = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \quad (21)$$

Pomocí výše uvedených vzorců lze vypočítat tepelný výkon  $P$  v okruhu chladicího média. Ve výsledném vzorci (21) je zahrnut průtok  $\dot{V}$ , hustota  $\rho$ , měrná tepelná kapacita  $c$  a rozdíl teplot  $T_2$  a  $T_1$ . Přičemž hustota a měrná tepelná kapacita jsou konstanty. V tomto případě byla použita voda, která má měrnou tepelnou kapacitu 4180 J/kg/K a hustota je 1000 kg/m<sup>3</sup>. [21]



Graf 4 - Tepelný výkon v okruhu chladicího média

## 2.2.2 Závěr měření s umělou tepelnou zátěží

Hlavním úkolem tohoto měření bylo otestovat měřicí stanici a zjistit její využitelnost v průmyslové praxi. Ověřena byla možnost stanice měřit výkony, jejichž ukládání bylo bohužel vypnuto, což vedlo i k důkladné studii principu měření stanice a také k poučení, aby se to u příštího měření neopakovalo. Dále byla úspěšně ověřena možnost připojit ke stanici senzory průtoku a tlaku. Správný odvod tepla z panelového měřicího přístroje byl ověřen vnitřním teplotním senzorem panelového přístroje SMZ-133, jehož hodnoty nepřesáhly po celou dobu měření 35 °C, což je naprosto vyhovující. Dále se nastavila metodika výpočtu tepelné zátěže z naměřených hodnot, vyhodnotili jsme naměřená data za účelem spočítat energii, která se následně využije pro návrh vhodné chladicí jednotky, která bude optimalizována na naměřenou tepelnou energii. Nedílnou součástí měření v Rakousku bylo také představení a seznámení měřicí stanice vyššímu vedení společnosti SMC. Měření bylo hodnoceno velice kladně a projektu bylo odsouhlaseno ověření v průmyslové praxi.

## 2.3 Praktické měření v průmyslové praxi

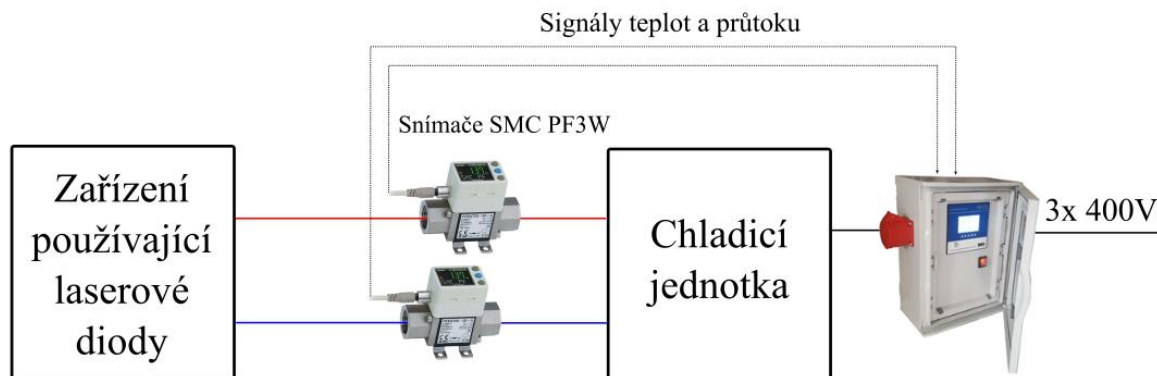
Toto měření proběhlo na Slovensku 15. 11. 2017 u koncového uživatele chladicích jednotek. Jeho účelem bylo naměření spotřeby elektrické energie dvou chladicích jednotek při stejné aplikaci chlazení laserových diod. Následné vyhodnocení dat mělo dokázat, že chladicí jednotka od společnosti SMC bude ke své funkci potřebovat menší elektrický výkon, než jednotka konkurenční. Z naměřených dat lze pro koncového uživatele chladicího zařízení napočítat spotřebu elektrické energie v průběhu měření a tuto hodnotu extrapolovat na měsíční či roční odběr. Dle tarifu společnosti pak spočítat náklady na provoz obou jednotek. Rozdíl provozních nákladů obou systémů by měl odhalit možné finanční úspory. Cílem bylo také naměřit množství energie v aplikaci, které zde reálně vzniká a na základě tohoto údaje pak navrhnout optimalizovanou jednotku z pohledu chladicího výkonu.

**Tabulka 2 - Porovnání chladicích jednotek [2]**

	<b>JEDNOTKA SMC</b>	<b>KONKURENČNÍ JEDNOTKA</b>
<b>Označení</b>	<b>HRSH100-AF-40</b>	-
<b>Maximální chladicí výkon</b>	10 kW	9 kW
<b>Maximální průtok a tlak</b>	45 L/min	21 L/min a 3,5 bar
<b>Napájení</b>	3-f 380 do 400 V AC (50/60 Hz)	3-f 400 V, 50 Hz, <13 A

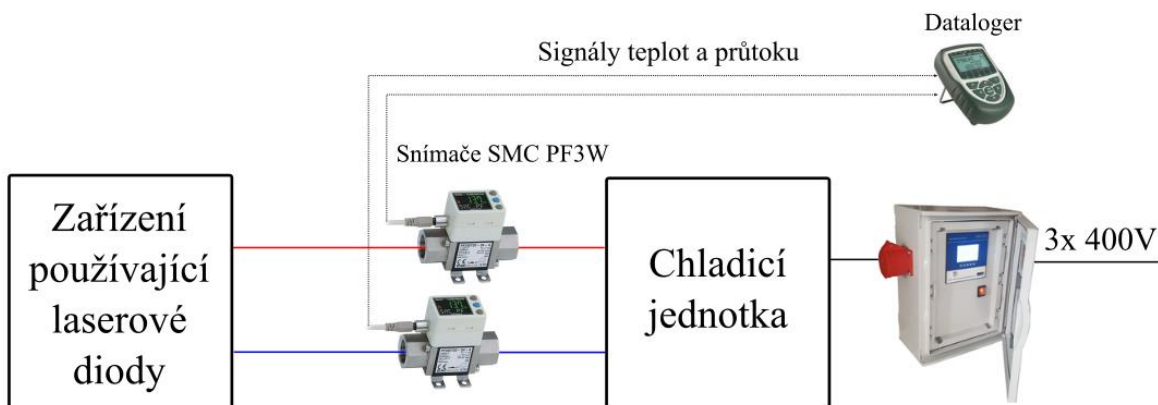
### 2.3.1 Měření konkurenční chladicí jednotky

Konkurenční jednotka byla původním řešením chlazení laserových diod. Jednotka disponuje maximálním chladicím výkonem 9 kW při nastavené teplotě chladicího média na 20 °C, maximálním průtokem 21 l/min a tlaku 3,5 baru. Napájena byla z třífázové sítě 3 x 400 V, 50 Hz. Přičemž by podle štítku neměl odebíraný proud ze sítě přesáhnout 13 A. Teplota chladicího média opouštějící chladicí jednotku byla nastavena na 15 °C, což bylo odvozeno z maximální povolené teploty laserových diod. Ta by neměla přesáhnout 19 °C. Zapojení celého měření je znázorněno dále.



Obr. 19 - Uspořádání měření spotřeby elektrické energie u koncového zákazníka

Pro větší přesnost měření a eliminování možnosti výskytu chybných dat byl průtok a teploty chladicího média zaznamenávány ještě pomocí datalogeru, pak bylo změněno zapojení podle následujícího uspořádání zobrazeného na Obr. 20.



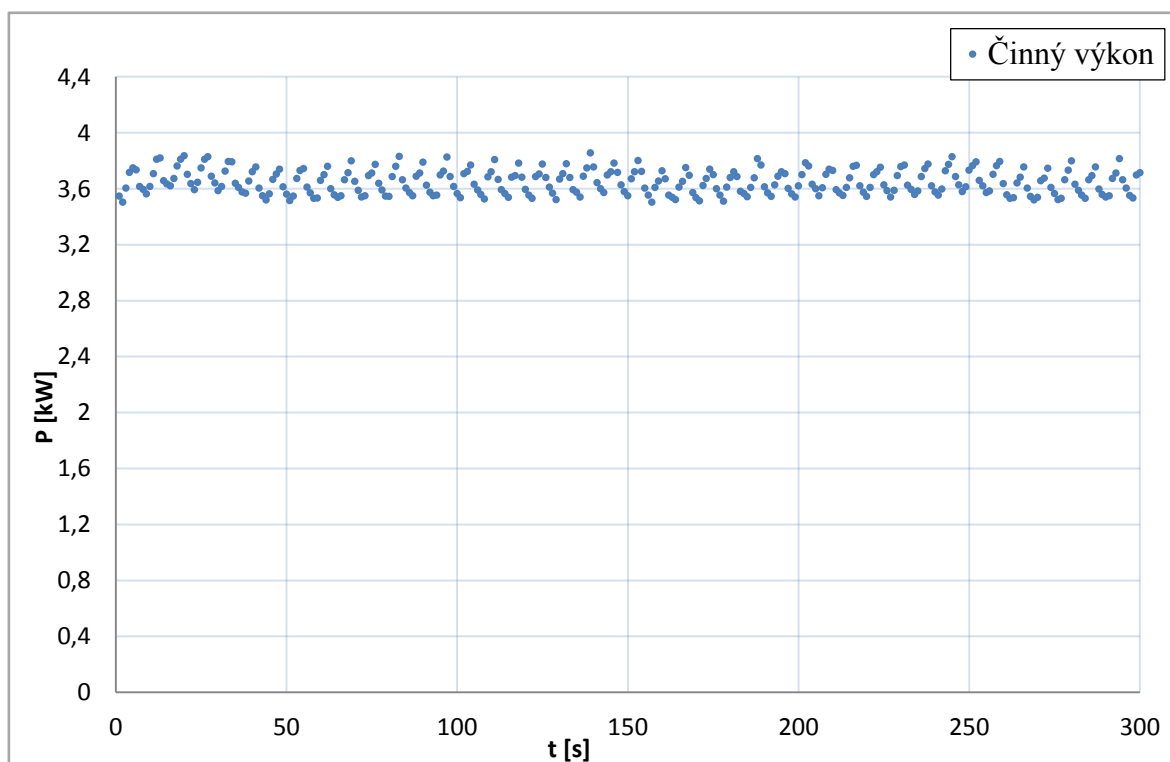
Obr. 20 - Uspořádání měření spotřeby elektrické energie u koncového zákazníka s datalogerem

Pro měření průtoku a teploty chladicího média byly použity senzory od firmy SMC ze série PF3W. Z těchto senzorů se vyhodnocují hodnoty teplot pomocí analogového signálu a hodnoty průtoku pomocí pulzního signálu.



Obr. 21 - Senzory průtoku a teploty PF3W711-F10-FT-M od společnosti SMC

Měření započalo testem a ověřením funkce měřicí stanice. Po ověření funkčnosti stanice byl nastaven sběr dat v panelovém přístroji přes počítač. Ukládala se data okamžitých hodnot napětí, proudů, výkonů a účinníků. Měřilo se při probíhajícím technologickém procesu používající laserové diody. Přičemž nejdůležitější byly hodnoty činných výkonů, ze kterých se nadále vyhodnocovala spotřeba a náklady na provoz chladicí jednotky.



Graf 5 - Činný výkon odebíraný konkurenční chladicí jednotkou

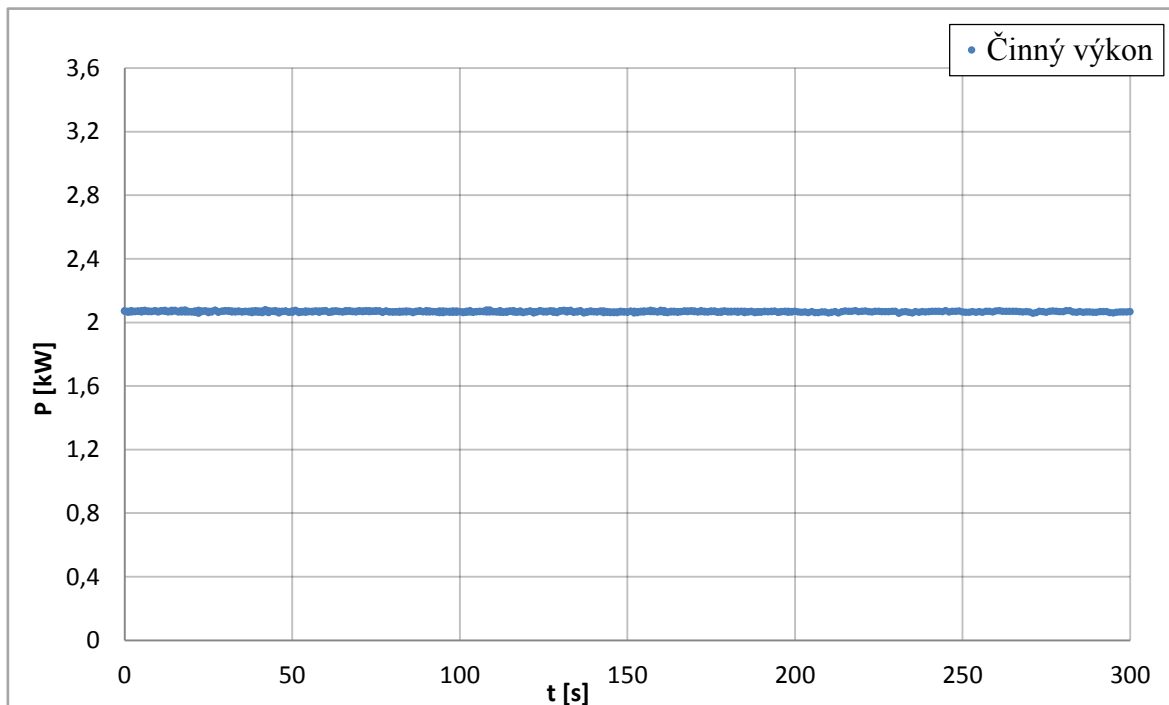
Z grafu 5 je vidět, že jednotka odebírá při chlazení laserů konstantní činný výkon, což je dáno téměř konstantním tepelným zatížením jednotky. Pro výpočet finančních nákladů za elektrickou energii při provozu stanice byl použit průměr z hodnot vynesných v grafu výše s hodnotou 3,65 kW.

### 2.3.2 Měření chladicí jednotky SMC

Měřena byla chladicí jednotka SMC s označením HRS100-AF-40. Dle štítkových hodnot má jednotka maximální chladicí výkon 10 kW při nastavených 20 °C chladicího média, tedy o 1 kW více než jednotka konkurenční. Tato chladicí jednotka má porovnatelné i ostatní parametry s konkurenční. Její průtok je 45 l/min při tlaku 4,3 baru. Napájena byla z 3f sítě 3 x 400 V, 50 Hz.



Uspořádání zapojení bylo obdobné jako u měření konkurenční chladicí jednotky, které je zobrazeno na Obr. 19 a Obr. 20.



Graf 6 - Činný výkon odebíraný chladicí jednotkou SMC

Z grafu 6 je zřejmé, že chladicí jednotka SMC odebírá taktéž konstantní výkon. Byla vypočtena průměrná hodnota z velikostí výkonů v grafu nabývající hodnoty 2,07 kW.

### 2.3.3 Výpočet nákladů na provoz jednotek

Z naměřených výkonů obou jednotek lze jednoduše spočítat cenu za elektrickou energii spotřebovanou chladicími jednotkami. K výpočtu je potřeba znalost tarifu zákazníka. Na Slovensku platí dle základního tarifu společnosti ČEZ pro společnosti za 1 kWh 0,061 €. Pokud budeme počítat s celoročním nepřerušovaným provozem, bude vzorec pro výpočet finančních nákladů vypadat takto. [22]

$$\text{náklady} = P \cdot 0,061 \cdot 24 \cdot 365 \text{ [€]} \quad (22)$$

Kde je  $P$  odebíraný výkon, který jak dokázalo měření, je po celou dobu chlazení konstantní, což zásadně zjednodušilo výpočet. Vynásobíme průměrný výkon počtem hodin za rok. Což dostaneme vynásobením počtu hodin za den 24 a počtu dní v roce 365.

Tím získáme počet odebraných kilowatthodin za rok, dále stačí hodnotu vynásobit cenou za jednu kilowatthodinu a máme náklady na elektrickou energii spotřebovanou chladicí jednotkou.

Pro konkurenční jednotku je to tedy po dosazení do vzorce:

$$3,65 \cdot 0,061 \cdot 24 \cdot 365 = 1950,4 \text{ €/rok}$$

Pro lepší orientaci dosahují náklady na rok provozu při kurzu 25 Kč/€ 48 760 Kč.

Pro chladicí jednotku od společnosti SMC byl průměrný činný výkon 2,07 kW. Výpočet nákladů na napájení stanice vypadal tedy následovně.

$$2,07 \cdot 0,061 \cdot 24 \cdot 365 = 1106,1 \text{ €/rok}$$

Což je při kurzu 25 Kč/€ 27 653 Kč. Rozdíl nákladů za spotřebovanou elektrickou energii je tedy značný. Porovnáme-li tedy obě zařízení z hlediska finanční náročnosti na provoz, získáme téměř 845 € tedy 21 107 Kč ročně při použití SMC jednotky. Tato informace je velmi důležitá pro koncového uživatele technologie, jelikož si na základě tohoto údaje může spočítat návratnost investice. Do tohoto výpočtu, jsou pak zahrnuty další hodnoty, jako jsou pořizovací ceny jednotek, náklady na údržbu, náklady na provoz (které jsme určili z předchozího měření), náklady na obsluhu. Spočítaná hodnota nákladu na provoz je tedy jedním z mnoha typů nákladů, které vstupují do výpočtu návratnosti. Doba návratnosti investice je definována jako doba (počet let), za kterou peněžní příjmy z investice vyrovnají počáteční kapitálový výdaj na investici. [23]

Pro kalkulaci návratnosti investice, kde uvažujeme pouze porovnání dvou systémů lze využít tzv. prostá doba návratnosti. Jedná se o kritérium, které se používá pro rychlé orientační ocenění investiční příležitosti. Výpočet prosté doby návratnosti investice je dán vzorcem:

$$TN_p = \frac{IN}{CF} \quad (23)$$

kde:

$IN$  náklady na investici (investiční výdaj)

$CF$  roční peněžní tok (roční úspora v důsledku investice)

V našem případě tedy můžeme uvažovat jako výši investice rozdíl v pořizovacích cenách obou zařízení a jako roční úsporu vyhodnocené náklady na spotřebu elektrické energie. Jelikož však nemáme dostupné údaje o pořizovacích cenách, uvedeme zde pouze tabulku, která ukazuje prostou dobu návratnosti na základě různých rozdílů pořizovacích cen. [23]

**Tabulka 3- Tabulka návratnosti investice při rozdílu pořizovacích cen**

ROZDÍL POŘIZOVACÍCH CEN	$TN_p$ (ROKY)
0 Kč	0,0
20 000 Kč	1,0
40 000 Kč	1,9
60 000 Kč	2,9
80 000 Kč	3,9
100 000 Kč	4,8
120 000 Kč	5,8
140 000 Kč	6,7

Z tabulky 3 tedy vyplývá, že pokud si zákazník pořídí jednotku SMC, která bude o 40 000 Kč dražší, než konkurenční tato investice se mu vrátí za 1,9 roku a v průběhu dalšího provozu už bude generovat zisk.

### 2.3.4 Výpočet tepelného výkonu produkován laserovými diodami

Tepelný výkon lze spočítat obdobně, jako v kapitole 2.2. Měření s umělou tepelnou zátěží. Stejně tak vycházíme ze vzorce (14) a po úpravách uvedených v kapitole dostáváme vzorec.

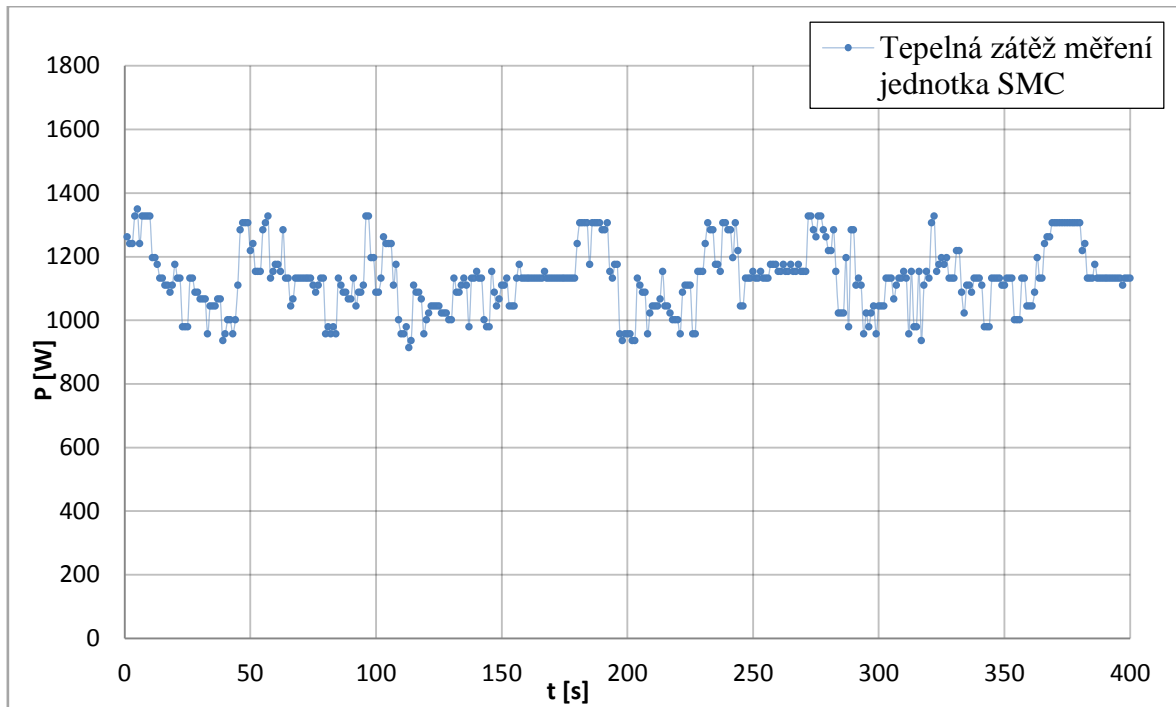
$$P = V \cdot \rho \cdot c \cdot (T_2 - T_1)$$

Chladicím médiem byla v aplikaci opět voda, tudíž byla uvažována hustota  $1000 \text{ kg/m}^3$  a tepelná měrná kapacita  $4180 \text{ J/Kg/K}$ . Průtok vody byl nastaven u chladicí jednotky SMC na konstantních  $50 \text{ l/min}$ . Teplota v aplikaci byla měřena s periodou  $200 \text{ ms}$ . Výpočet byl proveden jak při měření s konkurenční jednotkou, tak pro měření s jednotkou od společnosti SMC. Pro jeden vzorek hodnot měření s jednotkou SMC vypadal výpočet následovně.

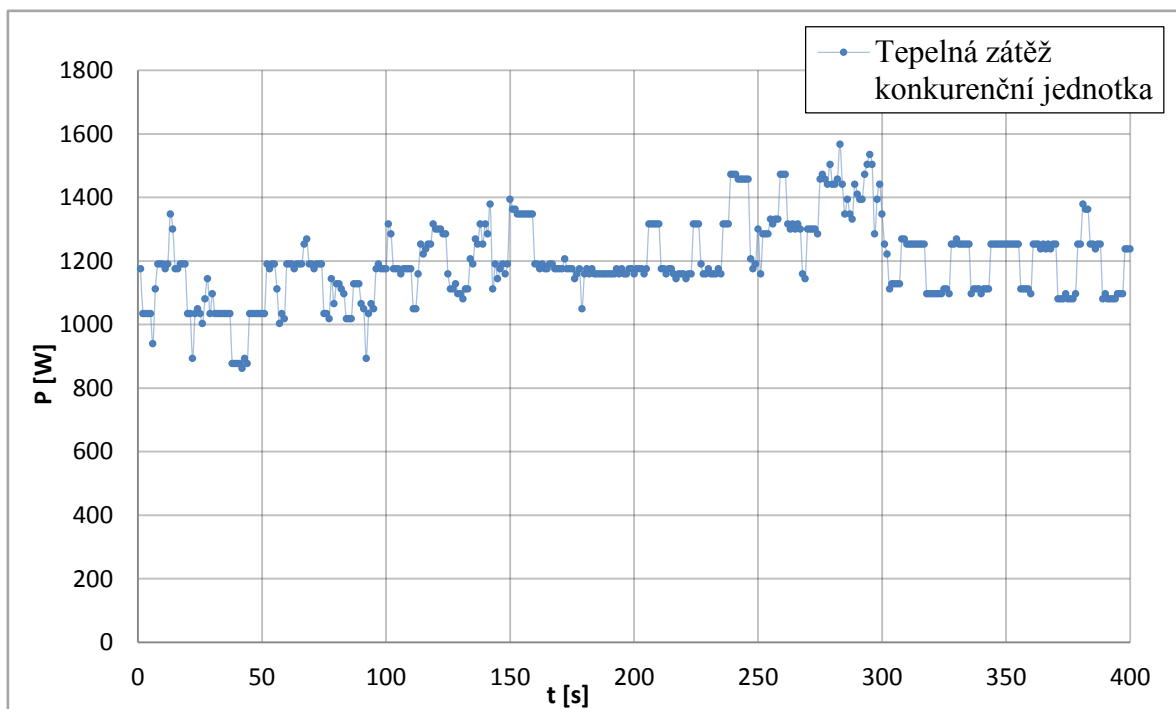
$$P = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{60} \cdot 1000 \cdot 4180 \cdot (13,494 - 13,131) = 1264,45 \text{ W}$$

Ve výpočtech je uvažován konstantní průtok chladicí vody  $50 \text{ l/min}$  a aktuální teploty ze snímačů PF3W. Po vynesení hodnot do grafu byl vytvořen průběh tepelného výkonu v závislosti na čase  $t$ .

Kvůli lepší přesnosti naměřeného tepelného výkonu a důkazu, že obě chladicí jednotky byly měřeny při stejné tepelné zátěži, byl stejný výpočet proveden u měření s konkurenční chladicí jednotkou. Taktéž byly pro lepší přehlednost vyneseny grafy vypočtených hodnot.



Graf 7 - Tepelná zátěž při měření s jednotkou SMC



Graf 8 - Tepelné zatížení při měření s konkurenční jednotkou

Při pohledu na grafy 7 a 8 je vidět značný rozptyl vypočteného tepelného výkonu, který je způsoben pracovním cyklem laserových diod. Právě proto jsou řady pro lepší přehlednost proloženy tenkou čarou. Nicméně byl z naměřených hodnot určen průměr a maximální hodnota.

Tabulka 4 - Porovnání maximálních a průměrných hodnot tepelných výkonů

	<b>CHLADICÍ JEDNOTKA SMC</b>	<b>KONKURENČNÍ CHLADICÍ JEDNOTKA</b>
<b>Maximální tepelná zátěž</b>	1437 W	1568 W
<b>Průměrná tepelná zátěž</b>	1131 W	1190 W
<b>Průtok</b>	50 l/min.	36 l/min.
<b>Průměrný odebíraný činný výkon</b>	2,07 kW	3,65 kW

Je důležité poukázat na to, že maximální hodnoty výkonu nabývalo pouze pár bodů. Tudíž tuto hodnotu nemůžeme uvažovat pro návrh nového chladicího systému a použijeme hodnotu průměrnou. Dále je z předešlé tabulky vidět, že i přes jiný průtok chladicích jednotek je průměrný tepelný výkon téměř stejný, což poukazuje na správnost výpočtu.

### 2.3.5 Vyhodnocení a závěr měření

I přes to, že je chladicí jednotka od společnosti SMC navržena na větší tepelný výkon, je z grafu 5 a grafu 6 jasně vidět, že jednotka odebírá menší činný výkon, než konkurenční jednotka. Tento fakt je dán hlavně tím, že konkurenční jednotka nemá žádnou regulaci otáček motorů pohánějících kompresor, větrák a čerpadlo. Motory se proto točí stále na plné otáčky a zbytečně tak plýtvají elektrickou energií. Teplota je pak řízena pouze pomocí bypassu a expanzních ventilů. Jednotka SMC má všechny motory řízeny pomocí frekvenčních měničů, tudíž se otáčky motorů přizpůsobují tepelné zátěži připojené ke chladicí jednotce. Na základě naměřených výkonů byly vypočteny náklady na spotřebovanou elektrickou energii chladicími jednotkami a prostá doba návratnosti

investice. Rozdíl v provozních nákladech mezi jednotkami se ukázal jako značný v hodnotě 830 € ročně. Tím byla ověřena teorie a funkčnost měřicí stanice v praxi. Po vypočtení tepelného výkonu, který produkovaly laserové diody, se ukázalo, že aktuální řešení chlazení je velmi předimenzované. Proto byla konečnému zákazníkovi nabídnuta optimalizovaná kompresorová chladicí jednotka od společnosti SMC s označením HRS050-A-20. Ta nabízí zákazníkovi nejen nižší pořizovací cenu, ale i předpoklad ještě nižších nákladů na provoz chladicí jednotky. [24]

## Závěr

V rámci této práce byla vypracována rešerše na téma průmyslového chlazení a chladicích jednotek. Je zde popsána problematika chlazení z pohledu ekonomického a z části i ekologického. Jsou vysvětleny principy chladicích jednotek, které vyrábí společnost SMC a popsána je i podstata měření elektrické energie použitá v praktické části.

Dle zadání byla sestavena měřicí stanice pro měření spotřeby elektrické energie chladicích jednotek. Stanici se podařilo navrhnout tak, aby vyhovovala estetickým a praktickým požadavkům. K měřicímu zařízení byl vypracován manuál, který by měl sloužit technikům ve společnosti SMC ke snadnému zapojení stanice a k vyhodnocení měření podobnému jako je uvedené v této práci.

Stanice byla sestavena za účelem poukázat na benefity chladicích jednotek SMC v porovnání s konkurenčními stroji. Proto bylo provedeno a vyhodnoceno měření odebíraného výkonu konkurenční chladicí jednotky a chladicí jednotky od společnosti SMC u koncového zákazníka. Měření probíhalo při stejném tepelném zatížení obou jednotek při chlazení laserových diod, kdy jako důkaz o stejné tepelné zátěži slouží výpočet tepelného výkonu u obou jednotek, který vyšel téměř stejný. Z naměřených hodnot a vynesných grafů v kapitole 2.3 je jasně vidět, že chladicí jednotka od společnosti SMC odebírá menší činný výkon než konkurenční jednotka. Přičemž rozdíl je znatelných 1,58 kW. Po kalkulaci nákladů za činný výkon při nepřerušovaném provozu jednotky bylo vyvozeno, že roční úspora činí až 845 €. Dále byla vytvořena tabulka, z níž vyplývá návratnost investice v závislosti na větší pořizovací ceně chladicí jednotky. Například při vyšší ceně jednotky SMC o 60 000 Kč bude návratnost této investice 2,9 roku, a dále bude jednotka generovat zisk.

Výpočet tepelného výkonu z hodnot naměřených měřicí stanicí vedl k závěru, že 10 kW chladicího výkonu, který může měřená chladicí jednotka SMC produkovat je příliš předimenzovaná hodnota pro tuto aplikaci. Proto byla zákazníkovi nabídnuta chladicí jednotka o menším chladicím výkonu HRS050-A-20, která disponuje menšími rozměry a menšími nároky na údržbu.



## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] rajmont. [Online] [Citace: 11. 5 2018.] <https://www.rajmont.cz/technologie-indukcni-ohrev/>.
- [2] SMC, CORPORATION. HRSR-Ddd-EU.pdf. *Thermo chiller*. Akihabara : SMC. CAT.EUS40-57Ddd-UK.
- [3] DVOŘÁK, Zdeněk. *Chladicí technika*. Praha 1 : SNTL-Nakladatelství technické literatury, n. p., 1971.
- [4] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo*. Kroměříž : autor neznámý, 2003. 80-239-0275-X.
- [5] TECHNICKÝ PORTÁL.cz. *Průmyslové chlazení a fluidní systémy*. [Online] [Citace: 28. 5 2018.] [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/prumyslove-chlazení-a-fluidní-systemy-smc\\_42993.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/prumyslove-chlazení-a-fluidní-systemy-smc_42993.html).
- [6] Fluorované skleníkové plyny. *Ministerstvo životního prostředí*. [Online] [Citace: 7. 5 2018.] [https://www.mzp.cz/cz/fluorovane\\_sklenikove\\_plyny](https://www.mzp.cz/cz/fluorovane_sklenikove_plyny).
- [7] Vítejte na zemi. *Měrná tepelná kapacita*. [Online] [Citace: 25. 4 2018.] [http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=merna\\_tepelna\\_kapacita&site=energie](http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=merna_tepelna_kapacita&site=energie).
- [8] ŠKUTA, Ctibor. Jak funguje lednička. *Zažij chemii*. [Online] 10. 31 2012. [Citace: 7. 2 2018.] [www.zazijchemii.cz/blog/Stranky/jak-funguje-ledni-ka.aspx](http://www.zazijchemii.cz/blog/Stranky/jak-funguje-ledni-ka.aspx).
- [9] CHLUMSKÝ, Vladimír a Antonín, LIŠKA. *Kompresory, chladicí a pneumatické stroje*. Praha 1 : České vysoké učení technické v Praze, 1975. 403-1991.
- [10] Komponenty chladicího okruhu. *JDK výrobce chladicí techniky*. [Online] [Citace: 10. 3 2018.] <http://www.jdk.cz/cs/produkty/komponenty-chladiciho-okruhu>.
- [11] Strojní chlazení. *Strojírenství*. [Online] <http://strojirenstvi.studentske.cz/2010/11/32-strojni-chlazení.html>.
- [12] GAVERNÍK, Michal. *Návrh zdroje chladu pro konkrétní aplikaci*. Brno : VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2008.
- [13] Peltierův jev. *Encyklopedie fyziky*. [Online] [Citace: 25. 4 2018.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/911-peltieruv-jev>.
- [14] SMC, CORPORATION. HECR-Ddd-EU.pdf. Akihabara : SMC. CAT.EUS40-61D-UJK.
- [15] DŘÍNEK, Milan. *vyvoj.hw.cz. Peltierovy termobaterie*. [Online] 16. 12 1999. [Citace: 27. 4 2018.] <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/peltierovy-termobaterie.html>.
- [16] KOCHANÍČEK, Ludvík. Využití peltierova jevu. *elektrotechnika*. [Online] 6. 11 2010. [Citace: 28. 4 2018.] <https://coptkm.cz/portal/?action=2&doc=7972>.
- [17] Měřidla a měření. *Elektrina*. [Online] [Citace: 14. 4 2018.] <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/2-4.htm>.
- [18] BEJČEK, Ludvík, ČEJKA, Miloslav, REZ, Jiří, GESCHEIDTOVÁ, Eva, STEIBAUER, Miloslav. *Měření v elektrotechnice*. Brno : FEKT Vysokého učení technického v Brně, 2015.
- [19] *Manuál SMZ-133*. Liberec : KMB systems. 2.0.32.
- [20] SMC, CORPORATION. Series PF3W. *Digital Flow Switch for Water*. CAT.EUS100-80C-UK.
- [21] Teplo. *Teplo*. [Online] [Citace: 3. 5 2018.] <http://vyuka.jihlavsko.cz/teplo/index.htm>.
- [22] ČEZ Slovensko. *Aktuálny cenník pre firmy*. [Online] [Citace: 6. 3 2018.] <https://www.cez.sk/sk/male-a-stredne-firmy/aktualny-cennik>.

[23] *Vybrané příklady z ekonomiky nerostných surovin.* [Online] [Citace: 3. 6 2018.]

[http://geologie.vsb.cz/loziska/cvekonomika/5\\_teorie.html](http://geologie.vsb.cz/loziska/cvekonomika/5_teorie.html).

[24] SMC, CORPORATION. Series HRS. Akihabara : autor neznámý. CAT.EUS40-55F-UK.

