

ODSTRAŇOVANIE RADÓNU PRI ÚPRAVE VODY

Ing. Karol Munka, PhD., Ing. Marta Vršková, Dpt. Stanislav Varga

Výskumný ústav vodného hospodárstva

Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava, e-mail: munka@vuvh.sk

Úvod

Radón je členom premenového radu ^{238}U a jeho koncentrácia v podzemných vodách závisí od obsahu nuklidu ^{226}Ra v geologickom podloží. Pre nuklid ^{226}Ra je charakteristické, že sa vyskytuje vo všetkých horninách, pričom vo vulkanických horninách dosahuje jeho koncentrácia vyššie hodnoty ako v pieskovočoch a vápencoch. Radón je inertný, vo vode rozpustný plyn, ktorý sa v priebehu niekoľkých hodín dostáva do rovnováhy s ďalšími členmi uránového radu (dcérskymi produktami). Tieto sa obvykle delia podľa doby polpremeny na krátkodobé (^{214}Pb má dobu polpremeny necelú polhodinu) a dlhodobé, z ktorých najvýznamnejšie je ^{210}Pb s dobou polpremeny 22 rokov. Možno povedať, že prakticky všetky rádionuklidy vyskytujúce sa v zdrojoch pitných vôd majú primordiálny pôvod. Sú to rádionuklidy s dostatočne dlhou dobou polpremeny (^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U) a jednotlivé členy ich premenových radov. Medzi najvýznamnejšie patria ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb a ^{228}Ra . V príspevku sú prezentované vybrané výsledky z riešenia úlohy „Výskyt a odstraňovanie špecifického anorganického znečistenia zo zdrojov podzemných vôd“ [1].

Technologické postupy odstraňovania radónu pri úprave vody

Na zníženie koncentrácie radónu vo vodách sa používajú predovšetkým postupy založené na prevzdušnení vody. Používa sa jednoduchý rozstrek, barbotáž v hlbšej vrstve vody, rôzne modifikácie prevzdušňovania vody v horizontálnom usporiadaní-Inka systém, väčšiu účinnosť majú však aeračné veže (90-95 %). Ďalšou možnosťou znižovania koncentrácie radónu vo vodách je deaerácia použitím podtlaku. Tento postup však nenašiel v praxi širšie použitie v porovnaní s vyššie uvedenými postupmi. Na odstraňovanie radónu z vody bol navrhnutý tiež postup sorpcie na aktívnom uhlí, ale z dôvodov väčších finančných nákladov ako aj niektorých technických problémov (zanášanie náplne nerozpustnými látkami, sorpcia aj ďalších rádionuklidov, ktoré môžu byť prítomné) pravdepodobne nenájde širšie použitie v praxi.

VZ Istebné - poloprevádzkové skúšky odstraňovania radónu

Poloprevádzkové skúšky odstraňovania radónu boli vykonané na vodnom zdroji, z ktorého je zásobované Istebné. Zachytené sú dva pramene (horný a dolný prameň), z ktorých voda je akumulovaná vo vodojeme. Výdatnosť horného prameňa je 8-10 l/s a dolného prameňa 3-5 l/s. Objemová aktivita radónu v hornom prameni sa počas poloprevádzkových skúšok pohybovala v rozmedzí 88-130 Bq/l a v dolnom prameni 130-165 Bq/l. Na odstraňovanie radónu boli použité aeračná veža a Inka.

Popis poloprevádzkových zariadení

Aeračná veža bola vyrobená z nerezového plechu a skladala sa z prítokového segmentu, troch aeračných segmentov a odtokového segmentu. Jednotlivé aeračné segmenty, v ktorých bola uložená náplň, mali výšku 1000 mm a plochu $0,04 \text{ m}^2$ (rozmery 200×200 mm). Na konci každého aeračného segmentu bol umiestnený vzorkovací ventil. Pri poloprevádzkových skúškach bola účinná výška aeračnej veže 3 m, pričom celková výška dosahovala 3,8 m. Ako náplň do aeračnej veže bola použitá sklolaminátová strešná krytina s nasledujúcimi parametrami:

- dĺžka náplne (vlnitý profil) 90 cm
- celková výška vlny 4 cm
- vzdialenosť stredov dvoch susedných vln 10 cm
- skutočná dĺžka náplne 112,7 cm (v jednom aeračnom segmente)
- šírka náplne 19,5 cm.

V priebehu poloprevádzkových skúšok sa menil merný povrch náplne, čo sa dosiahlo zmenou počtu kusov náplne v jednotlivých aeračných segmentoch. Pri zmene merného povrchu náplne pri každej poloprevádzkovej skúške sa v každom aeračnom segmente nachádzal rovnaký počet kusov tejto náplne. Pri prietokoch vody aeračnou vežou v rozmedzí $0,3-0,7 \text{ l/s}$, čo znamenalo, že hydraulické povrchové zaťaženie dosahovalo hodnoty $H = 7,7-17,5 \text{ l.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, bol merný povrch náplne ($M_p = 44, 88 \text{ a } 132 \text{ m}^2.\text{m}^{-3}$). Na nútený odťah odplynu bol použitý ventilátor (dúchadlo) typu Rietschle CE, D 79650 s výkonom $60 \text{ m}^3/\text{h}$. Prietok vzduchu bol meraný pomocou rotametra.

Aerátor Inka bol vyrobený z nerezového plechu, pričom veľkosť perforovaného roštu bola 210×210 mm. Otvory v rošte mali priemer 2 mm, pričom vzdialenosť otvorov bola 13 mm. Počas poloprevádzkových pokusov sa prietok vody pohyboval v rozmedzí $0,17-0,77 \text{ l/s}$, čo znamenalo, že aerátor pracoval s hydraulickým zaťažením $3,9 - 17,5 \text{ l.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, pričom pomery prietokov vzduchu a vody dosahovali hodnoty $14,3-61,2$. Na prevzdušnenie vody sa používal ventilátor typu Rietschle CE, D 79650 s výkonom do $60 \text{ m}^3/\text{h}$. Na overenie účinnosti odstraňovania radónu boli použité aj dve konštrukčné úpravy tohto aerátora:

- vloženie sita do priestoru nad prevzdušňovací rošt
- vloženie prepážok do priestoru nad prevzdušňovací rošt.

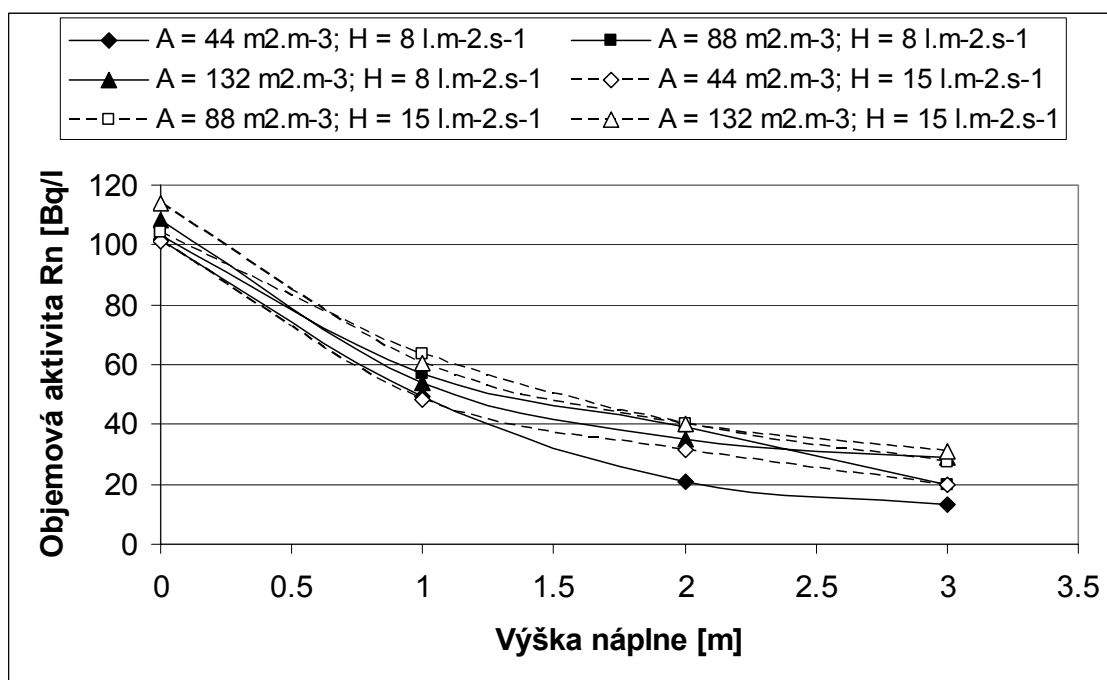
Sito bolo vyrobené z nerezového materiálu s veľkosťami otvorov 0,5 mm. Bolo pripevnené na oceľovom ráme, pričom bolo možné polohu sita fixovať vo výškach 5, 10 a 15 cm nad roštom (pri výške hladiny prevzdušňovanej vody 25 cm). Prepážky boli upevnené na spoločnom nosnom ráme, ktorý sa vkladal do priestoru nad rošt. Na nosnom ráme boli upevnené tri prepážky kolmo na smer prúdenia vody, pričom obidve krajné boli umiestnené tesne nad roštom. Výška týchto prepážok bola 10 cm, takže obidve boli úplne ponorené v prevzdušňovanej vode. Stredná prepážka bola umiestnená svojou spodnou časťou vo vzdialenosti 5 cm nad roštom, pričom svojou vrchnou časťou prečnievala nad hladinu prevzdušňovanej vody.

Výsledky poloprevádzkových skúšok odstraňovania radónu

Z poloprevádzkových skúšok vyplynulo, že najlepšie účinnosti odstraňovania radónu pri hydraulickom povrchovom zaťažení $8-15 \text{ l.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ sa dosiahli pri mernom povrchu náplne $44 \text{ m}^2.\text{m}^{-3}$. Objemové aktivity radónu na odtoku z aeračnej veže dosahovali $13-20 \text{ Bq/l}$, pričom pre 2-násobný merný povrch ($88 \text{ m}^2.\text{m}^{-3}$) a rovnaké hydraulické povrchové zaťaženie $20-28 \text{ Bq/l}$ a pre 3-násobný merný povrch ($132 \text{ m}^2.\text{m}^{-3}$) to bolo $29-31 \text{ Bq/l}$. Pri mernom povrchu náplne $44 \text{ m}^2.\text{m}^{-3}$, hydraulickom povrchovom zaťažení $8,0$ resp. $15,0 \text{ l.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ a objemovej aktivite radónu v surovej vode $89-102 \text{ Bq/l}$ sa už po 1.aeračnom segmente (výška 1 m) dosahovala objemová aktivita radónu nižšia ako 50 Bq/l . Pri väčších merných povrchoch (88 resp. $132 \text{ m}^2.\text{m}^{-3}$) objemová aktivita radónu nižšia ako 50 Bq/l bola až na odtoku z 2.aeračného segmentu (výška náplne 2 m), (obr.1).

Na obr.2 sú uvedené výsledky poloprevádzkových skúšok, ktoré boli zamerané na porovnanie účinnosti odstraňovania radónu pre merný povrch náplne $44 \text{ m}^2.\text{m}^{-3}$ a pre hydraulické povrchové zaťaženie $15 \text{ l.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ v závislosti od pomeru prietokov vzduchu a vody, pričom odvetranie aeračnej veže bolo prevádzkované tromi rôznymi spôsobmi:

- prirodzený odťah odplynu
- súprúdne prúdenie vzduchu z ventilátora aeračnou vežou
- protiprúdne prúdenie vzduchu z ventilátora aeračnou vežou.



Obr. 1. Priebek objemovej aktivity radónu po výške aeračnej veže pre rôzne merné povrchy náplne, VZ Istebné-horný prameň (prirodzený odťah odplynu)

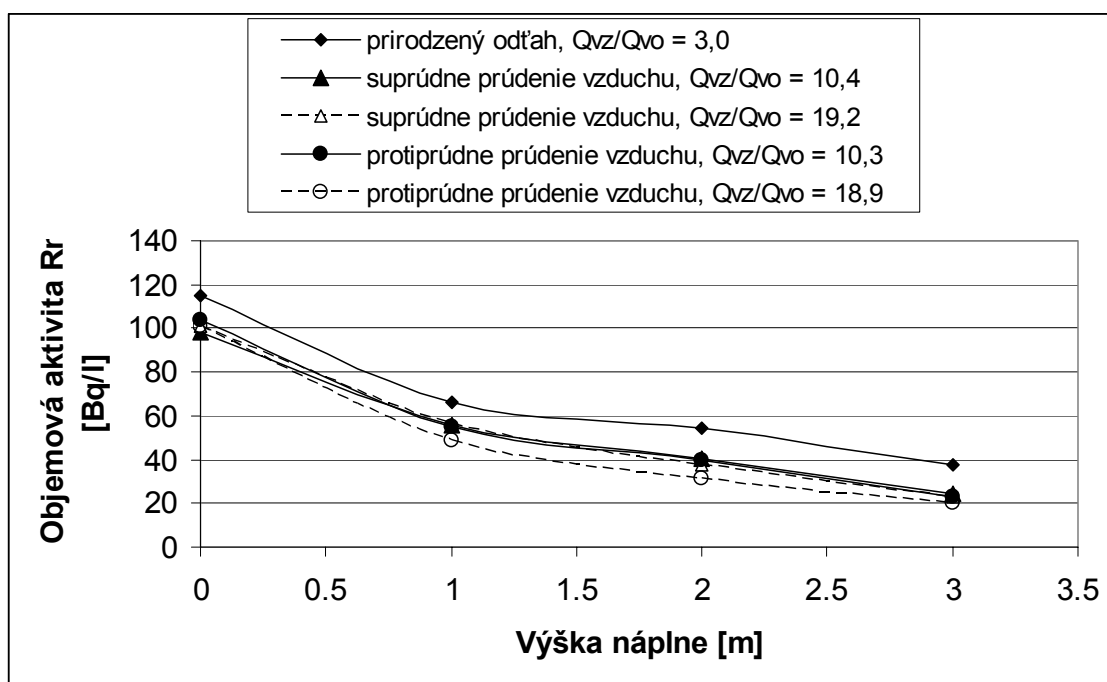
Porovnaním prirodzeného a núteného odťahu odplynu možno konštatovať, že účinnejší bol nútený odťah odplynu, kedy objemová aktivita radónu v upravenej vode dosahovala hodnoty $20-25 \text{ Bq/l}$ (surová voda $88-104 \text{ Bq/l}$, účinnosti odstránenia boli väčšie ako 75%). Pri prirodzenom odťahu odplynu bola objemová aktivita radónu v upravenej vode 37 Bq/l (surová voda 115 Bq/l , účinnosť odstránenia $67,5 \%$). Porovnaním účinnosti odstránenia radónu pri súprúdnom a protiprúdnom prúdení vzduchu možno vidieť, že účinnejšie bolo protiprúdne prúdenie vzduchu, a to najmä pri nižších hodnotách pomeru

prietokov vzduchu a vody (10,3-10,4). Zvyšovaním pomeru prietokov vzduchu a vody sa však tento rozdiel znižoval.

Pri objemových aktivitách radónu v surovej vode 130 Bq/l a pomeroch prietokov vzduchu a vody (10 resp. 18,3) nebol pozorovaný výraznejší rozdiel v účinnostiach odstraňovania radónu medzi súprúdny a protiprúdny spôsobom prívodu vzduchu do aeračnej veže. Pri vyššie uvedených parametroch objemová aktivita radónu spĺňala limit 50 Bq/l až na odtoku z 2.aeračného segmentu. Poloprevádzkové skúšky na dolnom prameni sa uskutočnili pre merný povrch náplne aeračnej veže $44 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ a hydraulické povrchové zaťaženie $17,5 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ v závislosti od pomeru prietokov vzduchu a vody (pre súprúdne a protiprúdne prúdenie vzduchu 9,1 resp. 16,2), pričom odvetranie aeračnej veže bolo prevádzkované tromi rôznymi spôsobmi:

- prirodzený odt'ah odplynu
- protiprúdne prúdenie vzduchu z ventilátora aeračnou vežou
- súprúdne prúdenie vzduchu z ventilátora aeračnou vežou.

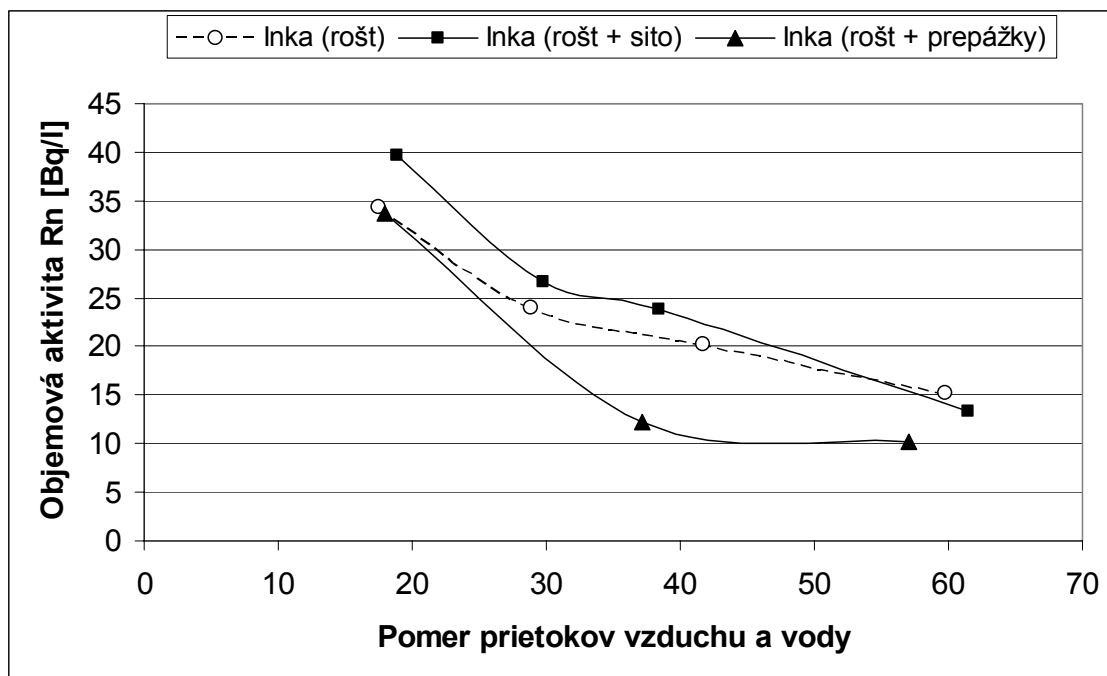
Výsledky získané z týchto poloprevádzkových skúšok poukazujú na skutočnosť, že zvyšovaním hydraulického povrchového zaťaženia pri optimálnom mernom povrchu náplne sa postupne znižuje rozdiel v účinnostiach odstránenia radónu medzi prirodzeným a núteným odt'ahom odplynu. Pri vyššie uvedených technologických parametroch a objemovej aktivite radónu v surovej vode 160 Bq/l sa dosahovali objemové aktivity nižšie ako 50 Bq/l až na odtoku z 3.aeračného segmentu (32-33 Bq/l, súprúd. a protiprúd.) a 39 Bq/l (prirodzený odt'ah odplynu). Na odtoku z 2.aeračného segmentu sa objemové aktivity radónu pohybovali na úrovni limitu 50 Bq/l (51-56 Bq/l).



Obr. 2. Pribeh objemovej aktivity radónu po výške aeračnej veže pre rôzne spôsoby odt'ahu odplynu, VZ Istebné-horný prameň (merný povrch náplne: $44 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$, hydraul. povrch. zaťaženie: $15 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

Pri odstraňovaní radónu aerátorom Inka boli poloprevádzkové pokusy zamerané na sledovanie účinnosti odstránenia radónu v závislosti od pomeru prietokov vody a vzduchu

pre výšku hladiny vody nad prevzdušňovacím roštom 25 cm. Z výsledkov vyplýva, že už pri hodnote pomeru $Q_{\text{vzduch}}/Q_{\text{voda}}$ 17,5 a pri koncentrácii radónu v surovej vode 131 Bq/l, bola jeho koncentrácia v takto prevzdušnenej vode 35 Bq/l. Zvyšovaním hodnoty tohto pomeru postupne klesala koncentrácia radónu a pri hodnote pomeru $Q_{\text{vzduch}}/Q_{\text{voda}}$ 60 bola jeho koncentrácia v prevzdušnenej vode iba 15 Bq/l (obr.3).



Obr. 3. Pribeh objemovej aktivity radónu na odtoku z aerátora Inka v závislosti od pomeru prietokov vzduchu a vody pre rôzne konštrukčné úpravy aerátora, VZ Istebné-horný prameň (objemová aktivita radónu v surovej vode: 120-130 Bq/l)

Vloženie prepážok sa výrazne prejavilo na zvýšení účinnosti odstránenia radónu od hodnoty pomeru prietokov vzduchu a vody 37, kedy dosahovala koncentrácia radónu v prevzdušnenej vode len 12 Bq/l (najnižšia hodnota počas trvania poloprevádzkových pokusov) a účinnosť dosahovala 90 %. Ďalším zvyšovaním hodnoty pomeru $Q_{\text{vzduch}}/Q_{\text{voda}}$ nedochádzalo k zvyšovaniu účinnosti odstránenia radónu (obr.3).

Vloženie sita do vzdialenosti 10 cm nad prevzdušňovací rošt pri pomere prietokov vzduchu a vody 17-60 neprineslo prakticky žiadny efekt zvýšenia účinnosti odstránenia radónu v porovnaní so stavom bez vloženia sita. Ako dokazujú výsledky zvýšením pomeru $Q_{\text{vzduch}}/Q_{\text{voda}}$ na hodnotu 30, poklesla koncentrácia radónu na 27 Bq/l a ďalším zvýšením tohto pomeru na 61,5 bola koncentrácia radónu v prevzdušnenej vode len 13 Bq/l. Zvyšovaním pomeru $Q_{\text{vzduch}}/Q_{\text{voda}}$ sa znižoval rozdiel v účinnostiach, pričom pri pomeroch $Q_{\text{vzduch}}/Q_{\text{voda}}$ na úrovni 50, boli už dosahované približne rovnaké účinnosti (obr. 3).

Pri pomere $Q_{\text{vzduch}}/Q_{\text{voda}}$ 15 a pri koncentrácii radónu v surovej vode 164 Bq/l, bola koncentrácia radónu v takto prevzdušnenej vode 54 Bq/l. Zvýšením hodnoty tohto pomeru na 17 sa dosahoval práve limit 50 Bq/l. Zvyšovaním hodnoty tohto pomeru na 40 resp. 60 postupne klesala koncentrácia radónu v prevzdušnenej vode na 28 resp. 21 Bq/l.

Záver

Na základe poloprevádzkových pokusov s aeračnou vežou možno dosiahnuté výsledky zhrnúť nasledovne:

1. Najlepšie účinnosti odstraňovania radónu pre hydraul. povrch. zaťaženie aerátora $8-15 \text{ l.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ sa dosiahli pri mernom povrchu náplne $44 \text{ m}^2.\text{m}^{-3}$, pričom koncentrácie radónu na odtoku z aeračnej veže (výška náplne 3 m) boli 15-20 Bq/l. Pre rovnaké podmienky, ale pre 2-násobne väčší merný povrch náplne boli koncentrácie radónu na odtoku 20-28 Bq/l a pre 3-násobne väčší merný povrch náplne 29-32 Bq/l.
2. Pri mernom povrchu náplne $44 \text{ m}^2.\text{m}^{-3}$ a hydraul. povrchovom zaťažení $8-15 \text{ l.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ a koncentrácii radónu v surovej vode 90-100 Bq/l sa už po 1.aeračnom segmente (výška náplne 1 m) dosahovala koncentrácia radónu nižšia ako 50 Bq/l.
3. Porovnaním účinnosti odstraňovania radónu pri prirodzenom a nútenom odťahu odplynu možno konštatovať, že účinnejšie bolo prevádzkovanie s núteným odťahom odplynu, kedy koncentrácie radónu v upravenej vode dosahovali hodnoty 20-25 Bq/l (surová voda 90-105 Bq/l). Pri prirodzenom odťahu odplynu boli koncentrácie radónu v upravenej vode 35-38 Bq/l. Vzhľadom na neadekvátne zvýšenie účinnosti (pri daných podmienkach len o 8 %) ako aj po zohľadnení zvýšenej energetickej náročnosti prevádzkovania zariadenia s núteným odťahom odplynu, ukazuje sa toto opatrenie ako neefektívne. Navyše, obidvomi postupmi sa dosahovala koncentrácia radónu v upravenej vode nižšia ako je limit pre radón uvedený vo vyhl. č.12/2001 Z.z. (voda z verejných vodovodov 50 Bq/l).

Na základe poloprevádzkových skúšok s aerátorom Inka možno dosiahnuté výsledky zhodnotiť takto:

1. Pri koncentrácii radónu v surovej vode 130 Bq/l, pre pomer prietokov vzduchu a vody 17 a pre výšku hladiny vody nad prevzdušňovacím roštom 25 cm, bola koncentrácia radónu v prevzdušnenej vode 35 Bq/l. Zvyšovaním hodnoty tohto pomeru postupne klesala koncentrácia radónu a pre hodnotu pomeru 60 bola jeho koncentrácia v prevzdušnenej vode iba 15 Bq/l.
2. Vloženie nerezového sita s veľkosťou otvorov 0,5 mm do priestoru nad prevzdušňovací rošt vo vzdialenosti 10 cm od neho a pre pomer prietokov vzduchu a vody 17 neprineslo žiadny efekt zvýšenia účinnosti odstránenia radónu v porovnaní so stavom bez vloženia.
3. Výraznejšie zvýšenie účinnosti odstránenia radónu sa dosiahlo vložením systému troch prepážok do priestoru nad prevzdušňovací rošt. Vloženie prepážok sa výrazne prejavilo na zvýšení účinnosti odstránenia radónu od hodnoty pomerov prietokov vzduchu a vody 35, kedy dosahovala koncentrácia radónu v prevzdušnenej vode len 12 Bq/l a účinnosť bola 90%.

Literatúra

- [1.] Munka K. a kol.: Výskyt a odstraňovanie špecifického anorganického znečistenia zo zdrojov podzemných vôd. Záverečná správa, VÚVH, Bratislava, 1999.