

# Výpočet vlastních frekvencí a tvarů kmitů lopaty oběžného kola Kaplanovy turbíny ve vodě

Varner M., Kanický V., Salajka V.

## ANOTACE

Uvádí se výsledky studie vlivu vodního prostředí na vlastní frekvence lopaty oběžného kola Kaplanovy turbíny, speciálně pak vliv radiální vůle mezi lopatou a stěnou komory oběžného kola. Porovnává se snížení vlastních frekvencí vlivem interakce s vodním prostředím stanovené výpočtem s experimentem.

## ABSTRACT

The paper presents some results of the FEM - analysis of water environment effects on natural frequencies of Kaplan - type turbine runner blades. Particularly the effects of blade - runner chamber wall radial clearances have been analysed. The effects of water environment on natural frequencies of runner blades are compared with the results of experiments.

### 1. Úvod

Životnost lopaty oběžného kola (OK) Kaplanovy turbíny je vedle únavových vlastností lopaty určena především odezvou lopaty na časově proměnlivé účinky interagujícího vodního prostředí za provozu turbíny. Pro predikci reálného dynamického chování lopaty je nutno stanovit vlastní frekvence a vlastní tvary kmitů lopaty ve vodě. V minulosti byla tato úloha řešena s použitím experimentálně stanovených korekčních součinitelů nebo výpočtem vlastních frekvencí a tvarů kmitů metodou konečných prvků s uvážením spolukmitající hmotnosti vody. Spolukmitající hmotnost vody byla určována s použitím elektroanalogie pro danou geometrii lopaty.

V současné době řešení odezvy lopaty ve vodě umožňuje aplikace profesionálních programových systémů na bázi MKP (např. ANSYS, SYSTUS, COSMOS) [1], [2], [3].

V dalším se uvádějí výsledky studie vlivu neproudícího vodního prostředí na vlastní frekvence a vlastní tvary kmitu lopaty OK, speciálně pak vliv radiální vůle (mezery) mezi lopatou OK a stěnou komory OK. Pro obvyklou velikost vůle se výsledky výpočtu porovnávají s výsledky modelového experimentu [4].

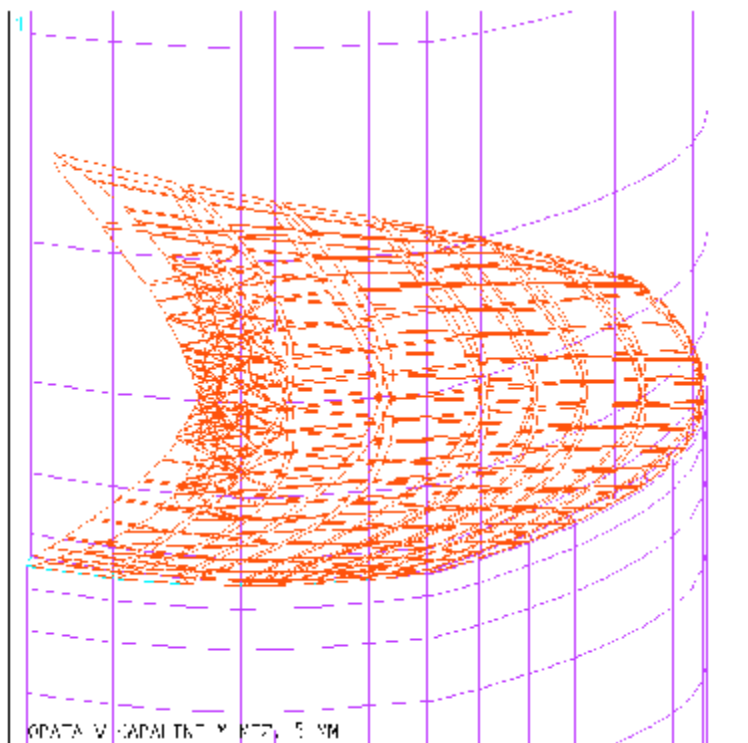
### 2. Výpočtový model a výsledky výpočtu

S použitím programového systému ANSYS verze 5.0A bylo řešeno vlastní kmitání lopaty OK ve vakuu a ve vodě. Lopata z korozivzdorné oceli byla modelována prostorovými osmiuzlovými konečnými prvky (SOLID45). Model byl vytvořen dle daných souřadnic povrchu lopaty s podrobným tvarováním přechodové oblasti lopaty do čepu, přičemž rozměry lopaty byly redukovány na jednotkový průměr oběžného kola (obr. 1).

Předpokládá se vetknutí čepu do tuhého nehybného náboje oběžného kola. Model sestává z 1428 prvků lokalizovaných 718 uzly a má 1524 stupňů volnosti. V tab. 1 je uvedeno patnáct vypočtených vlastních frekvencí lopaty ve vakuu. Prvních šest vlastních tvarů kmitů je zobrazeno na obr. 2 až 5.

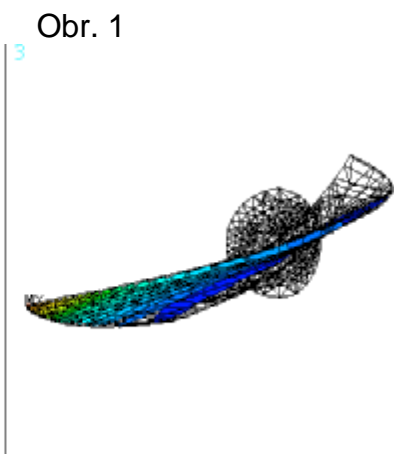
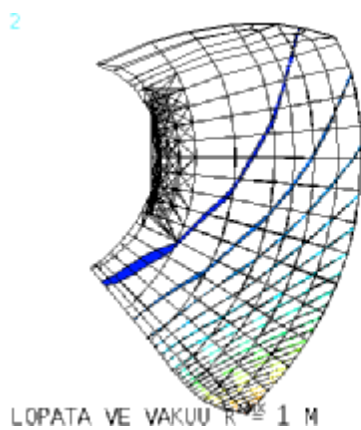
Při řešení vlastního kmitání lopaty v kapalině byla modelována oblast kapaliny nad i pod lopatami OK s ohraničením tuhou nehybnou válcovou plochou

$i = 1$   
 $f_i = 183,982 \text{ Hz}$

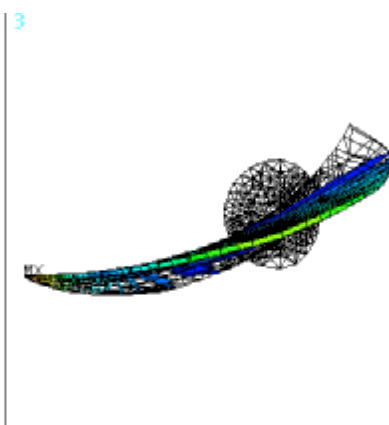
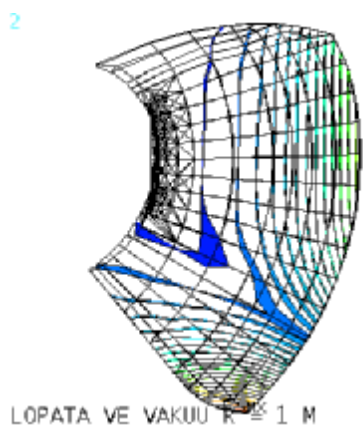


```
AKSYS 1.3
JUN 1 1998
15:13:02
PLOT NO. 2
ELEMENT 3
MAT NUM
ESI
1
```

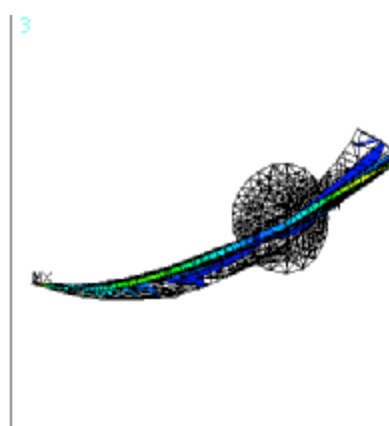
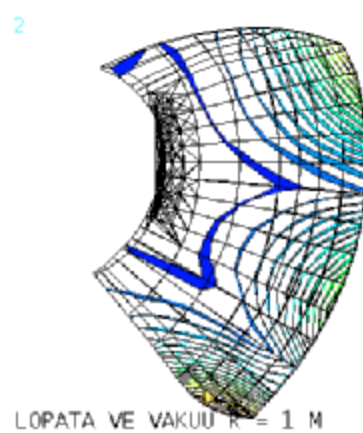
$i = 2$   
 $f_i = 241,006 \text{ Hz}$



Obr. 2

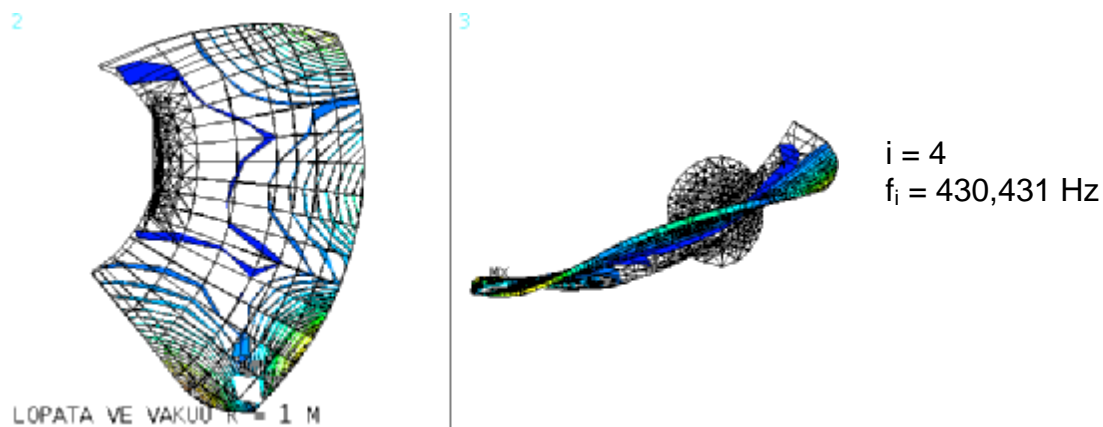


Obr. 3



Obr. 4

$i = 3$   
 $f_i = 323,033$  Hz



Obr. 5

Tab. 1

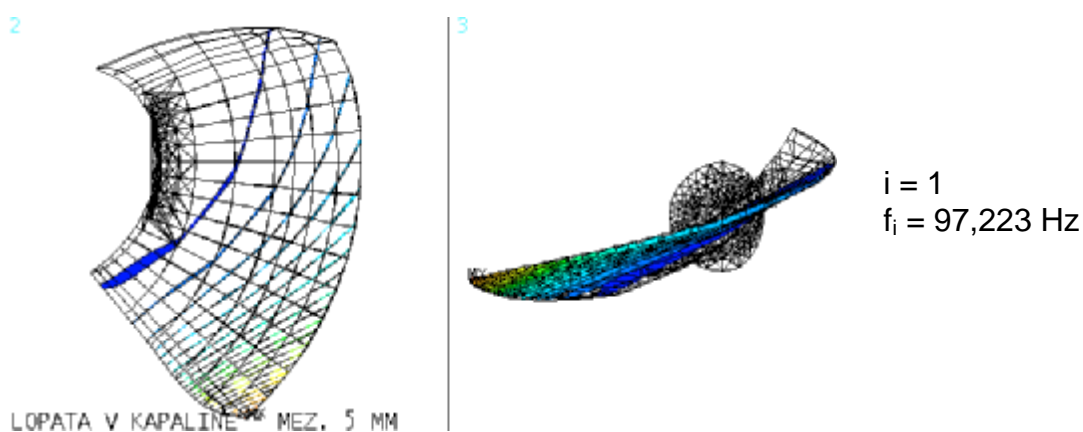
Vlastní frekvence lopaty [Hz]						
číslo i	ve vakuu	v kapalině				
		bez vŕlí	s vŕlí			
			2 mm	5 mm	10 mm	50 mm
1	183,98	82,45	91,97	97,22	100,76	107,96
2	241,01	126,87	136,60	142,65	147,07	156,32
3	323,03	193,48	203,42	209,43	213,56	221,44
4	430,43	278,60	289,37	295,35	297,26	297,33
5	482,68	298,33	298,30	298,89	301,31	308,55
6	597,42	320,00	328,61	332,77	335,21	339,67
7	628,01	418,16	428,73	435,79	440,76	449,18
8	757,70	502,87	512,77	517,97	521,20	528,65
9	818,71	572,23	578,94	583,43	586,52	591,93
10	861,08	598,55	607,12	611,79	614,71	619,37
11	965,14	622,15	637,17	645,80	650,64	654,50
12	1054,73	639,43	645,08	648,71	651,43	659,43
13	1211,59	715,83	725,95	732,51	736,94	744,05
14	1253,07	810,97	824,33	832,60	838,06	846,24
15	1403,27	910,29	926,08	934,60	937,57	938,45

(stěny komory OK a savky). V daném případě nebylo nutné modelovat úplné oběžné kolo a bylo využito rotační symetrie. Kapalinová oblast nad i pod lopatou - modelovaná osmiuzlovými prvky FLUID30 - má pak tvar válcových segmentů (obr. 1). Při kmitání v kapalině se lopaty oběžného kola vzájemně ovlivňují. Zjednodušeně byla zavedena podmínka rovnosti tlaků v odpovídajících uzlech na rozhraní válcových segmentů příslušných sousedním lopatám. V úrovních  $z = -$

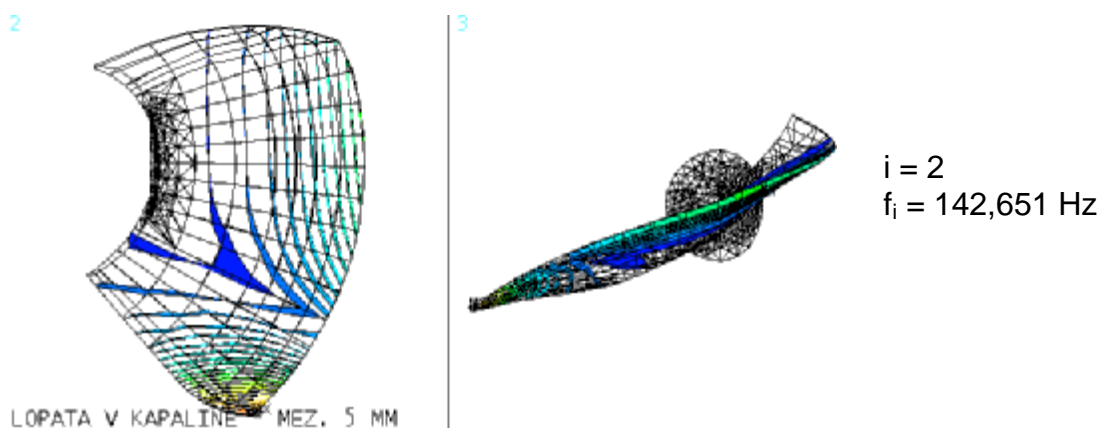
0,98 m a  $z = 1,53$  m se předpokládá, že amplitudy tlaků jsou dostatečně malé a zavádí se okrajová podmínka nulového tlaku. Kapalinová oblast sestává z 4204 prvků s hustotou  $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Rychlost zvuku v kapalině se uvažuje hodnotou  $1432 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Úplný výpočtový model sestává z 5632 prvků s 3404 uzly a má 4015 stupňů volnosti.

V tab. 1 je uvedeno patnáct vypočtených vlastních frekvencí.

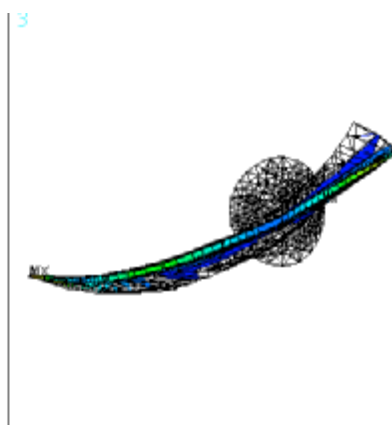
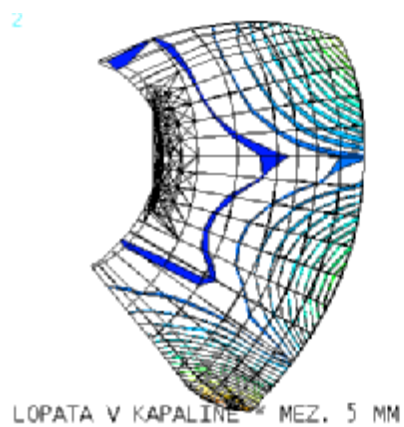
Pro analýzu vlivu radiální vůle mezi lopatou OK a komorou OK byl výpočtový model doplněn o další kapalinové prvky. Tento model sestává z 5902 prvků a 3708 uzlů s 4260 stupni volnosti. Šest nejnižších vlastních tvarů kmitů pro případ radiální vůle 5 mm jsou zobrazeny na obr. 6 až 11. Závislost vlastních frekvencí lopaty na velikosti radiální vůle je zobrazena na obr. 12.



Obr. 6

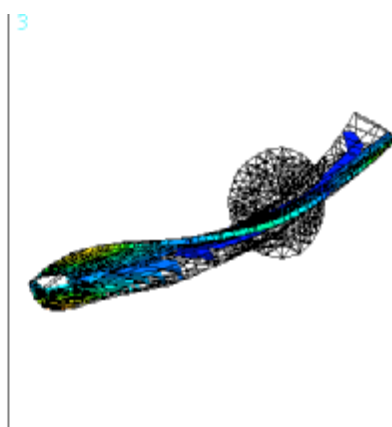
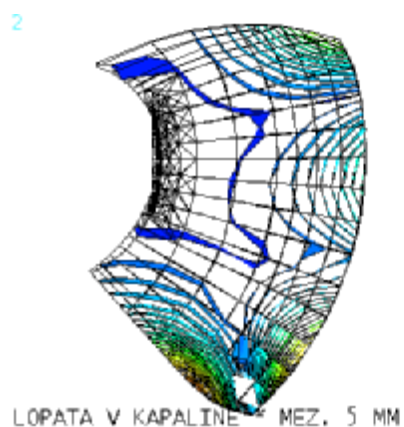


Obr. 7



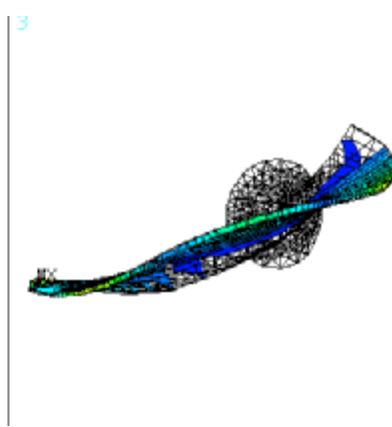
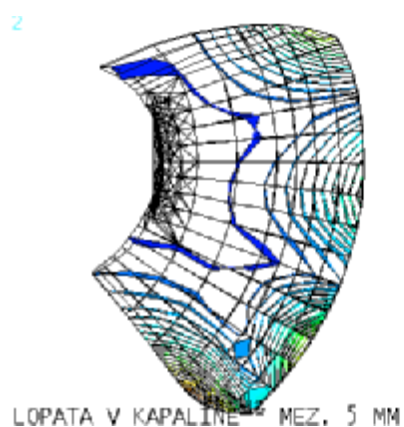
$i = 3$   
 $f_i = 209,425 \text{ Hz}$

Obr. 8



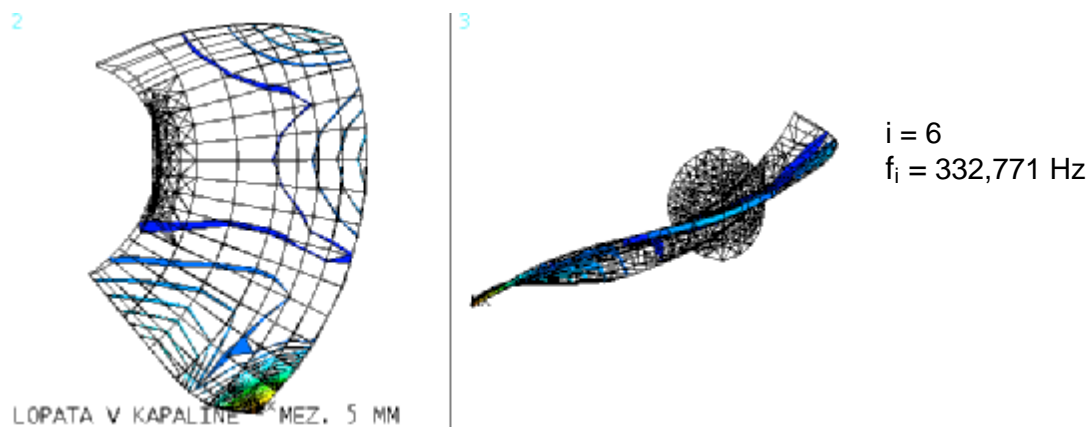
$i = 4$   
 $f_i = 295,352 \text{ Hz}$

Obr. 9

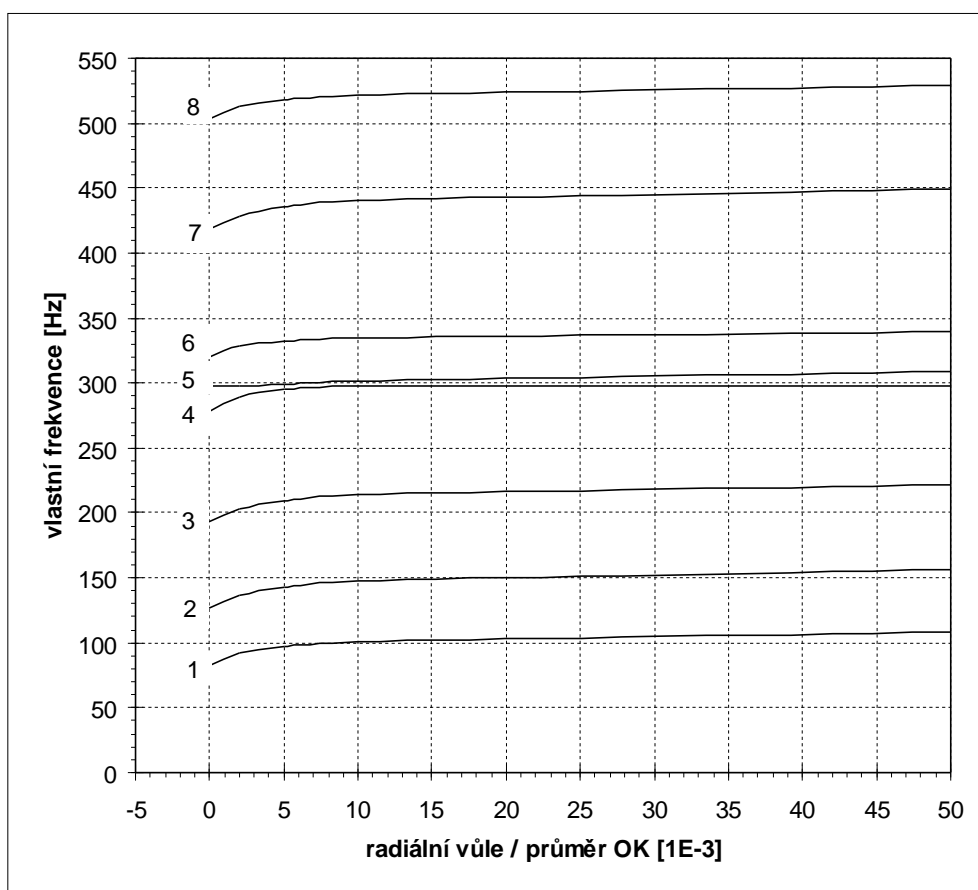


$i = 5$   
 $f_i = 298,888 \text{ Hz}$

Obr. 10



Obr. 11



Obr. 12

### 3. Srovnání hodnot součinitelů vlivu vodního prostředí na vlastní frekvence stanovených výpočtem a experimentálně.

Součinitelé vlivu vody  $\varphi_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$  na vlastní frekvence  $f_i$  lopat (OK) jsou dány poměrem:

$$\varphi_i = f_{i \text{ voda}} / f_i,$$

kde  $f_{i \text{ voda}}$  je  $i$ -tá vlastní frekvence ve vodním prostředí určená výpočtem resp. experimentálně,  $f_i$  je  $i$ -tá vlastní frekvence ve vakuu resp. ve vzduchu určená výpočtem resp. experimentálně. Součinitelé vlivu vodního prostředí pro pět nejnižších tvarů kmitu určené výpočtem a experimentálně na modelu oběžného kola

[4] a jejich poměrné odchylky jsou uvedeny v tabulce 2; vliv vzduchu na kmitání lopat je zanedbatelný a proto nebyl při výpočtu součinitelů uvažován.

Tab. 2

i	1	2	3	4	5
výpočet $\varphi_i$	0,474	0,547	0,614	0,659	0,618
experiment $\varphi_i$	0,467	0,554	0,608	0,637	0,650
poměrná odchylka [%]	1,47	-1,20	0,98	3,34	-5,18

Výpočet i experimenty byly provedeny pro radiální vůli mezi lopatou a komorou oběžného kola s velikostí 0,1 % průměru oběžného kola. Poměrné odchylky jsou malé; střední hodnota poměrných odchylek činí 0,13 %.

#### 4. Závěr

Aplikace profesionálního systému programu MKP - ANSYS umožňují analýzu vlastního kmitání lopaty OK Kaplanovy turbíny ve vodě s radiální vůlí mezi lopatou oběžného kola a stěnou komory oběžného kola.

Interakce lopaty s obklopujícím vodním prostředím způsobuje snížení vlastních frekvencí lopaty, vlastní tvary kmitů se mění nevýznamně. Zvětšování radiální vůle způsobuje zvětšení vlastních frekvencí.

Výsledky srovnání součinitelů vlivu neproudícího vodního prostředí na vlastní frekvence lopat oběžných kol Kaplanových turbin určené výpočtem a experimentálně potvrzují věrohodnost vypočítaných hodnot vlastních frekvencí lopat.

#### Literatura

[1] Kanický V., Rohovský K.: Teorie a praxe seismických výpočtů nádrží. Brno, KSB, 1986

[2] ANSYS User's Manual for Revision 5.0, Volume I - IV, Swanson Analysis System, Inc., Houston 1992

[3] Novotný J., Salajka V.: Analýza interakce kapaliny a tělesa programovým systémem ANSYS. Zpráva grantového projektu GA/103/93/2012. Brno, prosinec 1993, 58 stran.

[4] Půlpitel L.: Měření na dynamickém modelu Kaplanovy turbíny, VZ č.: 4 VUM 9962-158, ČKD Blansko, Blansko 1989

#### Autoři

Ing. Miroslav Varner, ČKD Blansko, Gellhornova 1, 678 18 Blansko, tel.: 0506-402023, fax 0506-54060.

Doc. Ing. Viktor Kanický, CSc., Kancelář dynamických výpočtů, Hoblíkova 13, 613 000 Brno, tel.-fax: 05-572697.

Doc. Ing. Vlastislav Salajka, CSc., Ústav stavební mechaniky, Fakulta stavební, VUT v Brně, Veverčí 95, 662 37 Brno.