

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Doc. Ing. Jaromír Říha, CSc.

MODELOVÉ ŘEŠENÍ ROZSAHU OCHRANNÝCH PÁSEM ZDROJŮ
PODZEMNÍ VODY

TEZE PŘEDNÁŠKY K PROFESORSKÉMU JMENOVACÍMU ŘÍZENÍ

V OBORU „*VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ A VODNÍ STAVBY*“



BRNO 2001

© 2001 J. ŘÍHA

ISBN 80-214-1834-6

OBSAH

PŘEDSTAVENÍ AUTORA	4
MODELOVÉ ŘEŠENÍ ROZSAHU OCHRANNÝCH PÁSEM ZDROJŮ PODZEMNÍ VODY	1
1. ÚVOD	5
2. ZMĚNY VE STANOVENÍ OCHRANNÝCH PÁSEM PODZEMNÍCH VODNÍCH ZDROJŮ	5
3. ZÁSADY UPLATŇOVANÉ PŘI NÁVRHU OCHRANNÝCH PÁSEM ZDROJŮ PODZEMNÍ VODY	6
4. OBSAH A SKLADBA DOKUMENTACE PRO NÁVRH OCHRANNÝCH PÁSEM	6
5. MODELOVÉ ŘEŠENÍ	7
5.1 CÍLE MODELOVÉHO ŘEŠENÍ	7
5.2 MATEMATICKÝ MODEL	7
5.3 NUMERICKÉ ŘEŠENÍ	8
5.4 KALIBRACE A VERIFIKACE MODELU	9
5.5 VÝBĚR SCÉNÁŘŮ ŘEŠENÍ	9
5.6 VYHODNOCENÍ MODELOVÉHO ŘEŠENÍ	9
6. SPECIFIKA PŘI JÍMÁNÍ PODZEMNÍ VODY ZE ŠTĚRKOVISŤ	11
7. PRAKTICKÉ APLIKACE	13
8. ZÁVĚR	13
9. ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY MODELOVÁNÍ PROUDĚNÍ PODZEMNÍ VODY NA FAST VUT V BRNĚ	15
10. PŘEHLED NEJVÝZNAMNĚJŠÍCH PRACÍ	18
11. ÚSPĚŠNĚ OPONOVANÉ VÝZKUMNÉ A PEDAGOGICKÉ ÚKOLY	19
Abstract	21

Představení autora

Jaromír Říha (narozen 23. 7. 1961 v Hodoníně) absolvoval vysokoškolské studium na katedře Hydrauliky a hydrotechniky Fakulty stavební VUT v Brně v roce 1985. V rámci vojenské základní služby v letech 1985–1986 pracoval jako asistent stavbyvedoucího na Jaderné elektrárně Dukovany. V letech 1986–1988 pracoval jako projektant a v letech 1991 a 1992 jako konzultant v Hydroprojektu o. z. Brno (dnes Aquatis Brno, a. s.) na střediscích kanalizací a hydrotechniky. Od roku 1988 je zaměstnancem Fakulty stavební VUT, kde na Ústavu vodních staveb pracoval nejdříve jako odborný asistent, od roku 1997 pak jako docent v oboru „vodní hospodářství a vodní stavby“. V letech 1989 až 1993 absolvoval na VUT FAST vědeckou výchovu zakončenou odbornou zkouškou a obhajobou kandidátské disertační práce. V současné době zastává funkce zástupce vedoucího ústavu a tajemníka pro vědeckovýzkumnou činnost.

V letech 1990–2000 se podílel jako spoluřešitel na řešení 9 výzkumných úkolů, jako zodpovědný řešitel pak na 3 úspěšně oponovaných výzkumných úkolech. Převážná část výzkumných úkolů se zabývala otázkami spojenými s rozvojem a možnostmi použití metod matematického modelování ve vodním hospodářství. V posledních letech jde zejména o matematické modelování proudění a transportu látek ve vodních tocích a horninovém prostředí. Od roku 1999 je odpovědným řešitelem grantového projektu GAČR č. 103/99/0456 „Návrh obecné metodiky pro sestavování matematických modelů kvality vody v síti vodních toků“ a spoluřešitelem grantových úkolů GAČR č. 103/99/1470 „Extrémní hydrologické jevy v povodích“ a č. 103/99/0780 „Strategie rozvoje měst po povodni“. Od roku 1999 je odpovědným řešitelem interní části projektu CEZ-MSM 26100006 „Vývoj metod modelování a řízení vodohospodářských a dopravních systémů“.

Výsledky prací publikoval v 10 článcích ve vědeckých a odborných časopisech, 5 knižních publikacích a monografiích a NA 34 domácích a zahraničních vědeckých konferencích. Je autorem nebo spoluautorem 52 odborných nebo vědeckovýzkumných prací, 31 projektů, 36 odborných, recenzních nebo oponentských posudků, 3 mezinárodních norem ISO zapracovaných do soustavy českých norem, 10 odborných překladů a 10 programových produktů. K nejvýznamnějším dílům patří v praxi velmi oblíbený Anglicko-český a česko-anglický slovník vodních staveb a vodního hospodářství [65].

V letech 1991 až 1999 absolvoval zahraniční studijní a přednáškové pobyty v MISI Moskva v bývalém SSSR, na univerzitě v Huddersfieldu ve Velké Británii, IHE Delftu v Holandsku, dále pak workshop a přednáškový pobyt „IW:LEARN“ pod záštitou GEF na Royal Holloway University of Egham ve Velké Británii a San Franciscu v USA. V roce 1992 absolvoval zkoušky zvláštní způsobilosti pro činnost ve výstavbě, v roce 1994 zkoušky České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě s udělením autorizace v oboru Vodohospodářské stavby.

Na pedagogické činnosti se podílí od roku 1986, kdy vedl zprvu cvičení a od roku 1994 začal samostatně přednášet jednotlivé předměty na oboru vodní hospodářství a vodní stavby. V rámci externího grantu č. 07/93 FR VŠ „Zřízení nového směru se zaměřením na ŽP v rámci výchovy inženýra vodohospodáře“ se podílel na vypracování výukových plánů, osnovy studia a sylabů přednášek a cvičení nových předmětů. V letech 1996 až 1997 byl zodpovědným řešitelem rozvojového projektu FR 260780 „Matematické modelování hydrodynamických a disperzních jevů“, který vyústil v zavedení tří nových předmětů do výuky posluchačů oboru Vodní stavby a vodní hospodářství na FAST VUT v Brně. Od roku 1992 koordinuje a obsahově zabezpečuje výměnné zahraniční studijní pobyty našich i zahraničních posluchačů v rámci mezinárodních programů TEMPUS a SOCRATES-ERASMUS. V rámci této činnosti doposud vedl 6 anglických a 1 německého posluchače při vypracování diplomových prací. Jazykové znalosti v pořadí dle úrovně znalosti jsou angličtina, ruština, němčina a francouzština.

1. Úvod

Zákon č. 138/1973 o vodách člení ochranu vod na obecnou a speciální. Zatímco se obecná ochrana vod vztahuje k obecnému užívání povrchových a podzemních vod, řeší speciální ochrana progresivní opatření sloužící ochraně oblastí přirozené akumulace vod (CHOPAV), ochraně vodních zdrojů, vodárenských toků a jejich povodí.

Speciální ochrana vod využívaných i připravovaných vodních zdrojů je zaměřena na ochranu jejich vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti. Nástrojem ochrany je vyhlášení ochranných pásem (dříve pásem hygienické ochrany) a stanovení podmínek pro všechny činnosti, kterými může být ohrožena vydatnost, jakost nebo zdravotní nezávadnost vody chráněného vodního zdroje.

V minulosti byl uplatňován postup návrhu a vyhlášení ochranných pásem vodních zdrojů v souladu se směrnicí Ministerstva zdravotnictví č. 51/1979. Vyhlášení ochranných pásem podle § 19 zákona o vodách bylo redukováno pouze na aplikaci základních hygienických zásad a na ochranu zdrojů veřejných vodovodů. Tento přístup je novelizací § 19 zákona o vodách (14/98 Sb.), zrušením hygienické směrnice č. 51/1979 a vydáním vyhlášky Ministerstva životního prostředí 137/99 Sb. (vyhláška, kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů) změněn na

- komplexní ochranu každého vodního zdroje, který potřebuje speciální ochranu;
- ochranu diverzifikovanou místně i ve výběru opatření podle variability přírodních podmínek.

Zavedení povinnosti uživatele nebo provozovatele zdroje vody nést náklady za omezení práv a za újmy způsobené ochrannými podmínkami jiným by mělo přinést

- důsledné vyhodnocování účinnosti uplatňovaných omezení a zákazů;
- redukci rozsahu území se speciálním režimem na nezbytnou velikost;
- důslednější dodržování podmínek přispívajících k dosažení sledovaných cílů.

Při stanovení rozsahu ochranných pásem se prosazuje individuální přístup založený na rizikové analýze a sestavení map zranitelnosti a rizik. V tomto textu je uveden postup vypracování podkladů pro revize ochranných pásem podzemních vodních zdrojů s využitím metod matematického modelování proudění vody v průlinově propustném horninovém prostředí.

2. Změny ve stanovení ochranných pásem podzemních vodních zdrojů

Pásma hygienické ochrany (PHO) 1. stupně zdrojů podzemních vod vyhlášená podle dřívějších právních předpisů zahrnovala obvykle plochu do vzdálenosti 10 až 50 m od jímacích objektů (studní, zářezů, pramenů, štěrkovišť). V tomto pásmu je území oploceno s cílem zabránit přístup zvířatům a nepovolaným osobám, povrch je upraven a zatravněn. PHO 2. stupně zdrojů podzemních vod bylo obvykle členěno na část vnitřní a vnější. Vnitřní část zahrnovala oblast, v níž je doba zdržení vody v horninovém prostředí menší než 50 dní, nejméně však 50 m od místa odběru. V této oblasti byla nepřipustná každá činnost, v jejímž důsledku by mohlo dojít ke znečištění zdroje vody a k přísunu látek, které by mohly v organismu lidí nebo zvířat nepříznivě působit. Bylo předepsáno odstranit a asanovat žumpy, hnojiště, močůvkové jímky, skládky odpadů, hřbitovy a jiné zdroje znečištění, zajistit oblast proti záplavám a prosakování znečištěných vod. V území byl zákaz těžby zemních hmot, rašeliny, provozu kamenolomů, bylo zakázáno táboření, stanování, koupání, mytí motorových vozidel a parkování. Obdobné zákazy byly vyhlášeny i pro vnější část hygienického pásma 2. stupně, zahrnujícího oblast infiltrace.

Paragraf 19 novely 14/98 Sb. vodního zákona nově definuje ochranná pásma jako území se zvláštními požadavky na ochranu vydatnosti, jakosti nebo zdravotní nezávadnosti vodních zdrojů určených pro zásobování pitnou vodou. Ochranná pásma se mohou dělit na ochranné pásmo 1. stupně v bezprostředním okolí jímacího nebo odběrného zařízení a ochranné pásmo 2. stupně, které slouží k ochraně vodního zdroje ve vybraných zónách hydrogeologického rajónu. Ochranné pásmo prvního stupně se stanoví jako souvislé území s minimální vzdáleností 10 m jeho hranice od odběrného zařízení. Ochranné pásmo 2. stupně se stanoví vně ochranného pásma prvního stupně. Může být tvořeno jedním souvislým nebo více od sebe oddělenými územími v rámci hydrogeologického rajónu.

3. Zásady uplatňované při návrhu ochranných pásem zdrojů podzemní vody

V souladu s novelou 14/1998 Sb. zákona o vodách, vyhláškou MŽP 137/1999 Sb. a postupnou úpravou majetkových vztahů probíhá v řadě lokalit jímacích území (JÚ) revize rozsahu ochranných pásem zdrojů podzemních vod. Ochranná pásma 1. stupně svým rozsahem ve většině případů vyhovují. Předmětem revize jsou zejména stávající ochranná pásma druhého stupně vnitřní a vnější stanovená na základě Směrnice č. 51 MZ ČSR z roku 1979. Výsledkem řešení může být i nesouvislé ochranné pásmo 2. stupně. Současně se při stanovení jejich rozsahu prosazuje individuální přístup založený na rizikové analýze a sestavení map rizik a zranitelnosti. Nedílnou součástí těchto studií a posudků jsou numerické modely proudění vody v horninovém prostředí. Hranice ochranných pásem 2. stupně podzemních vodních zdrojů (jímacích území) je vždy třeba projekčně dořešit s ohledem na stávající a plánované využití území, hranice pozemků apod.

Při revizi ochranných pásem je třeba vycházet ze zkušeností získaných při dřívějších hydrogeologických průzkumech jímacích území spojených s návrhem jejich pásem hygienické ochrany. Dále je nutno přihlížet k požadavkům Vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 137/1999 Sb., kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů. Předmětem revizí v této oblasti jsou i podzemní vodou dotované nádrže bez povrchového přítoku. Jde o dosud provozované nebo opuštěné těžebny štěrkopísků (dále jen štěrkoviště).

4. Obsah a skladba dokumentace pro návrh ochranných pásem

Při stanovení rozsahu ochranných pásem zdrojů podzemní vody je třeba vystihnout všechny podstatné skutečnosti, které ovlivňují množství a jakost podzemní vody v jímacím území. Jedním z podkladů pro návrh ochranných pásem je analýza rizik ohrožení vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti zdrojů podzemní vody. Změnám rozsahu ochranných pásem 1. a zejména 2. stupně jímacích území předchází následující práce:

- zajištění hydrogeologických podkladů;
- modelové stanovení ochranného pásma 2. stupně;
- projekční dořešení, zohledňující zejména majetkové poměry a činnosti uvnitř ochranného pásma (osídlení, odkanalizování, zásobování obcí pitnou vodou, průmysl, zemědělství, doprava a ostatní činnosti a zájmy).

Hydrogeologické podklady sestávají z

- *textové části*, která obsahuje základní údaje o jímacím zařízení a o zájmovém území včetně potenciálních zdrojů znečištění podzemní vody, fyzickogeografické poměry geomorfologické, srážkové a hydrologické poměry, geologické a hydrogeologické poměry, stávající

rozsah pásma hygienické ochrany ve smyslu Směrnice Ministerstva zdravotnictví ČSR – hlavního hygienika ČSR č. 51/1979 sv. 44-1979 Hygienických předpisů.

- **přílohouvé části**, která by měla obsahovat základní vodohospodářskou mapu, účelovou hydrogeologickou mapu, mapu mocností a povahy pokryvných hlín, základní mapu s hydrogeologickými objekty, s hydroizohypsami a potencionálními zdroji znečištění podzemní vody, geologické řezy, geologickou a technickou dokumentaci vodárenských studní a starších hydrogeologických vrtů, technickou dokumentaci obecních a domovních studní, příp. hydrologických objektů ČHMÚ.

Nezastupitelnou součástí hydrogeologických podkladů jsou dlouhodobá pozorování stavů hladin podzemní a povrchové vody a sledování její kvality v objektech účelových pozorovacích sítí jímacích území. Hydrogeologické podklady slouží jako podklad pro modelové stanovení rozsahu ochranného pásma, zejména 2. stupně.

5. Modelové řešení

5.1 Cíle modelového řešení

Při stanovení rozsahu ochranného pásma 2. stupně podzemních vodních zdrojů je potřebné vystihnout všechny podstatné skutečnosti, které mohou ovlivňovat množství a jakost podzemní vody v jímacím území. Jedním z podkladů pro návrh ochranných pásem je analýza rizik ohrožení vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti podzemních vodních zdrojů, která obsahuje analýzu a hodnocení následujících faktorů:

- a) využití území a možné zdroje rizika (zástavba, průmyslová a zemědělská výroba atd.);
- b) geomorfologie terénu, zejména dráhy soustředěného povrchového odtoku;
- c) povrch území, druhy pozemků a kultur ovlivňujících infiltraci povrchové vody;
- d) mocnost krycí vrstvy – stropního izolátoru;
- e) směr proudění podzemní vody a přítok vody do horninového prostředí (vsak, břehová infiltrace) ve vazbě na odběry vody z objektů JÚ;
- f) doba zdržení vody v hornině.

5.2 Matematický model

Matematický model proudění vody v horninovém prostředí vychází z klasické deterministické mechaniky kontinua a je sestaven za následujících předpokladů:

- zvodněná vrstva je plně nasycena vodou;
- proudění probíhá v izotermických podmínkách, vliv teploty na proudění není uvažován;
- kapalina je homogenní, nestlačitelná s konstantní hustotou;
- horninové prostředí, kterým voda proudí, se nedeformuje.

Proudění vody se vždy realizuje v trojrozměrném prostoru. Prakticky všechna v tomto textu zmíněná revidovaná ochranná pásma zdrojů podzemních vod se nacházejí v kvartérních sedimentech plochých údolních niv, kde půdorysný rozměr výrazně převládá nad mocností vrstev. Je proto možné přijmout zjednodušující předpoklad horizontálního směru proudění s hydrostatickým rozdělením tlaků po svislici. V těchto případech lze s využitím tzv. Dupuitova předpokladu použít dvojrozměrný model proudění vody v horninovém prostředí, což výrazně zjednodušuje řešení problému i interpretaci jeho výsledků.

Předpokládáme nehomogenní a anizotropní oblast Ω s hranicí Γ , která sestává ze sjednocení disjunktních částí Γ_1 a Γ_2 . Základní rovnice popisující neustálené proudění vody v průlinově

propustném horninovém prostředí v horizontální rovině x - y vychází ze zákona zachování hmotnosti kapaliny za předpokladu lineární závislosti mezi specifickým průsakem q a gradientem piezometrické výšky H . Rovnice má tvar:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) - S \frac{\partial H}{\partial t} = Q, \quad (1)$$

kde T_x a T_y je průtočnost (transmisivita) a S je koeficient zásobnosti zvodně. Zásobnost (jímatelnost, storativita) je schopnost horniny přijímat či vydávat určitý objem kapaliny v závislosti na změně piezometrického napětí. Průtočnost (transmisivita) je vlastnost celé zvodněné vrstvy propouštět kapalinu. Koeficient průtočnosti T je definován jako součin koeficientu hydraulické vodivosti a mocnosti zvodněné vrstvy h :

$$T_x(x,y,t) = k_x(x,y) h(x,y,t); \quad (2a)$$

$$T_y(x,y,t) = k_y(x,y) h(x,y,t). \quad (2b)$$

Počáteční podmínka předepisuje známou hodnotu piezometrické výšky H_0 na celé oblasti Ω :

$$H(x,y,0) = H_0(x,y). \quad (3)$$

Okrajové podmínky jsou následující:

- na hranici Γ_1 je předepsána stabilní Dirichletova podmínka (okrajová podmínka prvního druhu):

$$H(x,y,t)/\Gamma_1 = \bar{H}(x,y,t); \quad (4)$$

- na hranici Γ_2 je předepsána nestabilní Neumannova podmínka (okrajová podmínka druhého druhu):

$$T_x \frac{\partial H}{\partial x} n_x + T_y \frac{\partial H}{\partial y} n_y = q_n, \quad (5)$$

kde \bar{H} je zadaná piezometrická výška, n_x a n_y jsou směrové kosiny vektoru normály k hranici Γ_2 a $q_n(x,y,t)$ je zadaná hodnota specifického průtoku.

Úkolem řešení je nalézt neznámou funkci $H(x,y)$, která vyhovuje rovnici (1) a splňuje počáteční podmínku (3) a okrajové podmínky (4) a (5).

5.3 Numerické řešení

Pro řešení problému se v minulosti velmi často používala metoda konečných diferencí (MKD), v současné době se v převážné většině aplikací používá metoda konečných prvků (MKP), zejména pro její následující výhody:

- algoritmus výpočtu není závislý na tvaru řešené oblasti, závisí pouze na typu elementu;
- na rozdíl od MKD není třeba při sestavení sítě konečných prvků dodržovat žádnou pravidelnou strukturu, síť je možné přizpůsobit tvaru oblasti řešení (včetně otvorů, zářezů a nepravidelností) a očekávanému průběhu neznámé funkce;
- v místech, kde je toho zapotřebí, lze použít zahuštěné síť, popřípadě síť kombinovanou z elementů různých typů;
- na každém konečném prvku mohou být obecně zadány různé fyzikální vlastnosti, které je během výpočtu možné měnit na základě získaných mezivýsledků;
- matice soustavy algebraických lineárních rovnic je symetrická a pásová s dominantní diagonálou;
- oproti MKD lze v MKP snadno realizovat okrajové podmínky.

V dostupné literatuře je popsána celá škála konečných prvků s různými tvarovými i aproximačními vlastnostmi. Pro řešení okrajové a počáteční úlohy formulované v odstavci 5.2 postačí použít trojúhelníkových konečných elementů s lineární aproximací piezometrické výšky

na prvcích, popř. izoparametrických elementů s bilineární aproximací piezometrické výšky na prvcích.

5.4 Kalibrace a verifikace modelu

Velmi důležitou úlohu při aplikaci matematických modelů hraje jejich kalibrace a verifikace. V případě přibližně horizontálních zvodní je nejčastěji v terénu měřenou veličinou poloha volné hladiny, v případě tlakového režimu proudění pak piezometrická výška. Parametry modelu v daném případě jsou umístění a hodnota okrajové podmínky, transmisivita a zásobnost, v případě rozsáhlejších JÚ pak rozdělení celkových odběrů na jednotlivá jímadla. Kalibrace byla při našem řešení provedena metodou pokusu a omylu vycházející zejména ze zkušenosti a intuice řešitele.

Pro kalibraci modelu byly použity jednak historické údaje z měření polohy hladiny podzemní vody v přírodním režimu, měření prováděná v rámci dřívějších hydrogeologických průzkumů a výsledky čerpacích zkoušek.

Verifikace modelu byla provedena s použitím jiných souborů vstupních dat, než jaké byly použity při kalibraci. Pro potřeby verifikace modelu byla ve všech případech použita účelově zaměřená poloha hladiny podzemní vody při známém odběru podzemní vody, obvykle v době zpracování revize ochranného pásma.

Nutno poznamenat, že ve většině případů nebyly k dispozici časové řady odběrů a jim odpovídající polohy hladiny podzemní vody. Nebyly k dispozici ani údaje o časových změnách odebíraného množství ani hodnoty okrajových podmínek. Z toho důvodu bylo ve všech případech použito modelu ustáleného proudění podzemní vody s tím, že byl kladen důraz na vystižení poměrů ve zvodni v suchých obdobích. Zohledněny byly také možné kombinace okrajových podmínek a variant prostorového uspořádání odběrů se snahou posunout výsledný návrh rozsahu ochranného pásma na stranu bezpečnosti.

5.5 Výběr scénářů řešení

Při modelovém řešení je třeba variantně zohlednit prostorové rozložení a časovou variabilitu odběrů podzemní vody z jednotlivých jímacích jednotek (objektů, skupin objektů), fluktuace okrajových popř. počátečních podmínek reprezentované proměnnou polohou hladiny podzemní vody a přítoky vody do jímací oblasti, dále pak možnost infiltrace povrchové vody a další okolnosti. Modelové scénáře obvykle vycházejí ze stávajícího povoleného a výhledově uvažovaného odebíraného množství podzemní vody. Řešení obvykle zahrnuje následující varianty výpočtu:

- Posouzení neovlivněného stavu vycházejícího ze zaměření stavu hladiny podzemní vody bez jímání.
- Stavby při čerpání při známých (naměřených) odběrech a polohách hladin v hydrogeologických objektech. Tyto scénáře slouží ke kalibraci a verifikaci modelu.
- Variantní řešení možných kombinací průměrných a maximálních povolených odebíraných množství vody z jednotlivých jímacích objektů.

5.6 Vyhodnocení modelového řešení

Využití území a možné zdroje rizika

V průběhu řešení je vždy potřeba provést průzkum možných historických, současných i budoucích možných zdrojů kontaminace podzemních vod, který je obvykle doplněn podrobným místním šetřením.

Směr proudu a přítok vody do zvodně

Směr a rychlost proudění a stanovení přítoku vody do zvodně se získají na základě hydrogeologického průzkumu doplněného výsledky modelového řešení. V této etapě řešení je třeba rovněž stanovit možné infiltrační oblasti a jejich vliv na jímací území ve vazbě na směr proudění podzemní vody.

Doba zdržení vody v hornině

Jedním z podkladů pro řešení rozsahu ochranného pásma 2. stupně jsou izochrony dob zdržení vody v hornině před vstupem do jímacích objektů. Ty se získají rovněž na základě vyhodnocení výsledků modelového řešení pro jednotlivé scénáře odebíraných množství z vrtů jímacího území. V tabulce 1 jsou uvedeny některé údaje obsahující zásady vymezování ochranných pásem podzemních vodních zdrojů ve vybraných evropských státech a USA.

Tabulka 1 – Zásady pro vymezování ochranných pásem zdrojů podzemní vody

Země	Ochranné pásmo 1. stupně	Ochranné pásmo 2. stupně
Holandsko	zóna jímání – zdržení 60 dnů až 1 rok	zdržení 10 let
Německo	10 m od objektu, 20 m proti proudu	zdržení 50 dní, resp. 300 m od objektů
Švýcarsko	zdržení 10 dnů	min 2 × vzdálenost OPZPV 1. stupně
Anglie, Wales	zdržení 50 dnů, min. 50 m	zdržení 400 dní
Irsko	min 10 m	zdržení 100 dní, při nedost dat 1000 m
Španělsko	zdržení min 24 hodin, 100 až 400 m ²	zdržení 50 – 60 dní
USA (Wash.)	zdržení 1 rok	zdržení 5 let

Z údajů uvedených v tabulce 1 je patrné, že se legislativní, metodické i technické nástroje pro vymezení ochranných pásem zdrojů podzemní vody v jednotlivých zemích liší. S ohledem na pomalu degradující kontaminanty lze obvykle doporučit při vymezení rozsahu OP 2. stupně přihlídnout k požadavkům uvedeným ve třetím sloupci a řádcích 3 až 6 dle tabulky 1, tj. 300 až 500 dní.

Geomorfologie terénu, povrchový odtok a mocnost krycí vrstvy

Vliv tvaru a povrchu terénu a cest povrchového odtoku (místní vodoteče, meliorační svodnice) je třeba posuzovat v souvislosti s mocností a propustností stropního izolátoru. Při posouzení je vhodné definovat tzv. „zranitelnost zvodně“. Při tomto postupu se bodově ohodnotí propustnost materiálu stropního izolátoru (nižší propustnosti se přiřadí nižší bodové hodnocení) a mocnost stropního izolátoru (menší mocnosti se přiřadí vyšší bodové hodnocení). Stupeň zranitelnosti zvodně je možné definovat např. jako součin bodového hodnocení propustnosti a mocnosti stropního izolátoru. Při stanovení hranic ochranného pásma je třeba současně zohlednit místa se zvýšenou zranitelností, např. v místech průchodu znečištěné vody (např. komunálního znečištění) místními vodotečemi, které mohou snížit mocnost stropního izolátoru.

Mapy rizik

Mapy rizik by měly na mapovém podkladě umožňovat interpretaci

- mocnosti stropního izolátoru;
- druhu povrchu území;
- hydrodynamiky zvodně při různých scénářích odběrů;
- dob zdržení vody v hornině;
- potenciálních zdrojů znečištění, hospodaření na pozemcích apod.

Nad touto mapou se pak provede návrh rozsahu ochranného pásma zdrojů podzemní vody. Při praktickém použití se osvědčuje práce s použitím GIS.

6. Specifika při jímání podzemní vody ze štěrkovišť

Zvláštní skupinou podzemních vodních zdrojů jsou opuštěné nebo v současnosti využívané těžebny písku popř. štěrkopísku (dále jen štěrkoviště) v kvartérních geologických formacích. Dotace štěrkovišť v převážné většině zajišťuje průsak podzemní vody do těchto jam, a to jak z přilehlé zvodně, tak i infiltrací z povrchových vodních toků. Při modelovém řešení je třeba zohlednit následující okruhy problémů:

- realistické zavedení vodního tělesa štěrkoviště do modelu filtračního proudění;
- zohlednění odběrů vody ze štěrkoviště;
- zohlednění těžby horniny z prostoru štěrkoviště;
- zohlednění kolmatace břehových hran štěrkoviště;
- v případě většího počtu štěrkovišť zohlednit vzájemnou manipulaci s vodou ve štěrkovišti.

Při vlastním modelovém řešení je třeba zohlednit prostor těžebny dostatečně velkým součinitelem hydraulické vodivosti tak, aby výsledkem řešení byla přibližně vodorovná vypočtená hladina vody v těžebně. Při proudění v tlakovém kolektoru je třeba v místě štěrkoviště zavést volný režim proudění. Obvykle postačí volit zhruba $100 \times$ až $1\,000 \times$ větší součinitel hydraulické vodivosti ve štěrkovišti než v okolní zvodni. Při řešení úloh nestacionárního proudění je třeba zavést v místě těžebny volnou zásobnost kolektoru rovnu jedné.

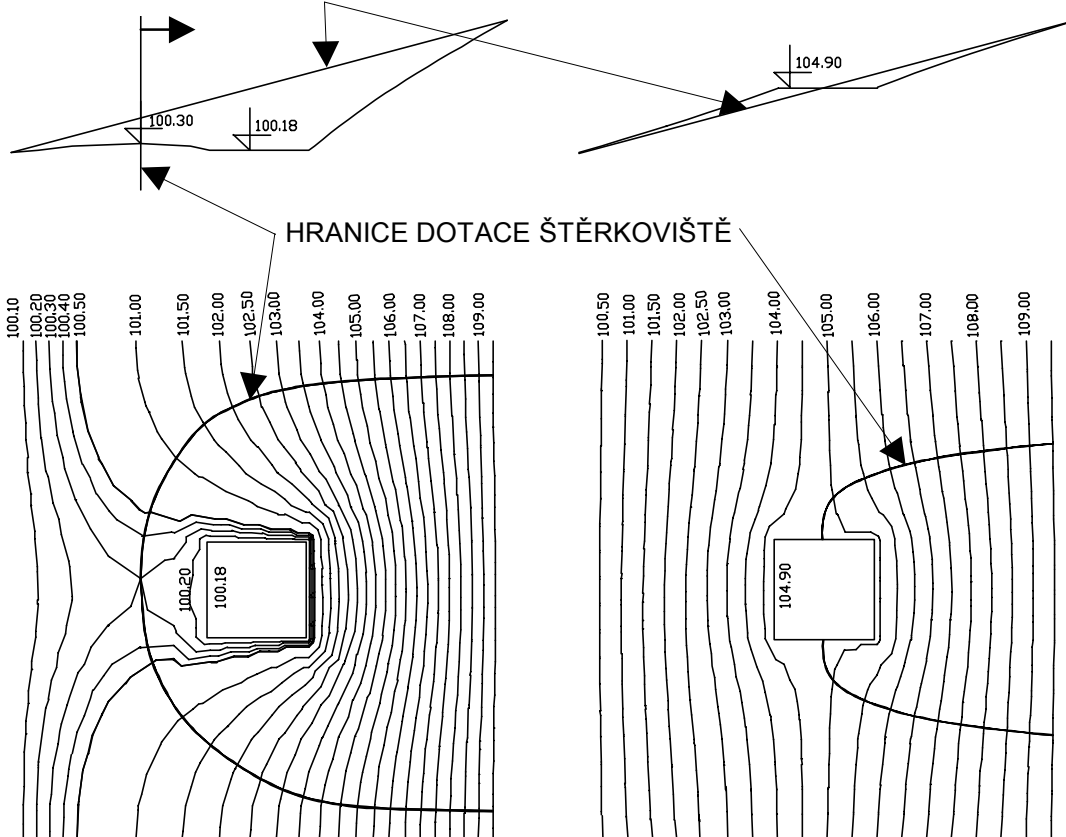
Při modelových výpočtech obvykle postačí vzhledem k obvyklým objemům vody v těžebně (řádově milióny m^3 vody) vycházet z předpokládaných průměrných a maximálních povolených odebíraných množství vody z těžebny při zanedbání lokálních časových fluktuací odebíraného množství vody.

V případě využívaných štěrkovišť je třeba k čerpanému množství vody pro vodárenské účely při výpočtech přičíst objem odebírané horniny. Podkladem pro výpočet je stávající popř. plánovaná rychlost těžby. Údaje těžebních společností obvykle vycházejí z roční hmotnosti nebo objemu vytěžené horniny.

Při stavu bez odběrů a těžby dochází u štěrkoviště umístěného v proudu podzemní vody k drenážní funkci při jeho protivodním břehu a k břehové infiltraci podél jeho břehu ve směru proudění podzemní vody (Obr.1b). Poměry mohou být podstatně komplikovanější při členitém půdorysu štěrkoviště, složitějších poměrech ve zvodni a v případě vlivu povrchových toků (infiltrace, drenáž). V případě těžby popř. vodárenského odběru dojde ke snížení hladiny vody ve štěrkoviště, a to v závislosti na čerpaném a těženém množství a půdorysné velikosti štěrkoviště (Obr.1a). Čím menší je plocha štěrkoviště, tím je obvykle větší při daném odběru vody snížení hladiny vody ve štěrkovišti.

Dobu zdržení vody ve štěrkovišti je třeba odhadnout s ohledem na velikost a umístění odběru vody, místo a intenzitu těžby horniny, objem vody ve štěrkovišti a možný výskyt zkratových proudů v nádrži směrem k odběrnému objektu.

PŘÍRODNÍ REŽIM PROUDĚNÍ BEZ ŠTĚRKOVISŤĚ



a) čerpání ze štěrkovisťě

b) štěrkovisťě bez čerpání

Obr. 1 Průběh hladin ve zvodni a štěrkovisťi v proudu podzemní vody

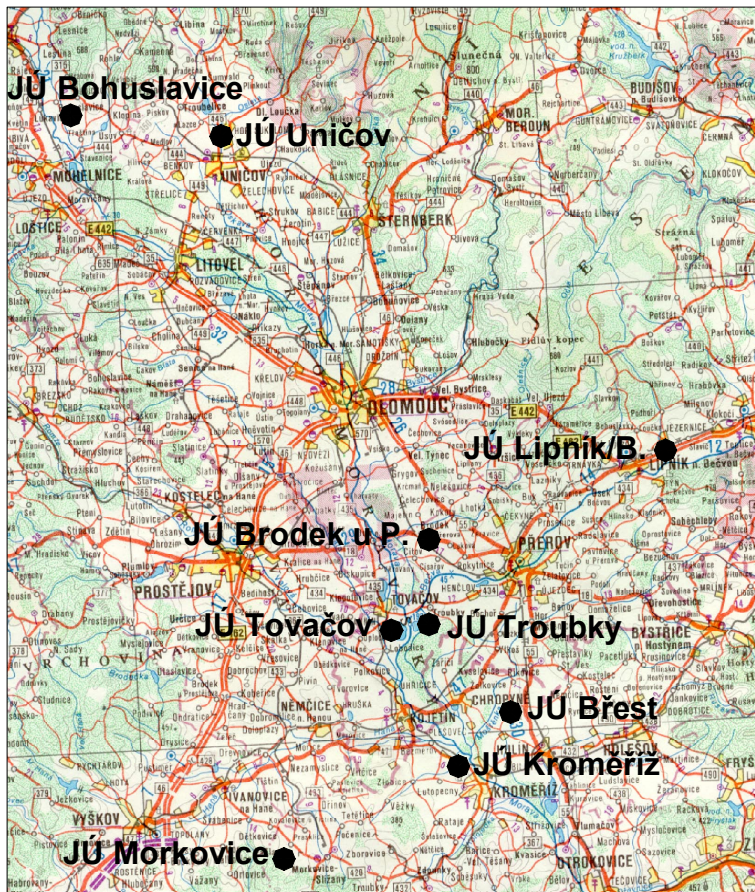
S ohledem na průsakové poměry na břehových hranách těžebny dochází obvykle při těžbě a větších odběrech vody z těžebny k drénování okolní zvodně (Obr.1). Tím je omezena kolmatace břehů těžebny, snížení propustnosti břehových hran (popř. dna) a následné snížení vydatnosti vodního zdroje. V případě pomalé těžby a současné infiltrace vody do zvodně (viz výše) může dojít k určitému „zatažení břehové linie“ vznášeným jemnozrnným materiálem (možný důsledek těžby). Při modelování doporučujeme tento efekt zohlednit zavedením nižší propustnosti do pásu elementů podél předpokládané hranice vysakování vody z těžebny.

Co se týká zranitelnosti zdroje pitné vody ve štěrkovisťi, je potřeba kromě posouzení zranitelnosti zvodně posoudit přímé ohrožení jakosti vody v těžebně, a to s přihlédnutím k možné kontaminaci vody v důsledku těžby (těžební mechanismy, třídění, doprava apod.) a dalších aktivit v okolí těžebny (některé těžebny jsou rekreačně využívány). Vzhledem k umístění v údolní nivě je třeba rovněž posoudit riziko zaplavení těžebny v případě povodňové situace a nutnost případného odstavení odběru v případě kontaminace vody ve štěrkovisťi říční vodou z rozlivů.

7. Praktické aplikace

Uvedený postup byl použit při revizi a stanovení ochranných pásem 2. stupně devíti jímacích území umístěných v údolních sedimentech řek Bečvy a Moravy a jejich přítoků (Obr. 2). Níže uvedená jímací území představují v souhrnu významný zdroj pitné vody s maximální využitelnou vydatností až 710 l/s. Tyto zdroje jsou schopny zásobovat zhruba 300 tisíc obyvatel nejen v místě jímacích území, ale i v rozsáhlejší území v okolí Přerova a Kroměříže.

V rámci ověření navržené metodiky byly modelově zpracovány podklady pro revize ochranných pásem následujících jímacích území:

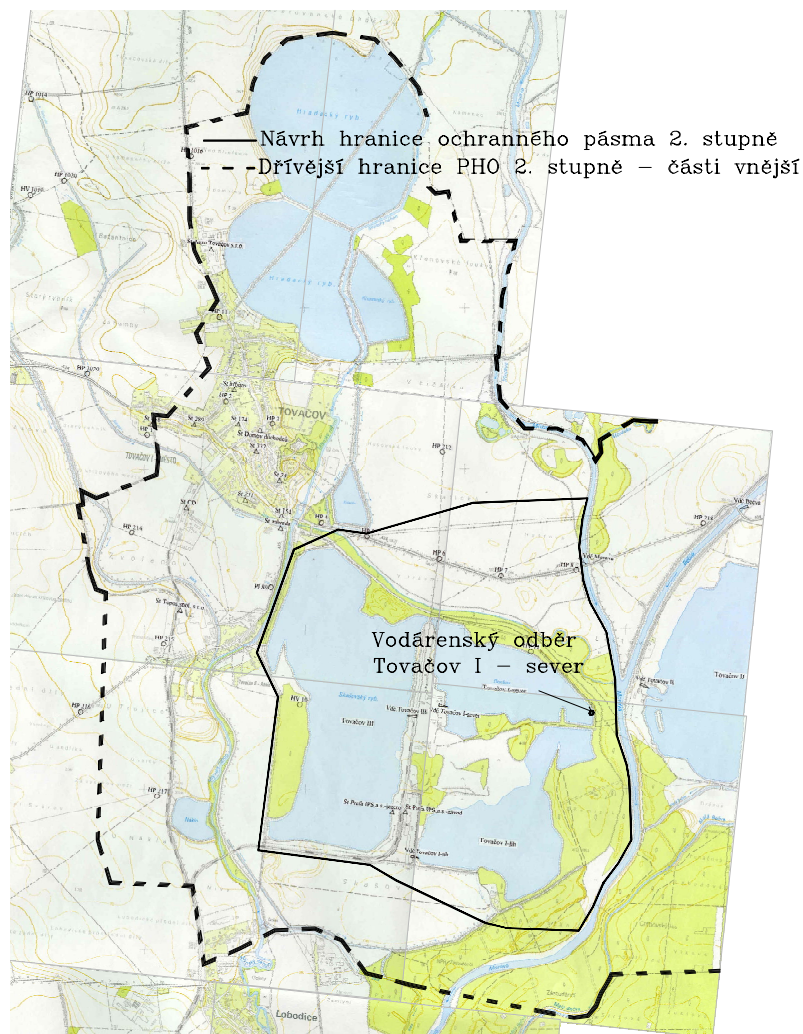


Obr. 2 JÚ, v nichž byla provedena revize OP 2. stupně

- JÚ u Lipníka nad Bečvou s maximálním povoleným odběrem 50 l/s;
- JÚ u Uničova s maximálním povoleným odběrem 13 l/s;
- JÚ u Břestu s maximálním povoleným odběrem 65 l/s;
- JÚ u Bohuslavic s maximálním povoleným odběrem 72 l/s;
- JÚ u Brodku u Přerova s maximálním povoleným odběrem 45 l/s;
- JÚ u Troubek s maximálním povoleným odběrem 200 l/s;
- JÚ u Tovačova s maximálním povoleným odběrem 160 l/s (Obr.3);
- JÚ u Kroměříže – u Hradiska, Postoupek, Miňůvek a v Podzámecké zahradě s celkovým maximálním povoleným odběrem 100 l/s;
- JÚ u Morkovic s maximálním povoleným odběrem 7 l/s.

8. Závěr

Výsledky modelových řešení rozsahu ochranných pásem 2. stupně v návaznosti na legislativní změny ukazují, že ve většině případů byl původní rozsah ochranných pásem 2. stupně podzemních vodních zdrojů značně nadhodnocen. Prakticky ve všech řešených případech byla navržena podstatná redukce rozsahu ochranných pásem, a to cca od 20 % do 60 % podle místních podmínek. To po projekčním dořešení, vodoprávním projednání a vyhlášení může vést k výrazné úspoře finančních prostředků organizací odebírajících podzemní vodu za účelem její úpravy na vodu pitnou, a to v důsledku snížení rozsahu náhrad za omezení práv a za újmy vlastníkům pozemků způsobené ochrannými podmínkami. Tato skutečnost by se ve svém důsledku měla odrazit i ve vývoji cen vodného v daném regionu.



Obr. 3 Příklad revize ochranného pásma 2. stupně JÚ u Tovačova

V současné době je uvedená problematika předmětem řešení části vědeckovýzkumného záměru VUT – MSM 261100006 Vývoj metod modelování a řízení vodohospodářských a dopravních systémů, jehož koordinátorem je Doc. Ing. Vlastimil Stara, CSc. Výzkum ukázal některé dílčí problémy při modelování, které bude třeba v následujících letech v této souvislosti řešit. Jsou to:

- Potíže spojené s malou přesností výsledků řešení v místě singularit, a to zejména bodových jímacích objektů, v jejichž blízkém okolí je proudění výrazně trojdimenzionální. Aproximace dvojrozměrným modelem dává sice z pohledu celé zvodně přijatelné výsledky, v okolí jímadel je však třeba při stanovení doby zdržení vody v hornině zohlednit skutečné poměry ve zvodni i s ohledem na vznik až několikametrové výronové plochy na plášti studní [6], [14].
- Při kalibraci modelu je vhodné aplikovat metody inverzního modelování, které objektivizují odhad parametrů modelu při jeho kalibraci. Tyto metody prozatím byly aplikovány pouze ojediněle zejména z důvodu obtížného zavedení parametru „okrajová podmínka“ do algoritmu inverzní úlohy [32], [51].
- Určitým problémem při interpretaci jakosti podzemní vody je malá četnost vzorkování. Ta je v praxi limitována zejména finančními nároky na vzorkování, které je hrazeno odběratelem vody. Aktuální otázkou je v této oblasti optimalizace prostorového uspořádání a četnosti odběrů vody z hydrogeologických pozorovacích objektů. Výhledově by se měl způsob vzorkování blížit požadavkům Společného stanoviska (ES) č. 41/1999 přijatého Radou

22. 10. 1999 za účelem přijetí Směrnice Evropského parlamentu a Rady ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.

Výsledky výzkumných prací a zkušenosti získané při jejich praktické aplikaci byly autorem zpracovány do 2. návrhové etapy pilotního projektu vodohospodářského plánu povodí, a to jak v jeho obecné části, tak konkrétně v pilotním projektu povodí Opavy.

9. Řešení problematiky modelování proudění podzemní vody na FAST VUT v Brně

Řešení úloh proudění podzemní vody má na Fakultě stavební bohatou historii. V této souvislosti je třeba zmínit práce Prof. Ing. Jiřího Kratochvíla, DrSc. a Prof. Ing. Václava Hála, DrSc. z let 1960 až 1990, na něž autor ve svých pracích navázal. V devadesátých letech byla problematika proudění vody v horninovém prostředí na Ústavu vodních staveb FAST VUT v Brně řešena zejména v rámci vědeckovýzkumných projektů [77], [78], [80], [81], [83], [87] a [88] a také na základě zvýšené poptávky po výstupech z této oblasti v souvislosti s revizí ochranných pásem zdrojů podzemní vody [8], [11], [16], [33], [36], [37], [39] až [41], [43] až [45], [48], [52] až [55], ochranou životního prostředí [7], [9], [11], [22] a výstavbou a provozem vodohospodářských staveb [3], [13], [27] až [31], [34], [35], [46], [50] a [51]. Autor se v letech 1990 až 2000 podílel na řešení následujících výzkumných, projekčních a posudkových prací souvisejících s modelovým řešením úloh filtračního proudění:

- [1] Říha, J.: Metody modelování proudění vody v geologických prostředích, písemný referát ke kandidátské zkoušce, FAST, VUT v Brně, 1991.
- [2] Kratochvíl, J. a kol.: Počítačové modelování prostorového proudění podzemní vody v geologickém prostředí FÚ č. 42 – průběžné zprávy za roky 1991 a 1992, VUT v Brně.
- [3] Říha, J. – Holomek, P. – Ohera, T.: Podzemní vody v oblasti průplavu Dunaj – Odra – Labe, stupeň Tvrdonice, zpráva HČ, VUT v Brně, srpen 1992.
- [4] Baker, P. C. – Butcher, D. P. – Říha, J.: Astley Moss – Water table monitoring and hydrological modelling, University of Huddersfield, 1/1993.
- [5] Říha, J.: Matematické modelování prostorového proudění podzemní vody, kandidátská disertační práce, Brno, duben 1993.
- [6] Říha, J.: The Three – Dimensional Free Surface Flow Through Porous Media Using Finite Element Residual Procedure, International Symposium, Stará Lesná, květen 1993.
- [7] Menšík, M. – Říha, J.: Matematický model hydraulické ochrany podzemních vod v okolí Přerovských strojírén, zpráva HČ, VUT v Brně, červenec 1993.
- [8] Menšík, M. – Říha, J.: Hydrodynamický model poděbradské zřídelní struktury, zpráva HČ, VUT v Brně, listopad 1993.
- [9] Říha, J. – Menšík, M.: Matematický model proudění podzemní vody v pravobřežní části údolní nivy Moravy mezi jejím odlehčovacím ramenem a Syrovínkou, součást grantového projektu AV ČR č. 31425 „Prognózy režimu podzemní vody v závislosti na změnách geografických podmínek“, Brno, prosinec 1993.
- [10] Říha, J. a kol.: Počítačové modelování prostorového proudění podzemní vody v geologickém prostředí, FÚ č. 42 – průběžná zpráva za rok 1993.
- [11] Menšík, M. – Říha, J.: Aplikace matematického modelu proudění podzemní vody při návrhu hydraulické ochrany podzemních vod, mezinárodní konference „Vplyv vodohospodářských stavieb na tvorbu a ochranu životného prostredia“, Bratislava, 1994.
- [12] Říha, J. a kol.: Počítačové modelování prostorového proudění podzemní vody v geologickém prostředí FÚ č. 42 – závěrečná zpráva, prosinec 1994.

- [13] Říha, J. a kol.: Proudění v obecném tvaru filtračního tělesa, dílčí část projektu GA/1787/93 Metodika kontroly provádění a provozu kořenových čistíren odpadních vod, Brno, 1994.
- [14] Říha, J.: The Three – Dimensional Phreatic Groundwater Flow – the Seepage Face Problems and Their Solution by the Residual Flow Finite Element Method, 9th International Conference – Numerical Methods in Laminar and Turbulent Flow, Atlanta, USA, 7/1995.
- [15] Říha, J.: Recenze příspěvku č. HFF388 „Mixed Convection in Non-Newtonian Fluids Along a Vertical Plate in Porous Media with Surface Mass Transfer“, vyžádáno od editorů C. Taylor a V. A. Huhgese, Int. J. of Num.Methods for Heat & Fluid Flow, 7/1995.
- [16] Říha, J.: Hydrogeologický posudek vlivu ČOV Milonice na podzemní zdroje pitné vody Milonice – Lažany, Vodárenská a. s., divize Boskovice, 11/1995.
- [17] Říha, J.: Recenzní posudek publikace Groundwater Regimes and Resources Forecasting. Methods and Practical Applications – část Dr. Kříže. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, 4/1996.
- [18] Říha, J. a kol.: Matematické modelování hydrodynamických a disperzních jevů, závěrečné dokumenty „Rozvojového projektu FR 260780“, VUT v Brně, 11/1996.
- [19] Kříž, H.: Groundwater Regimes and Resources Forecasting. Methods and Practical applications, PC-DIR Brno, 1996 – spoluautor.
- [20] Říha, J. a kol.: Mathematical modelling of hydraulical and dispersion phenomena, Workshop 1997, ČVUT v Praze, leden 1997.
- [21] Říha, J. a kol.: Matematický model hydrodynamických a disperzních jevů, 8. studio MSPB, VUT v Brně, únor 1997.
- [22] Říha, J.: Štěpánov – Hodnocení vlivu otvírky a těžby štěrkopísků u obce Štěpánov na ŽP, část C-III-B2 EIA, EKOAUDIT, s. r. o., 2/1997.
- [23] Kříž, H. – Říha, J.: Vliv břehové infiltrace vody z řeky Moravy na režim podzemní vody v její údolní nivě, Vodohospodářsky časopis (J. Hydrol. Hydromech.), 45, 1997, 6, 437–454.
- [24] Říha, J. a kol.: Matematické modelování hydrodynamických a disperzních jevů, PC-DIR, Brno, 1997.
- [25] Říha, J.: Posudek GAČR – Numerické modelování migrace ropných látek v podzemních vodách pro optimalizaci sanačních postupů a prognózování následků úniků, 1997.
- [26] Říha, J.: Posudek GAČR – Metody sanace kontaminovaných regionálních zvodní a jejich numerické modelování, 1997.
- [27] Říha, J.: Hydrogeologická studie zájmového prostoru pro těžbu ložiska štěrkopísků Nedakonice, Hydraulická část, Ekoaudit, 7/1997.
- [28] Říha, J.: Spojená Orlice a Labe v Hradci Králové – Hydrotechnické posouzení průsakových poměrů v ochranných hrázkách, Aquastis Brno, březen 1998.
- [29] Říha, J.: Choryně – ohrázkování Bečvy. Posouzení průsakových a stabilitních poměrů ochranných hrázek, Ústav vodních staveb FAST, VUT v Brně, duben 1998.
- [30] Říha, J.: Vegetační čistírny – proudění v obecném tvaru filtračního tělesa, odborný seminář „Nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren“, FAST, VUT v Brně, 6/1998.
- [31] Říha, J.: Modelové vyhodnocení dopadů odstavení místních zdrojů podzemní vody v lokalitách Suchdol nad Odrou, Vražné, Hůrka a Bernartice nad Odrou, Hydrogeologie, 3/1999.
- [32] Říha, J.: Oponentský posudek doktorské disertační práce Ing. Tomáše Ryla, téma „Určení parametrů modelu dvojrozměrného proudění podzemní vody metodou inverzního modelování“, FAST, VUT v Brně, březen 1999.

- [33] Říha, J.: Modelové řešení rozsahu ochranného pásma 2. stupně JÚ Závrbek u Lipníka nad Bečvou, *Hydrogeologie*, 5/1999.
- [34] Říha, J. – Stara, V.: Závaha Nechvalín, znalecký posudek netěsnosti nádrže z hlediska projekčního řešení a provedení stavby, Večeřa – Meliorace, v. o. s., květen 1999.
- [35] Říha, J.: Modelové vyhodnocení dopadů odstavení místních zdrojů podzemní vody v okrese Nový Jičín, variantní posouzení účinku asanačního čerpání v JÚ Hůrka na úroveň hladiny podzemní vody v Bernarticích nad Odrou, *Hydrogeologie*, 7/1999.
- [36] Říha, J.: Modelové řešení rozsahu ochranného pásma 2. stupně JÚ Uničov, *Hydrogeologie*, 7/1999.
- [37] Říha, J.: Modelové řešení rozsahu ochranných pásem zdrojů podzemních vod, konference „Vplyv vodohospodárskych stavieb na tvorbu a ochranu životného prostredia“, Krpáčov, SR, 11/1999.
- [38] Říha, J.: Hydrogeologické posouzení vlivu nové výstavby administrativní budovy Moravskoslezské Kooperativy ul. Rašínova na základy domu Jakubské náměstí 2, Správa nemovitostí města Brna, listopad 1999.
- [39] Říha, J.: Modelové řešení rozsahu ochranného pásma 2. stupně JÚ Břest, *Hydrogeologie*, 11/1999.
- [40] Říha, J.: Modelové řešení rozsahu ochranného pásma 2. stupně JÚ Bohuslavice, *Hydrogeologie*, 12/1999.
- [41] Říha, J.: Nové přístupy při řešení rozsahu ochranných pásem zdrojů podzemních vod, seminář „Vývoj metod modelování a řízení vodohospodářských a dopravních systémů“, Brno, 1/2000.
- [42] Říha, J.: Modelové vyhodnocení kolmatačního pokusu, seminář „Vývoj metod modelování a řízení vodohospodářských a dopravních systémů“, Brno, 1/2000.
- [43] Říha, J.: Modelové řešení rozsahu ochranného pásma 2. stupně JÚ u Brodku u Přerova, *Hydrogeologie*, 4/2000.
- [44] Říha, J.: Modelové řešení rozsahu ochranného pásma 2. stupně JÚ u Troubek, *Hydrogeologie*, 5/2000.
- [45] Říha, J.: Modelové řešení rozsahu ochranného pásma 2. stupně JÚ u Tovačova, *Hydrogeologie*, 7/2000.
- [46] Říha, J.: Modelové vyhodnocení dopadů ukončení vodárenského odběru podzemní vody v jímacím území u Stachovic, *Hydrogeologie*, 7/2000.
- [47] Říha, J.: Recenze příspěvku „Prognózy šírenia znečisťujúcich látok z bodových zdrojov vo zvodnenom systéme v zóne vplyvu navrhovaného VD Sered' – Hlohovec“, vyžádáno od editorů V. Nováka a J. Myšky, *J. Hydrol. Hydromech., ÚH SAV*, 7/2000.
- [48] Říha, J.: Modelové řešení rozsahu ochranného pásma 2. stupně JÚ u Hradiska, Postoupek a Miňůvek, *Hydrogeologie*, 9/2000.
- [49] Říha, J.: Posudek GAČR – Informační systém a hydraulický model oblasti Ostrava – Nová Ves pro zefektivnění protipovodňových opatření v nivě Odry, srpen 1998, 1999, 2000.
- [50] Dráb, A. – Jandora, J. – Říha, J. – Uhmánová, H.: Modelové řešení průsakových poměrů V. D. Vír, součást grantového projektu GAČR ř. č. 103/99/1470 – Extrémní hydrologické jevy v povodích, Ústav vodních staveb FAST, VUT v Brně, 9/2000.
- [51] Holomek, P. – Ryl, T. – Říha, J.: Použití metod inverzního modelování při stanovení filtračních charakteristik podloží přehradních vodních děl, Přehradní dny, Karlovy Vary, 10/2000.
- [52] Říha, J.: Modelové řešení rozsahu ochranného pásma 2. stupně JÚ v Kroměříži – Podzámecké zahradě, *Hydrogeologie*, 11/2000.
- [53] Malý, J. – Říha, J.: Metodika řešení rozsahu ochranných pásem, *SOVAK*, ročník 9, č. 6, s. 6/166–7/166, 2000.

- [54] Říha, J.: Modelové řešení rozsahu ochranného pásma 2. stupně JÚ u Morkovic, Hydrogeologie, 11/2000.
- [55] Říha, J.: Použití matematického modelování při řešení rozsahu ochranných pásem jímacích území umístěných v těžebných štěrkopísků, seminář „Vývoj metod modelování a řízení vodohospodářských a dopravních systémů“, Brno, 12/2000.
- [56] Říha, J.: Obchodně-administrativní a společenské centrum, Praha 4 – Krč, modelové řešení a koncepční návrh odvodnění stavební jámy a suterénu objektu, Arch-Design, 1/2001.
- [57] Říha, J.: Protipovodňová opatření na ochranu hl. m. Prahy, Etapa 004 – Holešovice–Stromovka, hydraulické posouzení průsakových poměrů a filtrační stability pod nábřežní zdi, Aquatis Brno, 1/2001.
- [58] Stara, V. a kol.: Vědeckovýzkumný záměr VUT – MSM 261100006 Vývoj metod modelování a řízení vodohospodářských a dopravních systémů, FAST, VUT v Brně, 1999 až 2004.

V rámci řešení výše uvedených výzkumných úkolů a disertačních prací byly sestaveny následující programové prostředky:

- [59] Říha, J.: HPV – Řešení úloh hydrauliky podzemní vody analytickými metodami, 1991.
- [60] Říha, J.: SOLVE – Řešení úloh prostorové filtrace s volnou hladinou pomocí metody konečných prvků, 1992.
- [61] Menšík, M.- Říha, J.: NEXX – Úprava software NECAD fy FEM consulting pro řešení úloh hydrauliky podzemní vody, 1993.
- [62] Menšík, M. – Plánička, P. – Říha, J.: FILTR3, FILTR4 – Řešení úloh horizontální filtrace metodou konečných prvků, 1993.
- [63] Říha, J.: VERT4 – Řešení úloh vertikální filtrace s volnou hladinou metodou konečných prvků, 1993.

V rámci řádné výuky a výuky v doktorském studiu se autor doposud podílel na výuce následujících předmětů:

Řádné studium

- Hydraulika podzemních vod, přednášky a cvičení.
- Automatizace inženýrských úloh, seminář.
- Hydrological and environmental modelling at groundwater hydraulics, přednášky v řádném BSc studiu. University of Huddersfield, 1992.

Výuka PGDS

- Hydraulika podzemních vod.
- Matematické modelování hydraulických jevů.

10. Přehled nejvýznamnějších prací

- [64] ŘÍHA, J.: The Three – Dimensional Phreatic Groundwater Flow – the Seepage Face Problems and Their Solution by the Residual Flow Finite Element Method, 9th International Conference – Numerical Methods in Laminar and Turbulent Flow, Atlanta, USA, 7/1995 (viz též [14]).
- [65] ŘÍHA, J.: Anglicko-český a česko-anglický slovník vodních staveb a vodního hospodářství, Akademické nakladatelství CERM, Brno, květen 1995.
- [66] ŘÍHA, J. – HLAVÁČEK, J.: Stream Water Quality Model, Problems Dealing with Model Calibration, konference Environment and Interaction, Porto, Portugalsko, 11/1996.

- [67] HYNKOVÁ, E. – JANDORA, J. – NEUMAYER, O. – ŘÍHA, J.: Experimental and Mathematical Modelling of the Flow at the Intake Part of the Hydropower Plant Libčice at Vltava river, Internationales Wasserbaukolloquium, Dresden, 10/97.
- [68] ŘÍHA, J. – DANĚČEK, J. – GLAC, F.: Vliv disperze na průběh koncentrací látek v toku, J. Hydrol. Hydromech., 45, 1–2, 1997.
- [69] ŘÍHA, J. a kol.: Matematické modelování hydrodynamických a disperzních jevů, PC-DIR, Brno, 1997, vedoucí kolektivu (viz též [24]).
- [70] ŘÍHA, J.: Specifické problémy při matematickém modelování proudění vody v síti vodních toků, Vodní hospodářství 8/1999, s.158–162.
- [71] ŘÍHA, J.: Protipovodňová ochrana jako nedílná součást územního plánování, Urbanismus a územní rozvoj, 6, 1999.
- [72] ŘÍHA, J. – DANĚČEK, J.: Matematické modelování porušení sypaných hrází v důsledku přelití, J. Hydrol. Hydromech., 48, 2, 2000.
- [73] KRATOCHVÍL, J. – STARA, V. – ŘÍHA, J. – HOLOMEK, S.: Prediction of Earth Dam Creep Behaviour Using Numerical Modelling, ICOLD 20th Congress, Beijing, China, 9/2000.
- [74] KRATOCHVÍL, J. – STARA, V. – ŘÍHA, J. – JANDORA, J.: Numerical and Experimental Research on Earth dam Breaching Due to Overtopping, the 4th International Conference on Hydrosience and Engineering, Seoul, Korea, 9/2000.
- [75] ŘÍHA, J.: Simple Numerical Model for River Network Water Quality Decision Support, the 4th International Conference on Hydrosience and Engineering, Seoul, Korea, 9/2000.
- [76] HOLOMEK, P. – ŘÍHA, J.: A comparison of breach modelling methods applied to the Slusovice earth dam, Dam Engineering, Vol. XI, Issue 3, 2000.

11. Úspěšně oponované výzkumné a pedagogické úkoly

a) Zodpovědný řešitel

- [77] *Počítačové modelování prostorového proudění podzemní vody v geologickém prostředí*, FÚ č. 42, 12/1994 – viz též [2], [10] a [12].
- [78] *Matematické modelování hydrodynamických a disperzních jevů*, rozvojový projekt FR 260780, VUT v Brně, 11/1996 – viz též [18] a [24].
- [79] *Návrh obecné metodiky pro sestavování matematických modelů kvality vody v síti vodních toků*, grantový projekt GAČR r. č. 103/99/0456 FAST, VUT v Brně 1999 až 2001.

b) Spoluřešitel

- [80] *Astley Moss – Water table monitoring and hydrological modelling*, University of Huddersfield, 1993 (Dr. Butcher) – viz též [4].
- [81] *Prognózy režimu podzemní vody v závislosti na změnách geografických podmínek*, grantový projekt AVČR č. 31425, Brno 1993 (RNDr. Kříž, DrSc.), řešitel části *Matematický model proudění podzemní vody v pravobřežní části údolní nivy Moravy mezi jejím odlehčovacím ramenem a Syrovínkou* – viz též [9].
- [82] *Zřízení nového směru se zaměřením na ŽP v rámci výchovy inženýra vodohospodáře*, externí grant č. 07/93 z Fondu dynamického rozvoje VŠ, 1993.
- [83] *Metodika kontroly provádění a provozu kořenových čistíren odpadních vod*, GA/1787/93, Brno, 1994 (Doc. Ing. Marhoun, CSc.), řešitel části *Proudění v obecném tvaru filtračního tělesa* – viz též [13].
- [84] *DÚ4 – Hydraulické vyhodnocení dynamiky odtoků – vyhodnocení povodňové situace z července 1997*, Praha 1998 (Ing. Havlík, CSc.), řešitel části *Extrapolace měrných křivek průtoku Morava – Kroměříž, Moštěnka – Prusy, Olše – Věřňovice*.

- [85] *Rizika porušení vzdouvacích staveb na tocích při extrémních hydrologických situacích*, grantový projekt GAČR r. č. 103/97/0175 FAST, VUT v Brně, 1997 až 1999. (Doc. Ing. Stara, CSc.).
- [86] *Strategie rozvoje měst po povodni*, grantový projekt GAČR č. 103/99/0780 FA, VUT v Brně (Doc. Ing. arch. Konvička, CSc.), řešitel části *Vodohospodářské aspekty*, 1999 až 2001.
- [87] *Extrémní hydrologické jevy v povodích*, grantový projekt GAČR ř. č. 103/99/1470, ČVUT v Praze (Prof. Ing. Patera, DrSc.), řešitel části *Bezpečnost vodohospodářských objektů*. 1999 až 2001 – viz též [50], [51].
- [88] *Vývoj metod modelování a řízení vodohospodářských a dopravních systémů*, vědecko-výzkumný záměr VUT r. č. MSM 261100006 (Doc. Ing. Stara, CSc.), řešitel *interního projektu Modelování a řízení kvality povrchových vod v systému vodotečí*, FAST, VUT v Brně, 1999 až 2004 – viz též [41] a [58].
- [89] *Projekt posouzení vlivu vegetačního doprovodu na zvýšení stability břehů údolních nádrží se zaměřením na prevenci vzniku a rozvoje břehové abraze*, grantový projekt GAČR ř. č. 103/01/0063 FAST, VUT v Brně (Dr. Ing. Šlezinger), 2001 až 2003.
- [90] *Výzkum metod monitorování ochranných hrází*, grantový projekt GAČR ř. č. 103/01/0057 FAST, VUT v Brně (Ing. Pařílková, CSc.), 2001 až 2003.

Abstract

The revision of protective zones of water resources based on the amendment of §19 of the Water Law (14/98 Sb.) and the notice of Ministry of Environment No 137/99 Sb. is intended on the complex and diversified water resources protection according to the character of the water source, natural conditions and the degree of exposure of the water source.

The documentation submitted at the process of groundwater protection zones revision consists of

- hydrogeological survey and basic data identification;
- numerical model of the groundwater flow;
- final completion and the design of the protection zone boundary location with respect to the land-owner property rights, restriction of activities within the protective zone etc.

Recently, the mathematical modelling is essential part of hydrogeological studies dealing with the groundwater resources protective zones revision and proclamation.

The two-dimensional model of groundwater flow presented in the thesis was derived with respect to the groundwater flow at Quaternary geological formations. In this model, small gradient of water table (piezometric head respectively) is assumed.

The special groundwater resources at Quaternary geological formations are abandoned or still exploited sand or gravel pits. They are donated mostly by the groundwater from the surrounding aquifer, partially by the bank infiltration from surface water bodies. Special modelling techniques are described, when applying two-dimensional groundwater flow model at the revision of protective zones of water sources located at gravel pits.

Nine practical applications of groundwater resources revision performed during the last two years are mentioned in the text.

As an conclusion it can be stated, that the extent of the majority of protective zones was overestimated and could be reasonably reduced. The reduction of the protective zones area is site specific and varies from 20 % to 60 %. The reduction of the extent of protection zones will reduce compensation expenses due to restrictions in the use of protected area (e.g. agricultural use) and it could influence trends of potable water cost.