



Lermo

Tečná napětí v kanalizačním potrubí při neustáleném proudění s volnou hladinou - experimentální stanovení metodou UVP

Vojtěch Bareš¹, Jaroslav Pollert sen.¹

¹Laboratoř ekologických rizik městského odvodnění, ČVUT Praha, Fakulta stavební, Tháškova 7, Praha 6, 166 29, Česká republika (E-mail: bares@lermo.cz)

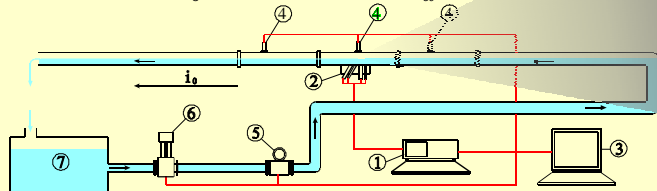
Abstract

Unsteady open-channel turbulent flow properties are theoretically and experimentally studied in circular cross section channel with fixed sediment deposits. The vertical distribution of horizontal and vertical velocities was analysed. Experimental results show following: firstly, the hydrographs under investigation are completed dynamic waves. Secondly, based on Saint-

Venant equations, friction velocity time behaviour was studied using both kinematic and dynamic flow principles. Friction velocity dynamic time-behaviour was compared with steady flow values and with data obtained by fitting horizontal velocity data in the inner region of turbulent layer by the log-law of the wall.

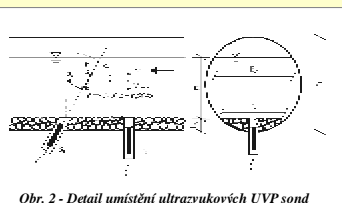
Metodika

- ! sklopnací potrubí s kruhovým příčným průřezem z plexiskla (Obr. 1).
- ! délka $L = 17\text{ m}$; vnitřním průměr $D = 0.29\text{ m}$; sklon $i_0 = 0.1\%$.
- ! sediment mocnosti $h_s = 52\text{ mm}$ velikostí zrn $d_{90} = 12\text{ mm}$.



LEGENDA: 1 - UVP Monitor; 2 - UVP sondy; 3 - Řídicí systém; 4 - Ultrazukové hladinoměry; 5 - MID průtokoměr; 6 - Elektronicky ovládané šoupě; 7 - Nádrž

Obr. 1 - Schéma experimentální linky



Obr. 2 - Detail umístění ultrazukových UVP sond

Seznam symbolů

- B šifka hladiny (sedimentu)
- D průměr potrubí
- Fr Froudeovo číslo
- g tíhové zrychlení
- h hloubka proudění (sedimentu)
- H střední hloubka proudění
- i_0 podélný sklon
- u podélná bodová rychlost
- U svislicová rychlost
- u_t třecí rychlost
- v vertikální bodová rychlost
- V střední průřezová rychlost
- $V_{1,2}$ radiální rychlosti UVP sond
- R hydraulický poloměr
- Re Reynoldsovo číslo
- τ_0 tečné napětí u stěny

- ! přístroje online propojeny přes PC.
- ! generované hydrogramy - dynamické neustálené pomalu se měnící proudění (Tab.1).
- ! okamžité hodnoty rychlostí $u(y,t)$, $v(y,t)$ měřeny pomocí UVP (Ultrasonic Velocity Profile) Monitoru.
- ! 2 nezávislé UVP sondy v boxech vně proudového pole (Obr.2)
- ! filtrování dat - časově střední hodnoty stanoveny pomocí FFT (Fast Fourier Transform) a IIR (Infinite Impulse Response) Butterworthův filtr.

Výsledky

Z informací o průběhu podélných a vertikálních bodových rychlostí $u(y,t)$, $v(y,t)$ a hloubky $h(x,t)$ (Obr. 3, 4) lze definovat průběh třecí rychlosti u resp. tečného napětí τ_0 v čase následovně:

! z pohybové rovnice de Saint Venant užitím aproximace kinematickou u_{KIN} nebo dynamickou u_{DYN} vlnou

$$u_{DYN} = \sqrt{gR \left(i_0 - \frac{\partial h}{\partial x} (-Fr)^2 \right) \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{V}{gH} \frac{\partial h}{\partial x}} \quad (1)$$

! z rozdělení $u(y,t)$ ve vnitřní oblasti turbulentní vrstvy - u_{LOG} ; τ_{LOG}

! ze vztahu pro ustálené proudění $u_{ST} = (gRi_0)^{0.5}$

Obr. 5 a 6 ukazují časové průběhy u resp. τ_0 pro HYDR1_P3 stanovené metodami diskutovanými výše. Z grafů vyplývá následující.

! dynamické hodnoty $u_{LOG,DYN,KIN}$ resp. $\tau_{LOG,DYN,KIN}$ výrazně převyšují hodnoty pro ustálené proudění u_{ST} resp. τ_{ST} pro stejné hloubky h

! maximálních hodnot dosahují dříve než hodnoty stacionární

! aproximace kinematickou vlnou - podhodnocení reálných hodnot v klesající větvi hydrogramu

! rozdíl mezi u_{LOG} a $u_{DYN,KIN}$ je dán tvarovým efektem

Nahrazením veličin V , H a R v rov. (1) svislicovou rychlostí U a hloubkou h dostaneme řešení pro 2D proudění v ose potrubí (Obr. 7)

Závěry

Analýza neustáleného proudění s volnou hladinou v kruhovém potrubí byla provedena pro sérii hydrogramů s vysokým stupněm nestacionarity a vyplývají z ní následující závěry:

- ! hodnoty třecí rychlosti u a tečného napětí τ_0 v nestacionárním proudění převyšují stacionární hodnoty o desítky procent (Obr. 5, Obr. 6)
- ! v kruhovém potrubí má tvarový efekt výrazný vliv na lokální hodnoty

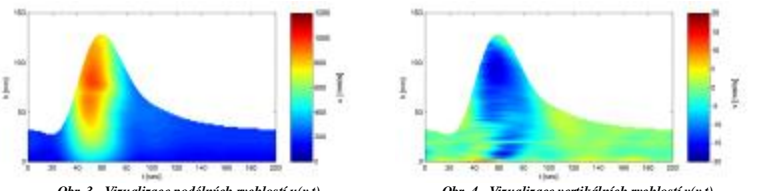
tečného napětí v ose potrubí (Obr. 6, 7). Tento vliv je navíc posílen při přítomnosti dnových sedimentů

- ! transport sedimentu při nestacionárním proudění nelze popsat klasickými modely (např.: Ackers-White) odvozenými pro proudění ustálené
- ! metoda UVP byla úspěšně aplikována v konfiguraci bez kontaktu s měřenou kapalinou

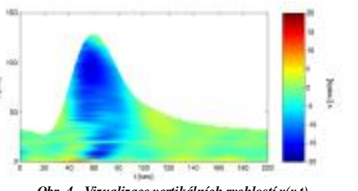
Tab. 1 - Hydraulické charakteristiky jednotlivých typů hydrogramů

Hydrogram	i_0 [‰]	T_0 [s]	T_{10} [s]	h_0 [mm]	Q [l/s]	Fr	Re	T [°C]	T [°C]	n_{KIN} [s]	ξ [s]
HYDR1	0.1	30	32	304-1293	1.20-27.51	0.33-0.71	1.25-1568	19.1	15.5-460	1299	
HYDR2	0.1	332	360	324-1336	1.20-27.65	0.30-0.68	1.25-1552	19.2	16.1-713	1112	
HYDR3	0.1	438	567	314-1410	1.30-27.54	0.32-0.62	1.25-1504	19.3	15.9-683	854	

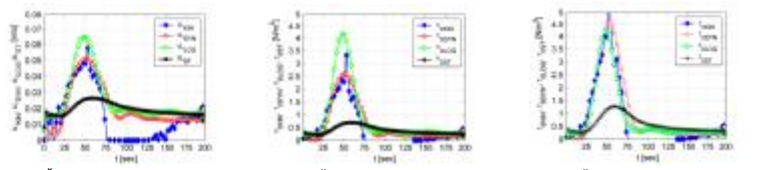
Legenda: i_0 = sklon dna; T_0 = délka stopující vlny; T_{10} = délka klesající vlny; h_0 = hloubka; Q = průtok; Fr = Froudeovo číslo; Re = Reynoldsovo číslo; T = teplota vody; n_{KIN} = třecí rychlost stanovená z log. zákona smáčení; W = parameter nestacionarity ($Qh_0/200$)



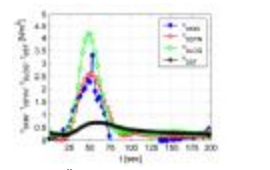
Obr. 3 - Vizualizace podélných rychlostí $u(y,t)$



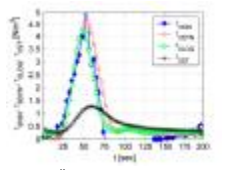
Obr. 4 - Vizualizace vertikálních rychlostí $v(y,t)$



Obr. 5 - Časový průběh u_{LOG} , u_{DYN} , u_{KIN} , u_{ST} (HYDR1_P3)



Obr. 6 - Časový průběh τ_{LOG} , τ_{DYN} , τ_{KIN} , τ_{ST} (HYDR1_P3)



Obr. 7 - Časový průběh τ_{LOG} , τ_{DYN} , τ_{KIN} , τ_{ST} (HYDR1_P3) v ose potrubí

Poděkování

Výsledky byly dosaženy s podporou projektu MŠMT ČR č. MSM 211100002, a grantů Grantové agentury ČR č. 103/04/1350 a 103/02/0243