

## TVORBA SYNTETICKÉ MAPY ZRANITELNOSTI PODZEMNÍ VODY NA PŘÍKLADU POVODÍ POTOKA ŽILŮVKY

K. Kubová, T. Mikita

**Došlo: 30. ledna 2007**

### Abstract

KUBOVÁ, K., MIKITA, T.: *The construction of synthetic maps of groundwater vulnerability on the example of catchment area of Žilůvky stream*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2007, LV, No. 2, pp. 43–52

The term “vulnerability of groundwater to contamination” was introduced by French hydrogeologist J. Margat in the late 1960s. The idea of describing the degree of vulnerability of groundwater to contaminants as a function of hydrogeological conditions by means of maps was conceived to show that the protection provided by the natural environment varies at different locations. Groundwater vulnerability maps belong to category of special-purpose environmental maps and introduce one of the possible tool to solve groundwater protection. The synthetic map of relevant catchment area of Žilůvky stream was composed in the program ArcGIS as a intersection between 4 partial maps: the map of soil character according to infiltration capability, the map of geological structure according to permeability, the map of unsaturated zone potency and the map of karst phenomena, springs and boreholes localization. The final map was presented in 4 variants A – D according to meaning of layers which have the influence on groundwater vulnerability.

groundwater vulnerability, soil permeability, spring, borehole, karst

Ochrana podzemních vod představuje v současné době jednu z priorit lidské společnosti, jednak v rámci státních směrnic a zákonů a jednak v rámci nadnárodních smluv, dohod a paktů. Jednou z možných preventivních opatření je tvorba účelových map zranitelnosti podzemní vody. Existují dvě hodnocení zranitelnosti podzemní vody. V prvním případě se jedná o „přírodní“ zranitelnost, kdy vymezené plochy zranitelnosti podzemních vod je důležité brát jako relativní ukazatel, který poukazuje na plochy více či méně zranitelné navzájem, přičemž vymezený stupeň zranitelnosti je potenciálním jevem s určitým procentem pravděpodobnosti. Druhé hodnocení se týká „specifické“ zranitelnosti podzemních vod, kde se řeší zranitelnost vůči konkrétnímu kontaminantu, kdy proces průniku polutantu do kolektoru a jeho následná fluktuace až po případnou konečnou eliminaci repre-

zentuje velmi složitý děj, jenž mimo jiných faktorů je úzce závislý na jeho rozpustnosti, viskozitě, hustotě, povrchovém náboji (polaritě), disociaci, kohezních vlastnostech apod. Proces je dále úzce závislý na chemických a zejména fyzikálních vlastnostech hornin.

V roce 2002 byly definitivně vymezeny zranitelné oblasti v rámci úkolu 1320 „Návrh vymezení zranitelných oblastí“ a Nařízením vlády č. 103/2003 Sb., „O stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření“ v souladu se Směrnicí Rady 91/676/EEC „O ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů“ (tzv. nitrátová směrnice) bylo stanoveno pravidelné provádění revize hranic zranitelných oblastí. Zkoumané území povodí potoka Žilůvky zahrnuté ve vymezených oblastech nebylo. Cílem výzkumu bylo zjištění

vlivu lidské činnosti, jedná se především o zemědělsky hospodařící subjekty, zahrádkářské kolonie, staré skládky, výstavbu obytných domů aj., na jakost a čistotu podzemní vody v povodí potoka Žilůvky a pokus o znázornění zranitelnosti podzemní vody mapovou formou pomocí programu ArcGIS.

## MATERIÁL A METODY

V počátečním stadiu byl vybrán metodický postup uváděný v příručce „Guidebook on mapping groundwater vulnerability“ (Vrba, Zoporozec; 1994), z důvodu totožných nároků na vstupní data, uvedených jak v příručce, tak žádaných autory článku. Informace o tomto metodickém procesu vytváření map zranitelnosti podzemní vody, přijatých jak Evropskou komisí, tak hydrogeologickou unií, byly zjištěny ve firmě DHV ČR, s.r.o. Na základě zmíněné metodiky bylo vybráno povodí a postupně získány všechny důležité výchozí podklady, které měly sloužit při tvorbě mapy. Při aplikování sesbíraného materiálu však vznikla kolize v přesnosti při vkládání získaných písemných dat do digitální podoby. Jednalo se hlavně o překreslení geologických a pedologických vlastností území, jelikož na zkoumaném povodí se nachází (hydro)geologická linie rozdělující území s krasovou propustností (Moravský kras) a území s puklinovou propustností (Brněnská vyvřelina). Současně nastal problém při hodnocení infiltračních schopností zemědělské půdy.

Na základě zmíněných problémů byla získána ve Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy (VÚMOP) v Brně metodologie sestavení syntetické mapy zranitelnosti vody (Kvítek at al., 2003), která byla opětovně aplikována na stejné území, avšak s jiným postupem.

V konečné fázi výběru metodického postupu byly použity přiměřené části řešení problematiky z obou metodik, přičemž základ metodického postupu zpracování syntetické mapy zranitelnosti podzemní vody tvoří metodika „Sestavení syntetických map potenciální zranitelnosti“ (Kvítek at al., 2003), která hodnotí tzv. „přírodní zranitelnost“.

Existují i jiné metodické postupy, např. metodika Doerfligera in Kukačka, J. (2005), která však nebyla použita z důvodu nedostatku regionálních průzkumů týkajících se hydrometrování povrchových toků aj., jednak z důvodu nepřístupnosti k těmto datům a jednak vysoké náročnosti na další terénní a jiná měření. Identickým důvodem byla, pro neposouzení specifické zranitelnosti týkající se přímo toků určitých látek daným podzemním prostředím, náročnost na data, čas a prostor a složitá, komplikovaně propojená a náročná problematika znalostí z oboru hydrogeologie a podzemní hydrauliky.

V prvotní fázi proběhl sběr výchozích vektorových dat, týkající se pedologické, geologické mapy a DMT, které byly získány z mapserveru Školního lesního podniku „Masarykův les“ Křtiny. Další potřebné mapové podklady se týkaly geologické, hydrogeologické a pedologické mapy 1:50 000 a základních map ČR 1:10 000 24-41-11 a 24-41-16, jež byly získány na katastru Brno-venkov a ve firmě Geotest, a.s. v Brně. Podrobný terénní průzkum proběhl na jaře roku 2005 a byl proveden na území povodí potoka Žilůvky a v jeho blízkém okolí. Rekognoskace terénu se zaměřovala především na výchozy vápenců, nalezení skládek odpadů, revitalizovaných skládek, nalezení a zaznačení pramenů, studánek a vrtů, prozkoumání terénních odkryvů a morfologie terénu. Následně byla digitalizována vzniklá mapa lokalizace pramenů, vrtů a krasových vývěrů.

Získanými písemnými informacemi byly dokumenty o petrografických popisech archivních vrtných profilů, nacházejících se na území povodí potoka nebo v jeho blízkém okolí a texty o hydrogeologických průzkumech provedených Geofondem ČR v Praze.

Údaje z CHKO Moravský kras se týkaly získání Plánu péče o Přírodní rezervaci Čihadlo, která se nachází na území povodí potoka Žilůvky. Údaje ze zemědělského závodu Siagro-Sivice, který obhospodařuje zemědělské plochy v obci Babice nad Svítavou, se dotýkaly použitých chemických prostředků a osevních postupů.

Mapa pedologie území byla zkonstruována na základě dat BPEJ, získaných na VÚMOP v Brně, a lesních typů, vyskytujících se na daném povodí.

Metodika „Sestavení syntetických map potenciální zranitelnosti“ (Kvítek at al., 2003) je zpracována především pro posuzování zranitelnosti půdní zóny a dle tohoto postupu byla zpracována dílčí mapa charakteru půdy dle infiltračních schopností, mapy horninového podloží dle propustnosti a mapy mocnosti nesaturované zóny.

Metodika pracuje především s termínem *nesaturovaná zóna*, vrstvou nacházející se nad zvodněným kolektorem a složenou ze souboru jednotlivých vrstev, kde každá jednotlivá vrstva má určitý (v čase neobecně konstantní) potenciál (v závislosti na její mocnosti, litologickém složení, tektonickém porušení a podobně) zachytit a částečně odbourat kontaminaci pronikající z povrchu. Specifickou roli při vzniku znečištění má vegetace, resp. vrstva vegetační (Kvítek at al., 2003). Lesní pokryv byl při sestavování mapy zranitelnosti vyčleněn z důvodu nedostupnosti údajů o podílu infiltrace různé dřevinné skladby na filtrační kapacitu půdy.

Dle metodiky „Guidebook on mapping groundwater vulnerability“ (Vrba, Zoporozec; 1994) byla vytvořena dílčí mapa Lokalizace krasových jevů, pra-

menů a vrtů a zjišťovány veškeré podrobné podklady pro posouzení zranitelnosti podzemní vody.

Cílová mapa zranitelnosti podzemní vody byla zhotovena průnikem všech čtyř dílčích map pomocí matematického sloučení, který znázorňuje stav, v němž je kromě vrstvy rizika znečištění podzemních vod vyjádřen i ochranný účinek půdy, který podle okolností buď usnadňuje nebo zamezuje transportu kontaminantu prostřednictvím nesaturované zóny do zvodně.

Mapa zranitelnosti půdy dle infiltračních schopností (obr. 1) pro zemědělsky využívané území byla zkonstruována na základě hodnocení BPEJ a to – hlavní půdní jednotky, sklonitosti, expozice, skeleto-

vitosti a hloubky půdy. Data pak byla vložena do programu vyvíjenému k tomuto účelu a obsluhovanému pouze pracovníky VÚMOP. Výstupem bylo rozdělení konkrétních půdních typů do pěti kategorií P1 – P5. Pro území pokryté lesními porosty byla použita mapa lesních typů, mapa pedologická 1:50 000 a data z mapserveru školního lesního podniku. Na základě porovnání údajů z podkladových map a údajů z tabulek Janečkových hydrologických typů půd (tabulka I) a tříd propustnosti půdního profilu (tabulka II) byly odvozeny infiltrační vlastnosti lesních půd a rozděleny do totožných pěti kategorií.

I: Třídy propustnosti půdního profilu (Janeček, 2002)

Třída propustnosti	Propustnost	Poznámky
1	velmi vysoká, více jak 2,5 mm/min, hluboké dobře odvodněné písky, některé černozemě ze spraší	půda zůstává po nasycení vodou vlhká pouze několik hodin
2	vysoká, 0,83–2,5 mm/min, strukturní písčité hlína až hlinitý písek, černozemě a hnědozemě ze spraší	půda zůstává po nasycení vodou vlhká pouze několik hodin
3	střední, 0,25–0,83 mm/min, podorniči s výraznou strukturou nebo tvořené hlínou	půda zůstává po nasycení vodou vlhká několik dnů
4	mírná, 0,08–0,25 mm/min, středně propustná svrchní vrstva půdy je uložena na jílovité hlíně se slabě vyvinutou kostkovitou nebo polyedrickou strukturou	půda zůstává po nasycení vodou vlhká několik dnů
5	nízká, 0,025–0,08 mm/min, pod svrchní propustnější vrstvou je kompaktní jíl nebo jílovitá hlína	půda zůstává po nasycení vodou vlhká déle než týden
6	velmi nízká méně jak 0,025 mm/min, tvrdé kompaktní jíly	půda zůstává po nasycení vodou vlhká déle než týden

II: Hydrologické skupiny půd (Janeček, 2002)

Skupina	Charakteristika hydrologických vlastností (Janeček, 2002)
A	půdy s vysokou rychlostí infiltrace (více jak 0,12mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky nebo šterky
B	půdy se střední rychlostí infiltrace (0,06–0,12mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité
C	půdy s nízkou rychlostí infiltrace (0,02–0,06mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité
D	půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace (méně jak 0,02mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly, s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím

Podle výskytu *půdních typů* bylo na zájmovém povodí vymezeno 5 kategorií zranitelnosti půdy (P). Kategorie zranitelnosti P1 byla přiřazena půdám:

- kambizemi rankerové
- litozemi karbonátové
- rendzině typické.

Do kategorií zranitelnosti P2 byl zařazen půdní typ:

- rendzina kambická

Do kategorií zranitelnosti P3 byly zařazeny půdy:

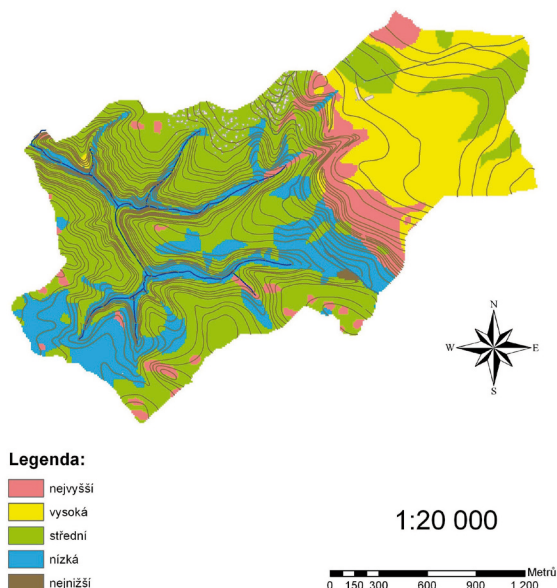
- kambizem typická
- kambizem kyselá
- ranker kambický.

Do kategorie P4 byly zařazeny půdy:

- luvizem typická
- hnědozem typická.

Do kategorie P5 byly zařazeny půdy:

- fluvizem typická.



P1 – nejvyšší infiltrační schopnost

P2 – vysoká infiltrační schopnost

P3 – střední infiltrační schopnost

P4 – nízká infiltrační schopnost

P5 – nejnižší infiltrační schopnost

1: Mapa infiltrační schopnosti půdy

Mapa charakteru horninového podloží dle propustnosti (obr. 2) byla sestavena na základě podrobné rekognoskace terénu, studia geologické mapy, petrografických popisů archivních vrtů. Z vyčtených výsledků čerpacích zkoušek a uvedeného koeficientu transmisivity byla sestavena tabulka propustnosti horninového prostředí a přiřazeny kategorie propustnosti jednotlivým horninovým formacím.

Podle charakteru *horninového prostředí (G)*, zóny zvětrání a kvartérního pokryvu byly na území povodí potoka Žilůvky vyčleněno 5 dílčích vrstev podle rizika znečištění podzemních vod na základě vyhodnocení propustnosti.

Kategorie infiltrace G1 zahrnuje:

- deluviální sedimenty s průlinovým oběhem (hlinopísčité, kamenitopísčité, kamenitohlinité, hlinítokamenité, místy s bloky) o mocnosti do 5 m s převládajícím koeficientem *transmisivity*  $T = 1,0 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- skalní výchozy devonských vápenců bez pokryvu
- vápence lažánecké a vilémovické s krasovo-puklinovou propustností o mocnosti půdní nesatur-

vané zóny tvořené hlínami a hlinitými sprašemi do 5 m a koeficientem transmisivity  $T = 1,0 \cdot 10^{-3} - 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Kategorie infiltrace G2 zahrnuje:

- fluviální písčité až písčitojilovité hlíny, hlinité písky a štěrky
- recentní navážky kamenitopísčité a kamenitohlinité s úlomky od 30 do 60%
- amfibolicko-biotitický granodiorit a kyselý biotitický granodiorit s koeficientem transmisivity  $T = 1,0 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Kategorie infiltrace G3 zahrnuje:

- žulový porfyr
- arkózu
- aplit a pegmatit s koeficientem transmisivity  $T = 1,0 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

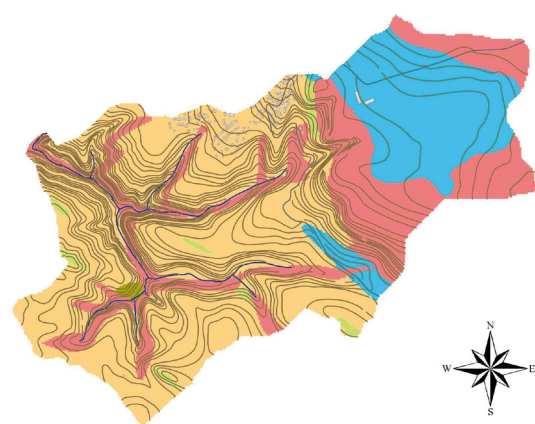
Kategorie infiltrace G4 zahrnuje:

- jílovitopísčité a jílovitohlinité sedimenty

Kategorie infiltrace G5 zahrnuje:

- jíly
- aluviální hlíny jílovitoprachovité a jílovitopísčité.



**Legenda:**

- maximální
- vysoká
- střední
- nizká
- minimální

1:20 000

0 150 300 600 900 1 200 Metrů

Hodnoty faktorů propustnosti geologického prostředí (G) jsou:

- G1 – maximální propustnost
- G2 – vysoká propustnost
- G3 – střední propustnost
- G4 – nízká propustnost
- G5 – minimální propustnost.

**2: Mapa propustnosti horninového podloží**

Vrstva mocnosti horninového prostředí (M) tvoří druhý vstupní faktor pro Mapu mocnosti nesaturované zóny (obr. 3). Údaje o mocnosti horninového prostředí byly odvozeny na základě rozdílu nadmořské výšky terénu a hladiny podzemní vody (nesaturované zóny) a tam, kde tyto údaje nebyly, byl údaj vyvozen z obecných charakteristik daného geologického prostředí a generelně zpracován.

Kategorie M1 zahrnuje území s mocností nesaturované zóny menší než 2,0 m

- zejména oblasti v erozní bází potoka Žilůvecký potok.

Kategorie M2 zahrnuje území s mocností nesaturované zóny v rozmezí 2–5 m

- oblasti mírně nad erozivní bází.

Kategorie M3 zahrnuje území s mocností nesaturované zóny 5–10 m

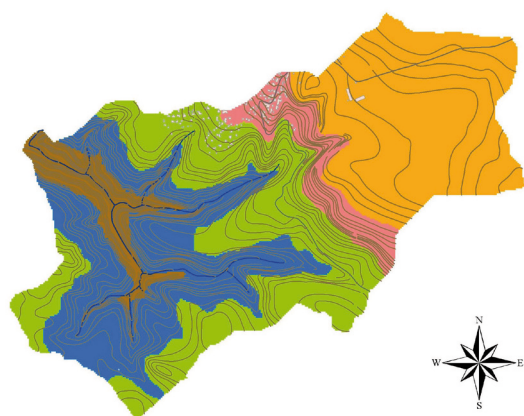
- oblasti v nadmořské výšce 350–400 m.

Kategorie M4 zahrnuje území s mocností nesaturované zóny 10–25 m

- oblasti v nadmořské výšce 400–450 m.

Kategorie M5 zahrnuje území s mocností nesaturované zóny nad 25 m

- oblasti v nadmořské výšce nad 450 m a v místech hydrologické rozvodnice.

**Legenda:**

- do 300
- 300 - 350
- 350 - 400
- 400 - 450
- nad 450

1:20 000

0 150 300 600 900 1 200 Metrů

Hodnoty faktorů mocnosti geologického prostředí jsou:

- M1 – do 2 m
- M2 – 2–5 m
- M3 – 5–10 m
- M4 – 10–25 m
- M5 – nad 25 m.

**3: Mapa mocnosti nesaturované zóny**

Vrstva lokalizace krasových jevů, pramenů a vrtů (obr. 4) tvoří čtvrtý vstupní faktor pro tvorbu výsledné mapy zranitelnosti podzemní vody. Údaje byly získány především terénní rekognoskací, údaje o vrtech z dokumentů získaných z Geofondu ČR v Praze a údaje o krasových jevech z literatury, které byly následně potvrzeny již zmíněnou terénní pochůzkou. Volba velikosti ochranných zón okolo krasových jevů, pramenů a vrtů je subjektivní, odvozená z informací získaných z literatury a díky diplomové práci J. Kukačky, 2005, podle jehož postupu byly nastaveny vzdálenosti.

Kategorie K1 zahrnuje území s nejvyšší zranitelností

- krasové prameny, vody ve vrtech a jevy do 20 m.

Kategorie K2 zahrnuje území s vysokou zranitelností

- krasové prameny, vody ve vrtech a jevy do 80 m.

Kategorie K3 zahrnuje území se střední zranitelností

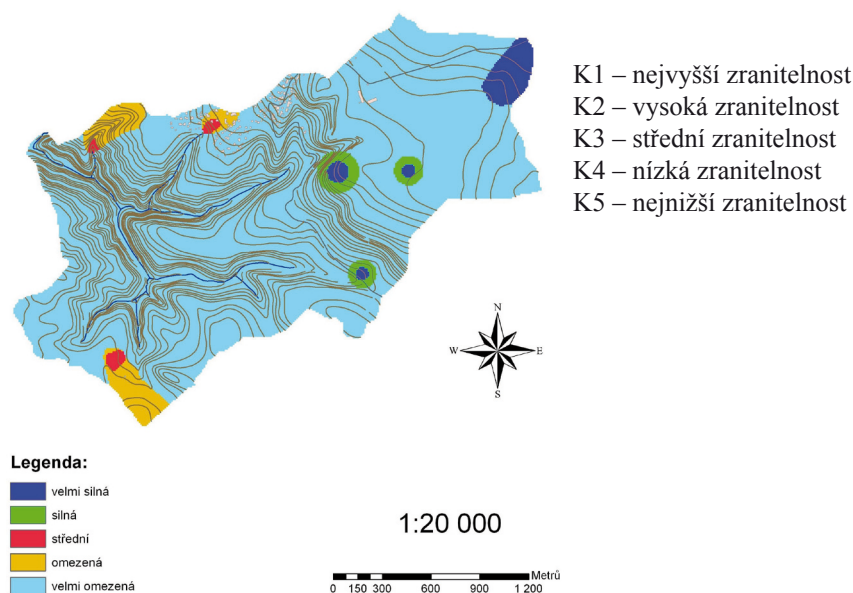
- prameny na granodioritu do 100 m.

Kategorie K4 zahrnuje území s nízkou zranitelností

- prameny na granodioritu do 800 m.

Kategorie K5 zahrnuje území s nejnižší zranitelností

- ostatní plocha.



4: Mapa lokalizace krasových jevů, pramenů a vrtů

Posledním krokem při tvorbě syntetické mapy zranitelnosti podzemní vody byl průnik jednotlivých vrstev vytvořených dílčích map do jedné vrstvy. Schopnost nesaturované zóny jako celku zmenšit (zachytit, tzv. utilizovat) znečištění je pak rovna součtu kategorií ze všech vrstev map. Na sumární syntetické mapě zranitelnosti podzemní vody vznikl systém nových ploch tzv. *plochy zranitelnosti* (Tabulka III). Byla

navržena klasifikace 5 kategorií zranitelnosti, která se jeví z hydrogeologického hlediska jako optimální. Kategorie pak vyjadřují míru (schopnost) horninového prostředí (nesaturované zóny) přijmout (propustit) transportní médium pro kontaminanty. Nejnižší kategorie představuje maximální schopnost prostředí vést infiltrující srážkovou vodu, která obsahuje rozpuštěné kontaminanty (Kvítek at al., 2003).

III: Kategorie zranitelnosti (Kvítek at al., 2003)

Kategorie	1	2	3	4	5
Zranitelnost	velmi silná	silná	zranitelná	omezeně	velmi omezeně

Konstrukce mapy zranitelnosti podzemní vody byla realizována v programu ArcGIS 9.1. ve verzi ArcEditor, který pracuje s jednotlivými složkami systému jako s vrstvami, jejichž vzájemné propojování umožňuje určit míru zranitelnosti v libovolném bodě zkou-

mané oblasti. Sestavení mapy spočívalo v převedení vektorové mapy geologické, pedologické a mapy lokalizace pramenů, vrtů a krasových jevů na mapy rastrové, které byly dále překlasifikovány podle charakteristických vlastností dané vrstvy. Klasifikace byly

prevzaty ze zmíněných metodik Kvítek at. al., 2003; Vrba, Zoporozec; 1994. Jednotlivým složkám byly poté přiděleny váhy podle významu v daném území. Pro každou část pak byl spočítán index zranitelnosti s tím, že každý z parametrů mající vliv na zranitelnost podzemních vod nabyt určitých hodnot podle předem zvolených tříd. Výsledná mapa zranitelnosti byla vytvořena pomocí nadstavby Spatial Analyst a funkce „weighted overlay“. Jelikož však při přidělování váhy dle významu byly použity různé kombinace, vznikly tak mapy různých podob a významu. Bylo proto nutné vypracovat mapu zranitelnosti v různých variantách s tím, že v každé variantě byl dán důraz na jiný parametr mající vliv na zranitelnost podzemních vod. Pro studované území povodí potoka Žilůvky byly vytvořeny čtyři varianty A až D, které se liší v ohodnocení významu jednotlivých vrstev.

## VÝSLEDKY

Na základě studia mapových, vědeckých, písemných podkladů a terénního zkoumání týkajících se podrobného popisu přírodních podmínek (geologických, hydrogeologických, geomorfologických, hornin Moravského krasu, tektonických linií), PR Čihadla, krasových jevů (babická plošina, Babická jeskyně, žlíbek Záskalčí, závrtý, puklinové škrapy), studánek (Prosba lesa, Hübnerova, Liščí a Srnčí = pramen potoka Žilůvky) a vrtů (HV 701, HV 106 a J17,18,) (obr. 5) byly vytvořeny čtyři tematicky rozdílné mapy (viz obr. 1, 2, 3, 4).



5: Mapa povodí potoka Žilůvky se zakreslením povodí a důležitých bodů

V konečné fázi byly dle podrobně popsaného metodického postupu průnikem čtyř dílčích map vytvo-

řeny čtyři varianty cílové mapy zranitelnosti podzemní vody v zájmovém území.

Mapa zranitelnosti podzemní vody Varianta A (obr. 6) byla zkonstruována tak, že byl dán identický významový důraz na všechny vrstvy. Mapa tak znázorňuje nejvyšší zranitelnost v místech krasových jevů a průlinově propustných sedimentů, kdežto nízká zranitelnost byla vypočítána pro území na spraších.

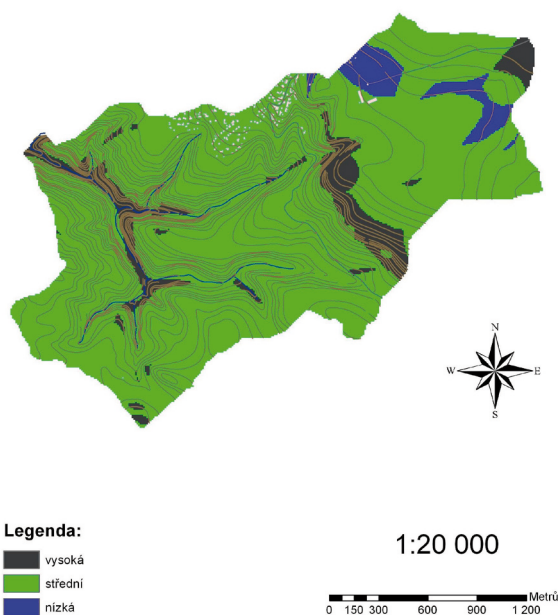
Mapa zranitelnosti podzemní vody Varianta B (obr. 7) byla zkonstruována tak, že mapa zranitelnosti horninového prostředí byla vykreslena zvlášť a jejím vrstvám byla opět dána identická hladina významnosti. Následně byly sloučeny mapy zranitelnosti půdy a nově vzniklá mapa zranitelnosti horninového prostředí, s totožnými stupněm významu. Výsledná mapa znázorňuje nejvyšší zranitelnost území krasových jevů, pramenů a vrtů a území s nejvyšší zranitelností půdy dle infiltrační schopnosti půdy. Území s nízkou zranitelností podzemní vody jsou půdní typy: gleje a pseudogleje. Problematickou částí se stala mapa mocnosti nesaturované zóny, kdy tato mapa byla zkonstruována generelně, dle odstupňované nadmořské výšky a zkontrolována s hladinami podzemní vody, zjištěnými z údajů o petrografických rozbozech zeminy ve vrtech, získaných z Geofondu ČR v Praze. Vrstva mocnosti většinou snížila váhu zranitelnosti podzemní vody v krasové části území, přestože její vliv není natolik závažný a zvýšila význam průlinově propustných území okolo toku Žilůvky, přestože dané území se již nachází na granodioritu brněnské vyvřeliny a zranitelnost podzemní vody zde není natolik závažná díky nízké propustnosti a puklinovému systému.

Proto byla zkonstruována mapa zranitelnosti podzemní vody varianta C (obr. 8), která nejvíce přibližuje danou problematiku současnému stavu a lze ji hodnotit jako nejlepší variantu. Nejvyšší zranitelnost byla přiřčena území Nad Skalkou, jímž je krasová obnažená skála se závrtý, území s vysokou zranitelností podzemní vody jsou vápence lažánecké a vilémovické Moravského krasu, střední zranitelnost byla vymezena území, jež je budováno granodioritem brněnské vyvřeliny a území pokryté sprašemi.

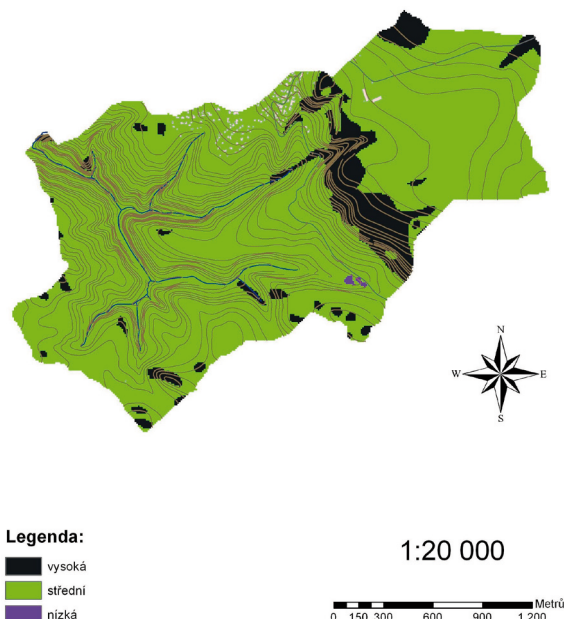
Poslední varianta D (obr. 9) obsahuje pouze dva stupně zranitelnosti, území s vysokou zranitelností, jež se nachází na granodioritu a krasu a území se střední zranitelností, které se nachází na ostatní ploše. Varianta D se nejméně přibližuje skutečnosti.

Závěrem lze poznamenat, že výsledná syntetická mapa přehledně a konkrétně představuje nakolik jsou území vůči sobě zranitelné pomocí ukazatele stupně zranitelnosti s tím, že je důležité klást důraz na ty vrstvy, u kterých víme, že jejich vliv na zranitelnost podzemní vody je nejvyšší.

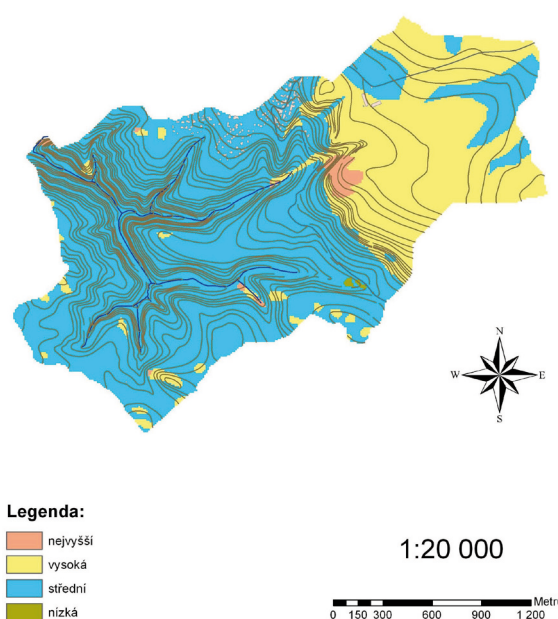




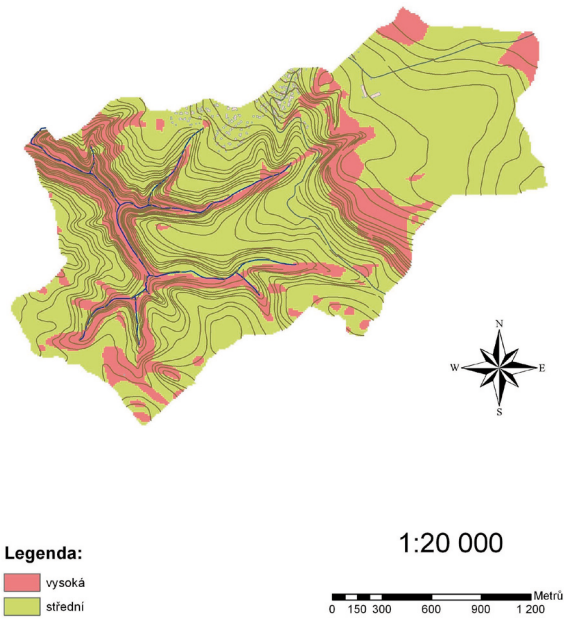
6: Mapa zranitelnosti podzemní vody varianta A



7: Mapa zranitelnosti podzemní vody varianta B



8: Mapa zranitelnosti podzemní vody varianta C



9: Mapa zranitelnosti podzemní vody varianta D

Souhrnně lze konstatovat, že území je z větší části vysoce ohrožené vůči znečištění podzemní vody a je potřeba sledovat soukromou činnost podnikatelů v obci Babice nad Svitavou, zejména pokud se týká používání látek, jež mohou při nesprávné manipulaci, zanedbání doporučené péče či při nevhodném zneškodňování nebezpečných látek způsobit znečištění či ohrozit podzemní vodu kontaminací. Dále je potřeba usměrňovat působení obyvatel v rámci

zahrádkářské činnosti tak, aby nedocházelo ke značně zvýšeným obsahům dusičnanů ve vodě, pramenící ve studánce Hübnerově a Liščí, jak je tomu doposud. Současně je důležitá stálá podpora a spolupráce soukromého zemědělsky hospodářského subjektu Siagro-Sivice a CHKO Moravský kras, jelikož tyto pozemky se nacházejí přímo na škrupových a závrtových polí vápenců Moravského krasu a kde na základě dohody z roku 1998 jsou poskytovány dotace na omezení



zemědělské činnosti zároveň s omezením používání přípravků ke hnojení či ochraně před živočichy (Směrnice rady č. 91/676/EEC). V současné době dochází k výstavbě obytných domů na nejvyšším bodě povodí – Stádlu (502 m n.m.), kde lze doporučit, aby využití území bylo napojeno na kanalizační řád, přičemž tato doporučení nejsou striktní, jelikož se plocha výstavby nachází na málo propustných sprašových polích. Obecně velmi ohrožené je území odkrytých vápenců Moravského krasu, jež je však součástí PR Čihadlo, a tudíž v rámci jeho plánu péče není potřeba cokoli nařizovat či doporučovat.

### DISKUSE

Zjištěným nesouladem bylo hodnocení pramene potoka Žilůvky, jako nekrasového pramene dle poskytnutého plánu z péče o PR Čihadlo, CHKO Moravský kras (kol. autorů, 2001) a autorů článku, jako krasového pramene dle konkrétních terénních průzkumů. Průzkum se zabýval kromě jiného odběrem vody ze studánek a pramene potoka Žilůvky, jehož voda

svými chemickými vlastnostmi prokázala charakter velmi tvrdé vody dle obsahu Ca a díky vysoké roční rozkolísanosti, kdy na jaře pramen „chrlí“ obrovské množství vody a ve zbytku roku je suchý, jasně prokázala povahu krasového pramene.

V neposlední řadě lze zmínit nepotvrzení ani vyvrácení autorů článku předpoklad O. Hynie (1961) o drénování vápenců Moravského krasu sítí puklin v tektonicky porušených krystalinických horninách do údolí řeky Svitavy, s čímž souhlasil i J. Taraba (1976), na základě domněnky o existenci hlubokého regionálního oběhu podzemní vody. Tato hypotéza nebyla nikdy vyvrácena ani potvrzena a ani podrobným terénním průzkumem či zkoumáním mnoha hydrogeologických zpráv nebylo možné kladně či záporně zodpovědět na tuto otázku. Jisté je pouze to, že pramen potoka Žilůvky je krasovým pramenem, který vyvěrá na styku brněnské vyvřeliny a vápenců Moravského krasu a prokazuje tak pouze sklon a směr proudění hladiny podzemní vody a případně oběh podzemní vody puklinově-krasovou propustností.

### SOUHRN

Zranitelnost podzemní vody je parametr, který charakterizuje přirozenou schopnost prostředí chránit podzemní vody před znečištěním. Míru zranitelnosti znázorňují jednoduchou formou mapy zranitelnosti, které jsou stále důležitějším nástrojem pro plánování využití území včetně stanovení ochranných pásem vodních zdrojů.

Zkoumané povodí potoka Žilůvky, nacházející se částečně v katastru obce Babice nad Svitavou, je území, kde se kříží prostředí hydrogeologického rajonu Krystalinika brněnské vyvřeliny s puklinovou propustností a rajonu Moravského krasu s krasovou propustností, které je obecně považováno za prostředí s vysokou zranitelností. To je dáno především přítomností soustředěné infiltrace v závrttech a ponorech potoků, kde povrchová voda vniká do horninového prostředí bez uplatnění samočisticích pochodů v půdě a nesaturované zóně. Znečištění proto může dosáhnout jímaného vodního zdroje velmi rychle a s minimálním naředěním.

Cílem předložené studie bylo v konečné fázi zjištění, nakolik řešení problematiky zranitelnosti podzemní vody lze vystihnout formou tvorby syntetické mapy zranitelnosti podzemní vody díky průniku několika rozdílných map, kde dílčí mapy představují jednotlivé vrstvy horninového či půdního profilu mající významný vliv na průnik kontaminantu do podzemní vody.

zranitelnost podzemní vody, propustnost půdy, pramen, vrt, kras

### LITERATURA

- HYNIE, O.: *Hydrologie ČSSR I, Prosté vody*. Praha: Československá akademie věd, 1961.
- JANEČEK, M.: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV nakladatelství, 2002. 201s. ISBN: 85866-85-8.
- KOL. AUTORŮ: *Plán péče o PR Čihadlo*. CHKO Moravský kras 2002-2011, Brno, 2001. 29s.
- KUKAČKA, J.: *Studium proudění a zranitelnos-*

- ti podzemních vod v karbonátech skupiny Branné*. Praha. Univerzita Karlova, Diplomová práce, 2005
- KVÍTEK, T. at al.: *Uplatnění systému alternativního managementu ochrany půdy a vody v krajině*. Praha: VÚMOP, 2003
- TARABA, J.: *Moravský kras, regionální hydrogeologický průzkum, závěrečná zpráva*. BRNO: GEOTEST, 1976.
- VRBA, J., ZAPOROZEC, A.: *Guidebook on Mapping groundwater vulnerability*. Hannover, 1994. 131s. ISBN 3-922705-97-9.

#### Adresa

Ing. Kristýna Kubová, Ústav ochrany a tvorby krajiny, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: [kkrista@seznam.cz](mailto:kkrista@seznam.cz), Ing. Tomáš Mikita, Ústav geoinformačních technologií, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: [tomas@mikita.cz](mailto:tomas@mikita.cz)