



**FAKULTA  
ELEKTROTECHNICKÁ  
ZÁPADOČESKÉ  
UNIVERZITY  
V PLZNI**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

# **ELEKTRICKÉ STROJE**

Laboratorní cvičení

LS 2015/2016

## **Měření asynchronního motoru II./III.**

**Měřicí tým:** Balatka Josef, Kaska Jan, Pretl Tomáš, Zeisek Jakub

**Cvičení:** St 9-10

**Elaborát zpracoval:** Kaska Jan

**Datum měření:** 30.3.2016

**Datum vypracování:** 22.4.2016

# 1 Zadání

Proveďte měření naprázdno na asynchronním motoru o výkonu (AM1=7,5 kW, AM2=0,6 kW, AM3=5,5kW, AM4=2,2 kW). Měření proveďte od jmenovitého napájecího napětí směrem k hodnotám nižším. Stroj na svorkovnici zapojte tak (Y nebo D), aby jmenovité napětí bylo 380 resp. 400V.

Dále změřte Ohmovou metodou odpory vinutí statoru. Proveďte rozdělení ztrát na všechny tři složky.

Naměřené a vypočtené hodnoty zpracujte tabelárně a pro obě varianty měření graficky vynesete závislosti:

- $U_0=f(I_0)$  pro průměrné hodnoty stanovené ze všech 3f
- $P_0=f(U_0)$ ,  $Q_0=f(U_0)$  (celková 3f hodnota, součet všech 3f)
- $\cos \varphi_0 = f(I_0)$ ,  $\cos \varphi_0 = f(U_0)$
- $\Delta P_{Fe}=f(U_0)$ ,  $\Delta P_J=f(U_0)$ ,  $\Delta P_m=f(U_0)$

Ve zhodnocení měření uveďte:

- odpory vinutí jednotlivých fází asynchronního motoru
- ztráty v jednotlivých částech asynchronního motoru pro jmenovité napájecí napětí
- proud naprázdno asynchronního motoru pro jmenovité napájecí napětí
- váš názor, zda je asynchronní motor na základě provedeného měření provozuschopný

## 2 Teoretický úvod

### Asynchronní motor

Statorové vinutí je napájeno třífázovým napětím, které v něm vyvolá souměrný střídavý proud. Protékající třífázový proud generuje ve statoru točivé EM pole. Toto pole rotuje synchronní úhlovou rychlostí. Tato rychlost je úměrná synchronním otáčkám, ty závisí na frekvenci napájecího napětí AM a počtu pólových dvojic (pólpárů). Rotující EM pole indukuje napětí do vodičů rotorového vinutí nakrátko. Indukované napětí vyvolá v klecovém vinutí rotoru elektrický proud.

### Měření AM naprázdno

Příkon naprázdno  $P_0$  je spotřebován na pokrytí ztrát ve vinutí statoru (Jouleovy), ztrát mechanických a ztrát v železe. Jouleovy ztráty  $\Delta P_J$  jsou podstatně malé (vlivem malého  $I_0$ ). Ztráty v železe  $\Delta P_{Fe}$  jsou dány ztrátami hysterezními a ztrátami vířivými proudy. Mechanické ztráty  $\Delta P_m$  jsou způsobeny třením otáčejícího se rotoru v úzké vzduchové mezeře, ventilačními ztrátami, atd. Ztráty v železe rotoru i ve vinutí rotoru jsou zanedbatelné, protože skluz je při chodu naprázdno velmi malý.

## 3 Měření

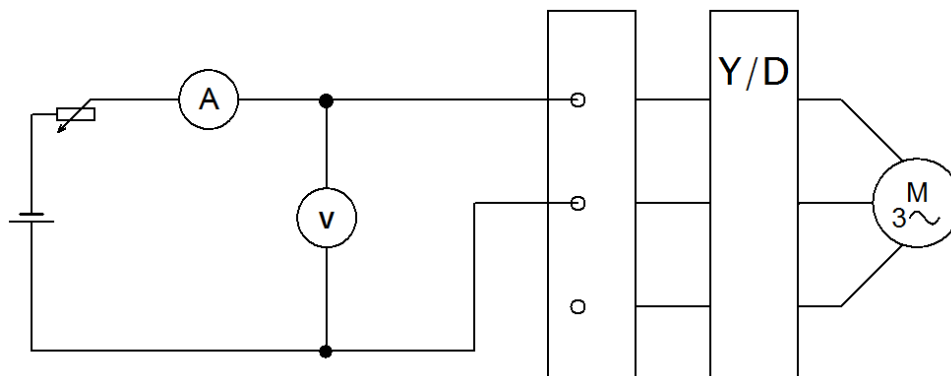
Svorky asynchronního motoru byly nejprve zapojeny do jedné z variant (hvězda, trojúhelník) a následně připojeny k zdroji střídavého napětí. Motor byl nejprve roztočen na jmenovité otáčky (2610 ot/min) při jmenovitém napětí (380 V pro hvězdu, 220 V pro trojúhelník) a následně bylo snižováno napětí po přibližně stejných hodnotách, zatímco měřicí přístroj DMK32 odečítal hodnoty napětí, proudů a výkonů. Při určitých hodnotách napětí začal narůstat proud a měření bylo z důvodu bezpečnosti motoru ukončeno. Měření proběhlo pro obě varianty zapojení (hvězda, trojúhelník). Hodnoty proudů a výkonů bylo nutno následně vynásobit konstantou 2/5.

### 3.1 Štítek měřeného stroje

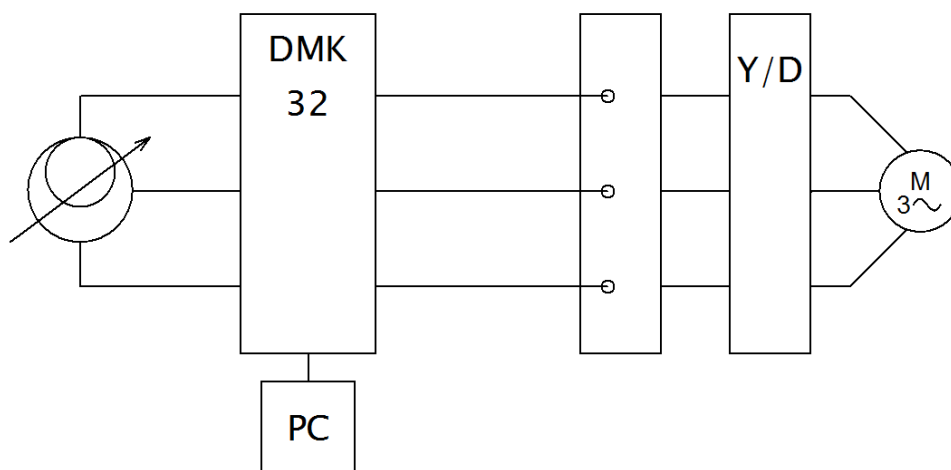
Tab. 1: Štítek měřeného stroje

Mot 3~
Y 380 / Δ 220 V
2610 ot/min
1,6 - 2,77 A

### 3.2 Schéma zapojení



Obrázek 1: Zapojení pro měření odporů vinutí



Obrázek 2: Zapojení pro měření pomocí DMK32

### 3.3 Naměřené a vypočítané hodnoty

Tab. 2: Hodnoty odporů vinutí

R <sub>1</sub>	[Ω]	9,44
R <sub>2</sub>	[Ω]	10,5
R <sub>3</sub>	[Ω]	9,44
R <sub>průměrný</sub>	[Ω]	9,79

Tab. 3: Naměřené hodnoty

U <sub>L1L2</sub>	U <sub>L2L3</sub>	U <sub>L3L1</sub>	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>	P <sub>L1</sub>	P <sub>L2</sub>	P <sub>L3</sub>	Q <sub>L1</sub>	Q <sub>L2</sub>	Q <sub>L3</sub>
[V]	[V]	[V]	[A]	[A]	[A]	[W]	[W]	[W]	[VAr]	[VAr]	[VAr]
<b>Zapojení do hvězdy (Y)</b>											
385,00	384,00	382,00	2,22	2,10	2,14	197,00	190,00	167,00	463,00	434,00	450,00
365,00	364,00	362,00	2,04	1,92	1,95	186,00	185,00	165,00	390,00	364,00	381,00
347,00	346,00	345,00	1,88	1,80	1,83	178,00	171,00	157,00	339,00	318,00	331,00
320,00	319,00	318,00	1,74	1,67	1,65	164,00	170,00	153,00	273,00	255,00	261,00
305,00	304,00	302,00	1,65	1,59	1,57	162,00	164,00	148,00	245,00	228,00	233,00
285,00	284,00	283,00	1,58	1,51	1,49	157,00	157,00	145,00	207,00	191,00	197,00
266,00	265,00	264,00	1,52	1,46	1,43	152,00	152,00	140,00	176,00	162,00	169,00
245,00	244,00	243,00	1,47	1,43	1,39	146,00	148,00	136,00	148,00	135,00	139,00
214,00	214,00	213,00	1,45	1,40	1,37	142,00	141,00	132,00	109,00	99,00	105,00
194,00	193,00	192,00	1,47	1,44	1,39	137,00	137,00	129,00	89,00	82,00	85,00
183,00	182,00	181,00	1,50	1,46	1,40	137,00	135,00	125,00	82,00	74,00	76,00
171,00	170,00	170,00	1,54	1,50	1,46	133,00	133,00	127,00	73,00	66,00	66,00
145,00	144,00	144,00	1,71	1,64	1,60	130,00	127,00	120,00	61,00	47,00	55,00
145,00	144,00	144,00	1,71	1,66	1,61	131,00	129,00	123,00	60,00	54,00	56,00
127,00	125,00	126,00	1,89	1,82	1,78	129,00	124,00	119,00	52,00	45,00	50,00
<b>Zapojení do trojúhelníka (D)</b>											
232,00	231,00	230,00	4,25	4,05	4,13	209,00	204,00	185,00	527,00	496,00	513,00
231,00	232,00	231,00	5,02	3,77	3,07	203,00	278,00	71,00	540,00	335,00	339,00
210,00	211,00	210,00	4,30	3,24	2,73	211,00	278,00	75,00	476,00	274,00	322,00
196,00	197,00	196,00	3,97	2,95	2,49	200,00	251,00	77,00	402,00	221,00	271,00
190,00	191,00	189,00	3,78	2,86	2,36	196,00	242,00	78,00	369,00	205,00	248,00
176,00	176,00	175,00	3,59	2,67	2,21	194,00	222,00	77,00	311,00	160,00	211,00
166,00	166,00	166,00	3,43	2,54	2,15	191,00	204,00	81,00	270,00	131,00	189,00
156,00	156,00	156,00	3,33	2,46	2,08	188,00	194,00	85,00	234,00	106,00	168,00
145,00	145,00	144,00	3,24	2,43	1,99	184,00	184,00	88,00	200,00	88,00	144,00
135,00	135,00	134,00	3,22	2,43	1,96	180,00	177,00	89,00	174,00	69,00	125,00
122,00	122,00	121,00	3,24	2,41	2,00	179,00	163,00	91,00	143,00	50,00	107,00
108,00	108,00	108,00	3,39	2,52	2,08	176,00	154,00	93,00	117,00	30,00	94,00
95,00	95,00	95,00	3,58	2,65	2,17	174,00	147,00	89,00	100,00	0,00	81,00
83,00	83,00	82,00	3,67	2,75	2,26	160,00	133,00	86,00	80,00	0,00	68,00

Tab. 4: Vypočítané hodnoty

$U_0$	$I_0$	$I_{L1S}$	$I_{L2S}$	$I_{L3S}$	$P_{L1S}$	$P_{L2S}$	$P_{L3S}$	$Q_{L1S}$	$Q_{L2S}$	$Q_{L3S}$
[V]	[A]	[A]	[A]	[A]	[W]	[W]	[W]	[VAr]	[VAr]	[VAr]
<b>Zapojení do hvězdy (Y)</b>										
383,67	0,86	0,89	0,84	0,86	78,80	76,00	66,80	185,20	173,60	180,00
363,67	0,79	0,82	0,77	0,78	74,40	74,00	66,00	156,00	145,60	152,40
346,00	0,73	0,75	0,72	0,73	71,20	68,40	62,80	135,60	127,20	132,40
319,00	0,67	0,70	0,67	0,66	65,60	68,00	61,20	109,20	102,00	104,40
303,67	0,64	0,66	0,64	0,63	64,80	65,60	59,20	98,00	91,20	93,20
284,00	0,61	0,63	0,60	0,60	62,80	62,80	58,00	82,80	76,40	78,80
265,00	0,59	0,61	0,58	0,57	60,80	60,80	56,00	70,40	64,80	67,60
244,00	0,57	0,59	0,57	0,56	58,40	59,20	54,40	59,20	54,00	55,60
213,67	0,56	0,58	0,56	0,55	56,80	56,40	52,80	43,60	39,60	42,00
193,00	0,57	0,59	0,58	0,56	54,80	54,80	51,60	35,60	32,80	34,00
182,00	0,58	0,60	0,58	0,56	54,80	54,00	50,00	32,80	29,60	30,40
170,33	0,60	0,62	0,60	0,58	53,20	53,20	50,80	29,20	26,40	26,40
144,33	0,66	0,68	0,66	0,64	52,00	50,80	48,00	24,40	18,80	22,00
144,33	0,66	0,68	0,66	0,64	52,40	51,60	49,20	24,00	21,60	22,40
126,00	0,73	0,76	0,73	0,71	51,60	49,60	47,60	20,80	18,00	20,00
<b>Zapojení do trojúhelníka (D)</b>										
231,00	1,66	1,70	1,62	1,65	83,60	81,60	74,00	210,80	198,40	205,20
231,33	1,58	2,01	1,51	1,23	81,20	111,20	28,40	216,00	134,00	135,60
210,33	1,37	1,72	1,30	1,09	84,40	111,20	30,00	190,40	109,60	128,80
196,33	1,25	1,59	1,18	1,00	80,00	100,40	30,80	160,80	88,40	108,40
190,00	1,20	1,51	1,14	0,94	78,40	96,80	31,20	147,60	82,00	99,20
175,67	1,13	1,44	1,07	0,88	77,60	88,80	30,80	124,40	64,00	84,40
166,00	1,08	1,37	1,02	0,86	76,40	81,60	32,40	108,00	52,40	75,60
156,00	1,05	1,33	0,98	0,83	75,20	77,60	34,00	93,60	42,40	67,20
144,67	1,02	1,30	0,97	0,80	73,60	73,60	35,20	80,00	35,20	57,60
134,67	1,01	1,29	0,97	0,78	72,00	70,80	35,60	69,60	27,60	50,00
121,67	1,02	1,30	0,96	0,80	71,60	65,20	36,40	57,20	20,00	42,80
108,00	1,07	1,36	1,01	0,83	70,40	61,60	37,20	46,80	12,00	37,60
95,00	1,12	1,43	1,06	0,87	69,60	58,80	35,60	40,00	0,00	32,40
82,67	1,16	1,47	1,10	0,90	64,00	53,20	34,40	32,00	0,00	27,20

Tab. 5: Vypočítané hodnoty

$P_0$	$Q_0$	$\Delta P_j$	$\Delta P_{Fe} + \Delta P_m$	$\Delta P_{Fe}$	$\cos(\varphi_0)$
[W]	[VAr]	[W]	[W]	[W]	[-]
<b>Zapojení do hvězdy (Y)</b>					
221,60	538,80	21,79	199,81	92,11	0,09
214,40	454,00	18,24	196,16	88,46	0,10
202,40	395,20	15,85	186,55	78,85	0,11
194,80	315,60	13,37	181,43	73,73	0,12
189,60	282,40	12,08	177,52	69,82	0,13
183,60	238,00	10,95	172,65	64,95	0,14
177,60	202,80	10,15	167,45	59,75	0,15
172,00	168,80	9,61	162,39	54,69	0,17
166,00	125,20	9,30	156,70	49,00	0,18
161,20	102,40	9,65	151,55	43,85	0,19
158,80	92,80	9,93	148,87	41,17	0,20
157,20	82,00	10,57	146,63	38,93	0,20
150,80	65,20	12,79	138,01	30,31	0,21
153,20	68,00	12,95	140,25	32,55	0,21
148,80	58,80	15,74	133,06	25,36	-
<b>Zapojení do trojúhelníka (D)</b>					
239,20	614,40	80,67	158,53	117,49	0,09
220,80	485,60	73,44	147,36	106,32	0,08
225,60	428,80	55,07	170,53	129,49	0,10
211,20	357,60	46,23	164,97	123,93	0,11
206,40	328,80	42,29	164,11	123,07	0,12
197,20	272,80	37,46	159,74	118,70	0,13
190,40	236,00	34,43	155,97	114,93	0,14
186,80	203,20	32,34	154,46	113,42	0,15
182,40	172,80	30,64	151,76	110,72	0,16
178,40	147,20	30,24	148,16	107,12	0,17
173,20	120,00	30,56	142,64	101,60	0,18
169,20	96,40	33,33	135,87	94,83	0,19
164,00	72,40	36,84	127,16	86,12	0,20
151,60	59,20	39,34	112,26	71,22	-

### 3.4 Příklady výpočtu

$$R_{\text{průměrný}} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3} = \frac{9,44 + 10,5 + 9,44}{3} \doteq 9,79 \, \Omega$$

$$U_0 = \frac{U_{L1L2} + U_{L2L3} + U_{L3L1}}{3} = \frac{385 + 384 + 382}{3} \doteq 383,67 \, V$$

$$I_0 = \frac{I_{L1s} + I_{L2s} + I_{L3s}}{3} = \frac{0,89 + 0,84 + 0,86}{3} \doteq 0,86 \, A$$

$$I_{L1s} = \frac{2}{5} \cdot I_{L1} = \frac{2}{5} \cdot 2,22 = 0,89 \, A$$

$$P_{L1s} = \frac{2}{5} \cdot P_{L1} = \frac{2}{5} \cdot 197 = 78,8 \, W$$

$$Q_{L1s} = \frac{2}{5} \cdot Q_{L1} = \frac{2}{5} \cdot 463 = 185,2 \, VAr$$

$$P_0 = P_{L1s} + P_{L2s} + P_{L3s} = 78,8 + 76 + 66,8 = 221,6 \, W$$

$$Q_0 = Q_{L1s} + Q_{L2s} + Q_{L3s} = 185,2 + 173,6 + 180 = 538,8 \, VAr$$

$$\Delta P_J = 3 \cdot R_{\text{průměrný}} \cdot I_0^2 = 3 \cdot 9,79 \cdot 0,86^2 \doteq 21,79 \, W$$

$$\Delta P_{Fe} + \Delta P_m = P_0 - \Delta P_J = 221,6 - 21,79 = 199,81 \, W$$

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_{Fe} + \Delta P_m - C = 199,81 - 107,7 = 92,11 \, W$$

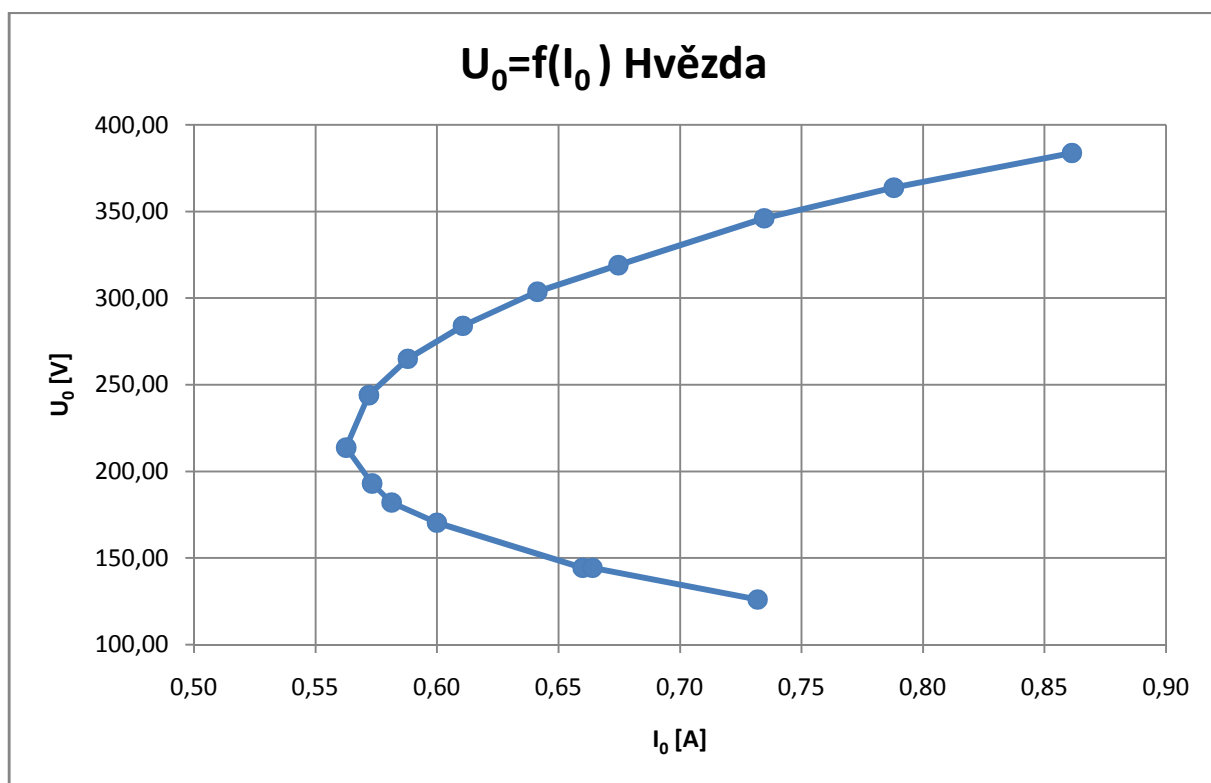
polynom proložení  $\Delta P_{Fe} + \Delta P_m$ :

Hvězda:  $9 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,205x + 107,7$

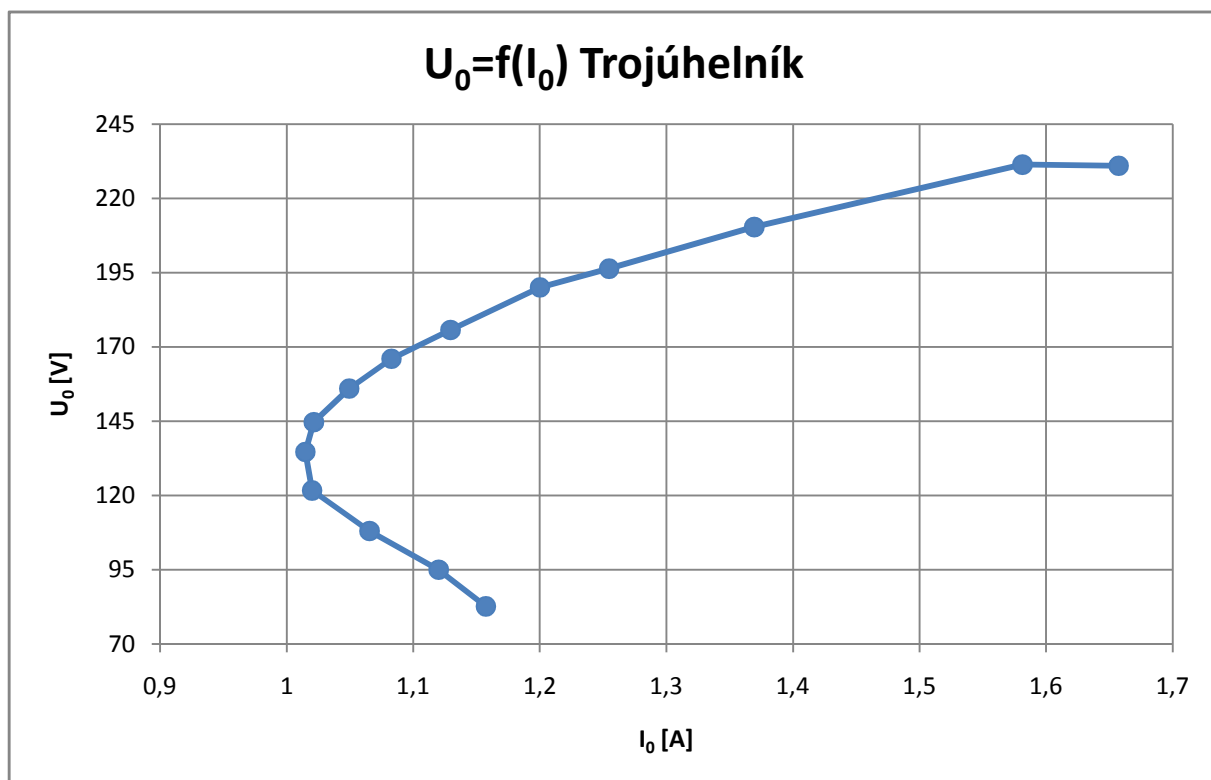
Trojúhelník:  $-0,002x^2 + 1,117x + 41,04$



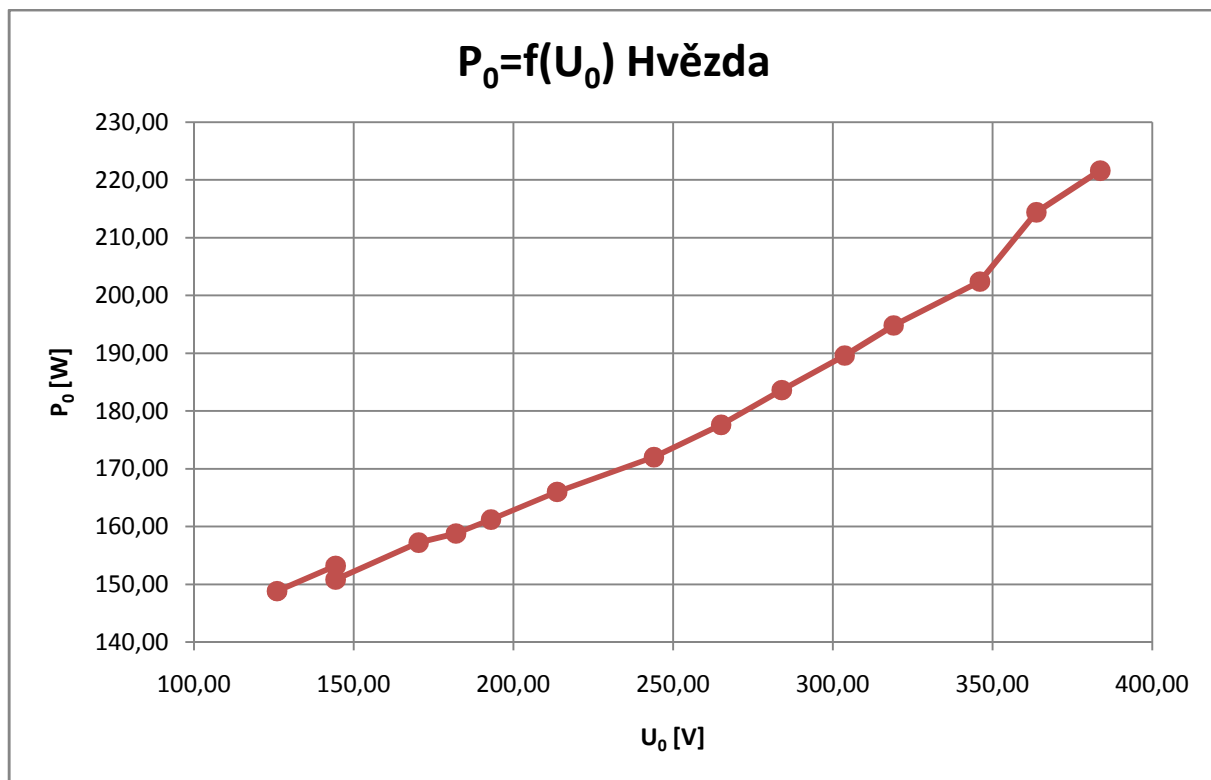
### 3.5 Grafy



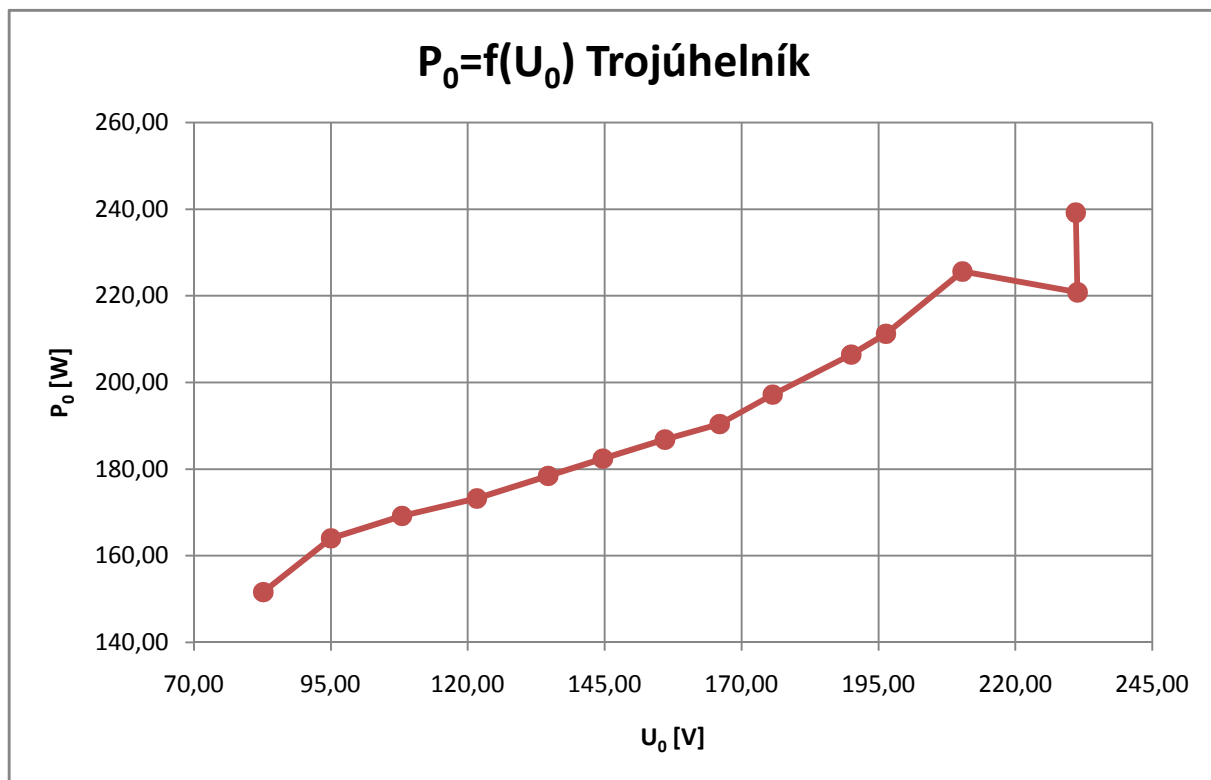
Graf 1:  $U_0=f(I_0)$  "Y"



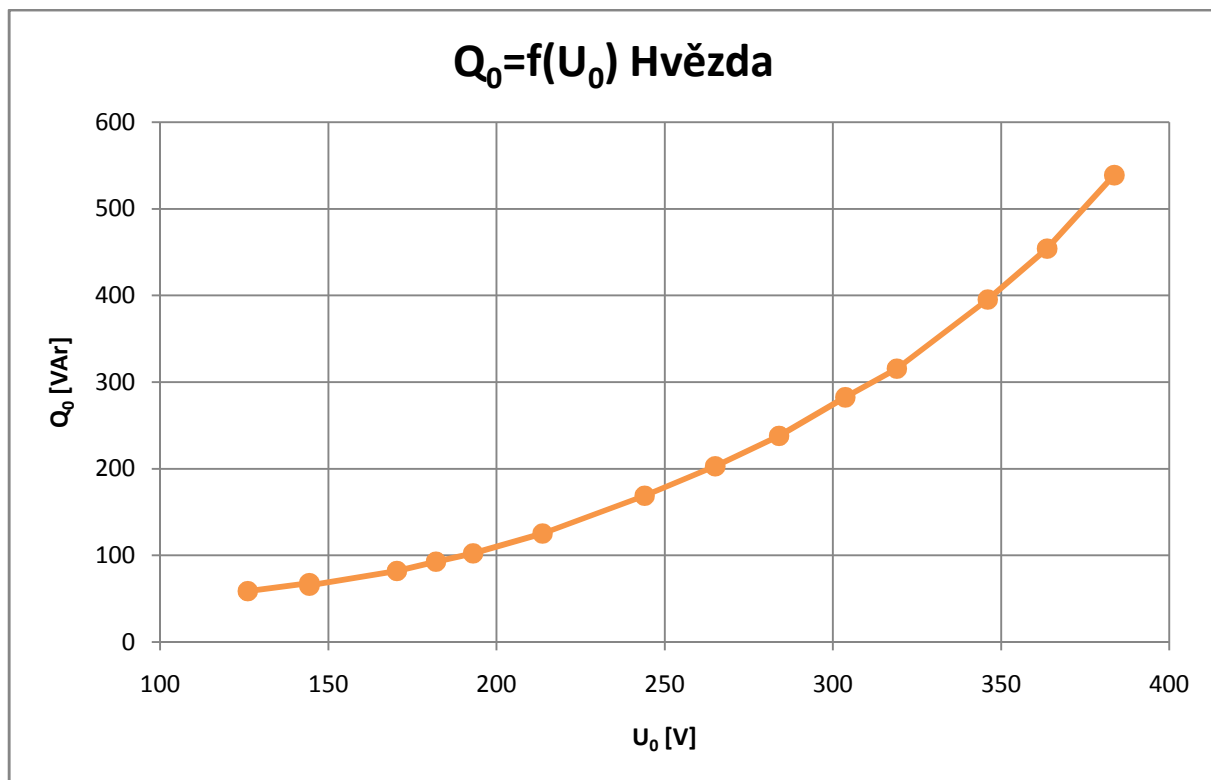
Graf 2:  $U_0=f(I_0)$  "D"



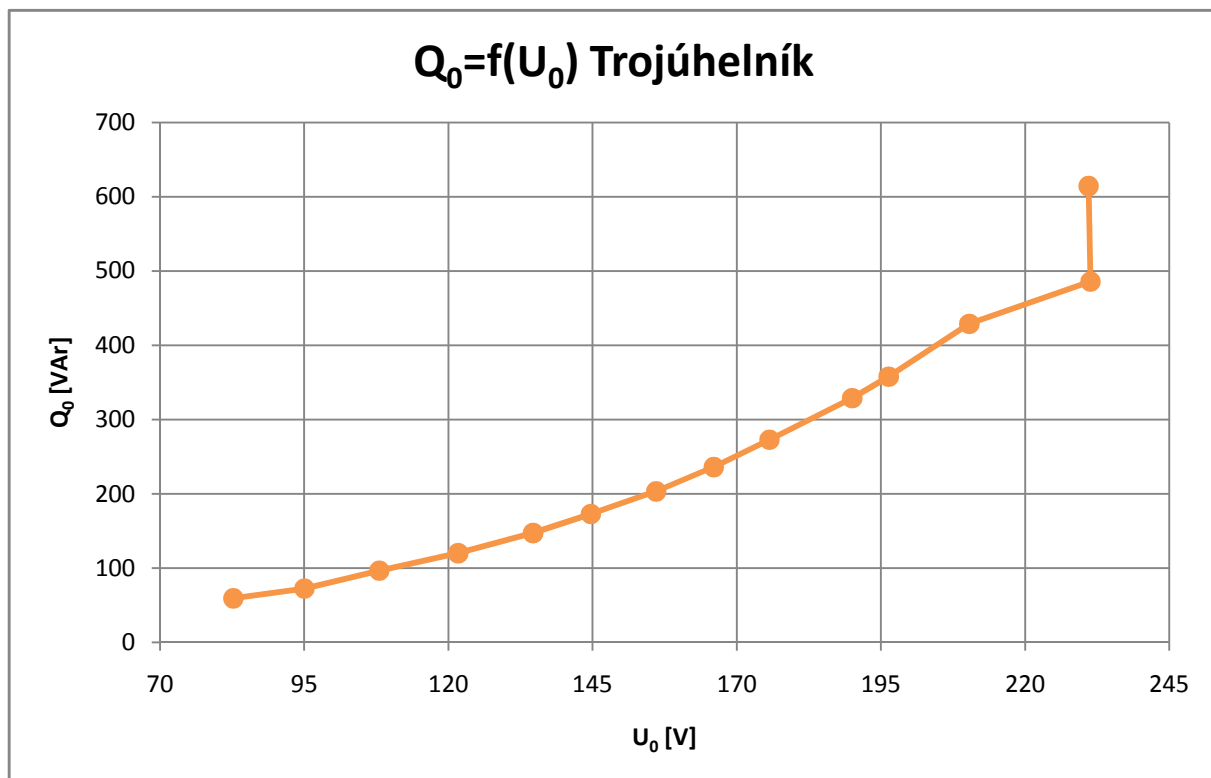
Graf 3:  $P_0=f(U_0)$  "Y"



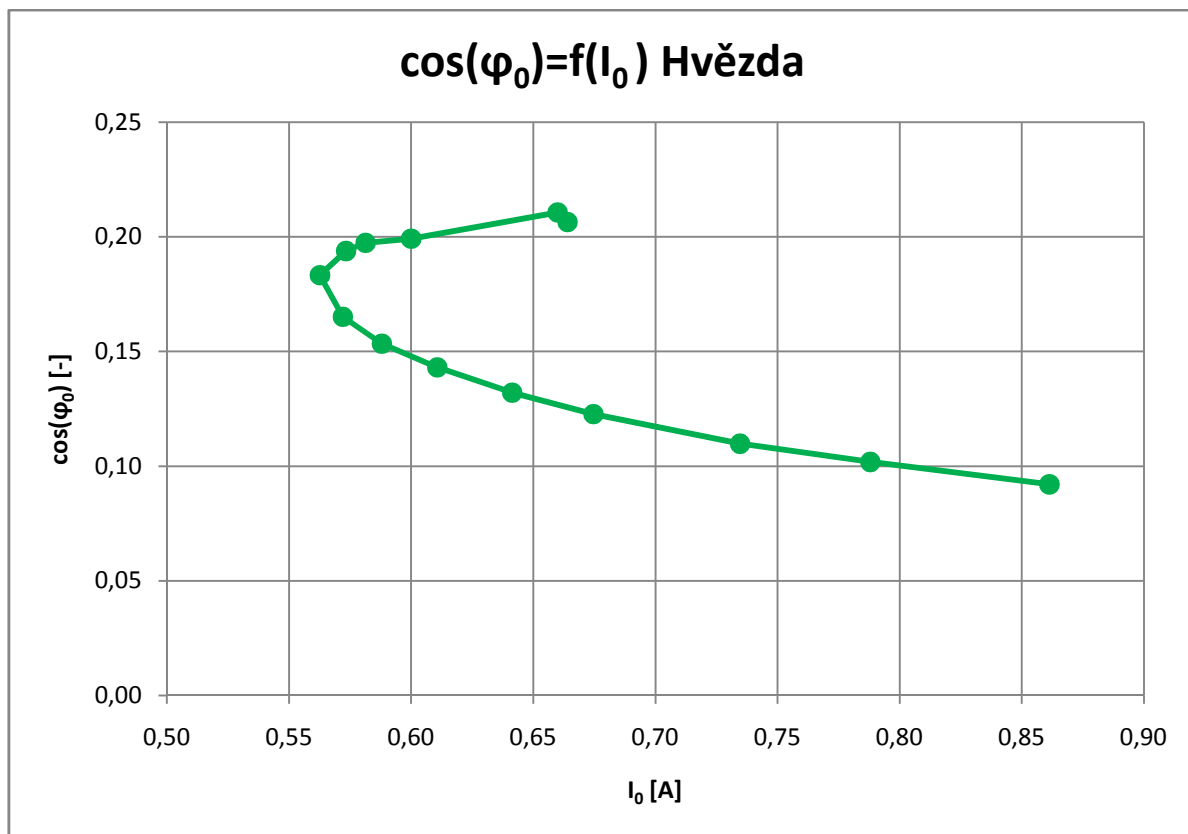
Graf 4:  $P_0=f(U_0)$  "D"



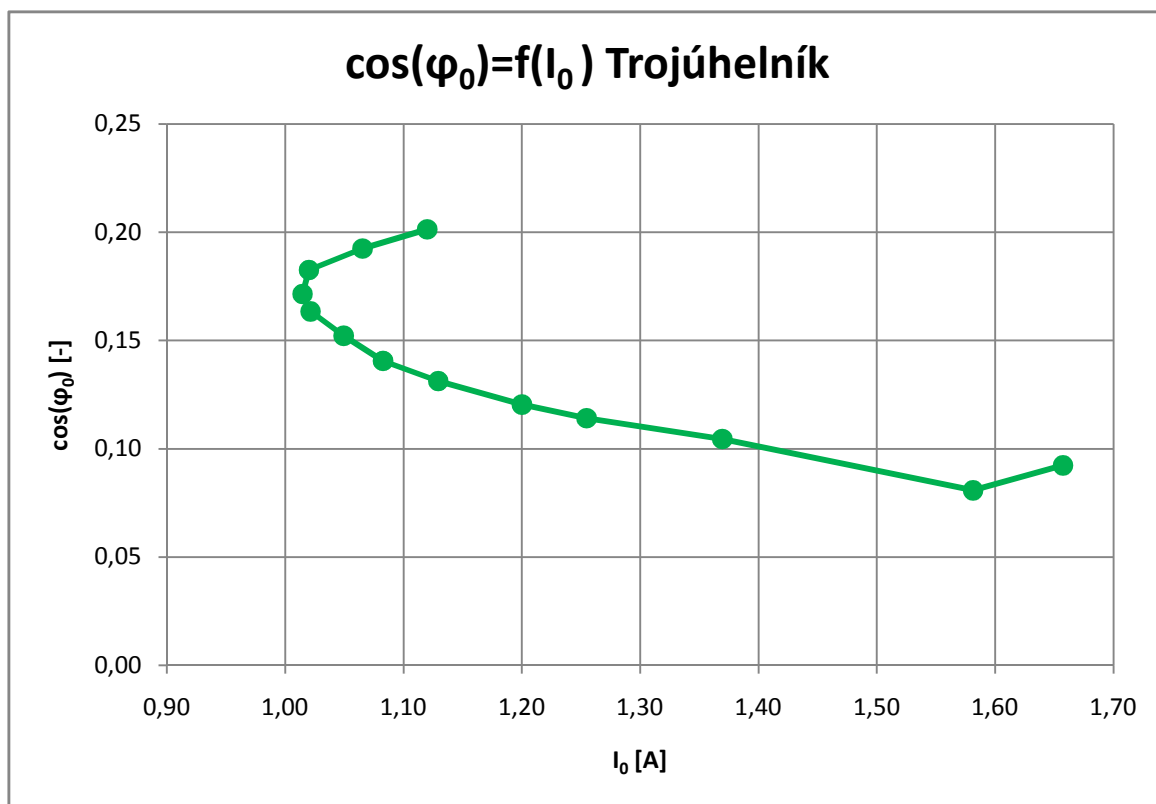
Graf 5:  $Q_0=f(U_0)$  "Y"



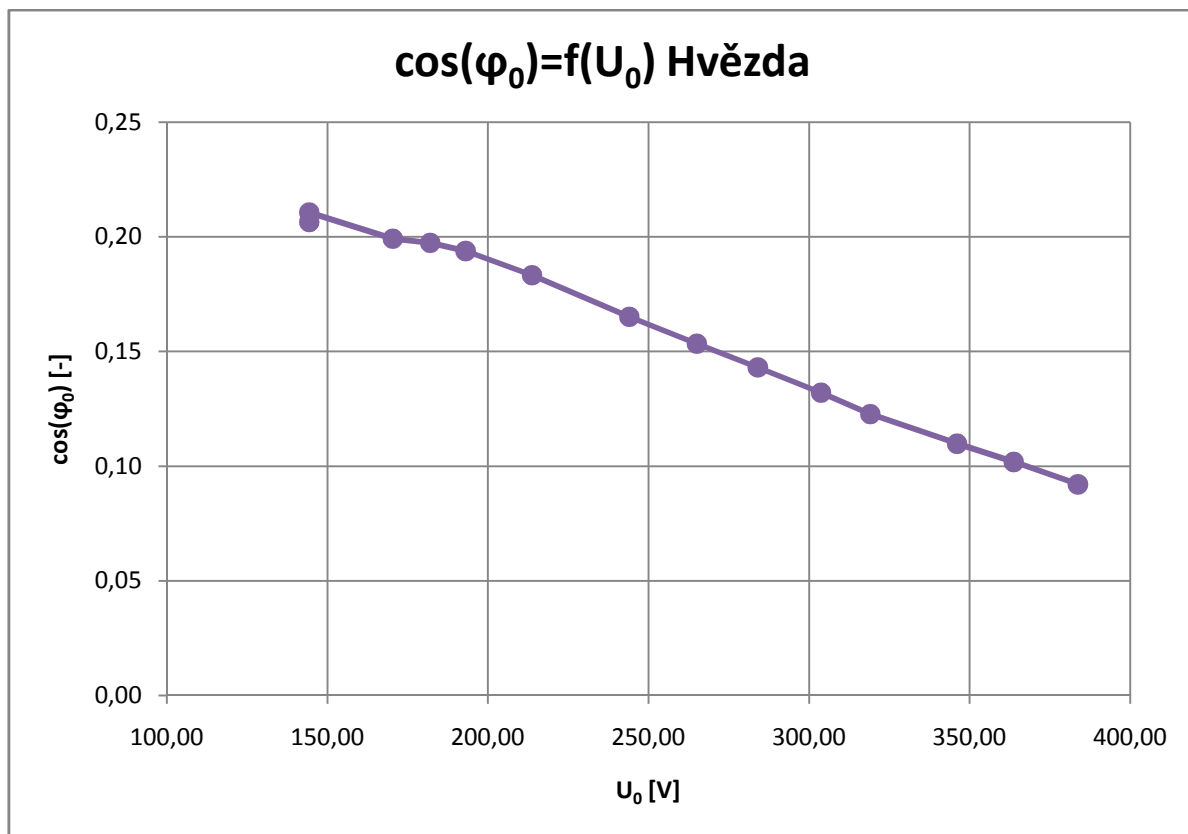
Graf 6:  $Q_0=f(U_0)$  "D"



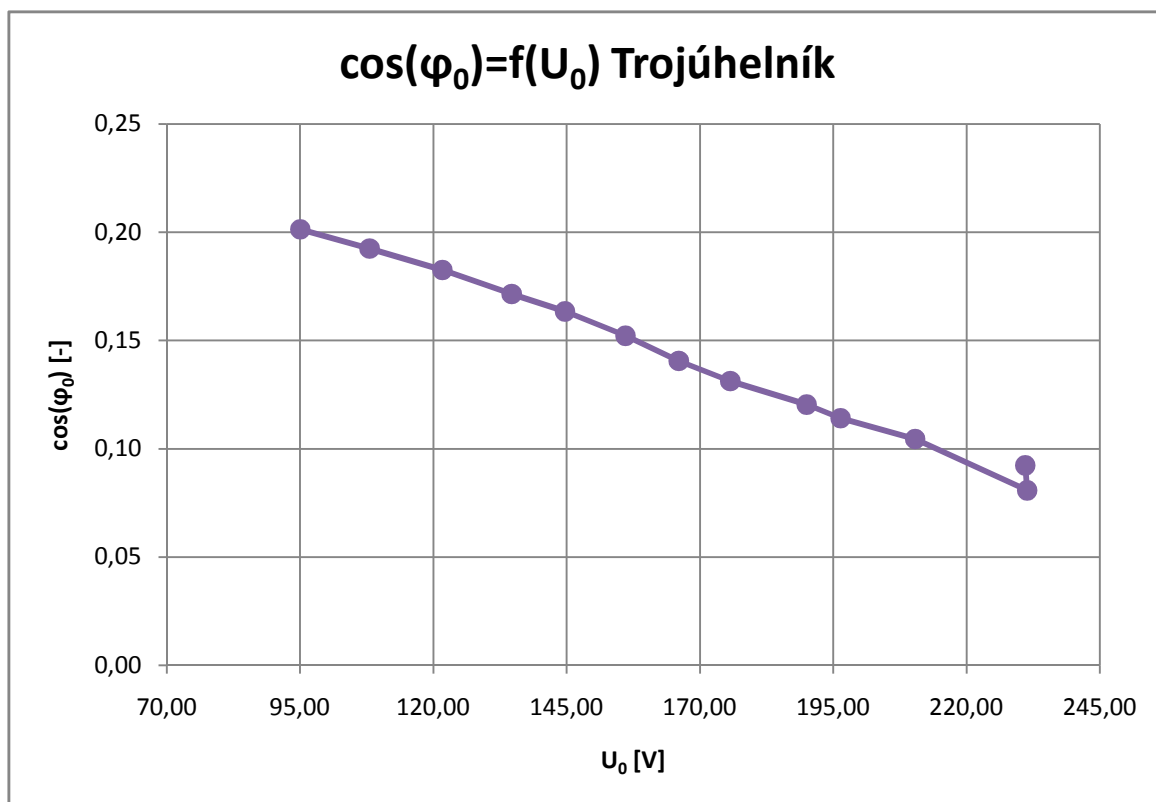
Graf 7:  $\cos(\phi_0)=f(I_0)$  "Y"



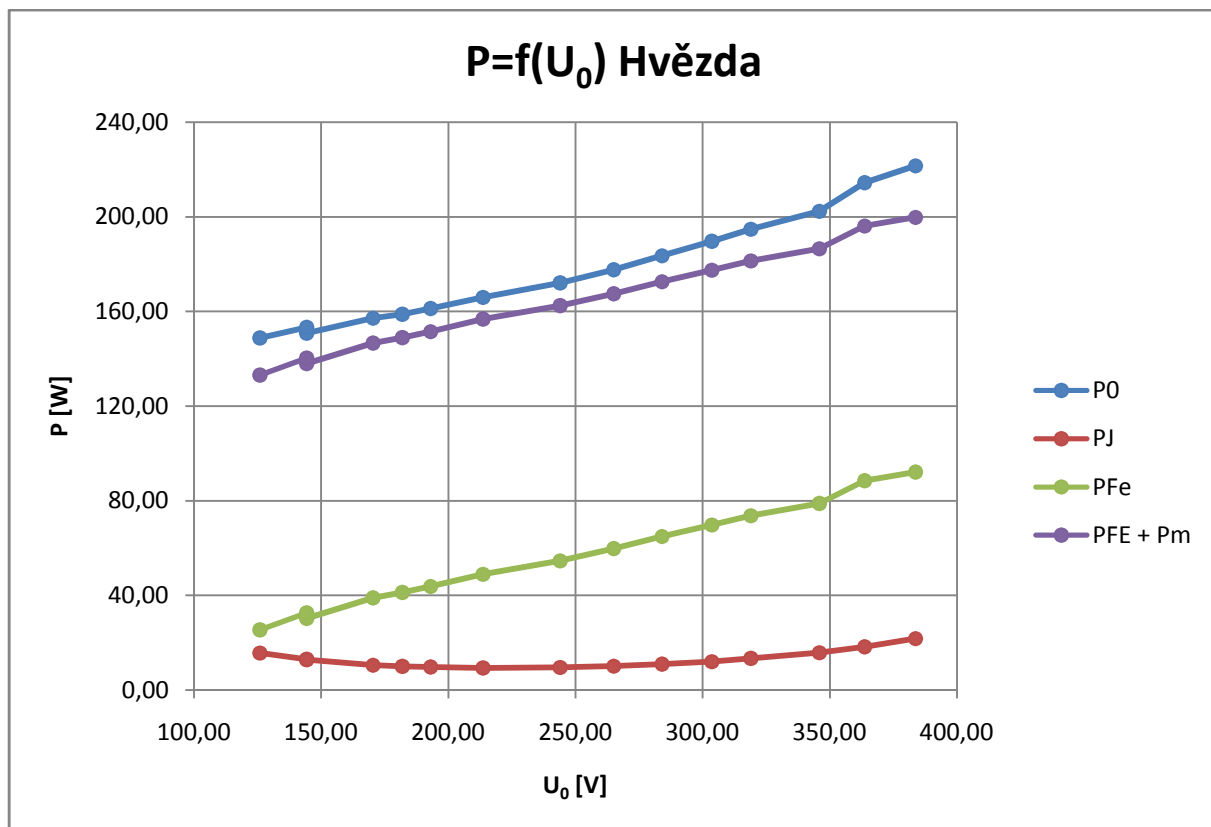
Graf 8:  $\cos(\phi_0)=f(I_0)$  "D"



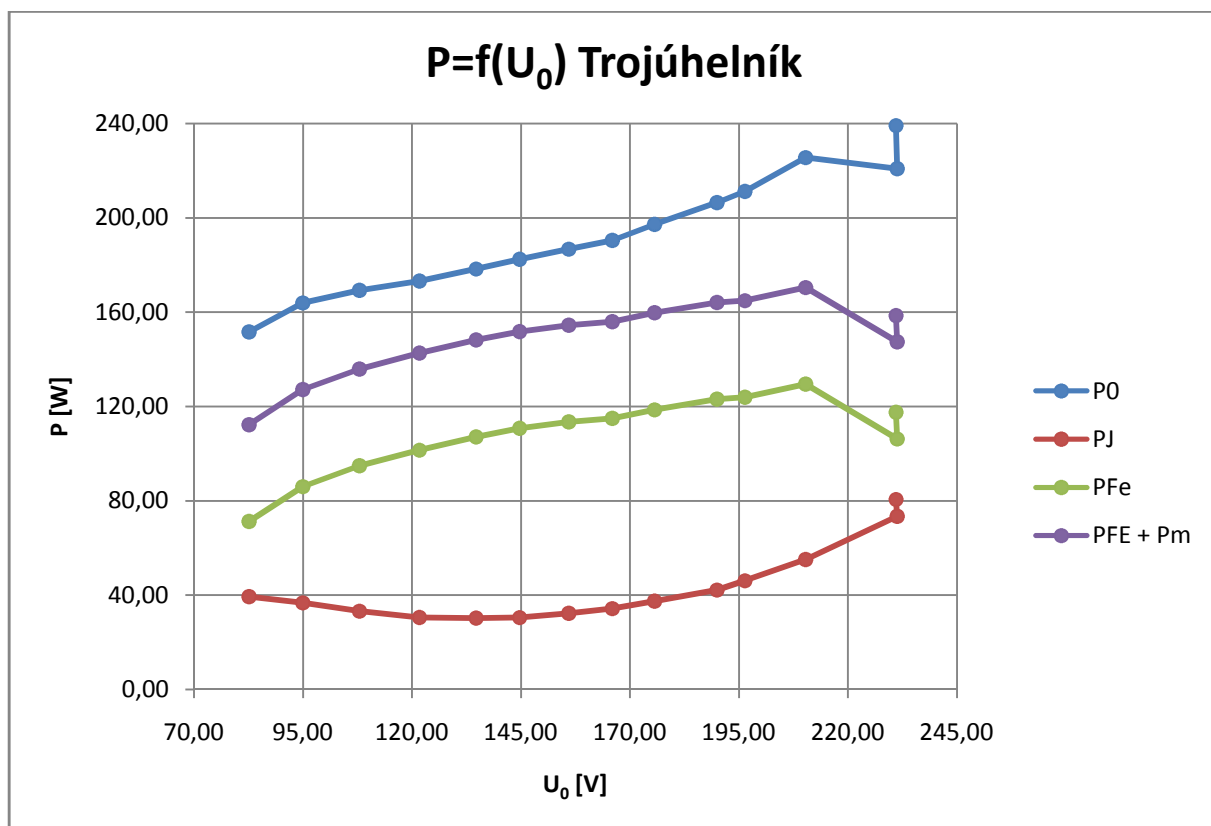
*Graf 9:  $\cos(\phi_0)=f(U_0)$  "Y"*



*Graf 10:  $\cos(\phi_0)=f(U_0)$  "D"*



Graf 11:  $P=f(U_0)$  "Y"



Graf 12:  $P=f(U_0)$  "D"

## 4 Závěr

Naměřené odpory vinutí se lišily pouze v jednotkách  $\Omega$ , průměrný odpor potom vyšel  $R_{průměrný} = 9,79 \Omega$ . V případě zapojení do hvězdy při jmenovitém napětí (380 V) vycházejí Jouleovy ztráty  $\Delta P_J = 21,79 \text{ W}$ , ztráty v železe  $\Delta P_{Fe} = 92,11 \text{ W}$ . Mechanické ztráty, nezávislé na napětí, odvozené z polynomu proložení jsou poměrně vysoké  $\Delta P_m = 107,7 \text{ W}$ . Při zapojení do trojúhelníka (jmenovité napětí 220V) jsou Jouleovy ztráty mnohem větší než v případě hvězdy  $\Delta P_J = 73,44 \text{ W}$ . Ztráty v železe potom činní  $\Delta P_{Fe} = 106,32 \text{ W}$  a ztráty mechanické  $\Delta P_m = 41,04 \text{ W}$ . Proud naprázdno pro jmenovité napětí je pro zapojení do hvězdy  $I_0 = 0,86 \text{ A}$  a  $I_0 = 1,58 \text{ A}$  pro zapojení do trojúhelníka. Asynchronní motor byl na základě provedeného měření shledán provozuschopným.