

PEMZA, ALTERNATIVNÍ FILTRAČNÍ MATERIÁL VE VODÁRENSTVÍ

Ing. Ladislav Bartoš, PhD.¹⁾, RNDr. Václav Dubánek.²⁾, Ing. Soňa Beyblová³⁾

¹⁾VEOLIA VODA ČESKÁ REPUBLIKA, a.s., Pařížská 11, 110 00 Praha 1

²⁾FER&MAN Technology, spol. s r.o., Tréglava 795/2, 152 00 Praha 5

³⁾Severočeské vodovody a kanalizace, a.s., Přítkovská 1689, 415 01 Teplice

Úvod

Již v počátcích vodárenství, kdy vyvstala potřeba upravovat vodu dodávanou k lidské spotřebě, byla klíčovou technologií filtrace. Poučení z přírody začali lidé využívat nejnázne dostupný filtrační materiál, kterým byl většinou křemenný písek. Postupem času byly hledány další materiály, které by mohly písek buď zcela nebo částečně nahradit a to z důvodu mechanických či fyzikálně-chemických vlastností. Ve vodárenství tak našel uplatnění antracit, aktivní uhlí bez ohledu na původ a vlastnosti, sklo, keramika, plasty, pálený jííl, drcený čedič (resp. podobné horniny), pemza a další. Právě posledně jmenovaný filtrační materiál nás zaujal deklarovanými vlastnostmi. Vzhledem k tomu, že v našich zeměpisných šířkách není běžně používán k plnění vodárenských filtrů, rozhodli jsme se provést technologické experimenty a srovnat jeho vlastnosti s klasickým filtračním pískem (dříve FP2) a v poslední době stále populárnějším materiálem Filralite.

Pemza

Pemza je přírodní materiál. Jedná se o vyvělou horninu pórovité struktury, která se řadí k tzv. přírodním sklům. Dříve než začala být využívána ve vodárenství a průmyslu jako filtrační materiál, byla a stále je používána jako brusivo, např. při leštění dřeva. Běžné populaci je jistě známa pemza jako prostředek pro odstraňování ztvrdlé kůže např. z chodidel. Jemně mletá pemza bývá obsažena v některých peelingových krémech, které se používají pro šetrné odstranění staré svrchní vrstvy větších ploch pokožky.

Pro použití ve vodárenství je pemza definována mezinárodní normou „Výrobky používané pro úpravu vody určené k lidské spotřebě – Pemza ČSN EN 12906 (75 5706)“ [1]. Podle této normy je vodárenskou pemzou hlinitokřemičitan (aluminosilikát) obecného složení $Al_xSi_yO_z$. Dále se zde uvádí, že se jedná vulkanickou horninu dacitového až ryolitového složení, která obsahuje až 75 % SiO_2 a přibližně 25 % Al_2O_3 . Podle ložiska může hornina obsahovat i další oxidy některých kovů (Fe, K, Na), které jsou zastoupeny řádově v jednotkách procent. Objemová hmotnost je obvykle větší než $2,3 \text{ g/cm}^3$. Sytná objemová hmotnost se dle velikosti zrn pohybuje v rozmezí 300 – 700 kg/m^3 . Pro použití ve vodárenství jsou k dispozici různé zrnitosti v obvyklých velikostních kategoriích od 0,6 mm do 4 mm. Pro experimenty byla vybrána zrnitost 0,6 – 1,6 mm.

Ačkoli dodavatel předložil certifikát dokládající schválení použití konkrétního produktu k úpravě vody pro lidskou spotřebu, bylo prvním krokem provedení výluhových testů podle standardní metodiky dle požadavků zákona č. 258/2000 Sb. a vyhlášky MZ č. 409/2005 Sb. Test provedl a posudek vypracoval Státní zdravotní ústav v Praze.

Z provedených testů vyplývá, že dodaný vzorek pemzy splňuje předepsané parametry a může být použit jako náplň vodárenských filtrů.

Cíl experimentů

Vzhledem k tomu, že se v českém vodárenství stále častěji využívají jiné filtrační materiály než klasický vodárenský písek, chtěli jsme otestovat další možný materiál, který je zatím používán pouze na některých lokalitách v zahraničí. Vzhledem k vlastnostem pemzy (porozitě) jsme odhadovali, že separační účinnost by mohla být lepší ve srovnání s klasickým vodárenským pískem. Větší plocha zrn, porozita a výskyt velkého množství nerovností by měl dále přispívat k urychlení fyzikálně-chemických procesů probíhajících uvnitř filtračního lože. Vzhledem k tomu, že chování filtračních materiálů může být odlišné při použití v úpravě podzemních a povrchových vod, byly pro testy vybrány dvě úpravní se zásadně odlišnou kvalitou surové vody. Úpravní podzemních vod reprezentovala ÚV Studeněves provozovaná společností Středočeské vodárny a.s. a úpravní povrchových vod reprezentovala ÚV Jirkov provozovaná společností Severočeské vodovody a kanalizace a.s.

ÚV Studeněves

Úpravna vody Studeněves se nachází na okraji stejnojmenné obce. Aktuální technologie úpravy podzemní vody na vodu pitnou je založena na kontaktním odželeznění a odmanganování po předchozí aeraci a dávkování roztoku KMnO_4 . Separace nerozpuštěných hydratovaných oxidů železa a manganu je dvoustupňová. Prvním stupněm je usazovací nádrž o objemu 90 m^3 a druhým stupněm klasická písková filtrace o účinné ploše 30 m^2 . V pískovém loži dochází rovněž k biofilmové nitrifikaci, při které je snižována nadlimitní koncentrace amonných iontů. Hygienické zabezpečení je prováděno dávkováním chlornanu sodného.

Surová voda je poměrně silně mineralizovaná (vodivost přibližně $120 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$). Koncentrace vápníku dosahuje běžně 170 mg/l , železa 5 mg/l , manganu $0,5 \text{ mg/l}$, síranů až 300 mg/l . Hodnota pH je standardně $7,5$, $\text{KNK}_{4,5}$ $7,0 - 7,5 \text{ mmol/l}$.

ÚV Jirkov

Úpravna vody Jirkov se nachází na severovýchodním okraji města Jirkov. V současné době je úpravna krátce po komplexní rekonstrukci, při které z té původní byla zachována prakticky jen akumulace upravené vody, budova s velínem a přívod surové vody. Technologická linka je kompletně nová. Principem úpravy povrchové vody přitékající z nádrže Jirkov je založena na koagulaci organických látek síranem hlinitým s následnou dvoustupňovou separací. Prvním separačním stupněm je flotace rozpuštěným vzduchem a druhým separačním stupněm je písková filtrace. Hygienické zabezpečení je dvoustupňové, kdy první stupeň zajišťuje ultrafialové záření a pro distribuci je voda zajištěna chloraminací.

Kvalita surové vody z nádrže Jirkov koresponduje s kvalitou v ostatních vodárenských nádržích v Krušných horách. Koncentrace organických látek vyjádřených jako CHSK_{Mn} se obvykle pohybuje v rozmezí $2,5 - 5,0 \text{ mg/l}$. Koncentrace hliníku nepřekračuje $0,15 \text{ mg/l}$ a manganu $0,1 \text{ mg/l}$.

Průběh experimentů

Surová voda na ÚV Studeněves je velmi silně zatížena železem a manganem. Z tohoto důvodu byla modelová filtrační kolona napojena na odtok z prvního separačního stupně. Filtrační kolona má vnitřní průměr 98 mm a výška filtračního lože dosahovala úrovně 1 m. Počáteční filtrační rychlost byla u všech experimentů stanovena na 4,4 m/h.

Filtrační materiál Pemza nebyl testován samostatně. Stejně experimenty byly provedeny s filtračním pískem s velikostí zrna do 1,6 mm, který je standardně používán na úpravně. Třetím testovaným médiem byl Filtralite ve dvouvrstevném uspořádání mono-multi s velikostí zrna 0,8 – 1,6 mm.

Každý ze zkoušených filtračních materiálů byl testován ve třech filtračních cyklech, přičemž o ukončení testovacího cyklu rozhodovalo překročení hydraulické ztráty na filtraci 0,30 m nad úrovní pracovní hladiny při zahájení filtrace (0,10 - 0,15 m nad úrovní filtrační náplně). Mezi filtračními cykly byla náplň důkladně proprána vodou při intenzitě, která ještě uchovala náplň v koloně. První filtrační cyklus sloužil pouze k zapracování náplně a k orientačnímu stanovení celkové délky pilotního testu bez kontroly látkového zatížení. Byl pouze sledován okamžitý průtok a odpor (tlaková ztráta) filtru. Mezi jednotlivými cykly došlo k proprání náplně protiproudem tlakové vody. Následující dva filtrační cykly již zahrnovaly pravidelnou kontrolu průtoku jak odečtem z vodoměru (jak se ukázalo nepříliš spolehlivého), tak z odměrného válce. Samozřejmě byla sledována kvalita surové vody (přítok z usazováku) a filtráty v ukazatelích železo a mangan.

Obdobně byly realizovány modelové experimenty na úpravně vody Jirkov, jen s tím rozdílem, že jediným testovaným filtračním materiálem byla pemza. Kvalitu filtrátu produkovaným modelovou kolonou bylo možné porovnat s kvalitou filtrátu produkovanou běžnými vodárenskými filtry. Stejně jako v případě ÚV Studeněves byla modelová filtrační kolona umístěna za první separační stupeň. Vzorky filtrátu byly odebírány v pravidelných časových intervalech, kdy byl zároveň prováděn odečet vodoměru. Ve vzorcích filtrátu byla stanovována koncentrace hliníku, organických látek ($CHSK_{Mn}$) a absorbance při 387 nm (A_{387}). Pro posouzení separační účinnosti byly stejné parametry měřeny ve vodě přitékající do kolony, v tomto případě v odtoku z technologického stupně flotace. Stejně jako v případě ÚV Studeněves, se objevily problémy s vodoměrem i přes to, že se jednalo o jiný vodoměr.

Výsledky

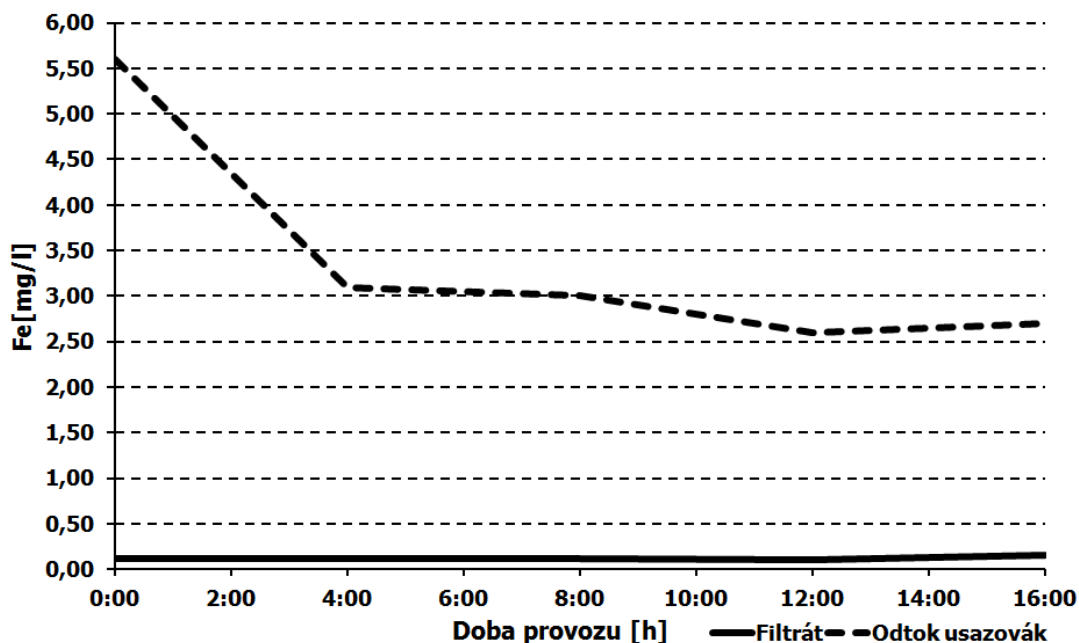
První testovanou filtrační náplní na ÚV Studeněves byl filtrační písek. Filtrační cykly trvaly 12 hodin. První pracovní cyklus byl zahájen s filtrační rychlostí 4,4 m/h a ukončen s tlakovou ztrátou 0,30 m při filtrační rychlosti 3,7 m/h. Druhý cyklus byl zahájen s filtrační rychlostí 4,4 m/h a ukončen s tlakovou ztrátou 0,30 m při filtrační rychlosti 4,2 m/h. Koncentrace železa byla při průchodu vody filtračním ložem snížena z přibližně 2,7 mg/l na 0,04 mg/l na počátku filtračního cyklu resp. na 0,14 – 0,18 mg/l na konci cyklu. To představuje separační účinnost 98,5 % resp. 93,3 %. Obdobných výsledků bylo dosaženo v parametru mangan, kdy původní koncentrace 0,65 mg/l byla snížena na přibližně 0,055 mg/l. To představuje účinnost separace 91,5 %. Zajímavé bylo zjištění, že nebylo výrazného rozdílu mezi koncentrací manganu na počátku a konci filtračního cyklu.

Druhou testovanou náplní byla pemza. První filtrační cyklus byl zahájen s filtrační rychlostí 4,4 m/h a ukončen s tlakovou ztrátou 0,30 m při filtrační rychlosti 3,4 m/h po

15,5 hodinách provozu. Délka druhého filtračního cyklu byla prakticky shodná s prvním – 16 hodin. Cyklus byl zahájen s filtrační rychlostí 4,4 m/h a ukončen s tlakovou ztrátou 0,30 m při filtrační rychlosti 3,4 m/h. Během druhého filtračního cyklu došlo k manipulaci se zdroji surové vody a koncentrace železa v přitékající vodě dosáhla až 5,6 mg/l. V následujících hodinách koncentrace železa poklesla na obvyklých 2,7 mg/l. V důsledku těchto manipulací byla ve filtrátu při druhém filtračním cyklu vyšší koncentrace železa a již na počátku cyklu dosahovala 0,12 mg/l a na konci 0,16 mg/l. Separační účinnost dosahovala 97,9 % resp. 94 %. Zatímco při manipulaci se zdroji došlo ke zvýšení koncentrace železa, bylo tomu v případě manganu naopak. Jeho koncentrace poklesla z 0,68 mg/l na 0,50 mg/l. Separační účinnost v parametru mangan tak dosahovala až 92 % v prvním filtračním cyklu a přibližně 88 % ve druhém.

Třetí testovanou náplní byl Filtralite v uspořádání mono-multi. Získané výsledky potvrzují deklarovanou výhodu dvouvrstvých náplní z hlediska délky filtračního cyklu resp. tzv. filtrační délky. U materiálu Filtralite byla zaznamenána délka filtračního cyklu 28 resp. 30 hodin. To je téměř dvojnásobek ve srovnání s pemzou. Ještě větší rozdíl je při srovnání s pískem. Již ne tak dobře vyznívá hodnocení z hlediska kvality filtrátu, kdy při prakticky identickém zatížení byly koncentrace železa zhruba o 50 % vyšší (až 0,25 mg/l) a manganu přibližně o 15 % vyšší (až 0,069 mg/l) než v případě písku a pemzy. Z naměřených dat je zřejmé, že s postupující délkou filtračního cyklu dochází k postupnému nárůstu separační účinnosti. Zatímco v případě písku a pemzy dochází k postupnému zhoršování kvality filtrátu, je trend v případě Filtralite opačný a nejlepší kvalita je produkována v závěru filtračního cyklu. Výše popsané bylo zřejmě způsobeno tím, že ve filtrační koloně nebyla dostatečná mocnost jednotlivých vrstev a poměr zastoupení různých druhů materiálu Filtralite.

Filtrační cyklus - Pemza (ÚV Studeněves)



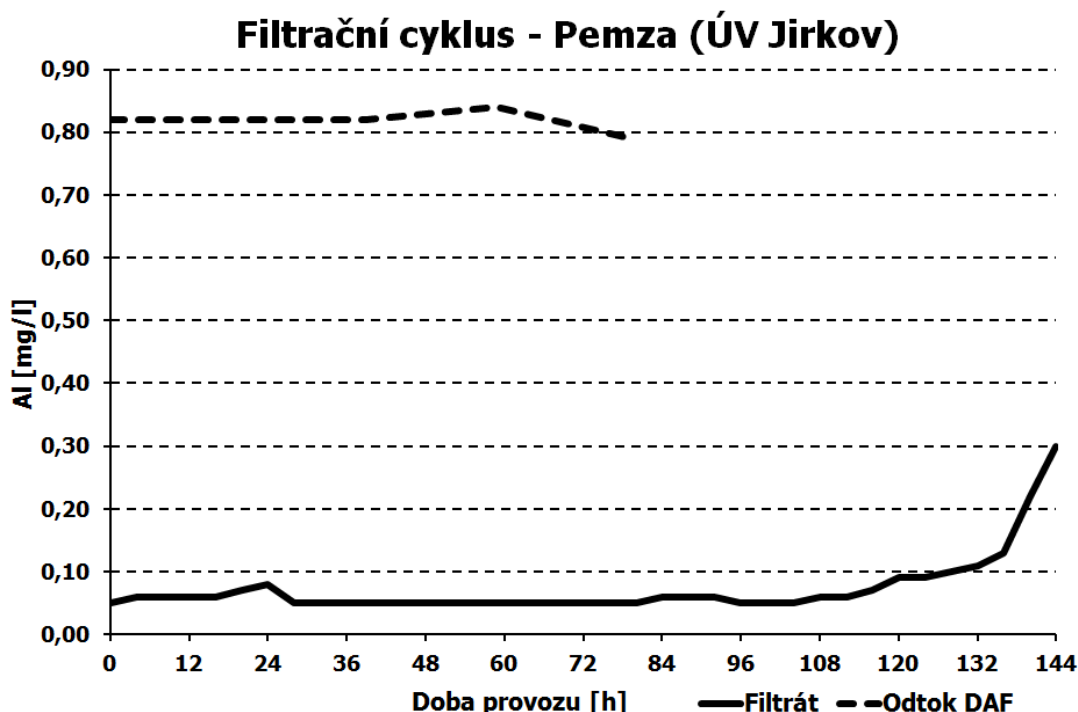
Obr. 1. Filtrační cyklus na modelové koloně s náplní pemza provedený na ÚV Studeněves

Z testů provedených na ÚV Studeněves vyplývá, že pemza zrnitosti 0,6 – 1,6 mm má mírně lepší separační účinnost než filtrační písek při současně delším filtračním cyklu. Materiál Filtralite v kompozici mono-multi nedosahoval v testovaném uspořádání kvality

filtrátu srovnatelné s pískem resp. pemzou. Na druhou stranu bylo u této náplně dosaženo více než dvojnásobné doby filtrace. Dá se odhadnout, že po optimální kompozici filtračního lože bude Filtralite pro ÚV Studeněves lepší volbou. V případě pemzy je nutné výrazně zvýšit separační účinnost prvního separačního stupně. Tím dojde k prodloužení doby filtrace při zachování výborné kvality filtrátu.

Po zkušenostech z testů na ÚV Studeněves byla pro další testy vybrána ÚV Jirkov. Důvodem byla nejen zásadně odlišná kvalita surové vody, ale i existence poměrně dobře fungujícího prvního separačního stupně – flotace rozpuštěným vzduchem. Vzhledem k tomu, že bylo hlavním cílem testování filtračního materiálu pemza, byly testy prováděny pouze s touto náplní. Separací účinnost tak bylo možné srovnávat pouze se stávajícími filtry. V současnosti je běžný výkon ÚV Jirkov nastaven na 70 l/s. Dle kvality surové vody se délka filtračních cyklů pohybuje od 48 do 72 hodin. Dle aktuálních podmínek to představuje filtrační délku v rozsahu 123 – 184 metrů resp. m^3/m^2 . Jedná se o délku vodního sloupce, který proteče jedním metrem čtverečním filtrační plochy. Toto číslo má pro posouzení filtrace resp. filtračních náplní či jiného nastavení separačního stupně lepší vypovídací hodnotu než pouhé porovnání doby filtrace.

Na modelové koloně, identické jako na ÚV Studeněves, byly naměřeny celkem čtyři filtrační cykly. Provoz úpravny vody Jirkov byl po dobu testů stabilní a technologický stupeň flotace tak produkoval vodu prakticky konstantní kvality. Během prvního cyklu byla koncentrace hliníku přibližně 0,82 mg/l a CHSK_{Mn} 1,6 mg/l. Ve druhém a dalších filtračních cyklech byla voda produkovaná flotací z hlediska kvality opět stabilní, jen mírně lepší. Koncentrace hliníku dosahovala 0,7 mg/l a CHSK_{Mn} 1,4 mg/l. Kromě uvedených dvou parametrů byla kvalita filtrátu hodnocena navíc v parametru A_{387} .



Obr. 2. Filtrační cyklus na modelové koloně s náplní pemza provedený na ÚV Jirkov

Průtok kolonou byl nastaven na 400 ml/minutu a po většinu doby filtračního cyklu byl tento průtok zachován. Ke konci filtračního cyklu docházelo celkem logicky k mírnému poklesu, který ani v samotném závěru nebyl kompenzován nárůstem tlakové ztráty

filtru. Délka filtračních cyklů přibližně kopírovala nastavení filtrů úpravny vody Jirkov. Nejdelší cyklus naměřený na modelové filtrační koloně trval 144 hodin, tedy šest dní s tím, že k překročení limitní hodnoty koncentrace hliníku 0,2 mg/l došlo mezi 136. a 140. hodinou (vzorek po 140 hodinách – 0,22 mg/l Al). Jedná se o dvojnásobnou hodnotu ve srovnání s dalšími naměřenými cykly i ve srovnání s nastavením filtrace úpravny. Době modelového filtračního cyklu odpovídá i filtrační délka, která dosáhla úctyhodných 546 metrů. U druhého nejdelšího filtračního cyklu bylo dosaženo hodnoty 229 metrů. Tento filtrační cyklus byl ukončen z důvodu ucpání kolony suspenzí. Kvalita ve všech sledovaných parametrech byla stále pod stanovenými limitními hodnotami. Průměrná separační účinnost v parametru hliník se pohybovala kolem 88 % a v parametru $CHSK_{Mn}$ kolem 43 %.

Závěr

Během modelových experimentů se třemi filtračními materiály provedených na dvou úpravných vody se zásadně odlišnou kvalitou surové vody i zásadně odlišným technologickým vybavením byly zjištěny tyto skutečnosti:

Filtrační materiál pemza je vhodnou alternativou ke klasickým filtračním materiálům používaným ve vodárenství. Může být použit na jednostupňové i dvoustupňové úpravné vody s tím, že aplikace na dvoustupňové úpravné je výrazně vhodnější. Použitá zrnitost 0,6 – 1,6 mm je vynikající volbou pro úpravny vody s kvalitně fungujícím prvním separačním stupněm. Pravděpodobně může být použit i jako spodní vrstva ve dvouvrstvých filtrech v kombinaci s materiálem menší hustoty (antracit, aktivní uhlí). Není možné dvouvrstvé uspořádání filtru naplněného materiálem pemza, neboť všechny dodávané zrnitosti mají identickou hustotu.

Filtrační materiál Filtralite je vhodný zejména tam kde není úpravna vody vybavena prvním separačním stupněm. V takovém případě horní vrstva s vyšší zrnitostí umožňuje zachycení hrubších nečistot (vloček). V případě kvalitně fungujícího prvního separačního stupně je ke zvážení, zda horní vrstva hrubší náplně nezabírá místo té jemnější, případně zvolit jiný poměr jednotlivých vrstev. Pro správné fungování dvouvrstvé náplně tvořené tímto materiálem je bezpodmínečně nutné zachovat minimální doporučené mocnosti jednotlivých vrstev, zejména spodní. V případě malé výšky spodní vrstvy tvořené materiálem menší zrnitosti dochází k průniku jemnější suspenze a tím k horší separační účinnosti.

Literatura

- [1] Norma: Výrobky používané pro úpravu vody určené k lidské spotřebě – Pemza ČSN EN 12906