Citace – Bartoš L., Švestka P.: Technologicko-energetický audit úpravny vody.
Sborník konference *Pitná voda 2016*, s. 295-300. W&ET Team, Č. Budějovice 2016. ISBN 978-80-905238-2-1

TECHNOLOGICKO-ENERGETICKÝ AUDIT ÚPRAVNY VODY

Ing. Ladislav Bartoš, PhD., Petr Švestka

VEOLIA ČESKÁ REPUBLIKA, a.s., Florentinum, Na Florenci 2116/15, Recepce D, 110 00 Praha 1

ÚVOD

Provozování vodárenské infrastruktury již není jen úpravou a dodávkou pitné vody na straně jedné a odkanalizováním a čištěním odpadní vody na straně druhé. Provozovatel a vlastník ideálně ve vzájemném souladu jsou stále více konfrontováni s ekonomickými aspekty provozu. Zejména provozovatelé vodárenské infrastruktury jsou zvláště v posledních letech „tlačení do kouta" vlastníky infrastruktury. Na jedné straně je vlastníky od provozovatelů požadováno vyšší nájemné z provozovaného majetku a na straně druhé není připouštěn nárůst ceny vodného a stočného. Pokud k nějakému zvýšení ceny dojde, jedná se buď o inflační a tedy reálně nulový nárůst nebo o promítnutí právě zvýšeného nájemného do konečné ceny. Provozovatel má několik možností, jak zachovat své působení v dané lokalitě ekonomicky zajímavým. Jednoduché možnosti už byly dávno vyčerpány. Sem se řadí především nepopulární personální opatření, tedy propouštění zaměstnanců, prodej nepotřebného majetku, osazování služebních vozidel monitorovacím zařízením apod. Za předpokladu správného nastavení technologie není příliš šancí na hledání úspor v nákladech na provozní chemikálie, ačkoli je někdy na tuto položku rozpočtu koncentrována pozornost podnikových ekonomů. V podstatě jedinou nebo jednou z mála možných cest vedoucích ke zlepšení ekonomiky provozu je energetický management vodárenské infrastruktury. Doprava vody ze zdroje do úpravny, její úprava, distribuce, následné odvedení a vyčištění odpadních vod, to vše je ve většině případů spojeno se spotřebou elektrické energie. V čistírenské praxi jsou energetická náročnost provozu čistíren odpadních vod a jejich energetická soběstačnost populárními tématy odborných konferencí již řadu let. Ve vodárenské praxi zatím není z mnoha důvodů této oblasti věnována dostatečná pozornost. I ve skupině Veolia byly principy energetického managementu aplikovány nejprve v provozech ČOV (Kubratovo – Sofia, Glina – Bukurešť, a další).

OD ZÁKLADU

Není to tak dávno, kdy se strojní vybavení používané ve vodárenství měnilo tzv. kus za kus. Jednoduše řečeno, pokud „odešlo" čerpadlo, koupilo se nové, sice modernější, ale se stejnými parametry. Důležité byly také rozměry, aby se nemuselo zásadně měnit místo pro uložení daného soustrojí a instalace pokud možno nic nestála. Upřímně, ruku na srdce, i v současnosti se jedná o běžnou praxi, která především nahrává dodavatelům strojního vybavení a rovněž výrobcům a dodavatelům elektrické energie. Při tom stačí relativně málo a vše může být zásadně jinak. Ve skupině Veolia jsme se rozhodli jít jinou cestou. Snahou je podrobit energetickému auditu každé místo, kde bude v relativně krátkém časovém horizontu provedena výměna čerpací techniky, případně dalšího zařízení.

Prvními vlaštovkami v části úpravy a dodávky pitné vody, kde byly tyto principy aplikovány, byly vrty sloužící jako zdroje surové vody pro její další úpravu resp. vrty,

© W&ET Team, doc. Ing. Petr Dolejš, CSc., České Budějovice 2016

které dodávají vodu přímo do sítě resp. do distribučních vodojemů. Výhodou těchto objektů je relativní jednoduchost strojního vybavení. Dalším pozitivem je zpravidla jednoduchý algoritmus řízení provozu. Obvykle bývají i poměrně kvalitní a spolehlivé informace o potrubí, do něhož je výtlak z čerpadel zaústěn. Jsou k dispozici informace o profilech potrubí, o materiálu resp. materiálech, o přesné nadmořské výšce v místě čerpání po místo výtoku. Důležité jsou rovněž informace o počtech, typech a umístění jednotlivých armatur. Snad nejdůležitější informací vůbec je vývoj potřeby vody v dané lokalitě, především pak její denní nerovnoměrnost.

Po vyhodnocení výše uvedených údajů je ve druhém kroku proveden audit přímo na místě. Nejprve je provedena vizuální kontrola čerpací techniky (pokud je přístupná) a provedena verifikace štítkových údajů. Není úplně neobvyklé, že se údaje a tedy i strojní vybavení reálně liší od podkladů uložených v databázi.

Následně je provedeno samotné měření všech dostupných veličin. K tomu slouží spektrum přístrojů k měření elektrických veličin (příkon, napětí, fázový posun, frekvence). Měření je provedeno za standardního chodu čerpadel, která jsou provozována na dané lokalitě. Měření a následné vyhodnocení má za cíl vyhledání možností snížení spotřeby elektrické energie, návrhu energetické optimalizace a návrh jednotlivých variant energeticky úspornějšího a technicky dokonalejšího způsobu čerpání.

Postup je založen na srovnání spotřeby elektrické energie stávajícími čerpadly a čerpadly navrženými jako úspornější alternativa. Je rovněž zjištěna doba provozu čerpadel a posouzeno, zda je stávající hodnota vyhovující pro potřeby provozu resp. pro potřeby zásobované oblasti. To znamená, zda stávající čerpadla jsou či nejsou výkonově předimenzována nebo naopak poddimenzována.

Návrh úspornějšího řešení respektuje stejnou dobu provozu jako původní instalace nebo je doba provozu upravena na vhodnější hodnotu, což rovněž ovlivní i ostatní provozní parametry.

Dále se měří tlakové poměry v potrubí, tedy tlak na výstupu a tlak resp. podtlak na sání čerpadla. Ideálním doplňkem jsou informace z instalovaného průtokoměru. Pokud tyto informace chybí, je možné použít tzv. příložný průtokoměr. Vzhledem k tomu, že strojní vybavení produkuje při svém provozu teplo, jsou další informace o stavu zařízení získány ze snímků pořízených termokamerou. Ze snímků je patrná vyšší teplota ložisek, vinutí elektromotoru čerpadla, nedokonalého dotažení přívodů elektrického proudu, apod. Vzhledem k tomu, že na životnost soustrojí mají výrazný vliv vibrace, používá se k jejich detekci speciální přístroj, který nejenže vibrace zaznamená, ale zároveň vyhodnotí, ve které části ke vznikům nejsilnějších vibrací dochází a které ložisko je na konci své životnosti.

LOKALITA „A" – POPIS

Prameniště a jímací území stanice jsou rozhodujícím zdrojem pro dodávku vody skupinového vodovodu. V závislosti na aktuální exploataci ostatních menších zdrojů skupinového vodovodu a aktuálním napojení spotřebišť se počet zásobených obyvatel pohybuje kolem 200 tisíc. Celý vodovodní systém byl postupně vybudován před cca 40 lety.
Prameniště resp. jímací území tvoří 43 vrtů v jedné skupině a 9 vrtů ve druhé. Z hlediska geologických poměrů je podloží tvořeno křídovými sedimenty. Na většině území tvoří výplň limnické permokarbonské pánve v rozsahu radnických vrstev až

© W&ET Team, doc. Ing. Petr Dolejš, CSc., České Budějovice 2016

líňského souvrství. Ve výplni pánve převažují klastika proměnlivé zrnitosti (konglomeráty, pískovce, aleuropelity) nad polohami vulkanitů a místně vyvinutými slojemi. Při severním okraji tvoří podloží křídových sedimentů ruly a granity středočeské oblasti proterozoického až paleozoického stáří.

LOKALITA „A" – ENERGETICKÝ AUDIT

Návrh optimalizace započal hydraulickým výpočtem jímacích řadů, který byl proveden pomocí matematického modelu vytvořeném v programu EPANET 2. Model nebyl kalibrován z důvodu požadované přesnosti výstupních údajů. Na modelu byly řešeny hydraulické ztráty ve výtlačných a gravitačních částech řadů a to ve dvou variantách drsnosti potrubí tj. ve stávajícím stavu a při návrhu nového potrubí. Řešeny byly pouze hydraulické ztráty třením, neboť nebylo k dispozici kladečské schéma. Místní ztráty byly při výpočtu zanedbány.

Pro určení dopravních výšek jednotlivých čerpadel byla nejprve vynesena tlaková úroveň v místě napojení jednotlivých vrtů (pro maximální hladinu v akumulační nádrži) a následně byly tyto tlaky porovnávány s úrovní hladiny v jednotlivých vrtech. V některých případech byla tlaková úroveň na hlavním řadu níže než hladina vody ve vrtech. Teoreticky by tak mohla být voda z těchto vrtů odebírána gravitačně, ale v praxi je hladina v těchto vrtech níže pod terénem než je dosažitelná sací výška. Ve všech případech je tak za dopravní výšku čerpadel uvažována větší z hodnot (tlaková úroveň na hlavním řadu – HPV nebo HPV pod terénem).

Při následné analýze byl výběr úspornějších čerpadel zaměřen zejména na dosažení maximální účinnosti provozu čerpadla v původním změřeném provozním režimu nebo v režimu upraveném podle změny doby provozu. V případě potřeby bylo do výběru použito čerpadlo s elektrickou otáčkovou regulací (integrovaný nebo externí frekvenční měnič) a inteligentním řídícím SW.

Kromě předpokládané úspory ve spotřebě elektrické energie lze do srovnání zahrnout i další proměnné, jako jsou náklady na údržbu nebo náklady na instalaci energeticky úspornější náhrady. Srovnání může obsahovat i očekávaný růst ceny elektrické energie. Pro srovnání provozních nákladů je použit časový interval 10 let, který je chápán jako minimální životnost navrženého čerpadla.

Z naměřených dat vyplynulo, že:

- měřená čerpadla mají velmi nízkou účinnost, což je dáno celkovým opotřebením a nevhodným dimenzováním
- nově navržená čerpadla budou pracovat ve změřeném režimu s účinností vyšší, budou vybavena integrovaným frekvenčním měničem, který bude nastaven na konstantní tlakovou diferenci
- použitá regulace přinese další úsporu příkonu a zvýší životnost čerpadla a navíc budou mít navržená čerpadla výkonovou rezervou
- použití čerpadel bez měničů je investičně méně náročné, ale přinese i menší úspory

V sortimentu čerpadel dostupných na českém trhu byla nalezena vhodná čerpadla pro optimalizaci na všech vrtech. V souhrnu to znamenalo nalezení roční úspory spotřeby elektrické energie ve výši 688.541,97 kWh a snížení instalovaného příkonu z reálně naměřených 275,34 kW na nově instalovaných 160 kW.

© W&ET Team, doc. Ing. Petr Dolejš, CSc., České Budějovice 2016

Při provedení optimalizace resp. instalace všech čerpadel jednotlivých vrtů bude dosaženo finanční roční úspory ve výši 1.631.844,46,- Kč. Návratnost investice optimalizace čerpadel ve výši 1.456.000,- Kč je vypočtena z cen navržených pouze pro tento projekt a činí pouhých 0,97 roku. Návratnost investice do obnovy čerpadel se dále urychlí i snížením instalovaného příkonu z 1.065 kW/měsíc na 975 kW/měsíc.

Z posouzení variant vyplývá, že vlivem snížení hydraulické drsnosti potrubí, lze dosáhnout teoretické úspory 2,75 kW respektive 3,85 kW nutného výkonu čerpadel, což při uvažování ceny elektrické energie 2,37 Kč/kWh, jednotné účinnosti čerpadel 60 % a jejich nepřetržitém chodu činí další úsporu cca 157 tis. Kč za rok a tím pádem i další zrychlení návratnosti investice.

Při požadavku na snížení celkového jímaného množství doporučujeme použití frekvenčních měničů ke snížení otáček (snížení výkonu čerpadel). Tímto se minimalizuje negativní dopad změn rychlosti a směru proudění podzemní vody v jímacím území ve srovnání se stávajícím stavem spínání a vypínání jednotlivých vrtů. Samozřejmostí je přednostní zachování přirozeného toku podzemních nad ekonomikou provozu.

LOKALITA „B" – ÚV BYSTRICA – SOFIA

Úpravna vody v hlavním městě Bulharska je napájena surovou vodou z nádrže Iskăr na stejnojmenné řece, která se nachází v předhůří masivu Rila jižně od Sofie. Kvalita surové vody je dlouhodobě velmi dobrá a stabilní. Ke stabilitě nejen kvalitativní přispívá velikost nádrže (až 600 milionů m^3 vody). Osídlení kolem nádrže je minimální, ale je s podivem, že se jedná o lokalitu využívanou k rekreaci obyvateli hlavního města.

Surová voda přitéká do úpravny vody tlakovým potrubím, kdy rozdíl nadmořské výšky činí cca 60 m. Je doslova trestuhodné, že energetický potenciál vody není využit a surová voda přitéká do otevřených nádrží, kde dochází k maření energie.

Původní projekt úpravny počítal s maximálním výkonem až 6580 l/s s tím, že v případě krizových situací je možné, aby úpravnou protékalo až 8800 l/s. Současný výkon stále klesá zejména díky výraznému poklesu ztrát pitné vody v síti. V roce 2014 byl průměrný výkon úpravny cca 1700 l/s, což je cca 25 % projektovaného výkonu.

Vzhledem k dobré kvalitě surové vody, kde je občasným problémem vyšší oživení, je dávkování provozních chemikálií pouze dočasné. Koagulace se provádí buď síranem hlinitým nebo v poslední době polyaluminiumchloridem, který má širší optimum pH koagulace. Koagulant se dávkuje do směšovací komory, která se nachází mezi bazény pro tlumení energie vody a halou filtrace. K zamíchání vody dochází pouze hydraulicky. Míchadla ve směšovací nádrži jsou dlouhodobě mimo provoz. Kromě chloru není používána jiná provozní chemikálie. Vápenné hospodářství nebylo nikdy spuštěno.

Nešťastně je řešen přítok vody na filtraci, rozdělenou na dvě poloviny, jejichž provoz je možné v případě potřeby zcela oddělit. Přítok vody na filtry je řešen kanálem, ze kterého bočními okny přitéká na jednotlivé filtry. Hladina vody ve všech filtrech je ve stejné nadmořské výšce a regulaci filtrační rychlosti by bylo možné nazvat declining-rate. Odtoková potrubí filtrátu nejsou vybavena průtokoměry. Algoritmus praní je řízen časově s pevně stanovenými periodami provozu a praní.
Praní filtrační náplně je realizováno čerpadly, která odebírají filtrovanou vodu ze sběrného kanálu. Pere se podle klasického schématu, tedy ve třech fázích: vzduch –

© W&ET Team, doc. Ing. Petr Dolejš, CSc., České Budějovice 2016

vzduch + malá voda (v provozu jedno čerpadlo) – velká voda (v provozu dvě čerpadla).

Hygienické zabezpečení se provádí plynným chlorem.

LOKALITA „B" – TECHNOLOGICKÝ AUDIT

Prvotním zdrojem informací byly soubory benchmarkingu úpraven vod s kapacitou nad 100 l/s, které jsou ve skupině Veolia v zóně Stř. a Výc. Evropa zpracovávány od roku 2009. Ze získaných dat vyplývají následující skutečnosti:

Kvůli poklesu ztát na síti výrazně klesá objem vyrobené vody. V roce 2009 činila roční výroba 101 mil. m^3 a v roce 2014 už jen 51 mil. m^3. Objem technologické vody sice dosahuje stovek tisíců m^3, ale jedná se jen o cca 0,6 – 2% z vody surové. Nízká je separační účinnost v ukazateli $CHSK_{Mn}$ – cca 10 %. Je to dáno tím, že surová voda má $CHSK_{Mn}$ jen cca 2,5 mg/l a zároveň se po většinu roku nepoužívá žádný koagulant.

Technologický audit se v podstatě rozdělil na dvě části. Tou první byl popis současného stavu technologie včetně jednoduchého návrhu na relativně rychlá a investičně nenáročná opatření.

Prvním opatřením byla úprava hydrauliky přítokového kanálu na filtraci. V původním uspořádání zde docházelo k sedimentaci kalu, který výrazně podporoval mikrobiální kontaminaci vody. Před čištěním ležela na dně vrstva černého silně zapáchajícího slizovitého materiálu o mocnosti cca 20 cm. V současnosti je možné kanál snadněji čistit a vlivem vyšší rychlosti proudění je sedimentace nečistot výrazně omezena.

Druhým opatřením byla optimalizace místa dávkování chloru do filtrátu. V původním uspořádání padal filtrát do šachty hloubky cca 10 m a souběžně byla do šachty vedle proudu vody zavedena chlorová voda. Místo toho, aby došlo k promísení chloru a filtrátu, docházelo zde v podstatě k jeho stripování. Důkazem byla nízká koncentrace chloru v upravené vodě a silná koroze kovových materiálů v okolí.

Auditu resp. kontrole byly podrobeny i filtrační a prací cykly. Byl vybrán náhodně jeden filtr, na němž bylo provedeno měření pracího a následně filtračního cyklu. V pravidelných intervalech byly odebírány vzorky odpadních vod (po 1 minutě) resp. filtrátu (po 2 hodinách). Ve vzorcích byly analyzovány základní kvalitativní parametry (zákal, barva, TOC, Al, pH). Druhá a třetí fáze praní trvají v součtu 10 minut, během nichž byly odebírány vzorky. Délka filtračního cyklu je běžně nastavena na 24 hodin. Pro potřeby měření byl cyklus prodloužen na 72 hodin. Po vynesení naměřených dat do grafů je zřejmé, že ani na konci cyklu nedošlo k překročení limitních hodnot. Otázkou je, jaký byl na konci filtračního cyklu průtok filtrem. Kvůli absenci průtokoměru tedy nebylo možné určit tzv. filtrační délku resp. objem vody filtrovaný jednotkovou plochou filtru. Z výsledků měření pracího cyklu vyplývá, že je filtr na konci praní prakticky vypraný. Je možné uvažovat o prodloužení závěrečné fáze o 1 až 2 minuty, neboť při vizuální kontrole průběhu praní, byly ve vodě nad pískem patrné kalové mraky.

Z energetického hlediska je možné uvažovat o zkrácení doby první fáze praní, kdy v souběhu pracují dvě dmychadla. Variantou je také omezit souběh na nezbytné minimum. Tedy souběh v první minutě z důvodu prvotního nakypření filtračního lože a následně provoz pouze jednoho dmychadla do ukončení první fáze praní resp. do ukončení druhé fáze při souběhu aerace a tzv. malé vody.

© W&ET Team, doc. Ing. Petr Dolejš, CSc., České Budějovice 2016

LOKALITA „B" – ENERGETICKÝ AUDIT

Vzhledem k výše uvedenému se jevila zvláštně spotřeba elektrické energie. V zimním období je úpravna vytápěná zemním plynem resp. pro případ přerušení dodávky kotelnou na LTO. Prakticky většina elektřiny je tedy spotřebovávána na provoz technologie. Za sledované období byla spotřeba prakticky stabilní a kolísala meziročně jen ve velmi úzkém rozmezí. Zatímco v roce 2009 činila 785 MWh, tak v roce 2014 to bylo téměř totožných 779 MWh. Netvrdíme, že by měla spotřeba elektřiny absolutně kopírovat produkci vody. Provoz některých spotřebičů není výrobou ovlivněný. Ale určitý soulad by zde být měl. Při poklesu výroby o polovinu, by spotřeba elektřiny mohla klesnout alespoň o 30%. Proč tomu tak není, jsme se pokusili zjistit právě během auditu.

Prvotní informace byly získány z benchmarkingu úpraven vod s kapacitou nad 100 l/s. Ačkoli od roku 2009 soustavně klesá výroba, spotřeba technologické vody kolísá v podstatě bez vazby na výrobu resp. kvalitu. Zjevně není standardně stanovená procedura průběžné optimalizace. Data získaná prostřednictvím benchmarkingu byla ověřena na místě, čímž došlo k jejich potvrzení.

Před samotným energetickým auditem byly provozovateli zaslány dotazníky pro vyplnění souboru dat s vazbou na konkrétní soustrojí (typ motoru, typ čerpadla, uložení, štítkové hodnoty, materiál potrubí, počet a typ armatur na sání a výtlaku, atd.). Následně byly na místě měřeny reálné parametry jednotlivých soustrojí. Analyzátorem sítě byly měřeny všechny elektrické parametry, detektorem vibrací stav uložení soustrojí (stav ložisek, ucpávek, souosost), termokamerou byly pořízeny snímky připojení přívodních kabelů, vinutí motorů a jednotlivých ložisek. Tímto způsobem byly proměřeny prakticky všechny stroje technologie včetně kalového hospodářství s výjimkou malých spotřebičů (např. malých dávkovacích čerpadel).

V podstatě již po příchodu do strojovny bylo zřejmé, že výběr úpravny byl správný. Hlučnost pracích čerpadel a dmychadel byla značná. Totéž se týkalo i vibrací soustrojí, které se intenzivně přenášely do podlah i přes dilatace. Pouze smyslovými orgány se dalo odhadnout, že stav strojů není v pořádku a naše měření původní dojem jen potvrdila. Nejčastěji se opakující zjištění byla: fázový posun (ideálně by mělo být mezi fázemi 120 °), různé proudové i napěťové zatížení jednotlivých fází (často vyšší než 10 %), značné vibrace ložisek – některá za hranou životnosti (signalizace zanedbané údržby), vysoké teploty připojení kabelů (z toho plynoucí ztráty na vedení), povolené klínové řemeny pro pohon míchadel, atd.

ZÁVĚR

Energetický resp. technologicko-energetický audit je nezbytnou součástí provozu vodárenské infrastruktury a měl by být v podstatě denní činností týmu údržby s podporou technologa. Přínosem je výrazné zvýšení bezpečnosti provozu a snížení dopadu provozování na životní prostředí (úspora technologické vody a energií). Překážkou pro pravidelný monitoring může být prvotní investice do vybavení, které může přesáhnout 1 mil. Kč. Na druhou stranu, díky zjištěným úsporám se vložená investice vrátí během měsíců maximálně jednotek let. Nezanedbatelný je rovněž požadavek na vzdělání technického personálu, který dokáže nejen provést měření, ale především jej vyhodnotit a doporučit řešení.

© W&ET Team, doc. Ing. Petr Dolejš, CSc., České Budějovice 2016