

# Modelování kontaminace podzemní vody pro operativní řešení havárií

Bc. Petr Kupka

Institut geoinformatiky, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15,  
708 00, Ostrava Poruba, Česká republika  
petr.kupka1@gmail.com

**Abstrakt.** Diplomová práce se zabývá vytvořením aplikace, která by umožnila odhadnout zasažení vybraných objektů kontaminací v podzemní vodě. Po seznámení s principy hydrogeologického modelování byl zvolen vhodný program pro samotné modelování – ModPath. Podstatná část práce se zabývá možnostmi nastavení vstupních parametrů a souborů, dále testováním v pilotním území a poté porovnáním s výsledky v desktop programu. V závěru bylo vytvořeno rozhraní pro ovládání programu a implementace ve vhodném prostředí, kterým bylo zvoleno Google Maps API.

**Klíčová slova:** ModPath, hydrogeologie, kontaminace, API Google Map

**Abstract.** Modelling of Groundwater Contamination for Emergency Situations. Thesis is considered with the creation of application that would enable to estimate the hitting selected objects contamination in groundwater. After familiarization with the hydrogeological modeling was elected a suitable program for modeling itself - ModPath. The substantial part deals with the setting of input parameters and files, testing in pilot areas and then comparing with a desktop program. In conclusion, it was necessary to create their own interface to control and implement in an appropriate environment, which has been chosen Google Maps API.

**Keywords:** ModPath, hydrogeology, contamination, Google Maps API

## 1 Úvod

V posledním desetiletí jsme svědky rozšiřování počítačových technologií do téměř všech oblastí lidských činností. Ruku v ruce s touto skutečností také vzrůstají nároky uživatelů na kvalitu programového vybavení, lepší uživatelskou přívětivost a dostupnost aplikací pro různé oblasti využití. Výsledkem je možnost provádět i relativně odborné zpracování uživatelem se znalostmi, které by byly bez použití moderních programů nedostatečné.

Jednou z oblastí, kde je o moderní programové vybavení zájem, je hydrogeologické modelování. Jedná se o specifickou vědeckou oblast, kde i při řešení standardních úloh jsou nezbytné odborné znalosti. Význam této činnosti je nepopiratelný, jelikož

zásoby pitné vody se na mnohých místech naší planety ztenčují, přitom podpovrchová voda tvoří přibližně 25% zásob pitné vody a nezahrnujeme-li ledovce, jedná se o téměř 97% zásob.

Bohužel v dnešní společnosti často dochází k ekologickým haváriím, které mají za následek znečištění této vzácné suroviny a poškození či trvalé zničení kolektorů, které tvoří prostředí, kde se tato surovina shromažďuje. Při znalosti základních principů a parametrů šíření tohoto znečištění, je potřebné rychle identifikovat zdroje pitné vody, které by mohly být zasaženy, a přijmout co nejdříve odpovídající opatření. V takových případech je obtížné zajistit operativní služby hydrogeologa. Za předpokladu, že příslušný hydrogeologický model v dané oblasti je vytvořen, je však možné zajistit operativní přístup k výsledkům modelování a tak uživatelům poskytnout nástroje pro rychlé ocenění situace a stanovení dopadů.

Je tedy vhodné vytvořit dostupnou aplikaci s jednoduchým uživatelským rozhraním, která by byla schopna tyto simulace vytvořit. Cílovou skupinou, pro kterou by byla aplikace určena, by byl především Hasičský záchranný sbor zasahující u těchto havárií, případně specializované firmy zaměřené na ekologické likvidace havárií.

## **2 Cíl práce**

Cílem práce je připravit aplikaci ve vhodném prostředí, která by dovolila posoudit možnost zasažení vybraných objektů kontaminací v pozemní vodě. Konkrétní požadavky kladené na aplikaci jsou: znázornění trajektorie proudění podzemní vody s kontaminací v nasyceném prostředí, možnost určení objektů (hlavně zdrojů pitné vody apod.), které mohou být zasaženy a to buď grafickým znázorněním, nebo výčtem zasažených zájmových objektů, a možností zjistit čas zasažení těchto objektů od doby havárie.

Modelování proudění kontaminace bude provedeno ve vhodném nástroji vybraném podle požadovaných parametrů, kterým je především schopnost SW vypočítat a poskytnout trajektorii šíření polutantu nebo disponovat funkcemi, které mohou úlohu alespoň přibližně řešit. Dále musí být SW volně šiřitelný nebo open source, především kvůli neomezení obchodní a licenční politiky a možnosti širšího okruhu uživatelů díky nižší předpokládané ceně.

Předpokládá se realizace aplikace napsané ve vhodném programovacím jazyce a využívající síťové architektury klient-server.

Pro praktickou realizaci je nutné mít k dispozici model proudění podzemní vody, vytvořený např. v prostředí ModFlow (resp. v aplikaci typu GMS). Ten představuje základní vstup pro práci.

## **3 Postup řešení**

Na začátku práce bylo potřeba se seznámit s hydrogeologickými procesy, které mohou souviset s prouděním podzemní vody a převážně s šířením polutantu v tomto

nasyčeném prostředí. Tato odborná oblast pro mě byla doposud neznámá a pro další práci bylo nezbytné se seznámit alespoň se základními principy.

Při zadávání práce byly mým vedoucím práce navrženy dva postupy jak samotné modelování řešit, jejichž možnosti by bylo potřeba prozkoumat, nebo vyhledat, případně vymyslet řešení jiné. Jedním navrhovaným řešením bylo využití standardního SW pro GIS, nabízel se např. SW GRASS, druhým využití speciálního nástroje vyvinutého pro tento typ modelování, doporučen byl modul ModPath.

Po výběru vhodného nástroje bylo potřeba připravit a spustit simulaci šíření v pilotním území. Jednalo se o stěžejní část celé práce, která byla velmi problematická, než se podařilo dosáhnout akceptovatelných výsledků. Ty bylo potřeba následně porovnat s výsledky z komerčního desktopového produktu, který má v sobě stejný nástroj pro modelování včetně uživatelského rozhraní integrovan.

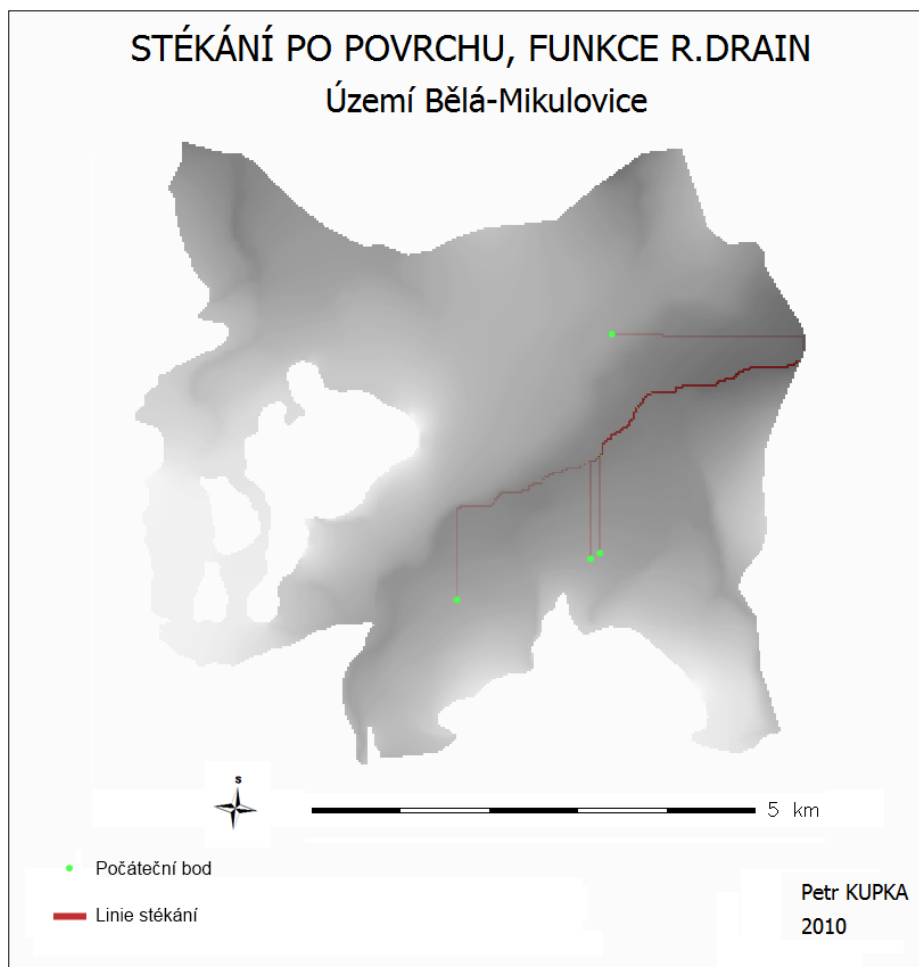
V závěru bylo potřeba zvolit prostředí vyhovující cílům práce s ohledem na realizovatelnost projektu, případně na vyhlídky do budoucna s možností dalšího rozvoje aplikace.

### 3.1 Analýzy v programu Grass

I přesto, že Grass je univerzální SW pro GIS a není speciálně vytvořen pro hydrogeologické modelování, obsahuje některé funkce, které do jisté míry mohou tyto speciální funkce nahradit. Obecný postup zpracování úlohy může vypadat takto:

1. Do prostředí Grass je načten digitální výškový model hladiny podzemní vody.
2. Kontrola DEM hladiny podzemní vody, zda neobsahuje lokální deprese. Pro tyto účely je možno využít funkce `r.fill.dir`. Pokud jsou lokální deprese nalezeny, funkce se jí pokusí odstranit a uloží upravený DEM do nového souboru.
3. Šíření kontaminace je zde možno simulovat pomocí funkce `r.drain`. Ta je primárně určena pro modelování stékání vody po terénu z jednoho daného bodu.
4. Funkce `r.drain` vytvoří rastrovou linii, pokud je potřeba transformace do vektorového formátu, využijeme funkce `r.to.vect` (umožňuje transformovat rastr jako vektorovou linii nebo polygon).
5. Možnost využití funkce `v.buffer`, která kolem linie v případě potřeby vytvoří obalové zóny zastupující disperzi kontaminace v horninovém prostředí (lépe je využít narůstající obalovou zónu).
6. Spuštění funkce `v.select`, která zjistí, zda vytvořená linie (resp. buffer) neprotíná vrstvu námi sledovaných objektů. Pokud ano, jsou tyto objekty zvýrazněny (dle nastavení, například červenou barvou).

7. Výstupem je zobrazený DEM s požadovanou linií kontaminace a případnými zasaženými objekty.



**Obr. 1.** Výstup funkce r.drain v prostředí GRASS.

Při porovnání výsledku analýzy se simulací vytvořenou v programu GMS Doc.Rapantovou [Obr. 3], dochází k evidentně rozdílným výsledkům, především u šíření z bodu v severo-východní části oblasti. Proto bylo toto řešení shledáno nepřijatelným pro další postup i s ohledem, že by se použily (rostoucí) obalové zóny pro větší rozsah šíření kontaminantu.

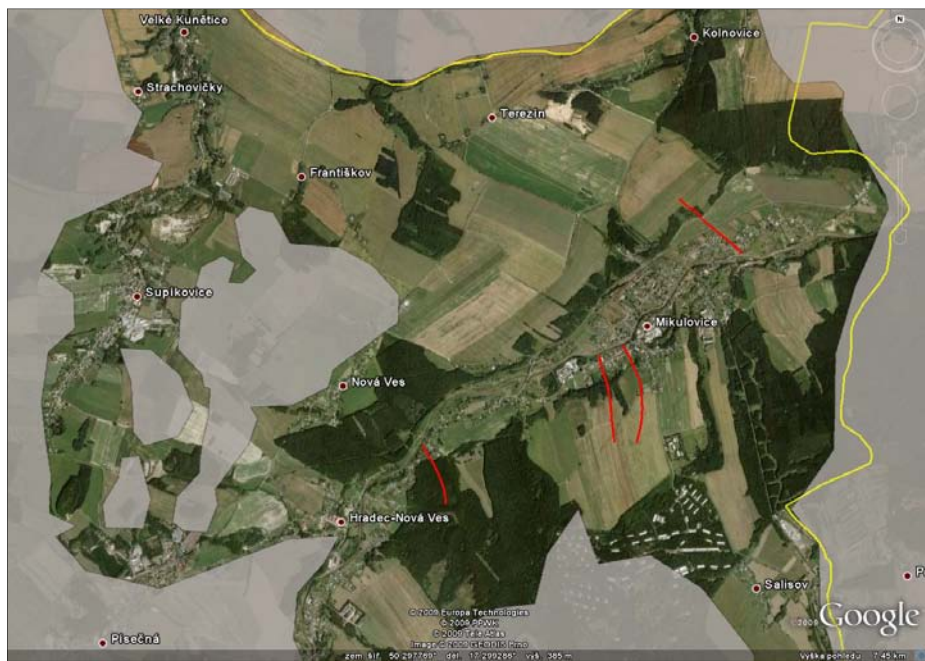
### 3.2 Postup řešení v ModPath

ModPath představuje post-procesingový nástroj, který ze simulace proudění vody a umístění a druhu částice (kontaminace) dokáže vypočítat a vykreslit pomocí ModPath-Plot trojrozměrnou dráhu toku částic a doby dotoku na základě vypočítaných rychlostí. Jedná se o nadstavbu modulu ModFLOW, což je modulární 3D model pro simulace proudění vody v nasyceném prostředí.

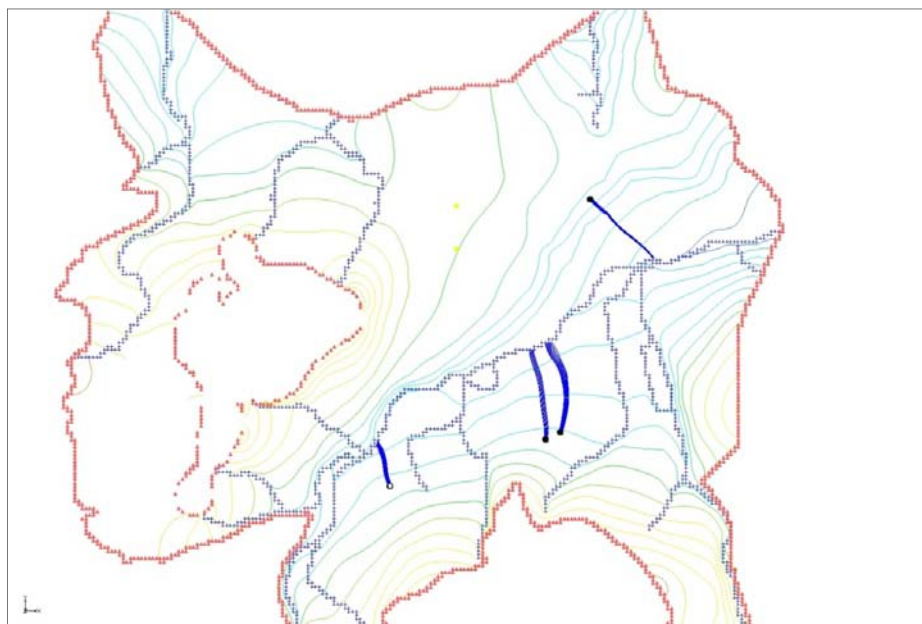
1. Vytvoření a správné nastavení MAIN file, s ohledem na použití a výstupní soubory z ModFlow.
2. Vytvoření NAME file, zahrnující veškeré vstupní i výstupní soubory použité při simulaci.
3. Úprava výstupního souboru ModFlow, tzv. DISCRETIZATION file
4. Vytvoření vstupního souboru s místním vstupních částic (v případě, že nechcete zadat umístění interaktivně při spuštění ModPath).
5. Vytvoření RESPONSE file (opět v případě, že chceme nastavení simulace načíst automaticky, ne postupných zadáváním v ModPath).
6. Spuštění ModPath

Porozumění sestavení vstupních souborů a správné jejich nastavení, bylo klíčové celé mé práci, narážel jsem na řadu problémů, především se špatnou dokumentací nových verzí ModPath vzhledem ke značným změnám v různých nastaveních oproti dobře zdokumentované staré verze (která ale nepodporovala dané ModFlow výstupní soubory a nebo například discretization file, bez kterého by se postup nedal zautomatizovat v budoucí aplikaci).

Další překážkou bylo správné nastavení souřadnic do místního systému ModPath, kdy musel být vytvořen vlastní algoritmus, jelikož SW pro tento účel určený (ModTools), vykazoval evidentní posunutí souřadnic a tento problém se mi nepodařilo vyřešit.



**Obr. 2.** Výstup simulace z ModPath (vizualizace Google Earth).

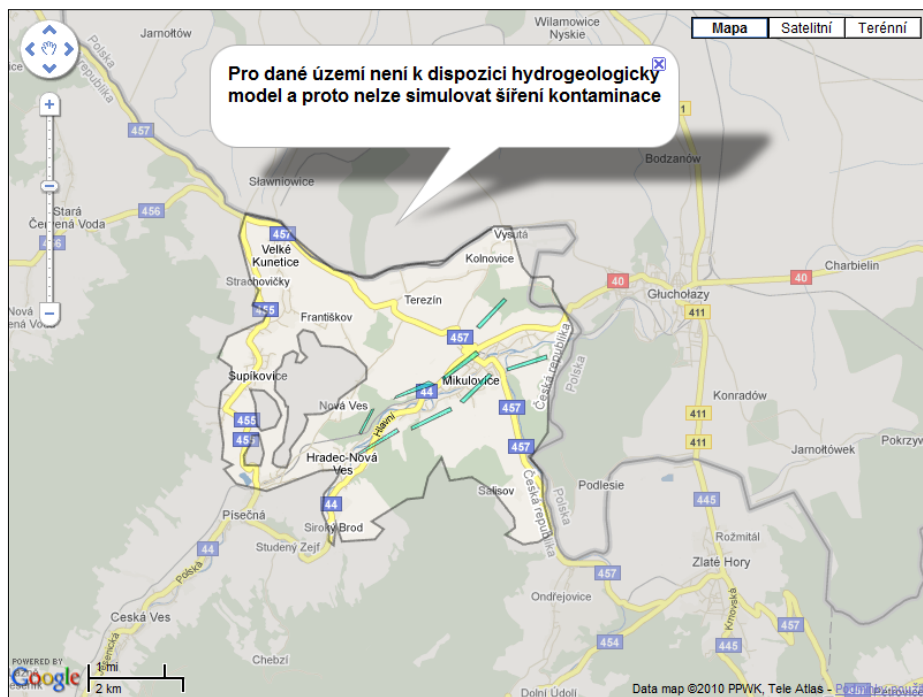


**Obr. 3.** Výstup simulace z GMS 6.0.

### 3.3 Tvorba aplikace

Jako klientská část aplikace bylo vybráno prostředí Google Maps API, díky snadné a zároveň kvalitní dokumentaci, dostatečným možnostem i výhledu do budoucna. Serverová část je postavena na CGI rozhraní, kde byl připraven samotným CGI skript napsaný v jazyce PERL. Ten zajišťuje následující úlohy:

1. Načtení parametrů do proměnné
2. Transformace souřadnic do formátu ModPath
3. Spuštění ModPath
4. Načtení výsledných hodnot ze souboru, transformace do UTM
5. Transformace do zeměpisných souřadnic
6. Průnik linie s objekty, uložení nalezených objektů do KML formátu
7. Uložení linie do KML formátu
8. Výstup skriptu



Obr. 4. Ukázka klientské části aplikace, ošetření zadávání vstupního bodu



Obr. 5. Příklad výsledku aplikace

## 4 Závěr

Podařilo se vytvořit funkční webový prototyp aplikace pro modelování šíření kontaminace v podzemní vodě při splnění všech požadavků definovaných v zadání práce. Výsledky porovnání s provedenou simulací v desktopovém programu GMS verze 6.0 ukazují dobrou shodu, i když se jí nepodařilo objektivně kvantifikovat.

V celém postupu jsem narážel na problémy především týkající se dosažení správných výsledků v modelovacím programu ModPath a to především kvůli nedostatečné dokumentaci nových verzí, které obsahovaly značné změny oproti starší, dobře zdokumentované verzi 3.2. Komplikace s transformacemi souřadnic z lokálního souřadnicového systému ModPath do systému použitého v mapě byla vyřešena vlastní implementací volně dostupné knihovny. Při samotné implementaci rozhraní jsem na žádné zásadní problémy nenarazil.

Využití programu GRASS a jeho funkcí pro dané potřeby se ukázalo jako nevhodné, dokud nebude implementována vhodná funkcionalita.

Nově vytvořená aplikace může sloužit pro demonstraci možnosti využití ModPath pro tvorbu jiných aplikací.



Další vývoj aplikace by mohl umožnit zadávání objemu a typu kontaminující látky. Rovněž GUI by bylo vhodné dále rozvinout a přizpůsobit potřebám konkrétních koncových uživatelů (včetně případné integrace do komplexního IS). Bude také potřebné rozhodnout, kde a jakým způsobem bude řešena editace zájmových objektů. Všechna tato rozšíření již ale překračují původní zadání DP a je potřebné je řešit ve spolupráci s koncovým uživatelem.