MODELOVÁ INTERPRETACE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ MÍSÍČÍ ZÓNY V LABI POD VYPOUŠTĚNÍM Z ČOV HRADEC KRÁLOVÉ

JIŘÍ ŠAJER

Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, v. v. i., Macharova 5, 702 00 Ostrava, Česká republika;
Mailto: jiri_sajer@vuv.cz

Ve shodě se Směrnicí 2008/105/ES mohou členské státy vymezit regulační mísíčí zóny přilehlé k místu vypouštění. Koncentrace jedné nebo více látek uvedené v seznamu v části A přílohy 1 této směrnice smějí překračovat významné normy environmentální kvality uvnitř takových regulačních mísíčích zón, pokud nebudou mít vliv na dodržení těchto norem ve zbývajících částech vodního útvaru. Jako základ pro vymezení regulační mísíčí zóny přilehlé k existujícímu bodovému zdroji znečištění je velmi důležitá co nejlepší znalost skutečné hydrodynamické zóny. To je důvod, proč byla v Labi pod čistírnou odpadních vod (ČOV) Hradec Králové měřena konduktivita. V tomto článku je popsána modelová interpretace výsledků měření. ČOV Hradec Králové se nachází na levém břehu Labe a patří mezi jednu z největších ČOV v České republice s kapacitou přesahující 100 000 EO. Studie se zajímá o oblast po kompletním vertikálním promísení. Je použito modelování dvoudimenzionálního (2D) šíření vlečky znečištění z bodového zdroje v řece, založené na metodě, kterou uvádí Fischer et al. (1979) s korekcí pro účinný začátek vypouštění. Porovnání numerických výsledků s výsledky z terénního měření ukazují, že metoda je použitelná pro predikci hydrodynamické mísíčí zóny přilehlé k ČOV Hradec Králové v případě, že odpadní vody jsou v recipientu pozitivně nadlehčovány.

KLÍČOVÁ SLOVA: povrchové vody, mísíčí zóna, vypouštění odpadních vod, znečištění vody, konduktivita, numerické modelování.

Jiří Šajer: MODEL INTERPRETATION OF RESULTS OF MEASUREMENT MIXING ZONE IN THE ELBE RIVER DOWNSTREAM FROM THE WWTP HRADEC KRÁLOVÉ. J. Hydrol. Hydromech., 58, 2010, 2; 9 lit., 6 obr., 3 tab.

In accordance with the Directive 2008/105/EC Member States may designate regulatory mixing zones adjacent to points of discharge. Concentrations of one or more substances listed in Part A of Annex 1 of this Directive may exceed the relevant EQS within such mixing zones if they do not affect the compliance of the rest of the body of surface water with those standards.

As a basis for designating regulatory mixing zone adjacent to an existing point source is the best knowing of the really hydrodynamic mixing zone very important. That's the reason, why conductivity in the Elbe River downstream waste water treatment plant (WWTP) Hradec Králové was measured. Numerical analysis of results is described in this paper.

WWTP Hradec Králové is located on the left shore of the Elbe River and belong between one of the biggest Czech Republic's WWTP of a size in excess of 100 000 PE. The region after complete vertical mixing is of interest in this study. Modeling of the two-dimensional (2D) contaminant spreading of plume from point source in a river based on the method of Fisher et al. (1979) with correction for the effective origin of effluent is used. Comparison of the numerical results with field measurements shows that this method is useable for prediction of the hydrodynamic mixing zone adjacent to WWTP Hradec Králové in case when the effluent is positively buoyant.

KEY WORDS: Surface Waters, Mixing Zone, Effluents, Water Pollution, Conductivity, Numerical Modeling.

1. Úvod

Podle Směrnice 2008/105/ES o normách environmentální kvality v oblasti vodní politiky, změně a následném zrušení směrnic Rady 82/176/EHS, 83/513/EHS, 84/156/EHS a 86/280/EHS a změně směrnice 2000/60/ES ze dne 13. prosince 2008 mohou členské státy vymezit regulační misíční zóny přilehlé k místu vypouštění. Regulační misíční zóna je definována jako oblast povrchových vod bezprostředně navazující na místo vypouštění prioritních látek, ve které normy environmentální kvality nemusí být dosahovány, pokud se má důvodně za to, že vypouštěním je ovlivněna jakost povrchových vod a navazujícího vodního ekosystému. Aby bylo možno co nejobjektivněji vymezit regulační misíční zónu, je potřebná velmi dobrá znalost skutečné hydraulické misíční zóny. Za tím účelem uskutečnil Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v. v. i. řadu měření v tocích pod významnými bodovými zdroji znečištění. Jedním z takových významných bodových zdrojů znečištění byla i čistírna odpadních vod Hradec Králové. Podle údajů uvedených v Integrovaném registru znečišťování životního prostředí (IRZ) vypustila tato čistírna do povrchových vod za rok 2007 6,1 kg rtuti, která je zařazena mezi prioritní látky nebezpečné pro vodní organismy. Se svou kapacitou 141 000 EO se čistírna řadí mezi deset největších ČOV v České republice s velikostí nad 100 000 EO. Čistírna vypouští průměrně $44\,000\text{ m}^3\text{ den}^{-1}$ (17 miliónů/rok). Odpadní vody z ČOV jsou vypouštěny do Labe prostřednictvím otevřeného odpadního kanálu. V místě zaústění kanálu je hladina Labe vzduta Opatovickým jezem. Jedná se o pevný jezový objekt se 112 m dlouhou přelivnou korunou na kótě 225,3 m.n.m. Ze zdrže jezového objektu odbočuje 31,8 km dlouhý Opatovický kanál. Šířka Opatovického kanálu u vtoku je 15 m a průměrná hloubka 1,5 m. Kapacita převodu je $6,5\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$. Výška hladiny u jezu v Opatovicích se při průměrných a nižších průtocích drží zhruba na kótě 225 m.n.m. a přelivná koruna jezu zůstává suchá. Tepelná elektrárna Opatovice nesmí zvyšovat odběr užitkové vody nad $11,6\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ s tím, že současně musí být dodržována i stanovená hodnota minimálního zůstatkového průtoku $5\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ v řece Labi pod Opatovickým jezem. Situace je patrná z obr. 1. Článek se zabývá modelovou interpretací výsledků měření konduktivity v úseku Labe pod vyústěním odpadního kanálu z ČOV Hradec Králové s užším zaměřením na dvourozměrnou oblast šíření vlečky znečištění.

Obr. 1. Situace.
Fig. 1. Situation.

2. Teorie hydraulické misíční zóny

Podélná a zejména pak příčná disperze se významnou měrou podílejí na průběhu prostorových a časových změn koncentrace cizorodých látek v toku. (Matas, 2009). Při poměrně malých gradientech koncentrace v podélném profilu a při běžných rychlostech vody (řádově desítky $[\text{m s}^{-1}]$ a vyšší) je vliv podélné hydrodynamické disperze řádově nižší než vliv advektivní složky (Říha, 2008). Znečištění vypouštěné z bodového zdroje do recipientu se obecně zpočátku šíří třírozměrně (near field) a po vyrovnání koncentrace ve svislé ose dvourozměrně (far field). Průběh hydraulického mísení je nezávislý na velikosti koncentrace. Je výhodné počítat s koncentrací uváděnou v procentech (Doncker et al., 2007). Zavedeme-li koordinační systém a přirozený tvar koryta recipientu nahradíme přibližně odpovídajícím prizmatickým korytem o šířce B a hloubce h podle obr. 2, pak v oblasti dvourozměrného šíření bude probíhat rozdělení koncentrací konzervativní látky směrem dolů po proudu podle rov. (1). V literatuře (Fischer et al., 1979) se mů-

žeme setkat s touto rovnicí ve tvaru, který platí pro nulovou koncentraci C_r

$$\frac{c - c_r}{c_0} = \frac{1}{\sqrt{4\pi x'}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left\{ e^{\left[\frac{-(y' - 2n - y_0)^2}{4x'} \right]} + e^{\left[\frac{-(y' - 2n + y_0)^2}{4x'} \right]} \right\}. \quad (1)$$

V případě aktivního vypouštění nebo významného výskytu singularit v toku pod vypouštěním se do výpočtů zavádí fiktivní vzdálenost x_s mezi skutečným a efektivním bodem vypouštění. Celkovou efektivní vzdálenost pak lze vypočítat jako

$$x_{ef} = x + x_s. \quad (2)$$

Ze softwarových prostředků umožňujících výpočty a modelování mísicí zóny je možno pro jednodušší případy jmenovat imisní test používaný v Holandsku, pro složitější, zahrnující některé významné vlivy (například vliv stratifikace vody, vliv větru apod.), je to například CORMIX.

Obr. 2. Definice symbolů a koordinační systém.
Fig. 2. Definition of symbols and coordinate system.

3. Metody řešení

K měření průběhu mísení byla zvolena jako referenční parametr elektrická konduktivita (měrná vodivost), která je snadno stanovitelná přenosným přístrojem přímo v terénu. Na řece Labi byl nejčastěji používán přístroj WTW Cond 340i a někdy také WTW Multi 340i, případně pH/Cond 340i. Pod ČOV Hradec Králové proběhla dvě měření. První proběhlo v dubnu a druhé v červenci 2007, obě za nižších průtoků. Měření probíhalo z nafukovací kanoe, aktuální poloha lodi byla zjišťována pomocí GPS.

Pro výpočty se jeví vhodné zavést $C_e - C_r = 100\%$. Výsledky měření konduktivity pak byly přepočteny na rozdíly mezi maximálně zjištěnou konduktivitou v měřených bodech a původní neovlivněnou konduktivitou v toku a vyjádřeny v pro-

centech. Centrální hydrodynamická osa těsně sledovala levý břeh.

Pro každý bod na centrální ose, ve kterém se měřilo, byla vypočtena hodnota $E_y x_{ef}$ podle rov. (3)

$$E_y x_{ef} = \frac{\left(\frac{Q_e (C_e - C_r)}{(C - C_r)} \right)^2}{\pi U h^2} \quad (3)$$

a v grafu na obr. 3 byla vynesena závislost této hodnoty na vzdálenosti x .

Lineární regresní křivka proložená vnesenými body má tvar

$$y = kx + q, \quad (4)$$

kde lineární koeficient k odpovídá hodnotě E_y a absolutní člen q se rovná součinu $E_y \cdot x_s$. Z regresní přímky tedy bylo možno přímo získat hodnotu E_y a následujícím výpočtem hodnotu x_s . Z takto získané hodnoty E_y byla pro příslušný koeficient drsnosti toku upřesněna hodnota součinitele α_y , která pak byla použita pro další výpočty.

Pro body, ve kterých se měřilo, byl uskutečněn výpočet pomocí rov. (1). Výsledky výpočtu pro centrální hydrodynamickou osu ($y = 0$) byly porovnány s výsledky měření v terénu a s výsledky získanými pomocí imisního testu používaného v Holandsku (obr. 4).

4. Výsledky a diskuse

Při měření realizovaném 20. 4. 2007 činila maximálně zjištěná konduktivita vypouštěné odpadní vody $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$, řeka Labe v celém příčném profilu nad místem vypouštění vykazovala vodivost $260 \mu\text{S cm}^{-1}$. Odpadní voda byla o $2,6^\circ\text{C}$ teplejší než voda v řece. Vlečka vypouštěné odpadní vody se držela při levém břehu a po 100 metrech od místa vypouštění dosahovala do cca 1/3 šířky toku. Konce mísicí zóny ve vzdálenosti 1500 m pod výpustí ještě nebylo dosaženo. Při tomto měření nebyl v celém měřeném úseku toku Labe v různých hloubkách zjištěn rozdíl konduktivity. Poněkud jiná situace nastala při měření téhož úseku toku v červenci 2007. Konduktivita odpadní vody z ČOV Hradec Králové byla obdobná a činila $1095 \mu\text{S cm}^{-1}$. Konduktivita povrchové vody nad místem vypouštění v neovlivněné části řeky činila $342 \mu\text{S cm}^{-1}$. Teplota odpadní vody však byla o $1,7^\circ\text{C}$ nižší než v recipientu. Proud odpadní vody tímto klesal ke dnu a směřoval k protějšímu pravému břehu. I ve vzdálenosti 40 m pod výustí byla konduktivita v ce-

Obr. 3. Regresní analýza; ● – 2D šíření vlečky, ○ – 3D šíření vlečky, × – tato hodnota byla vypuštěna, — – lineární regrese.

Fig. 3. Regression analysis; ● – 2D plume spreading, ○ – 3D plume spreading, × – this value was ruled out, — – linear regression.

Obr. 4. Převýšení koncentrací v centrální ose nad koncentracemi pozadí v recipientu; ● – 2D šíření vlečky, ○ – 3D šíření vlečky, Δ – imisní test používaný v Holandsku, × – rov. (1) při $y_0 = 0$, ---- – regrese 1 (naměřené hodnoty), — – regrese 2 (hodnoty vypočtené podle rov. (1)).

Fig. 4. Centerline excess concentration above ambient background concentration; ● – 2D plume spreading, ○ – 3D plume spreading, Δ – immission test which is used in Netherlands, × – Eq. (1) by $y_0 = 0$, ---- – regression 1 (observed values), — – regression 2 (computed values by means of Eq. (1)).

lém příčném profilu Labe při hladině shodná s konduktivitou v neovlivněném úseku nad výpustí. Při levém břehu však konduktivita výrazně vzrostla v hloubce 1,5 metru. V dalším úseku mísení se odpadní voda promíchávala ode dna k hladině a současně směrem od levého k pravému břehu. Na rozdíl od předchozího měření byla již 500 m pod výpustí ovlivněna i voda u pravého břehu (Mičaník et al., 2008).

Následující modelová interpretace výsledků se zaměřuje na výsledky měření ze dne 20. 4. 2007, kdy byl rozsah mísící zóny podstatně větší, a tedy i možný dopad na životní prostředí méně příznivý. Výsledky měření konduktivity byly přepočteny na rozdíly mezi maximálně zjištěnou konduktivitou v měřených bodech a původní neovlivněnou konduktivitou v toku a vyjádřeny v procentech. Jsou shrnuty v tab. 1. Z ČOV Hradec Králové bylo toho dne vypuštěno 40 260 m³ odpadní vody. To je v průměru 0,466 m³ s⁻¹. Množství bylo měřeno ponornou sondou, která snímá rychlost proudění a výšku hladiny. Nerovnoměrnost vypouštění v průběhu dne je znázorněna na obr. 5. V době měření konduktivity se pohybovalo množství vypouštěné z ČOV Hradec Králové kolem 0,455 m³ s⁻¹. Průtoky byly v Orlici na limnigrafické stanici v Hradci Králové 13,6 m³ s⁻¹ a v Labi nad Orlicí v Hradci Králové 23,0 m³ s⁻¹. To znamená, že pod Hradcem Králové byl průměrný průtok v Labi asi 36,6 m³ s⁻¹. Hladina vzdutí nad jezovým tělesem Opatovice je obvykle udržována na kótě 225 m.n.m. a koruna jezového tělesa zůstává suchá.

Výpočtem křivky vzdutí podle Pavlovského bylo ověřeno, že při průtoku 36,6 m³ s⁻¹ zůstává tato kóta v místě zaústění odpadního kanálu z ČOV Hradec Králové prakticky nezměněna. Totéž platí i pro průtoky nižší. Průměrná hloubka ve sledovaném úseku o délce 1500 m byla stanovena na 3,32 m na základě podélného profilu znázorněného na obr. 6. Hydraulický poloměr při šířce toku 50 m vychází přibližně $R = 2,93$ m. Z výsledků uvedených v tab. 1 je patrné, že nejvyšší hodnoty koncentrace, vyskytující se v hydrodynamické ose vypouštění, těsně sledují levý břeh Labe. Z výsledků měření byly vypočteny dříve popsaným způsobem maximální hodnoty $x_{ej} \cdot E_y$, připadající na jednotlivé vzdálenosti x . Při regresní analýze (viz obr. 3) byla nejdříve vyloučena odlehlá hodnota připadající na vzdálenost $x = 30$ m od místa vypouštění. Následovně byla body proložena regresní přímka. Z regresní analýzy vyplývá, že součinitel příčné horizontální disperze $E_y = 0,0081$ m² s⁻¹ a efektivní počátek vypouštění je posunut směrem proti proudu o $x_s = 0,0022/E_y = 0,27$ m, což je zanedbatelné, takže v tomto případě je možno skutečnou vzdálenost od místa vypouštění považovat za totožnou s efektivní vzdáleností. Nyní vyjádříme součinitel příčné horizontální disperze ve tvaru

$$E_y = \frac{\alpha_y h g^{0,5} n}{R^p} \quad (5)$$

Obr. 5. Množství znečištěné vody vypouštěné z ČOV Hradec Králové dne 20. 4. 2007; ———— naměřené hodnoty, ---- — průměr.

Fig. 5. Amount of waste water discharged from the WWTP Hradec Králové on 20. 4. 2007; ———— observed values, ---- — average.

Obr. 6. Podélný profil Labe v úseku pod ČOV Hradec Králové; — — dno, - - - - jednoletá voda, - . - - - minimální hladina vzdutí, - průměrný spád dna.

Fig. 6. The longitudinal profile of the Elbe River downstream of the WWTP Hradec Králové; — — bottom, - - - - one-year flow, - . - - - minimum top water level, - average bottom slope.

T a b u l k a 1. Maximální převýšení měřené koncentrace nad koncentrací pozadí, vyjádřené v procentech.

T a b l e 1. Maximal excess measured concentration above ambient background concentration in percents.

	x[m]												
y[m]	0	3	10	30	50	80	150	270	500	620	850	1100	1500
0	100,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	23,2	—	—	20,5	16,4	15,1	9,7	8,4	7,7	6,3	5,7	4,6
5	—	—	—	—	11,1	—	8,4	11,1	7,7	7,0	6,3	5,4	4,6
10	—	65,0	29,9	9,7	11,1	16,4	5,7	11,1	8,4	5,7	6,6	4,7	4,3
15	0,3	0,3	43,4	9,7	19,1	3,0	3,8	8,4	4,3	3,0	5,7	3,0	3,2
20	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	2,3	8,4	1,6	1,6	3,0	2,2	2,7
25	—	—	—	—	—	0,4	0,3	0,3	0,5	0,3	1,6	1,6	1,2
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,2	0,9	0,8
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,0	0,1	0,1	0,0
max	100	65,0	43,4	9,7	20,5	16,4	15,1	11,1	8,4	7,7	6,6	5,7	4,6

Po dosazení známých hodnot E_y , h , g a R zůstane v rov. (5) poslední dvě neznámé: n a α_y . Po dosazení koeficientu drsnosti $n = 0,025$, který odpovídá danému charakteru toku, na koeficient α_y připadla hodnota $\alpha_y = 0,173$. Po uskutečnění výpočtů pomocí rov. (1) dostaneme pro oblast dvourozměrného šíření znečištění (far field) hodnoty uvedené v tab. 2. Rozdíl mezi změřeným a vypočteným převýšením koncentrace nad koncentrací pozadí je uveden v procentech v tab. 3. V centrální části vlečky znečištění v podélném směru dochází k dobré shodě mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami. K poněkud větší diferencí dochází v příčném

směru v okrajové části vlečky. Převýšení koncentrací v hydrodynamické centrální ose nad původní koncentrací v toku je znázorněno v grafu na obr. 4. V grafu je rovněž informativně zachycen výstup z imisního testu používaného v Holandsku. Ve vnitřním nastavení testu bylo nejdříve nutno změnit původní nastavení součinitele α_y z původní hodnoty 0,6 na hodnotu 0,173 a koeficientu drsnosti z původní hodnoty 0,05 na hodnotu 0,025. Výsledné hodnoty vycházejí poněkud odlišné, protože imisní test používá některé jiné vzorce (například pro výpočet Chézyho součinitele a třecí rychlosti) než byly použity při výpočtu podle rov. (1).

T a b u l k a 2. Výpočet podle upravené rov. (1), hodnoty vyjádřené v procentech.
T a b l e 2. Calculation by adapted Eq. (1) in percents.

y[m]	x[m]												
	0	3	10	30	50	80	150	270	500	620	850	1100	1500
0	100	–	–	–	25,6	20,2	14,8	11,0	8,1	7,3	6,2	5,4	4,7
2	–	–	–	–	14,8	14,4	12,3	9,9	7,7	6,9	6,0	5,3	4,6
5	–	–	–	–	0,9	2,4	4,7	5,9	5,8	5,5	5,1	4,7	4,2
10	–	–	–	–	0,0	0,0	0,2	0,9	2,1	2,4	2,8	2,9	3,0
15	–	–	–	–	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	1,0	1,4	1,7
20	–	–	–	–	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,8
25	–	–	–	–	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3
30	–	–	–	–	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
50	–	–	–	–	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

T a b u l k a 3. Rozdíly mezi vypočtenými a měřenými hodnotami, vyjádřené v procentech.
T a b l e 3. Differences between calculated and measured values in percents.

y[m]	x[m]												
	0	3	10	30	50	80	150	270	500	620	850	1100	1500
0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	–	–	–	–	–	2,1	2,8	-0,2	0,7	0,7	0,3	0,3	0,0
5	–	–	–	–	–	–	3,6	5,2	1,9	1,5	1,3	0,7	0,4
10	–	–	–	–	–	16,4	5,5	10,2	6,3	3,2	3,8	1,8	1,3
15	–	–	–	–	–	3,0	3,8	8,3	3,9	2,4	4,6	1,6	1,6
20	–	–	–	–	–	0,7	2,3	8,4	1,6	1,5	2,7	1,7	1,9
25	–	–	–	–	–	0,4	0,3	0,3	0,5	0,3	1,6	1,5	0,9
30	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,2	0,9	0,7
50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,0	0,1	0,1	0,0

Vzhledem k tomu, že rozdíly mezi hodnotami naměřenými v toku a hodnotami vypočtenými podle rov. (1) jsou přijatelné, může být tato rovnice s uvedenými konstantami použita pro predikci hydrodynamické mísicí zóny pod ČOV Hradec Králové i za jiných průtokových stavů v případě, že bude docházet k pozitivnímu nadlehčování vypouštěných odpadních vod v recipientu. Z hlediska dopadu vypouštění na životní prostředí to umožní vyhledání nejnepříznivějších možných kombinací.

5. Závěr

Výsledky měření konduktivity v prostoru mísicí zóny v Labi pod ČOV Hradec Králové naznačují, že se jedná o pomalé mísení citlivé na teplotní změny. Jako podklad pro vymezení regulační mísicí zóny je důležitější první případ z dubna 2007, ve kterém byly vypouštěny odpadní vody v recipientu pozitivně nadlehčovány a vlečka znečištění měla tendenci se držet při hladině, protože byl měřením

zjištěn větší rozsah mísicí zóny než v případě druhém z července 2007. Větší rozsah mísicí zóny může mít totiž méně příznivý vliv z hlediska dopadu na životní prostředí. Oproti skutečnému stavu modelová interpretace situaci značně zjednodušuje, takže musí být brána s určitou rezervou. Například u koeficientu α_y se uvádí rozmezí hodnot od 0,3 do 1,0 (US EPA, 1991), kde nižší hodnota platí pro pomalé mísení a vyšší hodnota pro rychlé mísení. V našem případě vyšla hodnota nižší než uvedené rozmezí. Nízké hodnoty koeficientu ukazují na pomalé mísení. Pro interpretaci chování vlečky znečištění při negativním nadlehčování (jaké bylo podchyceno například měřením v toku v červenci 2007) by bylo nutno použít složitějších modelovacích prostředků. Jak už bylo řečeno v úvodu, k objektivnímu vymezení regulační zóny přilehlé k místu vypouštění z významného bodového zdroje znečištění je potřebná velmi dobrá znalost skutečné konkrétní hydraulické mísicí zóny. K tomu

v mnoha případech nestačí pouhé numerické modelování, ale je nutno měřit přímo v terénu a teprve na základě numerické interpretace výsledků je možno uskutečňovat predikci pro různé předpokládané nejnepríznivější situace pomocí modelování – například pro vypouštění při nízkých průtocích blízkých Q_{355} .

Poděkování. Článek vznikl díky finanční podpoře věnované Ministerstvem životního prostředí České republiky výzkumnému záměru MŽP 0002071101 „Výzkum a ochrana hydrosféry“. Autor by touto cestou chtěl také poděkovat Královopolské provozní a.s. za poskytnutí informací o vypouštěném množství z ČOV Hradec Králové, Povodí Labe, s.p. za poskytnutí údajů o korytě Labe v úseku pod čistírnou a v neposlední řadě vedoucímu výzkumného záměru ing. Tomáši Mičaníkovi za poskytnutí údajů výsledků měření konduktivity a také ing. Jiřímu Kučerovi, který měření zabezpečoval.

Seznam symbolů

- U – průměrná rychlost v recipientu [m s^{-1}],
- h – průměrná hloubka v sledovaném úseku recipientu [m],
- B – průměrná šířka v sledovaném úseku recipientu [m],
- E_y – součinitel příčné horizontální disperze, který může být vyjádřen jako $E_y = \alpha_y \cdot h \cdot U_s$ [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$],
- U_s – třetí rychlost [m s^{-1}],
- x – podélná vzdálenost od vypouštění k zájmovému bodu v recipientu [m],
- y – příčná vzdálenost bodu zájmu od břehu [m],
- x' – bezrozměrný součinitel, který může být vyjádřen jako $x' = x \cdot E_y / (U \cdot B^2)$,
- y' – bezrozměrný součinitel, který může být vyjádřen jako $y' = y/B$,
- y_0 – příčná vzdálenost bodu vypouštění od břehu [m],
- y_0' – bezrozměrný součinitel, který může být vyjádřen jako $y_0' = y_0/B$,
- Q_r – průtok v recipientu [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$],
- C_r – aktuální požadovaná koncentrace v recipientu [%],
- C – maximální koncentrace příslušející souřadnicím x, y [%],
- α_y – bezrozměrný koeficient závislý na typu a stupni nepravidelnosti příčného profilu koryta recipientu,
- Q_e – vypouštěné množství [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$],
- C_e – vypouštěná koncentrace [%],
- $C_0 = (C_e - C_r) \cdot Q_e / (U \cdot B \cdot h)$ [%],
- n – součinitel drsnosti [–],
- R – hydraulický poloměr v sledovaném úseku [m],
- g – gravitační zrychlení [m s^{-2}],
- p – Pavlovského exponent ($p = 2,5 \cdot n^{0,5} - 0,13 - 0,75 \cdot R^{0,5} \cdot (n^{0,5} - 0,1)$),
- x_{ef} – efektivní vzdálenost [m],
- x_s – rozdíl mezi efektivní a skutečnou vzdáleností [m],
- Q_{355} – průtok, který je dodržen nebo překročen po 355 dní v roce [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$].

LITERATURA

- DIRECTIVE 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy.
- DONEKER R.L., JIRKA G.H., HINTON S.W., 2007: A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges into Surface Waters. Cormix User Manual, 213 pp., Office of Science and Technology, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC 20460.
- FISCHER H.B., LIST E.J., KOH R.C.Y., IMBERGER J., DROOKS N.H., 1979: Mixing in Inland and Coastal Waters, Academic Press, Inc., New York, xiv + 483 p.
- HELPDESK WATER IMMISSIE TOETS, Online, cit. 9. 2. 2009: [http://www.helpdeskwater.nl/emissiebeheer/industrieel/afvalwater/beoordelen_emissies/emissie-immissie/ciw_immissie_toets_versie_1.2.xls].
- MATTAS D, Online, cit. 14. 5. 2010: [<http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Predmety/HEMM/skripta/MONIT.DOC>].
- MIČANÍK T., KUČERA J., SÝKORA F., BELDA J., ŠAJER J., 2008: Problematika stanovení mísicí zóny v kontextu návrhu směrnice ES o normách environmentální kvality a o změně směrnice 2000/60/ES, VTEI – Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 50, 1, 1–3.
- ŘÍHA J., 2008: Bilanční model jakosti vody v síti vodních toků. Vodní hospodářství, 58, 6, 188–194.
- US-EPA, 1991: Technical support document for water quality based toxics control. WFD (Water Framework Directive), 2000, Official Publication of the European Community, L327, Brussels.

Došlo 4. augusta 2009

Prijaté 10. marca 2010

MODEL INTERPRETATION OF RESULTS OF MEASUREMENT MIXING ZONE IN THE ELBE RIVER DOWNSTREAM FROM THE WWTP HRADEC KRÁLOVÉ

Jiří Šajer

In accordance with the Directive 2008/105/EC Member States may designate regulatory mixing zones adjacent to points of discharge. Concentrations of one or more substances listed in Part A of Annex 1 of this Directive may exceed the relevant EQS within such mixing zones if they do not affect the compliance of the rest of the body of surface water with those standards. As a basis for designating regulatory mixing zone adjacent to an existing point source is the best knowing of the really hydrodynamic mixing zone very important. That's the reason, why conductivity in the River Elbe downstream waste water treatment plant (WWTP) Hradec Králové was measured. WWTP Hradec Králové is located on the left shore of the Elbe River and belong between one of the biggest Czech Republic's WWTP of a size in excess of 100 000 PE.

Using a boat, point measurements were taken at distances described in Tab. 1. The study reach downstream of the WWTP Hradec Králové was approximately 1500 m long. The longitudinal profile of the Elbe River is shown in Fig. 6. First measurements were in April 2007. Second measurements were in July 2007. Ambient flowrate and discharge flowrate in April were about the same as ambient flowrate and discharge flowrate in July. In April were discharge temperature 21.1°C and ambient temperature 19.4°C. In July were discharge temperature 11.6°C and ambient temperature 14.2°C.

The effluent was positively buoyant in the first case and negatively buoyant in the second case. The first case was more important for this study because of larger hydrodynamic mixing zone. Results of conductivity field measurements are listed in Tab. 1. They are expressed as an excess concentration above the ambient background concentration. It was most convenient to specify $C_e - C_r = 100\%$. Simple linear regression was used to specify a non-dimensional coefficient α_y needed for model interpretation at first. E_y is the factor which determines the slope of the regression line in Fig. 3. The intercept of this regression line can be expressed as $E_y * x_s$. Value $x_s > \sqrt{0}$ shows on initial jet mixing. In our case was x_s neglecting. The region after complete vertical mixing (far-field) was of interest in this study. Numerical interpretation by means of Eq. (1) for the centerline, comparison with field data and comparison with Netherlands immision test are shown in Fig. 4. Results of numerical interpretation by means of Eq. (1) adapted for excess concentration at point of interest above the ambient background concentration are in Tab. 2. Differences between numerical results and field data are in Tab. 3. Comparison of the numerical results with field measurements shows that both methods are useable for prediction of the hydrodynamic mixing zone adjacent to WWTP Hradec Králové in case when the effluent is positively buoyant. Results

show slow mixing and sensitivity to temperature differences. In the second case was effluent negatively buoyant and tend to fall towards the bottom. For numerical interpretation of this case we need to use any complexifier mixing zone model.

List of symbols

- Q_r – the ambient flowrate [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$],
- U – the ambient velocity [m s^{-1}],
- h – the river depth [m],
- B – the river width [m],
- E_y – the horizontal diffusivity expressed as $E_y = \alpha_y * h * U_s$ [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$],
- U_s – the shear velocity [m s^{-1}],
- C – the concentration at point of interest [%],
- C_r – is the actual ambient background concentration [%],
- α_y – a non-dimensional coefficient depending on the type and degree of irregularity of the channel cross-sections,
- Q_e – the discharge flowrate [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$],
- C_e – the discharge conductivity [%],
- x – the distance downstream to point of interest [m],
- $x' = x * E_y / (U * B^2)$ [–],
- y – the distance from nearest shoreline to point of interest [m],
- $y' = y/B$ [–],
- y_0 – the discharge distance from nearest shoreline [m],
- $y_0' = y_0/B$ [–],
- $C_0 = (C_e - C_r) * Q_e / (U * B * h)$ [%],
- Q_{355} – the drought flow equaled or exceeded 355 days per year [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$],
- n – the non-dimensional Manning's roughness coefficient,
- R – the hydraulic radius [m],
- g – the gravity acceleration constant [9.81 m s^{-2}],
- p – the Pavlovskij's exponent ($p = 2.5 * n^{0.5} - 0.13 - 0.75 * R^{0.5} * (n^{0.5} - 0.1)$),
- x_{ef} – the effective distance [m],
- x_s – the difference between effective and real distance [m].