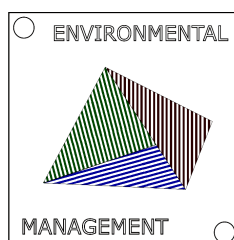


TRANSPORTNÝ SYSTÉM - VPLYV VYBRANÝCH CHEMICKÝCH UKAZOVATEĽOV NA KVALITU VODY

Daniela Cvelihárová¹ - Alena Pauliková²

TRANSPORT SYSTEM - INFLUENCE OF SELECTED CHEMICAL INDICATORS ON WATER QUALITY




¹ Technická univerzita v Košiciach, SvF, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, Slovenská republika ✉ Email: daniela.cveliharova@tuke.sk

² Slovenská technická univerzita, Materiálovotechnologická fakulta, Trnava, Jána Bottu 25, 917 24, Trnava Slovenská republika ✉

Email: alena.paulikova@stuba.sk  ORCID iD: 0000-0002-2959-5656


 Competing interests : The author declare no competing interests.

 Publisher's Note: Slovak Society for Environment stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations. Copyright: © 2021 by the authors.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

This license allows reusers to distribute, remix, adapt, and build upon the material in any medium or format, so long as attribution is given to the creator. The license allows for commercial use.

 Review text in the conference proceeding: Contributions published in proceedings were reviewed by members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.

ABSTRAKT

Pitná voda je zdrojom zdraviu prospešných látok. Obsahuje množstvo dôležitých stopových látok ako sú vápnik, horčík, fosfor, fluór, sodík, draslík, zinok, meď, selén, mangán, železo, jód a chróm. Z vody do organizmu človek dostáva 5 až 20% denného príjmu vápnika a horčíka. Železo a mangán sú bežné zložky v podzemných vodách. Voda z vodovodu je upravená podľa normy a tieto látky sa nesmú presiahnuť. Medzi problémy patria poruchy na vodovodnom potrubí a zhoršená kvalita vody v potrubí. Zmena kvality pitnej vody v distribučných systémoch závisí od použitých konštrukčných materiálov.

KEÚČOVÉ SLOVÁ: tvrdosť vody, prvky vo vode, materiál vodovodného potrubia

ABSTRACT

Drinking water is a source of beneficial substances. It contains many important trace elements such as calcium, magnesium, phosphorus, fluorine, sodium, potassium, zinc, copper, selenium, manganese, iron, iodine and chromium. From water to the body, a person receives 5 to 20% of daily intake of calcium and magnesium. Iron and manganese are common components in groundwater. Tap water is treated according to the standard and these substances must not be exceeded. Problems include faults in the water pipes and poor water quality in the pipes. The change in the quality of drinking water in distribution systems depends on the construction materials used.

KEY WORDS: water hardness, elements in water, water pipe material

ÚVOD

Príčiny tvorby inkrustácií spočívajú vo vlastnostiach potrubných materiálov, v chemizme dopravovanej vody a v prostredí, v ktorom je potrubie uložené [21]. Materiál vodovodného radu potrubia sa volí tak, aby jeho kvalita zodpovedala požadovanej životnosti a aby celá stavba vodovodu bola čo najekonomická pri rešpektovaní konkrétnych hydraulických, geologických, klimatických, dopravných a ostatných vonkajších podmienok [10].

V transportnom systéme medzi chemické faktory, ktoré ovplyvňujú kvalitu vody môžeme zaradiť tvrdosť vody, obsah vápnika, mangánu, železa vo vode, materiál potrubia a druhy potrubia. V transportnom systéme na kvalitu pitnej vody a tvorbu inkrustov majú vplyv aj fyzikálne faktory a geometrické charakteristiky, taktiež prevádzkové a inkruštné faktory.

TVRDOŠŤ VODY

Každá voda obsahuje minerály v prírodnej podobe, ich obsah závisí od geologickej skladby horniny, ktorou voda v podzemí preteká [1]. Pod tvrdosťou vody rozumieme súčet obsahu vápnika a horčíka vo vode [3]. Tvrdosťou vody sa vyjadruje obsah vo vode rozpustených nerastov, z ktorých prevažuje vápnik a horčík. Usadzovanie vodného kameňa súvisí s chemickým zložením vody a chemickými reakciami, ktoré v nej prebiehajú. Aby voda nemala ani zvýšené korozívne a inkruštné vlastnosti, musí byť v stave vápenato - uhličitanovej rovnováhy [13]. Voda udržuje svoju vápenato - uhličitanovú rovnováhu buď vylučovaním málo rozpustného uhličitanu vápenatého CaCO_3 alebo naopak jeho rozpúšťaním za vzniku vo vode rozpustného $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ [27,s.76].

Pri zohrievaní a vare sa najmä vápnik a čiastočne aj horčík vylučuje vo forme nerozpustných uhličitanov (najmä CaCO_3), prípadne sa usadzujú aj sírany a kremičitany [20]. K zmene uhličitanovej rovnováhy dochádza najmä v prípade teplej vody a to vytesňovaním rovnovážneho oxidu uhličitého [13]. Celková tvrdosť vody teda zodpovedá celému obsahu vápnika a horčíka vo vode [20], Tab. 1.

Tabuľka 1 - Tabuľka tvrdosti vody v SR [33]

mmol/l	°dH	voda
0÷0,70	0÷3,92	veľmi mäkká
0,71÷1,42	3,92÷7,95	mäkká
1,43÷2,14	7,96÷11,99	stredne tvrdá
2,15÷3,20	12,00÷17,92	tvrdá
3,21÷5,40	17,93÷30,24	veľmi tvrdá

Vodný kameň je vyzrážaný povlak [uhličitanu vápenatého](#), na stenách nádob alebo potrubí, ktorými je vedená alebo predovšetkým zahrievaná a potom ochladzovaná [tvrdá voda](#), ktorej teplota je nižšia ako 100°C [30].

Tvrdá voda spôsobuje vodný kameň, koróziu a inkruštnosť vodovodných potrubí (obalenie vnútra potrubia stvrdnutými časticami) [8], Obr. 1.



Obrázok 1 - Upchaté šedé liatinové potrubie pitnej vody[32]

Tvrdosť pitnej vody verejných vodovodov na území SR dosahuje značné rozdiely [21]. Tvrdosť vody opisuje ekvivalentnú koncentráciu iónov zemín rozpustených vo vode. Medzi „tvrdidlá“ patria najmä ióny vápnika a horčíka, ako aj stopy iónov stroncia a bária. Tieto kationy majú veľký pozitívny fyziologický význam, ale narúšajú niektoré použitia vody.

Tvorba nánosov v zariadeniach prichádzajúcich do styku s vodou je podmienená prítomnosťou solí vo vode, hlavne obsahom hydrogénuhličitanu vápenatého $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, resp. horečnatého $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, a uhličitanu vápenatého CaCO_3 , resp. horečnatého MgCO_3 . Ak koncentrácia týchto uhličitanov prekročí hodnotu rozpustnosti vo vode, dochádza k vylučovaniu v tuhej forme na stenách zariadení. Kryštály sa pevne prichytia na stenu a začína sa proces tvorby tuhého nános – inkrustácií [4]. Uhličitan vápenatý kryštalizuje v najčastejšie sa vyskytujúcich kryštalografických modifikáciách, napr. ako kalcit, aragonit a vaterit [6].

PRVKY VO VODE

Zvýšený výskyt železa z hygienického hľadiska negatívne ovplyvňuje organoleptické (senzorické) vlastnosti vody (farba, chuť, zákal až hrdzavý sediment).

V malých koncentráciách je výskyt železa bežnou súčasťou vôd. Vyskytuje sa v oxidačnom stupni II a III. Medznú hodnotu železa pre pitnú vodu 0,2 mg/l určuje Vyhláška MZ SR č. 247/2017 Z. z. [26]. Podzemné vody obsahujú rozpustené železo a v nižších koncentráciách aj mangán. Obidva prvky vytvárajú nepríjemné vlastnosti vody. Veľké množstvo železa dáva vode trpkú, atramentovú chuť a hnedý zákal. Vlákňité železité baktérie prerastajú vodovodné potrubie a znižujú prietokovosť [25,s.168]. V pitnej vode je medzná hodnota obsahu železa 0,2 mg/L [27,s.58]. Vodovodné potrubia sú často z pozinkovaného železa. Skorodované železné potrubie môže viesť k zvýšeniu hladiny železa v pitnej vode [23].

Vplyvom vnútornej korózie predovšetkým nechráneného oceľového a liatinového potrubia môže dôjsť k druhotnému "zaželezovaniu" vody koróznymi produktmi, čo sa prejaví vo zvýšení koncentrácie železa a zvýšení hodnôt farby a zákalu [5].

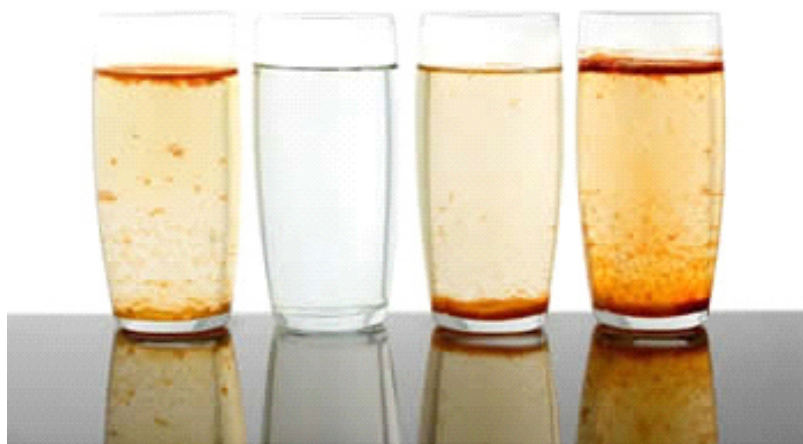
Hnedé sfarbenie vody zväčša spôsobujú formy oxidu železa, ktoré vznikajú koróziou vnútorných stien oceľového či liatinového potrubia alebo častokrát v domových rozvodoch pozinkovane potrubie. Takéto častice sa prirodzene usadzujú na stenách potrubia, tvoria inkrusty a za bežných okolností sa do pitnej vody neuvolňujú [26].

Prekročenie medznej hodnoty do 0,50 mg/l je prípustné, len ak ide o železo z geologického podložia a ak nedochádza k nežiaducemu ovplyvneniu senzoričných vlastností vody [28].

Zvýšený obsah mangánu sa môže prejaviť aj v premnožení mangánových baktérií, ktoré môže viesť k upchávaniu vodovodného potrubia [24]. Technológia úpravy v úpravni vody Bukovec je dvojestupňová, prispôbená na odstránenie antimónu, arzenu, zákalotvorných látok, makromolekulových organických látok, mikrobiologického a biologického znečistenia a mangánu [2]. Mangán podstatne viac ovplyvňuje organoleptické vlastnosti vody než železo. Spôsobuje jej hnedočervené sfarbenie a ovplyvňuje jej chuť a pach. Jeho povolená koncentrácia v pitnej vode je oveľa nižšia než pre železo, a to aj z dôvodu, že nadmerný rozvoj mangánových baktérií spôsobuje zarastanie vodovodného potrubia ich biomasou. Medzná hodnota mangánu pre pitnú vodu je 50 µg/l, ktorú určuje Vyhláška č. 247/2017 Z. z. [26, 12], ktorou sa ustanovujú podrobnosti o kvalite pitnej vody, kontrole kvality pitnej vody, programe monitorovania a manažmente rizík pri zásobovaní pitnou vodou [27,s.58].

Vlastnosti mangánu sú podobné vlastnostiam železa, mangán sa usadzuje v podobe kalu alebo vločiek a robí vodu nepoživatelnou [25 s.168], Obr. 2.

Prekročenie medznej hodnoty do 0,20 mg/l je prípustné, len ak ide o mangán z geologického podložia a ak nedochádza k nežiaducemu ovplyvneniu senzorických vlastností vody [28].



Obrázok 2 - Železo a mangán vo vode [34]

MATERIÁL POTRUBIA

Životnosť potrubí je daná materiálom použitým na ich výrobu [4]. Všetky materiály použité na potrubné súčasti vodovodov vrátane výsteliek, vonkajších izolácií a tesnení, musia byť vhodné na použitie na pitné účely. Nesmú spôsobiť žiadne neprípustné zhoršenie kvality vody, s ktorou prichádzajú do styku [29]. Materiály vodovodného potrubia v kolektoroch musia spĺňať požiadavky STN EN 805 Vodárenstvo – Požiadavky na systémy a súčasti vodovodov mimo budov, ako aj požiadavky dané týmto štandardom [14]. Pri kontakte vody s materiálom potrubia (najmä kovovým) dochádza k tvorbe inkrustov (vyzrážavanie niektorých látok z vody a ich postupné usadzovanie na vnútornom povrchu potrubia, vrátane produktov korózie) [5].

Oceľové rúry sú pevné a odolné voči vysokému vonkajšiemu a vnútornému namáhaniu. Sú však citlivé na vonkajšiu i vnútornú koróziu, preto je potrebné ich chrániť. V minulosti sa chránili potrubia asfaltovým náterom, dnes sa používa cementová výstelka [7].

Hladká stena plastových rozvodov často spôsobuje, že sa vodný kameň kryštalizuje na stenách potrubia a takéto "šupinky" sa postupom času zachytávajú na zúžených miestach ako sú zvary potrubia, redukcie či prechody z jedného materiálu na druhý. Postupom času tieto nánosy vytvoria zátku, ktorá zachytáva nielen mechanické nečistoty a zároveň je častým zdrojom baktérií a biofilmov v potrubí [9], Obr. 3.

PE100 potrubie je možné použiť v rozmedzí teplôt -40°C až +60°C s ohľadom na zmenu prevádzkového tlaku [18]. Výhody PE potrubia sú odolnosť voči korózii a nulová inkrustácia [17].

Polyetylénové potrubie sa štandardne používa pre vonkajšie tlakové rozvody pitnej vody [22]. Na montáž vnútorných vodovodov sa používajú potrubia zo všetkých typov PE o vnútornom priemere 16 až 63 mm [11]. Potrubie z vysokohustého lineárneho polyetylénu (HDPE) sa ukladá do zeme a je určené pre vonkajšie tlakové rozvody pitnej vody a iných médií, voči ktorým je daný typ HDPE stály. Predpokladaná životnosť PE potrubí pri prevádzkovej teplote 20°C je 50-100 rokov. PE potrubia sú použiteľné v rozmedzí teplôt -40°C až +60°C [16].



Obrázok 3 - Vodovodné potrubie[31]

Pre účinnú ochranu proti korózii, napríklad pôsobeniu bludných prúdov, treba kovové potrubia ochrániť povlakmi, spĺňajúcimi základné požiadavky na protikoróziu ochranu. Oceľové potrubia, zabezpečené protikoróznou ochranou sa navrhujú len veľmi výnimočne (v zložitých prípadoch). Mäkká oceľ podlieha celkovej korózii, prvotné napadnutie je vyvolané vysokou koncentráciou rozpusteného kyslíka [5].

Materiál na privádzacie a tranzitné vodovodné potrubia je tvárna liatina. Liatinové rozvody sú určené na väčšie svetlosti potrubia a väčšinou len na studenú vodu. PE sa využíva na rozvod studenej vody. PVC sa zriedkavo používa na vnútorný vodovod. Pre uloženie do zeme materiál PVC nie je používaný. Liatina je preferovaná v podmienkach vysokého dopravného zaťaženia alebo extrémnych prevádzkových podmienok (tlakové pomery). Používané sú rúry s vnútornou cementovou alebo polyuretánovou výstelkou [15]. Liatina alebo tvárna liatina môže podliehať povrchovej erózii agresívnymi vodami [5].

Tradičným materiálom na vnútorné vodovody je liatina. Vplyvom vnútornej korózie predovšetkým nechráneného oceľového a liatinového potrubia môže dôjsť k druhotnému "zaželezovaniu" vody koróznymi produktmi, čo sa prejaví vo zvýšení koncentrácie železa a zvýšení hodnôt farby a zákalu.

Pre rozvodné a zásobovacie rady sa prednostne taktiež používa tvárna liatina (od DN 80), s povrchovou úpravou (vnútornou aj vonkajšou podľa korozívneho prostredia), je možné však použiť aj plastové HDPE. Potrubie PE musí byť prednostne zvarane elektrotvarovkami, alebo tvarovkami istenými proti posunu – napr. HAWLE systém 2000 [10].

Liatina je podobne ako oceľ zličenina železa, uhlíka a ďalších prvkov. Zatiaľ čo v oceli zostáva uhlík zličený so železom, pri liatine sa oddeľuje od kovu v podobe rovnomerne rozložených grafitových

lamiel (odtiaľ je ich metalurgický názov – liatiny s lamelovým grafitom). Každá z týchto grafitových lamiel môže pri koncentrácii väčších síl v určitých bodoch pôsobiť ako zárodok trhlínky.

PVC je po chemickej stránke polymér vinylchloridu (vinylchlorid je zlúčenina odvodená odetylénu odobratím atómu vodíka a nahradením atómom chlóru), t. j. organická zlúčenina zložená z chlóru, uhlíka a vodíka. Používajú sa dve formy polyvinylchloridu: nemäkčený polyvinylchlorid PVC.

Oceľ je po chemickej stránke zliatina železa, uhlíka, kremíka a fosforu. Polyetylén (PE) je nekovový materiál používaný na potrubie [7]. Tradičným materiálom na vnútorné vodovody je oceľ [19]. Vždy však musí byť potrubie opatrené vnútornou výstelkou zabezpečujúcou udržanie požadovanej kvality vody [15].

ZÁVER

Hlavným cieľom článku bolo informovať o vybraných chemických ukazovateľoch, ktoré môžu mať vplyv na tvorbu inkrustácií v transportných systémoch na prenos média, v tomto prípade vody. Tieto chemické ukazovatele ovplyvňujú environmentálnu kvalitu a pri nich môžeme konštatovať, že dokonca výrazne ovplyvňujú životný cyklus použitých materiálov transportných vodovodných systémov. Ich optimalizáciou vieme životnosť potrubí predĺžiť alebo skrátiť, aby sme sa vyhli predčasnej poruche v systéme alebo dokonca k výmene systému pre zásobovanie pitnou vodou.

Pod'akovanie [zaradenie príspevku]

Tento článok vznikol s podporou projektu P4+ Vplyv vybraných (relevantných) charakteristík transportných potrubných systémov na zabezpečenie stanovenej kvality vody s VV Sa.s. Košice a s podporou projektu VEGA 1/0230/21 Environmentálna kvalita a životný cyklus stavebných materiálov.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] Cvelihárová, D., Pauliková, A. Charakteristika anorganických látok a vodného kameňa. In: Motivation - Education - Trust - Environment - Safety 2020: Recenzovaný zborník z V. medzinárodnej vedeckej konferencie, Ružomberok 21.2.2020. Bratislava (Slovensko): Slovenská spoločnosť pre životné prostredie s. 141-151. ISBN 978-80-973460-7-2
- [2] <http://www.vodarne.eu/index.php?id=aktuality-tlaove-spravy&post=tlaova-sprava-8-aprila-2019-1>
- [3] <http://www.bvsas.sk/sk/o-vode/voda-ako-napoj/vybrane-ukazovatele-kvality-pitnej-vody-co-presne-znamenaju.html>
- [4] http://www.superbarter.sk/media/docs/request/12670/12670_c0867d250f42dd552013.pdf
- [5] <https://www.smv.cz/res/archive/015/001798.pdf?seek=1429083261>
- [6] Pauliková, A. Cvelihárová, D. Niektoré aspekty fyzikálneho pôsobenia na kvalitatívne vlastnosti vody. In: Nástroje environmentálnej politiky: Recenzovaný zborník z VIII. medzinárodnej vedeckej konferencie, 9.3.2018, Bratislava. Žilina (Slovensko): Strix s. 44-48. ISBN 978-80-89753-28-4
- [7] https://www.svf.stuba.sk/buxus/docs/dokumenty/skripta/Vodohospodarske_stavby_Boziko_va.pdf
- [8] <http://nasavoda.sk/magazin/zdravie-a-pitny-rezim/tvrda-a-makka-voda-aky-vplyv-maju-na-zdravie-a-ako-zistit-ktoru-mate-doma/>
- [9] <https://www.watertechnology.sk/sluzby/zvysenie-prietoku-cistenie-hrdze-vodneho-kamena.html>
- [10] http://www.stvs.sk/admin/files/file_39_1480930123.pdf
- [11] <http://www.pipeco.sk/index.php/sk/vodovody-sk/technicky-manual-sk/67-instalacia-hdpe-potrubu>
- [12] Cvelihárová, D., Pauliková, A. Legislatívna podpora pre zabezpečenie požadovanej kvality

- vody v distribučných systémoch. In: Globálne existenciálne riziká 2019: Recenzovaný zborník príspevkov z 9 medzinárodne vedeckej konferencie. Žilina (Slovensko): Strix s. 114-124. ISBN 978-80-89753-35-2
- [13] <https://www.asb.sk/biznis/sprava-budov/pozinkovane-potrubia-vodovodov-vbudovach>
- [14] http://www.bvsas.sk/files/zakaznicka-zona/tlaciva-na-stiahnutie/formulare-stiahnutie-ostatne/svs_web.pdf
- [15] https://www.tvkas.sk/doc/for_download/TS-2007.pdf
- [16] <http://www.pipeco.sk/index.php/sk/vodovody/29-vodovody/hdpe-potrubia/61-vodovodnlakovotrubia-pe-100>
- [17] <http://www.campri.sk/sk/pe-potrubia>
- [18] <https://gawaplast.sk/portfolio/potrubie/>
- [19] <https://urobsisam.zoznam.sk/dom/stavebny-material/materialy-na-rozvod-vody>
- [20] <http://www.kmti.szm.com/ch-p8.pdf>
- [21] <http://www.bvsas.sk/sk/o-vode/voda-ako-napoj/vybrane-ukazovatele-kvality-pitnej-vody-co-presne-znamenaju.html>
- [22] <https://gawaplast.sk/portfolio/potrubie/>
- [23] Železo v pitnej vode - Aquatrend
- [24] <https://www.garant.sk/odmanganovanie-pitnej-vody>
- [25] Martoň, J. Čermák, O. Hétharši J. Vodárenstvo II. Úprava pitných a úžitkových vôd, STU v Bratislave, Stavebná fakulta. 1997 ISBN: 80-227-0931-X
- [26] <https://avssr.sk/wp-content/uploads/2019/07/vp-02-2019-web.pdf>
- [27] Poláček, Š., Bulla, J., Frančáková, H. Voda, úprava a použitie vo výžive ľudí. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2010. ISBN: 978-80-552-0272-3
- [28] <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2006/354/20160101.html>
- [29] https://www.svf.stuba.sk/buxus/docs/dokumenty/skripta/Vodohospodarske_stavby_Boziko_va.pdf
- [30] https://sk.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%BD_kame%C5%88
- [31] [Prečo je potrebný vodovod v našej obci? – Stránka obce Dolná Žďaňa \(dolnazdana.sk\)](http://www.dolnazdana.sk/preco-je-potrebn%C3%BD-vodovod-v-našej-obci/)
- [32] [Berliner Wasserbetriebe - Sivé liatinové rúry \(bwb.de\)](http://www.berlinerwasserbetriebe.de)
- [33] [Mapa tvrdosti vody na Slovensku - ako ste na tom vy? | ČistáVoda.sk \(cistavoda.sk\)](http://www.cistavoda.sk)
- [34] [Železo a mangán vo vode - novavoda.sk Železo a mangán vo vode](http://www.novavoda.sk)