

2014

# Finální zpráva

MĚŘENÍ PARAMETRŮ KOMPRESOROVÉ  
JEDNOTKY NAPÁJENÉ Z REGULÁTORU FA  
ERAM SPOL S R.O.

doc. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D.

únor 2014



## **Obsah**

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Měřicí přístroj</b> .....	<b>4</b>
2.1	Metoda měření a výpočtu .....	4
<b>3</b>	<b>Místo měření</b> .....	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Průběh měření</b> .....	<b>8</b>
4.1	Popis jednotlivých fází měření .....	9
<b>5</b>	<b>Výsledky měření</b> .....	<b>10</b>
5.1	Výsledky měření č.1.....	10
5.2	Výsledky měření č.2.....	10
5.3	Výsledky měření č.3.....	10
5.4	Výsledky měření č.4.....	10
5.5	Srovnání měření č.1 a č.3 .....	11
5.6	Srovnání měření č.2 a č.4 .....	11
<b>6</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Příloha č.1</b> .....	<b>13</b>

## **1 Úvod**

V průběhu dne 5.2.2014 v rozmezí 9:30-13:00 hodin bylo v areálu firmy ERAM, s.r.o. provedeno měření elektrických veličin na vstupu napájení rozváděče, ve kterém byl umístěn regulátor fa ERAM spol. s r.o. napájejícího kompresorovou stanicí.

Cílem měření bylo stanovení průměrné spotřeby elektrické energie v jednotlivých pracovních stavech měřených zařízení.

## 2 Měřicí přístroj

Příkon do rozváděče byl měřen pomocí analyzátoru BK-ELCOM provedení ENA 500 (bližší informace o technických vlastnostech tohoto měřicího přístroje jsou k dispozici na [www.elcom.cz](http://www.elcom.cz)).

Parametry přístroje: síťový analyzátor ENA 500, sériové číslo EVIP070449

Příslušenství: proudové smyčky AMPFLEX (30 A, 300 A, 3000 A).

### 2.1 Metoda měření a výpočtu

Požadované veličiny jsou matematicky určovány následovně:

$$\text{efektivní hodnota napětí (TRUE RMS)} \quad U_{\text{RMS}} = \frac{1}{128} \sqrt{\sum_{n=1}^{128} U_n^2} \quad (\text{V}) \quad (1)$$

$$\text{efektivní hodnota proudu (TRUE RMS)} \quad I_{\text{RMS}} = \frac{1}{128} \sqrt{\sum_{n=1}^{128} I_n^2} \quad (\text{A}) \quad (2)$$

$$\text{průměrná hodnota napětí} \quad U_{\text{U,V,W}} = \sqrt{\frac{U_{\text{U}}^2 + U_{\text{V}}^2 + U_{\text{W}}^2}{3}} \quad (\text{V}) \quad (3)$$

$$\text{střední hodnota proudu} \quad I_{\text{U,V,W}} = \frac{I_{\text{U}} + I_{\text{V}} + I_{\text{W}}}{3} \quad (\text{A}) \quad (4)$$

$$\text{zdánlivý výkon} \quad S = U_{\text{RMS}} I_{\text{RMS}} \quad (\text{V} \cdot \text{A}) \quad (5)$$

$$\text{činný výkon} \quad P = \frac{1}{128} \sum_{n=1}^{128} U_n I_n \quad (\text{W}) \quad (6)$$

$$\text{činitel výkonu} \quad PF, \lambda = \frac{P}{S} \quad (-) \quad (7)$$

$$\text{jalový výkon} \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (\text{var}) \quad (8)$$

$$\text{činný výkon 1. harmonické} \quad P = U_1 I_1 \cos(\varphi_{\text{U1}} - \varphi_{\text{I1}}) \quad (\text{W}) \quad (9)$$

jalový výkon 1. harmonické  $Q = U_1 I_1 \sin(\varphi_{U1} - \varphi_{I1})$  (var) (10)

účinník 1. harmonické  $dPF, \cos \varphi = \cos(\varphi_{U1} - \varphi_{I1})$  (-) (11)

celkový zdánlivý výkon  $S_{U,V,W} = S_U + S_V + S_W$  (V·A) (12)

celkový činný výkon  $P_{U,V,W} = P_U + P_V + P_W$  (W) (13)

celkový jalový výkon  $Q_{U,V,W} = Q_U + Q_V + Q_W$  (var) (14)

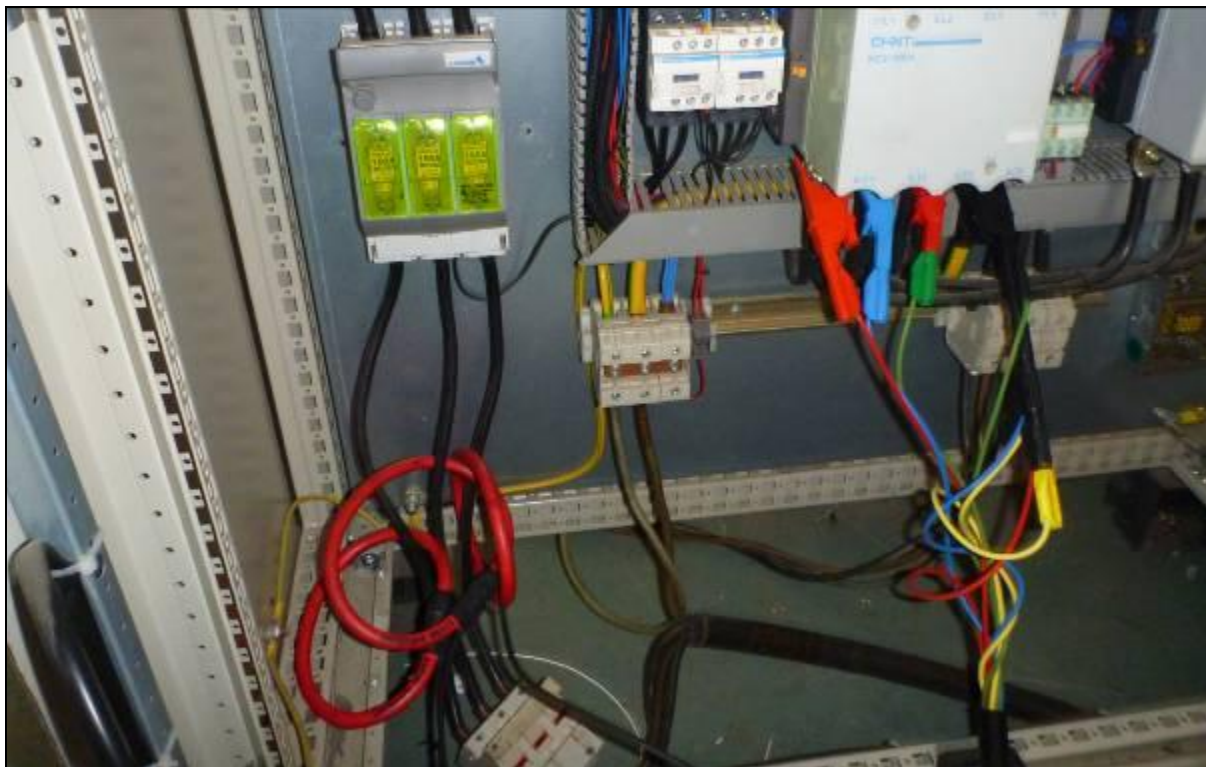
celkový činitel výkonu  $PF_{U,V,W}, \lambda = \frac{P_{U,V,W}}{S_{U,V,W}}$  (-) (17)

### 3 Místo měření

Síťový analyzátor byl připojen na vstupu do rozváděče, kde byl umístěn regulátor, který slouží k napájení připojeného kompresoru. Měření napětí i proudů bylo přímé, bez použití měřicích transformátorů. Místo připojení analyzátoru je zobrazeno na obr. 3-1, detail připojení potom na obr. 3-2.



**obr. 3-1 Místo připojení analyzátoru.**



obr. 3-2 Detail připojení napěťových a proudových senzorů.

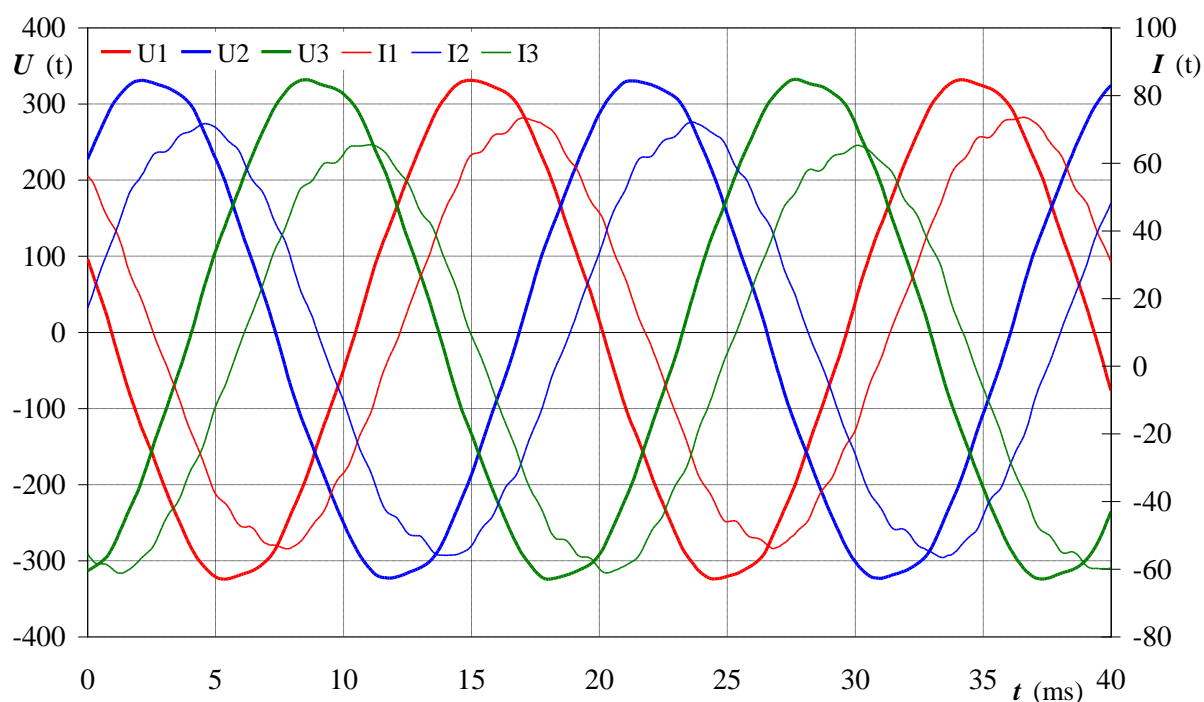
Z rozváděče zobrazeného na obr. 3-1 byl napájen kompresor, který je zobrazen na obr. 3-3. Na výstupu z kompresoru byl připojen průtokoměr pro sledování průběhu mechanických veličin, opět viz. obr. 3-3.



obr. 3-3 Kompresor napájený z rozváděče a průtokoměr.

## 4 Průběh měření

Dne 5.2.2014 v době mezi 9:30 až 13:00 byl připojen síťový analyzátor na výše specifikované místo měření. Po instalaci bylo spuštěno měření a ukládání naměřených dat. Přístroj byl nastaven pro záznam 200 milisekundových okamžitých hodnot napětí a proudu, ze kterých byly následně určeny efektivní hodnoty napětí, proudů, činného a jalového výkonu, činitele výkonu (resp. účinníku) a dalších hodnot elektrických veličin. Příklad okamžitých hodnot napětí a proudu pro výpočet ostatních sledovaných veličin je zobrazen na obr. 4-1.



obr. 4-1 Příklad okamžitých hodnot napětí a proudu pro výpočet sledovaných veličin

Měření a záznam probíhal kontinuálně až do 13:00, kdy bylo provedeno odinstalování přístroje.



## 4.1 Popis jednotlivých fází měření

### Měření č.1

- bez využití regulace tzv. „BY-PASS“ režim
- vyhodnocované časové okno 9:31 – 10:00
- napětí na výstupu z regulátoru stejné jako na vstupu
- hodnota tlaku 0,83 MPa
- hodnota průtoku  $210 \text{ Nm}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$

### Měření č.2

- bez využití regulace tzv. „BY-PASS“ režim
- vyhodnocované časové okno 10:05 – 10:20
- napětí na výstupu z regulátoru stejné jako na vstupu
- hodnota tlaku 0 MPa (provoz naprázdno)
- hodnota průtoku  $0 \text{ Nm}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$  (provoz naprázdno)

### Měření č.3

- provoz s regulací
- vyhodnocované časové okno 10:31 – 10:45
- napětí na výstupu z regulátoru 188 V
- hodnota tlaku 0,73 MPa
- hodnota průtoku  $210 \text{ Nm}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$

### Měření č.4

- provoz s regulací
- vyhodnocované časové okno 10:48 – 11:07
- napětí na výstupu z regulátoru 188 V
- hodnota tlaku 0 MPa (provoz naprázdno)
- hodnota průtoku  $0 \text{ Nm}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$  (provoz naprázdno)

tab. 4-1 Přehled parametrů jednotlivých fází měření.

Číslo měření	Regulace	Časové okno	Výstupní napětí (V)	Tlak (MPa)	Průtok ( $\text{Nm}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ )
1	NE	9:31 – 10:00	Jako vstupní	0,83	210
2	NE	10:05 – 10:20	Jako vstupní	0	0
3	ANO	10:31 – 10:45	188	0,73	210
4	ANO	10:48 – 11:07	188	0	0

## 5 Výsledky měření

V každém časovém úseku měření byly z naměřených hodnot vypočteny relevantní statistické veličiny, konkrétně minimum, maximum a průměrná hodnota. Tyto hodnoty byly vypočteny pro napětí, proud, činný a jalový výkon a účinník.

Získané vypočtené hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách. Příklad průběhů sledovaných veličin pro měření č.1 jsou uvedeny v příloze č.1

### 5.1 Výsledky měření č.1

tab. 5-1 Statistické vyhodnocení měření č.1.

	U (V)	I (A)	P (W)	Q (var)	$\lambda$ (-)
<b>Minimum</b>	224,77	44,36	24287,49	17781,13	0,78
<b>Maximum</b>	233,11	49,69	27651,01	19940,92	0,81
<b>Průměr</b>	228,61	45,76	<b>25164,47</b>	18742,17	0,80

### 5.2 Výsledky měření č.2

tab. 5-2 Statistické vyhodnocení měření č.2.

	U (V)	I (A)	P (W)	Q (var)	$\lambda$ (-)
<b>Minimum</b>	229,58	24,84	5151,11	15607,05	0,37
<b>Maximum</b>	234,10	26,14	7294,83	16912,90	0,42
<b>Průměr</b>	232,63	25,60	<b>7037,31</b>	16417,88	0,39

### 5.3 Výsledky měření č.3

tab. 5-3 Statistické vyhodnocení měření č.3.

	U (V)	I (A)	P (W)	Q (var)	$\lambda$ (-)
<b>Minimum</b>	229,63	38,22	22706,52	13833,68	0,85
<b>Maximum</b>	232,64	39,29	23216,77	14223,70	0,86
<b>Průměr</b>	231,46	38,73	<b>22948,98</b>	14007,03	0,85

### 5.4 Výsledky měření č.4

tab. 5-4 Statistické vyhodnocení měření č.4.

	U (V)	I (A)	P (W)	Q (var)	$\lambda$ (-)
<b>Minimum</b>	232,62	15,11	5841,76	8776,73	0,55
<b>Maximum</b>	234,85	16,28	6914,84	9142,62	0,61
<b>Průměr</b>	233,80	15,90	<b>6593,02</b>	8986,09	0,59

### 5.5 Srovnání měření č.1 a č.3

Dále byly srovnány hodnoty získané z naměřených hodnot pro měření č.1 a měření č.3. Pro výpočet byly použity průměrné hodnoty činného výkonu (v tabulkách označeny červeně) z tab. 5-1 a tab. 5-3.

$$\Delta P(\%) = 100 - \left( \frac{P_3}{P_1} \cdot 100 \right) = 100 - \left( \frac{22948,98}{25164,47} \cdot 100 \right) = 8,80 \%$$

Lze tedy konstatovat, že při využití regulace dojde k úspoře 8,80 % spotřebované elektrické energie.

### 5.6 Srovnání měření č.2 a č.4

Obdobně jako v případě hodnot z měření č.1 a č.3 bylo provedeno srovnání hodnot pro měření č.2 a č.4. Opět byly použity průměrné hodnoty činného výkonu z tab. 5-2 a tab. 5-4.

$$\Delta p(\%) = 100 - \left( \frac{P_4}{P_2} \cdot 100 \right) = 100 - \left( \frac{6593,02}{7037,31} \cdot 100 \right) = 6,31 \%$$

Lze tedy konstatovat, že při využití regulace dojde k úspoře 6,31 % spotřebované elektrické energie.

**tab. 5-5 Výsledné srovnání pro různé režimy zatížení**

Změna při regulaci	Činný výkon – pokles (%)	Proud – pokles (%)
Naprázdko	6,3	37,9
Při zatížení	8,8	15,4

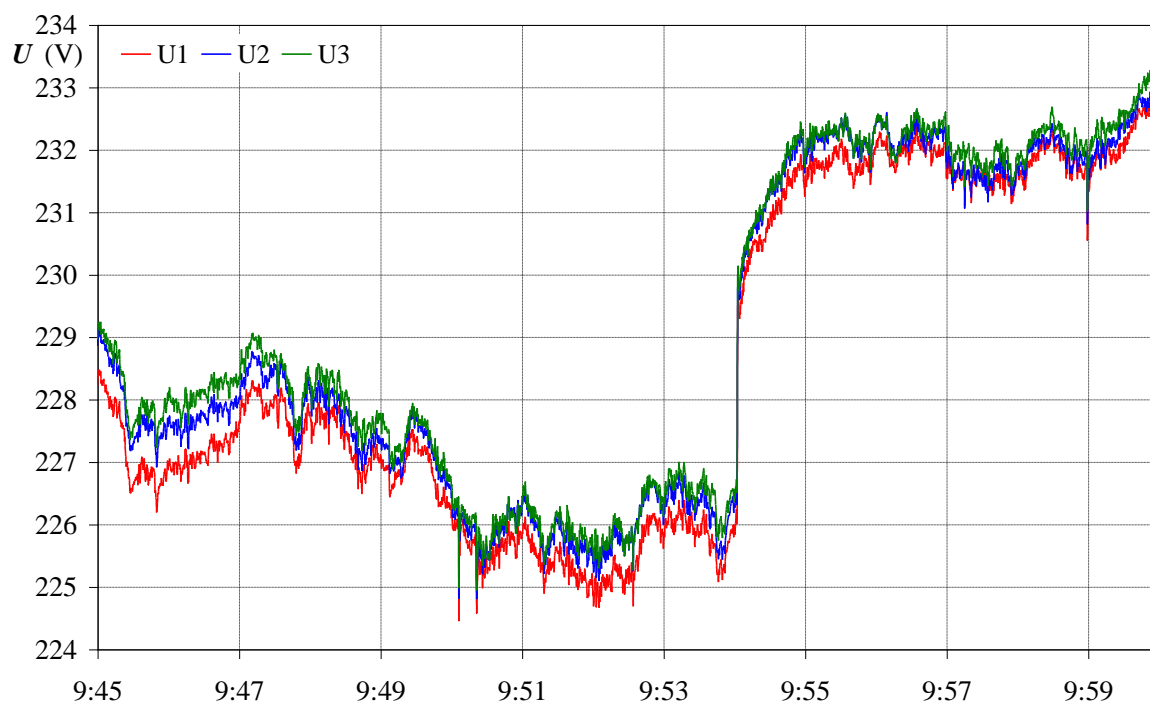
## 6 Závěr

V rámci experimentálního měření byly sledovány toky výkonu na vstupu do rozváděče fa ERAM spol. s r.o., který byl osazen regulátorem pro napájení kompresorové stanice. Konkrétně byly měřeny časové průběhy napětí a proudu pro jednotlivé fáze a z těchto hodnot pak určeny požadované veličiny. Příklad časového průběhu napětí a proudu je na obr. 4-1.

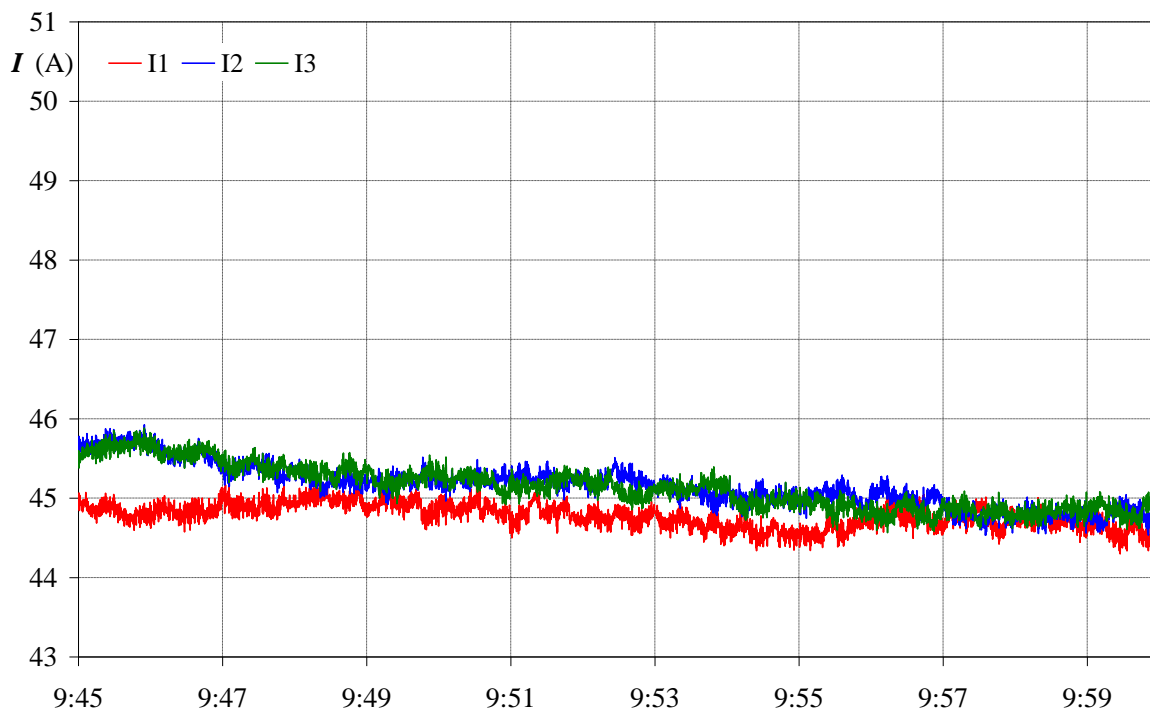
Měření bylo uskutečněno pro dvě základní varianty provozu: stav zatížení a stav naprázdno s možností napájení kompresorové stanice bez regulace výkonu (by-pass systém) a s regulací pomocí regulátoru fa ERAM spol s r.o. Vyhodnocení jednotlivých variant měření uvádí tabulky 5.1 – 5.4, detailní časové průběhy sledovaných veličin jsou k nahlédnutí v příloze 1.

Při srovnání relevantních variantních provozů, konkrétně srovnání stavu při zatížení s regulací a bez regulace (měření 1 a 3), a stavu naprázdno s regulací a bez regulace (měření 2 a 4) byla dále vypočtena úspora příkonu (resp. energie pro daný časový interval) pro napájení kompresorové stanice. **Konkrétně pro stav při zatížení byla vypočtena úspora energie cca 8,8%, pokles proudu na vstupu o 15,4% a pro stav naprázdno úspora energie 6,31% pokles proudu na vstupu o 37,9% viz. kapitola 5.5. Výsledné srovnání vybraných veličin pro různé provozní stavy je v tabulce 5-5.**

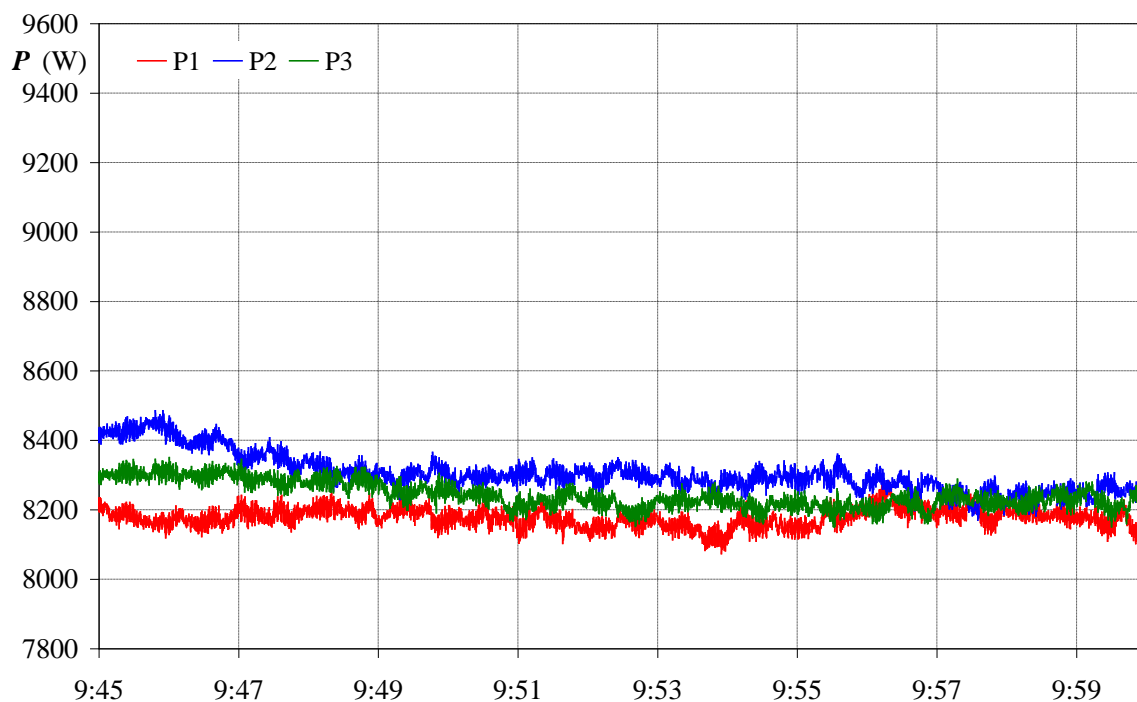
## 7 Příloha č.1



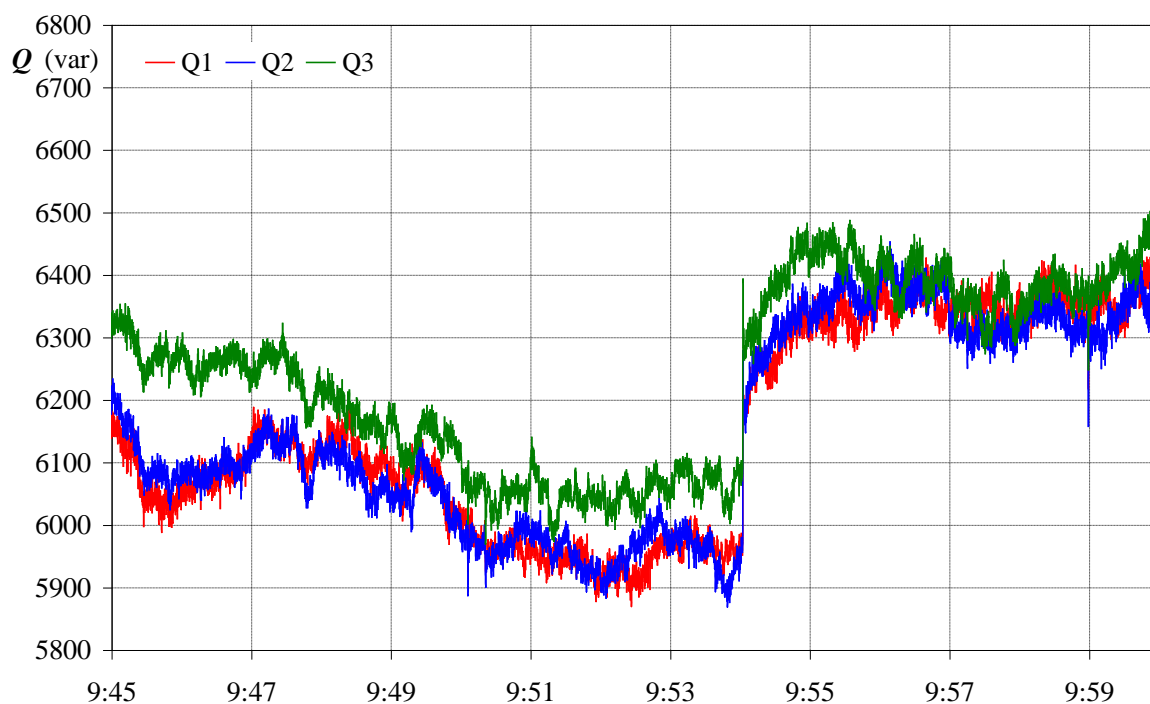
obr. 7-1 Průběh efektivních hodnot napětí pro časový úsek měření č.1.



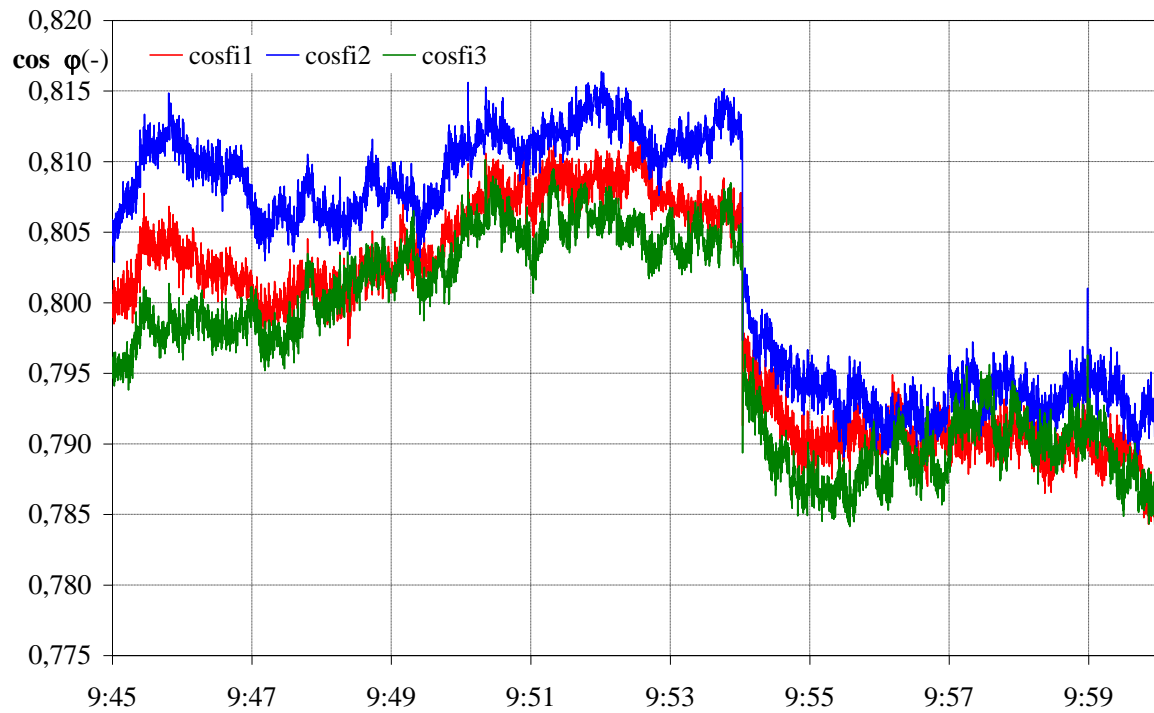
obr. 7-2 Průběh efektivních hodnot proudů pro časový úsek měření č.1.



obr. 7-3 Průběh činného výkonu v jednotlivých fázích pro časový úsek měření č.1.



obr. 7-4 Průběh jalového výkonu v jednotlivých fázích pro časový úsek měření č.1.



obr. 7-5 Průběh účinníku v jednotlivých fázích pro časový úsek měření č.1.