

Skúsenosti s prevádzkovaním distribučnej siete úpravne vody Kúty-Šaštín-Gbely z hľadiska požiadaviek na kvalitu vody dopravovanej potrubím

RNDr. Martin Libovič, Ing. Karol Munka
ZsVaK PR Bratislava, VÚVH Bratislava

Úvod

Úpravňa podzemnej vody v Kútoch je súčasťou Senickej vodárenskej sústavy. Jej stavba bola zahájená v r. 1989 s tým, že po jej dokončení bude vykrývať deficit vody, ktorý bol v tomto období v predmetnej vodárenskej sústave. Avšak dostavba úpravne vody z rôznych dôvodov, ale najmä finančných trvala 10 rokov. Za toto obdobie značne poklesla spotreba vody a vo vodárenskej sústave sa prednostne využíva gravitačná voda z pramennej oblasti Plavecké Podhradie. Úpravňa vody upravuje vodu z dvoch studní s výdatnosťou 80 l/s. Voda nevyhovuje požiadavkám STN 75 7111 v obsahu železa, mangánu, amonných iónov, agresívneho oxidu uhličitého a v období hydrogeologického prieskumu bol zaznamenaný zvýšený obsah ropných látok. Na základe týchto výsledkov bol vyprojektovaný a zrealizovaný nasledovný technologický proces úpravy vody:

aerácia, dávkovanie hydrátu vápenatého, pomalé miešanie, filtrácia na otvorených filtroch, odstraňovanie ropných látok na náplni s aktívnym uhlím a zdravotné zabezpečenie vody.

Pred zahájením skúšobnej prevádzky bola znova zdokumentovaná kvalita vody zo studní. Z výsledkov vyplynulo, že obsah železa, mangánu, amonných iónov zodpovedá kvalite vody zdokumentovanej počas hydrogeologického prieskumu, avšak neboli zistené ropné látky vo vode zo studní. Z týchto dôvodov neboli do procesu úpravy vody zaradené tlakové filtre s aktívnym uhlím, ktoré tvorili súčasť projektovaného technologického procesu úpravy vody. Počas skúšobnej prevádzky upravená voda zo začiatku nevyhovovala požiadavkám STN 75 7111 Pitná voda v obsahu mangánu, ale po dodatočnom zaradení dávkovania roztoku manganistanu draselného do technológie úpravy voda vyhovovala požiadavkám normy aj v tomto ukazovateli. Upravená voda na základe rozborov vody taktiež vyhovovala požiadavkám STN 83 0615 Požiadavky na kvalitu vody dopravovanej potrubím (tab.1).

Tabuľka 1. Porovnanie hodnôt ukazovateľov kvality vody pre upravenú vodu z ÚV Kúty s požiadavkami STN 83 0615

Ukazovateľ	STN 83 0615	Upravená voda dodávaná do vodovodnej siete
Agresívny oxid uhličitý	najviac 5 mg/l	0,0 mg/l
Celková alkalita	najmenej 0,8 mmol/l	1,2 mmol/l
Vápnik	najmenej 16 mg/l	78 mg/l
Presýtenie CaCO ₃	0,05 - 0,10 mmol/l	-
Index nasýtenia I _S	kladný	0,29 - 0,47

Na základe vyššie uvedenej kvality upravenej vody po polročnej skúšobnej prevádzke bola táto voda dodávaná do vodovodného systému Kúty-Šaštín-Gbely. Úsek vodovodnej siete ÚV Kúty-Šaštín je z oceľového potrubia vnútorného priemeru 300-400 mm, vodovodná sieť v úseku Šaštín-Gbely je z ocele, Gbely-mesto má rozvod vody z liatiny, úsek Petrova Ves-Unín z PVC a Letničie z PVC a z liatiny.

Monitoring kvality vody

V prvých troch týždňoch dodávky upravenej vody do distribučnej siete sa nevyskytli žiadne problémy so vznikom zhoršených senzoričných vlastností vody. Následne bol zaznamenaný zákal vody vo vodojeme Šaštín, ale intenzita zákalu a farby vody sa po trase zvyšovala a najväčšie hodnoty boli zaznamenané na vodovodnej sieti v Gbeloch. Aj napriek intenzívnemu preplachovaniu (odkalovaniu) jednotlivých vodovodných sietí nedošlo k zlepšeniu senzoričných vlastností vody. Z tohto dôvodu pracovníci útv. 32 PR ZsVAK Bratislava a OZ ZsVAK Senica vykonali po celej trase odbery vzoriek vody za účelom zistenia jej agresívnych vlastností. Výsledky rozborov vody z tohto odberu sú uvedené v tab.2.

Tabuľka 2. Kvalita vody vo vodovodnej sieti ÚV Kúty - Šaštín - Gbely
Vybrané fyzikálno-chemické ukazovatele kvality vody

Odberné miesto	CO ₂ (agr.) [mg/l]	pH	KNK _{4,5} [mmol/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Farba [mg/l]	Zákal [ZF]	Fe ²⁺ [mg/l]	Mn ²⁺ [mg/l]
VDJ ÚV Kúty 9.3.2000	-	8,14	1,3	80,2	0	0,9	0,01	0,06
VDJ ÚV Kúty 14.3.2000	0	7,67	1,2	78,2	-	-	-	-
VDJ Šaštín 9.3.2000	-	8,10	1,2	80,2	18	5,0	0,42	0,06
VDJ Šaštín 14.3.2000	0	7,82	1,2	76,2	-	-	-	-
Gbely - prív.v. zo Šaštína 9.3.2000	-	8,05	1,2	76,2	41	4,1	0,43	0,07
Gbely - prív.v. zo Šaštína 14.3.2000	0	7,86	1,2	80,2	-	-	-	-
VDJ Gbely 9.3.2000	-	8,01	1,2	76,2	28	3,7	0,35	0,07
VDJ Gbely 14.3.2000	0	7,83	1,2	78,2	-	-	-	-
Gbely - v. sieť 9.3.2000	-	8,08	1,2	80,2	42	7,5	0,69	0,05
Gbely - v. sieť 14.3.2000	0	7,79	1,2	77,2	-	-	-	-

Voda po celej trase nevykazovala agresívne vlastností, pričom koncentrácia agresívneho oxidu uhličitého bola nulová a index nasýtenia I_s vykazoval kladné hodnoty v rozsahu 0,18-0,29. Aj napriek tejto skutočnosti boli počas tohto odberu zaznamenané zvýšené hodnoty farby 28 - 42 mg/l a zákalu 7,5 ZF v Gbeloch a na úseku Šaštín-Gbely boli zistené zvýšené koncentrácie železa 0,42 - 0,69 mg/l. Hoci upravená voda z ÚV Kúty vyhovovala svojou kvalitou požiadavkám STN 75 7111 a STN 83

0615, aj napriek tomu dochádzalo k zhoršeniu sensorických vlastností vody po trase distribučnej siete. Je to netypický jav, a preto sme ďalej skúmali príčiny tohto stavu.

Pre objasnenie týchto príčin sme vykonali porovnanie vybraných ukazovateľov kvality upravenej vody a vody dodávanej pred uvedením úpravne vody do prevádzky (voda z Plaveckého Podhradía). Porovnanie vybraných ukazovateľov kvality vody je uvedené v tab.3.

Tabuľka 3. Porovnanie kvality vôd z Plaveckého Podhradía a z ÚV Kúty

Ukazovateľ kvality vody	Plavecké Podhradie	ÚV Kúty
KNK _{4,5} [mmol/l]	5,0	1,4
Cl ⁻ [mg/l]	2,4	38,1
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	51,0	170,0
celková tvrdosť [°N]	17,9	15,4
uhličitanová tvrdosť [°N]	14,0	3,8
neuhličitanová tvrdosť [°N]	3,9	11,6
pH	7,64	8,18

Výrazné rozdiely boli zaznamenané v obsahu síranov a chloridov, a preto sme vykonali posúdenie ich vplyvov na zhoršenú kvalitu vody distribuovanú z ÚV Kúty. Praktické prevádzkové skúsenosti z konkrétnych lokalít poukazujú na skutočnosť, že zvýšené koncentrácie neutrálnych solí, predovšetkým chloridov, síranov a dusičnanov, najmä u vôd s nízkou tlmivou kapacitou majú nepriaznivý vplyv na priebeh korózných procesov. Prítomnosť chloridov vo vode má tendenciu podporovať koróziu inhibíciou anodického filmu terciárnej úrovne. Sírany sa vyznačujú obdobným účinkom, vplyv tejto zložky však nie je na kovové potrubie tak intenzívny ako je tomu u chloridov. Hydrogénuhličitanové a uhličitanové ióny naopak potláčajú intenzitu nepriaznivých vplyvov chloridov. Za predpokladu, že sírany sa vyznačujú rovnakou negatívnou intenzitou na korózne pochody ako chloridy, považujú sa vody orientačne za potenciálne korózne, keď buď chloridy alebo sírany prevyšujú koncentráciu 50 mg/l. Pre obmedzenie nežiadúcich korózných účinkov obidvoch uvedených zložiek sa doporučuje podľa Larsona dodržať pomer (Cl⁻ + SO₄²⁻)/KNK_{4,5} nižší ako 0,20 (vyjadrený v ekvivalentoch). Vypočítané hodnoty podľa Larsona:

ÚV Kúty 2,03; Plavecké Podhradie 0,12.

Z týchto hodnôt vyplýva, že upravená voda môže mať agresívne vlastnosti v dôsledku vysokých obsahov síranov a chloridov. Rozdiely v ukazovateľoch KNK_{4,5}, foriem tvrdosti a pH sú porovnané a zohľadnené v nasledujúcich častiach prednášky.

Nepriaznivý stav v zásobovaní pitnou vodou vo vodovodnej sieti ÚV Kúty - Šaštín - Gbely možno riešiť na základe výsledkov monitoringu kvality vody a z teoretických a praktických poznatkov o stabilizácii vody nasledujúcimi spôsobmi:

- 1) zmiešavaním vôd z ÚV Kúty a Plaveckého Podhradía
- 2) optimalizovaním dávky vápna na dosiahnutie požadovaného presýtenia vody CaCO₃
- 3) dávkovaním hydrogénuhličitanu sodného na dosiahnutie požadovanej hodnoty KNK_{4,5}
- 4) dávkovaním hexametafosfátu.

1) Zmiešavanie vôd z ÚV Kúty a Plaveckého Podhradia

Na výpočet parametrov vápenato-uhličitanovej rovnováhy surovej a upravenej vody z ÚV Kúty a z Plaveckého Podhradia ako aj pre rôzne zmiešavacie pomery upravenej vody z ÚV Kúty a z Plaveckého Podhradia bol aplikovaný program Agresivita podľa TNV 75 7121. Výsledky sú uvedené v tab.4 a 5.

**Tabuľka 4. Aplikácia programu Agresivita
ÚV Kúty (surová, upravená), Plavecké Podhradie**

Ukazovateľ	ÚV Kúty surová voda	ÚV Kúty upravená voda	Plavecké Podhradie (vodojem Šaštín)
Iónová sila μ_A [mmol/l]	11,970	10,760	10,140
Agresívny CO_2 [mg/l]	16,578	- 0,180	- 5,917
$P(CaCO_3)$ [mmol/l]	- 0,600	- 0,200	0,000
Index nasýtenia I_S	- 1,0364	- 0,0895	0,0111
Medzná hodnota I_S	0,15	1,31	- 0,12
Tlmiť kapacita [mmol/l]	0,7670	0,0732	0,6289
$c(AN)$ [mmol/l]	2,8183	2,8651	1,1406

Voda z Plaveckého Podhradia vyhovuje požiadavkám STN 83 0615, avšak pre upravenú vodu z ÚV Kúty boli vypočítané záporné hodnoty presýtenia vody uhličitanom vápenatým ako aj indexu nasýtenia, a to $P(CaCO_3) = - 0,2$ a $I_S = - 0,09$, čo nasvedčuje tomu, že aj pri týchto hodnotách a nulovom obsahu agresívneho oxidu uhličitého, má voda agresívne vlastností a tendenciu rozpúšťať inkrusty z potrubí. Na základe výpočtu má surová voda z ÚV Kúty výrazne agresívne vlastností, pričom sa prejavuje výrazným nedosýtením vody uhličitanom vápenatým (- 0,6 mmol/l), koncentráciou agresívneho oxidu uhličitého 16,5 mg/l a záporným indexom nasýtenia (- 1,0).

Z výsledkov získaných z aplikácie programu Agresivita na výpočet parametrov vápenato-uhličitanovej rovnováhy zmiešaných vôd z ÚV Kúty a Plavecké Podhradie vyplýva, že len v prípade dostatočného zriedenia upravenej vody z ÚV Kúty vodou z Plaveckého Podhradia (1:4 až 1:5) by takto zmiešaná voda vyhovovala požiadavkám STN 83 0615 a nemala by agresívne vlastností.

Tabuľka 5. Výpočet parametrov vápenato-uhličitanovej rovnováhy podľa programu Agresivita pre jednotlivé zmiešavacie pomery vôd z ÚV Kúty a z Plaveckého Podhradia

(k - pomer prietoku vôd z ÚV Kúty a Plaveckého Podhradia)

Parameter	Zmiešavací pomer k						
	1 : 4	1 : 3	1 : 2	1 : 1	2 : 1	3 : 1	4 : 1
Iónová sila [mmol/l]	10,320	10,320	10,370	10,430	10,590	10,670	10,670
Agresívny CO_2 [mg/l]	- 4,232	- 3,457	- 2,914	- 1,596	- 1,073	- 0,646	- 0,603
$P(CaCO_3)$ [mmol/l]	- 0,1	- 0,1	- 0,1	- 0,1	- 0,2	- 0,2	- 0,2
I_S	0,0030	- 0,0122	- 0,0131	- 0,0387	- 0,0449	- 0,0796	- 0,0645
Medzná hodnota I_S	- 0,17	- 0,18	- 0,21	0,26	0,41	0,51	0,62
Tlmiť kapacita [mmol/l]	0,4675	0,4399	0,3763	0,2775	0,1920	0,1642	0,1377
$c(AN)$ [mmol/l]	1,4855	1,5686	1,7154	2,0028	2,2903	2,4342	2,5202

2) Optimalizovanie dávky vápna na dosiahnutie požadovaného presýtenia vody CaCO_3

Ďalšou možnosťou riešenia tohto problému bolo dosiahnúť presýtenie vody uhličitanom vápenatým, ktorý by vytvoril ochranný povlak v potrubí a to zvyšovaním dávky vápna. Bolo by to najjednoduchšie, najlacnejšie a najvýhodnejšie riešenie z hľadiska aplikovanej technológie úpravy vody. Za týmto účelom sme v spolupráci s VÚVH Bratislava a OZ ZsVAK Senica vykonali koagulačné skúšky a to pri dávkach hydrátu vápenatého 30, 50 a 70 mg/l. Technologické skúšky boli zamerané na obmedzenie agresívnych vlastností upravenej vody pri jej doprave rozvodným systémom. Tri pokusy boli vykonané so surovou vodou (S1, S2, S3) a tri pokusy s upravenou vodou (U1, U2, U3). Dávky vápna boli nasledujúce:

S1 - 30 mg/l U1 - 30 mg/l
S2 - 50 mg/l U2 - 50 mg/l
S3 - 70 mg/l U3 - 70 mg/l.

Dosiahnuté výsledky sú uvedené v tab.6.

Tabuľka 6. Sledovanie agresívnych vlastností vody - ÚV Kúty
Parametre vápenato-uhličitanovej rovnováhy
Optimalizácia dávkovania vápna

Koagulač. pokus	Dávka $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [mg/l]	Index nasýtenia I_s	Presýtenie vody CaCO_3 [mmol/l]	Agresívny CO_2 [mg/l]
S1	30	0,22	0,10	- 2,2
S2	50	0,68	0,15	- 4,4
S3	70	0,58	0,05	- 4,4
U1	30	0,70	0,115	- 6,6
U2	50	0,71	0,10	- 4,4
U3	70	0,60	0,075	- 4,4

V projekte pre technologický proces úpravy vody bola ako optimálna dávka hydrátu vápenatého určená 30 mg/l. Zvyšovaním tejto dávky pre surovú a upravenú vodu sme sledovali dosiahnutie potrebného presýtenia vody uhličitanom vápenatým pre tvorbu ochranného povlaku na vnútorných stenách vodovodného potrubia. Na základe získaných výsledkov možno konštatovať, že pri všetkých dávkach hydrátu vápenatého sa dosiahlo požadované presýtenie vody, indexy nasýtenia boli kladné a nulové koncentrácie agresívneho oxidu uhličitého. Z toho vyplýva, že upravená voda pri prevádzkovej dávke hydrátu vápenatého vyhovuje požiadavkám STN 83 0615 a zvyšovanie dávky hydrátu vápenatého nemalo podstatný vplyv na kvalitu vody z hľadiska požiadaviek normy.

3) Dávkovanie hydrogénuhličitanu sodného na dosiahnutie požadovanej hodnoty $\text{KNK}_{4,5}$

Pre overenie tejto možnosti boli na ÚV Kúty vykonané laboratórne technologické skúšky (dávkovanie rôznych dávok hydrátu vápenatého a

hydrogénuhličitanu sodného) zamerané na obmedzenie agresívnych vlastností upravenej vody pri jej doprave rozvodným systémom. Tri pokusy boli vykonané so surovou vodou (S1, S2, S3) a tri pokusy s upravenou vodou (U1, U2, U3). Dávky vápna boli nasledujúce:

S1 - $D[\text{Ca}(\text{OH})_2] = 40 \text{ mg/l}$, Heyerova skúška - CaCO_3

S2 - $D[\text{Ca}(\text{OH})_2] = 45 \text{ mg/l}$, Heyerova skúška - CaCO_3

S3 - $D[\text{Ca}(\text{OH})_2] = 40 \text{ mg/l}$, Heyerova skúška - inkrust z potrubia

U1 - $D[\text{Ca}(\text{OH})_2] = 30 \text{ mg/l}$, Heyerova skúška - inkrust z potrubia

U2 - $D[\text{Ca}(\text{OH})_2] = 30 \text{ mg/l}$, dávka $D(\text{NaHCO}_3) = 84 \text{ mg/l}$, Heyer.sk - inkrust z potrubia

U3 - $D[\text{Ca}(\text{OH})_2] = 30 \text{ mg/l}$, dávka $D(\text{NaHCO}_3) = 84 \text{ mg/l}$, Heyerova skúška - CaCO_3

Zo vzorky S1 bola Heyerova skúška vykonaná na CaCO_3 , zo vzorky S2 tiež na CaCO_3 , zo vzorky S3 na inkrust z potrubia, zo vzorky U1 na inkrust z potrubia, zo vzorky U2 na inkrust z potrubia a dávkovaním NaHCO_3 a zo vzorky U3 na CaCO_3 a dávkovaním NaHCO_3 . Zo všetkých vzoriek boli v 0.deň stanovené tieto ukazovatele: pH, $\text{KNK}_{4,5}$, Ca. Z filtrátu po ukončení koagulačného pokusu boli odliate vzorky vody na stanovenie Fe^{2+} a Mn^{2+} . Pri Heyerovej skúške na 5.deň u vzoriek, do ktorých bol daný inkrust z potrubia boli stanovené pH, $\text{KNK}_{4,5}$, Ca a aj Fe^{2+} . Dávka NaHCO_3 bola určená tak, aby sa zvýšila alkalita približne o 1 mmol/l. Získané výsledky sú uvedené v tab. 7 a 8.

Tabuľka 7. Sledovanie agresívnych vlastností vody - ÚV Kúty
Parametre vápenato-uhličitanovej rovnováhy

Koag. pokus	Dávka $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [mg/l]	pH 0.deň	pH 5.deň	$\text{KNK}_{4,5}$ [mmol/l] 0.deň	$\text{KNK}_{4,5}$ [mmol/l] 5.deň	Ca^{2+} [mg/l] 0.deň	Ca^{2+} [mg/l] 5.deň	Fe^{2+} [mg/l] 0.deň	Fe^{2+} [mg/l] 5.deň
S1	40	8,26	7,68	2,2	2,0	92,2	88,2	0,0	-
S2	45	8,46	7,68	2,2	2,0	92,2	90,2	0,01	-
S3	40	7,94	6,83	2,1	1,6	91,2	94,2	0,02	0,28
U1	30	8,89	6,86	1,4	1,1	78,2	82,2	0,0	0,11
U2	30	8,87	7,08	2,2	1,7	78,2	80,2	0,0	0,12
U3	30	8,86	7,82	2,2	1,8	78,2	70,1	0,0	-

Tabuľka 8. Sledovanie agresívnych vlastností vody - ÚV Kúty
Parametre vápenato-uhličitanovej rovnováhy

Koagulač. pokus	Dávka $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [mg/l]	Index nasýtenia I_s	Presýtenie vody CaCO_3 [mmol/l]	Agresívny CO_2 [mg/l]
S1	40	0,58	0,10	- 4,4
S2	45	0,78	0,05	- 4,4
S3	40	1,11	- 0,075	- 11,0
U1	30	2,03	- 0,10	- 6,6
U2	30	1,79	- 0,05	- 11,0
U3	30	1,04	0,2025	- 8,8

Z výsledkov technologických skúšok vyplynulo, že použitím inkrustu z potrubia z vodovodnej siete v Šaštíne pre účely posúdenia agresívnych vlastností vody pri doprave sa nedosiahlo požadované presýtenie vody ani pri dávkovaní hydrogénuhličitanu sodného.

4) Dávkovanie hexametafosfátov

Z vyššie vykonaných technologických skúšok vyplýva, že stabilizáciu upravenej vody nemôžeme dosiahnuť zvýšenou dávkou hydrátu vápenatého ani dávkovaním hydrogénuhličitanu sodného. Z tohoto dôvodu boli vykonané technologické skúšky zamerané na stabilizáciu vody hexametafosfátom sodným. Technologické skúšky s inkrustom z potrubia z vodovodnej siete boli vykonané pri rôznych koncentráciách hexametafosfátu sodného (1 – 5 mg/l). Najoptimálnejšia dávka bola určená 5 mg/l. Dávkovanie bolo zahájené v máji 2000 a aplikuje sa do upravenej vody. V súčasnom období je kvalita vody dodávaná do distribučného systému vyhovujúca, problémy so zhoršenými senzorickými vlastnosťami sa vyskytujú len ojedinele. Kvalita vody v hlavných rozvodných radoch je vyhovujúca, uvedené problémy sú zisťované iba u individuálnych odberateľov. Vzhľadom na túto skutočnosť budeme postupne optimálnu dávku t.j. 5 mg/l znižovať.

Záver

Upravená voda z ÚV Kúty dodávaná do distribučnej siete Kúty-Šaštín-Gbely spôsobovala zhoršenie senzorických vlastností vody. Za účelom zistenia príčiny tohoto stavu boli vykonané technologické skúšky a porovnanie kvality vody dodávanej do systému z ÚV Kúty a pôvodného vodného zdroja, ktorý zásoboval tento vodárenský systém. Na základe týchto prác boli prijaté nasledovné prevádzkové opatrenia na zlepšenie kvality vody pri jej distribúcii:

- vo vodojeme Šaštín sa vykonávalo miešanie vody v pomere 1:1 až 2:1 (upravená voda z ÚV Kúty k vode z Plaveckého Podhradia)
- v súčasnosti sa do distribučného systému dodáva len voda z ÚV Kúty bez výraznejšieho zhoršenia senzorických vlastností vody
- naďalej sa vykonáva stabilizácia upravenej vody hexametafosfátom sodným.

RNDr. Martin Libovič, ZsVaK š.p. Bratislava
Trnavská 32, 826 29 Bratislava
tel.: * * 421 7 555 66 989, fax: * * 421 7 554 252 84
e-mail: martin.libovic@zsvak.sk

Ing. Karol Munka, VÚVH Bratislava
Nábr. arm.gen.L.Svobodu 5, 812 49 Bratislava
tel.: * * 421 7 59 343 442, fax: * * 421 7 544 119 41
e-mail: Karol_Munka@vuvh.sk