VHODNOSŤ ZDROJOV VODY PRE ZÁVLAHY A UMELÚ INFILTRÁCIU V OBDOBÍ SUCHA Z HĽADISKA SALINITY V JUHOVÝCHODNEJ ČASTI PODUNAJSKEJ ROVINY

František Burger, Anežka Čelková

Vhodnosť vody na závlahy, ale aj na umelú infiltráciu v období sucha, závisí od toho, ako sa dá voda využiť za špecifických podmienok. Tieto zahŕňajú toleranciu plodín na soli, rôzne fyzikálne a chemické vlastnosti pôdy, manažment závlahových a infiltračných spôsobov a klimatické podmienky územia. Kritériá pre hodnotenie vlasností vody musia obsahovať všetky uvedené faktory. Problém je tak komplexný a komplikovaný, že doposiaľ nebola vyvinutá žiadna univerzálna a všeobecná platná schéma klasifikácie kvality závlahovej vody.

Potenciálna možnosť sekundárnej salinizácie pôdy si nevyhnutne vyžaduje posúdiť kvalitu zdrojov vody. Charakteristiky salinity a sodicity (elektrická vodivosť EC a sodíkový adsorpčný pomer SAR) vody v otvorených tokoch juhovýchodnej časti Podunajskej roviny mali v oblasti východnej časti Žitného ostrova a ľavej strany dolného Váhu za monitorované obdobie rokov 1989 – 1999, stúpajúci trend. Ide o vody stredne až vysoko salinizované so stredným až vysokým rizikom salinizácie a podľa hodnôt SAR ide o vody nízko sodíkové s nízkym rizikom sodíkového ohrozenia pôdy vplyvom závlahovej vody. Vzhľadom na prognózovaný nástup suchých vegetačných období je najpravdepodobnejšie využívanie vody na závlahy a umelú infiltráciu prevažne z veľkých riek Dunaja a Váhu. Súčasná kvalita vody dolného Váhu a Dunaja (profil: Dunaj-Komárno a Váh-Komárno), je z hľadiska salinity a sodicity vyhovujúca a je vhodná na závlahy aj umelú infiltráciu. Prezentovaná je distribúcia charakteristík salinity a sodicity podzemnej vody pri procesoch fluktuácie hladiny plytkej mineralizovanej podzemnej vody, resp. pri režimových procesoch v prípade využívania takejto podzemnej vody. Problematika bola riešená pre podpovrchový environment juhovýchodnej časti Podunajskej roviny za časové obdobie rokov 1991 až 1994. Namerané údaje a prevzaté dáta z archívnych zdrojov boli spracované do grafických príloh - mapiek, interpolačnou metódou krigingu. Podzemné vody na záujmovom území patria do skupiny vysoko mineralizovaných vôvysokou mierou nebezpečia salinizácie. Hodnoty SAR poukazujú na lokálne nízke, stredné až vysoké riziko sodíkového zasolenia environmentu vplyvom podzemných vôd.

Kľúčové slová: podzemná voda, povrchová voda, elektrická vodivosť, sodíkový adsorpčný pomer, hazard salinity, hazard sodicity, Podunajská rovina

Water resources availability for irrigation and artificial infiltration in drought season in term of salinity in the south-east of Danube Lowlands. *The suitability of water depends on how it can be used under specific conditions. These conditions include the tolerance of crops to salts, various physical and chemical properties of soil, management of irrigation methods, and climatic conditions in the given region. The criteria for the evaluation of water properties for irrigation must include all the aforementioned factors. The problem is so complex and complicated that so far no universal and generally valid scheme for the classification of irrigation water quality has been developed.*

The results of a distribution of groundwater salinity characteristics (electrical conductivity – EC and sodium adsorption ratio – SAR) are presented, and based on the results, it reports on the evaluation of the salinity and sodicity hazard in the fluctuation processes of the shallow mineralized groundwater level, or in regime processes if such groundwater is utilized for irrigation. The area studied was the soil-water environment in the south-east of the Danube Lowlands for the period from 1991 to 1994. The distribution of EC and SAR on the regional scale may serve as a reference basis for the evaluation of changes in the groundwater salinity after 1994. The measured data and data taken from archives were processed in the form of graphical attachments – maps, by means of the kriging interpolation method. Groundwater in the area in question are classified as highly mineralized waters with a large degree of danger of salinization of the subsurface environment. The shortage of water resources of good quality is becoming an important issue in the Danube Valley. For this reason the availability of water resources of marginal quality has become an important consideration. Nevertheless, the use of these waters in irrigated lands requires the control of soil salinity by means of leaching and drainage of excess water and salt. The irrigation return flows with water or poor quality are a source of pollution of the surface water bodies situated downstream of the drainage outlet. Deep percolation could also contaminate the groundwater. Therefore, irrigation with saline water requires a comprehensive analysis even beyond the area where water is applied. The problem should be treated beyond the scope of the irrigation scheme, taking into consideration the groundwater and downstream surface water resources of the river basin. This paper describes a preliminary evaluation of the suitability of chanel´s water for irrigation. The final goal is to obtain sustainable agriculture and maintain the quality of the water resources in the river basin. Surface water quality in the

territory in question was assesed from aspect of salinity (electrical conductivity – EC) and sodicity (sodium adsorption ratio – SAR) in the period from 1989 to 1999. Based on the acquired data we may gather that the chemism of the monitored surface waters (Dunaj and Váh river) shows a slightly alkaline reaction. They are classified as medium mineralized and low sodium irrigation waters with a medium degree of salinization danger and low sodium hazard of subsurface environment.

Key word: groundwater, surface water, electrical conductivity, sodium adsorption ratio, salinity hazard, sodicity hazard, Danube Lowlands

---

ÚVOD

Na základe zhodnotenia možných dôsledkov klimatických zmien na vodné hospodárstvo, na Slovensku sa ukazuje potreba nového prehodnotenia programu rozvoja závlah i hydromeliorácií ako celku. Okrem kvantitatívnej stránky manažnentu závlahovej vody nemenej dôležitá je jeho kvalitatívna stránka. Vhodnosť vody na závlahy, ale aj na umelú infiltráciu v období sucha závisí od toho, ako sa dá voda využiť za špecifických podmienok. Tieto zahŕňajú toleranciu plodín na soli, rôzne fyzikálne a chemické vlastnosti pôdy, manažment závlahových a infiltračných spôsobov a klimatické podmienky územia. Kvalita vody je významná pre každé posúdenie podmienok salinity a sodicity na zavlažovanom území. Klasifikačné schémy závlahovej vody, zamerané na definíciu nebezpečenstva salinizácie a alkalizácie pôdy pre danú vodu boli navrhnuté viacerými autormi (Ayers, Westcot, 1985; Carter, 1969; Shalhevet, Kamburov, 1976) a sú založené na širokej generalizácii, vrátane plodín, klímy, manažmentu závlah, vlastností pôdy, atď.

Potenciálna možnosť sekundárnej salinizácie pôdy si nevyhnutne vyžaduje posúdiť kvalitu zdrojov závlahovej vody. Kvalita vody sa hodnotí podľa viacerých kritérií, v ktorých sa prihliada na jej chemické zloženie, fyzikálne a biologické vlastnosti, najmä z hľadiska jej pôsobenia na vývin a rast plodín a vplyvu zavlažovania na pôdu.
Najvýznamnejšie charakteristiky vody určujúce jej kvalitu z aspektu salinity a sodicity sú:

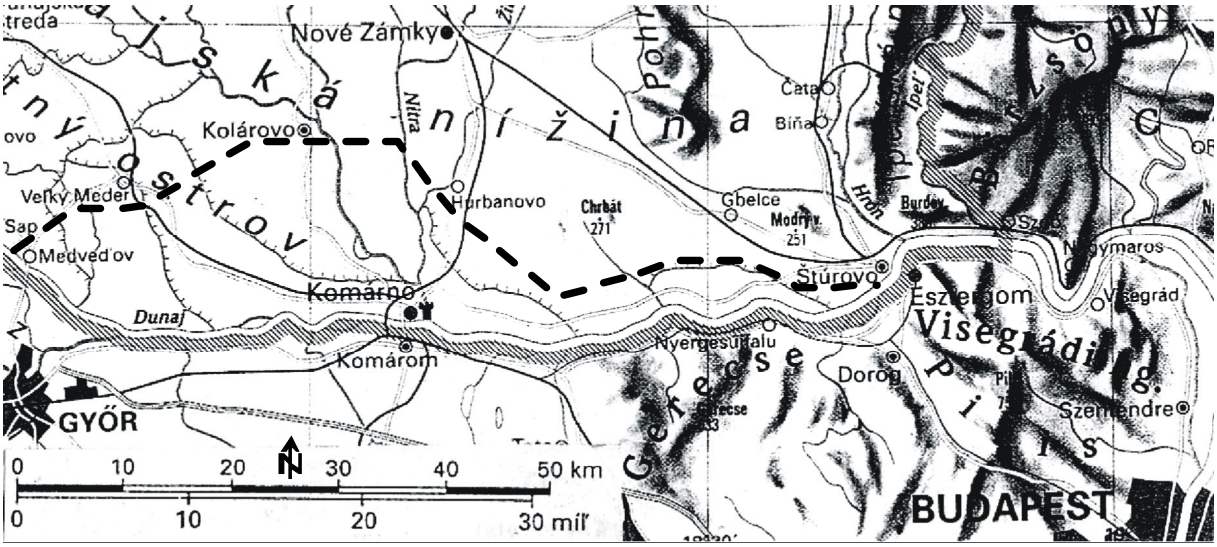
- celková koncentrácia rozpustených solí,vyjadrená vyjadrená elektrickou vodivosťou (EC), ktorá je vyjadrená v jednotkách deci Siemens na meter ($dS.m^{-1}$ alebo $\mu S.cm^{-1}$).
- relatívny pomer sodíka k ostatným katiónom vyjadrený sodíkovým adsorpčným pomerom (sodium adsorption ratio) SAR,
- nadmerná koncentrácia bóru a ďalších prvkov, ktoré majú toxické účinky,
- pri určitých podmienkach koncentrácia hydrogénuhličitanov, vzťahujúca sa ku koncentrácii vápnika a horčíka.

Pokiaľ ide o elektrickú vodivosť sú vody podľa Richardsa (1954) rozdelené do štyroch tried C1 – C4. Deliace hodnoty medzi triedami sú 0,25; 0,75 a 2,25 $dS.m^{-1}$. Tieto limity boli určené na základe vzťahu medzi elektrickou vodivosťou závlahovej vody a elektrickou vodivosťou nasýteného extraktu pôdy.
Slabo salinizovaná voda (C1) – ($EC < 0,25\ dS.m^{-1}$), môže sa používať u väčšiny plodín a pôd s malou pravdepodobnosťou, že dôjde k ich salinizácii.
Stredne salinizovaná voda (C2) - ($0,25 < EC < 0,75\ dS.m^{-1}$), môže sa používať, ak je pôda premývaná stredným množstvom vody. Plodiny so strednou toleranciou na soli môžu rásť vo väčšine prípadoch bez špeciálnych metód na kontrolu salinity.
Vysoko salinizovaná voda (C3) - ($0,75 < EC < 2,25\ dS.m^{-1}$), nemôže sa používať na pôdach s obmedzenou drenážou. Dokonca s primeranou drenážou je vyžadovaný špeciálny manažment na kontrolu salinity a voľbu plodín s dobrou odolnosťou na soli.
Veľmi vysoko salinizovaná voda (C4) – ($EC > 2,25\ dS.m^{-1}$), nie je vhodná na aplikáciu pri bežných podmienkach, ale môže byť použitá za veľmi špeciálnych okolností. Pôdy musia byť priepustné, drenáž musí byť primeraná, voda musí byť aplikovaná v nabytočnom množstve, aby sa zabezpečilo vysoké premývanie pôdy a mohli by sa pestovať plodiny veľmi tolerantné na soli.

Klasifikácia vody s ohľadom na SAR je založená predovšetkým na vplyve výmenného sodíka na fyzikálne podmienky v pôde. Plodiny citlivé na sodík môžu byť poškodené v dôsledku akumulácie sodíka v rastlinných tkanivách.
Nízko-sodíková voda (S1) – (SAR = 0 – 10), môže byť použitá u väčšiny pôd s nízkym rizikom vzniku škodlivých úrovní výmenného sodíka. Avšak plodiny citlivé na sodík môžu akumulovať škodlivé koncentrácie sodíka.
Stredne-sodíková voda (S2) - (SAR = 10 – 18), predstavuje zjavný sodíkový hazard v pôdach s jemnou štruktúrou, ktoré majú vysokú katiónovo výmennú kapacitu, zvlášť pri podmienkach nízkeho premývania pôdy, pokiaľ v nej nie je prítomný sadrovec. Takáto voda môže byť použitá na hrubozrnných pôdach alebo organických pôdach s dobrou priepustnosťou.
Vysoko-sodíková voda (S3) - (SAR = 18 – 26), môže produkovať škodlivé množstvo výmenného sodíka a bude si vyžadovať špeciálny pôdny manažment - dobrú drenáž, vysoké premývanie a pridávanie organických látok.
Veľmi vysoko-sodíková voda (S4)- (SAR > 26), je nevhodná voda (Burger, F., Čelková, A. (2003).

Vymedzenie záujmového územia

Záujmové územie (obr.1) predstavuje juhovýchodnú časť Podunajskej roviny a je vcelku vymedzené pririečnou zónou prívodného a odpadového kanála stupňa Gabčíkovo spolu s územím, na ktorom je výskyt soľných pôd spravidla v komplexe s čiernicami a plytkou hladinou mineralizovanej podzemnej vody. Južnú hranicu tvorí rieka Dunaj (Červenka, 1970; Čelková, Burger, 1993; Fulajtár a kol.,1998; Čelková, 2002).



Obr. 1. Záujmové územie

Fig. 1. The area in question

Stupeň salinizácie a alkalizácie pôd

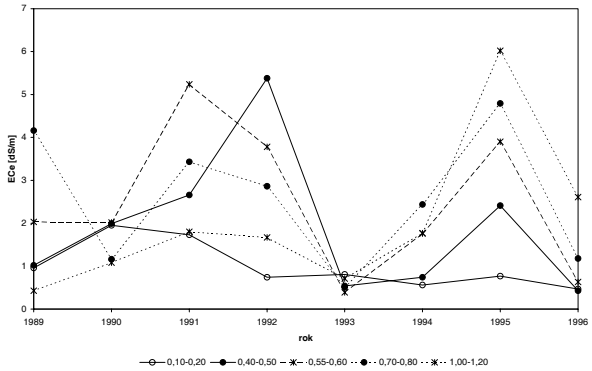
Je všeobecne známe, že väčšina zavlažovaných oblastí je vystavená riziku vzniku sekundárne zasolených, prípadne zamokrených pôd. Sekundárne zasolené a alkalické pôdy sú tie, ktoré vznikli v dôsledku antropogénneho vplyvu, predovšetkým zavlažovania, alebo zmenou režimu hladín podzemnej vody, ako dôsledok výstavby vodohospodárskych objektov.

Možné riziká sekundárneho zasoľovania v oblastiach sú determinované nasledovnými faktormi:
1. klimatické faktory ako teplota, zrážky, humidita, evapotranspirácia, ich kolísanie a dynamika,

2. geologické, geomorfologické, geochemické, hydrologické, hydrogeologické a hydrochemické faktory ako sú prirodzená drenáž, hĺbka a kolísanie hladiny vody, rýchlosť a smer prúdenia podzemnej vody, obsah solí a zloženie podzemnej vody,
3. pôdne faktory, ako je pôdny profil, textúra, štruktúra, nasýtená a nenasýtená hydraulická vodivosť, obsah vodorozpustných solí, zloženie solí, výmenné katióny pH,
4. využívanie krajiny, agrotechnika, plodiny, kultivačné metódy a pod.,
5. závlahová prax, hlavne množstvo závlahovej vody, frekvencia a intenzita zavlažovania, obsah solí a zloženie závlahovej vody, prirodzená a umelá drenáž.
Základné ciele prieskumu a štúdia potenciálnej salinizácie a alkalizácie pôd majú predpovedať brzdiace procesy a vypracovať metódy vhodné pre prevenciu možného sekundárneho zasolenia pôd.

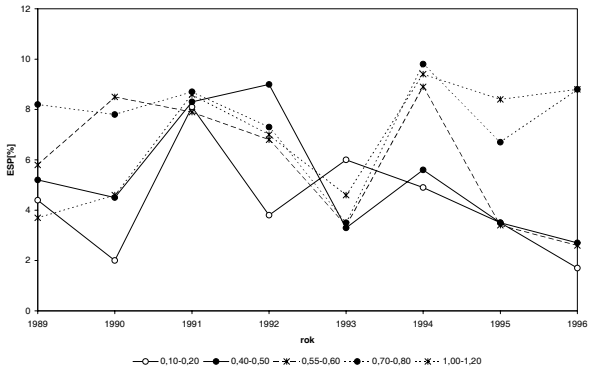
Výsledky monitoringu pôd, t.j. údaje analýz nasýteného extraktu pôdnej pasty a analýz vodného výluhu pôd potvrdzujú, že na záujmovej oblasti aj v súčasnosti prebieha formovanie soľných pôd, a to procesom salinizácie a alkalizácie. Hlavným kritériom salinizácie pôd je elektrická vodivosť nasýteného extraktu pôdnej pasty (EC_e). Za zasolené-slaniskové pôdy sa považujú tie pôdy, v ktorých EC_e prevyšuje hodnotu 4 $dS.m^{-1}$, alebo váha odparku vodného výluhu pôdy (pri 105°C) presahuje 0,3%. Slabé zasoľovanie však prebieha už pri hodnotách EC_e nad 2 $dS.m^{-1}$. Kritériom pre rozlíšenie začínajúceho procesu alkalizácie pôd je obsah výmenného sodíka (ESP) v pôdnom koloidnom komplexe nad 5%. Obsah výmenného sodíka v intervale 5-10% svedčí o slabej intenzite alkalizácie pôd, ktorej výsledkom sú slabo slancové pôdy.

Pre ilustráciu priebehy EC_e a ESP na lokalite čiernice černozemnej karbonátovej – Komárno v jednotlivých hĺbkach pôdneho profilu sú znázornené na obr. 2 a 3.



Obr. 2. Priebeh EC_e na lokalite čiernice černozemnej karbonátovej – Komárno v jednotlivých hĺbkach pôdneho profilu

Fig.2. Course of EC_e values in the locality of fluvi-haplic phaeozem carbonate - Komárno in the individual depth of soil profile



Obr. 3. Priebeh ESP na lokalite čiernice černozemnej karbonátovej – Komárno v jednotlivých hĺbkach pôdneho profilu

Fig.3. Course of ESP values in the locality of fluvi-haplic phaeozem carbonate - Komárno in the individual depth of soil profile

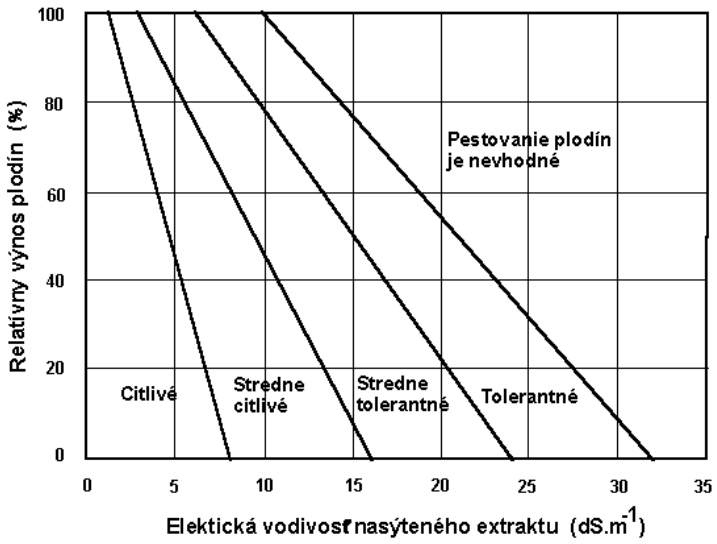
V suchých rokoch 1990-1993 je výskyt slancových pôd zaznamenaný vo väčšom rozsahu ako v rokoch vlhkejších (1994-1996), v ktorých dochádza k vymývaniu solí z povrchových do spodných vrstiev pôdneho profilu. Striedanie suchých a vlhkých rokov je preto v záujmovej oblasti hodnotené ako významný činiteľ rozširovania a formovania soľných pôd.

Výsledky monitoringu pôd t.j. analytické výsledky sledovania procesu salinizácie a alkalizácie pôd ukazujú, že hodnoty EC_e sa pohybujú prevažne v rozmedzí 2 - 4 $dS.m^{-1}$, ojedinele nad 4 $dS.m^{-1}$ a váha odparku vodného výluhu do 0,1%. Hodnoty ESP sa pohybujú v rozmedzí 5 – 10%. To svedčí o slabom, resp. počiatočnom štádiu salinizácie a slabej intenzite alkalizácie pôd. Značná variabilita hodnôt EC_e a ESP v jednotlivých rokoch poukazuje na ich závislosť od klimatických, predovšetkým

zrážkových podmienok (Fulajtár, 1991, 1997; Čelková, 1999).

Tolerancia plodín na soli

Antropogénna činnosť, ako sú napríklad závlahy pôd mineralizovanou vodou, alebo zvýšenie hladín mineralizovanej podzemnej vody ako dôsledok vodohospodárskych úprav krajiny, vytvára podmienky pre sekundárny vznik sol'ných pôd. Zhoršujúca sa kvalita podzemných vôd a vôd v kanálovej sieti z hľadiska salinity zvyšuje riziko salinizácie pôd.
Pri adaptácii rastlín na zasolenie má významnú úlohu typ zasolenia, ako aj skutočnosť, či rastliny boli vystavené náhlemu účinku vysokých koncentrácií solí, alebo sa zasolenie zvyšovalo postupne, s možnosťou adaptácie rastlín na zmenené podmienky. Citlivosť na zasolenie je zvlášť veľká v prvých fázach ontogenézy rastlín, pričom nadbytok solí ovplyvňuje rastové procesy i metabolizmus rastlín. Prítomnosť alebo akumulácia nadmerného množstva rozpustených solí v pôdnej koreňovej zóne a jeho negatívny vplyv na produktivitu plodín je všeobecný problém, zvlášť v suchých a polosuchých regiónoch. Hoci v niektorých prípadoch môže byť pôdna salinita účinne kontrolovaná aplikáciou vhodných schém vodného manažmentu, je ťažké zabrániť vysokej pôdnej salinite vzhľadom k nedostatku kvalitnej závlahovej vody. V takom prípade efektívny úžitok dostupnej pôdy a vodných zdrojov ovplyvňuje produkciu poľnohospodárskych (alebo iných) plodín, ktoré sú pomerne tolerantné na vysoké zasolenie pôd. Z toho dôvodu bolo na určenie tolerancie rôznych plodín na salinitu vykonaných množstvo poľných a laboratórnych experimentov. Výsledky týchto experimentov sú najlepšie analyzované z hľadiska príslušnej funkcie odražajúcej toleranciu na salinitu. Na ilustráciu bežného spôsobu vyjadrenia tolerancie sú na obr. 4 zobrazené pásma tolerancie plodín na salinitu.



Obr. 4. Rozdelenie pásiem pre klasifikáciu tolerancie plodín na salinitu (Maas, Hoffman, 1977)

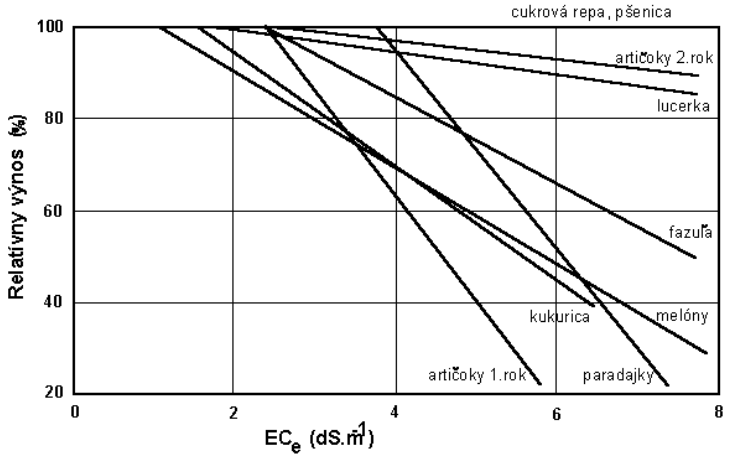
Fig.4. Dividing of fields for classification of crops salt tolerance. Relative yield vs.soil salinity (Maas, Hoffman, 1977)

Tolerancia na salinitu závisí tiež od typu, metódach a frekvencie zavlažovania. Akonáhle pôda vyschne, plodiny prekonajú šoky, ktoré tiež obmedzujú absorpciu vody. Bežne rozšírené údaje o tolerancii na salinitu sa aplikujú priamo na plodiny zavlažované metódami povrchového zavlažovania (brázdová a záplavová metóda) a tradičného závlahového manažmentu. Koncentrácie solí sa môžu líšiť niekoľkonásobne v rámci zavlažovaného pôdneho profilu a menia sa nepretržite. Plodina je najcitlivejšia na salinitu v tej časti koreňovej zóny, kde sa objaví najviac absorbovanej vody.

Klíma je hlavný faktor, ktorý ovplyvňuje toleranciu plodín na salinitu. Najviac plodín toleruje väčšie zaťaženie salinitou, ak je počasie studené a je vlhko, než keď je teplé a sucho. Výnos vplyvom salinity

klesá viac, ak je atmosferická vlhkosť nízka. Ozón znižuje výnos plodín viac v nezasolených ako v zasolených podmienkach, takže vplyv ozónu a vlhkosti zvyšuje toleranciu niektorých plodín na salinitu.

Vzťah medzi výnosom a salinitou sa približuje priamke, pre dôležitý rozsah výnosu klesá od 0,95 do 0,25. Na obr. 5 je vyjadrený vzťah medzi relatívnym výnosom a EC_e (elektrická vodivosť nasýteného extraktu pôdnej pasty) v $dS.m^{-1}$ pre určitý druh plodín sledovaných v poľných podmienkach. Hodnota EC_e reprezentuje priemernú hodnotu jarných a jesenných vzoriek odobraných z koreňovej zóny 0,0 m – 0,8 m. Pre mnoho plodín výnos začína klesať od hodnoty EC_e 2 $dS.m^{-1}$ a pri hodnote EC_e 4 $dS.m^{-1}$ vykazuje pokles až o 20 –25%.



Obr. 5. Vzťah medzi relatívnym výnosom plodín a salinitou pôdy vo vrstve od 0,0 m do 0,8 m (Unesco 1970 in Ritzema, (ed.) 1994)

Fig.5. Relation between relative yield and soil salinity in soil layer 0 – 0,8m (Unesco, 1970 in Ritzema, (ed.) 1994)

Rozširovanie soľných pôd na Podunajskej nížine má vytvorené všetky potenciálne podmienky. Patria k nim veľmi teplé a suché klimatické pomery, výparný typ vodného režimu pôd, vysoká potenciálna evapotranspirácia, nadmerná a stále sa zvyšujúca mineralizácia podzemných vôd s hladinou podzemnej vody plytko pod povrchom terénu, a vysoký obsah síranov a hydrogénuhličitanov v podzemnej vode. Pestujú sa tu prevažne odrody a sorty poľnohospodárskych plodín s pomerne nízkou odolnosťou na soli. Charakter chemického zloženia podzemných vôd, ako aj striedanie suchých a vlhkých klimatických periód, v ktorých dochádza k akumulácii a následne k infiltrácii solí do nižších vrstiev pôdneho profilu, vyvoláva relatívne nízku intenzitu vzniku a postupu tvorenia sa soľných pôd. Významnejšie rozšírenie týchto pôd je však aj napriek uvedenému reálne. Vyplýva z dvoch faktorov: z klimatických zmien smerom k semiarídnym podmienkam a z antropogénnej činnosti, ktorá značne ovplyvňuje hydrologické pomery územia.

ZDROJE VODY

Potenciálna možnosť sekundárnej salinizácie a alkalizácie pôdy si vyžaduje posúdiť kvalitu zdrojov vody z hľadiska salinity a sodicity, (vzhľadom na využívanie intenzívnych závlah alebo umelej infiltrácie), ktorými sú:

Povrchová voda

- ***Voda z otvorených tokov a kanálovej sieti***

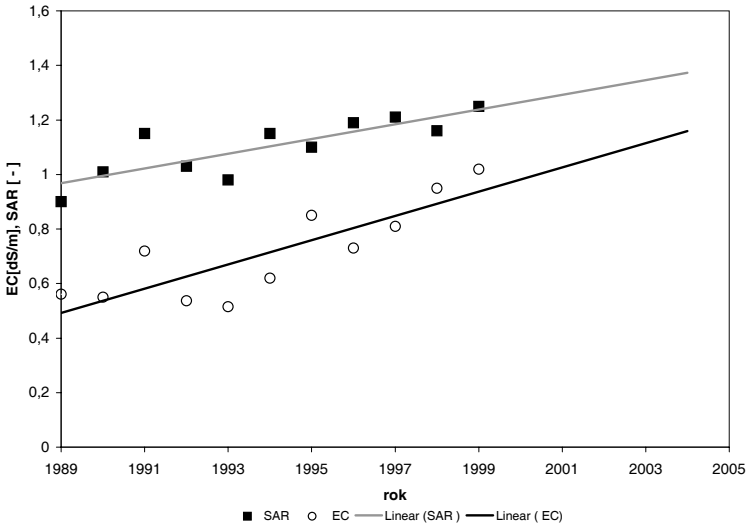
Účel sústavy kanálovej siete Podunajskej roviny úzko súvisí s odvodnením zamokrených pôd vo vlhkom jarnom období a za povodní, so závlahami v suchom vegetačnom období a s regulovaním režimu hladín podzemnej vody, celkovou potrebou závlahovej vody, prevodmi vody medzi jednotlivými oblasťami a s rozvojom a využitím vodných zdrojov podzemných vôd. Na koncepciu odvodnenia adekvátne nadväzuje koncepcia závlah, ktorá sa priamo vnucuje rentabilnosťou závlahového hospodárstva v najteplejšej oblasti republiky s najdlhšie trvajúcim vegetačným obdobím a s najbohatšími prírodnými vodnými zdrojmi podzemných vôd. Zameriava sa predovšetkým na výber najhospodárnejších zdrojov závlah pre definované oblasti. Ako zdroje závlahovej vody prichádzajú do úvahy povrchové vody okolitých riek, ďalej odvodňovacích, závlahových a infiltračných kanálov a podzemné vody zo štrkovísk, jazier a studní v zmysle platných noriem akosti vody pre chránenú vodohospodársku oblasť.

Vplyv sústavy kanálov na ich rozvoj a využitie sa prejavuje v množstve a kvalite vody nielen v procese prirodzeného obehu vody, ale aj v procese manipulácie vody s prvkami sústavy vzhľadom na stanovené kritériá. Základnými prvkami sústavy kanálov sú hlavné kanály, čerpacie stanice a stavidlá, ktoré sú zamerané predovšetkým na odvodňovaciu činnosť. K nim sa pridružujú vtokové, nápustné a odberné objekty zamerané na zavlažovanie. Sústava kanálov je viacúčelová. Jej viacúčelovosť spočíva v odvodnení, závlahách a regulovaní režimu hladín podzemných vôd.

Monitorovacie miesta na povrchových tokoch - kanáloch boli vybrané tak, aby sa približne rovnomerne pokryla celá oblasť, a aby bol zohľadnený aj hydrologický režim toku. Na týchto miestach boli v rokoch 1989 až 1999 vykonané terénne merania (charakteristiky vody, profil toku, hĺbka vody, parametre nánosov) a odbery vzoriek povrchovej vody.

Pre spracovanie prezentovaných charakteristík salinity a sodicity vôd (EC a SAR) z otvorených tokov a kanálov v záujmovej oblasti boli tiež použité údaje a poznatky z monitoringu a z výskumných úloh (Burger a kol., 1991; Čelková, Burger, 1993; Burger, 1995). Po roku 1994 boli vybrané ďalšie monitorovacie lokality vo východnej časti Žitného ostrova, na ľavej strane dolného Váhu a v oblasti údolnej nivy Dunaja medzi Komárnom a Štúrovom. Na týchto lokalitách boli vykonané terénne merania a odbery vzoriek povrchových vôd. Vo vzorkách povrchových vôd bola stanovená koncentrácia zasoľujúcich iónov, EC a vypočítané hodnoty SAR.

Výsledky monitoringu charakteristiky EC vody z otvorených tokov a kanálov v rokoch 1989 – 2000 preukazujú, že jeho priemerné vegetačné hodnoty sa pohybovali od od 0,51 do 1,02 $dS.m^{-1}$ a ich trend je stúpajúci. Taktiež stúpajúci trend vykazujú priemerné vegetačné hodnoty SAR, ktoré sa počas sledovaného obdobia pohybovali v medziach 0,9 do 1,25 (obr.6).



Obr. 6. Priemerné hodnoty EC a SAR vody v povrchových tokoch a kanáloch a ich lineárne trendové čiary

Fig.6. The average values of EC and SAR of surface streams and channels and their trendlines

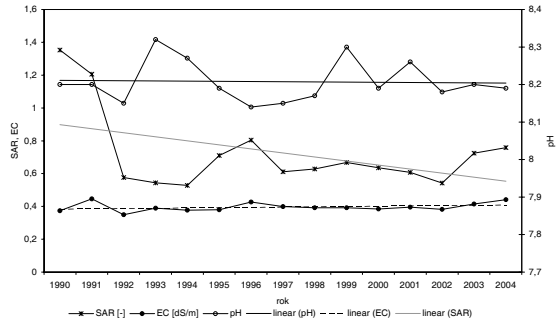
Podľa klasifikačného diagramu závlahovej vody (US Salinity Laboratory) definujúceho hazard salinity a sodocity, patria tieto vody podľa hodnôt EC do triedy C2 a C3 (C2 ak 0,25<EC<0,75; C3 ak 0,75<EC<2,25 $dS.m^{-1}$). Ide o vody stredne až vysoko salinizované so stredným až vysokým rizikom salinizácie pôdy. Podľa zistených hodnôt SAR patria do triedy S1. Ide o vody nízko sodíkové s nízkym rizikom sodíkového ohrozenia (SAR<10) vplyvom závlahovej vody. Kvalita vody v prípade jej využitia na závlahy je z aspektu sodicity vyhovujúca a nie je potrebné žiadne obmedzenie jej použitia, avšak z hľadiska salinity je vyžadovaný špeciálny manažment na kontrolu salinity a voľbu plodín s dobrou odolnosťou na soli. Stúpajúci trend oboch parametrov do budúcnosti predikuje zhoršovanie kvality vody na závlahy z povrchových tokov a kanálov a nevyhnutnosť prijatia nízkeho až stredného stupňa obmedzenia jej využívania (Burger, F, Čelková, A. (2004).

- ***Voda Dunaja a Váhu***

Vzhľadom na prognózovaný nástup suchých vegetačných období je najpravdepodobnejšie využívanie vody na závlahy a umelú infiltráciu prevažne z veľkých riek Dunaja a Váhu. Na základe údajov o kvalite povrchových vôd poskytnutých SHMÚ, boli zistené trendy vývoja kvality vôd Váhu a Dunaja v juhovýchodnej časti Podunajskej roviny z hľadiska salinity a sodicity. V období rokov 1990 – 2004 boli sledované ukazovatele, ktoré charakterizujú salinitu a sodicitu vôd (EC a SAR), na základe ktorých bola zisťovaná vhodnosť použitia tejto vody na závlahy. Monitorovacie miesta na povrchových tokoch boli vybrané v profiloch, kde sa čakáva zvýšené znečistenie povrchových vôd odpadovými vodami či už z priemyslu, poľnohospodárstva alebo mestských aglomerácií (Klaučo, Michalič, 1992; Vikiszályová a kol., 1996).

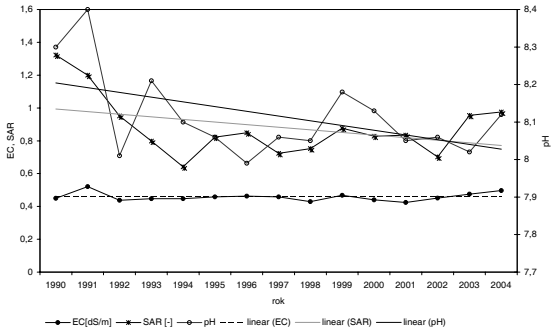
Na základe zistených skutočností možno konštatovať, že súčasná kvalita povrchovej vody v juhovýchodnej časti Podunajskej roviny, kde bola v období rokov 1990 – 2004 hodnotená povrchová voda dolného Váhu a Dunaja (profil: Dunaj-Komárno a Váh-Komárno), je z hľadiska salinity a sodicity vyhovujúca a je vhodná na závlahy a umelú infiltráciu. Sú to slabo alkalické vody, ktorých priemerné ročné hodnoty pH sa pohybujú v intervale 7,99<pH<8,4 (pH vody vhodnej na závlahy sa pohybuje v rozsahu 6,5 – 8,4). Podľa klasifikačného diagramu závlahovej vody (US Salinity Laboratory) definujúceho hazard salinity a sodocity, patria tieto vody podľa hodnôt EC do triedy C1 a C2 (C1 ak EC<0,25 $dS.m^{-1}$ a C2 ak 0,25<EC<0,75 $dS.m^{-1}$). Ide o vody slabo až stredne salinizované s nízkym až stredným rizikom salinizácie pôdy. Podľa zistených hodnôt SAR patria do triedy S1. Ide o vody nízko sodíkové s nízkym rizikom sodíkového ohrozenia (SAR<10) vplyvom závlahovej vody. Na základe dlhodobejšieho monitoringu možno z uvedeného hľadiska konštatovať mierne zlepšujúci sa trend kvality povrchových vôd. Koncentrácie všetkých sledovaných iónov, hodnoty pH a SAR vykazujú klesajúcu tendenciu v obidvoch profiloch. Trend hodnôt priemerných ročných hodnôt EC v

profile Dunaj – Komárno je stúpajúci a v profile Váh – Komárno vyrovnaný (obr.7. a 8.). Kvalita vody Dunaja a Váhu je z aspektu salinity a sodicity vyhovujúca a nevyžaduje sa žiadne obmedzenie pri jej využívaní. Používanie tejto vody je preto vhodné aj na závlahy bez rizika salinizácie a alkalizácie pôd a rizika znižovania výnosov plodín.



Obr.7. Priebeh priemerných ročných hodnôt pH, EC a SAR povrchovej vody a lineárne trendové čiary v profile Dunaj – Komárno v rokoch 1990 – 2004

Fig.7. Course of pH, EC and SAR average values of surface water and trendlines in Dunaj – Komárno profile for the period from 1990 to2004



Obr. 8. Priebeh priemerných ročných hodnôt pH, EC a SAR povrchovej vody a lineárne trendové čiary v profile Váh – Komárno v rokoch 1990 – 2004

Fig.8. Course of pH, EC and SAR average values of surface water and trendlines in Váh – Komárno profile for the period from 1990 to2004

Podzemná voda

Výsledky z monitoringu vývoja soľných pôd (Fulajtár, a kol.,1998) dokazujú, že hlavným zdrojom solí v pôde je salinita plytkej podzemnej vody, z hladiny ktorej sa vertikálnym tokom v oblastiach s výparným vodným režimom pôdy, napr. ako je juhovýchodná časť Podunajskej roviny alebo Východoslovenská nížina, transportujú rozpustené soli do pôdneho profilu. Ďalším procesom a zdrojom akumulácie solí v pôdnom profile sú závlahy takouto podzemnou vodou. Podzemná voda sa pri oboch procesoch evapotranspiráciou odčerpáva a rozpustné soli sa v pôde vyzrážajú na povrchu pôdnych častíc a ióny sodíka sorbujú na pôdny koloidný systém. Procesy pohybu vody sú determinované hydrofyzikálnymi charakteristikami a hydraulickými parametrami pórovitého podpovrchového environmentu a tokmi vody od hladiny a do hladiny podzemnej vody. Výsledkom týchto procesov je vznik a rozširovanie soľných pôd. Závlahový a odvodňovací manažment predstavuje manipuláciu environmentu pôda-voda v koreňovej zóne plodín za účelom minimalizácie akumulácie solí a nepriaznivých vlhkostných podmienok.

Hodnoty EC podzemnej vody spolu s hodnotami SAR sú hlavnými kritériami charakterizujúcimi mieru nebezpečia salinizácie a alkalizácie pôdy pri procesoch fluktuácie hladiny plytkej mineralizovanej podzemnej vody, resp. pri režimových procesoch prúdenia v prípade využívania takejto podzemnej vody ako závlahovej vody.

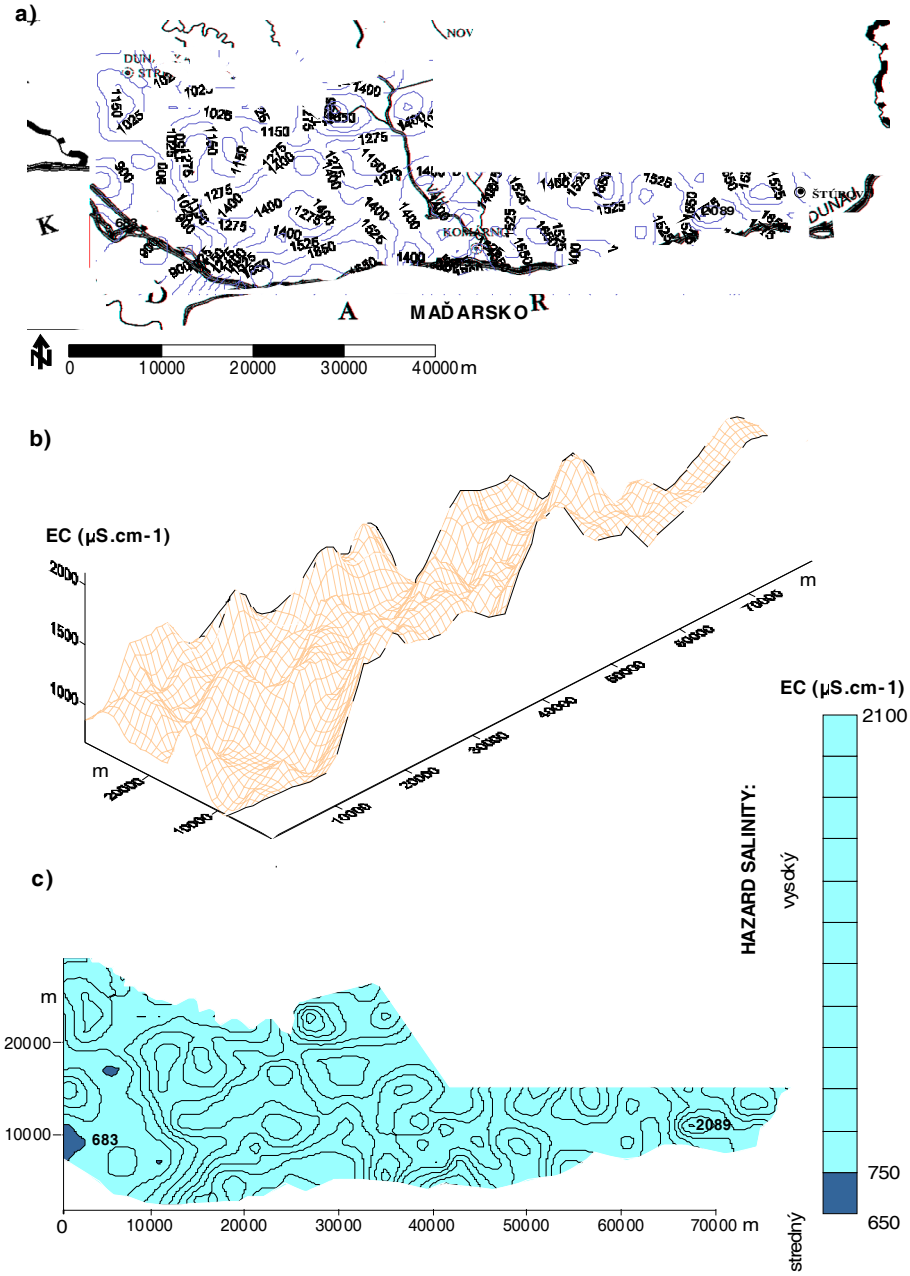
Pre spracovanie charakteristík salinity podzemnej vody boli použité údaje a poznatky z monitoringu a výskumných úloh Ústavu hydrológie a hydrauliky SAV v Bratislave (Burger, a kol., 1991; Čelková, Burger, 1993; Burger, 1995), ako aj z ďalších nižšie uvedených archívnych a databázových zdrojov. Monitorovacie lokality boli vybrané vo východnej časti Žitného ostrova, na ľavej strane dolného Váhu a v oblasti údolnej nivy Dunaja medzi Komárnom a Štúrovom. Na týchto lokalitách boli v rokoch 1990-1992 vykonané terénne merania a odbery vzoriek podzemnej vody. Vo vzorkách podzemných vôd bola stanovená koncentrácia zasoľujúcich iónov, namerané hodnoty pH a EC a boli vypočítané hodnoty SAR. Ďalšie poznatky a údaje o hydrochémii podzemných vôd územia boli výsledkom kompilácie údajov získaných pri hydrogeologickom prieskume zdrojov podzemných vôd, ktorý v rámci geologického prieskumu zabezpečoval hlavne IGHP, š.p. Žilina, z ktorého sa neskôr vyčlenili INGEO, a.s. Žilina, GEOCONSULT, a.s. Košice a GEOS, a.s. Bratislava. Významným zdrojom

informácií sú aj práce Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) v Bratislave (Kollár a kol., 1995). Ďalšie údaje a informácie boli získané z monitoringu vývoja soľných pôd, ktorý v rámci čiastkového monitorovacieho systému "Pôda" vykonáva Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy v Bratislave (Fulajtár a kol., 1998) a z výsledkov geochemického mapovania podzemných vôd na území Slovenska, ktoré bolo jednou z najvýznamnejších prác v rámci úlohy "Geochemický atlas Slovenska" v rokoch 1991 až 1995. Atlas podáva obraz chemického zloženia podzemných vôd prvého zvodneného kolektora na území Slovenska za roky 1991 – 1994 (Rapant a kol., 1996).

Namerané údaje a prevzaté dáta z archívnych zdrojov (EC a SAR) boli spracované do grafických príloh - mapiek (obr. 9a, 10a) interpolačnou metódou krigingu pomocou programov PMWIN a SURFER a prostredníctvom nich stanovený hazard salinity a sodicity pri procesoch fluktuácie hladiny plytkej mineralizovanej podzemnej vody, resp. pri režimových procesoch v prípade využívania takejto podzemnej vody na závlahy a umelú infiltráciu. Problematika bola riešená pre podpovrchový environment juhovýchodnej časti Podunajskej roviny za časové obdobie rokov 1991 až 1994.

Podzemné vody na záujmovom území patria do skupiny stredne až vysoko salinizovaných vôd s vysokou mierou nebezpečia salinizácie podpovrchového environmentu. V skúmanom období sa priemerné ročné koncentrácie EC podzemných vôd pohybovali v intervale od 600 $\mu S.cm^{-1}$ až do 2 100 $\mu S.cm^{-1}$ (0,6 – 2,1 $dS.m^{-1}$). Hodnoty SAR, ktoré sa pohybovali v širokom rozmedzí $1,7 < SAR < 22$ poukazujú na lokálne nízke, stredné až vysoké riziko sodíkového zasolenia environmentu vplyvom podzemných vôd.

Vytvorené mapky distribúcie EC (obr. 9a, b) a SAR (obr. 10a, b), ako aj mapky hazardu salinity (obr.9c) a hazardu sodicity (obr.10c) umožňujú vhodne doplniť poznatky o hydrogeochemickom zložení podzemných vôd záujmového územia z hľadiska salinity a sodicity a môžu slúžiť ako referenčná báza pri posudzovaní zmien v ich vývoji v nasledujúcich rokoch.

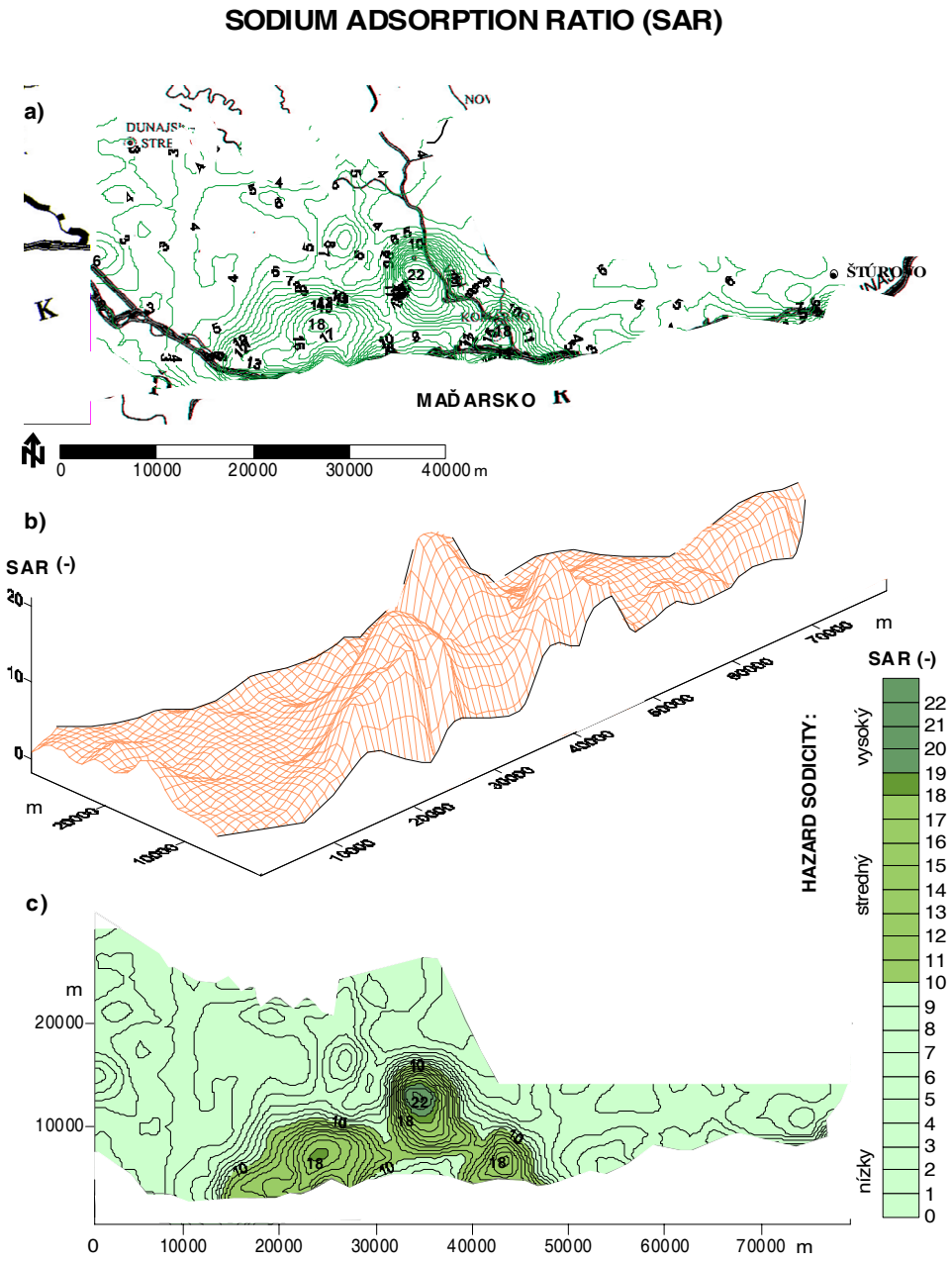


Obr. 9. Distribúcia hodnôt elektrickej vodivosti EC (v µS.cm^{-1}) podzemnej vody prvého zvodneného kolektora juhovýchodnej časti Podunajskej roviny

- *a) Polohopisná situácia a izolínie EC*
- *b) 3-D zobrazenie hodnôt EC*
- *c) Situácia - hazard salinity pri procesoch fluktuácie hladiny podzemnej vody alebo pri použití podzemnej vody na závlahy, resp. umelú infiltráciu*

Fig. 9. Distribution of electrical condutivity (EC) values (in µS.cm^{-1}) of groundwaters of the first aquifer of the south-east Danube Lowlands

- *a) Position situation and EC isolines*
- *b) 3-D depiction of the EC values*
- *c) Salinity hazard in the groundwater level fluctuation processes or in the use of groundwater for irrigation and artificial infiltration purposes*



Obr. 10. Distribúcia hodnôt sodíkového adsorpčného pomeru SAR (-) podzemnej vody prvého zvodneného kolektora juhovýchodnej časti Podunajskej roviny

a) Polohopisná situácia a izolínie SAR
b) 3-D zobrazenie hodnôt SAR
c) Situácia - hazard sodicity pri procesoch fluktuácie hladiny podzemnej vody alebo pri použití podzemnej vody na závlahy, resp. umelú infiltráciu

Fig.10. Distribution of the sodium adsorption ratio (SAR) (-) of groundwaters of the first aquifer of the south-east Danube Lowlands

a) Position situation and SAR isolines
b) 3-D depiction of the SAR values
c) Sodicity hazard in the groundwater level fluctuation processes or in the use of groundwater for irrigation and artificial infiltration purposes

ZÁVER

Záujmové územie predstavuje juhovýchodnú časť Podunajskej roviny. Formovanie chemického zloženia podzemných vôd záujmového územia je zložitým komplexom fyzikálnych, fyzikálno-chemických, chemických a biochemických procesov, ktoré sa uplatňujú v jednotlivých konkrétnych hydrogeologických pomeroch. Súčasný prietokový a hladinový režim v okolitých riekach a kanáloch územia úzko súvisí s režimom podzemných vôd, t.j. so zväčšovaním a zmenšovaním ich množstva, s ich prúdením a aj s ich kvalitou.

Potenciálna možnosť sekundárnej salinizácie pôdy si vyžaduje posúdiť kvalitu zdrojov vody. Charkteristiky salinity a sodicity v otvorených tokoch juhovýchodnej časti Podunajskej roviny mali v oblasti východnej časti Žitného ostrova a ľavej strany dolného Váhu za sledované obdobie rokov 1989 – 1999 a Čenkovskej nivy Dunaja v roku 1999 stúpajúci trend. Podľa klasifikačného diagramu závlahovej vody (US Salinity Laboratory) definujúceho hazard salinity a sodocity, patria tieto vody podľa hodnôt EC do triedy C2 a C3 podľa zistených hodnôt SAR patria do triedy S1. Ide o vody stredne až vysoko salinizované so stredným až vysokým rizikom salinizácie a nízko sodíkové vody s nízkym rizikom sodíkového ohrozenia pôdy vplyvom závlahovej vody. Stúpajúci trend oboch parametrov do budúcnosti predikuje zhoršovanie kvality vody na závlahy z povrchových tokov a kanálov a nevyhnutnosť prijatia nízkeho až stredného stupňa obmedzenia jej využívania.

Súčasná kvalita riečnej vody v juhovýchodnej časti Podunajskej roviny, kde bola v období rokov 1990 – 2004 hodnotená voda Dunaja a Váhu (profil: Dunaj-Komárno a Váh-Komárno), je z hľadiska salinity a sodicity vyhovujúca. Hodnoty všetkých sledovaných parametrov vykazujú mierny pokles. Podľa hodnôt EC patria tieto vody do triedy C1 a C2. (slabo až stredne salinizovaná závlahová voda) a podľa hodnôt SAR do triedy S1(nízko sodíková voda). Kvalita vody v prípade jej využitia na závlahy a umelú infiltráciu je z aspektu salinity a sodicity vyhovujúca, a nie je potrebný žiaden stupeň obmedzenia jej použitia.

Podzemné vody na záujmovom území patria do skupiny vysoko mineralizovaných vôd s vysokou mierou nebezpečia salinizácie podpovrchového environmentu. V skúmanom období sa priemerné ročné koncentrácie EC podzemných vôd pohybovali v intervale od 0,6 až do 2,1 $dS.m^{-1}$, čo svedčí o existencii až vysoko salinizovanej podzemnej vody. Hodnoty SAR, ktoré sa pohybovali v širokom rozmedzí $1,7 < SAR < 22$ poukazujú na lokálne nízke, stredné až vysoké riziko sodíkového zasolenia environmentu vplyvom podzemných vôd.

Literatúra

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

Bathurst, J.C. (1986): Physically-based distributed modelling of an upland catchment using the System europeen hydrologic. J. Hydrol. 87, 79–102.

Burger, F. a kol. (1991):Vodný a soľný režim pôd. Chemizmus podzemných vôd. ÚHH SAV, Bratislava, 62 s.

Burger, F. (1995): Modelovanie systémov prúdenia podzemných vôd. In: Proc. XVII-th Czech-Poland-Slovak Colloquium "Advanced simulation of systems", Tech. Univ. Ostrava, Vol.2, 132-138.

Burger, F. (2001): Hydraulické funkcie nenasýtenej zóny pôd údolnej nivy Dunaja. Acta Hydrologica Slovaca, 2,1, 24-28.

Burger, F., Čelková, A. (2001): Zasoľovanie pôd na Podunajskej nížine z hľadiska tolerancie plodín na soli. Acta Hydrologica Slovaca 2,2, ÚH SAV, Bratislava, s.284-293.

Burger, F, Čelková, A. (2004): Interakcia závlahovej vody z povrchových tokov a pôdy z aspektu salinity a sodicity. In: Acta Hydrologica Slovaca, roč.5, č.1, ÚH SAV, Bratislava, 112-121.

Burger, F., Čelková, A. (2005): Numerická simulácia transportu látok infiltráciou vody do charakteristických profilov aluviálnych kvartérnych sedimentov na Podunajskej rovine. In: Acta Hydrologica Slovaca 6, 1, ÚH SAV, Bratislava.

Carter, D. L. (1969): Managing moderately saline (salty) irrigation waters. Univ. Idaho Curr. Inf. Center, 107 pp.

Čelková, A., Burger, F. (1993): Kvalita vody na závlahy v oblasti SVD na Dunaji z hľadiska salinity. In: Zbor.medzinár. konf. "Sústava vodných diel Gabčíkovo-Nagymaros: zámery a skutočnosť", SZSI, Bratislava, 278-284.

Čelková, A. (1999): Trendy vývoja salinizácie pôdneho profilu vplyvom mineralizovanej podzemnej vody vo východnej časti Žitného ostrova. In: Zbor. z III. ved. konf.:"Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia". Michalovce - Zempl. Šírava, 310-314.

Čelková, A. (2001): Transport a iónovo - výmenné reakcie v pôdnych kolónach. In: Acta Hydrologica Slovaca 2, 2, ÚH SAV, Bratislava, 279-283.

Čelková, A. (2002): Chemizmus podzemnej vody v aluviálnej nive ľavej strany Dunaja v úseku Komárno – Štúrovo. Acta Hydrologica Slovaca, 1, 54-60.

Červenka, L. (1970): Vplyv podzemných vôd na vznik soľných pôd na Slovensku. Náuka o Zemi, V/70, Vyd. SAV, Bratislava.

Fulajtár, E. a kol. (1991): Súhrnné hodnotenie monitorovania východiskového stavu pôd a poľnohospodárstva na území dotknutom výstavbou VD Gabčíkovo. Záv. správa, VÚPÚ, Bratislava.

Fulajtár, E. a kol. (1997): Monitoring vplyvu vodného diela Gabčíkovo na pôdy a poľnohospodárstvo VÚPÚ, Bratislava.

Fulajtár, E., a kol. (1998): Vplyv vodného diela Gabčíkovo na poľnohospodárske pôdy. VÚPÚ, Bratislava, 199 s.

Klaučo, S., Michalič, J. (1992): Kvalita podzemných a povrchových vôd v okrese Komárno. Štúdia. SKOV, Bratislava, 28 s.

Kollár, A. a kol. (1995): Generel ochrany a racionálneho využívania vôd. MP SR, MŽP SR, Infopress, Bratislava, 264 s.

Maas, E. V., Hoffman, G. J. (1977): Crop salt tolerance – Current Assesment. J. Irrig. Drain. Div., Am. Soc. Civ. Eng., 103 (IR2), 115-134.

Rapant, S., a kol. (1996): Geochemický atlas Slovenska. Podzemné vody. GS SR, Bratislava, 127 s.

Richards, L. A. (ed.) (1954): Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Laboratory, Staff., U.S. Dept. of Agric., Agriculture Handbook 60.

Ritzema, H. P. (ed.) (1994): Drainage Principles and Applications. ILRI Publications 16, International Inst. for Land Reclamation. and Improvement. Wageningen, Netherlands.

Shalhevet, J., Kamburov, J. (1976): Irrigation and salinity – a world-wide survey. Int. Comm. Irrig. Drain, New Delhi.

Vikiszályová, A., a kol. (1996): Hydroekologický plán ľavého brehu Váhu, výustných úsekov Nitry a Žitavy a Parížskeho potoka. Časť A: Vodný fond. Povodie Dunaja, Bratislava, 138 s.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu vedy a techniky prostredníctvom finančnej podpory č. APVT-51-044802 a Vedeckou grantovou agentúrou VEGA č. 2/3049/23.

Autori

Ing. František Burger, CSc., Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava 3, e-mail: burger@uh.savba.sk

Ing. Anežka Čelková, Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava 3, e-mail: celkova@uh.savba.sk