# HYDROGEOCHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA PODZEMNEJ VODY NEOVULKANICKÝCH POHORÍ SLOVENSKA

## HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF GROUNDWATER IN A NEOVOLCANIC ROCK ENVIRONMENT

**Zuzana Horvátová, Zlatica Ženišová, Miriam Fendeková, Oliver Horvát**

**ABSTRACT**

Hydrogeochemical conditions in Neogene volcanic complexes are very specific and variable. Besides the determining mineralogical – petrographic composition of the neovolcanic rocks and their structural properties, a series of factors form the groundwater chemical composition. This consists of groundwater temperature, pressure conditions, concentration and partial pressure of $CO_2$, oxidation-reduction conditions, ground-water flow velocity and circulation depth. In some places, the final chemical composition of ground-water is influenced by anthropogenic factors such as industry, agriculture, tourism, and mining activities. These factors vary in intensity and pollution of the atmosphere and infiltration of precipitation waters has already occurred. Research focused on evaluation of the chemical composition of ground-water from neovolcanic rocks in Slovakia was performed by the Department of Hydrogeology between 2004 and 2006. This evaluation was undertaken by statistical assessment of 1 921 ground-water analyses of the neovolcanic rock environment used for compilation of the Slovak Geochemical atlas. Groundwater in the Eastern neovolcanic provinces of Slovakia (The Slanské vrchy and Vihorlat Mts.) and in the Central and Southern ones (Pohronský Inovec, Vtáčnik, Kremnické vrchy, Štiavnické vrchy, Javorie, Krupinská planina and Cerová vrchovina Mts.) was studied separately, and then compared and classified using Gazda´s classification.

**KEY WORDS**

Groundwater, neovolcanic rocks, silicate weathering, hydrogeochemical characteristic, chemical composition

**KĽÚČOVÉ SLOVÁ**

Podzemná voda, neovulkanické horniny, hydrolytický rozklad silikátov, hydrogeochemická charakteristika, chemické zloženie

## ÚVOD

K významným geologickým celkom v rámci stavby Západných Karpát patria neovulkanické pohoria. Neovulkanické pohoria sú situované na vnútornej strane Západných Karpát v rozsiahlych oblastiach stredného a východného Slovenska. V oblasti stredného Slovenska sú neovulkanickými horninami tvorené pohoria Vtáčnik, Štiavnické vrchy, Kremnické vrchy, Pohronský Inovec, Poľana, Javorie, Krupinská planina, Ostrôžky a Cerová vrchovina. Na východe sú to Slanské vrchy a Vihorlatské vrchy. Pohoria zaberajú plochu zhruba 5 400 km$^2$, čo predstavuje asi 10 % z celkovej plochy územia Slovenska.

Hydrogeologické a hydrogeochemické pomery celku neovulkanitov Slovenska sú v hlavnej miere ovplyvnené geologickou stavbou. Sú hodnotené ako zložité, vzhľadom na veľmi pestrý komplex neovulkanických formácií rôzneho zloženia a veku, na tektonické pozície neovulkanických hornín voči podložiu, nielen v dôsledku tektoniky, ale i v dôsledku vlastnej genézy neovulkanických hornín. Komplikované geologické a hydrogeologické pomery záujmového územia určujú,

**RNDr. Zuzana Horvátová, PhD.**
Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. Arm. Gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava, zuzanahorvatova@gmail.com
**doc. RNDr. Zlatica Ženišová, PhD., prof. RNDr. Miriam Fendeková, CSc.**
Katedra hydrogeológie Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, zenisova@fns.uniba.sk, fendekova@fns.uniba.sk
**Mgr. Oliver Horvát, PhD.**
Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta, Slovenská technická unoverzita v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, oliver.horvat@stuba.sk

že chemické zloženie podzemnej vody je veľmi pestré a špecifické.

Začiatky hydrogeologického výskumu slovenských neovulkanitov spadajú do začiatku 60-tych rokov minulého storočia a sú späté s vyhľadávaním zdrojov podzemnej vody a výpočtom ich množstiev, napr. v práci Škvarku (1971). Hydrogeologické pomery boli zmapované v edícii hydrogeologických máp v mierke 1:200 000 v 70-tych a 80-tych rokoch minulého storočia (Kullman, Gazda, 1978) a sú uvedené na mapových listoch 35 Trnava (Kullman, Ed., 1983), 36 Banská Bystrica (Kullman Ed., 1988), 38 Michalovce (Škvarka Ed., 1985) a 46 Lučenec – 47 Rimavská Seč (Škvarka Ed., 1984). V roku 1972 sa medzi prvými hydrogeologickým prieskumom neovulkanických hornín v rámci základného hydrogeologického prieskumu zaoberali Škvarka a Hrozenčík, v roku 1973 to bola Tkáčová. Hlavatý a Fecek v roku 1972 zhodnotili z hydrogeologického hľadiska Krupinskú planinu. V roku 1979 Fecek a Kertész zhodnotili v rámci vyhľadávacieho hydrogeologického prieskumu územie Poľany (Fecek, Kertész, 1979a; Fecek, Kertész, 1979b), Šuchová spracovala niektoré hydrochemické vlastnosti podzemných vôd pyroklastík Krupinskej planiny (Šuchová et al., 1979). Podrobnú charakteristiku hydrogeologických pomerov východoslovenských neovulkanitov podali Bajo et al. (1983). V roku 1980 prebiehal základný hydrogeologický prieskum Štiavnických vrchov (Dovina et al, 1980). V roku 1981 zhodnotil Dovina neovulkanity Kremnických vrchov v rámci hydrogeologického rajónu 082 (Dovina et al., 1981). V rámci hydrogeologického vyhľadávacieho prieskumu bol v roku 1983 zhodnotený štiavnicko – hodrušský rudný obvod (Lukaj, et al., 1983), v roku 1984 bola zostavená hydrogeochemická mapa Poľany a Javoria v mierke 1: 50 000 (Vrana et al., 1984). Územie Poľany a Javoria bolo z hydrogeochemického hľadiska podrobne zhodnotené Vranom a Bodišom (1985). V tom istom roku boli podrobne zhodnotené hydrogeologické pomery územia medzi Rudnom nad Hronom a Pukancom v juhozápadnej časti Štiavnických vrchov (Dovina, Rapant, 1985). Hydrogeologické pomery Vtáčnika boli hodnotené v rokoch 1983 (Auxt, 1983), 1984 (Roháčová, 1984), 1985 (Dovina et al., 1985; Planderová, Sitár, 1985) a v roku 1992 (Jurenka et al., 1992). Južná časť Kremnických vrchov bola z hydrogeologického a hydrogeochemického hľadiska zhodnotená v rámci účelového hydrogeologického prieskumu v roku 1989 (Gálisová et al., 1989). V práci Zakoviča et al. (1989) boli opísané hydrogeochemické pomery východnej časti Cerovej vrchoviny. Hydrogeochemické pomery Slanských vrchov sú opísané v práci Jetela et al. (1989). Podzemnými vodami neovulkanitov sa zaoberal v roku 1990 i Škvarka (Škvarka, 1990). Okrajové časti Krupinskej planiny boli zhodnotené v roku 1991 v rámci predbežného hydrogeologického prieskumu, ktorý vykonali Fecek et al. (1991). V roku 1997 bolo z hydrogeologického a hydrogeochemického hľadiska zhodnotené územie severnej časti Kremnických vrchov Auxtom et al. (1997). Makišová et al. (2006a, b, c, d), Makišová (2006, 2007), Fendeková et al. (2005, 2007) a Horvátová (2010) podali podrobnú charakteristiku chemického zloženia podzemných vôd slovenských neovulkanitov vrátane charakteristiky izotopového zloženia, štatistickej analýzy a hydrogeochemického modelovania chemického zloženia podzemnej vody vybraných prameňov. Hydrogeologické pomery severných svahov Štiavnických vrchov boli opísané v práci Remšíka et al. (2008). Hydrogeochemické pomery Vihorlatu boli podrobne popísané v práci Olekšáka et al. (2006). Súčasťou tejto práce je i podrobná hydrogeochemická mapa. V súčasnom období (2007 – 2011) je na ŠGÚDŠ realizovaná geologická úloha zameraná na zostavenie základných hydrogeologických a hydrogeochemických máp v mierke 1:50 000 pre Pohronský Inovec a východnú časť Cerovej vrchoviny (Kordík, Slaninka, 2009). Hydrogeochemickému zloženiu podzemnej vody vulkanických oblastí vo svete sa venovali i Chiodini et al. (1991), Dall'Aglio et al. (1994), Giammanco et al. (1998), Deocampo (2004), Cruz, Franca (2006), Armienta et al. (2008), Irawan et al. (2009), Charlier et al. (2011) a iní.

## HYDROGEOLOGICKÁ A HYDROGEOCHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA NEOVULANITOV SLOVENSKA

Hydrogeologické pomery celku neovulkanitov sú v hlavnej miere ovplyvnené geologicko-tektonickými pomermi, genézou hornín, litologickým zložením a sekundárnymi premenami. Hydrogeologické pomery tohto celku sa hodnotia ako zložité, vzhľadom na veľmi pestrý komplex neovulkanických formácií rôzneho zloženia a veku a na tektonickú pozíciu neovulkanických hornín voči mezozoickému príp. inému podložiu. Prostredie neovulkanitov sa dá vo všeobecnosti chápať ako celok s kombinovanou puklinovo-medzizrnovou priepustnosťou. Priepustnosť neovulkanických hornín sa dá z genetického hľadiska rozdeliť na primárnu a sekundárnu. Epiklastické a pyroklastické horniny sa vyznačujú primárnou medzizrnovou priepustnosťou, závislou od charakteru základnej hmoty, tmelu a stupňa konsolidácie. Pri viac konsolidovaných horninách sa ako sekundárna prejavuje i puklinová priepustnosť. Primárna puklinová priepustnosť je charakteristická pre efuzívne a extruzívne horniny. Sekundárna puklinovosť je viazaná na tektonicky porušené oblasti. Najvýznamnejším zdrojom podzemnej vody v neovulkanických horninách sú zrážky, výstup podzemných vôd na povrch ovplyvňuje popri geologicko-tektonických pomeroch aj morfológia terénu. Zvodnenie tohto celku je podmienené zvýšenou puklinovitosťou skalného masívu,

zvýšenou pórovitosťou vulkanických sedimentov alebo zvodnením poruchových zón. Najpriaznivejšie sú hydrogeologické štruktúry, v ktorých sa križujú zlomové línie. Významným činiteľom, ktorý ovplyvňuje režim podzemných vôd, sú banské diela, prevažne vodorovné štôlne, ktoré majú drenážny účinok.

Základnými mineralizačnými procesmi vôd neovulkanitov sú hydrolytický rozklad silikátov a oxidácia sulfidov. Menej sú to iónová výmena, sorpčné procesy a rozpúšťanie karbonátov. Katiónové zloženie vody závisí od druhu silikátu a jeho odolnosti voči rozkladu. Prevládajú $Ca^{2+}$ ióny (Ca a Ca-Na plagioklasy, Ca-amfiboly, Ca-pyroxény), $Na^{+}$ (albit, Na-Ca plagioklasy). Ión $Mg^{2+}$ (amfiboly, pyroxény) má tendenciu viazať sa na sekundárne ílové minerály. Ión $Na^{+}$ má prevahu nad $K^{+}$, aj kvôli tendencii draslíka viazať sa na nevýmenné pozície na ílových mineráloch. Aniónové zloženie závisí od donora $H^{+}$, teda od druhu príslušnej kyseliny. Výsledkom je obohatenie podzemnej vody o $HCO_3^{-}$, $SO_4^{2-}$ a $NO^{-}_3$ zložku. Vysoké obsahy kyseliny kremičitej indikujú intenzívny rozklad silikátových minerálov. Celkové množstvo uvoľnenej $H_4SiO_4$ a typ produktu hydrolytického rozkladu závisí od hydrogeologických podmienok, druhu silikátu a stupňa rozkladu. Kyslé banské vody sa formujú dôsledkom banskej činnosti. Oxidácia pyritu a iných sulfidických minerálov má veľký environmentálny význam a hrá kľúčovú rolu pri formovaní kyslých banských vôd, resp. kyslých pôd. Je zdrojom železa a síranov v podzemnej vode a ťažkých minerálov v prostredí (Gazda, 1974; Hyánková, Melioris, 1992).

## METODIKA

Okrem archívnych chemických analýz bolo zhodnotených 1921 chemických analýz Geochemického atlasu SR – časť Podzemné vody (Rapant et al., 1996). Dáta boli importované do GIS programu ArcView 3.1. a ArcGis 9.3., kde boli graficky spracované. Vyselektované boli všetky odberné miesta, ktoré sa nachádzali v horninovom prostredí neovulkanitov. Podklad na selekciu tvorila digitálna geologická mapa Slovenska (zdroj: Atlas krajiny, 2002). Boli zhotovené mapové podklady pre hlavné komponenty chemického zloženia podzemnej vody. Dáta boli následne spracované v programe Microsoft Office Excel a boli vypočítané základné štatistické charakteristiky pre odobrané vzorky z neovulkanitov celého Slovenska. Osobitne boli hodnotené stredoslovenské a juhoslovenské neovulkanity, ako aj východoslovenské neovulkanity.

V programe ArcGis 9.3. bola jednotlivým odberným miestam priradená nadmorská výška z DEM (digitálny model terénu) s presnosťou 20 m (zdroj: Atlas krajiny, 2002), ktorá bola použitá na výpočet pomeru nadmorskej výšky a celkovej mineralizácie podzemnej vody. Údaje boli následne spracované v programe Microsoft Office Excel. Boli zhodnotené charakteristiky chemického zloženia ako napríklad celková mineralizácia podzemnej vody, pH a taktiež závislosť celkovej mineralizácie od nadmorskej výšky, vzťahy koncentrácií hlavných katiónov a aniónov voči celkovej mineralizácii v podzemných vodách východoslovenských a stredoslovenských neovulkanitov, ako aj pomer koncentrácie $HCO_3^{-}$ ku $Na^{+}$ a $Ca^{2+}$. Na hodnotenie chemického zloženia podzemnej vody jednotlivých pohorí tvorených neovulkanickými horninami bolo použitých 1152 analýz, ktoré boli zrealizované pri zostavovaní Geochemického atlasu SR časť podzemné vody (Rapant et al., 1996). V programe ArcGis 9.3. bola vykonaná ich selekcia pre jednotlivé pohoria tvorené neovulkanickými horninami. Ako podklad slúžila geomorfologická digitálna mapa SR (zdroj: Atlas krajiny, 2002). Pre jednotlivé chemické analýzy bola vykonaná klasifikácia chemického zloženia pomocou Gazdovej klasifikácie (Gazda, 1971).

## VÝSLEDKY

### Základná charakteristika chemického zloženia podzemnej vody neovulkanitov

V rámci Geochemického atlasu SR (Rapant et al., 1996) bolo odobratých z horninového prostredia neovulkanitov 1921 vzoriek podzemnej vody z vrtov, prameňov, štôlní, drenáží a studní.

V podzemných vodách vulkanických neogénnych formácií sa hodnoty celkovej mineralizácie pohybovali v širokom rozmedzí 50 – 2730 $mg \cdot l^{-1}$ (obr. 1). Najvyššie hodnoty sú viazané na zrudnené oblasti a na antropogénne ovplyvnené podzemné vody.

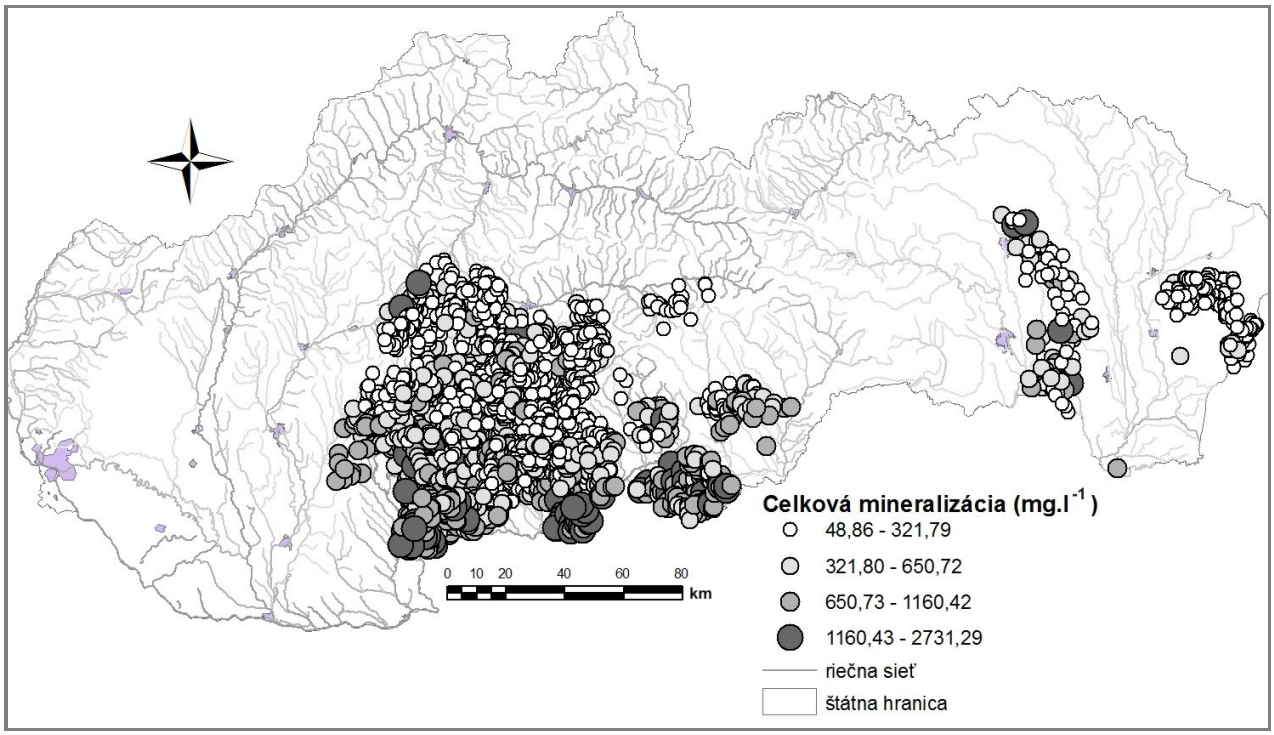
Veľmi nízke hodnoty celkovej mineralizácie sú typické pre plytký podpovrchový obeh v efuzívnych horninách. Vody nie sú v rovnováhe s prostredím, majú nižšie pH, hlavným faktorom tvorby chemického zloženia sú členitosť reliéfu a vplyv na chemické zložene má hlavne pomalé topenie snehu – ako hlavný zdroj doplňania zásob podzemnej vody.

V podzemných vodách vulkanických neogénnych formácií sa hodnoty pH pohybovali medzi 2,39 and 9,8 (obr. 2).

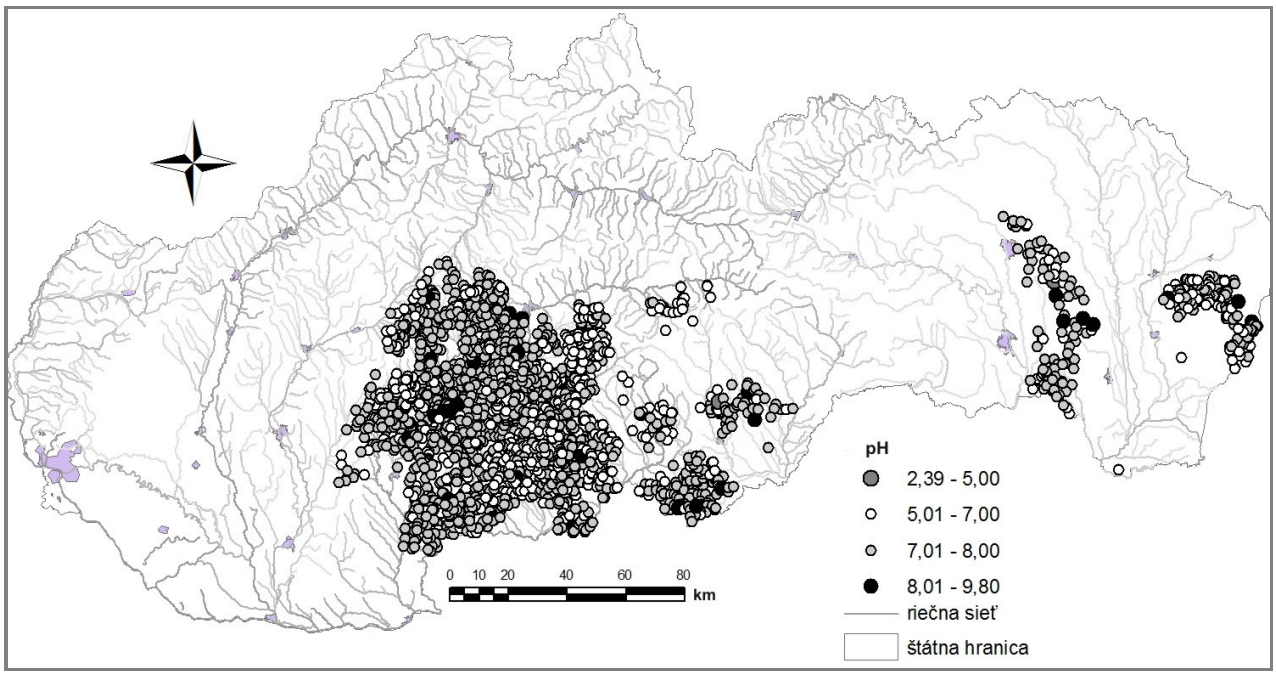
Najnižšie hodnoty pH sú typické pre kyslé banské vody vznikajúce dôsledkom intenzívnych oxidačno-redukčných procesov na ložiskách sulfidov v Štiavnických vrchoch, Kremnických vrchoch a Slanských vrchoch. Pri porovnaní priemernej hodnoty pH vo východoslovenských neovulkanitoch s hodnotami zistenými pre stredoslovenské a juhoslovenské neovulkanity sú hodnoty pH o málo nižšie, avšak vždy sa pohybujú v alkalickej oblasti.

S poklesom nadmorskej výšky exponenciálne narastá celková mineralizácia (obr. 3). Najnižšie hodnoty celkovej mineralizácie boli zistené vo Vihorlatských vrchoch a tiež vo vodách z vrcholových častí

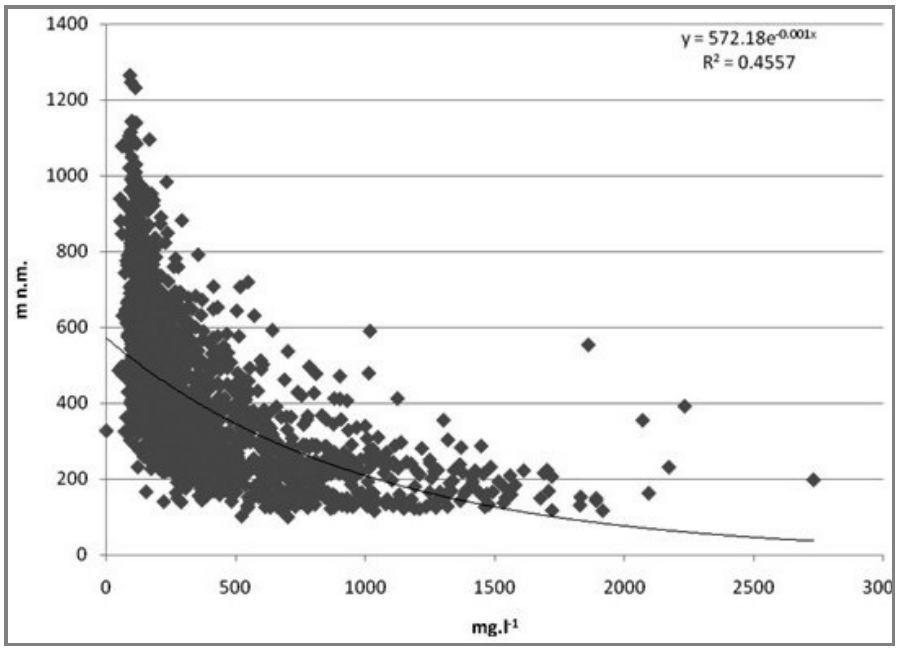
pohorí. Nižšie hodnoty celkovej mineralizácie indikuje aj hodnota mediánu, ktorá je u východoslovenských neovulkanitov nižšia ako u stredoslovenských a juhoslovenských.




**Obr. 1: Hodnoty celkovej mineralizácie (mg·l$^{-1}$) podzemnej vody neovulkanických komplexov Slovenska (1921 vzoriek)**
**Fig.1: TDS (mg·L$^{-1}$) of groundwater from Neogene volcanic complexes in Slovakia in the range of 49 to 2731 mg·L$^{-1}$ in 1921 samples**



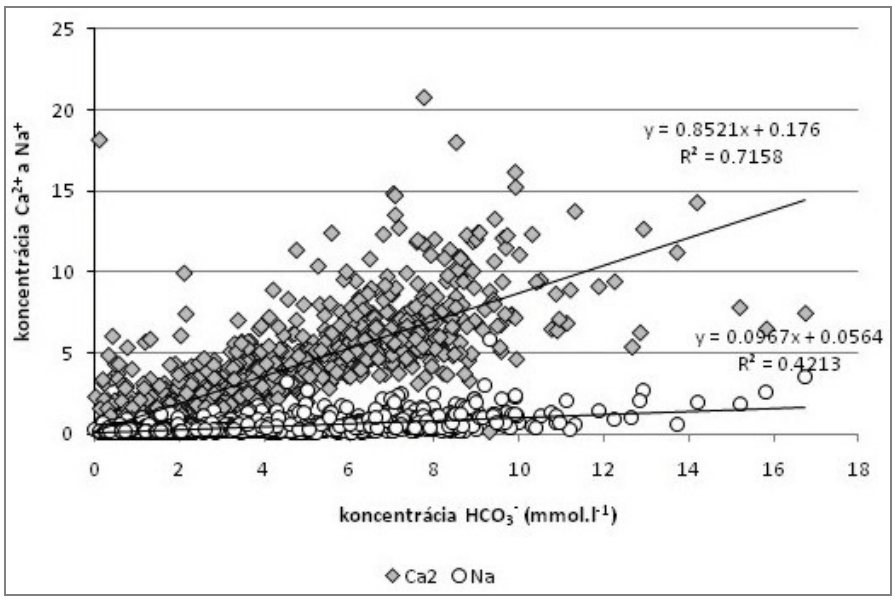

**Obr. 2: Hodnota pH podzemnej vody neovulkanických komplexov Slovenska (1921 vzoriek)**
**Fig. 2: pH of groundwater in Neogene volcanic complexes in Slovakia in 1921 samples**



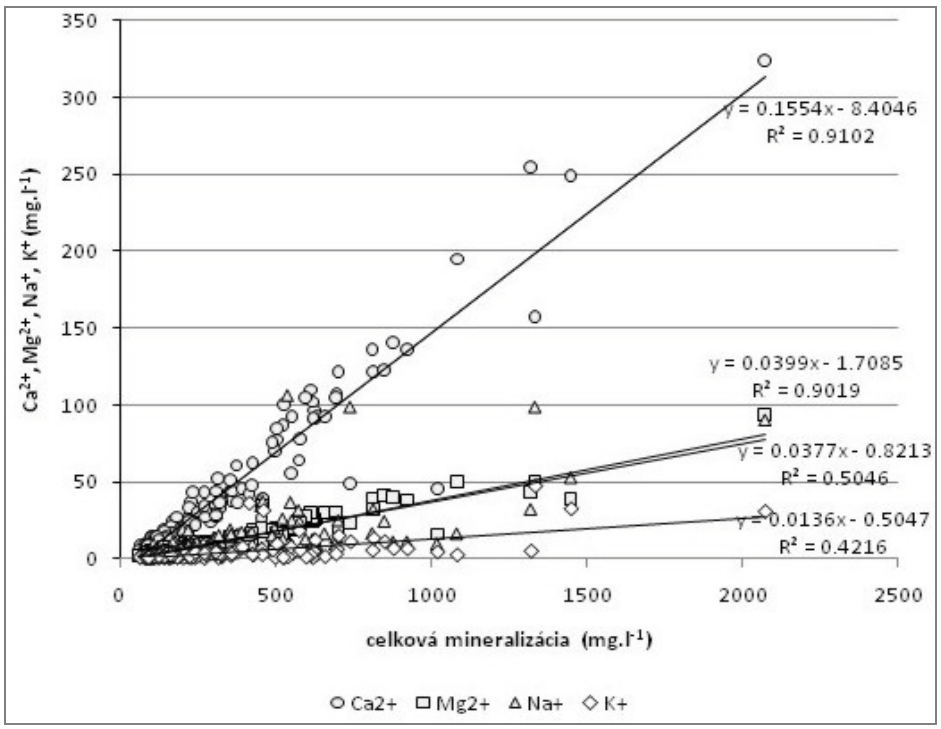

**Obr. 3: Závislosť celkovej mineralizácie (mg·l$^{-1}$) a nadmorskej výšky (m n.m.)**
**Fig. 3: Dependence of TDS (mg·L$^{-1}$) and altitude (m a. s. l.)**

V podzemných vodách dominujú katióny $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ a lokálne sa vyskytujú vody so zvýšeným obsahom $Na^{+}$. Možno sledovať výraznejší stúpajúci lineárny trend pri pomere koncentrácií $Ca^{2+}$ a $HCO_3^-$, pri $Na^{+}$ nie je tento trend tak výrazný (obr. 4). Priemerné koncentrácie $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $Na^{+}$ a $K^{+}$ sú na základe hodnoty mediánu vyššie v stredoslovenských a juhoslovenských neovulkanitoch ako vo východoslovenských neovulkanitoch. Koncentrácie $Ca^{2+}$ sa pohybovali v rozsahu 2,4 – 416,4 mg·l$^{-1}$, $Mg^{2+}$ v rozsahu 0,5 – 244 mg·l$^{-1}$, $Na^{+}$ v rozsahu 0,80 – 233 mg·l$^{-1}$, $K^{+}$ v rozsahu 0,05 – 380 mg·l$^{-1}$. Výraznejší lineárny trend v náraste celkovej mineralizácie sa prejavil pri náraste $Mg^{2+}$, $Na^{+}$ a $HCO_3^-$ vo východoslovenských neovulkanitoch (obr. 5) a pri náraste $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ a $HCO_3^-$ v stredo- a juhoslovenských neovulkanitoch (obr. 6). Z aniónov sa na chemickom zložení v hlavnej miere podieľa $HCO_3^-$, menej $SO_4^{2-}$, $Cl^-$ a $NO_3^-$.

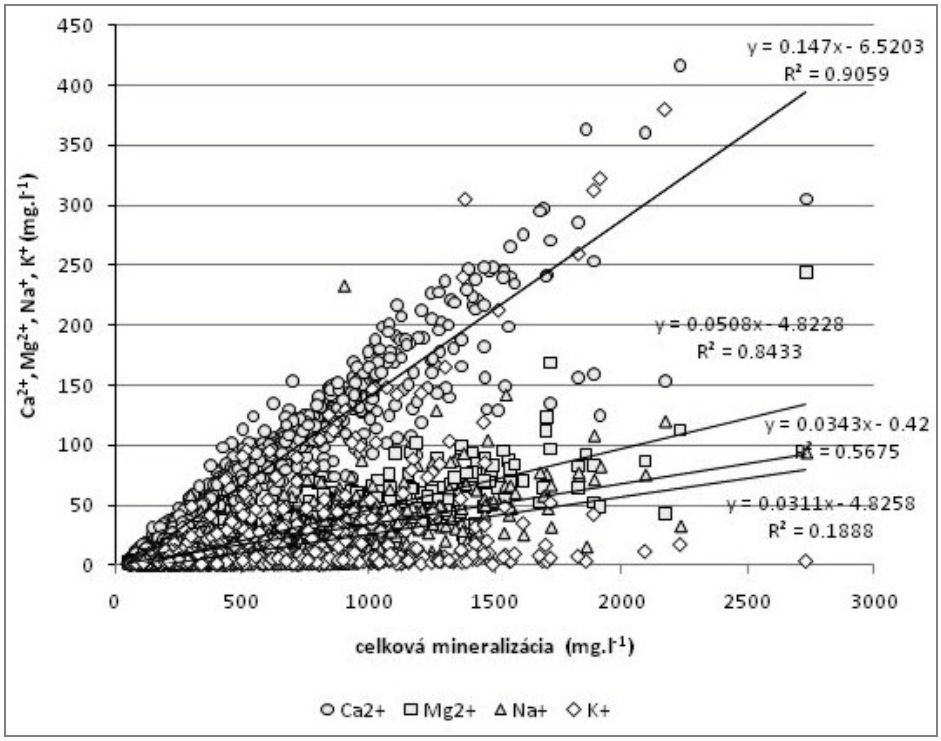
Priemerné koncentrácie $HCO_3^-$, $SO_4^{2-}$ a $Cl^-$ sú na základe hodnoty mediánu vyššie v stredoslovenských a juhoslovenských neovulkanitoch ako vo východoslovenských neovulkanitoch. Opakom je koncentrácia $NO_3^-$ a $HPO_4^{2-}$, ktorej hodnoty mediánu sú vyššie



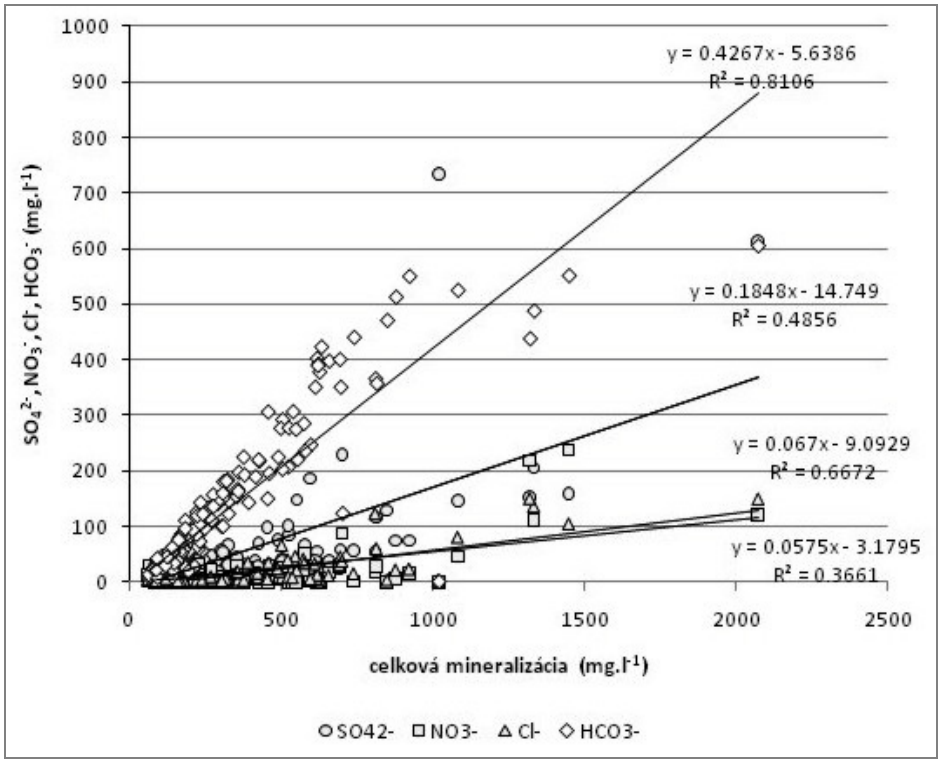

**Obr. 4: Pomer koncentrácie $HCO_3^-$ oproti $Na^{+}$ a $Ca^{2+}$ (mmol·l$^{-1}$)**
**Fig. 4: Concentration ratio of $HCO_3^-$ against $Na^{+}$ and $Ca^{2+}$ (mmol·L$^{-1}$)**



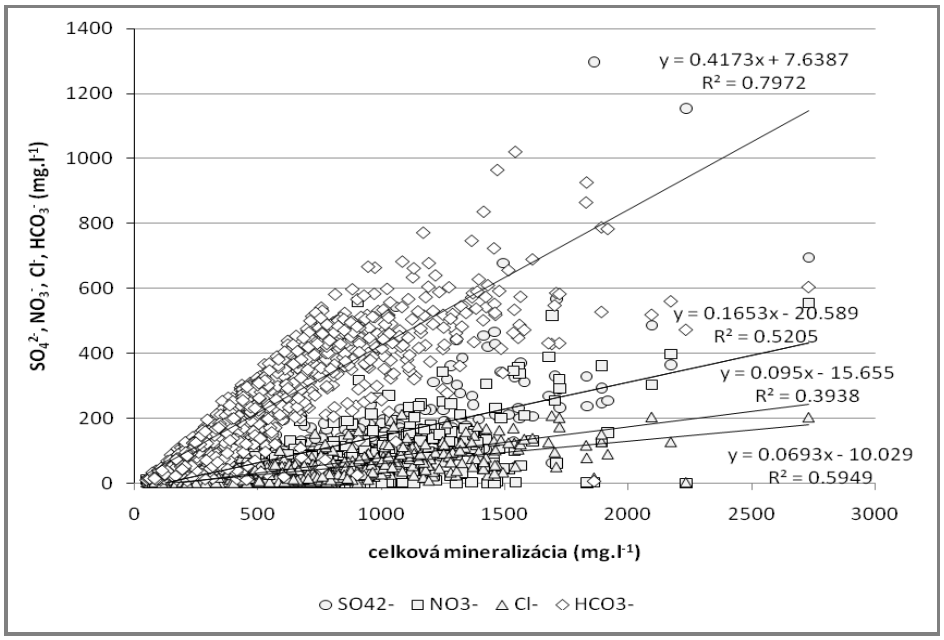

**Obr. 5: Koncentrácia hlavných katiónov voči celkovej mineralizácii v podzemných vodách východoslovenských neovulkanitov**
**Fig. 5: Concentration of the main cations (mg·L$^{-1}$) to TDS (mg·L$^{-1}$) in the groundwater of Neogene volcanic complexes in Eastern Slovakia**




**Obr. 6: Koncentrácia hlavných katiónov voči celkovej mineralizácii v podzemných vodách stredo- a juhoslovenských neovulkanitov**
**Fig. 6: Concentration of the main cations (mg·L$^{-1}$) to TDS (mg·L$^{-1}$) in the groundwater of Neogene volcanic complexes in Central and Southern Slovakia**



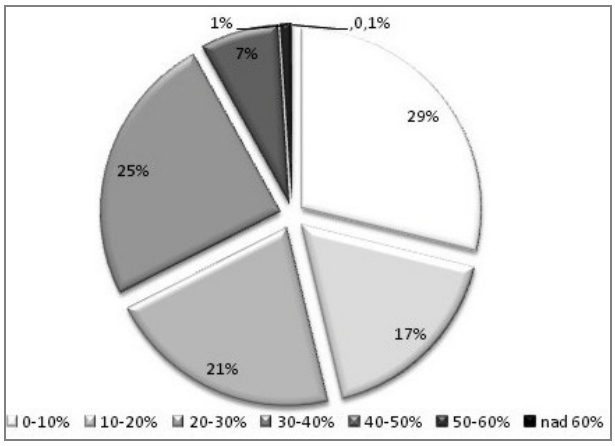

**Obr. 7: Koncentrácia hlavných katiónov voči celkovej mineralizácii v podzemných vodách východoslovenských neovulkanitov**
**Fig. 7: Concentration of the main cations (mg·L$^{-1}$) to TDS (mg·L$^{-1}$) in the groundwater of Neogene volcanic complexes in Eastern Slovakia**




**Obr. 8: Koncentrácia hlavných aniónov voči celkovej mineralizácii v podzemných vodách stredo- a juhoslovenských neovulkanitov**
**Fig. 8: Concentration of the main anions (mg·L$^{-1}$) to TDS (mg·L$^{-1}$) in the groundwater of Neogene volcanic complexes in Central and Southern Slovakia**

vo východoslovenských neovulkanitoch. Koncentrácie $HCO_3^-$ sa pohybovali vo vodách neovulkanitov v rozsahu 0,01 – 1022 mg·l$^{-1}$, $SO_4^{2-}$ od 0,41 do 1298 mg·l$^{-1}$, $Cl^-$ od 0,71 do 223 mg·l$^{-1}$, $NO_3^-$ v rozsahu 0,25 – 559 mg·l$^{-1}$. Koncentrácie $HPO_4^{2-}$ sa pohybovali v rozsahu 0,05 – 13,25 mg·l$^{-1}$. Výraznejší lineárny trend v náraste celkovej mineralizácie sa prejavil pri náraste $HCO_3^-$ a $Cl^-$ vo východoslovenských neovulkanitoch (obr. 7) a pri náraste $HCO_3^-$ v stredoslovenských a juhoslovenských neovulkanitoch (obr. 8).

Typický pre vody neovulkanitov je pomerne vysoký obsah $SiO_2$ (v rozsahu od 1,19 do 104,36 mg·l$^{-1}$, v priemere okolo 40 mg·l$^{-1}$). Na základe hodnoty mediánu je vyššia koncentrácia $SiO_2$ v podzemnej vode v stredoslovenských a juhoslovenských neovulkanitoch oproti východoslovenským neovulkanitom. Významným ukazovateľom je i pomer koncentrácie $H_4SiO_4$ k celkovej mineralizácii (obr. 9), ktorý sa pohyboval v rozsahu 0,01 – 0,66.




**Obr. 9: Podiel $H_4SiO_4$ na celkovej mineralizácii podzemnej vody neovulkanitov Slovenska (1921 vzoriek)**
**Fig. 9: Percentage of $H_4SiO_4$ on TDS (mg·L$^{-1}$) of groundwater in Neogene volcanic complexes in Slovakia in 1 921 samples**

Pre 29 % zo všetkých vzoriek podzemnej vody predstavovala $H_4SiO_4$ do 10 % z celkovej mineralizácie, pre 17 % do 20 % z celkovej mineralizácie, pre 21 % všetkých vzoriek do 30 % z celkovej mineralizácie, pre 25 % do 40 % z celkovej mineralizácie, pre 7 % do 50 % z celkovej mineralizácie, pre 1 % do 60 % a pre 0,1 % nad 60 %.

Hodnoty $ChSK_{Mn}$ sa pohybujú od 2 do 5 mg·l$^{-1}$. Obsah agresívneho $CO_2$ sa pohyboval v rozsahu 0 – 96,6 mg·l$^{-1}$, v priemere okolo 14 mg·l$^{-1}$. Na základe hodnoty mediánu bola jeho koncentrácia vyššia v pozemnej vode východoslovenských neovulkanitov. Zo stopových prvkov hlavne v oblasti so zrudnením boli zaujímavé koncentrácie $Al^{3+}$, i anomálie iných stopových prvkov ako As, Sb, Cu, Cd, Zn, $Fe^{2+}$, $Mn^{2+}$, na južnom Slovensku i $Li^+$.

**Charakteristika chemického zloženia podzemnej vody neovulkanických pohorí Slovenska**

Charakteristika chemického zloženia podzemnej vody pohorí tvorených neovulkanickými horninami bola spracovaná na základe analýz, ktoré boli zrealizované pri zostavovaní Geochemického atlasu SR časť podzemné vody (Rapant et al., 1996). Na hodnotenie bolo použitých 1152 analýz, ktoré boli vyselektované pomocou programu ArcGIS 9.3. pre jednotlivé neovulkanické pohoria a horninové prostredie tvorené neovulkanickými horninami. Prehodnotené boli základné charakteristiky chemického zloženia podzemnej vody z vrtov, prameňov, studní a štôlní (tab. 1, 2, 3).

Priemerná hodnota celkovej mineralizácie podzemnej vody neovulkanických pohorí Slovenska (obr. 10) sa pohybovala v rozsahu od 125 mg·l$^{-1}$ vo Vihorlate po 668 mg·l$^{-1}$ v Cerovej vrchovine. Priemerná hodnota pH (obr. 11) dosiahla hodnoty 6,8 v Poľane až 7,4 v Kremnických a Štiavnických vrchoch. Z iónov sú v podzemnej vode zastúpené hlavne $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $Na^+$, $K^+$, $HCO_3^-$, na lokalitách so zrudnením narastá koncentrácia $SO_4^{2-}$ a v oblastiach s antropogénnym ovplyvnením narastajú koncentrácie $NO_3^-$ a $Cl^-$.

Priemerná hodnota koncentrácie $Na^+$ (obr. 12) v podzemných vodách dosiahla od 3,9 mg·l$^{-1}$ vo Vihorlate po 16,5 mg·l$^{-1}$ v Cerovej vrchovine. Priemerná hodnota koncentrácie $K^+$ (obr. 12) v podzemných vodách bola stanovená v rozsahu od 1,4 mg·l$^{-1}$ vo Vihorlate po 12,8 mg·l$^{-1}$ v Pliešovskej kotline. Priemerná hodnota koncentrácie $Ca^{2+}$ (obr. 12) sa pohybovala v rozsahu 12,3 mg·l$^{-1}$ vo Vihorlate po 95,6 mg·l$^{-1}$ v Cerovej vrchovine. Priemerná hodnota koncentrácie $Mg^{2+}$ (obr. 12) v podzemných vodách bola analyzovaná v rozsahu od 3,46 mg·l$^{-1}$ vo Vihorlate po 37,7 mg·l$^{-1}$ v Cerovej vrchovine. Priemerná koncentrácia $SO_4^{2-}$ v podzemných vodách (obr. 13) predstavovala hodnoty v rozsahu 11,3 mg·l$^{-1}$ vo Vihorlate po 63,1 mg·l$^{-1}$ v Cerovej vrchovine. Priemerná hodnota koncentrácie $NO_3^-$ v podzemných vodách (obr. 13) sa pohybovala v rozsahu 3,6 mg.l$^{-1}$ v Poľane po 47,4 mg·l$^{-1}$ v Cerovej vrchovine. Priemerná hodnota koncentrácie $HCO_3^-$ v podzemných vodách sa menila v rozsahu od 42,0 mg·l$^{-1}$ vo Vihorlate po 327 mg·l$^{-1}$ v Cerovej vrchovine (obr. 13).

Vzhľadom na špecifické procesy formujúce chemické zloženie podzemnej vody celku neovulkanitov sa na mineralizácii podieľa vo vyššej koncentrácii i Si, hlavne vo forme $H_4SiO_4$ a z ďalších zložiek napríklad hliník. Pre podzemné vody je taktiež typická prítomnosť agresívnej formy $CO_2$. Priemerné koncentrácie $SiO_2$ (obr. 14) sa pohybovali v rozsahu od 30,7 mg·l$^{-1}$ v Cerovej vrchovine po 46,6 mg·l$^{-1}$ v Krupinskej planine.

**Tab. 1: Priemerné hodnoty vybraných parametrov chemického zloženia podzemnej vody neovulkanických pohorí Slovenska**
**Tab. 1: Average values of selected parameters of chemical composition of ground-water in Slovakian mountains composed of neo-volcanic rocks**

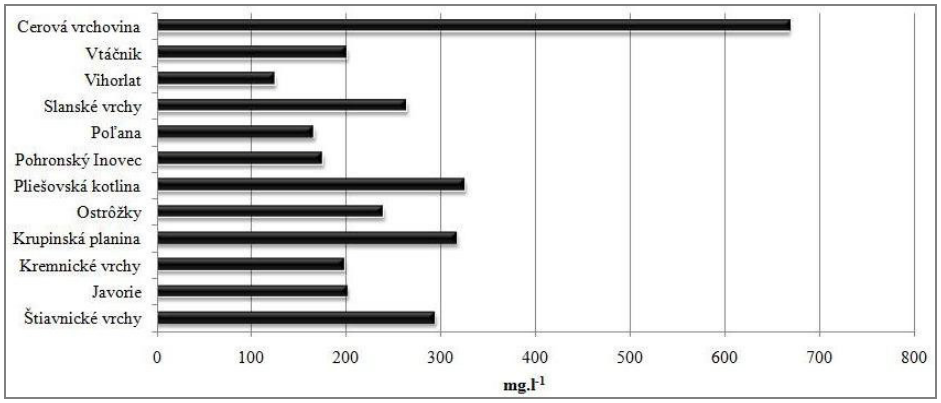
| Priemer ($mg \cdot l^{-1}$ okrem pH) | n | pH | $Na^+$ | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ | $NO_3^-$ | $HCO_3^-$ | $SiO_2$ | agr.$CO_2$ | M |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Štiavnické vrchy** | 263 | 7,4 | 10,9 | 4,0 | 38,0 | 9,4 | 7,1 | 43,1 | 8,5 | 123,5 | 38,7 | 13,2 | 294,2 |
| **Javorie** | 78 | 7,3 | 7,7 | 2,1 | 21,9 | 5,6 | 5,4 | 19,3 | 4,9 | 82,5 | 41,0 | 21,3 | 201,4 |
| **Kremnické vrchy** | 143 | 7,4 | 5,2 | 3,2 | 21,0 | 6,0 | 3,3 | 24,4 | 4,7 | 73,1 | 45,4 | 13,9 | 198,6 |
| **Krupinská planina** | 246 | 7,1 | 10,9 | 8,0 | 37,8 | 10,2 | 16,3 | 29,3 | 19,6 | 124,8 | 46,6 | 15,7 | 317,0 |
| **Ostrôžky** | 49 | 7,1 | 7,9 | 5,5 | 25,4 | 6,8 | 7,0 | 20,4 | 8,8 | 98,3 | 46,5 | 21,3 | 239,5 |
| **Pliešovská kotlina** | 34 | 7,3 | 12,4 | 12,8 | 36,9 | 10,6 | 18,1 | 27,2 | 20,4 | 134,7 | 41,2 | 19,2 | 325,9 |
| **Pohronský Inovec** | 37 | 7,1 | 6,1 | 2,0 | 18,8 | 4,0 | 3,0 | 15,5 | 4,5 | 66,6 | 43,9 | 22,1 | 175,8 |
| **Poľana** | 52 | 6,8 | 4,7 | 3,5 | 16,4 | 5,1 | 2,7 | 17,4 | 3,6 | 64,4 | 38,1 | 25,4 | 166,3 |
| **Slanské vrchy** | 54 | 7,1 | 11,3 | 2,8 | 27,8 | 8,3 | 4,2 | 47,7 | 8,2 | 97,5 | 43,3 | 16,4 | 264,1 |
| **Vihorlat** | 91 | 7,0 | 3,9 | 1,4 | 12,3 | 3,5 | 1,9 | 11,3 | 8,4 | 42,0 | 31,8 | 27,3 | 124,9 |
| **Vtáčnik** | 99 | 7,3 | 6,9 | 2,2 | 23,4 | 5,5 | 3,4 | 24,2 | 5,6 | 80,2 | 38,8 | 16,5 | 200,9 |
| **Cerová vrchovina** | 6 | 7,2 | 16,5 | 4,4 | 95,6 | 37,7 | 37,7 | 63,1 | 47,4 | 326,7 | 30,7 | 0,4 | 668,2 |

**Tab. 2: Minimálne hodnoty vybraných parametrov chemického zloženia podzemnej vody neovulkanických pohorí Slovenska**
**Tab. 2: Minimum values of selected parameters of chemical composition of groundwater in Slovakian mountains composed of neo-volcanic rocks**

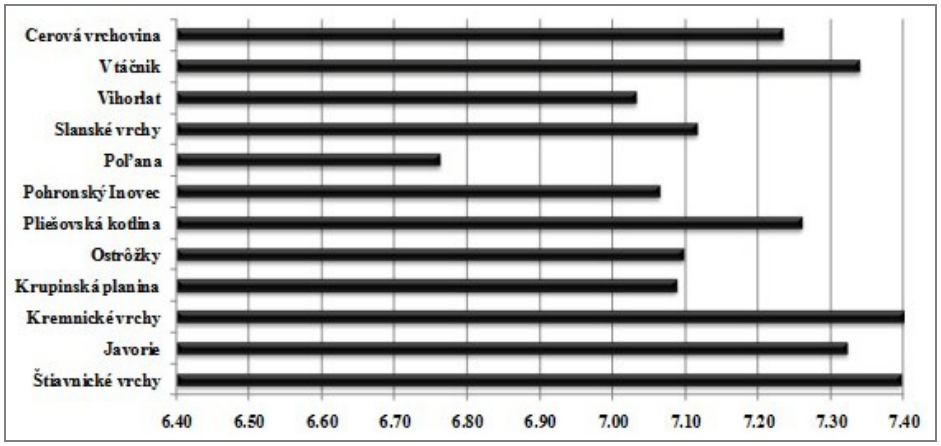
| Minimum ($mg \cdot l^{-1}$ okrem pH) | n | pH | $Na^+$ | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ | $NO_3^-$ | $HCO_3^-$ | $SiO_2$ | agr.$CO_2$ | M |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Štiavnické vrchy** | 263 | 5,3 | 0,8 | 0,1 | 2,4 | 1,5 | 1,1 | 0,5 | 0,3 | 5,5 | 1,2 | 0 | 76,7 |
| **Javorie** | 78 | 6,1 | 2,4 | 0,1 | 7,2 | 0,5 | 0,9 | 1,2 | 0,3 | 20,8 | 18,9 | 0 | 81,7 |
| **Kremnické vrchy** | 143 | 6,1 | 0,8 | 0,1 | 4,4 | 1,2 | 0,7 | 0,9 | 0,3 | 8,5 | 8,9 | 0 | 65,4 |
| **Krupinská planina** | 246 | 5,4 | 1,1 | 0,4 | 8,8 | 1,2 | 0,7 | 1,0 | 0,3 | 6,7 | 3,8 | 0 | 88,2 |
| **Ostrôžky** | 49 | 6,5 | 3,6 | 0,5 | 7,6 | 2,9 | 0,7 | 0,7 | 0,3 | 26,9 | 7,8 | 0 | 102,7 |
| **Pliešovská kotlina** | 34 | 6,8 | 3,4 | 0,6 | 5,6 | 1,7 | 1,1 | 1,7 | 0,3 | 24,4 | 17,1 | 0 | 85,0 |
| **Pohronský Inovec** | 37 | 6,2 | 3,7 | 0,3 | 8,8 | 1,1 | 0,9 | 2,1 | 0,3 | 22,6 | 19,4 | 0 | 98,9 |
| **Poľana** | 52 | 5,1 | 0,9 | 0,1 | 4,8 | 1,5 | 0,7 | 1,4 | 0,3 | 14,0 | 10,7 | 0 | 54,5 |
| **Slanské vrchy** | 54 | 2,4 | 3,4 | 0,2 | 8,4 | 2,3 | 0,9 | 3,5 | 0,3 | 0,0 | 13,3 | 0 | 96,5 |
| **Vihorlat** | 91 | 5,8 | 1,4 | 0,3 | 3,6 | 1,8 | 0,7 | 0,7 | 0,3 | 7,3 | 8,3 | 0 | 62,8 |
| **Vtáčnik** | 99 | 5,6 | 2,1 | 0,3 | 3,8 | 0,8 | 0,7 | 1,7 | 0,3 | 9,2 | 11,2 | 0 | 85,5 |
| **Cerová vrchovina** | 6 | 6,9 | 10,5 | 1,0 | 38,9 | 16,3 | 16,7 | 17,0 | 9,2 | 198,3 | 16,5 | 0 | 403,9 |

**Tab. 3: Maximálne hodnoty vybraných parametrov chemického zloženia podzemnej vody neovulkanických pohorí Slovenska**
**Tab. 3: Maximum values of selected parameters of chemical composition of groundwater in Slovakian mountains composed of neo-volcanic rocks**

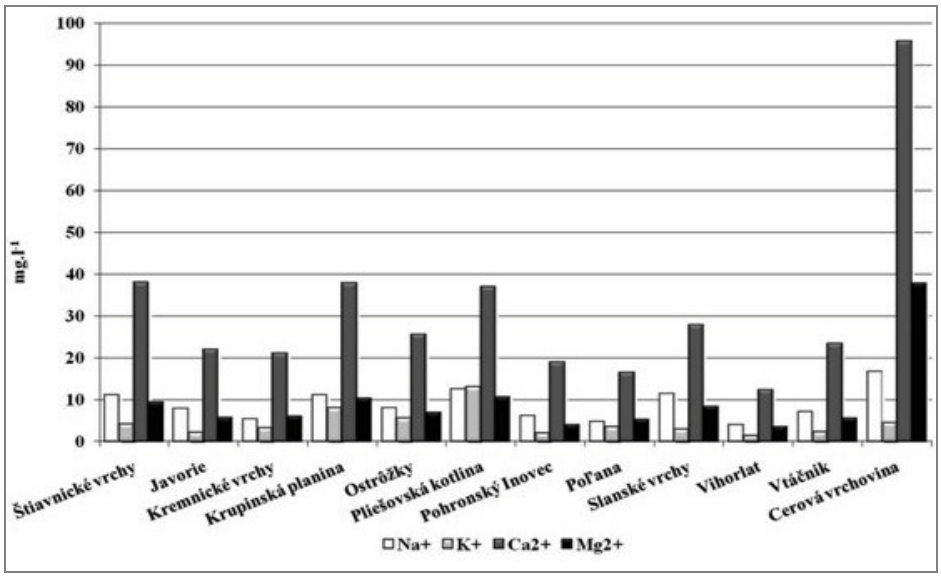
| Maximum ($mg \cdot l^{-1}$ okrem pH) | n | pH | $Na^+$ | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ | $NO_3^-$ | $HCO_3^-$ | $SiO_2$ | agr.$CO_2$ | M |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Štiavnické vrchy** | 263 | 9,8 | 233,1 | 142,0 | 363,9 | 92,4 | 113,4 | 1297,9 | 173,9 | 566,9 | 83,4 | 72,4 | 1861,9 |
| **Javorie** | 78 | 8,0 | 58,5 | 13,6 | 63,7 | 18,5 | 41,5 | 121,3 | 55,1 | 244,1 | 77,1 | 69,1 | 448,8 |
| **Kremnické vrchy** | 143 | 8,1 | 32,4 | 28,4 | 416,4 | 112,6 | 25,4 | 1154,3 | 49,2 | 472,9 | 87,6 | 80,5 | 2233,9 |
| **Krupinská planina** | 246 | 9,5 | 69,5 | 112,0 | 161,1 | 44,0 | 222,6 | 203,1 | 317,5 | 500,4 | 82,3 | 57,9 | 1050,0 |
| **Ostrôžky** | 49 | 9,0 | 33,0 | 54,0 | 85,0 | 27,0 | 35,8 | 138,5 | 52,0 | 408,8 | 78,3 | 55,7 | 632,7 |
| **Pliešovská kotlina** | 34 | 7,7 | 38,4 | 125,0 | 108,2 | 35,5 | 101,8 | 66,7 | 107,5 | 416,8 | 88,3 | 67,1 | 844,0 |
| **Pohronský Inovec** | 37 | 7,5 | 10,6 | 3,8 | 39,7 | 9,0 | 9,9 | 73,9 | 23,2 | 161,1 | 68,5 | 53,0 | 333,5 |
| **Poľana** | 52 | 7,8 | 14,4 | 95,4 | 44,5 | 27,7 | 50,0 | 112,7 | 12,8 | 252,6 | 86,2 | 46,4 | 517,7 |
| **Slanské vrchy** | 54 | 8,5 | 106,0 | 18,1 | 123,1 | 41,1 | 39,9 | 734,6 | 50,7 | 469,9 | 104,4 | 44,7 | 1019,1 |
| **Vihorlat** | 91 | 8,3 | 18,7 | 4,4 | 44,1 | 9,7 | 16,1 | 29,6 | 32,1 | 180,6 | 64,6 | 45,3 | 319,5 |
| **Vtáčnik** | 99 | 8,2 | 27,0 | 8,4 | 93,8 | 25,3 | 42,7 | 196,3 | 43,1 | 230,7 | 70,6 | 50,4 | 601,3 |
| **Cerová vrchovina** | 6 | 8,1 | 19,4 | 10,4 | 163,5 | 63,7 | 71,5 | 153,9 | 106,6 | 471,7 | 48,9 | 2,4 | 1014,2 |



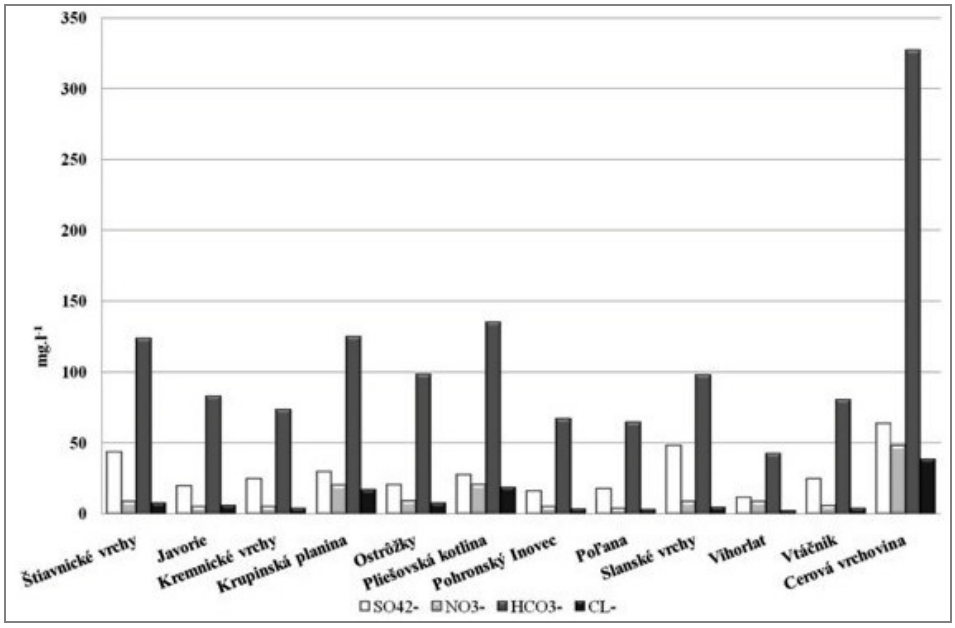

**Obr. 10: Priemerné hodnoty celkovej mineralizácie (mg·l$^{-1}$) podzemnej vody neovulkanických pohorí Slovenska**
**Fig. 10: Average values of TDS (mg·L$^{-1}$) of groundwater in Slovakian mountains composed of neo-volcanic rocks**



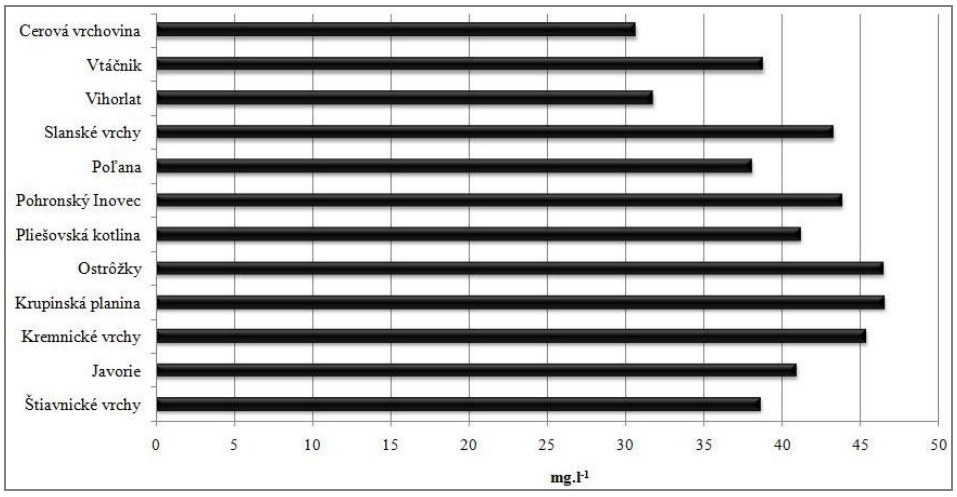

**Obr. 11: Priemerné hodnoty pH podzemnej vody neovulkanických pohorí Slovenska**
**Fig. 11: Average values of pH of groundwater in Slovakian mountains composed of neo-volcanic rocks**




**Obr. 12: Priemerné koncentrácie $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $Na^{+}$, $K^{+}$ (mg·l$^{-1}$) podzemnej vody neovulkanických pohorí Slovenska**
**Fig. 12: Average concentration of $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $Na^{+}$, $K^{+}$ (mg·L$^{-1}$) of groundwater in Slovakian mountains composed of neo-volcanic rocks**




**Obr. 13: Priemerné koncentrácie aniónov (mg·l$^{-1}$) podzemnej vody neovulkanických pohorí Slovenska**
**Fig. 13: Average concentrations of anions (mg·L$^{-1}$) of groundwater in Slovakian mountains composed of neo-volcanic rocks**




**Obr. 14: Priemerné koncentrácie $SiO_2$ (mg·l$^{-1}$) v podzemnej vode neovulkanických pohorí Slovenska**
**Fig. 14: Average concentration of $SiO_2$ (mg·L$^{-1}$) of groundwater in Slovakian mountains composed of neo-volcanic rocks**

Maximálna koncentrácia agresívneho $CO_2$ v podzemných vodách dosahovala 2,4 mg·l$^{-1}$ v Cerovej vrchovine až 80,5 mg·l$^{-1}$ v Kremnických vrchoch. Priemerné koncentrácie hliníka v podzemnej vode boli stanovené na 0,02 mg·l$^{-1}$ v Cerovej vrchovine až po 1,28 mg.l$^{-1}$ v Slanských vrchoch.

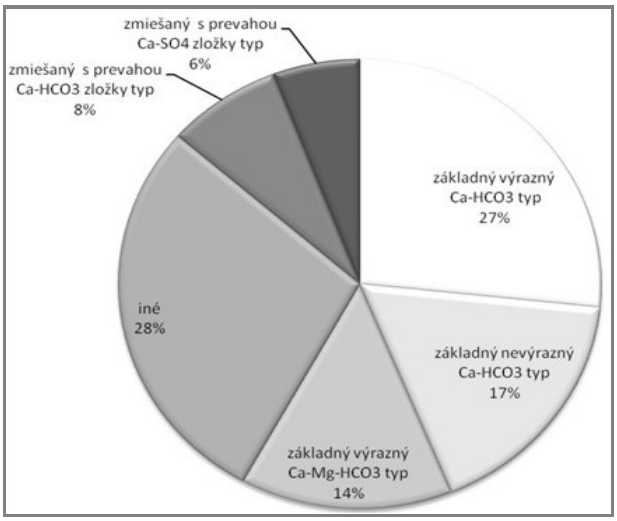
Výrazný vplyv na chemické zloženie podzemnej vody má antropogénna činnosť. Jej vplyv sa najvýraznejšie prejavuje v oblasti s banskou a poľnohospodárskou činnosťou, čo sa prejavuje nárastom koncentrácie dusičnanov, príp. chloridov. Najviac antropogénne ovplyvnené sú podzemné vody v pohoriach Cerová vrchovina, Krupinská planina a Štiavnické vrchy, najmenej vo Vihorlate, Poľane a Pohronskom Inovci. Vplyv banskej činnosti na chemické zloženie látok rozpustených v podzemnej vode je najvýraznejší v Slanských, Štiavnických a Kremnických vrchoch.

### *Hodnotenie chemického zloženia podzemnej vody pohorí neovulkanitov použitím Gazdovej klasifikácie*

V rámci podzemných vôd neovulkanických pohorí Slovenska bolo identifikovaných 38 typov chemického

zloženia pozemných vôd pre 1151 analýz, ktoré boli určené Gazdovou klasifikáciou. Zdrojom chemických analýz bol Geochemický atlas SR (Rapant et al., 1996). V podzemných vodách neovulkanických pohorí Slovenska prevláda (obr. 15) základný výrazný Ca-$HCO_3$ typ (27%), základný nevýrazný Ca-$HCO_3$ typ (17%) a základný výrazný Ca-Mg-$HCO_3$ typ chemického zloženia.

Tieto zložky sú produktmi hydrolytického rozkladu silikátov, prípadne rozpúšťania karbonátov (styk s podložím, karbonatický tmel). Zložka Na-Cl tu má sekundárny pôvod zo znečistenia prípadne je súčasťou zrážkových vôd. Zložka $NaSO_4$ je produktom iónovej výmeny a môže mať sekundárny pôvod zo znečistenia. Zložka $CaSO_4$ má pôvod v oxidácii sulfidickej síry. Prítomné sú i banské vody s S3 zložkou. Zložka $NO_3^-$ je indikátorom znečistenia z poľnohospodárskej činnosti. Vo všeobecnosti sú koncentrácie dusičnanov nízke, pôvodom zo zrážkových vôd alebo z biomasy lesných systémov. Jednotlivé typy chemického zloženia podzemných vôd neovulkanitov Slovenska sú uvedené v tab. 4.




**Obr. 15: Zastúpenie typov chemického zloženia podľa Gazdovej klasifikácie pre podzemné vody neovulkanických pohorí Slovenska**

**Fig. 15: Representation of types of chemical composition according to Gazda classification for groundwater in Slovakian mountains composed of neo-volcanic rocks**

**Tab. 4: Zastúpenie typov chemického zloženia podľa Gazdovej klasifikácie pre podzemné vody neovulkanických pohorí Slovenska**

**Tab. 4: Representation of types of chemical composition according to Gazda classification for groundwater in Slovakian mountains composed of neo-volcanic rocks**

| Gazdova klasifikácia | počet vzoriek | % |
|---|---|---|
| základný výrazný Ca-$HCO_3$ typ | 307 | 26,7 |
| základný nevýrazný Ca-$HCO_3$ typ | 197 | 17,1 |
| základný výrazný Ca-Mg-$HCO_3$ typ | 164 | 14,2 |
| zmiešaný typ s prevahou Ca-$HCO_3$ zložky | 89 | 7,7 |
| zmiešaný typ s prevahou Ca-$SO_4$ zložky | 67 | 5,8 |
| základný nevýrazný Ca-Mg-$HCO_3$ typ | 54 | 4,7 |
| základný nevýrazný Ca-$SO_4$ typ | 52 | 4,5 |
| prechodný Ca-Na-Cl-$HCO_3$ typ | 38 | 3,3 |
| základný nevýrazný Ca-Mg-$SO_4$ typ | 38 | 3,3 |
| zmiešaný typ s prevahou Ca-Mg-$HCO_3$ zložky | 27 | 2,3 |
| prechodný Ca-Na-$HCO_3$-$SO_4$ typ | 17 | 1,5 |
| zmiešaný typ s prevahou Ca-$HCO_3$ a Ca-$SO_4$ zložky | 16 | 1,4 |
| zmiešaný typ s prevahou Ca-Mg-$SO_4$ zložky | 15 | 1,3 |
| prechodný Ca-Mg-Na-Cl-$HCO_3$ typ | 14 | 1,2 |
| prechodný Ca-Mg-Na-K-Cl-$HCO_3$ typ | 11 | 1,0 |
| základný nevýrazný Na-$HCO_3$ typ | 7 | 0,6 |
| prechodný Fe-Na-Cl-$HCO_3$ typ | 4 | 0,3 |
| základný výrazný Ca-$SO_4$ typ | 4 | 0,3 |
| základný výrazný Ca-Mg-$SO_4$ typ | 3 | 0,3 |
| základný výrazný Mg-Ca-$HCO_3$ typ | 3 | 0,3 |

**Tab. 4: (pokračovanie)**
**Tab. 4: (to be continued)**

| Gazdova klasifikácia | počet vzoriek | % |
|---|---|---|
| základný výrazný Na-$HCO_3$ typ | 3 | 0,3 |
| zmiešaný typ s prevahou Ca-Cl zložky | 3 | 0,3 |
| prechodný Ca-Na-K-$HCO_3$-$SO_4$ typ | 2 | 0,2 |
| zmiešaný typ s prevahou Ca-$NO_3$ zložky | 2 | 0,2 |
| prechodný typ Ca-Mg-K-Na-$HCO_3$-$SO_4$ | 1 | 0,1 |
| prechodný Ca-Mg-Na-K-$HCO_3$-$SO_4$ typ | 1 | 0,1 |
| prechodný Ca-Na-$HCO_3$-Cl typ | 1 | 0,1 |
| prechodný Ca-Na-K-Cl-$HCO_3$ typ | 1 | 0,1 |
| základný nevýrazný Al-$SO_4$ typ | 1 | 0,1 |
| základný nevýrazný Ca-Mg-Cl typ | 1 | 0,1 |
| základný nevýrazný Mg-Ca-$HCO_3$ typ | 1 | 0,1 |
| základný nevýrazný Mg-$HCO_3$ typ | 1 | 0,1 |
| základný nevýrazný Ca-$NO_3$ typ | 1 | 0,1 |
| základný výrazný Fe-$HCO_3$ typ | 1 | 0,1 |
| zmiešaný typ s prevahou Mg-Ca-$NO_3$ zložky | 1 | 0,1 |
| zmiešaný typ s prevahou Na-Cl zložky | 1 | 0,1 |
| zmiešaný typ s prevahou Ca-Mg-$HCO_3$ zložky | 1 | 0,1 |
| zmiešaný typ s prevahou Ca-Mg-$SO_4$ zložky | 1 | 0,1 |

## ZÁVER

Hydrogeochemická charakteristika celku neovulkanických hornín Slovenska je mimoriadne zložitá vzhľadom na veľkú rozmanitosť makrochemického zloženia podzemných vôd kopírujúcu veľkú rôznorodosť stavby horninového prostredia obehových ciest, prítomnosť zrudnenia, pseudomorfóz a vplyv antropogénnej činnosti.

Hodnotenie chemického zloženia podzemných vôd neovulkanických pohorí Slovenska prinieslo nové výsledky z pohľadu porovnania stredoslovenskej a východoslovenskej neovulkanickej provincie, ako aj jednotlivých neovulkanických pohorí. K dôležitým zisteniam patrí aj posúdenie antropogénneho ovplyvnenia chemického zloženiam podzemnej vody v jednotlivých pohoriach. Najviac antropogénne ovplyvnené sú podzemné vody v pohoriach Cerová vrchovina, Krupinská planina a Štiavnické vrchy, najmenej vo Vihorlate, Poľane a Pohronskom Inovci. Vplyv banskej činnosti na chemické zloženie látok rozpustených v podzemnej vode je najvýraznejší v Slanských, Štiavnických a Kremnických vrchoch.

Vo všeobecnosti z petrologického hľadiska zaujímavé rozdiely v relatívnom obsahu $K_2O$ a inkompatibilných prvkov medzi stredoslovenskými a východoslovenskými vulkanitmi, nie sú až také veľké, aby vyžadovali zvláštne štatistické súbory pri celkom hodnotení geochémie týchto hornín. To isté platí i pri chemickom zložení podzemnej vody. Zo stopových prvkov hlavne v oblasti so zrudnením sú zaujímavé koncentrácie $Al^{3+}$, i anomálie iných stopových prvkov ako $Fe^{2+}$, $Mn^{2+}$ menej As, Sb, Cu, Cd, Zn, na južnom Slovensku i $Li^{+}$ čo súvisí s petrografickým zložením a genetickým typom vulkanizmu.

Pri takom množstve dát je hodnotenie podzemnej vody na základe klasifikačných koeficientov ako Na+K/Ca+Mg, $SiO_2$/M prípadne $HCO_3/SiO_2$ neefektívne, neprinieslo žiadne výsledky na štatisticky významnej úrovni. Tieto klasifikačné koeficienty by bolo vhodné použiť pri regionálnom mapovaní a zostavovaní základných hydrogeochemických máp, keď zároveň s údajmi o chemickom zložení podzemnej vody sú dostupné presné informácie o mineralogicko-petrografickom zložení horninového prostredia, prípadne vylúčenie antropogénnych vplyvov. Hodnoty parciálneho tlaku $CO_2$ potvrdzujú atmosferogénny pôvod $CO_2$, prípadne pôvod z pôdneho vzduchu a poukazujú na neprítomnosť hlbinného $CO_2$.

V rámci podzemných vôd neovulkanických pohorí Slovenska bolo identifikovaných 38 typov chemického zloženia pozemných vôd pre 1151 analýz, ktoré boli určené Gazdovou klasifikáciou. V podzemných vodách neovulkanických pohorí Slovenska prevláda základný výrazný Ca-$HCO_3$ typ (27 %), základný nevýrazný Ca-$HCO_3$ typ (17 %) a základný výrazný Ca-Mg-$HCO_3$ typ chemického zloženia (14,2 %). Tieto zložky sú

produktmi hydrolytického rozkladu silikátov, prípadne rozpúšťania karbonátov (styk s podložím, karbonatický tmel).

Ďalší výskum by bolo vhodné zamerať na vplyv chemického zloženia zrážkových vôd, ako vôd zdrojových, na chemické zloženie podzemných vôd, prípadné inverzné modelovanie procesov tvorby ich chemického zloženia. Vhodné by bolo rozšíriť základnú monitorovaciu sieť kvality SHMÚ o aspoň jeden objekt v pohorí Poľana a Ostrôžky a taktiež rozšíriť frekvenciu vzorkovania aspoň na jarný a jesenný odber, tak aby bolo možné určiť sezónne zmeny v chemickom zložení. Vyčlenenie a samostatné hodnotenie v rámci celku neovulkanitov by bolo vhodné realizovať pre podzemné vody ovplyvnené banskou činnosťou. Pre komplexnosť zhodnotenia by bolo v budúcnosti vhodné doplniť informácie o prítomnosti organických polutantov v podzemných vodách, prípadne ich mikrobiologického oživenia.

## LITERATÚRA


ARMIENTA, M. A., VILACLARA, G., DE LA CRUZ-REYNA S., RAMOS S., NORA CENICEROS, N., CRUZ, O., AGUAYO, A., ARCEGA-CABRERA., F. 2008: Water chemistry of lakes related to active and inactive Mexican volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. ISSN 0377-0273, 2008, Vol. 178, No. 2, p. 249-258.

AUXT, A., KLÚZ, M., ŠALAGOVÁ, V., BERACKO, I., GALISOVÁ, M., DORČÍK, G., SZABOVÁ, H., URBANÍK, J., BERZÁKOVÁ, M. 1997: Neovulkanity Kremnických vrchov – severná časť, vyhľadávací HGP. Žilina, Ingeo. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 82082, 133 s., 115 príl., 2 diely.

AUXT, A. 1983. *Hydrogeologické pomery severnej časti Vtáčnika so zameraním na vzťah banskej činnosti a podzemných vôd*. Diplomová práca. Bratislava, Univerzita Komenského, 1983. 84 s., 3 príl.

BAJO, I., BUJALKA, P., HALUŠKA, M. 1983: *Hydrogeológia neovulkanitov Slanských vrchov a Vihorlatských vrchov. Mineralia Slovaca. Monografia I.* Bratislava, ALFA, 1983. 126 s.

CHARLIER, J.B., LACHASSAGNE, P., LADOUCHE, B., CATTAN,P., MOUSSA, R., VOLTZ, M. 2011: Structure and hydrogeological functioning of an insular tropical humid andesitic volcanic watershed: A multi-disciplinary experimental approach. *Journal of Hydrology*. ISSN 0022-1694, Vol. 398, No. 3-4, p. 155-170.

CHIODINI, G., GIAQUINTO, S., FRONDINI, F., SANTUCCI. A. 1991: Hydrogeochemistry and hydrogeology of the Canino hydrothermal system. *Geothermics*. ISSN 0375-6505, 1991, Vol. 20, No. 5-6, p. 329-342.

CRUZ, J. V., FRANÇA, Z. 2006: Hydrogeochemistry of thermal and mineral water springs of the Azores archipelago (Portugal). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. ISSN 0377-0273, 2008, Vol. 151, No. 4, p. 382-398.

DALL'AGLIO, M., DUCHI, V., MINISSALE, A., GUERRINI,A., TREMORI, M. 1994: Hydrogeochemistry of the volcanic district in the Tolfa and Sabatini Mountains in central Italy, *Journal of Hydrology*. ISSN 0022-1694, 1964, Vol. 154, No. 1-4, p. 195-217.

DEOCAMPO, D. M. 2004: Hydrogeochemistry in the Ngorongoro Crater, Tanzania, and implications for land use in a World Heritage Site. *Applied Geochemistry*. ISSN 0883-2927, 2004, Vol. 19, No. 5, p. 755-767.

DOVINA, V., LEXA, J., VRANA, K., KONEČNÝ, V., GROSS, P., VOZÁR, J., KULLMANOVÁ, A., PLANDEROVÁ, E., SITÁR, V. 1985: Zhodnotenie hydrogeologických pomerov Vtáčnika – čiastková záverečná správa 1981-1985. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 63665, 161 s.

DOVINA, V., LEXA, J., VRANA, K., KONEČNÝ, V., GROSS, P., VOZÁR, J., KULLMANOVÁ, A., DRAHOŠ, M. 1981: Neovulkanity Kremnických vrchov, študijné zhodnotenie hydrogeologického rajónu 082. Žilina: IGHP. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 50823, 92 s., 7 príl.

DOVINA, V., RAPANT, S. 1985: Hydrogeologické pomery medzi Rudnom nad Hronom a Pukancom v juhozápadnej časti Štiavnických vrchov, čiastková záverečná správa za rok 1985. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č.61117/53, 9 s.

DOVINA, V., ŠKVARKA, L., RAPANT, S., GAZDA, S. 1980: Základný hydrogeologický výskum Štiavnických vrchov, čiastková záverečná správa. Názov úlohy: Základný hydrogeologický výskum SSR, názov čiastkovej úlohy: Základný hydrogeologický výskum paleogénu, neovulkanitov a kvartéru SSR. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 49372, 189 s., 67 príl.

FECEK, P., DRÁBIK, A., KRIST, E., KONEČNÝ, V. 1991: Stredoslovenské neovulkanity – Krupinská planina – okrajové časti, predbežný hydrogeologický prieskum, účel: Bližšie poznanie hydrogeologického vzťahu kolektorov podzemných vôd Krupinskej planiny k predpokladaným infiltračným oblastiam Javoria. Žilina, IGHP. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 75885, nestr.

FECEK, P., KERTÉSZ, A. 1979a: Neovulkanity Poľany - hydrogeologická štúdia, vyhľadávací HGP, účel: vymedzenie hranice predmetného územia, ktoré budú zohľadňovať podmienky tvorby a obehu podzemných vôd. Bratislava, IGHP. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 47099, 49 s., 6 príl.

FECEK, P., KERTÉSZ, A. 1979b: Neovulkanity Poľany - hydrogeologická štúdia, HGP, účel: vyhľadávanie a získanie nových zdrojov podzemných vôd. Bratislava, IGHP. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 43328, 37 s., 3 príl.

FENDEKOVÁ, M., ŽENISOVÁ, Z., NÉMETHY, P., FENDEK, M., MAKIŠOVÁ, Z., KUPČOVÁ, S., FĽAKOVÁ, R., 2005: Environmental impacts of groundwater abstraction in Neresnica brook catchment (Slovak Republic), *Environmental Geology*. ISSN 0943-0105, 2005, Vol. 48, No. 8, p.1029-1039.

FENDEKOVÁ, M., MAKIŠOVÁ, Z., MICHALKO, ŽENIŠOVÁ, Z., FENDEK, M., 2007: Sírany a izotopy síry v podzemných vodách neovulkanitov Slovenska. *Podzemná voda.* ISSN 1335-1052, 2007, roč. 13, č. 1, s. 107-120.

GÁLISOVÁ, M., KAZMUKOVÁ, M., JARÚNEK, J. 1989: Neovulkanity Kremnických vrchov, južná časť, záverečná správa, vyhľadávací HGP, účel: Získanie nových zdrojov pitnej vody v tejto oblasti. Žilina, IGHP. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 74655, nestr., 183 príl.

GAZDA, S., 1971: Modifikácia Palmerovho klasifikačného systému. *Hydrogeologická ročenka 1970-1971*. Bratislava: Geologický ústav Dionýza Štúra, 1971. s. 122-126.

GAZDA, S., 1974: Chemizmus podzemných vôd Západných Karpát a jeho genetická klasifikácia. In: *B. Leško (Ed.): Materiály z III. celoslovenskej geologickej konferencie, II. časť*. Bratislava, Slovenský geologický úrad, 1974. s. 43-50.

GIAMMANCO, S., OTTAVIANI, M., VALENZA, M., VESCHETTI, E., PRINCIPIO, E., GIAMMANCO, G., PIGNAT O.S. 1998: Major and trace elements geochemistry in the ground waters of a volcanic area: Mount Etna (Sicily, Italy). *Water Research*. ISSN 0043-1354, 1998, Vol. 32, No. 1, p. 19-30.

HLAVATÝ, Z., FECEK, P. 1972: Krupinská vrchovina – stredoslovenské vulkanity, II. etapa, HGP, účel: objasniť otázky týkajúce sa problémov zvodnenia vulkanických hornín. Bratislava, IGHP. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 28622, 64 s., 45 príl.

HORVÁTOVÁ, Z. 2010: *Hydrogeochemická charakteristika podzemných vôd neovulkanických hornín Slovenska*. Dizertačná práca. Bratislava, Univerzita Komenského, 2010. 146 s.

HYÁNKOVÁ, K., MELIORIS, L. 1992: *Vybrané kapitoly z hydrogeochémie*. Bratislava, Univerzita Komenského, 1992. 108 s. ISBN 80-223-0505-7.

IRAWAN, D. E., PURADIMAJA, D. J., NOTOSISWOYO, S., SOEMINTADIREDJA, P. 2009: Hydrogeochemistry of volcanic hydrogeology based on cluster analysis of Mount Ciremai, West Java, Indonesia. *Journal of Hydrology*. ISSN 0022-1694, 2009, Vol. 376, No. 1-2, p. 221-234.

JETEL, J., ŠKVARKA, L., VRANOVSKÁ A. 1989: Vysvetlivky ku hydrogeologickej mape 1:50 000 – Košická kotlina a Slanské vrchy (severná časť), čiastková záverečná správa. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, 49 s.

JURENKA, S., ZVARA, I., PIRMAN, I. 1992: Vtáčnik – Pohronský Inovec – juhovýchodné svahy, hydrogeológia, Vyhľadávací prieskum, stav k 31.10.1992. Geologický prieskum, Spišská Nová Ves. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 79541, nestr., 187 príl.

Kolektív autorov, 2002: *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Banská Bystrica, Ministerstvo životného prostredia SR, Slovenská agentúra životného prostredia, 2002. s. 344. ISBN 80-88833-27-2.

KORDÍK, J., SLANINKA, I. 2009: Zostavovanie základných hydrogeochemických máp na Slovensku – cesta k jednotným digitálnym podkladom. *Podzemná voda.* ISSN 1335-1052, 2009, roč. 15, č. 1, s. 87-99.

KULLMAN, E., GAZDA, S. 1978: Základný hydrogeologický výskum spojený so zostavovaním hydrogeologických máp (Základná hydrogeologická mapa 1:200 000). Manuskript – GÚDŠ Bratislava, 472 s.

KULLMAN, E., ED. 1983: Základná hydrogeologická mapa ČSSR, 1:200 000. List 35 Trnava. Bratislava, GÚDŠ.

KULLMAN, E., ED. 1988: Základná hydrogeologická mapa ČSSR, 1:200 000. List 36 Banská Bystrica. Bratislava, GÚDŠ.

LUKAJ, M., BURIAN, J., KÁMEN, M., PETR, K., ŠUCHOVÁ, M., JANUŠ, J., DAUBNER, J. 1983: Štiavnicko-hodrušský rudný obvod - hydrogeológia, vyhľadávací HGP, stav k 28.2.1982. Spišská Nová Ves, Geologický prieskum. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 58420, 239 s., 138 príl.

MAKIŠOVÁ, Z. 2006. *Hydrogeochemická charakteristika podzemných vôd stredoslovenských neovulkanitov.* Rigorózna práca. Bratislava, Univerzita Komenského, 2006. 80 s.

MAKIŠOVÁ, Z. 2007. Hydrogeochemická charakteristika podzemných vôd neovulkanických komplexov Slovenska. In: *Fľaková, R., Krčmář, D. (Eds.): Zborník 14. slovenskej hydrogeologickej konferencie „Hydrogeológia a kvalita života", Banská Bystrica, 12.-14.9.2007.* Bratislava, Slovenská asociácia hydrogeológov, 2007. ISBN 978-80-969342-3-2, s. 87.

MAKIŠOVÁ, Z., FENDEKOVÁ, M., STOJKOVOVÁ, M. 2006a: Natural and human compounds in hydrogeochemical composition of groundwater from springs in neovolcanic rocks of Slovakia. In: *23rd Conference of Danube Countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management [CD ROM], Belgrade, 28.-31.8.2006.* Belgrade, National Commitee of Serbia for International Hydrological programme of UNESCO, 2006. ISBN 86-80851-07-8, nestr. 15 p.

MAKIŠOVÁ, Z., FENDEKOVÁ, M., ŽENIŠOVÁ, Z. 2006b: Natural and anthropogenic compounds in hydrogeochemical composition of groundwater in neovolcanic rocks of Slovakia. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. ISSN 0042-790X, 2006, Vol. 54, No. 4, p. 330-343.

MAKIŠOVÁ, Z., FENDEKOVÁ, M., ŽENIŠOVÁ, Z. 2006c: Hydrogeochemical composition of groundwater from selected springs in neovolcanic rocks of Slovakia. In: *Rubin, H., Kowalczyk, A. (Eds.): Hydrogeochemia '06 „Aktualne problemy v hydrogeochemii", Sosnowiec, 23.-24.6.2006.* Katowice, Uniwersytet Śląski, 2006. ISBN 83-87431-76-1, p. 59-61.

MAKIŠOVÁ, Z., FENDEKOVÁ, M., ŽENIŠOVÁ, Z. 2006d: Zdroje chemického zloženia vôd prameňov neovulkanických komplexov Slanských vrchov a Vihorlatu a ich možný vplyv na podzemné vody priľahlých nížinných oblastí. In: *Zborník z konferencie „Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia" [CD ROM], Vinianske jazero, 6.-8.6.2006.* Bratislava, Ústav hydrológie SAV, 2006. ISBN-978-80-89139-23-1, nestr. 9 s.

OLEKŠÁK, S., CICMANOVÁ, S., BAJTOŠ, P. 2006: Základná hydrogeologická a hydrogeochemická mapa Vihorlatu v mierke 1:50 000. Čiastková záverečná správa. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava.

PLANDEROVÁ, E., SITÁR, V. 1985: Zhodnotenie hydrogeologických pomerov Vtáčnika, čiastková záverečná správa, 1981-1985, Hydrogeologický výskum vybraných oblastí SSR. Bratislava, GÚDŠ. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 63665, 161 s., 80 príl.

RAPANT, S., VRANA, K., BODIŠ, D. 1996: Geochemický atlas Slovenska, Časť I, Podzemné vody. Bratislava, Geologická služba Slovenskej republiky, 1996. 127 s. ISBN 80-85314-67-3.

REMŠÍK, A., MALÍK, P., BAJTOŠ, P., RAPANT, S., BOTTLIK, F., BAČOVÁ, N., MICHALKO, J., BENKOVÁ, K., KRČMOVÁ, K., FENDEK, M., MARCIN, D., ČERNÁK, R., HELMA, J., ŠIMON, L., MROSKO, J., MORAVSKÁ, A., MAĎAR, D., WEIS, K., GRAND, T., UJPÁL, Z., ŠIVO, A., RICHTÁRIKOVÁ, M., JÁNOŠÍK, E. - KOVÁČIK, J., DAŘÍČEK, A. 2008: Neovulkanity severných svahov Štiavnických vrchov – vyhľadávací hydrogeologický prieskum. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, 212 s.

ROHÁČOVÁ, I. 1984: *Hydrogeologické pomery pohoria Vtáčnik a priľahlej časti Hornonitrianskej kotliny medzi Lehotou pod Vtáčnikom a Hornou Vsou*. Diplomová práca. Bratislava, Univerzita Komenského, 1984. 117 s.

ŠKVARKA, L. 1971: Základný hydrogeologický výskum neovulkanitov Slovenska a ich podložia. Správa za etapu výskumu 1965-1970. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava.

ŠKVARKA, L., HROZENČÍK, J. 1972: Hydrogeológia neovulkanitov, obsah prác projektovanej ročnej etapy výskumu, ročná správa za rok 1971, základný HGP. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 29434, 13 s., 12 príl.

ŠKVARKA, L., ED. 1984: Základná hydrogeologická mapa ČSSR, 1:200 000. List 46 Lučenec – 47 Rimavská Seč. Bratislava, GÚDŠ.

ŠKVARKA, L., ED. 1985: Základná hydrogeologická mapa ČSSR, 1:200 000. List 38 Michalovce. Bratislava, GÚDŠ.

ŠKVARKA, L. 1990: Podzemné vody západokarpatského vulkanického regiónu. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 75399, 6 s.

ŠUCHOVÁ, M., 1979: *Niektoré hydrochemické vlastnosti podzemných vôd pyroklastík Krupinskej planiny.* Diplomová práca. Bratislava, Univerzita Komenského, 1979, nestr.

TKÁČOVÁ, H. 1973: Stredoslovenské vulkanity, správa za rok 1971-72, HGP. Bratislava, Geofyzika. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 29205, 14 s., 18 príl.

VRANA, K., BODIŠ, D. 1985: Geochemický výskum podzemných vôd Poľany a Javoria, čiastková záverečná správa; Názov rezortnej úlohy: Geochemický výskum a izotopová geológia vybraných oblastí SSR; Názov čiastkovej úlohy: Geochemický výskum stredoslovenských neovulkanitov - I. etapa, doba riešenia: 1981-1985. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 61494, 42 s., 2 príl.

VRANA, K., DOVINA, V., BODIŠ, D., VYSKOČIL, P. 1984: Hydrogeochemická mapa Poľany a Javoria v mierke 1:50 000, čiastková záverečná správa, 1981-1984, Názov rezortnej úlohy: Geochemický výskum a izotopová geológia vybraných oblastí SSR. . Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 60395, 130 s., 8 príl.

ZAKOVIČ, M., BODIŠ, D., LOPAŠOVSKÝ, K. 1989: Hydrogeologická mapa Rimavskej kotliny a východnej časti Cerovej vrchoviny 1:50 000. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, 51 s.

## SUMMARY

Mountains composed of Neogene volcanic complexes cover an area of 5 400 km$^2$, which comprises approximately 10 % of the entire territory of Slovakia. Hydrogeochemical conditions in Neogene volcanic complexes are very specific and variable. Together with the determining mineralogical – petrographic composition of the neo-volcanic rocks and their structural properties, a series of additional factors form the groundwater chemical composition. These include the groundwater temperature, the pressure conditions, concentration and partial pressure of $CO_2$, oxidation-reduction conditions, the ground-water flow velocity and the circulation depth. In some places, the anthropogenic factors of industry, agriculture, tourism, and mining activities influence the final groundwater chemical composition These have variable intensity, and the atmosphere and infiltrating precipitation waters are often polluted. The most typical chemical reactions creating the final chemical composition and determining the occurrence, distribution, and behaviour of aquatic species in the ground-water in neovolcanic environs consist of the following; the weathering of silicates, the oxidation of sulphides, ion exchange and sorption, with carbonate dissolution occurring less frequently. Evaluation of the chemical composition of ground-water in the neo-volcanic rock environment was complemented with the statistical assessment of 1 921 groundwater analyses (Fig. 1). This emanated from the sampling for compilation of the Geochemical atlas of Slovakia (Rapant et al., 1996). The distribution of selected parameters in the chemical composition of ground-water was processed and this was followed by a comparison of the chemical composition of ground-water in central and eastern Slovakia. No significant statistical differences were found in the chemical composition of the ground-water in the central and southern Slovakian neo-volcanic rock environments and that in eastern Slovakia. The lowest pH values are typical for acid-mining waters in the Štiavnické, Kremnické and Slanské vrchy Mts (Fig. 2), and the maximum TDS values were registered in locations with ore deposits, or in those influenced by anthropogenic pollution. The lowest TDS values were registered in the Vihorlatské vrchy Mountains and in the crest areas of all the mountain ranges. The TDS value increases exponentially with the decrease in altitude (Fig. 3). $Ca^{2+}$ and $Mg^{2+}$ are the predominant cations in ground-water, although increased concentration of $Na^+$ can be found in some places. The predominant anions are $HCO_3^-$, $SO_4^{2-}$, $Cl^-$ and $NO_3^-$. While increasing linear trend is clear in the relationship between the $Ca^{2+}$ and $HCO_3^-$ concentrations, this trend between $Na^+$ and $HCO_3^-$ is not significant (Fig. 4). A significant linear trend is also observable in the increase of TDS when the concentrations of $Mg^{2+}$, $Na^+$,

$HCO_3^-$ and $Cl^-$ increased in the eastern part of Slovakia and when $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ a $HCO_3^-$ increased in central and southern Slovak neo-volcanites (Figs. 5, 6, 7 and 8). A relatively high concentration of $SiO_2$, ranging from 1.19 to 104 $mg \cdot L^{-1}$, with a 40 $mg \cdot L^{-1}$ average, is typical for neo-volcanite groundwater (Fig.14). The concentrations of aggressive $CO_2$ are in the range of 0 to 96.58 $mg \cdot L^{-1}$ with an average of approximately14 $mg \cdot L^{-1}$. It is note-wothy that the groundwater has higher values of $Al^{3+}$ and also of other trace elements including $Fe^{2+}$ and $Mn^{2+}$ and less As, Sb, Cu, Cd, Zn and $Li^+$ in the southern parts of Slovakia. This is related to the petrologic composition and genetic type of this volcanism. The highest anthropogenic influence on groundwater was documented in Cerová vrchovina, Krupinská planina and Štiavnické vrchy Mts., while the least influenced was noted in the Vihorlat, Poľana and Pohronský Inovec Mts. Mining activity influences on the chemical composition of groundwater is most visible in the Slanské, Štiavnické a Kremnické vrchy Mountains. According to Gazda's classification, a total of 38 types of chemical composition were estimated based on 1,151 analyses of groundwater from neo-volcanic areas (Fig. 15, Tab. 4). The prevailing types are basically distinctive Ca-$HCO_3$ type at 27 %, a basically non distinctive Ca-$HCO_3$ type at 17 % and a basically distinctive Ca-Mg-$HCO_3$ type with 14.2 %.