

Test KDO průtokoměru

P.Sýkora*, D. kahún*

*Pražské vodovody a kanalizace, a.s., Pařížská 11, 110 00 Praha 1

E-mail: petr.sykora@pvk.cz; daniel.kahun@pvk.cz

Úvod

Jako autorizovaná měřicí skupina zabývající se od roku 1992 měřením hydraulických veličin (především hladin, rychlostí a průtoků) na stokových sítích a ČOV, se zaměřujeme také na testování „nových“ produktů na trhu, zejména pak kontinuálních průtokoměrů. V rámci testování ověřujeme především přesnost měření (nejistotu měření), spolehlivost měření a funkční komplexnost měřicího zařízení. V průběhu roku 2011 jsme se v testování zaměřili na průtokoměr **M4016-KDO** firmy FIEDLER-MÁGR.

Základní specifikace testovaného průtokoměru M4016-KDO

Průtokoměr M4016–KDO je dlouho očekávaná verze českého průtokoměru na trhu měřicí techniky a jak je patrné z dokumentace uvedené na stránkách výrobce www.fiedler-magr.cz, jedná se o softwarovou modifikaci telemetrické jednotky M4016-G3. Průtokoměr M4016-KDO tak umožňuje připojení rychlostního snímače KDO firmy Nivus GmbH a díky dlouholetému vývoji jednotky M4016 umožňuje průtokoměr automaticky celou řadu užitečných funkcí, jako např. možnost připojení dalších typů snímačů různých výrobců, možnost rozšíření o analogové a relé výstupy, přenosy dat do internetové databáze, odesílání varovných a příjem řídicích sms atd., to vše poměrně přehledně a snadno konfigurovatelné pomocí programu Most2.3.

KDO rychlostní snímač využívá technologii měření průtoku na principu dopplerova principu, tedy stanovení rychlosti na základě vyhodnocení rozdílu frekvence vyslané snímačem a frekvence přijaté od pohybujících se částic v kapalině. Snímač může být doplněn o hydrostatický hladinový snímač. Parametry snímače udávané výrobcem jsou pak následující:

rozsah měřitelných rychlostí: -6 – 6m/s (přesnost $\pm 1\%$ z rozsahu)

rozsah měřitelných hloubek: 0 – 3,5m (přesnost $\pm 0,5\%$ z rozsahu)

rozsah měřitelných teplot: -20 – 60°C (přesnost $\pm 0,5^\circ\text{C}$)

rozsah provozních teplot: -20 – 50°C

dodávané délky kabelu: 10/15/20/30/50/100 (jiné na vyžádání, max.500m)



Průtokoměr M4016-KDO: Jednotka M4016-G3 firmy FIEDLER-MÁGR, rychlostní snímač KDO firmy NIVUS GmbH

Testován byl rychlostní KDO snímač vybavený em hydrostatického tlaku. Pro posouzení funkce průtokoměru jsme zvolili krátkodobé měření ve dvou měrných profilech:

1) potrubí DN300 umístěné před Parshallovým žlabem P3 na ČOV Praha - Vinoř

2) potrubí DN900 umístěné za Parshallovým žlabem P5 na ČOV Praha - Miškovice

Bylo tak možné provést porovnání dat naměřených průtokoměrem M4016-KDO s průtoky naměřenými měrnými žlaby. Kalibrace průtokoměru proběhla na základě měření parshallových žlabů, u nichž bylo provedeno posouzení funkční způsobilosti na základě úředního měření realizovaného metodou rychlostního pole.

Instalace

Přední část snímače byla uchycena dvěma šrouby na rozpěrný prstenec, který se upevnil do potrubí. Kabel od snímače byl upevněn tak, aby v proudu netvořil překážku.



Nastavení jednotky

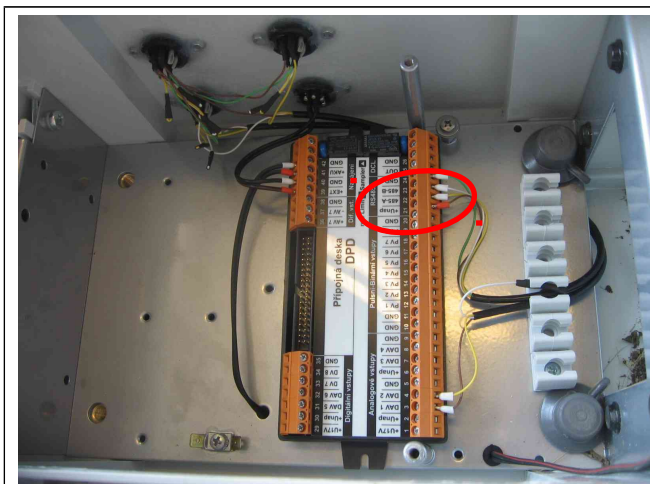
Při konfiguraci parametrů KDO snímače se ukázalo zatím nedoprecizované naprogramování jednotky M4016 z pohledu uživatelsky intuitivního nastavení kanálu průtoku tak jak je tomu samozřejmostí v případě ostatního nastavení monitorovací stanice.

Z 16ti možných analogových kanálů byly logicky tři použity pro ukládání hodnot hloubky, rychlosti a průtoku v profilu, dále jsme nechali měřit také napětí akumulátoru a teplotu měřenou KDO em.

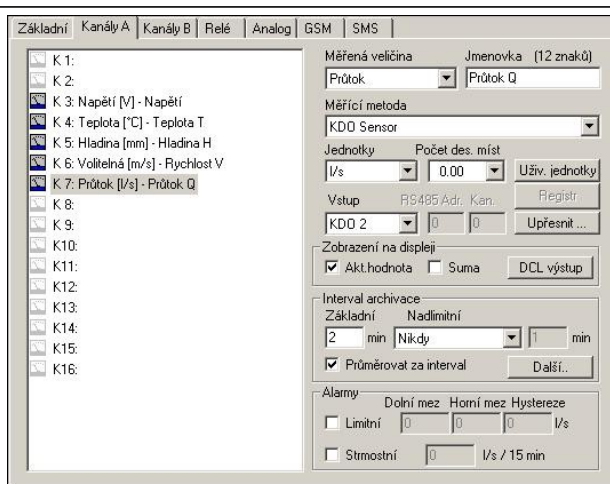
Pro jednotlivé veličiny měřené KDO snímačem se ze seznamu zvolí měřící metoda "KDO Sensor". Komunikace probíhá po rozhraní RS485 a snímač je tedy v jednotce připojena na příslušné svorky, na které by se v případě potřeby připojili zároveň další zařízení s tímto komunikačním rozhraním (např. rozšiřující moduly proudového výstupu). Obvyklé nastavení adres RS485 zařízení se zde neprovádí, což vypovídá zřejmě o pevném nastavení adresy a nemožnosti připojení více KDO snímačů. Naopak se volí ze čtyř "virtuálních" vstupů v závislosti na požadované veličině, konkrétně pro rychlost byl nastaven vstup "KDO 1", pro hloubku a průtok vstup "KDO 2" a pro teplotu vstup "KDO 3".

V "upřesnění" nastavení kanálu rychlosti je pak důležité zadat "číslo kanálu s úrovní hladiny", neboť v nastavení kanálu průtoku se již hladina nijak nenastavuje (byť tam jsou pro to ponechané trochu matoucí volby, které se nijak neprojeví). Podobně se musí nastavit v kanálu průtoku tzv. "korekční kanál", tedy kanál s měřenými rychlostmi, kterými se pak korigují v tabulce zadané průtoky pro $v=1\text{m/s}$ (obdobu průtočné plochy, ale jedná se skutečně o hodnoty průtoku, což je třeba mít na zřeteli pro úpravu desetinných míst). Do tabulky lze zadávat pouze celá čísla, proto se výstupu v jednotkách l/s dosahuje tím, že se v tabulce uvede v podstatě průtočná plocha v cm^2 (odpovídá průtoku $10 \cdot Q$ [l/s] pro $v=1\text{m/s}$), která se koeficientem $A1=0,1$ v exponenciální rovnici $A0+A1 \cdot K \cdot \text{kor}^A2$ upraví zpět na průtok Q [l/s]. Pro lepší představu se ale jeví srozumitelnější brát přiřazené hodnoty v tabulce standardně jako průtočnou plochu odpovídající měřené hloubce, kdy pro průtok platí $Q=v \cdot S$.

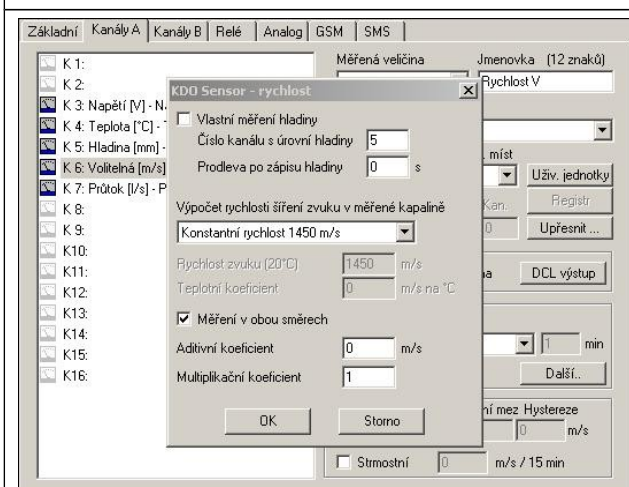
Výpočet průtoku se provádí interpolací podle hodnot nastaveného kanálu hloubky mezi hodnotami zadanými v tabulce o 30ti řádcích, kterým je přiřazena příslušná průtočná plocha (resp. průtok) závislá na geometrii měrného profilu. To je dostačující pro pravoúhlá nebo lichoběžníková koryta. Pro kruhové profily by bylo příjemnější, kdyby stačilo zadat průměr potrubí a jednotka by počítala plochu kruhové úseče. Pro vejčité profily by bylo vhodné počet řádků rozšířit. Posledním dvěma řádkům je nutno pro dvě různé hloubky přiřadit stejnou maximální průtočnou plochu, jinak jednotka v případě tlakového režimu interpoluje průtočnou plochu dále za hranici plochy plného profilu.



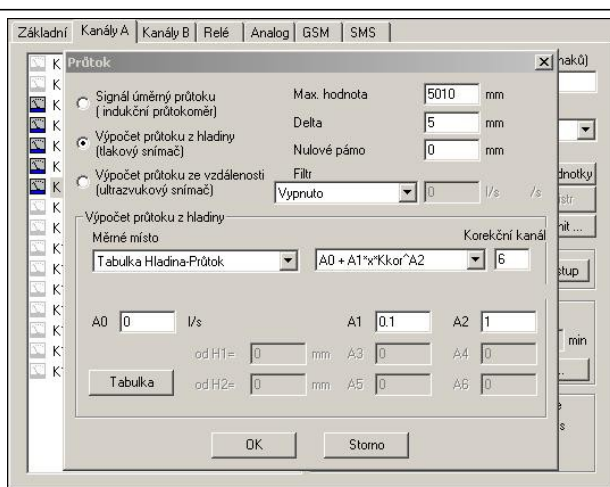
Připojení sondy na svorky rozhraní RS485



Základní parametry pro kanál Průtok



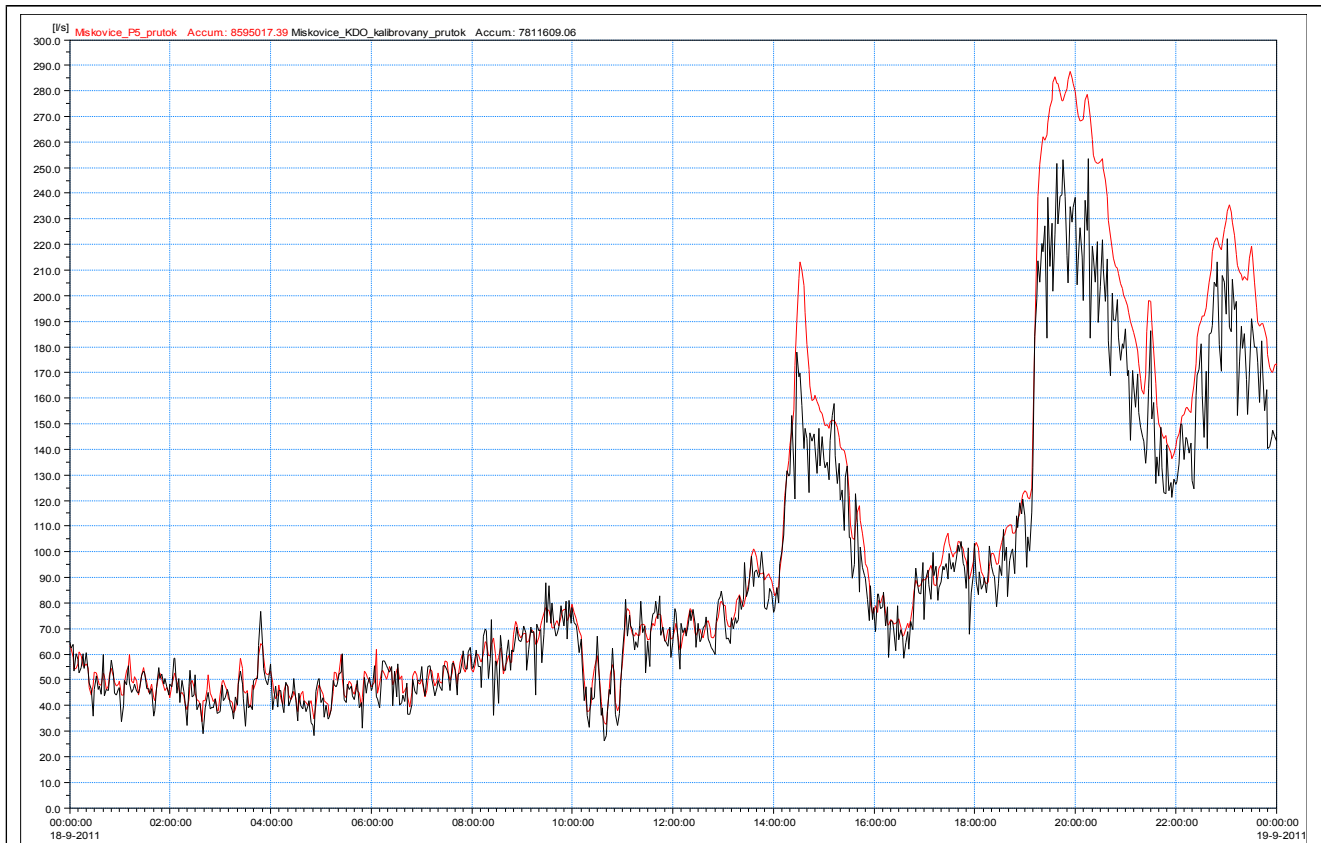
Upřesnění parametrů pro kanál Rychlost



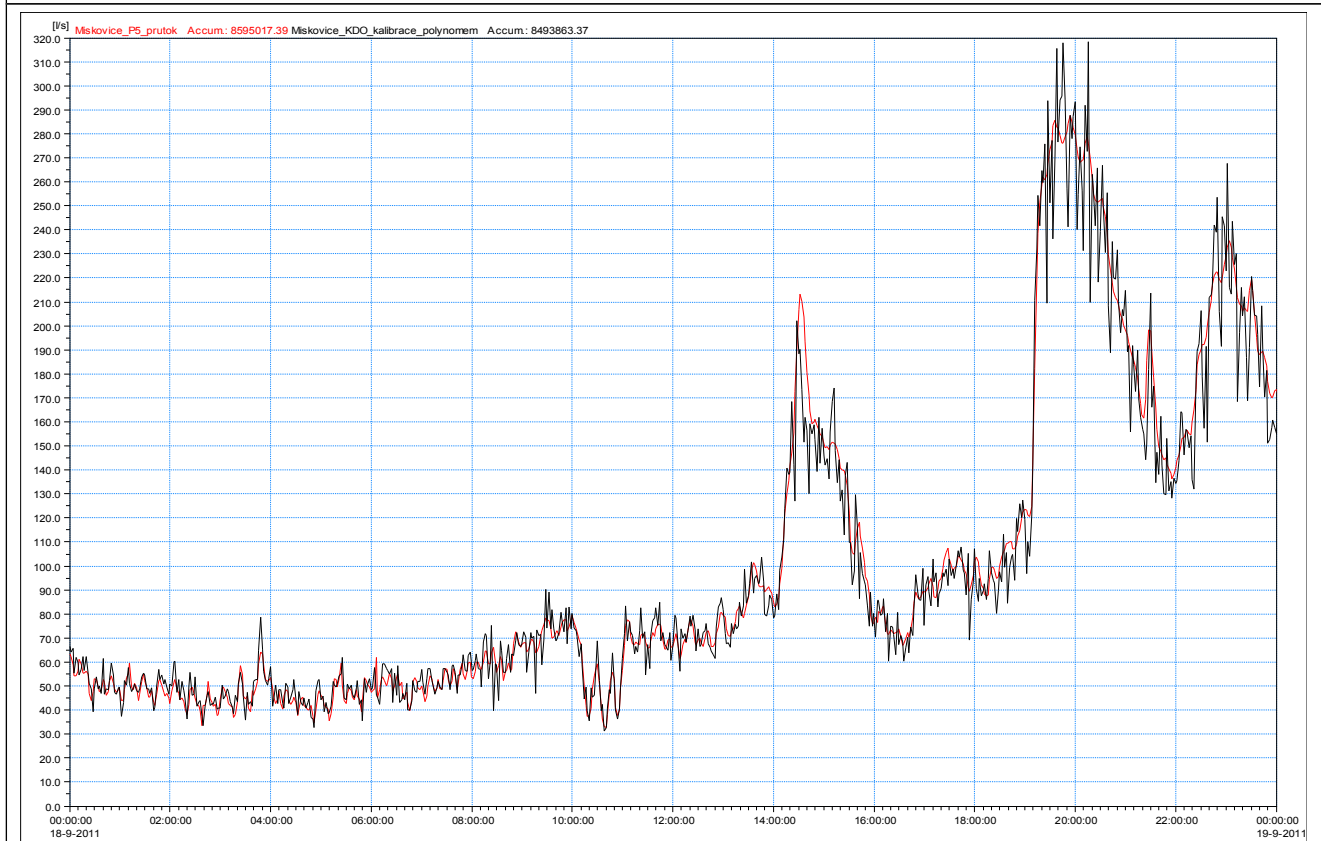
Upřesnění parametrů pro kanál Průtok

Vyhodnocení testu průtokoměru na měrném profilu ČOV Miškovice:

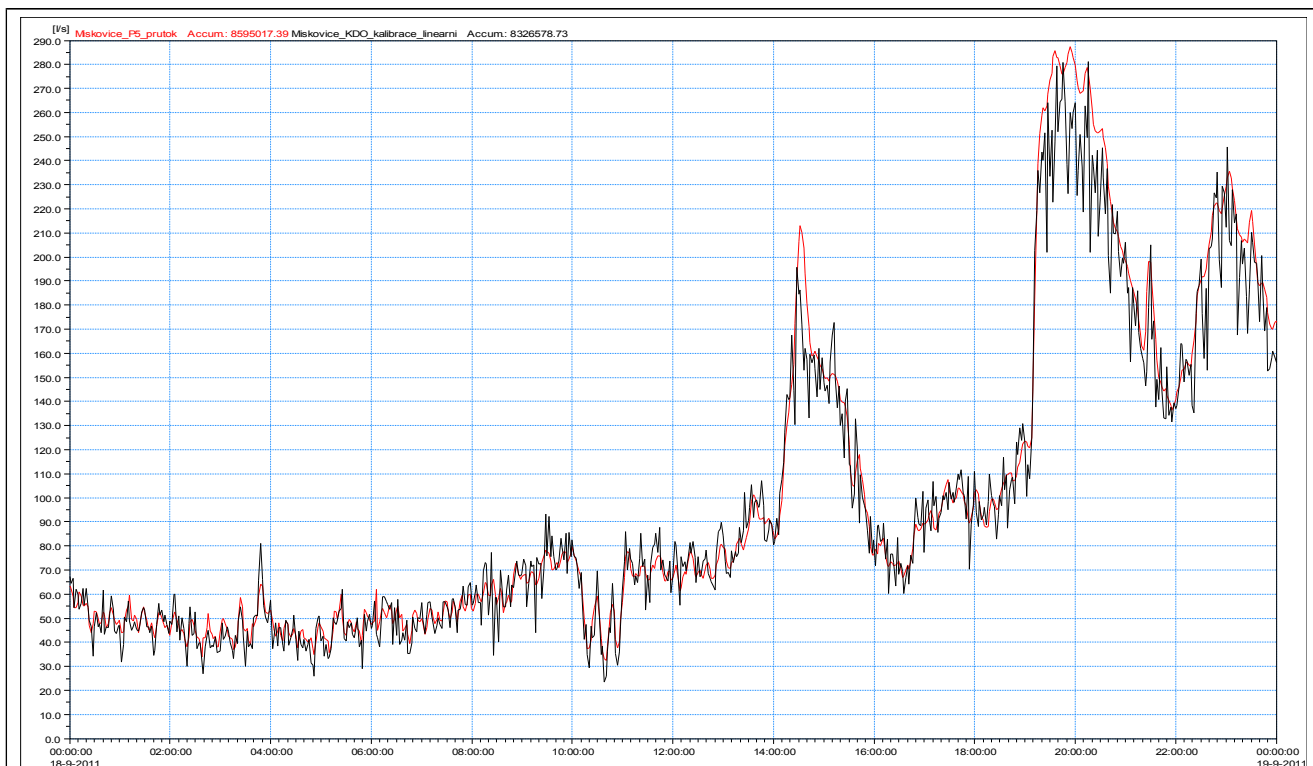
Jak již bylo uvedeno výše, v rámci testu byl nahrazen přímý postup kalibrace průtokoměru metodou rychlostního pole, a kalibrační koeficient byl určen porovnáním s průtoky stanovenými měrným žlabem poměrem průměrných hodnot Q_{pars}/Q_{KDO} . Hodnoty z průtokoměru KDO pak poměrně dobře korespondují s hodnotami měrného žlabu (viz. graf 1), nicméně pro zvýšené průtoky za dešťových událostí se ukazuje drobný nedostatek měření rychlosti pomocí Dopplerova jevu – kdy jeden kalibrační koeficient ($Q=k \cdot Q_{KDO}$) obvykle nekoriguje hodnoty v celém rozsahu předpokládaných průtoků. Pokud bychom tedy chtěli dosáhnout průměrné přesnosti měření $\pm 5\%$ pro rozsah průtoků odpovídající např. celému rozsahu měrného žlabu, bylo by nutné pro kalibraci použít např. polynomickou rovnici druhého řádu $Q=a+b \cdot Q_{KDO}^2+c \cdot Q_{KDO}$ (v jednotce by to bylo možné řešit nastavením dalšího kanálu s výpočtem průtoků metodou výpočtové funkce podle kanálu s měřením průtoků KDO snímačem), nebo by se musela upravit již zmíněná tabulka definující závislost $Q=f(h)$ (pro $v=1\text{m/s}$). Podobně dobrých výsledků bylo dosaženo i aplikací lineární rovnice ve tvaru $Q=a+b \cdot Q_{KDO}$. V grafu 2 je pak zobrazena prezentace hodnoty průtoků korigované polynomickou a lineární rovnicí.



Graf 1 – hodnoty z průtokoměru KDO korigované koeficientem $Q=0,7894*Q_{KDO}$

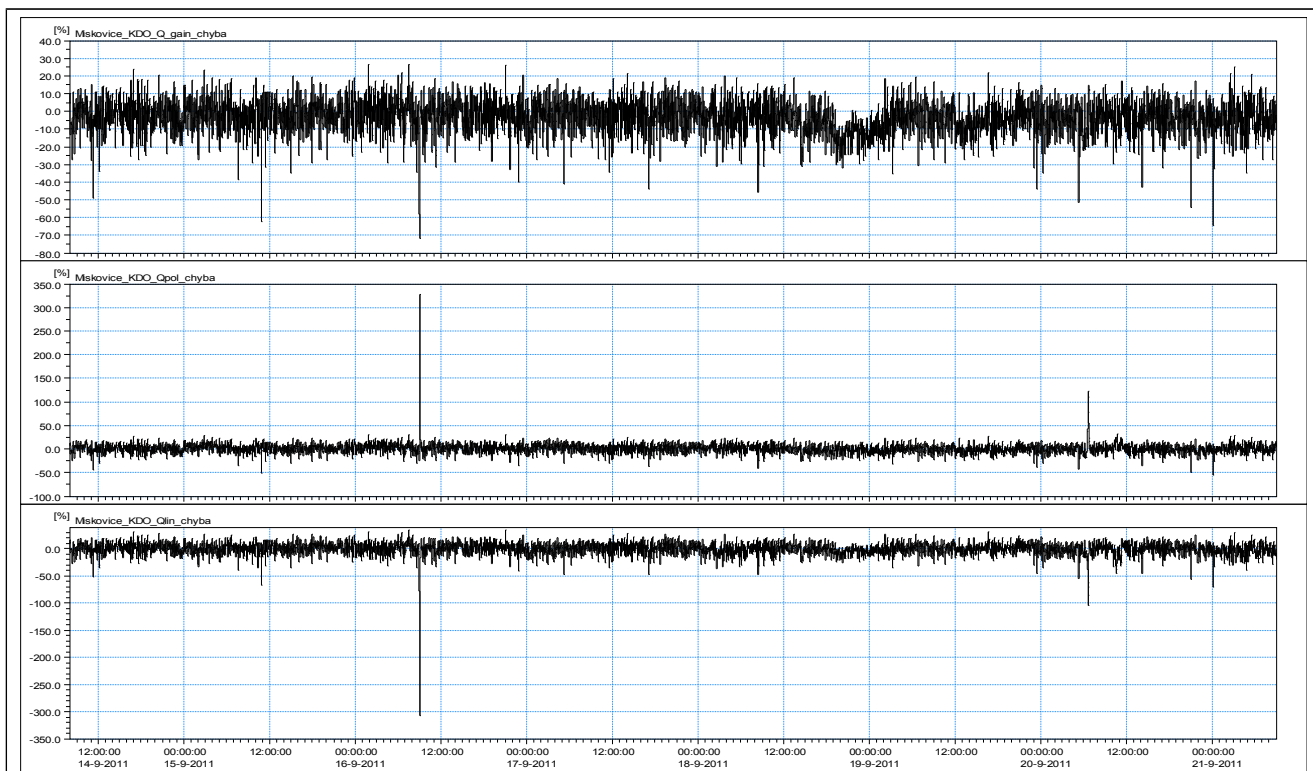


Graf 2 – hodnoty z průtokoměru KDO korigované polynomicou rovnicí $Q=0.01+0.589*Q_{KDO}+1.153*Q_{KDO}^2$ [m³/s]

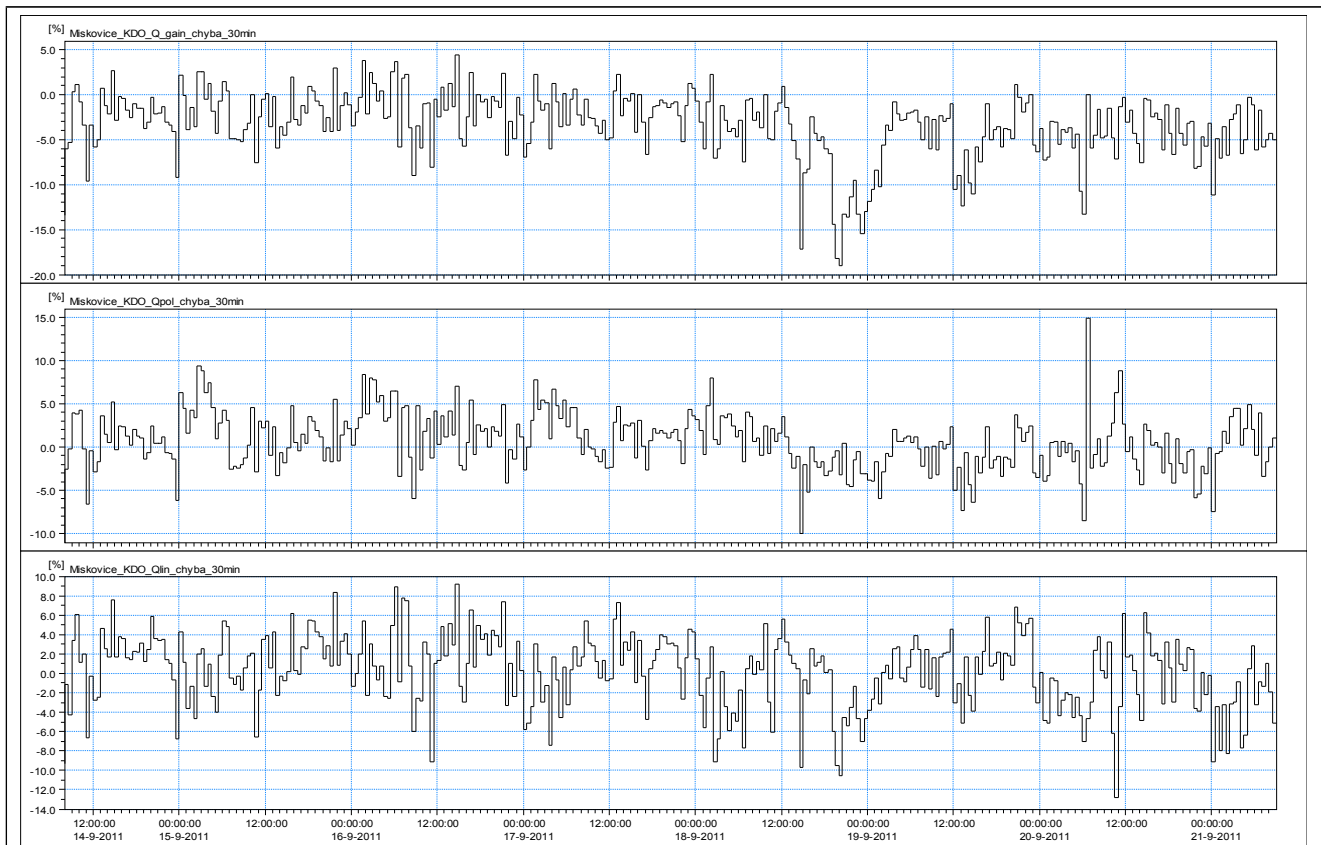


Graf 3 – hodnoty z průtokoměru KDO korigované lineární rovnicí $Q = -0.0061 + 0.8947 \cdot Q_{KDO}$ [m^3/s]

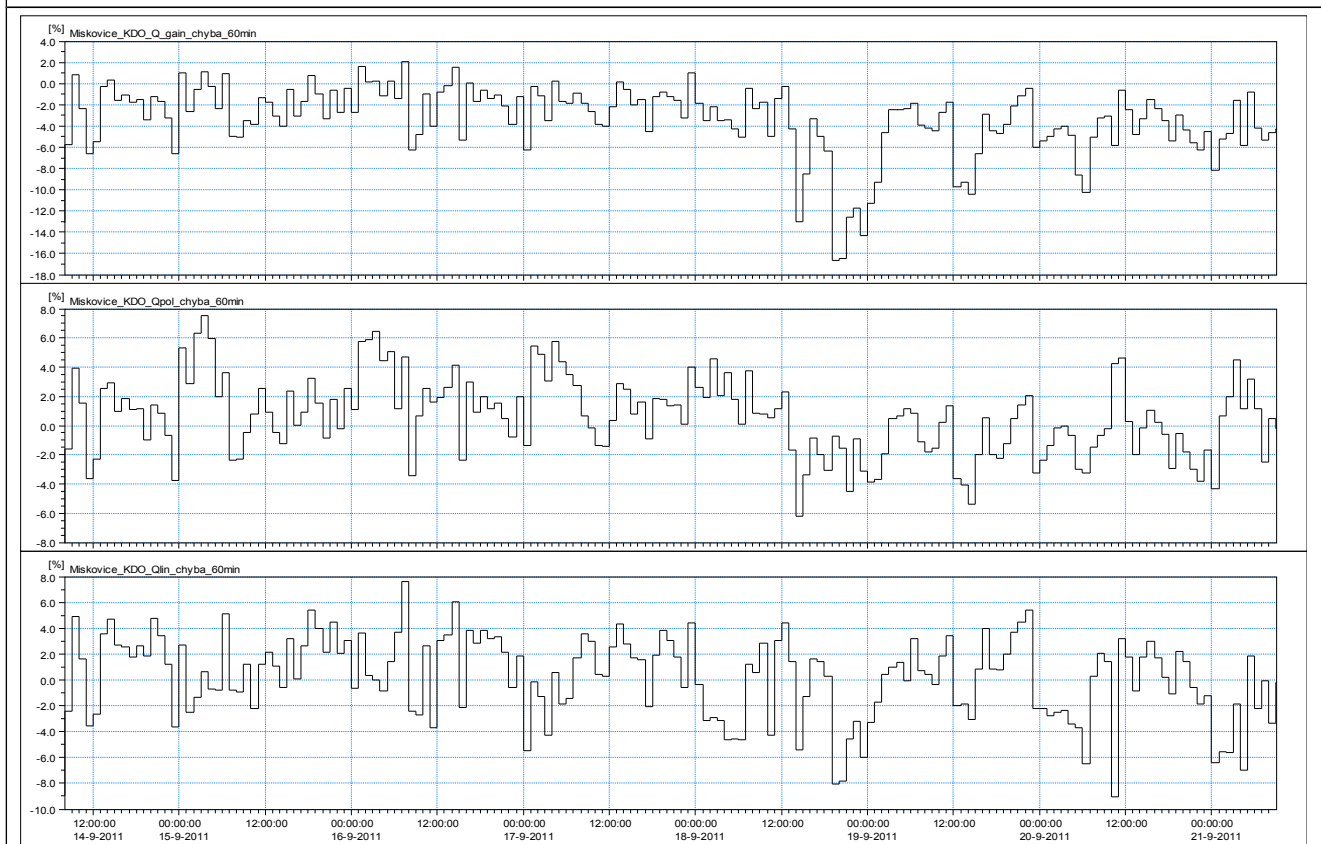
Měřené okamžité hodnoty rychlosti obyčejně „trpí“ více na tzv. úlety (odchytky v měření), proto z hlediska posouzení přesnosti měření má lepší vypovídací schopnost porovnání průměrných hodnot za delší časové intervaly. V následujících grafech je uvedena chyba průtoků za měřené období pro okamžité hodnoty, pro průměrný průtok za 30 a 60 minut (jde o srovnání korigovaných hodnot třemi výše popsanými způsoby).



Graf 4 – chyba průtokoměru KDO vztahená k měření Parshallova žlabu

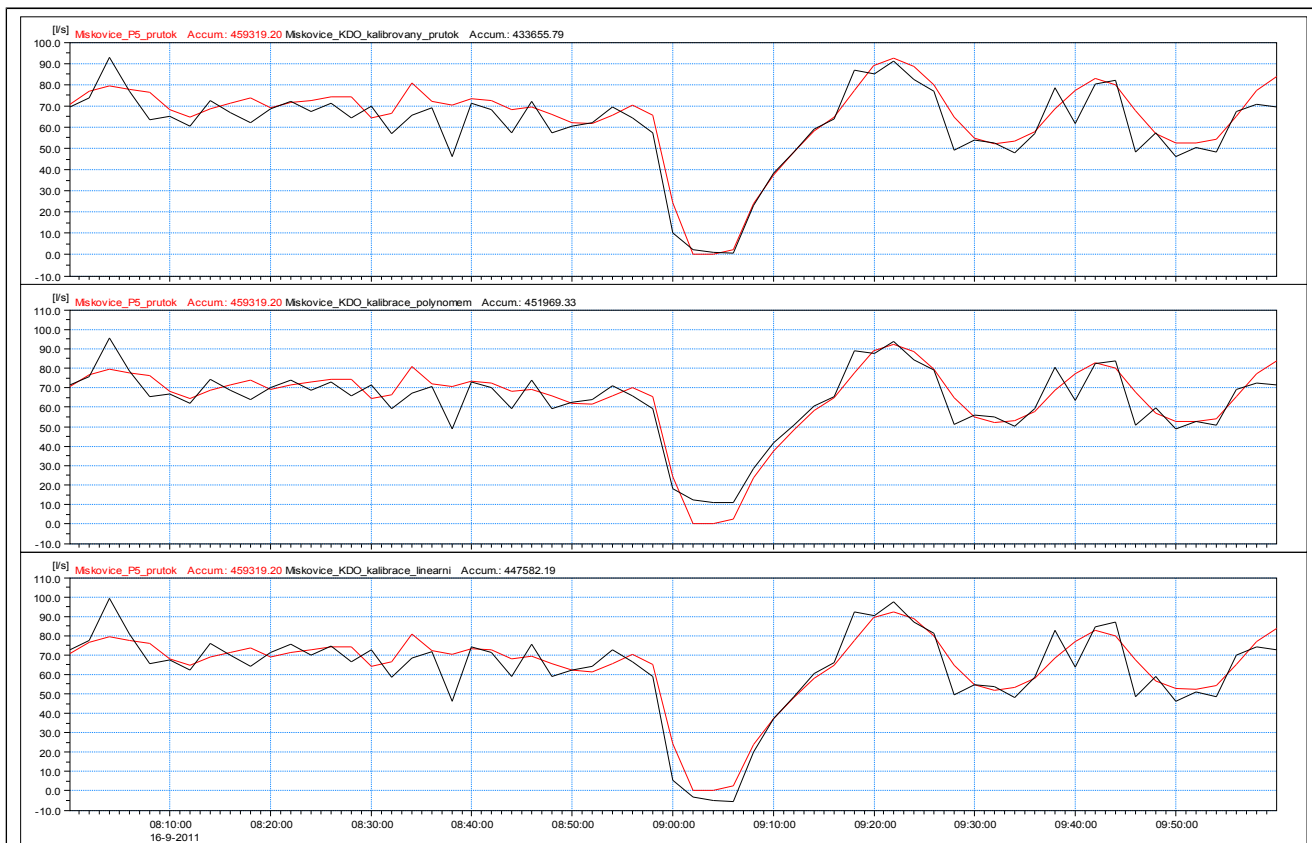


Graf 5 – chyba průměrných 30ti minutových průtoků



Graf 6 – chyba průměrných 60ti minutových průtoků

Z uvedených grafů je patrné, že průměrné hodinové průtoky korigované rovnicemi se již dostávají na přesnost do 10%. Vysoké chyby měření okamžitých hodnot patrné na grafu 4 souvisí jednak s nízkými hodnotami průtoku (viz. graf 7), kdy kolísání ± 8 l/s představuje podstatně větší chybu u $Q=3$ l/s, než u $Q=80$ l/s, dále chyba souvisí s rychlým poklesem průtoku – tím se do chyby nezanedbatelně promítne doba dotoku a dále možný několikanásobný posun času u měřicích jednotek (synchronizace). Krom toho je možné brát v potaz také limity Parshallova žlabu, pro který se udává rozsah měření pro typ P5 od 2,25 do 360 l/s a jeho přesnost na spodní hranici průtoků bude také diskutabilní.



Graf 7 – pokles průtoku na velmi nízké hodnoty, kdy průtok korigovaný rovnicemi dosáhl chyby přes 300%

V každém případě je zřejmé, že se při rapidních poklesech průtoku projeví negativně korekční rovnice, které evidentně pro tak malé hodnoty průtoků neplatí a chybu měření zvyšují – znamenalo by to problém např. při dlouhodobějším poklesu průtoků, který by se již nepochybně promítnul i do průměrných hodnot za delší časové období.

Zajímavé je pak porovnání proteklých denních objemů:

	Pars5 Vd [m ³]	KDO gain Vd [m ³]	KDO gain δ [%]	KDO polynom Vd [m ³]	KDO polynom δ [%]	KDO lineární Vd [m ³]	KDO lineární δ [%]
16.9.2011	5447	5343	-1,9	5525	1,4	5528	1,5
17.9.2011	5351	5275	-1,4	5458	2,0	5452	1,9
18.9.2011	5263	5162	-1,9	5346	1,6	5324	1,2
19.9.2011	8595	7812	-9,1	8494	-1,2	8327	-3,1
20.9.2011	7937	7498	-5,5	7808	-1,6	7972	0,4
21.9.2011	5993	5724	-4,5	5935	-1,0	5960	-0,6
22.9.2011	2126	2094	-1,5	2199	3,4	2138	0,6

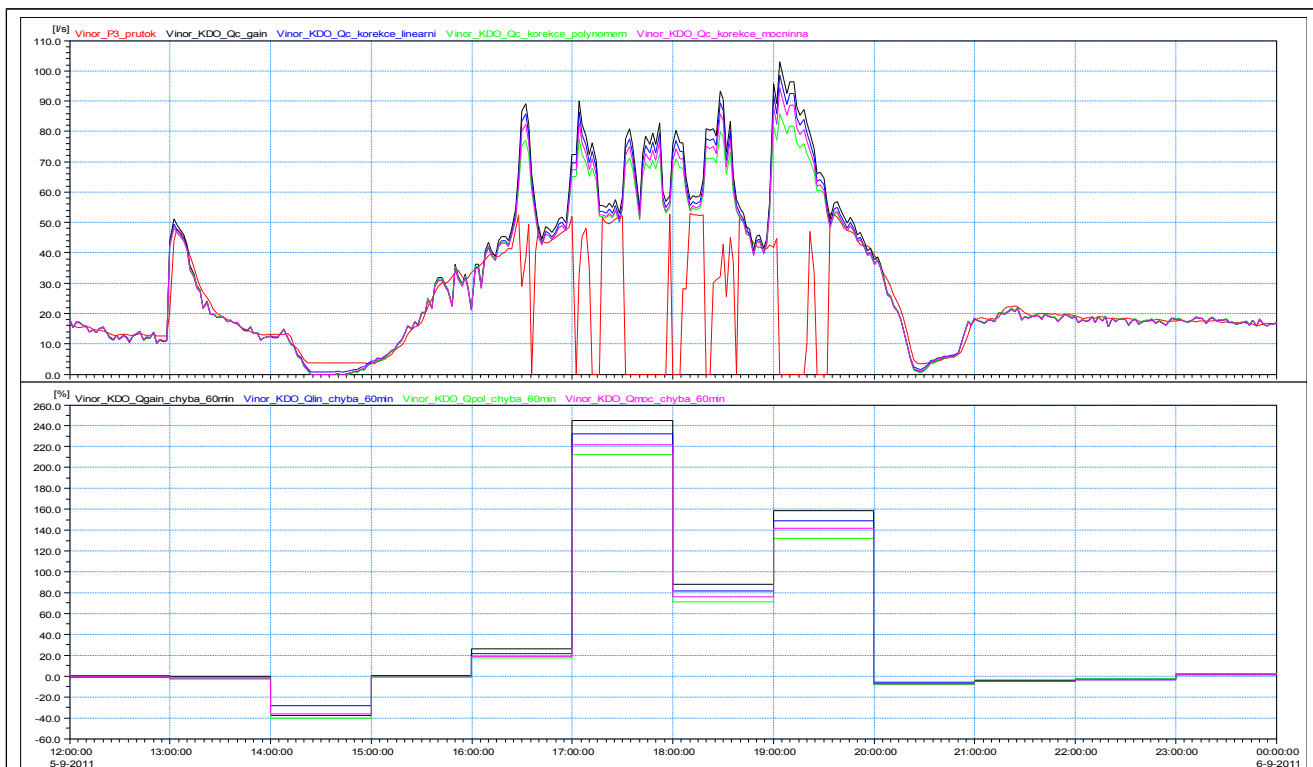
Z tabulky vidíme, že chyba vyhodnocení proteklých denních objemů průtokoměrem KDO nepřesáhla v porovnání s Parshallovým žlabem 10% a při použití korekční rovnice ani hodnotu 4%.

Vyhodnocení testu průtokoměru na měrném profilu ČOV Vnoř:

Měrný profil na ČOV Vnoř se hydraulicky lišil od měrného profilu na ČOV Miškovice především tím, že šlo o výrazně menší potrubí DN300 a hodnoty průtoku se vlivem čerpání pohybovaly téměř v celém rozsahu stanoveném pro Parshallův žlab P3 (0,78-49 l/s). Docházelo tedy jak k tlakovému proudění, tak k poklesu průtoku na hodnoty při kterých rychlostní snímač KDO již nebyl plně zatopen. Skutečnost, že nízké průtoky okolo 5 l/s již KDO snímač neměřil, zanáší přirozeně vyšší chybu ve stanovení proteklých objemů. Zajímavostí je, že v tomto případě se neosvědčilo kalibrovat hodnoty průtokoměru tak jako v případě profilu na ČOV Miškovice „složitější“ funkcí (lineární, polynomická, mocninná), ale že srovnatelné, příp. dokonce lepší výsledky z pohledu přesnosti byly dosaženy jednoznačným koeficientem $Q=k \cdot Q_{KDO}$. Příčinou je patrně ovlivňování průtoku Parshallovým žlabem, který byl umístěn za měrným profilem.

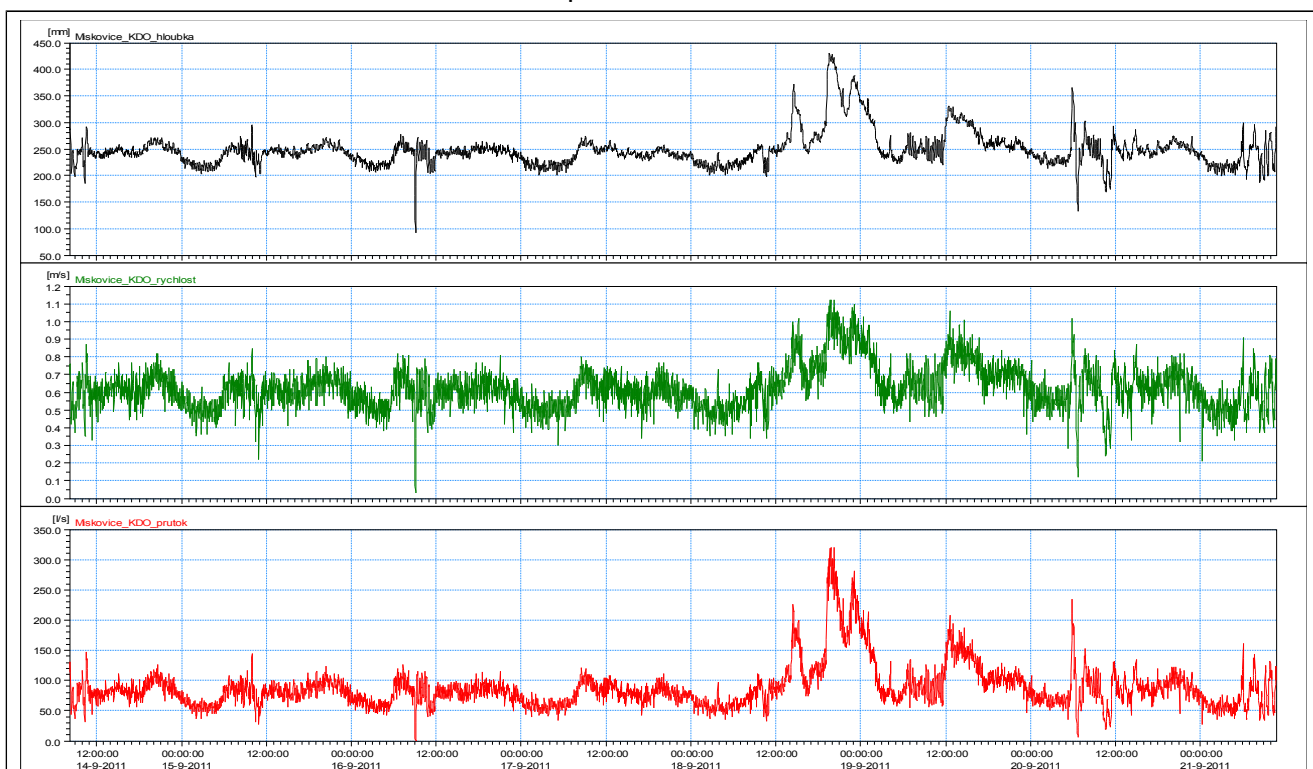
Porovnání proteklých deních objemů v následující tabulce opět vypovídá o přesnosti do $\pm 5 \%$ (zvýšená chyba dne 5.9. souvisí s událostí, při které hladina překročila výšku měrného žlabu a dostala se do mrtvého pásma snímače žlabu – viz graf 8).

	Pars3 Vd [m ³]	KDO gain Vd [m ³]	KDO gain $\bar{\delta}$ [%]	KDO lineární Vd [m ³]	KDO lineární $\bar{\delta}$ [%]	KDO polynom Vd [m ³]	KDO polynom $\bar{\delta}$ [%]	KDO mocninná Vd [m ³]	KDO mocninná $\bar{\delta}$ [%]
3.9.2011	1177	1155	-1,9	1167	-0,8	1150	-2,3	1151	-2,2
4.9.2011	1220	1231	0,9	1240	1,7	1222	0,2	1224	0,3
5.9.2011	1436	1887	31,4	1864	29,8	1802	25,5	1828	27,2
6.9.2011	1277	1262	-1,2	1270	-0,6	1260	-1,4	1259	-1,5
7.9.2011	1254	1261	0,6	1269	1,2	1260	0,5	1259	0,4
8.9.2011	1124	1079	-4,0	1095	-2,5	1074	-4,4	1079	-4,0
9.9.2011	1182	1163	-1,6	1176	-0,6	1162	-1,7	1163	-1,6
10.9.2011	1238	1216	-1,8	1226	-1,0	1210	-2,3	1211	-2,2
11.9.2011	1296	1287	-0,7	1293	-0,2	1282	-1,1	1280	-1,3

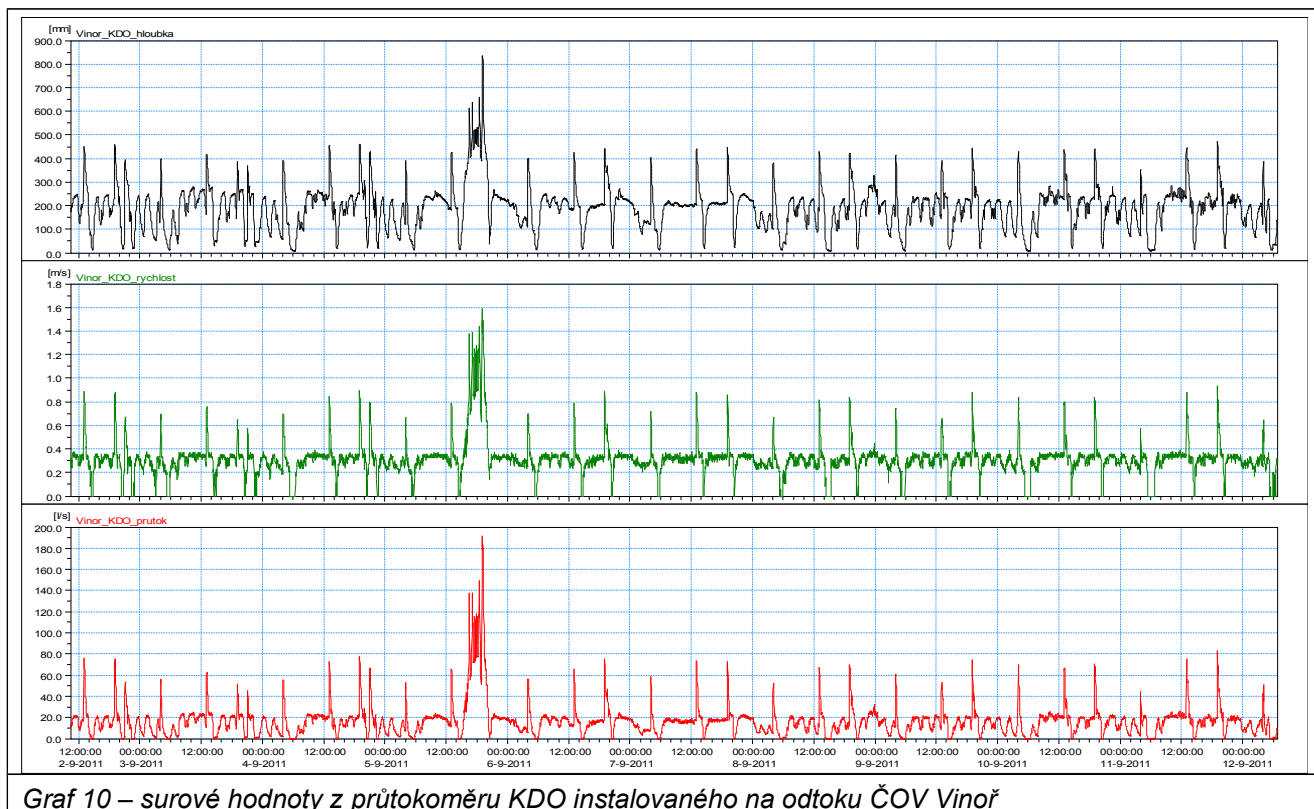


Graf 8 – dešťová událost 5.9. (zatopení měrného žlabu při $Q > 53$ l/s), chyby průtoku korigovaným několika typů funkcí

Pro úplnost uvádíme kompletní surová data z jednotlivých měření KDO průtokoměrem. Při tlakování na ČOV Vinoř se projevilo špatné nadefinování tabulky, kdy posledním dvěma řádkům nebyla pro dvě různé hloubky nastavena stejná hodnota "průtoku" a jednotka tak interpolovala s rostoucí hloubkou dál za rozsah rozměru potrubí.



Graf 9 – surové hodnoty z průtokoměru KDO instalovaného na odtoku ČOV Miškovice



Graf 10 – surové hodnoty z průtokoměru KDO instalovaného na odtoku ČOV Vinoř

Závěr:

Během krátkodobého měření na dvou profilech se průtokoměr KDO projevil jako velice spolehlivý měřicí přístroj, který při provedení kalibrace měřené rychlosti dosahuje naprosto uspokojivých výsledků v porovnání s měrným objektem typu Parshallův žlab. Samozřejmě záleží na konkrétních podmínkách (rozložení rychlostního pole, minimální rychlosti a hloubce) a tedy výběru vhodného měrného profilu. Vzhledem ke zkušenostem s hydrostatickými hladinovými snímači je určitě vhodné měřicí sestavu doplnit o měření ultrazvukovým hladinovým snímačem.