

LDA MEASUREMENT BEHIND GENERATOR OF ROTATION

LDA MĚŘENÍ ZA GENERÁTOREM ROTACE

P. Zubík*

Abstrakt: Technique and results of measurement of flow parameters in the piping model of circular cross section with generator rotation and follow-ups diffuser are presented. The contact-less measuring technique, i.e. Laser Doppler Anemometry (LDA), were used for the measurement of mean and pulsation velocity components. The results of measurement in a relatively simple technical element were destined for subsequent calibration and verification of mathematical models of turbulent flow.

Úvod

V Laboratoři vodohospodářského výzkumu (LVV) Ústavu vodních staveb Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně byl proveden experiment na objednávku řešitele – Ing. Pavel Rudolf (Odbor fluidního inženýrství Victora Kaplana, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně) – výzkumného projektu podporovaného Grantovou agenturou České republiky „Tvarová optimalizace difuzoru se vstupní obvodovou složkou rychlosti“ reg. č.: 101/06/P190. Cíl výzkumu: optimalizace sací trouby pro rychloběžnou vodní turbínu (např. vírovou turbínu), tak aby byla účinnost přeměny kinetické energie na tlakovou co nejvyšší. Parametry generátoru: pevná lopatková mříž s 10 lopatkami, lopatky navrženy tak, aby rychlostní profil na jejich výstupu odpovídal časově střednímu rychlostnímu výstupu z oběžného kola vírové turbíny. Postup: optimalizace za pomoci automatických optimalizačních algoritmů s využitím CFD metod, verifikace experimentem. Následující text stručně prezentuje průběh a výsledky experimentu.

K měření byla použita bodová laserová anemometrie (Laser Doppler Anemometry (LDA)) – posloužila k měření rozložení rychlostí a jejich turbulence ve zvolených radiálách a měření tlaků v sadě tlakových odběrů ve stěně modelu.

Zkušební trať, model

V prostorách LVV byla pro testovací okruh využita zásobní nádrž s čerpadlem řízeným frekvenčním měničem. Pro daný účel byl vyroben hydraulický okruh s modelem předmětného kanálu včetně vstupního a výstupního úseku.

Vzhledem k záměru použít pro měření rychlostí LDA byla příslušná část modelu vyrobena z plexiskla. Vzhledem k omezeným finančním prostředkům a současně zachování možnosti snadné záměnnosti jednotlivých částí modelu nebyly válcové a kuželové díly modelu ponořeny do nádrže s rovinnými stěnami. Rozměry modelů jsou uvedeny ve schématu na obr. 1, celkový pohled na model je na obr. 2. Měření byla prováděna při jedné hodnotě průtoku.

Použitá měřicí souprava pro LDA

Argonový laser výrobce Ion Laser Technology Model 5500A, max. výkon 300 mW, optická souprava pro dvousložkové měření dopřednou i zpětnou metodou, výrobce DISA typ 55X a dva procesory, výrobce Dantec typ BSA. V každém měrném bodě bylo zaznamenáváno 3 000 až 20 000 vzorků s nepravidelnou frekvencí v rozpětí 50 až 800 Hz dle aktuálních optických podmínek a hustoty stopovacích částic. Dodatečné sycení nebylo prováděno – byly

* Ing. Pavel Zubík, Ph.D.: Ústav vodních staveb, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně; Veveří 331/95, 602 00 Brno; tel.: 541 147 286, fax: 541 147 288; e-mail: Zubik.P@fce.vutbr.cz

využívány přirozeně se vyskytující částice ve vodě z vodovodního řádu. Odhad hodnoty rozšířené nejistoty rychlosti proudění vody v měrném bodě, na hladině spolehlivosti 95 %, je menší než 5 %.

Problematika LDA měření přes válcové rozhraní

Tato problematika je podrobně popsána v [1]. Ve zde popisovaném případě je úloha výrazně zjednodušena tím, že osa měřicí optické soustavy a podélná osa potrubí ležely vždy v jedné rovině a byly na sebe kolmé. Dvojice laserových svazků sloužících k měření podélné složky rychlosti za této situace podléhá stejným zákonitostem jako při měření přes rovinnou plochu. Vztah mezi posunem optické soustavy ležící vně potrubí a posunem průsečíků svazků ležícího uvnitř potrubí je lineární a je dán pouze poměrem indexů lomu vnitřního a vnějšího prostředí. V případě obvodové složky rychlosti je tento vztah nelineární z důvodu měnícího se úhlu dopadu svazků na stěnu potrubí při posuvu směrem dovnitř potrubí. Na obr. 4 je graf znázorňující rozdíl mezi skutečným posunem průsečíků laserových svazků ležících v rovině osy potrubí (sloužících k měření podélné složky rychlosti) a ležících v rovině kolmé na osu potrubí (sloužících k měření obvodové složky rychlosti). Z tohoto důvodu nebylo možno provádět synchronní měření obou složek rychlosti (ačkoli byla k dispozici kompletní dvousložková souprava LDA měřicí techniky). Měření bylo prováděno po jednotlivých složkách a posuny optické soustavy byly zvoleny tak, aby bylo měřeno ve stejných měrných bodech.

Měření parametrů vstupního pole

Z hlediska objednatele měření v tomto prostoru nebylo nijak zajímavé a sloužilo především k ujasnění podmínek popsaných v předchozím odstavci a k ověření dobré funkce uklidňovacích a usměrňovacích prvků na počátku přímého úseku modelu.

Ve vzdálenosti 620 mm a 120 mm protiproudě před generátorem rotace byly zvoleny profily pro měření parametrů vstupního proudového pole. V trubici s DN = 90 mm byla měřena podélná složka rychlosti na dvou protilehlých radiálách ve 22 měrných bodech. Byla použita dopředná metoda. Časově střední hodnoty rychlostí jsou na obr. 5. Vyhodnocená průřezová rychlost je 4 m/s a Reynoldsovo kritérium má hodnotu 330 000.

Měření proudění v mezikruží za generátorem rotace

Pro matematický model proudění v difuzoru je tento profil považován za vstupní pole.

Z důvodu neprůhledného pevného jádra ($\varnothing = 34,8$ mm) bylo nutno použít zpětnou metodu.

Protože za jednotlivými lopatkami generátoru rotace byly předpokládány úplavy, bylo měření provedeno v prostoru odpovídajícím rozteči dvou lopatek generátoru. Tato úhlová rozteč byla rozdělena na 5 radiál vzájemně pootočených o 9° . Na obr. 6 je průběh podélné složky rychlosti od vnější stěny k pevnému jádru, na obr. 7 je průběh obvodové složky rychlosti a na obr. 8 je průběh úhlu odklonu vektoru rychlosti od podélného směru. Vždy jsou vyneseny průběhy na jednotlivých radiálách a aritmetický průměr z nich.

Měření proudění za difuzorem

Pro získání časově střední informace o rychlostním poli v tomto prostoru již nebylo nutno měřit na více radiálách, navíc bylo možno použít dopřednou metodu. Měřeno bylo na jedné radiále a částečně na druhé protilehlé pro ověření rotační symetrie (z prostorových důvodů nebylo možno měřit až k protilehlé stěně). Na obr. 9 je průběh podélné a obvodové složky rychlosti od vnější stěny ke středu (osa potrubí je 95 mm od stěny).

Měření tlaků v sadě tlakových odběrů ve stěně modelu

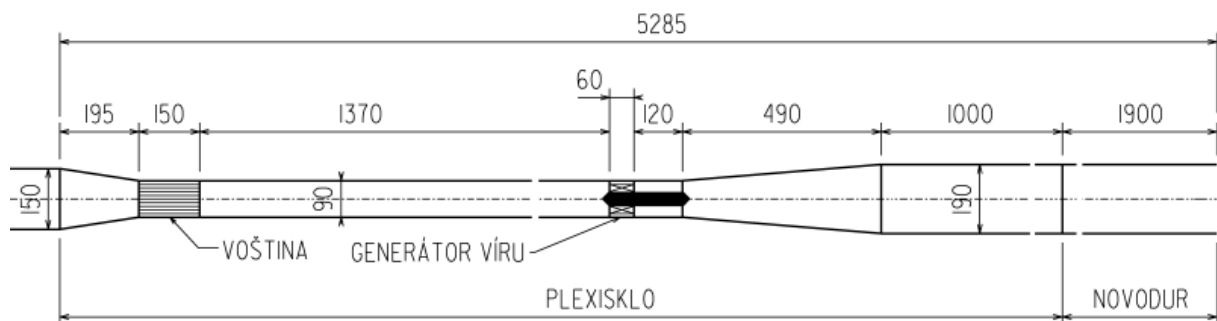
V 6-ti vzdálenostech poproudě za generátorem rotace byly umístěny po obvodě čtveřice tlakových odběrů. Z naměřených tlaků bylo možno mimo jiné vyhodnotit frekvenci otáčení vírového copu (je dobře zřetelný na obr. 3) – přibližně 6 Hz.

Závěr

Provedený experiment je nezbytný pro získání korektních okrajových podmínek a verifikaci výpočetního modelování.

Literatura

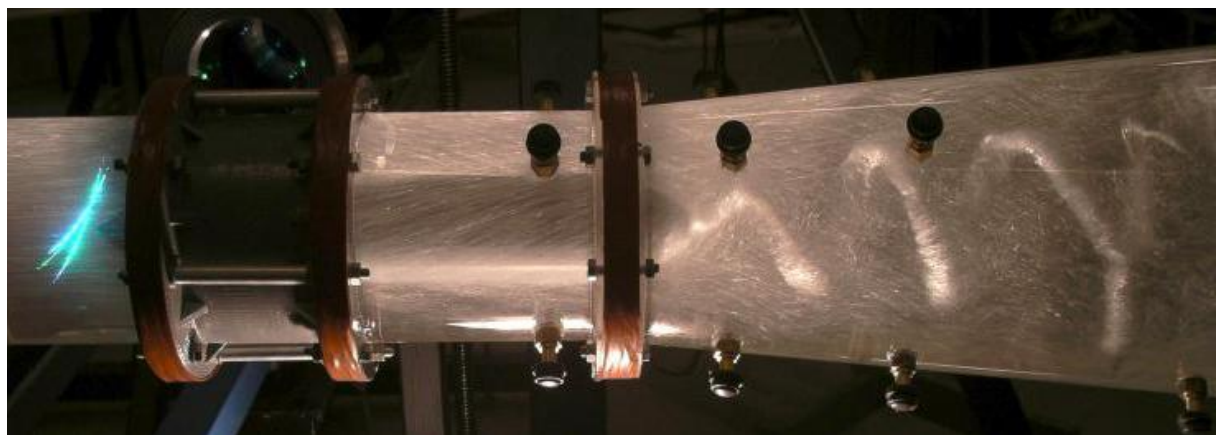
Severa M., Ditl P., Šedivý V. (2001) Korekce LDA dat při měření ve válcových nádobách. In.: 17. Symposium o anemometrii. Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Úvaly u Prahy 2001, s. 75-84. ISBN 80-238-7138-2.



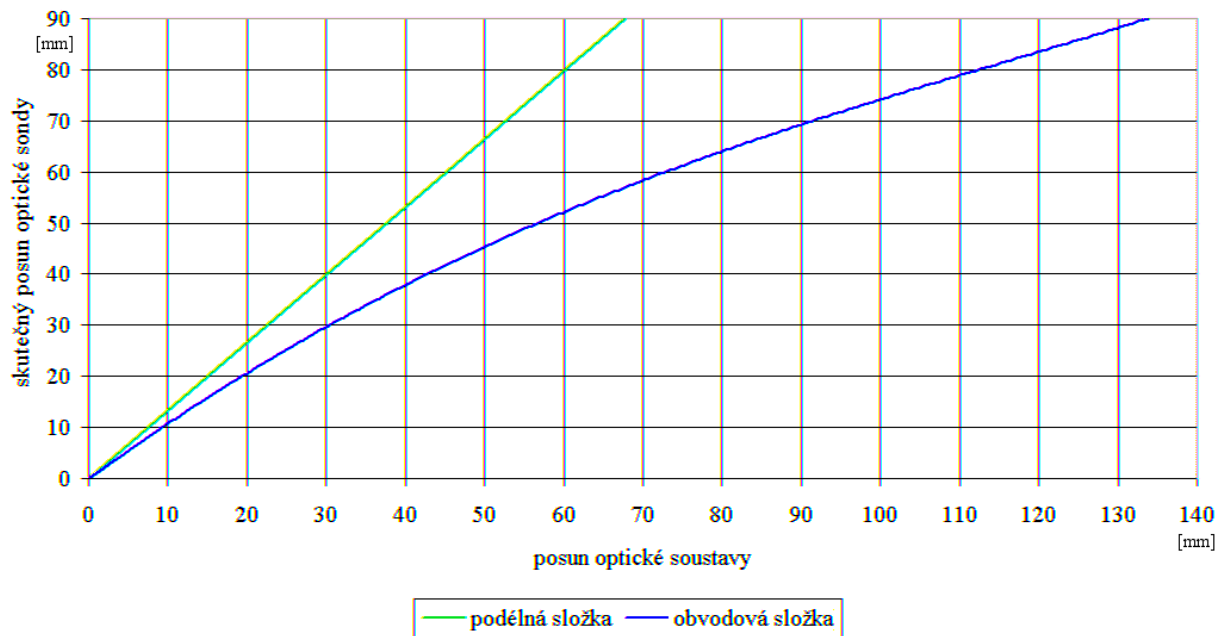
Obr.1 Schéma modelu – podélný řez



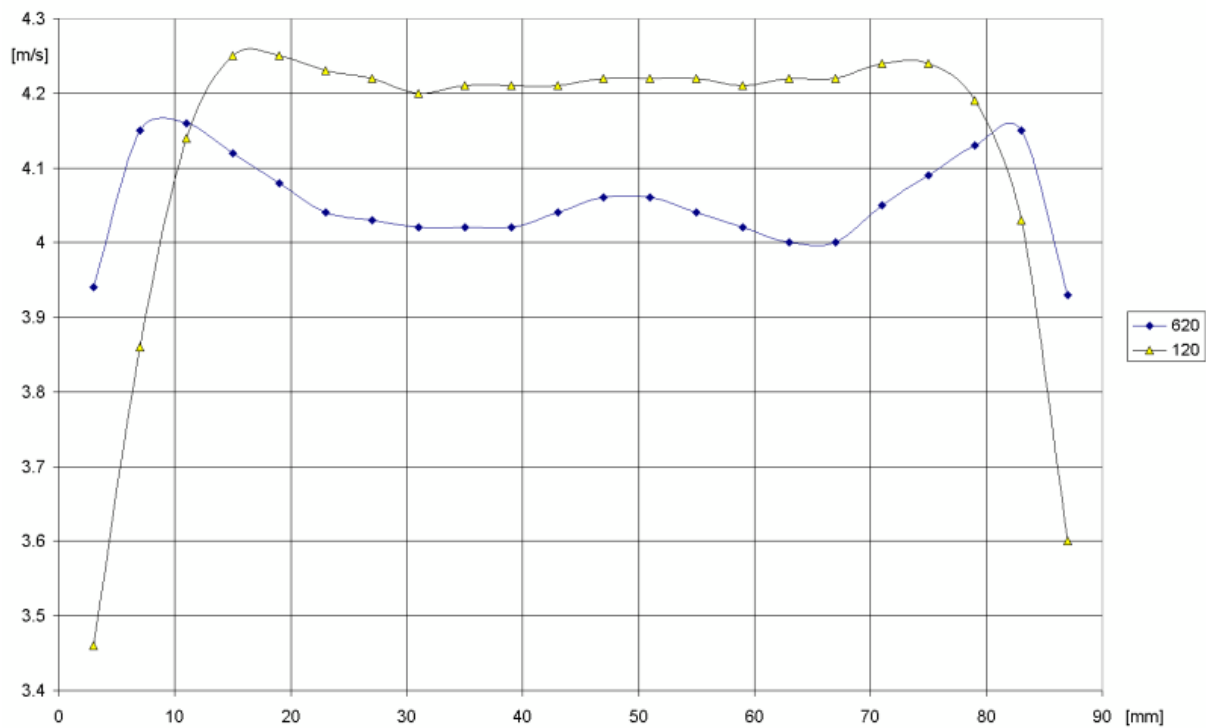
Obr.2 Celkový pohled na model



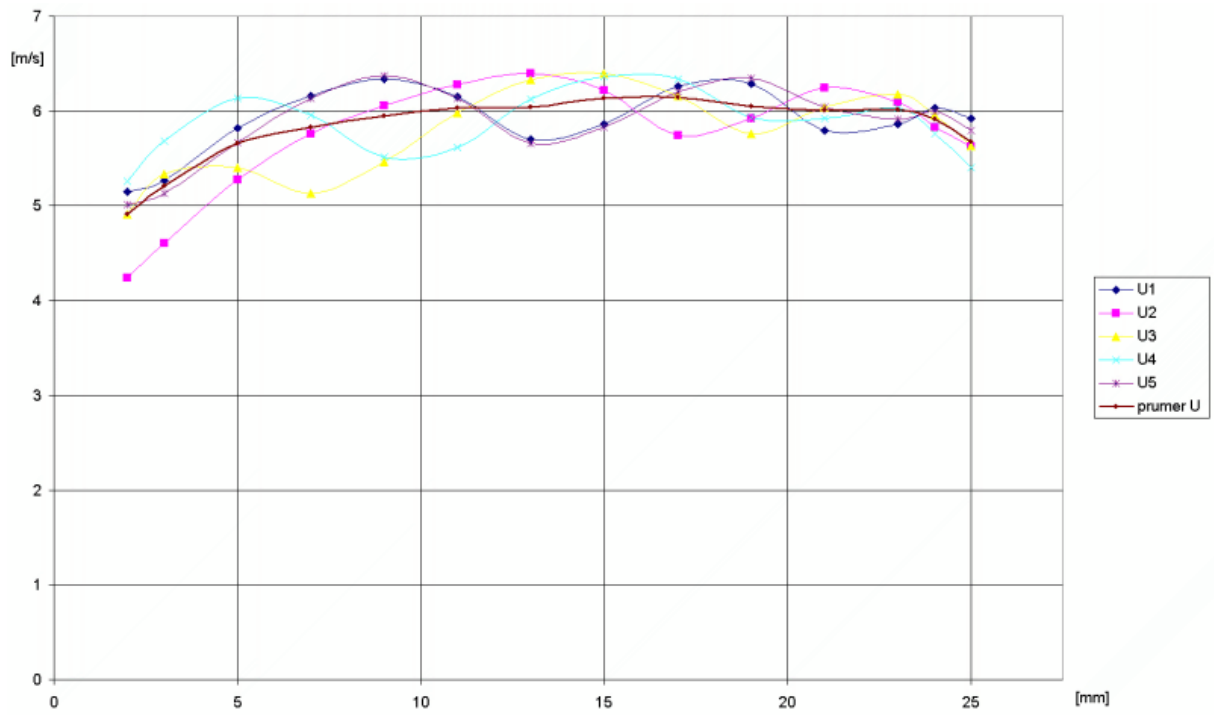
Obr.3 Detailní pohled na model



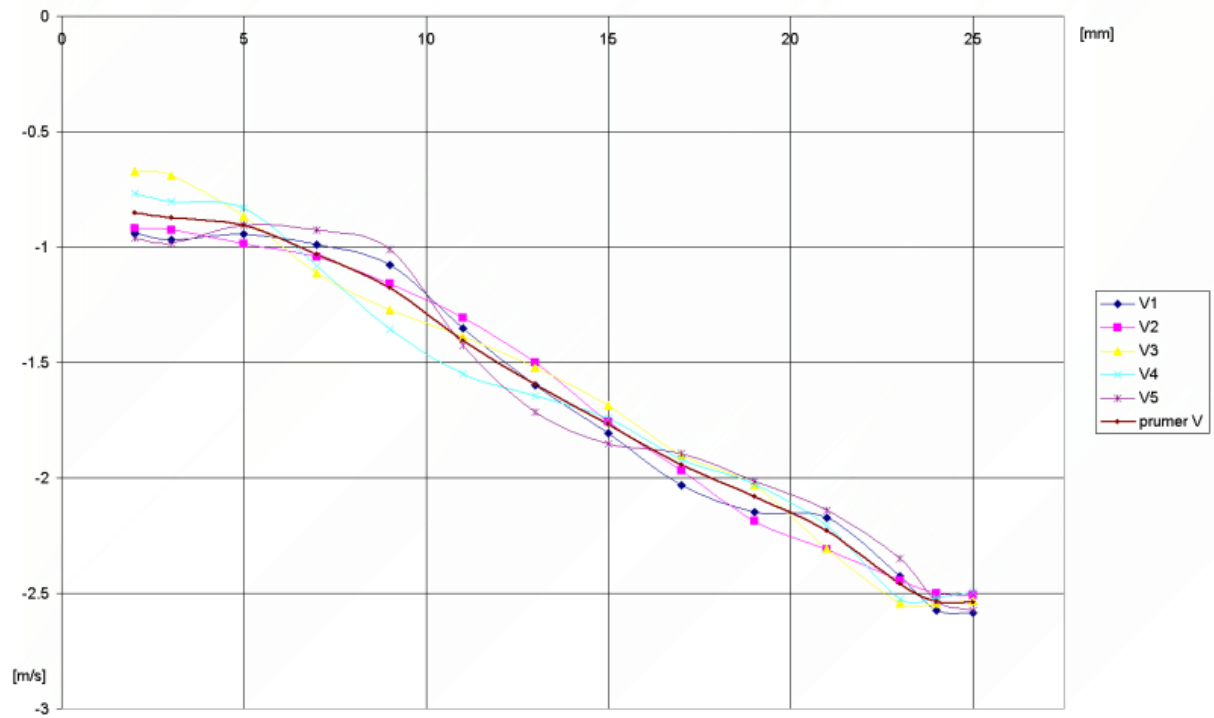
Obr.4 Vztah mezi posunem průsečíků laserových svazků a posunem optické soustavy v potrubí o průměru 90 mm



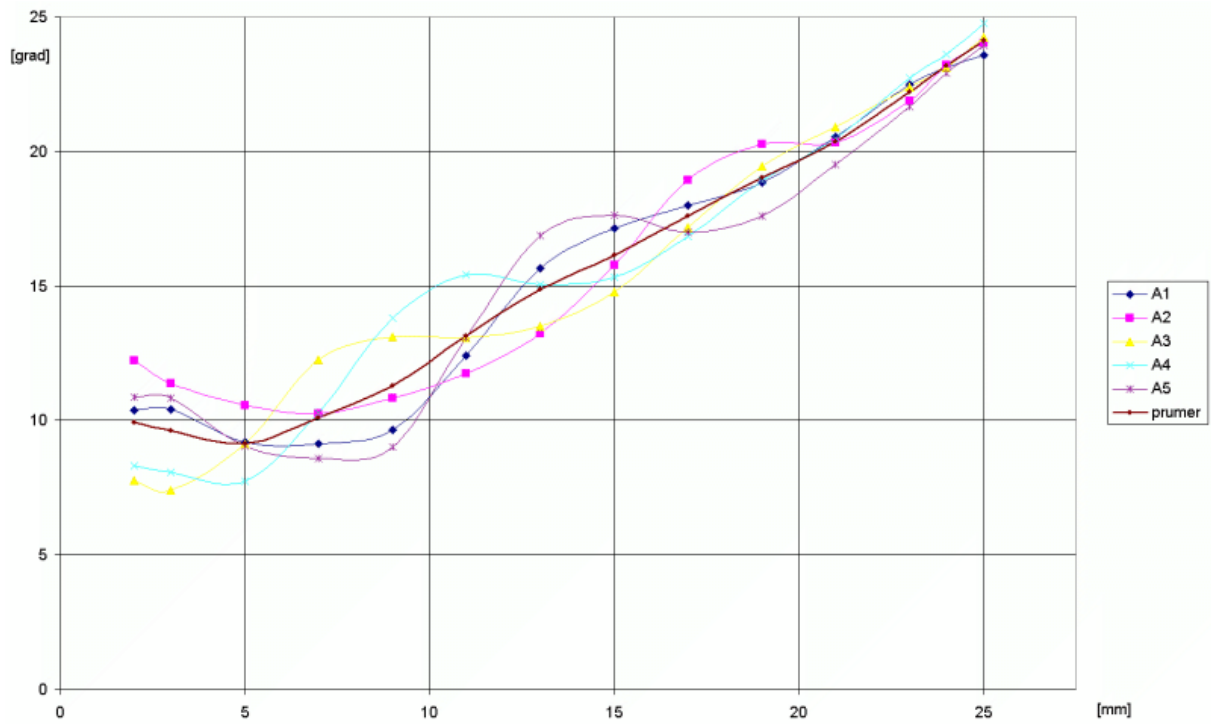
Obr.5 Časově střední hodnoty podélné složky rychlosti 620 a 120 mm protiproudě před generátorem rotace



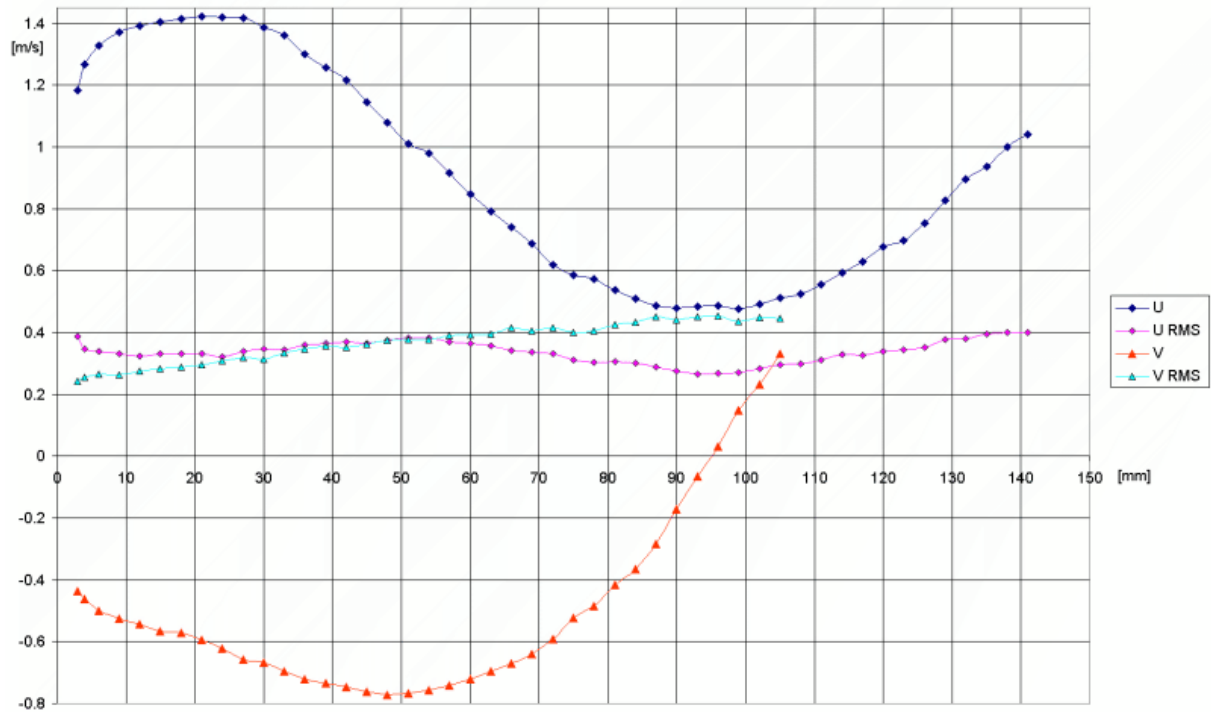
Obr.6 Průběh podélné složky rychlosti za generátorem rotace od vnější stěny k pevnému jádru



Obr.7 Průběh obvodové složky rychlosti za generátorem rotace od vnější stěny k pevnému jádru



Obr.8 Průběh odklonu vektoru rychlosti od podélné osy za generátorem rotace od vnější stěny k pevnému jádru



Obr.9 Průběh podélné a obvodové složky rychlosti za difuzorem od vnější stěny ke středu (osa potrubí je 95 mm od stěny)