



*Simulační systémy
Řídicí systémy
Zpracování a přenos dat
Hydroenergetika*

VE Nechranice

Optimalizace vazby na TG1

Technická zpráva

TZ 2094/3000

květen 2014

OSC, a.s.
Staňkova 18a
612 00 Brno, CZ

tel: +420 541 643 111
fax: +420 541 643 109
email: osc@osc.cz



Název	:	VE Nechranice - optimalizace vazby na TG1	
Druh dokumentu	:	Technická zpráva	
Datum vydání	:	19. 5. 2014	
Číslo zakázky	:	33 431 000	
Objednatel	:	Strojírny Brno, a.s.	
Autor zprávy	:	Ing. Tomáš Pokorný	
Spolupracovníci	:	Ing. Petr Ševčík	
Vedoucí úkolu	:	Ing. Petr Ševčík	
Vedoucí útvaru	:	Ing. Miroslav Konečný	
Ředitel společnosti	:	Ing. Vlastimír Krček	
Evidenční označení	:	TZ 2094/3000	
Počet listů	:	21	
Rozdělovník zprávy	:	Strojírny Brno, a.s.	3x
		OSC, a.s.	3x
Číslo výtisku	:		

ANOTACE:

Ve zprávě jsou uvedeny výsledky měření relativní účinnosti a návrh optimálního nastavení vazby oběžného kola a rozvaděče na soustrojí TG1 VE Nechranice. Měření vykonala firma OSC, a.s., v dubnu 2014 při spádu cca 37 m.

OBSAH:

1. Úvod.....	7
2. Parametry soustrojí.....	7
3. Měřicí zařízení a měřené veličiny.....	8
3.1 Indexové měření průtoku	9
3.2 Měření ostatních veličin.....	10
4. Průběh měření	11
5. Vyhodnocení měření.....	11
5.1 Použité konstanty	11
5.2 Hlavní výpočtová tabulka	11
5.3 Nejistoty měření.....	13
5.4 Prezentace výsledků měření.....	13
5.5 Vyhodnocení kavitačních emisí.....	18
5.6 Vyhodnocení vazby oběžného kola a rozvaděče	18
6. Závěr.....	20

PŘÍLOHY

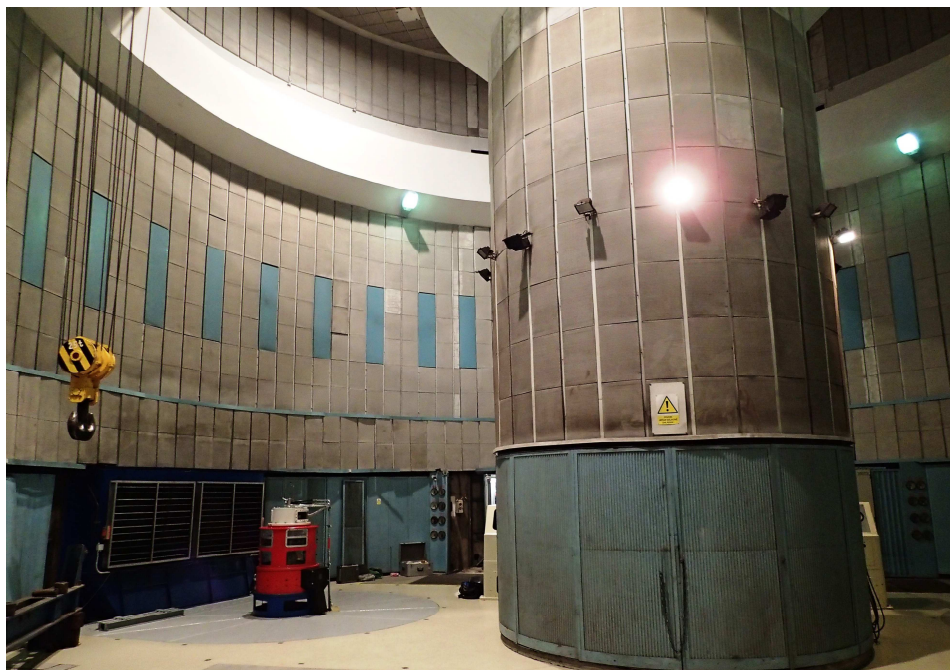
P 1 Kalibrační protokoly

SYSTÉM ZNAČENÍ A ZKRATEK:

a_i	-	i-tá konstanta polynomu
A_1, A_2	m^2	průřezy vstupního a výstupního vztažného profilu turbíny
č.m.		číslo měření
dp	Pa	naměřená tlaková diference na spirále turbíny
e	-	koeficient tlakové diference pro indexové měření průtoku vody
E_K	V	kavitační emise na savce turbíny
f	Hz	frekvence
g	m/s^2	tíhové zrychlení
h_2	m	hladina vody ve vývaru
h_{v1}, h_{v2}	m	rychlostní výšky ve vstupním a výstupním vztažném profilu turbíny
H	m	čistý spád na turbínu
H_B	m	hrubý spád na turbínu
I	A	proud na svorkách generátoru
k	-	koeficient pro indexové měření průtoku
OK		oběžné kolo
p_1	Pa	tlak ve vstupním hrdle spirály
P_a	W	činný výkon na svorkách generátoru
$P_{a\ SP}$	W	činný výkon na svorkách generátoru přepočtený na specifikovaný spád
P_h	W	hydraulický výkon (na hřídeli turbíny)
P_Q	VAr	jalový výkon na svorkách generátoru
P_{app}	VA	zdánlivý výkon na svorkách generátoru
Q_i	m^3/s	průtok vody turbínou měřený indexovou metodou
$Q_{i\ SP}$	m^3/s	průtok přepočtený na specifikovaný spád
RK		rozváděcí kolo
ŘS		řídící systém
tp.		třída přesnosti
TA		proudový měřicí transformátor
TG		turbogenerátor
TV		napěťový měřicí transformátor
U	V	napětí na svorkách generátoru
y_{RK}	%	otevření rozvaděče (RK)
y_{OK}	%	otevření oběžného kola (OK)
z_1	m.a.s.l	elevace senzoru p_1
z_2	m.a.s.l	elevace čidla h_2
ρ	kg/m^3	hustota vody
η_s	%	účinnost soustrojí

1. Úvod

Na TG1 Nechanice bylo provedeno měření relativní účinnosti soustrojí indexovou metodou (Winter-Kenedy) za účelem stanovit optimální vazbu RK-OK, a to při spádu (cca 37 m) daném hydrologickými podmínkami po nestandardním průběhu zimy. Součástí měření bylo rovněž vyhodnocení kavitačních emisí v celém provozním rozsahu soustrojí. Pro vyhodnocení optimální vazby byly rovněž použity podklady z předchozích měření provedených na tomto soustrojí [2], [3], [4].



Obr. 1 – Pohled do strojovny VE Nechanice

2. Parametry soustrojí

Na vodním díle Nechanice jsou instalovány dvě vertikální Kaplanovy turbíny se vzájemně opačným směrem otáčení. Spojení s generátorem je napřímo. Krátké přívodní potrubí je ocelové konstrukce ϕ 2600 mm.

Turbína	
Výrobce	Strojírny Brno, a.s.
Typ	vertikální Kaplanova turbína, 6 lopat
Návrhový spád	41.5 m
Návrhový průtok	17.1 m ³ /s
Návrhový výkon na spojce	5.69 MW
Průměr oběžného kola	1460 mm
Jmenovité otáčky	500 ot/min
Generátor	
Výrobce	ČKD Praha
Jmenovitý výkon	6.3 MW
Jmenovité napětí	6.3 KV
cos φ	0.8

Tab. 1 – Parametry soustrojí TG1 Nechanice

3. Měřicí zařízení a měřené veličiny

Měřené veličiny a použité měřicí zařízení jsou uvedené v následující tabulce.

Veličina		Přístroj	tp.	Poznámka
y_{OK}	Otevření oběžného kola	Provozní měření + galvanický oddělovač (GXN 230)	-	Připojení: skříň 35DT1, svorkovnice X71, PLC modul A532, sv. 6(+) rozsah: $4 \div 20 \text{ mA} \sim 0 \div 100\%$
y_{RK}	Otevření rozvaděče	Provozní měření + galvanický oddělovač (GXN 230)	-	Připojení: skříň 35DT1, svorkovnice X71, PLC modul A532, sv. 2(+) rozsah: $4 \div 20 \text{ mA} \sim 0 \div 100 \%$
h_2	Hladina vody ve vývaru	Provozní měření + galvanický oddělovač (GXN 230)	-	Připojení: skříň 35DT1, modul A516 sv. 32. Provozní sonda LMP 307, Rozsah: $4 \div 20 \text{ mA} \sim 0 \div 6 \text{ m}$
p_1	Tlak ve vstupním hrdle spirály	BD Sensors DMP 331, Sn. 0286952	0.2	Umístění snímače viz. Obr. 3. Rozsah: $4 \div 20 \text{ mA} \sim 0 \div 0.6 \text{ MPa}$
dp	Tlaková difference na spirále turbíny	Rosemount 3051 Sn. 7325297/1099	0.07 5	Připojení tlakových odběrů pro snímač viz. Obr. 2. Rozsah: $4 \div 20 \text{ mA} \sim 0 \div 65.0 \text{ kPa}$
P_a	činný výkon na svorkách generátoru	Analyzátor sítě YOKOGAWA WT 230 v.č. 91GB52366	0.2 $tp_{TV} = 0.5$ $tp_{TA} = 0.5$	Připojení: skříň v rozvodně 6 kV, paralelní připojení k provozním elektroměrům PK G1. Měřicí transformátory napětí a proudu na svorkách generátoru, Aronovo zapojení. TV: 6 kV / 100 V TA: 600 A / 5 A
P_Q	jalový výkon na svorkách generátoru			
P_{app}	zdánlivý výkon na svorkách generátoru			
$\cos \varphi$	účinnost			
f	frekvence			
U	napětí na svorkách generátoru			
I	proud na svorkách generátoru			
E_K	Kavitační emise na savce turbíny	Diagnost D400 + galvanická oddělovač GO UNI	-	Piezoelektrický kontaktní mikrofon umístěn na pancíři průlezu do savky – viz Obr. 4. Výstup kavitoměru připojen přes galvanický oddělovač – viz Obr. 5.

Tab. 2 - Přehled měřených veličin

- Měřicí ústředna BMC AD16f**, rozlišení 16 bit, 16 kanálů, tp. 0.05 pro měření neelektrických veličin. Vstup napěťový nebo proudový – s bočníky 500Ω pro proudové smyčky. Vzorovací frekvence byla při měření nastavena na 65 Hz s redukcí dat 1:10.
- Analyzátor YOKOGAWA WT 230**, tp. 0.2, pro měření elektrických veličin (proudy, napětí, činný výkon, jalový výkon, zdánlivý výkon, účinnost, frekvence). Analyzátor umožňuje ukládat a zobrazovat všechny měřené veličiny sítě na obrazovce počítače připojeného přes sériovou linku. Frekvence ukládání dat byla nastavena na 1.3 Hz.
- Kavitoměr Diagnost D400**, demoduluje z širokopásmového ultrazvukového signálu složku rázů vznikajících praskáním kavitačních mikrobublinek.

3.1 Indexové měření průtoku

Průtok byl měřen relativně (metodou Winter-Kennedy) snímáním tlakové difference na spirále, přičemž pro stanovení průtoku se vychází z následující rovnice:

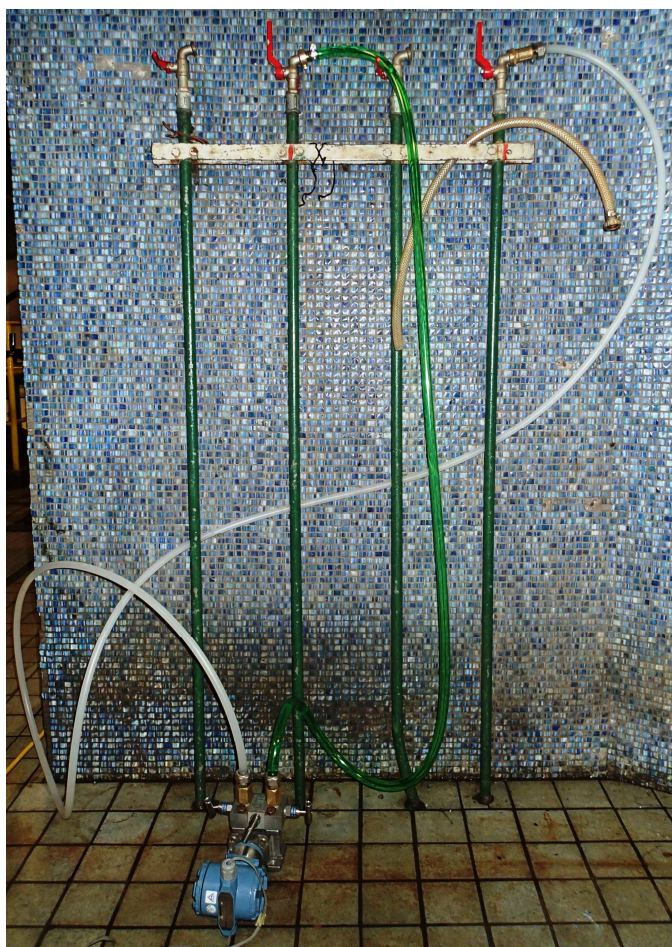
$$Q_i = k \cdot dp^e \quad (1)$$

Při určování průtoku indexovou metodou byly konstanty k a e stanoveny na základě předchozích měření viz. [2] ÷ [4] v souladu s reálně očekávanými hodnotami účinnosti. Hodnoty těchto konstant jsou uvedeny v Tab. 3.

Stroj	Koeficienty	
	k	e
	$[m^3 s^{-1} / kPa^{0.5}]$	$[-]$
TG1	2.85	0.5

Tab. 3 – Koeficienty pro výpočet průtoku indexovou metodou

Pro měření tlakové difference byl instalován snímač tlakové difference Rosemount 3051 CD2, který byl připojen na tlakové odběry č. 4 a č. 2. (Obr. 2). Odběry byly z důvodů přesnosti vybrány tak, aby bylo dosaženo co největší tlakové difference. Před začátkem měření byla nastavena provozní nula snímače a během měření bylo pravidelně kontrolováno odvzdušnění všech tlakových odběrů.



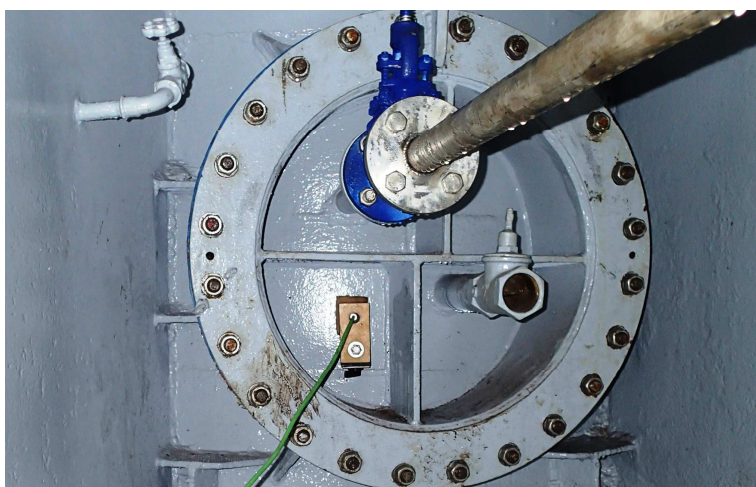
Obr. 2 - Měření tlakové difference

3.2 Měření ostatních veličin

Pro vyhodnocení spádu byl použit signál provozního měření hladiny h_2 ve vývaru v kombinaci s měřením tlaku ve vstupním hrdle spirály p_1 . Tlak p_1 byl měřen přes sběrače tlaku Obr. 3 do kterého byly přivedeny tlaky z dvou protilehlých odběrných míst ve vstupním hrdle spirály.



Obr. 3 - Připojení snímače tlaku p_1 do sběrače tlaku



Obr. 4 - Upevnění kontaktního ultrazvukového mikrofónu na víku savky



Obr. 5 - Elektrické zpracování signálu z kontaktního mikrofónu

4. Průběh měření

Měření probíhalo v souladu s metodikou měření podle požadavků popsanych v normě [1], aplikovaných v reálných podmínkách v rozmezí spádů cca $H = 36.5 \div 37.7$ m v následujících krocích:

- Instalace měřicí aparatury, nastavení a ověření funkčnosti čidel a měřicích řetězců.
- Kalibrace obou krajních poloh OK na stojícím stroji, stejně jako minimální polohy RK. Maximální poloha RK byla kalibrována za provozu stroje na maximálním dosažitelném výkonu.
- Zaznamenání stávající vazby na stroji při daném spádu, na jejímž základě byly rozvrženy jednotlivé body měření. Během záznamu se postupně měnil výkon měřeného stroje v krocích po cca 0.5 MW v celém jeho pracovním rozsahu (tzn. cca $1.5 \div 6$ MW). Záznam stávajícího nastavení vazby s rozvržením měřicích bodů je zobrazen v podobě funkční závislosti $y_{OK} = f(y_{RK})$ viz Obr. 13.
- Z průběhu stávajícího nastavení vazby bylo zvoleno cca 7 otevření OK a každému z těchto otevření bylo přiřazeno 4 ÷ 7 otevření RK. V těchto bodech byla turbína proměřena.

5. Vyhodnocení měření

5.1 Použité konstanty

Konstanty použité pro výpočty jsou uvedeny v tabulce Tab. 4.

Tíhové zrychlení	g	$[m/s^2]$	9.81	dle Přílohy EI normy [1]
Teplota vody	t_w	$[^{\circ}C]$	5	
Hustota vody	ρ	$[kg/m^3]$	1000	určeno z přílohy E II normy [1] ze změřené teploty vody
Vstupní profil turbíny	A_1	$[m^2]$	4.52	
Výstupní profil turbíny	A_2	$[m^2]$	5.87	
Elevace senzoru p_1	z_1	$m.a.s.l$	224.31	
Elevace čidla h_2	z_2	$m.a.s.l$	225.62	

Tab. 4 – Konstanty použité pro měření na VE Nechranice TG1

5.2 Hlavní výpočtová tabulka

Střední hodnoty měřených veličin z jednotlivých měřených bodů a následné numerické vyhodnocení je uvedeno ve výpočtové tabulce Tab. 6.

Význam jednotlivých sloupců výpočtové tabulky je následující:

č.m.	[-]	Číslo měřicího bodu
y_{OK}	[%]	Otevření oběžného kola
y_{RK}	[%]	Otevření rozváděcího kola

dp	[Pa]	Tlaková difference na spirále turbíny (pro stanovení průtoku indexovou metodou)
p_1	[Pa]	Tlak ve vstupním hrdle spirály
h_2	[m]	Hladina vody ve vývaru
E_K	[V]	Kavitační emise na savce turbíny
U	[V]	Napětí na svorkách generátoru
I	[A]	Proud na svorkách generátoru
$\cos \varphi$	[-]	Účinník
f	[Hz]	Frekvence sítě
P_a	[W]	Činný výkon na svorkách generátoru
P_q	[VAr]	Jalový výkon na svorkách generátoru
P_{app}	[VA]	Zdánlivý výkon na svorkách generátoru
Q_i	[m ³ /s]	Průtok vody turbínou měřený indexovou metodou:

$$Q_i = k \cdot dp^e \quad (2)$$

kde koeficienty „k“ a „e“ viz. Tab. 3.

h_{v1}	[m]	Rychlostní výška ve vstupním profilu A_1 :
----------	-----	--

$$h_{v1} = \frac{\left(\frac{Q_i}{A_1}\right)^2}{2 \cdot g} \quad (3)$$

h_{v2}	[m]	Rychlostní výška v koncovém profilu savky A_2 :
----------	-----	---

$$h_{v2} = \frac{\left(\frac{Q_i}{A_2}\right)^2}{2 \cdot g} \quad (4)$$

H	[m]	Čistý spád:
-----	-----	-------------

$$H = \left(z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + h_{v1}\right) - (z_2 + h_2 + h_{v2}) \quad (5)$$

P_h	[W]	Hydraulický výkon na hřídeli turbíny:
-------	-----	---------------------------------------

$$P_h = H \cdot \rho \cdot g \cdot Q_i \quad (6)$$

η_s	[%]	Účinnost soustrojí:
----------	-----	---------------------

$$\eta_s = \frac{P_a}{P_h} \quad (7)$$

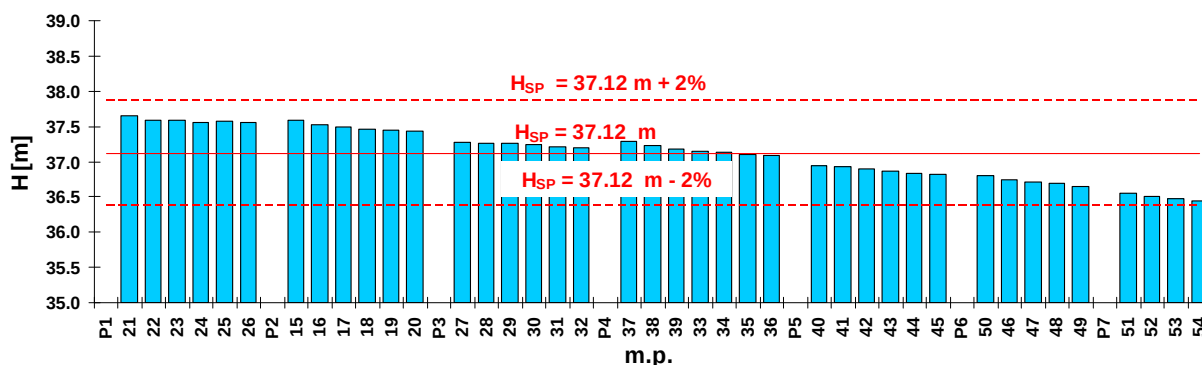
Z rozložení spádu v průběhu měření (viz. Obr. 6) vyplývá, že rozptýl spádu nepřesáhl normou [1] stanovené meze $\pm 2 \%$ H_{sp} . Proto mohl být průtok přepočten pomocí vzorce (8) na specifický spád. Specifický spád H_{sp} je definován jako průměrná hodnota spádu ze všech měřících bodů $15 \div 54$.

$$Q_{i\ sp} \quad [m^3/s] \quad \text{Průtok přepočtený na specifikovaný spád:}$$

$$Q_{i\ sp} = Q_i \cdot (H_{sp} / H)^{0.5} \quad (8)$$

$$P_{a\ sp} \quad [W] \quad \text{Činný výkon na svorkách generátoru přepočtený na specifikovaný spád:}$$

$$P_{a\ sp} = P_a \cdot (H_{sp} / H)^{1.5} \quad (9)$$



Obr. 6 – Rozložení spádu v průběhu indexového měření

5.3 Nejistoty měření

V následující tabulce jsou uvedeny nejistoty měření hlavních veličin. Relativní nejistoty spádu a výkonu byly vyčísleny standardním způsobem podle normy [1]. Nejistota průtoku je stanovena podle vztahu:

$$f_Q = \sqrt{f_\eta^2 - f_H^2 - f_P^2} \quad (10)$$

Druh nejistoty	Označení	Hodnota [%]
Odhad nejistoty účinnost v optimu	f_η	2.1
Nejistota měření spádu	f_H	0.2
Nejistota měření výkonu	f_P	0.7
Nejistota indexového průtoku	f_{Qi}	2.2

Tab. 5 – Souhrnná tabulka nejistot měření

5.4 Prezentace výsledků měření

Výsledky měření na soustrojí VE Nechranice TG1 uvedené v hlavní výpočtové tabulce Tab. 6 jsou vyneseny do následujících grafických závislostí:

Obr. 7 - Účinnost soustrojí a otevření rozvaděče jako funkce průtoku

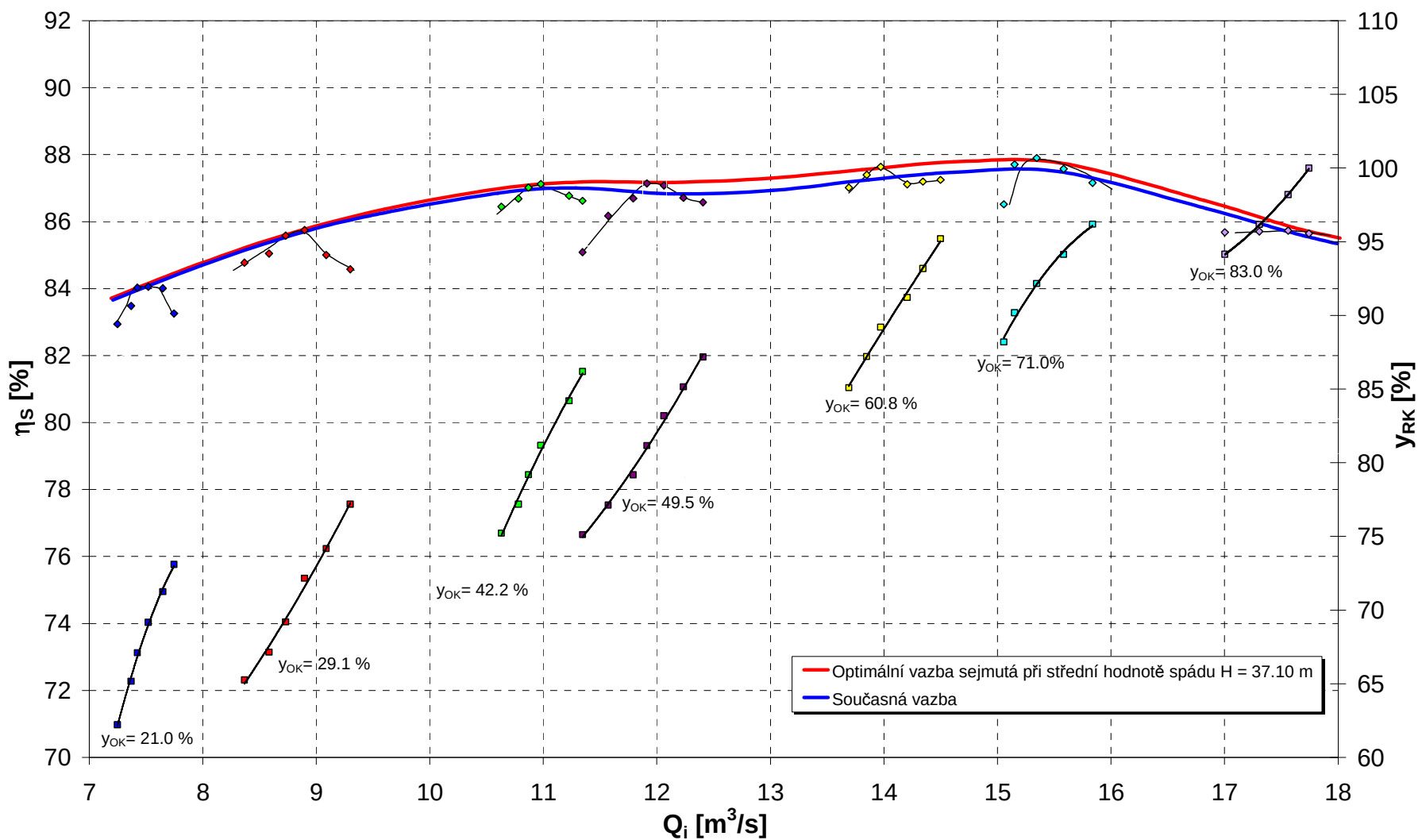
Obr. 8 - Účinnost soustrojí a signál kavitačních emisí jako funkce průtoku

Obr. 9 - Dosahovaný činný výkon jako funkce průtoku

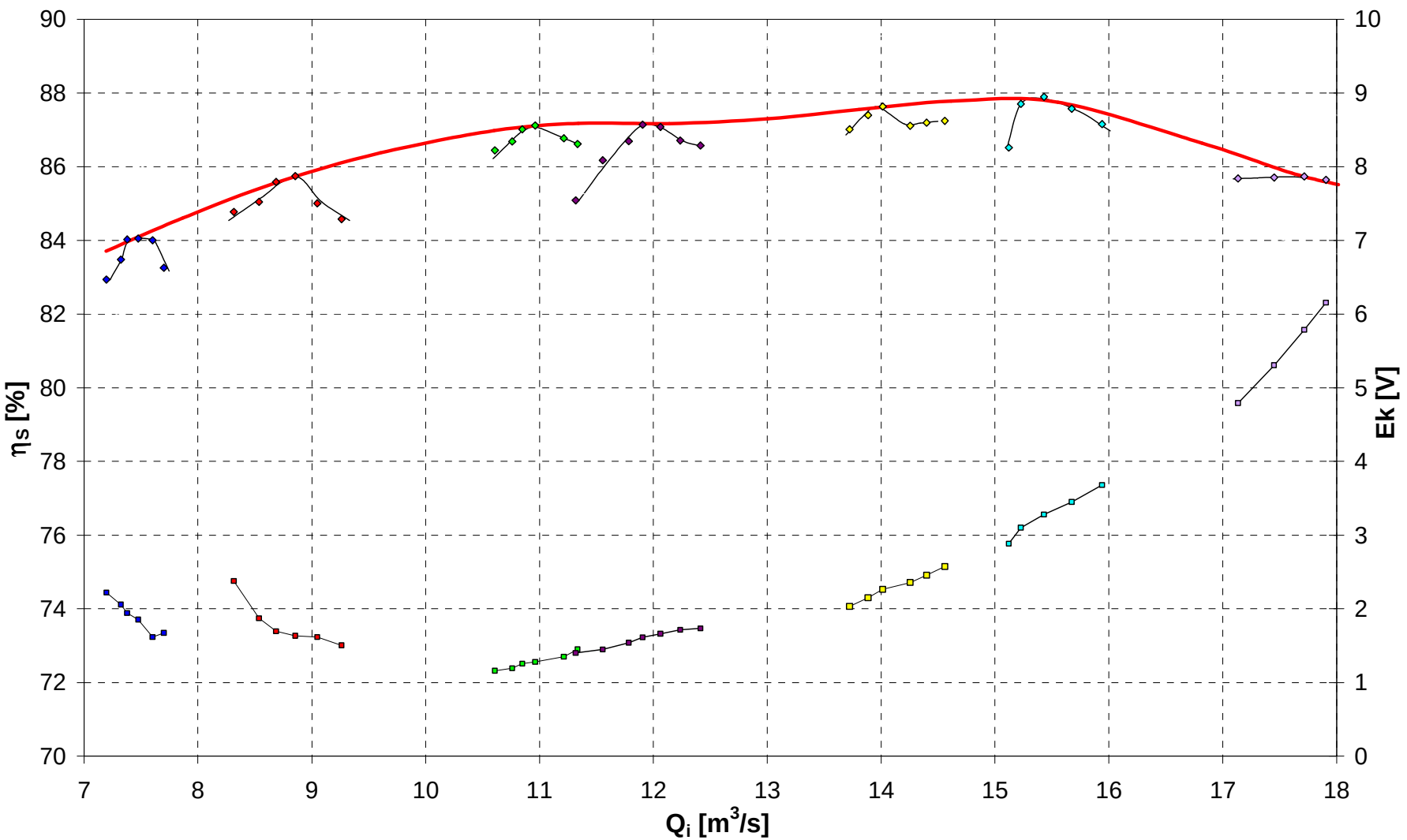
Obr. 10 – Průtok jako funkce otevření rozvaděče

č.m.	y_{OK}	y_{RK}	dp	p_1	h_2	E_k	U	I	$\cos \varphi$	f	P_a	P_Q	P_{ap}	Q_i	h_{v1}	h_{v2}	H	P_h	η_s	Q_{isp}	P_{asp}
-	%	%	kPa	kPa	m	V	kV	A	-	Hz	MW	MVar	MVA	m ³ /s	m	m	m	MW	%	m ³ /s	MW
P1																					
21	20.9	62.2	6.47	402.2	2.09	2.2	6.28	205	1.0	50.0	2.22	-0.09	2.23	7.25	0.13	0.08	37.65	2.68	82.9	7.20	2.17
22	20.9	65.2	6.68	402.1	2.15	2.1	6.28	209	1.0	50.0	2.27	-0.08	2.28	7.37	0.14	0.08	37.59	2.72	83.5	7.32	2.23
23	21.0	67.1	6.79	402.0	2.13	1.9	6.29	212	1.0	50.0	2.30	-0.08	2.31	7.42	0.14	0.08	37.59	2.74	84.0	7.38	2.26
24	20.9	69.2	7.11	402.0	2.16	1.9	6.28	215	1.0	50.0	2.33	-0.08	2.34	7.52	0.14	0.08	37.56	2.77	84.1	7.48	2.29
25	21.0	71.3	7.20	402.0	2.16	1.6	6.25	220	1.0	50.0	2.37	-0.07	2.38	7.65	0.15	0.09	37.57	2.82	84.0	7.60	2.33
26	21.0	73.1	7.39	402.0	2.17	1.7	6.29	219	1.0	50.0	2.38	-0.08	2.39	7.75	0.15	0.09	37.56	2.85	83.3	7.70	2.34
P2																					
15	29.1	65.3	8.62	401.5	2.11	2.4	6.26	242	1.0	50.0	2.61	-0.09	2.62	8.37	0.17	0.10	37.58	3.08	84.8	8.32	2.57
16	29.1	67.1	9.07	401.5	2.16	1.9	6.27	248	1.0	50.0	2.69	-0.10	2.70	8.58	0.18	0.11	37.53	3.16	85.0	8.54	2.64
17	29.1	69.2	9.25	401.5	2.19	1.7	6.19	257	1.0	50.0	2.75	-0.10	2.76	8.73	0.19	0.11	37.50	3.21	85.6	8.69	2.71
18	29.1	72.2	9.75	401.3	2.21	1.6	6.39	254	1.0	50.0	2.80	-0.09	2.81	8.90	0.20	0.12	37.47	3.27	85.7	8.86	2.77
19	29.1	74.2	10.17	401.2	2.22	1.6	6.39	257	1.0	50.0	2.84	-0.09	2.85	9.09	0.21	0.12	37.45	3.34	85.0	9.05	2.80
20	29.1	77.2	10.65	401.0	2.23	1.5	6.38	263	1.0	50.0	2.89	-0.11	2.90	9.30	0.22	0.13	37.43	3.41	84.6	9.26	2.85
P3																					
27	42.3	75.2	13.91	400.2	2.32	1.2	6.32	308	1.0	50.0	3.36	-0.09	3.37	10.63	0.28	0.17	37.28	3.89	86.4	10.61	3.34
28	42.2	77.2	14.40	400.0	2.32	1.2	6.34	312	1.0	50.0	3.42	-0.10	3.42	10.78	0.29	0.17	37.26	3.94	86.7	10.76	3.40
29	42.2	79.2	14.54	400.0	2.33	1.3	6.34	316	1.0	50.0	3.46	-0.10	3.47	10.87	0.29	0.17	37.26	3.97	87.0	10.85	3.44
30	42.2	81.2	14.84	399.9	2.34	1.3	6.33	320	1.0	50.0	3.49	-0.10	3.50	10.98	0.30	0.18	37.24	4.01	87.1	10.96	3.48
31	42.1	84.2	15.52	399.8	2.35	1.4	6.35	324	1.0	50.0	3.56	-0.10	3.57	11.23	0.31	0.19	37.21	4.10	86.8	11.21	3.54
32	42.1	86.2	15.85	399.6	2.36	1.4	6.35	327	1.0	50.0	3.59	-0.09	3.59	11.35	0.32	0.19	37.20	4.14	86.6	11.33	3.58
P4																					
37	49.5	75.1	15.84	399.7	2.27	1.4	6.32	324	1.0	50.0	3.53	-0.10	3.55	11.34	0.32	0.19	37.29	4.15	85.1	11.32	3.51
38	49.5	77.1	16.49	399.5	2.33	1.4	6.33	334	1.0	50.0	3.64	-0.11	3.66	11.57	0.33	0.20	37.23	4.23	86.2	11.56	3.63
39	49.5	79.2	17.12	399.4	2.37	1.5	6.34	341	1.0	50.0	3.73	-0.10	3.74	11.79	0.35	0.21	37.18	4.30	86.7	11.78	3.72
33	49.5	81.2	17.47	399.2	2.37	1.6	6.35	345	1.0	50.0	3.78	-0.10	3.79	11.91	0.35	0.21	37.16	4.34	87.1	11.91	3.78
34	49.5	83.2	17.91	399.1	2.39	1.7	6.34	349	1.0	50.0	3.83	-0.10	3.84	12.06	0.36	0.22	37.13	4.39	87.1	12.06	3.83
35	49.5	85.2	18.43	399.0	2.40	1.7	6.34	353	1.0	50.0	3.86	-0.10	3.88	12.23	0.37	0.22	37.11	4.45	86.7	12.24	3.86
36	49.5	87.2	18.95	398.8	2.42	1.7	6.34	357	1.0	50.0	3.91	-0.10	3.92	12.41	0.38	0.23	37.08	4.51	86.6	12.41	3.91
P5																					
40	60.8	85.1	23.07	397.7	2.48	2.0	6.36	393	1.0	50.0	4.32	-0.10	4.33	13.69	0.47	0.28	36.95	4.96	87.0	13.72	4.35
41	60.9	87.2	23.61	397.5	2.49	2.1	6.33	401	1.0	50.0	4.38	-0.08	4.39	13.85	0.48	0.28	36.92	5.02	87.4	13.88	4.42
42	60.9	89.2	24.03	397.4	2.50	2.3	6.37	403	1.0	50.0	4.43	-0.10	4.44	13.97	0.49	0.29	36.90	5.06	87.6	14.01	4.47
43	60.8	91.2	24.84	397.2	2.52	2.4	6.37	407	1.0	50.0	4.47	-0.10	4.48	14.20	0.50	0.30	36.86	5.14	87.1	14.26	4.52
44	60.9	93.2	25.33	397.0	2.53	2.5	6.37	411	1.0	50.0	4.52	-0.11	4.53	14.34	0.51	0.30	36.84	5.18	87.2	14.40	4.57
45	60.9	95.2	25.88	396.8	2.54	2.6	6.35	416	1.0	50.0	4.57	-0.10	4.58	14.50	0.52	0.31	36.81	5.24	87.2	14.56	4.63
P6																					
50	71.1	88.2	27.90	396.4	2.53	2.9	6.40	425	1.0	50.0	4.70	-0.10	4.72	15.05	0.57	0.34	36.80	5.43	86.5	15.12	4.76
46	70.9	90.2	28.26	396.2	2.56	3.1	6.39	434	1.0	50.0	4.79	-0.09	4.80	15.15	0.57	0.34	36.75	5.46	87.7	15.23	4.86
47	71.0	92.2	28.99	395.9	2.58	3.3	6.40	440	1.0	50.0	4.86	-0.11	4.87	15.34	0.59	0.35	36.71	5.53	87.9	15.43	4.94
48	71.0	94.1	29.89	395.7	2.58	3.5	6.40	444	1.0	50.0	4.91	-0.12	4.92	15.58	0.61	0.36	36.69	5.61	87.6	15.67	5.00
49	71.0	96.2	30.88	395.5	2.61	3.7	6.41	448	1.0	50.0	4.96	-0.11	4.98	15.84	0.63	0.37	36.65	5.69	87.2	15.94	5.06
P7																					
51	82.8	94.1	35.59	394.3	2.62	4.8	6.41	472	1.0	50.0	5.22	-0.13	5.24	17.00	0.72	0.43	36.56	6.10	85.7	17.13	5.35
52	82.9	96.2	36.87	394.0	2.65	5.3	6.41	480	1.0	50.0	5.31	-0.14	5.33	17.31	0.75	0.44	36.51	6.20	85.7	17.45	5.45
53	83.0	98.2	37.96	393.6	2.66	5.8	6.43	485	1.0	50.0	5.39	-0.12	5.40	17.56	0.77	0.46	36.47	6.28	85.7	17.72	5.53
54	82.9	100.0	38.8	393.4	2.7	6.2	6.4	491	1.0	50.0	5.4	-0.13	5.45	17.7	0.8	0.5	36.45	6.34	85.6	17.91	5.59

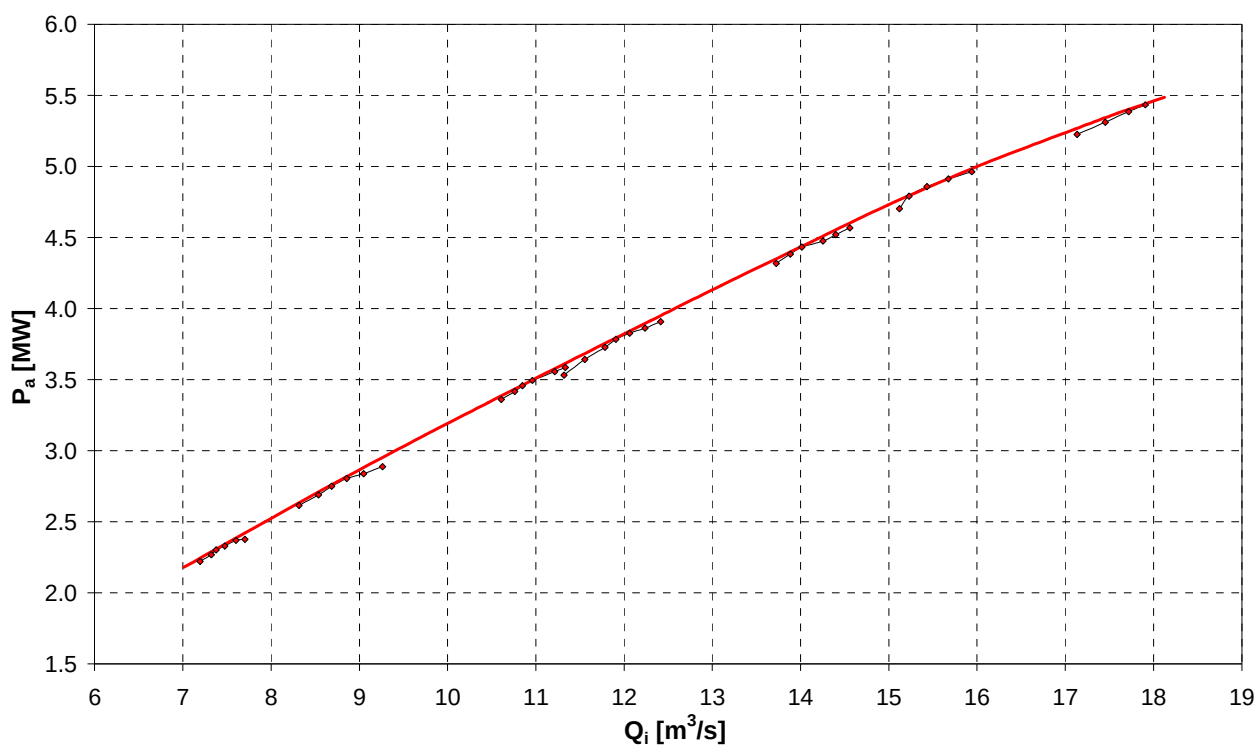
Tab. 6 - Hlavní výpočtová tabulka



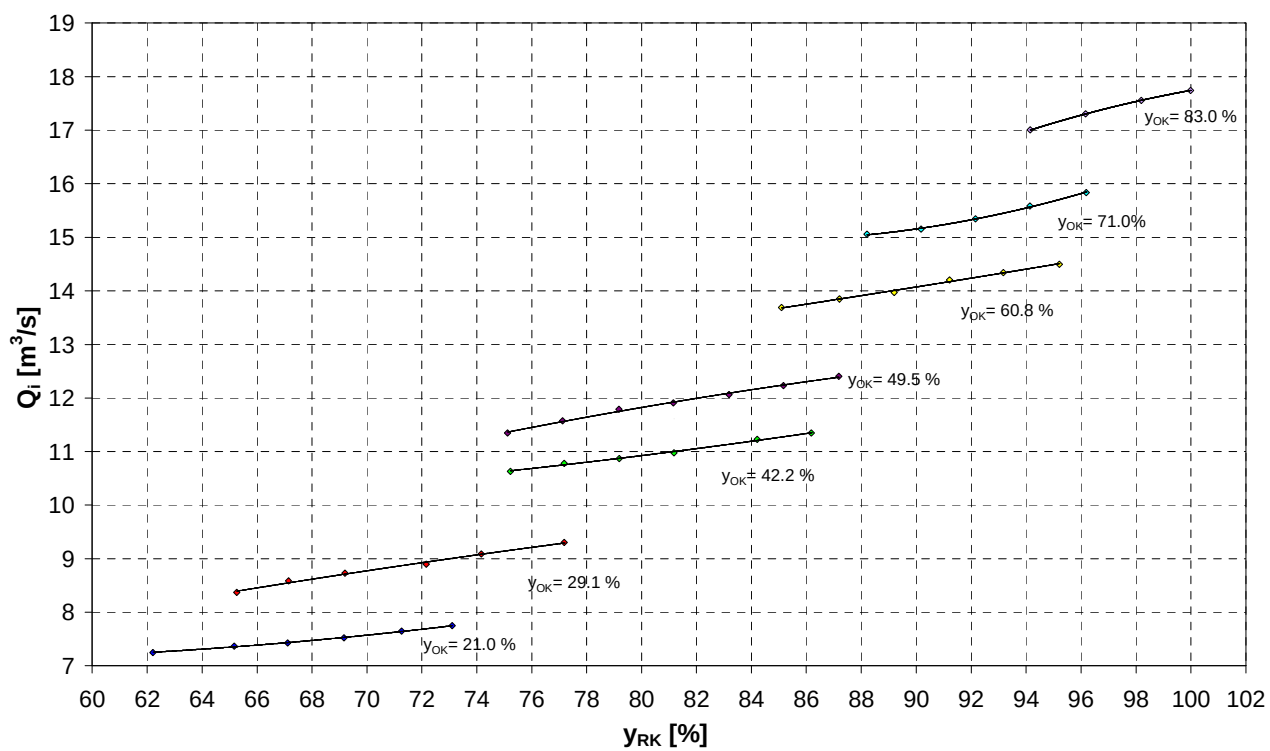
Obr. 7 - Účinnost soustrojí a otevření rozvaděče jako funkce průtoku



Obr. 8 - Účinnost soustrojí a signál kavitačních emisí jako funkce průtoku



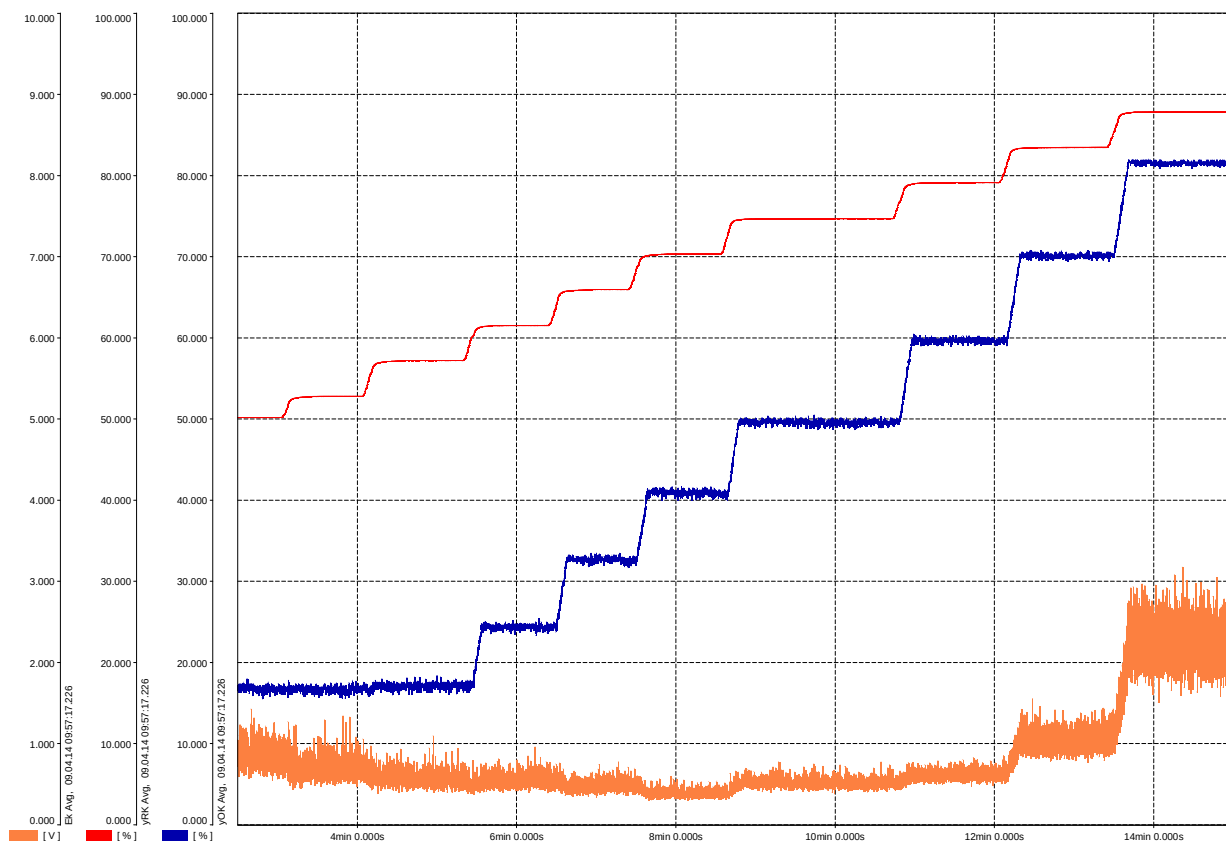
Obr. 9 - Dosahovaný činný výkon jako funkce průtoku



Obr. 10 – Průtok jako funkce otevření rozvaděče

5.5 Vyhodnocení kavitačních emisí

Snímač (kontaktní ultrazvukový mikrofón) byl umístěn na víko vstupu na kuželi savky viz Obr. 4. Průběh kavitačních emisí je zobrazen jako časový záznam v celém provozním rozsahu stroje při aktuálním spádu. Ze záznamu je zřejmý pozvolný nárůst kavitace pro nejvyšší výkony stroje. Dlouhodobý provoz stroje by měl být omezen na hranici 70 % otevření oběžného kola.



Obr. 11 – Časový záznam kavitačních emisí v celém regulačním rozsahu stávající vazby

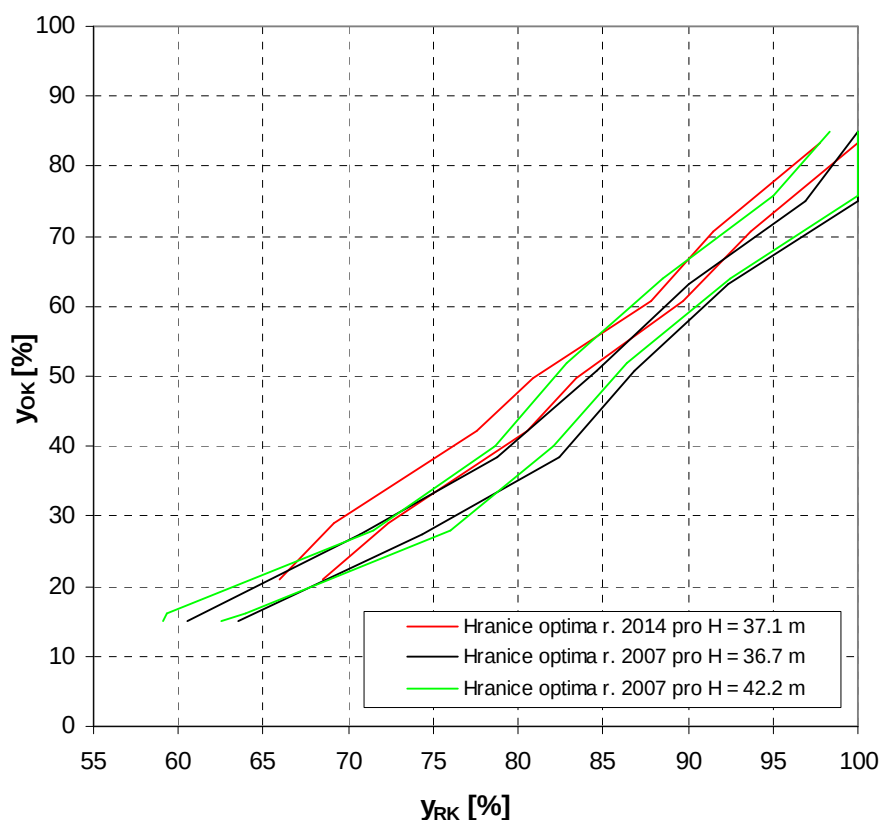
5.6 Vyhodnocení vazby oběžného kola a rozvaděče

Optimální vazba $y_{RK} - y_{OK}$ byla konstruována jako pásmo, pro jehož hraniční křivky platí, že účinnost v propeleru poklesla maximálně o cca 0.2 % oproti účinnosti v dotykovém bodě obalové křivky a křivky daného propeleru.

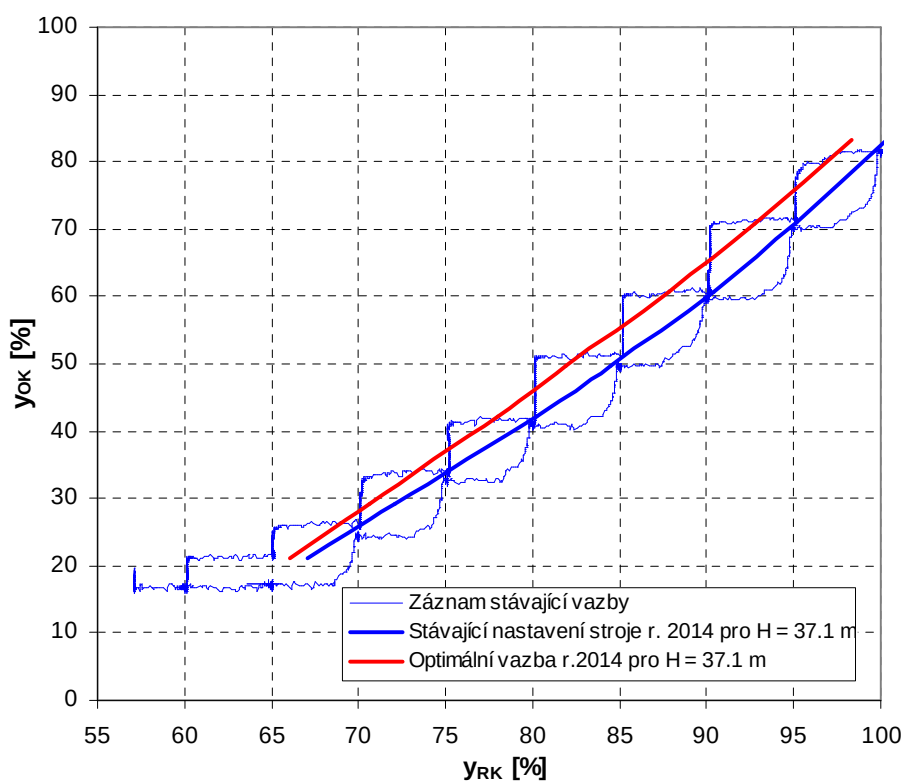
Z předcházejícího měření, které vykonala společnost OSC, a.s. v roce 2007 při dvou spádech ($H = 42.2$ m a $H = 36.7$ m viz. [3]) je zřejmé, že spádová závislost vazby je zanedbatelná. Porovnáním hranic optimálního nastavení oběžného kola a rozvaděče s měřením v roce 2007 (viz Obr. 12) vyplývá, že při rekonstrukci došlo k drobnému posunu v nastavení vazby. Navrhujeme tedy upravit stávající vazbu podle údajů uvedených v Tab. 7.

y_{OK}	21.0	29.1	42.3	49.7	60.8	70.8	83.2
y_{RK}	67.2	72.1	79.7	83.5	89.2	93.8	99.6

Tab. 7 – Tabulka optimálního nastavení - vyhodnoceno z měření při střední hodnotě spádu $H = 37.1$ m



Obr. 12 – Porovnání hranic optimálního nastavení z měření v roce 2007 a 2014



Obr. 13 – Záznam stávající vazby v porovnání s nově navrženou vazbou

6. Závěr

Indexové měření pro stanovení optimální vazby na TG1 VE Nechanice proběhlo ve dnech 8. a 9. dubna 2014 ve shodě s požadavky platných norem [1]. Střední spád při měření byl 37.1 m. Výsledky měření lze shrnout následovně:

1. Účinnostní křivka soustrojí se shoduje se stavem před opravou.
2. Vlivem rekonstrukce došlo k malému posuvu v měření polohy oběžného kola a rozvaděče. Z toho důvodu se mírně změnila vazba mezi oběžným kolem a rozvaděčem.
3. Výsledky výše popsaného měření byly porovnány i s měřením při 2 spádech z r. 2007 [4]. Na základě tohoto srovnání doporučujeme nahrát novou vazbu do regulátoru jako nezávislou na spádu.
4. Potřebu případné spádově závislé vazby bude možno posoudit, pokud bude stroj proměřen i při vysokém spádu (cca 42 m).
5. Vzhledem k nárůstu kavitačních emisí doporučujeme omezit dlouhodobí provoz stroje na hranici 70 % otevření oběžného kola.

LITERATURA:

- [1] ČSN EN 60041: „Přejímací zkoušky na díle pro určení hydraulických charakteristik vodních turbín, akumulčních čerpadel a čerpadlových turbín“, vydal ČSNI, rok 1995
- [2] Ševčík P: „HC Nechanice, garanční měření TG1 po rekonstrukci; měření účinnosti a dosažitelného výkonu“; zpráva TS HYDRO, s.r.o., rok 2001
- [3] Bischof R, Ševčík P: „Vazba na TG1 a TG2 HC Nechanice, optimalizace při minimálním spádu“; zpráva OSC, TZ 1680/3000, rok 2006
- [4] Bischof R, Polák P: „HC Nechanice, optimalizace vazby na TG1 a TG2“; technická zpráva OSC, TZ 1736/3000, rok 2007