

ROLE ADSORPCE NA AKTIVNÍM UHLÍ V SOUČASNÉM VODÁRENSTVÍ

doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.

W&ET Team, Písecká 2, 370 11 České Budějovice;
petr.dolejs@wet-team.cz

Motto

Nejhorsí je zkoušet vysvětlit někomu, kdo neví, že neví, že právě on je ten, kdo neví. Na jedné straně je to relativně snadné u studentů. Ti jsou studenty proto, aby se dozvěděli. Přesně na opačném pólu jsou ti, kdo se asi profesně „musí“ tvářit, že ví, či dokonce, že ví (skoro) všechno. Ano, jsou i takoví ... Ti ale zřejmě nebudou číst tento příspěvek.

ÚVOD

V tomto příspěvku přiblížím některé vize a očekávání z oboru technologie úpravy pitné vody, které se týkají aktivního uhlí. Proto se budu krátce věnovat také historickému ohlédnutí a pokusím se i díky tomuto ohlédnutí odhadnout trendy, které mohou nastat v blízkém období. **Trendy, na které bychom se měli buď na jednu stranu připravit, nebo o ně na druhou stranu usilovat.**

Stejně tak, jako současný automobilový průmysl není o kovárně, tesařině, ohýbání dřeva a případně odlévání drobných kovových dílů - byť tím výroba kola a prvního povozu pro dobytek před dávnými lety začala - tak současná úprava pitné vody je již jen z velmi malé části o čerpadlech, rourách, korytech a nádržích, kterými to také kdysi dávno začalo.

Současná problematika moderní úpravy pitné vody je z 90 % o technologických procesech a jejich správné volbě a řízení - a také o potřebě jejich každodenní optimalizace. Vysvětlím dále, proč to tvrdím. A také vysvětlím, co z toho pro dnešní úpravny vyplývá. Kapitán nemůže řídit velkou námořní loď ze strojovny s olejníčkou v ruce, ale musí stát na můstku a sledovat, co se děje kolem lodi a reagovat na to. A stejně tak je na tom **vodárenský technolog, který musí s maximálním porozuměním a znalostmi řídit všechny procesy, které v úpravně probíhají.**

OHLÉDNUTÍ DO VODÁRENSKÉ HISTORIE

Obor, studující procesy úpravy pitné vody je relativně mladý. Je mu něco málo přes 150 let. Naproti tomu odvětví stavebního inženýrství, které je zaměřeno na transport vody od zdroje ke spotřebiteli, je více než desetkrát starší. Úžasné starověké akvadukty berou jistě nám všem i v současné době dech jejich krásou a technickou dokonalostí.

I když dnes bychom vodu zcela bez úpravy na vodu pitnou již spotřebiteli nemohli téměř nikde dodávat, v oboru zásobování pitnou vodou mají stále dominantní postavení kolegové vzdělaní v tomto „klasickém“ oboru stavebního či tzv. zdravotního inženýrství. To však zapřičiňuje, že procesy úpravy surové vody na vodu pitnou jsou jimi dodnes hojně podceňovány a někdy i přehlíženy. **Pohled na kvalitu vody, tj. na**

vodu na „molekulární úrovni“, čili očima chemiků, biologů a lékařů (hygieniků) se stále ještě v oblasti zásobování pitnou vodou prosazuje velmi obtížně a je často přijímán i dosti neochotně. Z tohoto důvodu má zásadní význam pro pokrok a rozvoj zásobování pitnou vodou právě normativní a dozorová činnost orgánů hygienické služby, která zdůrazňuje a zdůvodňuje právě požadavky na onu kvalitativní, čili molekulární úroveň oboru zásobování pitnou vodou.

Zatímco **klasický a po dlouhá staletí budovaný přístup byl založen jen na tom, že určité množství vody je potřeba dopravit z jednoho místa (zdroje) na druhé místo (spotřebiště)**, starost o kvalitu dodávané vody začala řešit až technologie úpravy pitné vody. Rozmach historicky prvního rozsáhle používaného **procesu úpravy pitné vody je možné zaznamenat až v polovině 19. století**, kdy byla voda upravována tzv. pomalou filtrací, nazývanou také anglickou filtrací (*slow sand filtration*).

Na přelomu 19. a 20. století se postupně ve velmi rychlém sledu deseti až dvaceti let objevují **další technologické procesy**, které slouží k tomu, aby voda z dostupných zdrojů byla nejen zdravotně bezpečná, ale také měla lepší zejména sensorickou kvalitu (neobsahovala zákal, barvu či organismy popřípadě se zlepšila její chuť atp.). Byla zavedena chlorace či chloraminace, ozonizace, srážení koagulanty a separace vznikajících agregátů sedimentací a filtrací. Následujících několik desetiletí po začátku 20. století přináší další procesy. Mozaika možností zlepšování kvality pitné vody se dále rozšiřuje. Procesy desinfekce pitné vody jsou obohaceny např. o použití oxidu chloričitého a UV záření. U separačních procesů přichází napřed období čičičů a posléze flotace, vícevrstvé filtrace. V posledních dvou až třech desetiletích se přidávají i membránové procesy a také zvýšená frekvence použití adsorpce na GAU.

Historické ohlédnutí jsem zařadil také proto, abychom mohli posoudit, jaký je z tohoto hlediska **vztah adsorpce na aktivním uhlí k ostatním technologickým procesům**. Již některé úpravní budované u nás v 50. a 60. letech měly možnost dávkovat do procesu práškové aktivní uhlí. Tato varianta nebyla určena pro standardní provoz, ale byla připravena zejména pro případy zhoršené sensorické kvality upravené vody. Otázka mikropolutantů nebyla tehdy ještě analyticky dobře zvládnutá a celosvětově se jí nevěnovala významná pozornost (Chowdhury a kol., 2013).

Další rozvoj poznání však ukázal, že zatímco „klasické“ procesy úpravy vody, založené na tvorbě separovatelné suspenze, dobře odstraňují ze zdrojů vody jak organismy či partikule anorganických zákalotvorných látek a přirozené organické látky (NOM - *natural organic matter*) nazývané též huminové látky (a případně i další látky o molekulové hmotnosti vyšší než asi 1000), menší molekuly organických látek tyto procesy odstraňují s podstatně nižší účinností, blížíci se někdy nule. V 70. letech vyvolala celosvětově velmi vysoká očekávání ozonizace (byť byla známa od začátku století) a uplatnila se i na mnoha nově postavených úpravárnách u nás. Věřilo se, že to bude téměř všelék na zbývající vodárenské problémy, které do té doby nebyly vyřešeny. Vedle desinfekce bylo cílem jejího nasazování také oxidovat organické látky a tím např. zlepšovat sensorické vlastnosti pitné vody. Zatímco vedlejší produkty chlorace byly zjištěny v 70. letech, teprve zhruba v 80. letech bylo postupně zjišťováno, jaké jsou vedlejší produkty ozonizace. Z tohoto poznání bylo jednoznačně odvozeno, že po ozonizaci by vždy měla následovat sorpce na aktivním uhlí, která by vedlejší produkty ozonizace odstraňovala (Hu a kol., 1999). Z důvodu následného růstu mikroorganismů v distribuční síti po ozonizaci byla dokonce ozonizace odstavena na pěti úpravárnách v Holandsku a třech v Belgii (Prévost a kol., 2005). Bohužel je u nás stále několik

úpraven, které mají v technologické lince ozonizaci (zejména při úpravě povrchové vody) bez stupně následné sorpce na aktivním uhlí. Příkladem je úpravna vody Želivka.

Na druhou stranu je ale možné ukázat, že **jen samotnou sorpci na aktivním uhlí je možné zařadit velmi úspěšně za separační stupně klasické technologické linky** úpravny (čili po např. koagulaci, flotaci a filtraci) a účinek takto rozšířené úpravny na kvalitu pitné vody je vynikající. Nevznikají vedlejší produkty razantní oxidace (např. ozónem) a na sorpční stupeň se po předchozí separaci partikulí a organických látek s vyšší molekulovou hmotností dostávají již jen látky separovatelné sorpcí (resp. odstranitelné pouze sorpcí). Těch je samozřejmě velmi široká škála a z hygienického hlediska jsou významné hlavně tzv. mikropolutanty (např. pesticidy či znečištění surové vody jinými toxickými látkami vnášenými do životního prostředí nebo léčiv). Tyto látky se mohou vyskytovat jak v povrchové, tak v podzemní vodě.

Technologický návrh sorpčního stupně je vhodné v každém případě založit na kvalitní předprojektové přípravě, která vychází z dlouhodobých poloprovozních experimentů na konkrétní lokalitě. Je tomu tak proto, že jednak každá voda, přicházející na sorpční stupeň, má jinou matici anorganických a organických látek a jednak existuje velké množství výrobců granulovaného aktivního uhlí (GAU), kteří dodávají různé druhy uhlí. Ty se liší sorpčními schopnostmi k různým látkám. **Vhodným výběrem granulovaného aktivního uhlí je možné sorpční stupeň „vyladit“ jak na nejvyšší dosažitelnou účinnost, tak na přijatelnou ekonomiku provozu** tohoto stupně. Proč odpovědný a exaktními daty zdůvodněný výběr? Přeci chcete-li malé úsporné auto na nákupy do města, nenecháte si prodejcem vnutit velkého terénního Hummera, byť vám bude tvrdit, že je to to nejlepší, co existuje.

Poloprovozní měření by mělo probíhat alespoň půl roku až rok, aby bylo možné vyhodnotit základní parametry pro návrh tohoto stupně. Jednoznačně se ukázalo, že **v návrhu sorpčního stupně s aktivním uhlím není vůbec možné vycházet z tradičního popisu chemických vlastností aktivního uhlí**, jak jej dávají k dispozici jeho výrobci (jodové číslo, adsorpce methylenové modři, dechlorační půlhodnota atp.), protože nemají výpovědní hodnotu pro separační účinnost aktivního uhlí v konkrétní lokalitě a na konkrétní mikropolutanty v surové vodě na této lokalitě.

Sorpce zařazená na konec technologické linky úpravy pitné vody pozitivně ovlivní kvalitu pitné vody v několika základních směrech. Hlavním přínosem je schopnost tohoto stupně odstranit jinak velmi obtížně separovatelné organické látky (mikropolutanty), které procházejí klasickou technologickou linkou. Separují se také látky, které mají povahu substrátu pro organismy (AOC – *assimilable organic carbon*, BDOC – *biodegradable dissolved organic carbon*), které jsou buď zachyceny přímo organismy přisedlými v loži tzv. biologického filtru s aktivním uhlím, nebo jsou jimi využívány až po sorpci těchto látek na povrchu aktivního uhlí. Snížení koncentrace AOC či BDOC (jejichž vysoké koncentrace vznikají zejména ozonizací, ale v menší míře také chlorací) je významné proto, že tento organický substrát je zachycen na úpravě a nedostane se do distribuční sítě (Dolejš, Dobiáš a Baudišová, 2008), kde by mohl sloužit pro růst biofilmů - a to i za přítomnosti zbytkového desinfekčního činidla. Na filtrech s GAU dochází také k separaci zbytkových partikulí, které případně proniknou přes stupeň filtrace vrstvou zrnitého materiálu. To vše velmi přispívá ke kvalitě upravené pitné vody za běžných provozních podmínek. V neposlední řadě má **stupeň sorpce na aktivním uhlí také funkci preventivní** pro případ, kdyby se do zdroje pro úpravu dostala kontaminace toxickými látkami ať následkem nějaké nehody nebo záměrného nepřátelského činu.

Proto je velmi vhodné, aby naše vodárenství reagovalo na tento trend, a i když to přináší zvýšené investiční a provozní náklady na úpravu, aby byl v dobře odborně odůvodněných případech tento stupeň na našich úpravárnách pitné vody postupně doplňován. K tomu však musíme napřed společně odpovědět na jednu základní otázku. **Otázka zní: Chceme udržet kvalitu dodávané pitné vody na současném vysokém standardu** (a ještě ho zlepšovat podle dostupného poznání), který je jistě jednou z charakteristik rozvinuté společnosti současného světa, nebo z tohoto standardu společenskou dohodou slevíme a vodu dodávanou systémem veřejného zásobování budeme považovat jen za nouzový zdroj pitné vody a primárně doporučíme spotřebitelům orientovat se na vodu balenou?

Zatím společenská diskuse na toto téma neprobíhá myslím nikde na světě a všechny vodárensky rozvinuté státy se snaží dodávat obyvatelům či průmyslu pitnou vodu vysoké kvality. K tomu směřují i investiční akce do rekonstrukcí a inovací jak u nás, tak ve světě. Budu tedy v dalším textu předpokládat, že i u nás se budeme této snahy nadále držet. Ale jak to dělat, abychom na tuto, jistě chvályhodnou snahu, nevykládali zbytečně vysoké prostředky (investiční či provozní) a nezpůsobili zhoršení dostupnosti kvalitní pitné vody z ekonomického hlediska?

Pokud bychom chtěli z nároků na vysokou kvalitu pitné vody ustoupit, můžeme se vrátit o 100 až 150 let zpět, úpravní vody provozovat víceméně jako čerpací stanice a na „komplikační“ se složitými a stále přibývajícími technologickými procesy skoro zapomenout. Pokud však toto chcít nebudeme, **musíme zásadně změnit současný přístup** (možná by se dalo říci paradigma) **a nejenom uznat, ale také se chovat podle toho, že technologické procesy v současném vodárenství získaly jasnou dominanci ve vlivu na kvalitu dodávané pitné vody** a výsledky současného moderního vodárenství jsou primárně závislé na nich.

Kapitán lodi jménem úpravna pitné vody musí znát dobře jak celou loď a funkci jejích částí, tak to, jakými způsoby, cestami a postupy se dostane do požadovaného cíle. A to navíc bezpečně a ekonomicky. Kapitánem takové virtuální vodárenské lodi nemůže být ani snaživý a dobromyslný člověk ze stroje s olejníčkou v ruce, ani přátelský a veselý barman z lodní restaurace. A stejně tak **kapitánem opravdové námořní lodi** nemůže být vodárenský technolog, hydrochemik či hydrobiolog, byť toho ví hodně právě o vodě, na které ta skutečná loď plave.

Jsem čím dále více přesvědčený, že **pro řízení technologických procesů současných moderních úpraven vody musí být vyškoleni a pravidelně přezkušováni vodárenští technologové** a musí mít také odpovídající pravomoci a na druhou stranu i odpovědnost. Je naprosto nedostatečné, že často mají vzdělání jen v jakémsi oboru, který měl „o vodě“ jeden či dva semestry nějakých přednášek, popřípadě ani to ne. Vodárenský technolog je zatím téměř neuznaná, avšak vysoce náročná a důležitá profese, která má v podstatě odpovědnost za zdraví mnoha lidí. Příklady selhání ze světa jsou publikované - a případy od nás jsou (v kuloárech) diskutované. Operátorem jaderné elektrárny se také nestane jen tak někdo.

MOŽNOSTI POUŽITÍ GRANULOVANÉHO AKTIVNÍHO UHLÍ V SOUČASNÝCH A BUDOUCÍCH ÚPRAVNÁCH PITNÉ VODY

Využití sorpce na aktivním uhlí v současné a budoucí vodárenské technologii je možné ve dvou základních technologických variantách. Jednak je to „klasické“ využití ve filtrech naplněných jen aktivním uhlím, které se zařazují na konec separačního procesu.

A pak využití méně obvyklé, u nás téměř neznámé, ve kterém je aktivní uhlí součástí dvouvrstvého filtru.

Mohli bychom ještě uvést třetí variantu, kdy je aktivní uhlí použito jako jediná náhrada filtrační náplně v jednovrstvém filtru namísto zrnité filtrační náplně, tj. místo písku, antracitu nebo Filtralite. Tato třetí varianta byla použita u nás v devadesátých letech například na ÚV Pisárky (Brno). Bohužel o ní není v odborné literatuře téměř žádná dostupná informace, účel instalace tohoto „dvojčinného“ filtračně-sorpčního stupně však byl dle provozovatele (BVK) tehdy dosažen. Svým způsobem exotickou variantou je použití aktivního uhlí ve filtrech pomalé filtrace. I k tomu bude uvedena také krátká informace v dalším textu.

Granulované aktivní uhlí ve dvouvrstvých filtrech

Použití dvouvrstvých filtrů vedle jejich „klasického“ složení filtrační náplně, tj. antracit-písek, je možné v **kombinaci GAU-písek** nalézt ve všech základních zahraničních knihách věnovaných vodárenské technologii. Jako příklad uvádím respektované vodárenské knižní publikace Critenden a kol. (2005) a Edzwald a kol. (2011).

Tento způsob filtrace suspenze spojené zároveň se sorpcí je volen například tehdy, pokud je třeba **s minimálními investičními náklady (popřípadě i velmi rychle)** zahrnout do technologické linky také sorpci. Jsou situace, kdy není buď investičně možné realizovat samostatný sorpční stupeň, nebo takový stupeň není z hlediska kvality vody potřebný a byl by investičně nezdůvodnitelný. Je možné, že kvalita surové vody v určité lokalitě přesahuje v některých ukazatelích separační účinnost existující technologické linky bez sorpčního stupně jen krátkodobě a nevýznamně. V takovém případě je i nižší separační účinnost sorpce dvouvrstvého filtru s aktivním uhlím (ve srovnání se sorpcí v následně po filtraci řazených filtrech jen s aktivním uhlím) postačující a celý proces může být tak ekonomicky i provozně výrazně levnější.

Při úpravách filtrace často granulované aktivní uhlí buď nahrazuje vrstvu antracitu pro zlepšení separační účinnosti filtru díky aktivnímu povrchu GAU, nebo je takto rekonstruován obyčejný pískový filtr. Pokud je granulované aktivní uhlí biologicky aktivní, tak může docházet k separaci biodegradabilního materiálu resp. je využito obou vlastností (sorpce a biologického rozkladu adsorbovaných látek). Granulované aktivní uhlí umožňuje odstraňování určitého množství částic, ale hlavně umožňuje adsorpci organických sloučenin, včetně mnoha látek ovlivňujících pach a chuť. Tyto filtry také v případě, že je umožněn růst mikroorganismů na povrchu granulovaného aktivního uhlí, separují biologicky rozložitelné organické látky.

Kombinace granulovaného aktivního uhlí a jiného materiálu, nejčastěji písku, v jednom dvouvrstvém filtru je označována v zahraniční literatuře také jako **adsorpční filtr - filter-adsorber** (Edzwald, 2011; Graese a kol., 1987; Emelko a kol., 2006). Pokud bychom vyšli z konvenční filtrační rychlosti $4 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$, je možné dosáhnout bez problémů na dvouvrstvém filtru s vrstvou aktivního uhlí hodnot EBCT (Empty Bed Contact Time) okolo 10 minut.

Testy adsorpčních filtrů s horní vrstvou tvořenou granulovaným aktivním uhlím byly v zahraničí při plném provozu provedeny např. na úpravně vody Sweeney, která upravuje vodu pro město Wilmington (USA) (Najm a kol., 2005). Surová voda v této lokalitě má vysokou koncentraci TOC a je charakteristická nízkou KNK a nízkými hodnotami pH. Během těchto provozních testů dosahoval zákal surové vody hodnot od 3,5 NTU do 73 NTU. Biologická filtrace aktivním uhlím je na úpravně vody Sweeney

provozována také pro dosahování dostatečné účinnosti při odstraňování zákalu i pro odstraňování organismů. Dvouvrstvé filtry jsou naplněny GAU a křemičitým pískem. GAU bylo vybráno místo antracitu pro svou schopnost sorbovat sloučeniny ovlivňující pach a chuť vody. Granulované aktivní uhlí je na úpravě vody používáno od roku 1977. Provozovatel následně ve studii hledal informaci, zda existuje jiný druh GAU, který bude mít lepší separační účinnost pro zvyšující se požadavky na kvalitu upravené vody.

Zřejmě **první instalace tohoto typu dvouvrstvého filtru v ČR** je na ÚV Příbram-Hatě. Tam byla tato kombinace filtrační náplně realizována v rámci rekonstrukce jednoho z filtrů, které na úpravě jsou. Je provozován od začátku roku 2010. Použitým typem aktivního uhlí je Norit PK 1-3. Vzhledem k vysokému počtu sledovaných látek na lokalitě ÚV Hatě, kdy jsme pro sledování využili pasivních vzorkovačů, uvádím pro ilustraci jen výběr několika parametrů. Látky jako Sulfapyridin, Sulfamethoxazol, Diclofenac, Atrazin, Chlorotoluron, Terbutylazin, Bentazon a Tebuconazol, procházely prakticky stoprocentně paralelně provozovaným pískovým filtrem, který nebyl rekonstruován. Jejich koncentrace za dvouvrstvým filtrem s GAU byla snížena s účinností v rozmezí od 80 do 97 procent. Vzorkování bylo provedeno až po téměř ročním provozu filtru (Dolejš a kol., 2011). Sledování metodikou pasivních vzorkovačů splnilo cíl, kterým bylo získání prvního souboru prokazatelných dat o kvalitě surové vody v delším časovém období a také ověření významu rekonstrukce původních pískových filtrů na filtry dvouvrstvé, jejichž horní vrstva obsahuje granulované aktivní uhlí. Realizace této rekonstrukce byla z hlediska **významného snížení koncentrací mikropolutantů v pitné vodě velmi úspěšná** a je možno ji hodnotit stejně tak i z ekonomického a provozního hlediska.

Zajímavou doplňující skutečností k existenci filtrů s náplní aktivní uhlí-písek uvádějí Graese a kol. (1987). V některých státech USA není povoleno, aby filtry s aktivním uhlím neměly na dně alespoň minimální vrstvu písku. Vrstva písku pod aktivním uhlím bude výhodná i proto, že biologické osídlení aktivního uhlí, které je víceméně žádoucí, se při jeho uvolnění z povrchu aktivního uhlí s velkou pravděpodobností zachytí právě ve vrstvě jemnějšího spodního média. Podobně je tomu i s případnými drobnými úlomky aktivního uhlí, které se mohou uvolnit po jeho praní.

Pokud je filtr určen i pro odstraňování vložkovité suspenze tak budou jeho filtrační cykly vždy výrazně kratší, než v případě filtru s GAU, který je zařazen až na konci technologické linky jen za účelem prosté sorpce rozpuštěných látek, tedy pro vodu, ve které se prakticky nevyskytují suspendované látky, které by se na filtru zadržovaly.

Granulované aktivní uhlí zařazené po filtraci vrstvou zrnitého materiálu

Použití GAU v samostatných filtrech je asi nejčastější variantou využití granulovaného aktivního uhlí. Tento proces je využíván v případech, kdy je zdroj surové vody natolik celoročně znečištěný, že není možné navrhnout snazší a levnější řešení. O to je však důležitější, aby byl tento **stupeň správně technologicky navržen, protože jeho vliv na investiční a provozní náklady je velmi významný**. Pro návrh provozních kolon (filtrů) s GAU je zatím asi nejméně exaktních podkladů ve srovnání s většinou procesů, které při úpravě vody využíváme již delší dobu oproti sorpci na GAU. Teorie je samozřejmě velmi dobře propracovaná, avšak v reálném světě různých typů vod a jejich vlastností po průchodu různými separačními předstupni, je bohužel stále ještě daleko k návrhu tohoto stupně „od stolu“ (Dolejš a Dobiáš, 2006).

V dobře fungující vodárenské společnosti, která se například bude rozhodovat o rozšíření technologické linky o stupeň adsorpce na GAU, by mělo být samozřejmostí relativně **dlouhodobé experimentální období pro předprojektovou přípravu**. Ta musí zjistit jednak vhodný typ GAU, k čemuž slouží různé metodiky, z nichž jednu popisujeme i v tomto sborníku (Dobiáš a Dolejš, 2016). Dalším, neméně náročným úkolem, je stanovení návrhových a provozních podmínek filtrace GAU – filtrační rychlosti, EBCT, kapacita GAU k různým polutantům, rychlost spotřeby GAU [g GAU/m³ upravené vody] atp. Také je potřeba zvážit, zda budou sorpční kolony (filtry) řazeny např. v sérii, aby se zlepšila účinnost a ekonomika sorpce. Je dobře známo, že častější praní filtrů s náplní GAU zhoršuje jejich účinnost, protože dochází k většímu promíchání filtrační náplně. Proto je potřeba volit dobře poměr mezi hloubkou náplně a filtrační rychlostí. Se zvyšující se filtrační rychlostí (při konstantní hodnotě EBCT) se zhoršují hydraulické vlastnosti náplně, tj. rychleji stoupá tlaková ztráta na náplni a je zapotřebí častější praní filtrů (Hendricks, 2006), nicméně výhodou je na druhou stranu menší obestavěná plocha.

Je třeba také zmínit, že pro návrh provozních reaktorů s GAU je hodnota EBCT poněkud mylně interpretována. Její koncept platí pro vsádkové reaktory, neboť nezohledňuje různé průnikové křivky jednotlivých polutantů (Hendricks, 2006) a to je u náplní GAU filtrů s větší výškou náplně podstatně důležitější než pro dvouvrstvé filtry s vrstvou aktivního uhlí.

Použití GAU v pomalé filtraci

S použitím granulovaného aktivního uhlí je možné se dokonce setkat v tzv. pomalých filtrech, které byly vyvinuty a jsou velmi úspěšně používány Thames Water Utilities, která zásobuje Londýn a okolí. Jsou popsány také v publikacích Barutha a kol. (2002) a Logsdona (2008). Logsdon a kol. (2002) uvádějí další příklady použití GAU v reálných podmínkách úpraven vody. Jedním z nich je úpravna vody s pomalými pískovými filtry doplněnými o vrstvu granulovaného aktivního uhlí o výšce 0,82 m. Po 278 dnech provozu bylo odstranění prekurzorů tvorby THM stále okolo 90 %.

ZÁVĚRY

- 1) V úpravách pitné vody postupně přibývají s dobou a pokrokem v poznání nové technologické procesy. Jejich zvládnutí - jako samotných jednotkových procesů - je stále složitější a náročnější. Z toho plyne i to, že sladění jednotlivých na sebe navazujících procesů je náročnější na zkušenosti i kvalifikaci obsluhy.
- 2) Aby bylo možné racionálně realizovat technologické linky úpraven, ať nových či rekonstrukce stávajících, je nezbytné dobře zvládnout nejenom návrh použitých procesů, ale také jejich následný provoz a optimalizaci jejich funkce v technologické lince celé úpravný.
- 3) Takový úkol může vyřešit jen kvalitně technologicky vzdělaný a zkušený procesní technolog. Tento odborník je jediný, kdo může odpovědně stanovit na základě exaktních podkladů (z laboratorních a poloprovozních měření a znalosti příslušné teorie) návrhové parametry pro projektanta, které budou splňovat zadání investora.
- 4) Úroveň technologického řízení na našich úpravách je velmi rozdílná. Vedle opravdu dobrých odborníků jsou na těchto postech také velmi málo kompetentní lidé, kteří se v takové funkci víceméně trápí. Ti první pracují jako skuteční profesionálové a víceméně vlastním studiem neustále zdokonalují své znalosti a věnují se (často spíše ve „volném čase“, mají-li k tomu odpovídající zázemí) i laboratorní a provozní experimentální činnosti. To jim dává neocenitelné (a většinou i nedocenené)

zkušenosti a poznatky, protože si je vedle studia literatury tvoří opravdu osaháním procesů „vlastníma rukama“. Ti zbývající jsou často zdrojem zmatečných zásahů a málo kompetentních rozhodnutí, která se k řešení nastalých problémů někdy neblíží ani v pověstných kruzích kolem toho, co je potřeba rozhodnout a vyřešit. Tato neschopnost pak vede někdy i k následným nesmyslným investičním akcím a provozovateli či investorovi se tak opravdu „vyplatí“.

- 5) Sorpce na granulovaném aktivním uhlí je procesem, který bude v mnoha našich úpravárnách v nejbližší budoucnosti postupně doplňován. Důvodem může být jak snaha o dosažení lepší kvality upravené vody, tak preventivní opatrnost předcházející překvapením buď ze změn kvality surové vody, nebo případného nepřátelského činu ve zdroji surové vody.
- 6) První možností využití GAU pro zlepšení kvality upravené vody je rekonstrukce obyčejné filtrace na dvouvrstvou filtraci s vrstvou GAU.
- 7) Druhou možností, která přichází v úvahu např. v případech velmi znečištěného zdroje surové vody, je rozšíření stávající technologické linky o další stupeň – sorpci na GAU.
- 8) Kvalitní návrh obou uvedených hlavních možností využití GAU v našem vodárenství je náročný na experimentální postupy a kvalifikaci procesních odborníků, kteří budou návrhové parametry na základě poloprovozních měření stanovovat a předávat projektantovi. Rozhodně by neměly být ve vodárensky rozvinutých zemích stanovovány návrhové parametry „náštělem“ - byť sebekvalifikovanějším. Nerespektování těchto zásad je, stejně tak jako u jiných vodárenských procesů, hazardováním s investičními a provozními prostředky.

LITERATURA

- Baruth E.E. (1990): *Water Treatment Plant Design*, Fourth Edition. McGraw-Hill, New York.
- Chowdhury Z.K. a kol. (2013): *Activated carbon: Solution for improving water quality*. AWWA, Denver, USA.
- Critenden J.C. a kol. (2005): *Water Treatment Principles and Design*. John Wiley & Sons, New York, s. 875.
- Dobiáš P., Dolejš P. (2016) Využití rychlotestů na malých kolonkách (RSSCT) pro výběr vhodného GAU pro konkrétní lokalitu a kvalitu surové vody. Sborník konference *Pitná voda 2016*, s. 105-110, W&ET Team, České Budějovice.
- Dolejš P., Dobiáš P. (2006): Vliv filtrace aktivním uhlím na tvorbu THM. Sborník konference „*Pitná voda 2006*“, s. 189-194. W&ET Team, Č. Budějovice.
- Dolejš P., Dobiáš P., Baudišová D. (2008): Změny koncentrace asimilovatelného organického uhlíku (AOC) podél technologické linky s ozonizací a filtrací aktivním uhlím. Sborník konference *Pitná voda 2008*, s. 107-112. W&ET Team, Č. Budějovice.
- Dolejš P., Kalousková N., Kočí V. (2011): Vyhodnocení funkce rekonstruovaného dvouvrstvého filtru s aktivním uhlím na ÚV Hatě pomocí pasivních odběrových zařízení POCIS a SPMD. Zpráva pro Svazek obcí pro VaK, Příbram.
- Edzwald J.K. (2011): *Water Quality & Treatment*, Sixth Edition. McGraw Hill and AWWA, New York.
- Emelko M.B., Huck P.M., Coffey B.M. (2006): Effects of Media , Backwash, And Temperature on Full Scale Biological Filtration. *J. AWWA* 98 (12), 61-73.
- Graese S.L., Snoeyink V.L. a Lee R.G. (1987): *GAC Filter-Adsorbers*. AWWARF, Denver CO.
- Hendricks D. (2006): *Water Treatment Unit Processes*. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Hu J. Y. a kol. (1999): The effect of water treatment processes on the biological stability of potable water. *Wat. Res.* 33, 2587-2592.
- Logsdon G.S., Kohne R., Abel S., LaBonde S. (2002): Slow sand filtration for small water systems. *J. Environ. Eng. Sci.* 1, pp. 339–348.
- Logsdon G.S. (2008): *Water Filtration Practices*. AWWA, Denver, CO.
- Najm I., Kennedy M., Naylor B.(2005): Lignite versus bitumenous GAC for biofiltration – a case study. Vol. 97, No. 1, pp. 94-101, *J. AWWA* 2005.
- Prévost M. a kol. (2005): *Biodegradable Organic Matter in Drinking Water Treatment and Distribution*. AWWA, Denver, USA.
- Symons J.M., Bradley L.C. jr., Cleveland T.C. (2000): *The Drinking water dictionary*. AWWA.