

# IONEXOVÉ A SORPČNÍ TECHNOLOGIE V ÚPRAVĚ VODY

**Dr. Ing. Helena Parschová, doc. Ing. Luděk Jelínek, Ph.D.,  
Ing. Eva Mištová, Ph.D., prof. Ing. Václav Janda, CSc.**

Ústav energetiky, VŠCHT Praha, Technická 5, Praha 6, 166 28; [parschoh@vscht.cz](mailto:parschoh@vscht.cz)

## Úvod

Pro odstraňování nežádoucích iontů z vod, které slouží k přípravě pitné vody, se většinou používají technologie, které jsou dlouhodobě ověřené a spolehlivé. S neustále se zvyšujícími požadavky na kvalitu pitné vody je však třeba hledat další možnosti a metody úpravy vody, které by umožnily splnění náročnějších parametrů.

Podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. [1], která stanovuje hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu, je sledováno 62 fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů, které je nutno dodržet.

Jednou z možností, jak snížit koncentrace nežádoucích iontů ve vodách, je využití ionexových, sorpčních a membránových technologií. Z membránových technologií se pro pitné vody využívají hlavně tlakové membránové procesy, jako je reverzní osmóza, nanofiltrace, ultrafiltrace a mikrofiltrace. Elektro-membránové procesy jsou vhodné například pro odsolování mořské vody (elektrodialýza) nebo pro demineralizaci (elektrodeionizace). Sorpční a ionexové technologie vykazují vůči membránovým technologiím vyšší selektivitu. Důležitými kritérii pro volbu vhodné technologie je koncentrace iontově rozpuštěných látek ve vstupní vodě, požadovaný zisk vody, spotřeba chemikálií, charakter procesu a požadovaná kvalita upravené vody.

## Ionexové a sorpční technologie

**Ionexové technologie** využívají k odstranění kontaminantů z podzemních či povrchových vod tzv. měniče iontů neboli ionexy. Většinou se používají kolony naplněné ionexem, protože ve srovnání se vsádkovou aplikací umožňují snížit koncentrace polutantů na velmi nízké hodnoty. Jakých výstupních parametrů docílíme, záleží na vstupních koncentracích iontově rozpuštěných látek, na výšce ionexové náplně, a také na použitém specifickém kolonovém zatížení ( $s$ ). To je definováno jako objem roztoku  $V$ , který proteče kolonou za hodinu, vztažený na objem lože ionexu  $V_0$ . Jeho převrácenou hodnotou je EBCT (empty bed contact time), které vyjadřuje, jak dlouho je roztok během pracovní fáze v kontaktu s ionexem. Obvykle se u standardních typů ionexů pohybuje  $s$  v rozmezí  $10 - 40 V/V_0 \cdot h^{-1}$ .

Obecně lze říci, že ionexy jsou makromolekulární sloučeniny, jejichž matici většinou tvoří kopolymer styrenu nebo akrylátu s divinylbenzenem, na který jsou pevně navázány funkční skupiny, které disociací poskytují fixované ionty. Většina matic pro výrobu ionexů ve formě perliček se dnes vyrábí suspenzní kopolymerací styrenu s divinylbenzenem (DVB) s následnou funkcionalizací takto vzniklého skeletu. Funkční skupiny (fixované ionty) mohou nést záporný nebo kladný náboj. Podle toho rozeznáváme měniče kationtů (katexy), které mají záporně nabitě funkční skupiny a opačně nabitě měniče aniontů (anexy), které mají kladně nabitě funkční skupiny. V následující tabulce 1 je stručný přehled používaných ionexů.

**Tabulka 1. Přehled ionexů**

Ionex	Funkční skupina
Silně kyselý katex	$-\text{SO}_3^-$
Středně kyselý katex	$-\text{PO}(\text{OH})_2$
Slabě kyselý katex	$-\text{COO}^-$
Silně bazický anex	
I. typu	$-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$
II. typu	$-\text{N}^+(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
Slabě bazický anex	$-\text{N}(\text{CH}_3)_2$
Chelatační ionexy	např. $-\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_2$ $-(\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N})_n\text{H}$
Neionogenní sorbenty	bez funkční skupiny

Ionexy můžeme používat ve formě perliček či vláken. Ionexy rozdělujeme na gelové a makroporézní. Makroporézní ionexy můžeme použít i pro odstraňování nečistot z nevodného prostředí. Standardní velikost perliček se pohybuje v rozmezí od 300 do 1200  $\mu\text{m}$ . Novější typy ionexů bývají monosferické s úzkým rozmezím velikostí ionexových perliček (např. 0,55-0,65 mm).

Princip iontové výměny spočívá v elektrostatické interakci, kde ionty (tzv. protiionty) navázané na funkční skupině přitahují opačně nabitý ion z roztoku a místo něho uvolňují ekvivalentní množství jiného iontu do roztoku. Pro výměnu  $n$  molů iontů A s nábojem  $z_A$  za ionty B platí, že

$$z_A \cdot n_A = z_B \cdot n_B \quad (1)$$

Selektivního odstranění kontaminantů použitím ionexových technologií lze docílit. Ionexy obecně preferují při odstraňování ionty, které mají vyšší náboj. Obecně lze takto popsat selektivitu pro kationty (K)  $\text{K}^{3+} > \text{K}^{2+} > \text{K}^+$  a pro anionty (A)  $\text{A}^{3-} > \text{A}^{2-} > \text{A}^-$ .

Před volbou typu ionexu, či sorbentu je důležitý rozbor vstupních parametrů vody. Přítomnost doprovodných iontů a dalších rozpuštěných látek má například vliv na formy výskytu odstraňované látky. Například kation kovu může být ve vstupním roztoku přítomen jak ve formě volného kationtu, tak za přítomnosti komplexujících látek ve formě kationtových nebo aniontových komplexů. V případě výskytu kationtů kovů ve formě komplexu spíše volíme sorbenty, které dokáží z vody odstranit celý komplex, případně vyvázat kation kovu z komplexu. Komplexy kovů se obvykle vyskytují v odpadních vodách, a ne ve zdrojích vod pro pitné účely.

**Sorpční technologie** využívají k odstraňování nežádoucích látek sorbenty, u kterých na rozdíl od ionexů není hlavním mechanismem poutání odstraňované látky iontovou výměnou. Sorpční mechanismus většinou vychází z tvorby koordinační vazby kovu s volnými elektronovými páry atomů dusíku, kyslíku nebo síry funkční skupiny sorbentu. Například u sorbentů obsahujících iminodioximovou funkční skupinu dochází k odstraňování kationtů kovů koordinací jak k centrálnímu dusíku, tak ke karboxylovým skupinám. K iontové výměně zde dochází také, a to v případě, pokud se sorbent nachází v disociované formě, např. v sodné formě. U sorbentů s oligoethylenaminovými funkčními skupinami dochází ve formě volné báze k odstraňování kationtů kovů koordinační vazbou k atomům dusíku. V protonizované formě tento typ sorbentů odstraňuje například oxoanionty iontovou výměnou. Obdobný sorpční mechanismus je u sorbentu s bispikolyaminovou funkční skupinou, kde dochází k poutání kationtů kovů koordinačními vazbami s dusíkem pyridinu.

**Volba technologie** závisí na požadované selektivitě procesu. Z hlediska selektivního odstranění nežádoucích látek je vhodnější použít právě chelatační sorbenty, i když existují případy, kde je dostatečná selektivita i při použití ionexů, například při odstraňování dusičnanů a síranů z vod. I když ionexy snižují koncentrace znečišťujících látek podle již zmiňované selektivní řady, během počátku pracovní fáze dochází k plošné výměně přítomných iontů (kationtů či aniontů dle použitého typu ionexu) za ion, který je navázán na funkční skupinu. Toto plošné snížení koncentrace není například u vápenatých a hořečnatých iontů v pitných vodách žádoucí.

Při volbě ionexové či sorpční technologie je důležité si uvědomit, že se nejedná o kontinuální proces, ale jeden cyklus se skládá ze čtyř fází [2]. První fází je pracovní nebo sorpční fáze, kde dochází k odstranění kontaminantu ze vstupní vody. Druhou fází je praní. Nastává v okamžiku, kdy koncentrace odstraňovaného kontaminantu v upravené vodě dosáhne limitní koncentrace. V této fázi dochází k protiproudému promývání ionexové (sorpční) náplně čířenou či deionizovanou vodou, aby došlo k dekompresi (uvolnění, nakypření) vrstvy ionexu (sorbentu), odplavení nečistot a odstranění případného kanálování, které je nežádoucí v následující fázi, kterou je regenerace. Regenerací se pomocí regeneračního činidla vytěsňují z ionexu (sorbentu) nečistoty zachycené během pracovní (sorpční) fáze. V závěrečné fázi, kterou je vymývání, dochází k promývání ionexové (sorpční) náplně čířenou či deionizovanou vodou, kterým se ionex (sorbent) připraví k opětovné pracovní (sorpční) fázi. Kontinuální provoz u těchto technologií ale lze docílit použitím vícekolonového uspořádání, kde jedna kolona je užívána v pracovní (sorpční) fázi a druhá kolona je regenerována a připravena k použití po vyčerpání první kolony.

Parametr, který charakterizuje účinnost odstranění nežádoucího iontu ze vstupní vody do průniku požadované limitní koncentrace do upravené vody, nazýváme užitkovou (užitnou, sorpční) kapacitou, kterou vypočítáme podle následujícího vzorce 2:

$$c_u = c_i \cdot \left(\frac{V}{V_0}\right) \quad (2)$$

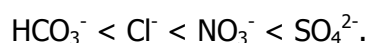
$c_u$	- užitková kapacita ionexu (sorbentu)	[meq/l]
$c_i$	- vstupní koncentrace nežádoucího iontu	[meq/l]
$V$	- objem proteklého vstupního roztoku do průniku limitní koncentrace	[ml]
$V_0$	- objem ionexu (sorbentu)	[ml]

Základní otázky při volbě vhodné technologie jsou:

- Jaké kontaminanty chceme z vody odstranit?
- O jaký typ vody se jedná?
- Jaké jsou požadované zbytkové koncentrace kontaminantů v upravené vodě?
- Splní upravená voda požadavky kladené na pitnou vodu?
- Je možné ionexy/sorbenty opětovně použít?
- Jaká je jejich životnost?
- Kolik vody vyčistíme v jednom pracovním cyklu?
- Kam deponovat zachycené nečistoty?
- Jaká je požadovaná předúprava vody?
- Jaké jsou potřebné další chemikálie?
- Jaké jsou náklady?

## Odstraňování aniontů

Při odstraňování nežádoucích iontů z vod hraje důležitou roli výběr vhodného ionexu, či sorbentu. Obecně platí, že ionex preferuje ionty s vyšším nábojovým číslem. Pro anionty odstraňované z pitných vod (tabulka 2) tedy stoupá selektivita silně bazického anexu v řadě:



**Tabulka 2. Přehled sledovaných aniontů dle vyhlášky [1]**

Ukazatel	Limit	Typ limitu
dusičnany	50 mg/l	NMH*
dusitany	0,5 mg/l	NMH*
fluoridy	1,5 mg/l	NMH
chloridy	100 mg/l	MH
kyanidy celkové	0,050 mg/l	NMH
sírany	250 mg/l	MH

NMH =nejvyšší mezní hodnota, MH = mezní hodnota

\*Musí být dodržena podmínka, aby součet poměrů zjištěného obsahu dusičnanů v mg/l děleného 50 a zjištěného obsahu dusitanů v mg/l děleného 3 byl menší nebo rovný 1.

Z toho vyplývá, že nejpevněji poutanými anionty jsou **sírany**. Důležitým sledovaným parametrem jsou ale z těchto makrokomponent **dusičnany** [3-7]. Při použití silně bazického anexu s trimethylamoniovou funkční skupinou (Typ I) záleží na poměru molárních koncentrací síranů a dusičnanů. Pokud je molární koncentrace síranů oproti dusičnanům vyšší (2:1), není použití standardního anexu vhodné, jelikož zachytem síranů dochází ke snižování užitečné kapacity anexu vůči dusičnanům a nutnosti častější regenerace anexu. V tomto případě můžeme použít selektivní silně bazický anex s kvartérní triethylamoniovou funkční skupinou, kde dochází ke změně selektivity funkční skupiny ve prospěch dusičnanů:  $\text{HCO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{NO}_3^-$ . Tento selektivní anex je komerčně dodávaný a jeho užití pro potravinářské účely a pro úpravu pitné vody je doloženo hygienickým atestem, který zaručuje, že nedochází k vyluhování organických látek z anexu.

Výběr vhodného regeneračního činidla závisí na koncentraci aniontů v surové vodě. Nastává zde možný problém, kde nevhodnou volbou regeneračního činidla sice snížíme koncentraci dusičnanů v upravené vodě, ale můžeme nadlimitně zvýšit koncentraci například chloridů, pokud bychom použili k regeneraci nasyceného anexu roztok chloridu sodného. Nejvhodnější variantou pro využití anexu pro pitné účely je dvoustupňová regenerace, kdy zachycené dusičnany vytěsníme z anexu roztokem chloridu sodného a následně anex převedeme částečně do hydrogenuhličitanové formy.

Odstraňování **fluoridů** pomocí anexů je z hlediska jejich afinity vůči funkční skupině anexu nevhodné, jelikož preference ostatních aniontů jsou vyšší, a tudíž účinnost jejich odstranění je velmi nízká. Vhodnější alternativou pro odstraňování monovalentních iontů je použití anorganických sorbentů, jejichž selektivita preferuje odstraňování monovalentních iontů oproti vícevalentním. Vhodným anorganickým sorbentem pro odstraňování fluoridů je například alumina.

Odstranění **kyanidů**, které se velmi často vyskytují ve formě komplexů, můžeme docílit s vysokou sorpční účinností pomocí standardních anexů. Tyto případy se spíše vyskytují například při čištění oplachových vod z kyanidových galvanických lázní.

## Kovy ve formě oxoaniontů

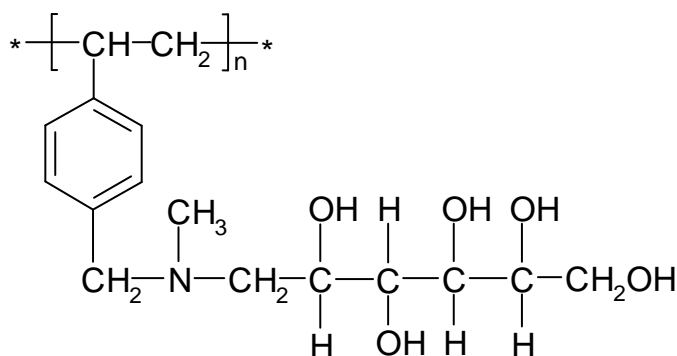
Další podskupinu aniontů tvoří kovy, které se vyskytují ve vodách ve formě oxoaniontů (tabulka 3). V případě těchto sledovaných látek jsou požadované limity velmi nízké, což souvisí i s jejich toxicitou.

**Tabulka 3. Přehled sledovaných oxoaniontů kovů a polokovů [1]**

Ukazatel	Limit	Typ limitu
antimon	5,0 µg/l	NMH
arsen	10 µg/l	NMH
bor	1,0 mg/l	NMH
chrom	50 µg/l	NMH
selen	10 µg/l	NMH

NMH =nejvyšší mezní hodnota

První možností se jeví použití standardních anexů. Tato varianta se ale neosvědčila z důvodu přítomnosti vysokých koncentrací makrokomponentních aniontů (chloridů a síranů) ve vodách. Vhodnou volbou je sorbent s aminomethylglucitolovou funkční skupinou [8] (Obr. 1).



**Obr. 1. Sorbent s aminomethylglucitolovou funkční skupinou [2]**

Tento sorbent může oxoanionty z povrchových vod odstraňovat jak v protonizované formě, tak i ve formě volné báze. Záleží na tom, v jaké oblasti pH dochází k tvorbě diolových (polyolových) komplexů mezi oxoaniontem kovu a hydroxylovými skupinami funkční skupiny, které se nachází v *cis* poloze. Pokud odstraňujeme oxoanionty, které vytváří komplexy v kyselé oblasti pH, pak mechanismus jejich zachycení sorbentem spočívá v tvorbě komplexu s hydroxylovými skupinami, a taktéž dochází k iontové výměně, kdy v protonizované formě je dusík funkční skupiny protonizován. Pokud odstraňujeme oxoanionty tvořící komplex v alkalické oblasti pH, použijeme sorbent ve formě volné báze a mechanismus zachycení oxoaniontů spočívá pouze v tvorbě komplexu s hydroxylovými skupinami.

Prvotně je tento sorbent s aminomethylglucitolovou funkční skupinou komerčně dostupný k odstraňování **boru** [9] ve formě boritanů, jejichž odstranění je účinné v alkalické oblasti pH (tabulka 4). Tento sorbent se osvědčil např. při přípravě pitné vody připravované z mořské vody reverzní osmózou, kde se koncentrace boru v permeátu pohybují v jednotkách mg/l, protože reverzní osmóza není pro odstranění boritanů příliš účinná.

**Tabulka 4. Optimální oblast pH pro diolové komplexy oxoaniontů [8]**

Kov	Oblast rozmezí pH
B	7 - 11
As (V)	1 - 6
As (III)	9 - 12

Jedním z nejsledovanějších ukazatelů je **arsen** [10], který se ve formě oxoaniontů vyskytuje ve formě arsenitanu nebo častěji ve formě arseničnanu. V oxickém prostředí povrchových vod převažuje arseničnan. Arsen je běžnou součástí podzemních vod, obvykle se vyskytuje v koncentracích jednotek až desítek  $\mu\text{g/l}$ . K odstraňování As je možné, kromě zmiňovaného sorbentu s aminomethylglucitolovou funkční skupinou, použít anorganické sorbenty na bázi oxidu hlinitého, železitého či titaničitého.

Alumina ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) [11] je anorganický sorbent, který je opakovaně použitelný. Ze selektivitní řady aluminy:



je zřejmé, že dochází k přednostní sorpci  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ . As(V) se sorbuje velmi dobře na alumině v protonizované formě, naopak As(III) se dobře sorbuje na alumině ve formě neprotonizované. Desorpce As se provádí roztokem NaOH. Přítomnost síranů a chloridů v surové vodě má minimální vliv na sorpční účinnost As(III) a As(V), což je zásadní rozdíl mezi použitím aluminy a silně bazického anexu.

Granulovaný hydroxid železitý je anorganický sorbent, který je doporučen k jednorázovému odstraňování **arsenu** [10], **antimonu**, **fosforečnanů**, **selenu**, **mědi a chromu**. Při odstraňování arsenu z reálných povrchových vod, kde se hodnoty arsenu pohybují v desítkách  $\mu\text{g/l}$ , je tento sorbent schopen snížit koncentraci arsenu v upravené vodě pod  $10 \mu\text{g/l}$ , které limituje vyhláška [1], přičemž délka trvání sorpční fáze je až několik měsíců.

K odstraňování **chromu** [12] ve formě chromanů se užívá monosferický slabě bazický anex v protonizované formě ve dvoukolonovém uspořádání. Vzhledem k vysoké afinitě chromanů k funkční skupině se k desorpci zachycených chromanů volí protiproudá regenerace.

### Odstraňování kationtů

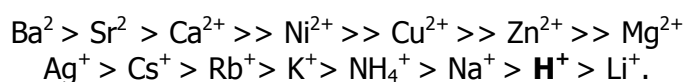
Dalšími sledovanými ukazateli jsou kationty. Pokud bychom použili standardní katexy, došlo by ke snížení koncentrace kationtů jejich výměnou za kation, který se nachází ve výchozí formě ionexu (standardně sodná nebo vodíková forma). Otázka, která se nabízí, je: jak docílit snížení koncentrace **vápníku** a **hořčíku** na hodnoty doporučené (tabulka 5), nebo jak docílit jejich snížení na minimální požadovanou hodnotu? Nejjednodušší variantou se jeví smíchání proudu upravené vody a vody surové. Tyto možnosti lze úspěšně používat v tom případě, kdy nejsou ve vodě další kontaminanty, které bychom např. smícháním se surovou vodou nesnížili dle ukazatelů vyhlášky [1]. Druhou alternativou je remineralizace upravené vody jejím syčením oxidem uhličitým a filtrací přes materiály (dolomit), které nám požadované (doporučené) hodnoty vápenatých a hořečnatých iontů zpátky navrátí.

**Tabulka 5. Přehled sledovaných kationtů dle vyhlášky [1]**

Ukazatel	Limit	Typ limitu
beryllium	2,0 µg/l	NMH
hliník	0,20 mg/l	MH
hořčík	10 mg/l	MH
	<b>20-30 mg/l</b>	DH
kadmium	5,0 µg/l	NMH
mangan	0,050 mg/l	MH
měď	1000 µg/l	NMH
nikl	20 µg/l	NMH
olovo	10 µg/l	NMH
rtuť	1,0 µg/l	NMH
sodík	200 mg/l	MH
stříbro	50 µg/l	NMH
vápník	30 mg/l	MH
	<b>40 – 80 mg/l</b>	DH
vápník a hořčík	2 - 3,5 mmol/l	DH
železo	0,20 mg/l	MH

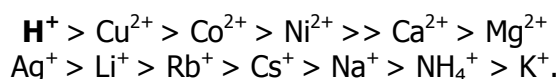
NMH =nejvyšší mezní hodnota, MH = mezní hodnota, DH = doporučená hodnota

Odstraňování kationtů závisí na afinitě silně kyselého katexu k protiiontům, kterou můžeme znázornit těmito selektivními řadami [2]:



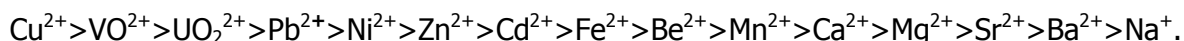
Výhodou použití silně kyselého katexu je jeho disociace v celém rozsahu pH umožňující jeho použití pro kterékoliv pH vstupní vody.

Zásadním rozdílem selektivity slabě kyselého katexu oproti silně kyselému katexu je jeho afinita vůči  $\text{H}^{+}$  iontu, který stojí úplně na začátku selektivní řady, jelikož dochází k tvorbě velmi stabilního, málo disociovaného asociátu s karboxylovou funkční skupinou. Selektivní řady [2] jsou zhruba následující:



K selektivnímu snížení koncentrace iontů **beryllia** i **olova** lze použít standardní slabě kyselý katex mající karboxylovou funkční skupinu.

Pro selektivní sorpci kationtů těžkých kovů ze slabě kyselých až slabě zásaditých roztoků je vhodný sorbent s iminodioctovou skupinou s následující selektivní řadou [13]:



Selektivního odstranění iontů **mědi**, **niklu** lze docílit použitím selektivních sorbentů majících iminodioctovou, oligoethylenaminovou, či bispikolyaminovou funkční skupinou [2].

K odstraňování iontů **rtuti** [2] nebo **stříbra** jsou vhodné sorbenty s thiolovou funkční skupinou, či funkční skupinou obsahující thiomocovinu.

Odstraňováním **uranu**, který se vyskytuje ve vodách při pH > 7 ve formě uhličitanových, síranových či hydroxo-komplexů, se zabývá ve svém příspěvku Ing. Hana Parschová.

## Závěr

Ionexové a sorpční technologie lze účinně použít při úpravě vod pro pitné účely. Kromě výhod, které tyto technologie přinášejí v podobě snížení koncentrací kontaminantů na koncentrace v řádu jednotek až desítek µg/l, je nutné si uvědomit i nutnost regenerace sorbentů vedoucí k zakoncentrování nečistot v regeneračních roztocích, které je nutno likvidovat.

## Literatura

- [1] Vyhláška MZČR č. 252/2004 Sb., (22. 4. 2004).
- [2] Jelínek L., Parschová H., Páidar M., Mištová E.: Desalinační a separační metody v úpravě vody, 1. vydání; VŠCHT Praha 2008, ISBN 978-80-7080-705-7.
- [3] Gromanová Š.: Sorpce dusičnanů na selektivních anexech v síranové formě, *Diplomová práce*, VŠCHT Praha, 1996.
- [4] Nevečeřalová D.: Optimalizace procesu odstranění dusičnanů z vody silně bazickým anexem v HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> formě, *Diplomová práce*, VŠCHT Praha, 1998.
- [5] Matějka Z., Nevečeřalová D., Rejzlová O., Gromanová Š.: Nitrate removal from drinking water by an anion exchanger in the HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> form with reuse of electrochemically denitrified regenerant solution, *Special Publication - Royal Society of Chemistry, Advances in Ion Exchange for Industry and Research*, 26-34, 1999.
- [6] Šubrová M.: Odstaňování dusičnanů z vody pomocí selektivního silně bazického anexu v hydrogenkarbonátové formě a znovupoužití regeneračního roztoku, *Diplomová práce*, VŠCHT Praha, 2001.
- [7] Jelínek L., Parschová H., Matějka Z., Páidar M., Bouzek K.: A combination of ion exchange and electrochemical reduction for nitrate removal from drinking water, Part I: Nitrate removal using a selective anion exchanger in the bicarbonate form with reuse of the regenerant solution, *Water Environment Research* 76(6), 2686-2690, 2004.
- [8] Yasuda S., Kawazu K.: Preconcentration of germanium (IV) from natural water by chelating resin with 1-deoxy-1-(methylamino)sorbitol groups, *Bunseki Kagaku*, 37(6), 1988.
- [9] Parschová H., Mištová E., Matějka Z., Jelínek L., Kabay N., Kauppinen P.: Comparison of several polymeric sorbents for selective boron removal from reverse osmosis permeate, *Reactive & Functional Polymers*, 67 (12): 1622-1627, 2007.
- [10] Parschová H., Asresahegrová Z., Jelínek L., Pohořelá A., Šlapáková P., Sousa H., Mištová E.: The Effect of Accompanying Anions on Arsenate Sorption onto Selective Sorbents. *Separation Science and Technology*, 50 (1), 81-90, 2015.
- [11] Jareš P.: Selektivní sorpce oxoaniontů vybraných kovů na anorganických sorbentech, *Doktorská disertační práce*, VŠCHT Praha, (2003).
- [12] Jelínek L., Parschová H., Němeček M.: Polymeric sorbents for selective chromium removal; *Innovative Materials and Methods for Water Treatment: Solutions for Arsenic and Chromium Removal*, Editors: Bryjak M., Kabay N., Rivas B. L., Bunduschuh J., Taylor & Francis Group, London, UK, Chapter 8, 109-116, 2016, ISBN 978-1-138-02749-7.
- [13] Produktový list sorbentu Lewatit TP 207, Lanxess.