

Měření průtoku na ČOV – řešení problematických jevů

Michaela Povýšilová

Technoaqua s.r.o., U Parku 513, 252 41 Dolní Břežany, Česká Republika, www.technoaqua.cz,

Klíčová slova

Měření průtoku, měrný profil, žlab, měření rychlosti proudění, turbulence, vzdouvání hladiny, zatopený profil, Dopplerův jev, pulzní Doppler, kontinuální Doppler

Měření průtoku na čistírnách odpadních vod je klíčové jak pro provoz, z hlediska řízení procesu čištění, tak i pro stanovení poplatků za vypouštění OV do vod povrchových. Oba účely vyžadují přesnost, nejen kvůli platné legislativě, ale i proto, že přesnost přináší finanční úspory. Na všech ČOV je měřen odtok, na většině i přítok a na velkých ČOV i další technologicky důležité body.

Nejčastěji osazovaným způsobem měření průtoku jsou měrné profily ve spojení se snímáním hladiny. Jsou to různé typy žlabů, především Parshallův žlab, nebo přelivy spolu s měřením hladiny ultrazvukovou sondou, tlakovou sondou a zřídka i bubbler. Mnoho lidí, bohužel i projektantů, si ani nedovede pod pojmem měření průtoku nic jiného než žlab a ultrazvukovou sondu představit. Existují však situace, kdy tento zaběhnutý způsob není zrovna optimálním řešením a může přinášet problémy a nepřesné hodnoty.

V praxi se můžeme setkat s různými problematickými situacemi vyžadujícími jiné řešení. Začneme například turbulentním tokem s vlnami nebo pěnou na povrchu toku. V takové situaci nelze použít ultrazvukový senzor, protože by hodnoty byly zkreslené, nebo by senzor hladinu nebyl schopen měřit vůbec. Pěna na povrchu toku může způsobit vykazování vyšších hodnot, jelikož se ultrazvukový signál odrazí od pěny a ne od hladiny vody. Proto je nutné hladinu měřit buď tlakovým senzorem a nebo bubblerem, to znamená kontaktním způsobem. Pokud se jedná o



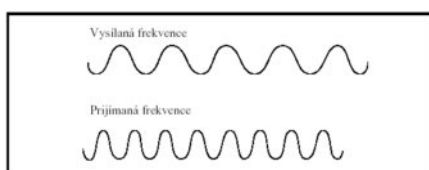
chemicky znečištěné vody, například v různých průmyslových podnicích, je lepší použít bubbler, protože tlaková sonda by podléhala rychle korozi. Měření výšky hladiny probubláváním je vlastně také tlakové měření, ale do kontaktu s médiem přichází pouze hadička nebo nerezová trubička, dle typu instalace.

Dalšími problematickými jevy na ČOV bývají krátké nátokové vzdálenosti, turbulentní tok, přítoky zaústěné do hlavní větve ovlivňující rychlostní pole v místě měření, soutoky jednotlivých technologických linek, velké rozdíly mezi minimálním a maximálním průtokem, zatápění profilu či zpětné vzduť a zpětný tok způsobené nejčastěji vzduť recipientu. To jsou nejčastější problémy, na které narazíme. Mají jedno společné, nelze zde zodpovědně navrhnout měrnou konstrukci s měřením hladiny. Monitoring průtoku pomocí měrného profilu je založen na měření výšky hladiny, která je využita pro výpočet průtoku na základě Q_h charakteristiky dané konstrukce. Každý měrný profil má stanovenou měrnou křivku, ze které je vypočítáván průtok. Jelikož jediná skutečně měřená veličina je výška hladiny, dojde-li k zatopení nebo zpětnému toku, měrný komplet vykáže zkreslené hodnoty – vyšší hodnoty. Zároveň je měrný profil limitován velikostí. Každý měrný profil je navržen na určité hodnoty průtoku. To znamená, že je dán minimální a maximální měřitelný průtok. Jakmile jsou hodnoty překročeny nebo podkročeny získané údaje jsou mimo rozsah. Tyto vlastnosti měrného profilu jsou pro jeho použití limitující.

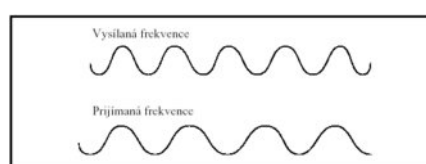
Výše uvedené situace lze řešit. Východiskem na problematických místech může být použití systému s měřením rychlosti proudění a výšky hladiny se softwarovým zadáním tvaru a velikosti průtočného profilu. Jedná se o průtokoměry využívající Dopplerova jevu. Dovolím si trochu teorie:

Doppler Christian Johann, 1803 – 1853, rakouský fyzik, matematik a astronom, profesor techniky v Praze a později ve Vídni. Zabýval se zejména optikou a akustikou, formuloval Dopplerův princip.

Dopplerův jev (princip) – změna pozorovaného kmitočtu akustických a elektromagnetických vln vlivem vzájemného pohybu zdroje a příjemce - údaje, které naleznete v každé encyklopedii. V běžné praxi máme s tímto jevem všichni zkušenost. Například projíždějící houkající vlak. Siréna vysílá zvuk určité frekvence. Když se vlak pohybuje směrem k vám, slyšíte zvuk vysoké frekvence. Když vás vlak mine a vzdaluje se, slyšíte zvuk nižší frekvence. Přičemž frekvence zvuku, vysílaného sirénou se nemění. Tato frekvence se mění relativně k vám, jako stojícímu objektu.



Přibližující se vlak – slyšíte vyšší frekvenci

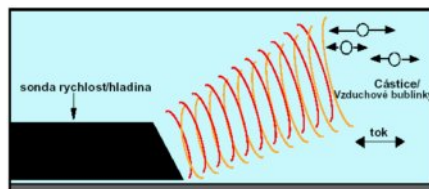


Vzdalující se vlak – slyšíte nižší frekvenci

Ve vodním hospodářství se slovo „Doppler“ stalo synonymem pro průtokoměry, které dokáží měřit rychlost proudění a průtok stanovují na základě rovnice kontinuity, to znamená

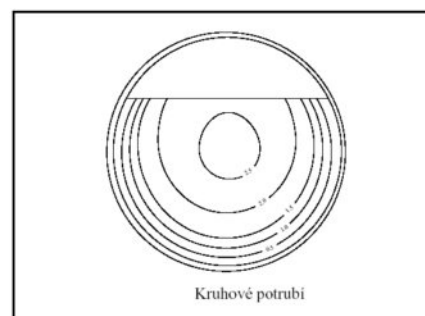
$$Q = v \cdot S.$$

Metoda měření průtoku na základě rovnice kontinuity s využitím Dopplerova jevu sestává z měření dvou veličin. Příčného řezu průtočného profilu v určitém místě a průměrné rychlosti proudění v tomto místě. Průtočné množství je poté kalkulováno násobením příčného řezu průměrnou průtočnou rychlostí. Rovnici pro tento výpočet nazýváme rovnicí kontinuity. Oblast průtoku je definována změřením výšky hladiny a dopočítáním příčného řezu na základě znalosti tvaru a rozměru kanálu. Zjišťování průměrné průtočné rychlosti je podstatně komplexnější problematika. Ultrazvukové čidlo je pro měření rychlosti nejběžněji používaná technologie. Kvalita měřících přístrojů pak závisí i na softwarovém vybavení přístroje, který získaná data zpracovává. Vlevo na obrázku je zjednodušené



zobrazení toho, jak sonda pracuje. Je schopna měřit průtok oběma směry.

V zařízeních jsou rozdíly a každá situace je originální, proto je důležité zvolit vhodné řešení a správnou instalaci. Pro turbulentní toky nebo toky s velkým průtokem používáme pulzní Doppler, v odpadních vodách novinka. Dříve byl používán pouze pro oceánografii a měření průtoku na řekách. Pro toky s laminárním prouděním používáme takzvané kontinuální Dopplery. Na obrázku je znázorněno pravidelné rychlostní pole s nejvyššími rychlostmi uprostřed a nejnižšími na okrajích. Tato situace je však spíše výjimečná. Ve většině případů rychlostní pole pravidelné není. Proto je důležité, aby senzor snímal co největší množství odrazů od částic nebo vzduchových bublinek z různých částí toku. Tyto rychlosti jsou pak využity pro získání váženého průměru.



Příklady situací z praxe

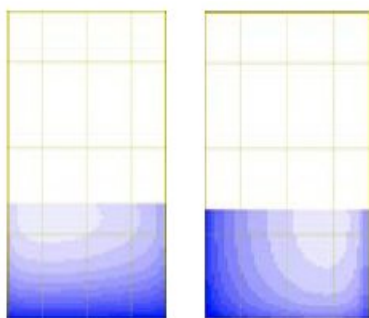
Velký rozsah průtoku a nepravidelné rychlostní pole – použití akustického pulzního Doppleru na odtoku z ČOV Olomouc, Moravská Vodárenská, a.s.

Tento příklad je z ČOV Olomouc Nové Sady, která má kapacitu 259 500 EO. Odtokový kanál, materiál beton částečně obložený keramickým obkladem. Kanál je pravoúhlý o šířce 1760 mm (50 cm nade dnem je šířka

1750mm), sklon žlabu 0,54%, podchodná světlost pod komunikací – obdélníkový profil šířka 1800 mm, výška 1770 mm. Při prověřování rozměrů jsme zjistili, že rozměry kanálu nejsou zcela pravidelné. Dno na šířku není vodorovné a šířka kanálu se v různých výškách liší. Průtoky jsou v rozsahu od cca 100l/sec až 4000l/sec.

Do profilu natékají odtoky ze dvou technologických linek, z nichž každá má jinou vydatnost. Jedna linka zahrnuje i dešťové vody. Soutok je ve tvaru písmene Y s výškovým skokem na jedné větvi (viz obrázek). Rychlostní pole v odtokovém kanálu je nepravidelné a jeho rozložení se mění se změnou výšky hladiny. Dalším problémem je možnost ovlivnění odtoku vzdutím řeky Moravy. Původní návrh řešení byla instalace více rychlostních sond a následné průměrování hodnot získaných ze všech tří měření.

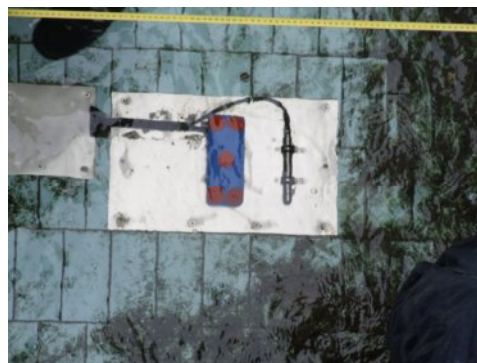
Pro zvolení optimálního řešení měření průtoku jsme se s provozovatelem v roce 2008 dohodli na provedení testů v délce trvání 1 měsíce. Vybrali jsme červenec, kdy byl předpoklad letních přívalových dešťů. Při testech jsme porovnávali měření ze stávajícího přístroje (Detec 3020), měření z vícesondové konfigurace přístroje Isco 2150, využívajícího kontinuální Doppler, a z přístroje Isco ADFM Pro20, využívající akustický pulzní Doppler. Podle dat z jednotlivých přístrojů, které jsou vybaveny i diagnostikou a podle přístroje ADFM, který má možnost i vykreslení rychlostního pole jsme zjistili, že nejvyšší rychlosti jsou při různých hladinách v různých částech profilu. Při vyšších hladinách (cca 1 m) přecházel tok do laminárního proudění.



Obrázek: rozložení rychlostního pole

Na níže uvedeném obrázku je vidět rozložení rychlostního pole. Tmavší barva jsou nižší rychlosti a světlejší barva jsou rychlosti vyšší. Nejnížší hladiny se pohybovaly okolo 150 mm a nejvyšší okolo 1000 mm, při přívalovém dešti byl průtok $3,5 \text{ m}^3/\text{sec}$ a rychlost se blížila 2 m/sec. Odtok z ČOV má velice nízký obsah nerozpuštěných látek, které jsou nezbytné pro měření na základě Dopplerova jevu, avšak výškový skok v nátokové části vytváří velké provzdušnění toku a vzduchové bubliny jsou pro odraz signálu dostačující. Na základě výsledků testů a porovnání výsledných hodnot bylo rozhodnuto pro osazení kanálu přístrojem Isco ADFM Pro20 s jednou měřicí sondou. Tato sonda využívá čtyři rychlostní senzory. Signál je vysílán do toku v podobě paprsku rozděleného na pulzy. Díky této technologii přístroj získává pro vyhodnocení rychlosti proudění velké množství dat z různých částí toku.

Rychlostní senzory jsou na sondě rozmístěny tak, že dva měří rychlost protiproudě a dva poproudě. Navíc dvojice senzorů jsou na sondě umístěny pod různým úhlem tak, aby byla snímána co největší část toku. Pro měření výšky hladiny má přístroj na sondě umístěn ultrazvukový hladinový senzor. Pro aplikace, kde je tok turbulentní, jako v tomto případě, je instalováno i sekundární měření hladiny pomocí tlakové sondy. Přístroj porovnává hodnoty z obou hladinových senzorů, pokud jsou hodnoty shodné, tak vezme údaje z ultrazvukového senzoru. Pokud jsou zjištěny větší rozdíly, je průtok kalkulován s použitím hladiny z tlakového senzoru. Měřicí sonda přístroje je velmi robustní a odolává i instalacím v surových odpadních vodách.



Velmi turbulentní tok, nátok na ČOV, silně znečištěná voda před česlemi – použití akustického pulzního Doppleru na ČOV Trollhättan, Švédsko

Měřicí místo je nátok na ČOV pro 50.000 EO s maximálním průtokem 1000 l/sec. Jedná je pravouhlý betonový profil šířka 1000 mm a výška 1200 mm, ve kterém je vybudován Parshallův žlab. Vzhledem k průtočným podmínkám, které jsou velice turbulentní, a tok je silně znečištěn, neplní měrný profil svoji funkci a hodnoty jsou nesprávné. Hladina vody na nátoce je 200 mm – 800 mm, rychlost proudění 0,6 – 1 m/sec, běžný průtok 300 – 500 l/sec. Běžné maximální průtoky 800 l/sec.



Jelikož Parshallův žlab neměřil, zkoušel provozovatel různé systémy pro měření průtoku, které v daných podmínkách taktéž nevykazovaly správné hodnoty. Proto se obrátil na firmu MJK a na základě provedených testů byl profil osazen stejným přístrojem jako v předchozím případě. Průtokoměrem Isco ADFM Pro20, který využívá pulzní Doppler a jak bylo vysvětleno výše, vzhledem ke konfiguraci je schopen měřit i v turbulentních tocích s velmi vysokou přesností, která je pro tyto aplikace vyžadována.

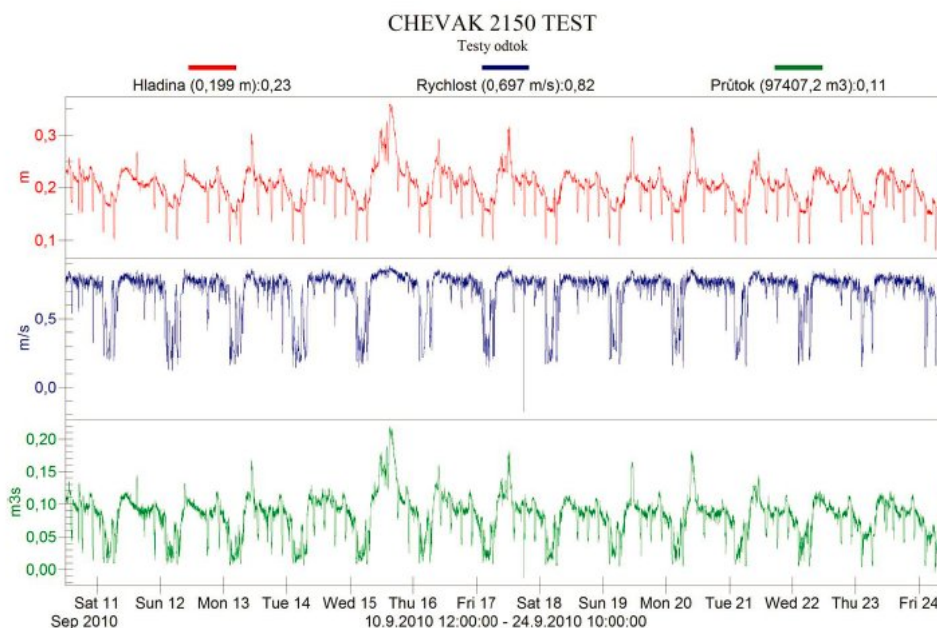
Zpětné vzduťí odtoku způsobené vzduťím hladiny recipientu, ovlivnění odtoku odlehčením – odtok z ČOV Mariánské Lázně, CHEVAK a.s.

Opět se jedná o instalaci systému využívající Dopplerova principu pro měření rychlosti proudění náhradou za Parshallův žlab, který za určitých podmínek nebyl vhodný. ČOV Mariánské Lázně je v současné době v rekonstrukci, která se blíží k závěru. Součástí rekonstrukce bylo vyřešení problému měření průtoku na odtoku z ČOV a průtoku v odlehčení. Odtoky z ČOV jsou zaústěny do místního potoka, který natéká do rybníka. V případě vzduťí hladiny recipientu může docházet ke zpomalení průtoku až k jeho zastavení případně ke zpětnému toku. Zároveň zde existoval problém se zatápním posledního stupně ČOV. Proto byl měrný žlab odstraněn a do odtokového potrubí byl nainstalován průtokoměr Isco 2150 se sondou měřící rychlost a výšku hladiny. Stejný měřicí systém byl instalován i do odlehčení. Jelikož se jedná o modulární systém, byly oba přístroje osazeny do společného technologického domku, kde jsou napojeny na telemetrickou stanici Fiedler-Mágr, která zajišťuje přenosy dat do řídicího systému.



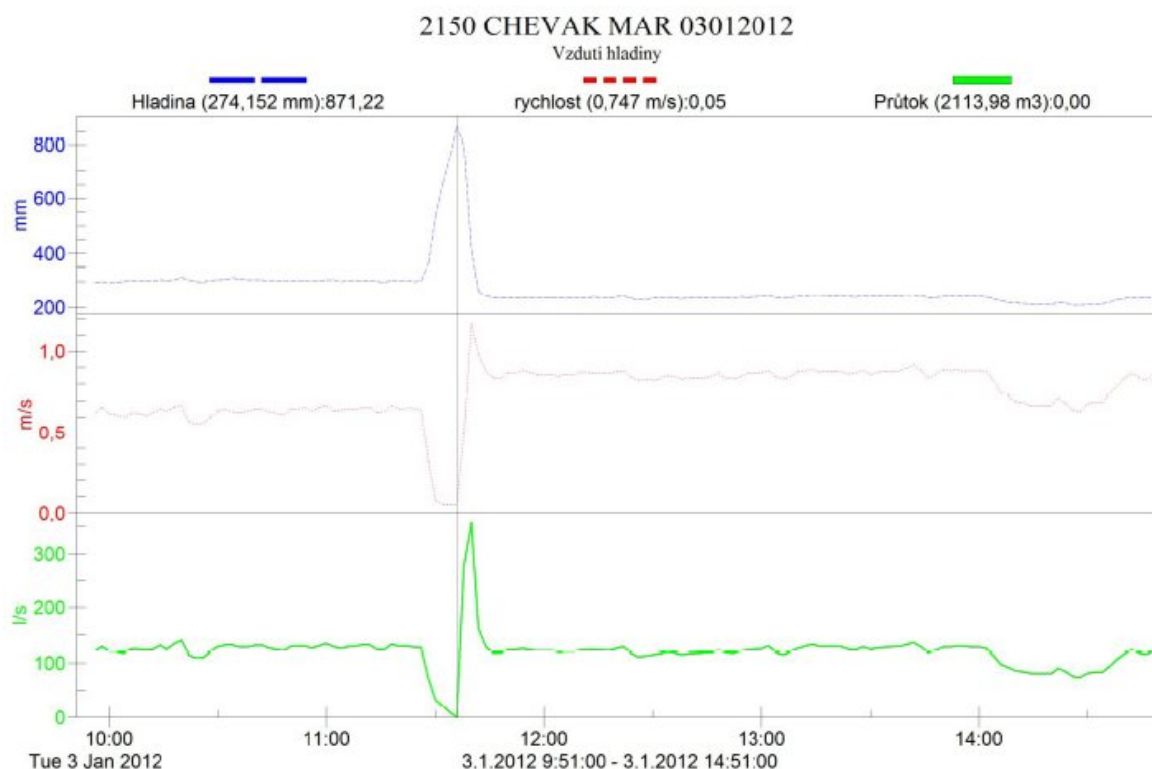
Odtok i odlehčení jsou betonové kruhové profily o průměru DN 1000. Odtok z ČOV je kruhové potrubí přecházející do pravoúhlého profilu, kde byla dříve konstrukce žlabu. Nyní je zde pouze nízká přepadová hrana, která zajišťuje stálou minimální hladinu.

I této instalaci nejprve předcházely provozní testy, které probíhaly v roce 2010. Data z testů je možné vidět na níže uvedeném grafu. Testy byly prováděny v profilu ještě před vybouráním žlabu. Nyní jsou rychlosti proudění vyšší než na uvedeném grafu. Při běžných denních průtocích, které se pohybují okolo 100 – 150 l/sec jsou rychlosti okolo 1 m/sec a hladina 250 – 300 mm. Hodnoty kolísají v souvislosti s provozem technologických prvků na ČOV.



Na níže uvedeném grafu je možné vidět událost, při které došlo k zamezení odtoku z ČOV. V důsledku toho se hladina vzdula na 871 mm, zároveň rychlost poklesla k nule a tím byl i průtok nulový. Pokud by k takovému jevu došlo při měření průtoku pomocí měrné konstrukce, byly by vykazovány vysoké hodnoty průtoku, protože měrné konstrukce nejsou schopny informovat uživatele o tom, že hladina je sice vysoká, avšak voda stagnuje a k průtoku nedochází, případně dochází ke zpětnému toku.

Velkou výhodou systému Isco 2150 jsou diagnostická data, která lze ze systému stáhnout a která dokáží informovat uživatele o různých jevech jako je právě zpětný tok, turbulence, znečištění sondy a dalších.



Závěr

Z výše uvedených zkušeností vyplývá, že ke každému měření průtoku je nutné přistupovat individuálně a vždy dobře zvážit situaci na konkrétním místě instalace. Návrh nelze provést tzv. „od stolu“, protože reálné podmínky mohou být jiné, než je uváděno v dokumentaci. Bohužel se s nevhodnými návrhy stále setkáváme i u nových staveb, u kterých se často tato problematika řeší až ve chvíli, kdy vyprojektovaný prvek nevykazuje data, která jsou očekávána. Nebo je odtokový objekt vybudován, je nutné jej osadit měřením, avšak konstrukce není optimální pro získávání kvalitních přesných dat. I pro takové situace existuje řešení, ale dost často pak zvyšuje finanční náročnost celého díla.

Použití literatura a materiály:

Fotodokumentace Technoaqua

Data Flowlink 5.1 Technoaqua

Encyklopedie

Výsledky testů firmy MJK Švédsko

Uvedené aplikace byly zveřejněny se souhlasem provozovatelů