

Faculty of Electrical Engineering
Research and Innovation Centre for Electrical Engineering

Porovnání parametrů vodních chladičů, protokol z měření, verze 1

Oddělení:	Research and Innovation Centre for Electrical Engineering
Výzkumná zpráva č.:	22190-021-2024
Typ zprávy:	Výzkumná zpráva
Autoři:	Ing. Jan Molnár, PhD., Ing. Jan Štěpánek, PhD.
Vedoucí projektu:	Ing. Jan Molnár, PhD.,
Stránky:	14
Datum vydání:	7. 5. 2024
Klasifikace CEP:	2.2 Electrical engineering, Electronic engineering, Information engineering - Electrical and electronic engineering
Zákazník:	Dodavatel:
ŠKODA ELECTRIC	Západočeská univerzita v Plzni
Průmyslová 610/2a	Fakulta elektrotechnická, RICE
301 00 Plzeň 3	Univerzitní 8
IČ: 47718579, DIČ: CZ47718579	301 00 Plzeň
	IČ: 49777513, DIČ: CZ49777513
Kontaktní osoba:	Kontaktní osoba:
Ing. Aleš Peroutka	Ing. Lucie Polášková
specialista projektu	projektový manažer
+420 731 643 501	tel. +420 731 552 261
ales.peroutka@skodagroup.com	polaskov@fel.zcu.cz

Zadání

Cílem je srovnávací měření dvou vodních chladičů (MERSEN, VZOREK A).

Vstupní parametry a požadavky:

- 1) Na chladič umístit např. náhradní zátěže v ekvivalentní hodnotě ztrátového výkonu 8000 W dle výkresu EC610459 – trvalý elektrický příkon 8000 VA (případně použít přímo některý z modulů IGBT 4x FZ750R65KE3, 4x 5SNA 1000G650300 dle uvážení a možností zhotovitele)
- 2) Montáž tepelné zátěže na teplo-vodivou pastu. Bude použita nanášecí šablona zadavatele. (pasta dle možností a uvážení zhotovitele)
- 3) Použít chladicí médium Glykol / voda v poměru 50/50. (Směs nemrznoucí pro -40°C NB6S 001 106+FRIDEX EKO EXTRA 20l kanyst, označení zhotovitele 65014012 nebo ES Compleat)
- 4) Průtok chladicího média 28l/min.
- 5) Teplota chladicího média na vstupu do chladiče v ustáleném stavu 55°C.
- 6) Měřit teplotu vody na výstupu z chladiče.
- 7) Pod náhradní destičky nebo moduly umístit snímače teploty. (typ a provedení dle uvážení zhotovitele, umístění definuje zadavatel)
- 8) Měřit tlakovou ztrátu chladiče.
- 9) Termo kamerou snímat teplotní rozložení na celém chladiči – identifikace hotspotů
- 10) Na základě teploty hotspotů a teploty výstupní kapaliny spočítat R_{th} sestavy viz vztah níže.

$$R_{th} / IGBT = 4 \times \frac{MaxT(^{\circ}C)_{Cooler} - MaxT(^{\circ}C)_{Water(Outlet)}}{P_{tot}(kW)} (^{\circ}C / kW)$$

MaxT Cooler (under the last IGBT) = 69,10 °C

MaxT Water(Outlet) = 59,7 °C

P_{tot} = 8 kW

R_{th}/IGBT = 4,70 °C/kW

- 11) Výstupem bude technická zpráva s výsledky měření a porovnáním.

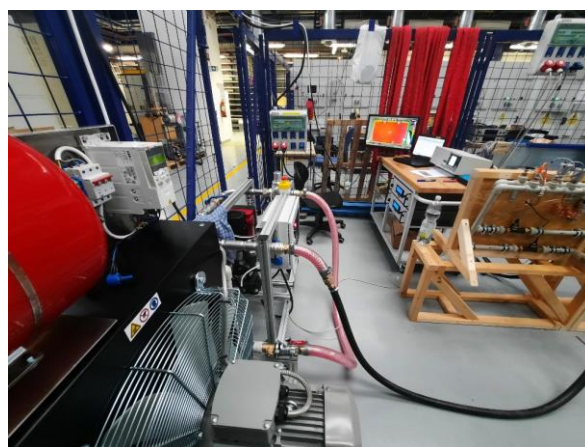
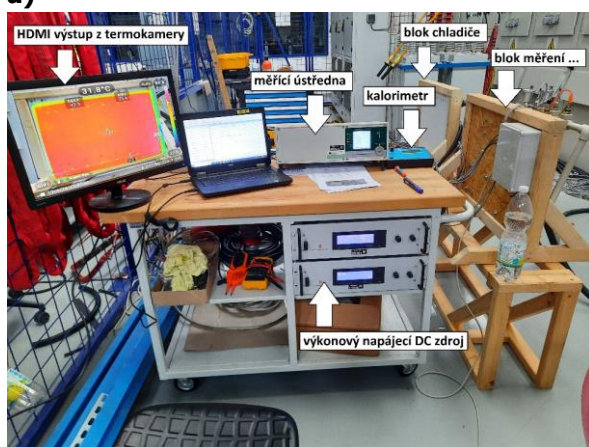
Měřicí stanoviště na hale EH RICE

Hydraulický okruh je koncipován, jako stavebnice zahrnující základních bloky spojené do série. Obsahuje výkonné čerpadlo, blok pro měření neelektrických veličin, měřený chladič s tepelnou zátěží a chladicí jednotku. Čerpadlo je plynule říditelné frekvenčním měničem v otevřené regulační smyčce otáčky čerpadla nebo v uzavřené smyčce průtok, dále je možné průtok ovlivnit nastavením bypass smyčky čerpadla. Chladicí jednotka obsahuje výměník voda-vzduch výkon je možné řídit otáčkami ventilátoru a nastavením směšovacího poměru vstupní a výstupní vody.

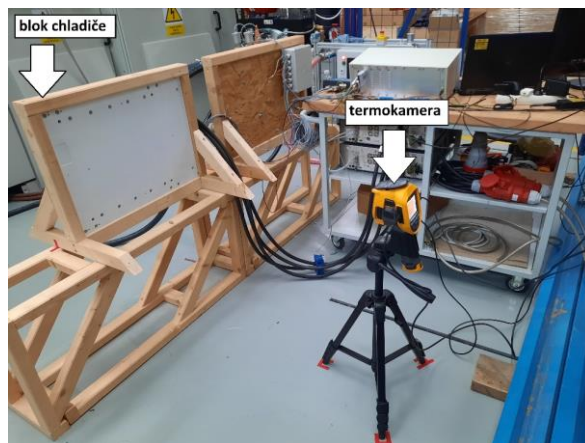
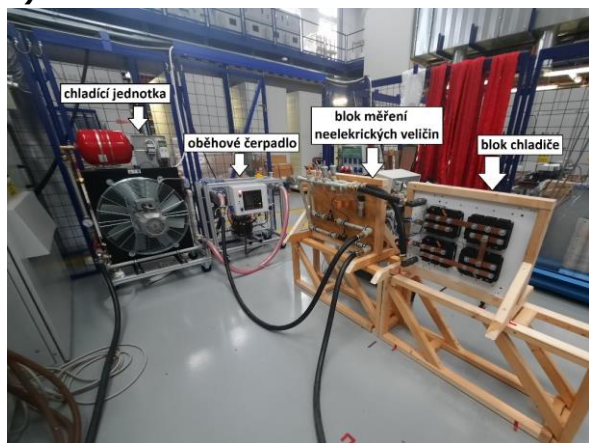
Výkonová tepelná zátěž plynule říditelná pomocí výkonových DC zdrojů.

Použitá měřicí instrumentace kalorimetr měřící přesně teploty vstupní, výstupní vody a průtok (TUV kalibrace). Měřicí ústředna měří veškeré veličiny (teploty, průtok, tlak, napětí, proud). Termokamera slouží pro měření povrchové teploty chladiče a rozložení teplotního pole.

a)



b)



Obr. 1 Uspořádání měřicího stanoviště.

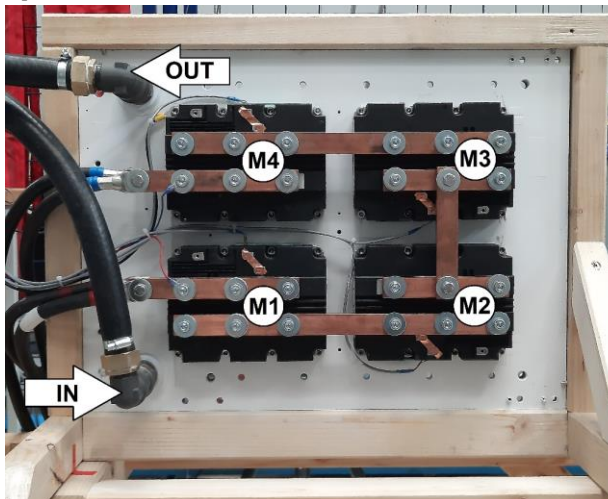
a) pracovní stůl s měřicí instrumentací, b) rozmístění klíčových komponent na stanovišti.

Blok chladiče

Zátěž byla vytvořena sériovým spojením zpětných diod IGBT tranzistorů 4x FZ750R65KE3. Moduly jsou na chladič umístěny tak, aby se daly jednoduše spojit měděnou šinou 10x25mm viz obrázky Obr. 2a. Tranzistory byly vybaveny čidlem teploty (poloha dle dohody, geometrický střed základny modulu Obr. 2b) a montáž na chladič přes teplo-vodivou pastu šrouby M6 utaženy výrobcem předepsaným momentem. Sestava byla napájena výkonovým DC zdrojem (požadovaný příkon 8 kVA napětí cca 11 V a proud cca 741 A). Napětí na svorkách sestavy a

proud byly měřeny pomocí LEM čidel a následně zavedeny do měřicí ústředny. Taktéž snímače teploty PT100 pod jednotlivými moduly. Celá sestava chladiče byla vsazena do dřevěného rámu v poloze odpovídající reálným provozním podmínkám. Rám zajišťuje stabilitu, flexibilitu při manipulaci na pracovišti a výměně měřených vzorků.

a)



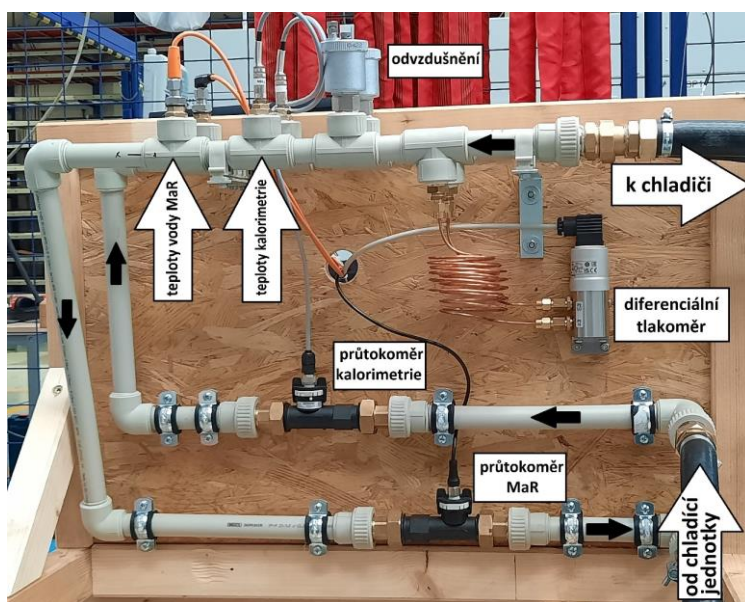
b)



Obr. 2 Umístění chladiče v měřícím rámu. a) Pořadí modulů na chladiči M1 – M4, b) Integrace snímače teploty PT100 do základny modulu.

Blok měření neelektrických veličin

Pro účely měření byla vytvořena tzv. „nástěnka“ koncentrující potřebné snímače neelektrických veličin pro účely přesného kalorimetrického měření, měření pomocí měřicí ústředny a účely regulace viz Obr. 3. Nástěnka byla vsazena opět do dřevěného rámu tak, aby bylo možné optimální propojení s blokem chladiče a zároveň byly splněny instalační požadavky použitých snímačů (uklidňovací délky průtokoměrů, poloha diferenciálního snímače tlaku a připojení, umístění snímačů teploty do potrubí, atd.).



Obr. 3 Nástěnka s rozmístěním použité instrumentace neelektrických veličin.

Postup měření

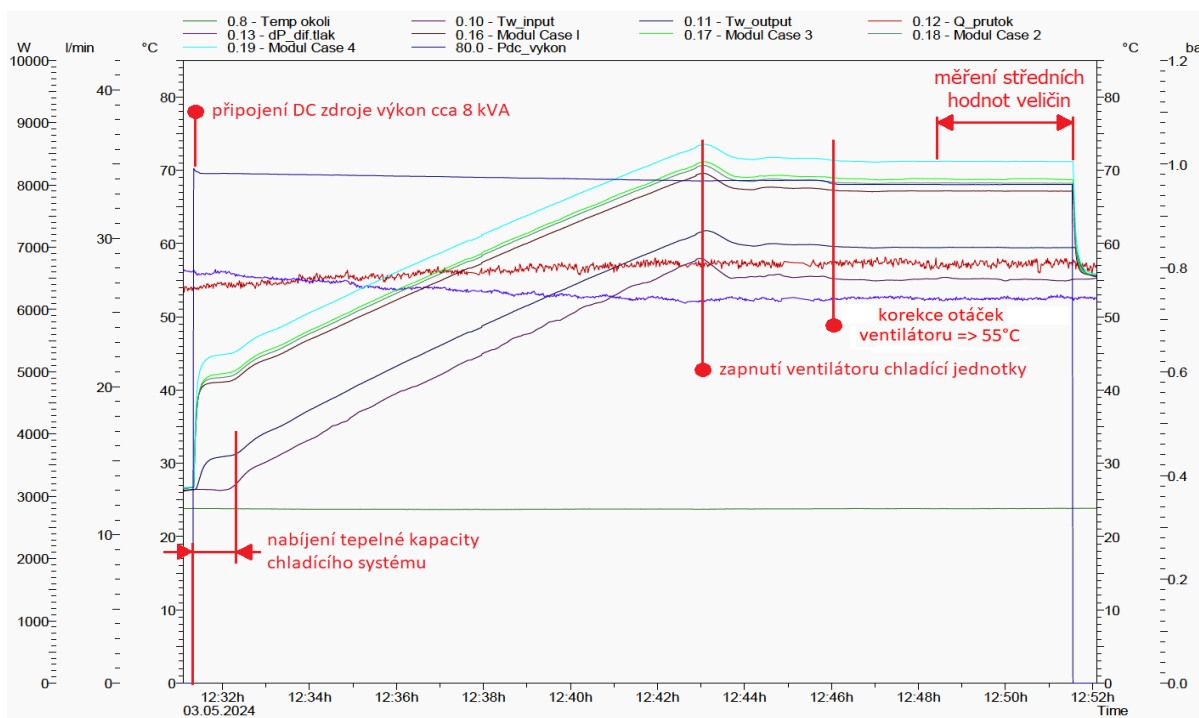
Měření provádět ideálně se stejnou stabilní teplotou okolního prostředí, pak není nutné provádět korekci naměřených výsledků. Stabilní teplota zajištěna velkým objemem vzduch v halové laboratoři a možností řízení parametrů prostředí.

Příprava měření. Konfigurace chladicího systému byla provedena pomocí předběžných testů, kontrola měřících rozsahů, citlivost na řízené parametry, stanovení limitů, časové konstanty, atd. Výsledkem je seřízení instrumentace a chladicího stému podle požadavků konkrétního zadání jednotlivých zkoušek.

Algoritmus měření:

- 1) Počáteční stav. Čerpadlo běží na parametrech pro požadovaný pracovní bod. Chladicí jednotka na maximum, aby hodnoty všech teplotních čidel byli na stejné počáteční teplotě $\pm 0,1\text{K}$. Základní kontrola, že měří správně.
- 2) Vypnutí ventilátoru chladicí jednotky a skokové zapnutí tepelného výkonu nastavení odpovídá podle požadovaného pracovního bodu. Začnou narůstat teploty.
- 3) Při dosažení požadované teploty vstupní vody 55°C zapnout ventilátor na chladicí jednotce dle parametrů pro daný pracovní bod. A počkat do ustálení teploty.
- 4) Pokud je potřeba, provést korekci teploty vstupní vody pomocí otáček ventilátoru (záleží na zadání měření) a nechat ustálit. Za ustálený stav lze považovat změnu $\pm 0,1\text{ K}$ za minutu na teplotě výstupní vody. Případně korekci výkonu zátěže.
- 5) Po ustálení spustit záznam veličin z kalorimetru a případně měřící ústředny pokud již neprobíhá. Doba záznamu stanovena na cca 5min.
- 6) Ze zaznamenaných dat v ustáleném stavu se spočítá střední hodnota a ta se použije jako výsledek měření viz Obr. 4.

Poznámka: Pro výpočty a finální porovnání jsou upřednostněny přesnější data z kalorimetru tj. teplota vstupní vody, teplota výstupní vody, průtok.



Obr. 4 Typický průběh jednoho měřícího cyklu.

Měření č. 1 Chladič MERSEN

Zadání:

- 1) Připojit přes rychlospojky SPT12 originální chladič MERSEN.
- 2) Zatížit ho definovaným tepelným výkonem.
- 3) Konstantní průtok 28l/min.
- 4) Měřit teplotu chladiva na vstupu do chladiče a udržovat na 55°C.
- 5) Měřit teplotu chladiva na výstupu z chladiče.
- 6) Měřit teploty pod výkonovými prvky.
- 7) Změřit tlakovou ztrátu chladiče. (rozdíl mezi vstupním a výstupním tlakem)
- 8) Termo kamerou měřit teplotu celého chladiče – hotspoty.
- 9) Stanovit tepelný odpor R_{th} sestavy z naměřených dat.

Pracovní bod:

	<i>název</i>	<i>hodnota</i>	<i>jednotka</i>	<i>poznámka</i>
1	otáčky čerpadla Q	28	l/min	
2	teplota vstupní vody T_{win}	55	°C	

HW parametry:

	<i>název</i>	<i>označení / typ / hodnota</i>	<i>poznámka</i>
1	chladič	MERSEN FR L.M.	D1017017 21/02
2	rychlospojky	STAUBLI SPT12	N00617110 0000210092
3	chladicí kapalina	FRIDEX EKO EXTRA -40 °C	31.713, ozn. SELC: 65014012
4	moduly	FZ750R65KE3	
5	šrouby M6 moment	5,5 Nm	
6	šrouby M8 moment	10 Nm	
7	teplo-vodivá pasta	Fischer elektronik LPF 300 S	thermal conductivity 0.5 W/(m·K)
8	vstup chladiva	dole	Směr proudění chladiva viz Obr. 1
9	výstup chladiva	nahoře	Směr proudění chladiva viz Obr. 1
10	objem chladiva	30 l	

Konfigurace chladicího systému:

	<i>název</i>	<i>hodnota</i>	<i>jednotka</i>	<i>poznámka</i>
1	otáčky čerpadla Q	55	%	
2	bypass čerpadla bQ	0	°	otevření kohoutu ve stupních
3	otáčky ventilátoru N	7,1	Hz	
4	směšovací ventil mN	0	%	otevření směšovacího ventilu

Kalorimetrické měření:

přístroj: AV/20 v1.0

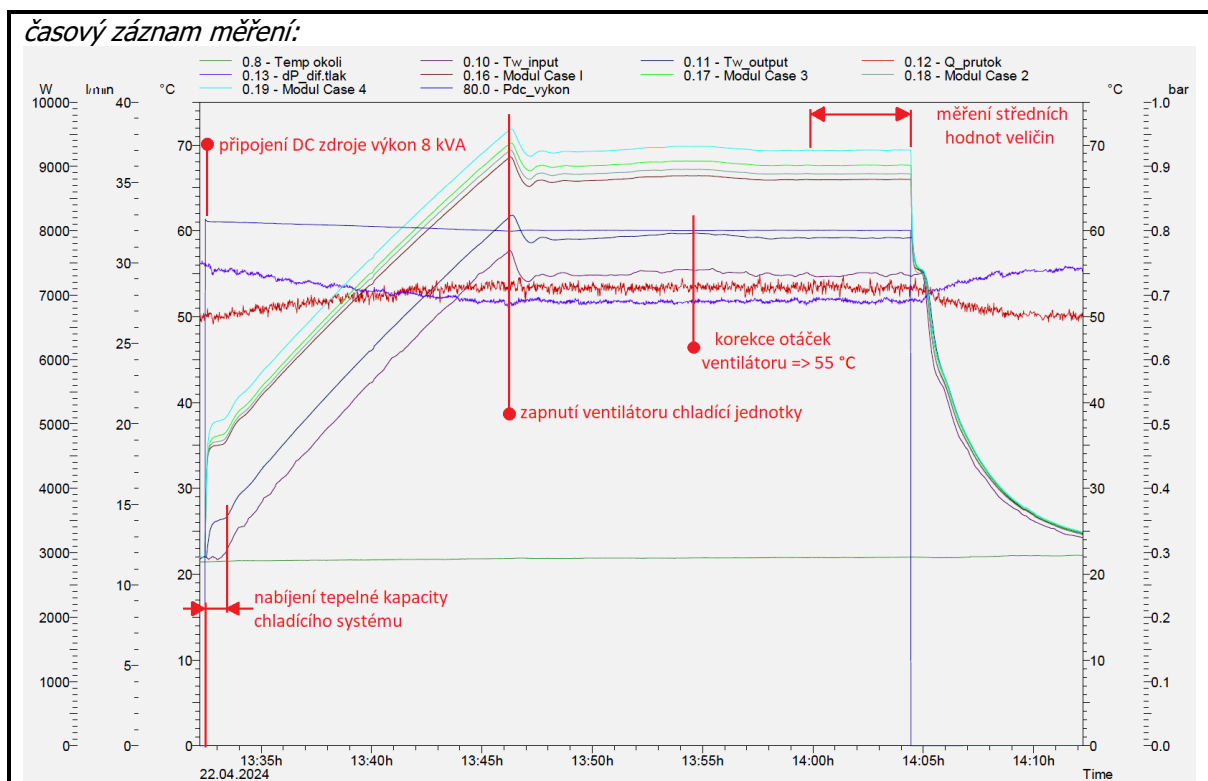
	<i>název</i>	<i>hodnota</i>	<i>jednotka</i>	<i>poznámka</i>
1	teplota vstupní vody T_{win}	55,08	°C	výsledek měření
2	teplota výstupní T_{wout}	59,13	°C	použito pro výpočet
3	teplotní spád ΔT_w	4,045	K	výsledek měření
4	průtok vody Q_w	28,0	l/min	výsledek měření
5	výkon do vody P_w	7785	W	

Měřící ústředna:

přístroj: ALMEMO 5690-2

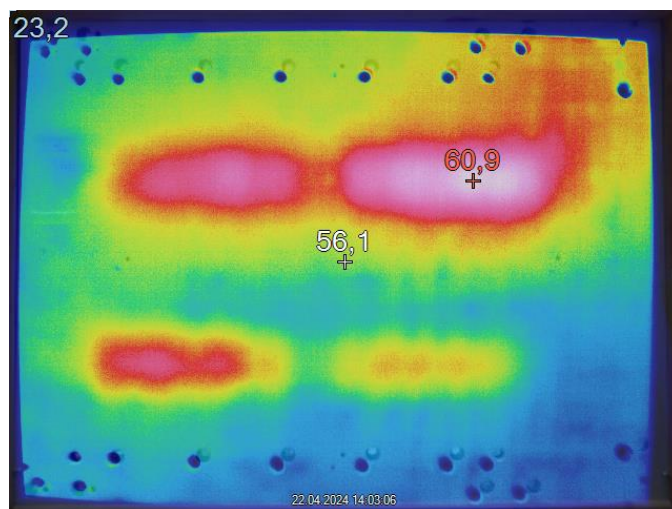
	<i>název</i>	<i>hodnota</i>	<i>jednotka</i>	<i>poznámka</i>
1	teplota okolí T_{OK}	21,9	°C	výsledek měření
2	teplota vstupní vody T_{win}	54,9	°C	
3	teplota výstupní T_{wout}	59,2	°C	
4	teplotní spád ΔT_w	4,3	K	pouze orientačně
5	teplota modulu 1 T_{CM1}	66,0	°C	výsledek měření

6	teplota modulu 2 T_{CM2}	66,6	°C	výsledek měření
7	teplota modulu 3 T_{CM3}	67,6	°C	výsledek měření
8	teplota modulu 4 T_{CM4}	69,4	°C	použito pro výpočet
9	průtok vody Q_w	28,5	l/min	
10	tlaková ztráta ΔP_w	0,691	bar	výsledek měření
11	příkon P_{DC}	8004	VA	použito pro výpočet



Termo kamera (měření hotspot):				přístroj: FLUKE Ti480 PRO
	název	hodnota	jednotka	poznámka
1	teplota hotspot mod. M4	60,9	°C	povrchová teplota
2	střední teplota chladiče	56,1	°C	povrchová teplota

obrázek z kamery:



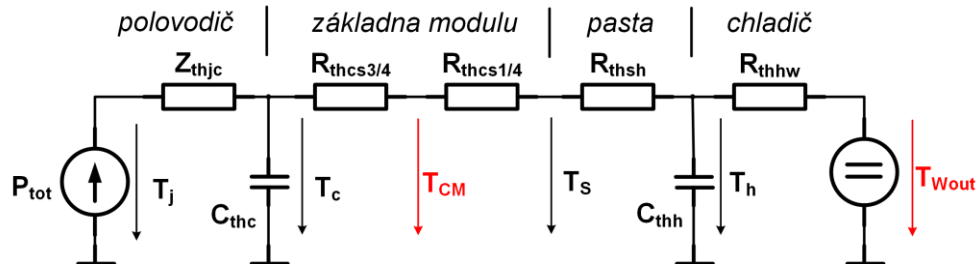
Poznámka: Snímána pouze zadní strana chladiče.

Stanovení tepelného odporu sestavy:

výpočet z naměřených hodnot:

$$R_{thWCM} = 4 \times \frac{T_{CM4} [^{\circ}C] - T_{Wout} [^{\circ}C]}{P_{tot} [kW]} = 4 \times \frac{69,4 - 59,13}{8,004} = 4 \times \frac{10,27}{8,004} = 5,132 \left[\frac{K}{kW} \right]$$

náhradní schéma sestavy:



Závěr:

- 1) Byly změřeny všechny požadované parametry viz výše vyznačeny tučně červeně.
- 2) Byl proveden výpočet tepelného odporu dle požadavku zadavatele viz výše.
- 3) Byla zjištěna závislost průtoku Q , tlakové ztráty chladiče ΔP_w , teplotního spádu ΔT_w na teplotě chladicího média T_{win} . Při změně teploty o $+50$ K dojde ke zvýšení průtoku cca o 7,3 %, snížení tlakové ztráty o cca 18,1 % a poklesu teplotního spádu na chladiči cca o 13,7 %.
- 4) Poruchové stavy chlazení při ztrátovém výkonu 8 kW. Neběží oběhové čerpadlo teplota modulu T_{CM2} vzroste z 26 °C na kritickou hodnotu 92 °C za 1min 5s. Výpadek oběhového čerpadla teplota modulu T_{CM4} vzroste z $71,9$ °C na kritickou hodnotu $91,1$ °C za 15s. Výpadek ventilátoru chlazení teplota modulu T_{CM4} vzroste z $71,1$ °C na kritickou hodnotu $90,5$ °C za 8min 56s.

Měření č. 2 VZOREK A

Zadání:

- 1) Připojit přes rychlospojky SPT12 alternativní chladič VZOREK A.
- 2) Zatížit ho definovaným tepelným výkonem.
- 3) Konstantní průtok 28l/min.
- 4) Nechat nastavení chladicí jednotky jako pro měření č. 1- MERSEN - nic neměnit.
- 5) Měřit teplotu chladiva na vstupu do chladiče.
- 6) Měřit teplotu chladiva na výstupu z chladiče.
- 7) Měřit teploty pod výkonovými prvky.
- 8) Změřit tlakovou ztrátu na chladiči. (rozdíl mezi vstupním a výstupním tlakem)
- 9) Termo kamerou měřit teplotu celého chladiče – hotspot.
- 10) Stanovit tepelný odpor R_{th} sestavy z naměřených dat.

Pracovní bod:

	<i>název</i>	<i>hodnota</i>	<i>jednotka</i>	<i>poznámka</i>
1	otáčky čerpadla Q	28	l/min	
2	teplota vstupní vody T_{win}	--	°C	Bude změřeno

HW parametry:

	<i>název</i>	<i>označení / typ / hodnota</i>	<i>poznámka</i>
1	chladič	Neznámý Čína	
2	rychlospojky	STAUBLI SPT12	N00617110 0000210092
3	chladicí kapalina	FRIDEX EKO EXTRA -40 °C	31.713, ozn. SELC: 65014012
4	moduly	FZ750R65KE3	
5	šrouby M6 moment	5,5 Nm	
6	šrouby M8 moment	10 Nm	
7	teplo-vodivá pasta	Fischer elektronik LPF 300 S	thermal conductivity 0.5 W/(m·K)
8	vstup chladiva	dole	Směr proudění chladiva viz Obr. 1
9	výstup chladiva	nahoře	Směr proudění chladiva viz Obr. 1
10	objem chladiva	30 l	

Konfigurace chladicího systému:

	<i>název</i>	<i>hodnota</i>	<i>jednotka</i>	<i>poznámka</i>
1	otáčky čerpadla Q	47	%	
2	bypass čerpadla bQ	0	°	otevření kohoutu ve stupních
3	otáčky ventilátoru N	7,1	Hz	
4	směšovací ventil mN	0	%	otevření směšovacího ventilu

Kalorimetrické měření:

přístroj: AV/20 v1.0

	<i>název</i>	<i>hodnota</i>	<i>jednotka</i>	<i>poznámka</i>
1	teplota vstupní vody T_{win}	53,97	°C	výsledek měření
2	teplota výstupní T_{wout}	58,01	°C	použito pro výpočet
3	teplotní spád ΔT_w	4,044	K	výsledek měření
4	průtok vody Q_w	28,3	l/min	výsledek měření
5	výkon do vody P_w	7857	W	

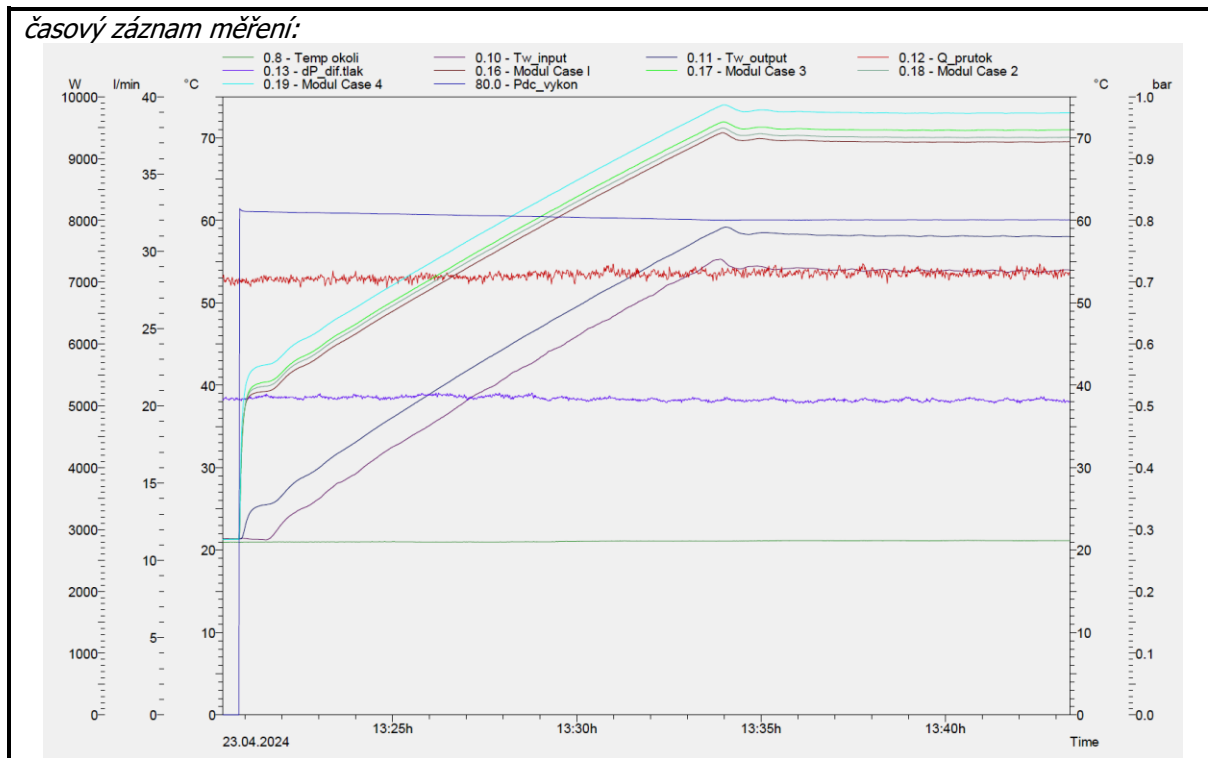
Měřící ústředna:

přístroj: ALMEMO 5690-2

	<i>název</i>	<i>hodnota</i>	<i>jednotka</i>	<i>poznámka</i>
1	teplota okolí T_{OK}	21,1	°C	výsledek měření
2	teplota vstupní vody T_{win}	53,9	°C	
3	teplota výstupní T_{wout}	58,1	°C	
4	teplotní spád ΔT_w	4,20	K	pouze orientačně

5	teplota modulu 1 T_{CM1}	69,5	°C	výsledek měření
6	teplota modulu 2 T_{CM2}	70,1	°C	výsledek měření
7	teplota modulu 3 T_{CM3}	70,9	°C	výsledek měření
8	teplota modulu 4 T_{CM4}	73,0	°C	použito pro výpočet
9	průtok vody Q_w	28,6	l/min	
10	tlaková ztráta ΔP_w	0,509	bar	výsledek měření
11	příkon P_{DC}	8008	VA	použito pro výpočet

časový záznam měření:

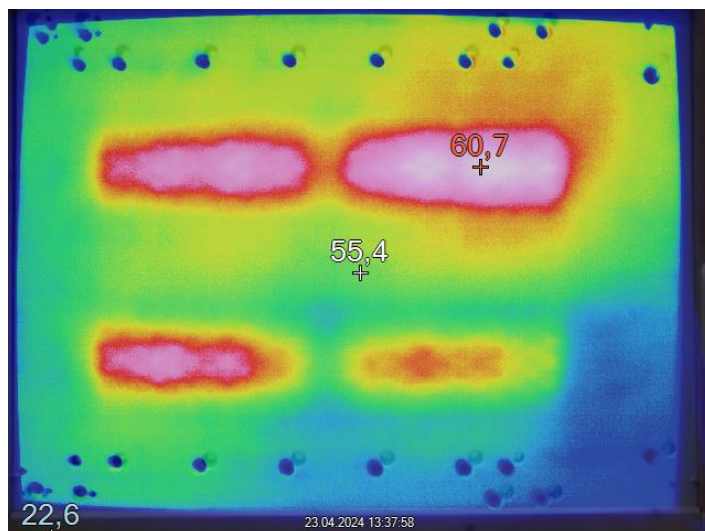


Termo kamera (měření hotspot):

přístroj: FLUKE Ti480 PRO

	<i>název</i>	<i>hodnota</i>	<i>jednotka</i>	<i>poznámka</i>
1	teplota hotspot mod. M4	60,7	°C	povrchová teplota
2	střední teplota chladiče	55,4	°C	povrchová teplota

obrázek z kamery:



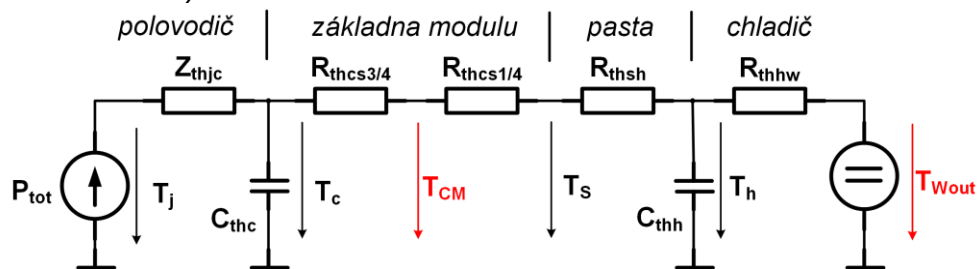
Poznámka: Snímána pouze zadní strana chladiče.

Stanovení tepelného odporu sestavy:

výpočet z naměřených hodnot:

$$R_{thWCM} = 4 \times \frac{T_{CM4} [^{\circ}C] - T_{Wout} [^{\circ}C]}{P_{tot} [kW]} = 4 \times \frac{73,0 - 58,01}{8,008} = 4 \times \frac{14,99}{8,008} = 7,488 \left[\frac{K}{kW} \right]$$

náhradní schéma sestavy:



Závěr:

- 1) Byly změřeny všechny požadované parametry viz výše vyznačeny tučně červeně.
- 2) Byl proveden výpočet tepelného odporu dle požadavku zadavatele viz výše.
- 3) Zjištěná závislost průtoku Q a tlakové ztráty chladiče ΔP_w , na teplotě chladicího média T_{win} při změně teploty cca o $+50$ K je zanedbatelná. Zvýšení průtoku cca o 1,46 %, snížení tlakové ztráty o cca 1,73 %.
- 4) Poruchové stavy chlazení při ztrátovém výkonu 8 kW. Neběží oběhové čerpadlo teplota modulu T_{CM3} vzroste z 23 °C na kritickou hodnotu 91 °C za 1min 15s. Výpadek oběhového čerpadla teplota modulu T_{CM4} vzroste z $74,8$ °C na kritickou hodnotu $92,4$ °C za 15s. Výpadek ventilátoru chlazení teplota modulu T_{CM4} vzroste z $74,3$ °C na kritickou hodnotu $90,7$ °C za 7min 32s.
- 5) Z výsledků měření tlakových ztrát a měření termo kamerou je patrné, že vnitřní struktura chladiče je technologie pin fin.

Měření č. 3 VZOREK A

Zadání:

- 1) Připojit přes rychlospojky SPT12 alternativní chladič VZOREK A.
- 2) Zatížit ho definovaným tepelným výkonem.
- 3) Konstantní průtok 28l/min.
- 4) Měřit teplotu chladiva na vstupu do chladiče a udržovat na 55 °C.
- 5) Měřit teplotu chladiva na výstupu z chladiče.
- 6) Měřit teploty pod výkonovými prvky.
- 7) Změřit tlakovou ztrátu na chladiči. (rozdíl mezi vstupním a výstupním tlakem)
- 8) Termo kamerou měřit teplotu celého chladiče – hotspot.
- 9) Stanovit tepelný odpor R_{th} sestavy z naměřených dat.

Pracovní bod:

	<i>název</i>	<i>hodnota</i>	<i>jednotka</i>	<i>poznámka</i>
1	otáčky čerpadla Q	28	l/min	
2	teplota vstupní vody T_{win}	55	°C	

HW parametry:

	<i>název</i>	<i>označení / typ / hodnota</i>	<i>poznámka</i>
1	chladič	Neznámý Čína	
2	rychlospojky	STAUBLI SPT12	N00617110 0000210092
3	chladicí kapalina	FRIDEX EKO EXTRA -40 °C	31.713, ozn. SELC: 65014012
4	moduly	FZ750R65KE3	
5	šrouby M6 moment	5,5 Nm	
6	šrouby M8 moment	10 Nm	
7	teplo-vodivá pasta	Fischer elektronik LPF 300 S	thermal conductivity 0.5 W/(m·K)
8	vstup chladiva	dole	Směr proudění chladiva viz Obr. 1
9	výstup chladiva	nahoře	Směr proudění chladiva viz Obr. 1
10	objem chladiva	30 l	

Konfigurace chladicího systému:

	<i>název</i>	<i>hodnota</i>	<i>jednotka</i>	<i>poznámka</i>
1	otáčky čerpadla Q	47	%	z
2	bypass čerpadla bQ	0	°	otevření kohoutu ve stupních
3	otáčky ventilátoru N	6,6	Hz	
4	směšovací ventil mN	0	%	otevření směšovacího ventilu

Kalorimetrické měření:

přístroj: AV/20 v1.0

	<i>název</i>	<i>hodnota</i>	<i>jednotka</i>	<i>poznámka</i>
1	teplota vstupní vody T_{win}	55,01	°C	výsledek měření
2	teplota výstupní T_{wout}	59,08	°C	použito pro výpočet
3	teplotní spád ΔT_w	4,072	K	výsledek měření
4	průtok vody Q_w	28,3	l/min	výsledek měření
5	výkon do vody P_w	7917	W	

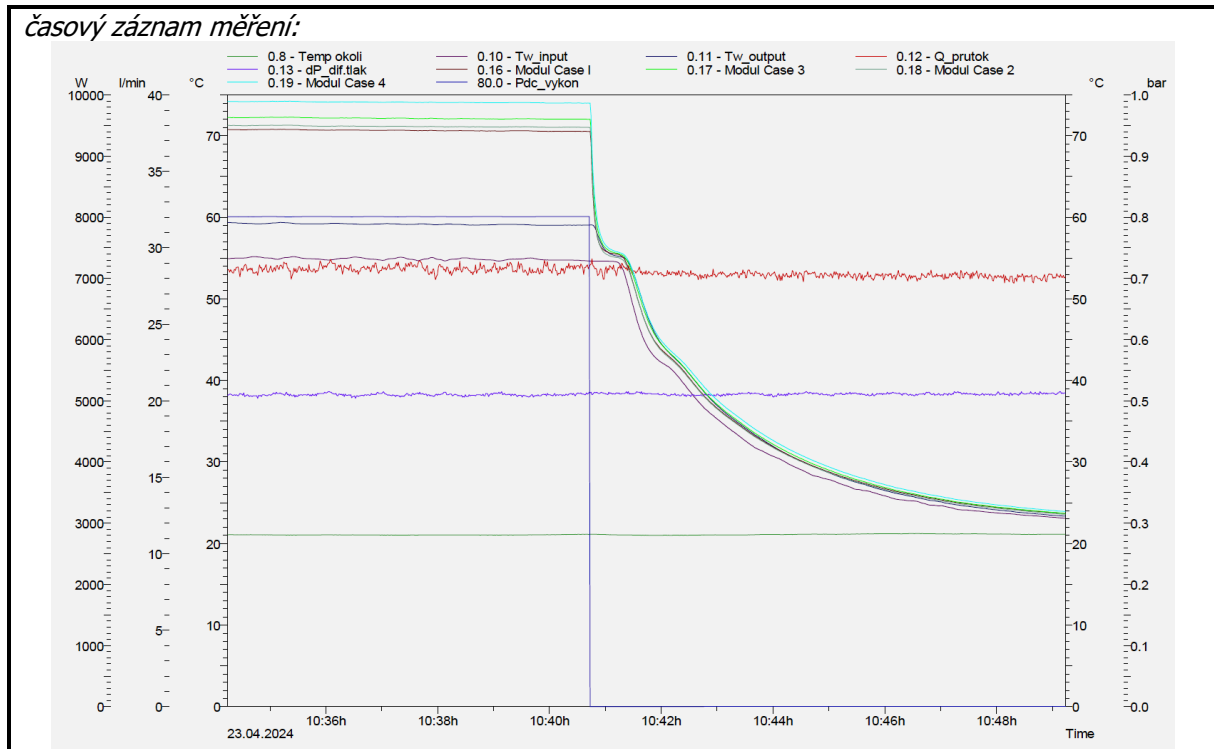
Měřící ústředna:

přístroj: ALMEMO 5690-2

	<i>název</i>	<i>hodnota</i>	<i>jednotka</i>	<i>poznámka</i>
1	teplota okolí T_{OK}	21,1	°C	výsledek měření
2	teplota vstupní vody T_{win}	54,9	°C	
3	teplota výstupní T_{wout}	59,1	°C	
4	teplotní spád ΔT_w	4,26	K	pouze orientačně
5	teplota modulu 1 T_{CM1}	70,6	°C	výsledek měření

6	teplota modulu 2 T_{CM2}	71,1	°C	výsledek měření
7	teplota modulu 3 T_{CM3}	72,1	°C	výsledek měření
8	teplota modulu 4 T_{CM4}	74,1	°C	použito pro výpočet
9	průtok vody Q_w	28,7	l/min	
10	tlaková ztráta ΔP_w	0,51	bar	výsledek měření
11	příkon P_{DC}	8010	VA	použito pro výpočet

časový záznam měření:

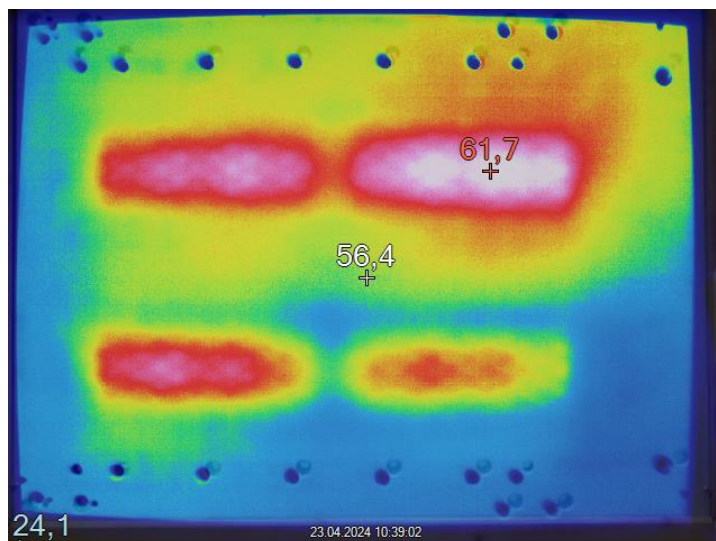


Termo kamera (měření hotspot):

přístroj: FLUKE Ti480 PRO

	<i>název</i>	<i>hodnota</i>	<i>jednotka</i>	<i>poznámka</i>
1	teplota hotspot mod. M4	61,7	°C	povrchová teplota
2	střední teplota chladiče	56,4	°C	povrchová teplota

obrázek z kamery:



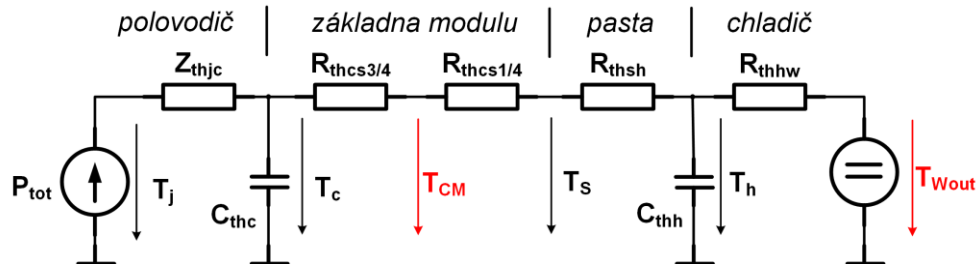
Poznámka: Snímána pouze zadní strana chladiče.

Stanovení tepelného odporu sestavy:

výpočet z naměřených hodnot:

$$R_{thWCM} = 4 \times \frac{T_{CM4} [^{\circ}C] - T_{Wout} [^{\circ}C]}{P_{tot} [kW]} = 4 \times \frac{74,1 - 59,08}{8,008} = 4 \times \frac{15,02}{8,010} = 7,501 \left[\frac{K}{kW} \right]$$

náhradní schéma sestavy:



Závěr:

- 1) Byly změřeny všechny požadované parametry viz výše vyznačeny tučně červeně.
- 2) Byl proveden výpočet tepelného odporu dle požadavku zadavatele viz výše.
- 3) Zjištěná závislost průtoku Q a tlakové ztráty chladiče ΔP_w , na teplotě chladicího média T_{win} při změně teploty cca o $+50$ K je zanedbatelná. Zvýšení průtoku cca o 1,46 %, snížení tlakové ztráty o cca 1,73 %.
- 4) Poruchové stavy chlazení při ztrátovém výkonu 8 kW. Neběží oběhové čerpadlo teplota modulu T_{CM3} vzroste z 23 °C na kritickou hodnotu 91 °C za 1min 15s. Výpadek oběhového čerpadla teplota modulu T_{CM4} vzroste z $74,8$ °C na kritickou hodnotu $92,4$ °C za 15s. Výpadek ventilátoru chlazení teplota modulu T_{CM4} vzroste z $74,3$ °C na kritickou hodnotu $90,7$ °C za 7min 32s.
- 5) Z výsledků měření tlakových ztrát a měření termo kamerou je patrné, že vnitřní struktura chladiče je technologie pin fin.

Porovnání výsledků měření

Zadání:

Porovnat všechny změřené veličiny a vypočítané parametry dodaných chladičů MERSEN a VZOREK A. Zhodnotit výsledky měření.

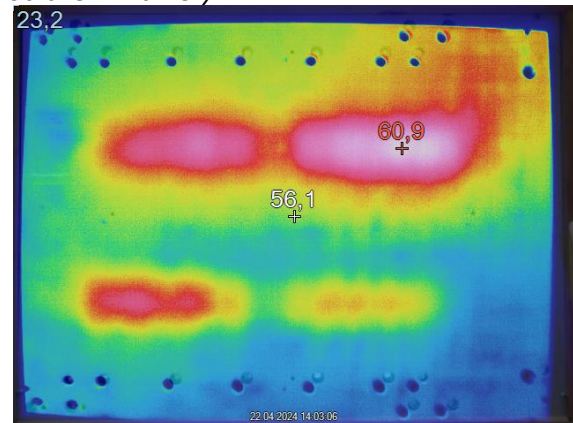
Naměřené :

	<i>název</i>	<i>měření č.1</i>	<i>měření č.2</i>	<i>měření č.3</i>	
1	teplota okolí T_{OK}	21,9	21,1	21,1	°C
2	teplota vstupní vody T_{win}	55,08	53,97	55,01	°C
3	teplota výstupní T_{wout}	59,13	58,01	59,08	°C
4	teplotní spád ΔT_w	4,045	4,044	4,072	K
5	teplota modulu 1 T_{CM1}	66,0	69,5	70,6	°C
6	teplota modulu 2 T_{CM2}	66,6	70,1	71,1	°C
7	teplota modulu 3 T_{CM3}	67,6	70,9	72,1	°C
8	teplota modulu 4 T_{CM4}	69,4	73,0	74,1	°C
9	průtok vody Q_w	28,0	28,3	28,3	l/min
10	tlaková ztráta ΔP_w	0,691	0,509	0,51	bar
11	příkon P_{DC}	8004	8008	8010	VA
12	teplota hotspot mod. M4	60,9	60,7	61,7	°C
13	střední teplota chladiče	56,1	55,4	56,4	°C
14	tepelný odpor R_{thWCM}	5,132	7,488	7,501	K/kW

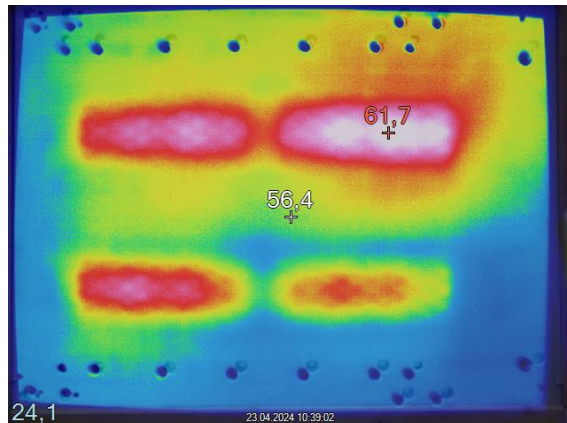
Termo kamera (měření hotspot):

přístroj: FLUKE Ti480 PRO

obrázek z kamery:



měření č.1



měření č.3

Poznámka: Snímána pouze zadní strana chladiče.

Závěr:

- 1) Z výsledků měření tlakových ztrát a měření termo kamerou je patrné, že vnitřní struktura chladiče VZOREK A je technologie pin fin a chladič MERSEN klasi vrtaný. Dále je vidět rozložení teplotního pole, kdy u VZORKU A je patrná větší plocha s vyšší teplotou a teplotním gradientem z čehož lze usuzovat, na horší přestup tepelného výkonu z povrchu chladiče do chladicího média.
- 2) Teplotní spády na chladičích, při stejném výkonu a průtoku, jsou srovnatelné.
- 3) VZOREK A má tlakovou ztrátu o 0,181 bar tj. o 26,2 % nižší. Dále jeho tlaková ztráta je jen nepatrně závislá na teplotě chladicího média na rozdíl od chladiče MERSEN viz měření.
- 4) Z hlediska přestupu tepelného výkonu je VZOREK A horší než chladič MERSEN. Tepelný odpor VZORKU A je vyšší o 46 %. tj. teploty pod výkonovými moduly v místě umístění čidel jsou vyšší až o 4,7 K proti chladiči MERSEN.