

# MĚŘENÍ NESTACIONÁRNÍHO PROUDĚNÍ V SAVCE FRANCISOVY TURBÍNY

Ing. Pavel Zubík

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav vodních staveb – Laboratoř vodohospodářského výzkumu

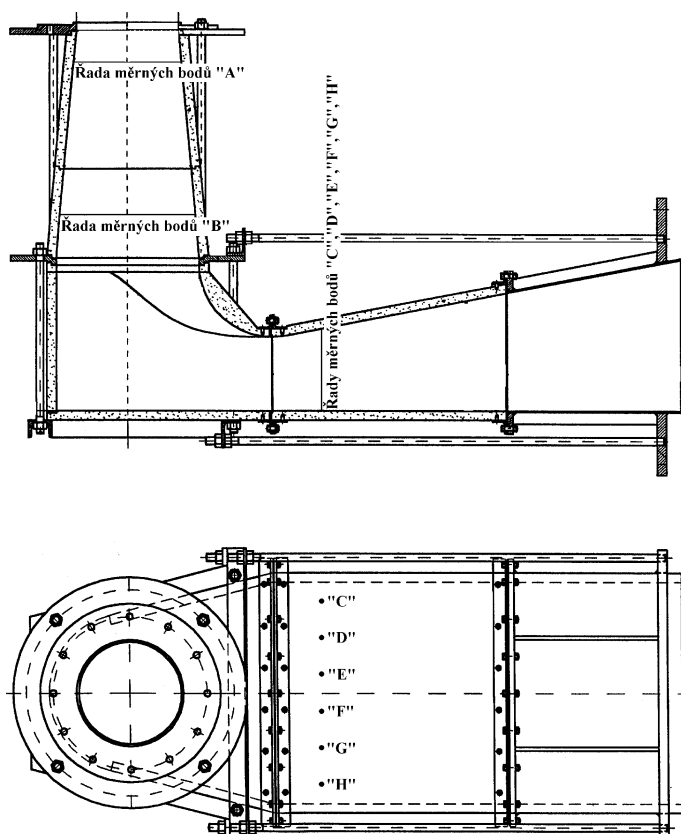
## Úvod

V říjnu 2000 bylo provedeno na zkušebně ČKD Blansko Engineering, a. s. poměrně rozsáhlé měření. Úkolem bylo získat verifikační informace pro matematický model pro grantový úkol MPO ČR s názvem „Výzkum vodních turbín, pulsace tlaku, vibrace“ č.: PZ-HZ/13/1999.

## Použité měřicí zařízení

Souprava laser-dopplerovského anemometru (LDA) pro synchronní měření dvou složek vektoru rychlosti v jednom bodě. Souprava sestává z argonového laseru o výkonu 300 mW, optických prvků, včetně Braggových cell pro elektrooptický shift, jednoosého lineárního traverzačního zařízení, vyhodnocovacího dvoukanálového procesoru a řídicího počítače třídy PC.

## Postup měření



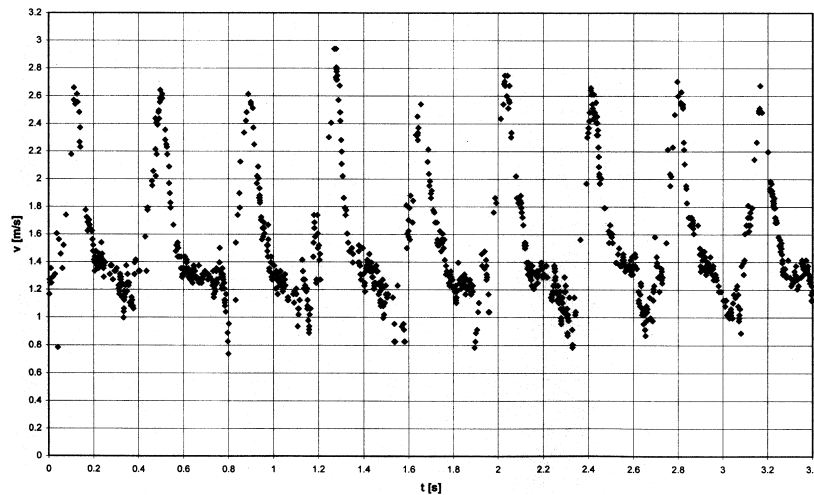
Po vypuštění vody ze zkušebního okruhu turbíny byly do předem připravených dvou párů protilehlých otvorů v kuželu savky vsazeny kvalitní planparalelní skleněné zátky. Optická soustava laserového anemometru byla postupně ustavována do osy prvního a druhého párů oken v kuželu savky turbíny (společná osa oken prochází osou stroje a je na ní kolmá) a do šesti kolmic na stěnu savky za kolenem. Měřená místa byla označena písmeny – první za oběžným kolem v kuželu savky „A“, vzdálenější od oběžného kola, v kuželu savky „B“, šest řad od vrchu dolů (vzhledem k poloze celé zkušební turbíny) v obdélníkovém profilu za kolenem „C“, „D“, „E“, „F“, „G“, „H“. Postupně bylo měřeno v místě „A“ ve dvaceti bodech a v místě „B“ ve dvaceti šesti bodech. V obou případech byly měrné body rozmístěny s roztečí 5,6 mm, na jedné radiále - od osy stroje ke stěně savky. Takto bylo v místě „A“ provedeno celkem 8 sad měření -

provozních bodů turbíny a v místě „B“ celkem 18 sad měření. V místech „C“ až „H“ bylo měřeno vždy ve čtrnácti bodech s roztečí 11 mm včetně vzdálenosti prvního bodu od stěny. V místech „C“ až „H“ byly provedeny celkem dvě kompletní sady měření. Po demontáži oběžného kola bylo provedeno celkem 6 sad měření v místě „B“ s nezměněným rozmístěním

měrných bodů. Při všech měřeních byla současně s naměřenými složkami rychlosti ukládána také synchronizační značka získaná na základě tlakových pulzací v kuželu savky turbíny.

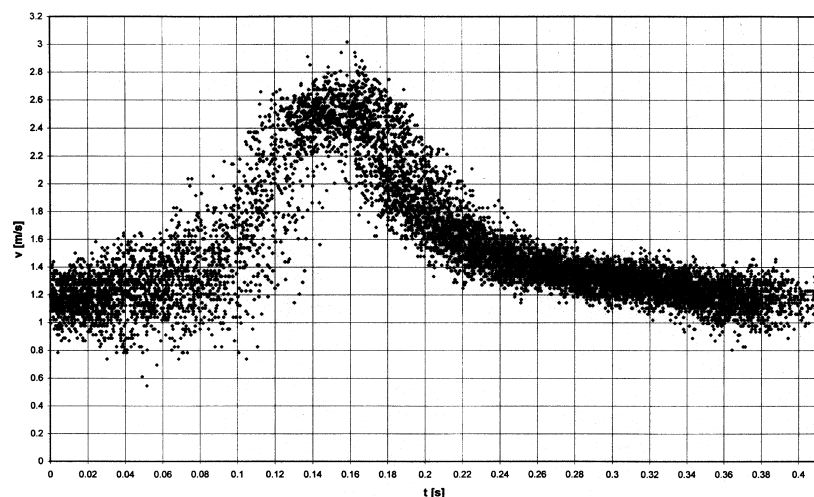
### Komentář k naměřeným a vypočteným hodnotám

Princip LDA je příčinou toho že záznam zjištěných rychlostí v právě měřeném bodě je vždy časová řada hodnot s nepravidelným krokem (viz. následující graf).



nestacionární děj měl periodický charakter bylo možno záznam výše zmíněné časové řady doplnit informací o okamžicích, kdy sledovaný děj právě probíhal zvoleným bodem ve své fázi. Pracovníci ČKD Engineering a. s. zhotovili zařízení, jež na základě tlakových pulzací na stěně savky vytvářelo potřebný značkovací signál. Po ukončení měření byly zaznamenané mnohasekundové časové řady seřazeny do intervalu o časové délce jedné periody. Další graf ukazuje příklad tohoto seřazení. Každá tečka v těchto grafech reprezentuje jedno platné a přísně ověřené měření. Příčinou zjevného rozptýlení není rušivý šum v signálu, ale sledovaná fyzikální skutečnost – jednotlivé periody nejsou zcela shodné.

seřazeny do intervalu o časové délce jedné periody. Další graf ukazuje příklad tohoto seřazení.



V dalším kroku zpracování byly statistickým zpracováním získány typické střední průběhy přes jednu periodu pro každou měřenou složku rychlosti a pro každý měřený bod na

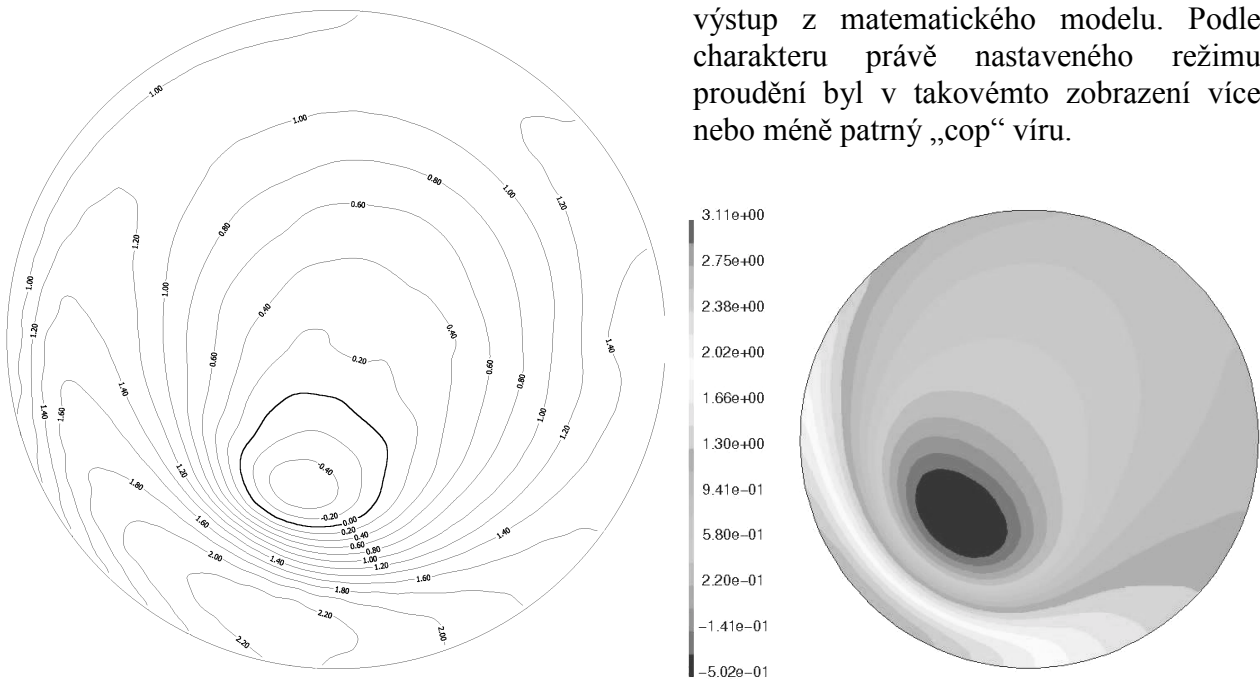
příslušném poloměru  $R$ . Také byly vyhodnoceny příslušné směrodatné odchylky těchto středních průběhů.

Teprve následující krok zpracování přináší informaci ve formě porovnatelné s časově středním rychlostním profilem. Vezmeme-li závislou hodnotu z funkce popsané v předchozím odstavci v okamžiku  $T = 0$  pro každý měrný bod, můžeme vykreslit průběh příslušné hodnoty napříč profilem v okamžiku námi zvoleného počátku periody. Následně provedeme totéž s malým posunem o zvolené  $\Delta T$ . Takto lze získat téměř libovolně členěnou sadu profilových průběhů žádané hodnoty.

Díky tomu, že složky rychlosti  $x$  a  $y$  byly měřeny zcela synchronně, bylo možno získat informaci o směrodatné odchylce úhlu mezi nimi. (Při nezávislém měření těchto dvou složek lze vektorově skládat pouze jejich časově střední hodnoty, ale není možno vektorově sčítat okamžité hodnoty. Proto nelze nijak usuzovat na rozptyl směrů výsledného vektoru.)

Vzhledem k tomu, že jsou známy okamžité průběhy závislých hodnot přes celou opakující se periodu na jedné radiále kruhového profilu, lze s jejich pomocí vykreslit jeden typický okamžitý stav rozložení veličiny napříč profilem (jako bychom „zmrazili“ neustále se otáčející pole v jedné poloze). Následující graf vlevo je příklad rozložení meridiálních rychlostí a graf vpravo je

výstup z matematického modelu. Podle charakteru právě nastaveného režimu proudění byl v takovémto zobrazení více nebo méně patrný „cop“ víru.



Protože na proudění v obdélníkovém profilu za kolenem savky není možno uplatnit předpoklad rotační symetrie přes jednu periodu tohoto nestacionárního děje, byla zvolena, pro srovnatelnou prezentaci, časová série grafů vytvořených sloučením informací z šesti řad měření - „C“ až „H“. Podélná složka rychlosti je zobrazena formou izolinií a měřené složky sekundárních rychlostí šipkami (pro úplné vyjádření sekundárních rychlostí chybí znalost třetí složky rychlosti). Posledních čtyř grafů, v tomto příspěvku, jsou příklady ze série časových kroků popisujících jednu průměrnou periodu rozložení podélné i (měřené složky) příčné rychlosti.

Na závěr je nutno konstatovat, že zjištěný gradient rychlosti v okolí jádra víru je ve skutečnosti větší než vyplývá z vytvořených grafů. Příčiny jsou dvě. Jedna je dána principem LDA a nutností za daných podmínek použít v optické soustavě čočku s poměrně velkou ohniskovou vzdáleností. Následkem je poměrně výrazně protáhlý tvar (v podélném směru s radiálou) mikroprostoru, jenž s jistou nadsázkou nazýváme „bod měření“. To poněkud potlačuje prostorovou rozlišovací schopnost. Druhou příčinou je, v daném případě podstatně významnější, že poloměr na kterém se pohybuje jádro víru a doba jeho oběhu okolo osy stroje se neustále mírně mění, což je zřejmé například z prvních dvou grafů. Protože konečná informace je založena na mnoha tisících průchodů víru přes měrnou radiálu jsou tvar a poloha tohoto „copu“ „zprůměrovány“.

Během přípravy a provádění měření uskutečnili výzkumní pracovníci ČKD Blansko Engineering, a. s. mnoho subjektivních pozorování charakteru daného nestacionárního proudění. Zde popsané měření velmi vhodně doplnilo jejich informace, avšak pro získání ještě přesnějších objektivních informací by bylo nutno uskutečnit měření celých sledovaných rychlostních polí naráz v jediném okamžiku. To v současné době umožňuje pouze metoda PIV. Obě zúčastněné strany doufají, že v blízké budoucnosti bude existující aparatura pro PIV, na pracovišti autora, modernizována nákupem výkonného pulzního laseru, což umožní takovéto měření provést.

