

# VÝZNAM KYSELINY ORTHOKŘEMIČITÉ PRO LIDSKÉ ZDRAVÍ

ALINA HUSEYNLI a TOMÁŠ VYLITA

*Institut lázeňství a balneologie, v.v.i., nábr. J. Palacha  
932/20, 360 01 Karlovy Vary  
huseynli@i-lab.cz*

Došlo 9.1.21, přijato 23.8.21.

**Klíčová slova:** křemík, kyselina orthokřemičitá, zdraví, minerální vody, osteoporóza, neurologické choroby, imunita, balneologie

## Obsah

1. Úvod
2. Formy výskytu křemíku ve vodách
3. Výskyt křemíku v minerálních vodách
4. Stanovení křemíku
5. Potravinové zdroje křemíku
6. Terapeutické a biologické účinky kyseliny orthokřemičité
  - 6.1. Osteoporóza
  - 6.2. Alzheimerova choroba
  - 6.3. Vlasy, nehty, kůže a celková imunita
7. Závěr

## 1. Úvod

Výzkum nutričního významu křemíku byl zpočátku převážně zaměřen na jeho roli v růstu a vývoji rostlin<sup>1</sup>. Během posledních desetiletí se pozornost obrátila k významu křemíku pro lidské zdraví.

Křemík se vyskytuje hlavně v potravinách rostlinného původu, kde je ale obsažen ve formě špatně vstřebatelných nerozpustných sloučenin. Využitelný křemík ve formě rozpustných křemičitanů a kyselin křemičitých nalezneme převážně v přírodních minerálních vodách<sup>2-4</sup>.

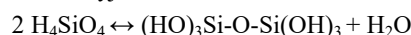
Kyselina orthokřemičitá, díky své využitelnosti v lidském organismu, hraje klíčovou roli při dodávání křemíku do buněk živých organismů.

Cílem tohoto příspěvku je poskytnout přehled forem výskytu křemíku ve vodách, ve stručnosti popsat problematiku analytického stanovení křemíkových sloučenin a shrnout současný stav poznání o terapeutickém působení nejvýznamnějšího zdroje biologicky využitelného křemíku – kyseliny orthokřemičité.

## 2. Formy výskytu křemíku ve vodách

K obohacení přírodních vod křemíkem dochází v důsledku procesu chemického zvětrávání hornin obsahujících křemík. Křemík vytváří ve vodách velké množství sloučenin a může se vyskytovat v suspenzním, koloidním nebo rozpustném stavu. Převládající formou v přírodních vodách je molekulárně dispergovaný oxid křemičitý v podobě kyseliny orthokřemičité ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ). Vedle kyseliny orthokřemičité se mohou ve vodách vyskytovat kyselina metakřemičitá ( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ), dimerní ( $\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5$  a  $\text{H}_{10}\text{Si}_2\text{O}_9$ ) a polymerní formy<sup>5</sup>.

Vodné roztoky kyselin křemičitých jsou nestálé – kvůli reakční schopnosti silanolových (Si-OH) skupin. Ty časem vstupují do polykondenzační reakce, jejíž první stádium lze vyjádřit takto:



V důsledku polykondenzace mohou vznikat různé polykřemičité kyseliny s lineární a rozvětvenou strukturou<sup>6</sup>.

V povrchových vodách se křemík může rovněž nacházet ve formě rozpustných organokřemičitých derivátů, především sloučenin kyselin křemičitých s huminovými látkami. Sloučeniny kyselin křemičitých s huminovými kyselinami vznikají prostřednictvím koordinačně-kovaleนต์ních vazeb, s fulvokyselinami – prostřednictvím vodíkových vazeb<sup>7,8</sup>.

## 3. Výskyt křemíku v minerálních vodách

V důsledku nízké rychlosti tvorby rozpustných křemičitanů jsou hladiny křemíku v přírodních vodách relativně nízké: v říčních vodách od 1 do 20  $\text{mg l}^{-1}$ ; v podzemních vodách od 5 do 40  $\text{mg l}^{-1}$ . Pouze v termálních vodách množství křemíku může dosáhnout až stovek  $\text{mg l}^{-1}$  (cit.<sup>2</sup>).

V minerálních vodách se obsah kyseliny orthokřemičité může významně lišit v závislosti na geologických poměrech jednotlivých zřídelních struktur. Vysoký obsah kyseliny orthokřemičité v některých zdrojích minerálních vod odpovídá dlouhodobému oběhu těchto vod v horninovém prostředí i složitým podmínkám jejich formování. Značné množství křemíku je také přítomno ve vodách, jejichž geneze je spojena s vulkanickou aktivitou<sup>9</sup>.

U vzácně se vyskytujících vod je dosahováno vysoké koncentrace kyseliny orthokřemičité přes 110  $\text{mg l}^{-1}$ , což odpovídá obsahu křemíku 32  $\text{mg l}^{-1}$ . Minerální vody při této koncentraci bioaktivního křemíku (tab. I) mohou sloužit jako jeho významný zdroj<sup>10</sup>.

Česká republika je mimořádně bohatá na minerální prameny a jejich využití zde má dlouhou tradici. V roce 1989 bylo dnes už neexistujícím Výzkumným ústavem



vzájemný poměr koexistujících forem jeho výskytu. Proto se stanovuje buď celková koncentrace křemíku, nebo jen některé jeho formy, které se často překrývají<sup>9,13</sup>.

Pro oddělení rozpuštěných a nerozpuštěných forem se používá filtrace vzorku membránovými filtry s velikostí pórů 0,45  $\mu\text{m}$  (cit.<sup>9</sup>).

Mezi nejčastější metody stanovení obsahu křemíku ve vodách různé povahy se řadí metoda, která je založená na reakci křemičitanů s molybdenanem amonným v kyselém prostředí za vzniku žluté molybdatokřemičité kyseliny. Za účelem zvýšení citlivosti metodiky se často provádí redukce žluté molybdatokřemičité kyseliny na směs sloučenin označovaných obvykle jako silikomolybdenová modř. S molybdenanem amonným nereagují všechny sloučeniny křemíku. Jako příklad lze uvést nerozpuštěné křemičitan, včetně koloidních disperzí, které nereagují s molybdenanem prakticky vůbec<sup>9</sup>.

V současné době stále větší popularitu při stanovení křemíku ve vodních roztocích nabývají instrumentální metody: atomová emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-AES), hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS) a atomová absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací<sup>13</sup>. Elektrotermickou atomovou absorpční spektrometrii je možné použít i při stanoveních křemíku v biologických materiálech<sup>14</sup>.

## 5. Potravinové zdroje křemíku

Křemík se v podobě kyseliny orthokřemičité nachází především v potravinách rostlinného původu (tab. II).

Hlavními zdroji křemíku jsou oves a ječmen (3910–4310 a 2610–2720  $\text{mg kg}^{-1}$ )<sup>15</sup>. Dále se nachází také v zelenině a ovoci, zejména v čočce a banánech (44  $\text{mg}/100 \text{ g}$ ). U masných a mléčných výrobků je množství křemíku mnohem nižší<sup>16</sup>. Průměrný příjem křemíku s jídlem a vodou pro obyvatele různých zemí se výrazně liší (tab. III).

Přibližně 20 % z celkového množství křemíku spotřebovaného člověkem za den se nachází v pitné vodě a nápojích, včetně piva, které obsahuje v průměru 20–25  $\text{mg l}^{-1}$  křemíku. Nejbohatší na křemík jsou piva obsahující vysoké hladiny sladového ječmene a chmele<sup>17</sup>. Absorpce křemíku v gastrointestinálním traktu závisí na rozpustnosti sloučenin obsažených ve stravě. U některých polymerních křemíkových sloučenin je absorpce přibližně 1 %, zatímco kyselina orthokřemičitá se vstřebává organismem velice snadno (30–80 %) <sup>2,10</sup>. Z toho důvodu je důležité počítat nejen s celkovým obsahem křemíku v potravinách, ale i s formou jeho výskytu.

## 6. Terapeutické a biologické účinky kyseliny orthokřemičité

Přes neúplnost báze znalostí o specifických biochemických a fyziologických účincích se v posledních letech zvýšil zájem o potenciální terapeutické účinky ve vodě rozpustných sloučenin křemíku (obr. 2). Toxicita orálně podávaného křemíku nebyla dosud pozorována. Nadměrný příjem z potravin může ale participovat na tvorbě močových kamenů<sup>10</sup>.

Tabulka II

Údaje o dostupnosti křemíku v různých potravinách (průměr  $\pm$  SD)<sup>40</sup>

Potravina	Celkový obsah křemíku [ $\mu\text{g}/100 \text{ g}$ ]	Dostupnost pro lidský organismus [%]
Hovězí plátek	121	72 $\pm$ 15
Kuřecí prsa	109	40 $\pm$ 4
Mušle	9588	5,5 $\pm$ 0,6
Krevety	1000	11,1 $\pm$ 0,8
Snídaňové cereálie	8250	7,7 $\pm$ 2,5
Ovesné vločky	18 800	2,1 $\pm$ 0,4
Celozrnná rýže	16 200	7,6 $\pm$ 1,3
Celozrnná pšeničná mouka	2770	20,0 $\pm$ 0,5
Kravné mléko	76	49 $\pm$ 8
Sójové mléko	580	72
Kojenecké mléko	124	62 $\pm$ 1
Kojenecká strava	1275–2080	55–64 $\pm$ 7
Fazole	5577	0,6 $\pm$ 0,1
Pórek	63	75 $\pm$ 11
Špenát	1782	4,9 $\pm$ 0,3
Banány	6195	5,8 $\pm$ 0,7
Pivo (v plechu)	1980	109 $\pm$ 0,8
Čaj (sphařené čajové lístky)	18,1	20 $\pm$ 2

Tabulka III  
Denní příjem křemíku v různých zemích<sup>44</sup>

Země	Si [mg]
Finsko	29
Velká Británie	20–50
Evropské státy	16–62
Spojené státy americké	30–33 (m), 24–25 (ž)
Čína	139
Indie	143–204

V těle dospělého člověka je přítomno přibližně od 2 do 7 g křemíku. Zvýšeným obsahem křemíku se obvykle vyznačují tkáně a orgány, v nichž jsou slabě rozvinuty nebo zcela chybí nervová vlákna. Maximální množství křemíku bylo zjištěno v pojivové tkáni, plicích, žlázách s vnitřní sekrecí, ve tkáních oka, aortě, průdušnici, kostech, šlachách, zubní sklovině. Křemík je obsažen v hypofýze ( $3,8 \cdot 10^{-2}$  %), ve tvrdé plně mozkové a bílé hmotě míšni ( $5,3 \cdot 10^{-5}$  %), v mozkomíšním moku, v oční čočce a ve štítné žláze ( $1,9 \cdot 10^{-2}$  %), a také ve tkáních ledvin, srdce a jiných orgánů<sup>18</sup>.

### 6.1. Osteoporóza

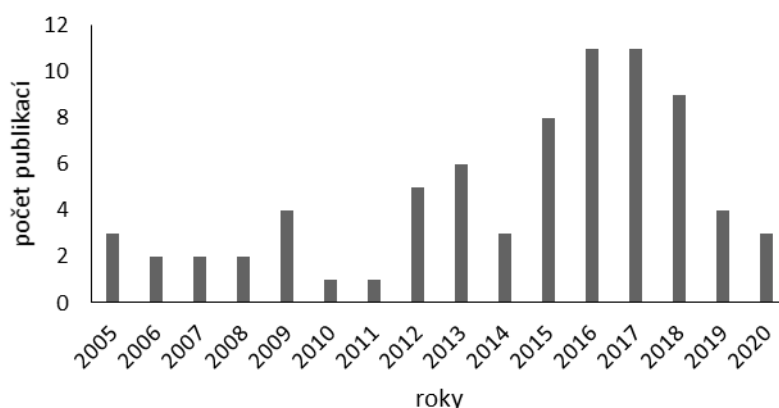
Zvláštní pozornost je v dosavadních publikacích věnována možnosti použití křemíku v prevenci a léčbě osteoporózy (tab. IV). Osteoporóza je chronické onemocnění, které se projevuje postupným řídnutím kostní tkáně, představuje v celosvětovém měřítku významnou příčinu patologií a úmrtí<sup>19</sup>. Odhaduje se, že na celém světě trpí osteoporózou více než 200 milionů lidí<sup>20</sup>. Následkem komplikací, spojených se zlomeninou krčku stehenní kosti, která bývá častým následkem pokročilejšího stádia osteoporózy, umírá do šesti měsíců 20 % pacientů<sup>21</sup>. Více než 50 % žen, které utrpěly tento typ zlomenin, již není schopno se vrátit k předchozímu způsobu života a 20 % vyžaduje dlouhodo-

bu péči. Profylaktická role některých mikroživin ve vývoji osteoporózy byla opakovaně prokázána. V poslední době se kromě vápníku stále více pozornosti věnuje křemíku jako další důležité složce při tvorbě a remodelaci kostní tkáně.

Počáteční experimenty věnované nutričnímu významu křemíku pro lidské zdraví prokázaly, že příjem monomethyl trisilanolu jako externího zdroje křemíku přispěl k nárůstu BMD (bone mineral density = množství mineralizované kostní tkáně v jednotkové ploše;  $\text{g cm}^{-2}$ ) trabekulární kosti<sup>22</sup>. V experimentech prováděných na kuřatech byla prokázána potřeba dostatečného množství křemíku pro jejich normální růst a vývoj. V případě nedostatku tohoto mikroelementu se u kuřat vyvinuly anomálie, jako je např. deformace lebky a úbytek kostní tkáně, což vedlo k četným zlomeninám<sup>2</sup>.

Další pozorování možného nedostatku křemíku ve stravě u parenterálně krmených dětí prokázala korelaci snížených koncentrací křemíku ve stravě a sníženého obsahu minerálů v kostech<sup>23</sup>. Byla zjištěna také závislost mezi postmenopauzální osteoporózou, tedy osteoporózou způsobenou poklesem hladiny estrogenu v těle ženy, a nedostatečným příjmem křemíku ve stravě. Osteoporóza postihuje třetinu až polovinu všech žen v období menopauzy<sup>24,25</sup>. Prospektivní studie APOSS (Aberdeen Prospective Osteoporosis Screening Study) prokázala pozitivní souvislost mezi zvýšeným příjmem křemíku a BMD v oblasti bederní páteře u premenopauzálních žen<sup>26</sup>.

Křemík ovlivňuje tvorbu kolagenu a glykosaminoglykanu, je potřebný pro maximální aktivitu kostní prolylhydroxylasy, jeho deficit snižuje aktivitu ornithinaminotransferasy<sup>27,28,29</sup>. Přítomnost křemíku zároveň zvyšuje absorpci dalších minerálních prvků, např. hořčíku a mědi<sup>30</sup>. Křemík se také používá jako remineralizující regenerant a aktivně se podílí na prevenci onemocnění cévních stěn – aterosklerózy – procesu, který patofyziologicky podmiňuje řadu klinických onemocnění (ischemická choroba srdeční, ischemická cévní mozková příhoda, ischemická choroba dolních končetin). Nedávný



Obr. 2. Počty publikací věnovaných problematice kyseliny orthokřemičité za období 2007–2020 v databázi MEDLINE. Z nalezených publikací byly vybrány studie týkající se zdraví lidí a živočichů. Vlastní zpracování.

Tabulka IV

Shrnutí výsledků studií zaměřených na význam křemíku při léčbě a prevenci osteoporózy

Studie	Metodika	Výsledky
Schiano a spol. <sup>22</sup>	Příjem monomethyl trisilanolu 5,5 mg/den, 20 dní/měsíc, po dobu 3 měsíců ( $n = 14$ ) nebo intramuskulárně 16,5 mg/týden po dobu 4 měsíců ( $n = 16$ ).	↑ objem trabekulární kosti
Eisinger, Clairet <sup>46</sup>	$n = 53$ žen. Křemík byl podáván intramuskulárně 100 mg/týden po dobu 4 měsíců.	↑BMD proximálního femuru
Jugdaohsingh a spol. <sup>47</sup>	$n = 2847$ – $1251$ mužů a $1596$ žen před a po menopauze ve věku 30–87 let. 14–40 mg Si/den.	↑BMD v oblasti kyčle u mužů a premenopauzálních žen, ale ne u postmenopauzálních žen
Spector a spol. <sup>19</sup>	$n = 136$ žen, denně 1000 mg Ca, 20 µg cholekalciferolu (Vit D3) a různé dávky ch-OSA (0, 3, 6 a 12 mg Si)	významný ↑ BMD při dávce 6 mg/den
Macdonald a spol. <sup>26</sup>	Prospektivní studie APOSS, $n = 3199$ premenopauzálních žen ve věku 50–62 let ( $n = 1170$ současných uživatelék HRT, $n = 1018$ nikdy nepoužívaly HRT). Byl upraven příjem biologicky dostupného Si.	↑BMD bederní páteře u premenopauzálních žen

↑ = zvýšení, BMD – Bone Matter Density, denzita kostního minerálu, HRT – Hormone Replacement Therapy, hormonální substituční terapie, ch-OSA – choline-stabilized OrthoSilicic Acid. Vlastní zpracování

výzkum na králicích prokázal, že výživové doplňky s obsahem křemíku snižují riziko různých kardiovaskulárních chorob, včetně infarktu a mozkové mrtvice<sup>31</sup>.

Kyselina orthokřemičitá také stimuluje syntézu kolagenu typu I (nejrozšířenějšího kolagenu v organismu) v osteoblastech a kožních fibroblastech<sup>32</sup>.

## 6.2. Alzheimerova choroba

Je prokázáno, že kyselina orthokřemičitá působí i jako přirozené antidotum proti toxicitě hliníku. Zvýšená hladina hliníku v lidském mozku bývá spojována s chronickým únavovým syndromem, epilepsií, poruchami pozornosti, Alzheimerovou chorobou, Guilliane-Barréovým syndromem a s dalšími poruchami<sup>33,34</sup>.

Již malé množství křemíku ve vodě chrání ryby před toxicitou hliníku. Při přebytku křemíku (ve formě kyseliny orthokřemičité) se snižuje biologická dostupnost hliníku a tím i jeho akutní toxicita<sup>35</sup>.

Podle některých studií křemík výrazně snižuje akumulaci hliníku v mozku potkanů<sup>36</sup>.

Tříměsíční terapie zahrnující konzumaci minerální vody s vyšším obsahem křemíku přispívá ke zvýšenému vylučování hliníku močí, aniž by došlo k současné exkreci dalších esenciálních kovů<sup>37</sup>. Vědci rovněž prokázali, že u pacientů s Alzheimerovou chorobou došlo ke snížení hladiny hliníku v rozmezí 50–70 %. Z toho důvodu se doporučuje konzumovat minerální vodu s koncentrací  $\text{SiO}_2$  vyšší než  $11 \text{ mg l}^{-1}$ , aby se předešlo rizikům vzniku Alzheimerovy choroby vyvolané hliníkem<sup>38</sup>. Zvýšení denního příjmu oxidu křemičitého o 10 mg snižuje i riziko demence u starších osob (upravené relativní riziko = 0,89,  $p = 0,036$ )<sup>33</sup>.

## 6.3. Vlasy, nehty, kůže a celková imunita

Jak již bylo uvedeno, kyselina orthokřemičitá může stimulovat produkci kolagenu a tím zlepšovat funkci pojivové tkáně, dodávat tkáním pružnost a pevnost. Nedostatek křemíku způsobuje řídnutí vlasů, lámavost nehtů, tvorbu vrásek a celkové stárnutí pokožky<sup>39,40</sup>. Dostatek křemíku ve stravě funguje i jako prevence některých závažných kožních problémů, jako jsou ekzémy a lupénka. Jako součást doplňků stravy se s ohledem na dobrou vstřebatelnost kyseliny orthokřemičité (viz dále) používá kyselina orthokřemičitá stabilizovaná cholinem (choline-orthosilicic acid = ch-OSA). Pozitivní účinky užívání ch-OSA na mikrorelief a elasticitu pokožky byly prokázány u žen ve věku 40 až 65 let s jasnými klinickými příznaky stárnutí pleti<sup>41</sup>. Kromě toho příjem ch-OSA výrazně zlepšuje kvalitu vlasů a nehtů<sup>42</sup>.

Imunitní systém také nemůže normálně fungovat při nedostatku křemíku<sup>43</sup>. Křemík pomáhá se zvyšováním hladiny lymfocytů a imunoglobulinů (zejména IgG)<sup>22</sup>.

## 7. Závěr

Existuje řada studií ukazujících na důležitost křemíku pro zdraví. Kyselina orthokřemičitá, jako hlavní zdroj biologicky využitelného křemíku, má významnou roli při prevenci osteoporózy a neurologických poruch včetně Alzheimerovy choroby, je důležitá pro imunitní systém, při obnově a výstavbě kolagenových a elastinových vláken, aktivně se podílí také na prevenci aterosklerózy. Ukazuje se, že minerální vody mohou být díky obsahu kyseliny orthokřemičité významným zdrojem křemíku pro orga-

nismus. Tuto jejich vlastnost by bylo možné v budoucnu využít i k rozšíření spektra jejich aplikace v lázeňské léčbě i prevenci. To však bude možné až po provedení podrobných studií zaměřených na objektivní účinky konzumace minerálních vod s obsahem kyseliny křemičité na lidské zdraví.

## LITERATURA

- Basile-Doelsch I., Meunier J. D., Parron C.: *Nature* 433, 399 (2005).
- Jugdaohsingh R.: *J. Nutr., Health Aging* 11, 99 (2007).
- Cejnar R., Dostál P.: *Chem. Listy* 107, 110 (2013).
- Bowen H. J. M., Peggs A.: *J. Sci. Food Agric.* 35, 1225 (1984).
- Robards K., McKelvie I. D., Benson R. L., Worsfold P. J., Blundell N. J., Casey H.: *Anal. Chim. Acta* 287, 147 (1994).
- Kambalina M., Skvortsova L., Mazurova I., Guseva N.: *Bull. Tomsk Polytech. Univ.* 323, 3 (2013).
- Dupius T., Tamby P., Dupuis J.: *Bull. Assoc. Fr. Etude Sol* 4 (1982).
- Bekbulatova I., Skvortsova L., Shchegoleva I.: *Bull. Tomsk Polytech. Univ. – Geo Assets Eng.* 328, 7 (2017).
- Pitter P.: *Chem. Listy* 96, 188 (2002).
- <http://www.ctpp.cz/data/files/Vyznam%20kremiku%20ve%20strave.pdf>, staženo 27. 7. 2020.
- Nevoral V., Berdychová M., Lstibůrková M., Tesar J.: *Balneol. Listy* 17, 28 (1989).
- Trískala Z., Jandová D.: *Medicína přírodních léčivých zdrojů. Minerální vody*. Grada Publishing, Praha 2019.
- Bohdálková V.: *Využití techniky ICP-MS v analytice životního prostředí a její možnosti při stanovení křemíku ve vodách. Bakalářská práce*. Vysoké učení technické v Brně, Brno 2011.
- Huang M., Krivan V.: *Fresenius J. Anal. Chem.* 368, 227 (2000).
- European Food Safety Authority: Opinion of the Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food on calcium silicate, silicon dioxide and silicic acid gel added for nutritional purposes to food supplements following a request from the European Commission. *EFSA J.* 1132, 1 (2009).
- Robberecht H., Van Cauwenbergh R., Van Vlaslaer V., Hermans N.: *Sci. Total Environ.* 407, 47 (2009).
- Casey T. R., Bamfroth C. W.: *J. Sci. Food Agric.* 90, 784 (2009).
- Zelenkov V. N., Potapov V. V.: *Bull. Russian Acad. Nat. Sci.* 2, 4 (2016).
- Spector T. D., Calomme M. R., Anderson S. H., Clement G., Bevan L., Demeester N., Swaminathan R., Jugdaohsingh R., Berghe D. A., Powell J. J.: *BMC Musculoskeletal Disord.* 9, 85 (2008).
- Reginster J. Y., Burlet N.: *Bone* 38, 4 (2006).
- Brožová K.: *Osteoporóza, osteopenie a pohybová aktivita. Bakalářská práce*. Univerzita Karlova v Praze, Praha 2007.
- Schiano A., Eisinger F., Detolle P., Laponche A. M., Brisou B., Eisinger J.: *Rev. Rhum. Mal. Osteoartic.* 46, 483 (1979).
- Moukarzel A. A., Song M., Buchman A. L., Ament M. E.: *J. Am. Coll. Nutr.* 11, 584 (1992).
- Riggs B. L., Melton J. L.: *N. Engl. J. Med.* 314, 1676 (1986).
- Povoroznjuk V. V., Grigorjeva V. A.: *Reproduktivnaja Endokrinologija* 4, 40 (2012).
- Macdonald H. M., Hardcastle A. C., Jugdaohsingh R., Fraser W. D., Reid D. M., Powell J. J.: *J. Bone Miner. Res.* 50, 681 (2012).
- Farooq M. A., Dietz K. J.: *Front. Recent Dev. Plant Sci.* 6, 994 (2015).
- Carlisle E. M.: *Sci. Total Environ.* 73, 95 (1988).
- Hott M., Pollak C. D., Modrowski D., Marie P. J.: *Calcif. Tissue Int.* 53, 174 (1993).
- Emerick R., Kayongo-Male H.: *J. Nutr. Biochem.* 1, 487 (1990).
- Sudhakar Rao M., Devasia T., Ganesh P.: *Indian Heart J.* 70, 93 (2018).
- Refitt D. M., Ogston N., Jugdaohsingh R., Cheung H. F. J., Evans B. A. J., Thompson R. P. H., Powell J. J., Hampson G. N.: *Bone* 32, 127 (2003).
- Carlisle E. M.: *Science* 178, 619 (1972).
- Rondeau V., Jacqmin-Gadda H., Commenges D., Helmer C., Dartigues J. F.: *Am. J. Epidemiol.* 169, 489 (2009).
- Birchall J. D., Exley C., Chappell J. S., Phillips M. J.: *Nature* 338, 146 (1989).
- Belles M., Sanchez D. J., Gomez M., Corbella J., Domingo J. L.: *Alzheimer Dis. Assoc. Disord.* 12, 83 (1998).
- Davenward S., Bentham P., Wright J., Crome P., Job D., Polwart A., Exley C.: *J. Alzheimer's Dis.* 33, 423 (2013).
- Guyonnet S., Andrieu S., Nourhashemi F., de La Guéronnière V., Grandjean H., Vellas B.: *Am. J. Clin. Nutr.* 81, 897 (2005).
- Jurkić L. M., Cepanec I., Pavelić S. K., Pavelić K.: *Nutr. Metab.* 10, 2 (2013).
- Robberecht H., Van Dyck K., Bosscher D., Van Cauwenbergh R.: *Int. J. Food Prop.* 11, 638 (2008).
- Barel A., Calomme M., Timchenko A., De Paepe K., Demeester N., Rogiers V., Clarys P., Vanden Berghe D.: *Arch. Dermatol. Res.* 297, 147 (2005).
- Wickett R. R., Kossmann E., Barel A., Demeester N., Clarys P., Vanden Berghe D.: *Arch. Dermatol. Res.* 299, 499 (2007).
- Henrotte J. G., Viza D., Vich J. M., Gueyne J.: *C. R. Acad. Sci.* 306, 525 (1988).
- Vapirov V., Feoktistov V., Venskovich A., Vapirova N.: *Uchenye Zapiski Petrozavodskogo Gosudarstvennogo Universiteta* 2(163), 95 (2017).
- Kudláček K., Šerksová V., Drmota A., Pokorný J., Kubec D.: *Fyzikálně – chemický srovnávací výzkum minerálních pramenů v okolí Mariánských Lázní. Závěrečná zpráva*. Soukromé reálné gymnázium Pří-

rodní škola, o. p. s., Praha 2009.

46. Eisinger J., Clairet D.: *Magnes. Res.* 6, 247 (1993).
47. Jugdaohsingh R., Reffitt D. M., Oldham C., Day J. P., Fifield L. K., Thompson R. P. H.: *Am. J. Clin. Nutr.* 71, 944 (2000).

**A. Huseynli and T. Vylita** (*Institute of Spa and Balneology, Karlovy Vary*): **Health Effects of Orthosilicic Acid**

It is the aim of this work to summarize the current state of the art and provide a broader view of the most significant sources of biologically utilized silicates – orthosilicic acid. Orthosilicic acid ( $H_4SiO_4$ ) plays an important role in the prevention and therapy of osteoporosis and neurological disorders, including Alzheimer disease.

In addition, it plays a major role in the immune system during the renewal of collagen and elastin fibres. It is actively involved in the prevention of atherosclerosis, a process directing an array of clinically relevant diseases (myocardial infarction, angina pectoris, ischemic heart disease, ischemic brain disease, and/or ischemic disease of lower limbs). It seems that mineral waters could be an important source of silicon or orthosilicic acid. Thus, the spectre of the use of mineral waters in balneotherapy should be broader. However, further investigations of the levels of orthosilicic acid in various mineral waters and their therapeutic uses are necessary.

**Keywords:** silicon, orthosilicic acid, therapeutic effects, health, mineral waters, osteoporosis, neurological diseases, balneology