ACTA HYDROLOGICA
SLOVACA

Ročník 16, Tematické číslo, 2015, 71 - 83

VPLYV PODZEMNÝCH VÔD NA VÝCHOSLOVENSKEJ NÍŽINE NA ZASOĽOVANIE PÔD

Anežka Čelková

Predložený príspevok sa zaoberá vyhodnotením charakteristík podzemných vôd významných pre vznik a formovanie sol'ných pôd na Východoslovenskej nížine (VSN) v období rokov 1982 – 2008, na základe ktorých bolo zistené riziko salinizácie a alkalizácie pôd dotknutého územia vplyvom podzemných vôd. V podzemných vodách záujmového územia boli sledované koncentrácie zasoľujúcich iónov, ktorými sú anióny: HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^- a katióny: Ca^{2+}, Mg^{2+} a Na^+, pH, rozpustené látky (RL) elektrická vodivosť (EC), sodíkový adsorpčný pomer (SAR) a vyhodnotené trendy priemerných ročných úrovní hladín podzemnej vody (HPV) v rokoch 1982 – 2008. Podľa priemerných ročných hodnôt elektrickej vodivosti (EC), ktoré sa pohybujú v intervale od 21,5 mS m^{-1} do 135 mS m^{-1}, patria podzemné vody vo väčšine objektov medzi stredne až vysoko mineralizované vody so stredným až vysokým rizikom salinizácie pôd a v sledovanom období vykazujú vzostupný trend. Hodnoty SAR nižšie ako 1,93 indikujú nízke nebezpečie zasolenia pôd alkáliami vplyvom podzemných vôd a v hodnotenom období mali klesajúcu tendenciu vo väčšine sledovaných objektov. Trend priemerných ročných úrovní hladiny podzemnej vody bol za hodnotené obdobie v záujmovom území vzostupný okrem Nacinej Vsi a Somotoru.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: podzemná voda, EC, SAR, salinizácia, alkalizácia, Východoslovenská nížina

THE INFLUENCE OF GROUNDWATER ON SOIL SALINIZATION IN THE EASTERN SLOVAK PLAIN. This paper evaluates characteristics of groundwater important for the formation and spreading of saline soils in the Eastern Slovak Plain, and determines the risk that this groundwater poses in salinization and alkalization of this soil. The 1982 − 2008 indices of the following environmental components in groundwater in the Eastern Slovak Plain were evaluated; the concentrations of dissolved solids (HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+), pH, total dissolved solids (TDS), electrical conductivity (EC), the sodium adsorption ratio values of water (SAR) and also trends in the average annual levels of the groundwater tables (HPV). The EC values ranged from 21.5 mS m^{-1} to 135 mS m^{-1}, and they showed an increasing tendency in most monitored groundwaters between 1982 and 2008. This groundwater is classified as medium to highly mineralized, with a medium to high degree of danger of soil salinization. SAR values < 1,93 indicated a low risk of soil alkalization due to this groundwater, and showed decreasing tendency in most monitored groundwaters during the evaluated period. Trends for the annual average levels of groundwater tables increased in all areas, except for Somotor and Naciná Ves, in the 1982 – 2008 hydrological years.

KEY WORDS: groundwater, EC, SAR, salinization, alkalization, Eastern Slovak Plain

Úvod

Príčiny vzniku a rozširovania soľných pôd v oblasti Východoslovenskej nížiny (VSN) treba hľadať jednak v geologickej stavbe a geomorfológii tejto oblasti, ako aj v režime podzemných vôd, ich celkovej mineralizácie a chemickom zložení. Súčasný vývoj prebiehajúci na našich nížinách poukazuje nielen na zvyšovanie mineralizácie podzemných vôd, ale dochádza aj k postupnému otepľovaniu klímy, čo zvyšuje výpar a akumuláciu solí v pôde zo vzlínajúcej podzemnej vody. Je preto reálny predpoklad postupného rozširovania soľných pôd na tomto území. Ďalším procesom a zdrojom akumulácie solí v pôdnom profile sú závlahy takouto podzemnou vodou (Heinige et al., 1991).

Výskyt soľných pôd na Východoslovenskej nížine opí-

sali vo svojich prácach Hraško (1969, 1971), Červenka (1970), Sedlák et al., (1978), Kobza, et al., (2009) a ďalší. Nachádzajú sa na sprašových pokryvoch a na alúviach riek Laborec, Latorica, Ondava, Bodrog. Ide o pôdy, v ktorých obsah solí alebo ich iónov dosiahne množstvo, ktoré škodí rastu väčšine rastlín. Aj územné depresie vytvárajú priaznivé podmienky pre vznik soľných pôd, ak sa v daných prírodných podmienkach vyskytujú vysoko mineralizované podzemné vody. Kým na sprašových pokryvoch prevládajú slancové pôdy s dobre vyvinutým textúrnym horizontom, na alúviu spomenutých riek sú rozšírené najmä soľné pôdy typu slanísk. Slancové pôdy obsahujúce hlavne alkalicky hydrolyzované sodné soli (uhličitan, hydrogénuhličitan a kremičitan sodný) vznikajú procesom alkalizácie (slancovania). Slaniská obsahujúce hlavne neutrálne sodné soli (chlorid sodný a síran sodný) vznikajú procesom salinizácie (slaniskovania).

Cieľom príspevku bolo vyhodnotiť charakteristiky podzemných vôd významných pre vznik a formovanie soľných pôd, ktorými sú koncentrácie zasoľujúcich iónov (HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+), pH, RL merná elektrická vodivosť podzemnej vody (EC), rozpustené látky (RL), sodíkový adsorpčný pomer (SAR) a režim hladín podzemnej vody na VSN v riečnej nive Ondavy a Laborca a v oblasti Medzibodrožia v období rokov 1982 až 2008 a prostredníctvom týchto charakteristík zistiť riziko salinizácie a alkalizácie pôd dotknutého územia vplyvom podzemných vôd.

Materiál a metódy

Podzemnú vodu môžeme hodnotiť podľa kritérií kvality závlahovej vody. Tým, že kapilárnym vzlínaním vystupuje do koreňovej zóny pôdneho profilu, kde sa evapotranspiráciou odčerpáva a rozpustné soli sa tu vyzrážajú a akumulujú, pôsobí na vznik a rozširovanie sol'ných pôd rovnako intenzívne ako závlahová voda podobného chemického zloženia. Na vznik a rozširovanie soľných pôd vplýva predovšetkým celkovou mineralizáciou, chemickým zložením a režimom hladín (Fulajtár, et al., 1998; Burger, Čelková, 2009). Existuje viacero klasifikačných schém používaných na hodnotenie kvality závlahovej vody (Allison, et al., 1954; Ayers, Westcot, 1985; Rhoades, et al., 1992; Benetin, 1979; STN, 1999). Väčšina z nich je založená na hodnotení kategórií, ktoré majú rozhodujúci vplyv na kvalitu pôdy a pestovanie rastlín, ktorými sú: salinita – celkový obsah rozpustených solí; sodicita – relatívny pomer iónov sodíka k vapniku a horčíku; alkalita – obsah uhličitanov a hydrogénuhličitanov; pH – kyslé alebo zásadité prostredie a podiel špecifických iónov – chloridy, sírany, dusičnany a bór.

Mineralizácia podzemnej vody

Podzemné vody podliehajú prirodzeným a umelým faktorom, ktoré vo väčšej alebo menšej miere vplývajú na fyzikálny stav a chemické zloženie pôdy. Ide pritom o zložky, ktoré sú disociované vo vodnom roztoku vo forme aniónov a katiónov. Sú to ióny HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+ – základné zložky prírodných vôd, ktoré sa nachádzajú v rôznych variáciách a koncentráciách, v závislosti od prostredia, s ktorým je voda v styku. Celková mineralizácia vody môže byť nepriamo vyjadrená mernou elektrickou vodivosťou (EC) meranou v jednotkách mS m^{-1} a je kritériom kvality vody s ohl'adom na nebezpečie salinizácie pôd. Hodnoty EC sú vyjadrené pri štandardnej teplote 25 °C.

Pokiaľ ide o EC, sú závlahové vody podľa American Salinity Laboratory Classification System rozdelené do štyroch tried: slabo mineralizovaná voda (EC < 25 mS m^{-1}); stredne mineralizovaná (25 mS m^{-1} < EC < 75 mS m^{-1}); vysoko mineralizovaná voda (75 mS m^{-1} < EC < 225 mS m^{-1}) a veľmi vysoko mineralizovaná voda (EC > 225 mS m^{-1}). Tieto limity boli určené na základe vzťahu medzi EC vody a EC nasýteného extraktu pôdy (Allison et al., 1954; Rhoades, et al., 1992).

Chemické zloženie

Druhým fenoménom podzemnej vody, ktorý vplýva na charakter formovania soľných pôd, je jej chemické zloženie. Podľa koncentrácie jednotlivých aniónov (Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-) je určený charakter zasoľovania (chloridové – limitná hodnota 300 mg l^{-1} Cl^-, síranové – limitná hodnota 250 mg l^{-1} SO_4^{2-}, resp. sódové – ak v aniónovom zložení vody prevládajú CO_3^{2-} a HCO_3^- a v katiónovom Na^+ (Fulajtár et al., 1998).

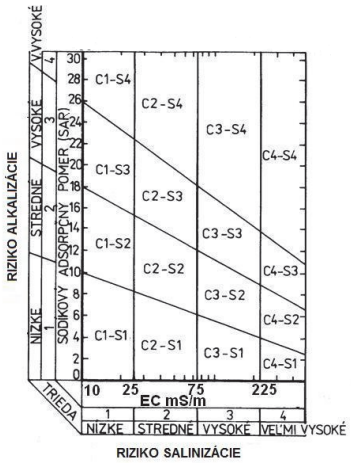
Kritériom kvality vody s ohl'adom na nebezpečie vzniku alkalických pôd je pomer molárnej koncentrácie sodíka k súčtu molárnych koncentrácií vápnika a horčíka (limitná hodnota 1:1), alebo hodnota sodíkového adsorpčného pomeru (SAR), ktorý sa tiež používa ako ukazovateľ rizika alkalizácie (sodicity) pôd a je definovaný rovnicou:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

kde Na^+, Ca^{2+} a Mg^{2+} sú koncentrácie jednotlivých iónov vyjadrených v mmol l^{-1}.

Hodnoty SAR závlahovej vody a korešpondujúcich hodnôt ESP (exchangeable sodium percentage – percentá výmenného sodíka) v pôde sú v rovnováhe so soľami nachádzajúcimi sa v závlahovej vode. Na základe hodnôt SAR a EC bol zostavený diagram pre klasifikáciu závlahových vôd, na ktorom sú uvedené triedy jej kvality (obr. 1) a pomocou ktorého môžeme určiť riziko salinizácie a alkalizácie pôd vplyvom závlahovej vody.

Hladina podzemnej vody a jej kolísanie je tretím fenoménom ovplyvňujúcim vznik a rozširovanie sol'ných pôd. Podzemná voda vystupuje najvyššie do pôdneho profilu vo vegetačnej sezóne, v jesenných a zimných mesiacoch spravidla klesá (Pavelková et al., 2006). Tento rozkyv hladín podzemnej vody spôsobuje, že



Obr. 1. Diagram pre klasifikáciu kvality závlahových vôd podľa hodnôt SAR a EC (US Salinity Laboratory Staff).
Fig. 1. Diagram for classification of the irrigation water following SAR and EC value determination (US Salinity Laboratory Staff).

v letnom období, kedy je vysoká evapotranspirácia a najvyššie stavy hladín podzemnej vody, sú vytvorené priaznivé podmienky pre intenzívne vynášanie rozpustných solí do povrchových horizontov pôdy. V zimnom období tým, že hladina podzemnej vody v pôdnom profile výrazne klesá vyprázdňuje sa pórový priestor pôdy, čím sa vytvárajú vhodné podmienky pre priesak gravitačnej vody a vymývanie solí do hlbších horizontov (Burger, 2006).

Hodnotenie vybraných ukazovateľov kvality podzemných vôd a HPV záujmového územia VSN vychádzalo z databázy analýz podzemných vôd poskytnutých SHMÚ - Bratislava. Systematické sledovanie kvality podzemných vôd na VSN v riečnej nive Ondavy a Laborca prebieha od roku 1982 a v oblasti Medzibodrožia od roku 1986 v rámci monitorovacej siete SHMÚ – Bratislava (obr. 2 a obr. 3). Jednotlivé odberové miesta sú lokalizované v miestach charakterizujúcich danú hydrogeologickú štruktúru bez vplyvu bodových zdrojov znečistenia tak, aby nedochádzalo k prekrytiu vplyvov regionálneho znečistenia lokálnym, čo by znemožňovalo identifikáciu trendov v zmene kvality podzemných vôd v regionálnom meradle. Predmetom sledovania kvality podzemných vôd je prvý zvodnený horizont, ktorý reprezentuje podzemné vody s najvýraznejším antropogénnym ovplyvnením (SHMÚ, 2001-2008). Vzorky boli odoberané 1 – 2 krát ročne, väčšinou v jarnom a jesennom období, pre vybraný súbor ukazovateľov. Odber vzoriek v rámci monitorovania kvality podzemných vôd Slovenska vykonávajú vzorkovacie skupiny SHMÚ (Košice, Banská Bystrica a Žilina) a v oblasti Bratislavy a západného Slovenska SHMÚ Bratislava podľa pokynov laboratória, ktoré vzorky pozemných vôd analyzuje. Chemické analýzy vzoriek podzemných vôd vykonáva Štátny Geologický Ústav Dionýza Štúra v Spišskej Novej Vsi. Na analýzu vybraných charakteristík mineralizácie podzemných vôd boli použité nasledujúce analytické metódy: Cl^-, SO_4^{2-} – iónová chromarografia; Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ – atómová emisná spektrometria s indukčne viazanou plazmou (AES – ICP); EC, pH – elektrometria; RL – gravimetria (SHMÚ).

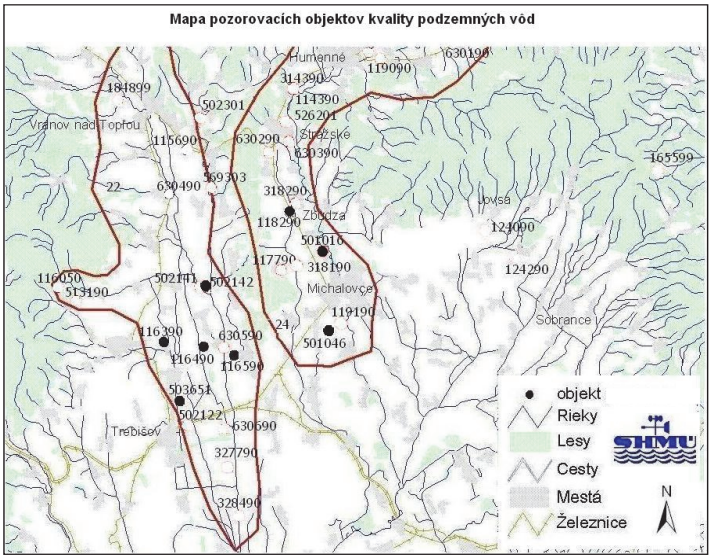
Systematické sledovanie kvantitatívnych ukazovateľov podzemných vôd, medzi ktoré patrí aj sledovanie zmien hladinového režimu podzemnej vody (s týždenným krokom) prebieha v záujmovej oblasti VSN v rámci monitorovacej siete SHMÚ – Bratislava od roku 1961.

Výsledky a diskusia

Pri hodnotení vybraných charakteristík podzemných vôd, ktoré majú vplyv na zasoľovanie pôd sme sa zamerali na časť VSN nachádzajucej sa v povodí Bodrogu v riečnej nive Ondavy a Laborca a na oblasť Medzibodrožia. Prírodne, geologické, pôdne, hydrogeologické a klimatické pomery územia sú opísané v práci Horáková, et al., (1998), Lapin et al., (2002) a v priebežných správach programu INTERREG III A (Šútor et al., 2007; Bajtoš, et al., 2004; Puchnerová, et al., 2001).

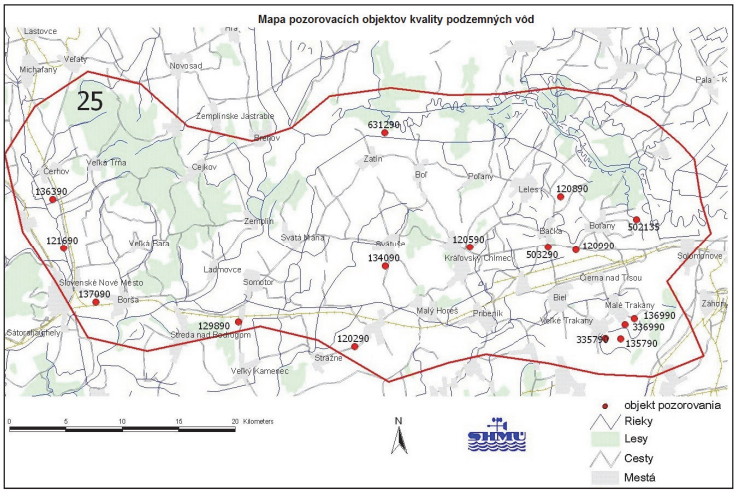
V podzemných vodách vybraných objektov boli sledované hodnoty EC, RL, SAR, pH, koncentrácie zasoľujúcich iónov, ktorými sú anióny: HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^- a katióny: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+. Údaje o kvalite a úrovniach hladín podzemnej vody vo vybraných pozorovacích vrtoch zo základnej pozorovacej siete SHMÚ boli poskytnuté SHMÚ Bratislava. Situovanie rozloženia pozorovacích objektov kvality podzemných vôd: *Božčice*, *Hriadky*, *Horovce*, *Trhovište a Milhostov,*

nachádzajúcich sa v riečnych náplavoch Ondavy a *Naciná Ves, Michalovce - Topoľany* a *Michalovce – Betlenovce,* v riečnych náplavoch Laborca je na obr. 2. Situovanie rozloženia pozorovacích objektov kvality podzemných vôd v oblasti Medziborožia: S*omotor, Veľký Horeš, Kráľovský Chlmec, Plešany, Boťany – kolónia, Boťany* a *Boľ – Zatín*, je na obr. 3. V riečnej nive Ondavy a Laborca bolo hodnotené obdobie rokov 1982 – 2008 a v oblasti Medzibodrožia obdobie rokov 1986 – 2008. V ďalších objektoch vyznačených na obr. 2 a na obr. 3 bola kvalita podzemných vôd sledovaná nepravidelne.



Obr. 2. Mapa pozorovacích objektov kvality podzemných vôd na Východoslovenskej nížine v alúviu Ondavy a Laborca. Pozorovacie objekty: Božčice 502141, Hriadky 116390, Horovce 116490, Trhovište 116590, Milhostov 503651, Naciná Ves 118290, Michalovce-Topoľany 501016 a Michalovce-Betlenovce 501046 (SHMÚ).

Fig. 2. The map of groundwater quality objects in the Eastern Slovak Plain in the alluvium of Ondava and Laborec River. The observation wells: Božčice 502141, Hriadky 116390, Horovce 116490, Trhovište 116590, Milhostov 503651, Naciná Ves 118290, Michalovce-Topoľany 501016 and Michalovce-Betlenovce 501046 (SHMÚ).



Obr. 3. Mapa objektov kvality podzemných vôd na Východoslovenskej nížine v oblasti Medzibodrožia. Pozorovacie objekty: 129890 Somotor, 120290 Veľký Horeš, 134090 Plešany, 120590 Kráľovský Chlmec, 120990 Boťany – kolónia, 502135 Boťany, a 631290 Boľ-Zatín (SHMÚ).

Fig. 3. The map of groundwater quality in the Eastern Slovak Plain in the Medzibodrožie Region*. The observation wells: 129890 Somotor, 120290 Veľký Horeš, 134090 Plešany, 120590 Kráľovský Chlmec, 120990 Boťany – kolónia, 502135 Boťany and 631290 Boľ – Zatín (SHMÚ).*

Priemerná ročná úroveň HPV bola vyhodnotená vo ôsmich vrtoch v riečnej nive Ondavy a Laborca za obdobie rokov 1982 - 2008, resp. 1997 - 2008: *Moravany*, *Hriadky*, Horovce*, Trhovište, Trebišov - Olšina***,** *Naciná Ves*, *Michalovce - Topoľany a Lastomír* a vo ôsmich vrtoch v oblasti Medziborožia za hydrologické roky 1986 – 2008, resp. 1997 - 2008: *Somotor, Veľký Horeš, Kráľovský Chlmec, Vojka, Boťany - kolónia, Boťany, Boľ - Zatín, Veľké Trakany.* Hodnotené pozorovacie vrty HPV sú umiestnené v blízkosti objektov sledujúcich kvalitu podzemnej vody.

Podzemná voda v riečnych náplavoch Ondavy a Laborca

V podzemných vodách záujmového územia VSN v riečnej nive Ondavy a Laborca (obr. 2) bol v období rokov 1982 - 2008 obsah chloridov nízky a koncentrácie Cl^- sa väčšinou pohybovali hlboko pod limitnou hodnotou. Rovnako aj obsah síranov bol nižší ako je limitná hodnota. Na hodnotenom území nie sú preto podmienky pre chloridové a síranové zasolenie. Obsah HCO_3^- iónov výrazne prevyšoval koncentrácie Cl^- aj SO_4^{2-}. Najvyššie hodnoty HCO_3^- boli namerané vo vrtoch situovaných v riečnych náplavoch Ondavy (maximálna hodnota 726 mg l^{-1}). V katiónovom zložení dominovali ióny Ca^{2+} a Mg^{2+}, obsah Na^+ bol pomerne nízky vo všetkých monitorovaných objektoch (5,9 mg l^{-1} < Na^+< 61,3 mg l^{-1}). Pomer Na^+:(Ca^{2+}+Mg^{2+}) bol nižší ako limitná hodnota (1:1) vo všetkých vrtoch. Hodnoty pH sa pohybovali v rozmedzí 6 – 11,2. Maximálne a minimálne hodnoty vybraných parametrov kvality podzemnej vody sú v tabuľke 1. Najnižšie hodnoty sledovaných parametrov boli namerané v podzemných vodách v objektoch situovaných v riečnych náplavoch Laborca (*Michalovce - Betlenovce, Michalovce - Topoľany)* okrem pH, ktoré dosahovalo najvyššie hodnoty (11,1 resp. 11,2).

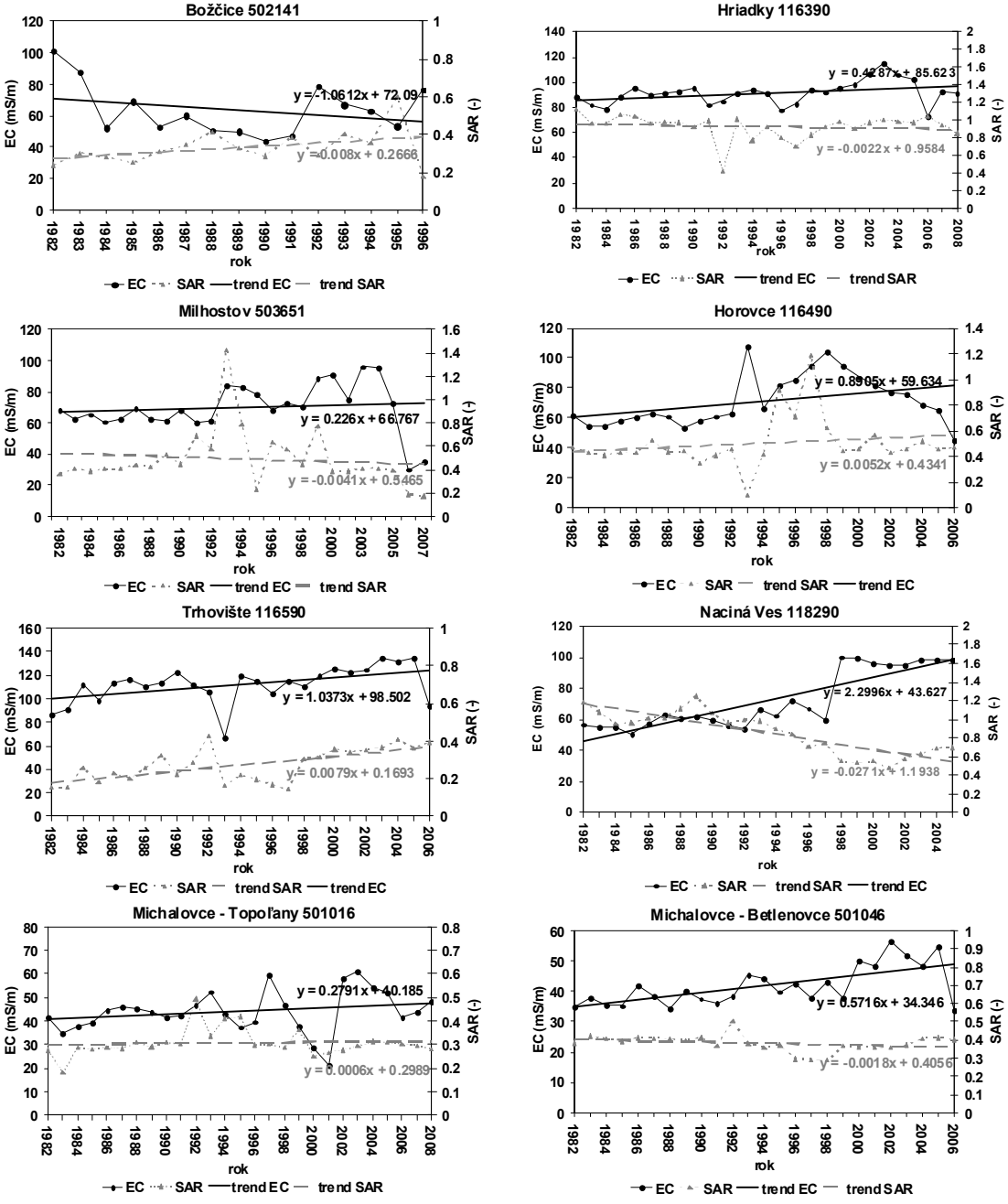
Trend hodnôt EC, ktoré sa pohybovali sa v rozmedzí 21,5 mS m^{-1} – 135 mS m^{-1}, bol v rokoch 1982 – 2008 vzostupný v podzemných vodách väčšiny monitorovaných objektov (obr. 4). Podľa American Salinity Laboratory Classification System ide o stredne až vysoko mineralizované vody s obsahom solí 202 mg l^{-1} - 1318 mg l^{-1}, so stredným až vysokým rizikom salinizácie pôd vplyvom podzemnej vody. EC podzemných vôd v objektoch nachádzajúcich sa v riečnych náplavoch Ondavy boli vyššie ako v riečnych náplavoch Laborca. Najvyššie hodnoty EC boli namerané v objektoch Hriadky a Trhovište (EC > 75 mS m^{-1}). Hodnoty SAR boli vo všetkých objektoch nižšie ako 10, t.j. riziko alkalizácie pôd vplyvom podzemnej vody je na tomto území nízke. Pohybovali sa v intervale 0,1 < SAR < 1,43 a v hodnotenom období vykazovali vzostupný trend v objektoch: Božčice, Horovce, Trhovište (obr. 4).

Tabuľka 1. Maximálne a minimálne hodnoty vybraných ukazovateľov kvality podzemnej vody v monitorovaných objektoch v záujmovom území VSN v riečnej nive Ondavy a Laborca.
Table 1. Groundwater quality indicators in the examined object in the area of interest in Eastern Slovak Plain in the alluvium of Ondava and Laborec River.

Parametre kvality podzemnej vody		Názov objektu (rok odberu)							
		Božčice (1982-2008)	**Hriadky 1982-2008)**	**Milhostov 1982-2007)**	**Horovce (1982-2006)**	**Trhovište (1982-2006)**	**Michalovce-Betlenovce (1982-2006)**	**Michalovce-Topoľany (1982-2008)**	**Naciná V. (1982-2005)**
EC (mS m^{-1})	max	101,2	115	96,1	108	**135**	56,5	60,9	100
	min	44	72,6	30,1	44,8	66,8	33,6	21,5	50,4
RL (mg l^{-1})	max	952	989	812	953	**1318**	439	482	825
	min	401	582	344	372	403	278	202	345
pH	max	8,1	8,3	8	7,6	7,8	**11,1**	**11,2**	7,6
	min	6,6	6,6	6,8	6,4	6,4	6,0	6,1	6,4
SAR (-)	max	0,24	1,2	**1,43**	1,19	0,46	0,5	0,49	1,25
	min	0,18	0,42	0,17	0,1	0,14	0,29	0,18	0,48
HCO_3^- (mg l^{-1})	max	665	494	463	622	**726**	195	250	415
	min	214	398	214	256	367	150	121	208
SO_4^{2-} (mg l^{-1})	max	102,1	178	132	142	153	81,5	113	**203**
	min	25,3	41	11,5	10,3	16,3	16,9	11,6	56,8
Cl^- (mg l^{-1})	max	52,3	117	60,2	**195**	109	46,6	91,3	74,8
	min	16,3	20,4	11,5	13,1	15,6	2,6	3,4	24,8
Na^+ (mg l^{-1})	max	19,1	56	48,4	**61,3**	24,6	16,3	20	47
	min	9,5	18,2	6,3	5,9	6,8	10,2	5,9	22,1
Ca^{2+}+Mg^{2+} (mg l^{-1})	max	235,9	198,5	198,8	238	**279,8**	96,4	111,1	185,1
	min	51,9	121,5	73,1	105,4	120	60,6	34,5	83,1

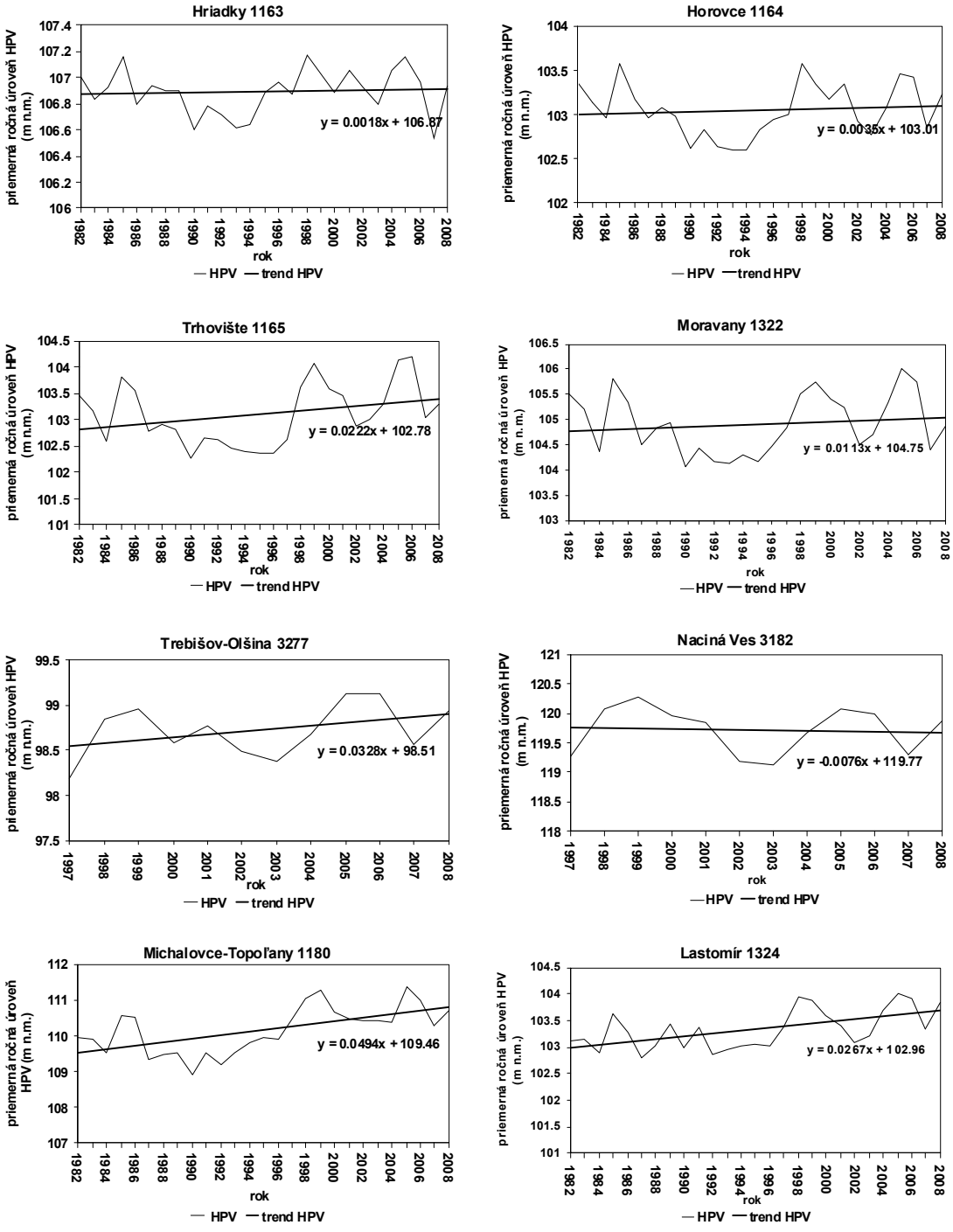
Maximálne a minimálne hĺbky HPV pod terénom v jednotlivých pozorovacích objektoch v riečnej nive Ondavy a Laborca sú uvedené v tabuľke 2.

Vo viacerých sledovaných vrtoch bola hladina podzemnej vody vo vegetačnom období nízko pod terénom. V objektoch Hriadky, Horovce, Trebišov - Olšina, Moravany a Trhovište len v hĺbke 0,12 m - 0,62 m (minimálne hodnoty). Lineárne trendové čiary priemerných ročných úrovní HPV majú v hodnotenom období stúpajúcu tendenciu vo všetkých vrtoch okrem Nacinej Vsi, kde bol zistený mierne klesajúci trend (obr. 5).



Obr. 4. Časový priebeh hodnôt EC a SAR podzemnej vody a lineárne trendové čiary v monitorovaných objektoch v záujmovom území VSN v alúviu Ondavy a Laborca.

Fig. 4. Time course of EC and SAR values of groundwater and their trend lines in the examined object in the area of interest in Eastern Slovak Plain in the alluvium of Ondava and Laborec River.



Obr. 5. Priebeh priemerných ročných úrovní HPV a ich trendy v monitorovaných objektoch v záujmovom území VSN v alúviu Ondavy a Laborca.
Fig. 5. Average annual groundwater table levels and trend lines in the examined object in the area of interest in Eastern Slovak Plain in the alluvium of Ondava and Laborec River.

Tabuľka 2. Hladina podzemnej vody v monitorovaných objektoch v záujmovom území VSN v alúviu Ondavy a Laborca
Table 2. Groundwater table levels in the examined object in the area of interest in Eastern Slovak Plain in the alluvium of Ondava and Laborec River

Názov objektu	Nadmorská výška terénu (m n.m.)	HPV pod terénom (m)		Trend priemernej ročnej úrovne HPV
		min	max	
HRIADKY	108,25	0,12	2,33	**vzostupný**
HOROVCE	105,01	0,35	3,13	**vzostupný**
TRHOVIŠTE	105,92	0,19	4,16	**vzostupný**
MORAVANY	108,44	0,47	4,81	**vzostupný**
TREBIŠOV - OLŠINA	100,73	0,62	4,24	**vzostupný**
NACINÁ VES	122,07	1,81	2,95	klesajúci
MICHALOVCE -TOPOĽANY	113,94	1,44	5,18	**vzostupný**
LASTOMÍR	106,86	1,47	4,57	**vzostupný**

Podľa diagramu pre klasifikáciu kvality závlahových vôd (obr. 1) patria podzemné vody v riečnej nive Ondavy a Laborca podľa hodnôt EC a SAR do skupiny vôd so stredným až vysokým rizikom salinizácie a nízkym rizikom alkalizácie pôd vplyvom podzemných vôd.

Podzemná voda v oblasti Medzibodrožia

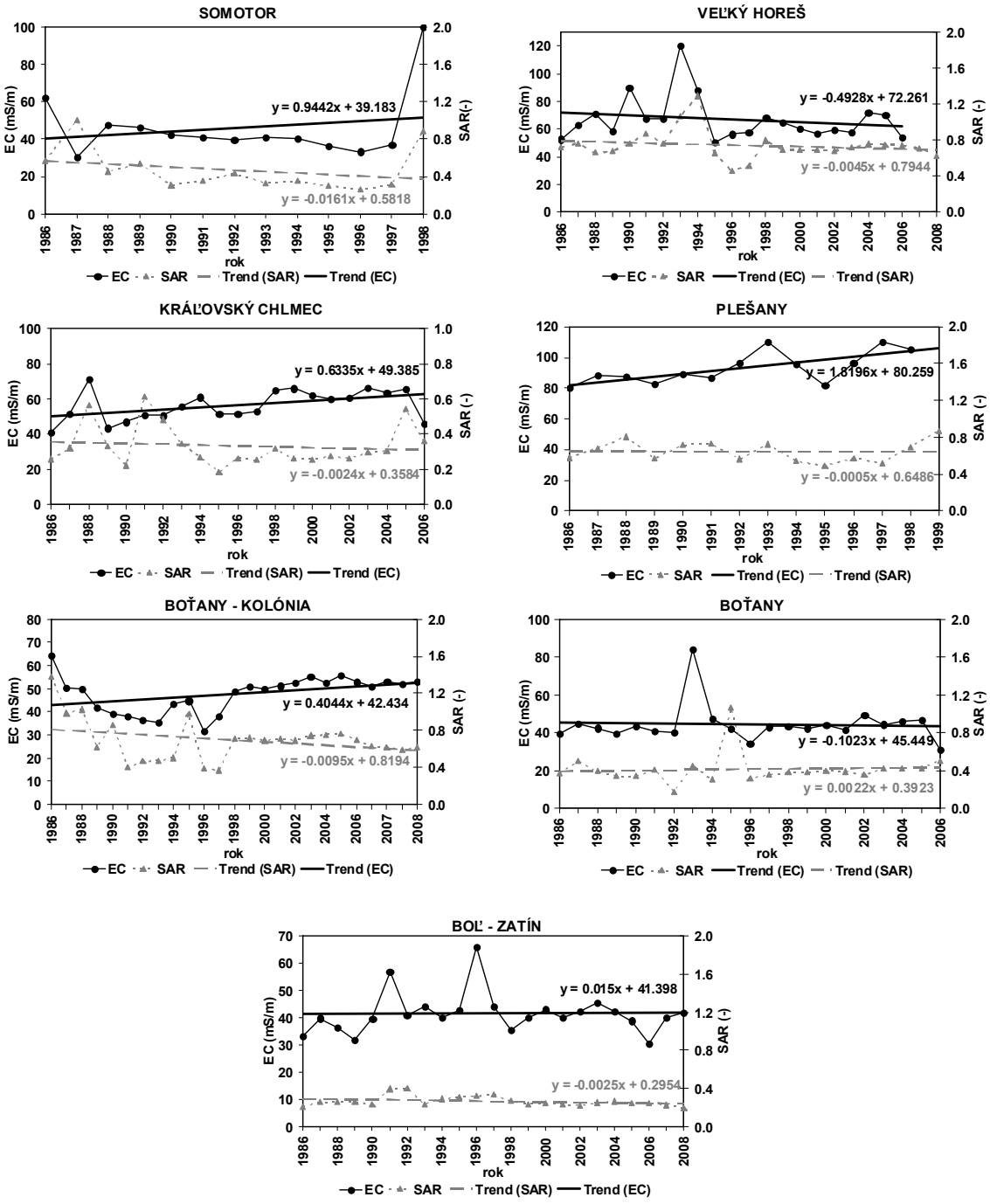
V podzemných vodách Medzibodrožia koncentrácie HCO_3^- , ktoré sa pohybovali v rozmedzí 85,4 – 597,7 mg l^{-1}, výrazne prevyšovali koncentrácie Cl^- a SO_4^{2-}, ktoré sa pohybovali v rozmedzí 5,6 mg l^{-1} – 163,9 mg l^{-1} Cl^- a 3,8 mg l^{-1} – 289 mg l^{-1} SO_4^{2-}. Na monitorovanom území nie sú preto podmienky pre chloridové a síranové zasolenie. Hodnoty pH sa pohybovali v rozmedzí 6,04 – 8,35. Vzhľadom na nízke koncentrácie sodíka v podzemných vodách, ktoré sa vo väčšine pozorovacích objektov pohybovali v rozmedzí 5,8 mg l^{-1} – 61,2 mg l^{-1} Na^+, bol pomer Na^+:(Ca^{2+}+Mg^{2+}) väčšinou nižší ako 1:1. Hodnoty SAR < 1,93 v sledovanom období rokov 1986 – 2008 vykazovali klesajúci tendenciu (obr. 6). Ide o vody s nízkym rizikom alkalizácie pôd vplyvom podzemnej vody Maximálne a minimálne hodnoty vybraných parametrov kvality podzemnej vody sú v tab. 3.
Trend hodnôt EC podzemných vôd, ktoré sa pohybovali v rozmedzí 29,5 – 120 mS m^{-1}, bol v rokoch 1986 – 2008 vzostupný vo väčšine sledovaných objektoch, okrem objektov Veľký Horeš a Boťany (obr. 6). Ide o stredne až vysoko mineralizované vody s celkovou mineralizáciou 121 – 1067,7 mg l^{-1}.
Trendy priemerných ročných úrovní HPV za obdobie rokov 1986 – 2008 boli vyhodnotené vo vrtoch: *Somotor, Veľký Horeš, Kráľovský Chlmec, Vojka, Boťany - kolónia, Boťany, Boľ - Zatín, Veľké Trakany,* umiestnených v blízkosti objektov sledujúcich kvalitu podzemnej vody (obr. 7). Režim podzemných vôd sledovanej časti Medzibodrožia ovplyvňujú predovšetkým podzemný brehový infiltračný prítok alebo odtok z riek Latorice, Bodrogu, odtok sústavou odvodňovacích kanálov, podzemný cezhraničný odtok, zrážky a výpar (Horáková et al., 1998, Pavelková et al., 2006). Podzemná voda vystupovala najvyššie do pôdneho profilu vo vegetačnej sezóne, v jesenných a zimných mesiacoch spravidla klesala. Vo viacerých monitorovaných vrtoch bola HPV vo vegetačnej sezóne veľmi nízko pod terénom, resp. dosahovala terén. Nadmorská výška terénu a minimálne a maximálne hĺbky HPV v sledovaných vrtoch záujmového územia v rokoch 1986 – 2008 sú uvedené v tabuľke 4. Lineárne trendové čiary priemerných ročných úrovní HPV za hydrologické roky 1986 – 2008 mali stúpajúcu tendenciu vo všetkých pozorovaných vrtoch s výnimkou objektu Somotor, kde bol zaznamenaný klesajúci trend (obr. 7).
Podľa diagramu na obr. 1 patria podzemné vody územia Medzibodrožia do skupiny vôd so stredným až vysokým rizikom salinizácie a nízkym rizikom alkalizácie pôd vplyvom podzemných vôd.
Na základe analýzy podmienok vzniku a rozširovania sol'ných pôd môžeme konštatovať, že z hl'adiska potenciálneho rozširovania sol'ných pôd v záujmovej oblasti VSN teplé a suché klimatické podmienky, vysoká potenciálna evapotranspirácia, výparný typ vodného režimu pôd, stúpajúca tendencia priemerných ročných teplôt (Lapin et al, 2002), stredná až vysoká mineralizácia podzemných vôd a jej narastajúci trend, zvýšená koncentrácia hydrogénuhličitanov v jej zložení a hladina podzemnej vody nízko pod terénom so stúpajúcou tendenciou, vytvárajú prirodzený potenciál tvorby a rozširovania sol'ných pôd a to hlavne procesom salinizácie. Intenzita alkalizácie pôd vplyvom podzemnej vody je v porovnaní s uvedenými priaznivými podmienkami nízka. Vyplýva to predovšetkým z charakteru chemického zloženia podzemných vôd, ktoré sa vyznačujú nízkymi hodnotami pomeru Na^+:(Ca^{2+}+ Mg^{2+}), ako aj nízkymi hodnotami SAR.

Tabuľka 3. Tabuľka 1. Maximálne a minimálne hodnoty vybraných ukazovateľov kvality podzemnej vody v monitorovaných objektoch v oblasti Medzibodrožia
Table 3. Groundwater quality indicators in the examined object in the Medzibodrožie Region

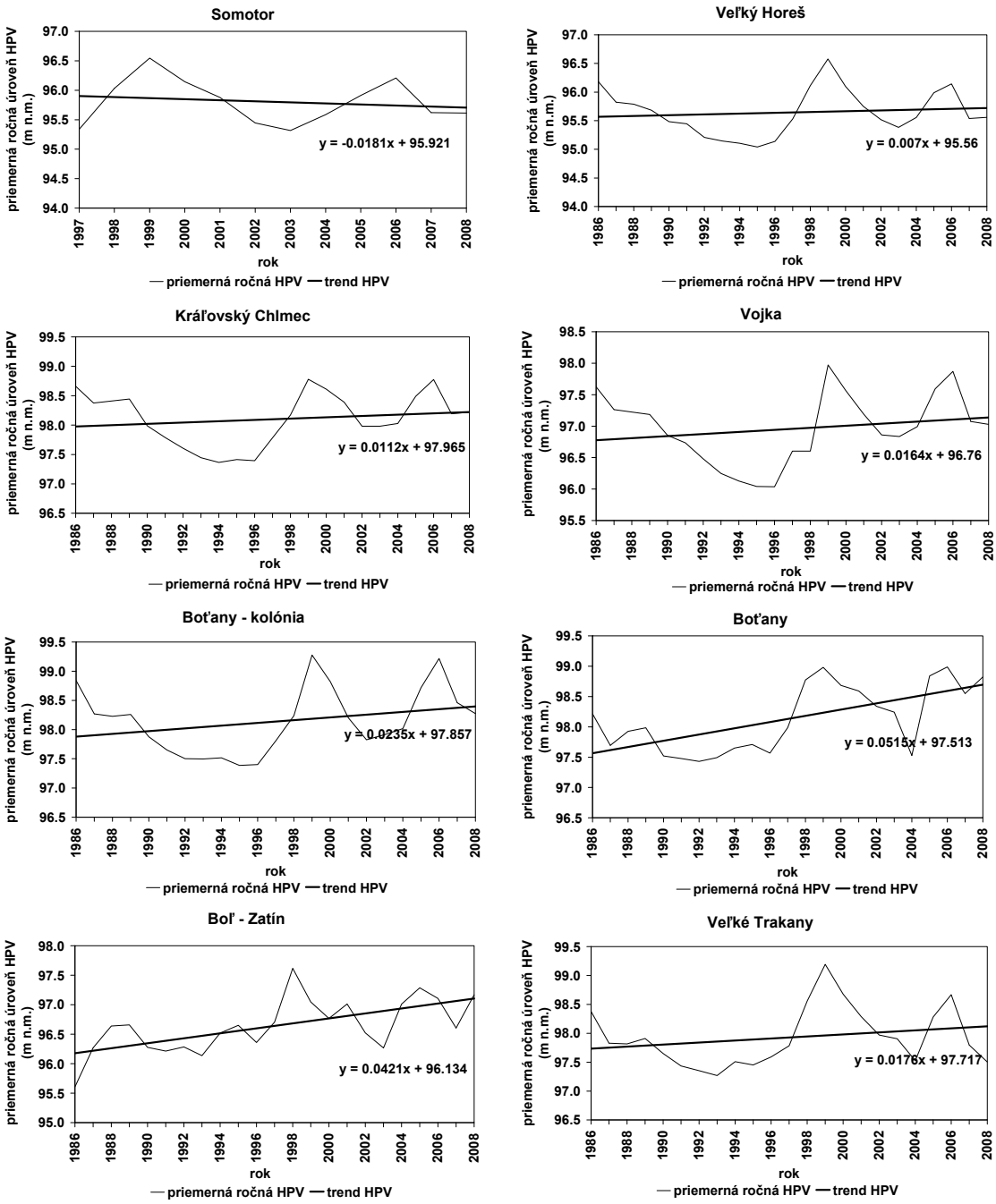
Parametre kvality podzemnej vody		Somotor (1986-1998)	Veľký Horeš (1986-2008)	Kráľovský Chlmec (1986-2006)	Plešany (1986-1999)	Boťany-kolónia (1986-2008)	Boťany (1986-2006)	Boľ-Zatín (1986-2008)
EC ($mS\ m^{-1}$)	max	100	**120**	66,7	99,7	110,3	66,4	66,1
	min	30	43,6	41	61	31,4	31,3	29,5
RL ($mg\ l^{-1}$)	max	807,9	926	743,4	**1067,7**	578,2	559,9	557,6
	min	264	261	230	698,6	152	154	121
pH	max	8,1	7,71	7,8	7,43	7,74	7,56	**8,35**
	min	6,75	6,04	6,76	6,64	6,3	6,22	6,2
SAR **(-)**	max	1,2	1,54	**1,93**	0,87	1,38	1,06	0,61
	min	0,16	0,45	0,18	0,23	0,37	0,18	0,20
HCO_3^- ($mg\ l^{-1}$)	max	**597,7**	384,3	359	402,7	287	286,8	323,3
	min	85,42	255	268,5	347,8	213,6	219,6	183,1
SO_4^{2-} ($mg\ l^{-1}$)	max	89,7	240,2	182,5	**289**	79,2	55,3	86,4
	min	3,8	6,6	13,5	99,2	7,6	4,1	5,7
Cl^- ($mg\ l^{-1}$)	max	50,9	**163,9**	41,6	103,7	64,7	20,3	82,6
	min	6,2	12,9	9,0	47,3	10,41	7,4	5,6
Na^+ ($mg\ l^{-1}$)	max	40,84	**61,2**	23	45,1	52	34,63	16,0
	min	8,64	17,9	9,1	26,3	11,85	5,8	6,03
Ca^{2+}+Mg^{2+} ($mg\ l^{-1}$)	max	146,8	207,6	142,8	**218,9**	102	98,75	123,73
	min	45,3	91,9	86,8	160,5	67,47	64,26	58,28

Tabuľka 4. Hladina podzemnej vody v monitorovaných objektoch v záujmovom území VSN v oblasti Medzibodrožia
Table 4. Groundwater table levels in the examined object in the area of interest in Eastern Slovak Plain in the Medzibodrožie Region

Názov objektu	Nadmorská výška terénu (m n.m.)	HPV pod terénom (m)		Trend priemernej ročnej úrovne HPV
		Min.	Max	
SOMOTOR	98,78	1,55	3,73	klesajúci
VEĽKÝ HOREŠ	97,62	0,21	2,82	**vzostupný**
KRÁĽOVSKY CHLMEC	99,72	0,27	2,69	**vzostupný**
VOJKA	101,59	0,34	4.05	**vzostupný**
BOŤANY-KOLÓNIA	101,54	0,87	4,33	**vzostupný**
BOŤANY	100,99	0,26	4,11	**vzostupný**
BOĽ-ZATÍN	98,96	0	3,72	**vzostupný**
VEĽKÉ TRAKANY	100,18	0	4,43	**vzostupný**



Obr.6. Časový priebeh hodnôt EC a SAR podzemnej vody a lineárne trendové čiary v monitorovaných objektoch v záujmovom území VSN v oblasti Medzibodrožia.
Fig. 6. Time course of EC and SAR values of groundwater and their trend lines in the examined object in the area of interest in Eastern Slovak Plain in the Medzibodrožie Region.



Obr.7. Priebeh priemerných ročných úrovní HPV a ich trendy v monitorovaných objektoch v záujmovom území VSN v oblasti Medzibodrožia.
Fig.7. Average annual groundwater table levels and trend lines in the examined object in the area of interest in Eastern Slovak Plain in the Medzibodrožie Region.

Záver

Na základe zistených skutočností môžeme konštatovať, že riziko salinizácie pôdy pri procesoch fluktuácie hladiny podzemnej vody, alebo pri jej použití ako závlahovej, je v záujmovom území Východoslovenskej nížiny v povodí Bodrogu v riečnej nive Ondavy a Laborca a v oblasti Medzibodrožia stredné až vysoké, pričom hodnoty EC, ktoré sa pohybovali v rozmedzí 21,5 mS m^{-1} - 135 mS m^{-1}, vykazovali v hodnotenom období

1982 – 2008 vzostupný trend v podzemných vodách väčšiny monitorovaných objektov. Riziko alkalizácie pôd vplyvom podzemnej vody je klasifikované ako nízke s hodnotami SAR < 1,93 s klesajúcou tendenciou na väčšine hodnoteného územia. Vzhľadom na vzostupné trendy priemerných ročných úrovní HPV, ktorá sa vo viacerých monitorovaných objektoch nachádzala nízko pod povrchom, pri výparnom režime pôd a v podmienkach prebiehajúceho otepľovania klímy, predstavujú podzemné vody v záujmovom území VSN potenciálne riziko zasoľovania pôd a to hlavne procesom salinizácie. Je preto aktuálne problém salinizácie pôd na VSN naďalej pravidelne sledovať a vyhodnocovať.

Poďakovanie

Táto publikácia bola vytvorená realizáciou projektu ITMS 26240120014 Centrum excelentnosti pre ochranu a využívanie krajiny a biodiverzitu, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja a bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou VEGA prostredníctvom finančnej podpory grantu 2/0040/12.

Literatúra

Allison, L. E., Bernstein, L., Bower, C. A., Brown, J. W., Fireman, M., Hatcher, J. T., Hayward, H. E., Pearson, G. A., Reeve, R. C., Richards L. A., Wilcox, L. (1954): Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Laboratory Staff, U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 60, 166 s.

Ayers, R. S., Westcot, D. W. (1985): Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1. FAO, Rome, 63 pp.

Bajtoš, P., Stupák, Š., Lenhardtová, E. (2004): Základná hydrogeologická a hydrogeochemická mapa Medzibodrožia v mierke 1 : 50 000. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, 143 s.

Benetin, J., Fídler, J., Hrabal, A., Raučina, Š. (1979): Závlahy. Príroda. Vydavateľstvo kníh a časopisov, Bratislava, 543 s.

Burger, F. (2006): Analýza polohy hladiny podzemnej vody na juhovýchodnej časti Podunajskej roviny vo vybraných suchých obdobiach. Acta Hydrologica Slovaca, ISSN 1335-629, roč. 7, č. 2, 199-209.

Burger, F., Čelková, A. (2009): Salinizácia a kontaminácia podpovrchového environmentu. Monografia, CD-ROM, ISBN 978-80-89139-17-0, 329 s.

Červenka, L. (1970): Vplyv podzemných vôd na vznik soľných pôd na Slovensku. Náuka o zemi. Pedologica 6. SAV Bratislava, 1970. 236 s.

Fulajtár, E., Barančíková, G., Sedláková, B., Šurina, B. (1998): Vplyv Gabčíkova na poľnohospodárske pôdy. Záverečná správa. VÚPÚ Bratislava, 1998. 183 s. ISBN 80-85361-28-0.

Heinige, V., Hlavčová, K., Fulajtár, E., Šoltész, J., Velebný, V., Vytřískal, J. (1991): Ochranné opatrenia pred mineralizovanými vodami, STU Bratislava, 76 s.

Horáková, A., Ivančo, J., Šťastný, P. (1998): Zmeny hladinového režimu podzemných vôd v Medzibodroží za obdobie 1963 - 1995. J. Hydrol. Hydromech. ISSN 0042-790X, 1998, roč. 46, č.1, s. 62-78.

Hraško, J. (1969): Geografia zasolených a alkalických pôd v Československu. Geografický časopis, Roč. XXI, č. 2, 106-110.

Hraško, J. (1971): Zasolené pôdy v Československu. In.: Vedecké práce VÚP a VR, Bratislava, č.5, 23-38.

Kobza, J., Barančíková, G., Čumová, L., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Náčiniaková – Bezáková, Z., Pálka, B., Pavlenda, P., Shlosserová, J., Styk, J., Širáň, M., Tóthová, G. (2009): Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu. Výsledky Čiastkového monitorovacieho systému – Pôda za obdobie 2002 – 2006 (3. cyklus). Bratislava, VÚPOP, ISBN 978–80–89128–54–9, 199 s.

Lapin, M., Faško, P., Melo, M. (2002): Klimatické oblasti. Mapa 1: 1 000 000. – Atlas Krajiny SR, MŽP SR, Bratislava, SAŽP, Banská Bystrica, 344 s.

Pavelková, D., Ivančo, J., Burger, F. (2006): Hladinový režim podzemných vôd v Medzibodroží a jeho trendy za obdobie 1963 - 2005. Acta Hydrologica Slovaca. ISSN 1335-6291, 2006, roč. 7, č. 2, s. 199-209.

Puchnerová, M., Baňacký, V., Elečko, M., Vass, D., Jetel, J., Kordík, J., Slaninka, I., Pramuk, S., Marsina, K., Čurlík, J., Grman, D., Cambel, B., Husák, Ľ., Viskup, J., Janotka, V., Hojnoš, M., Kandrík, M., Zeman, I., Szalaiová, V., Medo, S., Šefara, J., Rudinec, R., Tkáčová, H., Halmešová, S., Piovarči, M., Gretsch, J. (2001): Prieskum prírodných zdrojov vo vzťahu k životnému prostrediu – TIBREG (širšie okolie trebišovskej panvy), A/ geofaktory životného prostredia, Geocomplex Bratislava, Manuskript – Archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, 337 príl., arch. č. 84569, 149 s.

Rhoades, J., D., Kandiah, A., Mashali, A., M. (1992): The use of saline waters for crop production. FAO irrigation and drainage paper 48, Food and agriculture organization of the united nations Rome, 1992. Dostupné na internete: http://www.fao.org/docrep/T0667E/T0667E00.htm

Sedlák, Š., Bedrna, Z., Jurán, C., Lopatník, J., Podolinská, E., Tobrman, D. (1978): Výskum využitia a úpravy slancových pôd a odstránenie možnosti sekundárneho zasoľovania. Záverečná správa VÚPaVR Bratislava, 1978. 48 s.

SHMÚ, (2001-2008): Čiastkový monitorovací systém - Voda. Zdroj: http://enviroportal.sk/ism/spravy.php

SHMÚ: Kvalita podzemnej vody: Monitorovacia sieť, merané veličiny a metódy monitorovania. Dostupné na internete: www.shmu.sk

STN75 7143: 1999, Kvalita vody. Závlahová voda.

Šútor, J., Štekauerová, V., Gomboš, M., Tall, A., Nagy, V., Ivančo, J., Majerčák, J., Stehlová, K., Pavelková, D., Mikulec, V. (2007): Vypracovanie spoločnej koncepcie krajinného a vodného hospodárstva, posúdenie možnosti jej realizácie a projektovanie jednotlivých prvkov koncepcie v Medzibodroží. Priebežná výskumná správa projektu INTERREG IIIA. ÚH SAV Bratislava, 2007. 65 s.

THE INFLUENCE OF GROUNDWATER ON SOIL SALINIZATION IN THE EASTERN SLOVAK PLAIN

Results of monitoring the development of saline soils prove that the main source of salts in soils is the salinity of shallow groundwater (Hraško, 1969, 1971; Červenka, 1970; Sedlák, 1978; Kobza, et al., 2009). In areas with an evaporation water regime of the soil, such as in the south − east Danube Lowlands and the Eastern Slovak Plain, dissolved salts are transported from a groundwater level to the soil profile by means of vertical flow. Moreover, utilization of this groundwater for irrigation also leads to the accumulation of salts in the soil profile. In both processes, groundwater is drawn by evapotranspiration, and soluble salts coagulate on the surface of soil particles and sodium ions adsorb to the soil colloidal system. Groundwater has an impact on formation and spread of saline soils as strongly as irrigation water of similar chemical composition mainly through total dissolved solids, chemical composition and groundwater level regime (Fulajtár, et al., 1998; Burger, Čelková, 2009), and can be evaluated according to criteria of quality irrigation water (Allison, et al., 1954; Ayers, Westcot, 1985; Rhoades, et al., 1992; Benetin, 1979; STN, 1999).

This paper evaluates the characteristics of groundwater important for the formation and spreading of saline soils in the in the Eastern Slovak Plain in the river Bodrog basin in the alluvium of Ondava and Laborec River, in eight monitored objects: *Božčice*, *Hriadky*, *Horovce,* **Trhovište,** *Milhostov, Naciná Ves, Michalovce-Topoľany* and *Michalovce-Betlenovce* (Figure 2), and in the Medzibodrožie Region in objects: S*omotor, Veľký Horeš, Kráľovský Chlmec, Plešany, Boťany - kolónia, Boťany* and *Boľ – Zatín* (Figure 3), for the 1982 to 2008 period. The observation wells which evaluate groundwater level regime (HPV) are located near of objects of the quality of groundwater. Selected characteristics of groundwater mineralization (HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, pH, EC, TDS) and monitoring of groundwater level regime were supplied by the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ) in Bratislava. The natural, geological, soil, hydrological and climatic conditions in the area of question are described in Horáková, et al., (1998), Lapin et al., (2002) Šútor et al., (2007); Bajtoš, et al., (2004) and Puchnerová, et al., (2001).

In the chemical composition of groundwater, the content of hydrocarbonate ions (HCO_3^-) highly exceeds of chloride (Cl^-) and sulfate (SO_4^{2-}) ions content. In the cationic composition Ca^{2+} and Mg^{2+} are dominating. The maximum and minimum values of selected parameters in groundwater quality are in Table 1 and Table 3. The groundwater EC values ranged from 21.5 mS m^{-1} to 135 mS m^{-1}, and showed increasing tendency from 1982 to 2008 in most of the monitored waters. According to the diagram in Figure 1 the groundwaters in the area in question are classified as medium to highly mineralized waters with a medium to high degree of salinization danger within the subsurface environment. Because of low Na^+ concentration in groundwater, which ranged from 5,8 mg l^{-1} – 61,2 mg l^{-1} Na^+, the ratio of Na^+:(Ca^{2+}+Mg^{2+}) was mostly lower than 1:1. The SAR < 1,93 values calculated by equation (1), indicate a low risk of soil alkalization to the environment from the groundwater, and showed a decreasing tendency in most monitored places. The time courses of EC and SAR in the monitored groundwaters and their trend lines for 1982 – 2008 are documented in Figure 4 and Figure 6.

The time courses of the annual average levels of groundwater tables for 1982 – 2008 are documented in Figure 5 and Figure 7. The trends in the annual average levels of all groundwater tables increased, except for that at Naciná Ves and Somotor. In the several monitoring wells in the growing season the groundwater tables were very low below the terrain respectively reached the terrain. The altitude of terrain and the minimum and maximum depth of HPV in the monitored wells in the area of interest from 1982 – 2008 are shown in Table 2 and Table 4.

Finally, we can conclude that, given the upward trends of EC values of groundwater, the high content of HCO_3^- in groundwater, warm and dry climatic conditions, the upward trend in average annual temperatures (Lapin et al, 2002), evaporative type of water regime, the upward trends of annual average groundwater table levels and forasmuch as groundwater level is often near the surface, there is certainly an upward trend in the risk of saline soils spreading within the Eastern Slovak Plain in the river Bodrog basin in the alluvium of Ondava and Laborec River and Medzibodrožie Region due to salinization processes in the local groundwater.

Ing. Anežka Čelková
Ústav hydrológie SAV
Račianska 75
831 02 Bratislava 38
Tel.: + 421 2 49268263
E–mail: celkova@uh.savba.sk