

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA

PRIESTOROVÉ INFORMAČNÉ
INFRAŠTRUKTÚRY A TVORBA POZNATKOV
O KRAJINE

Dizertačná práca

2016

Tomáš Schmidt, Mgr.

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA

**PRIESTOROVÉ INFORMAČNÉ
INFRAŠTRUKTÚRY A TVORBA POZNATKOV
O KRAJINE**

Dizertačná práca

Študijný program: Fyzická geografia, geoekológia a geoinformatika

Študijný odbor: 4.1.36 Fyzická geografia, geoekológia

Školiace pracovisko: Katedra kartografie, geoinformatiky a dpz

Školiteľ: doc. RNDr. Eva Mičietová, PhD

Bratislava 2016

Tomáš Schmidt, Mgr.



Univerzita Komenského v Bratislave
Prírodovedecká fakulta

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Mgr. Tomáš Schmidt
Študijný program: fyzická geografia, geoekológia a geoinformatika
(Jednoodborové štúdium, doktorandské III. st., denná forma)
Študijný odbor: fyzická geografia a geoekológia
Typ záverečnej práce: dizertačná
Jazyk záverečnej práce: slovenský
Sekundárny jazyk: anglický

Názov: Priestorové informačné infraštruktúry a tvorba poznatkov o krajine.
Spatial data infrastructure and creation of knowledge about the landscape.

Cieľ: 1. VYhodnotenie informačných zdrojov o priestorových informačných infraštruktúrach, geografických informačných službách a metódach.
2. Publikácia výsledkov (1.)
3. Návrh metodiky použitia priestorovej informačnej infraštruktúry pre tvorbu poznatkov o krajine.
4. Návrh metodiky riešenia tvorby poznatkov o krajine.
5. Realizácia prípadovej štúdie so zameraním na environmentálnu medicínu.
6. Publikácia priebežných výsledkov.

Školiteľ: doc. RNDr. Eva Mičietová, CSc.
Katedra: PriF.KKGDPZ - Katedra kartografie, geoinformatiky a diaľkového prieskumu zeme
PriF vedúci katedry: doc. RNDr. Eva Mičietová, CSc.
Dátum zadania: 14.03.2011

Dátum schválenia: 07.06.2016

prof. RNDr. Jozef Minár, CSc.
garant študijného programu

.....
študent

.....
školiteľ

Prehlásenie

Čestne prehlasujem, že predloženú písomnú prácu k dizertačnej skúške som spracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry a ďalších informačných zdrojov.

V Bratislave dňa,

.....

podpis autora práce

.....

Pod'akovanie

Moje pod'akovanie patrí najmä vedúcej dizertačnej práce doc. RNDr. Eve Mičietovej, PhD., za odborné vedenie a za cenné pripomienky pri záverečnom spracovaní práce.

Abstrakt

Mgr. Tomáš Schmidt: **Priestorové informačné infraštruktúry a tvorba poznatkov o krajine.**

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra kartografie, geoinformatiky a diaľkového prieskumu Zeme.

Školiteľ: doc. RNDr. Eva Mičietová, PhD.

Dizertačná práca, 90 strán, **2016.**

*Predkladaná dizertačná práca rieši problematiku identifikácie environmentálneho rizika a potenciálneho zdravotného rizika vyplývajúceho z kontaminácie podzemnej vody toxickými chemickými prvkami arzén, olovo, ortuť a kadmium na Slovensku. Výskum je založený na priestorových údajoch pojednávajúcich o koncentráciach toxických chemických prvkov v podzemnej vode v rastrovej forme a tvorbe nových poznatkov o krajine (výpočet indexu environmentálneho a potenciálneho zdravotného rizika). Index environmentálneho rizika prináša pohľad na celkovú kontamináciu podzemnej vody na Slovensku uvedenými toxickými prvkami na úrovni základných sídelných jednotiek a jemu vystavené obyvateľstvo žijúce v domoch bez vodovodnej prípojky. Výpočet potenciálneho zdravotného rizika prináša zoznam základných sídelných jednotiek, v ktorých je obyvateľstvo žijúce v domoch bez vodovodnej prípojky vystavené potenciálnemu zdravotnému riziku vzhľadom na jednotlivé toxické chemické prvky osobitne. Nové poznatky o krajine boli publikované vo forme webových mapových služieb do prostredia internet a sú dostupné online prostredníctvom mapového portálu vytvoreného vďaka projektu **Univerzitný vedecký park Univerzity Komenského v Bratislave** a dostupného na url: <https://uvp.geonika.sk/map/>.*

Kľúčové slová: environmentálne zdravie, environmentálne riziko, index environmentálneho rizika, zdravotné riziko, potenciálne zdravotné riziko, toxické prvky v podzemnej vode, Slovensko

Abstract

Mgr. Tomas Schmidt: Spatial Information Infrastructure and Creation of Knowledges about Environment

Comenius University in Bratislava, Faculty of Natural Sciences, Department of cartography, geoinformatics and remote sensing

Instructor: doc. RNDr. Eva Mičietová, PhD.

Dissertation theses, 90 pages, **2016**.

*Submitted dissertation theses is for revealing the problematic of environmental and potential health risk, which is resulting from the contamination of groundwater with toxic trace elements arsenic, lead, mercury and cadmium in Slovakia. The results of this study are based on the spatial data about concentrations of toxic trace elements in groundwater in raster form and creation of the new knowledges about environment (environmental risk index and potential health risk computation). Environmental risk index is revealing insight on the overall groundwater contamination in Slovakia through selecting toxic trace elements at the level of basic settlement units and population exposure which is residing in houses without connection to public water supply. The potential health risk computation is bringing the list of basic settlement units in which people are exposed to the potential health risk resulting from separate toxic trace elements. New knowledges about environment were published as web map services on the internet and are now available online through the web mapping application of the project **Comenius University in Bratislava Science Park** available at <https://uvp.geonika.sk/map/>.*

Key words: *environmental health, environmental risk, environmental risk index, health risk, potential health risk, toxic elements in groundwater, Slovakia*

PREDHOVOR

Podzemná voda reprezentuje iba malú časť zo všetkých vodných zdrojov na Zemi. Väčšinu vodných zdrojov predstavujú oceány a moria so slanou vodou, ktoré zaberajú 96,54%, nasledujú oblasti pokryté trvalým snehom a ľadovce s podielom 1,74% a podzemná voda je zastúpená iba 1,69% z čoho sladká zaberá 0.76%. Vďaka priemyselným a iným ľudským aktivitám v posledných desaťročiach vzrástol podiel znečistenia vodných zdrojov toxickými látkami, čo viedlo a stále vedie k neustále sa zmenšujúcim zdrojom pitnej vody na Zemi (Mukherjee, Bhattacharya, & Fryar, 2011).

Problém znečisťovania vodných zdrojov a znížená kvalita pitnej vody spôsobuje v rôznych častiach sveta ľuďom zdravotné problémy a teda predstavuje potenciálne zdravotné riziko pri jej dlhodobjšom požívaní v neupravenej podobe. Hodnotenie takéhoto druhu potenciálneho zdravotného a environmentálneho rizika predstavuje systematickú procedúru identifikácie jeho negatívneho pôsobenia na ľudské zdravie a životné prostredie (Dantes, 2006). V rámci vednej disciplíny environmentálne zdravie sa hodnotenie rizika zameriava na negatívne zdravotné dopady vyplývajúce z vystavenia človeka, alebo živých organizmov nebezpečenstvu vyplývajúceho zo znečisteného životného prostredia. Hlavným cieľom hodnotenia zdravotného rizika je poskytnúť základný rámec poznatkov, ktorý umožní tvorbu rozhodnutí na jeho buď úplnú elimináciu, alebo zmiernenie dopadov (Frumkin, 2010).

Takýto prístup k problematike si vyžaduje prepojenie vednej disciplíny environmentálne zdravie s geoinformatikou, ktorá nám dovoľí vytvoriť digitálny priestorový pohľad na problém a sprístupní nástroje na tvorbu rozhodnutí. Identifikácia environmentálneho a potenciálneho zdravotného rizika pozostáva z niekoľkých krokov, ktorými sú zber priestorových údajov, ich spracovanie a implementácia do priestorovej informačnej infraštruktúry. Priestorová informačná infraštruktúra ako komplexná technologická a informačná architektúra nám umožňuje odvodenie nových priestorových údajov, identifikáciu vzťahov priestorových objektov vzhľadom na iné sady priestorových údajov, sprístupňuje priestorové funkcie na tvorbu rozhodnutí, vizualizáciu údajov, ich zdieľanie, atď.

Predkladaná práca prináša konkrétnu prípadovú štúdiu, ktorá je postavená na prepojení problematiky environmentálneho zdravia s geoinformatikou. Výskum je venovaný

predovšetkým identifikácií environmentálneho a potenciálneho zdravotného rizika vyplývajúceho z kontaminácie podzemnej vody toxickými chemickými prvkami arzén, olovo, ortuť a kadmium. Výskumom takéhoto charakteru sa na Slovensku venuje štátny geologický ústav Dionýza Štúra, výskum venovaný distribúcií potenciálne toxických chemických prvkov v pôdach Slovenska môžeme nájsť v súbornom diele (Čurlík, 2011). Väčšina svetovej literatúry venovanej znečisteniu podzemných vôd sa venuje chemickému prvku arzén, kvôli jeho silným karcinogénnym účinkom a jeho prítomnosti v rôznych prostrediach na celom svete. S touto problematikou sa samozrejme spája aj hodnotenie a výpočet zdravotného rizika vyplývajúceho z koncentrácie toxických chemických prvkov v pôde a podzemnej vode ako napríklad (Chen, Teng, Lu, Wang, & Wang, 2015).

V predkladanej práci sa pozornosť upriamuje na identifikáciu oblastí (rizikových zón), kde hodnoty toxických prvkov v podzemnej vode prekračujú maximálne povolené hodnoty stanovené nariadením vlády Slovenskej republiky číslo 354/2006 Z.z.. Na základe identifikácie týchto rizikových zón, bol vypočítaný Index environmentálneho rizika (IER) v zmysle metodiky použitej v práci *„Environmentálne riziko vyplývajúce z kontaminácie geologických zložiek životného prostredia Slovenskej republiky“* (Rapant *et al.*, 2004).

Dôvod, prečo som sa rozhodol index environmentálneho rizika vypočítať ešte raz je ten, že v uvedenej práci bola použitá množina 18 chemických prvkov a zlúčenín vstupujúcich do výpočtu a to konkrétne:

$MIN, NO_3, Cl, SO_4, F, NH_4, Na, Fe, Mn, Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Sb, Zn$. Z tejto množiny však nejde o skutočné život ohrozujúce nebezpečenstvo a pri niektorých chemických prvkoch ako uvádza (Čurlík, 2011) je dokonca potrebný ich príjem v potrave a vode a to Cl, Cu, F, Fe, Mn a Zn pre zdravý rast rastlín, človeka a zvierat. Samozrejme tieto prvky by nemali prekračovať určitý koncentračný rozsah, aby sa dostavil požadovaný stimulačný účinok. V zmysle dokumentu s názvom „Priority List of Hazardous Substances“, ktorý obsahuje 275 vodu znečisťujúcich látok organickej a anorganickej podstaty vydaného agentúrou pre registráciu toxických látok a ochorení (ATSDR, 2013) ak berieme do úvahy iba anorganické prvky, tak prvé štyri miesta patria nami vybraným toxickým chemickým prvkom arzén, olovo, ortuť a kadmium. Z množiny použitej v práci (Rapant *et al.*, 2004) patria ostatným použitým chemickým prvkom a zlúčeninám až nasledujúce miesta: zinok (miesto 75), chróm (miesto 78), meď (miesto 118), mangán (miesto 139), atď. pričom niektoré chemické prvky sa tam nenachádzajú vôbec (napr.

železo), prípadne iba ako zlúčeniny iných prvkov (napr. v prípade sodíka toxická zlúčenina arzenitan sodný). Výsledkom vypočítaného (IER) v práci (Rapant *et al.*, 2004) je priestorové rozloženie veľmi vysokého environmentálneho rizika skoro na celom území Podunajskej, Východoslovenskej a Borskej nížiny - príloha 2.

Podkladom na vypočítanie nového IER boli údaje z environmentálno-geochemického mapovania uvedených štyroch chemických prvkov (diskrétné bodové pole odberných miest vzdialených navzájom +/- 3km) do formy spojitých rastrových povrchov odlišnou interpolačnou metódou ako bola použitá v práci (Rapant *et al.*, 2004) s názvom „Regularizovaný spline s tenziou“ a s priestorovým rozlíšením 100m.

Z hľadiska nového prínosu a priamej praktickej použiteľnosti týchto poznatkov o krajine, bolo potrebné identifikovať domácnosti nepripojené k verejnej vodovodnej sieti – teda tie, kde je predpoklad, že obyvatelia používajú na pitie vodu z vlastnej studne. Údaje o pripojení domov k verejnému vodovodu boli získané z databázy projektu sčítanie obyvateľov, domov a bytov z roku 2011 (SODB 2011) za základné sídelné jednotky (ZSJ) na Slovensku. Analýzy vystavenia obyvateľstva vysokému a veľmi vysokému IER boli realizované na základe porovnania hodnoty IER v ZSJ so spracovanými údajmi o percente domov nepripojených k verejnému vodovodu na úrovni ZSJ, kde bola stanovená podmienka podielu nepripojených domov k verejnému vodovodu $\geq 1\%$.

Druhá časť výskumu sa zaoberá kvantitatívnym vyjadrením potenciálneho zdravotného rizika (PZR) v percentách vzhľadom na jednotlivé toxické chemické prvky. Identifikované boli ZSJ lokalizované na miestach rizikových zón jednotlivých toxických chemických prvkov, kde sa nachádzajú obývané domy bez pripojenia na verejnú vodovodnú sieť.

Práca je určená nielen odbornej verejnosti, ale predovšetkým obyvateľom žijúcim v domoch bez vodovodnej prípojky na miestach, kde toxické chemické prvky v podzemnej vode prekračujú maximálne povolené hodnoty. Aby bolo možné tieto nové poznatky o krajine poskytnúť širokej verejnosti, boli publikované do prostredia internet ako webové mapové služby, ktoré sú dostupné prostredníctvom webovej mapovej aplikácie – mapového portálu projektu UVP dostupného na url.: <https://uvp.geonika.sk/map> . Tento mapový portál predstavuje súčasť komplexnej priestorovej informačnej infraštruktúry vybudovanej v projekte Univerzitný vedecký park Univerzity Komenského v Bratislave.

OBSAH

Zoznam ilustrácií, tabuliek a skratiek	9
Úvod	12
1. Súčasný stav riešenej problematiky	16
1.1 Súčasný stav riešenej problematiky na Slovensku	21
1.2 Súčasný stav riešenej problematiky vo svete	23
2. Ciele práce	25
3. Metodika práce a metódy skúmania	27
3.1 Priestorové informačné infraštruktúry	27
3.2 Vstupné údaje	30
3.3 Integrovaná geografická báza údajov environmentálneho zdravia Slovenskej republiky	32
3.4 Údajový model	33
3.5 Databázový systém	33
3.5.1 Priestorová databáza	38
3.5.2 Operačné možnosti priestorovej databázy	38
3.6 Geografické informačné systémy	40
3.6.1 Modelovanie v technológií GRASS GIS	42
3.6.2 Mapový server	46
3.6.3 Webové mapové služby	47
3.6.4 Webové mapové aplikácie	49
3.7 Deskriptívna štatistika	49
3.8 Výpočet environmentálneho rizika a tvorba poznatkov o krajine	49
3.9 Výpočet potenciálneho zdravotného rizika	51
Procesný diagram	54
4. Výsledky práce	55
5. Diskusia	72
Záver	75
Summary	77
Zoznam použitej literatúry	79
Zoznam príloh	84

ZOZNAM ILUSTRÁCIÍ, TABULIEK A SKRATIEK

Zoznam ilustrácií:

Obrázok 1. Zjednodušená reprezentácia DBS. (prevzaté z Godbole, Foster , 2014)

Obrázok 2. Zóny s prekročenými hodnotami toxického chemického prvku arzén na Slovensku. Zdroj: Mapový portál projektu UVP dostupný online na url.: <https://uvp.geonika.sk/map/>

Obrázok 3. Zóny s prekročenými hodnotami toxického chemického prvku olovo na Slovensku. Zdroj: Mapový portál projektu UVP dostupný online na url.: <https://uvp.geonika.sk/map/>

Obrázok 4. Zóny s prekročenými hodnotami toxického chemického prvku ortuť na Slovensku. Zdroj: Mapový portál projektu UVP dostupný online na url.: <https://uvp.geonika.sk/map/>

Obrázok 5. Zóny s prekročenými hodnotami toxického chemického prvku kadmium na Slovensku. Zdroj údajov: Mapový portál projektu UVP dostupný online na url.: <https://uvp.geonika.sk/map/>

Obrázok 6. Najrozsiahlšie územia s vysokým a veľmi vysokým indexom environmentálneho rizika (I_{ER}) – západná časť okresu Prievidza.

Obrázok 7. Najrozsiahlšie územia s vysokým a veľmi vysokým indexom environmentálneho rizika (I_{ER}) – severozápadná časť okresu Liptovský Mikuláš a východ okresu Ružomberok.

Obrázok 8. Najrozsiahlšie územia s vysokým a veľmi vysokým indexom environmentálneho rizika (I_{ER}) – okolie mesta Gabčíkovo.

Obrázok 9. Najrozsiahlšie územia s vysokým a veľmi vysokým indexom environmentálneho rizika (I_{ER}) – okolie mesta Rajecské Teplice.

Obrázok 10. Najrozsiahlšie územia s vysokým a veľmi vysokým indexom environmentálneho rizika (I_{ER}) – južná časť okresu Bratislava V.

Obrázok 11. Najrozsiahlšie územia s vysokým a veľmi vysokým indexom environmentálneho rizika (I_{ER}) – hraničná oblasť okresov Bratislava IV a Malacky.

Obrázok 12. ZSJ Podháj – oblasť výskytu PZR = 100% vzhľadom na toxický chemický prvok arzén v podzemnej vode.

Obrázok 13. ZSJ Tekeríš (naľavo od hlavnej cesty) – oblasť výskytu PZR = 62.48% vzhľadom na toxický chemický prvok ortuť a ZSJ Tehelne (napravo od hlavnej cesty) – oblasť výskytu PZR = 10.53% vzhľadom na toxický chemický prvok ortuť.

Obrázok 14. ZSJ Liptovské Behárove – oblasť výskytu PZR = 11.76% vzhľadom na toxický chemický prvok olovo a PZR = 11.87% vzhľadom na toxický chemický prvok kadmium.

Obrázok 15. ZSJ Karlov – oblasť výskytu PZR = 22.22% vzhľadom na toxický chemický prvok kadmium.

Zoznam tabuliek:

Tabuľka 1. Hlavné metabolické faktory spojené s vystavením organizmu toxickým chemickým prvkom arzén, olovo, ortuť a kadmium v zmysle (Hutton, 1987).

Tabuľka 2. Sumárne štatistiky priemerných koncentrácií toxických chemických prvkov v podzemnej vode (mg/l) v ZSJ. Zdroj primárnych údajov je environmentálno-geochemického mapovanie (1991 až 1994) (Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 1996)

Tabuľka 3. Percentuálne podiely celkovej rozlohy, ktorú zaberá vysoký a veľmi vysoký I_{ER} a rizikové zóny vybraných toxických chemických prvkov z celkovej rozlohy Slovenska (49 035 km²).

Tabuľka 4. Zoznam ZSJ, v ktorých bolo zistené vysoké environmentálne riziko ($3 < I_{ER} \leq 5$) a percentuálny podiel domov bez vodovodnej prípojky je $\geq 1\%$.

Tabuľka 5. Zoznam ZSJ, v ktorých bolo zistené veľmi vysoké environmentálne riziko ($I_{ER} > 5$) a percentuálny podiel domov bez vodovodnej prípojky je $\geq 1\%$.

Tabuľka 6. Základné sídelné jednotky (ZSJ) s potenciálnym zdravotným rizikom (PZR) $\geq 2\%$, minimálne jedného toxického chemického prvku (arzén, olovo, ortuť, kadmium), zoradené podľa sumy PZR.

Tabuľka 7. Základné sídelné jednotky (ZSJ) s potenciálnym zdravotným rizikom (PZR) $\geq 1\%$, minimálne jedného toxického chemického prvku (arzén, olovo, ortuť, kadmium), zoradené podľa sumy PZR (pokračovanie tabuľky 6)

Zoznam najčastejšie používaných skratiek:

As	Arzén
Cd	Kadmium
DBS	Database system – databázový systém
DBMS	Database management system – systém správy databázy
GIS	Geografický informačný systém
Hg	Ortuť
IER	Index environmentálneho rizika
IGBÚEZ	Integrovaná geografická báza údajov environmentálneho zdravia
OGC	Open geospatial consortium – nezisková organizácia na tvorbu štandardov kvality pre geopriestorové údaje
Pb	Olovo
PII	Priestorové informačné infraštruktúry
PZR	Potenciálne zdravotné riziko
QER	Kvocient environmentálneho rizika
RST	Regularized spline with tension – regularizovaný spline s tenziou
SLD	Styled layer descriptor – štandard štylovania WMS
SODB 2011	Sčítanie obyvateľov, domov a bytov v roku 2011
SQL	Structured query language – štandardizovaný jazyk na prístup a správu databáz
UVP	Univerzitný vedecký park Univerzity Komenského v Bratislave
Web GIS	Webové geografické informačné služby
WHO	World health organization – svetová zdravotnícka organizácia
WMS	Web map service – Webová mapová služba
ZSJ	Základná sídelná jednotka

ÚVOD

Životné prostredie, alebo krajinná sféra bola vždy úzko spojená s človekom a jeho aktivitami v nej. Krajinná sféra vytvára prirodzené podmienky pre existenciu všetkých organizmov na Zemi a jej jednotlivé prvky najmä pedosféra, hydrosféra, biosféra a atmosféra majú zásadný vplyv na ich zdravie. Človek svojimi aktivitami počas niekoľkých sto rokov vybudoval novú humánnu sféru pre potreby svojho rozvoja a uspokojenia svojich potrieb. Prirodzená krajinná sféra bola zásadným vplyvom pretvorená. UN Food and Agriculture Organization (FAO 2004) uvádza že vyše 40% povrchu Zeme tvorí poľnohospodárska krajina a 0,5% povrchu Zeme zaberajú mestá (EU, 2010). Mestá v ktorých v súčasnosti žije viac ako polovica svetovej populácie majú významný dopad na životné prostredie. V zmysle (EU, 2010) mestá vytvárajú mikroklimu takzvaných tepelných ostrovov, znečisťujú vodné zdroje, ovzdušie, ničia biotopy a degradujú pôdu. Zmeny jednotlivých zložiek prirodzenej krajinskej sféry a vznik humánej sféry ovplyvnili kvalitu podmienok pre existenciu všetkých organizmov v nej natoľko, že prinútili ľudí zaoberať sa touto problematikou. Postupne začali vznikať nové vedné disciplíny ako medicínska geografia, medicínska geológia, environmentálna epidemiológia, priestorová epidemiológia atď., ktoré študujú vzťahy medzi kvalitou ľudského zdravia a životným prostredím. Predmet týchto štúdií možno nazvať jedným termínom „environmentálne zdravie“. Podľa svetovej zdravotníckej organizácie (WHO) „environmentálne zdravie berie do úvahy všetky fyzikálne, chemické, biologické a súvisiace faktory, ktoré ovplyvňujú ľudské správanie“ (WHO, 2015). Svetová zdravotnícka organizácia odhaduje, že environmentálne riziká majú na svedomí 25% všetkých svetových ochorení. Ako biologický faktor sa berú do úvahy baktérie žijúce v pitnej vode, alebo v potravinách. Medzi chemické faktory sa radia toxické chemické prvky a zlúčeniny v pitnej vode, pôdach, ich výskyt v domácnostiach a chemikálie vypúšťané do životného prostredia továrňami. Fyzikálne faktory sú zvyčajne pripisované transportnému systému a rozmiestneniu budov na bývanie (WHO, 2015). (WHO Regional Office for Europe, 2013) uvádza nasledujúce hlavné environmentálne faktory ovplyvňujúce zdravie svetovej populácie:

- prístup k čistej vode a dobrý kanalizačný systém
- zlé podmienky na bývanie (ako napríklad vlhkosť, zlá kvalita ovzdušia v bytoch

a preľudnenosť)

- bezpečnosť na cestách (napríklad kvalita vozovky, technický stav vozidiel, používanie ochranných opatrení akými sú napríklad obmedzenia rýchlosti)
- zlá kvalita ovzdušia (vysoká koncentrácia jemných častíc, plynov, toxických výparov)
- pracovné prostredie (zahŕňa zamestnanecké podmienky a riziko vyplývajúce z výkonu pracovných povinností)
- extrémne klimatické podmienky (extrémne teplo, alebo zima)

Vplyv environmentálnych faktorov je možné študovať na rôznej rozlišovacej úrovni. V zmysle (Frumkin, 2010) môžeme identifikovať tri úrovne rozlíšenia: globálne, regionálne a lokálne. Na všetkých úrovniach je možné využiť moderné geoinformačné technológie GIS, vďaka ktorým môžeme skúmať vzájomné priestorové vzťahy medzi údajmi pojednávajúcimi o ľudskom zdraví a environmentálnymi údajmi. V praxi sú geografické informačné systémy nasadzované čoraz častejšie o čom svedčia početné výskumy napríklad výskum ľudského zdravia, epidemiologický výskum atď. (Carpenter, 2011; Carroll et al., 2014; ESRI, 2011).

Hlavnou úlohou v oblasti výskumu environmentálneho zdravia je lokalizácia, monitoring a hodnotenie vplyvov environmentálnych rizík na ľudské zdravie. V niektorých prípadoch sú dokonca snahy o zmenu rozloženia priestorového rizika v krajine. Táto oblasť výskumu reprezentuje základ vedomostí potrebných na to, aby bolo možné riešiť reálne riziká plynúce zo znečisteného životného prostredia, ktoré ohrozujú ľudské zdravie a zdravie organizmov žijúcich v ňom.

V predkladanej práci sa zameriavame na časť problematiky environmentálneho zdravia spojenú s chemickými faktormi - konkrétne kontamináciou podzemných vôd ťažkými kovmi. Kvalita pitnej vody má výrazný vplyv na ľudské zdravie a preto je dôležité analyzovať vodné zdroje a obsah toxických chemických prvkov v nej.

Hlavnými cieľmi dizertačnej práce sú identifikácia oblastí s prekročenými limitnými hodnotami toxických chemických prvkov arzén (As), olovo (Pb), ortuť (Hg) a kadmium

(Cd) v podzemnej vode (identifikácia rizikových zón), lokalizácia a hodnotenie environmentálneho rizika vyplývajúceho z koncentrácie týchto toxických chemických prvkov v podzemnej vode - výpočet indexu environmentálneho rizika (IER), identifikácia podielu obyvateľstva žijúceho v domoch bez pripojenia na verejnú vodovodnú sieť v oblastiach rizikových zón. Druhá časť výskumu je venovaná výpočtu potenciálneho zdravotného rizika (PZR) obyvateľstva žijúceho v domoch bez pripojenia k verejnej vodovodnej sieti a miestach výskytu nadlimitných koncentrácií toxických chemických prvkov v podzemnej vode, kde spomínané toxické chemické prvky prekračujú maximálne povolené hodnoty uvedené organizáciou WHO a v nariadení vlády Slovenskej republiky číslo 354/2006 Z.z.

Výstupmi a zároveň aj výsledkami sú publikácie webových mapových služieb (WMS) reprezentujúcich index environmentálneho zdravotného rizika (IER) a potenciálneho zdravotného rizika (PZR) obyvateľstva žijúceho v domoch bez vodovodnej prípojky na miestach s prekročenými hodnotami arzenu, olova, ortute a kadmia v podzemnej vode. Tieto WMS sú dostupné online prostredníctvom webovej mapovej aplikácie na url.: <https://uvp.geonika.sk/map/> . Ďalšími výstupmi práce sú tabuľkové výstupy sumárnych štatistík priemerných koncentrácií toxických chemických prvkov v podzemnej vode, percentuálne podiely celkovej rozlohy, ktorú zaberá vysoký a veľmi vysoký index environmentálneho rizika (IER) a rizikové zóny, zóny vybraných toxických chemických prvkov z rozlohy Slovenska. Tabuľkové výstupy zoznamov základných sídelných jednotiek (ZSJ), v ktorých bolo zistené vysoké a veľmi vysoké environmentálne riziko a kde je podiel domov bez vodovodnej prípojky $\geq 1\%$. Tabuľkové výstupy zoznamov ZSJ s potenciálnym zdravotným rizikom $PZR \geq 2\%$ a $PZR \geq 1\%$ minimálne jedného toxického chemického prvku.

Realizovaný výskum odhalil niekoľko priestorovo rozsiahlejších rizikových oblastí s vysokým a veľmi vysokým environmentálnym rizikom (IER) a oblastí potenciálneho zdravotného rizika (PZR) vzhľadom na jednotlivé toxické chemické prvky v podzemnej vode. Identifikovaných bolo 43 základných sídelných jednotiek (ZSJ) s potenciálnym zdravotným rizikom ($PZR \geq 2\%$), minimálne jedného toxického chemického prvku.

Štruktúru predkladanej práce tvorí päť hlavných kapitol – *Súčasný stav riešenej problematiky, Ciele práce, Metodika práce a metódy skúmania, Výsledky práce a Diskusia*.

Kapitola *súčasný stav riešenej problematiky* rieši v dvoch podkapitolách rozpracovanie danej problematiky u nás a v zahraničí. Kapitola *ciele práce* popisuje v bodoch presne definované hlavné ciele, ktoré boli realizované. Kapitola *metodika práce a metódy skúmania* je najrozsiahlejšou kapitolou práce a člení sa do deviatich podkapitol, ktoré približujú čitateľovi problematiku, použité technológie a metódy. Popísaná je tu problematika priestorových informačných infraštruktúr, vstupné údaje, integrovaná geografická báza údajov environmentálneho zdravia Slovenskej republiky (IGBÚEZ), použitý údajový model, úvod do problematiky databázových systémov a priestorových databáz, úvod do geografických informačných systémov (GIS) a web gis, úvod do deskriptívnej štatistiky (popis použitých štatistických metód) a najpodstatnejšie časti - metodika výpočtu environmentálneho rizika (IER), a metodika výpočtu potenciálneho zdravotného rizika (PZR). Poslednou časťou tejto kapitoly je procesný diagram popisujúci následnosť krokov realizácie výskumu. Kapitola práce *výsledky* popisuje detailne všetky dosiahnuté výsledky formou popisu, obrazovými prílohami znázorňujúcimi rizikové zóny, oblasti vysokého a veľmi vysokého environmentálneho rizika, oblasti potenciálneho zdravotného rizika a samozrejme tak isto všetko formou tabuľkových výstupov. Poslednou hlavnou kapitolou je *diskusia*, ktorá popisuje obmedzenia realizovaného výskumu a porovnanie nášho výskumu s podobným výskumom realizovaným Štátnym geologickým ústavom Dionýza Štúra na Slovensku.

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre dopytovo-orientovaný projekt: Univerzitný vedecký park Univerzity Komenského v Bratislave, ITMS 26240220086 spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

1. SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

Problematika environmentálneho zdravia ako celok je veľmi rozsiahla a preto sa budeme v nasledujúcej kapitole zaoberať iba jednou z jej častí, s ktorou sú spojené ciele predkladanej dizertačnej práce. Environmentálne zdravie v zmysle (World Health Organization, 2016) je definované nasledovne: “Environmentálne zdravie zahŕňa tie aspekty ľudského zdravia vrátane kvality života, ktoré sú určené fyzikálne, chemicky, biologicky, sociálnymi a psychologickými faktormi v životnom prostredí. Tiež odkazuje na teóriu a prax hodnotenia, korigovania, kontrolovania a prevenciu tých faktorov v životnom prostredí, ktoré môžu potenciálne nepriaznivo ovplyvniť zdravie súčasných a budúcich generácií”.

V našom prípade ide o výskum venovaný priestorovému rozloženiu toxických chemických prvkov v podzemnej vode Slovenskej republiky a identifikácia potenciálneho zdravotného rizika obyvateľstva žijúceho na miestach s prekročenými hodnotami týchto toxických prvkov (tvorba poznatkov o krajine). V zmysle US Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR, 2013), ktorá uvádza zoznam 275 vodu znečisťujúcich látok organickej a anorganickej podstaty. Podľa uvedeného zoznamu a ak berieme do úvahy iba anorganické látky, patria prvé štyri miesta nasledujúcim toxickým chemickým prvkom v uvedenom poradí: arzén, olovo, ortuť a kadmium. Ak neberieme do úvahy iba chemické prvky, ale všetky látky, ktoré uvádza tento zoznam, prvé tri miesta patria chemickým prvkom arzén, olovo, ortuť, ďalšie tri miesta patria látkam vinyl chlorid, polychlórovaným bifenylo a benzénu no a siedme miesto patrí chemickému prvku kadmium. ATSDR uvádza, že tento zoznam bol vytvorený na základe troch kritérií:

1. **Frekvencia výskytu danej látky na skládkach nebezpečného odpadu** – Aby bola látka začlenená do uvedeného zoznamu znečisťujúcich látok organickej, alebo neorganickej podstaty, musí sa nachádzať minimálne na troch skládkach obsahujúcich nebezpečný odpad.
2. **Toxicita** – vykazované množstvo toxicity sa používa na hodnotenie látok.
3. **Potenciál vystavenia človeka** – kritérium vystavenia človeka je zložené z dvoch častí a to: koncentrácia látky v zložkách životného prostredia na vybraných miestach a vystavenie obyvateľstva na uvedených miestach.

Každému kritériu je ďalej priradený počet bodov a výsledné celkové skóre udáva súčet bodov všetkých troch kritérií. Z celkového počtu 848 látok bolo podľa tejto metodiky algoritmom vybraných 275 znečisťujúcich látok.

Uvedené štyri toxické chemické prvky a ich nadmerná toxicita spôsobovala a stále spôsobuje problémy so zdravotným stavom obyvateľov v rôznych častiach sveta. Tento fakt podnietil výskum toxických účinkov spomenutých prvkov a identifikáciu ich priestorovej distribúcie v krajine.

Arzén (As) je dvadsiaty najbežnejšie sa vyskytujúci prvok Zemskej kôry. Je spájaný s vyvretými, sedimentárnymi horninami a rudami obsahujúcimi sulfidy. Zlúčeniny arzenu je možné nájsť v horninách, pôde, vode, vzduchu ako aj v rastlinných a živočíšnych tkanivách. Za normálnych okolností elementárny arzén nieje rozpustný vo vode, avšak arzénové soli vykazujú široký rozsah rozpustnosti v závislosti od pH a iónov v prostredí. Arzén môže existovať v štyroch valenčných stavoch: -3, 0, +3 (dominantná forma arzenu), a +5 (IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 2004). Zlúčeniny arzenu sú používané hlavne ako súčasť insekticídov, larvicídov, herbicídov v poľnohospodárstve a prípravkov na ochranu dreva. Skoro 80% arzenu vyprodukovaného ľuďmi je do životného prostredia uvoľnených z pesticídov (Bligh & Mollehuara, 2012).

Olovo (Pb) sa vyskytuje v Zemskej kôre len zriedkavo. Jeho celosvetové rozšírenie má na svedomí do značnej miery ľudská aktivita. Užitočnosť olova a jeho zlúčenín bola objavená už v praveku avšak jeho najväčšie využitie priniesol nástup industrializácie. Dopyt po olove dramaticky narástol s príchodom automobilového priemyslu v dvadsiatom storočí. Využitie našlo aj v inštalatérstve, stavebných materiáloch, akumulátorových batériách, chemikáliách, prísadách do benzínu atď. V dôsledku ľudskej aktivity sa olovo dostáva do životného prostredia na všetkých úrovniach jeho spracovania počnúc ťažbou, až po jeho konečné použitie vrátane procesu recyklácie. Olovo znečisťuje pôdu, vodu dostáva sa do poľnohospodárskych plodín, potravín a vzduchu (IRAC, 2006).

Ortuť (Hg) je strieborne sfarbený tekutý kov a ako jediný kov sa na Zemskom povrchu pri obvyčajnej teplote vyskytuje v kvapalnej forme. Podobne ako iné tekutiny na Zemskom povrchu sa aj ortuť môže odparovať a kondenzovať. Môže byť absorbovaná a tesno zviazaná rôznymi materiálmi ako aj rastlinnými vláknami a pôdami. Zlúčeniny ortute podobne ako iné zlúčeniny chemických prvkov sú rozptýlené v horninách, pôdach,

vode, vzduchu, živých organizmoch všade okolo nás. Vďaka jej špeciálnym vlastnostiam je ortuť využívaná na rôzne priemyselné a vedecké účely. (Macleod, Gallagher, & Survey, 1997)

Kadmium (Cd) je relatívne zriedkavý mäkký kov, ktorý sa vyskytuje v životnom prostredí zvyčajne v spojení so zinkovými rudami a v menšej miere v rudách obsahujúcich olovo a meď. Niektoré neorganické zlúčeniny kadmia (okrem oxidov a sulfidov) sú rozpustné vo vode. Vo vzduchu vodná para obsahujúca častice kadmia rýchlo oxiduje a rozptyľuje kadmium z okolitého vzduchu do vody a pôdy kde je absorbovaný rastlinami, čím sa dostáva do potravinového reťazca. Do Zemskej atmosféry sa dostáva najmä sopečnou činnosťou a ľudskými aktivitami ako vysušanie zinkových koncentrátov, tavením a rafináciou rúd, spaľovaním odpadov, produkciou nikel-kadmiových batérií, spaľovaním fosílnych palív a generovaním priemyselného prachu pri výrobe cementu (WBG, 1998).

Pre ľudské zdravie má najväčší význam pitná voda, ktorá je zároveň najdôležitejšou súčasťou potravinového reťazca. Rozhodujúce kritérium sa kladie na jej kvalitu a množstvo (pitná voda by mala spĺňať fyziologické nároky organizmu a nepoškodzovať ho). Na Slovensku je pitná voda definovaná zákonom č. 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia v znení neskorších predpisov a nariadením vlády SR č. 354/2006 Z.z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na vodu určenú na ľudskú spotrebu a kontrolu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu. Podľa tohto zákona: *pitná voda je voda v jej pôvodnom stave, alebo po úprave určená na pitie, varenie, prípravu potravín, alebo na iné domáce účely bez ohľadu na jej pôvod a na to, či bola dodaná z vodovodnej siete, cisterny alebo ako voda balená do spotrebiteľského balenia a voda používaná v potravinárskych podnikoch pri výrobe, spracovaní, konzervovaní alebo predaji výrobkov, alebo látok určených na ľudskú spotrebu.*

Zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou predstavuje jedno z najvýznamnejších opatrení ochrany ľudského zdravia. Voda môže byť faktorom prenosu infekčných ochorení a na ľudskom zdraví sa podieľa svojim chemickým zložením. Chemická kontaminácia vody môže spôsobiť akútne poškodenie organizmu, alebo vznik chronických ochorení pri dlhodobom používaní vody obsahujúcej zvýšené koncentrácie toxických chemických látok. Hromadné zásobovanie pitnou vodou umožňuje verejný vodovod, ktorý je v zmysle zákona č. 442/2002 Z.Z. v znení neskorších predpisov definovaný ako *súbor objektov*

a zariadení slúžiacich verejnej potrebe, umožňujúcich hromadné zásobovanie obyvateľstva a iných odberateľov vodou. V zmysle Návrhu plánu rozvoja verejných vodovodov pre územie Slovenskej republiky bolo z celkového počtu obyvateľstva k 1.1.2005 zásobovaných pitnou vodou 84,9%, k dátumu 31.12.2008 bol tento podiel 86% a najaktuálnejší stav k 1.1.2013 bol 87%. Z hľadiska krajov je situácia najlepšia v Bratislavskom kraji kde v roku 2013 je uvádzaná zásobovanosť vodou 96,8% v ostatných krajoch bola situácia nasledovná Nitriansky kraj 90,2%, Trenčiansky kraj 89,8%, Žilinský kraj 89,6%, Trnavský kraj 87,8%, Banskobystrický 86,2%, Košický 80,9%, a prešovský 78,8%. Úroveň zásobovania v jednotlivých okresoch Slovenska je taktiež veľmi rozdielna. Okresy kde je zásobovanie obyvateľov nižšie ako 70% sú Gelnica, Medzilaborce, Rimavská Sobota a Lučenec. Viac informácií o analýze stavu zásobovania pitnou vodou v roku 2013: http://old.vuvh.sk/download/RSV/PRVV_SR_2015/PlanRozvojaVV.pdf

Voda cirkulujúca vo verejných vodovodoch podlieha kontrole kvality, ktorú zabezpečujú vlastníci, alebo prevádzkovatelia verejných vodovodov. Kvalitu pitnej vody na Slovensku sleduje Úrad verejného zdravotníctva Slovenskej republiky (ÚVZ), ktorý vykonáva jej rozbor a monitoring realizujú pracovníci odborov hygieny životného prostredia. Vzhľadom na tento fakt budeme pitnú vodu cirkulujúcu vo verejnej vodovodnej sieti považovať za zdravotne nezávadnú. V predkladanej práci budeme preto venovať pozornosť iba obyvateľom žijúcich v domoch bez pripojenia k verejnému vodovodu. Obyvatelia žijúci v takýchto domoch môžu ako zdroj pitnej vody používať vlastné studne a tým pádom sú vystavení potenciálnemu zdravotnému riziku z prijímania vody, ktorá môže obsahovať nadmerné množstvá toxických chemických prvkov.

Toxické chemické prvky arzén, olovo, ortuť a kadmium známe svojou nadmernou toxicitou obsiahnuté v zvýšených množstvách vo vode určenej na pitie, môžu spôsobiť poškodenie organizmu. Hlavné metabolické faktory spojené s vystavením organizmu týmto prvkom v zmysle (Hutton, 1987) sú popísané v (tab. 1).

	Arzén	Olovo	Ortuť	Kadmium
Hlavné cesty vstupu do organizmu	Požitie	Požitie a vdychovanie	Požitie	Požitie a vdychovanie (tabak)
Gastrointestinálna absorpcia (%)	> 80	~ 10	~ 95	~ 5
Orgány absorpcie	Keratinizované tkanivo	Kosti, obličky a pečeň	Mozog, pečeň, obličky	Obličky a pečeň
Hlavné cesty vylučovania	Moč	Moč	Exkrementy	Moč
Biologický polčas	10-30 hodín	~ 20 rokov	~ 70 dní	> 10 rokov

Tabuľka 1. Hlavné metabolické faktory spojené s vystavením organizmu toxickým chemickým prvkom arzén, olovo, ortuť a kadmium v zmysle (Hutton, 1987).

Ako vidieť z tabuľky 1., všetky štyri prvky môže človek prijať požitím z vody, preto požívanie vody z vodných zdrojov neznámej kvality (akými sú napríklad vlastné studne) predstavuje potenciálne zdravotné riziko.

V nie tak dávnej dobe začali spolu úzko spolupracovať dve vedné disciplíny geoinformatika a environmentálne zdravie. Tieto vedné disciplíny museli prejsť svojim dlhým vývojom aby získali potrebné znalosti a overené metodológie. Mimo týchto dvoch samostatne sa vyvíjajúcich vedných disciplín sa začala rozvíjať nová interdisciplinárna oblasť výskumu konkrétne interdisciplinárna oblasť, ktorá spája využitie geopriestorových analýz s environmentálnym zdravím. Je to oblasť praxe ako aj nových poznatkov, kde výsledky môžu priniesť politické zmeny a opatrenia priamo súvisiace so zlepšením zdravotného stavu postihnutej populácie. Štúdie v tejto oblasti slúžia na priame identifikovanie environmentálnych príčin zlého zdravotného stavu obyvateľstva. (Maantay, McLafferty 2011). Výskum takéhoto charakteru je prezentovaný v predkladanej práci.

V súčasnej dobe digitálnej kartografie zohráva významnú úlohu prezeranie, zdieľanie a dopytovanie priestorových údajov prostredníctvom webu. Takýto prístup umožnil, aby sa k údajom vedel dostať každý, kto má zariadenie s webovým prehliadačom a pripojením na internet. Moderné webové mapové aplikácie (WMA) ako Google maps, Openstreetmap, Bing maps, Yahoo maps, ... rovnako ako aj mapový portál priestorovej informačnej infraštruktúry, ktorá bude predstavená v našej práci, komunikujú prostredníctvom technológie mapového servera (napr. Geoserver, Mapserver, QGIS Server, MapGuide Open Source, Deegree, ...) a umožňujú zobrazit' nad podkladovými mapami špecifický obsah. Mapový server distribuuje údaje do prostredia internet formou štandardov OpenGIS

konzorcia OGC (WMS, WFS, WFS-T, WCS, WPS a WMTS) (Obe & Hsu 2011). WMA predstavujú možnosti prezentácie máp v prostredí internet, čiže sa jedná o špeciálny typ aplikácii umožňujúcich vizualizáciu geograficky polohovo určených údajov prostredníctvom webového rozhrania dostupného online (Benová & Feciskanin 2014).

Metodické aspekty mapového spracovania v digitálnej kartografii predstavujú komplexný proces, ktorý pozostáva zo zberu priestorových údajov, ich spracovania, implementáciou do priestorovej informačnej infraštruktúry vrátane ďalšieho spracovania, kartografickej reprezentácie, atď. Metódy kartografickej reprezentácie spracovaných údajov sa týkajú buď definície vlastnej symboliky geografických prvkov, alebo symboliky definovanej smernicou INSPIRE prostredníctvom kódovania SLD. SLD predstavuje špecifikáciu profilu WMS, na základe ktorej je možné objektom mapovej vrstvy priradiť viacero štýlov podľa dostupných atribútov a ich hodnôt v atribútovej tabuľke (OGC, 2007).

1.1 Súčasný stav riešenej problematiky na Slovensku

Výskumom priestorového rozloženia chemických prvkov v podzemnej vode sa na Slovensku venuje najmä Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, ktorý danú problematiku významne spracoval v projekte s názvom „Vplyv geologickej zložky životného prostredia na zdravotný stav obyvateľstva Slovenskej republiky“ s akronymom GEOHEALTH. Projekt bol realizovaný od roku 2011 do 2015. V projekte boli zostavené súbory environmentálnych a zdravotných indikátorov vzájomne vplyvujúcich na zdravie obyvateľstva, vymedzené oblasti so zhoršeným zdravotným stavom obyvateľov v dôsledku nepriaznivého geologického prostredia, definovanie limitných hodnôt v podzemnej vode a pôde a spracovanie návrhu opatrení na redukcii nepriaznivého vplyvu geologického prostredia na zdravotný stav obyvateľstva. Zoznam spracovaných environmentálnych indikátorov v pôdach a podzemných vodách Slovenskej republiky je dostupný na stránke projektu <http://www.geology.sk/geohealth/vysledkyresults/environmentalne-indikatory/>. Údaje o distribúcii chemických prvkov sú uvedené v tabuľkách a mapách na úrovni obcí a okresov Slovenska. V súvislosti s problematikou vplyvu chemických prvkov na ľudské zdravie boli ústavom Dionýza Štúra vypublikované viaceré publikácie a vedecké práce ako napríklad „Aplikácia metódy hodnotenia zdravotného rizika geologického prostredia na národnej a regionálnej úrovni“ (Rapant et al., 2011), „Prepojenie environmentálnych

a zdravotných indikátorov prostredníctvom neurónových sietí: prípad úmrtí na ochorenie rakoviny prsníka v Slovenskej republike“ (Rapant et al., 2013), „Potenciálny vplyv geologického prostredia na zdravotný stav obyvateľov Slovenskej republiky“ (Rapant et al., 2014) „Chemické zloženie podzemných vôd a relatívna úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia v Slovenskej republike“ (Rapant et al., 2015) atď.

Ďalším projektom venovaným problematike environmentálneho zdravia na Slovensku bol Univerzitný vedecký park univerzity Komenského v Bratislave a jeho aktivita číslo 2.5 s názvom Environmentálna medicína pre 21. storočie – geografický informačný systém a environmentálne zdravie. Realizácia projektu prebiehala v rokoch 2013 – 2015. Medzi hlavné produkty vytvorené projektom patrí integrovaná geografická báza údajov environmentálneho zdravia (IGBÚEZ), webový mapový portál, katalóg tried objektov, metainformačný katalóg a terminologický slovník. Vypublikované články venované problematike environmentálneho zdravia ako napríklad: „Hodnotenie webových mapových aplikácií so zameraním na environmentálne zdravotné riziká z hľadiska ich kompozície a funkčnosti“ (Benová & Feciskanin, 2014), alebo „Operačné možnosti integrovanej geografickej bázy údajov environmentálneho zdravia“ (Schmidt et al., 2015), veľa ďalších je v rôznom štádiu rozpracovania. Okrem publikácií sú na stránke projektu <http://uvp.geonika.sk/?menu=vystupy> taktiež dostupné dokumenty z konferencií.

Problematike priestorového rozloženia potenciálne toxických chemických prvkov v pôdach Slovenska je venované súborné dielo (Čurlík, 2011), ktoré pozostáva z dvoch častí: úvodnej (všeobecnej časti), kde autor popisuje Zemské geosféry a postavenie pedosféry medzi nimi s dôrazom na aspekty látkovej a energetickej výmeny medzi interagujúcimi geosférami. Druhá časť je rozdelená do niekoľkých kapitol a opisuje zdroje potenciálne toxických chemických prvkov v kontexte s poznatkami zo svetovej literatúry, hodnotí faktory a procesy, ktoré vplývajú na ich koncentráciu v pôde, dostupnosť pre rastliny a ich migráciu v ekosystéme do podzemných vôd. Staršie publikácie venované znečisteniu pôd chemickými prvkami (Čurlík & Mejeed, 1994), (Čurlík & Šefčík, 1998), (Čurlík, 1998, 2001b, 2003) a podzemných vôd cez pôdu (Čurlík, 2001a), ...

V zmysle (Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 1996) majú rozhodujúci vplyv na chemické zloženie podzemných vôd prírodné podmienky, kde sa ako najdôležitejšie primárne genetické faktory uplatňujú: geologická stavba, mineralogicko-petrografický charakter horninového prostredia, fyzikálno-chemické vlastnosti zdrojových

vôd a hydrodynamické, termodynamické a oxidačno-redukčné podmienky ich obehu. Veľký význam pre tvorbu podzemných vôd majú aj zimné zrážky uložené na zemskom povrchu v podobe snehovej pokrývky, ktoré pri topení vsakujú do pôd a horninového podložia. Chemické zloženie snehovej pokrývky je taktiež monitorované pričom priemerné chemické zloženie snehu na Slovensku v rokoch 1976 – 1995 pozostávalo z týchto chemických prvkov a zlúčenín:

MIN, pH, H, SiO₂, Na, K, NH₄, Mg, Ca, Mn, Fe, Zn, Cu, Cl, NO₃, SO₄ . Tejto

problematike sa venuje napríklad práca (Vrana et al., 1989). Ostatné práce venované hydrochemickému výskumu, priestorovému rozloženiu toxických chemických prvkov v podzemných vodách a pôdach majú menší väčšinou regionálny charakter.

1.2 Súčasný stav riešenej problematiky vo svete

Čo sa týka počtu výskumov venovaných výskytu toxických chemických prvkov vo vode a pôde a hodnoteniu ich vplyvu na ľudské zdravie, patrí prvé miesto chemickému prvku arzénu. Výskyt arzénu v prírode sa spája s rudami obsahujúcimi sulfidy spolu s kovmi. Hlavným zdrojom arzénu v pôdach a vodách je jeho uvoľňovanie zvyčajne zapríčinené zvetrávaním skál a minerálov. Štúdia zo západného Bengálska (India) ukázala, že za uvoľňovaním arzénu do prostredia stojí baktéria, ktorá výraznou mierou napomáha jeho uvoľňovaniu z hornín (Islam et al., 2004). Medzi najviac postihnuté miesta na Zemi, kde množstvá arzénu prekračujúce maximálne povolené hodnoty podľa WHO sú Argentína, Čile, Bangladéš, Čína, India, Mexiko, Thajsko, a USA. Výskum v týchto oblastiach bol dokumentovaný v početných publikáciách napríklad „Arzén a iné prvky na povrchu a v systéme podzemných vôd“ (Mukherjee, Bhattacharya, & Fryar, 2011), „Štúdium koncentrácií radónu a toxických prvkov v pitnej vode a vode používanej na zavlažovanie v oblasti Sungai Petani, Kedah, Malajzia“ (Ahmad, Jaafar, & Alsaffar, 2015), „Stopové prvky v pitnej vode a ich možné účinky na zdravie v meste Aligarh, India“ (Khan, 2011), „Kontaminácia pitnej vody arzénom v Bangladéši: ohrozenie verejného zdravia“ (Smith, Lingas, & Rahman, 2000), „Stav kontaminácie podzemných vôd arzénom v západnom Bengálsku, India: správa z 20 ročnej štúdie“ (Chakraborti et al., 2009), znečistenie podzemných vôd arzénom v Číne, Pakistane a Nepále popisujú napríklad publikácie (Sun, 2004)(Toor & Tahir, 2009)(Thakur, Thakur, Ramanathan, Kumar, & Singh, 2010), atď.

Medzi európske krajiny kde sa nachádza arzén v zvýšených množstvách podľa (Katsoyiannis, Mitrakas, & Zouboulis, 2015) patria najmä krajiny nachádzajúce sa na Panónskej panve a to Maďarsko, Rumunsko, Chorvátsko, Srbsko. Uvedená publikácia sa zameriava najmä na Grécko. Na územie Panónskej panvy patrí aj časť Slovenskej republiky, kde budeme v predkladanej práci okrem arzénu v podzemnej vode skúmať aj zvýšené koncentrácie toxických prvkov olova, ortuti a kadmia.

Výskyt zvýšených koncentrácií toxických prvkov olova, ortuti a kadmia vo svete nieje dokumentovaný takým množstvom výskumov a publikácií ako je to v prípade arzénu - ide skôr o lokálne výskumy realizované na menšej rozlohe. Ako príklady možno uviesť „Výskyt arzénu, olova, tália a berýlia v podzemnej vode“ (Mohamed, Rahman, Said, & Lim, 2014), „Ortuť v podzemnej vode, pôdach a sedimentoch Kirkwood-Cohansey podzemného vodného systému pobrežnej časti New Jersey“ (Macleod et al., 1997), „Analýzy výskytu kadmia v podzemnej vode a vzorkách sedimentov z oblasti Aquia Aquifer in Central Arundel country, Maryland“ (Bolton, 2006) a podobne.

S výskytom toxických látok v povrchovej a podzemnej vode je spojené riziko ohrozenia obyvateľstva a živých organizmov, ktoré používajú ako zdroj pitnej vody práve vodu z kontaminovaných zdrojov. Ako príklad publikácie venovanej hodnoteniu a výpočtu zdravotného rizika vyplývajúceho z koncentrácie toxických chemických prvkov v pôde možno spomenúť napríklad: „Znaky kontaminácie a zdravotné riziko vyplývajúce z kontaminácie pôd ťažkými kovmi v Číne“ (Chen, Teng, Lu, Wang, & Wang, 2015). Túto Metodiku hodnotenia výpočtu zdravotného rizika je možné aplikovať aj na podzemné vody, avšak je potrebné do výpočtu vložiť väčšie množstvo premenných spojených so vzorkou skupiny obyvateľov žijúcich v danej oblasti. Hodnotenie zdravotného rizika vyplývajúceho z pitia vody obsahujúcej nadlimitné množstvá arzénu v Kambodži popisuje (Phan et al., 2013), ...

2. CIELE PRÁCE

Ciele práce uvedené v zadaní sú veľmi rámcové a boli súčasťou originálneho zadania dizertačnej práce z dátumu 14.3.2011. Pri vypracovávaní dizertačnej práce sa prišlo ku konkrétnym cieľom realizácie prípadovej štúdie so zameraním na environmentálne zdravie. Vyhodnotenie informačných zdrojov o priestorových informačných infraštruktúrach ako takých, nie je rozpísané v predkladanej práci vzhľadom na rozsiahlosť problematiky a nové zameranie práce. V kapitole 3. *Metodika práce a metódy skúmania* je popísaná konkrétna technologická a informačná architektúra, ktorá vznikla na základe realizovaného projektu *Univerzitný vedecký park Univerzity Komenského v Bratislave (UVP)* v rokoch 2013 až 2015.

Návrh metodiky použitia priestorovej informačnej infraštruktúry pre tvorbu poznatkov o krajine a návrh metodiky riešenia tvorby poznatkov o krajine je v práci prezentovaný týmito konkrétnymi cieľmi:

- Identifikácia oblastí s prekročenými limitnými hodnotami toxických chemických prvkov arzén, olovo, ortuť a kadmium v podzemnej vode (identifikácia rizikových zón).
- Výpočet indexu environmentálneho rizika (IER) vyplývajúceho z kontaminácie podzemných vôd toxickými chemickými prvkami arzén, olovo, ortuť a kadmium.
- Identifikácia podielu obyvateľstva žijúceho v domoch bez pripojenia na verejnú vodovodnú sieť v oblastiach rizikových zón.
- Výpočet potenciálneho zdravotného rizika (PZR) obyvateľstva žijúceho v domoch bez pripojenia k verejnej vodovodnej sieti a miestach výskytu nadlimitných koncentrácií toxických chemických prvkov v podzemnej vode.

Ďalšie ciele súvisia už priamo s prezentáciou výsledkov nových poznatkov o krajine prostredníctvom webovej mapovej aplikácie, ktorá je zameraná na prezentáciu priestorových údajov a predstavuje jeden z produktov projektu UVP. Táto aplikácia využíva na svoj beh moderný webový prehliadač a so servermi komunikuje prostredníctvom siete internet.

- Publikácia mapových výstupov reprezentujúcich index environmentálneho zdravotného rizika (IER) vo forme webovej mapovej služby WMS dostupnej prostredníctvom webovej mapovej aplikácie.
- Publikácia mapových výstupov reprezentujúcich potenciálne zdravotné riziko obyvateľstva žijúceho v domoch bez vodovodnej prípojky na miestach s prekročenými hodnotami arzénu, olova, ortute a kadmia v podzemnej vode vo forme webovej mapovej služby WMS dostupnej prostredníctvom webovej mapovej aplikácie.

3. METODIKA PRÁCE A METÓDY SKÚMANIA

V nasledujúcej kapitole budeme hovoriť o priestorových informačných infraštruktúrach, popisovať vstupné údaje, spracované údaje (vstupné údaje spracované do informačnej podoby), odvodené údaje (odvodené údaje zo spracovaných údajov), údajový model, použité metódy výpočtu environmentálneho a potenciálneho zdravotného rizika a použité technológie, vďaka ktorým bolo možné úspešne zrealizovať výskum a prezentovať výsledky.

3.1 Priestorové informačné infraštruktúry

V zmysle (Mičietová & Petříček, 2013) nástroje interaktívnej geografickej komunikácie operujú v rámci priestorovej informačnej infraštruktúry (PII) na základe pravidiel, ktoré stanovili konzorciá – OGC (Open Geospatial Consortium), World Wide Web Consortium (W3C), Medzinárodná štandardizačná organizácia (ISO TC 211) a národné štandardizačné organizácie. Smernica INSPIRE (Inspire, 2007) definuje pojem PII: „Infraštruktúra pre priestorové informácie“ sú metaúdaje, súbory priestorových údajov a služby priestorových údajov, sieťové služby a technológie, dohody o zdieľaní, prístupe a využívaní a koordinačné a monitorovacie mechanizmy, procesy a postupy zriadené, prevádzkované alebo sprístupnené v súlade s touto smernicou“.

Význam PII pre geopriestorové komunity špecifikuje (Yang et al., 2010): PII umožňuje využívanie geopriestorových princípov, funkcií a údajov pomocou aplikácií v rôznych vedeckých oblastiach a mení spôsob, v ktorom geopriestorová komunita riadi ich produkciu, využitie, vývoj, výskum a vzdelávanie. Budúcnosť PII je podľa tohto zdroja súčasťou geopriestorovej kyberinfraštruktúry, ktorej realizáciu charakterizuje séria stratégií:

- a) identifikácia geopriestorových problémov vo vedách a aplikáciách
- b) analýza informačných tokov od údajov k informáciám
- c) zjednotenie sémantického webu so zameraním na tvorbu poznatkov
- d) vývoj softvérových nástrojov geopriestorového middleware
- e) sprístupnenie vedy verejnosti
- f) stanovenie spoločných výskumných priorít geopriestorovej komunity

Vývoj softvérových nástrojov na realizáciu geografických informačných služieb v PII reflektuje špecifikácie informačných služieb OWS (OGC Web Services) a implementuje ich vo forme technických štandardov.

Priestorové informačné infraštruktúry predstavujú teda rámec a platformu predkladanej dizertačnej práce. Ide o komplexnú technologickú a informačnú architektúru, na ktorej sú postavené súčasné webové mapové aplikácie. Európa prišla v roku 2007 s riešením problému nejednotnosti priestorových údajov a geoinformačných technológií, ktoré s takýmito údajmi pracujú. Riešenie predstavovalo postupné zavedenie smernice INSPIRE do platnosti pre všetky štáty Európskej únie. Smernica INSPIRE pojednáva o vybudovaní jednotnej infraštruktúry pre priestorové údaje na podporu environmentálnej politiky a aktivít, ktoré môžu mať dopad na životné prostredie. V súčasnosti je INSPIRE prevádzkovaná v 28 členských štátoch Európskej únie. Smernica sa zaoberá 34 témami priestorových údajov potrebných pre environmentálne aplikácie a poskytuje komplexnú technickú dokumentáciu vrátane definovania kľúčových komponentov a implementačných pravidiel dostupných na oficiálnej stránke smernice: <http://inspire.ec.europa.eu/>. Aby bolo možné zabezpečiť kompatibilitu a použiteľnosť priestorových údajov nielen pre členské štáty Európskej únie, bolo smernicou potrebné určiť spoločné implementačné pravidlá pre oblasti špecifikácie údajov v zmysle (INSPIRE, 2007):

- monitoring a podávanie správ
- metaúdaje
- špecifikácie údajov
- sieťové služby
- služby pre priestorové údaje
- zdieľanie údajov a služieb

Monitoring a podávanie správ

Aby bolo možné vytvoriť pevný základ pre tvorbu rozhodnutí spojených s implementáciou smernice INSPIRE, bolo potrebné zaviesť monitorovanie a podávanie správ o priebehu implementácie smernice v jednotlivých členských štátoch Európskej únie. Toto monitorovanie a podávanie správ zahŕňa hlavne oblasti vykazovania metaúdajov,

priestorových údajov a služieb, sieťových služieb a zdieľania údajov pričom sa vykazuje v časových periódach.

Metaúdaje

Európska komisia v spolupráci s množstvom individuálnych organizácií vydala ku problematike metaúdajov technické usmernenie s názvom „*INSPIRE implementačné pravidlá pre metaúdaje: technické pokyny založené na EN ISO 19115 a EN ISO 19119*“, ktorý je z roku 2013 v časti Technické pokyny príloha I. Tento dokument okrem iného kladie dôraz na to, aby členské štáty zaistili vytváranie metaúdajov pre všetky sady údajov a služieb uvedených v prílohe I, II, III.

Špecifikácie údajov

Smernica uvádza technické pokyny pre vytváranie priestorových údajov v troch prílohách smernice INSPIRE - „Annex I, II a III“. Ide o 34 tém priestorových údajov. Kompletný zoznam dokumentov (technických pokynov) je dostupný online na url: <http://inspire.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/2>

Sieťové služby

Sieťové služby popisuje smernica INSPIRE v prílohe I piatimi dokumentami, pričom ide o komplexné, rozsiahle dokumenty vydané smernicou v rozmedzí rokov 2010 až 2013 a to:

1. *Technické pokyny smernice INSPIRE na implementáciu služieb potrebných na sťahovanie priestorových údajov* (z roku 2013)
2. *Technické pokyny smernice INSPIRE na implementáciu zobrazovacích služieb* (z roku 2013)
3. *Technické pokyny smernice INSPIRE na implementáciu vyhľadávacích služieb* (z roku 2011)
4. *Technické pokyny smernice INSPIRE pre schému transformačných sieťových služieb* (z roku 2010)
5. *Návrh technických pokynov smernice INSPIRE pre transformačné služby súradnicových systémov* (z roku 2010)

Tieto dokumenty sú dostupné online na url.: <http://inspire.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/5> v časti „Technické pokyny príloha I“.

Služby pre priestorové údaje

Služby pre priestorové údaje popisuje smernica INSPIRE v dokumente s názvom „*Technické pokyny pre INSPIRE služby priestorových údajov a služby umožňujúce tieto služby priestorových údajov privolať*“ dokument z roku 2014 dostupný na url.: <http://inspire.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/761>

Akonáhle máme popísanú službu pre priestorové údaje prostredníctvom INSPIRE metaúdajov, stáva sa službou pre priestorové údaje prostredníctvom INSPIRE sieťových služieb typu vyhľadávač. Uvedený dokument klasifikuje služby pre priestorové údaje nasledovne:

1. Privolané služby pre priestorové údaje
2. Interoperabilné služby pre priestorové údaje
3. Harmonizované služby pre priestorové údaje

Zdieľanie údajov a služieb

Prístup k priestorovým údajom a službám predstavuje dôležitý základ pre environmentálnu politiku orgánov verejnej správy, preto je hlavným aspektom infraštruktúry pre priestorové údaje v Európskom spoločenstve. Hlavnou potrebou je získanie prístupu k priestorovým údajom a službám v súlade s odsúhlasenými sadami harmonizovaných podmienok. Detailnejšie túto problematiku popisuje dokument s názvom „*Pokyny regulácie prístupu k sadám priestorovým údajov a službám členských štátov spoločenstva od inštitúcií a orgánov spoločenstva podľa harmonizovaných podmienok*“ z roku 2013 a dostupný na url: <http://inspire.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/62>.

3.2 Vstupné údaje

Pojem údaje a informácie v zmysle problematiky „business intelligence“ (BI) sú dva rozdielne pojmy. Ak hovoríme o údajoch spravidla sa jedná o ich formát, štruktúru, uloženie, prípadne spôsob akým je možné k údajom pristupovať. Ak hovoríme o informáciách, máme na mysli len tú (pre nás podstatnú) časť údajov, na základe ktorej

môžeme robiť rozhodnutia. Na údaje sa môžeme pozerieť ako na informačné štruktúry, kde záleží na ich vnútornej reprezentácii. Spôsoby, akými potom môžeme extrahovať dôležité informácie sú závislé na štruktúre a uložení údajov (Vasiliev, 2010).

Údaje o priestorovom rozložení chemických prvkov v podzemnej vode na Slovensku pochádzajú z environmentálno-geochemického mapovania, z ktorého výstupov sa vytvoril Geochemický atlas Slovenska (Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 1996). Tieto údaje reprezentujú nepravidelnú bodovú sieť pokrývajúcu celé územie Slovenskej republiky. Počas environmentálno-geochemického mapovania medzi rokmi 1991 až 1994 bolo zozbieraných 16 359 vzoriek z podzemných vôd (približne jedna vzorka na tri štvorcové kilometre). Chemickými analýzami bolo identifikovaných v podzemných vodách 32 chemických prvkov a ich zlúčenín (Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 1996). Tieto údaje reprezentujú jediný konzistentný zdroj údajov o chemických prvkoch a zlúčeninách v podzemnej vode na celom Slovensku, keďže podobný výskum sa nikdy predtým ani potom neopakoval.

Aby bolo možné získať kľúčové informácie z údajov pre náš výskum, bolo potrebné vykonať ich spracovanie. Spracovanie údajov z environmentálno-geochemického mapovania prebiehalo v technologickom prostredí GRASS GIS 6.4 pomocou interpolačnej funkcie s názvom „*Regularizovaný spline s tenziou*“ do formy spojitých rastrových povrchov s priestorovým rozlíšením 100m. Spojité rastrové priestorové štruktúry boli následne reklasifikované (vrátane implementácie limitnej hodnoty chemického prvku) a konvertované na vektorové polygóny (viac informácií o procese spracovania údajov a použitej GIS technológií bude uvedené v podkapitole 3.6.1 *Modelovanie v technológií GRASS GIS*). Takto spracované priestorové údaje o priestorovom rozložení toxických chemických prvkov na Slovensku sa stali súčasťou komplexnej priestorovej informačnej infraštruktúry spomínaného projektu UVP venovaného problematike environmentálneho zdravia. Limitné hodnoty výskytu chemických prvkov v podzemnej vode sú dané nariadením vlády Slovenskej republiky číslo 354/2006 Z.z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na vodu určenú na ľudskú spotrebu a kontrolu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu. V našom prípade sme pracovali iba s toxickými prvkami arzén, olovo, ortuť a kadmium, ktorých limitné hodnoty sú **arzén – 0,01mg/l, olovo – 0,01mg/l, ortuť – 0,001mg/l, a kadmium – 0,005mg/l**.

Údaje o domoch a bytoch pripojených k verejnému vodovodu boli získané zo sčítania obyvateľov, domov a bytov z roku 2011 zo Štatistického úradu Slovenskej republiky a sú dostupné na úrovni administratívneho členenia ako základné sídelné jednotky (ZSJ). Každá ZSJ jednotka obsahuje údaje o počte domov a bytov pripojených k verejnému vodovodu, počte domov a bytov s vlastnou vodovodnou prípojkou, vodovodnou prípojkou mimo domu, bez vodovodnej prípojky a nezisteným typom prípojky. Pod typom vodovodnej prípojky „vlastná“ sa rozumie v zmysle predpisu č. 438/2010 Z.z. vodovodná prípojka vlastná buď v dome, alebo vlastná mimo domu z verejnej vodovodnej siete. Nezistený typ prípojky môže reprezentovať všetky možnosti preto ani túto možnosť nebudeme brať do úvahy. Pre nás je najpodstatnejší údaj, ktorý hovorí o počte domov bez vodovodnej prípojky. Získanie pre nás podstatných informácií z tohto typu údajov prebehlo výpočtom percenta domov bez pripojenia k vodovodnej sieti zo všetkých domov v ZSJ jednotkách na úrovni priestorovej databázy, o ktorej budeme hovoriť v nasledujúcich podkapitolách. Tieto spracované údaje sa taktiež stali súčasťou komplexnej priestorovej informačnej infraštruktúry projektu UVP.

3.3 Integrovaná geografická báza údajov environmentálneho zdravia Slovenskej republiky

Údaje použité v predkladanej práci (vstupné údaje, spracované údaje, odvodené údaje) sú uložené v priestorovej databáze vyvíjanej pre účely projektu „Univerzitný vedecký park univerzity Komenského v Bratislave“ (UVP) pod menom „Integrovaná geografická báza údajov environmentálneho zdravia Slovenskej republiky (IGBÚEZ)“. IGBÚEZ je postavená na databázovom systéme PostgreSQL (verzia 9.3.9) s priestorovým rozšírením PostGIS (verzia 2.1.5). PostgreSQL predstavuje v súčasnosti jednu z najspoľahlivejších voľne dostupných databázových systémov na trhu a s rozšírením o priestorové funkcie PostGIS reprezentuje sofistikovaný databázový systém umožňujúci nielen ukladanie, ale aj analýzu uložených geografických údajov.

Obsah priestorovej databázy IGBÚEZ obsahuje spracované environmentálne, demografické, zdravotné údaje, údaje pochádzajúce zo sčítania obyvateľov, domov a bytov z roku 2011 a administratívne hranice Slovenskej republiky. Údaje boli získané z rôznych špecializovaných inštitúcií a organizácií ako napríklad Štatistický úrad Slovenskej republiky, Národné centrum zdravotníckych informácií, Slovenský hydrometeorologický

ústav, Slovenská agentúra životného prostredia, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra atď. Obsah IGBÚEZ detailne popisuje katalóg tried objektov, ktorý uvádza databázové tabuľky vrátane kategórie údajov (zdravotné, demografické, environmentálne, SODB 2011 a polohopis), ich popis, atribúty a hodnoty, ktoré atribúty nadobúdajú. Tento katalóg tried objektov je dostupný pre používateľov online na webovej stránke projektu UVP na url.: <https://uvp.geonika.sk/?menu=vystupy#udaje>.

3.4 Údajový model

Pre výskum prezentovaný v predkladanej práci bolo použitých niekoľko sád spracovaných údajov uložených v priestorovej databáze IGBÚEZ a to:

1. Priestorové údaje pojednávajúce o distribúcií toxického chemického prvku arzén v podzemnej vode. (Spracovaná forma do podoby vektorových polygónov)
2. Priestorové údaje pojednávajúce o distribúcií toxického chemického prvku olovo v podzemnej vode. (Spracovaná forma do podoby vektorových polygónov)
3. Priestorové údaje pojednávajúce o distribúcií toxického chemického prvku ortuť v podzemnej vode. (Spracovaná forma do podoby vektorových polygónov)
4. Priestorové údaje pojednávajúce o distribúcií toxického chemického prvku kadmium v podzemnej vode. (Spracovaná forma do podoby vektorových polygónov)
5. Priestorové údaje pojednávajúce o percentuálnom podiele domov bez vodovodnej prípojky v roku 2011 na úrovni ZSJ. (Spracovaná forma s výpočtom percenta domov bez vodovodnej prípojky v ZSJ)
6. Administratívne hranice (vektorová vrstva štátnej hranice SR)

3.5 Databázový systém

Databázový systém „database system“ (DBS) jednoducho povedané predstavuje počítačový systém evidencie údajov, ktorý slúži na ich sprístupnenie a udržiavanie v prípade potreby. Systém správy databázy „database management system“ (DBMS) reprezentuje súbor programov, ktoré nám umožňujú riadiť a spravovať databázový systém (Godbole, Foster, 2014).

Pri DBMS je dôležité uviesť minimálne základné funkcie tohto systému, ktorými

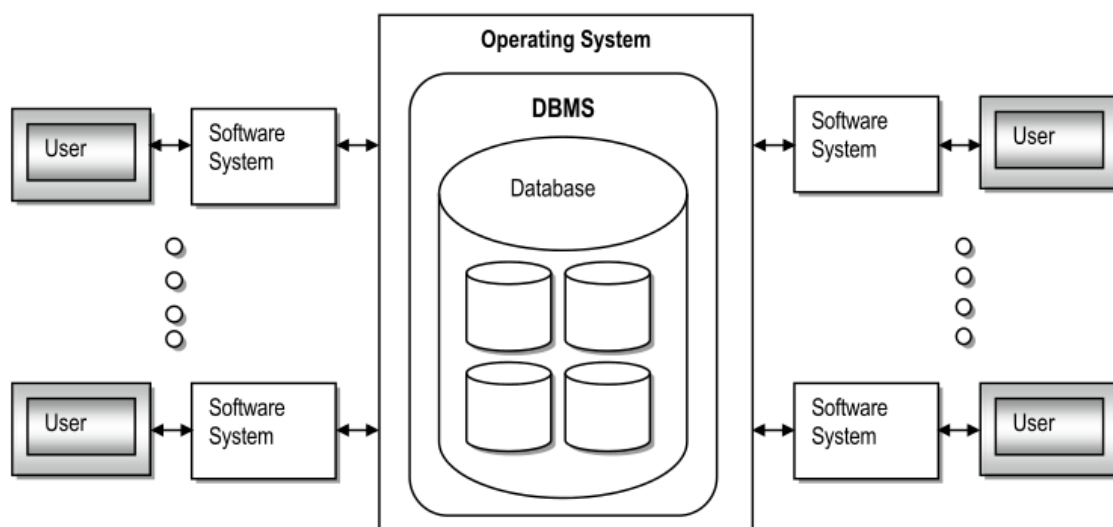
v zmysle (Godbole, Foster , 2014) sú:

- Popis údajov (vzťahy, závislosti, integrita, pohľady, obmedzenia, ...)
- Manipulácia s údajmi (aktualizovanie, mazanie, pridávanie, obnovenie, reorganizovanie a zoskupovanie údajov)
- Kontrola integrácie a bezpečnosť údajov.

Komponenty DBS pozostávajú z:

- Hardvéru a operačného systému
- DBMS
- Databáz
- Súvisiaceho softvéru / aplikácií
- Koncových používateľov

Koncoví používatelia komunikujú prostredníctvom súvisiacich aplikácií (ako napríklad klientská aplikácia PgAdmin slúžiaca na prístup a prácu s databázovým systémom PostgreSQL), ktoré komunikujú s DBMS, ďalej DBMS komunikuje s operačným systémom a operačný systém zase komunikuje s hardvérom (pevný disk počítača) kam buď zapíše, alebo načíta údaje (obrázok 1).



Obrázok 1 Zjednodušená reprezentácia DBS. (prevzaté z Godbole, Foster , 2014)

Komponenty DBMS v zmysle (Godbole, Foster, 2014) zahŕňajú:

- jadro DBMS „DBMS engine“,
- subsystém definície údajov „data definition subsystem“ (DDS),
- subsystém používateľského rozhrania „user interface subsystem“,
- subsystém vývoja aplikácií „application development subsystem“,
- subsystém administrácie údajov „data administration subsystem“,
- subsystém údajového katalógu „data dictionary subsystem“,
- správca na komunikáciu s údajmi „data communications manager“,
- subsystém nástrojov „utilities subsystem“.

Jadro DBMS „DBMS engine“ reprezentuje niečo ako prepojenie medzi všetkými ostatnými subsystémami a fyzickým zariadením (počítačom) cez operačný systém. Poskytuje priamy prístup k nástrojom a programom operačného systému (ako napr. komunikačné požiadavky). Zabezpečuje manažment prístupu k súborom, manažment údajov prostredníctvom operačného systému počítača a manažment presúvania údajov medzi pamäťou a systémovou vyrovnávacou pamäťou (RAM) za účelom vykonania používateľských požiadaviek. Rovnako treba spomenúť aj zabezpečenie údržby prevádzkových údajov a metaúdajov uložených v údajových slovníkoch (systémovom katalógu)

Subsystém definície údajov „Data Definition Subsystem“ (DDS) sa skladá z nástrojov a pomocných programov na definovanie a zmenu štruktúry databázy. Štruktúra databázy zahŕňa relačné tabuľky, vzťahy, obmedzenia, profily používateľov... Aby bolo možné definovať všetky databázové objekty, ktoré tvoria konceptuálnu schému databázy t.j. (obmedzenia, väzby, vzťahy...), používame databázový jazyk nazývaný *jazyk definície údajov* anglicky „data definition language“ (DDL). Môžeme uviesť niektoré príkazy jazyka DDL ako: CREATE DATABASE, ALTER TABLE, DROP VIEW, ... *Jazyk slúžiaci na manipuláciu s údajmi* v databáze sa anglicky nazýva „data manipulation language“ (DML) a prostredníctvom neho môžeme vyhľadávať, dopytovať, aktualizovať, vkladať a mazať

údaje. DML príkazy sú: SELECT, INSERT, UPDATE, DELETE. *Jazyk na kontrolu údajov* anglicky „data control language“ (DCL) sa používa na nastavenie pracovného prostredia v databáze pre koncového používateľa. Príkazy DCL sú: CREATE ROLE, ALTER ROLE, DROP ROLE, GRANT, REVOKE.

Pri práci s databázovými systémami sa nevyhneme pojmu „štruktúrovaný dopytovací jazyk“ (SQL), ktorý sa stal univerzálnym jazykom produktov DBMS. SQL bol vyvinutý na prácu s veľkým množstvom relačných údajov uložených v relačných databázach. SQL je príkladom DSL (domain specific languages), ktorý sa skladá z komponentov DBMS – DDL, DCL a DML.

Subsystem používateľského rozhrania „The User Interface Subsystem“ umožňuje používateľom a programom pristupovať k databáze prostredníctvom interaktívneho dopytovacieho jazyka SQL, alebo iného jazyka. Tradičné prostredie reprezentuje prostredie riadkového režimu (príkazový riadok), avšak v súčasnosti veľmi pokročil vývoj grafických programov anglicky „graphical user interfaces (GUI)“, ktoré sa stali prevládajúcimi vďaka ich jednoduchšiemu ovládaniu. Používateľské rozhranie môže tiež obsahovať možnosti na využitie DBMS špecifických programovacích jazykov ako napríklad ProFox, alebo PL/SQL (v Oracle databázovom systéme). Tieto jazyky sa týkajú iba DBMS v ktorých sú použité a okrem spomenutých jazykov môžu taktiež podporovať dokonca sofistikované programovacie jazyky ako C++, alebo Java, čo z nich robí oveľa flexibilnejšie a atraktívnejšie nástroje.

Subsystem vývoja aplikácií „Application Development Subsystem“ obsahuje nástroje ako formuláre, zostavy a menu. V niektorých prípadoch môžu byť tieto nástroje zlúčené do subsystému používateľského rozhrania. Tento subsystém rovnako poskytuje grafické používateľské rozhranie, ktoré nám ponúka nástroje automatického generovania kódu (podobne ako to poskytuje Delphi, alebo nástroj Team Developer), alebo bezproblémový prístup ku kompilátoru kódu (ako Oracle). Medzi iné zariadenia, ktoré môžu byť tiež zahrnuté patria „Report writer“, „Project manager“, „Menu builder“ a „graphic data interpreter“.

Subsystem administrácie údajov „Data Administration Subsystem“ obsahuje súbor pomocných programov, ktoré uľahčujú správu databázy. V tomto subsystéme sú zahrnuté nástroje na zálohovanie a obnovu, ladenie databázy a nástroje na manažment

ukladania údajov.

Subsystem údajového katalógu „Data Dictionary Subsystem“ (rovnako nazývaný aj ako systémový katalóg v mnohých systémoch) obsahuje informácie o databázovej štruktúre ako aj informácie o vzťahoch medzi databázovými objektami. Je automaticky vytvorený a udržiavaný prostredníctvom DBMS. Systémový katalóg obsahuje všetky metaúdaje pre databázu. Tento údajový katalóg je možné dopytovať rovnakými príkazmi ako zdrojové údaje.

Správca na komunikáciu s údajmi „Data Communications Manager“ predstavuje osobitný systém, ktorý je prepojený na DBMS a vykonáva nasledovné funkcie: Spracovanie komunikácie medzi vzdialenými používateľmi a distribuovaným prostredím, spracovanie odosielania správ z a do DBMS a komunikáciu medzi inými DBMS systémami. Moderné systémy majú tendenciu mať tento subsystem zabudovaný priamo v DBMS. Manažér údajovej komunikácie zabezpečí, že databáza efektívne komunikuje so všetkými klientskymi požiadavkami v klient-server prostredí.

Subsystem nástrojov „Utilities Subsystem“ je sada programov, ktoré vykonávajú rôzne administratívne úlohy. Tento subsystem pozostáva z rôznych programových nástrojov, ktoré sú použiteľné v databázovom prostredí. Takýmito programovými nástrojmi sú:

- Štandardný program na vytvorenie iniciálnej verzie databázy z nedatabázových súborov.
- Program slúžiaci na kopírovanie duplicitných informácií.
- Program slúžiaci na reorganizáciu údajov v databáze.
- Program slúžiaci na vymazávanie.
- Štatistický program na výpočet a ukladanie štatistických informácií do súborov.
- Program slúžiaci na tvorbu záloh a obnovy databázy.
- Iné programy, ktoré môžu byť naprogramované programátormi.

3.5.1 Priestorová databáza

Databáza, ktorá dovoľuje ukladať priestorové údaje do databázových tabuliek a definuje špeciálne údajové typy pre geometriu priestorových údajov sa nazýva priestorová databáza. Priestorová databáza taktiež poskytuje okrem nových údajových typov aj špeciálne databázové objekty a to priestorové funkcie a indexy. Priestorové funkcie a indexy nám umožňujú dopytovať a manipulovať s priestorovými údajmi prostredníctvom databázového jazyka SQL (Obe and Hsu, 2011). Takýto typ databázy sa často používaná iba ako priestor na skladovanie priestorových údajov, avšak súčasné možnosti práce s priestorovými databázami nám umožňujú robiť oveľa viac než len to. Vďaka širokej množine priestorových funkcií môžeme priestorovú databázu plnohodnotne použiť aj ako geografický informačný systém (GIS) na analýzu, manipuláciu a správu priestorových údajov. Takýto komplexný systém na správu priestorovej databázy sa nazýva *systém správy priestorovej databázy* v anglicky „spatial database management system“ (SDBMS).

V súčasnosti je dostupných niekoľko databázových systémov, ktoré nám umožňujú ukladanie, manipuláciu a analýzu a priestorovými údajmi: PostgreSQL s priestorovým rozšírením PostGIS, databázový server MariaDB podporujúci priestorové rozšírenia pre technológie Aria, MyISAM, InnoDB/XtraDB a ARCHIVE, Oracle s priestorovým rozšírením Oracle Spatial/Locator, IBM DB2 s priestorovým rozšírením DB2 spatial extender a SQL server s rozšírením dostupným v balíku MicrosoftSQL Server 2008+.

3.5.2 Operačné možnosti priestorovej databázy

Operačné možnosti priestorovej databázy môžu byť vzhľadom na používateľa dostupné z dvoch hľadísk. Hlavným hľadiskom sú tie operačné možnosti, ktoré nám priamo ponúka databázový systém so svojimi rozšíreniami. V našom prípade berieme do úvahy prácu v priestorovej databáze IGBÚEZ, kde ako už bolo spomenuté ide o technológiu databázového systému PostgreSQL s jeho rozšírením PostGIS. Aby bolo možné využiť celý potenciál operačných možností, musíme mať ako používateľ databázy povolené potrebné práva na prácu s databázovým systémom.

Druhým hľadiskom je sprístupnenie „obmedzených“ operačných možností pre koncového používateľa prostredníctvom aplikácií na prezeranie a editovanie akými sú

napríklad QGIS, uDig, gvSig, OpenJump, TileMill ..., alebo webové mapové aplikácie (WMA). Takéto aplikácie komunikujú prostredníctvom technológie mapového servera (Geoserver, Mapserver, QGIS Server, MapGuide Open Source, Deegree), ktorý distribuuje údaje do prostredia internet formou štandardov OpenGIS konzorcia OGC (WMS, WFS, WFS-T, WCS, WPS a WMTS) (PostGIS 2015). WMA predstavujú možnosti prezentácie máp v prostredí internet, čiže sa jedná o špeciálny typ aplikácii umožňujúcich vizualizáciu geograficky polohovo určených údajov prostredníctvom webového rozhrania dostupného online (Benová & Feciskanin 2014).

Ak budeme brať do úvahy hľadisko použitia databázového systému na úrovni používateľa, ktorý má povolené všetky potrebné práva na prácu s priestorovou databázou, je nám k dispozícii viac ako 300 podporovaných geometrických funkcií, ktoré je možné použiť v kombinácii s databázovým jazykom SQL. Priestorové funkcie predstavujú špeciálny typ funkcií databázového systému, ktoré možno aplikovať na atribútové tabuľky obsahujúce stĺpce s geometriou. Zoznam priestorových funkcií, ktoré majú v technológii PostGIS podporu je dostupný online v oficiálnej dokumentácii technológie PostGIS (PostGIS Reference 2015). Funkcie pracujúce s geometriou uloženou v stĺpcoch atribútových tabuľkách databázového systému možno rozdeliť do niekoľkých základných skupín v zmysle oficiálnej technickej dokumentácie PostGIS (PostGIS, 2015) a podľa praktického využitia nasledujúcim spôsobom:

- *funkcie slúžiace na správu databázového systému:* takéto funkcie nám slúžia na zistenie dostupných knižníc, verzie systému, informácie o inštalovaných skriptoch, ...
- *funkcie nazývané „konštruktor“:* predstavuje množina funkcií, ktoré slúžia na tvorbu geometrie z priestorových údajov uložených v textových súboroch označovaných v anglickej literatúre ako „well-known text“ (WKT) a „well-known binary“ (WKB),
- *kompozičné funkcie:* slúžia na zoskupovanie a spájanie geometrie priestorových údajov,
- *dekompozičné funkcie:* umožňujú nám na základe definovanej požiadavky extrahovať konkrétnu geometriu z priestorových údajov,

- *nastavovacie a prístupové funkcie*: nastavlia, alebo vrátia atribúty stĺpcu, ktorý obsahuje geometriu,
- *funkcie slúžiace na editovanie geometrie*: umožňujú úpravu geometrie – otočenia, transformáciu, úpravu mierky a súradnicového systému atď.,
- *funkcie slúžiace na tvorbu výstupu*: umožňujú vytvoriť export priestorových údajov z databázového systému v podporovaných formátoch ako: (WKT, WKB, KML, GeoJONS, GML, SVG, GeoHash, LatLon, X3D, text ...),
- *funkcie slúžiace na analýzu geometrických vzťahov a meranie*: takéto funkcie umožňujú analyzovať vzájomné vzťahy priestorových údajov a vykonať skalárne merania,
- *funkcie slúžiace na spracovanie*: ako napríklad agregáčné funkcie, funkcie na tvorbu Delaunayovej tirangulácie, funkcie umožňujúce zjednodušovanie geometrie, atď. ...

Okrem vyššie spomenutých hlavných skupín priestorových funkcií, ktoré pracujú s geometriou, existujú v databázovom rozšírení PostGIS aj špeciálne priestorové funkcie a operátory pracujúce s rastrovými údajmi, zakrivenou geometriou, mnohostennými povrchmi a 3D objektami.

3.6 Geografické informačné systémy

Geografický informačný systém (GIS) predstavuje počítačový systém (desktop GIS) na vizualizáciu, spracovanie, ukladanie, kontrolu, analýzu, dopytovanie a distribúciu priestorových údajov. GIS nám ponúka možnosti zobrazovania rôznych typov priestorových údajov (ako napr. geológia, digitálne výškové modely, krajinná pokrývka, pôdy, energetické zdroje, chránené územia, atmosferické podmienky, hydrografia, rizikové oblasti, budovy, administratívne jednotky, atď.) v mapovom poli, čo používateľom umožňuje vidieť, analyzovať a porozumieť priestorovým vzťahom medzi nimi. V zmysle (Mitášová et al. 2006) údaje uložené v GIS databáze poskytujú zjednodušenú digitálnu reprezentáciu prvkov krajiny vybraného regiónu. Georeferencované (polohovo určené) údaje môžu byť organizované na základe rôznych kritérií ako napríklad tematické vrstvy, alebo priestorové objekty. Každá tematická vrstva má atribútovú tabuľku obsahujúcu

atribútové domény (atribútové domény nadobúdajú hodnoty atribútov), ktoré môžu byť uložené buď v databáze, alebo type súboru určeného na ukladanie údajov (takýmto typom súboru je napríklad súbor .dbf, na ktorý je pripájaná geometria zo súboru typu .shp). Tematické vrstvy sú pri riešení špecifických geografických úloh organizované na základe zvoleného údajového modelu v závislosti na ich potenciálnom využití.

Georeferencované údaje zahŕňajú priestorovú (geometrickú, alebo grafickú) zložku popisujúcu polohu, alebo priestorovú distribúciu geografického fenoménu na Zemskom povrchu vrátane jeho popisných atribútov. Údajové modely v GIS sú reprezentované rastrovými a vektorovými údajmi vrátane atribútových tabuliek (Mitášová et al. 2006).

V zmysle (Mičietová & Kožuch, 2008) GIS predstavuje informačný systém, ktorého štruktúru tvoria prvky a väzby (závislosti) medzi prvkami. Prvky GIS reprezentujú štyri subsystémy konkrétne subsystém zberu údajov (SZP), subsystém integrácie, ukladania a dopytovania (SDB), subsystém reprezentovaný odvodením nových informácií (analytický subsystém SAP) a subsystém distribúcie informácií v systéme riadenia krajiny (SD). GIS má svoju vnútornú integritu, na základe ktorej je systém schopný generovať a transformovať geografické informácie. Pri generovaní a transformovaní geografických údajov je potrebné vedieť, s akou kvalitou sú naše nové geografické informácie generované (kvalita geografickej informácie je prejavom integrity GIS). Každá geografická informácia pozostáva z troch hlavných atribútov a to: poloha, téma a čas. Keďže hlavnou funkciou GIS je generovať úplné geografické informácie je potrebné rozlíšiť prvky a podprvky kvality geografickej informácie. V zmysle ISO 19 113 sa pri popise sady údajov uplatňujú tieto prvky kvality:

- **úplnosť** – jedná sa o prítomnosť, alebo neprítomnosť vzťahu medzi geometriou a jej atribútmi.
- **logická spojitosť** – v tomto prípade ide o stupeň dodržania logických pravidiel štruktúry údajov, priradovanie atribútov a vzťahov.
- **polohová presnosť** – presnosť polohy geometrickej zložky geografických údajov.
- **tematická presnosť** – klasifikácia vzhľadom na javu, presnosť geometrie a správnosť atribútových domén vrátane hodnôt ich atribútov.
- **časová presnosť** – presnosť atribútu času.

Podprvkami kvality geografickej informácie sa vzhľadom na rozsiahlosť problematiky nebudeme ďalej zaoberať. Stručne však môžeme popísať jednotlivé subsystémy GIS opäť v zmysle (Mičietová & Kožuch, 2008): subsystém zberu údajov (SZP) predstavuje miesta (metódy) transformácie informácií. Ide o metódy transformácie formy, priestorovej štruktúry, polohovej lokalizácie, rozlišovacej schopnosti a územnej platnosti. Subsystém ukladania a dopytovania (SDB) reprezentuje databázový systém, ktorý bol detailnejšie popísaný v podkapitole 3.4. Analytický subsystém (SAP) predstavuje sadu nástrojov pracujúcich buď s geometriou vektorových geografických údajov, alebo nástroj mapovej algebry pracujúcej s údajmi v rastrovej forme. Ide napríklad o priestorové funkcie slúžiace na lokálne operácie, lokálne susedstvo, vzdialené susedstvo, operácie nad zónami, atď. Takéto nástroje nám slúžia na tvorbu rozhodnutí v GIS a získavame z nich nové informácie (poznatky) o krajine. Posledným subsystémom je subsystém distribúcie informácií v systéme riadenia krajiny (SD). V tomto prípade ide o metódy a nástroje slúžiace na distribúciu geografických údajov ako export údajov z priestorových databáz, distribúcia geografických údajov formou webových mapových služieb, distribúcia metaúdajov ...

Podobne ako iné technológie aj GIS systémy sa stále zdokonaľujú v rôznych smeroch a umožňujú nám postupné zdokonaľovanie zobrazenia povrchu počnúc 2D a perspektívnych zobrazení v počítačovom prostredí, až po postupne sa rozvíjajúcu oblasť virtuálnej reality a simulácie na interaktívnych 3D modeloch. Pokroky neustále otvárajú nové možnosti práce s krajinou a napomáhajú tvorbe rozhodujúcich úloh, vďaka čomu našli GIS široké uplatnenie v mnohých sférach ľudských aktivít (Schmidt, 2012).

3.6.1 Modelovanie v technológií GRASS GIS

Použitou technológiou na spracovanie údajov z environmentálno-geochemického mapovania bol geografický informačný systém GRASS GIS 6.4 bežne označovaný ako GRASS (**G**eographic **R**esources **A**nalysis **S**upport **S**ystem). Jedná sa o voľne dostupný GIS softvér používaný na správu, analyzovanie geografických údajov, spracovanie digitálneho obrazu, grafickú a mapovú produkciu, priestorové modelovanie spojitých povrchov a vizualizáciu dostupný online na url.: <https://grass.osgeo.org/>

GRASS GIS disponuje veľkým množstvom modulov rozdelených do nasledujúcich kategórií v zmysle oficiálnej dokumentácie dostupnej online na url.:

<https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/index.html>

- Moduly na spracovanie rastrových priestorových štruktúr
- Moduly na spracovanie vektorových priestorových štruktúr
- Všeobecné moduly
- Premenné
- Zobrazovacie a grafické používateľské prostredia
- Moduly slúžiace na spracovanie obrazu
- Databázové moduly
- Zmiešané moduly
- Moduly slúžiace na tlač

GRASS GIS obsahuje viac ako 350 modulov umožňujúcich vykreslenie máp a obrázkov cez monitor, alebo priamo formou tlačového výstupu na papier, umožňuje manipuláciu s rastrovými a vektorovými priestorovými údajmi vrátane vektorových sietí, umožňuje spracovať multispektrálny obraz a riadiť a ukladať priestorové údaje. GRASS GIS ponúka intuitívne grafické rozhranie ako aj možnosť práce v príkazovom riadku, kde je možné spúšťať jednotlivé moduly a implementovať moduly do skriptov. Možno ho rovnako prepojiť na iné zariadenia ako tlačiarne, plotre, zariadenia slúžiace na digitalizáciu a databázové systémy vďaka čomu je možné vytvárať nové, alebo spravovať existujúce údaje.

Schopnosti technológie GRASS GIS v zmysle oficiálnej dokumentácie technológie dostupnej online na url.: <https://grass.osgeo.org/documentation/general-overview/>

- **Rastrové analýzy:** ako napríklad automatická konverzia rastových údajov na vektorové, konverzia vektorových údajov na rastové, výpočet zón okolo vektorových líniových objektov (buffering), korelačné / kovariančné analýzy, mapová algebra, interpolácia pre chýbajúce hodnoty, výpočet susedstva, reklasifikácia hodnôt rastra, prevzorkovanie (zmena priestorového rozlíšenia rastrových údajov), štatistické analýzy prevádzané na bunkách rastra, tvorba

spojitých povrchov z vektorových údajov (pravidelné / nepravidelné bodové pole, alebo línie).

- **3D-rastrové (voxel) analýzy:** umožňujú import a export 3D údajov, 3D masky, 3D mapová algebra, 3D interpolácia (dostupné interpolačné metódy GRASS GIS softvéru: *Metóda inverzných vzdialeností* (IDW - *Inverse distance weighting*) a *Regularizovaný spline s tenziou* (RST - *Regularized spline with tension*)), 3D vizualizácie a rozhranie s nástrojmi na prezeranie POVray údajov.
- **Vektorové analýzy:** umožňujú vytváranie vrstevníc z rastrových povrchov vytvorených interpolačnými metódami napr. IDW a RST, konverzie vektorových údajov na rastrové a vektorové bodové údaje, digitalizácia, reklasifikácia popisov vektorových údajov, ...
- **Analýzy bodových údajov:** Delaunayová triangulácia, interpolácia povrchov z bodového poľa obsahujúceho hodnoty v Z-ovej súradnici, Thiessenove polygóny, topografické analýzy (výpočet krivosti, sklonu a orientácie), LiDAR.
- **Spracovanie obrazu:** podpora pre letecké a UAV snímky, satelitné údaje (optické, radarové, tepelné), možnosť tvorby kompozitných farebných obrazov, detekcia hrán, tvorba histogramov, IHS transformácie na RGB, korekcie obrazu (afinná, polynomičná transformácia rastrových a vektorových údajov), korekcie Ortofoto snímok, radiometrické korekcie, prevzorkovanie, vylepšenie rozlíšenia (cez RGB/IHS), transformácie RGB do IHS, klasifikácia obrazu do zhlukov, detekcie hrán, atď.
- **DTM – analýzy (analýzy digitálnych terénnych modelov):** generovanie vrstevníc, analýzy výpočtu morfometrických parametrov reliéfu, výpočet ceny pohybu po teréne, tvorba spojitých povrchov z bodového poľa nadmorských výšok, alebo vrstevníc.
- **Geokódovanie:** geokódovanie rastrových a vektorových máp vrátane bodového poľa získaného za pomoci technológie LiDAR.
- **Vizualizácia:** umožňuje zobrazovať 3D povrchy za pomoci modulu NVIZ, definovanie vlastných farebných paliet, histogram, zobrazovanie prekrývajúcich sa mapových vrstiev, zobrazovanie bodových, vektorových, rastrových máp, funkcia

priblíženia vzdďaľovania obrazu.

- **Tvorba mapových výstupov:** tvorba mapových výstupov do podoby obrázkov, mapy typu Postscript, a HTML mapy (zobrazenie mapy za pomoci webového prehliadača ako web stránka)
- **Podpora databázového jazyka SQL:** podporuje databázové rozrania ako DBF, SQLite, PostgreSQL, MySQL a ODBC.
- **Geoštatistika:** podporuje rozhranie na „R“ (prostredie na tvorbu štatistík a analýz), Matlab, ...

Ako už bolo spomenuté vstupné údaje do technológie GRASS GIS boli reprezentované ako relatívne pravidelná bodová sieť geologických vzoriek pokrývajúca celé územie Slovenskej republiky zozbieraných počas environmentálno-geochemického mapovania medzi rokmi 1991 až 1994 v počte 16 359 vzoriek z podzemných vôd (približne jedna vzorka na tri štvorcové kilometre). Pomocou modulu technológie GRASS GIS *v.surf.rst* (RST) boli vytvorené spojité povrchy reprezentujúce priestorové rozloženie toxických chemických prvkov v podzemnej vode Slovenskej republiky s priestorovým rozlíšením 100m. Tieto rastrové priestorové štruktúry boli následne reklasifikované do kategórií (vrátane implementácie limitnej hodnoty chemického prvku) a konvertované na vektorové polygóny.

Hodnotenie kvality spojitých povrchov

Spojité povrchy reprezentujúce priestorové rozloženie toxických chemických prvkov v podzemnej vode možno kvalitatívne hodnotiť. Avšak na takéto hodnotenie je nevyhnutná externá množina meraných – takzvaných kontrolných bodov, na základe ktorých by bolo možné hodnotenie kvality prakticky realizovať. Veľmi stručne povedané realizácia metodiky hodnotenia kvality spojitých povrchov nám vie poskytnúť štatistické informácie o absolútnej (prípadne relatívnej) výškovej, horizontálnej a priestorovej polohovej presnosti údajov obsiahnutých v daných spojitých povrchoch. Metodika hodnotenia kvality spojitých povrchov je samostatná rozsiahla problematika, ktorou sa v predkladanej práci nebudeme detailnejšie zaoberať a uplatňuje sa hlavne pre sady geografických údajov reprezentujúcich nadmorskú výšku označovaných ako digitálne terénne modely (DTM), digitálne výškové modely (DVM), alebo digitálne modely reliéfu (DMR). Dôležitosť

použitia metodiky hodnotenia kvality digitálnych výškových modelov je nevyhnutná ak sa daný produkt DVM, DTM, alebo DMR používa pri leteckej navigácii. Keďže v našom prípade takáto meraná množina externých kontrolných bodov nebola k dispozícii a výšková, horizontálna a priestorová polohová presnosť nezohráva kľúčovú úlohu, nebolo toto hodnotenie kvality realizované. Metodika hodnotenia kvality digitálnych výškových modelov bola detailne popísaná v diplomovej práci s názvom *Hodnotenie kvality digitálnych výškových modelov* (Schmidt, 2011) a publikovaná v článku s názvom *Hodnotenie kvality digitálnych výškových modelov generovaných zo ZM 1:50 000* (Schmidt, & Mičietová, 2012). Táto metodika hodnotenia kvality je použiteľná na hodnotenie kvality akýchkoľvek spojitých povrchov.

3.6.2 Mapový server

V súčasnej dobe digitálnej kartografie zohráva významnú úlohu zdieľanie priestorových informácií prostredníctvom webu. Za posledných niekoľko rokov vzniklo veľa webových portálov, ktoré neslúžia len na bežné prezeranie mapových výstupov, ale poskytujú aj nástroje na priestorovú analýzu geografických údajov, získavanie informácií o geografických objektoch, pasportizáciu geografických objektov (napr.: vyhľadávanie čiernych stavieb, nelegálnych skládok odpadov, stav dopravného značenia, alebo cestnej vozovky) a ďalšie (Petříček et al. 2014). Aby bolo možné s geografickými údajmi uloženými v priestorových databázach pracovať prostredníctvom webových portálov a webových mapových aplikácií, potrebujeme technológiu, ktorá umožní publikovanie priestorových údajov z priestorovej databázy do prostredia internet - takáto technológia sa nazýva mapový server. Medzi najpoužívanéjšie mapové servery v súčasnosti patria GeoServer, MapGuide Open Source, Mapnik a Mapserver. Pre potreby projektu UVP bola využitá technológia mapového servera GeoServer verzia 2.5-SNAPSHOT.

GeoServer predstavuje voľne šíriteľný mapový server - softvér naprogramovaný programovacím jazykom JAVA, ktorý umožňuje používateľom prezerať a editovať priestorové údaje za použitia štandardov, ktoré špecifikuje „Open Geospatial Consortium“ (OGC). Poskytuje veľkú flexibilitu pri vytváraní máp a zdieľaní údajov (Open Source Geospatial Foundation, 2014). Výsledné mapy boli vo forme WMS služieb s požitím štýlov v SLD jazyku publikované prostredníctvom tejto technológie do prostredia internet. Použitá verzia technológie mapového servera v projekte UVP je GeoServer 2.5.

3.6.3 Webové mapové služby

Webové služby predstavujú pokročilý technologický rámec pre webstránky. Spájajú funkcie informačných služieb a údajových procesov na rôznych počítačoch. Prostredníctvom takýchto služieb môžu rôzne webové aplikácie navzájom komunikovať a vymieňať si informácie prostredníctvom Internetu. Webové služby začali postupne prenikať aj do prostredia webových geografických informačných služieb (Web GIS). Takéto webové služby umožňujú rozšíriť Web GIS o pokročilé geopriestorové analýzy a modelovacie procesy (Kemp, 2008).

Od bežných webových služieb sa webové mapové služby odlišujú hlavne prítomnosťou priestorových geografických údajov na vstupe (napr.: súradnice mapového okna), na výstupe (napr.: základná mapa mesta), prípadne na základe spôsobu spracovania (napr.: zistiť, či sa ulice nekrižujú). Takéto webové mapové služby nám umožňujú priamu výmenu geografických údajov medzi aplikáciami bez bližšej potreby pochopenia štruktúry údajových zdrojov. s webovými mapovými službami je poskytované štandardizované webové rozhranie pre prístup k údajom (napr. webová stránka s mapovým portálom). Vďaka takémuto riešeniu nieje potrebné mať nainštalované na počítači klientské aplikácie a mať znalosti o organizácii a kódovaní údajov v inom systéme. Vzhľadom na široký problém s rozmanitosťou a rôznorodosťou zdrojov geografických údajov vytvorených v rôznych GIS technológiach, boli vyvinuté webové mapové služby, ktoré zabezpečujú interoperabilitu medzi rôznymi technológiami GIS, alebo bežnými informačnými systémami. V súčasnosti je priorita tvorby a zdieľania priestorových údajov kladená na ich harmonizáciu. Tento fakt inicializoval vývoj a rozšírenie webových mapových služieb, ktoré využívajú kompatibilitu OGC štandardov s W3C webovými službami (Shekhar & Xiong, 2008).

Technická komisia OGC je hlavným subjektom vo vývoji GIS štandardov, ktorá je zložená z viacerých členov a spoločností z rôznych vedeckých zázemí. OGC štandardy sú technické dokumenty, ktoré definujú detaily rozhraní a kódovania, ktoré sú hlavným produktom organizácie. Technická komisia vyvinula niekoľko druhov služieb, ktorých výstupom sú napríklad metaúdaje alebo priestorové údaje v rastrovom resp. vo vektorom formáte (OGC, 2004). Pri práci s rastrovými formátmi sa používa štandard Web Map Service (WMS) a pri vektorových formátoch štandard Web Feature Service (WFS). Ďalšie

významnejšie OGC služby sú: Catalogue Service (CS -W), Styled Layer Descriptor (SLD), Web Coverage Service (WCS), Web Processing Service (WPS), Web Map Tile Service (WMTS), Simple Features (SF), Geo-Decision Support Services (GeoDSS) a iné (OGC, 2014).

V našom realizovanom experimente boli vstupné údaje a nové poznatky o krajine spracované do podoby rastrových priestorových štruktúr, ktoré boli konvertované do podoby vektorových polygónov a uložené v priestorovej databáze IGBÚEZ. Z priestorovej databázy sa údaje publikujú prostredníctvom mapového servera „Geoserver“ do prostredia internet, pričom sa využíva OGC webový štandard WMS. WMS dynamicky vytvára mapy priestorových údajov a ako odpoveď WMS požiadavky je počítačový súbor, ktorý je prenesený prostredníctvom siete Internet od serveru ku klientskému počítaču. Mapový server môže poskytnúť viacero výstupných rastrových formátov (podľa našej potreby). Aby nedochádzalo k prekryvaniu vrstiev, mal by mapový server poskytnúť rastrový formát, ktorý podporuje transparentnosť. Malo by ísť o rastrový formát, ktorý podporujú všetky webové prehliadače akým je napr.: PNG (OGC, 2004). Mapový portál projektu UVP komunikuje s mapovým serverom a pracuje s hlavnými tromi operáciami WMS špecifikácie: poskytnutie polohovo lokalizovanej mapy (GetMap), generovanie legendy geografických prvkov mapy (GetLegendGraphic) a poskytnutie informácie o geografických prvkoch mapy z daného pixlu (GetFeatureInfo). Okrem týchto uvedených troch operácií poskytuje WMS špecifikácia ďalšie tri operácie a to: poskytnutie metaúdajov o službe (GetCapabilities), poskytnutie výnimky ak nejaká vznikne (Exception) a XML popis jedného alebo viacerých geografických prvkov mapy (DescribeLayer) (Geoserver, 2014).

Aby tvorcovia údajov mohli definovať vlastnú symboliku geografických prvkov, poskytuje služba WMS kódovanie SLD. SLD predstavuje špecifikáciu profilu WMS, na základe ktorej je možné objektom mapovej vrstvy priradiť viacero štýlov podľa dostupných atribútov a ich hodnôt v atribútovej tabuľke (OGC, 2007). Na znázornenie rozpätia koncentrácie indexu environmentálneho rizika a potenciálneho zdravotného rizika sa použila 5-stupňová farebná škála zadaná vo vytvorených SLD štýloch. Táto farebná škála vychádza zo škály použitej v práci (Rapant *et al.*, 2004) pre IER.

3.6.4 Webové mapové aplikácie

Efektívna cesta ako sprístupniť priestorové údaje koncovým používateľom, je ich sprístupnenie prostredníctvom internetu na nejakej webovej stránke. Existujú dva typy webových mapových aplikácií: statické a interaktívne. Vzhľadom na rozsiahlosť problematiky budeme v nasledujúcej kapitole stručne popisovať iba mapový portál projektu UVP, ktorý reprezentuje interaktívnu webovú mapovú aplikáciu a prostredníctvom ktorej sú dostupné mapové výstupy realizovaného výskumu. Mapový portál projektu UVP využíva OGC webové mapové štandardy a uplatňuje model klient - server. Odosielanie požiadaviek vykonáva klientský počítač, prijímanie a spracovanie požiadaviek sa vykonáva na strane servera webovým serverom, mapovým serverom (GeoServer) a databázovým serverom (PostgreSQL s rozšírením PostGIS), ktorý obsahuje údajový model. Na strane servera sa nachádza operačná platforma s operačným systémom Linux (v našom prípade linuxová distribúcia Debian). V oblasti geoinformačných technológií sa najčastejšie používajú dva webové servery: proprietárny webový server Internet Information Services (IIS) a v našom prípade voľne dostupný webový server Apache2. Mapový portál projektu UVP je dostupný na url.: <https://uvp.geonika.sk/map/>

3.7 Deskriptívna štatistika

V tejto podkapitole budeme stručne hovoriť o deskriptívnej (popisnej) štatistike, ktorá slúži na vytvorenie prehľadu o získaných údajoch, ktoré samé o sebe predstavujú rozsiahle súbory čísel. Medzi základné skupiny opisných charakteristík patria miery polohy (stredné hodnoty: priemer, medián, modus), miery variability (variačné rozpätie, medzikvartilové rozpätie, štandardná odchýlka a jej variačný koeficient) a miery tvaru (šikmosť, špicatosť). Deskriptívna štatistika bola v predkladanej práci použitá na získanie sumárnych štatistických informácií z údajov o koncentráciách toxických prvkov v podzemnej vode (arzén, olovo, ortuť a kadmium) na Slovensku. Vypočítané boli priemerné hodnoty vrátane smerodajnej odchýlky a percentily (25ty, 50ty, 75ty) za každý prvok jednotlivo. Ďalej bola zistená minimálna a maximálna hodnota koncentrácie uvedených toxických chemických prvkov a počet ZSJ, v ktorých sú prekročené ich limitné hodnoty.

3.8 Výpočet environmentálneho rizika a tvorba poznatkov o krajine

V zmysle (Rapant *et al.* 2004) je environmentálne riziko reprezentované prekročením

prípustnej miery znečistenia životného prostredia a vyjadruje množstvo, alebo pravdepodobnosť poškodenia jednotlivých biotických zložiek nachádzajúcich sa v ňom ako následok ich vystavenia znečisťujúcim látkam. Environmentálne riziko môže byť číselne vyjadrené ako kvocient environmentálneho rizika (Q_{ER}) (1). Q_{ER} reprezentuje pomer medzi reálnymi (meranými) hodnotami a limitnou (rizikovou) hodnotou koncentrácie chemického prvku. Index environmentálneho rizika (I_{ER}) vyjadruje celkový efekt environmentálneho rizika z viacerých vstupných prvkov (v našom prípade Q_{ER} arzenu, olova, ortute a kadmia v podzemnej vode), ktorých koncentrácie prekračujú maximálne povolené hodnoty aspoň v jednom prípade. Jedná sa o sumu rizika, ktorú spôsobujú jednotlivé prvky (2).

$$Q_{ERi} = \frac{AC_i}{RC_i} - 1 \quad (1)$$

$$I_{ER} = \sum_{i=1}^n Q_{ERi} \quad (2)$$

kde:

Q_{ERi} – kvocient environmentálneho rizika i-tého prvku, ktorý prekračuje limitné koncentrácie

AC_i – nameraná koncentrácia i-tého prvku

RC_i – limitná koncentrácia i-tého prvku

I_{ER} – index environmentálneho rizika testovanej vzorky (arzén, olovo, ortuť, kadmium)

Prvky, ktorých koncentrácie neprekračujú limitné hodnoty nespôsobujú environmentálne riziko, preto bude ich $Q_{ER} = 0$ a sú vynechané z výpočtov. Ďalej odpočítaním čísla jeden vo vzorci Q_{ER} zabezpečíme, aby boli brané do úvahy iba koncentrácie, ktoré prekračujú limitné hodnoty. Následne po vypočítaní I_{ER} dostaneme kumulatívne potenciálne riziko vyplývajúce zo všetkých uvažovaných prvkov, ktorých koncentrácie prekračujú maximálne povolené hodnoty v podzemnej vode. Priestorová distribúcia Q_{ER} jednotlivých prvkov bola vyjadrená vo forme rastrových máp (spojité povrchy), ktoré boli vypočítané z rastrových máp pojednávajúcich o distribúcií uvedených toxických chemických prvkov

v podzemnej vode. I_{ER} bol vyjadrený ako rastrová mapa, ktorá bola vypočítaná ako suma štyroch Q_{ER} rastrových máp za pomoci jednoduchkej mapovej algebry. Z rastrovej spojitkej mapy I_{ER} bola následne vypočítaná priemerná hodnota I_{ER} pre každú ZSJ. No a aby sme mohli hodnotiť rozsah rizika, použili sme klasifikačnú škálu s piatimi kategóriami v zmysle Rapant *et al.* (2004) a to:

$I_{ER} \leq 0.5$ veľmi nízke riziko

$0.5 < I_{ER} \leq 1$ nízke riziko

$1 < I_{ER} \leq 3$ stredné riziko

$3 < I_{ER} \leq 5$ vysoké riziko

$I_{ER} > 5$ veľmi vysoké riziko

Vypočítané Q_{ER} a I_{ER} reprezentujú nové poznatky o krajine kde najväčší význam má pre nás práve vypočítaný I_{ER}. Po vypočítaní I_{ER} môžeme realizovať analýzy vystavenia populácie environmentálnemu riziku z kontaminácie podzemnej vody toxickými chemickými prvkami. Ako sme na začiatku spomenuli, ohrozená je najmä tá časť obyvateľstva, ktorá žije v domoch bez pripojenia na verejnú vodovodnú sieť (keďže voda cirkulujúca vo verejných vodovodoch je kontrolovaná a chemicky ošetrovaná, jej nepriaznivý vplyv na zdravie je zanedbateľný a nebudeme ho brať do úvahy). Analýzy vystavenia obyvateľstva vysokému a veľmi vysokému environmentálnemu riziku bolo možné realizovať na základe porovnania so spracovanými údajmi o percente domov nepripojených k verejnému vodovodu na úrovni ZSJ. Toto porovnanie bolo realizované na úrovni priestorovej databázy IGBÚEZ za každú jednotku ZSJ. Vďaka databázovému jazyku SQL sme boli schopní nájsť všetky ZSJ kde sa nachádza vysoké a veľmi vysoké environmentálne riziko a podiel domov nepripojených k verejnej vodovodnej sieti je väčší, alebo rovný 1%.

3.9 Výpočet potenciálneho zdravotného rizika

Aby bolo možné kvantitatívne vyjadriť potenciálne zdravotné riziko (PZR), ktoré hrozí obyvateľom žijúcich v domoch bez vodovodnej prípojky vzhľadom na toxické prvky v podzemnej vode jednotlivo, budeme postupovať v zmysle metodiky (Schmidt *et al.* 2015), ktorá môže byť použitá priamo na úrovni priestorovej databázy IGBÚEZ

následovne:

1. Identifikácia zón s prekročenými maximálnymi povolenými hodnotami toxických prvkov v podzemnej vode (rizikové zóny) osobitne pre každý prvok – arzén , olovo, ortuť a kadmium.
2. Identifikácia ZSJ, ktoré sú v prieniku s rizikovými zónami.
3. Výpočet percenta rozlohy, ktorú zaberá riziková zóna z rozlohy ZSJ.
4. Výpočet percenta domov nepripojených k verejnej vodovodnej sieti z celkového počtu domov v ZSJ.
5. Výpočet PZR osobitne pre každý toxický prvok.

Identifikácia rizikových zón predstavuje jednoduchý proces reklasifikácie spracovaných rastrových máp, ktoré reprezentujú distribúciu toxických chemických prvkov v podzemnej vode. Táto reklasifikácia predstavuje proces tvorby binárnej rastrovej mapy kde hodnoty 0 reprezentujú žiadne riziko a hodnoty 1 reprezentujú rizikovú zónu, pričom podmienka reklasifikácie zohľadňuje limitné hodnoty daných prvkov v zmysle nariadenia vlády Slovenskej republiky číslo 354/2006 Z.z.. Tieto reklasifikované binárne rastrové mapy boli konvertované na vektorové polygóny a importované do priestorovej databázy IGBÚEZ.

Identifikáciu ZSJ, ktoré sú v prieniku s rizikovou zónou sme realizovali už na úrovni priestorovej databázy IGBÚEZ s využitím priestorovej funkcie ST_Intersects() (Ukážka 1.). Funkcia ST_Intersects() vracia kladný návratový kód „true“, ak geometrie dvoch vrstiev zdieľajú akýkoľvek spoločný priestor a naopak „false“ ak sa geometrie nepretínajú (PostGIS, 2015).

```
CREATE TABLE igbuez.obce_prienik AS
SELECT DISTINCT idn2,nm2,idn3,a.geom
FROM igbuez.obce a INNER JOIN igbuez.arzen b ON
ST_Intersects(a.geom,b.geom);
```

Ukážka 1. Vytvorenie tabuľky obcí, ktoré sú v prieniku s rizikovými zónami (*igbuez* je názov databázovej schémy a *obce_prienik* je názov novej tabuľky s vybranými obcami)

V treťom kroku bolo vypočítane percento rozlohy, ktorú zaberá riziková zóna z rozlohy ZSJ. V tomto kroku sme použili ako prvú funkciu ST_Intersection(), ktorá vráti

iba zdieľanú časť dvoch geometrií (v našom prípade iba areály v prieniku ZSJ a rizikovej zóny). Druhou použitou funkciou v tomto kroku je funkcia ST_Area(), ktorá vráti rozlohu areálov vrátených funkciou ST_Intersection() (Ukážka 2.). Na základe vypočítanej rozlohy a rozlohy samotných ZSJ, môžeme jednoducho vypočítať spomínané percento.

```
SELECT idn2, ST_Area(ST_Intersection(a.geom,b.geom))/1000000
AS rozloha_prieniku
FROM igbuez.obce_prienik a, igbuez.arzen b
WHERE ST_Intersects(a.geom, b.geom);
```

Ukážka 2. Výpočet rozlohy, ktorú zaberá riziková zóna z plochy obce v km².

Štvrtý krok predstavuje výpočet percenta domov, ktoré nie sú pripojené k verejnému vodovodu z celkového počtu domov v ZSJ.

Posledným krokom je výpočet PZR v ZSJ pre každý toxický prvok (arzén, olovo, ortuť a kadmium) zvlášť. Ide o vynásobenie percenta rozlohy, ktorú zaberá riziková zóna z rozlohy ZSJ s percentom domov nepripojených k verejnému vodovodu a aby sme dostali hodnotu PZR v percentách je potrebné toto číslo vydeliť číslom 100 následovne:

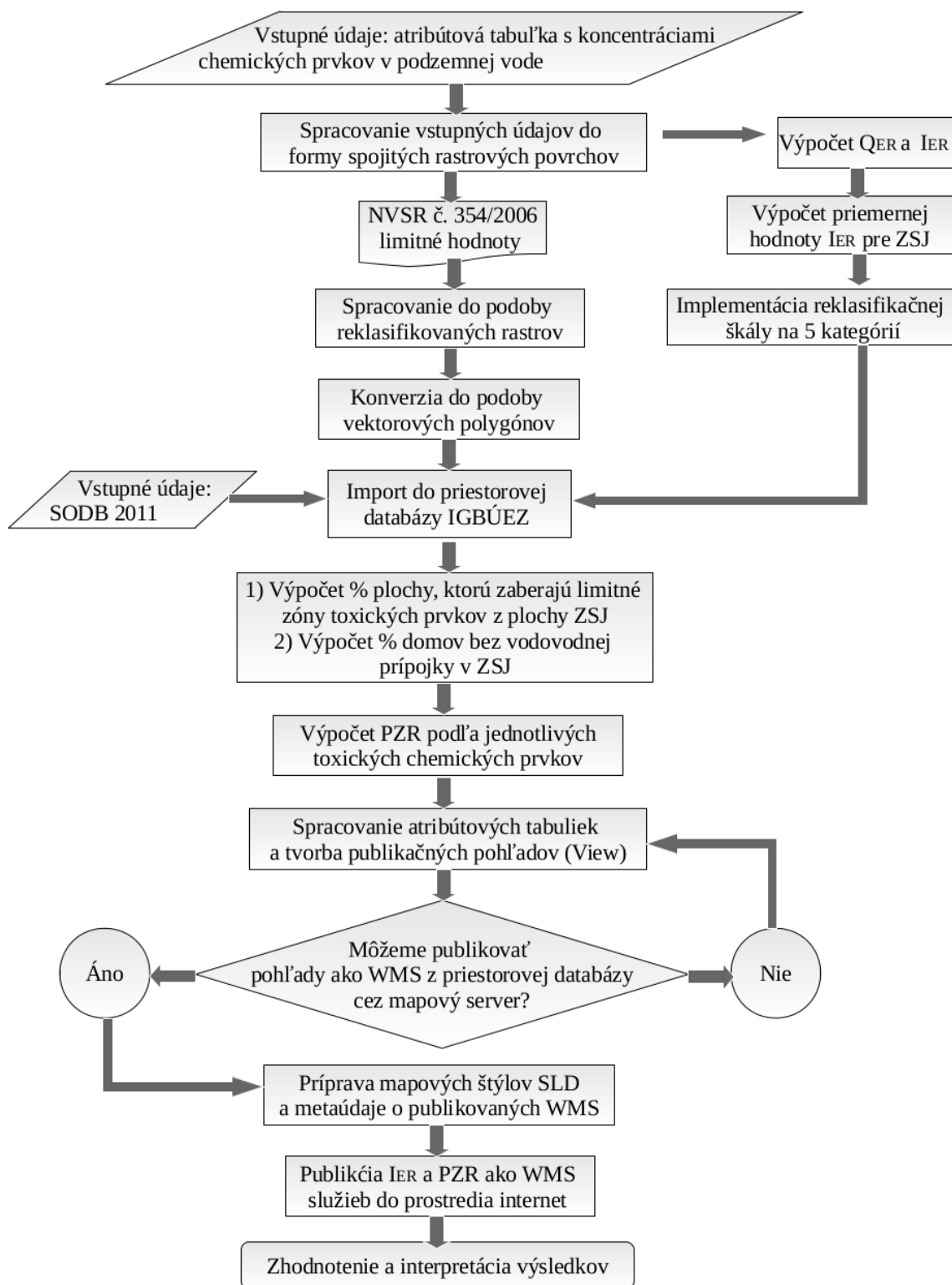
$$PZR = (P1 * P2) / 100 \quad (3)$$

Kde:

P1 – predstavuje percento rozlohy rizikovej zóny z celkovej rozlohy ZSJ

P2 – predstavuje percento domov, ktoré nemajú pripojenie k verejnému vodovodu zo všetkých domov v ZSJ.

Procesný diagram



4. VÝSLEDKY PRÁCE

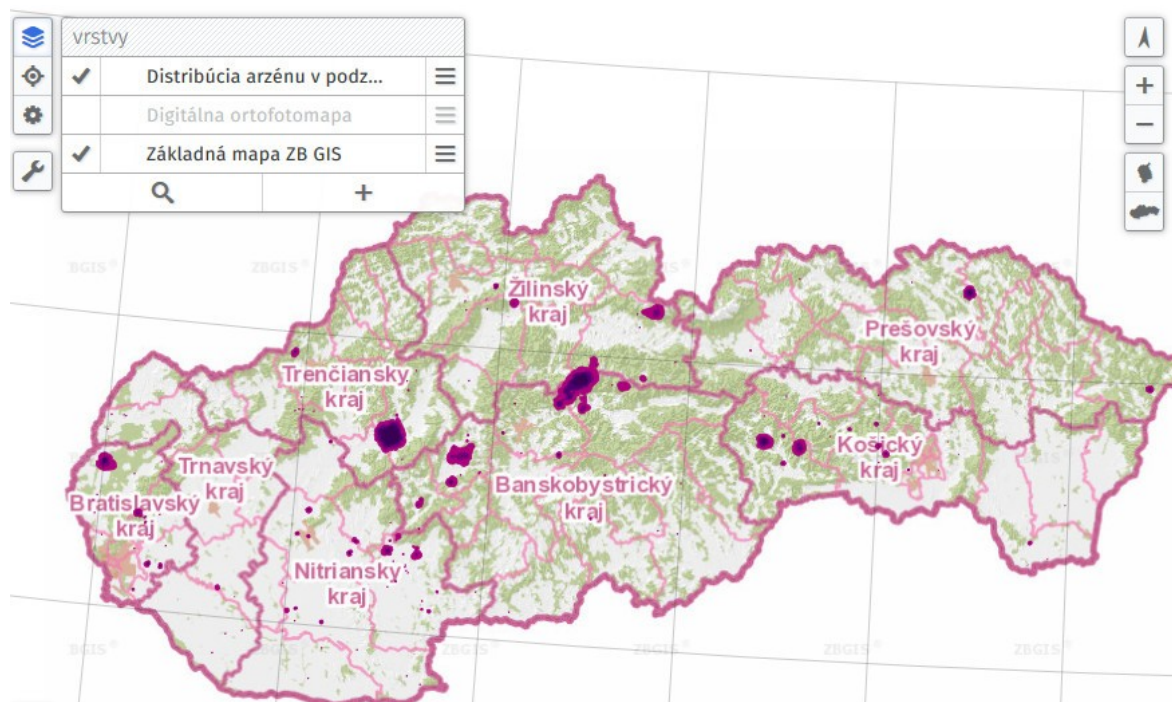
Skôr ako pristúpime k hlavným výsledkom práce, je vhodné uviesť základné informácie získané z popisnej štatistiky koncentrácií analyzovaných toxických chemických prvkov (arzén, olovo, ortuť a kadmium) v podzemných vodách Slovenska (Tabuľka 2). Okrem priemeru a vybraných percentilov (25ty, 50ty a 75ty) sú v tabuľke 2 uvedené limitné hodnoty toxických chemických prvkov a počty ZSJ, v ktorých je presiahnutá maximálna povolená hodnota koncentrácie prvku v podzemnej vode. Vo všetkých prípadoch je priemerná hodnota o niečo vyššia ako hodnota mediánu. Každý sledovaný toxický prvok v podzemnej vode prekračuje limitnú hodnotu na určitých miestach Slovenska. Limitné hodnoty prvkov olova a ortuti sú prekročené iba v niekoľkých ZSJ, zatiaľčo limitné hodnoty arzenu a kadmia sú prekročené vo významnom počte ZSJ a to arzén v 81 ZSJ a kadmium v 541 ZSJ.

Slovenská republika	Arzén	Olovo	Ortuť	Kadmium
Min.	0.0005	0.0005	0.0001	0.00025
25ty	0.000584	0.000718	0.0001	0.000254
50ty	0.000828	0.000917	0.000103	0.000271
75ty	0.001384	0.001204	0.000119	0.000339
Max.	4.9	0.27	0.164	4
Priemer $\pm$ smerodajná odchýlka	0.001742 $\pm$ 0.013934	0.001145 $\pm$ 0.001249	0.000145 $\pm$ 0.000669	0.001181 $\pm$ 0.010615
Limitná hodnota	0.01	0.01	0.001	0.005
Počet ZSJ, v ktorých sú prekročené limitné koncentrácie toxických prvkov	81	13	19	541

Tabuľka 2. Sumárne štatistiky priemerných koncentrácií toxických chemických prvkov v podzemnej vode (mg/l) v ZSJ. Zdroj primárnych údajov je environmentálno-geochemického mapovanie (1991 až 1994) (Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 1996)

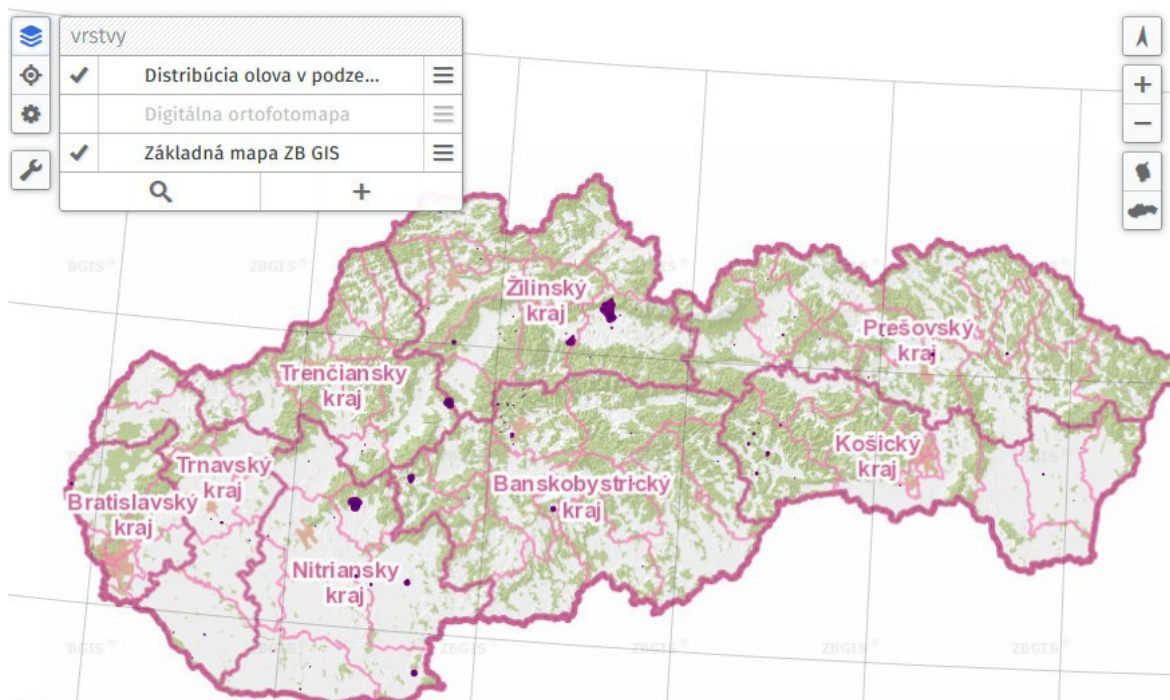
Priestorová analýza jednotlivých toxických chemických prvkov ukázala, že zóny zvýšených koncentrácií všetkých spomenutých toxických prvkov sa nachádzajú veľmi nerovnomerne rozmiestnené na území Slovenska. Priestorovo najväčšie zóny s prekročeným maximálnym povoleným množstvom Arzenu v podzemnej vode je lokalizovaných na strednom Slovensku hlavne juhozápadná a stredná časť Nízkych Tatier, západná časť Horehronského podolia, západná časť vysokých Tatier, južná časť Strážovských vrchov, juhozápadná časť Kremnických vrchov, Žiarska kotlina a časti Volovských vrchov (obrázok 2). Na západnom a východnom Slovensku zaberajú tieto zóny priestorovo menšiu plochu a majú zväčša bodový charakter. Čo sa týka tektonických

pomerov tieto zóny sa nachádzajú hlavne na tatriku a krištaliniku, južnom gemeriku a čiastočne na severnom veporiku. Rozloha zón s prekročenými koncentráciami arzénu na Slovensku predstavuje 694 km² čo predstavuje 1.42% z celkovej rozlohy Slovenska (tabuľka 3 pre porovnanie s ostatnými prvkami).



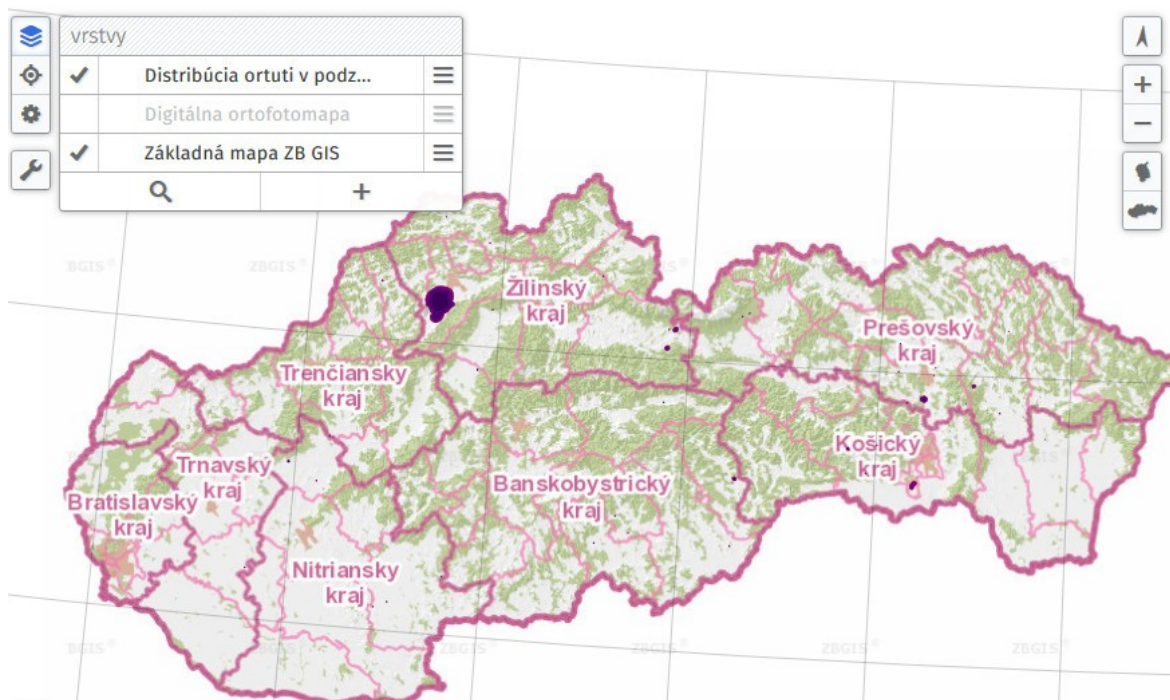
Obrázok 2. Zóny s prekročenými hodnotami toxického chemického prvku arzén na Slovensku. Zdroj: Mapový portál projektu UVP dostupný online na url.: <https://uvp.geonika.sk/map/>

Rozšírenie zvýšených koncentrácií toxického prvku olovo na území Slovenska zaberá priestorovo najmenšiu rozlohu a to 113 km² (0.23% územia Slovenska) a jedná sa o menšie oblasti bodového charakteru (obrázok 3). Rovnako ako v prípade arzénu aj zóny s prekročenými hodnotami olova sú lokalizované hlavne na strednom Slovensku. V rámci geomorfologického členenia sa jedná o tieto celky: Podtatranská kotlina, Chočské vrchy Nízke Tatry, Žiar, Vtáčnik, Trábeč, Zvolenská kotlina, Ostrôžky, Revúcka vrchovina a Podunajská pahorkatina. Vzhľadom na tektonické členenie sú tieto zóny lokalizované na Paleogénnych panvách, hroniku, tatriku, fatriku, južnom gemeriku – krištaliniku a orogénnom alkalicko-vápenato, bazaltovo-andezitovo-ryolitových vulkanitoch so vzťahom k zaoblúkovej extenzií.



Obrázok 3. Zóny s prekročenými hodnotami toxického chemického prvku olovo na Slovensku. Zdroj: Mapový portál projektu UVP dostupný online na url.: <https://uvp.geonika.sk/map/>

Zóny zvýšených koncentrácií ortute podobne ako u olova zaberajú iba veľmi malú časť - 126km² (0.26% územia Slovenska) a nachádzajú sa hlavne na strednom Slovensku. V prípade ortute však ide hlavne o jednu priestorovo najrozsiahlejšou zónu (viac ako 100 km²), ktorá zasahuje južnú časť mesta Žilina, prechádza mestom Rajecké Teplice a končí mestom Rajec (obrázok 4). Vzhľadom na geomorfologické členenie ide o Žilinskú kotlinu a Súľovské vrchy. Na tektonickej mape ide o oblasť paleogénnej panvy, fatrika a hronika. Priestorovo neporovnateľne menšie zóny sa ešte nachádzajú na Podtatranskej kotline, Kozích chrbtoch, Slovenskom krase, Juhoslovenskej kotline, Slanských a Volovských vrchoch.

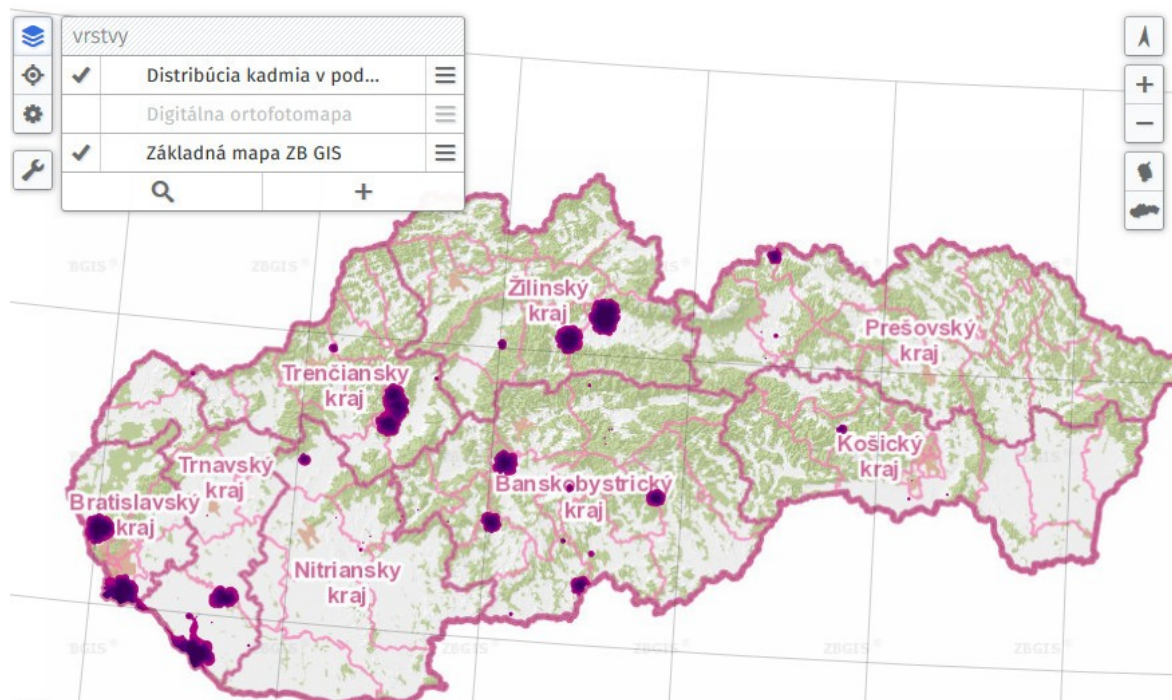


Obrázok 4. Zóny s prekročenými hodnotami toxického chemického prvku ortuť na Slovensku. Zdroj: Mapový portál projektu UVP dostupný online na url.: <https://uvp.geonika.sk/map/>

Posledný analyzovaný toxický chemický prvok kadmium a zóny jeho zvýšenej koncentrácie zaberajú priestorovo najväčšiu časť – 1055 km² (2.15% územia Slovenska). Priestorovo ide o pomerne veľké oblasti nachádzajúce sa na strednom a západnom Slovensku. Geomorfologické celky, na ktorých sa nachádzajú tieto zóny sú: Podtatranská kotlina, Nízke Tatry, Chočské vrchy, Hornonitrianska kotlina, Strážovské vrchy, Kremnické vrchy, Zvolenská kotlina, Štiavnické vrchy, Revúcka vrchovina, Stolické vrchy, Juhoslovenská kotlina, Spišská magura, Považské podolie, Podunajská rovina, Podunajská pahorkatina, Borská nížina a Malé Karpaty. (obrázok 5) Vzhľadom na tektonickú mapu sa jedná o paleogénne panvy, fatrikum, hronikum, tatrikum, južné veporikum, orogénne alkalicko-vápenaté, bazaltovo-andezitovo-ryolitové vulkanity so vzťahom k zaoblúkovej extenzií a stredno až vrchnogénne až kvartérne sedimentárne panvy.

Výsledky popisnej štatistiky obsiahnuté v tejto časti práce prinášajú nový pohľad na priestorové rozloženie zón s prekročenými limitnými hodnotami toxických chemických prvkov na Slovensku. Spojité rastrové povrchy vznikli na základe použitia modernej interpolačnej metódy s názvom *regularizovaný spline s tenziou* a za použitia priestorového rozlíšenia 100 metrov. Pre porovnanie výsledkov dosiahnutých v (Rapant *et al.*, 2004), kde boli spojité povrchy vypočítané metódou inverzných vzdialeností s priestorovým

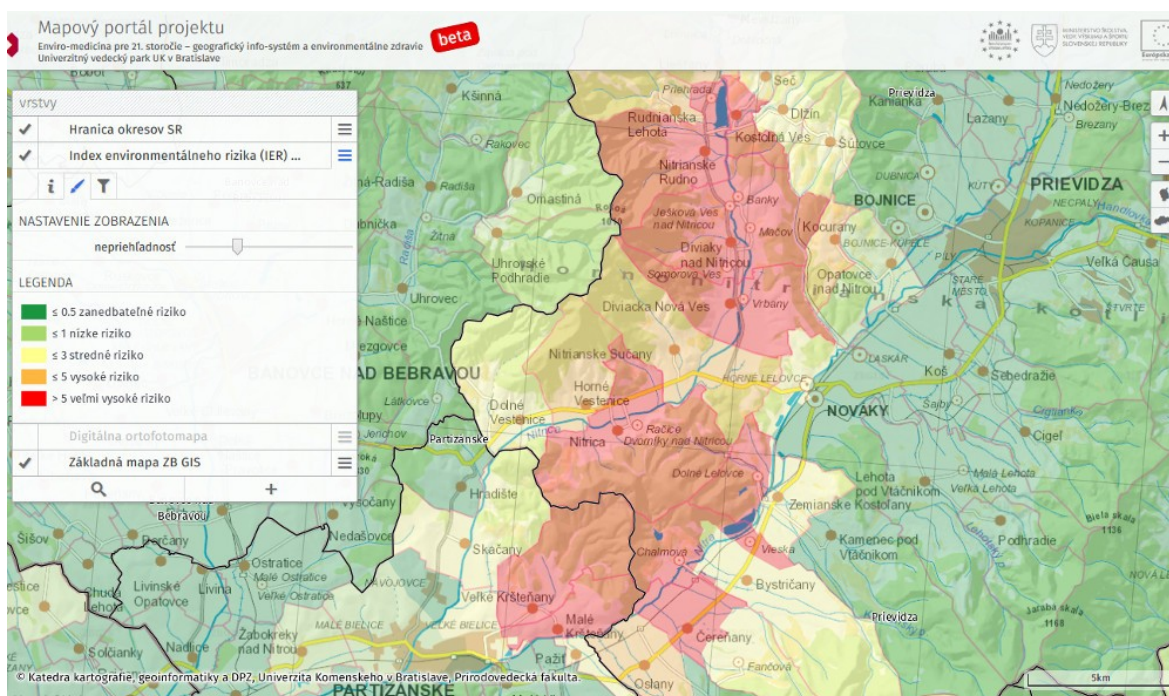
rozlíšením 1000 metrov.



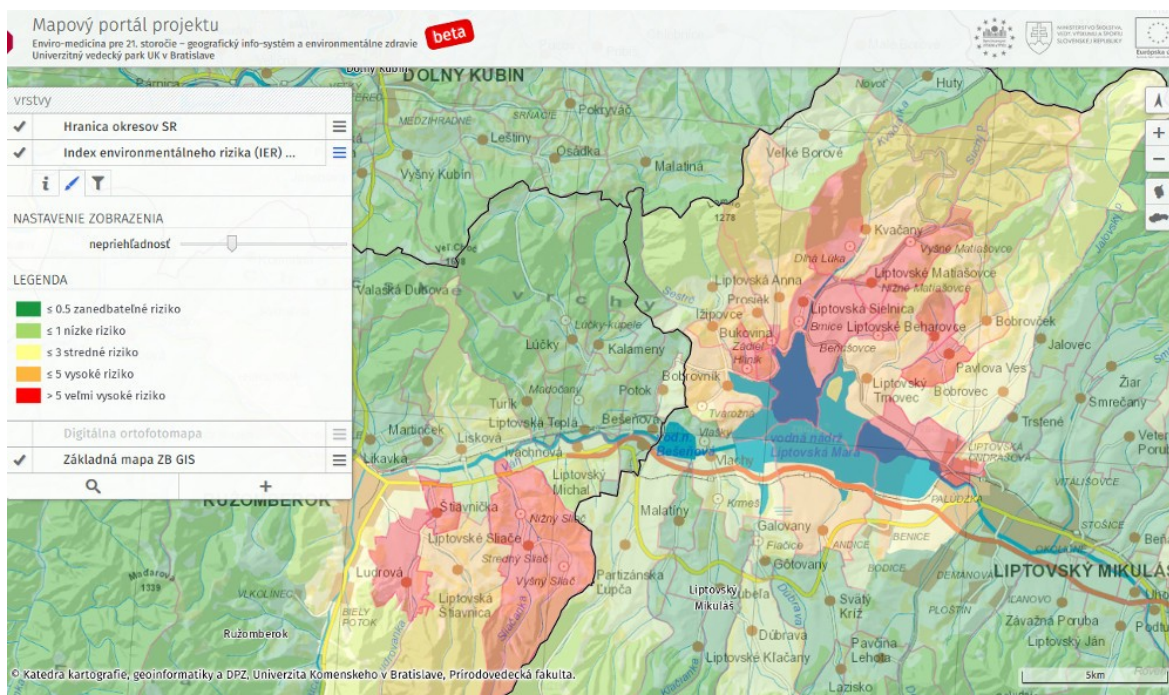
Obrázok 5. Zóny s prekročenými hodnotami toxického chemického prvku kadmium na Slovensku. Zdroj údajov: Mapový portál projektu UVP dostupný online na url.: <https://uvp.geonika.sk/map/>

Aby sme dostali celkový prehľad o znečistení podzemných vôd toxickými chemickými prvkami, bolo potrebné vypočítať index environmentálneho rizika na úrovni ZSJ. Pri výpočte indexu environmentálneho rizika sme brali do úvahy spomínané štyri najtoxickejšie prvky arzén, olovo, ortuť a kadmium. Situáciu priestorovej distribúcie indexu environmentálneho rizika zobrazuje príloha práce mapa 1. Najrozsiahlšie územia, ktoré zaberajú zóny vysokého a veľmi vysokého environmentálneho rizika sa nachádzajú v západnej časti okresu Prievidza, konkrétne ide o oblasť medzi mestami Partizánske a Prievidza (obrázok 6), východná časť okresu Ružomberok a severozápadná časť okresu Liptovský Mikuláš (obrázok 7), časť hraničného územia Slovenska a Maďarska lokalizovaného v celom okolí mesta Gabčíkovo (obrázok 8), stredná časť okresu Žilina (okolie mesta Rajecké Teplice – obrázok 9), južná časť okresu Bratislava v (obrázok 10), hraničná oblasť okresu Bratislava IV s okresom Malacky (obrázok 11) a severozápadná časť okresu Zvolen (obce Kováčová, Turová a Budča). Priestorovo menšie územia sa nachádzajú východne od mesta Veľký Krtíš (okolie obce Muľa), severozápadne od mesta Rožňava (obec Nižnoslanská Baňa), stredná časť Nízkych Tatier (obce Magurka, Pohronský Bukovec a Jasenie) a obec Mankovce, ktorá sa nachádza severozápadne od

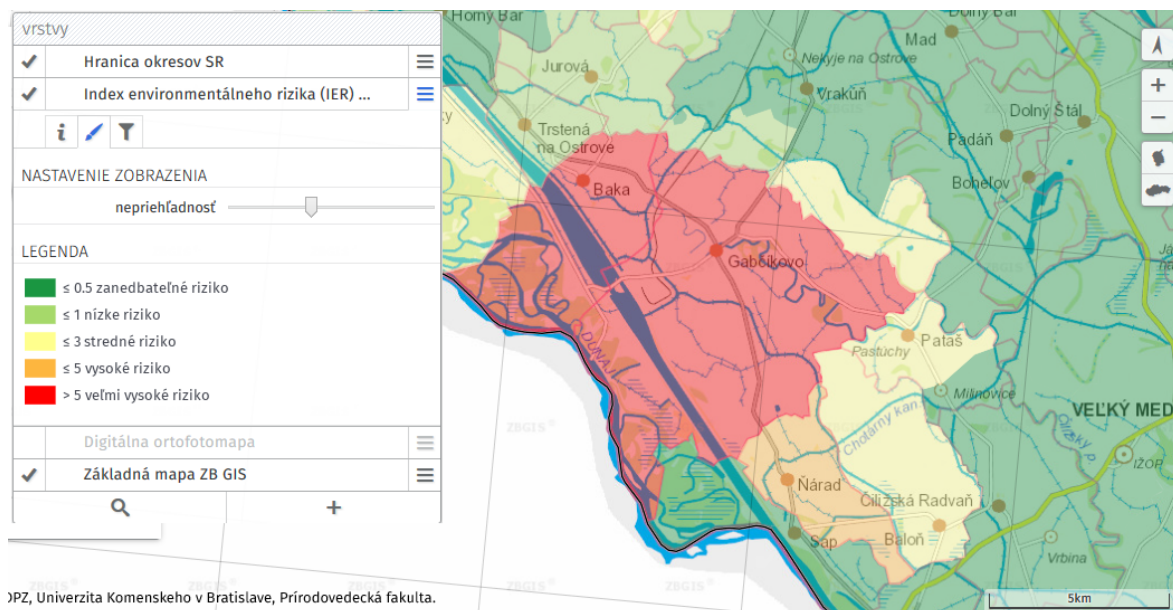
mesta Zlaté Moravce.



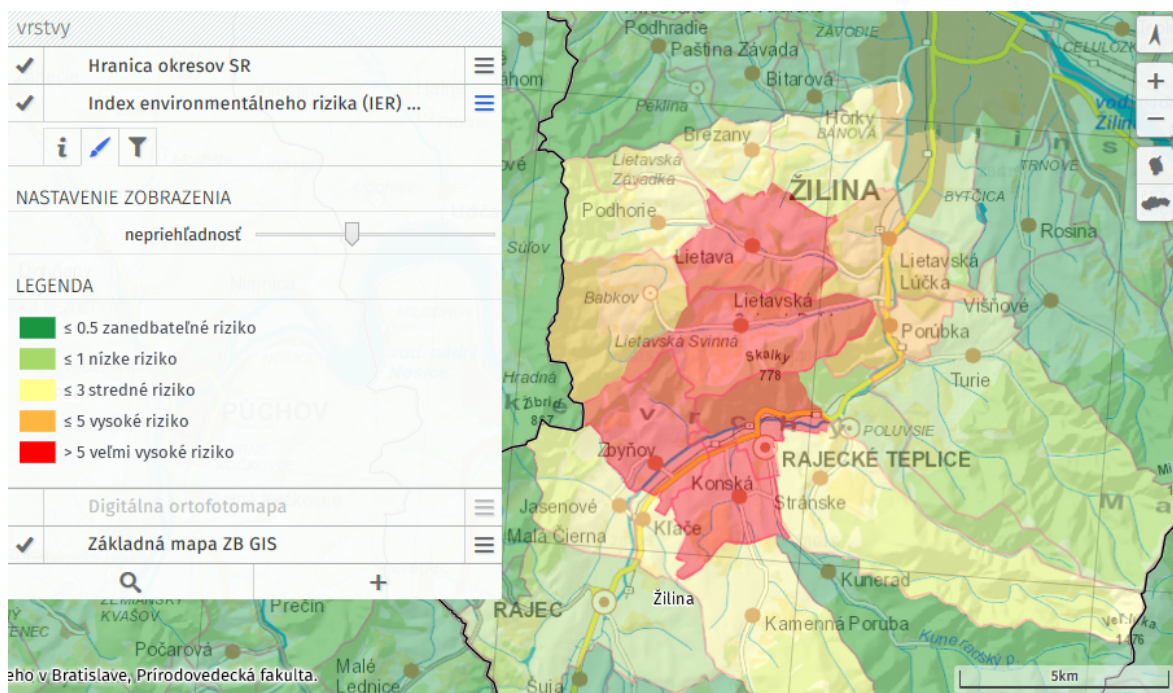
Obrázok 6. Najrozsiahlšie územia s vysokým a veľmi vysokým indexom environmentálneho rizika (IER) – západná časť okresu Prievidza.



Obrázok 7. Najrozsiahlšie územia s vysokým a veľmi vysokým indexom environmentálneho rizika (IER) – severozápadná časť okresu Liptovský Mikuláš a východ okresu Ružomberok.



Obrázok 8. Najrozsiahlejšie územia s vysokým a veľmi vysokým indexom environmentálneho rizika (IER) – okolie mesta Gabčíkovo.



Obrázok 9. Najrozsiahlejšie územia s vysokým a veľmi vysokým indexom environmentálneho rizika (IER) – okolie mesta Ražec.

Percentuálna rozloha oblastí vysokého indexu environmentálneho rizika predstavuje 1,80% a rozloha veľmi vysokého indexu environmentálneho rizika 1,06% z rozlohy Slovenska (tabuľka 3). Oblasti s vysokým a veľmi vysokým IER sú lokalizované hlavne v centrálnej a severnej časti stredného Slovenska a západnej časti západného Slovenska. Naopak na východnom Slovensku sú to iba dve ZSJ a to Lechnica a Nižnoslanská Baňa.

Percento územia Slovenska, ktorú zaberá vysoký IER	Percento územia Slovenska, ktorú zaberá veľmi vysoký IER	Percento územia Slovenska, ktoré zaberajú rizikové zóny Arzénu (As)	Percento územia Slovenska, ktoré zaberajú rizikové zóny Olova (Pb)	Percento územia Slovenska, ktoré zaberajú rizikové zóny Ortute (Hg)	Percento územia Slovenska, ktoré zaberajú rizikové zóny Kadmia (Cd)
1.80 (885 km ²)	1.06 (520 km ²)	1.42 (694 km ²)	0.23 (113 km ²)	0.26 (126 km ²)	2.15 (1055 km ²)

Tabuľka 3. Percentuálne podiely celkovej rozlohy, ktorú zaberá vysoký a veľmi vysoký IER a rizikové zóny vybraných toxických chemických prvkov z celkovej rozlohy Slovenska (49 035 km²).

Analýzy vystavenia obyvateľstva vysokému a veľmi vysokému IER boli realizované na základe porovnania hodnoty IER v ZSJ so spracovanými údajmi o percente domov nepripojených k verejnému vodovodu na úrovni ZSJ, kde bola stanovená podmienka podielu nepripojených domov k verejnému vodovodu $\geq 1\%$. Zoznam ZSJ, v ktorých bol zistený vysoký IER a percentuálny podiel domov bez vodovodnej prípojky je $\geq 1\%$ je prezentovaný v tabuľke 4. Zoznam ZSJ, v ktorých bol zistený veľmi vysoký IER a percentuálny podiel domov bez vodovodnej prípojky je $\geq 1\%$ je prezentovaný v tabuľke 5.

ZSJ ID	názov ZSJ	názov obce	Precento domov v ZSJ nepripojených k verejnému vodou $\geq 1\%$
2744450	Podháj	Žiar nad Hronom	100.00
2553860	Rómska osada	Sielnica	13.33
2312310	Lechnica	Lechnica	12.26
2129710	Tehelne	Drieňovská Nová Ves	10.53
2311770	Zápac	Lehota nad Rimavicou	9.09
2311510	Lehota nad Rimavicou	Lehota nad Rimavicou	7.89
2688100	Mlynská dolina	Veľké Zlievce	7.14
2032460	Bobrovník	Bobrovník	4.35
2311690	Rimavica	Lehota nad Rimavicou	3.90
2032200	Bobrovček	Bobrovček	3.26
2031650	Blesovce	Blesovce	2.38
2074030	Bukovina	Bukovina	1.79
2328660	Liptovský Tmovec	Liptovský Tmovec	1.47
2321490	Porúbka	Porúbka	1.39
2639580	Nárad	Nárad	1.24
2634510	Tomášikovo	Tomášikovo	1.16

Tabuľka 4. Zoznam ZSJ, v ktorých bolo zistené vysoké environmentálne riziko ($3 < I_{ER} \leq 5$) a percentuálny podiel domov bez vodovodnej prípojky je $\geq 1\%$.

ZSJ ID	názov ZSJ	názov obce	Precento domov v ZSJ nepripojených k verejnému vodou $\geq 1\%$
2074620	Karlov	Bušince	22.22
2325480	Liptovské Behárovce	Liptovské Behárovce	11.90
2387590	Mula	Mula	6.90
2360122	Mankovce 2	Zlatno	6.25
2325720	Vyšné Matiašovce	Liptovské Matiašovce	5.26
2457121	Pavlova Ves 1	Pavlova Ves	2.86
2409310	Nížnoslanská Baňa	Nížná Slaná	1.59
2660271	Turová 1	Turová	1.40
2360121	Mankovce 1	Mankovce	1.31
2564040	Nížný Sliač	Liptovské Sliače	1.17
2325640	Nížné Matiašovce	Liptovské Matiašovce	1.10

Tabuľka 5. Zoznam ZSJ, v ktorých bolo zistené veľmi vysoké environmentálne riziko ($I_{ER} > 5$) a percentuálny podiel domov bez vodovodnej prípojky je $\geq 1\%$.

Kvantitatívne vyjadrenie potenciálneho zdravotného rizika (PZR), ktoré hrozí obyvateľom žijúcim v domoch bez vodovodnej prípojky vzhľadom na jednotlivé toxické prvky v podzemnej vode je uvedené v tabuľke 6, 7 a zoradené podľa sumárnej hodnoty rizika prvkov v danej ZSJ. Graficky je situácia PZR vyplývajúceho z kontaminácie podzemnej vody jednotlivými toxickými chemickými prvkami arzén, olovo, ortuť a kadmium zobrazená na mape 3, 4, 5, 6 v uvedenom poradí.

ZSJ ID	názov ZSJ	názov obce	Potenciálne zdravotné riziko arzén	Potenciálne zdravotné riziko olovo	Potenciálne zdravotné riziko ortuť	Potenciálne zdravotné riziko kadmium
2744450	Podháj	Žiar nad Hronom	100.00	0.00	0.00	0.00
2237860	Tekeriš	Kendice	0.00	0.00	62.48	0.00
2325480	Liptovské Behárovce	Liptovské Behárovce	0.00	11.76	0.00	11.87
2074620	Karlovy	Bušince	0.00	0.00	0.00	22.22
2553860	Rómska osada	Sielnica	0.00	0.00	0.00	13.33
2688010	Čomor	Veľké Zlievce	0.00	0.00	0.00	11.81
2312310	Lechnica	Lechnica	0.00	0.00	0.00	11.32
2129710	Tehelne	Drieňovská Nová Ves	0.00	0.00	10.53	0.00
2325720	Vyšné Matiašovce	Liptovské Matiašovce	0.00	5.26	0.00	5.24
2311770	Zápac	Lehota nad Rimavicou	0.00	0.00	0.00	8.22
2688100	Mlynská dolina	Veľké Zlievce	0.00	0.00	0.00	7.06
2387590	Mula	Mula	0.00	0.00	0.00	6.80
2311510	Lehota nad Rimavicou	Lehota nad Rimavicou	0.00	0.00	0.00	6.51
2360122	Mankovce 2	Zlatno	0.00	6.25	0.00	0.00
2457121	Pavlova Ves 1	Pavlova Ves	0.00	2.86	0.00	2.85
2118340	Prieloh	Mula	0.00	0.00	0.00	5.65
2032710	Tvarožná	Bobrovník	0.00	0.00	0.00	4.45
2117960	Dolný Bukovec I	Dolná Strehová	0.00	0.00	0.00	4.41
2032200	Bobrovček	Bobrovček	0.00	1.30	0.00	2.91
2032460	Bobrovník	Bobrovník	0.00	0.00	0.00	4.13
2378920	Mníšek nad Hnilcom	Mníšek nad Hnilcom	0.52	0.00	0.00	3.49
2618150	Šula	Šula	0.00	0.00	0.00	3.70
2155380	Mostisko	Haligovce	0.00	0.00	0.00	3.36
2295470	Starý háj - Ficberg	Krupina	0.00	0.00	0.00	3.28
2744610	Slnčná stráň	Žiar nad Hronom	3.27	0.00	0.00	0.00
2129970	Dolina	Drietoma	2.96	0.00	0.00	0.00
2733090	Koncuveské	Zlatá Idka	2.96	0.00	0.00	0.00
2311690	Rimavica	Lehota nad Rimavicou	0.00	0.00	0.00	2.94
2184480	Frankov laz	Horný Tisovník	0.00	2.80	0.00	0.00
2056300	Vlčie hrdlo	Bratislava - Ružinov	0.00	0.00	0.00	2.69
2554590	Veľký Pesek	Sikenica	2.55	0.00	0.00	0.00
2548010	Selce	Selce	0.00	0.00	0.00	2.55
2129890	Brúsne	Drietoma	2.36	0.00	0.00	0.00
2745510	Žibritov	Žibritov	0.00	0.00	0.00	2.34
2688360	Veľké Zlievce	Veľké Zlievce	0.00	0.00	0.00	2.29
2444220	Ortuťová	Ortuťová	2.25	0.00	0.00	0.00
2159530	Havka	Havka	0.00	0.00	0.00	2.24
2679610	Veľké Borové	Veľké Borové	0.00	0.00	0.00	2.21
2325640	Nižné Matiašovce	Liptovské Matiašovce	0.00	1.10	0.00	1.10
2487710	Vátovce	Pôtor	0.00	0.00	0.00	2.12
2184210	Horný Oháj	Vráble	2.11	0.00	0.00	0.00
2185110	Strmé	Horný Tisovník	0.00	2.10	0.00	0.00
2031650	Blesovce	Blesovce	0.00	0.00	0.00	2.06

Tabuľka 6. Základné sídelné jednotky (ZSJ) s potenciálnym zdravotným rizikom (PZR) $\geq 2\%$, minimálne jedného toxického chemického prvku (arzén, olovo, ortuť, kadmium), zoradené podľa sumy PZR.

ZSJ ID	názov ZSJ	názov obce	Potenciálne zdravotné riziko arzén	Potenciálne zdravotné riziko olovo	Potenciálne zdravotné riziko ortuť	Potenciálne zdravotné riziko kadmium
2425600	Zúgov	Nové Zámky	1.99	0.00	0.00	0.00
2450030	Kapustnice	Palárikovo	1.93	0.00	0.00	0.00
2531110	Rožnavská Bana	Rožnava	1.80	0.00	0.00	0.00
2074030	Bukovina	Bukovina	0.00	0.00	0.00	1.79
2437790	Omastiná	Omastiná	0.00	0.00	0.00	1.60
2409310	Nížnoslanská Bana	Nižná Slaná	1.58	0.00	0.00	0.00
2409150	Nižná Slaná	Nižná Slaná	1.57	0.00	0.00	0.00
2074540	Bušince	Bušince	0.00	0.00	0.00	1.55
2504060	Psiare	Hronský Benadik	1.49	0.00	0.00	0.00
2363650	Mašková	Mašková	0.00	0.00	0.00	1.47
2660271	Turová 1	Turová	0.00	0.00	0.00	1.40
2321490	Porúbka	Porúbka	0.00	0.00	1.39	0.00
2460420	Mocarmany	Petrovany	0.00	0.00	1.33	0.00
2360121	Mankovce 1	Mankovce	0.00	1.31	0.00	0.00
2531710	Cucma	Cucma	1.24	0.00	0.00	0.00
2153920	Hajná Nová Ves	Hajná Nová Ves	0.00	0.00	0.00	1.23
2579910	Podskala	Stará Huta	0.00	1.22	0.00	0.00
2154900	Dolná Telka	Halic	0.00	0.00	0.00	1.19
2564040	Nižný Sliac	Liptovské Sliace	0.00	0.00	0.00	1.17
2155710	Haligovce	Haligovce	0.00	0.00	0.00	1.17
2166311	Beketfa 1	Holice	0.00	0.00	0.00	1.07
2160380	Henclová	Henclová	1.01	0.00	0.00	0.00

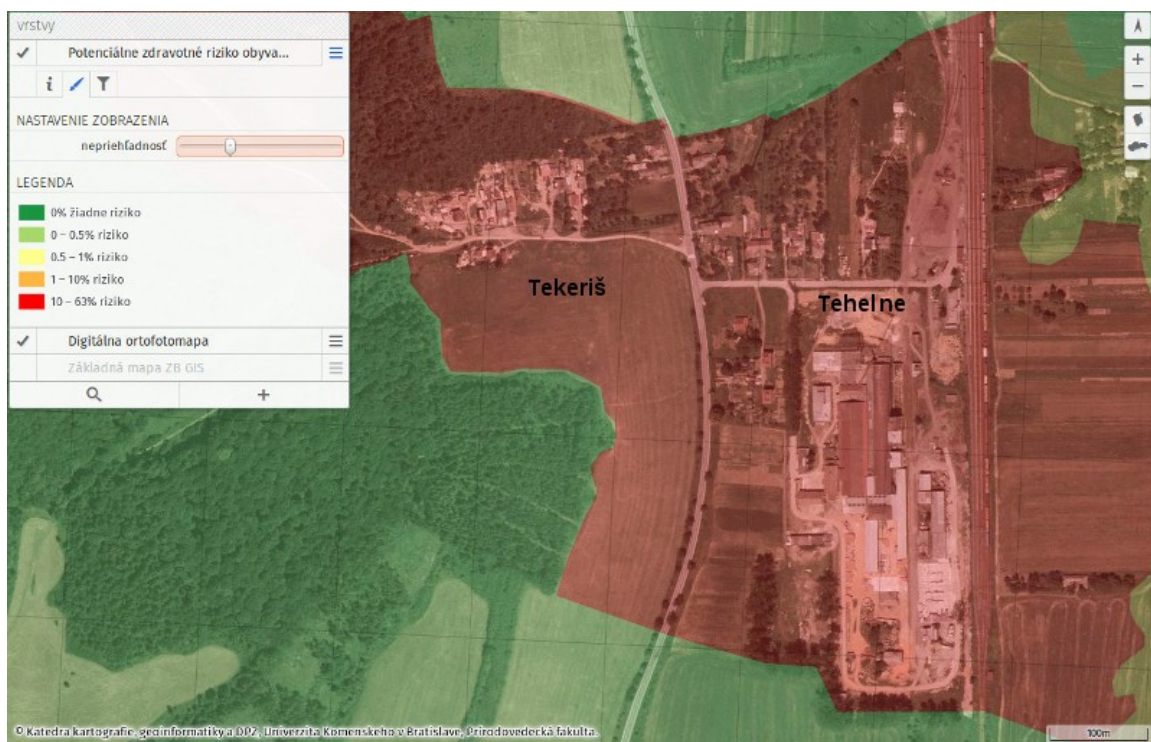
Tabuľka 7. Základné sídelné jednotky (ZSJ) s potenciálnym zdravotným rizikom (PZR) $\geq 1\%$, minimálne jedného toxického chemického prvku (arzén, olovo, ortuť, kadmium), zoradené podľa sumy PZR (pokračovanie tabuľky 6)

Z nášho realizovaného výskumu vyplýva, že najvyššie PZR (100%) sa nachádza v severnej časti mesta Žiar nad Hronom v ZSJ Podháj. Percento domov bez pripojenia k verejnému vodovodu v tejto ZSJ je 100% a celé územie leží na rizikovej zóne s prekročenými hodnotami arzénu v podzemnej vode. Index environmentálneho rizika v tejto ZSJ je reprezentovaný kategóriou vysoké environmentálne riziko ($3 < I_{ER} \leq 5$). Na základe vizuálnej analýzy z družicových snímok v tejto ZSJ nieje lokalizované trvalé osídlenie a ide o chatovú oblasť (záhrady a záhradné chatky), avšak i v tejto oblasti môže byť voda zo studní používaná na pitie, prípadne zavlažovanie pôdy, kde si ľudia pestujú zeleninu a ovocie (obrázok 12).



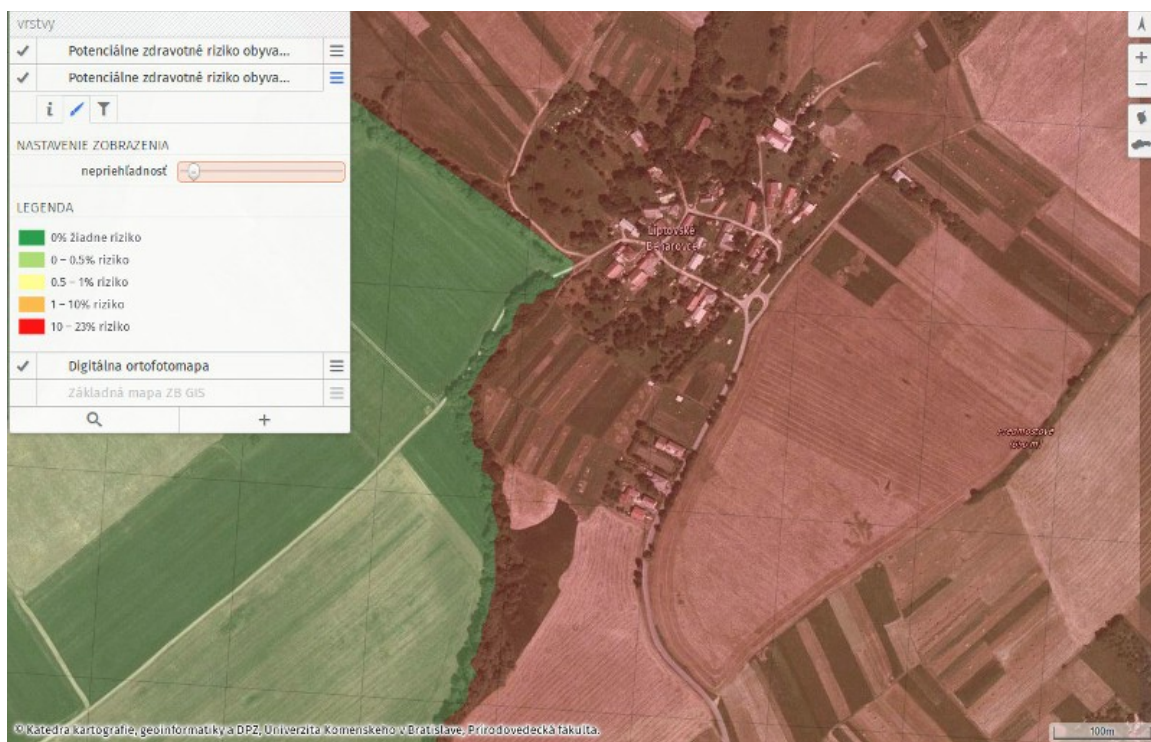
Obrázok 12. ZSJ Podháň – oblasť výskytu PZR = 100% vzhľadom na toxický chemický prvok arzén v podzemnej vode.

Na druhom mieste možno uviesť dve susediace ZSJ – Tehelne (obec Drieňovská Nová Ves) a ZSJ Tekeriš (obec Kendice). V oboch susediacich ZSJ sa vyskytujú zvýšené koncentrácie ortute v podzemnej vode. PZR v ZSJ Tekeriš je až 62.48%, v susednej ZSJ Tehelne je PZR = 10.53%. V oblasti ZSJ Tehelne sa nachádza taktiež vysoké environmentálne riziko. Zdrojom rozšírenia ortute v podzemnej vode by mohla byť miestna tehelná (obrázok 13).



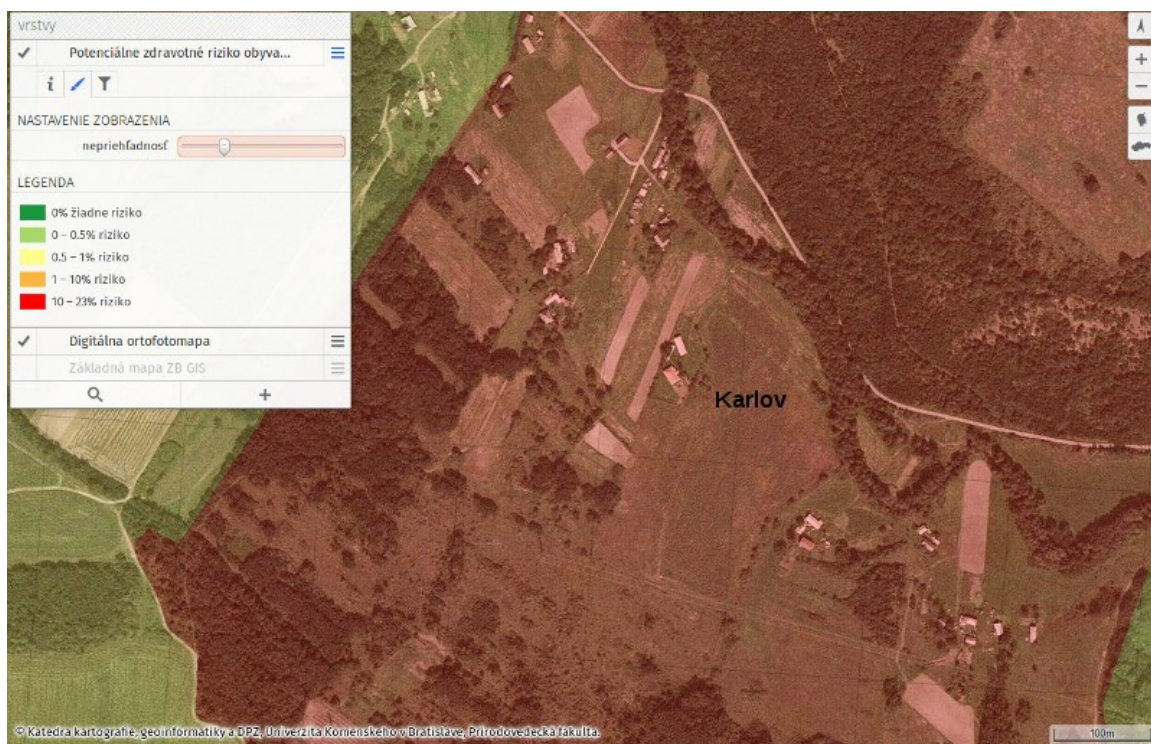
Obrázok 13. ZSJ Tekeríš (naľavo od hlavnej cesty) – oblasť výskytu PZR = 62.48% vzhľadom na toxický chemický prvok ortuť a ZSJ Tehelne (napravo od hlavnej cesty) – oblasť výskytu PZR = 10.53% vzhľadom na toxický chemický prvok ortuť.

ZSJ Liptovské Behárovce sa nachádza 3 kilometre severne od vodnej nádrže Liptovská Mara a nachádza sa v oblasti, kde sú podzemné vody kontaminované dvoma toxickými prvkami olovom a kadmium. PZR vzhľadom na prekročené koncentrácie olova v podzemnej vode je 11.76%, PZR vzhľadom na prekročené koncentrácie kadmia je 11.87% a IER v tejto ZSJ má hodnotu vyššiu ako 5, kde ide o kategóriu veľmi vysoké environmentálne riziko (obrázok 14). Dva kilometre severne od Liptovských Behároviec sa nachádza obec Liptovské Matiašovce, ktorej časť - ZSJ Vyšné Matiašovce má podobný problém s kontamináciou podzemnej vody rovnakými toxickými prvkami. PZR vzhľadom na prekročené koncentrácie olova v podzemnej vode je 5.26% a PZR vzhľadom na prekročené koncentrácie kadmia je 5.24%. Rovnako ako v susedných Liptovských Behárovciach aj v ZSJ Vyšné Matiašovce bolo identifikované veľmi vysoké environmentálne riziko ($I_{ER} > 5$).



Obrázok 14. ZSJ Liptovské Behárove – oblasť výskytu PZR = 11.76% vzhľadom na toxický chemický prvok olovo a PZR = 11.87% vzhľadom na toxický chemický prvok kadmium.

Ďalšou oblasťou kde sa nachádza vysoké PZR je hraničná oblasť Slovenska s Maďarskom - 5 kilometrov východne od mesta Veľký Krtíš. Ide o obce Veľké Zlievce, Bušince, Muľa a Prieloh. V tejto oblasti obsahuje podzemná voda nadlimitné hodnoty kadmia. ZSJ kde sa nachádza vysoké PZR (22.22%) je Karlov (obec Bušince) a v susednej obci Veľké Zlievce ide o ZSJ Čomor, kde je PZR = 11.81%. Našťastie, na území uvedených dvoch ZSJ sa nachádza iba veľmi riedke osídlenie - poľnohospodárske budovy a niekoľko domov. V ZSJ Karlov bolo identifikované veľmi vysoké environmentálne riziko ($I_{ER} > 5$) a podiel domov nepripojených k verejnej vodovodnej sieti 22.22% (obrázok 15).



Obrázok 15. ZSJ Karlov – oblasť výskytu PZR = 22.22% vzhľadom na toxický chemický prvok kadmium.

Vysoké PZR (11.32%) vzhľadom na toxický prvok kadmium v podzemnej vode, hrozí obyvateľom obce Lechnica. Obec Lechnica (je zároveň ZSJ) sa nachádza blízko hranice s Poľskom - 4 kilometre východne od mesta Spišská Stará Ves. Podiel domov v obci, ktoré nemajú pripojenie k verejnej vodovodnej sieti je 12.26%. V obci bolo identifikované vysoké environmentálne riziko ($3 < IER \leq 5$).

Poslednou ZSJ, ktorú spomenieme je ZSJ Rómska Osada, ktorá je súčasťou obce Sielnica a nachádza sa 5 km severne od mesta Zvolen. Ide o veľmi malú časť obce, kde podiel domov nepripojených k verejnému vodovodu je 13.33% (PZR je taktiež rovné 13.33%) a v podzemnej vode sa nachádzajú nadlimitné hodnoty kadmia. ZSJ sa nachádza v oblasti v vysokom environmentálnom riziku ($3 < IER \leq 5$).

Priestorové údaje pojednávajúce o rozšírení toxických prvkov v podzemnej vode boli spracované do podoby rastrových údajov. Na základe týchto rastrových údajov bolo možné získať nové poznatky o krajine konkrétne priestorové údaje pojednávajúce o indexe environmentálneho rizika IER a potenciálnom zdravotnom riziku PZR, ktoré hrozí obyvateľom žijúcich v domoch bez pripojenia k verejnej vodovodnej sieti v rizikových oblastiach (mapa 1, 3, 4, 5, 6). Aby bolo možné nové poznatky o krajine jednoduchšie poskytnúť širšej verejnosti, boli publikované do prostredia internet ako webové mapové

služby WMS. Vďaka mapovému portálu projektu UVP sa nové priestorové údaje stali súčasťou 355 publikovaných mapových vrstiev v kategóriach polohopis, demografia, environmentálne indikátory, zdravotné indikátory a sčítanie obyvateľstva 2011. Mapový portál projektu UVP predstavuje súčasť komplexnej informačnej infraštruktúry a umožňuje používateľom prezeranie, dopytovanie, analyzovanie priestorových údajov, vrátane zobrazovania ich metaúdajov, je dostupný online na url.: <https://uvp.geonika.sk/map/> .

Prezentované výsledky venované rozšíreniu toxických chemických prvkov v podzemnej vode boli vypočítané zo zdrojových údajov diskrétného bodového poľa odberných miest z environmentálno-geochemického mapovania za pomoci interpolačnej metódy *regularizovaný spline s tenziou* a s priestorovým rozlíšením 100 metrov. Čo predstavuje spresnené priestorové rozloženie sledovaných toxických chemických prvkov na Slovensku pri porovnaní s výsledkami (Rapant *et al.*, 2004).

Originálny prínos práce predstavuje nový výpočet IER vypočítaný z nových spresnených údajov štyroch najtoxickjších chemických prvkov a lokalizácia ZSJ nachádzajúcich sa na miestach vysokého a veľmi vysokého IER kde bolo identifikovaných 1% a viac domov z celkového počtu domov v ZSJ bez pripojenia k verejnej vodovodnej sieti vďaka údajom zo sčítania obyvateľov domov a bytov z roku 2011.

Ako inovatívne možno prezentovať výsledky práce pojednávajúce o výpočte potenciálneho zdravotného rizika (v %). Kde bola použitá metodika kvantitatívneho vyjadrenia PZR z práce (Schmidt *et al.* 2015). V práci (Schmidt *et al.* 2015) bola však metodika kvantitatívneho vyjadrenia PZR aplikovaná iba na jeden toxický chemický prvok – arzén. V nami predkladanej práci je výskum rozšírený na všetky štyri toxické chemické prvky a implementovaný do spomínanej priestorovej informačnej infraštruktúry.

5. DISKUSIA

Z našich výsledkov vypočítaného indexu environmentálneho rizika vyplýva, že najvyššie environmentálne riziko sa nachádza na periférii väčších priemyselných miest ako Bratislava, Prievidza, Partizánske, Zvolen, Ružomberok, Liptovský Mikuláš a Žilina. Ako príklad môžeme uviesť mesto Bratislava, kde je na zónach vysokého a veľmi vysokého IER lokalizovaný ťažký priemysel - konkrétne v severozápadnej časti fabrika Volkswagen (Nemecký výrobca automobilov) a v južnej časti fabrika Slovnaft (rafinérsko-petrochemická spoločnosť). Tento fakt by mohol vysvetľovať dôvod rozšírenia zvýšených koncentrácií kadmia v podzemnej vode. Toxický chemický prvok kadmium sa do prostredia dostáva zvyčajne vzduchom, do ktorého sa dostáva tavením (extrakciou kovu z rudy), ťažbou rudy, alebo spaľovaním fosílnych palív (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2008). Do podzemných vôd sa častice môžu dostať z povrchových vrstiev cez pôdu, alebo priamo priemyselnými odpadovými vodami. Na druhej strane sa na Slovensku nachádzajú veľké fabriky ako napríklad U.S. Steel Košice, kde nebolo identifikované veľmi vysoké ani vysoké environmentálne riziko. Údaje o chemických prvkoch v podzemnej vode, ktoré sme mali k dispozícii žiaľ neposkytujú doplnkové informácie o zdroji výskytu zvýšených koncentrácií chemických prvkov, preto môžeme iba špekulovať o príčinách ich zvýšených koncentrácií či už vzhľadom na geologické podložie, alebo priemyselné zóny. Index environmentálneho rizika vyplývajúci z kontaminácie podzemnej vody Slovenska bol počítaný už v minulosti konkrétne v práci (Rapant *et al.*, 2004), kde výpočet spojitých povrchov chemických prvkov bol realizovaný s iným priestorovým rozlíšením (1000 m), za pomoci odlišnej interpolačnej metódy konkrétne metódou inverzných vzdialeností v programe SURFER (kde bol nastavený vyhladzovací faktor 1, funkcia power 2 a neuvažovalo sa s anizotropiou prostredia). Najdôležitejší rozdiel vo výpočte IER je však množina chemických prvkov a zlúčenín, ktorá tu vstupovala do výpočtu. Ide o množinu 18 chemických prvkov a zlúčenín, z ktorých nie všetky sú vyslovene toxické ani karcinogénne pri ich zvýšených koncentráciách ako: Al, Cl, Cu, F, Fe, MIN (celková mineralizácia), Mn, Na, Sb, Cr, Zn. Amónium, dusičnany a sírany sú nepriamo toxické a je treba prihliadať na obsah ďalších redukujúcich zložiek a pH vody. Spomínaná množina 18 chemických prvkov a zlúčenín použitá na výpočet IER:

$$MIN, NO_3, Cl, SO_4, F, NH_4, Na, Fe, Mn, Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Sb, Zn$$

Index environmentálneho rizika z kontaminácie podzemnej vody vypočítaný v práci (Rapant *et*

al., 2004) preto zobrazuje oblasti vysokého a veľmi vysokého environmentálneho rizika skoro na celej Podunajskej rovine, Podunajskej Pahorkatine, Východoslovenskej rovine a Borskej nížine (mapa 2). z vyššie popísaných dôvodov sú dosiahnuté výsledky výpočtu IER v našom výskume značne odlišné.

Environmentálne riziko z kontaminácie podzemnej vody toxickými chemickými prvkami hrozí najmä ľuďom, ktorí priamo pijú vodu z kontaminovaného zdroja, čo môže vzhľadom na dlhodobejšie požívanie takejto vody predstavovať zdravotné riziko. Takéto zdravotné riziko hrozí obyvateľom domov bez pripojenia k verejnému vodovodnému zdroju a lokalizovaných na zónach, kde toxické chemické prvky v podzemnej vode presahujú maximálne povolené hodnoty. Ľudia, ktorí bývajú v takýchto domoch a ako vodný zdroj používajú dlhodobo vodu zo studní, sú vystavení zdravotnému riziku, ktoré sme počítali pre každý toxický chemický prvok zvlášť (hlavné metabolické faktory spojené s vystavením organizmu jednotlivým toxickým chemickým prvkom sú uvedené v tabuľke 1). Pri výpočte zdravotného rizika sme však neuvažovali o možnosti, že ľudia ktorí bývajú v takýchto domoch môžu používať špeciálne vodné filtre, alebo kupovať pitnú vodu z obchodov. Z tohto uvedeného dôvodu sme zdravotné riziko neoznačili priamo ako „zdravotné riziko“, ale ako „potenciálne zdravotné riziko“ (PZR) vyplývajúce z kontaminácie podzemnej vody jednotlivými toxickými chemickými prvkami (arzén, olovo, ortuť a kadmium).

Výskum prezentovaný v práci má niekoľko obmedzení. Prvým obmedzením je vek a kvalita vstupných údajov. Vstupné údaje pochádzajú z environmentálno-geochemického mapovania v období medzi rokmi 1991 až 1994 čo predstavuje vzhľadom na súčasnosť (2016) 22 až 25 rokov staré údaje. Pokiaľ berieme do úvahy antropogénny vplyv, môže ísť v súčasnosti na niektorých územiach o neaktuálnu situáciu chemického zloženia podzemnej vody hlavne vzhľadom na výrazné priemyselné zmeny, ktoré sa udiali v deväťdesiatych rokoch dvadsiateho storočia a postupný vznik nových priemyselných oblastí na Slovensku. Pokiaľ však ide o prírodný zdroj chemického zloženia podzemných vôd (geologické prostredie), situácia môže byť stále aktuálna. Vstupné údaje pojednávajúce o koncentráciách chemických prvkov v podzemnej vode pochádzajúce z environmentálno-geochemického mapovania predstavujú jediný konzistentný zdroj údajov o obsahu chemických prvkov v podzemnej vode celej Slovenskej republiky. Ďalšie obmedzenie výskumu sa týka údajov pochádzajúcich zo sčítania obyvateľov domov

a bytov z roku 2011. Proces zberu takéhoto typu údajov je veľmi náročná činnosť založená na zodpovednosti občanov správne vyplňať dotazníky, preto sa rovnako v týchto údajoch môžu vyskytovať nepresnosti, nesprávne uvedené údaje alebo úplne absentujúce údaje.

Pri metodike výpočtu PZR musíme tiež uvažovať o obmedzení, ktoré sa týka výpočtu percenta plochy, ktorú zaberajú limitné zóny toxického prvku z rozlohy ZSJ. Ak totiž uvažujeme o reálnej situácii priestorovo rozsiahlejšej ZSJ, kde limitná zóna toxického prvku je lokalizovaná na jednom konci a obec na opačnej strane ZSJ, obyvateľom vôbec nemusí hroziť PZR (aj keď bolo PZR v danej ZSJ identifikované). Pri tomto výpočte PZR sme však neuvažovali o polohe zastavaného územia obce vzhľadom na rizikové zóny toxických chemických prvkov v ZSJ. Ďalší faktor, ktorý ovplyvňuje kvalitu údajov (distribúcia toxických chemických prvkov vo forme spojitých rastrových povrchov) je použitá interpolačná metóda. Nezávisle od výberu interpolačnej metódy, výsledný spojitý rastrový povrch bude vždy reprezentovať iba aproximáciu k realite a nie reálnu situáciu sledovaného fenoménu. Ak hovoríme o rastrových priestorových štruktúrach treba spomenúť aj použité priestorové rozlíšenie, ktoré bolo v našom prípade nastavené na 100 metrov vzhľadom na hustotu vstupného bodového poľa sond z environmentálno-geochemického mapovania (jedna vzorka na 3 km²).

ZÁVER

Prezentovaný výskum bol venovaný identifikácii a popisu environmentálneho a potenciálneho zdravotného rizika z kontaminácie podzemnej vody toxickými chemickými prvkami arzén, olovo, ortuť a kadmium vzhľadom na obyvateľov, ktorí žijú v domoch bez prípojky k verejnému vodovodu. Tento výskum bol realizovaný v priestorovej informačnej infraštruktúre vytvorenej v rámci projektu Univerzitný vedecký park univerzity Komenského v Bratislave a priniesol pohľad na priestorové rozloženie environmentálneho a potenciálneho zdravotného rizika na Slovensku na úrovni najmenších administratívnych jednotiek - ZSJ. Na Slovensku bolo identifikovaných niekoľko oblastí, kde toxické chemické prvky v podzemnej vode prekračujú maximálne povolené hodnoty dané nariadením vlády Slovenskej republiky číslo 354/2006 Z.z.. Postihnuté oblasti vzhľadom na rozlohu Slovenska sú priestorovo malé - najväčšiu rozlohu zaberajú rizikové zóny kadmia (2.15% z celkovej rozlohy Slovenska) a najmenšiu rozlohu zaberajú rizikové zóny olova (0.23% z celkovej rozlohy Slovenska). Aby bolo možné realizovať celkové hodnotenie environmentálneho rizika (vzhľadom na vybrané štyri najtoxickéjšie chemické prvky v podzemnej vode spolu) bol vypočítaný index environmentálneho rizika, ktorý bol klasifikovaný do 5 úrovňovej škály. Zóny vysokého environmentálneho rizika zaberajú 1.8% a zóny veľmi vysokého environmentálneho rizika 1.06% z celkovej rozlohy územia Slovenska. Výsledky ktoré sme dostali z tohto výskumu, nám však nehovoria o tom, ktorá časť obyvateľov môže byť ohrozená. S použitím údajov o domoch nepripojených k verejnej vodovodnej sieti zo sčítania obyvateľov, domov a bytov z roku 2011 na úrovni ZSJ bolo možné realizovať výskum vystavenia obyvateľov (ktorí žijú v domoch bez vodovodnej prípojky) potenciálnemu zdravotnému riziku PZR (oblastiam s nadlimitnými koncentráciami toxických chemických prvkov v podzemnej vode) a oblastiam vysokého a veľmi vysokého IER. Pri počítaní PZR sme brali do úvahy minimálny podiel domov nepripojených k verejnej vodovodnej sieti väčší, alebo rovný 1%. Analýzy vystavenia obyvateľov žijúcich v domoch bez vodovodnej prípojky voči oblastiam s vysokým a veľmi vysokým IER odhalili konkrétnych 16 ohrozených ZSJ (vzhľadom na vysoký IER) a 11 ohrozených ZSJ (vzhľadom na veľmi vysoký IER), ich presný zoznam nájdete v tab.4 a tab. 5. Kvantitatívne vyjadrenie PZR vzhľadom na jednotlivé toxické prvky identifikovalo nasledujúce ZSJ: Podháj (časť obce Žiar nad Hronom) 100% PZR vzhľadom na arzén, Terekiš (časť obce Kendice) 62,48% PZR vzhľadom na Ortuť, Liptovské Behárovce (obec

Liptovské Behárovce) 11,76% PZR vzhľadom na Olovo a 11,87% PZR vzhľadom na kadmium, Karlov (časť obce Bušince) 22,22% PZR vzhľadom na kadmium, ... úplný zoznam je uvedený v tab.6 a tab 7.

Vďaka výsledkom získaných z nášho výskumu je možné predchádzať hlavným metabolickým faktorom vyplývajúcim z dlhodobého požívania vody kontaminovanej nadlimitnými hodnotami toxických chemických prvkov, alebo v lepšom prípade úplne zabrániť výskytu zdravotného rizika. Získané výsledky v našom experimente môžu pomôcť nielen odbornej, ale aj širokej verejnosti (napr. pri plánovaní budovania studne, ktorej voda má slúžiť na pitie, alebo zavlažovania poľnohospodárskej pôdy takto kontaminovanou vodou). Výsledné mapy celkového environmentálneho rizika a potenciálneho zdravotného rizika vzhľadom na jednotlivé toxické prvky arzén, olovo, ortuť a kadmium sú súčasťou príloh práce a ako webové mapové služby dostupné online prostredníctvom mapového portálu vybudovaného vďaka projektu *Univerzitný vedecký park univerzity Komenského v Bratislave* a dostupného na url.: <https://uvp.geonika.sk/map> . Okrem samotného prezerania mapových vrstiev umožňuje mapový portál, dopytovanie a ich prekrývanie s viac ako 355 dostupných vrstiev z kategórií polohopis, demografia, environmentálne indikátory, zdravotné indikátory, a sčítanie obyvateľstva 2011.

SUMMARY

The research dedicates to identify and describe environmental and health risk from toxic elements like arsenic (As), lead (Pb), mercury (Hg) and cadmium (Cd) in groundwater considering residents who lives in houses not connected to a public water supply. Research was carried out in the spatial information infrastructure built in University Scientific Park of Comenius University in Bratislava and has brought an insight into the spatial distribution of environmental and health risk in the Slovak Republic at the level of the smallest statistical units in Slovakia (i.e. BSUs). There has several locations in the Slovak Republic where these toxic elements exceed the maximum values in groundwater given by the Regulation of the Government of the Slovak Republic No. 354/2006 Coll. as Later Amended were identified. The affected area is quite small (it has the largest amount of cadmium, which takes up 2.15% of the overall area of the Slovak Republic, and it has the smallest amount of lead (0.23%)). To assess the overall effects of the four analyzed elements together, environmental risk index was calculated and classified into 5 level scale. Only 1%-2% of the effected area lies in the zones of very high environmental risk index. However, these results did not indicate how much population might be affected. Using data about types of water supply in households, we were able to identify the BSUs located in areas of high and very high environmental risk. We were considering only proportion of houses lacking connection to a public water supply (which was considered as a proxy for population exposure) higher than or equal to 1%. Exposure analysis of such residents who are living in houses not connected to a public water supplies towards areas where high and very high IER was identified has revealed 16 and 11 endangered BSUs respectively, the exact list shows table 4. and table 5. The quantitative expression of potential health risk (PHR) with respect of individual toxic elements has identified following BSUs: Podháj (part of Žiar nad Hronom town) 100% PHR on arsenic, Terekiš (part of Kendice village) 62,48% PHR on mercury, Liptovské Behárovce (Liptovské Behárovce village) 11,76% PHR on lead and 11,87% PHR on cadmium, Karlov (part of Bušince village) 22,22% PHR on cadmium, ... the full list of identified BSUs is listed in table 6 and table 7.

Using PHR values makes prediction become possible, most importantly, it prevents major adverse metabolic outcomes from associating with the corresponding environmental exposure. The results obtained in our experiment is not only beneficial to professionals but

also to general public. For example, when we are planning to build a well or use the contaminated water for watering fields. The final maps (layers) of the overall environmental risk index of arsenic, lead, mercury, cadmium and PHR for these elements can be easily accessed separately through the web mapping application of the project of Comenius University in Bratislava Science Park,(available at <https://uvp.geonika.sk/map>). In which they are published as web map services from the spatial database IGBEHD. Except interactive browsing, overlaying and querying of the created layers, the application allows users to add more than 355 additional published layers from categories such as demography, environmental indicators, health indicators, population and housing census 2011, and administrative boundaries.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (2013): Priority List of Hazardous Substances. [online] [cit. 2015.12.22.]. Dostupné na: <<http://www.atsdr.cdc.gov/spl/resources/index.html>>
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (2008): Cadmium Toxicity. Case Studies in Environmental Medicine. [online] [cit. 2015.07.25]. Dostupné na: <<http://www.atsdr.cdc.gov/csem/cadmium/docs/cadmium.pdf>>
- AHMAD, N., JAAFAR, M. S., & ALSAFFAR, M. S. (2015). Study of radon concentration and toxic elements in drinking and irrigated water and its implications in Sungai Petani, Kedah, Malaysia. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8(3), pp. 294–299. [online] [cit. 2015.01.20]. Dostupné na: <<http://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.04.003>>
- BENOVÁ, A., & FECISKANIN, R. (2014). Hodnotenie webových mapových aplikácií so zameraním na environmentálne zdravie a riziká z hľadiska ich kompozície a funkčnosti. *Acta Geographica Universitatis Comenianae*, 58(2), s. 193–227.
- BLIGH, R., MOLLEHUARA, R. (2012), Arsenic - Sources , Pathways and Treatment of Mining and Metallurgical Effluents. SEAP, (2012): pp. 8-11. [online] [cit. 2015.11.25.]. Dostupné na: <http://www.outotec.com/imagevaultfiles/id_552/cf_2/arsenic_-_sources_pathways_and_treatment_of_minin.pdf>
- BOLTON, D. W. (2006). Analysis of cadmium in ground water and sediment samples in the aquia aquifer in central anne arundel county. MARYLAND Prepared by Department of the Environment U.S. Geological Survey and U.S. Environmental Protection Agency.
- CARPENTER, T.E. (2011): The spatial epidemiologic (r)evolution: a look back in time and forward to the future. *Spatial and spatio-temporal epidemiology*, 2(3): pp. 119–124.
- CARROLL, L.N., AU, A.P., DETWILER, L.T., FU, T.-C., PAINTER, I.S., ABERNETHY, N.F. (2014): Visualization and analytics tools for infectious disease epidemiology: A systematic review. *Journal of biomedical informatics*, 51(2014): pp. 287–298.
- ČURLÍK, J. (1998): Natural and man-induced sources of soil pollution in Slovakia. In *Pedologie-Themata*, No. 4, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetensch. Gent, Belgium, pp. 85-91.
- ČURLÍK, J. (2001a): Kontaminácia podzemných vôd cez pôdu: procesy a kritéria hodnotenia. *Hydrogeochémia 2001*, Roč. 6., Zborník referátov, s. 29-37.
- ČURLÍK, J. (2001b): Soil Inorganic Contamination in Slovak Republic and some Environmental Consequences. Assessment of the quality of contaminated soils and sites in Central and Eastern European Countries and new independent states. Abstracts, October, 2001, Sofia.
- ČURLÍK, J. (2003): Potenciálne toxické stopové prvky a ich distribúcia v pôdach Slovenska. Manuskript, Doktorská dizertačná práca, ŠGÚDŠ Bratislava, 225 s.
- ČURLÍK, J. (2011): Potenciálne toxické stopové prvky a ich distribúcia v pôdach Slovenska. Bratislava, 462 s.
- ČURLÍK, J., MEJEED, S., Y. (1994): Trace Element Contamination of the Soils of Žitný ostrov. *Acta Universitatis Carolinae, Geologica*, 37, s. 123–133.
- ČURLÍK, J., ŠEFČÍK, P. (1998): Geochemical Mapping of Slovakian Soils. *Texte 5/ 98*

- Critical limits and Effect Based Approaches for Heavy Metals and Persistent Organic Pollutants. Proceedings, Umwelt Bundes Amt, Berlin, II/5-6.
- ČURLÍK, J., ŠEFČÍK, P. (1998): Kontamiácia pôd Slovenska kadmíom. In *Antropizácia pôd III.*, PF UK, Bratislava, s. 24-30.
- DANTES (2006): Environmental Risk Assessment, ERA. [online] [cit. 2015.7.4.]. <http://www.dantes.info/Tools&Methods/Environmentalassessment/enviro_asse_era.html>
- EU. (2010). Cities occupy 0.5 percent of the world's total land, (179), 2010.
- FAO (2004): The future of agriculture depends on biodiversity. [online] [cit. 2015.12.21.]. Dostupné na: <<http://www.fao.org/newsroom/en/focus/2004/51102/index.html>>
- FRUMKIN, H. (2010): Environmental Health: From Global to Local, 2nd ed. San Francisco, John Wiley & Sons.
- GODBOLE, S., FOSTER, E. C. (2014): *Database Systems A Pragmatic Approach*. Apress. 556 p. [online] [cit. 2015.10.20.]. Dostupné na: <<http://it-ebooks.info/book/4704/>>
- HUTTON, M. (1987). Human Health Concerns of Lead , Mercury , Cadmium and Arsenic. *Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment*, pp. 53–68.
- CHAKRABORTI, D., DAS, B., RAHMAN, M. M., CHOWDHURY, U. K., BISWAS, B., GOSWAMI, A. B., ... DAS, D. (2009). Status of groundwater arsenic contamination in the state of West Bengal, India: A 20-year study report. *Molecular Nutrition and Food Research*, 53(5), pp. 542–551. [online] [cit. 2016.02.15.]. Dostupné na: <<http://doi.org/10.1002/mnfr.200700517>>
- CHEN, H., TENG, Y., LU, S., WANG, Y., & WANG, J. (2015). Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *Science of The Total Environment*, 512-513, pp. 143–153. [online] [cit. 2015.12.12.]. Dostupné na: <<http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.025>>
- IARC (2004). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 84 Some Drinking-water Disinfectants and Contaminants, including Arsenic, 84. [online] [cit. 2015.12.12.]. Dostupné na: <<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol84/mono84.pdf>>
- INSPIRE (2007). Infrastructure for Spatial Information in the European Community. [online] [cit. 2016.05.08.]. Dostupné na: <<http://inspire.ec.europa.eu/>>
- IRAC (2006). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Volume 87 Inorganic and Organic Lead Compounds, 87. [online] [cit. 2015.12.12.]. Dostupné na: <<http://www.inchem.org/documents/iarc/vol87/volume87.pdf>>
- ISLAM, F. S., GAULT, A. G., BOOTHMAN, C., POLYA, D. A., CHARNOCK, J. M., CHATTERJEE, D., & LLOYD, J. R. (2004). Role of metal-reducing bacteria in arsenic release from Bengal delta sediments. *Nature*, 430(6995), pp. 68–71. [online] [cit. 2016.01.12.]. Dostupné na: <<http://doi.org/10.1038/nature02638>>
- KATSOYIANNIS, I. A., MITRAKAS, M., & ZOUBOULIS, A. I. (2015). Arsenic occurrence in Europe: emphasis in Greece and description of the applied full-scale treatment plants. *Desalination and Water Treatment*, 54(8), 2100–2107. [online] [cit. 2016.01.18.]. Dostupné na: <<http://doi.org/10.1080/19443994.2014.933630>>
- KEMP, K. (2008). Encyclopedia of Geographic Information Science. Thousand Oaks, California, USA: SAGE. [online] [cit. 2016.01.20.]. Dostupné na:

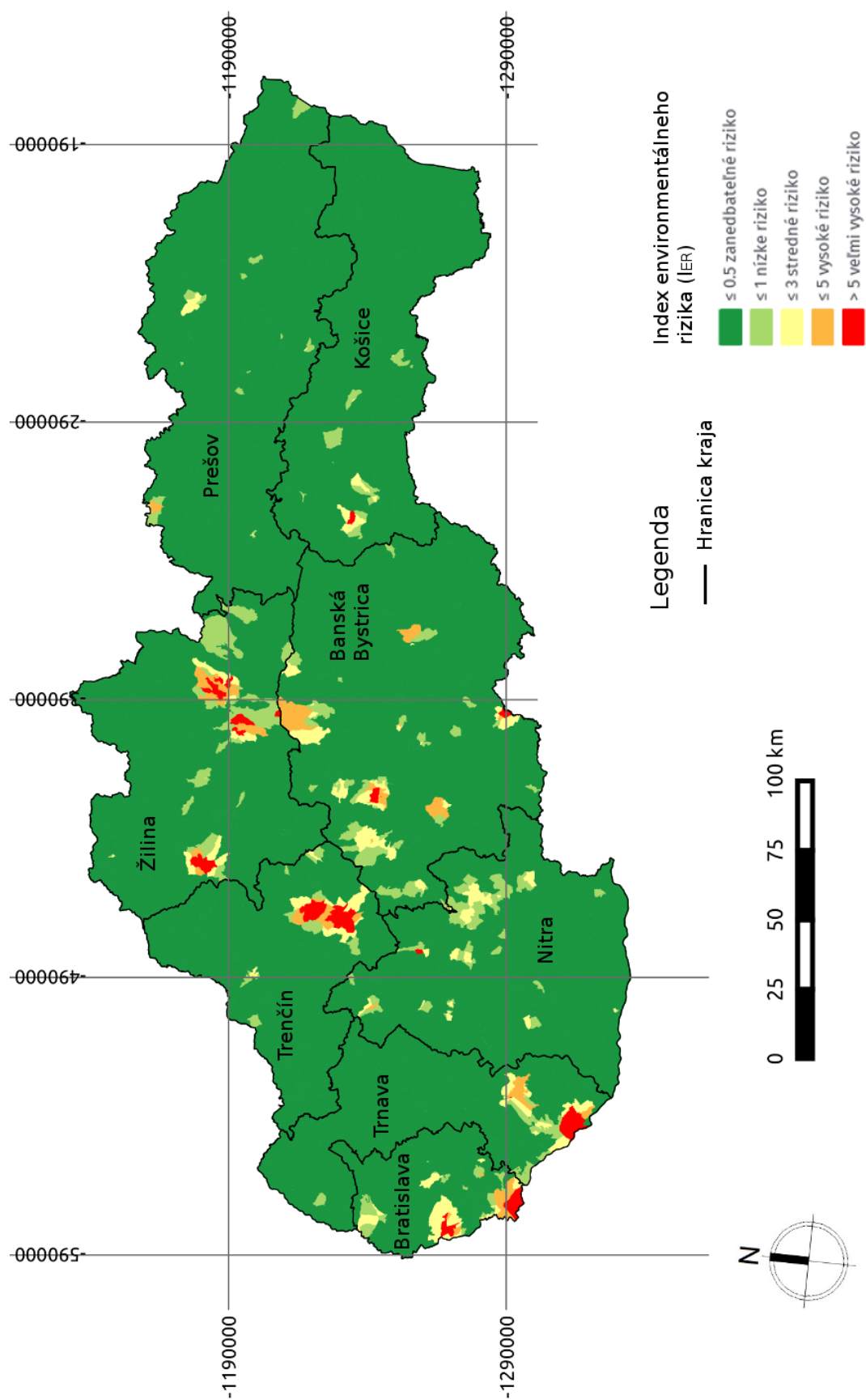
- <<http://sk.sagepub.com/reference/geoinfoscience>>
- KHAN, T. A. (2011). Trace Elements in the Drinking Water and Their Possible Health Effects in Aligarh City, India. *Journal of Water Resource and Protection*, 03(07), pp. 522–530. [online] [cit. 2016.01.18.]. Dostupné na: <<http://doi.org/10.4236/jwarp.2011.37062>>
- MACLEOD, C., GALLAGHER, R. A., & SURVEY, U. S. G. (1997). Mercury in ground water, soils, and sediments of the kirkwood-cohansey aquifer system in the new jersey coastal plain. *U.S. Geological survey*, Open-File Report, pp. 95-475. [online] [cit. 2016.01.18.]. Dostupné na: <<http://pubs.usgs.gov/of/1995/0475/report.pdf>>
- MAANTAY, J., A., McLAFFERTY, S. (2011). *Geospatial Analysis of Environmental Health*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 499 p.
- MIČIETOVÁ, E., KOŽUCH, M. (2008). Špecializované informačné technológie v prírodovednom výskume (Geografický informačný systém (GIS) štruktúra, integrita, interoperabilita, implementácia), Bratislava, Univerzita Komenského, Prírodovedecká fakulta, 2008, 36 s.
- MIČIETOVÁ, E., PETŘÍČEK, G. (2012). Nástroje na podporu mobilnej interaktívnej geografickej komunikácie. *Geografický časopis* 64 (2012) 3, 01-02.
- MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY (1996). *Geochemický atlas Slovenska časť I: Pozemná voda*. Bratislava, Geologické služby Slovenskej Republiky. 127 s. [online] Dostupné na: <http://www.geology.sk/doc/geois/pv_text.pdf>
- MITASOVA, H., MITAS, L., RATTI, C., ISHII, H., ALONS, O. J., HARMON, R. S. (2006). Real-Time Landscape Model Interaction Using a Tangible Geospatial Modeling Environment. *IEEE Computer Graphics*, 26, 4, pp. 55-63.
- MOHAMED, A. A. J., RAHMAN, I. A., SAID, S. A., & LIM, L. H. (2014). Occurrence of Arsenic, Lead, Thallium and Beryllium in Groundwater. *American Journal of Environmental Sciences*, 10(2), pp. 164–170. [online] [cit. 2016.01.07.]. Dostupné na: <<http://doi.org/10.3844/ajessp.2014.164.170>>
- MUKHERJEE, A., BHATTACHARYA, P., & FRYAR, A. E. (2011). Arsenic and other toxic elements in surface and groundwater systems. *Applied Geochemistry*, 26(4), pp. 415–420. [online] [cit. 2015.02.07.]. Dostupné na: <<http://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.01.001>>
- OBE, REGINA, O., HSU, LEO, S. 2011. *Postgis in Action*. Stamford, Manning, 520 p.
- OGC (2014). *OGC Standards and Supporting Documents*. [online] [cit. 2016-01-24]. Dostupné na: <<http://www.opengeospatial.org/standards>>
- OGC. (2007). *Styled Layer Descriptor profile of the Web Map Service Implementation Specification*. [online] [cit. 2016-01-25]. Dostupné na: <<http://www.opengeospatial.org/standards/sld>>
- OGC (2004). *OGC Web Map Service Implementation Specification*. [online] [cit. 2016-01-25]. Dostupné na: <<http://www.opengeospatial.org/standards/wms>>
- OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION (2014): *GeoServer 2.5*. [online] [cit.

- 2015.12.22.]. Dostupné na: <<http://geoserver.org/>>
- PETŘÍČEK, G., SCHMIDT, T., MIČIETOVÁ, E. (2014). Interaktívny mapový klient základnej bázy údajov pre geografický informačný systém s využitím údajov komplexného digitálneho modelu reliéfu. *Kartografické listy*, 22(1), pp. 43–52.
- PHAN, K., STHIANNOPKAO, S., HENG, S., PHAN, S., HUOY, L., WONG, M.H., KIM, K.W. (2013): Arsenic contamination in the food chain and its risk assessment of populations residing in the Mekong River basin of Cambodia. *Journal of Hazardous Materials*, 262(2013): pp. 1064–1071.
- PHAN K., STHIANNOPKAO, S., KIM, K.W., WONG, M.H., SAO, V., HASHIM, J.H., MOHAMED, YASIN, M.S., ALJUNID, S.M. (2010). Health risk assessment of inorganic arsenic intake of Cambodia residents through groundwater drinking pathway. *Water research*. Vol., 44(19). [online] [cit. 2016.01.20.]. Dostupné na: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20598732>>
- POSTGIS (2015): PostGIS 2.1.8dev Manual. [online] [cit. 2016.01.20.]. Dostupné na: <<http://postgis.net/docs/>>
- POSTGIS REFERENCE, (2015): PostGIS 2.1.8dev Manual. [online] [cit. 2016-01-20]. Dostupné na: <<http://postgis.net/docs/manual-dev/reference.html>>
- RAPANT, S., CVEČKOVÁ, V., DIETZOVÁ, Z., FAJČÍKOVÁ, K., HILLER, E., FINKELMAN, R. B., & ŠKULTĚTYOVÁ, S. (2014). The potential impact of geological environment on health status of residents of the Slovak Republic. *Environmental Geochemistry and Health*, 36(3), pp. 543–61. [online] [cit. 2015.11.07.]. Dostupné na: <<http://doi.org/10.1007/s10653-013-9580-5>>
- RAPANT, S., FAJČÍKOVÁ, K., CVEČKOVÁ, V., ĎURŽA, A., STEHLÍKOVÁ, B., SEDLÁKOVÁ, D., & ŽENIŠOVÁ, Z. (2015). Chemical Composition of Groundwater and Relative Mortality for Cardiovascular Diseases in the Slovak Republic. *Environmental Geochemistry and Health*, 2015(4), 37 p.
- RAPANT, S., FAJČÍKOVÁ, K., KHUN, M., CVEČKOVÁ, V. (2011), Application of Health Risk Assessment Method for Geological Environment at National and Regional Scale. *Environmental Earth Sciences*, 64(2), pp. 513-521.
- RAPANT, S., LETKOVIČOVÁ, M., CVEČKOVÁ, V., ĎURŽA, A., FAJČÍKOVÁ, K., & ZACH, H. (2013). Linking of Environmental and Health Indicators by Neural Networks: Case of Breast Cancer Mortality, Slovak Republic. *Open Journal of Geology*, 2013(3), pp. 101–112.
- RAPANT, S., VRANA, K., ČURLÍK, J. (2004): Environmental Risk from the Contamination of Geological Compartments of the Environment of the Slovak Republic. Bratislava, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra.
- REGINA, O. OBE, LEO, S. HSU, (2011). Postgis in Action. Stamford, Manning, 520 p. [online] [cit. 2015.10.20.]. Dostupné na: <<http://it-ebooks.info/book/1544/>>
- SCHMIDT, T. (2011). Hodnotenie kvality digitálnych výškových modelov. Diplomová práca, Bratislava (Univerzita Komenského), 96 s.
- SCHMIDT, T. (2012). Využitie geografických informačných systémov pri návrhoch urbanistickej štúdie, *Kartografické listy*, 20(1), s. 39–46.
- SCHMIDT, T., KOŽUCH, M., BENOVA, A., CHUDÝ, R., FECISKANIN, R.,

- HARCINÍKOVÁ, T., ... VALIŠ, J. (2015). Operačné možnosti integrovanej geografickej bázy údajov environmentálneho zdravia. *Acta Geographica Universitatis Comenianae*, 59(1), s. 53–66.
- SCHMIDT, T., MIČIETOVÁ, E. (2012). Hodnotenie kvality digitálnych výškových modelov generovaných zo ZM 1:50 000, *Kartografické listy*, 20(2), s. 66–76.
- SMITH, A. H., LINGAS, E. O., & RAHMAN, M. (2000). Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. *Bull World Health Organ*, 78(9), 1093–1103. [online] [cit. 2015.12.10.]. Dostupné na: <<http://doi.org/10.1590/S0042-96862000000900005>>
- SHEKHAR, S., XIONG, H. (2008). Encyclopedia of GIS. New York, USA: *Springer Science + Business Media*. [online] [cit. 2015.02.25.]. Dostupné na: <<http://www-users.cs.umn.edu/~shekhar/highlights/E-GIS-brochure.pdf>>
- STN ISO 19 113:2002, Geografická informácia – Princípy kvality
- SUN, G. (2004). Arsenic contamination and arsenicosis in China. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 198(3), pp. 268–271. [online] [cit. 2015.10.10.]. Dostupné na: <<http://doi.org/10.1016/j.taap.2003.10.017>>
- THAKUR, J. K., THAKUR, R. K., RAMANATHAN, A., KUMAR, M., & SINGH, S. K. (2010). Arsenic Contamination of Groundwater in Nepal—An Overview. *Water*, 3(1), 1–20. [online] [cit. 2015.10.20.]. Dostupné na: <<http://doi.org/10.3390/w3010001>>
- TOOR, I. A., & TAHIR, S. N. A. (2009). Study of Arsenic Concentration Levels in Pakistani Drinking Water. *Polish J. of Environ. Stud. Vol.*, 18(5), pp. 907–912.
- VASILIEV, Y. (2010). Oracle Business Intelligence: The Condensed Guide to Analysis and Reporting. Packt publishing, 184 p. [online] [cit. 2016.02.10.]. Dostupné na: <<http://it-ebooks.info/book/2492/>>
- VRANA, K., BODIŠ, D., LOPAŠOVSKÝ, K., RAPANT, S. (1989): Regionálne-hydrogeochemické zhodnotenie kvality snehovej pokrývky na území Slovenska. Záp. Karpaty, Hydrogeológia a inž. geol. 7, GÚDŠ, Bratislava, s. 87-128.
- WBG (1998). Pollution Prevention Abatement Handbook, (July), pp. 212-214. [online] [cit. 2016.01.10.]. Dostupné na: <<http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/3f41e280488552b9ac6cfe6a6515bb18/HandbookCa dmium.pdf?MOD=AJPERES>>
- WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE (2013): The European health report 2012. Charting the way to well-being. Geneva. [online] [cit. 2015.12.22.]. Dostupné na: <http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/196982/EHR2012-EXECUTIVE-SUMMARY-ENG.pdf>
- WHO (2015): Environmental health. [online] [cit. 2015.12.22.]. Dostupné na: <http://www.who.int/topics/environmental_health/en/>
- WHO (2016): Health and Environment (HEN). [online] [cit. 2016.2.14.]. Dostupné na: <<http://www.searo.who.int/indonesia/topics/ino-hen-2/en/>>
- YANG, C., RASKIN, R., GOODCHILD, M., GAHEGANET, M. (2010). Geospatial cyberinfrastructure: past, present and future. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34, pp. 264-277.

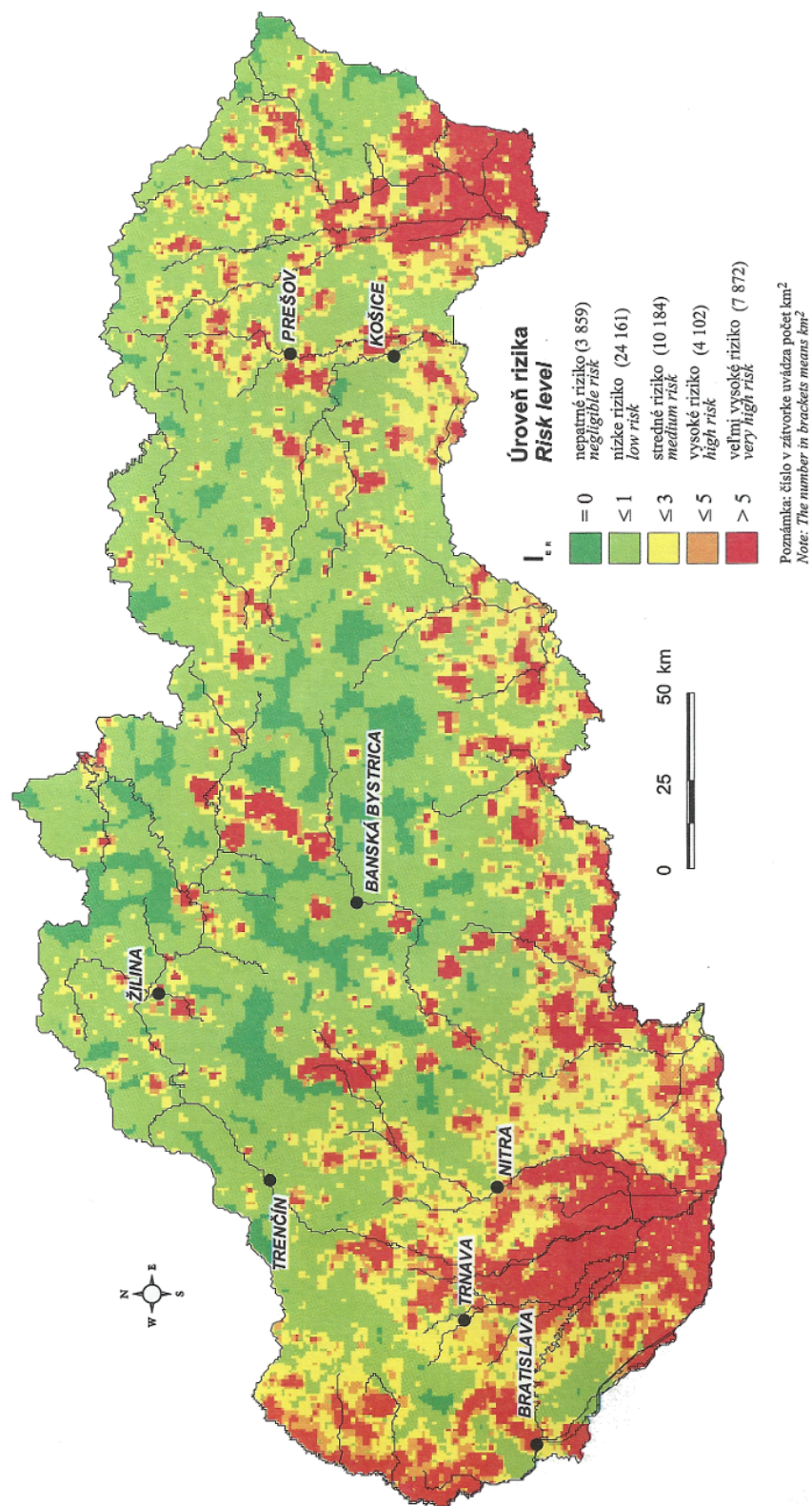
ZOZNAM PRÍLOH

1. Mapa 1. Index environmentálneho rizika (IER) vyplývajúceho z kontaminácie toxických chemických prvkov podzemnej vody Slovenskej republiky
2. Mapa 2. Index environmentálneho rizika (IER) vyplývajúceho z kontaminácie chemických prvkov a zlúčenín podzemnej vody Slovenskej republiky - prevzaté z (Rapant et al., 2004)
3. Mapa 3. Potenciálne zdravotné riziko (PZR) vzhľadom na toxický chemický prvok arzén v podzemnej vode
4. Mapa 4. Potenciálne zdravotné riziko (PZR) vzhľadom na toxický chemický prvok olovo v podzemnej vode
5. Mapa 5. Potenciálne zdravotné riziko (PZR) vzhľadom na toxický chemický prvok ortuť v podzemnej vode
6. Mapa 6. Potenciálne zdravotné riziko (PZR) vzhľadom na toxický chemický prvok kadmium v podzemnej vode

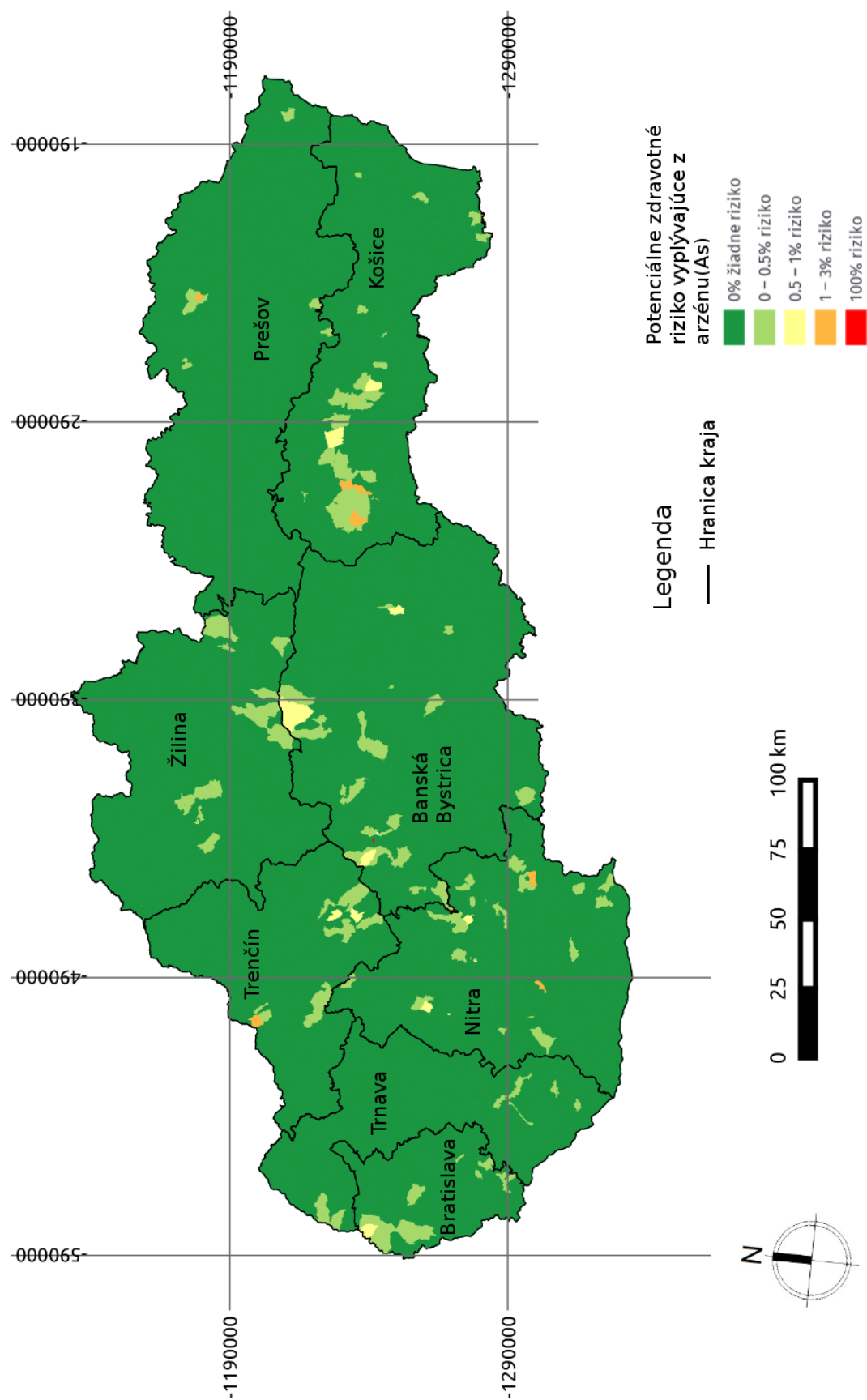


Mapa 1. Index environmentálneho rizika (IER) vyplývajúceho z kontaminácie toxických chemických prvkov podzemnej vody Slovenskej republiky

Autor: Tomáš Schmidt

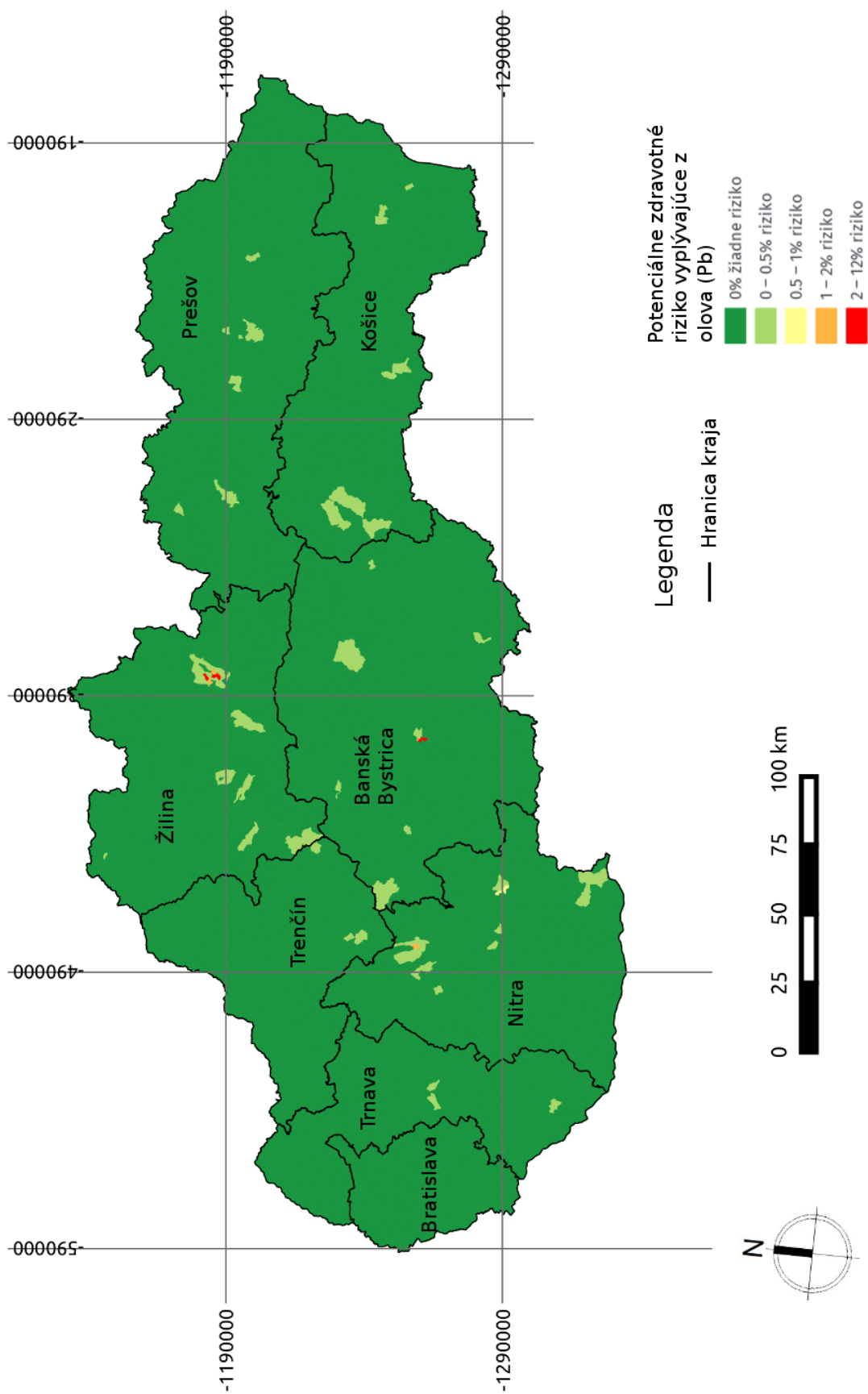


Mapa 2. Index environmentálneho rizika (IER) vyplývajúceho z kontaminácie chemických prvkov a zlúčenín podzemnej vody Slovenskej republiky - prevzaté z (Rapant et al., 2004)



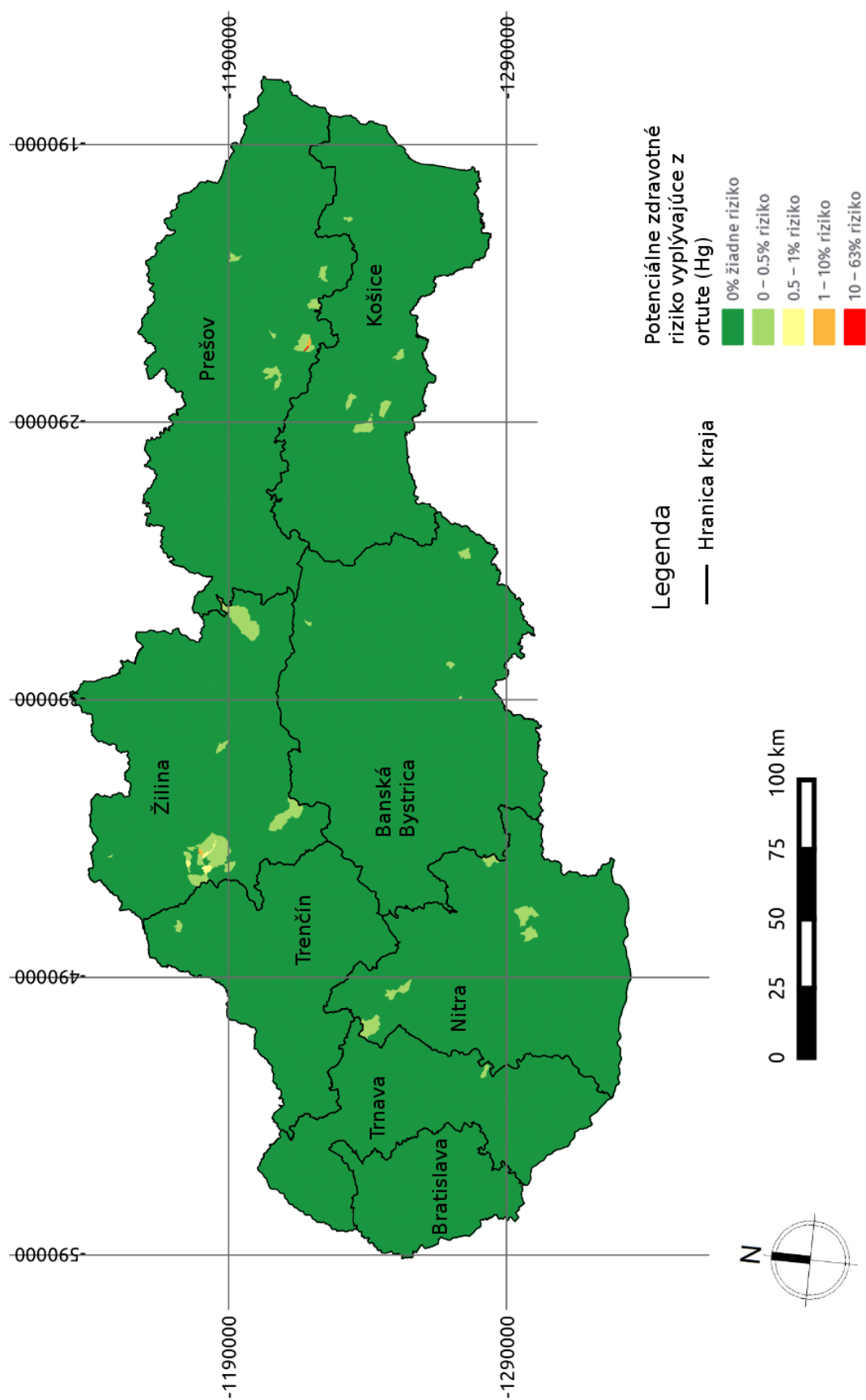
Mapa 3. Potenciálne zdravotné riziko (PZR) vzhľadom na toxický chemický prvok arzén v podzemnej vode

Autor: Tomáš Schmidt



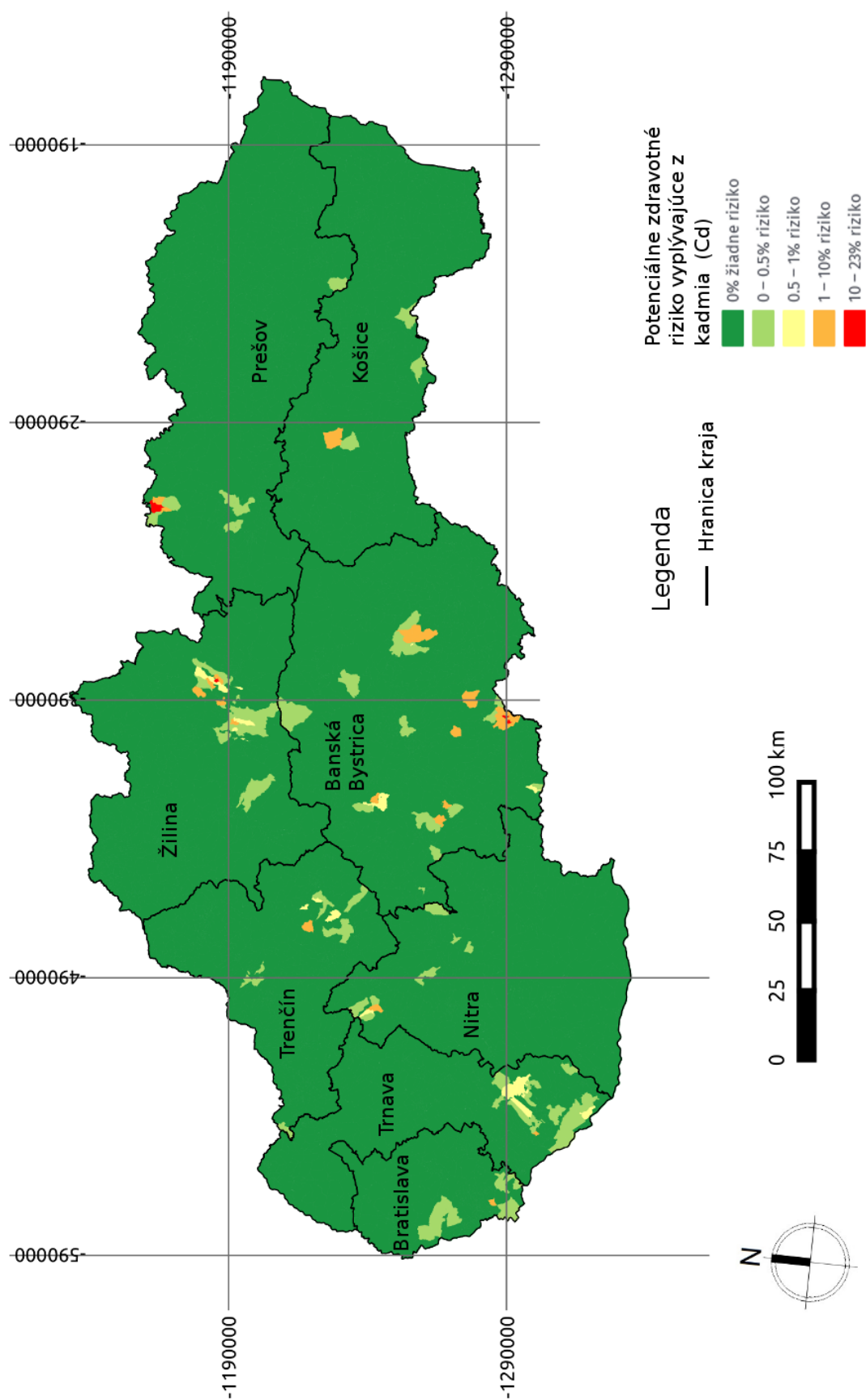
Mapa 4. Potenciálne zdravotné riziko (PZR) vzhľadom na toxický chemický prvok olovo v podzemnej vode

Autor: Tomáš Schmidt



Mapa 5. Potenciálne zdravotné riziko (PZR) vzhľadom na toxický chemický prvok ortuť v podzemnej vode

Autor: Tomáš Schmidt



Mapa 6. Potenciálne zdravotné riziko (PZR) vzhľadom na toxický chemický prvok kadmium v podzemnej vode

Autor: Tomáš Schmidt

