

REKONSTRUKCE ÚV VIMPERK - POLOPROVOZNÍ ZKOUŠKY MEMBRÁNOVÉ FILTRACE, VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ POLOPROVOZNÍHO TESTOVÁNÍ A JEDNOTLIVÝCH VARIANT TECHNOLOGICKÝCH ŘEŠENÍ, PROJEKTOVÁNÍ REKONSTRUKCE A JEJÍ REALIZACE

Milan Drda¹⁾, Ing. Josef Smažík²⁾, Ing. Jiří Stara³⁾, Ing. Jiří Červenka¹⁾

¹⁾ENVI-PUR, s.r.o., Na Vlčovce 13/4, 160 00 Praha 6 – Dejvice
drda@envi-pur.cz; cervenka@envi-pur.cz

²⁾EKOEKO s.r.o., Senovážné náměstí 1, 370 01 České Budějovice, smazik@ekoeko.cz

³⁾ČEVAK a.s., Severní 8/2264, 370 10 České Budějovice, jiri.stara@cevak.cz

Úvod

Vodovod pro město Vimperk a osadu Boubská je v rozhodující míře zásobován pitnou vodou z úpravny vody Vimperk a z doplňkových zdrojů podzemní vody, které tvoří 3 kopané studny S1, S2 a S3 v lokalitě Hojdlé. Zdrojem surové vody pro úpravnu je povrchová voda z vodního toku Volyňka (tzv. Brložského potoku).

Úpravna byla vybudována v 60-tých letech minulého století nejdříve jako jednostupňová (kontaktní) filtrace. V 80-tých letech byla rozšířena o první separační stupeň s lamelovými usazovacími nádržemi. V roce 1995 byla provedena oprava havarijního stavu filtrů [1] Koncem 90-tých let byla doplněna technologie přímého ztvrdování vápnem a oxidem uhličitým a rekonstruovány kalové laguny. Úpravna vody je protékána gravitačně, chod technologie je řízen přímo obsluhou, na úpravně nejsou instalovány žádné automatické prvky. Původní projektovaná kapacita úpravny vody byla 28 l/s.

Surová voda je velmi slabě mineralizovaná, s nízkou alkalitou. Obsah huminových látek je zvýšený a společně s oxidovatelností, zákalem a barvou je výrazně ovlivněn aktuálním počasím (bouřky, tání sněhu, intenzivní dlouhodobé deště). Podle zjištěných hodnot oxidovatelnosti, zákalu, huminových látek a obsahem fenolů jednosytných lze surovou vodu zařadit do kategorie upravitelnosti A3. Podle hodnot mikrobiologických ukazatelů (enterokoky, koliformní bakterie), AOX a mikroskopického obrazu se jedná o vodu kategorie A2.

Průměrné množství vyrobené vody na úpravně Vimperk se v letech 2006 – 2013 pohybovalo v rozmezí 700 – 989 m³/den. Průměrný výkon úpravny byl 856 m³/den; tj. 9,9 l/s.

Uvedené údaje však nepostihují maximální denní výrobu, která je špičková a dochází k ní především při poruchách na vodovodních řadech nebo po odstávce výroby způsobené špatnou kvalitou surové vody. V těchto situacích dosahoval výkon úpravny 18 l/s což odpovídá maximálnímu povolenému odběru surové vody.

Před rekonstrukcí byl výkon úpravny, vzhledem k zastaralému zařízení a také z důvodu vysokého a často velmi náhlého kolísání kvality surové vody, velmi nestabilní. Úpravna byla schopna stabilně vyrábět vodu s kapacitou odpovídající zhruba 1/3 jejího projektovaného výkonu – tj. 8 -10 l/s.

Kvalitu upravené vody v souladu s vyhláškou č. 428/2001 Sb. a vyhláškou č. 252/2004 Sb. v aktuálním znění bylo možné dosáhnout pouze nadstandardní péčí obsluhy. Mezi provozní opatření patřilo i občasné přerušování výroby při zhoršené kvalitě surové vody, dále omezení výkonu, zvýšení intenzity odkalování a praní a častá úprava dávek

koagulantu. Jen díky vysoké zásobě vody ve vodojemech aktuální přerušování výroby neomezilo zásobování města pitnou vodou.

Studie úpravy technologické linky

V roce 2009 se vlastník úpravy vody Vimperk – Město Vimperk rozhodl zadat firmě EKOEKO s.r.o. stručné zhodnocení současného stavu úpravy vody Vimperk a zpracování nejméně dvou návrhů uspořádání technologické linky úpravy vody [2]. Ke každému technologickému návrhu měl být uveden základní seznam strojů a zařízení, popsán rozsah stavebních úprav a oceněny investiční náklady. Výsledky této studie pak měly pomoci při rozhodování o dalším postupu přípravy plánované intenzifikace a modernizace úpravy vody.

V rámci přípravy studie bylo nejdříve provedeno důkladné posouzení stávajícího stavu úpravy vody a vyhodnocení kvality upravované vody.

Bylo zjištěno, že samotné zařízení úpravy vody je po dlouhých letech provozu prakticky na hranici své fyzické životnosti. Významnější rekonstrukci si vyžadují také elektrické rozvody a veškerá elektroinstalace.

Dle rozborů surové vody, poskytnutých provozovatelem úpravy vody, se během let 2006 – 2009 postupně zvyšuje obsah přírodních fenolů v surové vodě a v roce 2009 se zvýšila i hodnota AOX, oproti minulým rokům.

Zajištění kvality vyráběné vody v souladu s platnou legislativou bylo na stávajícím morálně a fyzicky opotřebovaném zařízení, s ohledem na problematickou kvalitu surové vody a rychle se měnící složení surové vody, stále problematičtější a z dlouhodobého hlediska neudržitelné.

Zpracovatel studie stanovil, jaké okruhy problémů musí být řešeny v rámci potřebné modernizace a intenzifikace technologie úpravy vody:

- vypracovat návrh vhodné technologie úpravy vody, která poskytne dostatečnou záruku výroby kvalitní pitné vody ze stávajícího zdroje surové vody
- řešit automatizaci provozu úpravy, zajistit trvalý provozní monitoring všech stupňů úpravy, automatické řízení provozu při změně podmínek a přenos důležitých provozních údajů a poruchových stavů na dispečink
- navrhnout nové vápenné hospodářství založené na automatické přípravě vápenného mléka a nasycené vápenné vody
- zlepšit způsob stáčení, skladování, ředění a dávkování chlornanu sodného
- zlepšení stavu stavebních objektů, zajištění odpovídajícího zateplení, větrání a ventilace, zlepšení skladových prostor chemikálií a také zřízení odpovídajícího provozního zázemí obsluhy
- v návrhu modernizace by mělo být i vytvoření prostorových a technických možností pro výhledové rozšíření a doplnění technologie o další stupeň úpravy zaměřený na odstranění zejména specifických organických polutantů

Variety technologických úprav

Po pečlivém zvážení okolností, především kvality surové vody, nutnosti využití pouze stávajících objektů, zachování provozu úpravy vody během stavby a samozřejmého účelného a efektivního využití investičních nákladů, navrhl zpracovatel studie následující čtyři možné varianty uspořádání technologické linky úpravy:

1. varianta – lamelové separátory + filtry s otevřenou hladinou

Zachování stávajícího principu úpravy surové vody. V prvním separačním stupni osadit nové výkonnější lamelové separátory s předřazenou flokulační komorou, v druhém stupni nadále využívat stávající potřebně upravené otevřené pískové filtry.

2. varianta – lamelové separátory + tlaková filtrace

Osazení lamelových separátorů s předřazenou flokulační komorou s druhým separačním stupněm založeným na tlakových multivrstvých pískových filtrech.

3. varianta – dvoustupňová koagulační tlaková filtrace

Tato varianta je založena na dvoustupňové tlakové koagulační filtraci na speciálních multivrstvých tlakových filtrech.

4. varianta – nové lamelové separátory + nové filtry s otevřenou hladinou a s novou vícevrstvou náplní

Tato varianta zachovává stávající princip úpravy surové vody. V prvním separačním stupni by měly být osazeny výkonnější lamelové separátory s předřazenou flokulační komorou, v druhém stupni pak nové filtry s otevřenou hladinou a novou vícevrstvou filtrační náplní, která zajistí výrazné zvýšení kalové kapacity filtrů.

Stávající filtry s otevřenou hladinou budou využívány po dobu rekonstrukce úpravní vody, a poté budou zrušeny. V této variantě je možné po sanaci stávajících betonových otevřených filtrů jejich využití pro filtry s granulovaným aktivním uhlím se zachováním gravitačního průtoku celou úpravnou.

U 1., 2. a 4. varianty se uvažovalo dále o dvou alternativách zdroje prací vody, a to buď s využitím stávajícího pracího vodojemu, anebo zrušení pracího vodojemu a čerpání vody při praní.

Ve všech variantách se uvažovalo s kompletní rekonstrukcí vápenného hospodářství, úpravou chlorového hospodářství a dávkování koagulantu. Samozřejmostí byl návrh výměny elektroinstalace a doplnění automatického systému řízení a prvků měření a regulace.

V rámci modernizace úpravní má být provedena nová rozvodna NN, nová stavební (rozvody, zásuvky, světla, větrání) a motorová elektroinstalace. Nová rozvodna bude umístěna do stávající haly lamelových separátorů.

Zapojení spotřebičů bude řešeno s vazbami na nově zřízený řídicí systém s čidly sledujícími jednotlivé provozní stavy a parametry řízeného procesu, což umožní pomocí sofistikovaného software dosáhnout rychlých reakcí technologie na odchylky v požadovaných hodnotách, stability provozu, a tím trvale vyrovnané kvality upravené vody.

Pro zvýšení spolehlivosti provozu budou nová elektrická rozvodná zařízení rovněž vyzbrojena koordinovanou vnitřní ochranou před účinky blesku a přepětí. Vnější ochrana (jímací soustava, soustava svodů a uzemňovací soustava) zůstane zachována původní nebo bude v potřebném rozsahu doplněna.

První dvě varianty a čtvrtá varianta využívají poměrně dobrých zkušeností s provozem lamelových usazovacích nádrží, které se osvědčily zejména při nárazových přívalech znečištění (okalové stavy) jako dobrá ochrana druhého stupně – filtrace. V návrhu byla soustředěna pozornost také na zásadní zlepšení podmínek koagulace a přípravy suspenze před její následnou separací. Do technologické linky byla nově zařazena homogenizační nádrž s intenzivním gradientem míchání pro podporu perikinetické fáze koagulace a následná flokulační nádrž s vhodně konstruovaným axiálním míchadlem podporující ortokinetickou fázi koagulace a tvorbu dostatečně velkých, stabilních a následně v lamelovém separátoru dobře zachytitelných vloček. Vytvoření podmínek pro kvalitní tvorbu a následný vývin koagulační suspenze je stěžejní podmínkou úpravy tohoto typu surových vod. Bez dostatečně dlouhé fáze přípravy suspenze nelze zejména v zimním období při teplotách vody v rozmezí 0 – 2 °C zajistit vznik dále dobře separovatelných (sedimentovatelných) částic, a tím i výrobu pitné vody v souladu s legislativou. Separační stupeň je navržen na principu lamelových separátorů, umožňujících nadále zachovat gravitační průtok vody celou úpravnou. Separátory jsou pro dané podmínky navrženy s malými vzestupnými rychlostmi cca 0,85 mm/s a minimální délkou lamelové vestavby 1,5 m. Druhý separační stupeň je vždy založen na

pískové filtraci nebo filtraci na vícevrstvých materiálech. Zde by, jako dosud, mělo docházet zejména k zachycení nejjemnějších podílů suspenze uniklých z 1. stupně a ke snížení koncentrace zbytkového koagulantu.

Varianta č. 3 je založena na dvoustupňové koagulační tlakové filtraci. Navrženy jsou dvě provozně osvědčené a dlouhodobě ověřené jednotky OFSY84 firmy CULLIGAN

U 4. varianty bylo uvažováno s využitím gravitačního průtoku úpravou vody nejen s náhradou stávajících lamelových separátorů ale také s náhradou stávajících otevřených filtrů novými nerezovými otevřenými filtry. Tato varianta umožňuje spolehlivě zaručit funkci úpravny vody při její rekonstrukci. Zároveň případně bude možné stávající filtry po rekonstrukci využít pro filtraci s aktivním uhlím.

Při vyhodnocení možnosti využití jednotlivých variant zpracovatel studie pro investora vždy pečlivě zhodnotil výhody i úskalí všech porovnávaných variant včetně odhadu a specifikace všech nákladů na provedení rekonstrukce i odhadu provozních nákladů.

Studie, která byla v průběhu zpracování průběžně konzultována s provozovatelem i investorem byla předána investorovi v květnu 2010.

Investor, který za pomoci provozovatele a spolupráce se zpracovatelem studie pečlivě zhodnotil všechny předkládané varianty, se rozhodl pro variantu 4, jejíž výhodnost vycházela především z dlouhodobého hodnocení investice i spolehlivosti zajištění výroby pitné vody a také zajištění možnosti zásobování vodou i v průběhu rekonstrukce nejpříznivěji.

Následně po rozhodnutí o volbě nejlepší varianty investor zadal práce na zpracování dokumentace pro ohlášení stavebních úprav. Tato dokumentace, která byla dokončena v říjnu 2010, byla s drobnými úpravami použita také pro žádost o dotaci na SFŽP. Dotace nebyla Městu Vimperk přiznána, což vedlo k následnému rozhodnutí místních samosprávních orgánů akci postupně realizovat z vlastních prostředků.

Poloprovozní testy membránové filtrace

Těsně před zahájením prací na dokumentaci pro výběr zhotovitele začátkem roku 2011 přijal investor s provozovatelem návrh firmy ENVI-PUR, s.r.o. na provedení poloprovozních testů moderní technologie jednostupňové membránové filtrace.

Bylo rozhodnuto, že jako varianta k již rozpracované rekonstrukci úpravny vody Vimperk podle varianty 4. bude ještě posouzena možnost rekonstrukce úpravny vody s využitím technologie jednostupňové technologie membránové filtrace. Tato varianta využívá nejmodernější technologii tlakové flokulace a filtrace přes keramickou mikrofiltrační membránu. Při použití této technologie by došlo k výrazné redukci potřebných objemů pro flokulaci (až 10 x) a výrazně by se zmenšila zastavěná plocha filtrace (až 3 x).

U variant 1. až 4. byl návrh technologické linky předložených variant řešen pouze teoreticky bez jakýchkoli laboratorních nebo poloprovozních zkoušek k ověření jejich funkce na konkrétní surové vodě. Nicméně při jejich návrhu se vycházelo z dlouhodobě provozně osvědčených postupů v konkrétních podmínkách ÚV Brloh a dalších obdobných realizací v ČR.

U varianty s membránovou filtrací bylo možné toto ověření provést, proto níže uvádíme několik údajů a výsledků z prováděných poloprovozních testů.

Testování na poloprovozním modelu membránové mikrofiltrace na keramické membráně AMAYA 5 bylo provádělo v období od 9.3.2011 do 30.3.2011.

Základní parametry jednotky byly nastaveny takto:

1. Konstantní hydraulické zatížení mikrofiltračního elementu $168 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$,
 $Q=4,2 \text{ m}^3/\text{h}$
2. Dávkování Na_2CO_3 jako předalkalizace surové vody tak, aby výsledné pH filtrátu bylo v rozmezí 6,8 - 7
3. Jako koagulant byl použit polyaluminiumchlorid PAX-18 v dávce 0,45 - 3,5 mg/l Al. PAX-18 je dávkován jako zředěný roztok (1 díl konc. PAX-18 + 3 díly filtrátu)
4. Pro rychlé míchání (homogenizaci) je využito podávací odstředivé čerpadlo Grundfos CR 5 -10 A, koagulant je dávkován do T-kusu sání čerpadla
5. Flokulace (agregace) probíhá v trubkovém flokulátoru TRF 3x75 m DN 40, pro $Q=4,2 \text{ m}^3/\text{h}$ je $G=383 \text{ s}^{-1}$ s dobou zdržení 80,74 s
6. Filtrační cyklus byl měněn dle měnícího se charakteru surové vody na $T=4-1 \text{ hod.}$
7. ACID CEB pH 1,5-2, OXID CEB 30-50 mg/l akt. Cl_2

Se zhoršující se kvalitou surové vody (viz. CHSK Mn) byla se zpožděním zvyšována dávka PAX-18 z dávky 0,4 mg/l až na 3,5 mg/l.

Za daných podmínek produkoval systém vodu ve velmi dobré kvalitě, s prakticky nestanovitelným zbytkovým hliníkem a s hodnotou CHSK-Mn max. 2,1 mg/l. Mikrobiologické analýzy byly všechny nulové.

Testování poloprovozní jednotky membránové mikrofiltrace s tlakovou flokulací prokázalo, že tato technologie je schopná i při značném kolísání kvality surové vody produkovat upravenou vodu vysoké kvality se 100 % odstraněním mikrobiologického oživení.

Přesto, že membránová separace v jednostupňovém provedení prokázala spolehlivou funkci, investor se rozhodl, i zřejmě z důvodů využití stávajícího objektu úpravy a jeho stavebního a technického zhodnocení, využít variantu č. 4.

Jsme přesvědčeni, že pokud by se stavěla úprava vody tzv. na zelené louce, při rozhodování o výběru technologie by významnou roli měla skutečnost, že při využití technologie jednostupňové membránové filtrace by objem stavebních objektů a tedy i investičních nákladů na tyto objekty, byl oproti současnému stavu zhruba třetinový, při využití technologie membránové filtrace s předřazeným prvním separačním stupněm (lamelové separátory) by byl přibližně poloviční.

Další významnou výhodou membránové technologie by bylo to, že bezpečnost (bakteriologická) upravené vody je u membránové technologie prakticky 100% díky tomu, že membrána je absolutní bariérou pro bakterie.

Nová technologická linka

V květnu 2011 tedy byla investorovi předána dokumentace pro výběr zhotovitele na rekonstrukci úpravy vody Vimperk podle varianty 4.

Konkrétně tato dokumentace zahrnuje následující technologickou linku:

- měření průtoku surové vody (využití pro automatické dávkování)
- měření zákalu a absorbance (monitoring kvality surové vody, uzavření nátoky na ÚV od limitní hodnoty)
- měření pH (využití pro automatické dávkování)
- proporcionální dávkování koagulantu na bázi hliníku PAX
- předalkalizace vápenným mlékem
- rychlomísení (intenzivní promíchání za účelem kvalitní tvorby vloček)

- rozdělení na dvě paralelní linky
- flokulace s pomalým mícháním
- odsazení na dvojici lamelových separátorů (první stupeň čištění)
- filtrace na dvojici nových otevřených filtrů (2x 10,0m²)
- akumulace upravené vody (stávající 16m³)
- dávkování vápenné vody (přímé ztvrdění upravené vody)
- dávkování chlornanu pro hygienizaci upravené vody
- akumulace upravené vody (10m³)
- dávkování CO₂ (přímé ztvrdění upravené vody)
- měření pH (kontrola a řízení ztvrdování)
- akumulace upravené vody (423m³)
- čerpání upravené vody do VDJ Brantlův dvůr, měření průtoku (výměna tlakové nádoby a kompresoru)
- dávkování chlornanu sodného (dodatečná dochlorace)
- gravitační odtok do spotřebiště, měření průtoku

Navrženy jsou dvě paralelně zapojené linky výkonově koncipované tak, aby byl průtočný výkon každé max. 12 l/s, tj. 43,2 m³/hod., což činí průměrnou potřebu pro spotřebiště. Při souběhu obou linek bude výkon úpravný činit maximálně 20 l/s.

V březnu 2012 byla vyhlášena veřejná zakázka na realizaci rekonstrukce úpravný vody Vimperk a v září 2012 byla podepsána smlouva s vítězným uchazečem.

Z důvodů zajištění finančního pokrytí celé rekonstrukce se zahájení stavby rekonstrukce úpravný vody Vimperk odložilo až na začátek března letošního roku.

Věříme, že na příští konferenci *Pitná voda 2016* budeme moci prezentovat dosahované výsledky rekonstruované úpravný vody Vimperk.

Závěr

Závěrem chceme vyjádřit obdiv investorovi, který k rekonstrukci přistoupil komplexně, se seriózním zpracováním a vyhodnocením několika možných variant.

Teprve po vyhodnocení pro něj z mnoha hledisek nejvýhodnější varianty zadal zpracování projektové dokumentace vybrané varianty.

Poslední dobou se setkáváme spíše s tím, že se vypisují výběrová řízení na zpracování projektové dokumentace, kde jediným kritériem je nejnižší cena. Může se pak stát, že tuto strategicky důležitou záležitost, již zajištění bezpečné pitné vody pro celá města je, zajišťuje zcela nezkušený řešitel, který navíc může případně požadované reference získat od subdodavatelů, kteří se následně na vlastním zpracování dokumentace nemusí ani podílet.

Výsledkem pak může být řešení, které je nejlevnější pouze v nákladech na projekční přípravu.

Podněty k zamyšlení nad problematikou výběru nejvhodnějšího řešení a ovlivnění celkových nákladů na rekonstrukci úpravný vody lze hledat také v pracích doc. Ing. Petra Dolejš, CSc, konkrétně např. v [3].

Literatura

1. Stara J.: Rekonstrukce na úpravný vody Vimperk. Sborník konference *Voda Zlín*, 1997, Zlín, str. 116-120.
2. Smažík J., Hrubý V., Budínová H.: Vimperk, úpravna vody – úpravy technologické linky. Studie EKOEKO s.r.o., 02/2010, 54 s.
3. Dolejš P.: Získávání podkladů a volba racionálních postupů rekonstrukce a modernizace úpravný vody. *SOVAK*, 18, č. 5, s. 12–15 (2009).