



Fakulta elektrotechnická
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Oteplovací zkoušky bezindukčního bočníku

Pracoviště: RICE
Číslo dokumentu: 22190-029-2021
Typ zprávy: Výzkumná zpráva
Řešitelé: Martin Skalický, Jiří Dražan
Vedoucí projektu: Bohumil Skala
Počet stran: 32
Datum vydání: 24. 8. 2021
Oborové zařazení: 2.2 Electrical engineering, Electronic engineering,
Information engineering - Electrical and electronic
engineering

Zadavatel / zákazník:
Západočeská univerzita v Plzni
Regionální inovační centrum
elektrotechniky
Univerzitní 8
306 14 Plzeň

Zpracovatel / dodavatel:
Západočeská univerzita v Plzni
Regionální inovační centrum
elektrotechniky
Univerzitní 8
306 14 Plzeň

Kontaktní osoba:
Ing. Martin Skalický
tel. 377634414
skalickm@fel.zcu.cz

Tato zpráva vznikla s podporou projektu TA ČR TH03020322.

Anotace

Tato výzkumná zpráva se zabývá oteplovací zkouškou prototypů bezindukčního bočníku. Měření bylo provedeno na pěti prototypech, nejprve bylo měření provedeno před zalitím na samotných vzorcích, přičemž byly sledovány teploty na třech místech umístěných na povrchu, posléze bylo měření opakováno po zalití epoxidovou pryskyřicí do konečného krytu přístroje. Nakonec bylo měření provedeno pro zatížení vyšší frekvencí.

Klíčová slova

Bezindukční, bočník, proudový transformátor, oteplovací zkouška, oteplení, časová konstanta

Report title

Warming test of inductionless shunt

Abstract

This research report deals with warming test of prototypes of inductionless shunt. Testing was carried out with five prototypes, firstly were test done with samples without final cover, where was monitored temperatures on the surface. Then were test repeated with samples impregnated in final cover, and at the end test with higher frequency was done.

Keywords

Inductionless, shunt, current transformer, warming test, temperature rise, time constant

Obsah

1	ÚVOD	4
2	POPIS MĚŘENÍ.....	5
2.1	POSTUP MĚŘENÍ A ZAPOJENÍ NEZALITÝCH VZORKŮ	5
2.2	POSTUP MĚŘENÍ A ZAPOJENÍ ZALITÝCH VZORKŮ	6
2.3	POSTUP MĚŘENÍ PŘI VYŠŠÍCH FREKVENCÍ.....	6
3	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	7
3.1	MĚŘENÍ NEZALITÝCH VZORKŮ	7
3.2	MĚŘENÍ ZALITÝCH VZORKŮ.....	17
3.3	MĚŘENÍ PŘI VYŠŠÍCH FREKVENCÍCH	19
4	ANALÝZA VÝSLEDKŮ.....	21
4.1	ODHAD DOVOLENÝCH ZATÍŽENÍ V KRÁTKODOBÉM CHODU	24
4.2	ANALÝZA VÝSLEDKŮ Z MĚŘENÍ PŘI VYŠŠÍ FREKVENCI.....	25
4.2.1	<i>Odhad dovoleného zatížení při zatížení frekvencí 125kHz.....</i>	<i>26</i>
5	SHRNUTÍ A ZÁVĚRY	29

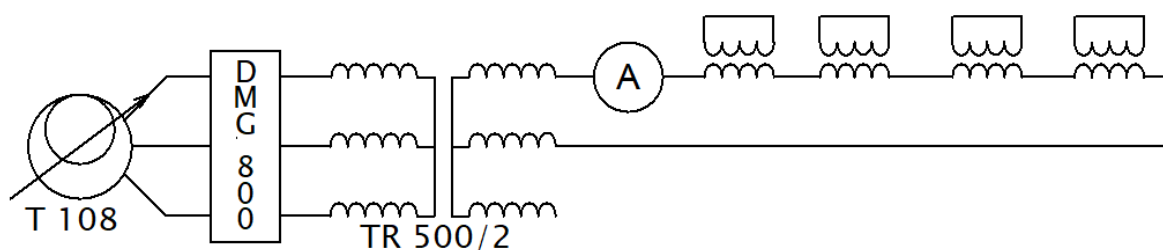
1 Úvod

Oteplovací zkouška je provedena za účelem ověření ustálených oteplení zařízení a tím validování jeho návrhu pro dané zatížení. Měření bylo provedeno na čtyřech shodných prototypch bezindukčního bočníku. Byly provedeny tři měření, první pro samostatné přístroje bez krytu, druhé se vzorky zalitými ve finálním krytu přístroje a třetí pro nezalité vzorky při vyšších frekvencích. Při prvních dvou měření bylo aplikováno zatížení střídavým proudem o frekvenci 50 Hz, v první části proudem 200 A do ustálené hodnoty oteplení a v druhé části proudem 300 A. Měření při vyšších frekvencích bylo provedeno pro proud 50 A ,a maximální frekvenci zařízení, tedy 125kHz, z měření byly získány potřebné parametry za pomoci, nichž byl odhadnuto maximální zatížení při těchto frekvencích.

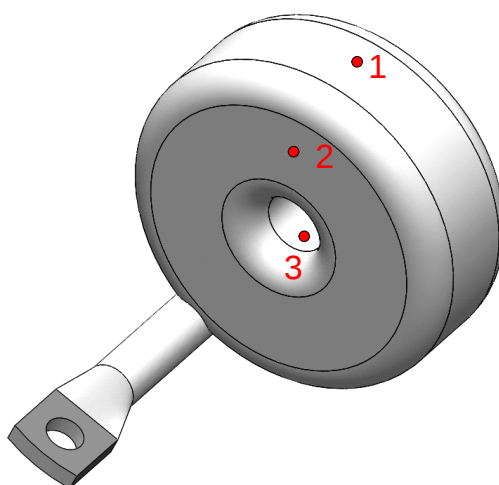
2 Popis měření

2.1 Postup měření a zapojení nezalitých vzorků

První měření na odkrytých vzorcích bylo prováděno na čtyřech vzorcích zároveň zapojených do série (Obr. 2.1) pro dosažení shodného zatížení všech vzorků. Na každém vzorku byly sledovány tři pozice a sice na vnějším, vnitřním a bočním povrchu toroidu (obr 2.2). Pro měření teplot byla použita kombinace laserového a dotykového teploměru. Hodnoty laserového teploměru slouží pouze pro kontrolu získaných charakteristik v případě špatného dotyku kontaktního senzoru, jelikož z důvodu nepřesné kalibrace laserového čidla byly pro absolutní hodnoty oteplení použity údaje z kontaktního teploměru. Při tomto měření nebyla zaznamenávána změna odporu vinutí během zkoušky, a tudíž není známá přesná hodnota středního oteplení vinutí. V první části bylo použito proudu 50 Hz o jmenovité efektivní hodnotě 200 A. měření probíhalo do dosažení ustálené teploty a následně byl proud zvýšen na 300 A pro zjištění chování při přetížení. Měření bylo přerušeno po dosažení hraničního oteplení měřící soustavy.



Obr. 2.1 Schéma měření



Obr. 2.2 Pozice sledovaných teplot při měření bez krytu

2.2 Postup měření a zapojení zalitých vzorků

V tomto případě bylo měření realizováno na vzorcích 2-5. Oteplovací charakteristika byla změřena pouze pro vzorek 4, jelikož je transformátor zalit v krytu bez jakýchkoliv teplotních čidel, byla teplota vyhodnocována pouze na základě změny odporu obou vinutí, v praxi to znamenalo pro určení teploty v co nejrychlejší době odpojit zařízení od zdroje proudu, stanovit odpory obou vinutí pomocí ohm-metru CROPICO a opět zařízení připojit a obnovit požadovaný proud. Pro určení oteplovací charakteristiky bylo použito stejného zatížení jako pro měření nezalitých vzorků a to 200 A do dosažení ustáleného stavu a následně 300 A do dosažení možností měřicí soustavy. U ostatních vzorků již nebyla sledována oteplovací charakteristika a oteplovací zkouška probíhala pro vzorky číslo 2, 3 a 5 zároveň v sériovém zapojení. Na základě změny proudu a teploty povrchu bylo vyhodnoceno dosažení ustáleného stavu a následně byly změřeny odpory obou vinutí.

2.3 Postup měření při vyšších frekvencích

Měření při vyšších frekvencích bylo provedeno na nezalitém vzorku č.1. Pro zatížení byla použita měřicí soustava používaná pro kalibraci popsaná v [1]. Vzorek byl napájen střídačem, prostřednictvím snížovacího transformátoru pro dosažení požadovaného proudu, zároveň byl v obvodu napájecího transformátoru připojen kondenzátor v sérii za účelem dosažení rezonance mezi napájecím transformátorem a kondenzátorem pro snížení napětí na střídači. Proud a frekvence na vzorku byl měřen pomocí osciloskopu s Rogovského proudovou sondou. Vzorek byl zatížen trvale proudem 50 A při 125 kHz a průběžně byla sledována teplota povrchu pouze laserovým senzorem, jelikož pro vysoké frekvence nebylo možné použít dotykový senzor, jelikož po přiložení k povrchu došlo k jeho zarušení. Po odpojení od zdroje byl změřen odpor obou cívek pro stanovení střední teploty vinutí.

Tab. 2.1 – Použité měřicí přístroje

Název	Typové označení	Inventární číslo
Booster	T108	
Zdrojový transformátor	ČKD TR 500/2 čís. 6081	
Analyzátor sítě	Lovato DMG 800	234089
Klešťový ampérmetr	Metra PK 435.1	193512
Laserový a dotykový teploměr	Raytek MX40	114167
Microhm-meter CROPICO	DO 5000	502161
Osciloskop Tektronix	MDO4104B-6	52706
Rogowskiho potenciometr PEM	CWT 1R	
Stabilizovaný zdroj DELTA ELEKTRONIKA	SM330-AR-22	502185

3 Výsledky měření

3.1 Měření nezalitých vzorků

Tab. 3.1 – Naměřené hodnoty vzorek 1: nezalitý

Vzorek 1							
I (A)	čas	Pozice 1		Pozice 2		Pozice 3	
		Laser (°C)	Dotyk (°C)	Laser (°C)	Dotyk (°C)	Laser (°C)	Dotyk (°C)
207	9:57	22	20	22	20	22	20
206	10:00	24,4	23	25,1	23	26	23
204	10:05	26,6	23,2	27	24,5	28,2	24,5
200	10:17	30,9	28,6	32,2	28,6	33	29
200	10:26	31,1	28,6	32,2	29,1	33,8	29,5
199	10:41	33,6	31,4	35	31,6	36	31,8
199	11:03	36	32,5	36,4	32	38	32,5
200	11:40	36,7	35,1	38,2	35,2	39,2	35,1
200	12:30	39	37	39,2	36	41,2	36,8
199	13:20	38,5	37,3	40,3	37,3	40,3	36,2
293	13:46	47,7	43,3	51,5	43,3	53,2	43,9
302	14:00	51,3	47,8	56,6	48,5	57,8	48,4
300	14:15	54,5	50	57,2	50,3	60,2	51,5

Tab. 3.2 – Naměřené hodnoty vzorek 2: nezalitý

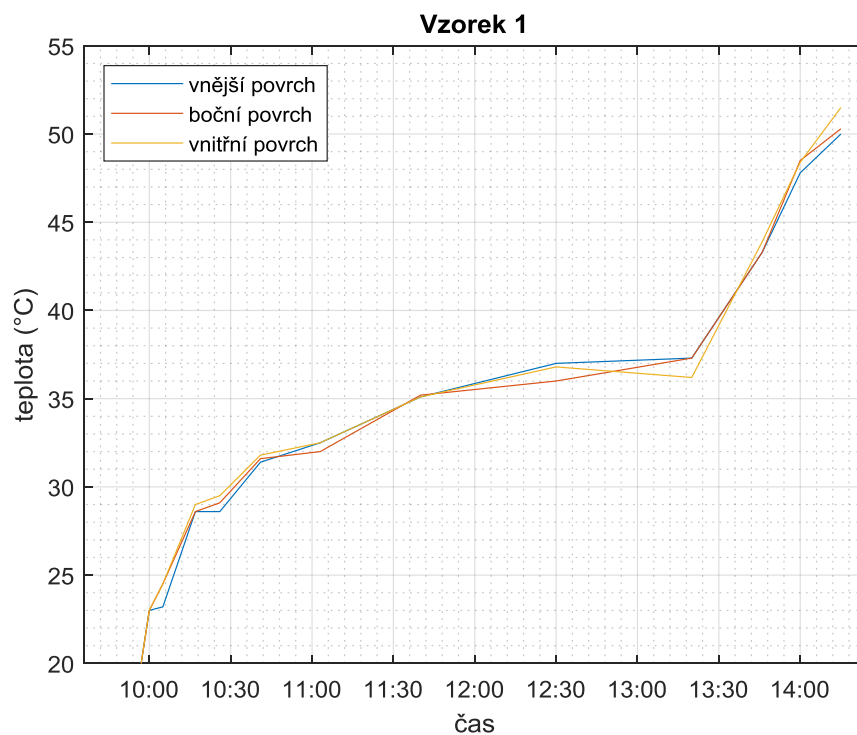
Vzorek 2							
I (A)	čas	Pozice 1		Pozice 2		Pozice 3	
		Laser (°C)	Dotyk (°C)	Laser (°C)	Dotyk (°C)	Laser (°C)	Dotyk (°C)
207	9:57	22	20	22	20	22	20
206	10:02	24,2	23	24,3	23	26,9	24
204	10:05	26	24,7	26,2	24	29	25,1
200	10:16	28,8	26,8	29,5	26,7	33,2	29
200	10:27	29,8	27,5	30,6	28,1	34,3	30
199	10:42	32	29,5	32,2	28,6	36,3	31,6
199	11:04	34	30,8	35,5	30,8	38,5	33
200	11:41	34,3	31,5	35,2	31,4	38,5	33,8
200	12:31	36,5	34,5	37,3	34,4	41,3	36,4
199	13:21	37	34	37,6	33,7	39,7	35
293	13:47	43,4	40,1	45	40,3	53	44,7
302	14:01	46,5	43,2	48	41	57,1	45,8
300	14:16	49,2	45,2	50,6	44,5	60,7	50,9

Tab. 3.3 – Naměřené hodnoty vzorek 3: nezalitý

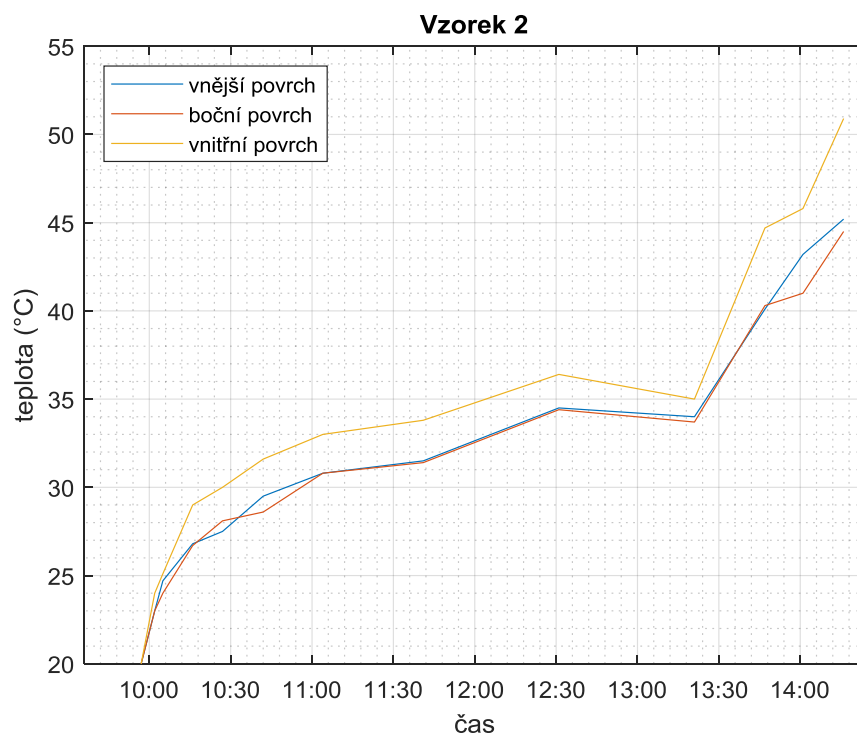
Vzorek 3							
I (A)	čas	Pozice 1		Pozice 2		Pozice 3	
		Laser (°C)	Dotyk (°C)	Laser (°C)	Dotyk (°C)	Laser (°C)	Dotyk (°C)
207	9:57	22	20	22	20	22	20
206	10:03	25,8	23,3	26	22,6	29	25
204	10:07	27,4	24,2	27,4	24,9	31	27,3
200	10:15	30	27	30	27,2	33,5	28,5
200	10:28	32,6	28,7	32,4	28,6	34	30,6
199	10:43	34,5	29,5	34,6	30,1	37,2	32,4
199	11:05	36,9	32	37,1	32,5	39,5	34,2
200	11:41	37,8	33,4	38,5	33,6	42,6	36,3
200	12:32	40	35,2	42	37	43,9	35,9
199	13:22	40	34,7	41,1	36,7	43,4	38,4
293	13:48	52	43,5	51,2	42,5	61	50,2
302	14:03	54,1	45	55,3	44,7	64,6	55,3
300	14:17	59,3	48,2	57,2	50,7	66,3	54,8

Tab. 3.4 – Naměřené hodnoty vzorek 4: nezalitý

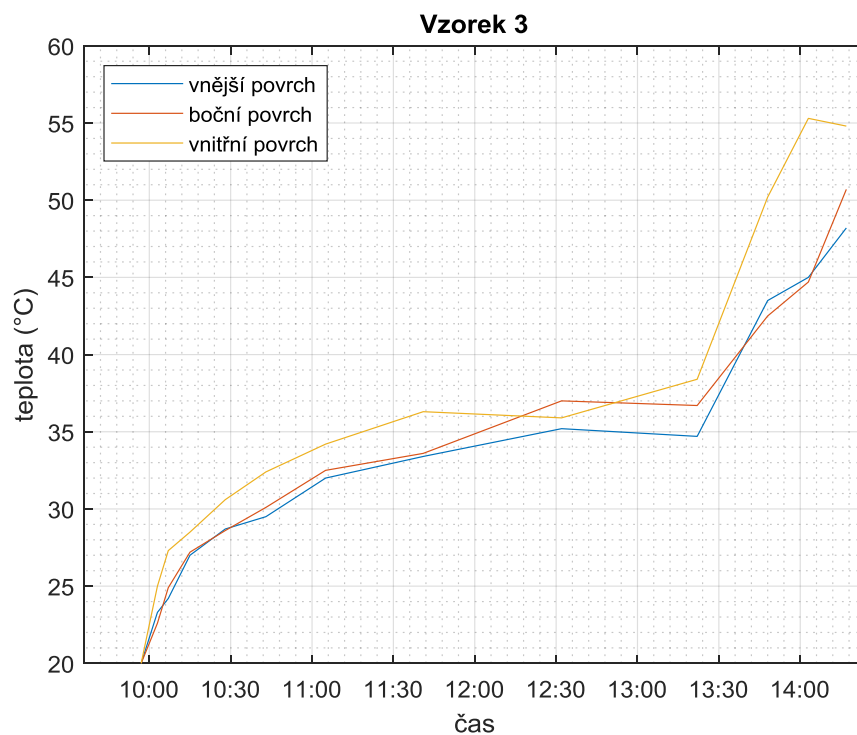
Vzorek 4							
I (A)	čas	Pozice 1		Pozice 2		Pozice 3	
		Laser (°C)	Dotyk (°C)	Laser (°C)	Dotyk (°C)	Laser (°C)	Dotyk (°C)
207	9:57	22	20	22	20	22	20
206	10:03	26,6	24,9	27,4	24,3	28,8	24,6
204	10:07	29,3	26,3	29,6	25,8	28,1	26,2
200	10:14	29,6	27	29,9	28	33,5	27,5
200	10:29	32,9	29,1	33,2	31,6	35,1	30,8
199	10:44	34,9	31,9	36,7	33,2	37,1	32,3
199	11:06	36	33,4	39	34,2	37,6	32,8
200	11:42	38,5	34,5	40	35	41	35
200	12:33	40,8	34,6	44,9	36,5	43,7	35,3
199	13:24	40,7	35,7	42,8	37,2	45	37,3
293	13:49	50,2	45	54	48	54	45
302	14:04	53,3	49,1	54,3	49,4	63	48,7
300	14:19	55	51,8	60	53,5	61	51,5



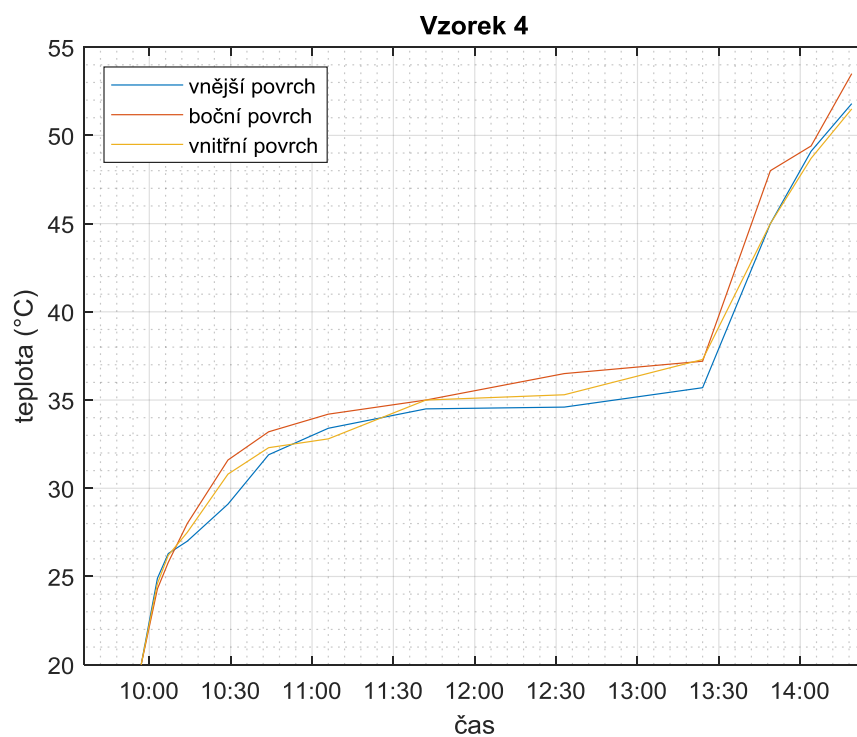
Obr. 3.1 Naměřená teplota vzorek 1: nezalitý



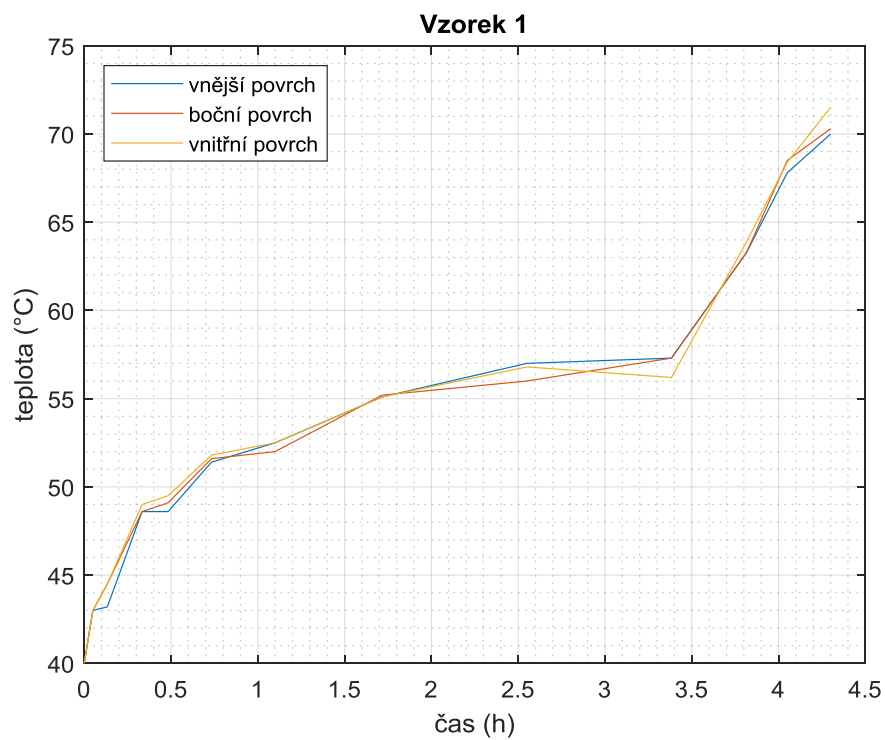
Obr. 3.2 Naměřená teplota vzorek 2: nezalitý



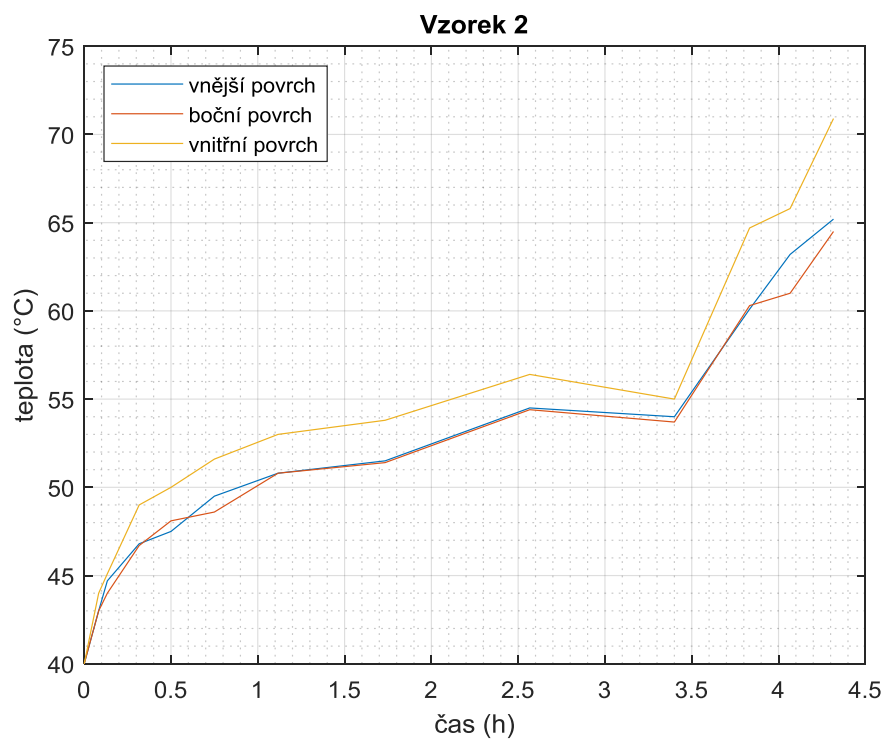
Obr. 3.3 Naměřená teplota vzorek 3: nezalitý



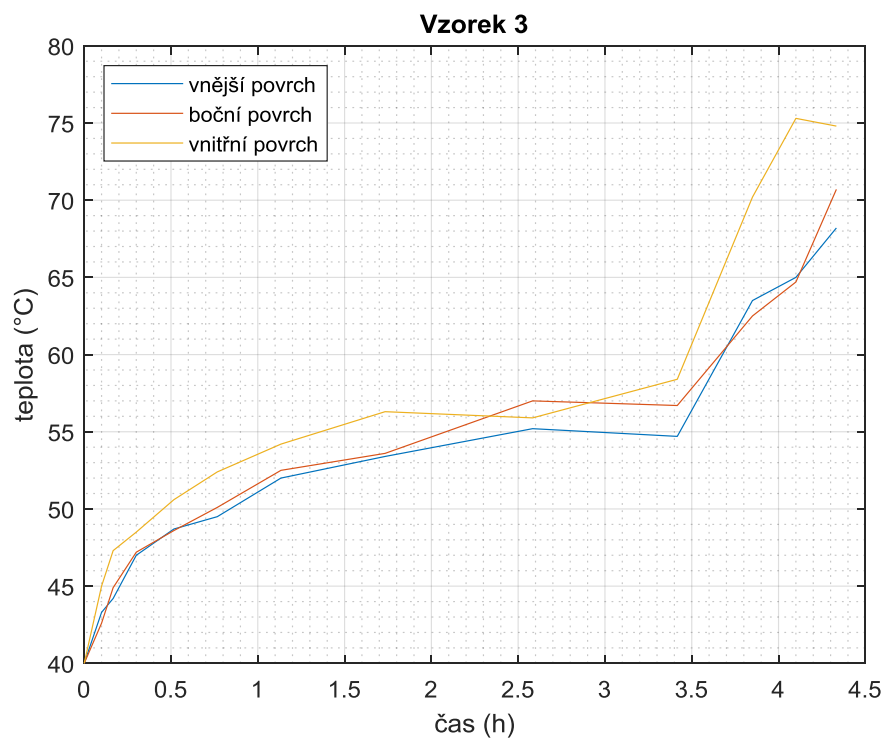
Obr. 3.4 Naměřená teplota vzorek 4: nezalitý



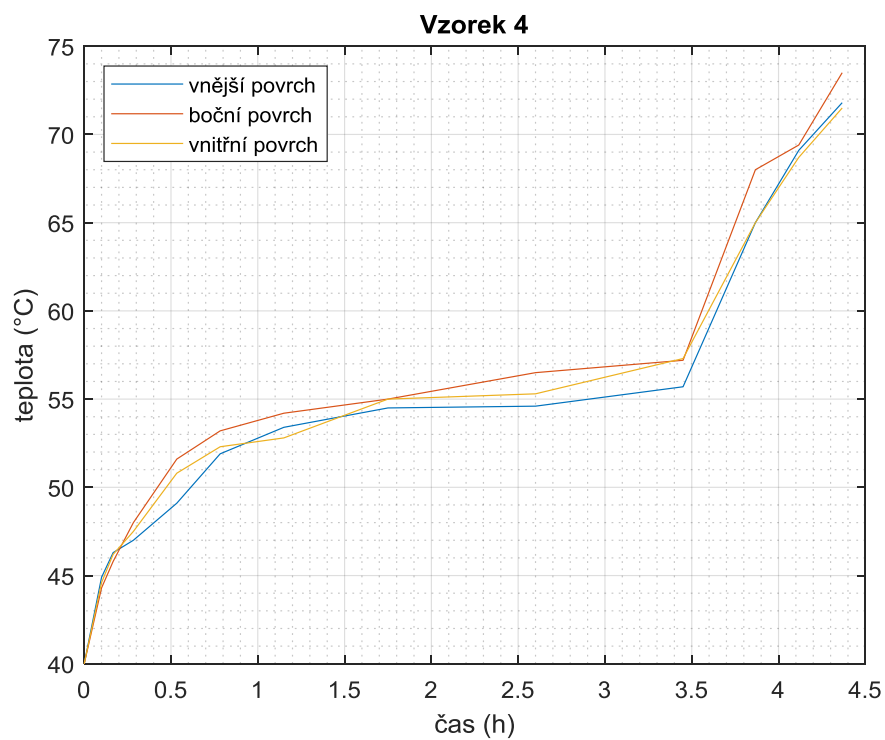
Obr. 3.5 Průběh teploty s okolní teplotou 40 °C v relativním čase vzorek 1: nezalitý



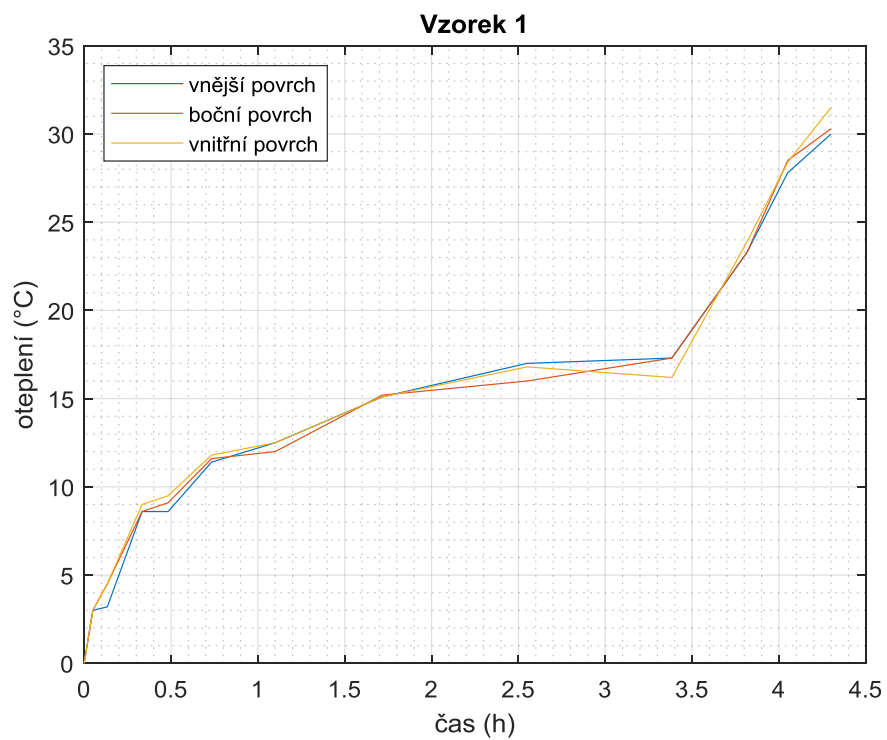
Obr. 3.6 Průběh teploty s okolní teplotou 40 °C v relativním čase vzorek 2: nezalitý



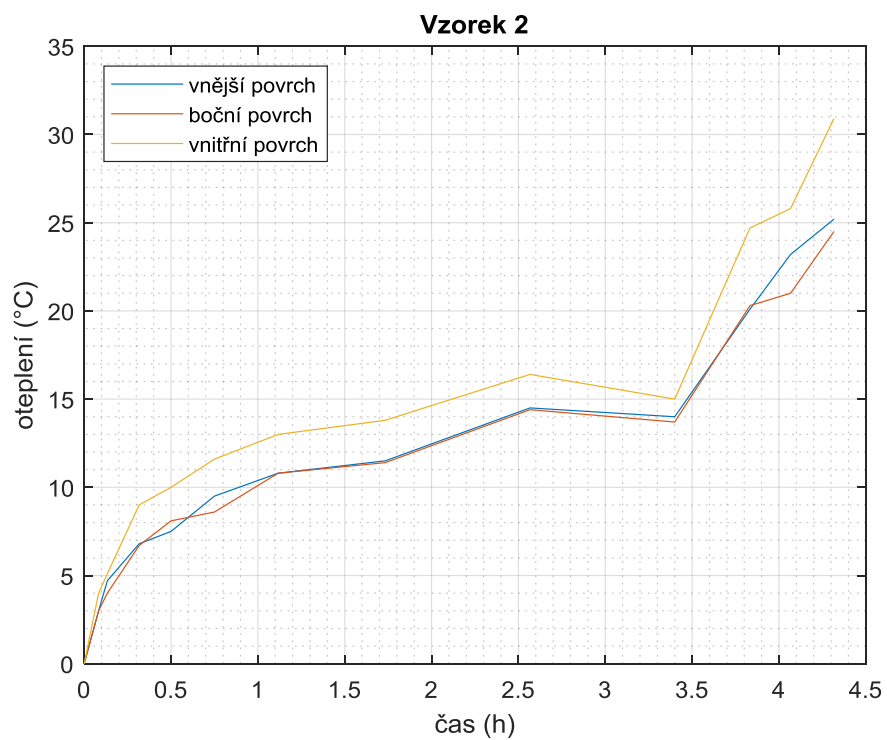
Obr. 3.7 Průběh teploty s okolní teplotou 40 °C v relativním čase vzorek 3: nezalutý



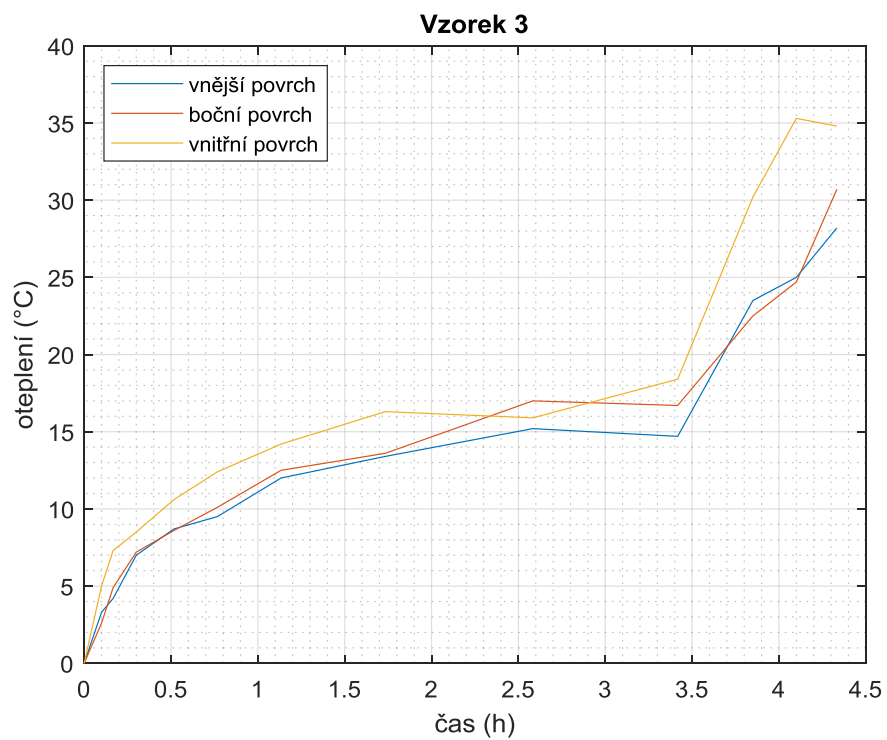
Obr. 3.8 Průběh teploty s okolní teplotou 40 °C v relativním čase vzorek 4: nezalutý



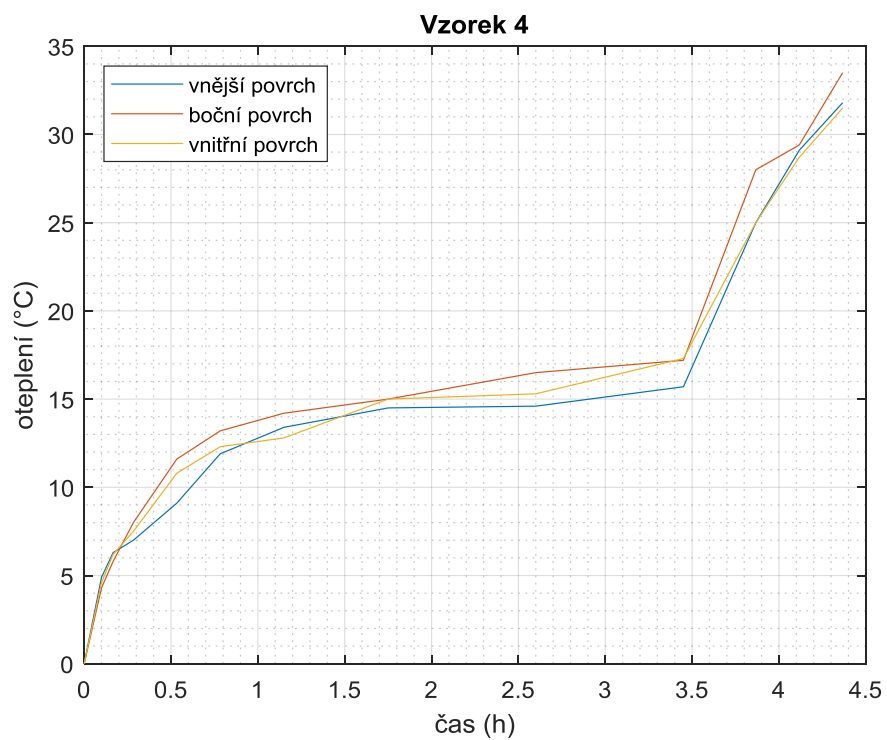
Obr. 3.9 Průběh oteplení v relativním čase vzorek 1: nezalitý



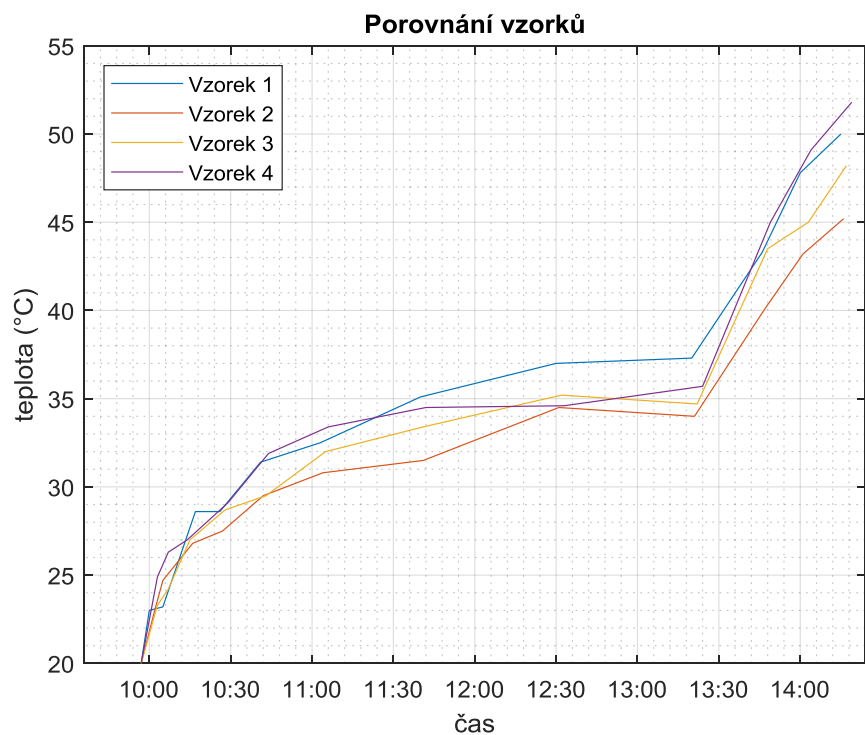
Obr. 3.10 Průběh oteplení v relativním čase vzorek 2: nezalitý



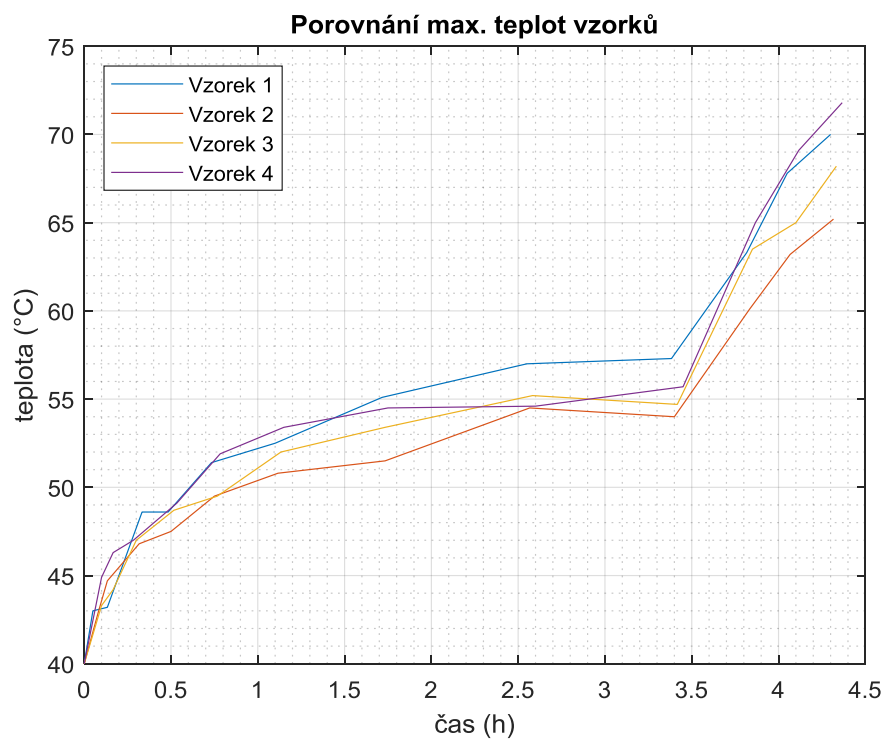
Obr. 3.11 Průběh oteplení v relativním čase vzorek 3: nezalitý



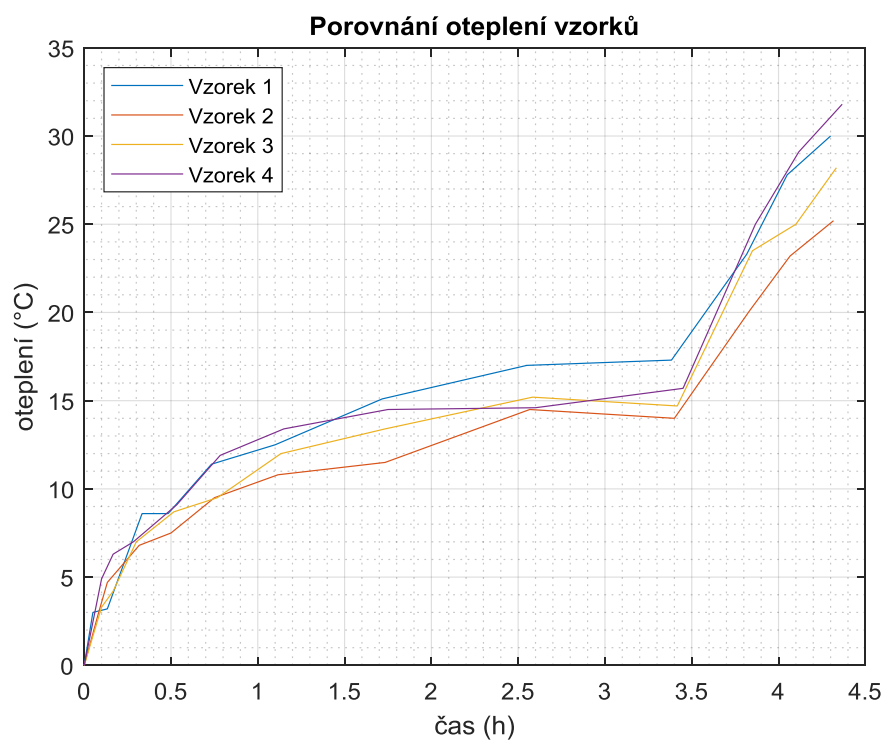
Obr. 3.12 Průběh oteplení v relativním čase vzorek 4: nezalitý



Obr. 3.13 Porovnání teplot nezáletých vzorků



Obr. 3.14 Porovnání teplot s okolní teplotou 40 °C nezáletých vzorků



Obr. 3.15 Porovnání oteplení nezalitých vzorků

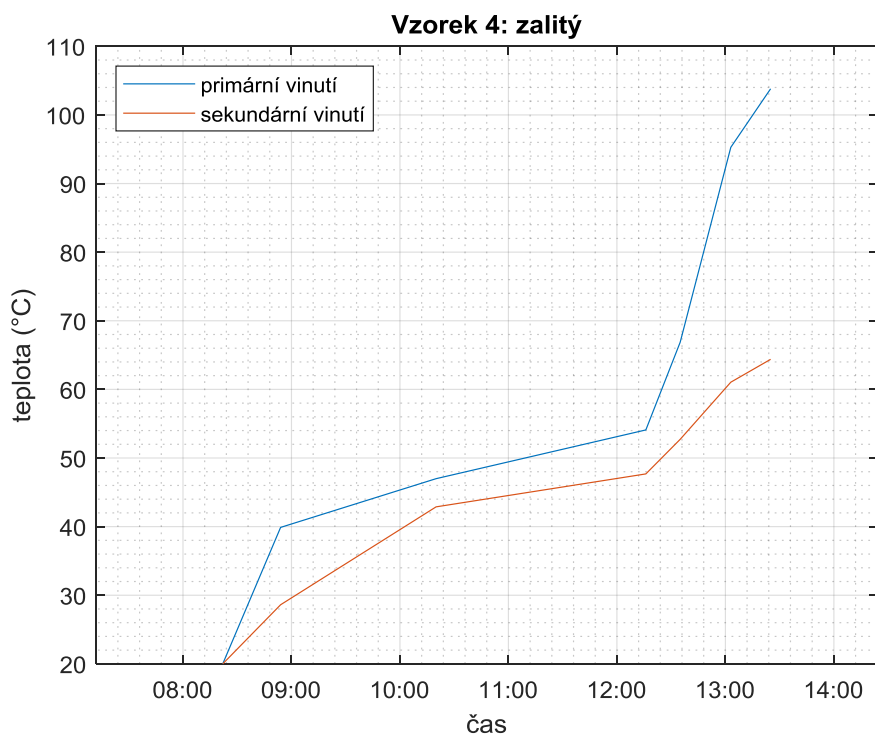
3.2 Měření zalitých vzorků

Tab. 3.5 – Naměřené hodnoty vzorek 4: zalitý

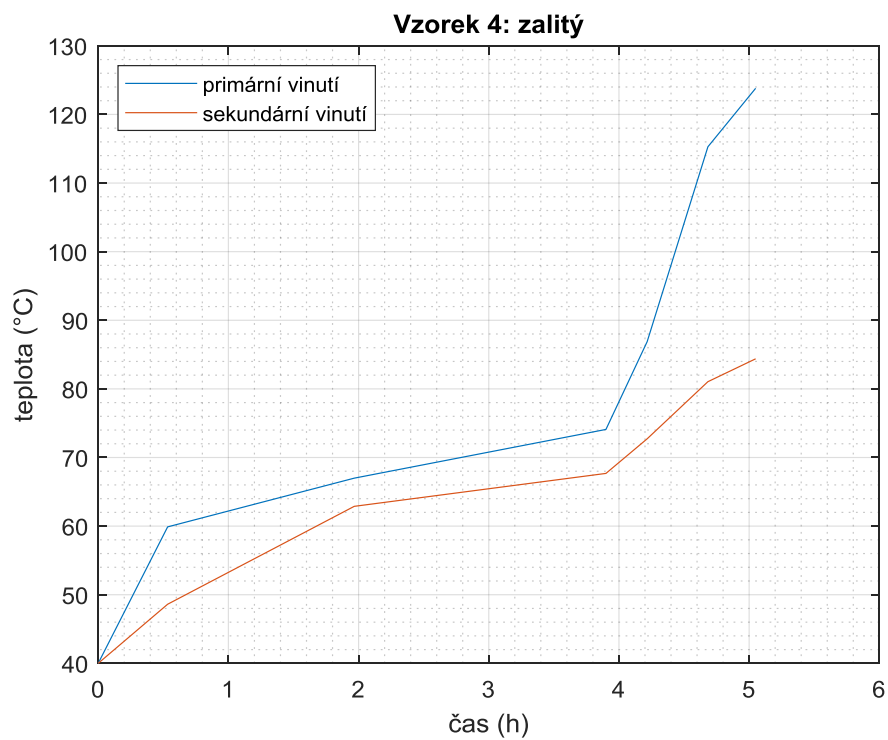
Vzorek 4							
I (A)	čas	R_p (m Ω)	R_s (m Ω)	$\Delta\vartheta_p$ (°C)	$\Delta\vartheta_s$ (°C)	ϑ_p (°C)	ϑ_s (°C)
206	8:22	0,176	114,1	0	0	20	20
206	8:54	0,190	118,0	19,89	8,61	39,89	28,61
202	10:20	0,195	124,5	26,99	22,88	46,99	42,88
202	12:16	0,200	126,7	34,09	27,68	54,09	47,68
313	12:35	0,209	129,0	46,88	32,72	66,88	52,72
298	13:03	0,229	132,8	75,28	41,05	95,28	61,05
298	13:25	0,235	134,3	83,81	44,38	103,81	64,38

Tab. 3.6 – Naměřené hodnoty pro vzorky 2,3 a 5: zalité

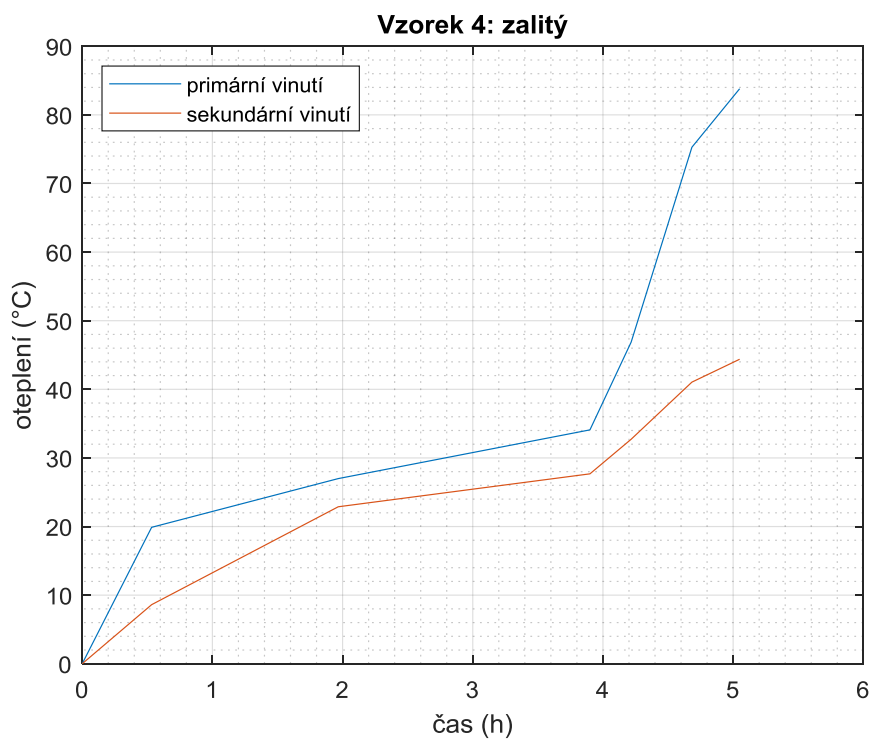
vzorek	$R_{p21^\circ\text{C}}$ (m Ω)	$R_{s21^\circ\text{C}}$ (m Ω)	R_p (m Ω)	R_s (m Ω)	$\Delta\vartheta_p$ (°C)	$\Delta\vartheta_s$ (°C)	ϑ_p (°C)	ϑ_s (°C)
2	0,15	110,18	0,168	122,1	30,00	27,05	51,00	48,05
3	0,191	111,86	0,236	123,9	58,90	26,91	79,90	47,91
5	0,168	112,25	0,198	124,1	44,64	26,41	65,64	47,41



Obr. 3.16 Naměřená teplota vzorek 4: zalitý



Obr. 3.17 Průběh teploty s okolní teplotou 40 °C v relativním čase vzorek 4: zalitý

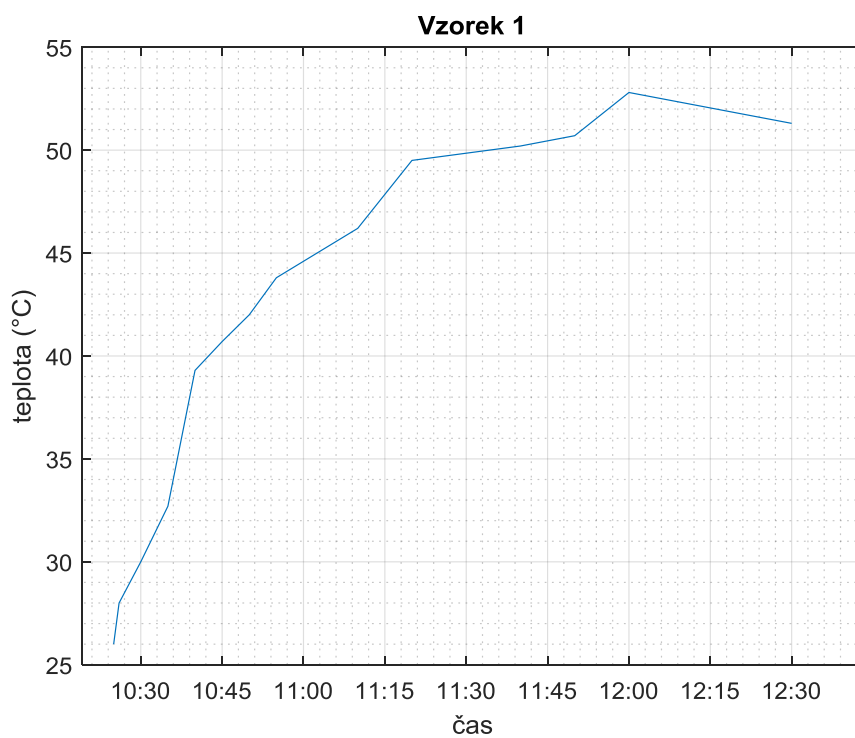


Obr. 3.18 Průběh oteplení v relativním čase vzorek 4: zalitý

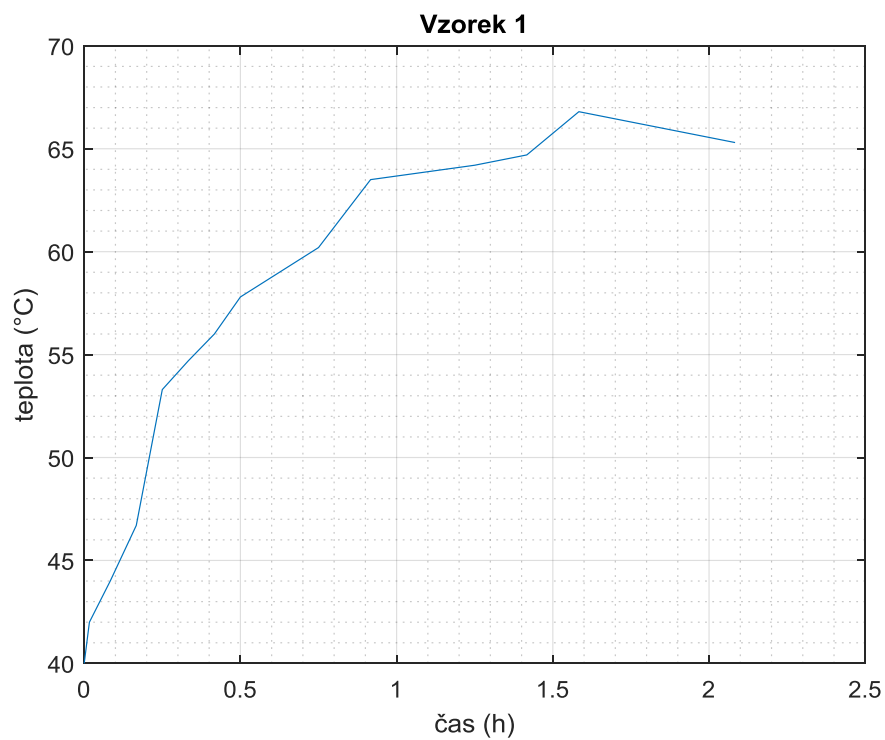
3.3 Měření při vyšších frekvencích

Tab. 3.7 – Naměřené hodnoty při vyšších frekvencích pro vzorek 1

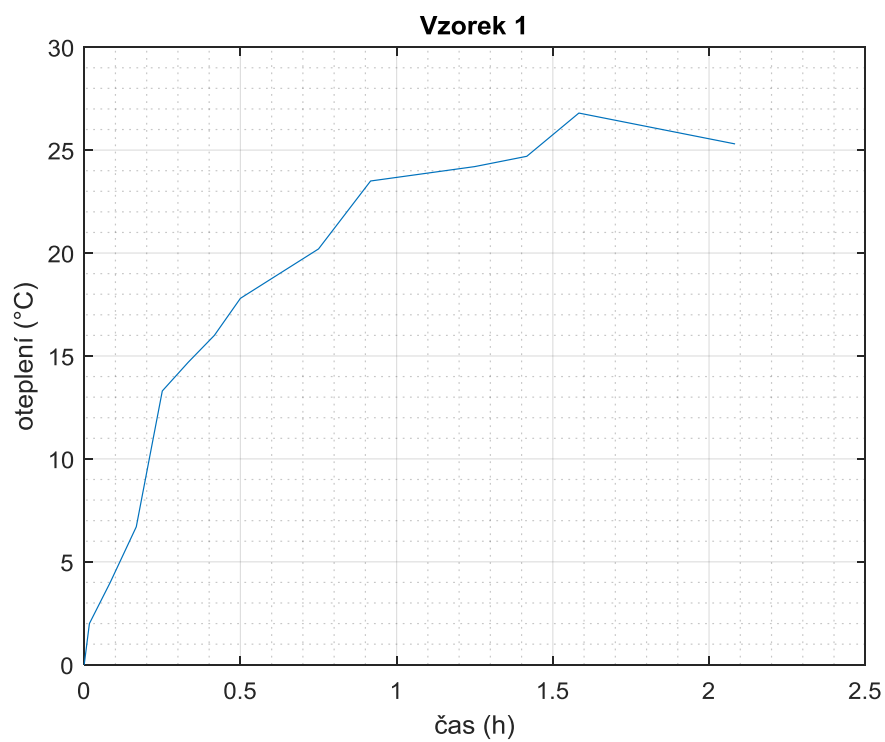
čas	teplota (°C)	okolí (°C)	I (A)
10:25	26	26	50
10:26	28		
10:30	30		
10:35	32,7		
10:40	39,3		
10:45	40,7		
10:50	42		
10:55	43,8		
11:10	46,2		
11:20	49,5		
11:40	50,2		
11:50	50,7		
12:00	52,8		
12:30	51,3		



Obr. 3.19 Průběh teploty při měření s vyšší frekvencí: vzorek 1



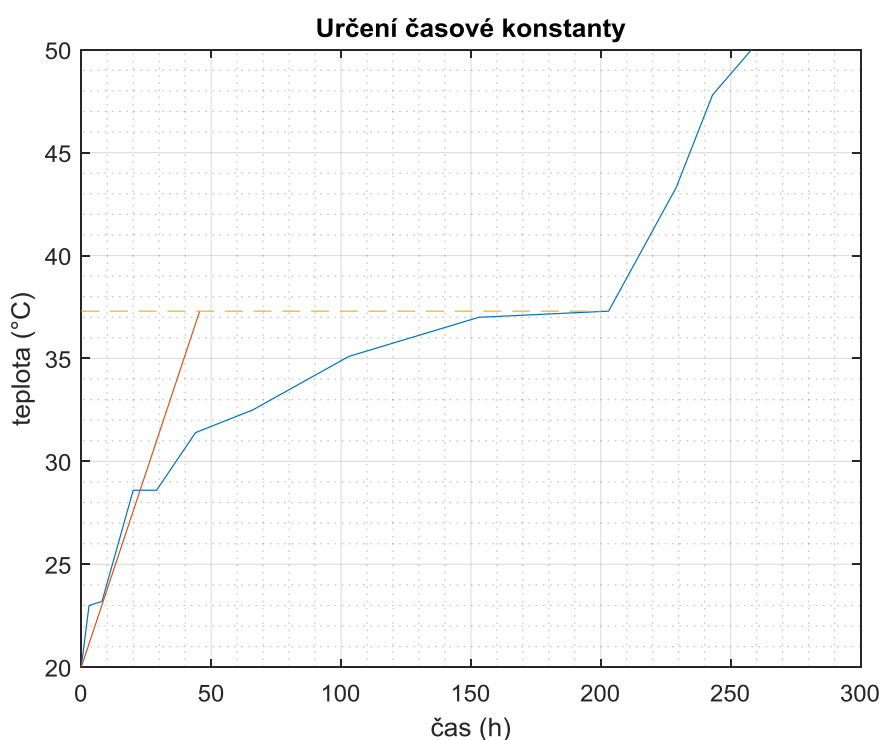
Obr. 3.20 Průběh teploty při měření s vyšší frekvencí s teplotou okolí 40 °C: vzorek 1



Obr. 3.21 Oteplení při měření s vyšší frekvencí: vzorek 1

4 Analýza výsledků

Pro další odhady a výpočty je potřeba získat časové konstanty jednotlivých vzorků z provedených měření, to bylo provedeno na základě konstrukce na obr 4.1. Konstrukce byla provedena algoritmem v prostředí Matlab. Nejprve byly vybrány počáteční 3 hodnoty z naměřených průběhů v Tab 3.1 – 4 a tyto hodnoty byly aproximovány přímkou. Z rovnice přímky je posléze vypočítán čas, v kterém přímka dosáhne ustálené teploty. Výsledné časové konstanty jsou uvedeny v tabulce 4.1, teoreticky by časové konstanty v jednom řádku měli být stejné, ovšem vlivem nepřesnosti měření vznikly některé odchylky, nicméně konstanty je možné ověřit analytickým výpočtem průběhu oteplení podle rovnice (1) a následným porovnáním s naměřenou křivkou.



Obr. 4.1 Konstrukce pro stanovení časové konstanty

Tab. 4.1 – Odhadnuté časové konstanty z naměřených průběhů

τ (min)	dotyk			laser		
	bod 1	bod 2	bod 3	bod 1	bod 2	bod 3
vzorek 1	45,6	31,3	29,2	28,9	29,7	23,8
vzorek 2	23,8	26,6	28,2	30,5	30,3	24,7
vzorek 3	33,7	34,6	24,7	32,6	34,4	22,8
vzorek 4	23,9	28,8	27,0	25,4	26,7	34,1

$$C \frac{dT}{dt} = \frac{T - T_{amb}}{R} + Q \quad (1)$$

Neznámé v rovnici (1) byly odhadnuté z okrajových podmínek: C (J/K) je tepelná kapacita vypočtená z rovnice pro časovou konstantu (2), R (W/K) je tepelný odpor mezi vzorkem a

okolím dán vztahem (3), T (°C) je hledaná teplota, T_{amb} (°C) je teplota okolí, $Q(W)$ je tepelný tok neboli ztráty vznikající ve vzorku odhadnuté z rovnice (5).

$$C = \tau \cdot \alpha \cdot S \quad (2)$$

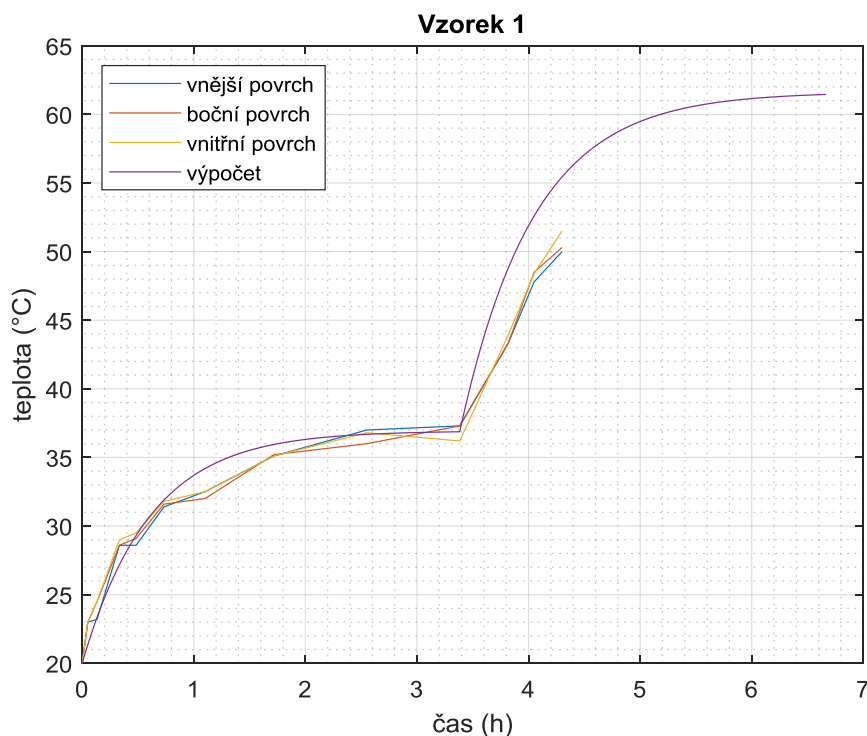
$$R = \frac{1}{\alpha \cdot S} \quad (3)$$

Kde α (W/m²K) je koeficient přestupu tepla a $S=37,636 \cdot 10^{-6}$ m² je chladící plocha.

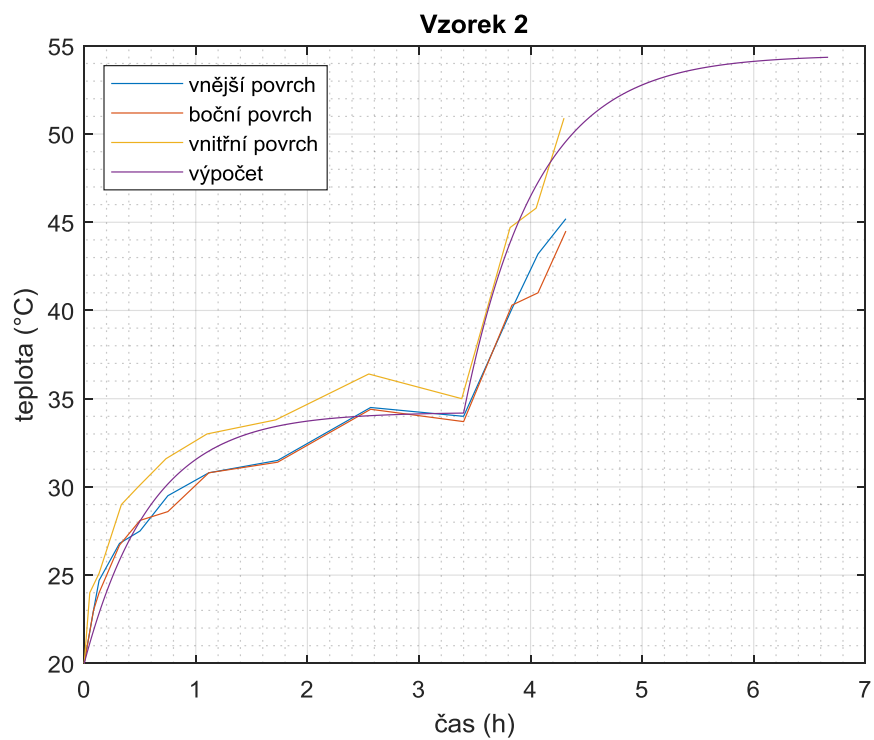
$$\alpha = \frac{Q_{T_{\infty}}}{(T_{\infty} - T_{amb})S} \quad (4)$$

$$Q = R_{p20^{\circ}C}(1 + 0.004(T - 20)) \cdot I_p^2 + R_{s20^{\circ}C}(1 + 0.004(T - 20)) \cdot I_s^2 \quad (5)$$

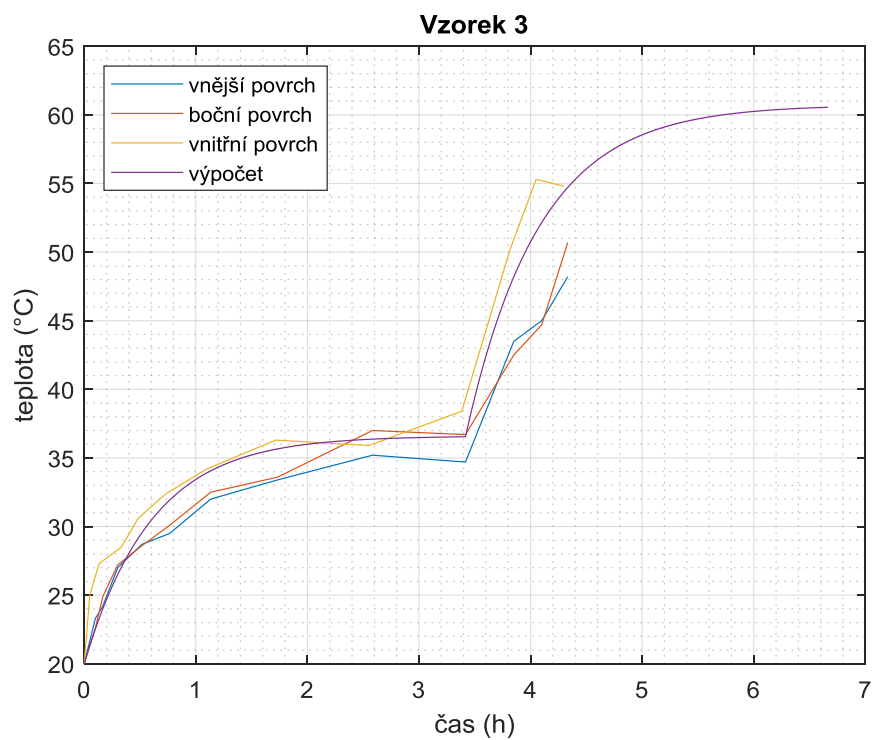
Po překontrolování průběhů byla časová konstanta odhadnuta na $\tau=34$ min. Výsledné průběhy s vypočítanou teplotou podle rovnice (1) s výslednou konstantou jsou na obrázcích 4.2-5. Z průběhů je rovněž vidět nelineární tepelná kapacita. V počátku je naměřená charakteristika strmější než vypočtená a později se nárůst měřených teplot zpomalí oproti výpočtu. To je způsobeno prvotním ohřevem vinutí, v kterém je kapacita téměř lineární, ale posléze jak je teplo odváděno do magnetického jádra s výrazně vyšší kapacitou, tak se celková kapacita mění s tím, jak proniká teplo hlouběji do magnetického jádra, pro odhady chování při náhlých stavech je potřeba počítat s počáteční kapacitou neboli si naměřená a vypočtená charakteristika musí odpovídat v počátku. Dále je z průběhů vidět, že při zatížení 300 A je oteplení ustáleno na hodnotě okolo 41°C.



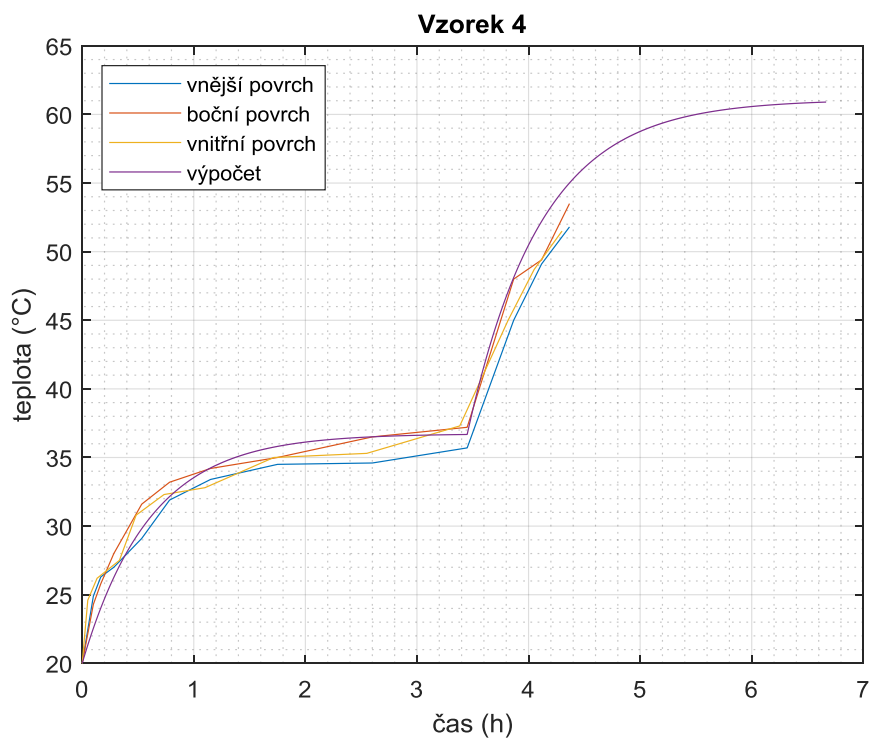
Obr. 4.2 Ověření časové konstanty: vzorek 1



Obr. 4.3 Ověření časové konstanty: vzorek 2



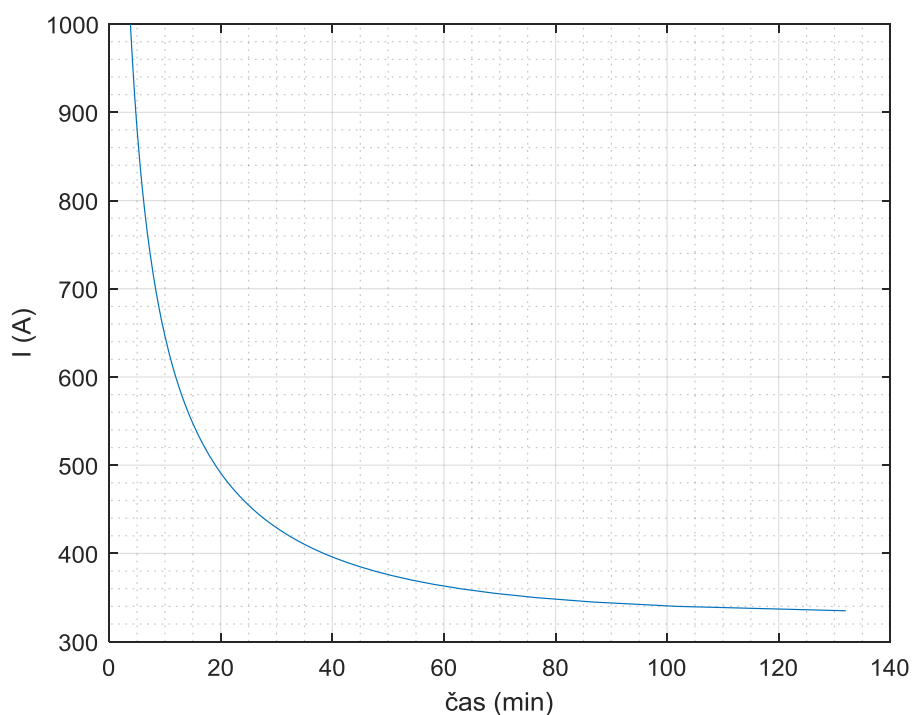
Obr. 4.4 Ověření časové konstanty: vzorek 3



Obr. 4.5 Ověření časové konstanty: vzorek 4

4.1 Odhad dovolených zatížení v krátkodobém chodu

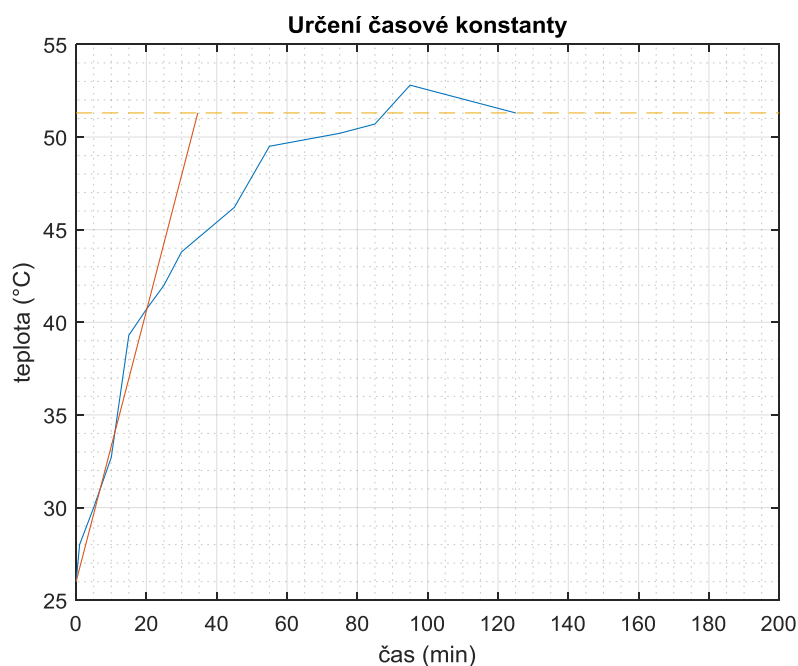
Analýza slouží k odhadu za jak dlouho naroste teplota na maximální povolenou v případě krátkodobého přetížení. Z obrázku 4.5 je vidět že zatížení 330A zařízení zvládá trvale, při zatížení 500 A je oteplení o 50 °C teoreticky dosaženo za 19 min a při zatížení 1000 A již za 230 s.



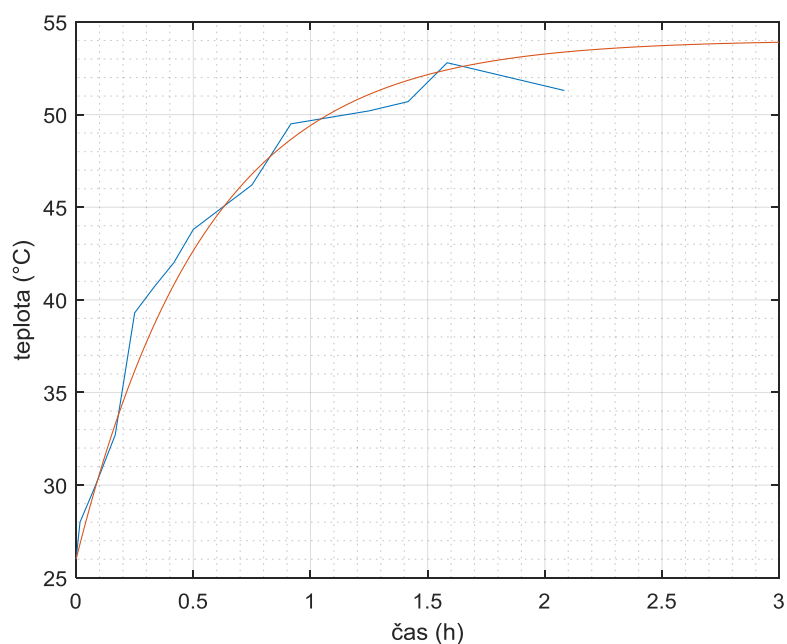
Obr. 4.5 Odhad dovoleného krátkodobého zatížení při teplotě okolí 40 °C

4.2 Analýza výsledků z měření při vyšší frekvenci

Stejně jako v předchozích případech byla z měření určena časová konstanta, jejíž hodnota z grafické konstrukce (Obr 4.6) vyšla $\tau=34,6$ min. a po překontrolování analyticky vypočteného průběhu teploty byla stanovena přesněji na 30 min. Jelikož nebyly známy vznikající ztráty vlivem skin efektu byly ztráty nalezeny změnou odporu, tak aby se ztotožnila naměřená charakteristika s vypočítanou (Obr 4.7). Za tímto účelem byly předpokládány shodné chladicí podmínky, které byly stanovené z prvního měření neboli jediná neznámá pro řešení rovnice (1), byly vznikající ztráty.



Obr. 4.6 Stanovení časové konstanty z měření při vyšší frekvenci

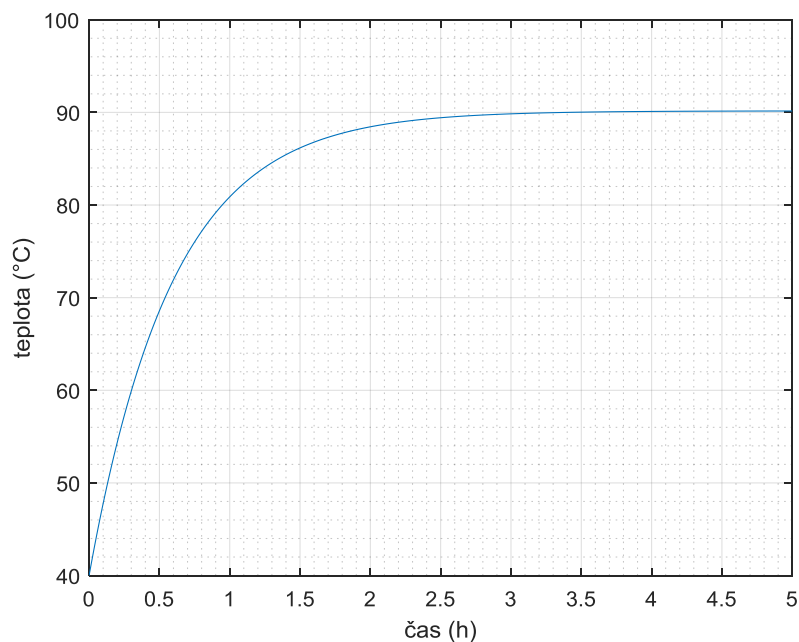


Obr. 4.7 Porovnání naměřeného průběhu oteplení v porovnání s vypočítanou charakteristikou

4.2.1 Odhad dovoleného zatížení při zatížení frekvencí 125kHz

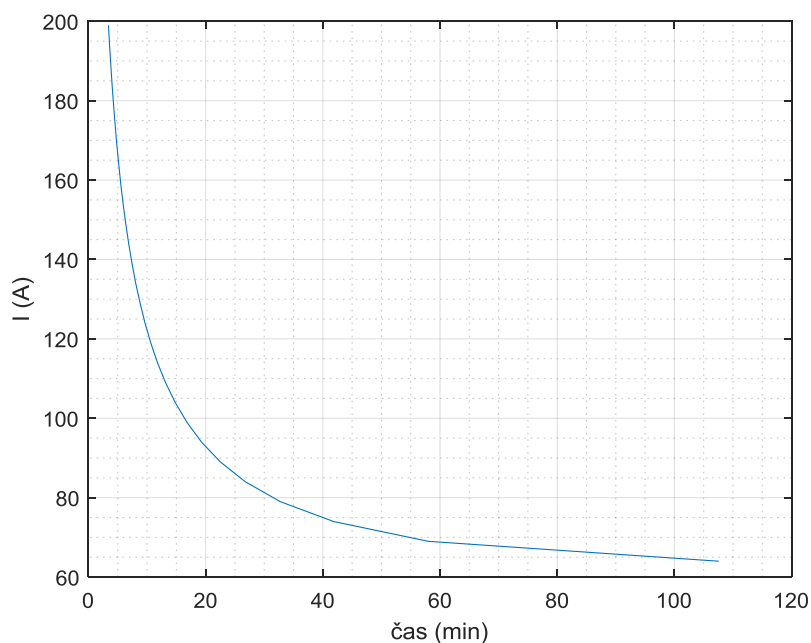
Porovnáním ustálených teplot z obou měření při 50 Hz, získáme tepelný nárůst mezi povrchem nezalitého vzorku a ustálenou teplotou vinutí zalitého vinutí v rozsahu 16 – 36 °C. V případě použité izolace v teplotní třídě B s maximální teplotou 130 °C, získáme maximální možnou teplotu při okolní teplotě 40 °C v rozsahu 94 – 114°C, přičemž pro stanovení dovoleného zatížení byla použita maximální dovolená teplota 90°C

- Trvalé zatížení S1: $I_{\max}=63\text{A}$



Obr. 4.8 Průběh oteplení při zatížení 63A v režimu trvalého zatížení

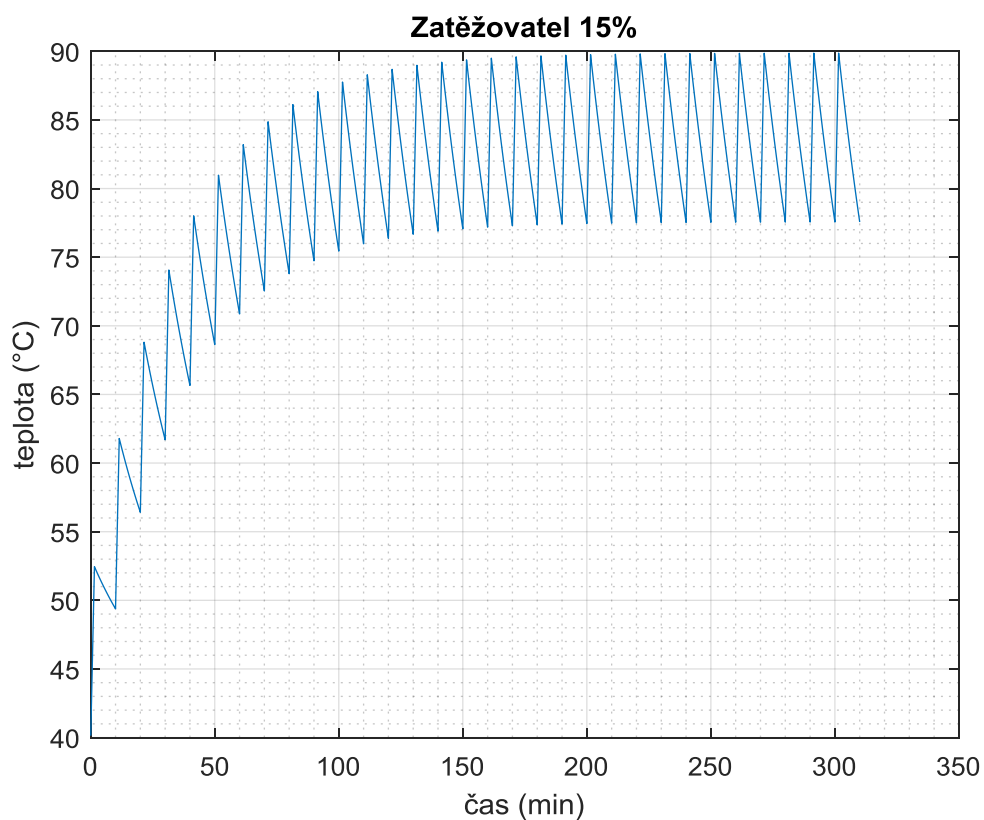
- Krátkodobý chod S2: byla vypočítána charakteristika stanovující dobu do dosažení teploty 90 °C pro různé hodnoty proudu, přičemž vychlazení na teplotu okolí trvá 2,5h.



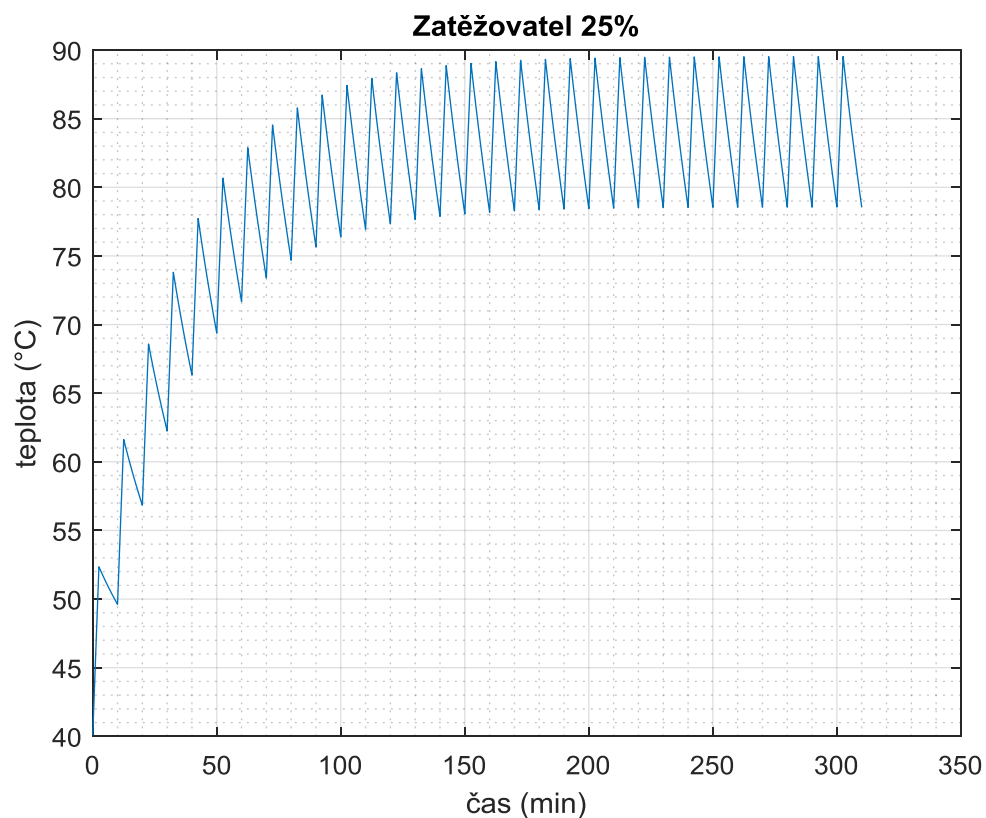
- Přerušovaný chod S3: je stanoveno zatížení pro délku jednoho pracovního cyklu $T_c=10$ min s dobou zatížení 15 %, 25 %, 40 % a 60 % z T_c .

Tab. 4.1 – Odhad dovoleného zatížení v režimu S3

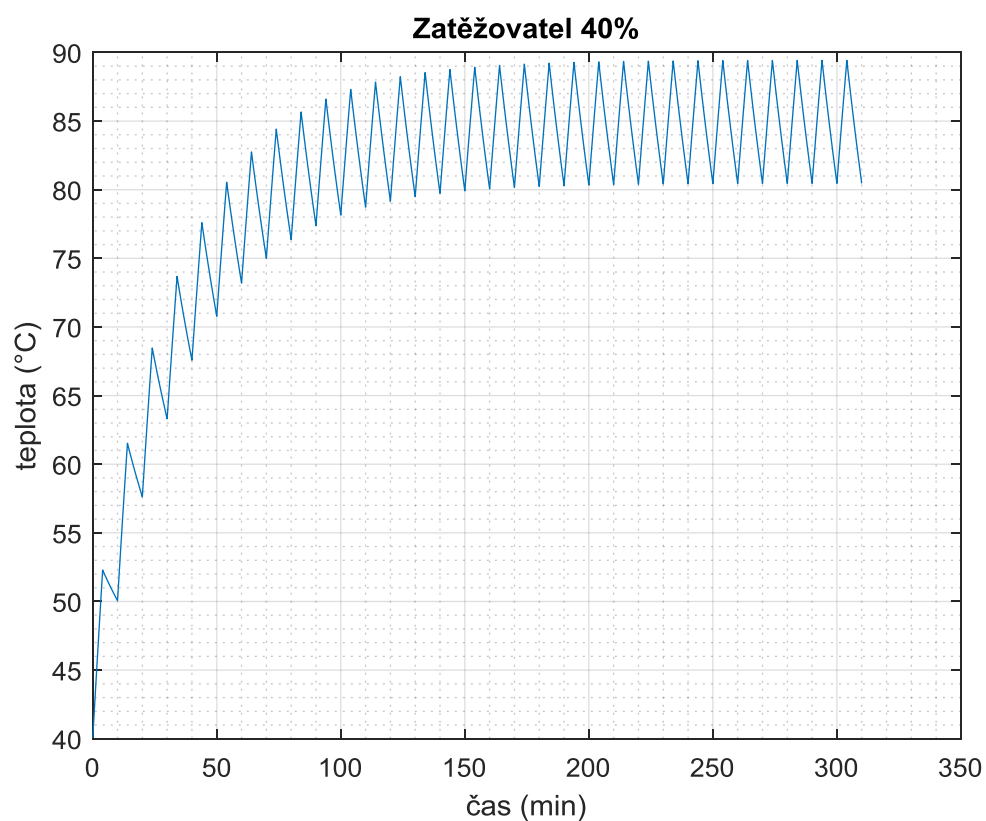
T_c	Zatěžovatel	I (A)
10 min	15 %	153
	25 %	119
	40 %	95
	60 %	79



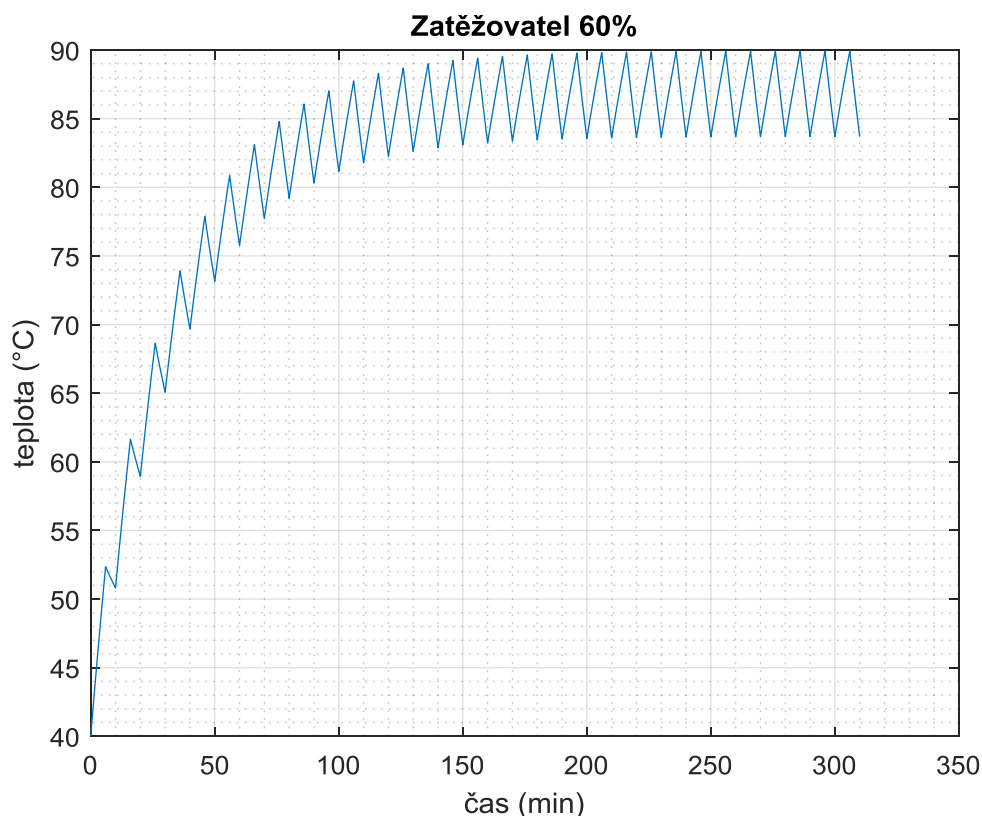
Obr. 4.10 Průběh teploty pro 125kHz v režimu zatížení S3 15%



Obr. 4.11 Průběh teploty pro 125kHz v režimu zatížení S3 25%



Obr. 4.12 Průběh teploty pro 125kHz v režimu zatížení S3 40%



Obr. 4.13 Průběh teploty pro 125kHz v režimu zatížení S3 60%

5 Shrnutí a závěry

Celkem byly pro ověření tepelných poměrů nového bezindukčního provedení 3 oteplovací zkoušky. První při jmenovitém zatížení na 50 Hz s nezalitým zařízením bez krytu z kterého byly získané potřebné parametry pro analytické analýzy zařízení, a to především koeficient přestupu tepla, tepelnou kapacitu a časovou konstantu ohřevu. Dále bylo provedeno měření zařízení v konečném krytu, stejným zatížením jako první měření, pro ověření ustálených oteplení při jmenovitém zatížení a získání nárůstu oteplení v porovnání k nezalitým vzorkům. Posledním měřením na horní hranici použitelných frekvencí, byly stanoveny tepelné poměry a tím i zatížení pro vyšší frekvence. Z provedených měření vyplývají následující závěry:

- Tepelná časová konstanta zařízení se pohybuje okolo 35 min.
- Zalití vzorků do konečného krytu způsobí nárůst teploty o 16–36 °C, z čehož vyplývá maximální dovolené oteplení nezalitých vzorků 50 °C
- Obr. 3.15 ukazuje že ustálené oteplení pro jmenovité zatížení 200 A, 50 Hz nepřesahuje 20 °C
- Analytické průběhy oteplení na Obr 4.2-4.5 ukazují že při trvalém zatížení 300 A, 50 Hz je ustálené oteplení 41 °C.
- Odhad nárůstu oteplení při zatížení 1000 A na Obr 4.5 ukazuje že při tomto zatížení je zařízení možno provozovat téměř 4 min.
- Obr 4.8 ukazuje že odhadem lze provozovat zařízení při 125kHz trvale jen na 63 A.
- Charakteristika na Obr 4.9 ukazuje zatížitelnost na 200 A, 125 kHz pouze po dobu 4 min.
- Tab 4.1 ukazuje proudy pro různé zatěžovatele v režimu S3 při zatížení 125 kHz.

Literatura

- [1] DRAŽAN, J. SKALICKÝ, M. *Calibration of Non-inductive Shunt*. Západočeská univerzita v Plzni, 2020.

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Schéma měření	5
Obr. 2.2 Pozice sledovaných teplot při měření bez krytu	5
Obr. 3.1 Naměřená teplota vzorek 1: nezalitý	9
Obr. 3.2 Naměřená teplota vzorek 2: nezalitý	9
Obr. 3.3 Naměřená teplota vzorek 3: nezalitý	10
Obr. 3.4 Naměřená teplota vzorek 4: nezalitý	10
Obr. 3.5 Průběh teploty s okolní teplotou 40 °C v relativním čase vzorek 1: nezalitý	11
Obr. 3.6 Průběh teploty s okolní teplotou 40 °C v relativním čase vzorek 2: nezalitý	11
Obr. 3.7 Průběh teploty s okolní teplotou 40 °C v relativním čase vzorek 3: nezalitý	12
Obr. 3.8 Průběh teploty s okolní teplotou 40 °C v relativním čase vzorek 4: nezalitý	12
Obr. 3.9 Průběh oteplení v relativním čase vzorek 1: nezalitý	13
Obr. 3.10 Průběh oteplení v relativním čase vzorek 2: nezalitý	13
Obr. 3.11 Průběh oteplení v relativním čase vzorek 3: nezalitý	14
Obr. 3.12 Průběh oteplení v relativním čase vzorek 4: nezalitý	14
Obr. 3.13 Porovnání teplot nezalitých vzorků	15
Obr. 3.14 Porovnání teplot s okolní teplotou 40 °C nezalitých vzorků	15
Obr. 3.15 Porovnání oteplení nezalitých vzorků	16
Obr. 3.16 Naměřená teplota vzorek 4: zalitý	17
Obr. 3.17 Průběh teploty s okolní teplotou 40 °C v relativním čase vzorek 4: zalitý	18
Obr. 3.18 Průběh oteplení v relativním čase vzorek 4: zalitý	18
Obr. 3.19 Průběh teploty při měření s vyšší frekvencí: vzorek 1	19
Obr. 3.20 Průběh teploty při měření s vyšší frekvencí s teplotou okolí 40 °C: vzorek 1	20
Obr. 3.21 Oteplení při měření s vyšší frekvencí: vzorek 1	20
Obr. 4.1 Konstrukce pro stanovení časové konstanty	21
Obr. 4.2 Ověření časové konstanty: vzorek 1	22
Obr. 4.3 Ověření časové konstanty: vzorek 2	23
Obr. 4.4 Ověření časové konstanty: vzorek 3	23
Obr. 4.5 Ověření časové konstanty: vzorek 4	24
Obr. 4.5 Odhad dovoleného krátkodobého zatížení při teplotě okolí 40 °C	24
Obr. 4.6 Stanovení časové konstanty z měření při vyšší frekvenci	25
Obr. 4.7 Porovnání naměřeného průběhu oteplení v porovnání s vypočítanou charakteristikou	25
Obr. 4.8 Průběh oteplení při zatížení 63A v režimu trvalého zatížení	26
Obr. 4.9 Zatěžovací křivka pro 125kHz v režimu zatížení S2	27
Obr. 4.10 Průběh teploty pro 125kHz v režimu zatížení S3 15%	27
Obr. 4.11 Průběh teploty pro 125kHz v režimu zatížení S3 25%	28
Obr. 4.12 Průběh teploty pro 125kHz v režimu zatížení S3 40%	28
Obr. 4.13 Průběh teploty pro 125kHz v režimu zatížení S3 60%	29

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum	Jméno
0	Všechny	Publikování dokumentu	24.8.2021	M. Skalický, J. Dražan