

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Dopravní a manipulační prostředky

Katedra: Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.

Bakalářská práce

Využití termokamery pro diagnostiku strojů a zařízení v zemědělských provozech.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Frolík, CSc.

Autor: Karel Šramhauser

České Budějovice, duben 2013

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta zemědělská

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Karel ŠRAMHAUSER**
Osobní číslo: **Z10073**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační prostředky**
Název tématu: **Využití termokamery pro diagnostiku strojů a zařízení v zemědělských provozech.**
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

Zásady pro vypracování:

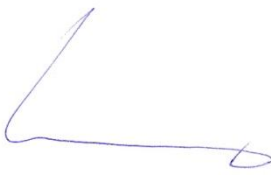
Cílem práce je prověřit možnosti využití tepelného záření jako indikátoru stupně opotřebení, a nebo možného zdroje poruch při provozu strojů a zařízení v zemědělských provozech.

1. Tepelné záření a jeho vlnová délka.
2. Základní principy zachycení a záznamu tepelného záření v přenosných snímačích - termokamerách.
3. Závislost mezi teplotou a stupněm zatížení a opotřebení především ložisek a ozubených soukolí.
4. Metodický postup při sledování jednotlivých součástí a následné vyhodnocování naměřených hodnot.
5. Modelový postup měření a zpracování sledovaných součástí u zvoleného stroje nebo zařízení.

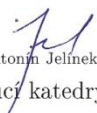
Rozsah grafických prací: **obrázky, fotografie dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **40 - 50 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:

KREIDL, M.: Měření teploty : Senzory a měřicí obvody. 1. vyd., BEN -
technická literatura, Praha, 2005, 240 s. ISBN 80-7300-145-4;
ČECH, B.: Měření teplot v energetice. 1. vyd. Ostrava : VŠB - Technická
univerzita Ostrava, 2008, 60 s. ISBN 978-80-248-1861-0;
ŠIMKO, M., CHUPÁČ, M.: Termovízia a jej využitie v praxi. 1. vyd. Žilinská
univerzita v Žilině : EDIS, 2007, 110 s. ISBN 978-80-8070-654-8;
<http://www.termovize.com/>;
<http://www.termovize-mereni.cz>;
<http://cs.wikipedia.org>.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Josef Frolík, CSc.**
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky
Datum zadání bakalářské práce: **14. ledna 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2013**


Ing. Karel Suchý, Ph.D.
proděkan pověřený vedením ZF


JHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDEJOVICÍCH
ZEMĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice


doc. Ing. Antonín Jelinek, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 26. března 2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma “ Využití termokamery pro diagnostiku strojů a zařízení v zemědělských provozech“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii a postup při zpracování práce je v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů v platném znění.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 12. dubna 2013

.....

Poděkování

Předně děkuji svému vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Josefovi Frolíkovi, CSc., za cenné rady, metodické vedení a trpělivost, kterou mi při zpracovávání práce věnoval.

Dále bych rád poděkoval panu Milanovi Fořtovi za cenné praktické rady v oblasti termografie.

V neposlední řadě bych rád poděkoval vedení ČOV Hrdějovice a panu Milanovi Petráňovi za umožnění provádět praktická měření v podniku a panu Ladislavovi Tomšovicovi za materiály a čas, který mi věnoval jako styčný pracovník na ČOV Hrdějovice.

Anotace:

Smyslem této bakalářské práce je prověřit možnosti diagnostiky strojů a zařízení bezkontaktní nepřímou metodou měření, tedy metodou bez nutného vyřazení stroje z provozu a jeho demontáže. K tomuto bylo použito infračervené termokamery, jejíž pomocí je určena míra opotřebení či doba životnosti snímaných zařízení.

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou tepelného záření těles a jeho vlnové délky, základními principy zachycení a záznamu tepelného záření v termokamerách. Dále je zde zpracována závislost mezi teplotou, stupněm zatížení a opotřebením za pomoci metodického postupu při sledování jednotlivých zařízení a následné vyhodnocení naměřených hodnot.

Klíčová slova:

Diagnostika strojů a zařízení, bezkontaktní nepřímá metoda měření, infračervená termokamera, tepelné záření těles, ponorná kalová čerpadla.

Anotation:

The main subject of this bachelor thesis is to examine possibilities of machine and device diagnosis by the indirect contact-free method of measurement. This method lacks the necessity of decommissioning a device and its further dismantling. To conduct the research the infrared thermo camera was used due to which the level of wear or lifespan of machines analyzed is evaluated.

This research paper deals with the issue of thermal radiation of bodies along with its wavelength. Moreover, the analysis focuses also on basic principles of capturing and recording thermo radiation in thermo cameras. Furthermore, the dependence between temperature, level of load and signs of wear grounded in methodology while observing individual devices are analyzed. Finally, the outcomes of measurements are evaluated.

Key words:

Machine and device diagnosis, indirect contact-free method of measurement, infrared camera, thermal radiation of bodies, submersible sewage pump

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Literární přehled	1
2.1. Teplota	1
2.1.1. Infračervené (tepelné) záření.....	2
2.1.2. Měření teploty.....	2
2.1.3. Celsiova stupnice	4
2.1.4. Senzor teploty	4
2.2. Teorie bezdotykového měření teploty	5
2.2.1. Složky infračerveného záření	6
2.2.2. Černé těleso, černý zářič	9
2.3. Snímání teplotních polí (termografie)	10
2.3.1. Popis termovizní kamery.....	10
2.3.2. Uplatnění termovizní kamery.....	12
2.4. Termografie v praxi.....	13
2.4.1. Vlastnosti měřeného objektu.....	13
2.4.2. Vlastnosti okolí měřeného tělesa	15
2.4.3. Praktické stanovení emisivity (ϵ).....	17
3. Metodika měření	18
3.1. Použité pomůcky	18
3.1.1. Termokamera Testo 875	18
3.1.2. Teploměr – vlhkoměr Comet D3121.....	20
3.2. Měřená zařízení	21
3.2.1. Ponorná kalová čerpadla Sigma 80 GFHU a Sigma 100 GFHU	21
3.2.2. Ponorné čerpadlo EMU FA 84-198	26
3.3. Postup měření	29
4. Naměřené údaje	31
5. Zpracování dat.....	37
5.1. Srovnání průměrné teploty čerpadel s teplotou prostředí.....	37
5.2. Závislost teploty zařízení na poruchovosti.....	43
6. Diskuze	46

7. Závěr.....	48
8. Seznam použité literatury	49
8.1. Knihy	49
8.2. Firemní literatura.....	49

1. Úvod

Infračervenou termografii dnes nevyužívá jen vojenský nebo lékařský aparát, ale nachází stále větší využití i v civilním odvětví. Díky stále přístupnější ceně na trhu tuto technologii využívají jak velké podniky, tak i soukromé osoby. S termografií se setkáváme v rámci diagnostiky ve stavebnictví, strojírenství a elektrotechnickém průmyslu, kde potřebujeme znát aktuální teplotu objektu nebo změny jeho teploty v časovém průběhu. Nejčastějším způsobem je měření termokamerou. Princip tohoto měření spočívá v bezkontaktním určení teploty daného objektu pomocí snímání infračerveného záření, které je přístroj schopen převést na obrazovou podobu, pro operátora jasně srozumitelnou.

2. Literární přehled

2.1. Teplota

Teplota je stavová veličina, která určuje stav termodynamické rovnováhy. Jinými slovy se jedná o stav, kdy jsou tělesa v izolaci od okolního prostředí, a tudíž nemohou probíhat žádné makroskopické změny. Stav termodynamické rovnováhy bývá charakterizován termodynamickou teplotou, která musí být stejná pro všechny části izolované soustavy. Často je teplota jako fyzikální veličina zaměňována za teplo, což je také fyzikální veličina, ale označující formu energie vyjadřující přítomný stav tělesa v závislosti na historii vývoje tohoto tělesa nebo soustavy těles. Teplota patří mezi stavové veličiny, které nemůžeme měřit přímou metodou, ale pomocí jiných fyzikálních veličin, tedy nepřímou.

2.1.1. Infračervené (tepelné) záření

Infračervené záření je elektromagnetické tepelné záření. Každé těleso s teplotou vyšší než je absolutní nula (0 kelvinů = -273,15 °C) vyzařuje infračervené záření. Vlnová délka infračerveného záření se pohybuje v rozmezí 0,75 μm až 1000 μm (=1 mm), což se blíží vlnovému rozsahu viditelného světla (0,38 – 0,75 μm). Oblast měřená přístroji, jako jsou např. termokamery, je mezi 8 μm až 14 μm délky infračerveného záření, z důvodu dobré prostupnosti atmosféry pro infračervené záření v rozsahu těchto infračervených délek.

2.1.2. Měření teploty

Odedávna si lidé všímali změn, které vyvolávala teplota u různých těles. Ať už se jednalo o změny geometrického tvaru či mechanických nebo chemických vlastností těles. Počátky pokusů využít těchto změn v technice se objevovaly již v antickém Řecku.

Nicméně první měřitelnou stupnici použil až Galileo Galilei (1564 až 1642) za pomoci obrácené baňky ponořené do kapaliny. Při různém zahřívání zvedala sloupec vody, který fungoval jako ukazatel teploty v baňce. Měření však komplikovaly změny atmosférického tlaku.

Na zdokonalení měření teploty pracovali i Evangelista Torricelli (1608 až 1647) a Otto von Guericke (1602 až 1686). Prakticky nejlepších výsledků dosáhl Fahrenheit (1686 až 1736) se svým téměř dokonalým rtuťovým teploměrem. Je třeba podotknout, že teplotní stupnice nemá žádnou fyzikální podstatu a její hodnota je určena pouze smluvně. V návrhu teplotní stupnice se nejpraktičtěji vyjevila desítková soustava políček a voda, kterou můžeme v přírodě běžně vidat ve trojím skupenství.

V minulosti byla teplotní měření prováděna teploměry s plynovým médiem, vykazujícími dobrou shodu se stupnicí termodynamickou.

Vzhledem k obtížnosti termodynamického měření a měření teploměry s médiem na bázi plynu byla sestavena mezinárodní teplotní stupnice, která určuje realizaci teplot za normálního atmosférického tlaku 101,325 kPa, při které probíhají reprodukovatelné rovnovážné stavy určitých čistých látek. S pokrokem měřicí techniky jsou hodnoty této stupnice periodicky upřesňovány a používají se jako tzv. etalon. Mezinárodní teplotní stupnice (ITS) obsahuje 17 teplotních bodů látek (trojný bod, var, tání, ...) a jednotky tepla kelviny a stupně Celsia. Hodnoty ITS-90 jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 2.1).

Tabulka 2.1: Mezinárodní teplotní stupnice ITS (Kreidl, 2005)

teplota		látka	stav	$W_r(T_{90})^*$
$T_{90} (K)$	$t_{90} (°C)$			
3 až 5	-270,15 až -268,15	He	tlak syté páry	
13,8033	-259,347	$e - He_2$	trojný bod	0,001 190 07
cca 17	cca -256,15	$e - He_2 (He)$	tlak syté páry	
cca 20,3	cca -252,85	$e - He_2 (He)$	tlak syté páry	
24,5561	-248,5939	Ne	trojný bod	0,008 449 74
54,3584	-218,7916	O_2	trojný bod	0,091 718 04
83,8059	-189,3442	Ar	trojný bod	0,215 859 75
234,3156	-38,8344	Hg	trojný bod	0,844 142 11
273,16	0,01	H_2O	trojný bod	1,000 000 00
302,9146	29,7646	Ga	bod tání	1,118 138 89
429,7485	156,5985	In	bod tuhnutí	1,609 801 85
505,078	231,928	Sn	bod tuhnutí	1,892 797 68
692,677	419,530	Zn	bod tuhnutí	2,568 917 30
933,473	660,323	Al	bod tuhnutí	3,376 088 60
1234,93	961,78	Ag	bod tuhnutí	4,286 420 53
1337,33	1064,18	Au	bod tuhnutí	
1357,77	1084,62	Cu	bod tuhnutí	

* Vypočtené hodnoty pro platinový teploměr [K]

2.1.3. Celsiova stupnice

Mezinárodně používanou stupnicí byla zvolena Celsiova stupnice, jejíž podstata je na základě teplot bodu varu (100°C) a bodu tuhnutí (0°C) „čisté“ vody při normálním atmosférickém tlaku ($101,325\text{ kPa}$). Tato stupnice je rozdělena na 100 dílků – stupňů z důvodu lehčího odečtu než například u stupnice Fahrenheitovy, jejíž referenční body jsou od sebe vzdáleny 180 stupňů.

Pro kalibraci teploměrů je stanovení teploty přesně 0°C obtížně dosažitelné. Proto se k těmto účelům v praxi využívá tzv. trojný bod. Je to takový stav, při kterém existuje voda současně ve všech třech skupenstvích – plynném, kapalném i pevném. Trojného bodu dosahujeme pomocí skleněné válcové nádoby s dvojitými stěnami. Prostor mezi stěnami je zbaven vzduchu (vakuování). Poté se naplní z části vodou, která za vyšší teploty než 0°C je v rovnovážném stavu se svou parou. Po zmrazení vody v nádobě a vložení nádoby do ledové lázně se vytvoří po určité době rovnovážný stav mezi všemi třemi skupenstvími vody. Teplotu ledové lázně udržujeme konstantní po dlouhou dobu s co neměšími tepelnými odchylkami. Stavová rovnováha u vody nastává s teplotou $0,01^{\circ}\text{C}$ ($273,16$ kelvinů) a tlakem $610,6\text{ Pa}$.

2.1.4. Senzor teploty

Senzor teploty je funkční prvek tvořící vstupní blok měřicího řetězce, tj. blok, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Pojem senzor teploty je ekvivalentní k pojmu snímač teploty (samostatná konstrukční součást teploměrného zařízení, která obsahuje teplotní čidlo), ale také pojmu čidlo teploty (část snímače převádějící teplotu na jinou vhodnou fyzikální veličinu). Stejně tak se senzor označuje detektor tepelného zařízení nebo teploměr (zařízení k měření teploty). Takže v současném katalogu firem nalezneme pod pojmem senzor teploty většinu teploměrných zařízení. V knize je u jednotlivých typů senzorů teploty respektována stále platná norma ČSN 25 8005 „Názvosloví z oboru měření teploty“ s účinností od 1. 8. 1989.

Dle fyzikálního principu se senzory teploty dělí na odporové, termoelektrické, polovodičové s PN přechodem, dilatační, optické, radiační, chemické, šumové, akustické, magnetické a další, jako jsou např. kapacitní nebo aerodynamické.

Dle styku s měřeným prostředím se senzory teploty dělí na dotykové a bezdotykové. Dle transformace signálu se senzory teploty dělí na aktivní, které se působením teploty chovají jako zdroj elektrické energie (termoelektrické články), a na pasivní, u kterých je s výjimkou chemických indikátorů teplot nutné elektrické napájení pro transformaci teploty na jinou fyzikální veličinu, neboť měření teploty je vždy měřením nepřímým.

(Kreidl, 2005)

2.2. Teorie bezdotykového měření teploty

Bezdotykové měření teploty (také označované jako infračervená pyrometrie) je měření povrchové teploty těles na základě vysílaného elektromagnetického záření tělesem a přijímaného senzorem (detektorem) záření vlnové délky od 0,4 μm do 25 μm .

Tento rozsah pokrývá oblast viditelného spektra od 0,4 μm do 0,78 μm , oblast blízkého infračerveného spektra od 2 μm do 3 μm , oblast středovlnného spektra od 3 μm do 5 μm a konečně oblast dlouhovlnného infračerveného spektra od 5 μm do 25 μm . Elektromagnetické záření s vlnovou délkou od 2 μm do 25 μm se označuje jako tepelné záření. Uvedené rozsahy pokrývají měření teplot v rozsahu od -40°C do $+10000^\circ\text{C}$.

Bezdotykové měření teploty je výhodné pro:

- zanedbatelný vliv měřicí techniky na měřený objekt
- možnost měření teploty na rotujících nebo pohybujících se objektech
- měření teploty z bezpečné vzdálenosti (elektrická zařízení, hutní objekty aj.)
- možnost měření velmi rychlých změn teploty
- možnost měřit a dále číslicově zpracovat teploty celých povrchů těles
(termografie, termovize)

Nevýhody bezdotykového měření teploty:

- nejistoty měření způsobené neznalostí správné hodnoty emisivity povrchu tělesa
- nejistoty měření způsobené neznalostí správné hodnoty prostupnosti prostředí mezi čidlem a objektem
- nejistoty měření způsobené nepřesnou korekcí parazitního odraženého záření z okolního prostředí na měřený objekt

Rozdíl mezi dotykovým a bezdotykovým měřením teploty je zřejmý. Při dotykovém měření teploty, např. termoelektrickým článkem, dochází k akumulaci dvou nejistot měření. Jednak zářivý tok Φ , proudící od vodičů termoelektrického článku, způsobí deformaci izoterm v měřeném místě tělesa a jednak vznikne teplotní rozdíl způsobený zářivým tokem Φ na stykovém tepelném odporu mezi snímačem teploty a tělesem. Hodnoty těchto nejistot mají stejné znaménko, takže se jejich účinek sčítá.

(Kreidl, 2005)

2.2.1. Složky infračerveného záření

Záření vysílané tělesem se skládá z více složek – vyzážené, odražené a přenesené složky. Tyto složky svými vlastnostmi značně ovlivňují naměřené hodnoty, a tudíž je potřeba již při měření samotném brát ohled na možné ovlivnění a pozměnit parametry měřicího přístroje či upravit vlastnosti prostředí měřeného objektu.

Emisivita (ϵ)

Emisivita je měřítkem ochoty materiálu pohlcovat a tedy i vyzařovat infračervené záření. Emisivita závisí na charakteru povrchu materiálu a u některých materiálů také na teplotě měřeného tělesa.

Maximální emisivita $\epsilon = 1$ (= 100%) (viz. 2.2.2 Černé těleso, černý zářič). Příklad $\epsilon = 1$ je ideálním stavem a ve skutečnosti nikdy nenastane. U reálných těles je emisivita $\epsilon < 1$, neboť reálná tělesa záření zároveň odrážejí a eventuálně přenášejí. Mnoho nekovových materiálů (např. PVC, beton, organické látky) mají vysokou, na teplotě nezávislou emisivitu ($\epsilon = 0,8$ až $0,95$) v dlouhovlnném spektru infračerveného záření. Kovy, především s hladkými povrchy, mají nízkou, teplotně závislou emisivitu. Emisivitu ϵ je možné v termokameře nastavit ručně.

(TESTO)

Tabulka emisivit

Emisivita ϵ se mění s teplotou a vlastnostmi povrchu měřeného tělesa, tudíž bychom měli před každým měřením provést měření emisivity. Může ale nastat situace, kdy správné určení emisivity není z praktických důvodů možné provést. Vzhledem k tomu byla u některých materiálů stanovena pevně daná emisivita za předpokladu splnění jistých klimatických podmínek (Tabulka 2.2).

Tabulka 2.2: Tabulka emisivit (TESTO)

Materiál (teplota materiálu)	Emisivita ϵ	Materiál (teplota materiálu)	Emisivita ϵ
Bavlna (20°C)	0,77	Litina, zoxidovaná (200°C)	0,64
Beton (25°C)	0,93	Měď, lehce zoxidovaná (20°C)	0,04
Olovo, šedé oxidy (40°C)	0,28	Měď, leštěná (40°C)	0,03
Olovo, zoxidované (40°C)	0,43	Měď, válcovaná (40°C)	0,64
Cihly, malta, omítka (20°C)	0,93	Měď, zoxidovaná (130°C)	0,76
Dřevo (70°C)	0,94	Mramor, bílý (40°C)	0,95
Granit (20°C)	0,45	Mosaz, zoxidovaná (200°C)	0,61
Guma, měkká, šedá (23°C)	0,89	Ocel, tep. Upravený povrch (200°C)	0,52
Guma, tvrdá (23°C)	0,94	Ocel, válcovaná za studena (93°C)	0,75-0,85
Hliník, válcovaný (170°C)	0,04	Ocel, zoxidovaná (200°C)	0,79
Hliník, nezoxidovaný (25°C)	0,02	Olejové barvy (90°C)	0,92-0,96
Hliník, nezoxidovaný (100°C)	0,03	Olovo, surové (40°C)	0,43
Hliník, silně zoxidovaný (93°C)	0,20	Papír (20°C)	0,97
Hliník, vysoce lesklý (100°C)	0,09	Porcelán (20°C)	0,92
Hlína, pálená (70°C)	0,91	Pískovec (40°C)	0,67
Chladiče, černé eloxované (50°C)	0,98	Plasty: PE, PP, PVC (20°C)	0,94
Chrom (40°C)	0,08	Sádra (20°C)	0,90
Chrom, leštěný (150°C)	0,06	Sklo (90°C)	0,94
Korek (20°C)	0,70	Stěna (40°C)	0,93
Lak, bílý (90°C)	0,95	Transformátorový lak (70°C)	0,94
Lak, černý, matný (80°C)	0,97	Zinek, zoxidovaný	0,10
Lak, modrý na hliníkové fólii (40°C)	0,78	Železo, broušené (20°C)	0,24
Lak, žlutý 2 vrstvy na hliníkové fólii (40°C)	0,79	Železo s válcovaným povrchem (20°C)	0,77
Led, hladký (0°C)	0,97	Železo se struskou (100°C)	0,80

2.2.2. Černé těleso, černý zářič

Černé těleso je těleso, které dokonale pohlcuje dopadající záření, a to při každém úhlu dopadu při libovolné spektrální záři, a které naopak při každé vlnové délce vyzařuje maximální energii nezávisle na použitém materiálu. Zář černého tělesa je ve všech směrech poloprostoru nad zářičem konstantní. Pozn.: veličiny pro černé těleso mají v dolním indexu symbol 0. Emisivita černého tělesa $\varepsilon = 1$. Pro kalibraci pyrometrů se používá tzv. černý zářič, jehož emisivita ε se téměř rovná 1. Černý zářič má hodnotu emisivity v rozmezí $1 > \varepsilon > 0,99$. Obvykle se realizuje tzv. dutinovým zářičem s reflexním, difuzním nebo difuzně-reflexním povrchem. Černý zářič je zdrojem záření pro kalibraci všech typů pyrometrů.

(Kreidl, 2005)

Hodnota reflexe (ρ)

Reflexe ρ je konstanta, specifická pro každý materiál, která udává schopnost tělesa odrážet záření. Reflexe ρ závisí na charakteru povrchu materiálu a u některých materiálů také na teplotě měřeného tělesa. Zpravidla odráží hladký, lesklý povrch záření mnohem lépe než hrubý a matný povrch stejného materiálu. Teplotu odraženého záření je možné v termokameře nastavit manuálně (RTC). RTC odpovídá v mnoha měřících úlohách teplotě okolí.

(TESTO)

Přenos – transmise (τ)

Stupeň přenosu τ je měřítkem schopnosti materiálu propouštět infračervené záření. Transmise τ závisí na druhu a tloušťce materiálu. Většina materiálů není pro dlouhovlnné infračervené záření průchozí.

(TESTO)

2.3. Snímání teplotních polí (termografie)

Systémy pro bezdotykové měření a plošné zobrazení teplotních polí lze rozdělit na systémy bez rozkladu a s rozkladem obrazu. Systémy založené na přímé konverzi zářivého toku na obraz jsou vakuové fotoidy, u nichž se tepelný obraz vytvoří optikou na fotokatodě.

Ozáření fotokatody způsobí fotoemisi elektronů, jejichž tok je zesílen fotonásobičem a dále pomocí elektrického pole usměrněn na luminiscenční stínítko, kde se vytvoří odpovídající viditelný obraz. V popisovaném systému je v současné době používána mikrokanálová destička MCP (Microchanell Plate), která za fotonásobičem nebo i bez něj zesiluje tok elektronů na principu velkého počtu paralelních fotonásobičů realizovaných v jednotlivých mikrokanálcích. Kanálky jsou připojené na zdroj vysokého napětí (VN) tak, aby vektor intenzity elektrického pole měl axiální směr. Emitované elektrony jsou v kanálcích urychlovány, přičemž na vnitřní odporové vrstvě dochází k odrazům s následnou sekundární emisí. Urychlené a znásobené elektrony dopadají na výstupní stínítko multianody a odtud je viditelný obraz přiveden přes optiku na CCD čip, používaný v digitálních fotoaparátech nebo kamerách.

(Kreidl, 2005)

2.3.1. Popis termovizní kamery

Tepelné záření jako zdroj elektromagnetického zářivého toku je rozhodující v rozsahu vlnových délek 10^{-4} až 10^{-7} m. Klasické videokamery snímají odražené elektromagnetické vlny ve viditelném spektru, v rozsahu cca 400 – 760 nm. Kamera přijímající tepelné záření pracuje na obdobném principu jako „normální kamera“. Konstrukční rozdíly vycházejí z toho, že tepelné záření je vyzařováno s větší vlnovou délkou. Nejdříve našla tato technologie uplatnění ve vojenské technice, až později i v různých odvětvích civilního sektoru. Jedná se především o tepelnou techniku, stavitelství, elektrotechniku a obecně o diagnostickou činnost v průmyslu. V lékařství slouží k identifikaci nádorů, k zjišťování náchylnosti k infarktům atd.

Termovizní kamera zachycuje objektivem (vyrobeným z monokrystalu germania) vyzářenou tepelnou energii a mění ji na elektrický signál. Tepelné záření proniká soustavou čoček termokamery na detektor tepelného záření, kde se transformuje dopadající energie na energii elektrickou. Clonou před objektivem lze regulovat dopadající záření. V případě, že záření je příliš vysoké, vsune se před detektor šedý filtr, který snižuje dopadající záření.

Aby měřená teplota byla co nejpřesněji stanovena, vkládá se vždy po určité době před filtr tzv. „shutter“, který představuje černé těleso a slouží pro kalibraci detektoru. U moderních kamer je možno termosnímek doplnit obrazovým snímkem či zvukovým 20 sekundovým zápisem.

Detektory radiační energie dělíme na:

- fotonové, které zachycují fotony o určité energii a snímají energii těchto fotonů a jejich počet. Proto je označujeme jako selektivní.
- tepelné detektory transformují celkovou energii zářivého toku na změnu teploty elementu. Nárůst teploty objektu o 1°C znamená změnu teploty bolometru o tisícinu stupně. Označujeme je jako neselektivní. Bolometrické detektory mají časovou konstantu cca 1 ms a pracují na principu změny elektrického odporu se změnou teploty. Takové detektory se používají v radiačních pyrometrech. U termokamery se jedná o polovodičové zařízení skládající se z více než 70 tisíc 'buněk' uspořádaných do matice a citlivých na fotonový tok. Po dopadu fotonů se v buňce (pixelu) vyvine elektrický náboj, který se analogově-digitálním převodníkem převede na binární signál. Signál je dále zpracováván procesorem a zapisován do paměti typu Flash.

Mikrobolometrický snímač je vyroben na principu CCD (Charge Coupled Device) snímačů. Celý snímač je tepelně izolovaný od okolního prostředí a uzavřen do vakuového pouzdra za vstupním germaniovým okénkem. Chlazení funguje na základě Peltierova principu.

Mikrobolometr je schopen pracovat s frekvencí 60 respektive 50 Hz. Problém je ale ukládání těchto dat v digitální podobě takovou rychlostí. To předpokládá ukládání na harddisk pomocí frame grabberu. Frame grabber je počítačová karta umožňující ukládat veškeré binární informace o objektu, který je snímán frekvencí 50 Hz (respektive 60 Hz). Klasickým notebookem je možno ukládat tyto informace jen frekvencí cca 5Hz. Při ukládání snímků na Flash kartu, která je v termovizní kameře, se ukládá asi jeden obrázek za sekundu.

Pro snímání tepelného profilu plamene přímo v peci existují vodou chlazené schránky se zinek-seledinovým oknem o tloušťce 5 mm. Okno je chlazeno stlačeným vzduchem. Běžně ovšem na trhu nejsou dostupné.

(Čech, Kadlec, 2008)

2.3.2. Uplatnění termovizní kamery

V současné době se v mnoha odvětvích průmyslu i přes vysoké pořizovací náklady začíná uplatňovat zařízení obecně známé pod pojmem Termovize (ochranná známka), termokamera nebo infrakamera. Je to proto, že většinou lépe splňuje požadavky na kvalitní měření a diagnostiku. V energetice se jedná zvláště o příklady:

a) Měření povrchových teplot při výpočtu tepelných ztrát

Moderní termovize má vysokou rozlišovací schopnost a citlivost. Je schopna rozlišovat teplotní rozdíly o $0,08^{\circ}\text{C}$, respektive odlišit tepelný přechod ve snímaném poli objektivu termokamery o $0,08^{\circ}\text{C}$. Citlivost je třeba brát v potaz k přesnosti měření, která bývá v závislosti na prostředí, ve kterém se měří, $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Výhoda měření spočívá zvláště v možnosti posoudit rozložení teplot na snímané ploše, popřípadě posoudit význam míst se zvýšenou tepelnou radiací.

Pro stanovení tepelných ztrát je nutno přesně určit rozložení teplot na povrchu objektu a v bezprostřední blízkosti tohoto povrchu. Pokud dokážeme s dostatečnou přesností určit teploty, součinitel přestupu tepla konvekcí a ztráty radiací, můžeme vypočítat ztráty sdílením tepla do okolí.

Vysoký teplotní rozsah termovizní kamery může sloužit i pro měření teploty v ohništi.

b) Zjišťování anomálií

Jedná se o identifikaci míst s vadnou izolací, o zjištění míst, kde se pod povrchem nachází oblast s rozlišnou teplotou (např. potrubí s horkou vodou) apod.

c) Rozložení teplotního pole plamene v kotli

Sledováním plamene a rozložení teplotního pole můžeme lépe provést optimalizaci spalovacího režimu. Jsme schopni lépe posoudit vhodnost tvaru a uspořádání hořáků, případné teplotní pulsace ve spalovací komoře apod.

(Čech, Kadlec, 2008)

2.4. Termografie v praxi

Při použití termokamery v praxi je třeba počítat nejen s konstrukčním omezením přístroje a jeho vybavení, ale i s mnoha vnějšími faktory, které ovlivňují přesnost a správnost výsledků měření.

2.4.1. Vlastnosti měřeného objektu

Materiál a emisivita

Rozvrh materiálu má svou specifickou emisivitu, která je měřítkem, kolik materiál vydává infračerveného záření, a to odrazem a vyzařováním ze samotného objektu.

(TESTO)

Barva

Při měření teploty termokamerou nemá barva materiálu žádný výraznější vliv na tepelné záření z měřeného objektu vycházející. Tmavé povrchy absorbují více krátkovlnného infračerveného záření než světlé povrchy, a ohřívají se proto rychleji.

Vysílané infračervené záření závisí totiž na teplotě, a ne na barvě povrchu měřeného objektu. Např. černé, lakované těleso vyzařuje stejné množství dlouhovlnného infračerveného záření, jako bílé, lakované těleso o stejné teplotě.

(TESTO)

Povrch měřeného objektu

Rozhodnou roli při měření teploty termokamerou hraje povrch, neboť každá struktura povrchu, znečištění nebo nanesený povrch mění emisivitu tělesa.

Struktura povrchu

Hladký, lesklý, leštěný nebo zrcadlový povrch má zpravidla o něco nižší emisivitu než matný, strukturovaný, hrubý, zkorodovaný nebo poškrábaný povrch stejného materiálu. U velice hladkých ploch dochází k zrcadlové reflexi.

Vlhkost, sníh, námraza na povrchu

Voda, sníh a námraza mají relativně vysokou emisivitu (cca 0,85 až 0,96), proto je v tomto případě měření obecně problematické. Ovšem je třeba dát pozor na to, že teplota měřeného objektu může být takovým přirozeným povrchem zkreslena, neboť vlhkost při vypařování ochlazuje měřený povrch a sníh má dobré izolační vlastnosti. Námraza netvoří celistvý měřený povrch, proto je potřeba při měření zohlednit emisivitu námrazy i emisivitu povrchu.

Znečištění a cizí tělesa na povrchu

Znečištění na povrchu měřeného objektu, jako např. prach, saze nebo mazivo, zvyšuje zpravidla emisivitu povrchu. Z toho důvodu je měření znečištěného objektu obvykle bez problémů. Termokamera měří přesto vždy teplotu povrchu, tudíž teplotu znečištění, a nikoli přesnou teplotu na povrchu pod ním ležícího tělesa.

(TESTO)

2.4.2. Vlastnosti okolí měřeného tělesa

Teplota okolí

Aby mohla termokamera správně odpočítat teplotu měřeného povrchu, je potřeba vedle nastavení emisivity dát pozor také na odraženou teplotu RTC. V mnoha případech měření odpovídá odražená teplota teplotě okolí.

(TESTO)

Záření

Každé těleso s teplotou vyšší než absolutní nula (0 kelvinů = -237,15°C) vysílá infračervené záření. Především objekty, které mají teplotu výrazně odlišnou od měřeného objektu, mohou infračervené záření rušit svým vlastním vyzařováním. Takové zdroje rušení je potřeba, pokud je to možné, odstranit nebo vypnout. Odstíněním zdrojů rušení (např. plátnem nebo kartonem) redukuje jejich negativní vliv na měření. Pokud se nedá zdroj rušení odstranit, neodpovídá odražená teplota teplotě okolí. Pro měření odraženého záření je doporučeno použití např. kulového teploměru nebo Lambertůva zářiče ve spojení s termokamerou.

(TESTO)

Vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu v okolí měřeného tělesa by měla být dostatečně nízká, aby nedocházelo ke kondenzaci vzduchu (mlha) na měřeném objektu, na ochranném skle nebo čočce termokamery. Pokud je čočka (příp. ochranné sklo) zamlženo, nedostane se část infračerveného záření do termovize. Velice hustá mlha může měření ovlivnit, neboť kapičky vody ve vzduchu propustí méně infračerveného záření.

(TESTO)

Proudění vzduchu

Vítr nebo průvan v místnosti může ovlivňovat měření teploty termovizí. Kvůli přestupu tepla (konvekci) má vzduch v okolí měřeného tělesa stejnou teplotu jako měřený objekt. Při větru nebo průvanu se vyrovnaný vzduch odežene a na jeho místo se dostane vzduch, jehož teplota je odlišná od teploty měřeného objektu.

Kvůli konvekci odebírá vzduch teplo, případně ke chladnějšímu objektu teplo přináší, dokud se teploty vzduchu a tělesa nevyrovnají. Tento efekt přenosu tepla se zvyšuje s přenosem teploty měřeného objektu a okolního vzduchu.

(TESTO)

Znečištěný vzduch

Částice, jako např. prach, saze, kouř a mnoho par mají vysokou emisivitu a jsou zřídka transmisivní. To znamená, že mohou měření narušovat, neboť samy emitují infračervené záření, které vstupuje do termovize. Navíc může infračervené záření měřeného objektu do termovize vstupovat pouze z části, je totiž rozptýlenými částicemi odraženo a pohlcováno.

(TESTO)

Světlo

Světlo nebo osvětlení nehraje při měření termokamerou významnou roli. Je možné měřit i potmě, neboť termokamera měří dlouhé vlny infračerveného záření. Přesto některé zdroje světla vysílají infračervené záření a mohou tak ovlivňovat teplotu objektů ve svém okolí.

Proto bychom neměli měřit v přímém slunečním svitu nebo v blízkosti horkých žárovek. Chladné zdroje světla, jako např. LED diody nebo neonové trubice, jsou neškodné, neboť velkou část jimi vyslané energie tvoří viditelné světlo a ne infračervené záření.

(TESTO)

2.4.3. Praktické stanovení emisivity (ϵ)

Emisivitu povrchu měřeného objektu můžeme odečíst z tabulky emisivit, ovšem hodnoty v tabulce emisivit jsou pouze ukazatelem, jelikož jsou vázané na konkrétní teplotu těchto materiálů. Vzhledem k tomu se v praxi používají jisté postupy a metody:

(TESTO)

a) Srovnávací metoda kontaktním teploměrem

Nejdříve změříme teplotu měřeného objektu pomocí kontaktního teploměru. Poté teplotu povrchu pomocí termokamery, ve které je nastavena nějaká emisivita. Rozdíl mezi naměřenými teplotami z kontaktního měření a termokamery je způsoben chybně nastavenou emisivitou. Pokud budeme postupně snižovat nastavenou emisivitu, bude se měnit i měřená teplota. Pokračujeme, dokud nenaměříme termovizí stejnou hodnotu jako kontaktním měřením. V tu chvíli nastavená emisivita odpovídá emisivitě povrchu měřeného objektu.

(TESTO)

b) Srovnávací metoda pomocí termokamery

Na povrch tělesa nalepíme nejdříve pásku s definovanou emisivitou (např. tepelně odolná páska od firmy Testo). Po krátké době, potřebné k ustálení teploty změříme teplotu pásky, nalepené na povrchu měřeného objektu. V termokameře je potřeba mít nastavenou emisivitu lepící pásky. Tato teplota je referenční teplotou. Nyní musíme upravit nastavení emisivity, dokud termokamera nenaměří i na povrchu bez lepící pásky stejnou teplotu jako je teplota referenční.

(TESTO)

c) Stanovení teploty odraženého záření

Pokud odstraníme všechny možné zdroje rušení, které mohou ovlivňovat měření, je teplota odraženého záření rovna teplotě okolí. Teplotou okolí lze změřit např. pomocí prostorového teploměru, např. Testo 810, a naměřenou teplotu zadat do termokamery jako RTC.

Pokud je ale přítomno cizí infračervené záření v okolí měřeného tělesa, měla by být pro přesné výsledky měření změřena odražená teplota.

(TESTO)

3. Metodika měření

3.1. Použité pomůcky

3.1.1. Termokamera Testo 875

Pro vlastní měření infračerveného záření byla použita termokamera Testo 875 s příslušenstvím. Vybrané technické parametry termokamery jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 3.1). Z příslušenství termokamery byla využita Lepicí páska pro zvýšení emisivity se zaručenou emisivitou ($\epsilon = 0,95$ do $+300^{\circ}\text{C}$) a adaptér pro montáž na stativ.



Obrázek 3.1: Termokamera Test 875 při měření (foto: autor)

Tabulka 3.1: Vybraná technická data termokamery Testo 875 (TESTO)

Charakteristika	Hodnoty	Charakteristika	Hodnoty
Zorné pole/ min. vzdálenost ostření	Standartní objektiv 32° x 23°/ 0,1 m	Formát souboru	.bmt; možnost expotru do .bmp, .jpg, .csv
Termální citlivost	< 110 mK při 30°C	Externí paměť	SD karta
Ostření	Manuální	Typ baterie	Rychlonabíjecí, Li-ion
Rozlišení obrázku	640 x 480 pixelů	Provozní doba	4 hodiny při 25°C
Displej	3,5" LCD s rozlišením 320 x 240 pixelů	Kapacita paměti	2 GB (cca. 1000 snímků)
Video výstup	USB 2.0	Provozní teplota	-15°C až 40°C
Teplotní rozsah	-20 až 100°C / 0 až 280°C	Skladovací teplota	-30°C až 60°C
Přesnost	+/- 2°C	Hmotnost	900 g (včetně baterie)
Minimální průměr měřeného bodu	Standartní objektiv 10 mm z 1 m	Rozměry	152 x 108 x 262 mm
Čas zapnutí	30 s	Montáž na stativ	Ano, pomocí adaptéru
Měřící funkce	Jednobodové měření, označení horého/studeného bodu	Požadavky na systém	OS Windows XP Service nebo Vista
Kompenzace odraženého tepla	Manuální	Možnosti napájení	V přístroji / v nabíječce
Nastavení emisivity	0,01 až 1,00	Krytí	IP 54

3.1.2. Teploměr - vlhkoměr Comet D3121

Pro správné určení a nastavení emisivity (ϵ) na termokameře bylo nutné zjistit teplotu okolí měřeného objektu, potažmo odraženou teplotu RTC. Termokamera sama o sobě není schopna určit teplotu okolí, a tudíž jsem musel použít externího měřidla teploty a vlhkosti. K tomu byl použit teploměr-vlhkoměr Comet D3121 vybavený sondou na kabelu.



Obrázek 3.2: Teploměr-vlhkoměr Comet D3121 při měření (foto: autor)

Vybrané technické parametry teploměru-vlhkoměru jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 3.2).

Tabulka 3.2: Vybraná technická data teploměru - vlhkoměru Comet D3121 (COMET)

Charakteristika	Hodnoty	Charakteristika	Hodnoty
Měřená veličina	Relativní vlhkost + teplota	Přesnost měření teploty	$\pm 2,5\%RV$ v rozsahu 5 až 95% při 23°C
Rozsah měřené teploty	-30 až +105°C	Propojení s počítačem	Sériové RS232
Funkce záznamu dat	Ano	Napájení	9V baterie
Použitý senzor teploty	Odporový Ni1000/6180ppm	Typ konstrukce	Se sondou T+RH na kabelu
Přesnost měření teploty	$\pm 0,4^\circ C$ v rozsahu -50 až +100°C	Rozsah provozních teplot	-10 až +60°C

3.2. Měření zařízení

Pro naplnění smyslu a účelu zadání bakalářské práce bylo nutné vybrat takové zařízení, které svou činností vytváří v okolí teplo měřitelné termokamerou a zároveň umožňuje z diagnostického hlediska poskytnout data nezbytná k provedení studie v relativně krátkém časovém rozmezí. Po projednání s odborníky v oblasti termovizního snímání byla vybrána varianta snímání kalových čerpadel v čistírně odpadních vod v Hrdějovicích (dále ČOV Hrdějovice), části Českých Budějovic. Při provozu těchto strojních rotačních zařízení se vlivem tření opotřebovávají funkční prvky (jako jsou např. ložiska). Přesnou míru opotřebení nemůžeme určit bez toho, abychom strojní zařízení vyřadili z provozu, demontovali a podrobili analýze. Díky přeměně tření uvnitř zařízení na teplo je však toto opotřebení možné přibližně určit pomocí bezkontaktního snímání termokamerou, aniž by bylo nutné strojní zařízení vyřadit z provozu. Navíc tento postup umožňuje sledovat odlišné fungování čerpadel stejného typu, extrémně namáhaných vlivem prostředí a vykazujících zjevné stavové změny v krátkých časových intervalech, v různých pracovních režimech.

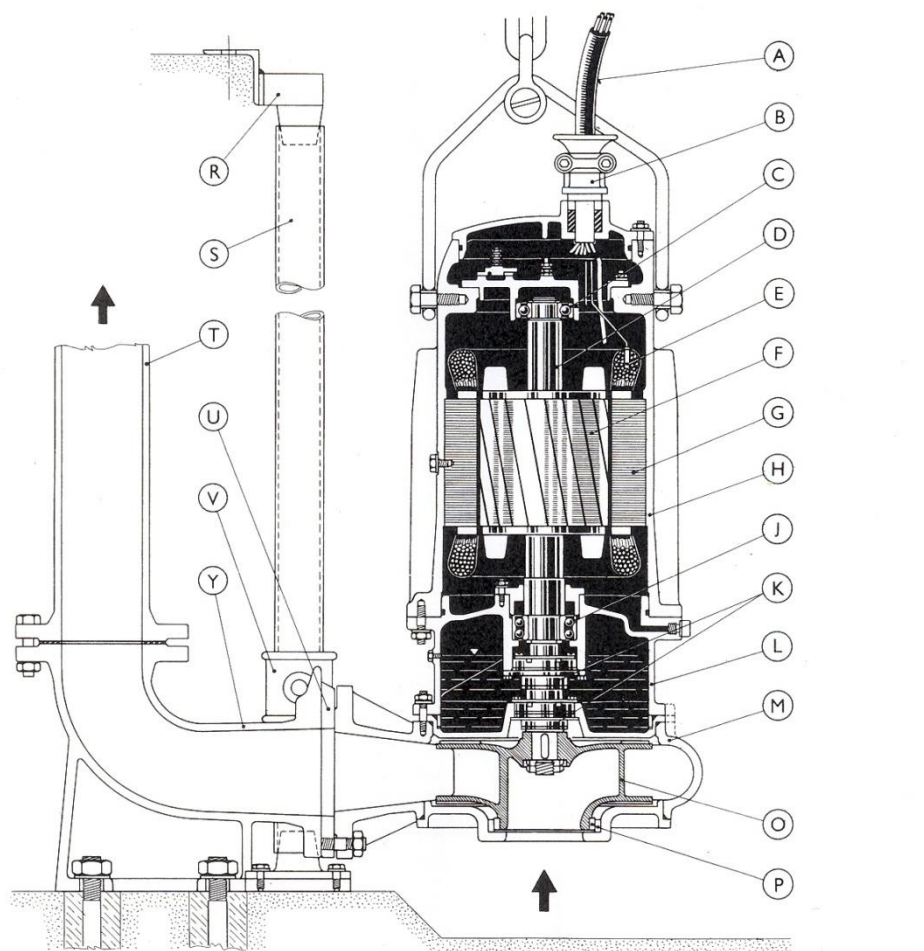
Na pracovišti jsem sledoval dva konstrukčně odlišné typy čerpadel. První typ čerpadla bylo čerpadlo Sigma 80 GFHU (Sigma 100 GFHU) s žebrováním, tedy vzduchem chlazené. Druhým typem bylo čerpadlo EMU FA 84-198 chlazené jak vzduchem, tak i olejovou náplní. Podrobnější technický popis čerpadel je uveden níže.

3.2.1. Ponorná kalová čerpadla Sigma 80 GFHU a Sigma 100 GFHU

Ponorná kalová kanalizační čerpadla řady GFHU jsou speciální čerpadla, určená k čerpání odpadních vod, fekálií a surových kalů, obsahující neabrazivní pevné drobné kusovité a vláknité látky jako je papír, hadry, obvazy, zbytky jídel a různé splachy z ulic, popřípadě menší množství písku, popela, štěrku, kousky dřev a jiné látky přicházející do kanalizace.

Uplatňují se v kanalizačních soustavách, v čistírnách odpadních vod, v průmyslových zařízeních, ve stokových sítích, v různých jímacích objektech apod.

Ponorná kalová čerpadla řady GFHU jsou odstředivá, jednostupňová, spirální, s uzavřeným jednolopátkovým oběžným kolem o velké průchodnosti. Elektromotor tvoří s čerpadlem jeden celek. Mezi hydraulickou částí a elektromotorem je vana s náplní oleje, která je utěsněna dvojitou mechanickou ucpávkou.



- | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| A Přívodní elektrický kabel | F Rotor elektromotoru | L Těleso ložiska spodní | S Vodicí trubka |
| B Vývodka kabelu | G Stator elektromotoru | M Spirální skříň | T Výtlačné potrubí |
| C Horní ložisko | H Těleso statoru | O Oběžné kolo | U Příruha spouštěcího zařízení |
| D Hřídel | J Spodní ložisko | P Těsnicí kruhy | V Vodicí objímka |
| E Hlídač teploty | K Mechanická ucpávka dvojitá | R Přichytka vodicích trubek | Y Výtlačné koleno |

Obrázek 3.3: Ponorné kalové čerpadlo Sigma řady GFHU (SIGMA)

Trojfázový asynchronní elektromotor na střídavý proud je dokonale vodotěsný pro práci pod vodou. Vodotěsnost zajišťuje hermetické utěsnění přívodního kabelu ve zvlášť upravené vývodce.

Ve vinutí motoru jsou zabudovány hlídače teploty, které při delším chodu na sucho rozpínají okruh stykače a chrání tak motor před poškozením. Rotor je uložen ve valivých ložiskách, mazaných tukem. Elektromotor je bez ochrany proti výbušnosti, takže je nelze použít v prostředí s nebezpečím výbuchu.

Proti vniknutí vody z hydraulické části motoru je elektromotor bezpečně chráněn hřídelovým těsněním, které tvoří speciální dvojitá mechanická ucpávka s těsníci kroužky z tvrdokovu. Mechanická ucpávka má stálý uzávěr a mazání z olejové vany.

Materiál je volen se zřetelem na charakter čerpaného média, příznivou hmotnost a životnost soustrojí. Těleso motorového statoru je z hliníko-křemíkové slitiny. Hřídel a důležité spojovací šrouby přicházející do styku s čerpanou kapalinou jsou z korozi-vzdorné oceli. Oběžné kolo je z otěruvzdorné oceli, odolávající ve značné míře korozi. Spirála čerpadla a stojan se sacím kolenem (varianta SJ) jsou z šedé litiny.

(SIGMA)

Vybrané provozní a technické údaje jsou uvedeny v tabulkách (Tabulka 3.3 a Tabulka 3.4)

Tabulka 3.3: Provozní údaje čerpadel Sigma 80 GFHU a Sigma 100 GFHU (SIGMA)

Charakteristika	Hodnoty
Maximální hustota čerpané kapaliny	1 100 kg . m ⁻³
Maximální teplota čerpané kapaliny	40°C
Maximální teplota pracovního prostředí	40°C
Dovolený rozsah pH čerpané kapaliny	6,5 – 7,5 pH
Maximální ponor v kapalině o hustotě 1000 kg/m ³	10 m

Tabulka 3.4: Technické údaje čerpadel Sigma 80 GFHU a Sigma 100 GFHU (SIGMA)

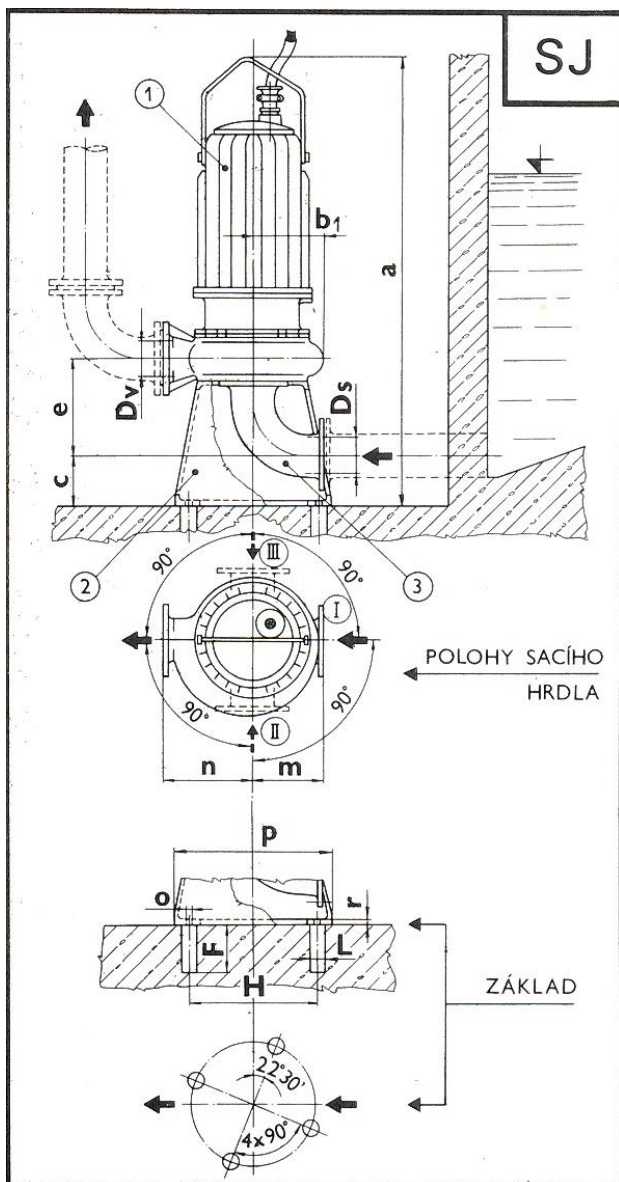
Sigma 80 GFHU		Sigma 100 GFHU	
Charakteristika	Hodnoty	Charakteristika	Hodnoty
Oběžné kolo	Ø 220 mm	Oběžné kolo	Ø 250 mm
Průchodivost oběžným kolem	60 x 50 mm	Průchodivost oběžným kolem	60 x 70 mm
Sací hrdlo	DN 100 mm	Sací hrdlo	DN 100 mm
Výtlačné hrdlo	DN 80 mm	Výtlačné hrdlo	DN 100 mm
Elektromotor – typ	HOM 132S 04	Elektromotor – typ	HOM 160M 04
Jmenovitý výkon	3 kW	Jmenovitý výkon	6,5 kW
Otáčky	1 455 ot. . min ⁻¹	Otáčky	1 450 ot. . min ⁻¹
Napětí	380 V (500 V)	Napětí	380 V (500 V)
Kmitočet	50 Hz	Kmitočet	50 Hz
Jmenovitý proud	6,5 A (5 A)	Jmenovitý proud	14 A (10,6)
Krytí motoru dle ČSN 330 330	IP 68 / 10 m	Krytí motoru dle ČSN 330 330	IP 68 / 10 m
Přívodní elektrický kabel CGAZ	6 x 1,5 mm ²	Přívodní elektrický kabel CGAZ	6 x 1,5 mm ²
Standardní délky přívodního kabelu	10, 15, 20, 25 m	Standardní délky přívodního kabelu	10, 15, 20, 25 m
Hmotnost soustrojí bez kabelu a výtlačné hadice	Varianta SZ 95 kg Varianta MH 91 kg Varianta SJ 138 kg	Hmotnost soustrojí bez kabelu a výtlačné hadice	Varianta SZ 146 kg Varianta MH 152 kg Varianta SJ 193 kg

SJ varianta do suché jímky (viz. Obrázek 3.4)

1 – vlastní čerpadlo s přívodním elektrickým kabelem v některé ze standardních délek (10, 15, 20 nebo 25 m)

2 – stojan k pevnému uchycení soustrojí na základ, připevněný k čerpadlu, včetně základových kotevních šroubů

3 – sací šroubové koleno připevněné k čerpadlu



Obrázek 3.4: SJ varianta do suché jímky (SIGMA)

s přírubou pro PN 10 podle ČSN 131 202, s hrubou těsnící lištou (s výjimkou typu 80 – GFHU, který má přírubu výtlačného hrdla pro PN 16 podle ČSN 131 203.)

Rozměr ,d' - trubka 2'' podle ČSN 425 710 pozinkovaná.

Rozměry ,v' a ,z' se vztahují k základně patkového výtlačného kolena; půdorysný tvar základny je naznačen čárkovně.

(SIGMA)

Stacionární varianta pro suché jímky přichází v úvahu obvykle tam, kde jde o osazení již existující suché jímky. Mimo základní polohy sacího hrdla (I) jsou v rozměrovém náčrtu naznačeny čárkované další možné polohy sacího hrdla (II, III) vůči výtlačnému hrdlu, dosažitelné příslušným natočením sacího kolena a stojanu o 98°.

Sací hrdlo čerpadla u varianty SJ je s přírubou pro PN 16 podle ČSN 131 211, s hrubou těsnící lištou (s výjimkou typu 150 – GFHU, který má přírubu sacího hrdla pro PN podle ČSN 131 202).

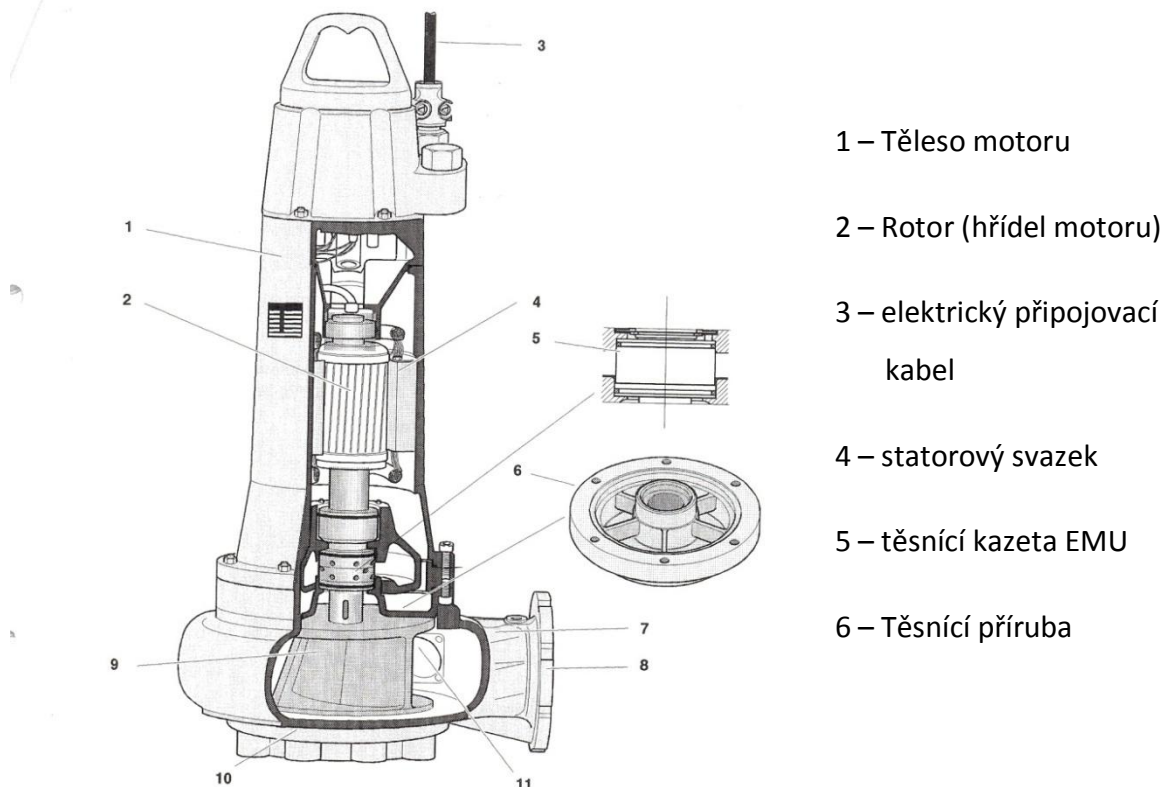
Výtlačné hrdlo čerpadla u varianty SZ je s přírubou pro PN 6 podle ČSN 131 211, s hrubou těsnící lištou. U varianty SJ je

3.2.2. Ponorné čerpadlo EMU FA 84-198

Ponorné čerpadlo odpadních vod s motorem FO je vyrobeno speciální těsnicí kazetou EMU. Těsnění jsou z karbidu křemíku. Těsnicí kazeta EMU se vyznačuje velmi krátkou stavební délkou a je nezávislá na směru otáčení. Motor FO je vhodný jak pro suchou instalaci, tak i mokrou instalaci. To je zajištěno tím, že motorový prostor je vyplněn olejem a je vytvořeno vnitřní jednoduché nucené chlazení bez vedení. Olejová náplň motoru je cirkulována přes těsnicí přírubu. Přitom je teplo motoru převáděno do čerpaného média.

Ponorné čerpadlo odpadních vod EMU sestává z motorové a čerpadlové části. Je vyrobeno z vysokohodnotných materiálů. Hřídel a šrouby jsou z korozivzdorné oceli. Části těla jsou ze šedé litiny. Vstup přírodních vedení proudu je utěsněn proti čerpanému médiu.

Motor je trojfázový asynchronní motor a sestává z těchto hlavních stavebních skupin (Obrázek 3.5). Dále je vybaven dlouhodobě mazanými valivými ložisky, a nevyžaduje proto z tohoto pohledu údržbu.



Obrázek 3.5: Čerpadlo EMU FA 84-198 (EMU)

Skříň motoru

Skříň motoru je ze šedé litiny. Šroubové spoje a hřídel jsou z korozivzdorné oceli. Vinutí sestává z dvojitého izolovaného drátu izolační třídy 'F'. Jednotlivé fáze jsou vzájemně izolovány a nasyceny speciální umělou pryskyřicí.

Vedení přívodu proudu typu NSSHöu je dimenzováno na silné mechanické namáhání a je utěsněno proti čerpanému médiu.

Chlazení

Motor je chlazený olejem. Na oběžném kole usazené lopatky větráku dopravují teplý olej bez vedení přes těsnicí přírubu, která slouží jako výměník tepla. Dodatečně je teplo předáváno přes vnější stěnu do čerpaného média nebo do okolního vzduchu.

Olejovou náplň je motor trvale konzervován a netvoří se zkondenzovaná voda. Čerpadlo není samonasávací, při spuštění musí být oběžné kolo zaplaveno čerpaným médiem nebo musí být přítok prováděn přes sací potrubí.

Označení typu motorů

Typový klíč podává informaci o stavebním provedení motoru.

FO 172-4/12 znamená např.:

- FO = Olejem naplněný motor s jednoduchým nuceným chlazením bez vedení
- 17 = Stavební velikost: Statorový svazek – vnější průměr 170 mm
- 2 = Rozlišovací číslice: Vztahuje se na stavební velikost a je při každé stavební velikosti různá
- 4 = Počet pólů: čtyřpólový
- 12 = Délka svazku: Zaokrouhleně 120 mm

Hlavní části čerpadla jsou (Obrázek 3.5):

Těleso čerpadla (7), výtlačné hrdlo (8), oběžné kolo (9), sací přípoj (10), víko čistícího otvoru (11), příslušné oběžné kolo čerpadla a mezerový a oběžný kroužek. Mezerový kroužek sedí v tělese čerpadla a oběžný kroužek na oběžném kole čerpadla. Je-li vůle větší než 2 mm, musí být mezerový i oběžný kroužek vyměněny. U čerpadel se šroubovým oběžným kolem může být vůle mezi oběžným a sacím kroužkem zmenšena vypuštěním distančních podložek.

Speciální těsnící kazeta EMU (5) slouží jako utěsnění mezi komorou čerpadla a motorem. Mezi nimi je uspořádána olejová uzavírací komora. Protože těsnící kazeta sedí bezprostředně na pevném ložisku, je zajištěn zvlášť klidný chod bez chvění.

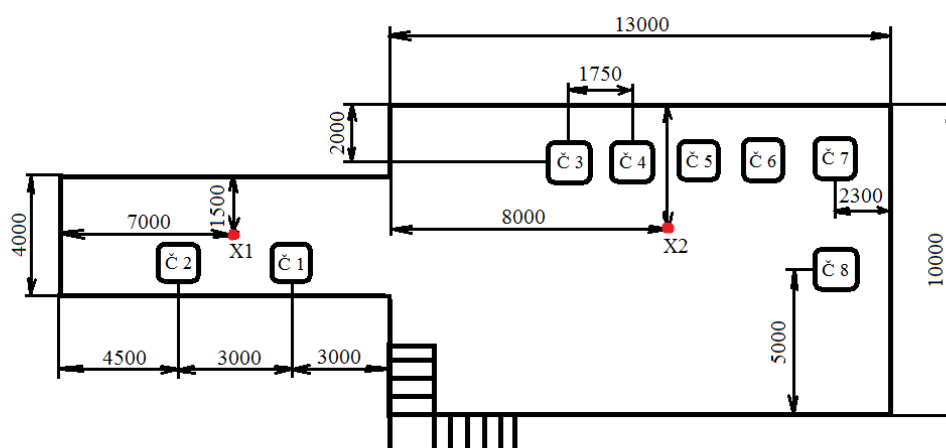
Kazeta sestává ze dvou těsnění s kluznými kroužky jako uzavřená jednotka v tělese z nerezavějící oceli.

Příslušné oběžné kolo je připevněno na rotorovém hřídeli motoru a je přímo poháněno.

(EMU)

3.3. Postup měření

Praktické terénní měření probíhalo v suterénu budovy vodního hospodářství, kde se nacházela točivá technologická zařízení pro přečerpávání kalu. Přístup do místnosti je po ocelovém schodišti. Suterén je rozdělen na dvě části, levou a pravou kóji, kde jsou umístěná čerpadla v soustavě potrubí. Teplota v suterénu se v období měření (říjen 2012 až leden 2013) pohybovala od 26°C do 20°C, přičemž relativní vlhkost nabývala hodnot mezi 35% a 46%. Rozložení čerpadel v místnosti je naznačeno na Obrázku 3.6.



Obrázek 3.6: Schéma pozice jednotlivých čerpadel v místnosti (schéma: autor)

V níže uvedené tabulce (Tabulka 3.5) je uvedeno o jaký typ čerpadla se jedná dle označení na Obrázku 3.6.

Tabulka 3.5: Typy čerpadel dle číselného označení

Typ čerpadla	Číslo čerpadla
Sigma 80 GFHU	č.3, č.6, č.8
Sigma 100 GFHU	č.1, č.2
EMU FA 84 – 198	č.4, č.5, č.7

Samotné měření spočívalo ve třech krocích. Jako první nezbytný krok, jsem učinil měření klimatických podmínek prostředí pomocí teploměru – vlhkoměru Comet D3121, kterým jsem měřil po dobu 60 sekund. Měření jsem prováděl na dvou strategicky vybraných místech v místnosti, pro optimální přizpůsobení se podmínkám (body X1 a X2 vyznačeny na Obrázku 3.6). Hodnoty teploty a relativní vlhkosti byly zaznamenány pro následné zadání do termokamery.

Druhým krokem bylo zadání vstupních hodnot do termokamery. Mezi tyto vstupní hodnoty počítáme *stupeň emisivity* měřeného objektu a RTC – odraženou teplotu. Pro určení stupně emisivity měřeného objektu jsem využil *srovnávací metody pomocí termokamery*. Pomocí této metody jsem postupoval tak, že jsem povrch objektu očistil od nečistot a mastnoty, a posléze na očištěný povrch nalepil odstřížek lepicí pásky na zvýšení emisivity. Lepicí pásku se zaručenou emisivitou $\varepsilon = 0,95$ (do $+250^{\circ}\text{C}$) jsem ponechal nalepenou na povrchu cca 60 sekund, aby došlo k přijmutí teploty od měřeného objektu.

Po uplynutí tohoto časového úseku jsem část lepicí pásky zaměřil termokamerou a zapsal naměřenou teplotu jako referenční. Poté jsem kus lepicí pásky pro zvýšení emisivity odstranil z povrchu, počkal 60 sekund a stejný bod změřil znova. Při naměření rozdílné teploty od teploty referenční jsem poté ručně nastavoval hodnotu emisivity, dokud se obě naměřené teploty neshodovaly – tím jsem určil skutečnou hodnotu emisivity měřeného objektu. Srovnávací metodu pomocí termokamery jsem použil pouze při prvním měření čerpadel, protože skutečná emisivita se neměnila, pouze bylo třeba zajistit odstranění mastnoty a nečistot z povrchu.

Jako odraženou teplotu RTC jsem nastavil hodnotu teploty okolí, naměřenou pomocí teploměru – vlhkoměru Comet D3121. Stejným způsobem jsem postupoval u všech měřených objektů.

Třetím krokem bylo finální měření čerpadel termokamerou Testo 875. Po zadání vstupních hodnot pro každé měřené zařízení byla termokamera pomocí adaptéru umístěna do stativu ve výšce 840mm. Rádus snímání byl pro každé čerpadlo určen pro nedostatek prostoru individuálně tak, aby byl měřený objekt kompletně zachycen objektivem termokamery (viz. Obrázek 4.1).

4. Naměřené údaje

Termokamera Testo 875 má schopnost ukládat naměřená data z terénu na SD kartu a poté je přes propojovací kabel přenášet do PC. Pomocí programu Testo IRsoft můžeme evidovat a zpracovávat tyto údaje do podoby tabulek a grafů.

Abych poskytl co nejužitečnější zprávu o chování měřených objektů v průběhu času, zaměřil jsem se na čerpadla, která mají nepřetržitý provoz, a k nim

typově příbuzná čerpadla, která jsou ve stejných klimatických podmínkách sporadicky využívána nebo téměř vůbec.

Pro tyto účely nejlépe posloužila čerpadla č. 1, 3, a 4 v nepřetržitém provozu a čerpadla č. 2 a č. 5 se sporadickým provozem, sloužící pro stanovení závislosti na teplotě okolí.

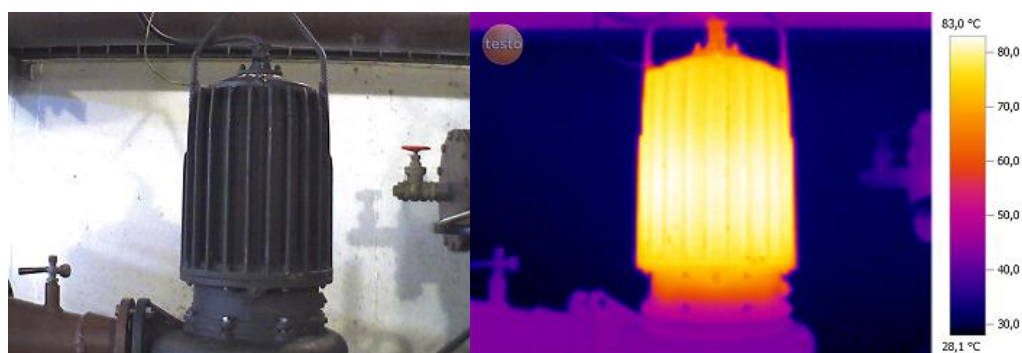


Obrázek 4.1: Rozmístění techniky při měření (foto: autor)

V Tabulce 4.1 pro čerpadlo č. 1 Sigma 100 GFHU jsou uvedena data pořízení snímků, pozice termokamery vůči čerpadlu L/H, odražená teplota RTC, maximální naměřená hodnota MAX., minimální naměřená hodnota MIN. a průměrná teplota tepelného snímku čerpadla PRŮM. Poziční označení čerpadla v podniku je 22M21 a čerpadlo má charakter bez přerušovaného provozu.

Tabulka 4.1: Tabulka naměřených hodnot čerpadla č. 1 Sigma 100 GFHU

Sigma 100 GFHU – 22M21 (provoz 24h)						
Datum	L/H [mm]	ϵ	RTC [°C]	MAX. [°C]	MIN. [°C]	PRŮM. [°C]
23.10.2012	1610/840	0,97	26,2	83	69,6	79,1
12.11.2012	1610/840	0,97	26,0	80,6	68,7	76,6
14.11.2012	1610/840	0,97	22,3	77,8	66,5	73,9
28.11.2012	1610/840	0,97	22,1	79,8	66,5	75,6
12.12.2012	1610/840	0,97	18,5	77,1	61,4	72,9
17.12.2012	1610/840	0,97	23,7	81,3	67,9	77,2
19.12.2012	1610/840	0,97	21,7	81,6	67,1	77,2
28.1.2013	1610/840	0,97	20,2	79,7	65,0	75,8



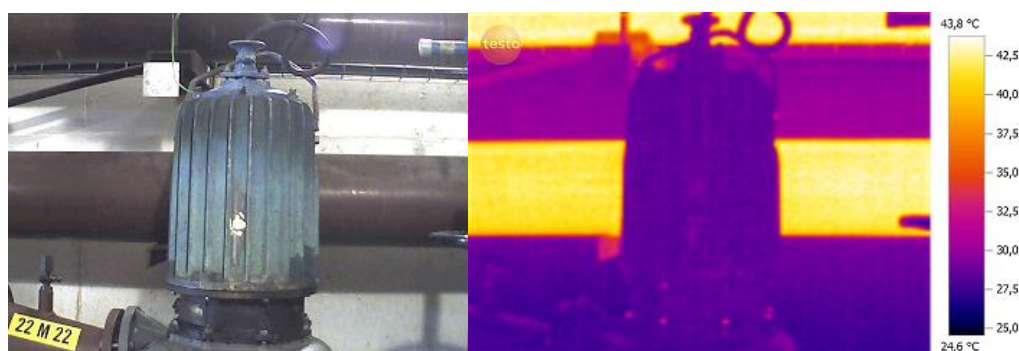
**Obrázek 4.2: Reálný a termografický snímek čerpadla č. 1
pořízený termokamerou 23. 10. 2012 (foto: autor)**

V Tabulce 4.2 pro čerpadlo č.2 Sigma 100 GFHU jsou uvedena data pořízení snímků, pozice termokamery vůči čerpadlu L/H, odražená teplota RTC, maximální naměřená hodnota MAX., minimální naměřená hodnota MIN. a průměrná teplota tepelného snímku čerpadla PRŮM. Poziční označení čerpadla v podniku je 22M22 a čerpadlo má charakter sporadického provozu – jediný záznam provozu je pořízený 12. 12. 2012.

Tabulka 4.2: Tabulka naměřených hodnot čerpadla č. 2 Sigma 100 GFHU

Sigma 100 GFHU – 22M22 (provoz sporadický)						
Datum	L/H [mm]	ϵ	RTC [°C]	MAX. [°C]	MIN. [°C]	PRŮM. [°C]
23.10.2012	1600/840	0,96	26,2	31,2	29,0	29,9
12.11.2012	1600/840	0,96	26,0	30,1	27,7	28,5
14.11.2012	1600/840	0,96	22,3	30,9	26,4	27,3
28.11.2012	1600/840	0,96	22,1	29,6	27,1	28,1
12.12.2012*	1600/840	0,96	18,5	43,8	37,7	42,4
17.12.2012	1600/840	0,96	23,7	29,3	27,8	28,3
19.12.2012	1600/840	0,96	21,7	31,0	30,2	30,6
28.1.2013	1600/840	0,96	20,2	27,6	26,1	26,6

* Čerpadlo č.2 (22M22) v provozu 1



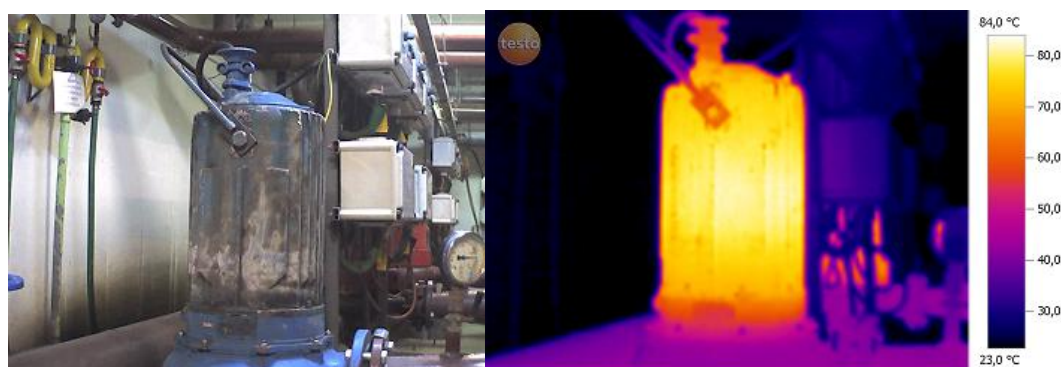
**Obrázek 4.3: Reálný a termografický snímek čerpadla č. 2
pořízený termokamerou 12. 11. 2012 (foto: autor)**

V Tabulce 4.3 pro čerpadlo č. 3 Sigma 80 GFHU jsou uvedena data pořízení snímků, pozice termokamery vůči čerpadlu L/H, odražená teplota RTC, maximální naměřená hodnota MAX., minimální naměřená hodnota MIN. a průměrná teplota tepelného snímku čerpadla PRŮM. Poziční označení čerpadla v podniku je 22M20 a čerpadlo má charakter nepřetržitého provozu. Jelikož ale čerpadla na této pozici jsou velmi namáhána, došlo v průběhu měření k několika výměnám.

Tabulka 4.3: Tabulka naměřených hodnot čerpadla č. 3 Sigma 80 GFHU

Sigma 80 GFHU – 22M20 (provoz nepřetržitý)						
Datum	L/H [mm]	ϵ	RTC [°C]	MAX. [°C]	MIN. [°C]	PRŮM. [°C]
23.10.2012	1450/840	0,97	26,4	77,1	54,7	72,0
12.11.2012	1450/840	0,97	26,0	75,7	54,9	70,8
14.11.2012	1450/840	0,97	20,5	82,3	57,7	76,4
28.11.2012*	1450/840	0,97	20,4	83,6	55,4	78,5
12.12.2012*	1450/840	0,97	20,0	71,0	35,8	66,5
17.12.2012	1450/840	0,97	21,5	66,7	37,2	62,5
19.12.2012	1450/840	0,97	19,1	78,3	40,3	72,7
28.1.2013*	1450/840	0,97	21,2	79,6	39,7	73,6

* snímání nového čerpadla na pozici č. 3 (22M20)



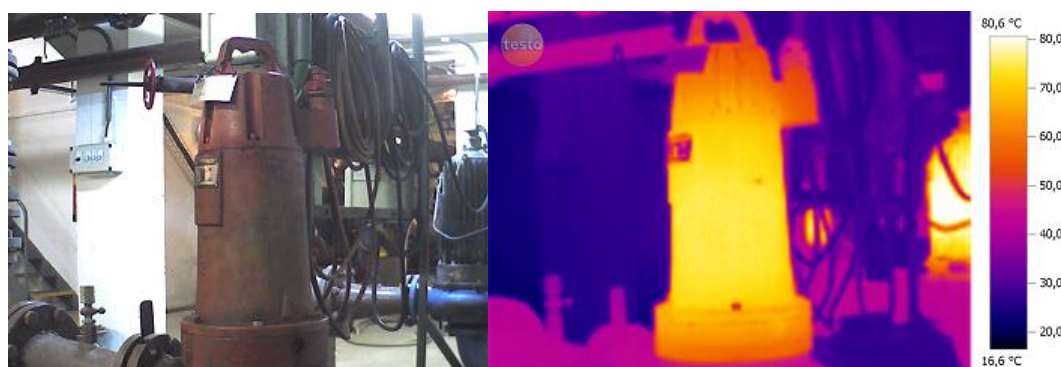
Obrázek 4.4: Reálný a termografický snímek čerpadla č. 3 pořízený termokamerou 14. 11. 2012 (foto: autor)

V Tabulce 4.4 pro čerpadlo č. 4 EMU FA 84-198 jsou uvedena data pořízení snímků, pozice termokamery vůči čerpadlu L/H, odražená teplota RTC, maximální naměřená hodnota MAX., minimální naměřená hodnota MIN. a průměrná teplota tepelného snímku čerpadla PRŮM. Poziční označení čerpadla v podniku je 22M19 a čerpadlo má charakter nepřetržitého provozu. Toto čerpadlo má konstrukční řešení chlazení vzduchem a olejem, což značným způsobem napomáhá k bezporuchovému provozu. Výměna čerpadla byla zaznamenána 28. 1. 2013.

Tabulka 4.4: Tabulka naměřených hodnot čerpadla č. 4 EMU FA 84-198

EMU FA 84-198 – 22M19 (provoz nepřetržitý)						
Datum	L/H [mm]	ϵ	RTC [°C]	MAX. [°C]	MIN. [°C]	PRŮM. [°C]
23.10.2012	1420/840	0,97	26,4	75,6	37,7	72,5
12.11.2012	1420/840	0,97	26,0	76,0	36,4	73,1
14.11.2012	1420/840	0,97	20,5	74,6	35,7	71,7
28.11.2012	1420/840	0,97	20,4	75,6	37,3	73,1
12.12.2012	1420/840	0,97	20,0	80,4	35,3	77,3
17.12.2012	1420/840	0,97	21,5	82,9	43,2	78,1
19.12.2012	1420/840	0,97	19,1	87,1	42,4	83,6
28.1.2013*	1420/840	0,97	21,2	76,8	39,2	74,0

* snímání nového čerpadla na pozici č. 4 (22M19)



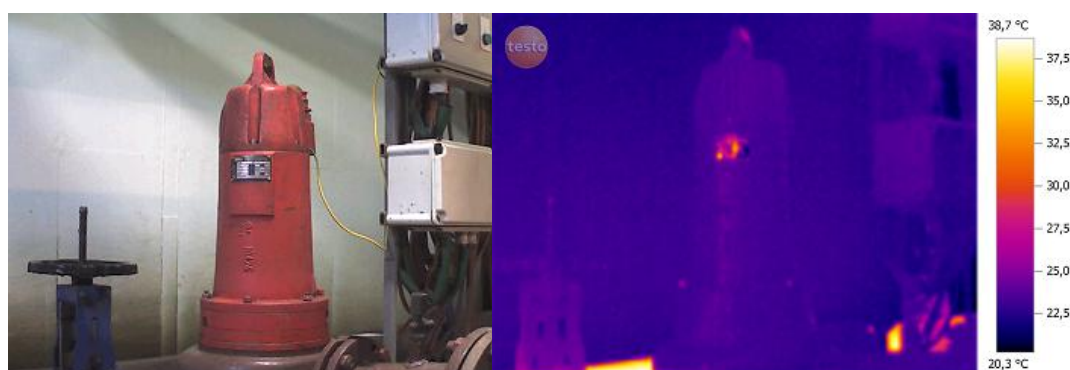
Obrázek 4.5: Reálný a termografický snímek čerpadla č. 4 pořízený termokamerou 28. 11. 2012 (foto: autor)

V Tabulce 4.5 pro čerpadlo č. 5 EMU FA 84-198 jsou uvedena data pořízení snímků, pozice termokamery vůči čerpadlu L/H, odražená teplota RTC, maximální naměřená hodnota MAX., minimální naměřená hodnota MIN. a průměrná teplota tepelného snímku čerpadla PRŮM. Poziční označení čerpadla v podniku je 22M17 a čerpadlo má charakter sporadického provozu. Toto čerpadlo má konstrukční řešení chlazení vzduchem a olejem, což značným způsobem napomáhá k bezporuchovému provozu. Snímání čerpadla v aktivním stavu se podařilo pouze 17. 12. 2012. Dne 19. 12. 2012 bylo provedeno snímání v post-aktivním stavu.

Tabulka 4.5: Tabulka naměřených hodnot čerpadla č. 5 EMU FA 84-198

EMU FA 84-198 – 22M17 (provoz sporadický)						
Datum	L/H [mm]	ϵ	RTC [°C]	MAX. [°C]	MIN. [°C]	PRŮM. [°C]
23.10.2012	1660/840	0,97	26,4	36,7	25,4	26,4
12.11.2012	1660/840	0,97	26,0	35,8	24,9	27,9
14.11.2012	1660/840	0,97	20,5	35,5	23,1	24,2
28.11.2012	1660/840	0,97	20,4	35,6	23,7	24,8
12.12.2012	1660/840	0,97	20,0	35,6	21,8	23,6
17.12.2012*	1660/840	0,97	21,5	75,6	41,6	71,0
19.12.2012	1660/840	0,97	19,1	42,3	27,1	33,1
28.1.2013	1660/840	0,97	21,2	37,5	23,0	25,9

* čerpadlo č. 5 (22M17) snímáno v aktivním stavu



Obrázek 4.6: Reálný a termografický snímek čerpadla č.5 pořízený termokamerou 12. 12. 2012 (foto: autor)

5. Zpracování dat

Jak již bylo řečeno, cílem práce byl pokus využít termokameru pro diagnostiku strojních zařízení, která svou činností vyzařují teplo. V této kapitole se zaměřím na zpracování naměřených hodnot, nasbíraných za daný časový úsek.

Vzhledem k tomu, že v místech měření panovaly rozdílné klimatické podmínky, rozdělil jsem si pracovní postup na dvě části. V první části budu řešit vztah mezi čerpadlem č. 1 a čerpadlem č. 2 a jejich tepelnou závislost na prostředí.

V druhé části se budu zabývat obdobným postupem u čerpadel č. 3, 4 a 5 – tedy vztah mezi sebou z hlediska rozdílnosti konstrukčního řešení a bilanci teplot vůči prostředí.

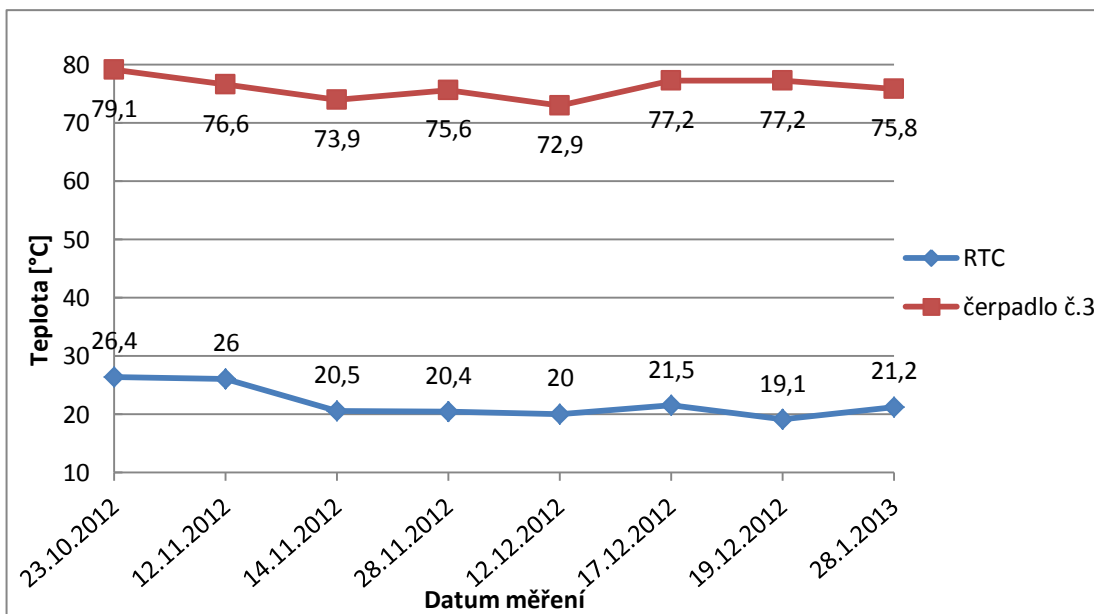
5.1. Srovnání průměrné teploty čerpadel s teplotou prostředí

Typově shodná čerpadla č. 1 a č. 2 Sigma 100 GFHU pracují ve stejném klimatickém prostředí, jehož průměrná teplota se v zimním období pohybuje kolem 22,6°C (viz. Tabulka 5.1) a relativní vlhkost nabývá průměrných hodnot kolem 37,1 %.

Tabulka 5.1: Tabulka klimatických podmínek pro měřicí bod X₁

Datum měření	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]
23. 10. 2012	26,2	36,2
12. 11. 2012	26,0	36,5
14. 11. 2012	22,3	30,9
28. 11. 2012	22,1	38,4
12. 12. 2012	18,5	46,6
17. 12. 2012	23,7	34,7
19. 12. 2012	21,7	38,1
28. 1. 2013	20,2	35,5
Průměr	22,6	37,1

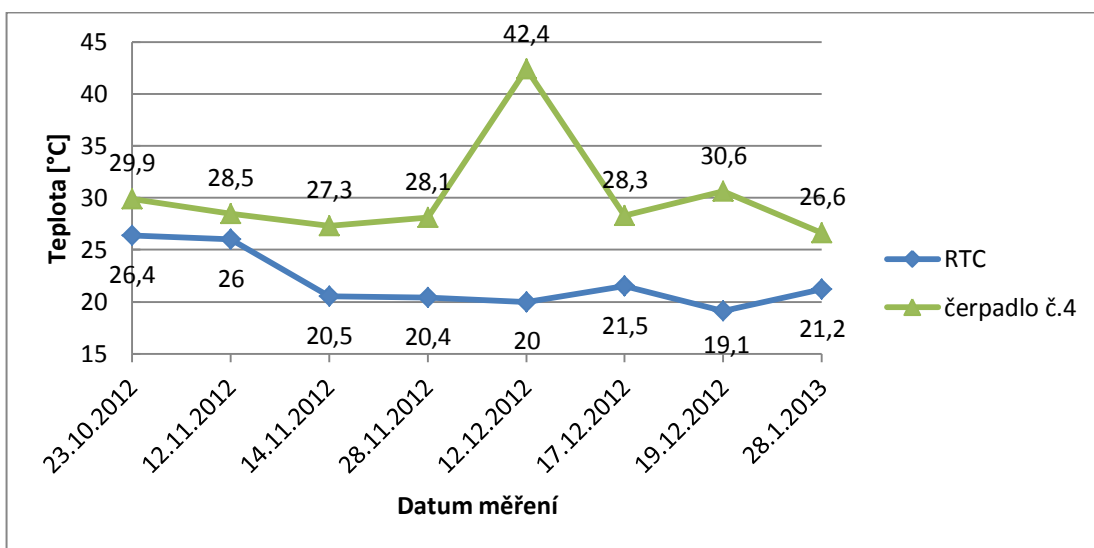
Jelikož čerpadla č. 1 a č. 2 mají chlazení okolním vzduchem dané konstrukcí, je teplota okolí pro jejich spolehlivý chod klíčová. Čerpadlo č. 1 má charakter stálého provozu, přičemž v průběhu měření nevykazovalo žádné známky údržby, či zásahu do provozu, a tudíž můžeme dlouhodobě pozorovat závislost průměrné teploty čerpadla na teplotě svého okolí (Graf 5.1).



Graf 5.1: Průběh teploty čerpadla č. 1 a RTC

Z hodnot graficky znázorněných v grafu můžeme pozorovat, že je zde patrná závislost mezi teplotou čerpadla č. 1 se systémem chlazení pomocí vnějšího prostředí a odraženou teplotou RTC. Přesnou závislost na teplotě okolního prostředí však nelze určit, jelikož je teplota čerpadla č. 1 ovlivněna aktivním stavem.

Čerpadlo č. 2 má charakter sporadického provozu, resp. během měření byl zaznamenán pouze jeden případ funkčního stavu, a to 12. 12. 2012. Údaj o stavu z 12. 12. 2012 tedy nebude započítán do statistiky, abychom získali závislost na teplotě okolí bez faktoru vzniku tepla během funkčního stavu (Graf 5.2).



Graf 5.2: Průběh průměrné teploty čerpadla č. 1

Tabulka 5.2: Průměrný rozdíl teploty čerpadla č. 2 a odraženého tepla RTC

Datum	Průměrná teplota čerpadla č. 2 t_1 [°C]	Odražená teplota RTC t_2 [°C]	Rozdíl teplot $t_1 - t_2$ [°C]	Průměrný rozdíl teplot [°C] $\frac{\Sigma(t_1 - t_2)}{n}$
23. 10. 2012	29,9	26,2	3,7	5,3
12. 11. 2012	28,5	26,0	2,5	
14. 11. 2012	27,3	22,3	5	
28. 11. 2012	28,1	22,1	6	
12. 12. 2012	42,4	18,5	23,9	
17. 12. 2012	28,3	23,7	4,6	
19. 12. 2012	30,6	21,7	8,9	
28. 1. 2013	26,6	20,2	6,4	

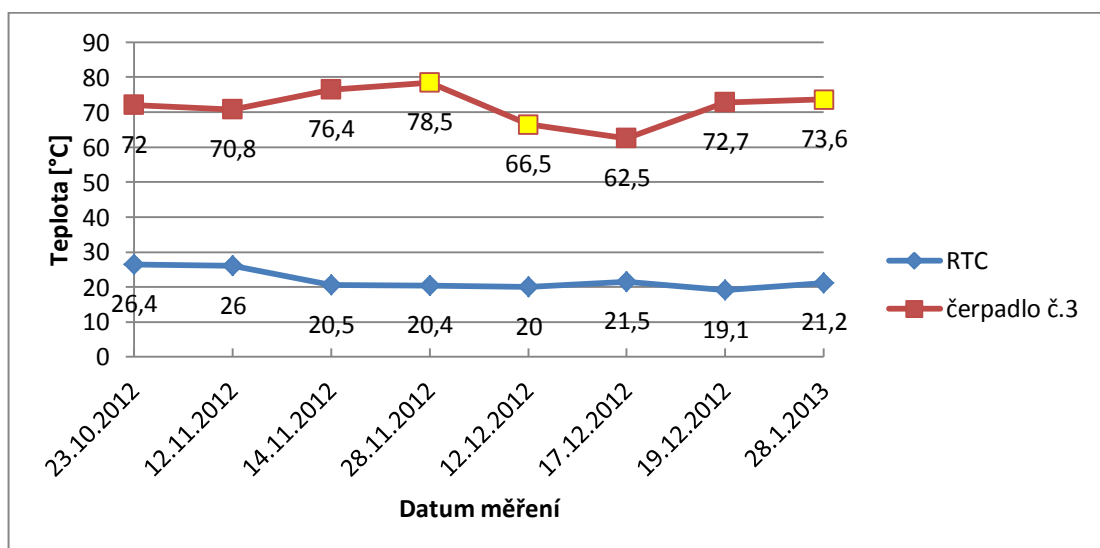
Z hodnot graficky znázorněných v grafu (viz. Graf 5.2) můžeme pozorovat, že i v tomto případě je zde patrná závislost mezi teplotou čerpadla č. 2 se systémem chlazení pomocí vnějšího prostředí a odraženou teplotou RTC. Po matematickém zpracování naměřených dat (viz. Tabulka 5.2) lze tvrdit, že hodnota teploty čerpadla č. 2, které bylo kromě 12. 12. 2012 mimo provoz, se pohybuje průměrně o 5,3°C výše, než je teplota okolního prostředí. Hodnoty z 12. 12. 2012 nejsou započítány do průměrného rozdílu hodnot, pouze byly zaznamenány do Tabulky 5.2 v rámci měření a byly přeškrtnuty na znamení ignorace.

Podobný postup zpracování dat jsem použil i při analýze čerpadel v levé části měřeného prostoru, kde se nacházela čerpadla s odlišným konstrukčním řešením: čerpadlo č. 3 se systémem chlazení vzduchem pomocí žebrování a čerpadlo č. 4, které má systém chlazení pomocí oleje. Obě tato čerpadla pracují v režimu stálého provozu, přičemž se ovšem zásadně liší životnost a pracovní využití čerpadel. Kromě těchto dvou čerpadel bylo ještě sledováno čerpadlo č. 5 se systémem chlazení pomocí oleje, které ovšem bylo po dobu pozorování mimo provoz a sloužilo pouze jako ukazatel vztahu teplot mezi čerpadlem a prostředím.

Tabulka 5.3: Tabulka klimatických podmínek pro měřicí bod X₂

Datum měření	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]
23. 10. 2012	26,4	37,4
12. 11. 2012	26,0	39,1
14. 11. 2012	20,5	35,4
28. 11. 2012	20,4	43,9
12. 12. 2012	20,0	38,5
17. 12. 2012	21,5	42,4
19. 12. 2012	19,1	46,9
28. 1. 2013	21,2	39,2
Průměr	21,9	40,4

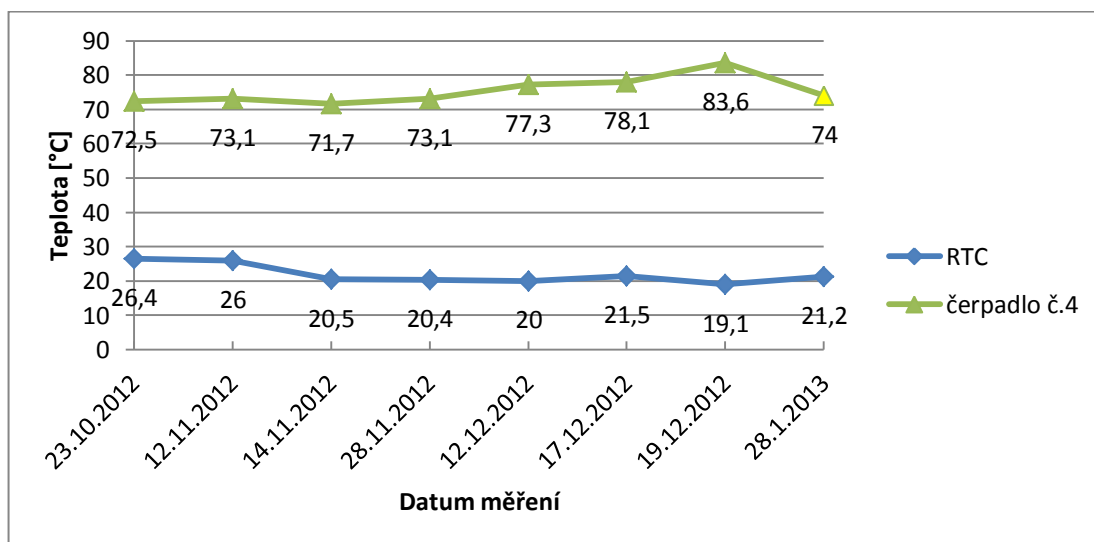
Čerpadlo č. 3 Sigma 80 GFHU se po dobu měření projevovalo jako neproblematictější z pohledu životnosti a spolehlivosti provozu. Tento typ má systém chlazení vzduchem pomocí žebér po obvodu pláště, což ovšem není vhodné pro pracovní režim, ve kterém se nachází. Po dobu měření byla provedena výměna nejméně tří čerpadel na pozici č. 3, což je znázorněno v grafu změnou barvy značky (viz. Graf 5.3).



Graf 5.3: Průběh průměrné teploty čerpadla č. 3 a RTC

Jak je patrné z grafu, vliv teploty okolního prostředí se zásadně neprojevil na provozu čerpadla č. 3.

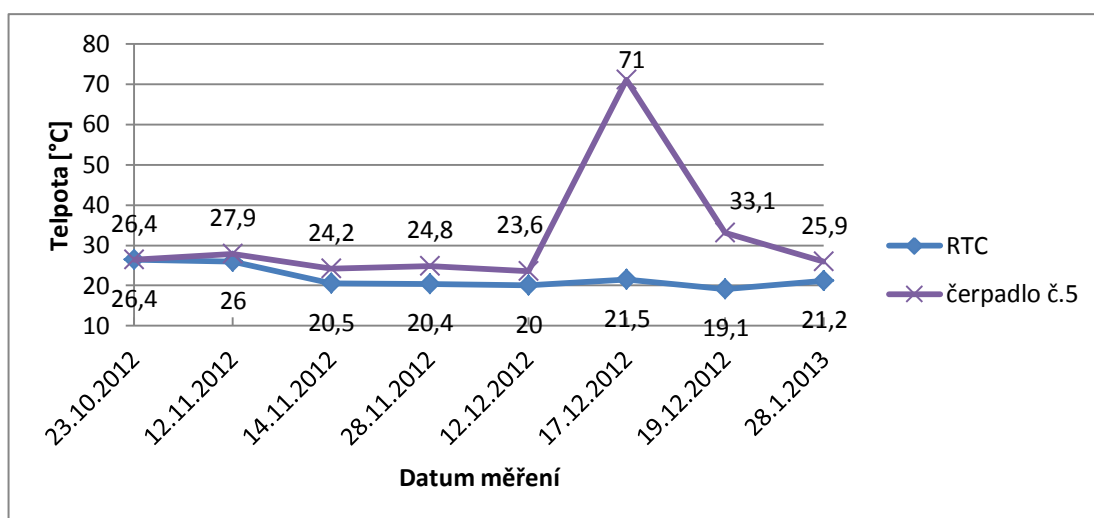
Čerpadlo č. 4 EMU FA 84-198 pracuje za stejných podmínek jako čerpadlo č. 3 Sigma 80 GFHU. Tato čerpadla jsou umístěna vedle sebe a obě pracují ve stálém pracovním režimu. Během měření proběhla úprava, která byla zaznamenána 17. 12. 2012, nicméně konkrétní zařízení nebylo měněno za jiné. Výměna čerpadla byla zaznamenána až 28. 1. 2013 za jiné čerpadlo stejného typu, označeno změnou barvy značky v grafu (viz. Graf 5.4).



Graf 5.4: Průběh průměrné teploty čerpadla č. 4 a RTC

Z počátku je patrná jistá závislost mezi průběhem teploty prostředí a teplotou čerpadla č. 4. Průběhem času se ale trend mění a stále více je patrný nárůst teploty vlivem aktivního stavu čerpadla. Nárůst můžeme sledovat až do 28. 1. 2013, kdy došlo k výměně čerpadla.

Čerpadlo č. 5 EMU FA 84-198 nebylo za celou svoji dobu snímáno při aktivním provozu kromě data 17. 12. 2012 a 19. 12. 2012 (tato měření nebudou započítána do vlivu teploty prostředí na čerpadlo). Bylo využito tak jako indikace vlivu teploty prostředí na teplotu čerpadla bez faktoru rušení tepla vzniklého aktivním pracovním stavem.



Graf 5.5: Průběh průměrné teploty čerpadla č. 5 a RTC

Z Grafu 5.5 je patrná závislost mezi teplotou prostředí a teplotou čerpadla, které je mimo provoz. Po zpracování naměřených dat (viz. Tabulka 5.4) můžeme tvrdit, že hodnota teploty čerpadla č. 5, které bylo kromě dat 17. a 19. 12. 2012 mimo provoz, se pohybuje řádově o 3,1°C výše, než je teplota okolního prostředí. Hodnoty ze 17. a 19. 12. 2012 nejsou započítány do průměrného rozdílu hodnot, pouze byly zaznamenány do Tabulky 5.4 v rámci měření a byly přeškrtnuty na znamení ignorace.

Tabulka 5.4: : Průměrný rozdíl teploty čerpadla č. 5 a odraženého tepla RTC

Datum	Průměrná teplota čerpadla č. 5 t_1 [°C]	Odražená teplota RTC t_2 [°C]	Rozdíl teplot $t_1 - t_2$ [°C]	Průměrný rozdíl teplot [°C] $\frac{\Sigma(t_1 - t_2)}{n}$
23. 10. 2012	26,4	26,4	0	3,1
12. 11. 2012	27,9	26,0	1,9	
14. 11. 2012	24,2	20,5	3,7	
28. 11. 2012	24,8	20,4	4,4	
12. 12. 2012	23,6	20	3,6	
17. 12. 2012	71,0	21,5	49,5	
19. 12. 2012	33,1	19,1	14	
28. 1. 2013	25,9	21,2	4,7	

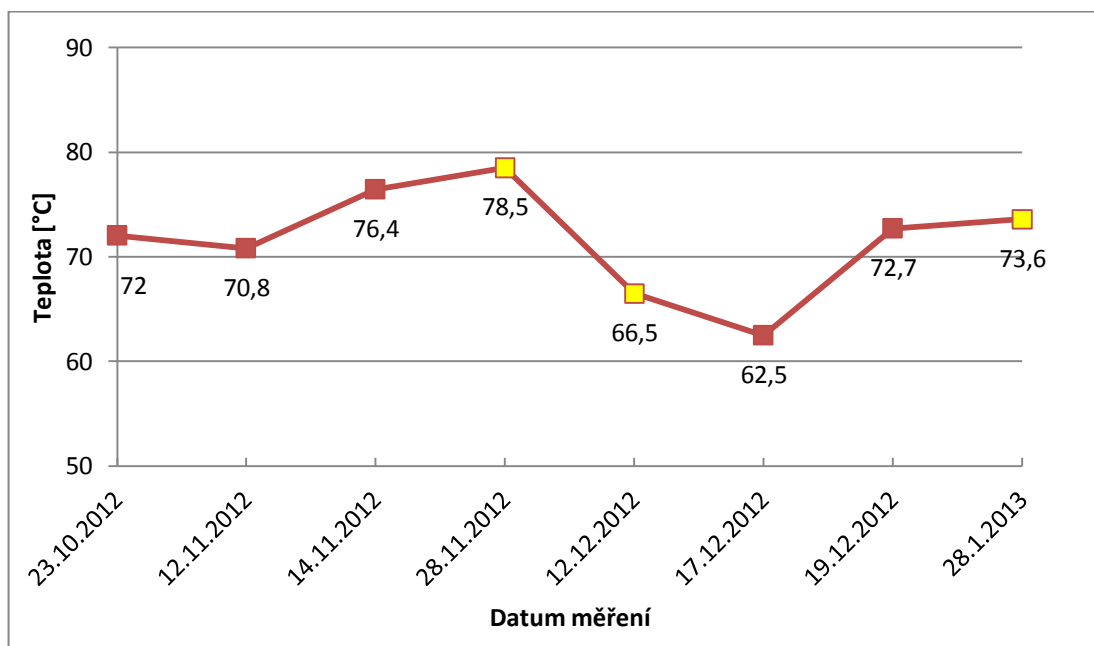
5.2. Závislost teploty zařízení na poruchovosti

Z naměřených a zpracovaných dat můžeme pozorovat, že zde existuje souvislost mezi průměrnou teplotou čerpadel a jejich poruchami, resp. výměnami za funkční modely. Tyto kritické průměrné teploty se liší v závislosti na konstrukci jednotlivých typů čerpadel.

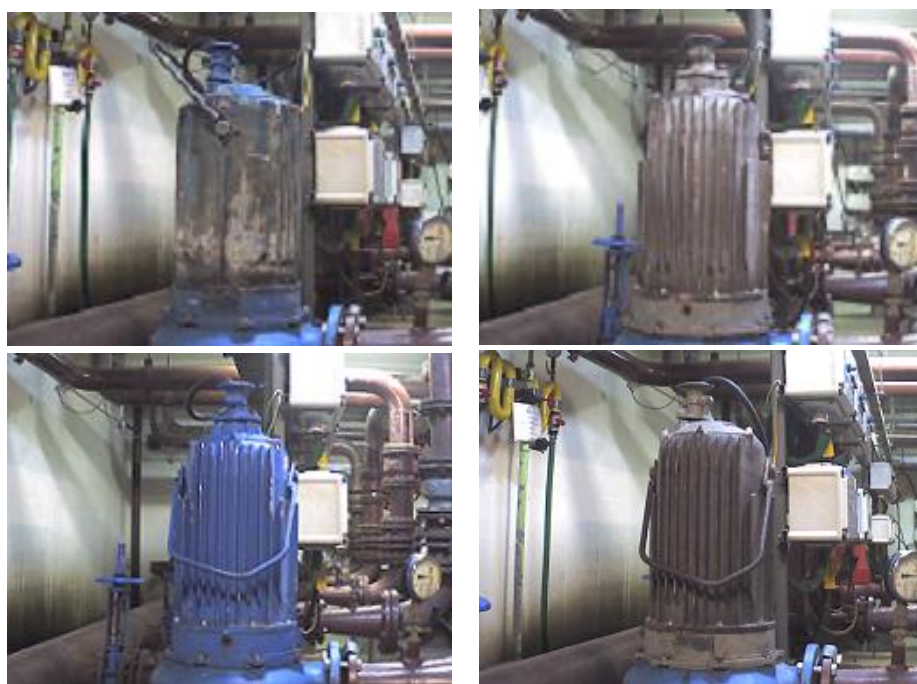
Ze srovnání typů čerpadel pracujících v režimu stálého provozu vyplývá, že nejvíce problémová jsou čerpadla, která díky své konstrukci nemohou odvádět dostatek tepla, a tedy mají větší náchylnost k poruše.

Během doby snímání teploty čerpadla č. 1 neproběhly žádné úpravy na čerpadle, tudíž by se dalo říci, že kritické teploty nebylo dosaženo. Možným vysvětlením může být fakt, že čerpadlo č. 1 Sigma 100 GFHU má větší průchodivost oběžným kolem (60 x 70 mm) a větší průměr oběžného kola \varnothing 250 mm, a tedy větší plochu pláště osazeného žebrováním, což má za následek lepší odvod tepla do okolního prostředí.

Naproti tomu u čerpadla č. 3 Sigma 80 GFHU byla zjištěna velká intenzita údržbářských zásahů a výměn zařízení. Z dat znázorněných v grafu (viz. Graf 6) lze pozorovat, že kdykoli se průměrná teplota čerpadla dostala nad hodnotu $75\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$, bylo při dalším měření snímáno jiné čerpadlo, které nahradilo předešlé po poruše. Snímky nových čerpadel byly vyznačeny v Grafu 5.6 žlutou barvou značky.

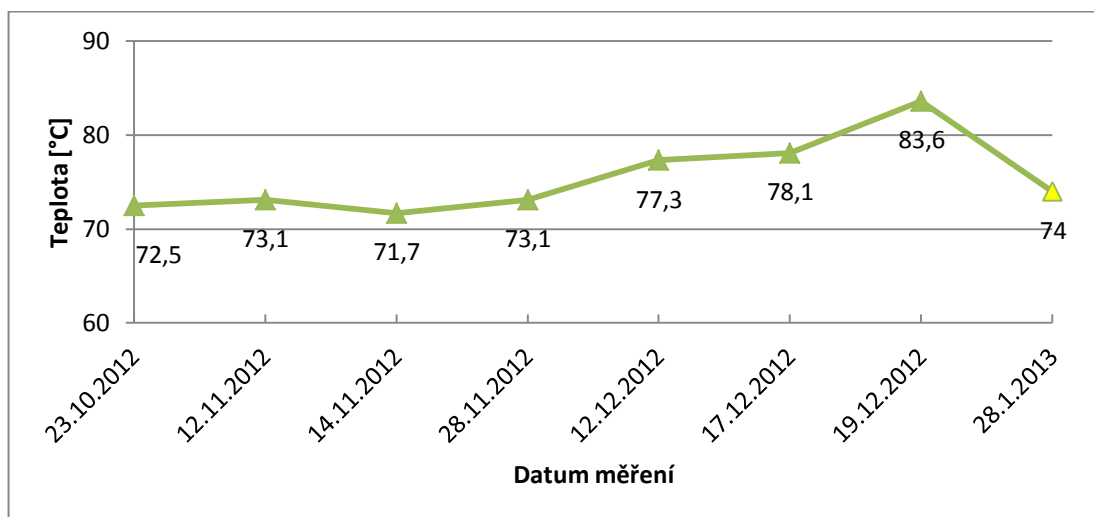


Graf 5.6: Průběh průměrné teploty čerpadla č. 3



Obrázek 5.1: Výměny nefunkčních čerpadel na pozici č. 3 za nová (foto: autor)

U čerpadla č. 4 EMU FA 84-198, které má jak chlazení pláště pomocí vzduchem, tak i olejové chlazení, byl trend opotřebení zcela lineární. Z Grafu 5.7 je patrné, jak postupem času narůstala teplota čerpadla při zátěži až do kritické hodnoty $82^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, po jejíž dosažení nebylo čerpadlo schopno konat svojí činnost a bylo vyměněno za funkční. Snímek nového čerpadla je v grafu vyznačen žlutou barvou značky.



Graf 5.7: Průběh průměrné teploty čerpadla č. 4

Hodnoty výše uvedené byly zpracovány pomocí programu Testo IRSoft přidělenému k termokameře. Pro získání průměrných teplot čerpadel bylo nutné použít nástroje v tomto programu po přenosu dat do PC.

Při terénním měření není možné určit tyto průměrné hodnoty, jelikož termokamera nerozlišuje jednotlivé objekty, ale pouze vyhodnocuje snímek pořízený objektivem termokamery. Příklad však disponuje funkcí vyhledávání nejteplejšího bodu v zorném poli objektivu, což dává možnost určit maximální teplotu čerpadla a z té na základě zkušeností určit přibližný stav měřeného přístroje (v případě, že je tepelná energie rovnoměrně vyzařována).

6. Diskuze

Během měření v rámci plnění zadání bakalářské práce byl sledován vývoj činnosti čerpadel pro přečerpávání kalu. Díky rozmanitosti použitých typů čerpadel byla pozorována odlišnost mezi jednotlivými typy; na základě těchto odlišností zpracovaných v bakalářské je možné se pokusit o návrhy řešení problematiky častých poruch, které vyžadují údržbářské zásahy, což má za následek zvyšování nákladů na údržbu a energetické ztráty vzniklé změnou režimu zapojení jednotlivých čerpadel.

Podle informací poskytnutých ČOV Hrdějovice vychází oprava porouchaného čerpadla na cca 9500,- Kč v rámci výměny ložisek, mechanických ucpávek a vykonané práce. ČOV veškeré opravy vykonává sama, jelikož při dodání na opravu do specializované firmy vychází oprava na 13000,- Kč. K této ceně lze připočítat i částku 5000,- Kč v případě spáleného vinutí motoru.

Čerpadla Sigma 80 GFHU a Sigma 100 GFHU s řešením chlazení vzduchem pomocí žebrování po obvodu pláště vycházejí ze starého konstrukčního konceptu, kdy tyto přístroje byly často předdimenzovány, aby se předešlo vzniklým poruchám vlivem výkyvů namáhání během aktivního stavu. Nebýt tohoto předdimenzování, byla by intenzita poruch jistě vyšší.

Tato čerpadla jsou navržena především do prostředí vlastního čerpaného média, jinými slovy se počítá s tím, že čerpadlo bude během provozu ochlazováno přečerpávaným médiem. Maximální teplota čerpaného média je 40°C (doporučená 35°C), což je sice vyšší teplota, než teplota okolí v našem případě, ale nedochází k tak intenzivnímu ochlazení, jako by docházelo při ponoření čerpadla do média.

Čerpadla na ČOV Hrdějovice přečerpávají kal o teplotě $42^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, což je hraniční doporučená teplota média, a v kombinaci s nedostatečným ochlazením čerpadel dochází k častým poruchám a vyřazením z provozu.

Během doby měření proběhly nejméně tři výměny čerpadla č. 3 Sigma 80 GFHU, což se dle propočtů rovná nejméně 28500,- Kč na náklady spojené s opravou.

V případě spáleného vinutí se může jednat i o částku až 43500,- Kč, která převyšuje polovinu částky potřebné ke koupi nového čerpadla Sigma 80 GFHU (nové čerpadlo stojí cca 81000,- Kč). Vzhledem k tomu, že měření probíhalo po dobu čtyř měsíců v chladnějším období roku, se dá předpokládat, že intenzita poruch se v letním období zvyšuje.

Čerpadlo EMU FA 84-198, které pracuje ze stejných podmínek jako čerpadlo Sigma 80 GFHU, díky svému konstrukčnímu řešení chlazení olejem dosahuje příznivějších výsledků z hlediska spolehlivosti a životnosti. Po dobu měření byl zaregistrován pouze jeden případ výměny, přičemž náklady na opravu jsou zhruba stejné, jako u čerpadla Sigma 80 GFHU.

Vzhledem k tomu, že návrh budovy a dopravního systému neumožňuje jiné zapojení čerpadel do oběhu, než umístění mimo čerpané médium, existují pouze omezené možnosti návrhu opatření pro snížení poruchovosti čerpadel.

Jedním z návrhů by mohla být varianta připojení ventilačního systému, který by ochlazoval prostory, v nichž jsou čerpadla umístěna. Náklady spojené se spotřebou elektrické energie na pohon ventilace by byly ovšem značně vysoké a tuto variantu je možno považovat za nerentabilní.

Dalším možným způsobem, jak snížit provozní teplotu čerpadel, by bylo snížení teploty čerpaného média. Náklady na ochlazování nádrží na médium by byly ovšem ještě vyšší, než v případě instalace a provozu ventilace do prostoru s čerpadly.

Na základě měření a pozorování se nejvýhodnějším realizovatelným řešením jeví nahrazení starších typů čerpadel Sigma 80 GFHU s chlazením vzduchem pomocí žebrování čerpadly EMU FA 84-198 s olejovým chlazením vzhledem k nižší náchylnosti k přehřívání a následné poruchovosti.

Náklady na opravy během zimního období (po dobu měření) čerpadla Sigma 80 GFHU byly vůči nákladům na opravu čerpadla EMU FA 84-198 trojnásobné. Při nákupní ceně čerpadla EMU FA 84-198 cca 60000,- Kč se výměna za čerpadlo Sigma 80 GFHU při dosavadním trendu projeví snížením nákladů o 33,3% ročně.

7. Závěr

Cílem bakalářské práce byl pokus využít termokameru při diagnostice strojů a zařízení v zemědělských provozech jak po stránce teoretické, tak i po stránce praktické.

Bylo provedeno systematické zkoumání a měření strojních zařízení v určitém časovém úseku a data pořízená při těchto měření byla zpracována do tabulek podle data měření, umístění a typu měřeného strojního zařízení. Nasbíraná data byla vyhodnocena a matematicky a graficky zpracována.

Výsledkem práce je návrh opatření, která by vedla ke snížení poruchovosti strojních zařízení a snížila tak náklady na údržbu. Návrh těchto opatření bere v potaz finanční i projektovou stránku konstrukce, provozování a údržby strojních zařízení v návaznosti na pozorované chování v provozu.

8. Seznam použité literatury

8.1. Knihy

1. KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 239 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0145-4.
2. ČECH, Bohumír a Zdeněk KADLEC. *Měření teplot v energetice*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 60 s. ISBN 978-80-248-1861-0.

8.2. Firemní literatura

1. TESTO příručka termografie
2. TESTO návod k použití termokamery Testo 875
3. COMET návod k použití teploměru - vlhkoměru Comet D3121
4. SIGMA ponorná kalová čerpadla GFHU Sigma Lutín
5. EMU Betriebs-und Wartungshandbuch (český překlad)