ACTA HYDROLOGICA
SLOVACA

Ročník 16, Tematické číslo, 2015, 84 - 93

HYDROEKOLOGICKÉ ASPEKTY PÔSOBENIA VYSOKOMINERALIZOVANEJ PODZEMNEJ VODY

Viera Kováčová

Územie Žitného ostrova je najvýznamnejším poľnohospodárskym regiónom Slovenska. Využitie jeho územia determinuje charakter krajiny a celého prírodného prostredia. Nevyhnutným predpokladom úspešného hospodárenia na pôde je dostatočné množstvo vody v pôde a jeho rozdelenie v priebehu roka. Suchou a teplou klímou podmienený výparný režim pôd zapríčiňuje nedostatočné zásobovanie plodín počas vegetačného obdobia. Zároveň bohaté zásoby podzemných vôd na mnohých miestach s hladinou blízkou ku koreňovej zóne predstavujú vysoký potenciál zásobovania poľnohospodárskych plodín vodou. Vysokomineralizované podzemné vody, vyskytujúce sa lokálne v niektorých oblastiach Žitného ostrova sú potenciálnym rizikom procesu salinizácie a alkalizácie pôd. Takéto pôdy sa vyznačujú zhoršenými hydrofyzikálnymi, fyzikálno-chemickými a biologickými vlastnosťami, znemožňujú vo väčšej či menšej miere transport vody a následne normálny vývoj rastlín.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: vysokomineralizovaná podzemná voda, salinizácia, alkalizácia, celkové množstvo rozpustených látok (TDS), elektrická vodivosť (EC), obsah výmenného Na v sorpčnom komplexe pôdy (ESP), sodíkový adsorpčný pomer (SAR)

HYDROECOLOGICAL ASPECTS OF INFLUENCING OF HIGH-MINERALISED GROUNDWATER. The Žitný ostrov area is the most important agricultural region of Slovakia. Its utilization is determining of land character and natural envinroment. The dry and warm climate and evaporation soil water regime caused insufficient suply of crops during the growing season. In association with the rich stores of groundwater high level near the root zone in some localities constitute the potential of agricultural crops water suply. In the case if prevailing ions are neutral and alkaline sodium salts concludes to the salinization and alkalization processes very often, as result of groundwater composition, hydrogeochemical factors and anthropogenic activities. Hig-mineralised groundwater is considers as the most important aspect of soil salinization and alkalization. Localities with this risk are located fractedly on the Žitný ostrov area. These soils mark out impaired hydrophysical, physico-chemical and biological attributes.

KEY WORDS: high-mineralised groundwater, salinization, alkalization, totall dissolved solids (TDS), electrical conductivity (EC), exchange sodium percentage (ESP), sodium adsorption ratio (SAR)

Úvod

Žitný ostrov, situovaný v juhozápadnej časti Slovenska sa vyznačuje plošne najväčšími pokryvmi spraší. V evapotranspiratívnom režime sa v nich zachovali karbonáty, ktoré vznikali aj v pôdach celej aluviálnej oblasti. Tento charakter pôdotvorných substrátov a pôdotvorné procesy vplývali na prítomnosť karbonátových pôd. V aluviálnych oblastiach nížinných riek sa nachádzajú fluvizeme karbonátové, v depresiách čiernice karbonátové, čiernice glejové karbonátové, až gleje karbonátové. Na starších aluviálnych sedimentoch Žitného ostrova sa vyskytujú černozeme karbonátové. V najnižšie položených častiach nížiny s vysokomineralizovanými podzemnými vodami sa vyskytujú lokálne aj zasolené pôdy (obr.1, 2).

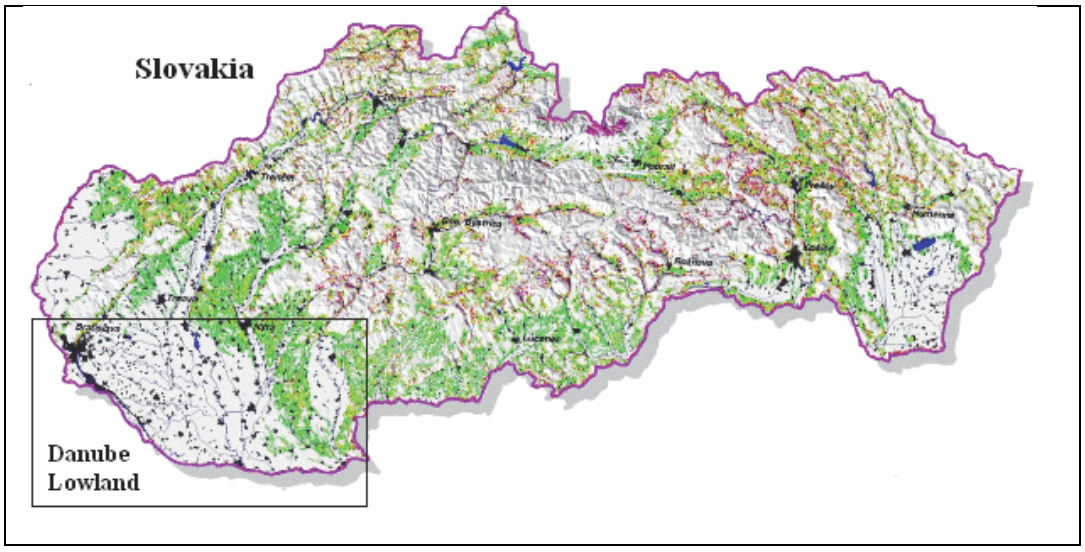
Oblasť nížin je pokrytá kvartérnymi prekryvmi, čo spôsobuje, že podložné neogénne sedimenty vystupujú na povrch len lokálne v tektonicky vyzdvihnutých častiach. Ich vývoj ovplyvňovali počas kvartéru tri základné činitele: fluviálna, eolická činnosť a soliflukcia. K nim sa pridružuje rozdielna tektonická aktivita. Rozsiahle poriečne nivy vznikli v poklesávajúcich častiach nížin (Podunajská, Východoslovenská). Nad

nimi sa formovali morfologicky nové celky – pahorkatiny, ktoré prekryli spraše a eolické piesky. V nížinách tvoria preto najviac rozšírené pôdotvorné substráty fluviálne sedimenty, kommplexy spraší, eolické piesky, proluviálne (svahové) sedimenty, zriedkavo slatinné rašeliny. Ich rozšírenie, genetická príbuznosť a mechanické zloženie úzko súvisí s geomorfologickými zvláštnosťami nížin, najmä tektonickou mobilitou územných celkov. K tomu sa pridružujú faktory zonálnej diferenciácie spojenej s vplyvom zrážok, rozdelením teplôt (evapotranspiratívny versus perkolačný vodný režim) a zmenou mineralizácie podzemných vôd. Tieto faktory vplývajú najmä na zachovanie resp. tvorbu karbonátov, ktorých obsah je významným prvkom ovplyvňujúcim výsledný ráz pedogenetických procesov. Uvedené charakteristiky určujú spoločné rysy, ale aj hlavné rozdiely, vplývajúce na kvartérnu sedimentačnú výplň. Eolické piesky majú najväčšie plošné rozšírenie v Záhorskej nížine, kde sú nevápnité, menšie v Podunajskej a Východoslovenskej, kde sú vápnité – karbonátové. Spraše tvoria súvislé, alebo menej súvislé pokryvy slovenských nížin. Najsúvislejšie sú vyvinuté v Podunajskej nížine. Územie stability karbonátových spraší súčasne vymedzuje aj územie rozšírenia a stability černozemí. Smerom k vyšším pahorkatinným stupňom a k pohoriam dochádzalo k odvápneniu spraší, v súvislosti s čím sa menilo zloženie pôdneho krytu. Preto na spraširach vznikla katéna pôd : černozeme – černozeme hnedozemné – hnedozeme – pseudogleje. Popri pôdach, ktoré sa vyvíjali na reziduálnych produktoch zvetrávania, väčšina pôd sa vyvinula na redeponovaných produktoch – pokryvných útvaroch, ktoré sú prevažne kvartérneho veku. (Čurlík – Šefčík, 1999; Granec – Šurina, 1999; Červenka 1970, Šútor – Štekauerová, 2000; Burger – Čelková 2007, 2009).

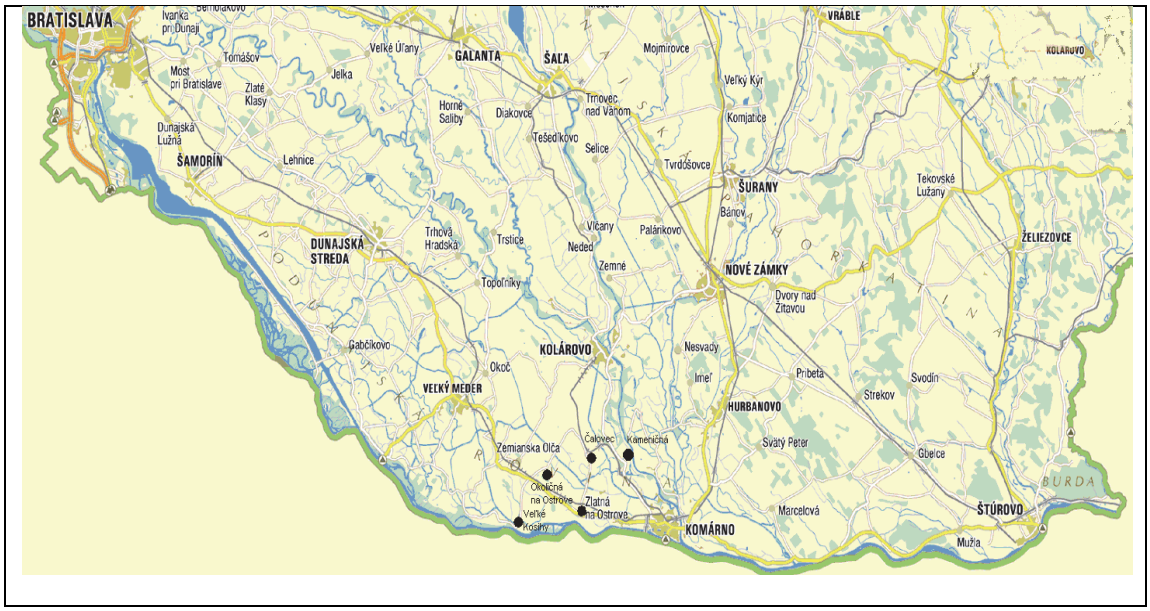
Rieky vytvárajú v nížinných oblastiach rôzne široké aluviálne roviny. Na nich sa nachádzajú trvalé hladiny podzemných vôd. Tie často hydromorfne ovplyvňujú vývoj pôdneho krytu a niektoré chemické zvláštnosti pôd, spojené s ich celkovou mineralizáciou a hydrotermickým režimom (lokálne zasolenie pôd – obr.1, 2).

Na území Slovenska sa vyskytujú pomerne veľké zásoby podzemných vôd. Tieto zásoby sú sústredené predovšetkým v dvoch hydrogeologických celkoch – vo vápencovo-dolomitických komplexoch triasu a v mladých štrkovo-piesčitých sedimentoch poriečnych nív veľkých riek. Najlepšie podmienky pre výskyt podzemných vôd sú v štrkopiesčitých sedimentoch poriečnych nív. Tieto zásoby sú dopĺňané infiltráciou riečnych vôd. Šírka týchto nív býva rozdielna a kolíše od desiatok metrov až po niekoľko kilometrov. Z tohto hľadiska najväčšou zásobárňou podzemných vôd je Žitný ostrov (juhozápadné Slovensko) kde hrúbky zvodnených štrkov dosahujú viac ako 300 m. Tu sú podzemné vody dotované vodami Dunaja. Región predstavuje obrovské zásoby podzemných vôd. V ostatných komplexoch hornín sú podmienky na výskyt podzemných vôd veľmi rôznorodé, čo súvisí s charakterom hornín, ich rozpustnosťou a priepustnosťou, ale aj od geomorfologických a klimatických podmienok.

Na Podunajskej nížine nachádzajúcej sa v juhozápadnej časti Slovenska na tvorbu zásob podzemných vôd majú veľký vplyv zrážky.. Najvhodnejšie podmienky na dopĺňanie zásob podzemných vôd sú v zimnom a jarnom období. Letné zrážky ovplyvňujú bilanciu vlahy a solí prevažne iba v pôdnej vrstve.



Obr. 1. Vymedzenie záujmového územia.
Fig. 1. Defining of the interested area.



Obr. 2. Monitorované lokality.
Fig. 2. Monitored localities.

Dôležitým činiteľom formovania zásob podzemných vôd je výpar. Priemerné ročné úhrny evapotranspirácie dosahujú na Podunajskej nížine 450-460 mm. Primárnym zdrojom látok rozpustených v podzemných vodách je interakcia voda – plyn – horninové prostredie, sekundárnym široká škála ľudskej činnosti vrátane produkcie odpadov. Celkovú mineralizáciu vôd možno definovať ako súčet hmotnostných koncentrácií tuhých anorganických látok rozpustených vo vode, elektrolytov (katiónova a aniónov) aj neelektrolytov. Sodík je jedným z najbežnejších katiónov, ktoré sa v prírodných vodách vyskytujú. Jeho zdrojom sú ako silikátové horniny obsahujúce najmä albit (sodný živec) a plagioklasy, tak aj evaporitové horniny. Sodíkový katión Na^+ je vo vodách veľmi konzervatívny , nezúčastňuje sa na oxidačno-redukčných reakciách, neuplatňujú sa chemické reakcie jeho vyzrážavania, zostáva stabilne v roztoku. Sodík sa však významným spôsobom zúčastňuje na iónovýmenných procesoch. Katiónová iónová výmena v bežných prírodných vodách má tendenciu vytesňovať dvojmocné katióny z roztoku a nahrádzať ich jednomocnými katiónmi. Preto sú pre geochémiu sodíka významné ílové minerály prítomné v prostredí obehu vôd. Pomerne veľká časť sodíka sa dostáva do pôdneho profilu z mineralizovaných vôd a z antropogénnych aktivít človeka. Sodík sa v nízko mineralizovaných vodách (pod 1 $g.l^{-1}$) vyskytuje vo forme katiónu Na^+. V koncentrovanejších roztokoch sa viaže do viacerých komplexov a iónových párov v závislosti od typu chemizmu vody (najčastejšie sú to $NaCO_3^-$, $NaHCO_3(aq)$ a $NaSO_4^-$). Koncentrácie sodíka v prírodných vodách vykazujú výraznú variabilitu, pričom kolíšu od hodnôt <1 $mg.l^{-1}$ až po hodnoty nad 100 $g.l_{-1}$ charakteristické pre niektoré soľanky. Distribúcia hodnôt koncentrácie sodíka v podzemných vodách územia Slovenska vykazuje dvojaký charakter – má úzky vzťah k horninovému prostrediu obehu podzemných vôd. V silikátových horninách kyslého až intermediárneho charakteru sa koncentrácie pohybujú od 5 do 30 $g.l^{-1}$ v závislosti od typu hornín. Podzemné vody nížin majú spravidla fluviogénny charakter a koncentrácia sodíka v nich je podmienená aj plošným znečistením vôd (priemerné koncentrácie Na sa tu pohybujú okolo 30 až 100 $g.l^{-1}$), predovšetkým poľnohospodárskeho a komunálneho pôvodu.

Sodicita a alkalita sa javí ako latentný problém, pri ktorom škodlivý efekt je evidentný. Klasifikácia pôd, založená na celkovom množstve rozpustených látok, elektrickej vodivosti, sodíkovom adsorpčnom pomere, percente výmenného sodíka a pH je uvedená v štúdiách autorov Barzegar et al., 1994; Burger-Čelková, 2004; Curtin et al. 1994a,b; Feitz et al. 2002; Hanes, 1999; Kaledhonkar et al. 2001; Kováčová, 2009b; Quirk, 1971; Rhoades, 1982; Rengasany-Olsson, 1991; Suarez,1981. V podzemnej vode záujmového územia na základe kritérii, ktoré charakterizujú mieru nebezpečia salinizácie pôdy vplyvom podzemnej vody (EC a SAR) bola podľa hodnoty EC na lokalite Veľké Kosihy zistená miera nebezpečia salinizácie vysoká (75 <EC< 225 $mS.m^{-1}$) a podľa hodnoty SAR je vysoké až veľmi vysoké ohrozenie sodíkom (18 <SAR< 38). Na lokalite Čalovec je vysoká až veľmi vysoká miera nebezpečia salinizácie (75 <EC< 300 $mS.m^{-1}$) a stredné ohrozenie sodíkom (10 <SAR< 18). Hodnoty väčšiny sledovaných parametrov v podzemnej vode záujmového územia mali

rastúcu tendenciu, na základe čoho možno konštatovať, že riziko salinizácie pôd pod vplyvom mineralizovanej podzemnej vody sa zvyšuje (Burger-Čelková, 2009).

Okrem chemického zloženia podzemných vôd môže ovplyvňovať salinitu a alkalitu kvalita závlahovej vody, výška hladiny vody v celej kanálovej sieti, ktorá ovplyvňuje výšku hladiny podzemnej vody a naopak (Dulovičová-Velísková , 2007; Burger, 2007; Burger-Čelková, 2004; Kaledhonkar et al. 2001). Dôležitým faktorom je aj kvalita povrchových tokov, v tomto prípade rieky Dunaj. Jednou z požiadaviek európskej direktívy (WFD, 2000/60/EC) je analýza a predpovedanie zmien v kavalite povrchových tokov. Vývoj mesačných koncentrácií vybraných zložiek rieky Dunaj (Chl-a, Ca, EC, SO_4^{2-}, Cl^-, O_2. BOD_5. N-tot, PO_4^-,P, NO_3-N, NO_2-N, atď.) v období 1991 – 2005 a predpokladané scenáre vývoja sú v štúdii Pekárová a kol. 2009.

V rámci monitoringu vývoja soľných pôd bol zaznamenaný a hodnotený obsah solí sodíka v pôde. Podľa chemického charakteru prítomných solí a ich vplyvu na pôdne vlastnosti a rast rastlín sa u nás vyskytujú dve skupiny sodných solí, ktoré vyvolávajú aj dva procesy vzniku a formovania soľných pôd. Je to proces salinezácie a alkalizácie.

Proces salinizácie resp. zasoľovania je podmieňovaný prítomnosťou neutrálnych sodných solí, hlavne chloridu a síranu sodného (NaCl, Na_2SO_4). Indikátorom zasoľovania pôdy je jednak suchý odparok vodného výluhu pôdy vyšší ako 0,2 %, jednak elektrická vodivosť nasýteného extraktu pôdy EC vyššia ako 400 $mS.m^{-1}$. Slabé, začiatočné štádium zasoľovania prebieha už pri hodnotách EC 200 - 400 $mS.m^{-1}$ resp. pri obsahu solí 0,1-0,2 %. Výsledkom procesu zasoľovania sú zasolené pôdy (slaniská) a ich nižšie vývojové štádiá, slabo a stredne zasolené pôdy.

Proces alkalizácie resp. slancovania pôd je podmieňovaný prítomnosťou alkalických sodných solí, hlavne uhličitanu, hydrogenuhličitanu a kremičitanu sodného (Na_2CO_3, $NaHCO_3$, Na_2SiO_3). Indikátorom alkalizácie resp. slancovania pôd je obsah výmenného sodíka ESP vyšší ako 5 %, ako aj alkalická pôdna reakcia pH 8 a vyššia. Výsledkom procesu alkalizácie sú slance a ich nižšie vývojové štádiá, slabo a stredne slancované pôdy.

V prírodných podmienkach sa uvedené skupiny solí v pôdach samostatne nevyskytujú. Prevládajú buď neutrálne, alebo alkalické sodné soli, ktoré majú aj dominantný vplyv na rozvoj jedného z hlavných salinických pôdnych procesov.

Materiál a metódy

Vo vybraných lokalitách boli odoberané pôdne vzorky a vzorky povrchových a podzemných vôd na kvalitatívne a kvantitatívne stanovenie vo vode rozpustných látok. Reakcia vody, teplota, konduktivita (electrical conductivity - EC) a celkové množstvo rozpustených látok (total dissolved solids - TDS) vo vzorkách podzemných a povrchových vôd boli stanovované priamo v terénnych podmienkach pomocou prenosného pH-metra a konduktometra firmy WTW. Hladina podzemnej vody v sledovaných lokalitách sa pohybovala v intervale 90 - 320 cm. Vzorky z pôdneho profilu boli odoberané z hĺbok 0 - 10 cm, 10 – 30, 30 – 50, 50 - 100 cm. Na odobraných vzorkách boli vykonané hydrofyzikálne a fyzikálno-chemické analýzy jednotlivých vrstiev pôdneho profilu za účelom zistenia koncentrácií iónov v definovaných laboratórnych podmienkach. Analýzy boli vykonané nasledovnými metódami : vlhkosť pôdy - gravimetricky, objemová hmotnosť - gravimetricky, zrnitostný rozbor - pipetovacou metódou, obsah organickej hmoty C_{ox} - metódou podľa Ťurina, hodnoty pôdnej reakcie pH/H_2O, pH/KCl -potenciometricky, ióny N-NO_3, N-NH_4^+, SO_4^{2-}, - spektrofotometricky, ióny Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ -metódou AAS, ióny Na^+, Cl^- - iónovoselektívnymi elektródami. Odobrané pôdne vzorky boli najskôr vysušené, mechanicky rozdrvené a preosiate cez sitá (oká - veľkosť 2 mm) a následne boli stanovené stredné hodnoty koncentrácií jednotlivých druhov iónov v pôdnych výluhoch (výluh v dest. vode, pomer 1:5).

Základom salinizačného modelu je sodíkový adsorpčný pomer (sodium adsorption ratio – SAR), ktorý udáva vzťah medzi koncentráciami iónov Na^+, Ca^{2+} and Mg^{2+} a určuje postavenie Na^+ v pôdnom výmennom komplexe (Recommended Chemical Soil Test Procedures, 1998; US Salinity Laboratory Staff 1954). Je daný nasledujúcim vzťahom:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{Ca + Mg}} \qquad (1)$$

kde iónové koncentrácie sú vyjadrené v $mol.l^{-1}$.

Vzťah SAR a ESP je daný nasledujúcou rovnicou:

$$ESP = k_g\, SAR \qquad (2)$$

kde k_g, je Gaponov koeficient; a ESP je určené ako výmenný Na/(CEC – výmenný sodík Na), kde CEC je efektívna katiónová výmenná kapacita. Na určenie, koľko výmenného Na sa akumuluje v pôde hodnota k_g musí byť známa. Prítomnosť sodíka je potenciálnou príčinou štrukturálnej nestability, ak obsadzuje viac ako l0 - 15% výmenných miest (Curtin et al. 1994a).

Vzťah medzi elektrickou vodivosťou a stupňom salinity je prezentovaný v štúdiach napr.U.S Salinity Laboratory Staff, 1954; Recommended Chemical Soil Test Procedures 1998; Burger-Čelková, 2009 je uvedený v tab. 1.

Výsledky a diskusia

Hlavným zdrojom solí v pôde, a tým aj vzniku a vývoja soľných pôd sú mineralizované podzemné vody, ktoré v oblastiach s výparným vodným režimom pôdy vzlínaním vynášajú rozpustené soli do pôdneho profilu, kde sa po transpirácii vody soli vyzrážajú na povrchu pôdnych častíc a voľné ióny sodíka sa viažu – sorbujú

na pôdny koloidný komplex. Takéto podmienky sú u nás v južnej a juho-východnej časti Podunajskej nížiny (obr. 1,2, tab. 2,3), kde suchá a teplá klíma, výparný vodný režim pôd, prítomné vysokomineralizované podzemné vody, ako aj predpokladané klimatické zmeny (otepľovanie) vytvárajú podmienky pre postupné rozširovanie soľných pôd. Ďalším zdrojom akumulácie solí v pôdach, môže byť antropogénna činnosť a závlahy mineralizovanou vodou.

Oblasti ohrozené vývojom salinizácie a alkalizácie v nenasýtenej zóne sa nachádzajú ostrovčekovito rozmiestnené v niektorých lokalách Žitného ostrova, kde boli odoberané vzorky pôdy a vzorky mineralizovaných podzemných vôd . Následne bola vykonaná ich analýza na zistenie celkového množstva rozpustených látok (TDS), elektrickej vodivosti (EC), pH, katiónovej výmennej kapacity (CEC), vzájomného zastúpenia jednotlivých iónov - sodíkového adsorpčného pomeru (SAR), obsahu výmenného Na v sorpčnom komplexe pôdy (ESP).

Tabuľka 1. Vzťah medzi konduktivitou (mS.cm^{-1}) a stupňom salinity
Table 1. Relation between conductivity and salinty degree

	stupeň salinity				
	nezasolené	mierne zasolené	modálne zasolené	silne zasolené	veľmi silne zasolené
hrubý až hlinitý piesok	0-1,1	1,2-2,4	2,5-4,4	4,5-8,9	>9,0
hlinitý piesok až hlina	0-1,2	1,3-2,4	2,5-4,7	4,8-9,4	>9,5
piesočnato hlinitá až ílovitohlinitá	0-1,3	1,4-2,5	2,6-5,0	5,1-10,0	>10,1
ílovitohlinitá až hinitá	0-1,4	1,5-2,8	2,9-5,7	5,8-11,4	>11,5

Tabuľka 2. Základné charakteristiky chemického zloženia podzemných vôd
Table 2. Basic characteristic grounwater chemical composition

	Základné charakteristiky chemic. zloženia podzemných vôd záujmového územia (n=128)				
	Stredná hodnota	Medián	Štandard. odchýlka	Min.	Max.
pH	7,32	7,30	0,40	5,76	9,89
TDS (mg.l^{2})	643,0	641,5	265,1	49,2	1935,8
Ca+Mg (mmol.l^{-1})	3,561	3,536	1,721	0,120	13,021
Conductivity(μS.cm^{-1})	688,1	686,5	289,6	54,5	2200,0
voľný CO_2 (mmol.l^{-1})	0,77	0,65	0,69	0,12	11,5
Na (mg.l^{-1})	21,06	15,20	23,11	1,10	260,00
K (mg.l^{-1})	5,53	2,10	11,31	0,05	114,00
NH_4 (mg.l^{-1})	0,068	0,025	0,300	0,025	6,900
Ca (mg.l^{-1})	91,93	89,78	44,49	2,40	352,70
Mg (mg.l^{-1})	30,81	28,58	18,82	0,50	114,55
Fe (mg.l^{-1})	0,075	0,005	0,345	0.005	6,547
Mn (mg.l^{-1})	0,069	0,007	0,195	0,003	2,931
Cl (mg.l^{-1})	22,69	17,37	18,52	1,06	89,00
SO_4 (mg.l^{-1})	70,70	42,88	91,87	0,30	1019,00
NO_3 (mg.l^{-1})	14,88	13,25	12,79	0,25	39,90
PO_4 (mg.l^{-1})	0,184	0,020	0,501	0,005	7,600
HCO_3 (mg.l^{-1})	353,32	374,96	151,18	3,05	937,85
Zn (mg.l^{-1})	0,2983	0,0460	0,9626	0,0005	14,4200
Pb (mg.l^{-1})	0,0018	0,0005	0,0080	0,0005	0,2250
Cd (mg.l^{-1})	0,0004	0,0003	0,0030	0,0030	0,0960

Tabuľka 3. Vývoj zasoľovania (salinizácie) a slancovania (alkalizácie) v pôdnom profile v monitorovaných lokalitách 1 – 5 (1 – Veľké Kosihy, 2 – Okoličná, 3 – Čalovec, 4 – Zlatná na Ostrove, 5 – Kameničná) v sledovanom období 1989 - 2006

Table 3. Evolution of salinization and alkalization in the soil profile in monitored sites 1 – 5 (1 – Veľké Kosihy, 2 – Okoličná, 3 – Čalovec, 4 – Zlatná na Ostrove, 5 – Kameničná) in the time period 1989 - 2006

lok.	hĺbka (cm)	odparok (%)	EC (mS.m-1)	pH/H2O	ESP (%)
		1989 1999 2006	1989 1999 2006	1989 1999 2006	1989 1999 2006
1	0 - 10	0,03 0,07 0,12	49 72 96	7,6 7,2 7,3	1,8 2,1 2,6
	10 - 30	0,08 0,09 0,09	67 60 69	7,8 7,5 7,3	2,5 2,7 3,5
	30 - 50	0,10 0,10 0,13	95 115 128	7,9 7,6 8,1	6,8 7,6 8,5
	50 - 100	0,12 0,15 0,21	213 250 305	7,8 8,0 8,1	7,9 8,2 9,1
2	0 - 10	0,10 0,08 0,15	36 68 95	7,2 7,3 7,2	1,4 1,8 1,9
	10 - 30	0,12 0,06 0,18	59 71 90	7,5 7,6 7,4	3,1 2,4 2,9
	30 - 50	0,15 0,11 0,19	61 108 113	7,4 8,0 7,9	2,7 2,9 8,6
	50 - 100	0,19 0,13 0,22	207 210 215	7,9 8,1 8,2	8,4 8,2 9,7
3	0 - 10	0,06 0,04 0,14	40 56 76	7, 1 7,1 7,2	2,6 1,9 1,9
	10 - 30	0,08 0,11 0,17	48 62 70	7,2 7,3 7,4	3,7 3,9 4,2
	30 - 50	0,04 0,06 0,12	75 90 99	7,3 7,4 7,5	5,8 6,2 7,5
	50 - 100	0,05 0,10 0,16	155 180 199	7,5 7,6 7,7	8,3 8,7 9,1
4	0 - 10	0,04 0,11 0,11	51 30 67	7,5 7,3 7,6	1,2 1,1 0,9
	10 - 30	0,05 0,10 0,14	55 40 58	7,2 7,6 7,5	2,8 1,7 1,1
	30 - 50	0,04 0,03 0,10	119 83 115	7,8 8,0 7,5	9,6 7,3 8,2
	50 - 100	0,10 0,16 0,21	242 207 291	8,1 8,1 8,6	9,7 10,1 11,5
5	0 - 10	0,07 0,09 0,11	30 40 50	7,2 7,2 7,4	0,8 1,2 1,4
	10 - 30	0,13 0,14 0,15	57 49 80	7,1 7,3 7,5	1,0 2,5 3,9
	30 - 50	0,09 0,10 0,09	91 56 85	7,2 7,4 7,6	2,7 3,9 4,7
	50 - 100	0,11 0,12 0,16	120 126 170	7,8 7,5 7,9	5,6 8,8 9,5

Vznik a vývoj soľných pôd neprebieha náhle, prechádza pomalým vývojom od začiatočných štádií, cez stredné stupne, až po ich plné rozvinutie. Intenzitu tohto vývoja možno sledovať predovšetkým v prvých štádiách, keď obsah solí a výmenného sodíka je ešte nízky a ich nárast je preukaznejší ako v stredných a v rozvinutých štádiách. V oblasti Podunajskej nížiny mierne vzostupný trend hladín podzemnej vody a jej mineralizácie vytvárajú reálny predpoklad postupného rozvoja soľných pôd, najmä v prvých vývojových štádiách. Sem patria sledované lokality 1-5 (obr. 2). Vo vybraných lokalitách obsah solí a výmenného sodíka je na hranici limitných a mierne nadlimitných hodnôt a ich odrazom sú slabo a stredne slancované a slaniskované pôdy. Výsledky monitorovania vývoja soľných pôd v sledovanom období 1989-2006, uvedené v tab. 3 potvrdzujú už spomenutý poznatok, že jednotlivé skupiny sodných solí (neutrálne a alkalické), a tým aj procesy formovania soľných pôd (salinizácia a alkalizácia) sa v prirodzených podmienkach prevažne nevyskytujú samostatne. Z údajov vyplýva, že vo všetkých monitorovaných pôdach prebieha jednak proces salinizácie, indikovaný nadlimitnými hodnotami odparku a EC, jednak proces alkalizácie indikovaný nadlimitnými hodnotami ESP a pH. V lokalitách, kde ESP dosahuje hodnoty 5-20 % je slancovanie dominantným procesom.

1. Vývoj salinizácie – zasoľovania pôd

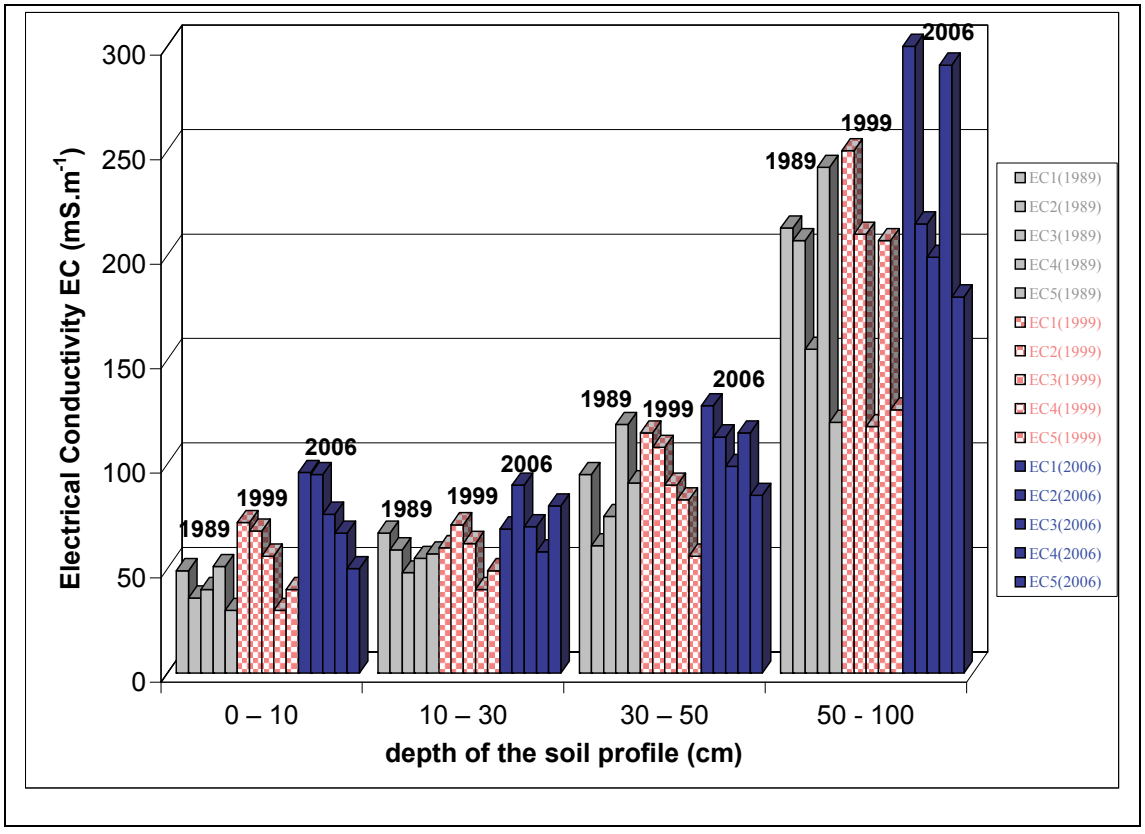
Nadlimitné hodnoty odparku vodného výluhu pôdy a elektrickej vodivosti nasýteného extraktu pôdy (EC) v tab. 3 potvrdzujú, že akumulácia sodných solí v pôdnom profile prebieha vo všetkých monitorovaných pôdach. Váha odparku za celé sledované obdobie kolíše v intervale 0,01-0,22 % a elektrická vodivost (EC) v spodných horizontoch v intervale 200-400 $mS.m^{-1}$. To sú hodnoty, ktoré indikujú začiatočné štádium zasoľovania. Z údajov tab.5 ďalej vyplýva, že zvýšený obsah solí sa vyskytuje v spodných – substrátových horizontoch, To svedčí o tom, že zasoľovanie prebieha postup-

ne od spodných horizontov k povrchu pôdy. Príkladom tohoto vývoja sú profily lokalít Veľké Kosihy, Okoličná, Zlatná na Ostrove (lok. 1, 2, 4), v ktorých proces salinizácie prebehol za sledované obdobie od substrátových horizontov až k povrchu pôdy.

2. Vývoj alkalizácie – slancovania pôd

Prítomnosť procesu slancovania v monitorovaných pôdach potvrdzujú nadlimitné hodnoty výmenného sodíka (ESP) 5 % a viac, ako aj alkalická pôdna reakcia pH 8 a vyššia. Za hodnotené obdobie sme uvedené hodnoty zaznamenali v spodných horizontoch vo všetkých monitorovaných lokalitách. V pôdach v lokalite Zlatná na Ostrove (lok.4) sa obsah výmenného sodíka (ESP) za celé hodnotené obdobie pohybuje okolo 10 %, v roku 2006 ESP dosahuje > 11 %, čo indikuje prítomnosť slancovania. Súčasne sa tým potvrdzuje stabilná intenzita tohto procesu, ktorá tu neprekračuje prvý vývojový stupeň.

V podzemnej vode na základe kritérii, ktoré charakterizujú mieru nebezpečenstva salinizácie pôdy vplyvom podzemnej vody (EC a SAR) bola podľa hodnoty EC na lokalite Veľké Kosihy zistená miera nebezpečenstva salinizácie vysoká (75 <EC< 225 mS.m-1) a podľa hodnoty SAR je vysoké až veľmi vysoké ohrozenie sodíkom (18 <SAR< 38). Na lokalite Čalovec je vysoká až veľmi vysoká miera nebezpečia salinizácie (75 <EC< 300 mS.m-1) a stredné ohrozenie sokíkom (10 <SAR< 18). Hodnoty väčšiny sledovaných parametrov v podzemnej vode mali rastúcu tendenciu, na základe čoho možno konštatovať, že riziko salinizácie pôd pod vplyvom mineralizovanej podzemnej vody sa a obidvoch lokalitách zvyšuje. Na území približne ohraničenom V. Kosihy – Okoličná – Čalovec – rieka Váh – rieka Dunaj sa hazard sodicity zvyšuje na stredný (SAR od 10 do 18) až na hranicu vysokého (SAR=18), ktorý sa nachádza približne v oblasti ohraničenej spojnicou Zlatná na Ostrove, Okoličná, Čalovec (Burger-Čelková 2009).



Obr. 3. Elektrická vodivosť v pôdnom profile v najviac zasolených lokalitách : 1 – Veľké Kosihy (EC1), 2 – Okoličná (EC2), 3 – Čalovec (EC3), 4 – Zlatná na Ostrove (EC4), 5 – Kameničná (EC5) v období 1989 – 2006.
Fig. 3. Electrical conductivity in the soil profile in localities : 1 – Veľké Kosihy (EC1), 2 – Okoličná (EC2), 3 – Čalovec (EC3), 4 – Zlatná na Ostrove (EC4), 5 – Kameničná (EC5) in 1989 – 2006 time period.

Záver

Mierne vzostupný trend hladín podzemnej vody a jej mineralizácie vytvárajú reálny predpoklad postupného rozvoja soľných pôd, najmä v prvých vývojových štádiách. Sem patria sledované lokality 1-5 (obr. 1, 2). Vo vybraných lokalitách obsah solí a výmenného sodíka je na hranici limitných a mierne nadlimitných hodnôt a ich odrazom sú slabo a stredne slancované a slaniskované pôdy. Výsledky monitorovania vývoja soľných pôd v sledovanom období 1989-2006, uvedené v tab. 3 potvrdzujú už spomenutý poznatok, že jednotlivé skupiny sodných solí (neutrálne a alkalické), a tým aj procesy formovania soľných pôd (salinizácia a alkalizácia) sa v prirodzených podmienkach prevažne nevyskytujú samostatne. Z údajov vyplýva, že vo všetkých monitorovaných pôdach prebieha jednak proces salinizácie, indikovaný nadlimitnými hodnotami odparku a EC, jednak proces alkalizácie indikovaný nadlimitnými hodnotami ESP a pH. V lokalitách, kde ESP dosahuje hodnoty 5-20 % je slancovanie dominantným procesom.

Vývoj salinizácie – zasoľovania pôd
Nadlimitné hodnoty odparku vodného výluhu pôdy a elektrickej vodivosti nasýteného extraktu pôdy (EC) v tab. 3,5 potvrdzujú, že akumulácia sodných solí v pôdnom profile prebieha vo všetkých monitorovaných pôdach. Váha odparku za celé sledované obdobie kolíše v intervale 0,01-0,22 % a elektrická vodivost (EC) v spodných horizontoch v intervale 200-400 $mS.m^{-1}$. To sú hodnoty, ktoré indikujú začiatočné štádium zasoľovania. Z údajov ďalej vyplýva, že zvýšený obsah solí sa vyskytuje v spodných – substrátových horizontoch, To svedčí o tom, že zasoľovanie prebieha postupne od spodných horizontov k povrchu pôdy. Príkladom tohoto vývoja sú profily lokalít Veľké Kosihy, Okoličná, Zlatná na Ostrove (lok. 1, 2, 4), v ktorých proces salinizácie prebehol za sledované obdobie od substrátových horizontov až k povrchu pôdy.

Vývoj alkalizácie – slancovania pôd
Prítomnosť procesu slancovania v monitorovaných pôdach potvrdzujú nadlimitné hodnoty výmenného sodíka (ESP) 5 % a viac, ako aj alkalická pôdna reakcia pH 8 a vyššia. Za hodnotené obdobie sme uvedené hodnoty zaznamenali v spodných horizontoch vo všetkých monitorovaných lokalitách. V pôdach v lokalite Zlatná na Ostrove (lok.4) sa obsah výmenného sodíka (ESP) za celé hodnotené obdobie pohybuje okolo 10 %, v roku 2006 ESP dosahuje > 11 %, čo indikuje prítomnosť slancovania. Súčasne sa tým potvrdzuje stabilná intenzita tohto procesu, ktorá tu neprekračuje prvý vývojový stupeň.
Možno konštatovať, že z výsledkov monitoringu kvalitatívnych ukazovateľov podzemnej vody v období 1989 – 2006 vo vybraných lokalitách vyplýva, že v priebehu sledovaného obdobia došlo k zhoršeniu jej kvality, čo sa týka zasoľujúcich iónov. Koncentrácie väčšiny sledovaných ukazovateľov v období 1989 – 2006 majú vzostupný trend, rovnako aj hodnoty EC a SAR.
Zhodnotenie výsledkov monitorovania vývoja soľných pôd potvrdzuje súčasnú prítomnosť procesov slaniskovania i slancovania, pričom proces slancovania je výraznejší v lokalite 4 – Zlatná na Ostrove. Údaje indikujúce prítomnosť uvedených procesov (odparok, EC a ESP), ich výskyt v pôdnom profile a priebeh v sledovanom období 1989-2006 nám dovoľujú konštatovať, že slaniskovanie a slancovanie pôdneho profilu sa rozvíja od spodných – substrátových horizontov cez podpovrchové horizonty až k povrchu pôdy. Namerané hodnoty EC, ESP a pH v jednotlivých lokalitách v sledovanom období potvrdzujú značnú priestorovú variabilitu týchto procesov.

Poďakovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia projektu VEGA 2/0058/15 a 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.

Literatúra

Barzegar, R.A., Oades, J.M., Rengasamy, P., Giles, L. (1994): Effect of sodicity and salinity on disaggregation and tensile strength of an Alfisol under different cropping system. Soil and Tillage Res., 32, 329-345.

Burger, F. (2007): Modelling and numerical simulation of groundwater flow in the reparian alluial aquifer. J. Hydrol. and Hydromech., 55, (3), Institute of Hydrology SAS, Bratislava, 168-184.

Burger, F., Čelková, A. (2004) : Interaction between surface stream irrigation water and soil from point of view of salinity and sodicity. Acta Hydrologica Slovaca, 5, (1), Institute of Hydrology SAS, Bratislava, 112-121.

Burger, F., Čelková, A. (2007): Origin and mechanisms of the Danube Lowland saline soils and factors underline their formation.. Acta Hydrologica Slovaca, 8, (2), Institute of Hydrology SAS, Bratislava, 254-271.

Burger, F., Čelková, A. (2009): Salinization and contamination of the subsurface enviroment. Monograph Institute of Hydrology Slovak Academy of Sciences, ISBN 978-80-89139-17-0, 327 s.

Curtin, D., Steppuhn, H., Mermut, A.R., Selles, F. (1995): Sodicity in irrigated soils: Chemistry and structural stability. Can. J. Soil Sci. 75, 177-185.

Curtin, D., Steppuhn, H., Selles, F. (1994a) : Clay dispersion in relation to sodicity, electrolyte concentration and mechanical effects. Soil Sci.Soc. Am. J. 58, 955-962.

Curtin, D., Steppuhn, H., Selles, F. (1994b): Structural stability of Chernozemic soils as affected by exchangeable sodium and electrolyte concentration. Can.J. Soil Sci. 74, 157-164.

Čelková, A. (2008): Groundwater quality analysis after underground sealing wall realization in the Danube River catchment between Komárno and Štúrovo.

Acta Hydrologica Slovaca, 9, (1), Institute of Hydrology SAS, Bratislava, 3-13.
Červenka, L. (1970): Influence of the groundwater on constitution saline soils in Slovakia. SAV Bratislava, 236 p.
Čurlík, J., Šefčík, P. (1999): Geochemical atlas of the Slovak republic: Part V – Soils, Soil Sci. and Conservation Research Institute, Bratislava.
Dulovičová, R., Velísková, Y. (2007): Change of Žitný Ostrov channel network aggradation state. J. Hydrol. and Hydromech., 55, (3), Institute of Hydrology SAS, Bratislava, 185-198.
Feitz, J. A., Lundie, S. (2002): Soil Salinization: A Local Life Cycle Assessment Impact Category, J.of LCA, 7 (4), 244-249.
Granec, M., Šurina, B. (1999): Atlas of soils SR. VÚPOP Bratislava, 60p.
Hanes, J. (1999): Analysis of sorption attributes of soils. VÚPOP Bratislava, 138p.
Kaledhonkar, M.J., Tyagi, N.K., van der Zee (2001): Solute transport modelling in soil for irrigation field experiments with alkali water. Agricultural Water Management, 51, (2), 153-171.
Kováčová, V. (2009a): The analysis of salinization and alkalization of the soil profile on the South part of Danube Lowland.. Acta Hydrologica Slovaca, 10 (1) ISSN 1335-6291, pp. 44-54.
Kováčová, V. (2009b): Variability of exchangeable ions in unsaturated zone. Collect. from international Scientif. Conf. Hydrogeochemistry 09 – Aktual trends in hydrogeochemistry. Slovak Association of hydrogeologists, ISSN 978-80-969342-5-6, pp. 160-171.
Levy, G.J., Mamedov, A.I., Goldstein, D. (2003): Sodicity and water quality effects on slaking og aggregates from semi-arid soils. Soil Science, 168, (8), 552-562.
Nativ, R., Adar, E., Dahan, O., Nissim, I. (1997): Water salinization in arid regions. J. of Hydrology, 196, 271-296.
Pekárová, P., Onderka, M., Pekár, J., Rončák, P., Miklánek, P. (2009): Prediction fo water quality in the Danube River under extreme hydrological and temperature conditions. J. Hydrol. Hydromech., 57, (1), Institute of Hydrology SAS, Bratislava, 3-15. PITTER, P., 1981 : Hydrochemistry. SNTL, Prague, 373 pp.
Rapant, S., Vrana, K., Bodiš, D. (1999): Geochemical atlas of Slovakia: Part I – Groundwater, Geological Survey of Slovak republic, Bratislava.
Recommended Chemical Soil Test Procedures (1998): North Central Regional Research Publication No.221, U.S. Department of Agriculture cooperating.
Richter, B.C., Kreitler, Ch.W. (1993): Geochemical Techniques for Identifying Sources of Ground-Water Salinization. EPA, USA, 225 p.
Suarez, D.L. (1981): Relation between pH c and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage waters. Soil Sci Soc Am J 45, p.469
Šútor, J., Štekauerová, V. (2000): Hydrophysical characteristic of soils at Źitný Ostrov. Monograph Institute of Hydrology Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia.
U.S Salinity Laboratory Staff (1954): Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. U.S. Goverment Printing Office. Washington, USD Handbook 60, 160 pp.
Yong, R.N., Mohamed, A.M.O., Warkentin, B.P. (1992): Principles of Contaminant Transport in Soils. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 327p.

HYDROECOLOGICAL ASPECTS OF INFLUENCING OF HIGH-MINERALISED GROUNDWATER

The salt-affected soils occur in the south-east part of Danube Lowland. The dry and warm summer climate, evaporation soil water regime and mineralized groundwater create convenient conditions for development and spreading of the saline and alkaline soils. These soils are developing slowly from the initial stages to the well developed ones. As a consequence of this long lasting process the slightly and middle saline and alkaline soils as well as typical solonchaks and solonetzes occur in monitored area. The content of ions in the soil profile and in the ground water is submitted to a considerable dynamism influenced by the climatic conditions. In arid periods on many places we find salt efflorescences on the soil surface. In the Danube Lowland the ground waters are of bicarbonate up to bicarbonate-sulphate, eventually of sulphate-bicarbonate types. But in some localities sodium is prevailing in the ground water and the salts of sodium are translocated from the different ground water layers to the higher horizonts of the soil profile. This soils have very undesirable hydrophysical, chemical and biological properties.

In arid and semi-arid regions irrigation water or ground water influences the salt concentration and sodicity of soil solution affecting the dynamics of soil structure. In the south-east part of Danube Lowland sodic soils occures as result of saline irrigation or ground water fluctuations and have degraded structure limiting water and gas transport and root growth. Aggregation is severely reduced either by dispersion or slaking which occurs during wetting. Both phenomena lead to crusting and hard-setting of soil which inkrease soil strength and reduce infiltration rate and aeration.

The network of monitoring sites respect mentioned fact, that the salt-affected soil are placed in the locality Veľký Meder – Kolárovo – Komárno (Fig. 2). The presented analytical data recorded in year 1989 – 2006 support the contemporary processes salinization and alkalization in the monitored soils (Tab.1,2 ; Fig. 4). However the alkalization is more marked and dominant in all soils. The mentioned analytical data allow us to state that salinization and alkalization of soils start from

the bottom of unsaturated zone through middle part up to the top horizonts. This soils are in slight and middle stages of development.

Relatively noticeable differences in data of the evaporative residues (salt content), EC, ESP and pH in individual years, mainly on the solonchak and solonetz sites support considerable variability in the intensity of saline and alkaline processes within the very small areas. Generally, the development of the monitored salt-affected soils did not change markedily in the observed period. A disting change of an intensity of saline and alkaline processes was not confirmed.

Viera Kováčová, Ing.
Ústav hydrológie Slovenskej akadémie vied
Račianska 75
Bratislava
Tel.: 421(02)-49 268 263
E-mail: kovacova@uh.savba.sk