

Využití matematických modelů pro účely stanovení ochranných pásem vodního zdroje

Jan Baier, Jan Uhlík

PROGEO, s.r.o.

Tiché údolí 113

25263 Roztoky

tel. 233910935

progeo@1progeo.cz

www.1progeo.cz

Klíčová slova

Matematický model proudění podzemní vody, transportní model, ochranné pásmo, oblast zdrojů pro lidskou spotřebu, MODFLOW-USG, proudnice, vodní zdroj Nebanice, Chebská pánev

Abstrakt

V článku jsou popsány možnosti využití numerického modelu proudění podzemní vody (hydraulický model) a modelu šíření znečištění (transportní model) při procesu stanovení nebo aktualizace ochranných pásem vodních zdrojů, resp. při stanovení oblasti zdrojů pro lidskou potřebu.

Modelový výpočet proudění podzemí vody (založený na dostatečném množství vstupních dat) pomáhá zefektivnit proces stanovení ochranných pásem, adresovat jejich rozlohu do ploch nejnutnějších k ochraně vodního zdroje a pomáhá předejít k jejich pře/poddimezování.

Hydraulickým modelem jsou vypočteny úrovně hladiny a směry proudění podzemní vody v zájmovém území včetně doby dotoku podzemní vody z oblastí infiltrace k vodnímu zdroji. Je vyčíslena podrobná bilance proudění podzemní vody a je stanoven původ podzemí vody v jednotlivých jímacích objektech.

Aplikace transportních modelů přispívá ke stanovení zranitelnosti vodních zdrojů z hlediska potenciálního šíření kontaminace z rizikových oblastí hydrogeologického povodí. Šíření kontaminace především závisí na velikosti a rychlosti proudění podzemní vody. Při šíření kontaminace jsou uplatněny další procesy (ředění, sorpce, chemické reakce, preferenční proudění) a může tak docházet k odchýlkám od průměrné rychlosti proudu podzemí vody. Výsledky transportních modelů lze zároveň využít při projektování systému monitoringu jakosti podzemní vody.

V článku je dokumentovaný postup a výsledky hydraulického a transportního modelu realizovaného v programu MODFLOW-USG pro oblast vodního zdroje Nebanice v Chebské pánvi.

Úvod

Provoz vodních zdrojů, v závislosti na velikosti odběrů a na charakteristikách využívaných kolektorů, ovlivňuje hydrogeologické poměry v lokálním a často i v regionálním měřítku. Dochází k interakci s potřebami dalších subjektů využívajících podzemní vodu (soukromá zásobování vodou, minerální vody) nebo subjektů ovlivňujících kvalitu podzemní vody (zemědělství, průmyslová výroba, těžba surovin, vypouštění odpadních vod do vodotečí, zasakování atp.).

Existence ochranných pásem vodních zdrojů (OPVZ) nutí uživatele dotčených pozemků dodržovat předepsaná omezující a ochranná opatření. Do procesu aktualizace nebo stanovení nových ochranných pásem vodních zdrojů proto vstupuje mnoho zainteresovaných subjektů a často dochází ke konfliktu zájmů jednotlivých účastníků. Největší konflikty se zpravidla vyskytují u pozemků využívaných konvenčním zemědělstvím, u dobývacích prostorů nebo v intravilánech obcí a to zejména u pozemků využívaných (nebo projektovaných) pro komerční využití (průmyslové zóny, developerské projekty atp.).

Provozovatel vodního zdroje má proto při aktualizaci nebo stanovení nových ochranných pásem vycházet z patřičné znalosti hydrogeologických poměrů v lokalitě. Výsledný návrh proto musí být podepřen souborem co nejpřesnějších odborných podkladů, které z významné části může zajistit aplikace modelů proudění podzemní vody a transportu kontaminace.

Podrobný postup zpracování a vyhodnocení výsledků hydraulických modelů popisuje Uhlík a kol. (2017). Využití modelů pro zpracování bilance a managementu odběrů pro potřeby vodárenství je obsahem článku Uhlíka a kol. (2018).

V předkládaném článku je popsán spíše obecný postup aplikace matematického modelu a jsou dokumentovány hlavní podklady pro stanovení OPVZ.

Realizace numerického modelu proudění podzemní vody (hydraulický model) a modelu šíření znečištění (transportní model) je založena na analýze a syntéze celé řady vstupních dat z různých oborů:

- Hydrogeologie – analýza měřené hladiny podzemní vody, interakce s povrchovou vodou, vymezení kolektorů a izolátorů, funkce tektonických poruch, vlivu odběrů na poměry proudění, stanovení hydraulických parametrů horninového prostředí (hydraulická vodivost, storativita, pórovitost);
- Geologie – vrtná prozkoumanost, vymezení stropů a bází geologických těles, interpretace tektonických linií, rozpuštění horninového prostředí;
- Hydrologie – srážkové úhrny, rozložení srážek v zájmovém území, vyhodnocení průtoků v povrchových tocích, stanovení základního odtoku a efektivní infiltrace do podzemních vod;
- Geochemie – analýza chemických a fyzikálních vlastností podzemní vody, hodnocení časového vývoje kvality, stáří a původu podzemní vody;
- Geografie – geomorfologie zájmového území, topologie říční sítě;
- Informační technologie – statistické analýzy, zpracování vstupních dat do formy vhodné pro numerické modelování, prezentace výsledků.

Přesnost a důvěryhodnost realizovaných modelů souvisí s množstvím a kvalitou aplikovaných vstupních dat a schopnostmi zpracovatele modelu data odpovídajícím způsobem analyzovat a vyvodit z nich (stejně jako hydrogeolog bez nástrojů matematického modelování) co nejrealističtější závěry o poměrech proudění podzemní vody v zájmovém území.

Hydraulický model založený na důvěryhodných vstupních datech a popisující více stavů (např. simulace odběrů pro různé etapy využívání vodního zdroje), je možné využít i k prognózním simulacím (vliv zvýšení/snížení odběrů, realizace pískovny, zapojení vzdálenějších odběrů atp.). Vzhledem k návrhu ochranných pásem na několik desetiletí je využití predikčních modelů důležitým zdrojem podkladů pro jejich stanovení.

Model primárně realizovaný pro potřeby stanovení OPVZ má návazné uplatnění pro potřeby provozovatele vodního zdroje (intenzifikace odběrů, návrh nových odběrových míst, management odběrů atp.). Předpokladem je periodická aktualizace modelu a průběžné hodnocení vývoje hydrogeologických poměrů v lokalitě. V moderním pojetí se model stává

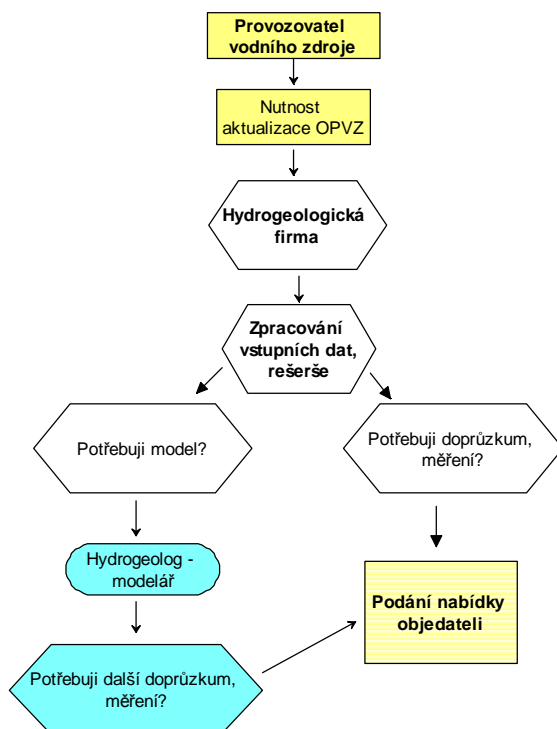
víceúčelovou databází pro analýzu uplynulých a předpověď budoucích (změny odběrů a klimatu) hydrogeologických poměrů v oblasti vodního zdroje. V databázi je průběžně kumulována dosažená znalost hydrogeologických poměrů.

Zapojení modelů do procesu stanovení ochranných pásem

Aplikace matematických modelů není nutnou podmínkou procesu stanovení nebo aktualizace OPVZ. Jejich aplikace závisí na odborném řešiteli OPVZ a na provozovateli vodního zdroje (investor). Matematické modely jsou aplikovány zejména v případech, kdy je nutno zohlednit:

- zájmy ochrany přírody (zůstatkové průtoky, minimální hladiny);
- možnost ovlivnění dalších odběratelů, nebo struktur cenných např. z hlediska výskytu minerálních vod;
- indukci zdrojů podzemní vody z povrchových zdrojů;
- kombinaci odběrů podzemní vody z více zvodní (např. odběry z kvartéru a z kolektorů křídových sedimentů);
- detekované znečištění podzemní vody;
- odběry z prostředí s komplikovanou geologickou stavbou (poruchové zóny, rozpukání, intruze žilných těles);
- nedostatečnou identifikaci infiltračních (zdrojových) oblastí jímané podzemní vody;
- existenci potenciálních zdrojů kontaminace;
- očekávání střetu zájmů ohledně rozsahu OPVZ.

K rozhodnutí o využití modelových prací pro řešení problematiky OPVZ nejčastěji vede kombinace výše uvedených předpokladů. Během modelových prací, zejména při analýze vstupních dat, dochází k vzájemným konzultacím obou stran s cílem identifikovat hlavní problémy hodnoceného území, případně rozhodnout o nutnosti doplňkového průzkumu hydrogeologických poměrů. Potřebná je úzká součinnost řešitele OPVZ a modeláře (pokud se nejedná o totožnou osobu či subjekt).



Obr. 1 Schéma rozhodovacího procesu při řešení problematiky OPVZ

Hlavní výstupy modelových prací

Výsledky modelových prací jsou předávány formou zprávy s grafickými přílohami a textovou částí. Obsaženy jsou relevantní informace pro vymezení OPVZ. Hlavními výsledky hydraulického modelu ve vztahu k řešení problematiky OPVZ jsou:

- popis poměrů proudění podzemní vody a vizualizace proudového systému;
- analýza bilance vodního zdroje se zaměřením na zastoupení zdrojů podzemní vody v jednotlivých jímacích objektech;
- zhodnocení přirozených (srážková infiltrace) a indukovaných (komunikace s povrchovými toky) zdrojů podzemní vody;
- analýza rychlosti, směru a doby zdržení podzemní vody z infiltračních oblastí k místům odběru;
- identifikace neúplných, nepřesných i chybějících dat, včetně posouzení jejich přínosu a vlivu pro řešení problematiky OPVZ.

Hlavním výsledkem transportního modelu je:

- posouzení šíření reálné/hypotetické kontaminace k vodním zdrojům (transportní cesta, čas dotoku);
- analýza ředění kontaminantu proudem podzemní vody (rozložení koncentrací – prostor a čas),
- identifikace rizikových míst v okolí vodního zdroje (z hlediska doby dotoku nebo výsledné koncentrace v prostoru vodního zdroje).
- V případě existence (současné nebo hypotetické) kontaminace v oblasti hodnoceného vodního zdroje (nebo kdekoliv v modelovém území) je možné následně transportní model využít při managementu sanačních prací nebo odběrů ve vodním zdroji s cílem minimalizovat vliv na kvalitu jímané podzemní vody.

Stanovení OPVZ a území zdrojů pro lidskou spotřebu vodního zdroje Nebanice

Příklad využití hydraulického a transportního modelu při řešení problematiky aktualizace OPVZ je prezentován pro vodní zdroj Nebanice v hydrogeologické struktuře Chebské pánve. Poměry hydrogeologické struktury Chebské pánve (Obr. 2) podrobně popisují např. Krásný a kol. 2012, Hercog (1978), Pazdera (1978) nebo Kolářová (1975).

Základní charakteristika Chebské pánve

V zájmovém území jsou vymezeny dva hydrogeologické rajóny:

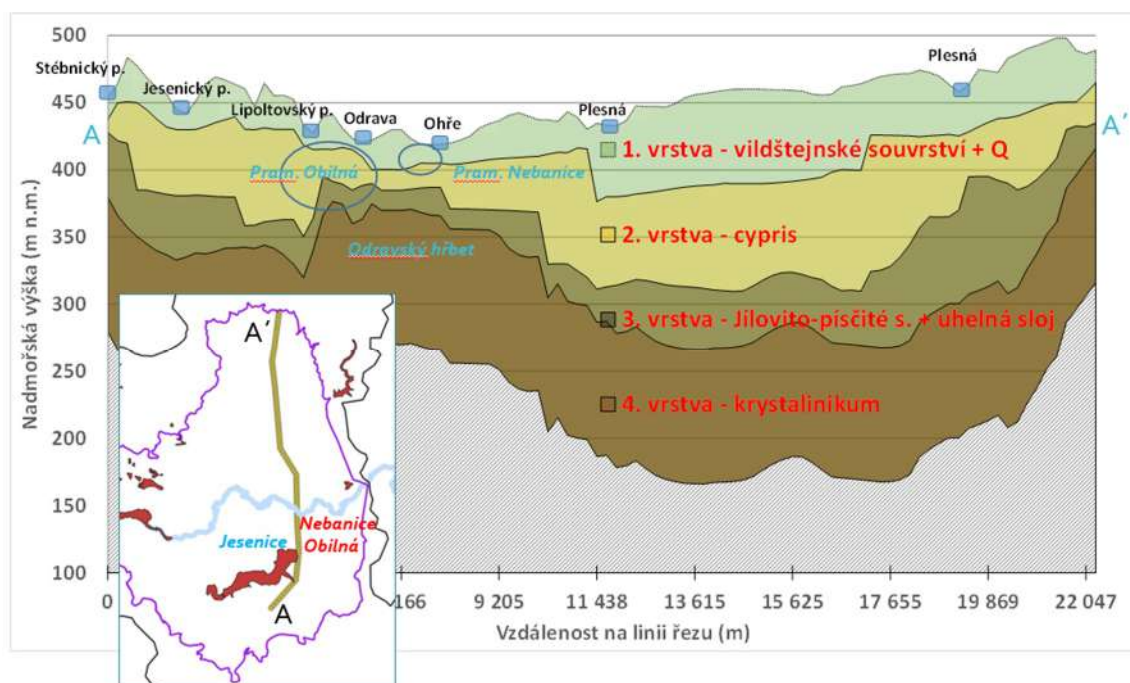
- základní hydrogeologický rajón 2110 Chebská pánev s plochou 329 km²,
- svrchní hydrogeologický rajón 1190 Kvartér a neogén odravské části Chebské pánve s plochou 127 km².

V prostoru sedimentárních hornin Chebské pánve a v podložních horninách krystalinika je vytvořen komplikovaný zvodněný systém, s akumulací jak prostých podzemních, tak minerálních vod. Modelová konceptualizace oblasti pánve je na Obr. 2. Celková mocnost terestrických paleogén-neogenních sedimentů pánve dosahuje až 300 m. Pánevní výplň je dělena do několika litostratigrafických jednotek:

- spodní jílovito-písčité souvrství – vyplňuje zejména deprese předtercierního reliéfu, dosahuje mocnosti maximálně 75 m, nepřekrývá souvisle podložní krystalinikum, charakteristické je střídání klastických sedimentů od jílu po štěrky – společně s rozvětraným povrchem krystalinických hornin a nadložního uhelného souvrství tvoří komplex bazálních kolektorů.

- Nadložní slojové pásmo – mocnost maximálně 40 m, větší rozsah než spodní jílovitopísčité souvrství, obsahuje zároveň polohy mezilehlých uhelných písků a jílu. Hydrogeologicky je souvrství řazeno ke komplexu bazálních kolektorů.
- Cyprisové souvrství – plošně nejrozšířenější souvrství spodně miocenního stáří dosahující mocnosti až 170 m. Tvořeno jíly a jílovci s karbonátovými vložkami. V okrajových partiích, zejména v odravské dílčí pánvi, je souvrství vyvinuto v písčité facii tzv. pestrého souvrství. Z hydrogeologického hlediska je součástí mezilehlého komplexu izolátorů oddělující bazální a svrchní komplex kolektorů. V ploše jsou charakteristiky souvrství proměnlivé a zejména v blízkosti vodní nádrže Jesenice vykazuje puklinově rozpukané souvrství anomálně vysokou transmisivitu – lokalizace jímacího území Nebanice II.
- Vildštejnské souvrství – mocnost souvrství je proměnlivá, dosahuje až 120 m. Střídají se zde písky a štěrky s vaznými, písčitymi jíly i polohami uhlí. Z hydrogeologického hlediska patří ke komplexu svrchních kolektorů, jejichž vody často hydraulicky souvisejí s povrchovou vodou v tocích (vce z vodních nádrží, Ohře, Odavy atp.) – lokalizace jímacího území Nebanice I.
- Kvartérní sedimenty jsou tvořeny zejména písky a štěrky s různým obsahem jílovité příměsi. V údolích hlavních vodních toků (Ohře, Odava, Plesná) jsou to zejména písečné štěrky, kryté nivními hlínami, jejich mocnost dosahuje několika metrů, výrazně se zvětšuje v soutokové oblasti Ohře a Odavy – lokalizace jímacího území Nebanice I. Na části území se vyskytují slatiny – především ve Františkových lázních, v Soosu a v oblasti soutoku Odavy a Lipoltovského potoka.

Podloží pánve je převážně tvořeno smrčským žulovým plutonem, východně od spojnice Františkovi lázně – Kačerov je podloží tvořeno metamorfním pláštěm smrčského plutonu – převážně fylity nebo svory s výrazně menší transmisivitou – vznik minerálních pramenů a úniků CO₂.

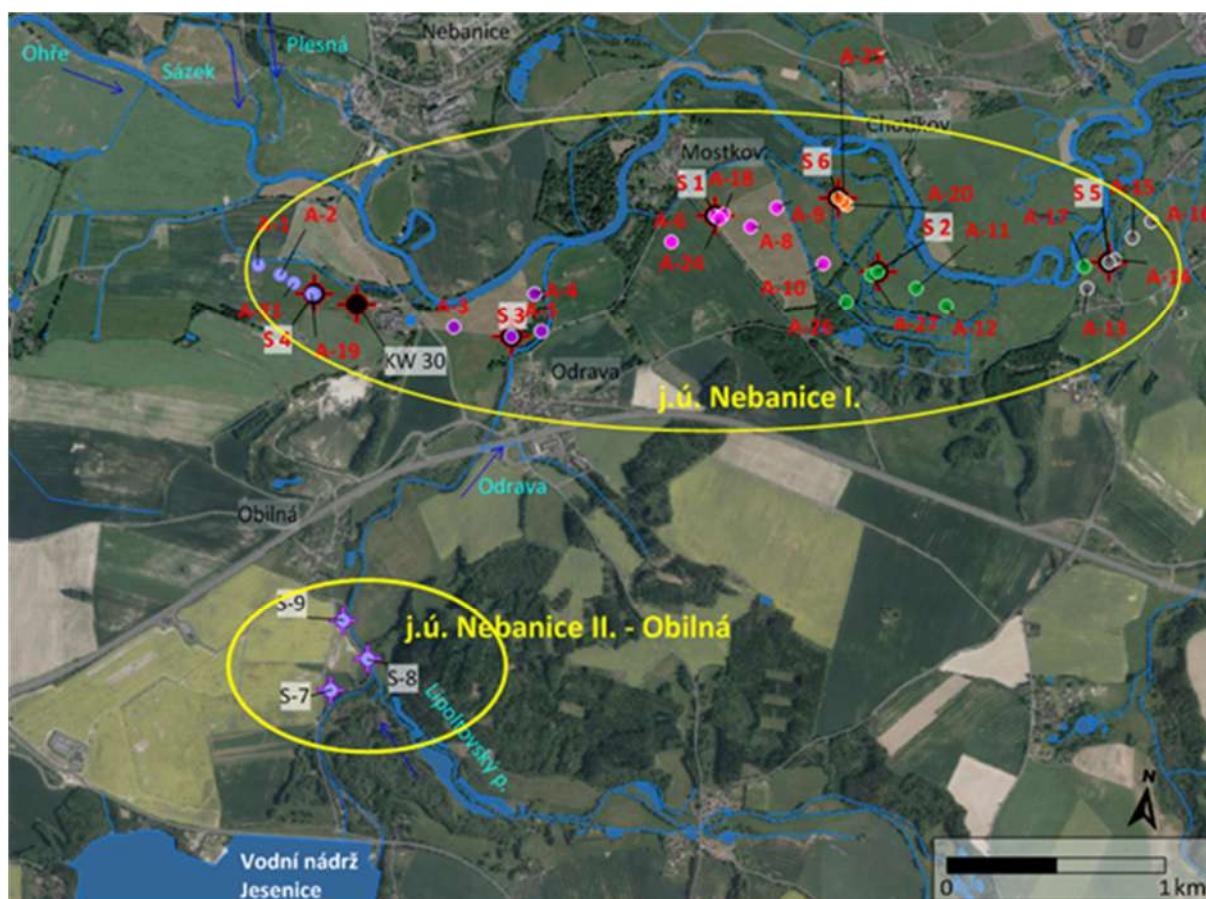


Obr. 2 Modelová konceptualizace oblasti Chebské pánve, specifikace modelových vrstev

Vodní zdroj Nebanice

Vodní zdroj Nebanice tvoří dvě samostatná jímací území (prameniště) Nebanice I a Nebanice II (Obr. 3):

- Prameniště Nebanice I. se nachází na pravém břehu toku Ohře a je tvořeno šesti sběrnými studnami S1 – S6 na které je napojeno 23 vrtaných studní. Odběry podzemní vody jsou realizovány ze sedimentů vildštejnského souvrství a kvartéru (štěrkopísky) o celkové mocnosti 13 - 27 m. Vlivem odběrů rovněž dochází k indukci vody z Ohře. V roce 2017 bylo z prameniště odebíráno $54 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, maximální vydatnost prameniště byla stanovena na $300 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ (Vacek 1983).
- Prameniště Nebanice II. (Obilná) je lokalizováno severně od hráze vodní nádrže Jesenice - na levém břehu Odry v soutokové oblasti s Lipoltovským potokem. Podzemní voda je jímána pomocí vrtů S6, S7 a S8, vystrojených pro obzor cyprisového souvrství. V roce 2017 bylo z vrtů průměrně jímáno $34 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, historicky byl Hercogem (1976) z oblasti prameniště půlroční čerpací zkouškou ověřen odběr $285 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ podzemní vody.



Obr. 3 Situace pramenišť Nebanice I a Nebanice II

Vymezení ochranného pásma je projektováno s cílem ochrany důležitých partií hydrogeologického povodí vodního zdroje Nebanice. Zejména se jedná o proudění podzemní vody v přípoверхové zóně Chebské pánve (vildštejnské souvrství + kvartér) ale i o proudění v hlubších částech pánve (cyprisové souvrství) jímáné v prameništi Nebanice II a částečně i v prameništi Nebanice I.

Diskretizace modelového území

Volba velikosti modelového území souvisí s hydrogeologickými podmínkami v posuzovaném území. Při vymezení vertikální a horizontální rozlohy modelu bylo nutné vzít v úvahu následující fakta:

- k jímání podzemní vody dochází ze dvou kolektorů s předpokládaným odlišným původem čerpané vody – lokální v prameništi Nebanice I a regionální v prameništi Nebanice II.
- V soutokové oblasti Ohře a Odry je předpokládáno regionální odvodnění Chebské pánve, část jímaných podzemních vod v prameništi Nebanice I má rovněž regionální původ.
- V širší oblasti vodního zdroje se vyskytují prameny minerálních vod a výrony CO₂. Aktuální, ani perspektivní odběr z vodního zdroje nemá ovlivnit oblast Františkových Lázní.
- Část jímané vody z pramenišť pochází z indukovaných zdrojů (Ohře, Odry a nádrž Jesenice).
- Historicky byla v každém z pramenišť potvrzena možnost odběru alespoň 250 l·s⁻¹.

Proudění podzemní vody bylo proto simulováno v celém vertikálním rozsahu sedimentů Chebské pánve včetně svrchní vrstvy podložních zvětralých krystalinických hornin. V horizontálním směru bylo modelové území rozšířeno až za hranice Chebské pánve (a HGR 2110) - na linii regionálních hydrologických rozvodnic. Je tak simulována bilančně uzavřená hydrogeologická struktura pro dotaci i odtok podzemní vody do vodních toků nebo jímacích objektů. Pro účely stanovení OPVZ je výpočetní síť v oblasti jímacích objektů vodního zdroje zahuštěna a proudění podzemní vody je řešeno v detailním měřítku. Regionální oblast umožňuje simulovat proudění a vznik zásob podzemní vody v širším prostoru Chebské pánve. Hydraulický model je vzhledem regionálnímu založení možné využít pro řešení otázek spjatých s prouděním podzemní vody v celém rozsahu pánevních sedimentů.

Postup zpracování hydraulického modelu

Po shromáždění a analýze vstupních dat byl sestaven koncepční model popisující poměry proudění v modelovém území. Stanovena byla velikost a plošné rozložení dotace (efektivní infiltrace) podzemní vody, rozložení hydraulických parametrů (hydraulická vodivost) a konstruován byl geometrický průběh jednotlivých modelových (a geologických) vrstev.

Kalibrace modelu byla provedena současně pro tři rozdílné varianty odběrů:

- maximální odběry z 80. let v prameništi Nebanice I – 223 l·s⁻¹;
- aktuální odběry z pramenišť Nebanice I – 81 l·s⁻¹ a Nebanice II (Obilná) – 36 l·s⁻¹;
- maximální odběry v prameništi Nebanice I – 223 l·s⁻¹ a maximální odběry v Obilné 285 l·s⁻¹.

Cílem kalibrace je zajistit soulad mezi modelem a dostupnými znalostmi hydrogeologické struktury. Současná kalibrace modelu pro tři rozdílné varianty odběrů zajistila jeho obecnou platnost pro předpověď poměrů proudění při různém rozložení jímání podzemní vody. Pro všechny varianty byly porovnány modelové a měřené hladiny podzemní vody (hladinové kritérium) a modelová a měřená drenáž v povrchových tocích (bilanční kritérium).

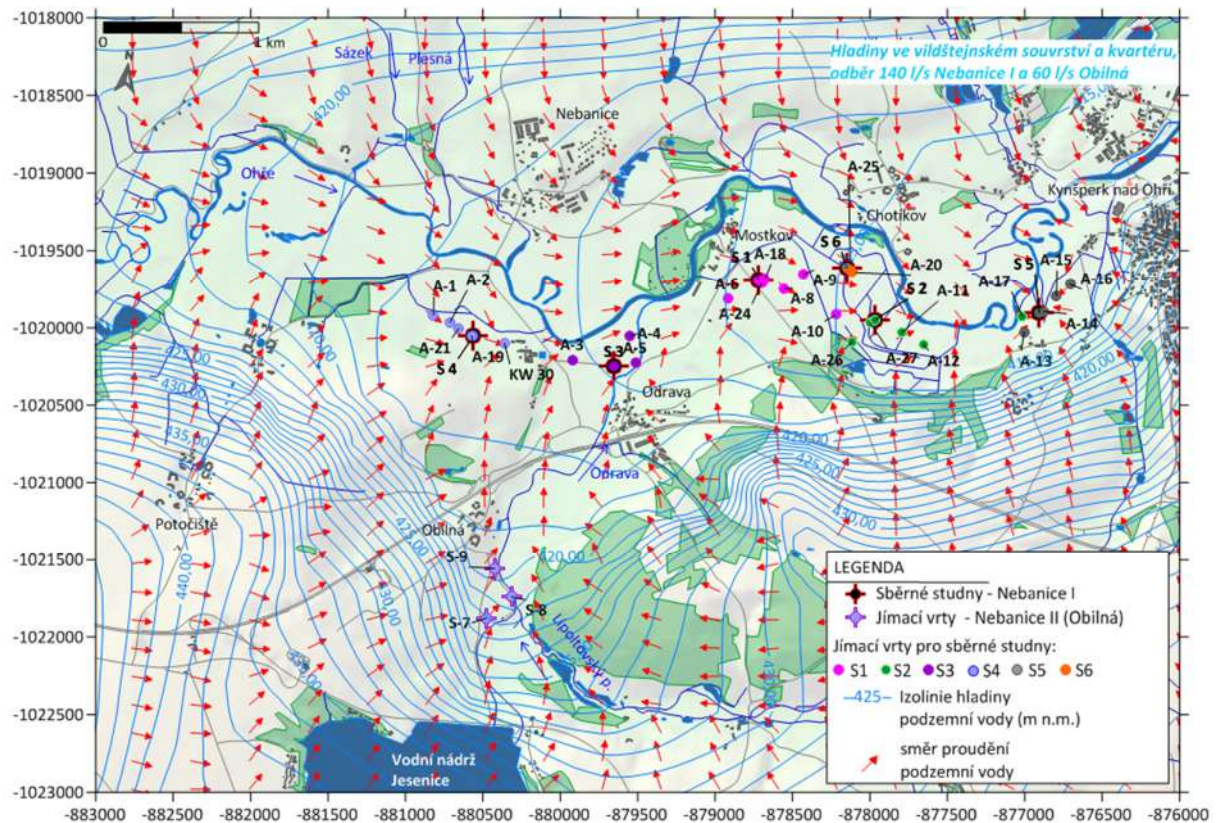
Podklady pro stanovení OPVZ i UZpLS byly stanoveny na základě výsledků prognózního modelu, ve kterém byly simulované perspektivní odběry odpovídající souhrnnému odběru z obou pramenišť 200 l·s⁻¹ (z toho 140 l·s⁻¹ připadá na prameniště Nebanice I). Zadané perspektivní odběry jsou přibližně dvojnásobné oproti aktuálně realizovaným odběrům. Cílem je zajistit ochranu vodního zdroje i pro období navyšování odběrů podzemní vody.

Simulace proudění podzemní vody jsou zpracovány s využitím softwaru MODFLOW-USG (Panday et al. 2013). Pro zadání, spuštění a export výsledků modelových simulací byl využit software Groundwater Vistas verze 7 (Rumbaugh a Rumbaugh, 2017). Simulace rychlosti pohybu částic (vody) v proudovém poli (particle tracking) byla provedena v programu mod-PATH3DU (Muffels et al. 2014). Všechny simulace reprezentují ustálený (stacionární) průměrný stav proudění podzemní vody, který nepostihuje vliv nerovnoměrného chodu klimatu.

Výsledky hydraulického modelu, perspektivní odběr, vymezení OPVZ

Prameniště Nebanice I je lokalizováno podél hlavní drenážní báze Chebské pánve – v nivě Ohře. K přítoku podzemní vody k prameništi dochází všesměrně (Obr. 4), přítoky se však liší svou intenzitou (Obr. 5). Dominuje přítok od severu a z jihu. Proudění podzemní vody v přivrškové vrstvě je do velké míry ovlivněno morfologií terénu a geologickou stavbou. V oblasti terénních elevací lze očekávat větší gradient proudění podzemní vody, v údolní nivě Ohře je sklon hladiny podzemní vody minimální. Jižně od prameniště Nebanice I se v podloží pánve nachází tzv. odravský hřbet, který se projevuje v celém vertikálním profilu pánve a je na něj vázáno hydrogeologické rozvodí mezi Lipoltovským potokem a Ohří.

Při malých odběrech je proud podzemní vody od severu částečně drénován do Ohře. V případě poklesu hladiny podzemní vody pod úroveň hladiny v toku dochází k vzezu říční vody do horninového prostředí. Ohře potom působí jako zdroj podzemní vody, velikostí závislý na velikosti odběrů.



Obr. 4 Modelové izolinie hladiny podzemní vody v oblasti vodního zdroje Nebanice – vildštejnské souvrství

Přítok k objektům prameniště z východu (bilančně nevýznamný) je limitován malou propustností hornin krystalinika (fylity) a blízkou rozvodnicí (vrch Smrčný). Ze západu je velikost přítoku podzemní vody ovlivněna propustností sedimentů v údolní nivě Ohře a

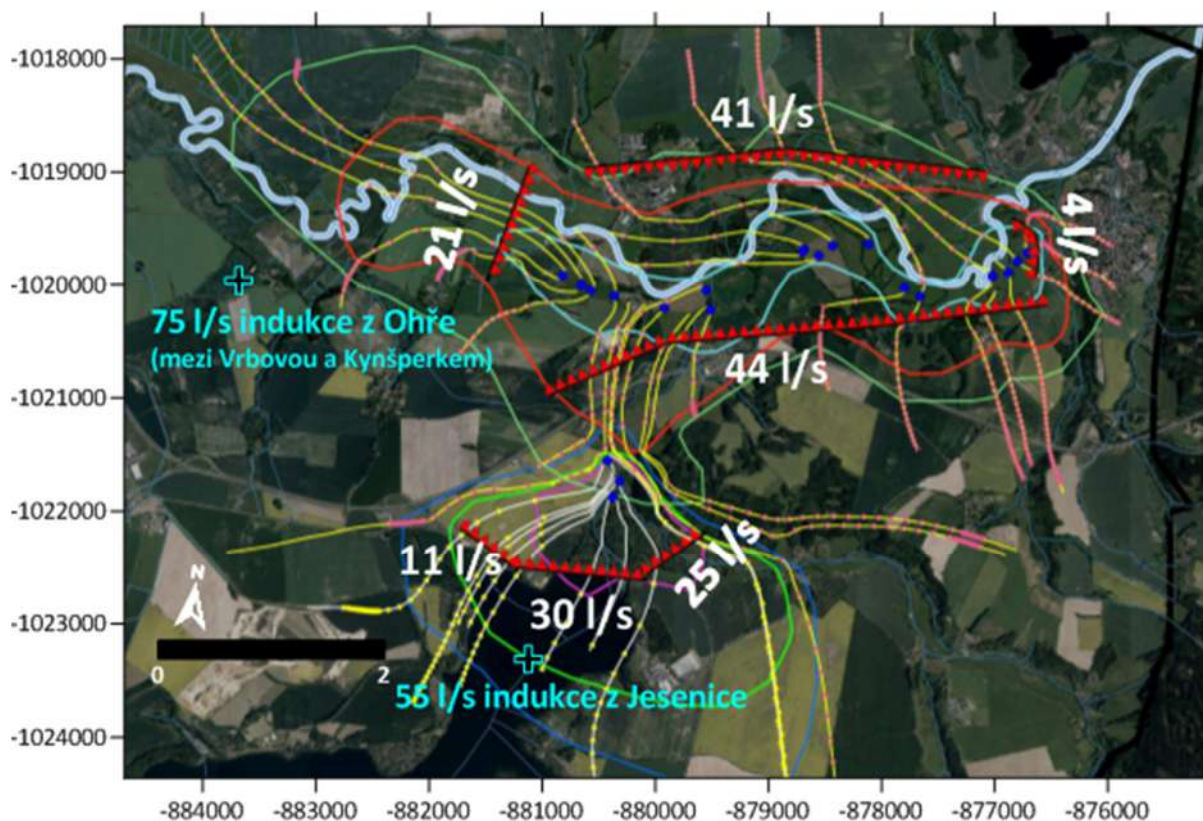
velikostí realizovaných odběrů. V nivě Ohře se směry proudění (od severu a jihu) mění a přibližně kopírují směr Ohře.

Návrhové perspektivní odběry v oblasti prameniště (140 l·s⁻¹) způsobují pouze lokální snížení hladiny podzemní vody, omezené na prostor údolní nivy Ohře a částečně Odravy.

V prostoru jímacího území Nebanice II – Obilná jsou zjištěny komplikované strukturní poměry. Významným prvkem je tektonicky predisponovaný Odravský hřbet. Na něm je redukována mocnost cyprisového souvrství a podložní souvrství nejsou zastoupena. Prameniště Nebanice II je situováno v zakleslé kře, která je ze severu odravským hřbetem omezena. Soutoková oblast Odravy a Lipoltovského potoka tvoří oblast přirozené akumulace a drenáže podzemní vody, která je navíc podpořená indukcí vody z nádrže Jesenice.

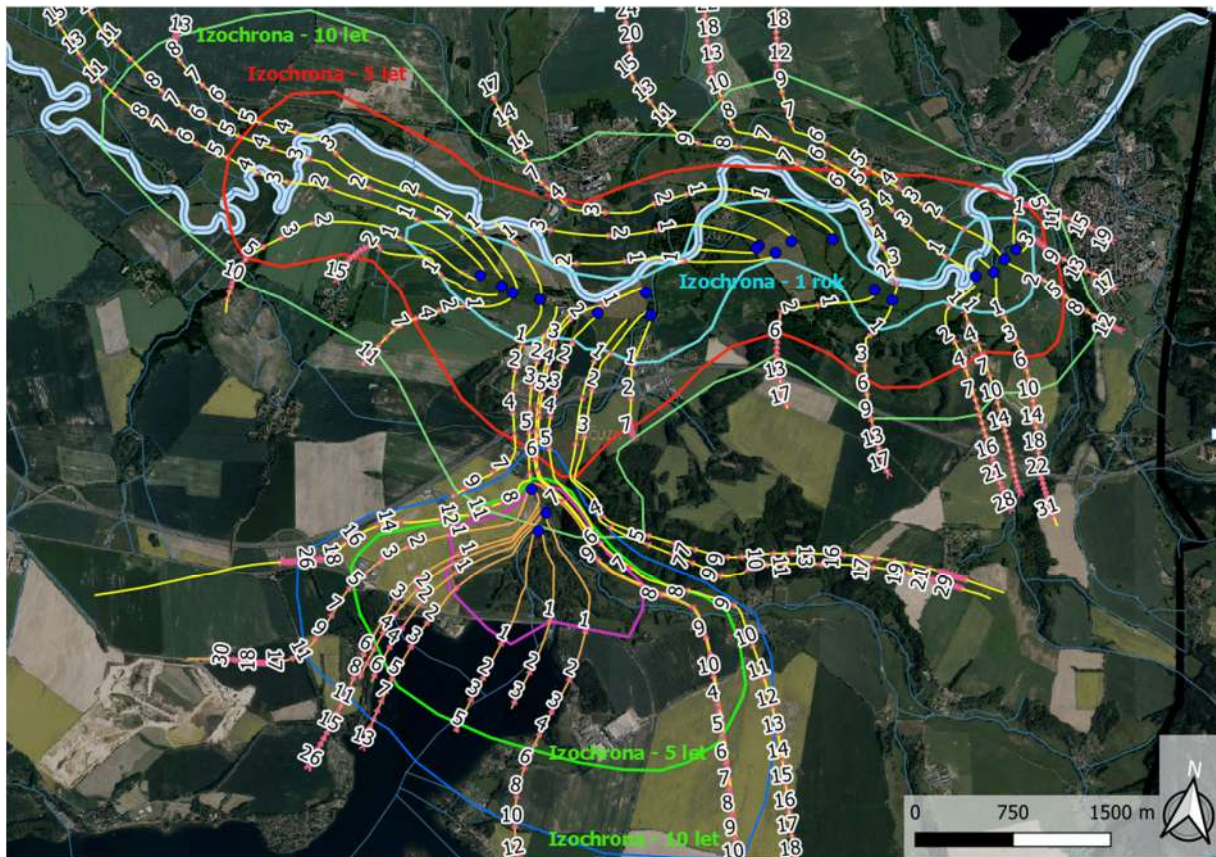
Perspektivní odběry v oblasti Obilné (70 l·s⁻¹) vyvolávají snížení hladiny podzemní vody do 1.5 m. V okolí jímacích vrtů je vytvořena uzavřená deprese hladiny podzemní vody, která má ovšem pouze lokální dosah na prostor údolní nivy Odravy a na poměry proudění v údolní nivě Ohře. Prostor s objekty prameniště Nebanice I je ovlivněn již jen minimálně.

Nejvýznamnější přítok podzemní vody do jímacího území Obilná je tak z jihu a jihovýchodu – tektonicky predisponovanou zónou Lipoltovského potoka. Ze severu je proudový systém omezen hydrogeologickým rozvodím odravského hřbetu.



Obr. 5 Modelové přítoky podzemní vody vyčíslené pro jímací území Nebanice I a Nebanice II

Pro stanovení OPVZ je důležité stanovení infiltračních oblastí pramenišť a doby zdržení podzemní vody od míst infiltrace k jímacím objektům. V následujícím Obr. 6 jsou žlutými (pro Nebanice I) a oranžovými (pro Nebanice II) liniemi vykresleny vypočtené proudnice podzemní vody (dráhy přítoku k jímacím vrtům). Čísla podél proudnic znázorňují vypočtené doby dotoku podzemní vody (v letech) při zadané pórovitosti 15 % pro vildštejnské souvrství (Nebanice I) a 5 % pro cyprisové souvrství (Nebanice II.).



Obr. 6 Proudnice a izochrony doby zdržení 1, 5 a 10 let

Na základě vypočtených dob zdržení lze přibližně vymežit izochrony (doby shodného) dotoku podzemní vody k jímacím objektům. Izochrona dotoku 10 let pro prameniště Nebanice I zaujímá především oblast údolní nivy Ohře a Odavy a přilehlé svahy. Izochrona 10 let pro prameniště Nebanice II zaujímá (při menším odběru) srovnatelnou plochu – vzhledem k zadanému předpokládanému rychlejšímu proudění v cyprisovém souvrství s puklinovou propustností.

Doba dotoku podzemní vody z jihu a jihozápadu vychází maximálně 30 let, voda infiltrovaná z oblasti nádrže Jesenice k jímacím vrtům přitéká za cca 5 let.

Primární návrh rozlohy OPVZ lze provést s využitím izochron doby dotoku. Ten je vhodné dále modifikovat s využitím informací získaných z bilančních údajů simulace (Obr. 5), z transportního modelu a z doplňujících průzkumných prací v lokalitě.

Výsledky transportního modelu, metodika

Na základě evidence využívání pozemků v zájmovém území byla vybrána místa hypotetických zdrojů znečištění v hydrogeologickém povodí vodního zdroje. Transportním modelem byly simulovány následující zdroje (Obr. 7):

1. dobývací prostor těžený, poté potenciální úložiště odpadu,
2. frekventované místo potenciálního liniového znečištění (silnice, žel. trať), schválená těžba vyhrazeného nerostu,
3. dobývací prostor těžený, poté potenciální úložiště odpadu,
4. dálnice D 6, erozní rýha k prameništi, „simulované“ místo potenciální havárie,
5. ložisko, výhradní plocha, poté potenciální úložiště odpadu,
6. místo intenzivní zemědělské výroby, riziko úniku syntetických přípravků,
7. průmyslová zóna Obilná,

8. obnažená vodní plocha následkem těžby,
9. místo kontaminace průmyslovými látkami.

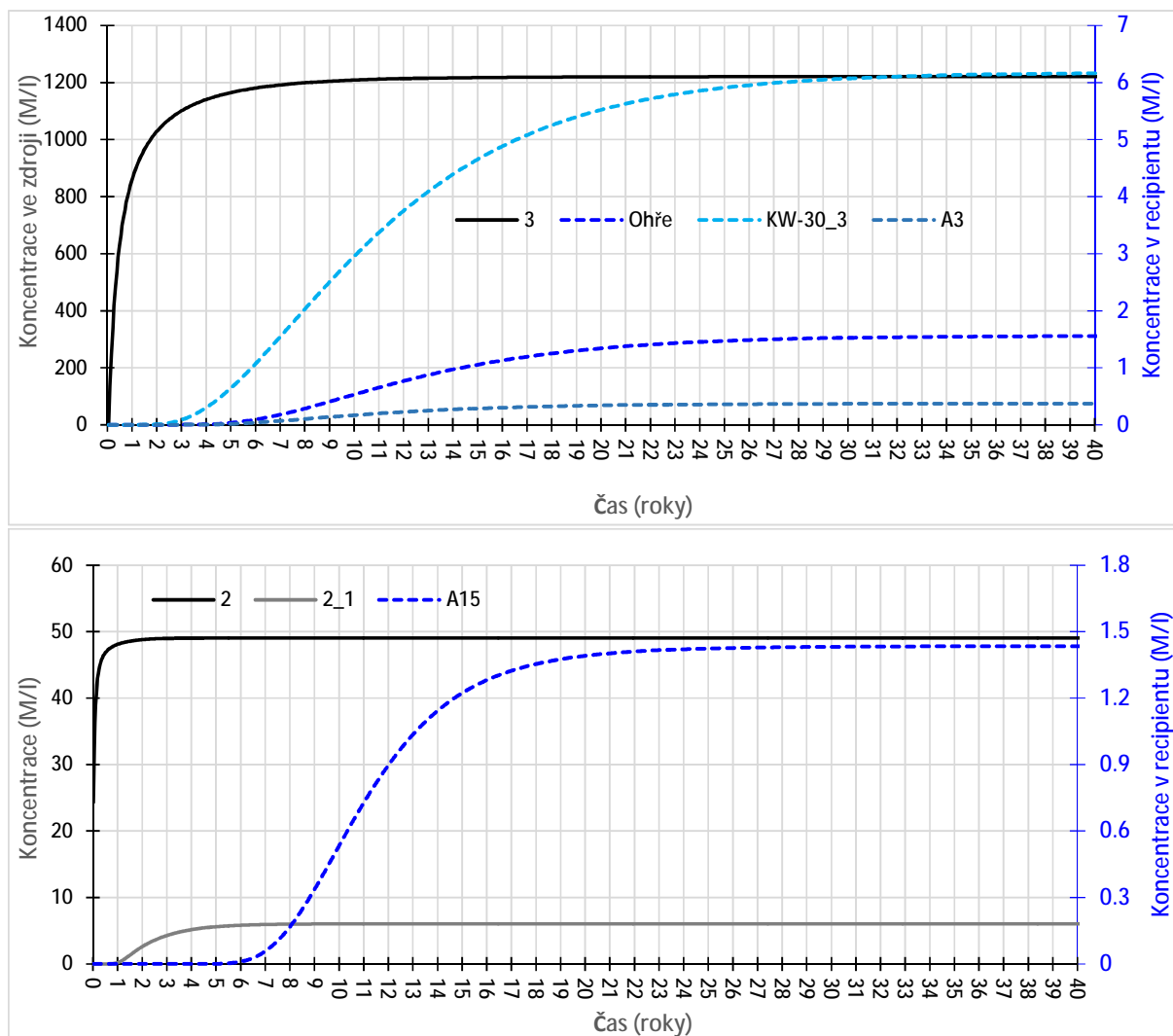


Obr. 7 Situace simulovaných zdrojů hypotetické kontaminace

Hypotetická kontaminace je v modelu vždy zadána do první vrstvy, která odpovídá vrstvě přípovrchové (obvykle sedimenty kvartéru a vildštejnské souvrství). Modelem je řešen transport kontaminace horninovým prostředím z místa simulovaného zdroje po recipient. Šíření kontaminace v nesaturevané zóně není simulováno. Transport je zadán konzervativní (bez chemických reakcí a sorpce). Simulovány byly dvě varianty vývoje kontaminace (dlouhodobý zdroj a krátkodobý pulz kontaminace).

Modelová intenzita zdroje kontaminace je ve všech místech shodná - do podzemní vody trvale vstupuje 10 hmotnostních jednotek kontaminace za den. Vlivem různého množství podzemní vody protékajícího hypotetickým zdrojem dosahují koncentrace podzemní vody, v důsledku rozdílného ředění, již v místech průniku kontaminace do horninového prostředí různých hodnot (Obr. 8).

Na Obr. 8 jsou vykresleny modelové průběhy koncentrací ze dvou hypotetických zdrojů. Příjemcem znečištění jsou vodárenské objekty. Hypotetický zdroj č. 2 je situován v údolní nivě Ohře v oblasti dobře propustných kvartérních sedimentů. Ustálená koncentrace ve zdroji č. 2 (50 hmotnostních jednotek/l) vychází 25 x nižší, než u hypotetického zdroje č. 3 (1200 hmotnostních jednotek/l), který je umístěn mimo údolní nivou Ohře v sedimentech vildštejnského souvrství. Výsledné nátokové koncentrace do vrtů vodního zdroje vycházejí vlivem intenzivního ředění v údolní nivě Ohře resp. Lipoltovského potoka na obdobné úrovni (Obr. 8).

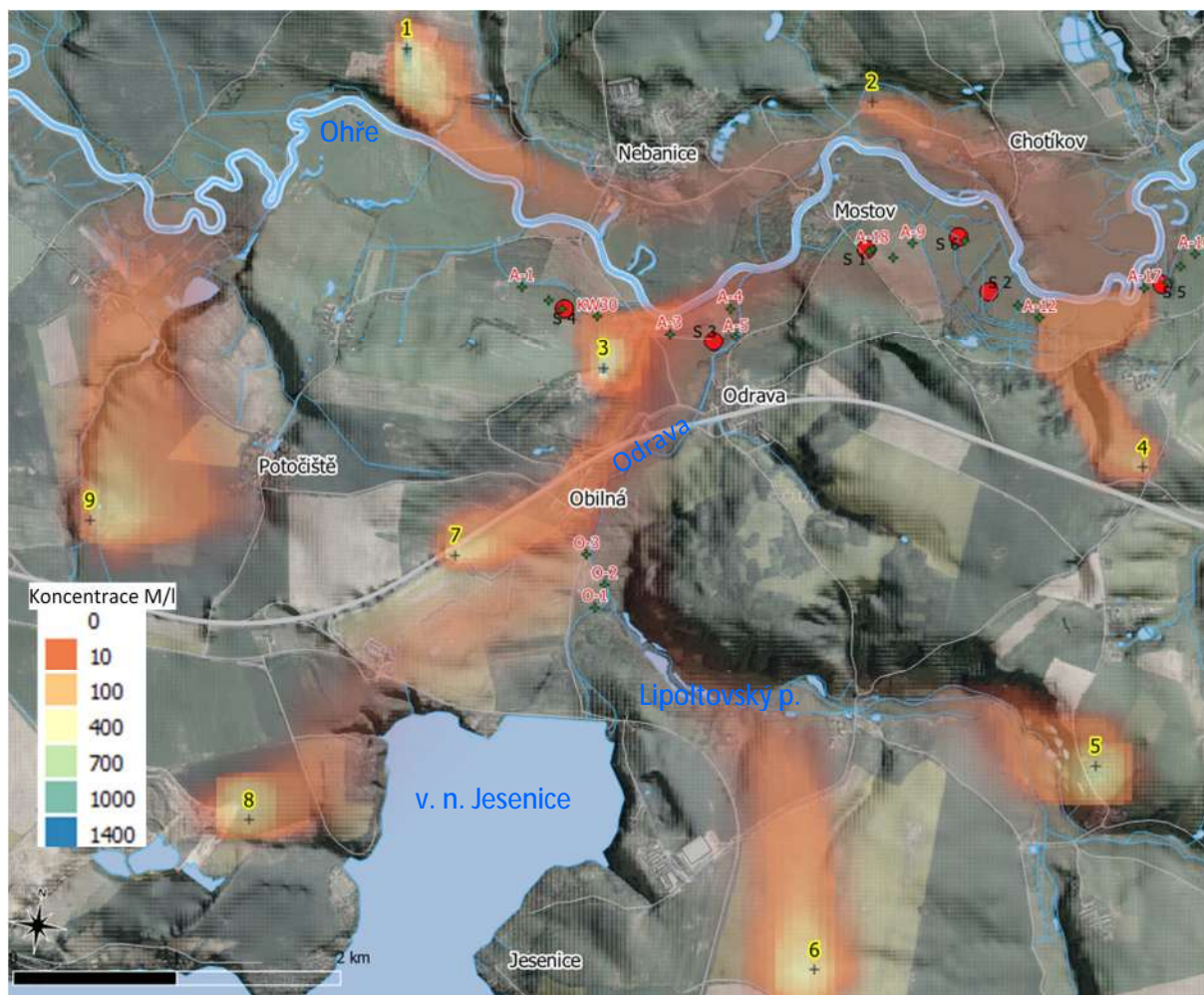


Obr. 8 Vývoj koncentrací hypotetického kontaminantu ze zdroje č. 3 (mimo údolní nivu) a ze zdroje č. 2 (údolní niva Ohře), dlouhodobý zdroj kontaminace, poloha zdrojů na Obr. 7

Z vypočtených ustálených kontaminačních mraků, zobrazených na Obr. 9, je zřejmý transport kontaminace směrem k drenážním oblastem (údolní niva Lipoltovského potoka, Odry a Ohře). Výslednými recipientem hypotetické kontaminace je říční síť, nebo vrty vodního zdroje Nebanice. Ve zdrojích lokalizovaných v infiltračních oblastech (např. 8, 6, 7) dochází k přetoku podzemní vody do zvodně cyprisového souvrství, která je jímána vrty S7 – S9 v prameništi Nebanice II.

Ve vztahu ke stanovení OPVZ výsledky transportního modelu potvrzují nutnost rozšíření pásma na levobřežní oblast Ohře.

V porovnání s vypočtenou dobou advektivního dotoku (hydraulický model, Obr. 6) jsou vlivem hydrodynamické disperze doby dotoku kontaminace k jímacím objektům vodního zdroje (byť o minimálních koncentracích) poněkud rychlejší.



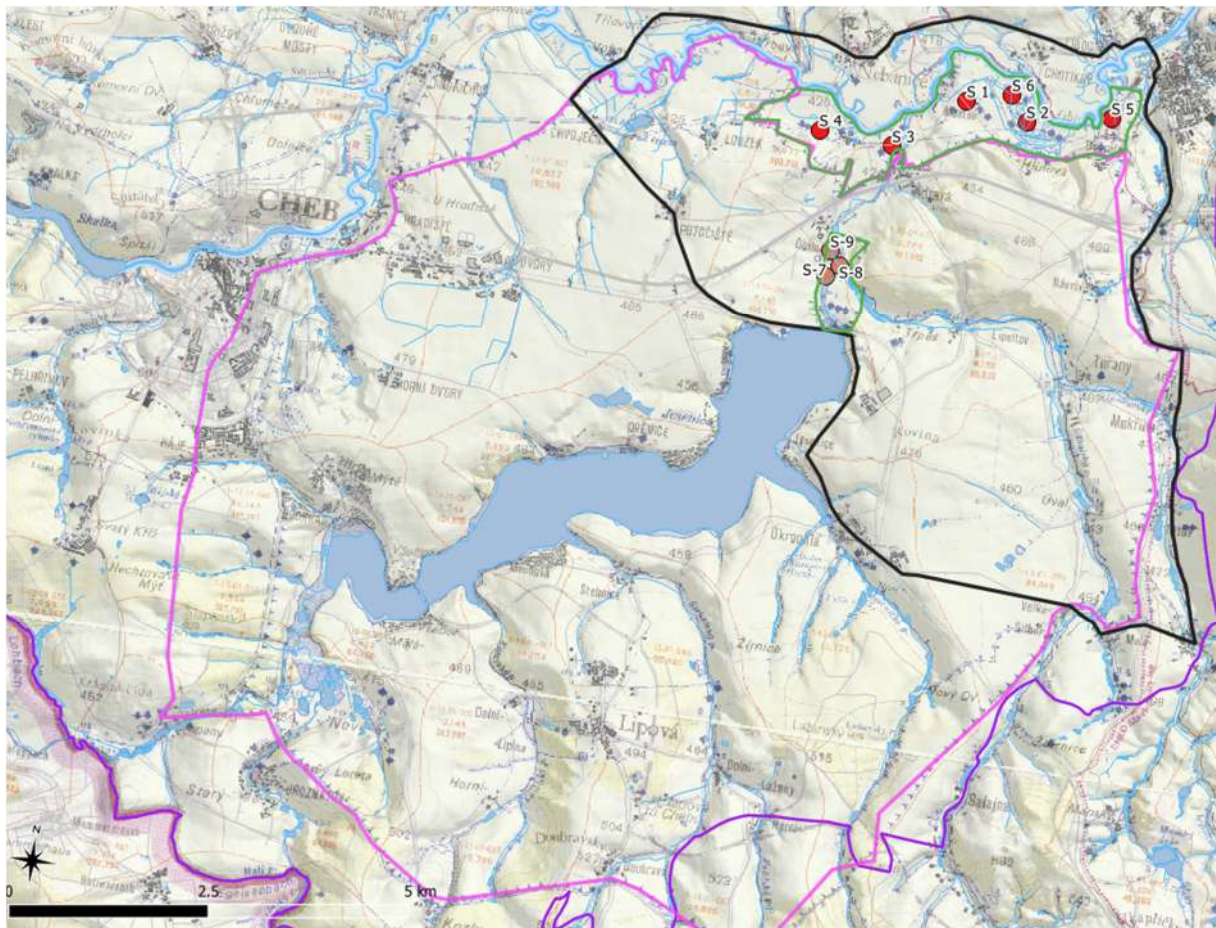
Obr. 9 Šíření hypotetické kontaminace z dlouhodobých zdrojů

Návrh ochranných pásem

Růžová linie v Obr. 10 reprezentuje aktuálně platné OPVZ II. stupně - 2b (97 km²). To zahrnuje téměř celou jižní část HGR Chebská pánev. Černou linií je zobrazen návrh aktualizované rozlohy OPVZ II. stupně vzešlý z modelových prací (rozloha 38 km²).

Provedené modelové práce prokazují, že v prameništi Nebanice I je jímána podzemní voda z levobřežní oblasti Ohře v obdobném množství jako z oblasti pravobřežní. Aktuální návrh proto OPVZ II. stupně v oblasti prameniště Nebanice I rozšiřuje i na levobřežní oblast údolní nivy.

Pro prameniště Nebanice II – Obilná je nejdůležitější prostor povodí Lipoltovského potoka (v jižním křídle Chebské pánve). V příporchové zóně a v cyprisovém souvrství vzniká proud podzemní vody, který je vlivem geologické stavby (odravský hřbet) drénován především v soutokové oblasti Lipoltovského potoka a Odry (úsek mezi Lipoltovem a Obilnou). Přítok podzemní vody do oblasti Obilné z jihozápadu a západu je podle modelových výsledků minimální a lze tak uvažovat o omezení rozlohy ochranného pásma tímto směrem.



Obr. 10 Porovnání rozlohy dosavadního ochranného pásma vodního zdroje (růžově IIb a zeleně IIa) a navrženého aktualizovaného OPVZ (černě), fialově Ohraj HGR

Závěr

Matematické modelování proudění podzemní vody a transportu kontaminace poskytuje vhodné vstupní podklady pro stanovení ochranných pásem vodního zdroje. Přínosem tohoto komplexního přístupu je znalost zranitelnosti vodního zdroje z hlediska postupových dob kontaminace i nařazení k jednotlivým jímacím objektům. Získané informace umožňují ochranu zaměřit na kritické části hydrogeologického povodí vodního zdroje.

Ochranu významných vodních zdrojů je vhodné zajistit i stanovením území zdrojů pro lidskou spotřebu, pro které lze využít modelové výsledky regionálního hodnocení proudění podzemní vody.

Literatura

Hercog F., 1978: Jesenice II Závěrečná zpráva, Stavební geologie n. p., Praha

Kolářová M, Dvořák J., 1975: katastr minerálních vod Západočeského kraje, Ústav geologický, Praha

Pazdera A., 1978: Odravská pánev - hydrogeologie. Geoindustira , n.p., Praha.

Uhlík J., Zeman O., Milický M., 2017: Kompromisy při zpracování a hodnocení výsledků hydraulických modelů, Podzemní vody ve vodárenské praxi 2017, Jablonné nad Orlicí.

Uhlík J., Zeman O., Milický M., 2018: Modelová simulace odběrů podzemní vody – podklad pro rozhodování o ochraně a rozvoji vodního zdroje (bilance, doba dotoku k jímacím objektům), Podzemní vody ve vodárenské praxi 2018, Rychnov nad Kněžnou.