

**Fakulta elektrotechnická
Regionální inovační centrum elektrotechniky**

Oteplovací a ochlazovací zkouška dekompenzační tlumivky TTC 34075 – 0024 – druhý test

Pracoviště:	Regionální inovační centrum elektrotechniky
Číslo dokumentu:	(22190-003-2022 int. č. RICE)
Typ zprávy:	Výzkumná zpráva
Řešitelé:	Ing. Lukáš Veg, Ph.D.
Vedoucí úkolu:	doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.
Počet stran:	28
Datum vydání:	19.01.2022
Oborové zařazení:	2.2 Electrical engineering, Electronic engineering, Information engineering - Electrical and electronic engineering

Zpracovatel:

Západočeská univerzita v Plzni
Regionální inovační centrum
elektrotechniky
Univerzitní 8
306 14 Plzeň

Kontaktní osoba:

Ing. Lukáš Veg, Ph.D.
tel. 377634460
vegl@fel.zcu.cz

Práce vznikla s podporou projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024444.

Anotace

Výzkumná zpráva se zabývá druhé oteplovací zkoušky předložené dekompenzační tlumivky TTC 34075 – 0024 od firmy Elektrokov a.s. Znojmo v rámci projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024444.

Klíčová slova

Teplotní analýza, ustálený teplotní stav, měření oteplovací zkoušky

Název zprávy v anglickém jazyce / Report title

Warming test of decompensation choke TTC 34075 - 0024 - second test

Anotace v anglickém jazyce / Abstract

The research report deals with the initial approximation thermal calculation of the submitted decompensation choke TTC 34075 - 0024 from the company Elektrokov a.s. Znojmo within the project CZ.01.1.02 / 0.0 / 0.0 / 20_321 / 0024444.

Klíčová slova v anglickém jazyce / Keywords

Temperature analysis, steady state temperature, warming test measurements

Obsah

ÚVOD	4
DEFINOVÁNÍ GEOMETRICKÝCH ROZMĚRŮ	5
1 DEFINOVÁNÍ ROZMÍSTĚNÍ MĚŘÍCÍCH BODŮ	6
2 VÝSLEDKY OTEPLOVACÍ ZKOUŠKY PRO 100% UN.....	9
3 VÝSLEDKY OTEPLOVACÍ ZKOUŠKY PRO 110% UN.....	15
4 MĚŘENÍ OCHLAZOVACÍ CHARAKTERISTIKY ODPORŮ VINUTÍ.....	20
5 ZÁVĚR	26

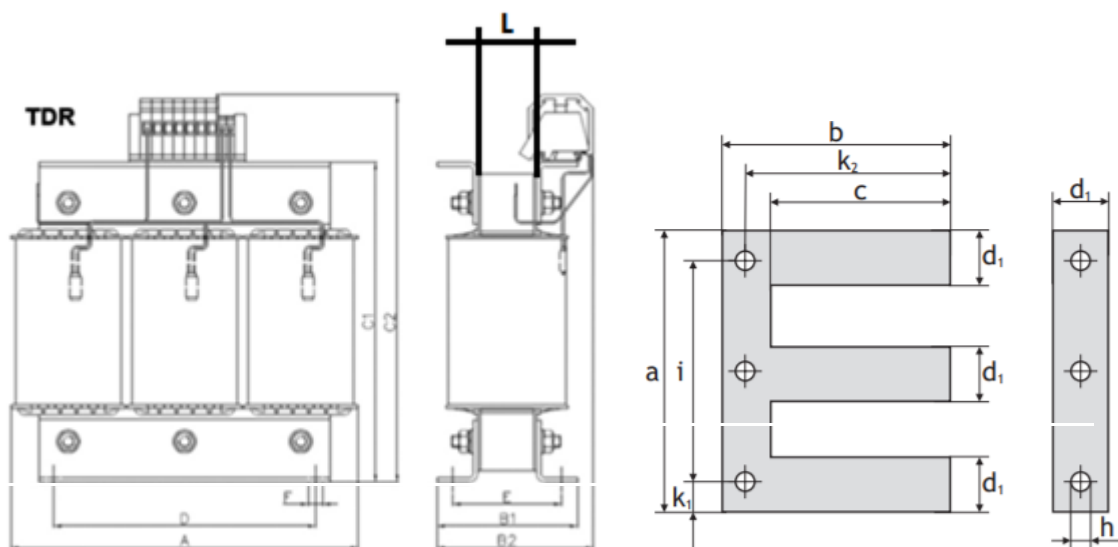
Úvod

Náplní výzkumné zprávy je druhá oteplovací zkouška dekompenzační tlumivky TTC 34075 – 0024 od firmy Elektrokov a.s. Znojmo. Je vytvořena teplotní mapa rozložení teplot jednotlivých konstrukčních částí.

V celé zprávě je používáno hodnot teplot v °C.

Definování geometrických rozměrů

Rozměry magnetického jádra a dostupné parametry elektrotechnických plechů jsou uvedeny v tabulkách 1 až 3.



Obr. 1: Náčr. měřené tlumivky (vlevo) a použité EI plechy (vpravo) [1]

Tabulka 1: Parametry referenční tlumivky

Typ	Q (kVAr)	I _n (A)	L (mH)	ΔP _{max} (W) (za tepla)	ΔP _{max} (%)	ΔT (°C)	Svorka (mm ²)		
TTC 34075 – 0026	5	7,22	101,9	155	3,1	70	4		
	Rozměry (mm)						Hmotnost (kg)		
	A	B1	B2	C1	C2	D	E	F	24
	239	132	145	220	270	180	110	10x18	

Tabulka 2: Rozměry referenčních plechů

3 UI 120 / EI 200/200	Rozměry (mm)								
	A	b	c	d ₁	h	i	k ₁	k ₂	L
	200	160	120	40	11	160	20	140	73,5

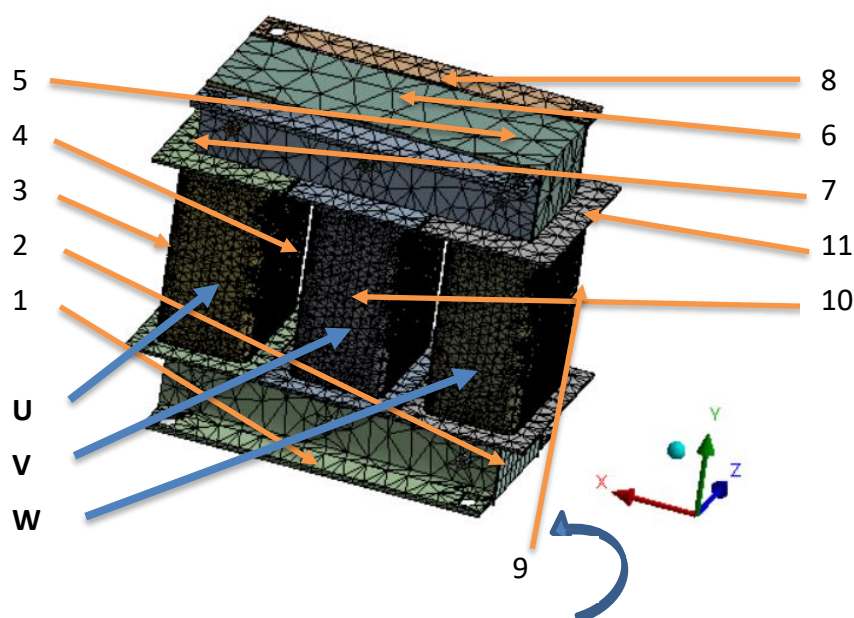
Tabulka 3: Dostupné mag. vlastnosti neorientovaných elektrotechnických plechů od firmy Waasner

Tloušťka (mm)	Magnetické ztráty 50 Hz (W/kg) $B=1,5$ T	Hodnota B (T) při $H = 800$ A/m			Minimální činitel plnění železa
		$H = 2\,500$ A/m	$H = 5\,000$ A/m	$H = 10\,000$ A/m	
0,5	2,5 – 8	1,49 – 1,6	1,6 – 1,7	1,7 – 1,77	0,95

1 Definování rozmístění měřících bodů

Rozmístění měřících členů na povrchu tlumivky

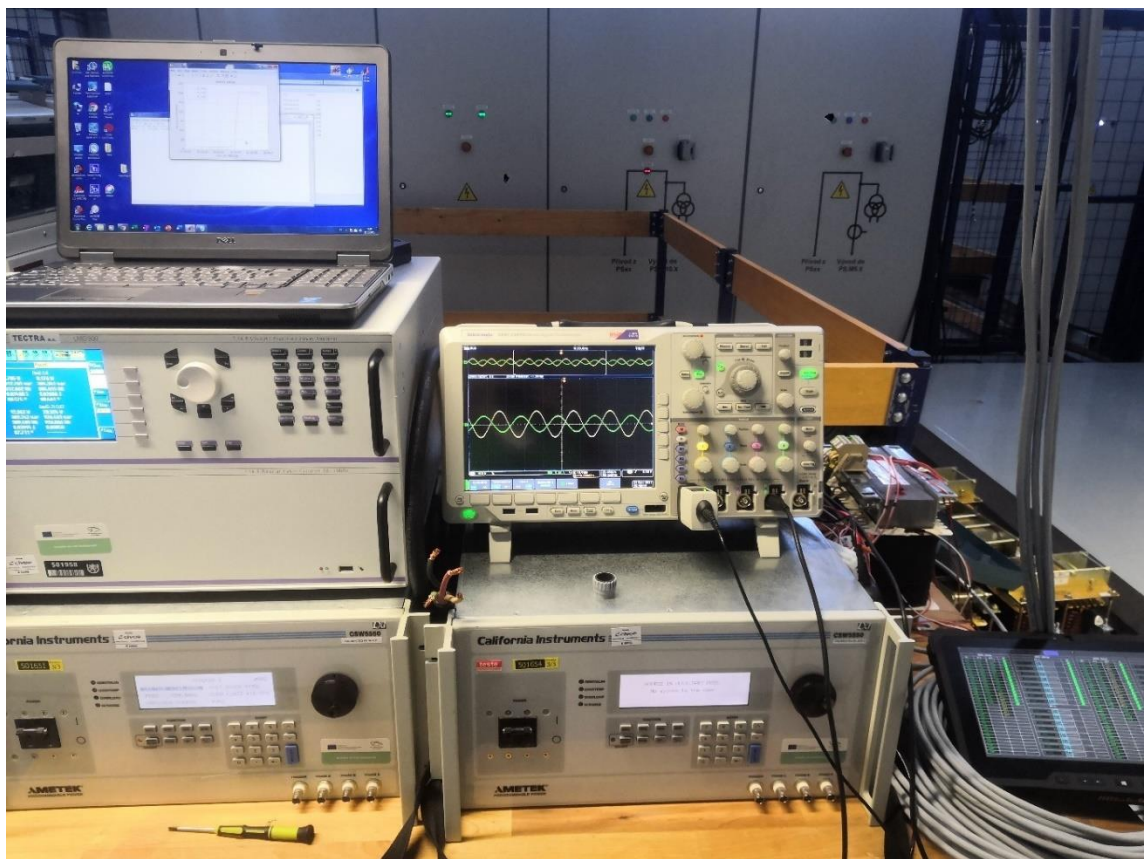
- MSP4 - 1 - PT100 – číslo 21 – „spodní stahovací plech uprostřed“
- MSP4 - 2 - PT100 – číslo 6 – „jádro vnější vespod“
- MSP4 - 3 - PT100 – číslo 24 – „cívka uprostřed z boku“
- MSP4 - 4 - PT100 – číslo 34 – „cívka uprostřed prostřední“
- MSP4 - 5 - PT100 – číslo B – „sloupek horní jádro“
- MSP4 - 6 - PT100 – číslo 34 – „jádro střed horní“
- MSP4 - 7 - PT100 – číslo 22 – „mezí cívkou a sloupkem pod kostříčkou z boku“
- MSP4 - 8 - PT100 – číslo 14 – „stahovací plech horní prostředek“
- MSP4 - 9 - PT100 – číslo 20 – „cívka krajní z boku střed“
- MSP4 - 10 - PT100 – číslo 16 – „cívka střední střed“
- MSP4 - 11 - PT100 – číslo 7 – „kostříčka nahoře“
- MSP4 - 12 - PT100 – číslo 1 – „okolí“



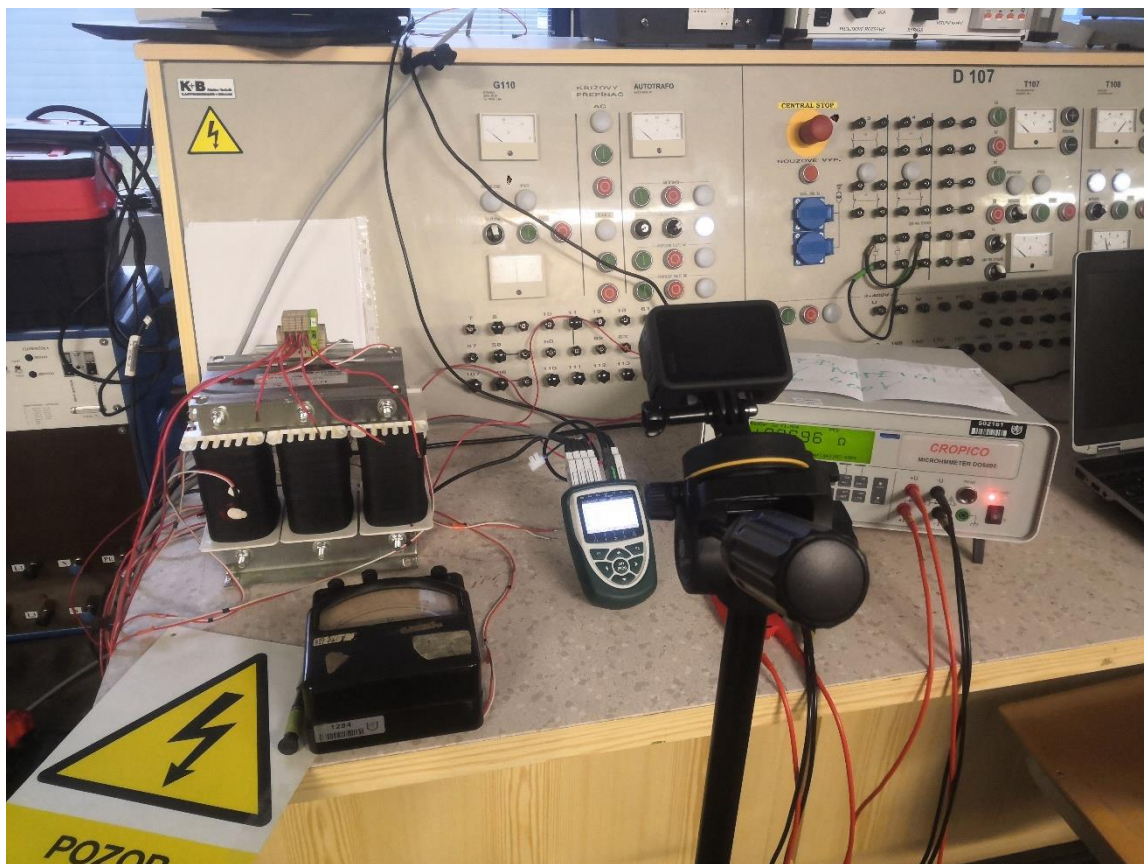
Obr. 2: Rozmístění PT100 a fází na tlumivce

Použité měřicí přístroje

1. 4 – kanálový osciloskop Tektronix včetně příslušenství (U a I sonda) ev.č.. 52873
2. Laboratorní zdroj California Instruments CSW5550 ev.č. 501654
3. Laboratorní zdroj California Instruments CSW5550 ev.č. 501651
4. Výkonový analyzátor Zimmer LMG500 ev.č. 501958
5. Laptop DELL ev.č. EC201/502128
6. True RMS multimetr FLUKE 87V ev.č. 229796
7. Systém kontroly řízení halové laboratoře RICE
8. Microohmmetr CROPICO ev.č.
9. Almemo MINI ev.č.
10. Analogový V-metr ev.č.
11. Termokamera FLUKE ev.č.



Obr. 3: Reálné měřící stanoviště oteplovací charakteristiky



Obr. 4: Měřící stanoviště ochlazovací charakteristiky

Jednotlivé nastavované a přepočtené kroky napětí:

$U_f 100 \text{ V} = U_s 173 \text{ V}$

$U_f 150 \text{ V} = U_s 260 \text{ V}$

$U_f 230 \text{ V} = U_s 398 \text{ V} = 100 \% U_N$

$U_f 254 \text{ V} = U_s 440 \text{ V} (110 \% \text{ z } 400)$

$U_f 277 \text{ V} = U_s 480 \text{ V} (120 \% \text{ z } 400)$

$U_f 300 \text{ V} = U_s 520 \text{ V} (130 \% \text{ z } 400)$ omezení proudu na 12,33A

$U_f 312 \text{ V} = U_s 540 \text{ V} (135 \% \text{ z } 400)$ omezení proudu na 11,85A

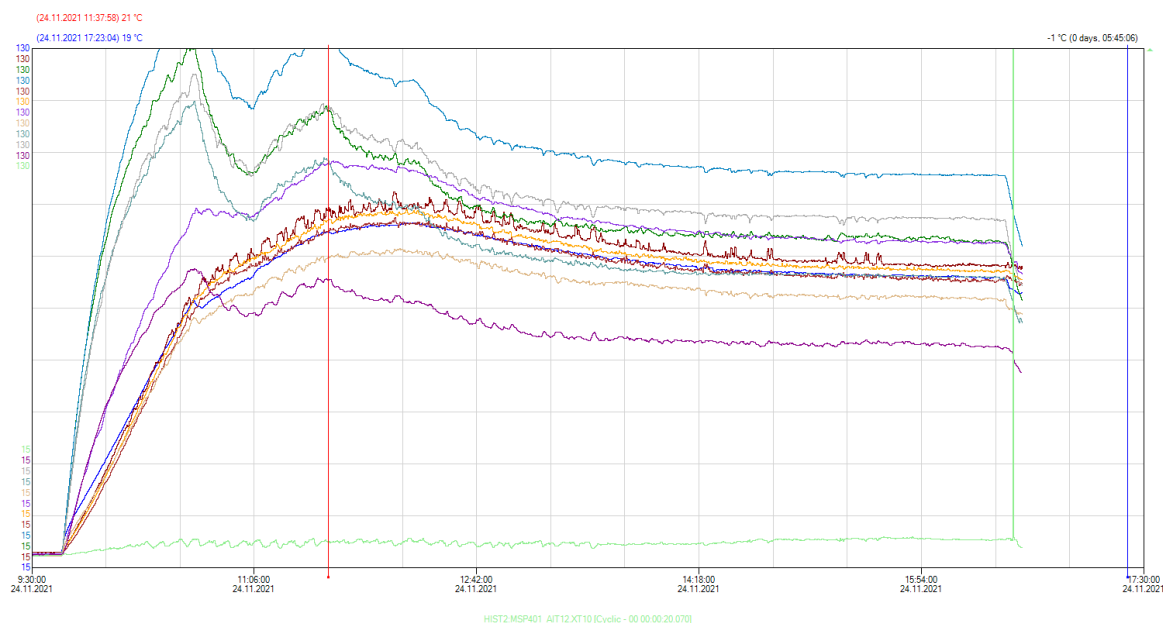


Obr. 5: Snímky z termokamery při měření ochlazovací charakteristiky - 1

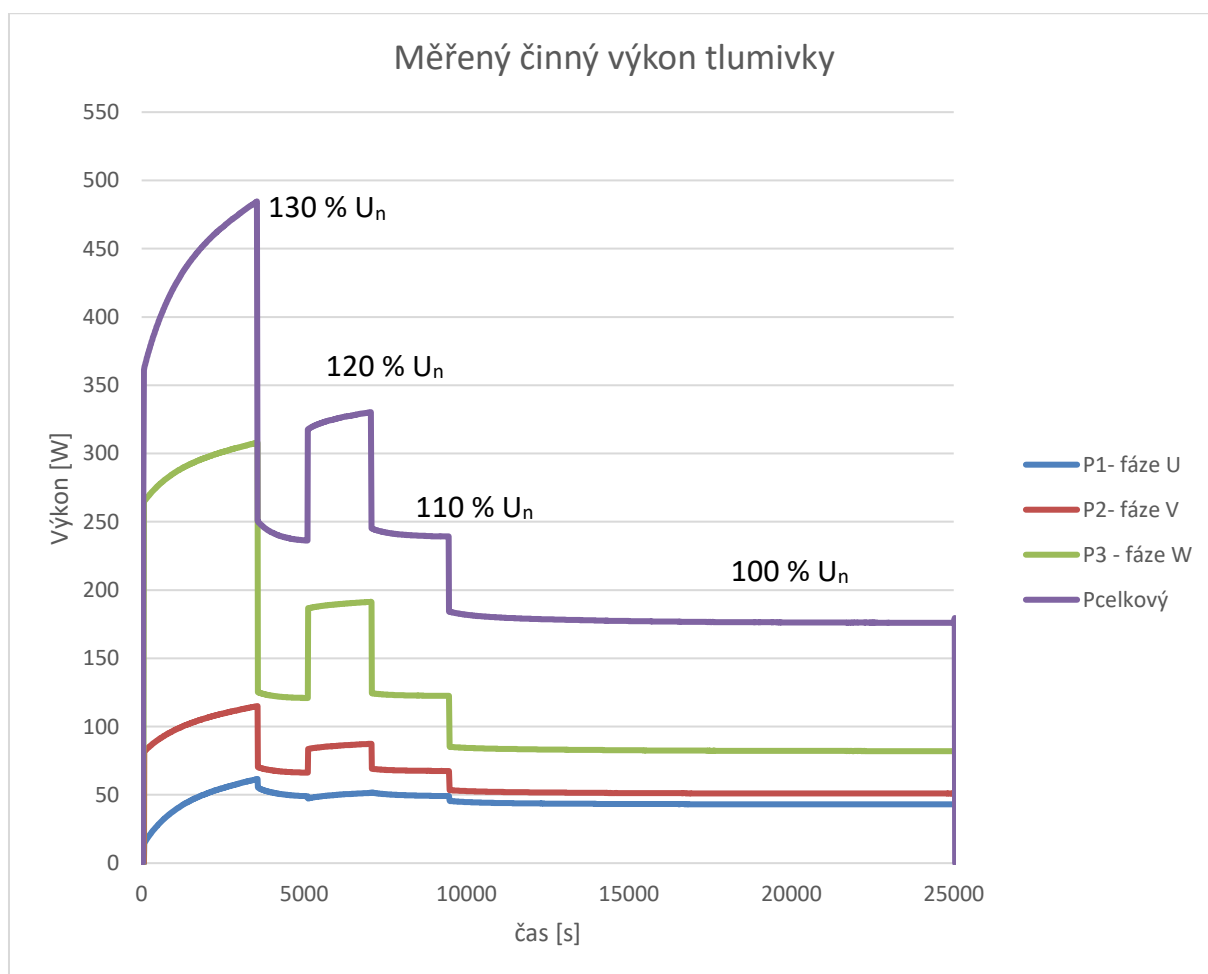


Obr. 6: Snímky z termokamery při měření ochlazovací charakteristiky - 2

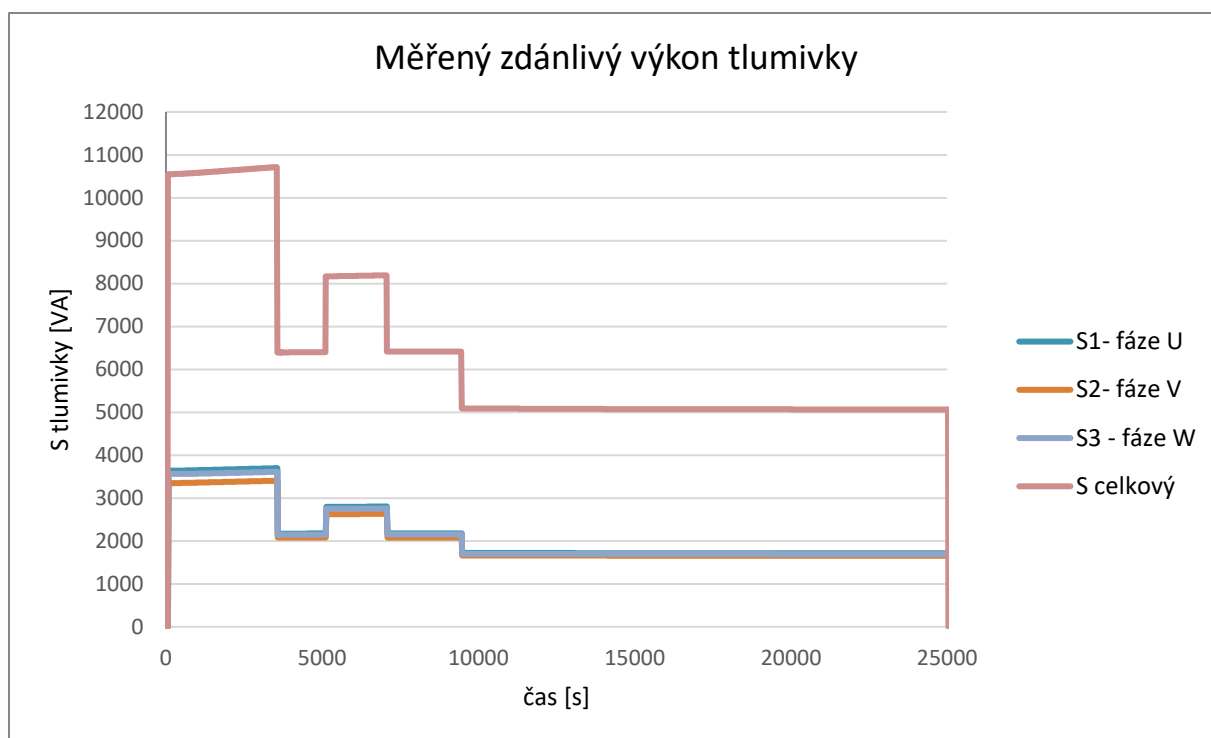
2 Výsledky oteplovací zkoušky pro 100% Un



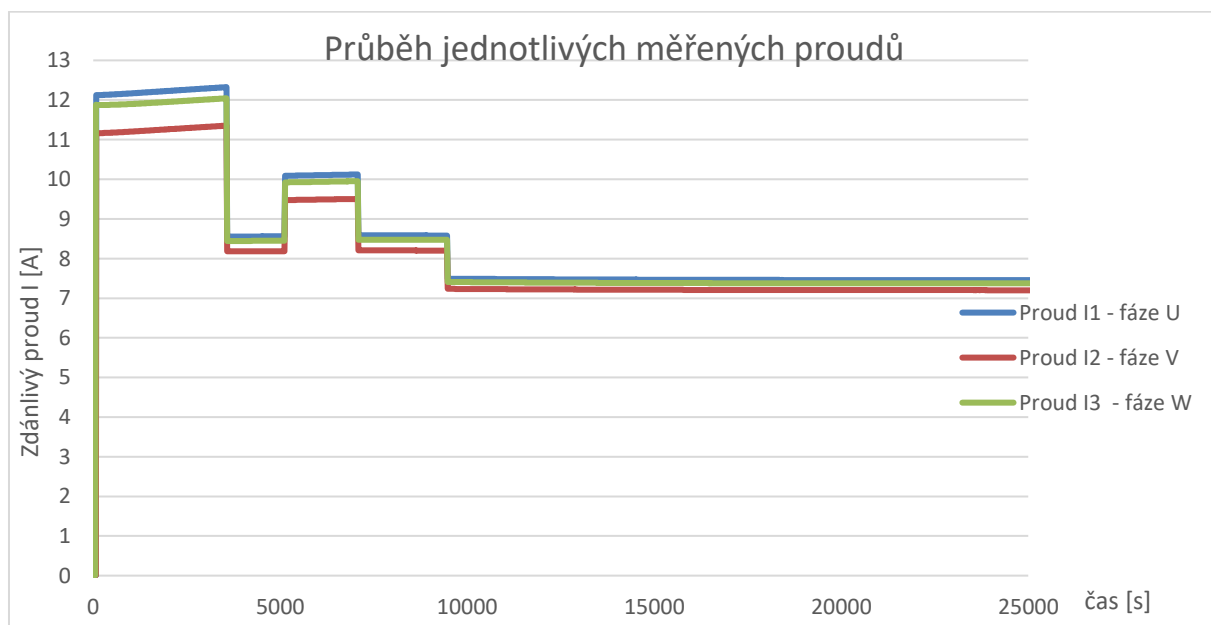
Obr. 7: Orientační výsledky oteplovací zkoušky na 100% zatížení – hrubá data ze systému SKŘ RICE



Obr. 8: Měřený činný výkon tlumivky – naprázdno pro režim 100% Un



Obr. 9: Měření zdánlivý výkon tlumivky – naprázdno pro režim 100% U_N

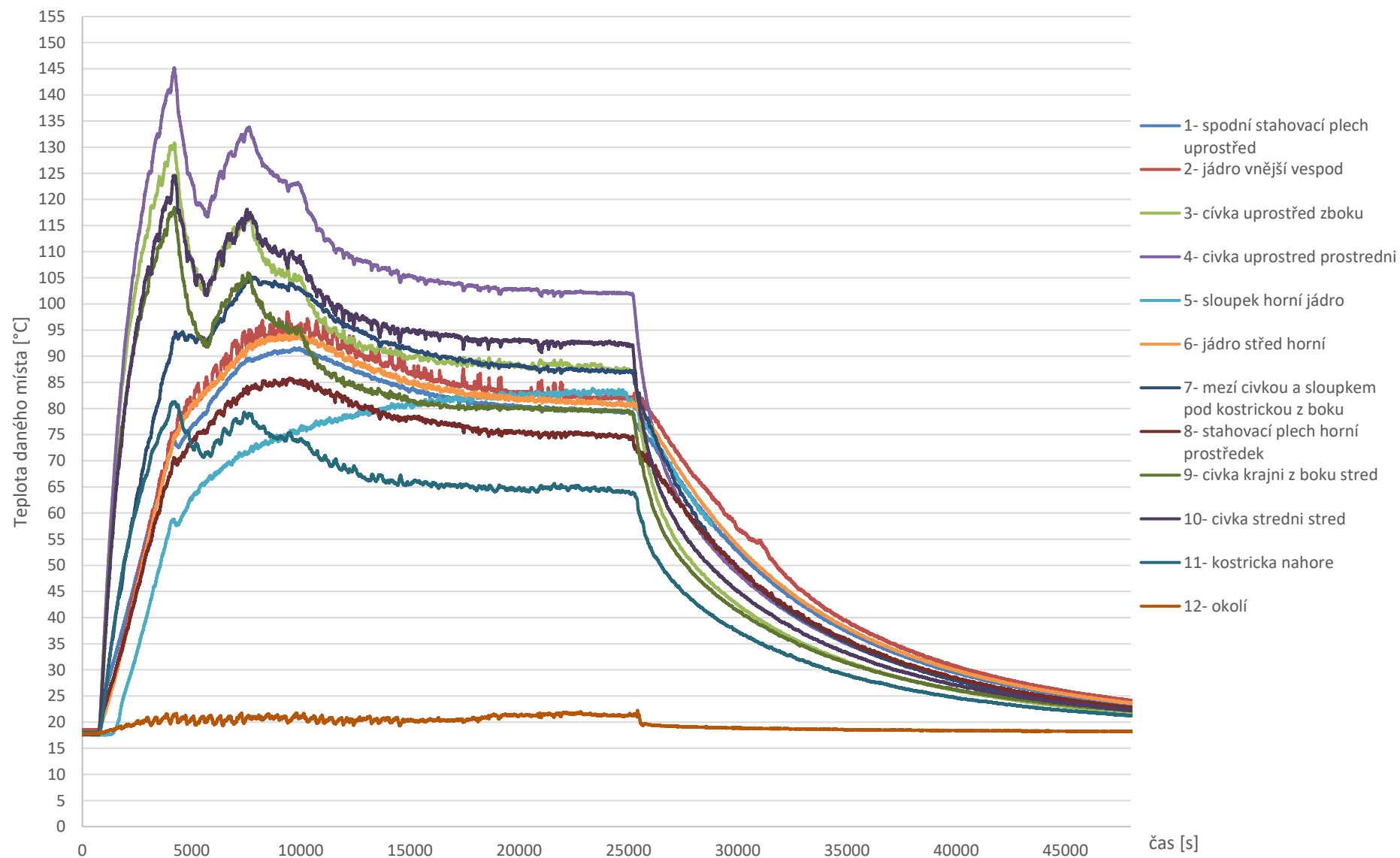


Obr. 10: Měření proud tlumivkou – naprázdno pro režim 100% U_N

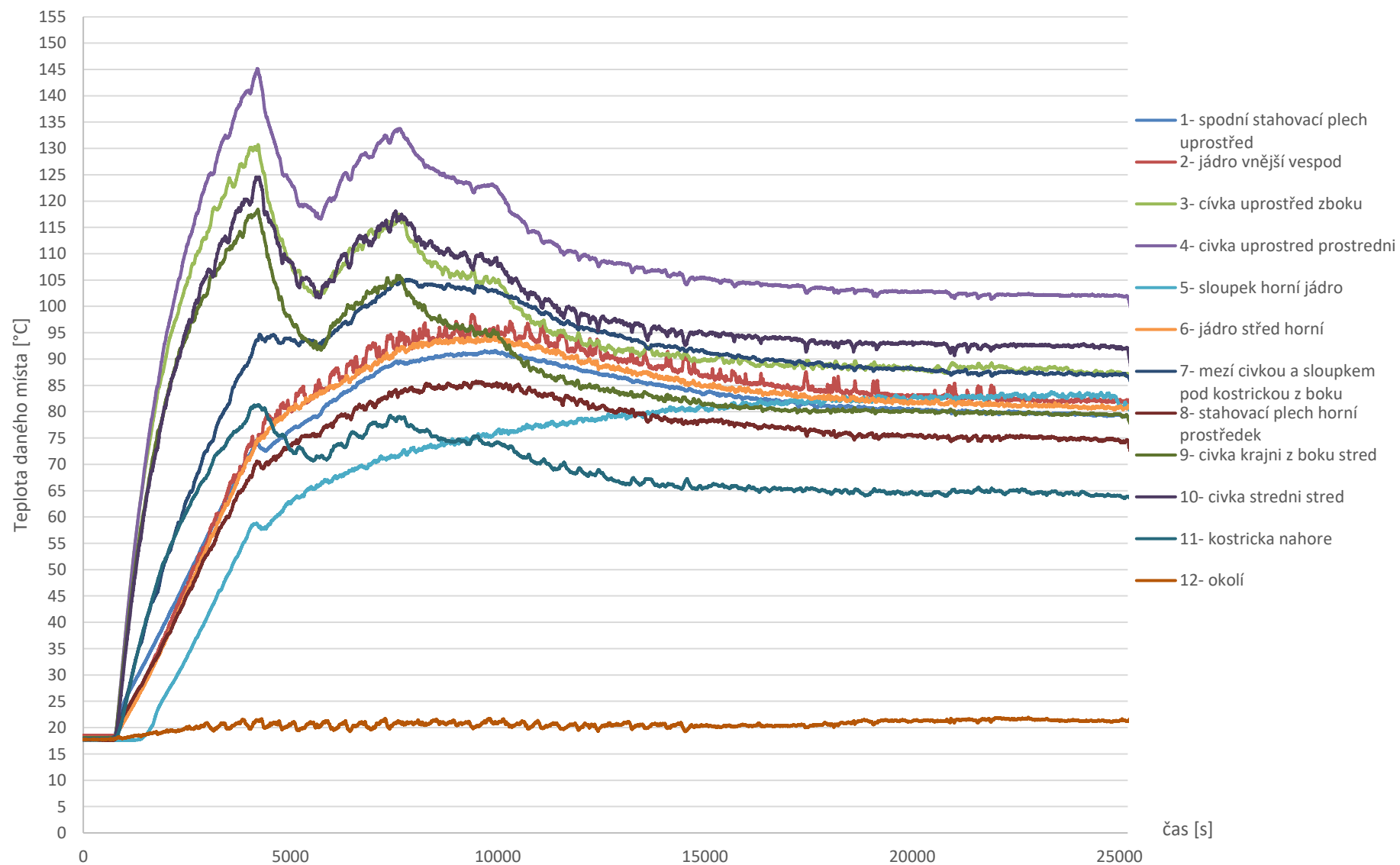
Tab 1.: Vyhodnocení el. veličin 1

Měřené veličiny 100% U_N	Celkový	Fáze U	Fáze V	Fáze W
Činný výkon P [W]	176	43	50,9	82
Zdánlivý výkon S [VA]	5066,6	1714,7	1656,3	1695,6
Fázový proud I [A]		7,5	7,2	7,4
Z toho P_J [W]	112,9	39,1	36,7	37,1
Z toho P_{FE} [W]	63,1			

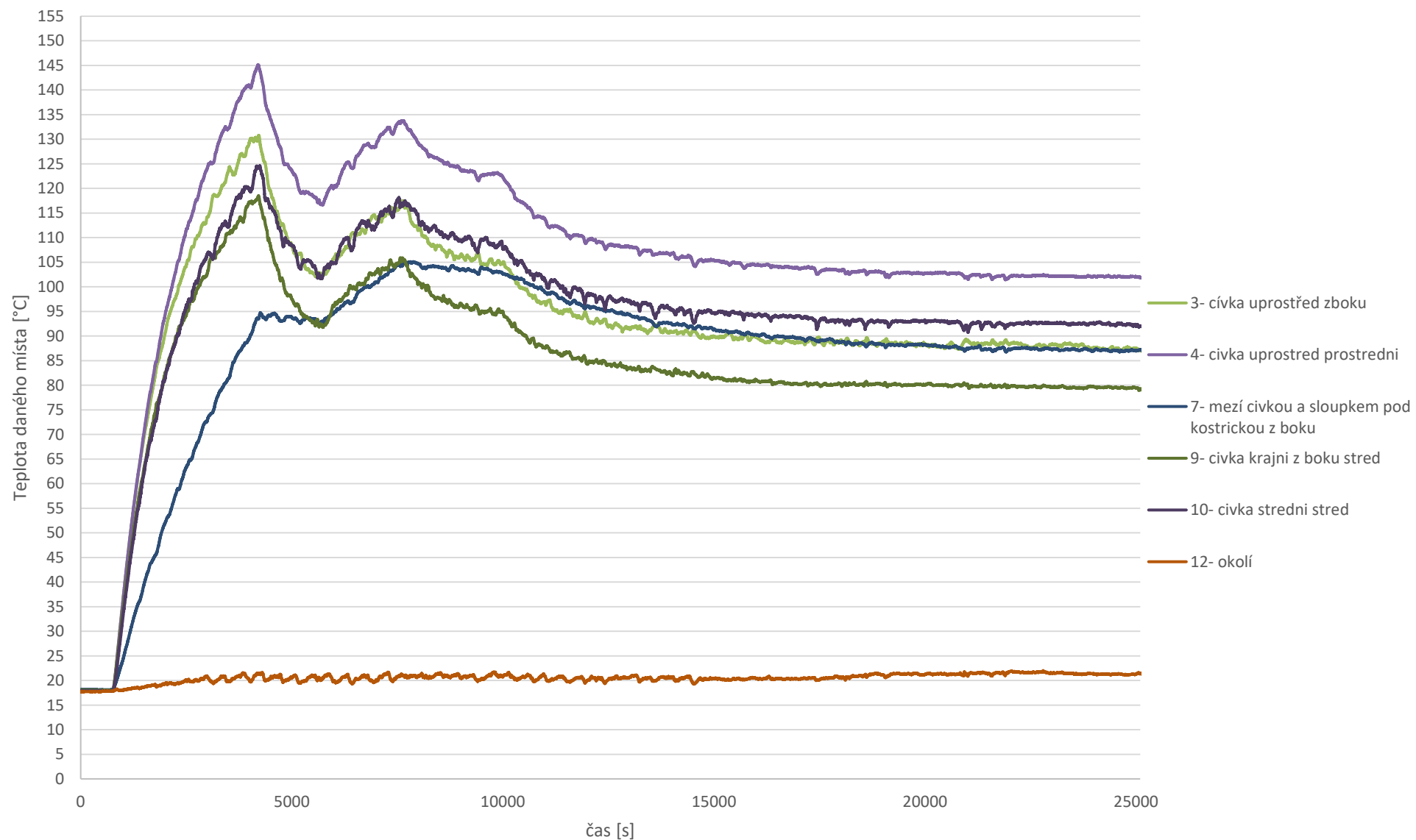
Data z oteplovací zkoušky ze dne 24.11.2021 - 100% Un



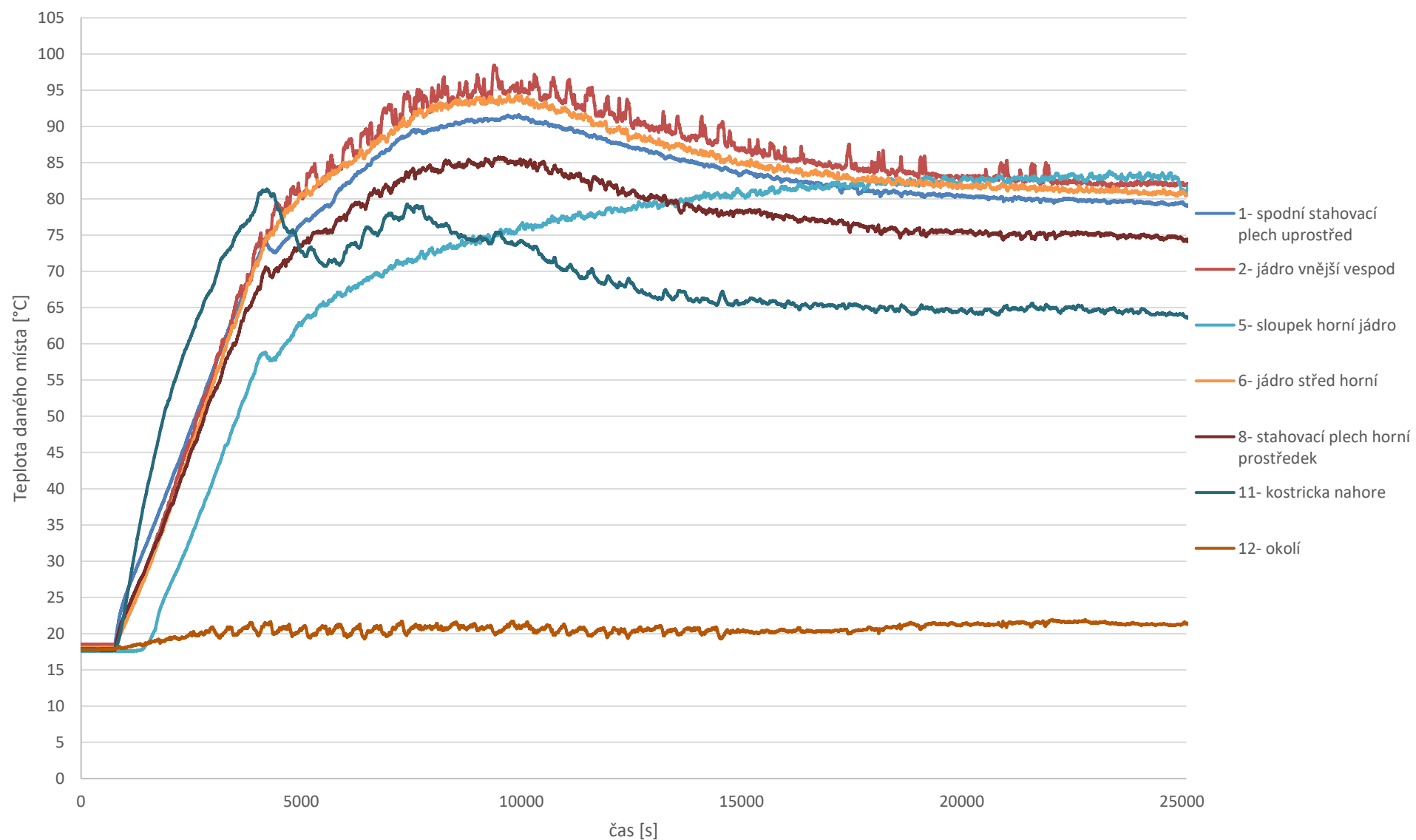
Data z oteplovací zkoušky ze dne 24.11.2021 - 100% Un - zoom



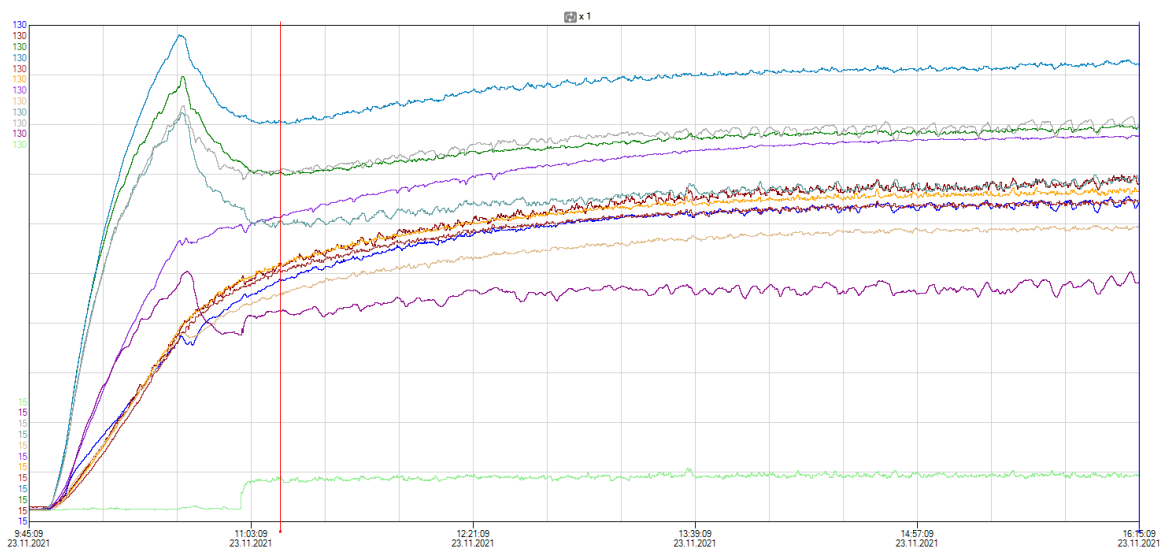
Data z oteplovací zkoušky ze dne 24.11.2021 - 100% Un - data teplot cívek



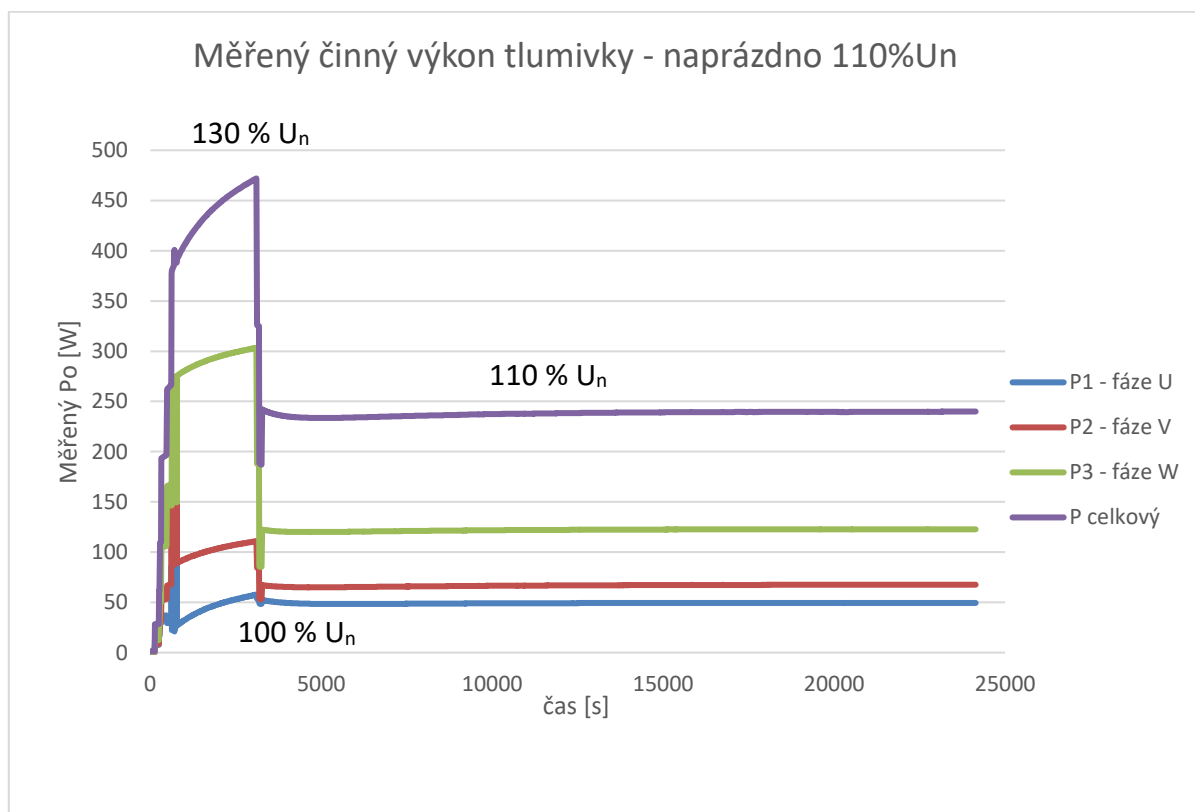
Data z oteplovací zkoušky ze dne 24.11.2021 - 100% Un - teploty železa a ostatních částí



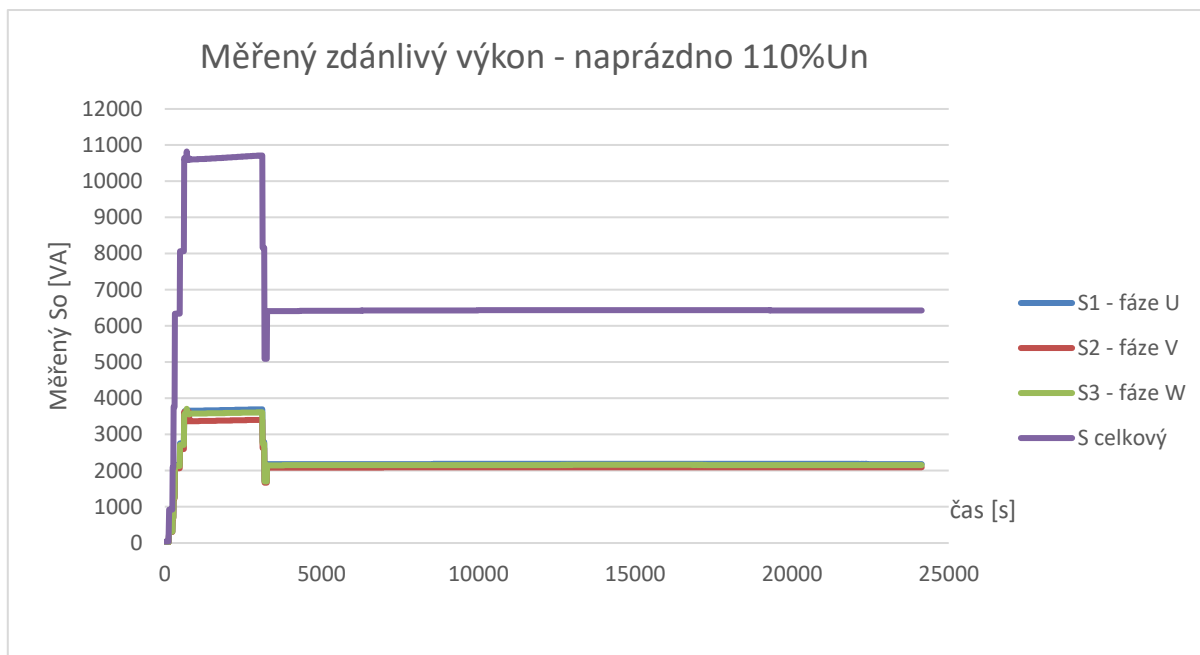
3 Výsledky oteplovací zkoušky pro 110% U_n



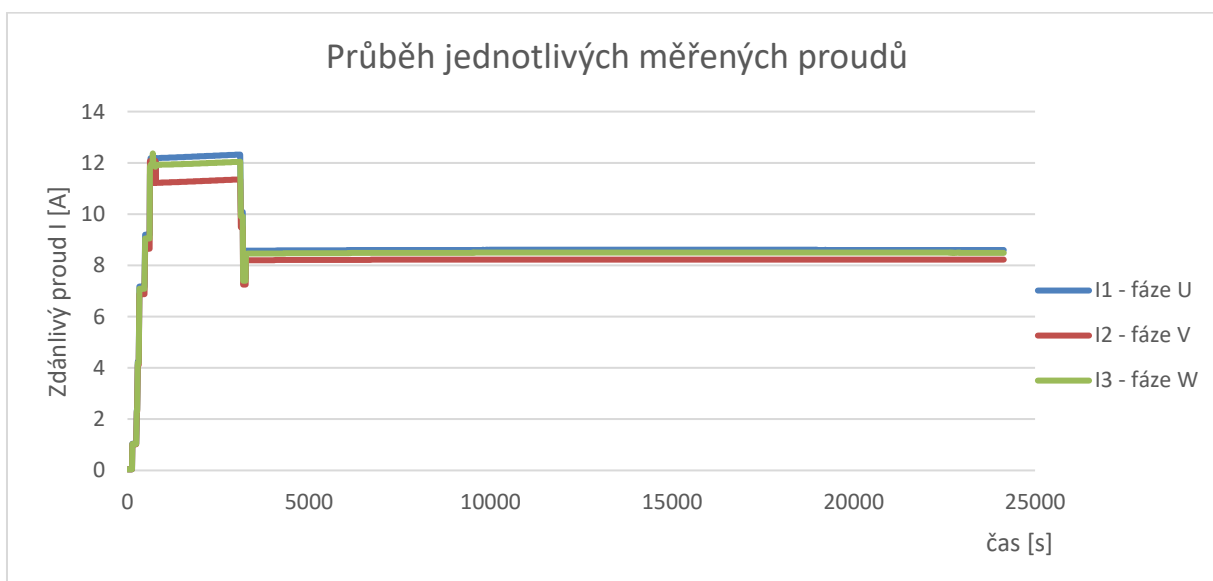
Obr. 11: Orientační výsledky oteplovací zkoušky na 110% zatížení – hrubá data ze systému SKŘ RICE



Obr. 12: Měřený činný výkon tlumivky – naprázdno pro režim 110% U_n



Obr. 13: Měřený zdánlivý výkon tlumivky – naprázdno pro režim 110% Un

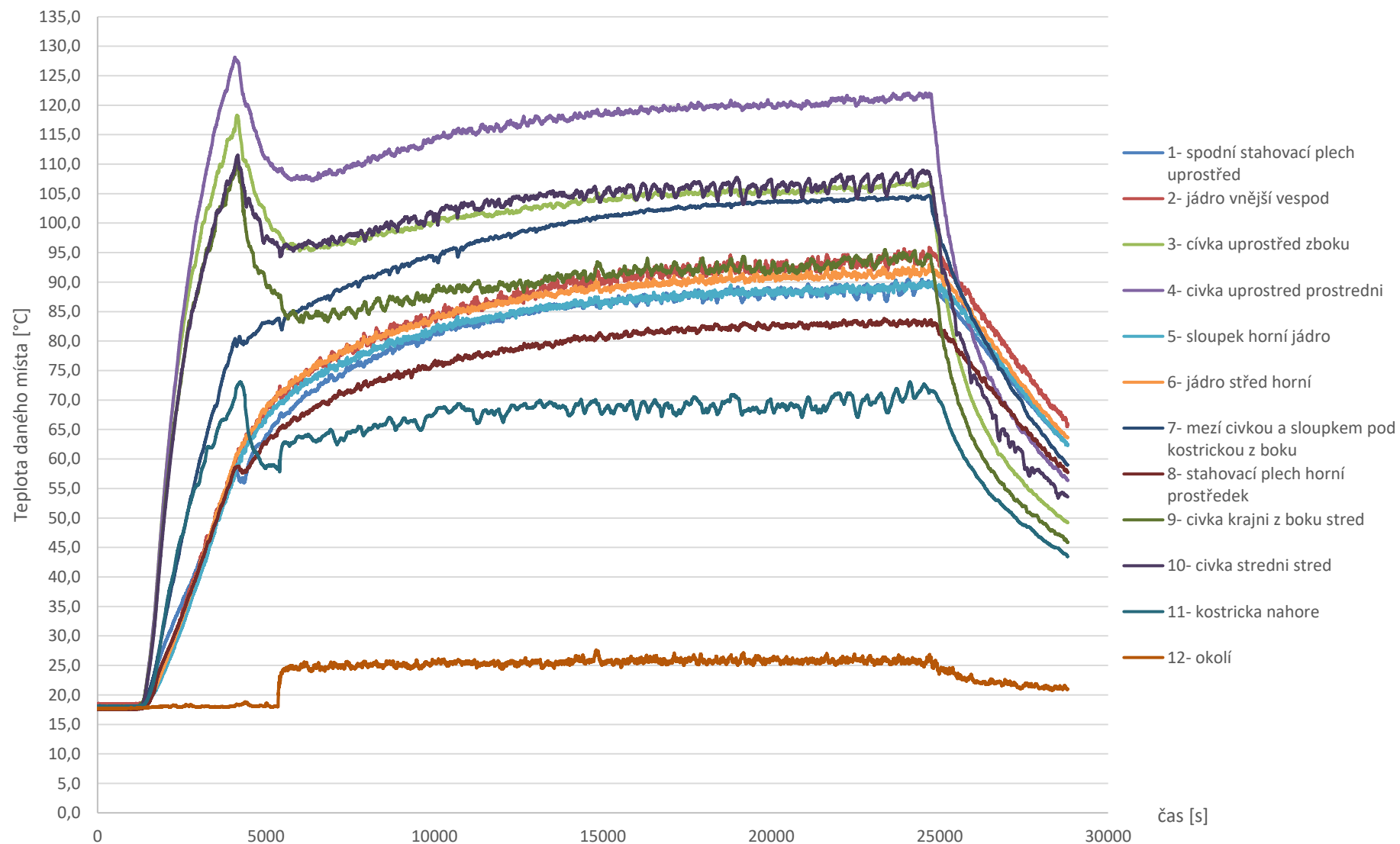


Obr. 14: Měřený proud tlumivkou – naprázdno pro režim 110% Un

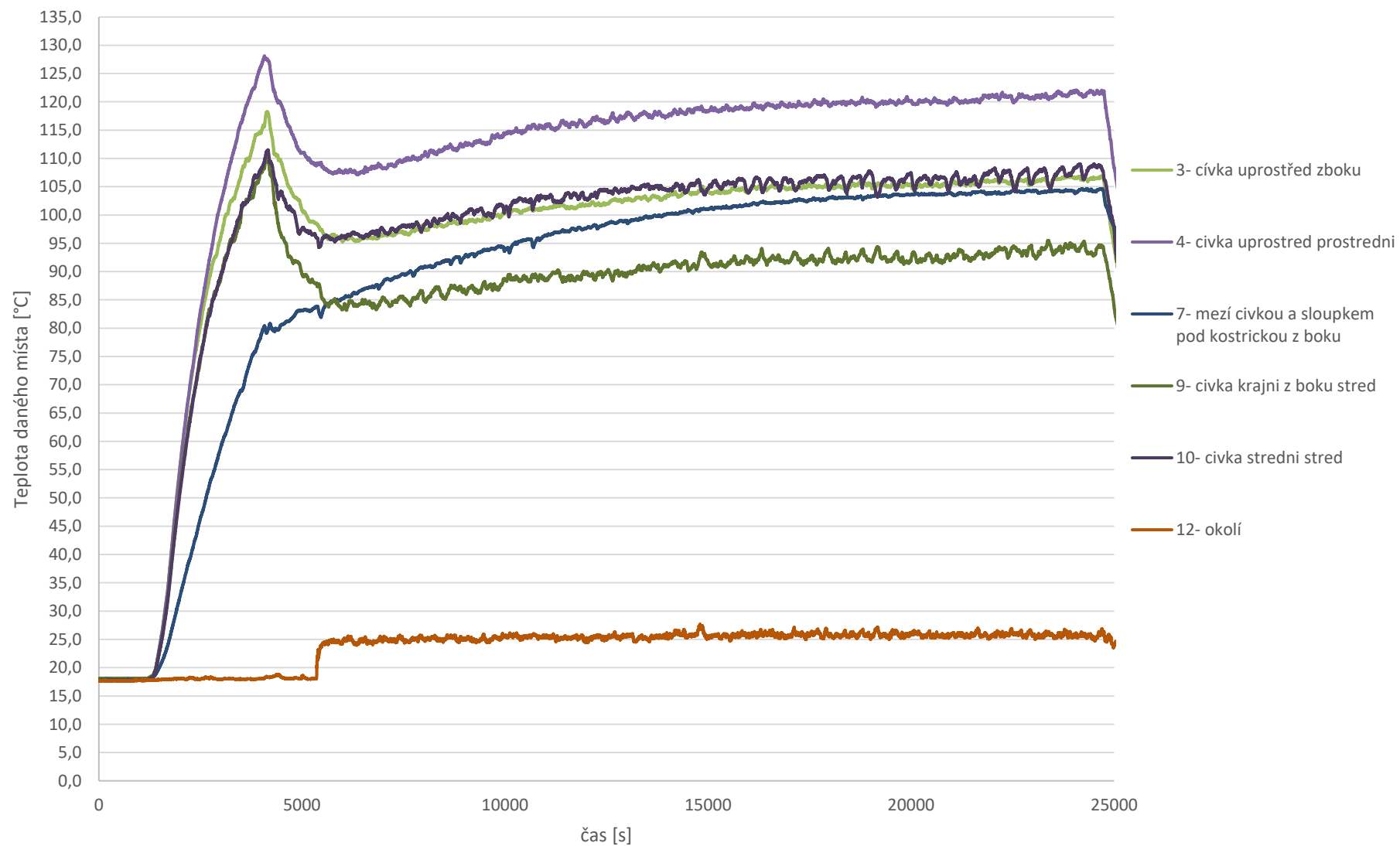
Tab 2.: Vyhodnocení el. veličin 2

Měřené veličiny 110% U_N	Celkový	Fáze U	Fáze V	Fáze W
Činný výkon P [W]	239,9	49,4	67,7	122,8
Zdánlivý výkon S [VA]	6430	2184,7	2088,2	2157,1
Fázový proud I [A]		8,6	8,2	8,5
Z toho P_J [W]	155,6	55,0	48,2	52,4
Z toho P_{FE} [W]	84,3			

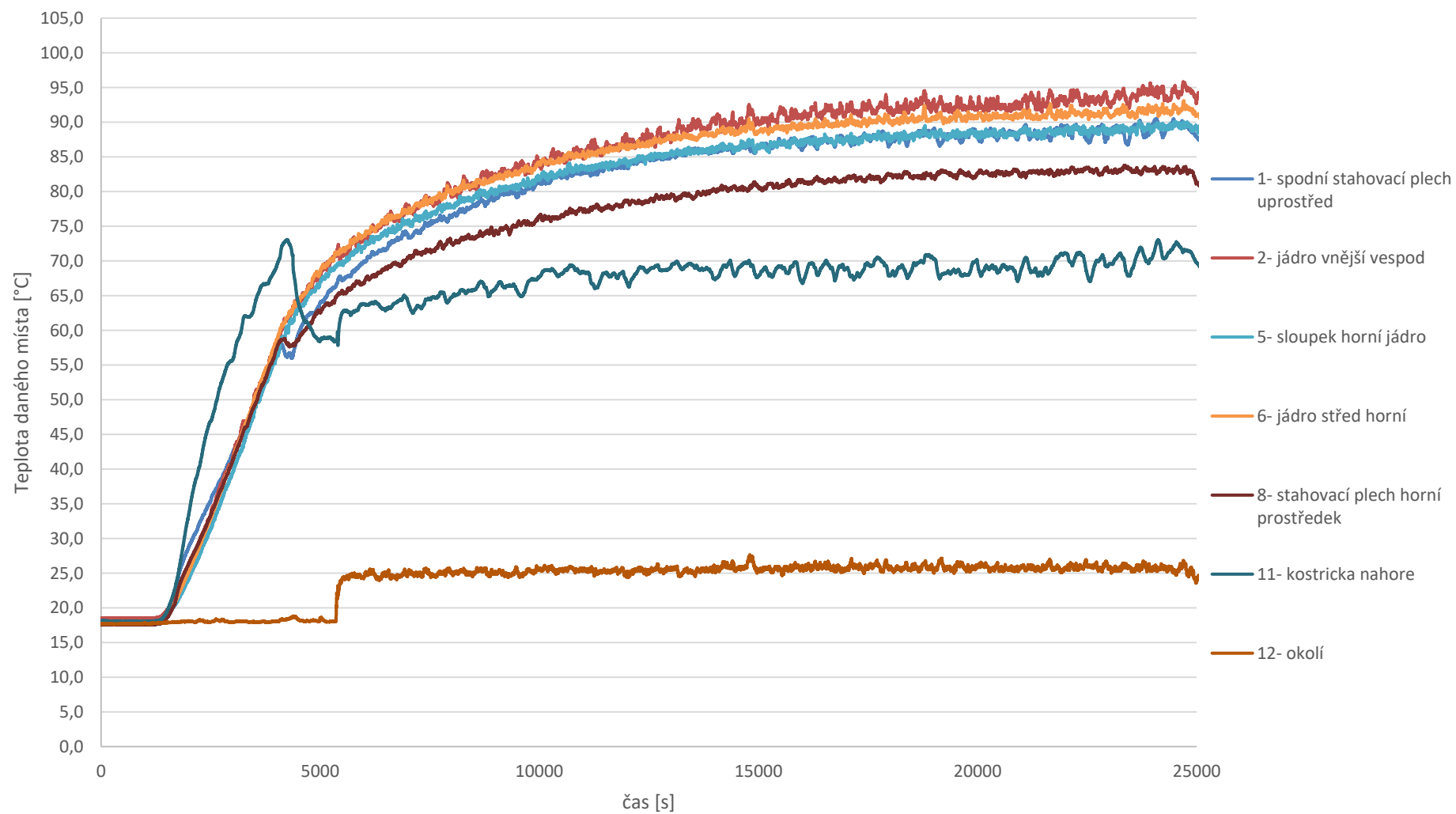
Data z oteplovací zkoušky ze dne 23.11.2021 - 110% Un



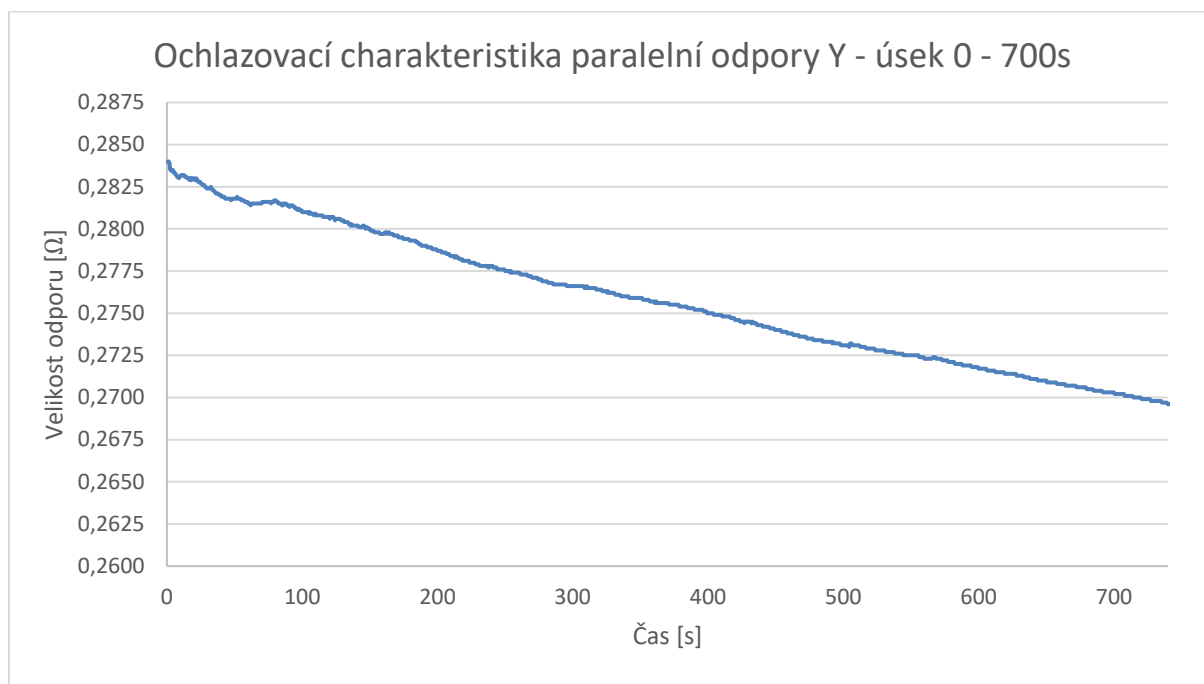
Data z oteplovací zkoušky ze dne 23.11.2021 - 110% Un



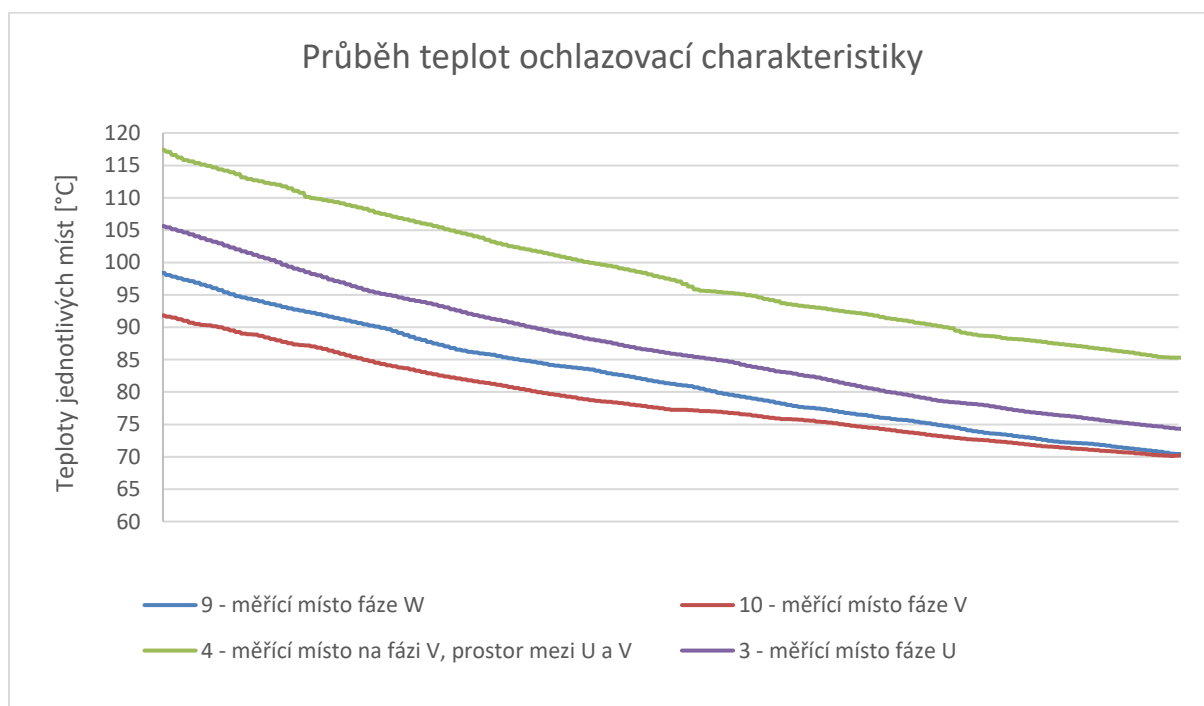
Data z oteplovací zkoušky ze dne 23.11.2021 - 110% Un



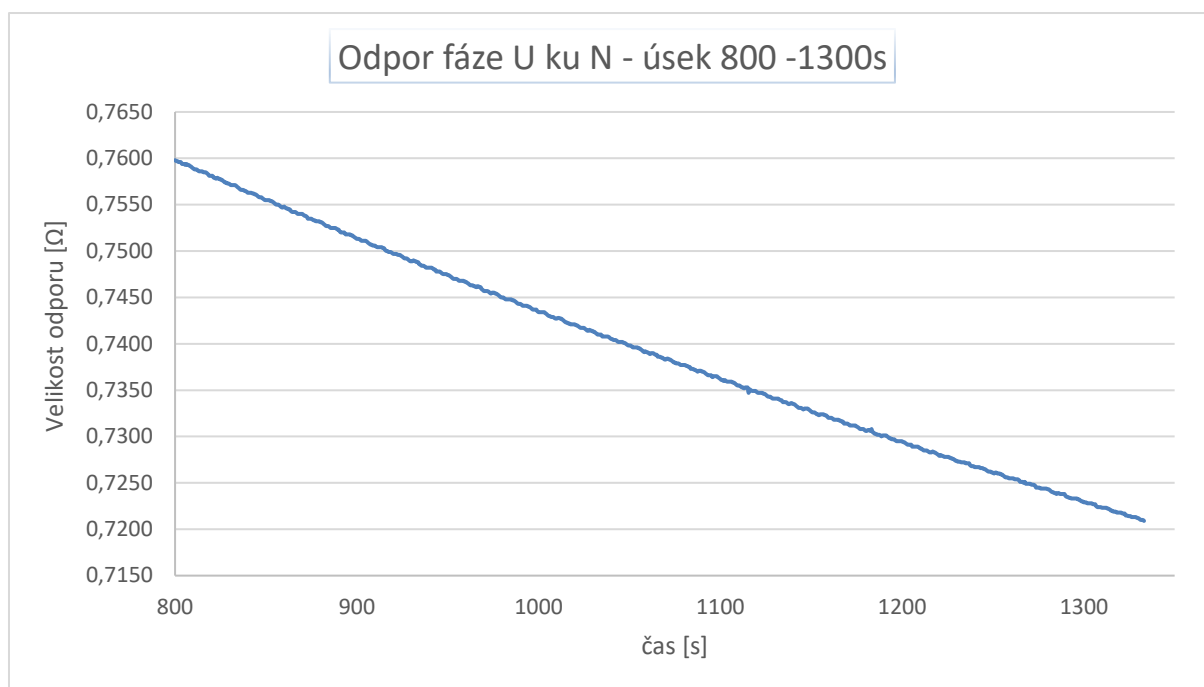
4 Měření ochlazovací charakteristiky odporů vinutí



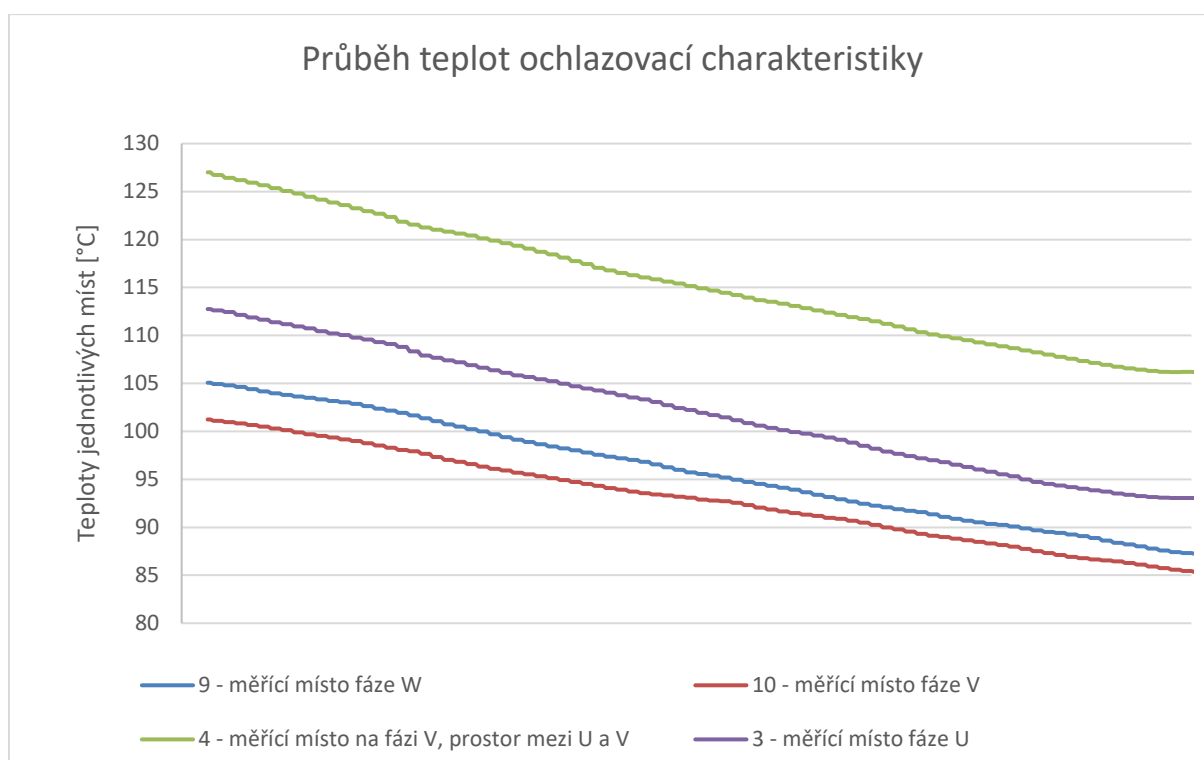
Obr. 15: Průběh hodnoty odporu – ochlazovací charakteristika



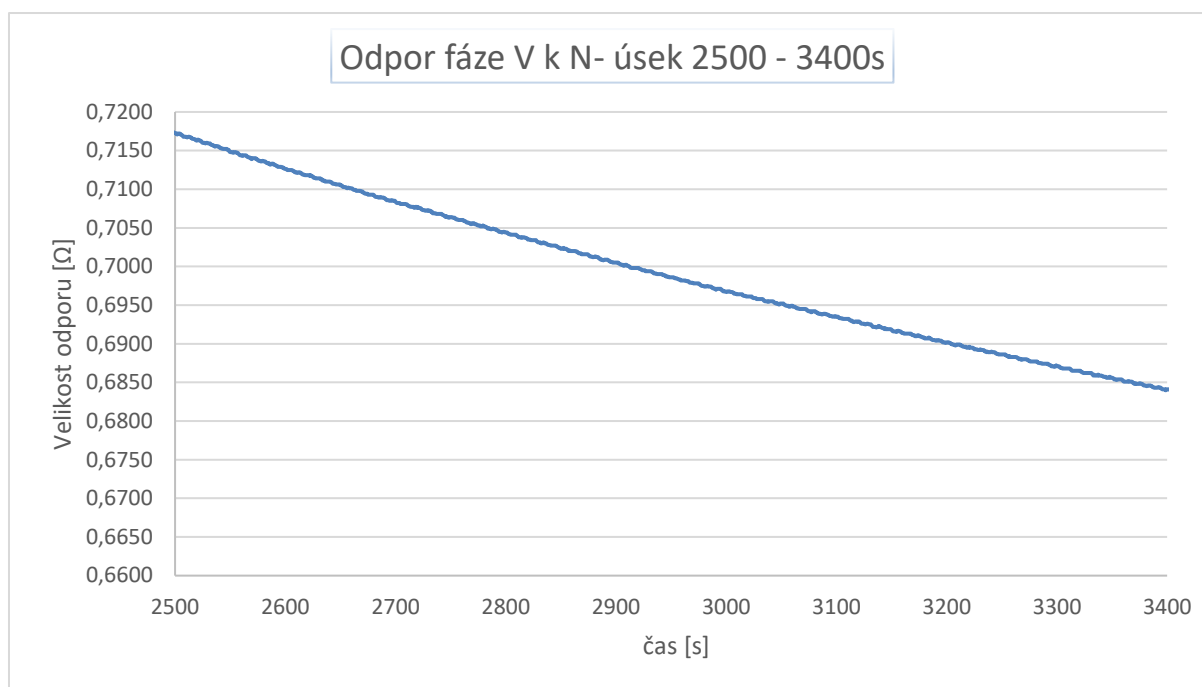
Obr. 16: Průběh teplot – ochlazovací charakteristika



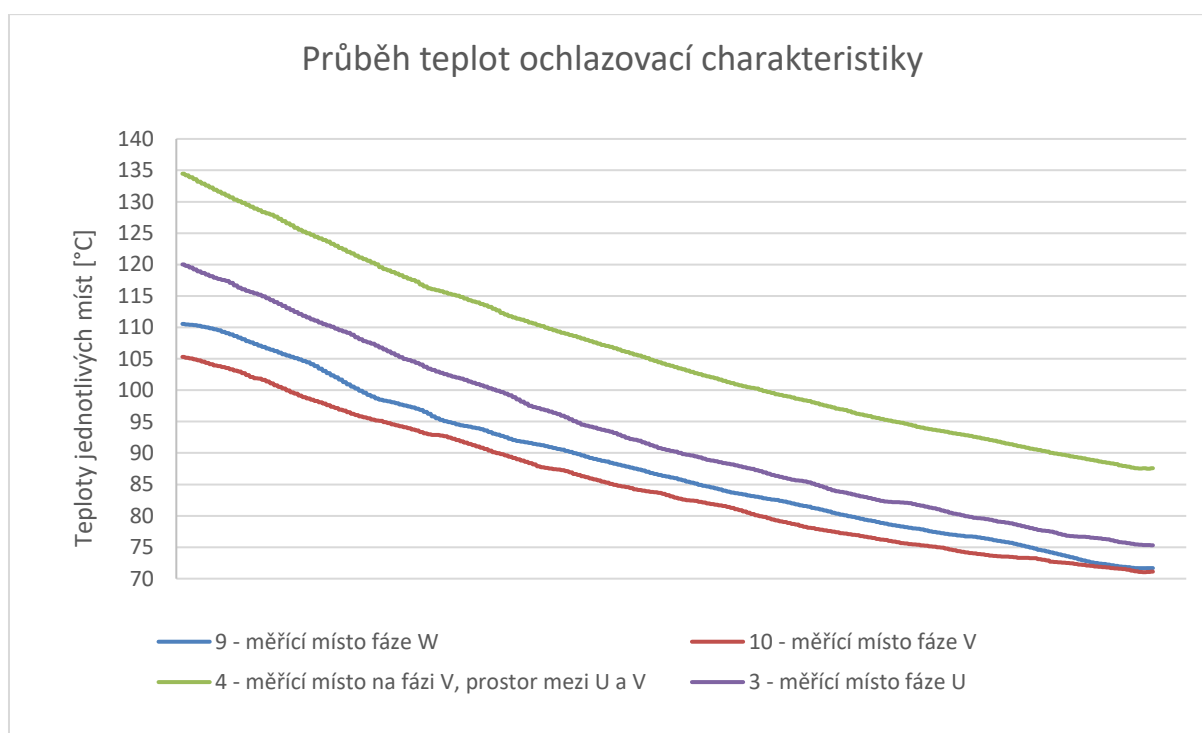
Obr. 17: Průběh hodnoty odporu – ochlazovací charakteristika



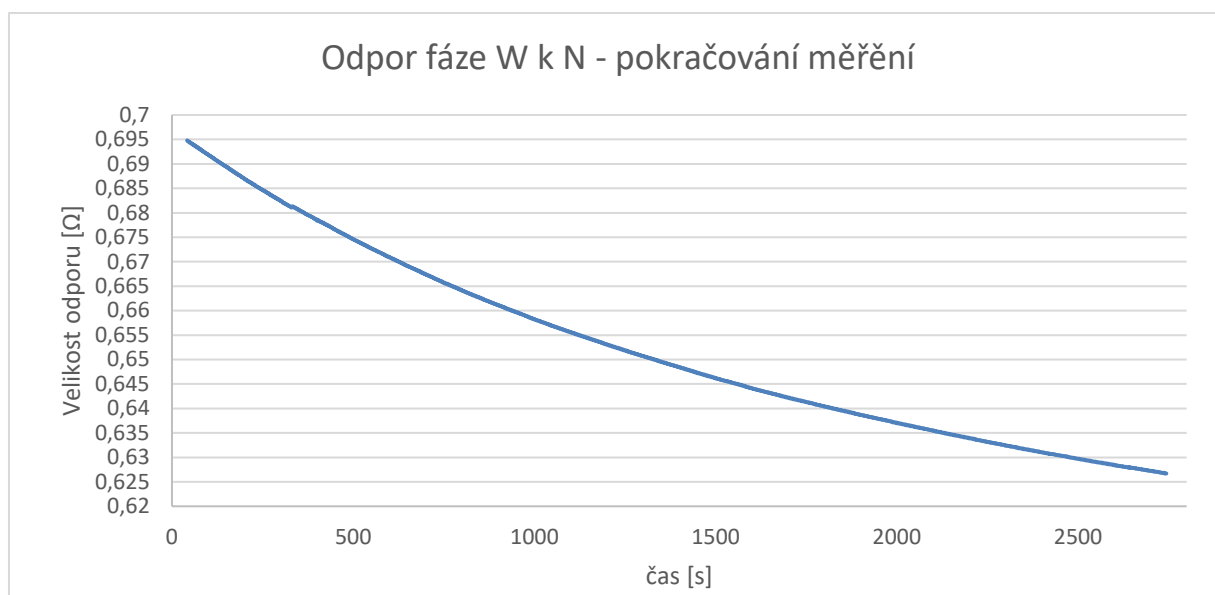
Obr. 18: Průběh teplot – ochlazovací charakteristika



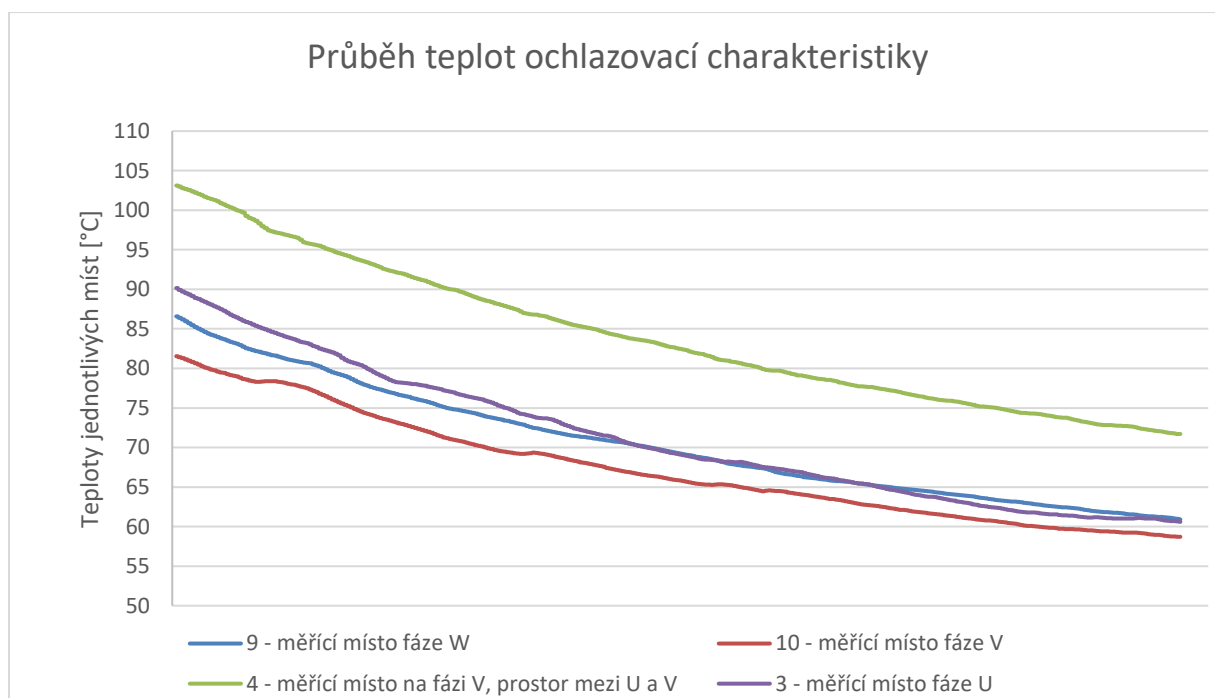
Obr. 19: Průběh hodnoty odporu – ochlazovací charakteristika



Obr. 20: Průběh teplot – ochlazovací charakteristika



Obr. 21: Průběh hodnoty odporu – ochlazovací charakteristika



Obr. 22: Průběh teplot – ochlazovací charakteristika

Odpory za studena:

U-N: 0,5355 Ω

V-N: 0,5321 Ω

W-N: 0,5556 Ω

U-V-W-N paralelně: 0,2221 Ω

Počáteční teploty před měřením ochlazovací charakteristiky:

fáze W: 22,7 °C

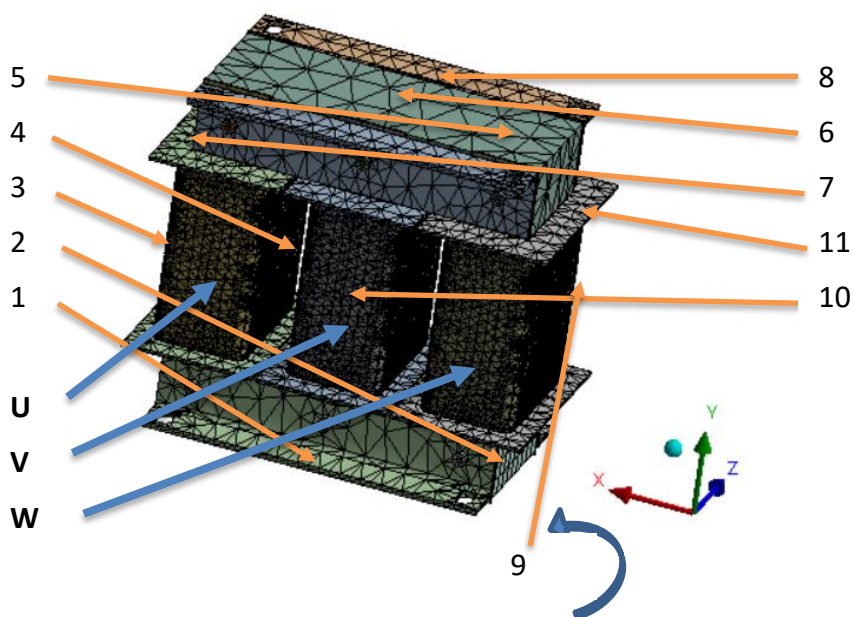
fáze V: 22,4 °C a 22,4 °C (.38 a .42)

fáze U: 22,8 °C

5 Vyhodnocení měření

Tab 3.: Výsledky oteplovacích zkoušek

Naměřené ustálené teploty v °C	U _N 100 %	U _N 110 %
1- spodní stahovací plech uprostřed	79,1	89,5
2- jádro vnější vespod	82,0	95,0
3- cívka uprostřed z boku	87,1	105,6
4- cívka uprostřed prostřední	102,0	121,1
5- sloupek horní jádro	78,6	89,7
6- jádro střed horní	80,7	92,2
7- mezi cívkou a sloupkem pod kostříčkou z boku	86,9	103,1
8- stahovací plech horní prostředek	74,4	83,2
9- cívka krajní z boku střed	79,3	93,3
10- cívka střední střed	92,0	106,4
11- kostříčka nahoře	63,7	71,5
12- okolí	21,3	25,7



Obr. 23 Připomenutí měřících bodů na tlumivce

Tab 4.: Výsledky ochlazovacích zkoušek

Odpory za tepla v Ω		Odpory za studena v Ω	
Odpor fáze U při 100 % tzn 87,1 °C	0,6950	U-N	0,5355
Odpor fáze V při 100 % tzn 92,0 °C	0,7085	V-N	0,5321
Odpor fáze W při 100 % tzn 79,3 °C	0,6918	W-N	0,5556
Odpor fáze U při 110 % tzn 105,6 °C	0,7440	Teploty: 00: fáze W: 22.7 °C 01: fáze V: 22.4 °C a 22.4 °C 02: fáze U: 22.8 °C	
Odpor fáze V při 110 % tzn 106,4 °C	0,7480		
Odpor fáze W při 110 % tzn 93,3 °C	0,7250		

Tepelná závislost odporu vinutí U-N je definována dle

$$R_{7^{\circ}\text{C}} = R_{22,6^{\circ}\text{C}} \left(1 + \alpha (T_7 - T_{22,6}) \right) = 0,5355 (1 + 3,92 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta T) = 0,6950 \, \Omega. \quad (5.1)$$

$$\Delta T_{\text{pro fázi U stav 100\%}} = \frac{R_{7^{\circ}\text{C}} - R_{22,6^{\circ}\text{C}}}{R_{22,6^{\circ}\text{C}} \cdot \alpha} = \frac{0,695 - 0,5355}{0,5355 \cdot 3,92 \cdot 10^{-3}} \cong 76,0 \, \text{K}. \quad (5.2)$$

Výsledná teplota vnitřního vinutí fáze U je složena z oteplení fáze a teploty okolí tzn.

$$T_7 = \Delta T_{\text{pro fázi U stav 100\%}} + 22,6 \, ^{\circ}\text{C} = 98,6 \, ^{\circ}\text{C}. \quad (5.3)$$

Tepelný spád mezi vnitřní částí vinutí a povrchovou teplotou je pak

$$\Delta T_{\text{mezi vnitřkem a povrchem cívky}} = 98,6 - 87,1 \cong 11,5 \, \text{K}. \quad (5.4)$$

Tepelná závislost odporu vinutí V-N pro ustálený stav

$$\Delta T_{\text{pro fázi U stav 100\%}} = \frac{R_{7^{\circ}\text{C}} - R_{22,6^{\circ}\text{C}}}{R_{22,6^{\circ}\text{C}} \cdot \alpha} = \frac{0,7085 - 0,5321}{0,5321 \cdot 3,92 \cdot 10^{-3}} \cong 84,6 \, \text{K}. \quad (5.5)$$

Výsledná teplota vnitřního vinutí fáze U je složena z oteplení fáze a teploty okolí tzn.

$$T_7 = \Delta T_{\text{pro fázi U stav 100\%}} + 22,6 \, ^{\circ}\text{C} = 107,2 \, ^{\circ}\text{C}. \quad (5.6)$$

Tepelný spád mezi vnitřní částí vinutí a povrchovou teplotou je pak

$$\Delta T_{\text{mezi vnitřkem a povrchem cívky}} = 107,2 - 92,0 \cong 15,2 \, \text{K}. \quad (5.7)$$

Tepelná závislost odporu vinutí W-N pro ustálený stav

$$\Delta T_{\text{pro fázi U stav 100\%}} = \frac{R_{7^{\circ}\text{C}} - R_{22,6^{\circ}\text{C}}}{R_{22,6^{\circ}\text{C}} \cdot \alpha} = \frac{0,6918 - 0,5556}{0,5556 \cdot 3,92 \cdot 10^{-3}} \cong 62,5 \, \text{K}. \quad (5.8)$$

Výsledná teplota vnitřního vinutí fáze U je složena z oteplení fáze a teploty okolí tzn.

$$T_7 = \Delta T_{\text{pro fázi U stav 100\%}} + 22,6 \, ^{\circ}\text{C} = 85,1 \, ^{\circ}\text{C}. \quad (5.9)$$

Tepelný spád mezi vnitřní částí vinutí a povrchovou teplotou je pak

$$\Delta T_{\text{mezi vnitřkem a povrchem cívky}} = 85,1 - 79,3 \cong 5,8 \, \text{K}. \quad (5.10)$$

Tyto **výše uvedené tepelné spády** jsou definovány **pro ustálený stav**, v průběhu oteplení totiž jednotlivé části tlumivky teplo akumulují a **není je možné** vykreslit graficky.

6 Závěr

Byl provedena druhá oteplovací zkouška a druhé měření ochlazovací charakteristiky pro zpřesnění první provedené oteplovací zkoušky a také pro vytvoření teplotní mapy ustálených teplot dekompenzační tlumivky s následujícími závěry:

- Pro stav 100 % a 110 % U_n bylo dosaženo uspokojivé ustálení teploty
- Zvlnění křivek průběhů teplot je dáno ne vždy dokonalým kontaktem měřícího elementu s měřeným bodem (oscilace kolem určité hodnoty teploty)
- Nárůst teploty u oteplovací zkoušky 110 % U_n v okolí bodu 5000 s pro teplotu okolí je způsoben přesunem měřícího článku do prostoru teploty okolního vzduchu tlumivky, před tímto časovým bodem bylo čidlo umístěno dále od probíhajícího experimentu

Doporučené další kroky:

- Provedení vyhodnocení a definování zatížení tepelného modelu a definice okrajových podmínek
- Další ladění tepelného 3D modelu, dle reálných výsledků druhé oteplovací zkoušky.

Literatura

- [1] Skala B., Klouda O., Štěpán O., Kubaň M., Kindl V. Čermák R., Veg L., Tyrpekl M. „Protokol o měření dekompenzační tlumivky TTC 34075 – 0024“ ZČU, Plzeň, 2021
- [2] BOGLIETTI A., CAVAGNINO A., STATON D., SHANEL M., MUELLER M., MEJUTO C., “Evolution and Modern Approaches for Thermal Analysis of Electrical Machines,”IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 56, no. 3, pp. 871–882, Mar. 2009.

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum	Jméno
0	Všechny	Verze k náhledu	25.11.2021	Lukáš Veg
1	Všechny	Finální verze	8.12.2021	Lukáš Veg