

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

PROBLEMATIKA STANOVENÍ MÍŠICÍ ZÓNY V KONTEXTU NÁVRHU SMĚRNICE ES O NORMÁCH ENVIRONMENTÁLNÍ KVALITY A O ZMĚNĚ SMĚRNICE 2000/60/ES

Tomáš Mičaník, Jiří Kučera, František Sýkora, Jan Belda,
Jiří Šajer

Klíčová slova

prioritní látky, normy environmentální kvality, míšicí zóna, konduktivita, CORMIX

Souhrn

Článek se zabývá experimentálním vymezením tzv. přechodné oblasti překračování neboli míšicí zóny, tj. úseku toku od místa vypouštění odpadních vod po místo, kde jsou odpadní vody s vodou povrchovou promíseny v celém příčném profilu. Vymezení těchto úseků je důležité z hlediska implementace požadavků návrhu směrnice Evropského parlamentu a Rady „o normách environmentální kvality v oblasti vodní politiky a o změně směrnice 2000/60/ES“. Pro měření průběhu mísení v různých typech recipientů byla jako referenční parametr zvolena konduktivita. Bylo zahájeno porovnání experimentálních výsledků s výsledky modelování míšicí zóny pomocí softwarového programu CORMIX Version 5.0E (demo verze).

1 Legislativní rámec

Článek 16 směrnice 2000/60/ES stanovuje strategii omezování chemického znečištění vod. Jako první krok této strategie byl přijat seznam tzv. prioritních látek (rozhodnutím č. 2455/2001/ES) určující 33 látek prioritního zájmu. V souladu s čl. 16, odst. 7 směrnice dosáhla Rada ministrů pro životní prostředí ES v roce 2007 politické shody k návrhu směrnice „o normách environmentální kvality v oblasti vodní politiky a o změně směrnice 2000/60/ES“. Ta stanovuje normy environmentální kvality (NEK) pro všech 33 prioritních látek v povrchových vodách a pro tři z nich i NEK v biotě a říčním sedimentu. Normy environmentální kvality jsou vyjádřeny jako roční průměrné hodnoty (ochrana proti chronickým účinkům) a jako maximální nepřekročitelné hodnoty (ochrana proti akutním účinkům na vodní organismy).

Nová směrnice umožní členským státům vymezení tzv. přechodné oblasti překračování neboli míšicí zóny, tj. úseky toků, kde mohou být NEK překračovány. Pokud se členský stát rozhodne míšicí zónu vymezení, je pak jeho povinností popsat Komisi přístup a metody, jakým byly tyto zóny určeny. Přitom musí respektovat následující zásady:

- omezit oblast míšicí zóny na místo blízké bodu vypouštění,
- oblast míšicí zóny má být úměrná koncentraci vypouštěného znečištění (prioritní látky); přitom je možno vzít v úvahu podmínky stanovené ve vodoprávním povolení k vypouštění při aplikaci nejlepších dostupných technik.

2 Teorie míšicí zóny

Park definuje míšicí zónu jako oblast vodního útvaru bezprostředně navazující na místo vypouštění odpadních vod, ve které není jakost vody standardní [1]. Podle Neelyho je to oblast, kde se projevuje ve všech směrech rozptýl složek vypouštěné odpadní vody a kde je snaha dosáhnout stálých koncentrací v recipientu [2].

V souvislosti se stanovením míšicí zóny se nejčastěji věnuje pozornost znečištění tepelnému a chemickému. Někdy jsou rozlišovány dva druhy míšicích zón: akutní a chronická. Nejblíže k místu vypouštění přiléhá akutní míšicí zóna – je to oblast počáteční fáze ředění, kde dochází

k vyrovnání koncentrací z hlediska akutních účinků na vodní organismy. Následuje chronická míšicí zóna, což je úsek toku, kde se vyrovnávají koncentrace typické pro chronické účinky.

Koncentrace polutantů klesá s rostoucí vzdáleností od místa vypouštění (obr. 1). Míšicí zóna je ve srovnání s okolním vodním prostředím charakterizována vysokou koncentrací vypouštěných polutantů a je definována takto:

$$C_{ov} \geq C_{mix} \geq C_{pro} \quad (1)$$

kde je:

- C_{ov} – koncentrace polutantů v odpadní vodě,
- C_{mix} – koncentrace polutantů v míšicí zóně,
- C_{pro} – koncentrace polutantů v prostředí neovlivněném vypouštěním.

Průběh mísení, délka míšicí zóny a koncentrace polutantů v bodě úplného smísení na konci míšicí zóny závisí na mnoha faktorech. Náleží k nim:

- charakteristika vypouštění – objem a rychlost vypouštění, šířka výpustného objektu a úhel, který svírá s recipientem, hustota a teplota odpadní vody;
- charakteristika recipientu – jeho šířka a hloubka, rychlost a typ proudění, hustota a teplota povrchové vody, morfologie.

Z fyzikálního hlediska lze délku míšicí zóny vypočítat podle následujícího vztahu [3]:

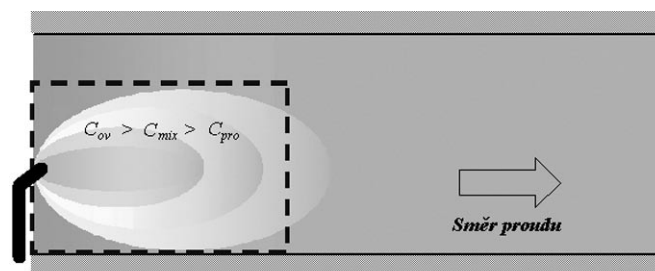
$$D_{my} = m \frac{B^2 \cdot V}{\alpha_y \cdot h \cdot u} \quad (2)$$

kde je:

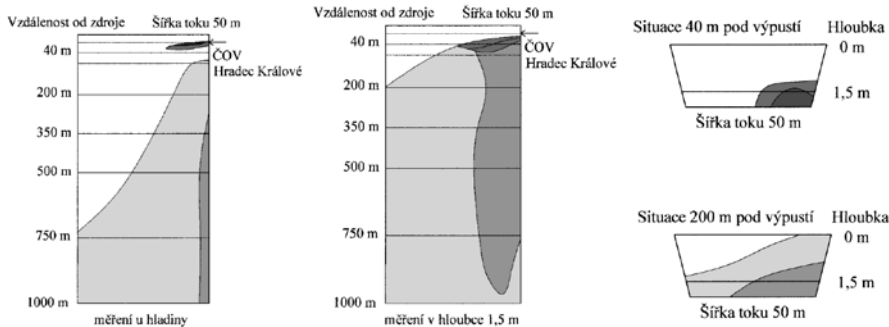
- B – šířka toku,
- V – průměrná rychlost proudění toku,
- m – parametr, který závisí na umístění výpustného potrubí v recipientu; pokud je výpust u břehové linie, je hodnota $m = 0,4$; pokud je výpust umístěna uprostřed toku, je hodnota $m = 0,1$,
- α_y – koeficient nabývající hodnot 0,3 až 1,0; záleží na typu a nepravidelnosti koryta,
- h – hloubka recipientu v místě vypouštění,
- u – třecí rychlost; zpravidla činí 5 až 10 % průměrné rychlosti proudění toku.

3 Experimentální část

Pro modelování míšicí zóny byly v roce 2007 vybrány čtyři modelové oblasti na tocích Labe, Bíliny, Bečvy a Ostravice, kde byly za rozličných hydrologických podmínek experimentálně určovány míšicí zóny pod významnými zdroji znečištění. K měření průběhu mísení byla zvolena konduktivita (měrná vodivost), která je snadno stanovitelná přenosným přístrojem přímo v terénu. Měření bylo realizováno v příčných profilech toku v určitých vzdálenostech od místa vypouštění. V některých přípa-



Obr. 1. Schéma míšicí zóny



Obr. 2. Průběh mísení pod ČOV Hradec Králové v červenci 2007

dech bylo možno rozhraní mísení pozorovat i vizuálně změnou barvy nebo unášenou pěnou na hladině toku (např. pod ČOV Pardubice). Pracovníci se na místo měření buď brodili, nebo použili nafukovací člun, aktuální poloha byla zjišťována pomocí GPS. V jednom případě (Bečva) bylo experimentální ověření mísicí zóny stanoveno pomocí konzervativních prioritních látek (polyaromatických uhlovodíků).

3.1 Labe

Řeka Labe reprezentuje větší tok, kde může být mísení ovlivněno i třetím rozměrem, tj. hloubkou. Pro ověření byly zvoleny dva úseky řeky, a to pod výústí z ČOV města Hradec Králové a pod výústí ČOV města Pardubice.

Pod ČOV Hradec Králové proběhla dvě měření v dubnu a v červenci 2007, obě za nízkých průtoků v recipientu. Při prvním měření v dubnu konduktivita vypouštěné odpadní vody činila $1\,000\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, řeka Labe v celém příčném profilu nad místem vypouštění vykazovala vodivost $260\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Vlečka vypouštěné odpadní vody se držela při levém břehu, po 100 metrech od místa vypouštění dosahovala do cca 1/3 šířky toku. V počáteční fázi bylo mísení povrchové a odpadní vody na úseku cca 50 m velmi intenzivní, za rychlého poklesu rozdílu konduktivity v příčném profilu toku. Poté následovala klidnější fáze mísení cca do 500 m od místa vypouštění. V poslední fázi mísení se konduktivita vyrovnávala jen pozvolna (pokud se výrazně neměnily podmínky proudění způsobené objektem v toku nebo jeho morfologií). Ve vzdálenosti 1 500 m pod výústí se na toku Labe nachází jez, kde všechna voda protéká přes turbínu vodní elektrárny. Tím došlo k dokonalému promísení, pod jezem byla zjištěna konduktivita konstantní v celém příčném profilu toku. Mísicí zóny nad jezem 1 500 m pod výústí nebylo dosaženo. Při tomto měření nebyl v celém měřeném úseku toku Labe zjištěn rozdíl konduktivity v různých hloubkách.

Poněkud jiná situace nastala při měření téhož úseku toku v červenci 2007. Konduktivita odpadní vody z ČOV Hradec Králové byla obdobná – $1\,095\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Konduktivita povrchové vody nad místem vypouštění v neovlivněné části řeky činila $342\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Teplota odpadní vody však byla o $1,7\ ^\circ\text{C}$ nižší než v recipientu. Proud odpadní vody tím klesal ke dnu a směřoval

k protějšímu levému břehu. I ve vzdálenosti 40 m pod výústí byla konduktivita v celém příčném profilu Labe při hladině shodná jako v neovlivněném úseku nad výústí. 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 výústí ovlivněna i voda u pravého břehu. Průběh mísení je znázorněn na obr. 2.

3.2 Ostravice

Řeka Ostravice představuje morfologicky zcela odlišný tok. Má převážně bystřínný charakter proudění, malou hloubkou, kamenité dno. Pro měření byl vybrán úsek dolního toku řeky Ostravice pod ČOV města Frýdek-Místek a podnikem Válcovny plechu, a. s., Lískovec. Měření bylo prováděno za dvou různých průtoků. Výsledky obou měření jsou shrnuty v tabulce 1. Průběh mísení je zobrazen na obr. 3.

3.3 Bečva

Protože se problematika stanovení mísicí zóny řeší z důvodu budoucí implementace směrnice „o normách environmentální kvality“ týkajících se prioritních látek pro vodní prostředí, bylo experimentálně ověřeno mísení nejen pomocí konduktivity, ale i na polyaromatických uhlovodících (PAU) jakožto skupině konzervativních nebezpečných látek. Z toho důvodu byla mísicí zóna proměřena v úseku řeky Bečvy (59,6–57,5 říční km) pod výústí odpadních vod z podniku Deza, a. s., Valašské Meziříčí. Měření bylo prováděno v době minimálních průtoků ($3,62\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$). Odpadní voda o konduktivitě $1\,497\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a koncentraci PAU (suma 15 PAU) $2\,445\ \text{ng}\cdot\text{l}^{-1}$ byla vypouštěna v množství cca $37\ \text{l}\cdot\text{s}^{-1}$. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 2.

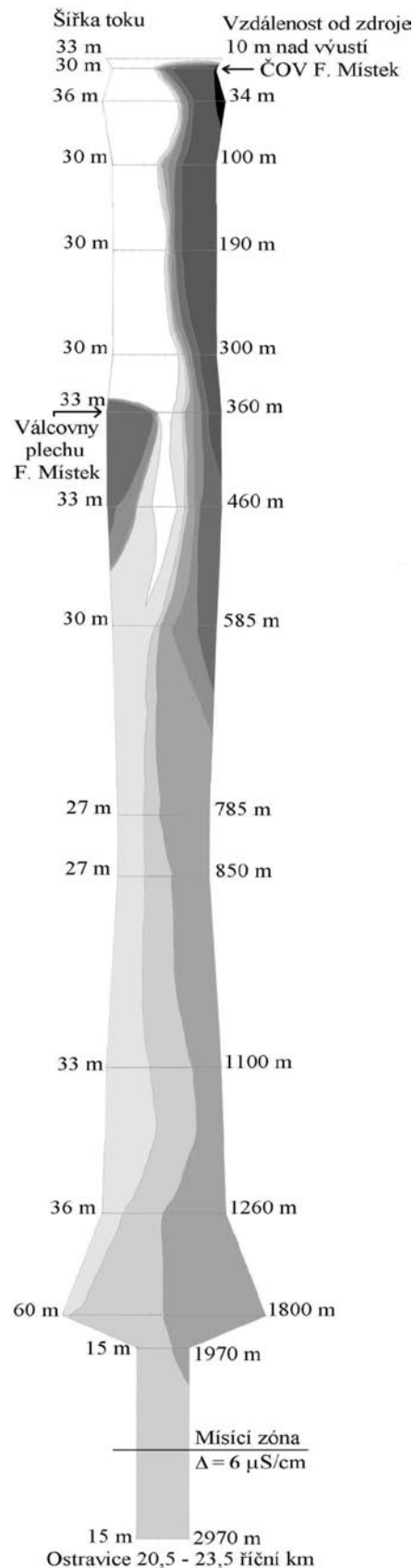
Konduktivita byla měřena přímo v terénu, v případě PAU byly odebírány dvojice vzorků povrchové vody z proudnice při levém a pravém břehu v několika profilech pod místem vypouštění. Výsledky stanovení mísicí zóny podle PAU nejsou tak jednoznačné jako v případě konduktivity. Je potřeba zohlednit především rozdílné fyzikální chování obou parametrů (sorpce), obsah nerozpuštěných látek a přesnost analytického stanovení ($\pm 30\%$).

Tabulka 1. Vybrané výsledky pro měření mísicí zóny pod ČOV

	Konduktivita [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	
	Měření při $Q = 3,82\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	Měření při $Q = 9,22\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
Odpadní voda z ČOV Frýdek-Místek	836	410
Odpadní voda z Válcoven plechu, a. s.	457	444
	Δ konduktivity [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	
Ostravice 10 m nad ČOV F.-M.	31	13
Ostravice 40 m pod ČOV F.-M.	469	188
Ostravice 100 m pod ČOV F.-M.	457	199
Ostravice 360 m pod ČOV F.-M.	430	186
Ostravice 780 m pod ČOV F.-M.	78	154
Ostravice 1260 m pod ČOV F.-M.	40	26
Ostravice 1800 m pod ČOV F.-M.	39	19
Vzdálenost mísicí zóny od místa vypouštění [m]	2 970	2 330
Δ konduktivity [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$] v mísicí zóně	6	1

4 Testování programu CORMIX

Pro modelování mísicí zóny na úseku Labe pod ČOV Hradec Králové byla vybrána demo verze programu CORMIX Version 5.0E (omezená doba platnosti programu na 14 dní nebo 10 výpočtů). Jedním z výstupů byla předpověď vzdálenosti mezi výústí z bodového zdroje znečištění



Obr. 3. Průběh mísení vody s vodou povrchovou na příkladu Ostravice (při $Q = 3,82\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)

Tabulka 2. Stanovení mísicí zóny podle konduktivity a podle PAU

	Δ konduktivity [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-2}$]	Δ PAU [ng.l ⁻¹]
Bečva 275 m pod Dezou V. M.	27	125
Bečva 480 m pod Dezou V. M.	21	263
Bečva 940 m pod Dezou V. M.	6	185
Bečva 1 200 m pod Dezou V. M.	2	133
Bečva v oblasti mísicí zóny	1	32
Vzdálenost mísicí zóny od místa vypouštění	podle konduktivity	podle PAU
	1 260 m	2 460 m

a příčným profilem recipientu pod výústí, kde jsou již vypouštěné odpadní vody s vodou povrchovou úplně promíchány. Byla použita vstupní data z dubnového měření (viz předcházející text). Z předběžných výsledků (vlivem použití demo verze) vyplývá, že v modelu dochází k prudšímu poklesu měřené veličiny (konduktivity, koncentrace) v počáteční fázi mísení do cca 500 m pod výpustí ve srovnání s experimentálním zjištěním. Mísicí zóny je však modelem dosaženo ve větší vzdálenosti oproti terénnímu měření. Celkovou délku mísicí zóny výrazně ovlivňuje šířka toku.

5 Výsledný souhrn získaných poznatků

Na délku mísicí zóny má vliv: míra a objem vypouštěných odpadních vod, úhel vypouštění (vůči recipientu), šířka a hloubka toku, morfologie toku, charakter proudění vody v recipientu, příčné stavby na toku.

U velkých toků s větší hloubkou je třeba zohledňovat hloubku vody jako třetí rozměr a také rozdíl hustot odpadní a povrchové vody.

V případě toků typu Labe i Ostravice doznívají největší rozdíly v konduktivitě stovky metrů pod výpustí, ale menší ovlivnění přetrvává delší dobu a k úplnému promísení dochází až v kilometrových vzdálenostech (cca do 2 500 m).

Odhad průběhu mísení podle pěnové vlečky je třeba považovat pouze za orientační, měřením bylo prokázáno, že rozsah pěnové vlečky a hranice skutečného mísení odpadní vody se může lišit v řádu metrů podle rychlosti a směru větru.

V případě výpustí umístěných v malých vzdálenostech od sebe (několik stovek metrů) dochází k vzájemnému ovlivňování mísicích zón. K ovlivnění mísicí zóny dochází i vlivem významných přítoků nebo soutoků řek v předpokládaných oblastech mísicích zón.

U menších řek s malou šířkou toku (např. Bílina) je mísicí zóny dosahováno v řádu stovek metrů pod místem významného vypouštění.

Pro vypouštění malého objemu (v litrech za sekundu) je stanovení mísicí zóny irelevantní (je vždy potřeba zohlednit místní podmínky).

VSakování ODPADNÍCH VOD – ANO, ČI NE?

Pavel Eckhardt, Jiří Kučera

Klíčová slova

odpadní vody, vzorkování, znečištění, podzemní vody, povrchové vody, monitoring jakosti vody, nutrienty, dusičnany, těkavé organické látky, vsakování

Souhrn

Článek shrnuje výsledky výzkumu problematiky vsakování předčištěných odpadních vod do horninového prostředí a hodnocení vybrané lokality, kde probíhalo toto vsakování v relativně větším měřítku.

Zákon o vodách řeší mj. ochranu povrchových a podzemních vod před znečišťováním vypouštěnými odpadními vodami. Pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových jsou stanoveny emisní i imisní standardy. Vypouštění odpadních vod do vod podzemních upravuje § 38 odst. 4 vodního zákona (po novele zákonem č. 20/2004 Sb.) takto: „Přímé vypouštění odpadních vod do podzemních vod nelze povolit. Vypouštění odpadních vod neobsahujících nebezpečné závadné látky nebo zvlášť nebezpečné závadné látky do půdních vrstev, z nichž by mohly do vod podzemních vniknout, lze povolit jen výjimečně z jednotlivých rodinných domů a staveb k individuální rekreaci na základě posouzení jejich vlivu na jakost podzemních vod.“

Nepřímé vypouštění odpadních vod do vod podzemních (vsakování) může mít opodstatnění u rozptýlené zástavby, kde není ekonomické budovat a provozovat kanalizační systém s centrální čistírnou odpadních vod a kde není v dosahu nemovitostí vhodný recipient nebo není vhodné odpadní vody přímo vypouštět (např. oligotrofní vody s výskytem citlivých vodních organismů). Vybudování domovní čistírny se vsakováním vyčištěných odpadních vod představuje v takové situaci, kromě pravidelného

6 Závěr

Práce realizovaná v rámci výzkumného záměru MZP0002071101 Výzkum a ochrana hydrosféry je podkladem pro stanovení mísicí zóny na tocích v podmínkách České republiky. V roce 2008 by měla být zodpovězena otázka, zda je potřeba v ČR mísicí zóny pod zdroji vypouštění prioritních látek vymezit, či nikoli. Poté bude nutné rozhodnout metodiku jejich stanovení.

Literatura

- [1] Park, SS. Mathematical modeling of mixing zone characteristics in natural streams (Ph.D. dissertation). New Brunswick, NJ : Rutgers University, 1985, 180 p.
- [2] Neely, WB. The definition and use of mixing zones. *Environ. Sci. Technol.*, 16, 1982, 518A–521A p.
- [3] Bonnet, V. Implementation of requirements on Priority substances within the Context of the Water Framework Directive. Transitional area of exceedance guidance document. International Office for Water&INERIS, France, 2004.

Ing. Tomáš Mičaník aj.

VÚV T.G.M. Praha, pobočka Ostrava

tel.: 596 134 181

e-mail: tomas_micanik@vuv.cz

Lektoroval RNDr. Viktor Kliment, únor 2008

Key words

priority substances, environmental quality standards, mixing zone, conductivity, CORMIX

Mixing zone delimitation in context of the Proposal for a Directive on environmental quality standards in the field of water policy and amending Directive 2000/60/EC (Mičaník, T., et al.)

Delimitation of the transitional areas of exceedance is described in this issue. Transitional area of exceedance is the water bodies stretch from effluent outfall to the mixing zone. Mixing zone determination is important regarding to „Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on environmental quality standards in the field of water policy and amending Directive 2000/60/EC“ implementation. Conductivity for mixing zone measurements was taken on the different types of the rivers. Experimental results with first modeling dates obtained by CORMIX Version 5.0E was compared.

vyvážení jímky fekálními vozy, investičně i provozně přijatelné řešení, jehož vhodnost závisí na posouzení negativních vlivů na podzemní vody. V některých případech (např. menší horské chaty bez recipientu v dosahu) se omezení vsakování odpadních vod pouze na rodinné domy a stavby pro individuální rekreaci může jevit jako příliš přísné. Vypouštění odpadních vod přímo do menších recipientů může mít podstatně výraznější negativní dopad na životní prostředí, zejména na vody povrchové.

Výběr lokality vhodné k hodnocení vsakování odpadních vod

V rámci výzkumu byla provedena rešerše dostupných odborných materiálů. Ze zpracování mj. vyplynulo, že nejvíce konkrétních podkladů o povoleném vsakování odpadních vod by mělo být shromážděno na příslušných vodoprávních úřadech – úřadech obcí s rozšířenou působností. Těmto úřadům byla elektronickou formou zaslána žádost o informace k povolenému vsakování odpadních vod. Bylo získáno několik desítek odpovědí příslušných vodoprávních úřadů. Podle poznatků z tohoto průzkumu jsou lokality s povoleným vypouštěním odpadních vod v ČR rozmístěny výrazně nerovnoměrně. Rozdílly nespočítávají primárně v odlišných hydrogeologických podmínkách, ale v nejednotných výkladech a názorech odpovědných úředníků. V působnosti některých úřadů obcí s rozšířenou působností je několik lokalit tohoto typu (např. Hořovice, Strakonice, Domažlice, Bystřice pod Hostýnem, Soběslav, Tišnov, Roudnice nad Labem, Kostelec nad Orlicí, Litomyšl či Dobříš), nejběžnější byla tato situace v působnosti MÚ Tanvald (cca 110 lokalit), MÚ Litomyšl a MÚ Frýdek-Místek (řádově desítky lokalit). Další úřady uváděly jednu lokalitu (Jeseník, Hodonín, Moravská Třebová), jiné úřady obcí s rozšířenou působností v době dotazu dosud žádné vsakování nepovolily (např. Blatná, Horažďovice, Třebíč, Luhačovice, Velké Meziříčí, Horšovský Týn, Holešov). Povolení se většinou týká odpadních vod z jednotlivých rodinných domů, ojediněle bylo povoleno i vsakování vyčištěných odpadních vod z celé obce či její části (např. odpadní vody z obce v Českém středohoří či část obce u Litomyšle). Přes skutečnost, že větší část vodoprávních úřadů neodpověděla, byly touto cestou podchyceny řádově stovky lokalit. Kontaktovány byly v jednotlivých případech i další instituce jako správy CHKO či jednotlivé obce.

Ze shromážděných lokalit se vsakováním byla v vytipované části lokalit provedena terénní rekognoskace. Z navštívených míst byla pro dlouhodobější sledování vybrána lokalita Měděnec v Krušných horách. Důvodem bylo zejména stabilní a dlouhodobé vsakování odpadních vod, nadprůměrný průtok odpadních vod, regionální ochrana vod (CHOPAV), dopravní dostupnost lokality a v neposlední řadě možnost sledování procesů bez významného rušivého zásahu do stávajících pozemků, a tím i bez zvýšené finanční náročnosti prací.

Dlouhodobé sledování lokality Měděnec

Obec Měděnec leží v západním cípu Ústeckého kraje, v okrese Chomutov. Má okolo 150 obyvatel. **Odpadní vody** z části obce jsou svedeny do obecní kanalizace. Kanalizace je zaústěna na ČOV jihovýchodně od obce. ČOV se skládá z třikomorového septiku s odtokem do podmoků. Její průměrná kapacita je 6,5 m³ za den. Počet EO připojených na kanalizaci je cca 80. Ostatní objekty v obci mají likvidaci odpadních vod zajištěnou pomocí septiků a žump. Vsakování předčištěných odpadních vod probíhá v údolí jihozápadně od obce v nadmořské výšce cca 825 až 800 m n.m.

Zájmové území se vsakováním odpadní vody patří **hydrologicky** k povodí Ohře, je odvodňováno k jihu bezejmenným levostranným přítokem Malodolského potoka. Údolí uvedeného bezejmenného toku, situované přibližně ve směru sever-jih, je značně strmé – při délce cca 1 km překonává převýšení přesahující 200 m. Území leží v CHOPAV Krušné hory.

Území **geologicky** náleží k Českému masivu, ke krystaliniku krušnohorské oblasti. Zájmová lokalita se vsakováním je budována metamorfovanými horninami, převážně muskovit-biotitickou až dvojslídnou pararulou. V údolí pod místem vsakování se v pararulách vyskytují polohy ortorul. Masiv metamorfních hornin prorážejí žilné magmatity jako granitový porfyr, granodioritový porfyr a lamprofyry. Povrch je kryt nepevnými kvarténními sedimenty, mezi nimiž převažují svahoviny a sutě, v údolí potoka se vyskytují deluviofluviální písčitohlinité sedimenty. Zastoupeny jsou i antropogenní navážky. Půdní vrstvu zde tvoří kryptopodzoly – mělké, silně kyselé půdy s dobrou porozitou, ale nízkými sorpčními schopnostmi.

Zájmové území leží z **hydrogeologického** hlediska v hydrogeologickém rajonu č. 61.20 – Krystalinikum v mezipovodí Ohře po Kadaň. Dominantní úlohu má v tomto rajonu mělká zvodně v kvarténních sedimentech a zóně přepovrchového rozpojení puklin skalních hornin. Hladina mělké zvodně bývá

většinou volná, pouze v místech překrytí méně propustnými sedimenty bývá hladina tohoto kolektoru napjatá. Hloubka hladiny podzemní vody pod terénním závisí na morfologii a lokální propustnosti. Mělká zvodně bývá přímo závislá na srážkové činnosti a je často nedostatečně chráněna před průnikem povrchového znečištění. Hlubší zvodnění může být vázáno na rozpuštěná a nezatěsněná pásma v podložních horninách krystalinika, často tektonicky predisponovaná. Koeficient transmisivity místního puklinového kolektoru přípořchové zóny rozpukání a rozpojení pararul a ortorul se pohybuje v rozmezí $T = 1.10^{-5}$ až 8.10^{-5} m².s⁻¹. Dlouhodobý specifický odtok podzemní vody z oblasti dosahuje zvýšených hodnot. Z hlediska zaměření prací má na lokalitě naprosto dominantní vliv mělká zvodně – k bezejmennému přítoku Malodolského potoka. Podzemní voda není v zájmovém území vsakování a nejméně 1 km pod ním využívána.

Stručná metodika prací

Dvouleté sledování lokality bylo zaměřeno zejména na hlavní kontaminanty komunálních vod. Stanovován byl mj. obsah nerozpuštěných látek, chemická spotřeba kyslíku, sloučeniny dusíku a fosforu, obsahy bakterií. Koncentrace těchto komponent procházejí v rámci průchodu horninovým prostředím značnými změnami. Chloridy byly pro sledování zvoleny jako typický konzervativní kontaminant, jelikož se neadsorbují ani nedochází k jejich vysrážení, a tak se šíří na značné vzdálenosti. Analýzy bakteriologické kontaminace vod se zaměřily na enterokoky, bakterie *Escherichia coli* a koliformní bakterie. Značná část stanovení byla prováděna přímo v terénu (měření teploty, pH, vodivosti, koncentrace rozpuštěného kyslíku, oxidačně-redukčního potenciálu vod a průtoku). V rámci odběrů vzorků a terénních měření bylo postupováno podle příslušných ustanovení norem ČSN ISO řady 5667. Místa odběrů byla v terénu polohopisně zaměřována pomocí systému GPS. Vzorky odpadních vod byly odebírány jako směsné dvouhodinové, vzorky vod povrchových a podzemních byly odebírány jako prosté. Vzorky byly analyzovány v laboratořích VÚV T.G.M., v.v.i., v Praze. Výsledky rozborů povrchových vod byly hodnoceny zejména ve vztahu k imisním standardům ukazatelů přírodního znečištění povrchových vod (dále jen limity) uváděným nařízením vlády č. 61/2003 Sb., respektive novelizovaným nařízením vlády č. 229/2007 Sb.

Terénní rekognoskace a umístění odběrů vzorků

Na zájmové lokalitě vyvěrá předčištěná odpadní voda na terén (pastvina) a postupně se vsakuje do horninového prostředí. Pod prostorem úplného vsáknutí odpadní vody existuje zhruba padesátimetrový úsek bez povrchové vodoteče. Ta vyvěrá níže, stéká dolů údolím a po průchodu zbytky drobného rybníka mizí opět v horninovém prostředí, které má tentokrát charakter sutí. Asi po sto metrech voda opět vyvěrá na povrch. Takto utvořená povrchová vodoteč se následně stéká s vodotečí s výrazně vyšším průtokem, která ústí z důlní štolky ze svahu údolí. Místa odběrů vzorků zjednodušeně zobrazuje schéma na obr. 1.

V rámci terénní rekognoskace byla vytipována místa odběrů vzorků tak, aby odběry reprezentovaly jak přirozené pozadí a vsakovanou odpadní vodu, tak i postupy procesů přirozené atenuace v rámci lokality. Vzhledem k ekonomickým možnostem bylo zvoleno sledování ve stávajících objektech (studna, pramenná vývěry, šachtice kanalizačního systému, povrchové toky). V rámci sledování odpadních vod byla odebírána odpadní voda před přítokem do třikomorového septiku ze šachtice kanalizačního systému a dále výtok odpadních vod na terén po průchodu ČOV. Byly také odebírány vzorky povrchových vod až do vzdálenosti cca 500 m od vyústění odpadních vod na terén.

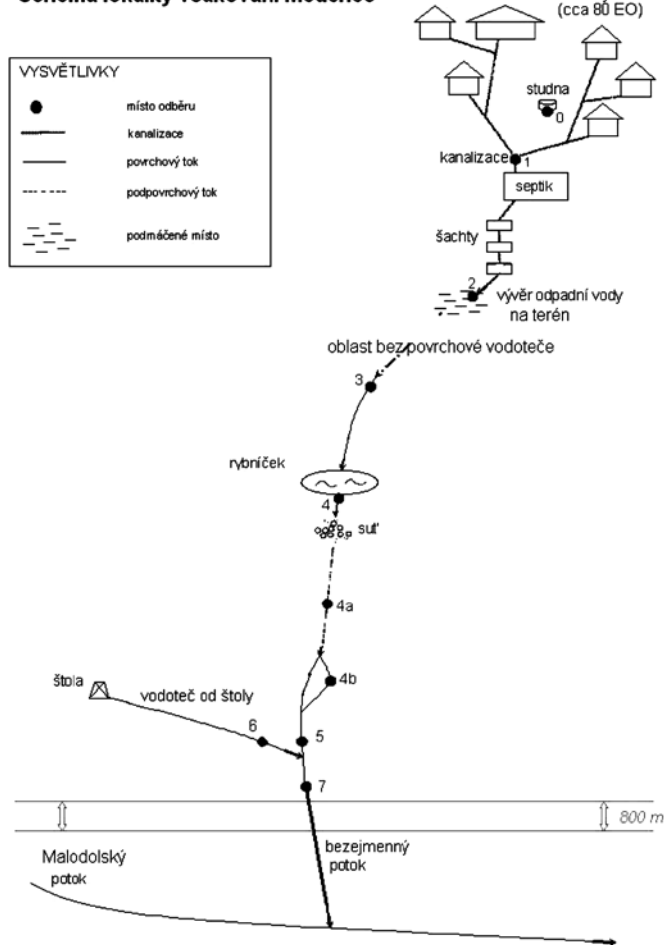
Výsledky terénních a laboratorních prací

Přítok nečištěných odpadních vod do septiku činí okolo 0,1 l.s⁻¹. Pozadové hodnoty pH podzemních vod leží přibližně v neutrální oblasti, zatímco pH vod odpadních je mírně zásadité. Konduktivita vod byla nejvyšší u nečištěné odpadní vody, při průchodu lokalitou postupně klesala – nejvyšší pokles (cca dvojnásobný) byl zaznamenán u odpadních vod z ČOV, další po průchodu horninovým prostředím po vsakování. Redox potenciál a obsah rozpuštěného kyslíku byl nejnižší u odpadních vod, při postupu vod lokalitou narůstal.

Pozadové hodnoty nerozpuštěných látek v podzemní vodě byly velmi nízké, nejvyšší obsah nerozpuštěných látek má nečištěná odpadní voda. Obsah nerozpuštěných látek v povrchové vodě horní části lokality nevyhovoval standardu příslušného nařízení vlády a postupně se při průchodu lokalitou snižoval. Parametr CHSK_c byl také nejvyšší v nečištěné odpadní vodě, v horní části lokality nevyhovoval příslušnému standardu nařízení vlády, před soutokem s vodou ze štolky však již povrchová voda uvedený standard splňovala.

Stanovené pozadové hodnoty dusíkatých látek v podzemní vodě dokládají oxidační režim v mělké zvodni, prakticky veškerý dusík je vázán jako dusičnanový. Hodnoty amonných iontů byly nejvyšší v nečištěné odpadní vodě, po průchodu horninovým prostředím se řádově snižují postupně až na hodnoty pod mezí detekce analytického stanovení. Hodnoty dusitanů

Schéma lokality vsakování Měděnec



Obr. 1. Schéma lokality vsakování

byly nejvyšší u vývěru vyčištěné odpadní vody na povrch, kde dokládají intenzivní nitrifikaci, dále rychle klesají až na hodnoty pod mezí detekce analytického stanovení. Naopak koncentrace dusičnanů při vsakování stoupají, nejvyšší jsou u povrchovém toku pod vsakováním, pak vlivem ředění a dalších procesů jejich obsah mírně klesá.

Koncentrace celkového fosforu byly nejvyšší v nečištěných odpadních vodách, po průchodu septikem výrazně klesají, po průchodu horninovým prostředím mírně poklesly, dále ve směru proudění vod je pokles jejich obsahu jen postupný, k poklesu pod limitní hodnotu NV docházelo většinou až po soutoku s vodotečí ze štol. Obsahy fosforečnanů klesaly obdobně, průběh jejich poklesu byl rovnoměrnější, jejich obsahy nejsou vázány na zakalení vzorků nerozpuštěnými látkami.

Koncentrace chloridů byly nejvyšší v nečištěné odpadní vodě, ležely však většinou pod limitní hodnotou pro povrchové vody. Hodnota koncentrace chloridů ve směru proudění vody postupně klesá, může být dobrým indikátorem ředění původně odpadních vod pozadovou vodou podzemní. Pokles koncentrace chloridů byl řádově pětinašobný mezi sledovanou nečištěnou odpadní vodou z šachtice před septikem a vývěrem odpadních vod na povrch a cca dvojnásobný v rámci průchodu horninovým prostředím. Dále klesal obsah chloridů jen mírně, výraznější pokles koncentrace byl zaznamenáván až po soutoku s vodotečí ze štol. Obsah chloridových iontů tak dokumentoval míru naředění odpadních vod, tzn. velmi významnou mezi sledovanou kanalizační šachticí a prostorem vsakování, významnou při průchodu horninovým prostředím, a naopak sníženou v rámci dalšího povrchového i podpovrchového toku vody do soutoku s vodotečí ze štol. Ředění odpadních vod pozadovou vodou podzemní je však jen jedna z několika účinných složek procesů přirozené atenuace znečištění v rámci vsakování.

Hodnoty bakteriální kontaminace v pozadové podzemní vodě byly velmi nízké. Naopak velmi vysoká byla jejich koncentrace v nečištěné odpadní vodě (řádově desetitisíce ktj.ml⁻¹ u intestinálních enterokoků, *Escherichia coli* i termotolerantních koliformních bakterií). Průchodem přes septik a dolní částí kanalizačního systému dochází k řádovému poklesu bakteriální kontaminace (na tisíce ktj.ml⁻¹), průchodem horninovým prostředím došlo k jejímu dalšímu významnému odbourání, a to u enterokoků o více než dva řády, u koliformních bakterií dokonce o tři řády, na úroveň splňující imisní standardy nařízení vlády pro povrchové toky. Je patrné, že odbourávání bakteriální kontaminace vsakováním odpadních vod je za těchto podmínek vysoce účinné.

Ve vodách lokality byla ověřována i přítomnost vybraných specifických organických látek, a to jednoduchých aromátů (benzen, toluen, ethylbenzen, xyleny), chlorovaných alifatických uhlovodíků (jednotlivé chlorované etheny, ethany a metany) a chlorbenzenů (mono-, di- a tri-chlorbenzeny). Důvodem byla široká oblast používání těchto látek a nejednotnost autorů odborných prací, zda se tyto látky mohou v běžných komunálních odpadních vodách vyskytovat ve významném množství. Veškeré analyzované obsahy jednoduchých aromátů, chlorovaných benzenů i jednotlivých chlorovaných alifatických uhlovodíků ve vodách byly velmi nízké, v naprosté většině ležely pod mezí detekce analytického stanovení, maximální zjištěné obsahy dosahovaly pouze desítek ng.l⁻¹.

Patrná byla značná účinnost procesů čištění vypouštěných odpadních vod při vsakování. Při srovnání jarních a letních analýz byla zřejmá vyšší účinnost procesů při letních odběrech – část živin je odebírána rostlinami, na odbourávání dusíkatých sloučenin z vod se za vyšších teplot zřejmě podílela i denitrifikace.

Interpretace stavu lokality

Na vybrané lokalitě dochází ke vsakování odpadních vod v relativně velkém měřítku, průtoky odpadní vody dosahují cca 0,1 l.s⁻¹. Vsakovaná odpadní voda má vysokou CHSK, vysoký obsah nerozpuštěných látek, vysoký obsah amonniých iontů i celkového fosforu a vysoký obsah koliformních bakterií a enterokoků. Průchodem horninovým prostředím, kdy úplné vsáknutí vody z povrchu odpovídá cca 50 m, dochází k rapidnímu snížení obsahů sledovaných hlavních kontaminantů vlivem přirozené atenuace, často až o několik řádů. Sledovaná samočisticí schopnost povrchového toku je řádově nižší, projevuje se většinou jen pozvolným poklesem sledovaných veličin. Ve vodách lokality nebyly zaznamenány významnější koncentrace vybraných specifických organických látek.

Závěr

Sledováním lokality vsakování předčištěných odpadních vod z malé obce byla potvrzena velmi významná redukce znečištění hlavních kontaminantů odpadních vod vlivem procesů doprovázejících vsakování odpadních vod do horninového prostředí. Výsledky dvouletého výzkumu dokládají, že vsakování může být za vhodných podmínek ke kvalitě povrchových vod šetrnější než obvyklé přímé vypouštění odpadních vod do vod povrchových.

Výsledky z uvedené konkrétní lokality naznačují, že platná právní úprava striktně omezující vsakování odpadních vod může být v určitých



Obr. 2. Reálná situace lokality vsakování

případech zbytečně přísná a neodůvodnitelná potřebou chránit jakost podzemních vod. Řešitelský tým zahájil obdobně sledování i na dalších lokalitách s cílem ověřit skutečné dopady vsakování odpadních vod na jakost podzemních vod za různých podmínek a popřípadě navrhnout úpravu příslušné části vodního zákona.

Poděkování

Uvedené výsledky vznikly v rámci řešení výzkumného záměru MZP0002071101, který byl financován Ministerstvem životního prostředí.

Literatura

Simon O. aj. Výzkum a ochrana hydrosféry – výzkum vztahů a procesů ve vodní složce životního prostředí, orientovaný na vliv antropogenních tlaků, její trvalé užívání a ochranu, včetně legislativních nástrojů. Výstupy řešení výzkumného záměru v roce 2007. Tematický oddíl D: Vztahy krajina–voda. Praha : VÚV T.G.M., v.v.i., 2007.

Mgr. Pavel Eckhardt, Ing. Jiří Kučera
VÚV T.G.M., v.v.i., Praha
pavel_eckhardt@vuv.cz, jiri_kucera@vuv.cz
Lektoroval Ing. Tomáš Just, únor 2008

Key words

sampling, groundwater, pollution, water quality monitoring, nitrates, infiltration

Wastewater infiltration – yes or no? (Eckhardt, P., Kučera, J.)

The article sums up the results of research relating pretreated wastewater infiltration into rock environment and evaluates one chosen locality where this infiltration was realized in a relatively larger measure.

INFORMACE O MODELU MONERIS A MOŽNOSTECH JEHO VYUŽITÍ

Stanislav Juráň

Klíčová slova

modelování emisí nutrientů, kvalita vody, plošné a difuzní zdroje znečištění, komponenty znečištění, plány oblastí povodí, Mezinárodní komise pro ochranu Dunaje

Souhrn

Model MONERIS (MOdelling Nutrient Emissions in River Systems) se zabývá kalkulací emisí nutrientů v říčních systémech. Model využívá především hydrologická data, data vztahující se ke kvalitě vod a půd a geografický informační systém (GIS). Výpočty modelu jsou zaměřeny na sedm komponentů znečištění, pro které je následně možné aplikovat nápravná opatření redukcující znečištění. Výsledky modelování se dají rovněž využít k následné kontrole a hodnocení nápravných opatření v plánech oblastí povodí. Model byl přijat smluvními stranami Dunajské úmluvy (Úmluva o spolupráci pro ochranu a únosné využívání Dunaje) a je rozvíjen pod gescí expertní skupiny Pressures & Measures, pracující pod Mezinárodní komisí pro ochranu Dunaje.

Úvod

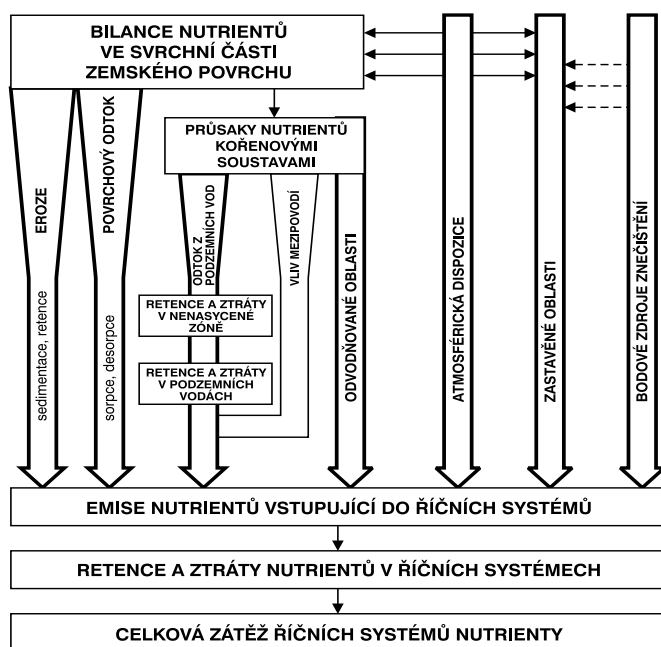
Důležitým faktorem ovlivňujícím kvalitu podzemních a povrchových vod jsou plošné zdroje znečištění. Zatímco bodové zdroje znečištění jsou poměrně snadno identifikovatelné a nápravná opatření u těchto významných zdrojů již byla většinou uskutečněna, redukce plošného znečištění je spíše v pozadí a není tak průkazná. Problémy plošného znečištění jsou vnímány většinou pouze odborníky, kteří však v řadě případů nedokážou veřejnost jasně přesvědčit o nutnosti připravovaných opatření, zvláště vyžadují-li značná omezení a změnu v přístupu chování u řady subjektů, které se na kvalitě vody rozhodující měrou podílejí.

V současnosti jsou v souladu s požadavky Rámcové směrnice pro všechny oblasti povodí v České republice definovány vodohospodářské problémy, které by měly být postupně řešeny tak, aby bylo dosaženo v budoucnu dobrého stavu vod. Nápravná opatření k eliminaci problémů jsou často doporučována, aniž by byla předem posuzována účinnost a v konečné fázi i efektivita provedených opatření. Účinnost jednotlivých opatření se často významně liší podle zvoleného přístupu a metodiky i u odborníků. Abychom se dokázali shodnout na efektivnosti jednotlivých nápravných opatření a uměli je prosadit v praxi, je vhodné používat ověřené metodiky a postupy, které přesvědčí jak odbornou, tak i laickou veřejnost o nezbytnosti dalších kroků.

Ve všech evropských státech existují rozdílné postupy směřující k identifikaci plošných zdrojů znečištění a k jejich kalkulaci. V podunajských státech bylo na základě expertních jednání dohodnuto, že v oblasti hodnocení kvality vod z hlediska zátěže nutrienty bude za cílový stav v kvalitě povrchových vod považován rok 1955, pro který jsou k dispozici výsledky monitorování v řadě významných říčních profilů. Stav emisí z bodových a plošných zdrojů znečištění a jeho změny by měly být součástí celkového integrovaného hodnocení stavu zátěže životního prostředí včetně míry účinnosti jednotlivých přijatých opatření. Společným nástrojem vyhodnocujícím stav kvality vod a současně realizovaná nápravná opatření je i kalkulace zátěže jednotnou metodikou podle modelu MONERIS, přijatou v rámci spolupráce Mezinárodní komise pro ochranu Dunaje (dále jen MKOD), která je rozvíjena pod gescí expertní skupiny Pressures & Measures.

Model MONERIS

MONERIS (MOdeling Nutrient Emissions in River Systems) v překladu znamená modelování emisí nutrienty v říčních systémech, a to dostupnými (znalostně přístupnými) komponenty znečištění, které můžeme jasně definovat. Model vymezuje směrně činnosti podléající se rozhodující měrou na stavu životního prostředí (též hnací síly označované jako DPSIR) co do zatížení prostředí nutrienty. Model využívá především hydrologická data, data vztahující se ke kvalitě vod a půd a geografický informační systém (GIS), který obsahuje digitální mapy a statistické informace. Výpočty jsou rozděleny na jednotlivé komponenty, které jsou žádoucí z důvodu rozdílných procesů podléjících se na konečné zátěži a které je možné usměrnit nápravnými (cílovými) opatřeními. Sumář těchto činností poskytuje přehled o zátěži prostředí nutrienty ve vztahu ke konečné kvalitě vod. Říční systém pracuje s hydrologickými jednotkami, aby mohly být výsledky obdobných modelů porovnatelné. Počátky uve-



Obr. 1. Základní komponenty a procesy v modelu MONERIS

deného modelování sahají do roku 1983, kdy model začal být využíván především ve větších povodích. Model (obr. 1) počítá se sedmi základními komponenty znečištění:

1. vypouštění z bodových zdrojů znečištění,
2. odtok ze zastavěných oblastí,
3. atmosférická depozice,
4. odtok z odvodňovaných (oddrenážovaných) pozemků,
5. odtok z podzemních vod a mezipovodí,
6. povrchový odtok,
7. odtok následkem eroze zemědělské půdy.

Některé z uvedených komponentů přímo v názvu neobsahují významné faktory podléjící se na zátěži živin v prostředí, jako je např. používání bezfosfátových detergentů, odtok znečištěných dešťových a splaškových vod přepadajících do recipientů apod. Tyto faktory jsou však již nepřímo zakalkulovány mezi zmiňované komponenty při výpočtech.

Výsledky modelování emisí nutrienty rozčleněné podle základních komponentů se dají přímo využít k formulování nápravných opatření především u nejvíce zatěžovaných komponentů a k následné kontrole a hodnocení stavu směřujícího k dosažení stanovených cílů. Významnou roli zde hraje kvalita odtoku z podzemních vod, který je časově posunut oproti okamžitému stavu kvality ostatních komponentů, retence a ztráty.

Správné zaměření na opatření týkající se rozhodujících komponentů je základním předpokladem úspěchu. Například odtok z odvodňovaných zemědělských pozemků nebyl doposud v žádných kalkulacích plošného znečištění v České republice uvažován. Podle doposud provedených výsledků modelového řešení prezentovaných v projektu podporovaném MKOD je předpoklad, že z pohledu zátěže vod celkovým dusíkem představuje uvedený komponent přibližně čtvrtinový podíl na celkové zátěži vod v české části území náležejícího k povodí Dunaje. Už tento první výsledek by nás měl vést ke zvýšenému zájmu o aplikaci uvedeného modelu, který částečně nabourává vžitou představu prováděných kalkulací členěnou pouze na plošné a bodové znečištění.

Využití modelu

První výsledky modelu MONERIS získané na základě dat k období 1998–2000 jsou k dispozici pro většinu podunajských států. Data k roku 2005 jsou postupně do modelu doplňována. Výsledky modelu se pokusí MKOD využít k formulování nápravných opatření směřujících k dosažení cílového stavu, tj. dobrého stavu vod definovaného Rámcovou směrnicí o vodní politice. Přestože je zde řada problémů s daty, které nejsou prozatím k dispozici pro výpočet ani v naší republice, ani v dalších státech, zavázaly se všechny smluvní strany Dunajské úmluvy (Úmluva o spolupráci pro ochranu a ušnosné využívání Dunaje) ke spolupráci na vytváření podmínek směřujících k aplikaci uvedeného modelu na mezinárodní, národní, popřípadě i regionální úrovni. Tato podpora představuje především zajišťování dat na mezinárodní úrovni, sloužící pro přípravu plánu uceleného povodí řeky Dunaje, a dále vytváření vlastních výpočtů a kalkulací na národní úrovni, aby mohly být výsledky dosažené v mezinárodních projektech dále korigovány podle široké škály používaných dat a popřípadě aplikovány obdobným postupem na národní nebo i regionální úrovni. Pracovní skupina Pressures & Measures bude na mezinárodní úrovni podle výsledků modelování jednotlivých komponentů v roce 2008 navrhovat různé scénáře směřující k redukci znečištění zátěže vod nutrienty. Protože návrhy opatření v plánech oblastí povodí budou v této době na národní úrovni již přijaty, bude využití modelu v dalších letech zaměřeno na kontrolu dosažených nápravných opatření.

Ing. Stanislav Juráň
VÚV T.G.M., v.v.i., pobočka Brno
e-mail: stanislav_juran@vuv.cz
Lektorovala RNDr. Darina Remenárová, únor 2008

Key words

modelling nutrient emissions, water quality, surface and diffuse sources of pollution, pollution pathways, river basin management plans, International Commission for the Protection of the Danube River

Model MONERIS and its application (Juráň, S.)

The model MONERIS (MOdeling Nutrient Emissions in River Systems) is applied for estimation of nutrient emissions into the river systems. Model is based on hydrological and water quality data as well as a geographical information system (GIS). The model calculations are oriented on 7 pollution pathways for which it is possible to recommend measures aimed at reduction of pollution. The model results can be used for supervision of realised measures applied in river basin management plans, too. The model was accepted by contracting parties of the Danube River Protection Convention and is developed by Pressures & Measures Expert Group, which is working within the framework of the International Commission for the Protection of the Danube River.

Publikace Hydraulic Research of the Děčín Barrage

Koncem roku 2007 vyšla ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v.v.i., publikace *Hydraulic research of the Děčín barrage (Hydraulický výzkum plavebního stupně Děčín)* autorů prof. Ing. Pavla Gabriela, DrSc., a Ing. Josefa Libého, CSc., z VÚV T.G.M., v.v.i., a Ing. Dr. Pavla Fošumpaura z ČVUT v Praze. Publikaci lektoroval prof. Ing. Dr. Pavel Novák, DrSc., emeritní profesor University of Newcastle upon Tyne.

Řeka Labe je v současné době nejvýznamnější vodní cestou České republiky, protože je jediným plavebním spojením s evropskou sítí vodních cest i západoevropských námořních přístavů. V budoucnu by mohl význam této vodní cesty ještě vzrůst v případě realizace již mnoho let diskutovaného průplavního spojení Dunaj-Odra-Labe, který by propojil současnou síť vodních cest i směrem jihovýchodním.

Všechny připravované úpravy a stavby na Labi by měly vést ke zlepšení plavebních parametrů této vodní cesty na úroveň požadovaných parametrů na dolním Labi v SRN, ke zlepšení energetického využití vodního toku a minimálně zachování současného stavu životního prostředí. Významnou úlohu ovšem hraje i zlepšení odtokových poměrů při výskytu extrémních průtoků Labem.

V devadesátých letech minulého století byly zahájeny přípravné práce pro budoucí úpravy řeky Labe mezi stávajícím vodním dílem Střekov a státní hranicí ČR/SRN. V souvislosti s připravovanou výstavbou byl v letech 1997 až 2007 ve spolupráci Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka s Českým vysokým učením technickým v Praze uskutečněn rozsáhlý komplexní modelový výzkum zlepšení plavebních podmínek v tomto úseku Labe, jehož výsledkem bylo doporučení výstavby vodního díla Děčín.

Publikace *Hydraulic research of the Děčín barrage* se zaměřuje zejména na hlavní výsledky výzkumu vlastního plavebního stupně Děčín realizovaného v letech 2002 až 2007 ve velké hydraulické laboratoři VÚV T.G.M. (*barrage model*) a rovněž uvádí stále platné výsledky hydraulického výzkumu regulovaného úseku Labe pod plánovaným stupněm Děčín, který se uskutečnil v letech 2000 až 2002 na velkém hydraulickém modelu regulovaného úseku dolního Labe (*river regulation model*) od plánovaného plavebního stupně Děčín v pl. km 98,98 po pl. km 105,80 (poblíž státní hranice ČR/SRN na levém břehu). V rámci přípravného výzkumu vlastního dispozičního řešení plavebního stupně Děčín, jehož počátky sahají do roku 1997, byly nejprve využity aerodynamické modely umožňující zobrazovat prostorové proudění v dané lokalitě při větším měřítku zmenšení. To také dovolilo racionálně zkoumat velký počet uvažovaných úprav. Výsledky výzkumu na aerodynamických modelech byly použity jako základ pro podrobné výzkumy na hydraulickém modelu v období 2002 až 2007.

Další rozpracování projektové přípravy optimalizace plavebních podmínek na dolním Labi výzkum na trojrozměrném fyzikálním modelu – hydraulickém modelu v měřítku geometrického zmenšení 1 : 70 – již přímo vyžadovalo. Na hydraulickém modelu lze totiž na základě teorie podobnosti kontinuálně zobrazovat a zkoumat složité jevy, jejichž dostatečně výstižný matematický popis není dosud znám. Exaktní řešení složitých hydraulických, morfologických a nautických problémů spojených s návrhem plavebního stupně Děčín si v konkrétním případě vyžádalo výstavbu hydraulického modelu, který zobrazoval plavební stupeň s přílehlými úseky koryta řeky Labe mezi pl. km 97,2 a 99,9 a s přibřezím mezi levobřežní a pravobřežní komunikací. Vybudovaný model (*barrage model*) splňoval jak podmínku podobnosti průběhu hladin a rozdělení rychlostí v širokém rozsahu průtoků od Q_{345} do povodně v roce 2002, tak při použití pohyblivého dna i podmínku podobnosti tvorby výmolů.

Model byl umístěn do velké haly hydraulických laboratoří Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G.M. na speciální ocelové nosné konstrukci ve vodotěsném dřevěném žlabu zatěsněném laminátovou folií, v dostatečné výši nad modelem jiného plavebního stupně. Ve dně modelu byly instalovány tlakové odběry vhodně napojené na odečítací měrné válce způsobem, který umožnil velice přesné odečítání průběhu hladin na modelu jak s pevným, tak i pohyblivým dnem.

Plavební stupeň Děčín bude mít tyto hlavní objekty: plavební komoru, nízký pohyblivý jez, malou vodní elektrárnu a dva přírodě blízké rybí přechody. Bude tak víceúčelovým vodním dílem splňujícím přinejmenším tři hlavní funkce:

- zlepšení plavebních podmínek v úseku mezi koncem jeho vzdutí a státní hranicí ČR/SRN na úroveň plavebních podmínek na německém úseku Labe,
- využití disponibilního energetického potenciálu ve vodní elektrárně jako vysoce efektivním obnovitelném zdroji čisté bezodpadové elektrické energie s plně automatizovaným provozem a velmi nízkými provozními náklady,
- zvýšení protipovodňové ochrany a zlepšení životních podmínek v intravilánu města Děčína při současném respektování přírodních podmínek v chráněné krajinné oblasti pod vodním dílem.

Na modelu plavebního stupně Děčín v měřítku 1 : 70 byly zkoumány hydraulické poměry v podmínkách prostorového proudění, morfologické změny dna, lokální tvorba výmolů, stabilita funkčních objektů a břehů v celém rozsahu průtoků, jakož i plavební podmínky s využitím dálkové řízených modelů různých plavidel (tlačných sestav, motorové nákladní lodi a vlečného soulodí). Modely plavidel byly pro tento výzkum konstruovány ve stejném měřítku, geometrické podobnosti a v takové úpravě, aby jejich odpory při plavbě byly v souladu s reálnými podmínkami.

Pro posouzení variantních řešení vtokové a výtokové části vodní elektrárny byly využity matematické turbulentní modely ve 2D a 3D schematizaci. Problémy vlivu energetického provozu na plavbu (včetně havarijních výpadků vodní elektrárny) byly zkoumány na hydraulickém modelu a v širším dopadu posuzovány na 1D matematickém modelu úseků toku přílehlých k plavebnímu stupni Děčín. Uvedené způsoby modelování založené jednak na matematickém popisu zkoumaných jevů, jednak na jejich prostorovém fyzikálním modelování se vzájemně vhodně doplňovaly a umožnily realizaci celého výzkumu v poměrně krátké době.

Na hydraulickém modelu plavebního stupně Děčín (*barrage model*) byly postupně zkoumány tři varianty dispozičního řešení:

- V první variantě byl na modelu znázorněn úsek Labe mezi pl. km 97,2 a 99,9 a soubor objektů plavebního stupně Děčín pozůstávající z jezu s osou jezu v pl. km 98,88, z plavební komory s dělicími zdmi a z vodní elektrárny. Průtočnost vodního díla při povodňových průtocích se při této variantě ukázala jako vyhovující, avšak proudové poměry v předpolí obou rejd plavební komory byly pro plavbu nepříznivé.
- Druhá varianta se od první odlišovala posunem osy jezu o 120 m směrem po proudu do pl. km 99,0 a koncepčně tím, že u pravého břehu bylo vynecháno místo pro vodní elektrárnu, která však vymodelována nebyla. V té době bylo totiž v resortu dopravy rozhodnuto považovat výstavbu vodní elektrárny za věc zájmu privátního sektoru, a nezahrnout ji proto do investičního záměru při této úpravě. Na modelu s pevným dnem bylo u této varianty nejprve provedeno proměření rychlostních polí v předpolí obou rejd plavební komory, poté prověřena průtočnost vodního díla při povodňových průtocích a následně uskutečněny i nautické experimenty. Průtočnost vodního díla byla při této variantě vyhovující, obdobně jako při předchozí variantě. Ukázalo se však, že proudové poměry v předpolí obou rejd plavební komory bude zapotřebí ještě zlepšit.
- Třetí varianta se od druhé odlišovala tím, že hlavní objekty plavebního stupně, tj. plavební komora a jez, byly jako celek pootočený kolem průsečičky jejich os o tři stupně ve směru pohybu hodinových ručiček, osa jezu však zůstala na místě, tj. v pl. km 99,00 (jako u druhé varianty). Tato změna umožnila na pravém břehu v nadjezí od pl. km 98,50 po vodní dílo maximálně možné rozšíření horní zřdky k stávajícímu strmému svahu silniční komunikace Děčín–Hřensko a vytvoření příznivějších plavebních poměrů nad horní rejdou plavební komory. Přitom tím nebyla znemožněna ani případná výstavba vodní elektrárny. Ukázalo se, že došlo k podstatnému zlepšení proudových poměrů v předpolí obou rejd plavební komory a průtočnost vodního díla při povodňových průtocích byla nadále vyhovující. Tato varianta se tedy stala předmětem podrobnějšího zkoumání.

V návaznosti na výsledky výzkumu optimalizace řešení plavebního stupně Děčín byly tedy u třetí varianty celkového dispozičního řešení vyšetřovány proudové poměry v jeho zřdkách při různých úpravách dělicích zdí obou rejd plavební komory a byly nalezeny optimální konstrukční úpravy dělicích zdí obou rejd plavební komory. Při jejich realizaci na díle bude minimalizováno nebezpečí tvorby výmolů v okolí dělicích zdí a zajištěna jejich stabilita. Zároveň bude dosaženo co nejrovnoměrnějšího rozdělení průtoků jezem a zajištěna bezpečnost plavebního provozu při vplouvání do rejd a vplouvání z nich v celém rozsahu plavebních průtoků. Nautické experimenty prokázaly, že po realizaci navržených úprav projektu budou moci vodním dílem a přílehlými úseky bezpečně proplouvat po proudu motorové nákladní lodě a tlačná soulodí všech zkoumaných sestav, a to v celém rozsahu využívaných ponorů.

Výzkum optimálních konstrukčních úprav funkčních objektů plavebního stupně byl zaměřen nejen na problematiku dělicích zdí, ale zahrnoval i výzkum předpolí plavebního stupně s návrhem úprav na zabezpečení stability dna a břehů při různých manipulacích jezem a dále výzkum podjezí vodního díla s návrhem definitivních rozměrů vývaru a úpravy dna a břehů s vývarem pro zabezpečení jejich stability. Zvláštní pozornost byla věnována i výzkumu optimálního postupu výstavby plavebního stupně a zajištění bezpečnosti stavby a plavebního provozu v celém průběhu výstavby.

Z dalšího rozpracování projektové dokumentace k územnímu řízení vyplynulo ještě jedno upřesnění souboru objektů plavebního stupně Děčín – kromě začlenění malé vodní elektrárny do již vymezeného prostoru u pravého břehu a zřízení dvou rybích přechodů – byla osa jezu posunuta z pl. km 99,00 o 20 metrů směrem proti proudu, tj. do pl. km 98,98. Plavební komora s oběma rejdami však zůstala na místě. Dispoziční řešení vodního díla, jakož i uspořádání všech funkčních objektů zůstalo beze změny.

Následující výzkum prokázal vhodnost začlenění vodní elektrárny a rybích přechodů do celkového dispozičního uspořádání plavebního stupně. Nautickými experimenty bylo potvrzeno, že provoz vodní elektrárny nebude negativně ovlivňovat plavební podmínky všech lodí a lodních sestav proplouvajících plavebním stupněm, a to v celém rozsahu plavebních průtoků.

Výzkum využívající výhod matematického a fyzikálního modelování a kombinace obou přístupů pak vyústil jednak v optimalizaci návrhu úprav vtokové a výtokové části vodní elektrárny s jejich navázáním na pravostranný břeh v horní a dolní zdrži a jednak v optimalizaci vstupu a výstupu z kanálového rybího přechodu při pravém břehu. Bezpečnost plavebního provozu byla prověřena i při neustáleném proudění, které se může vyskytnout při havarijních výpadech vodní elektrárny vyvolaných nepředvídatelnými meteorologickými nebo jinými vnějšími vlivy, zejména při náhodných a neovlivnitelných výpadech ze sítě vysokého napětí.

K prozkoumání vlivu havarijního provozu vodní elektrárny na plavidla a plavební provoz bylo použito kombinace výzkumu na hydraulickém modelu a 1D hydraulickém modelu říční tratě v úseku Střekov–plavební stupeň Děčín–státní hranice ČR/SRN. Výzkum prokázal, že havarijní výpady vodní elektrárny Děčín nemohou při aplikaci doporučené automatizace nepříznivě ovlivňovat plavební provoz, a to ani dynamickými účinky na proplouvající plavidla, ani podkračováním plavebních hloubek v níže ležícím úseku Labe.

Modelový výzkum úprav plavební dráhy v říčním úseku Labe (*river regulation model*) od plavebního stupně Děčín po státní hranici ČR/SRN byl uskutečněn v letech 2000–2002. Jeho cílem byla optimalizace úprav plavební dráhy v říčním úseku od výjezdu z dolní rejdy plavebního stupně Děčín po státní hranici ČR/SRN u Hřenska. Bylo třeba dosáhnout plavebních podmínek ekvivalentních parametrům na německém Labi, avšak při současném maximálním respektování zásad ochrany přírodního prostředí.

Původní projekt předpokládal, že v tomto říčním úseku bude dosaženo požadovaných parametrů regulačními úpravami řeky. Výzkum na trojrozměrném fyzikálním modelu (*river regulation model*) měl objasnit všechny stěžejní problémy, které nelze s dostatečnou přesností řešit metodami matematického modelování. V daném případě to zahrnovalo především optimalizaci úprav plavební dráhy, ověření stability a určení případného opevnění její kynety, ověření stability podélného profilu upraveného koryta a ověření bezpečnosti a plynulosti plavebního provozu.

Provedený výzkum prokázal, že požadovaných plavebních hloubek lze dosáhnout omezenou prohrádkou plavební dráhy pod úrovní minimálních hladin v řece. Přitom prohrádka plavební kynety na celou šířku plavební dráhy se týká pouze asi jedné třetiny z celého zkoumaného úseku. Původně uvažované budování příčných, resp. podélných koncentračních staveb se ukázalo jako nepotřebné, takže břehy a příbřežní zóny by zůstaly nedotčeny. Svahy kynety plavební dráhy zůstaly v celém rozsahu plavebních a povodňových průtoků stabilní, a není tudíž zapotřebí uvažovat o jejich opevnění záhozovým kamenem. Nautické experimenty na tomto modelu (*river regulation model*) pak jednoznačně prokázaly, že po realizaci navržené úpravy koryta řeky budou moci celým úsekem bezpečně proplouvat proti proudu i po proudu tlačná soulodí a motorové nákladní lodě s parametry povolenými současnými předpisy.

V publikaci autoři připomínají, že v průběhu výzkumných prací byla věnována nemalá pozornost i environmentální problematice související s připravovanou výstavbou plavebního stupně Děčín. Konstatují, že hlavním efektem této stavby bude především zlepšení podmínek pro ekologicky i ekonomicky výhodnou přepravu zboží mezi Českou republikou a SRN po labské vodní cestě a také k případnému využití soustředěného

spádu k čisté a bezodpadové výrobě elektrické energie. Hydrotechnický výzkum v návaznosti na souběžně probíhající výzkum biologický a při využití matematického a fyzikálního modelování v nemalé míře přispěl k zabezpečení podmínek pro plnou ichtyologickou migrační propustnost plavebního stupně Děčín.

Samotný plavební stupeň Děčín je situován v katastrálním území Děčín-Loubí, v bezprostředním sousedství přístavu Loubí s železničním seřadištěm, frekventovanou železniční tratí na levém břehu a silniční komunikací na břehu pravém. Je řešen tak, aby organicky a citlivě zapadal do svého nejbližšího okolí. Výstavbou tohoto plavebního stupně lze dosáhnout i významných přínosů pro město Děčín, zejména stabilizace hladin v intravilánu města Děčín v širokém rozsahu průtoků řekou (od průtoků minimálních až po povodňové) s odstraněním současných hygienicko-estetických závad vyskytujících se při nízkých a středních průtocích.

Podmínky převádění povodní vedly k úpravě dimenzí jezu tak, aby veškeré povodňové průtoky byly převáděny při nevzdutých hladinách. Teprve po uskutečnění výstavby plavebního stupně Děčín bude možno vhodnými manipulacemi na tomto vodním díle zvládnout v zájmové oblasti nejnebezpečnější zimní povodně provázené ledochody a tvorbou ledových nápečů.

V extravilánu města Děčín umožní navrhované úpravy citlivé řešení problému zachování původního charakteru přírodních lokalit – jednak stabilizací i zlepšením podmínek stávajících biotopů, jednak vytvořením podmínek pro rozvoj nových ekosystémů vhodnou úpravou příbřežních zón zasažených původními tvrdými regulačními úpravami před více než 100 lety. Na základě provedeného výzkumu se podařilo zcela vyloučit původně navrhované regulační úpravy pomocí koncentračních staveb i jakékoliv zásahy do břehů a příbřežních zón. Rozsah prohrádek byl na základě analýzy výsledků výzkumu na hydraulickém modelu (*river regulation model*) zredukován na úpravu kynety plavební dráhy v šířce 50 metrů pod minimální plavební hladinou vody v řece. Její hloubka nutná pro zabezpečení plavebních hloubek při nízkých průtocích se od plavebního stupně směrem po proudu postupně zmenšuje a zhruba po třech kilometrech se zcela vytrácí.

Bylo prokázáno, že jakékoliv obavy z negativních dopadů výstavby plavebního stupně Děčín na německý úsek Labe a jeho příbřežní zóny jsou zcela neopodstatněné. Plavební stupeň Děčín nemá ve své zdrži vymezen žádný akumulací objem a nemůže tedy mít žádný vliv na odtokové poměry v níže ležícím úseku Labe. Jeho výstavbou nebude ovlivněn v navazujícím úseku německého Labe ani současný splaveninový režim. Rovnovážný stav podélného profilu dna zůstane zachován, takže prohlubování dna, nebo jeho zanášení nehrozí. Rovněž k negativnímu ovlivňování jakosti vody na německém úseku Labe nebude docházet, jak to dosvědčují dlouhodobé výzkumy a analýzy Mezinárodní komise pro ochranu Labe. Realizace plavebního stupně Děčín bude mít pro německý úsek Labe řadu pozitivních přínosů, např. se po jeho vybudování zvýší ochrana německého úseku Labe před případy havarijního znečištění toku. Bude totiž možné mít připravena i v této lokalitě zvláštní ochranná zařízení – mobilní clony a příslušenství. To pak umožní likvidovat ještě na českém území velice účinně případné ropné a jiné havárie kupříkladu z ústecké a děčínské průmyslové aglomerace, a tím pochopitelně i přispívat k dalšímu neformálnímu zlepšování mezinárodních vztahů.

Gabriel, P., Libý, J. a Fošumpaur, P. *Hydraulic research of the Děčín barrage*. Praha : VÚV T.G.M., v.v.i., 2007, 68 stran, 72 obrázků, 57 lit. odkazů. ISBN 978-80-85900-73-6.

Ing. Ludvík Doležal, CSc.

VTEI VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

Redakční rada: RNDr. Dana Baudišová, Ph.D., Ing. Šárka Blažková, DrSc., Ing. Petr Bouška, Ph.D., doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., prof. Ing. Pavel Pitter, DrSc., prof. RNDr. Alena Sládečková, CSc., prof. Ing. Jiří Zezulák, DrSc.

Redakční rada časopisu VTEI spolupracuje s Redakční radou Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i., která řídí ediční politiku ústavu.

Ročník 50

ISSN 0322 - 8916

Kontakt: Mgr. Garciova
Tel.: 220 197 282, fax: 233 333 804
e-mail: garciova@vuv.cz



**Výzkumný ústav
vodohospodářský
T. G. Masaryka,
v. v. i.
Podbabská 30
160 00 Praha 6**