

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

Ing. Michal Žoužela

**Verifikace metod pro měření a vyhodnocování rychlostních
polí na reálných hydraulických tratích s kalibrovanými
průtokovými poměry**

Písemná práce k doktorské zkoušce

Obor: Vodní hospodářství a vodní stavby
Školitel: Doc. Ing. Jan Šulc, CSc.

BRNO 2001

OBSAH

OBSAH.....	2
1. ÚVOD.....	3
2. PRINCIP STANOVENÍ PRŮTOKU A NEJISTOTY MĚŘENÍ.....	3
2.1. PRINCIP STANOVENÍ PRŮTOKU PŘI UŽITÍ METODY RYCHLOSTNÍHO POLE	3
2.2. NEJISTOTY MĚŘENÍ	4
3. CÍLE VÝZKUMU.....	5
4. MĚŘENÍ BODOVÝCH RYCHLOSTÍ	6
5. MĚŘENÍ A STANOVENÍ PRŮMĚRNÉ RYCHLOSTI NA SVISLICI .	7
5.1. METODA ROZDĚLENÍ RYCHLOSTÍ NA MĚRNÉ SVISLICI	7
5.2. ZKRÁCENÉ A VÍCEBODOVÉ METODY	7
5.3. METODA INTEGRAČNÍ	8
6. STANOVENÍ PRŮTOČNÉHO MNOŽSTVÍ V MĚRNÉM PROFILU ..	8
6.1. GRAFICKÉ METODY	9
6.2. NUMERICKÉ METODY	9
6.3. OSTATNÍ NUMERICKÉ METODY.....	10
6.4. OSTATNÍ METODY	11
7. ZÁVĚR.....	11
8. LITERATURA.....	12

1. ÚVOD

Stále přísnější požadavky na přesnost stabilních systémů pro stanovení okamžitých průtočných množství a proteklých objemů v systémech s volnou hladinou se promítají i do postupů měření a vyhodnocování rychlostních polí (stanovení „skutečného“ průtoku), které jsou při posuzování funkční způsobilosti těchto instalovaných měřidel užívány. V převážné míře se jedná o postupy využívající metodu rychlostního pole, jejímž principem je integrace bodových rychlostí přes plochu průtočného průřezu. Z legislativního a především z praktického hlediska je pro měření bodových rychlostí užívána hydrometrická vodoměrná vrtule.

Tato měření by měla být prováděna v souladu s normou DIN EN ISO 748 [1] (v současné době v návrhu), která je určena pro provádění měření na vodních tocích. Bohužel, podmínky při posuzování způsobilosti instalovaných měřidel se od geometrických a proudových okrajových podmínek přirozených vodních toků podstatně odlišují. Tento stav je zapříčiněn nutností provádět měření v profilech, s relativně malými geometrickými rozměry (šířka v hladině obvykle do 2 m), které jsou voleny v bezprostřední blízkosti (poproudě či protiproudě) posuzovaných měřidel tak, aby byl potlačen vliv retardace změn neustáleného průtoku. Díky tomuto požadavku je měření prováděno v profilech, ve kterých se běžně vyskytují hodnoty Coriolisova čísla 1,10, přičemž nejsou výjimkou i hodnoty dosahující 1,20.

Postupy **měření**, stejně jako **vyhodnocení** průtočných množství, včetně příslušných **nejistot**, jsou zpravidla závislé na rozhodnutí zpracovatele. Ten do řešení vnáší řadu subjektivních prvků, jejichž popis a kvantifikace je dlouhodobým úkolem kolektivu měřičské skupiny pracovníků Laboratoře vodohospodářského výzkumu, jako autorizovaného subjektu pro tuto činnost.

2. PRINCIP STANOVENÍ PRŮTOKU A NEJISTOTY MĚŘENÍ

2.1. *Princip stanovení průtoku při užití metody rychlostního pole*

Stanovení průtoku pomocí metody rychlostního pole je založeno na integraci funkce rychlostního pole přes plochu průtočného průřezu S ve smyslu rovnice

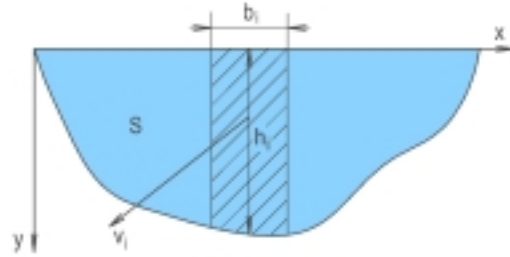
$$q = \iint_S u(x, y) dx dy, \quad (2.1)$$

kde $u(x, y)$ je funkce rychlostního pole.

Vzhledem k tomu, že funkce rychlostního pole je neznámá, je nutné ji aproximovat jiným vhodným způsobem. Obvykle tak, že ve vhodně zvolených měrných bodech průtočného profilu jsou měřeny bodové rychlosti, které jsou pak následně aproximovány vhodnou matematickou funkcí. Integrací této funkce přes plochu průtočného průřezu obdržíme hodnotu aproximující vztah (2.1).

Podle [1] a většiny autorů je tato aproximace a následná integrace bodových rychlostí prováděna nejdříve po výšce měrného profilu (v svislicovém či mezisvislicovém pásu) ve smyslu obrázku 1. Dostáváme tak průměrnou rychlost $\bar{v}$ na měrné svislici. Následně jsou tyto průměrné rychlosti na svislicích aproximovány a integrovány po šířce měrného profilu, čímž obdržíme hodnotu průtočného množství Q . Obr. 1. Definiční schéma

V praxi je často uvedený postup zapsán rovnicí



$$Q = \sum_{i=1}^m b_i h_i \bar{v}_i, \quad (2.2)$$

kde Q je hodnota stanoveného průtoku, b_i šířka svislicového či mezisvislicového pásu, h_i hloubka svislicového či mezisvislicového pásu, $\bar{v}_i$ průměrná rychlost na měrné svislici, m počet svislicových či mezisvislicových pásů.

2.2. Nejistoty měření

V následujících odstavcích budou uvedeny hlavní zdroje nejistot a nastíněna metoda výpočtu celkové nejistoty podle [1] s ohledem na metrologické a metodické předpisy [6,7,10,11].

Hodnota výsledné nejistoty příslušející stanovenému průtočnému množství je tvořena kombinací dílčích nejistot. Mezi nejdůležitější zdroje nejistot lze řadit především:

- nejistotu typu A a B při měření šířky pásu p_{bi}
- nejistotu typu A a B při měření hloubky pásu p_{hi}
- nejistotu typu A ve stanovení bodové rychlosti proudu p_{ui}
- nejistotu typu A a B ve stanovení kalibračních konstant vodoměrné vrtule p_{ci}
- nejistotu typu A ve stanovení průměrné rychlosti na měrné svislici $p_{\bar{v}_i}$
- nejistotu typu B ve stanovení průtoku (průřezové rychlosti) v měrném profilu

Každá z těchto uvedených nejistot je kombinací jiných většinou vzájemně od sebe neoddelitelných zdrojů nejistot jejichž celkový přehled je uveden [1,3,10,11,12].

Výpočet celkové nejistoty lze dělit na postupný výpočet standardní nejistoty typu A, typu B, jejich vzájemného sloučení do kombinované standardní nejistoty. Z ní je následně v závislosti na požadované konfidenční pravděpodobnosti (většinou 0,95) vypočtena hodnota rozšířené nejistoty, která je považována za hledanou celkovou nejistotu. Pro jednoznačnost uveďme základní vztahy pro výpočet jednotlivých typů nejistot. Relativní standardní nejistotu typu A lze vystihnout vztahem

$$p_{AQ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m [(b_i h_i \bar{v}_i)^2 (p_{Abi}^2 + p_{Ahi}^2 + p_{Aui}^2 + p_{Aci}^2 + p_{A\bar{v}i}^2)]}{\left(\sum_{i=1}^m b_i h_i \bar{v}_i\right)^2}}, \quad (2.3)$$

kde první index značí typ příslušné nejistoty (A) a druhý odpovídající zdroj nejistoty dle výše uvedeného seznamu vždy pro i-tý svislicový či mezisvislicový pás.

Analogicky, ve smyslu Gaussova zákona šíření chyb, je dána hodnota relativní standardní nejistoty typu B výrazem

$$p_{BQ} = \sqrt{p_{Bb}^2 + p_{Bh}^2 + p_{Bc}^2 + p_{Bm}^2}, \quad (2.4)$$

kde p_{Bm} je relativní standardní nejistota typu B ve stanovení průřezové rychlosti.

Hodnotu relativní standardní kombinované nejistoty obdržíme ve smyslu [1,6,7,10,11,12] sloučením nejistot typu A a typu B. Bude platit

$$p_Q = \sqrt{p_{AQ}^2 + p_{BQ}^2}. \quad (2.5)$$

Hodnota rozšířené nejistoty je následně stanovena pomocí vztahu

$$P_Q = k \cdot p_Q, \quad (2.6)$$

kde k je koeficient pokrytí, který je stanoven konvencí či výpočtem.

Konkrétní hodnoty nejistot jsou uvedeny v [1], případně v [3]. Nutno však podotknout, že uváděné hodnoty byly stanoveny při jiných geometrických a proudových okrajových podmínkách (pro vodní toky) a jejich hodnoty jsou pouze informativní.

3. CÍLE VÝZKUMU

Cílem probíhajícího výzkumu, jehož podstatná část již byla provedena ve spolupráci s TU Drážďany, je verifikace metod pro měření a vyhodnocování rychlostních polí včetně verifikace dominantních zdrojů nejistot. Výzkum se týká především následujících okruhů:

- v oblasti měření bodových rychlostí - určení vhodného typu vodoměrné vrtule a nalezení optimálního času měření v měrném bodě s návazností na vykazovanou nejistotu;

- v oblasti stanovení průměrné rychlosti na svislici – nalezení optimálního počtu bodů na měrné svislici, verifikace (posouzení) koeficientů rovnic pro stanovení průměrné rychlosti na svislici, verifikace nejistoty v závislosti na počtu bodů na měrné svislici a posouzení integrační metody jako alternativy ke klasickým metodám;
- v oblasti stanovení průtočného množství v měrném profilu – nalezení optimálního počtu měrných svislic v měrném profilu, verifikace grafických a numerických metod pro stanovení průtočného množství, verifikace nejistoty v závislosti na počtu měrných svislic, šířce měrného profilu a metodě vyhodnocení;
- v oblasti výpočtu nejistot – zpracování metodiky výpočtu celkové nejistoty ve stanovení průtoku s návazností na měřící postupy a vyhodnocovací metody.

4. MĚŘENÍ BODOVÝCH RYCHLOSTÍ

Volba času měření v měrném bodě je závislá na mnoha faktorech. Jedná se především o typ měrné vrtule (velikost, stoupání), absolutní hodnotu měřené rychlosti a její turbulenci a umístění měrného bodu v měrném profilu. Samozřejmě je volba času také závislá i na celkovém počtu měrných bodů v měrném profilu. Dle [1] by doba měření v bodě měla být minimálně 30 s. Pokud by rychlost byla pod vlivem větších fluktuací, především podélné složky bodové rychlosti, má být při volbě času měření postupováno ve smyslu ISO/TR 7178. Navýšení času měření s návazností na požadovanou hodnotu nejistoty ve stanovení bodové rychlosti je pak možné provést pouze na základě měření turbulence v měrném bodě a z ní vypočtené autokorelační funkce. Je zřejmé, že takový postup je při praktických měřeních nerealizovatelný a musí být postupováno jinými vhodnými způsoby.

V našem případě postupujeme způsobem, který se co nejvíce podobá měření in situ. Největším problémem mezi měřením in situ a v laboratoři je dodržení požadavku shodných, především proudových, okrajových podmínek v měrném bodě. Ty lze vhodně popsat intenzitou turbulence, kterou lze stanovit pomocí výrazu

$$T_u = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i}, \quad (4.1)$$

kde u je hodnota bodové rychlosti proudu a n počet hodnot časové řady měření.

Následným měřením in situ při posuzování funkční způsobilosti pevně instalovaných měřidel a simulací identických podmínek v měrné trati laboratoře lze s úspěchem výše uvedeného požadavku, shody proudových podmínek, dosáhnout.

5. MĚŘENÍ A STANOVENÍ PRŮMĚRNÉ RYCHLOSTI NA SVISLICI

Při rozhodování o volbě počtu bodů na měrné svislici je nutné přihlížet k tvaru a rozměrům průtočného průřezu, hloubce proudu, míře deformace rychlostního pole, parametrům vodoměrné vrtule, času pro provedení korektního měření a požadovanému stupni přesnosti. Měření a následné stanovení průměrné rychlosti na měrné svislici, lze provádět mnoha způsoby. Jsou to metoda rozdělení rychlostí na měrné svislici, zkrácené bodové metody a metody vícebodové, metoda integrační.

5.1. Metoda rozdělení rychlostí na měrné svislici

Při užití této metody je hodnota průměrné rychlosti získána měřením v několika bodech svislice. Počet a rozmístění bodů by mělo být voleno tak, aby bylo přesně definováno rozdělení rychlostí na svislici. Tato skutečnost by podle [1] měla být splněna tehdy, když měrné body budou umístěny takovým způsobem, aby relativní rozdíl mezi měřenými rychlostmi v sousedních bodech nepřesáhl 20 %, ve vztahu k absolutně vyšší vykazované rychlosti. Průměrná rychlost na měrné svislici je stanovena grafickou metodou o které je pojednáno v následující kapitole.

5.2. Zkrácené a vícebodové metody

Zkrácené a vícebodové metody měření a stanovení průměrné rychlosti na měrné svislici jsou založeny na principu měření určitého počtu různě rozmístěných měrných bodů na svislici.

Metoda	Rovnice
jednobodová	$\bar{v} = 1 \cdot u_{0,4}$
dvoubodová	$\bar{v} = 0,5 \cdot u_{0,2} + 0,5 \cdot u_{0,8}$
tříbodová	$\bar{v} = 0,25 \cdot u_{0,2} + 0,5 \cdot u_{0,4} + 0,25 \cdot u_{0,8}$
pětibodová	$\bar{v} = 0,1 \cdot u_{dna} + 0,2 \cdot u_{0,2} + 0,3 \cdot u_{0,4} + 0,3 \cdot u_{0,8} + 0,1 \cdot u_{povrchu}$
šestibodová	$\bar{v} = 0,1 \cdot u_{dna} + 0,2 \cdot u_{0,2} + 0,2 \cdot u_{0,4} + 0,2 \cdot u_{0,6} + 0,2 \cdot u_{0,8} + 0,1 \cdot u_{povrchu}$

Tab. 1. Posuzované zkrácené a vícebodové metody dle DIN EN ISO 748

Přehled nejznámějších metod užívaných při měření a vyhodnocování které jsou předmětem verifikace je uveden v tabulce 1. Jsou zde uvedeny i rovnice pro výpočet hodnoty průměrné rychlosti na měrné svislici, přičemž indexy u bodových rychlostí představují pozice měrných bodů nade dnem koryta v k-násobcích celkové hloubky proudu.

Vedle numerického přístupu stanovení průměrné rychlosti na svislici, je vhodné dodat, že vyhodnocení lze provést i grafickou metodou, tedy aproximací bodových rychlostí na svislici vhodnou matematickou funkcí $\bar{v} = f(h)$, jejíž následnou

integrací po výšce a dělením hloubkou proudu obdržíme požadovanou hodnotu průměrné rychlosti na svislici.

Z užívaných matematických funkcí pro aproximaci bodových rychlostí lze uvést především:

- lineární interpolační splajn;
- interpolační polynom n -tého stupně;
- interpolační kubický splajn;
- Hermitův interpolační kubický splajn.

Pro zpřesnění výsledku stanovení průměrné rychlosti je třeba se v každém případě zabývat i aproximací křivky $\bar{v} = f(h)$ od posledního bodu ke dnu (či ke stěně) měrného profilu. Možnosti řešení tohoto problému lze dělit do tří postupů:

- užití některého ze zákonů rozdělení rychlosti v „mezní vrstvě“ vyšetřovaného proudu v závislosti na drsnosti omočeného obvodu měrného profilu;
- využití dlouhodobých zkušeností z vyhodnocování měření, s tím že rozdělení v „přístěnné“ oblasti je aproximováno funkcí závislou na rozdělení rychlostí ve výše ležících bodech svislice;
- odhadem, kdy je předpokládáno, že rychlost u dna má hodnotu k -násobku rychlosti v nejnižším bodě svislice.

5.3. Metoda integrační

Integrační metoda je založena na principu plynulého spouštění a vytahování vrtule po měrné svislici, s tím že hodnota průměrné rychlosti na svislici je odvozena z poměru mezi celkovým počtem otáček vrtule a dobou jejího pojezdu (měření). Výhodou metody je zkrácení doby měření (snížení času při změně polohy vrtule na tyči), nevýhodou pak možný vliv interference rychlosti pojezdu vrtule a proudu na vykazovanou rychlost.

6. STANOVENÍ PRŮTOČNÉHO MNOŽSTVÍ V MĚRNÉM PROFILU

Stanovení průtočného množství v měrném profilu závisí opět na mnoha faktorech. Mezi nejdůležitější však patří počet měrných svislic a metoda, která je pro vyhodnocení průtočného množství použita.

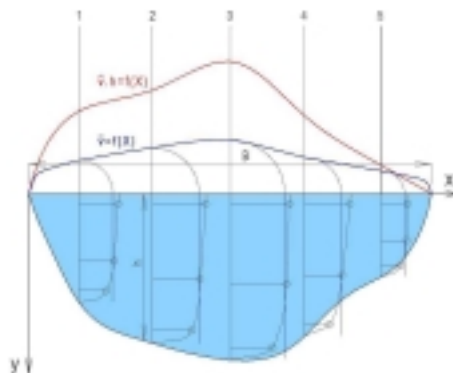
Při volbě počtu měrných svislic je stejně, jako u volby počtu bodů na měrné svislici, nutno přihlížet ke tvaru a rozměrům průtočného průřezu, míře deformace rychlostního pole a především k času pro provedení měření při zachování požadovaného stupně přesnosti. Orientačním kritériem pro volbu počtu svislic je požadavek, aby maximální hodnota průtoku protékajícího jedním svislicovým pásem nepřesáhla 10 % celkového průtoku. Zkušenosti však ukazují, že toto

kritérium je v rozporu s požadavkem zhuštění měrných svislic při krajích omočeného obvodu z důvodu korektnějšího popisu změny rychlostního gradientu.

Pro stanovení průtočného množství v měrném profilu se užívá řada metod, které lze dělit na grafické, numerické a jiné.

6.1. Grafické metody

Mezi grafické metody patří nejznámější metoda „**integrace hloubka-rychlost**“, jejíž princip je naznačen na obrázku 2. Násobením příslušné hloubky proudu s průměrnou rychlostí na měrné svislici obdržíme řadu bodů jejichž interpolací získáme funkci $\bar{v} \cdot h = f(x)$. Stanovením plochy pod takto sestrojenou křivkou a úsečkou, představující úroveň hladiny, získáme celkové průtočné množství.



Obr.2. Metoda integrace hloubka-rychlost

6.2. Numerické metody

Do numerických metod, které byly vytvořeny pro urychlení a zjednodušení výpočtů, lze řadit mimo jiné metodu svislicových a metodu mezisvislicových pásů. Princip těchto metod je patrný z obrázků 3 a 4.

6.2.1. Metoda svislicových pásů

předpokládá, že funkce $\bar{v} \cdot h = f(x)$ se po šířce měrného profilu mění lineárně. Průtok v každém pásu je stanoven násobením funkce $\bar{v} \cdot h = f(x)$ odpovídající šířkou změřenou v úrovni hladiny. Tato šířka musí být získána jako součet poloviny šířky od sousední svislice ke svislici, pro kterou byla funkce $\bar{v} \cdot h = f(x)$ vypočtena, plus polovina šířky od této svislice k odpovídající sousední svislici na druhé straně. Hodnota funkce $\bar{v} \cdot h = f(x)$ ve dvou polovičních šířkách u břehu smí být brána jako nulová.

Z těchto důvodů by měly být první a poslední svislice měření co nejbližší ke břehům. Tento výpočet je proveden v každé svislici a celkový průtok profilem je získán součtem dílčích průtoků jako

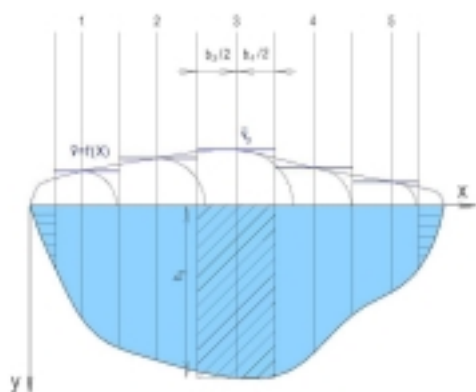
$$Q = \sum_{i=1}^m \bar{v}_i h_i \frac{b_i + b_{i+1}}{2}, \quad (6.1)$$

kde m je počet svislicových pásů.

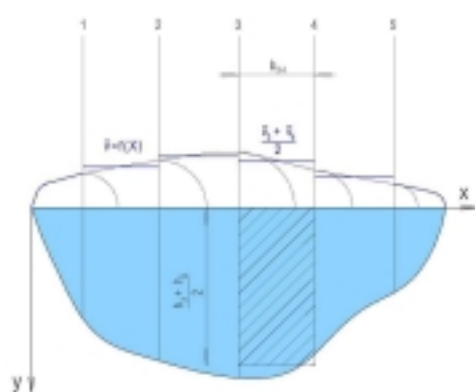
6.2.2. Metoda mezisvislicových pásů

je založena na rozdělení plochy průtočného průřezu do několika pásů z nichž každý je ohraničen dvěma přilehlými svislicemi. Jestliže $\bar{v}_i$ a $\bar{v}_{i+1}$ jsou průměrné

rychlosti v i -té a $i+1$ svislici, jestliže h_i a h_{i+1} jsou celkové hloubky v i -té a $i+1$



Obr. 3. Metoda svislicových pásů



Obr. 4. Metoda mezisvislicových pásů

svislici, a jestliže $b_{i,i+1}$ je vodorovná šířka mezi zmíněnými svislicemi, pak průtok i -tým pásem lze vystihnout vztahem

$$Q_{i,i+1} = \left(\frac{\bar{v}_i + \bar{v}_{i+1}}{2} \right) \left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) b_{i,i+1}. \quad (6.2)$$

Tento vztah je užit pro každý mezisvislicový pás a celkový průtok je získán sumou všech dílčích průtoků.

6.3. Ostatní numerické metody

Další, ve srovnání se shora uvedenými metodami relativně složitější, se opět více či méně úspěšně snaží o aproximaci řešení metody integrace hloubka-rychlost. Tedy o numerické řešení úlohy integrace křivky $\bar{v} \cdot h = f(x)$ po šířce B měrného profilu, t.z.

$$Q = \int_0^B \bar{v} h dx. \quad (6.3)$$

Tyto metody, které jsou nejčastěji užívány komerčními programy, jsou v podstatě analogické s metodami aproximace rozdělení rychlostí na svislici. Využívají tedy opět dobře integrovatelné matematické funkce typu:

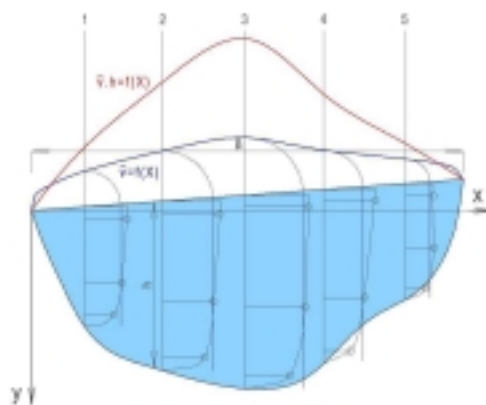
- lineární interpolační splajn;
- interpolační polynom n -tého stupně;
- interpolační kubický splajn;
- Hermitův interpolační kubický splajn.

Stejným způsobem jako v kapitole 5.2 je řešena i problematika rozdělení rychlostí v přístěnné oblasti, tedy v prvním a posledním pásu.

Výjimkou z uvedených metod jsou metody založené na statistickém přístupu zpracování bodových rychlostí v měrném průřezu, které nevyužívají postupy, u kterých je nutné vyhodnocovat průměrné rychlosti na svislici a rychlostní pole pojmají jako celek (průtokové těleso). Mezi tyto metody lze řadit metodu **Krigingu** (ordinary Kriging), která je nejvíce užívána v geostatistických vědách v případech řešení problémů s malým množstvím vstupních dat, přičemž umožňuje i odhad parametru mimo řešenou oblast. Podstatou metody je, na základě statistických metod, odhadovat z prostorové polohy $[x_i, y_i, z_i]$ bodů $P_1, P_2, \dots, P_n$ vstupních dat zovou souřadnici libovolného bodu diskretizované oblasti řešení. Nevýhodou této metody je však absolutní nezávislost na jakýchkoliv hydraulických fenoménech, které se v měrném profilu realizují a proto je spíše paradoxně užívána k vyhodnocování rychlostních polí s velkým počtem vstupních dat (například u plně automatizovaných měření).

6.4. Ostatní metody

Mezi ostatní metody lze řadit především metodu nezávislých měrných svislic, která je však poměrně složitá a je určena pro velké vodní toky a metodu stanovení průtoku při kolísání vodního stavu. Jedná se v podstatě o grafickou metodu integrace hloubka-rychlost, s tím rozdílem, že je možné ji užít při vyhodnocení průtoků, které byly zaměřeny při kolísání vodního stavu (neustáleném pohybu). Princip metody je patrný z obrázku 4.



Obr.5. Metoda integrace hloubka-rychlost při změně vodního stavu

7. ZÁVĚR

Úkolem prováděného výzkumu je navrhnout měřicí postupy, vyhodnocovací metody, popsat a kvantifikovat dílčí zdroje nejistot při měření a vyhodnocování rychlostních polí v systémech s volnou hladinou s metrologickou návazností na měřidla vyšší přesnosti. Z vyhodnocení výsledků výzkumu budou vyvozeny obecné požadavky na provádění měření a jeho vyhodnocení s důrazem na:

- optimalizaci doby měřících postupů;
- snížení vlivu dílčích zdrojů nejistot;
- zhodnocení a návrh vhodného postupu pro aproximaci rozdělení rychlostí v „přístěnné“ oblasti v návaznosti na okrajové podmínky v místě měření;
- potlačení subjektivních prvků vnášených zpracovatelem do měřících a vyhodnocovacích postupů;

pro podmínky shodné s podmínkami při posuzování funkční způsobilosti instalovaných měřidel průtoků a proteklého množství na stokách a kanálech s volnou hladinou (závlahové, odběrné, technologické, výpustné objekty čistíren odpadních vod a výrobních závodů).

Dílní výsledky již provedených a vyhodnocených měření byly publikovány v [11,12,13].

8. LITERATURA

- [1] DIN EN ISO 748. Geschwindigkeitsflächen-Verfahren, März 2000
- [2] Morgenschweis, G. Zu Messgenauigkeit und Messaufwand bei Durchflussmessungen mit hydrometrischen Flügeln am Beispiel des Pegels Hattingen/Ruhr. *DGM 32*, 1988, Heft 5/6, str. 159-165
- [3] Morgenschweis, G. Zur Ungenauigkeit von Durchflussmessungen mit hydrometrischen Flügeln. *DGM 32*. 1990, Heft 1/2, str. 16-21
- [4] ON 736571. Meranie prietokov vodomernou vrtulou vo vodnom toku, únor 1985
- [5] Procházka, J. Presnosť merania rýchlosti a prietokov vody hydrometrickým krídlom. *Práce a studie*. VÚV Bratislava, 1958, 111 str.
- [6] TPM 0051-93. Stanovenie neistot pri meraniach, diel I. *technický predpis metrologický*. Federálny úrad pro normalizáciu a merenie, 1993, 65 str.
- [7] TPM 0051-93. Stanovenie neistot pri meraniach, diel 2. *technický predpis metrologický*. Federálny úrad pro normalizáciu a merenie, 1993, 66 str.
- [8] TPM 0052-92. Etalony, Vyjadrovanie chýb a neistot. *technický predpis metrologický*. Federálny úrad pro normalizáciu a merenie, 1992, 17 str.
- [9] Zákon č. 58/1998 Sb., o poplatcích za vypouštění odpadních vod do vod povrchových
- [10] Žoužela, M., Šulc, J. Metodický návod pro výpočty nejistot při provádění měření za účelem stanovení průtoků a posuzování funkční způsobilosti měřidel, 1. vydání. LVV FAST VUT Brno, 2000, 33 str.
- [11] Žoužela, M., Šulc, J. Metodický návod pro výpočty nejistot při provádění měření za účelem stanovení průtoků a posuzování funkční způsobilosti měřidel, 2. vydání. LVV FAST VUT Brno, 2001, 40 str.
- [12] Žoužela, M. Zur Verifikation von Messung und Auswertung der Geschwindigkeitsfelder in offenen Gerinnen, TU Dresden, 2001, 42 str.
- [13] Žoužela, M. Metody měření a vyhodnocování rychlostních polí užívané při kontrolách měřidel průtoků v systémech s volnou hladinou. *Sborník ze 17. Symposia o anemometrii*. Ústav pro hydrodynamiku AVČR a OPTEK Praha, Úvaly u Prahy, 2001, str. 124-132