

REKONSTRUKCE FILTRACE NA ÚV SOJOVICE - ZKUŠENOSTI ROČNÍHO ZKUŠEBNÍHO PROVOZU

Ing. Bohdana Tláskalová, Ing. Martin Verfel, Ing. Ladislav Herčík

Pražské vodovody a kanalizace, a.s., Pařížská 11, 110 00, Praha
bohdana.tlaskalova@pvk.cz, martin.verfel@pvk.cz, ladislav.hercik@pvk.cz

V závěru roku 2012 byla dokončena a následně do provozu uvedena rekonstruovaná dílčí část filtrace ÚV Sojovice. Filtrace, stejně jako celá úpravna vody Sojovice byla vyprojektována v roce 1964-66, do provozu byla uvedena v r. 1968. Filtrace na ÚV Sojovice je součástí „umělé infiltrace“, což je obohacování zásob podzemní vody vsakováním. Zdrojem surové vody (SV) je řeka Jizera. Na ÚV nejsou dávkovány žádné chemikálie na principu srážedel (Fe^{3+} nebo Al^{3+} soli). Předmětem rekonstrukce bylo přítokové potrubí SV na filtry, trubní rozvody pro odtok filtrátu, přívod prací vody a vzduchu, vlastní filtry F1-6, kanály prací vody a filtrátu, strojní zařízení a elektrotechnologická část související s provozem filtrů. Na ÚV Sojovice tvoří filtry základní a jediný separační stupeň, jsou klíčovým stavebním a technologickým prvkem ÚV. Stavební stav filtrů vyžadoval rekonstrukci vzhledem k řadě poruch a následných potíží při provozování. Z pohledu dožívajícího technického stavu byly filtry rekonstruovány na dvouvrstvé filtry s drenážním systémem Leopold. Skladba nové filtrační náplně byla navržena na základě výsledků modelového měření [1] - vrstva 0,8 m písku FP1 (0,5 - 1,0 mm) a 0,8 m vrstva antracitu (0,8-1,6 mm). Hlavním technologickým cílem rekonstrukce filtrace bylo prodloužení filtračních cyklů (DFC) a zlepšení kvality filtrátu se zaměřením na větší účinnost i při zhoršené kvalitě SV (hlavně při zákalových stavech). Ve vazbě na změnu filtračního lože zkrátit dobu odstávek provozu z důvodu nevyhovující kvality SV oproti původnímu stavu. Výsledky bilance Lf, objemu proteklého filtrátu/FC i konc. zachycených NL v pracích vodách ukazují, že rozdíl mezi novými a původními filtry je významný a dvouvrstvý filtr (s obecně jemnější náplní) má zřetelně vyšší separační účinnost a vyšší kalovou kapacitu, která se uplatňuje zejména při separaci nejmenší kategorie měřených částic. Cílem příspěvku je seznámit s dílčími výsledky a poznatky zkušebního provozu (ZP) rekonstruované části filtrace v porovnání s původními filtry. Detailní informace o výsledcích ZP lze najít v [2].

Výkonové parametry umělé infiltrace (dále jen UI), resp. ÚV Sojovice

Vydatnost systému UI je 900 l/s. Max. výkon ÚV Sojovice byl před rekonstrukcí 1950 l/s (min. 230 l/s, v průměru 600 l/s). Filtrace byla původně pouze písková (24 filtrů). Plocha nové filtrační jednotky (F1-6) je cca 53,7 m² (původní filtry 60 m²), celková plocha filtrace se zmenšila na 1400 m². **Max. výkon sekce nových filtrů F1-6 je 570 l/s (min. 180 l/s).** Výkon jednoho filtru (ze sekce filtrů F1-6) je uváděn v rozmezí 30-95 l/s, tj. rychlost filtrace 2,0 - 6,4 m/hod, výkon jednoho filtru (ze sekce filtrů F7-24) je 30-95 l/s, tj. rychlost filtrace 1,8 - 5,57 m/hod.

Kvalita surové vody z řeky Jizery

Kvalita SV v ukazateli barva, zákal, nerozpuštěné látky (NL) a CHSK_{Mn} koresponduje s průtoky v řece Jizeře. Max. hodnot je dosahováno v souvislosti s vyššími srážkovými úhrny, tj. vlivem tání sněhu v jarním období nebo v průběhu povodňových stavů (červen 2013) a po letních bouřkových příválových deštích v povodí Jizery. Zvýšené hodnoty barvy vody jsou způsobeny vyplavováním huminových látek a Fe v povodí. Koncentrace org. látek vyjádřená jako CHSK_{Mn} , A_{254} nevykazují tak rozkolísané hodnoty jako je tomu u

barvy vody. Nárůst fytoplanktonu v SV (celk. počtu organismů, dále jen CPO) kopíruje trend vývoje teploty SV v řece v průběhu roku. S rostoucí teplotou SV rostou i hodnoty CPO. Svého maxima CPO dosahují ve vegetačním období (květen - říjen), v květnu 2012 bylo maximum CPO 63 680 jed./ml, v červenci 2013 bylo maximum CPO 37 440 jed./ml. Obvykle na přelomu měsíce dubna a května dochází ke zdvojnásobení hodnot CPO, proto je v tomto období každoročně zahájeno dávkování algicidu $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ do filtrátu na nátok do vsakovacích van. V průběhu října je dávkování algicidu obvykle ukončováno. V období listopad 2012 až prosinec 2013 mimo vegetační sezónu dosáhly CPO 180 - 1 190 jed./ml.

Díličí výsledky zkušebního provozu (ZP)

Zimní období 2012-13 bylo specifické častým přerušováním provozu - provozní výpadky, odstavení z provozu z důvodu pohybu ledové tříště řekou, zamrzání česlí, zákalových stavů. Pro hodnocení provozní separační účinnosti byly hodnotícími kritérii vybrané ukazatele kvality vody: barva, zákal, NL, A_{254} , CHSK_{Mn} a CPO.

Z výsledků analýz pracích vod bylo možné u nových filtrů F1-6 dovozovat větší podíl kalové kapacity filtrační náplně pro NL (zákal), a to na cca dvojnásobek proti původním filtrům F7-12. Zásadní byl rozdíl v objemovém zatížení filtrů, nedocházelo k rovnoměrnému rozdělení nátoky SV mezi starou F7-12 a novou sekci filtrů F1-6. Byla provedena srovnávací měření nátoků SV na filtry při různých výkonech ÚV, která potvrdila fakt, že na sekci F1-6 skutečně přitékají $\frac{2}{3}$ z celkového objemu SV. Toto nastavení nátoků bylo provozováno do 17.7.2013. Pak byly nátoky na sekce proměřeny příloženými průtokoměry a po seškrcení hradítka v nátokové šachtě pro filtry F1-6 byl poměr 1:1 ponechán až do konce ZP. Pro potřeby ZP a možnosti posuzování a vyhodnocování efektu nových filtrů F1-6 byl vytvořen tzv. „virtuální průtokoměr“, který přepočítává z celkové hodnoty průtoku SV úpravnou nátoky na jednotlivé filtry F1-6 a F7-12 dle zadaného vstupního poměru vody mezi jednotlivými sekcemi. Výpočtový program umožňuje sledovat a bilancovat údaje získávané a zaznamenávané přímo z řídicího systému ÚV za vybrané časové období. Tabulka sledovaných hodnot a výpočtových údajů byla vytvořena na základě konkrétních provozních zkušeností. S ohledem na běžně provozovanou délku filtračního cyklu (DFC) 3-14 dní se bilance nevyhodnocují v denním kroku, ale cca 1x za měsíc, ev. delší časové období.

Bilance vlastní spotřeby vody

- do 28.3.2013 byl u všech filtrů (F1-12) stejný režim, DFC cca 72 hod
- od 29.3.2013 byly u F7-12 prodlouženy DFC na cca 4 dny, F1-6 se praly dle tlaku, u F1-6 byla v dubnu 2013 vyzkoušena max. možná DFC při ještě „dobré“ kvalitě SV.
- v období 2.1.-17.7.2013 byl poměr nátoky SV na F1-6 : F7-12 = $\frac{2}{3}$: $\frac{1}{3}$, od 18.7.2013 až do konce ZP byl nátok SV upraven v poměru F1-6 : F7-12 = 1:1.
- bilance Lf dle poměru nátoky SV na sekce filtrů F1-6/F7-12 je uvedena v tab. č.1.

Tabulka 1. Bilance vlastní spotřeby vody - dle poměru nátoky SV

Průměrné hodnoty 2013		PV/SV [%]	SV/FC [m ³]	PV/FC [m ³]	DFC [hod]	Filtrační rychlost [m/hod]	Lf [m]	L [m]	Lp [m]
2.1.-17.7.	F1-6	1,8	17503	308	63	5,2	326,1	320,4	5,7
	F7-12	2,4	12336	289	84	2,5	205,6	200,8	4,8
18.7.-27.12.	F1-6	1,12	29 850	329	187	3,0	556,2	550,0	6,1
	F7-12	1,18	24 858	291	151	2,7	414,3	409,5	4,8

Bilance vlastní spotřeby vody - dle obsahu MO-CPO v surové vodě

Bilance hodnot mimo (listopad-duben) a ve vegetačním období (květen-říjen) ukazuje tabulka č.2.

Tabulka 2. Bilance vlastní spotřeby vody - dle obsahu MO-CPO v surové vodě

Průměrné hodnoty 2013		PV/SV [%]	SV/FC [m ³]	PV/FC [m ³]	DFC [hod]	Filtrační rychlost [m/hod]	Lf [m]	L [m]	Lp [m]
2.1.-30.4.	F1-6	1,40	21 028	304	69	5,7	391,8	386,1	5,7
	F7-12	2,30	12 798	293	79	2,7	213,3	208,4	4,9
3.5.-30.10.	F1-6	2,15	14 773	316	68	4,0	275,3	269,4	5,9
	F7-12	1,86	15 778	292	101	2,6	263,0	258,1	4,9
6.11.-27.12.	F1-6	0,83	38 609	312	273	2,6	719,4	713,6	5,8
	F7-12	0,80	32 929	263	230	2,4	548,8	544,4	4,4

Tabulka 3. Měsíční bilance - průměrné hodnoty za rok 2013

Průměrné hodnoty 2013		PV/SV [%]	SV/FC [m ³]	PV/FC [m ³]	DFC [hod]	Filtrační rychlost [m/hod]	Lf [m]	L [m]	Lp [m]
leden	F1-6	1,57	17 502	275	58	5,7	326,1	321,0	5,1
	F7-12	2,33	10 841	251	69	2,6	180,7	176,5	4,2
únor	F1-6	1,48	22 046	324	69	5,9	410,8	404,7	6,0
	F7-12	1,94	15 866	303	99	2,7	264,4	259,4	5,1
březen	F1-6	1,22	26 195	317	89	5,5	488,1	482,2	5,9
	F7-12	2,60	13 113	327	79	2,8	218,5	213,1	5,5
duben	F1-6	0,56	63 342	332	262	4,5	1180	1174	6,2
	F7-12	mimo provoz							
květen	F1-6	2,24	12 833	287	54	4,4	239,1	233,8	5,3
	F7-12	2,26	13 189	282	109	2,0	219,8	215,1	4,7
červen	F1-6	4,20	7 971	334	25	5,9	148,5	142,3	6,2
	F7-12	3,00	10 269	282	73	2,4	171,2	166,5	4,7
červenec	F1-6	1,93	17 310	328	82	3,9	322,5	316,4	6,1
	F7-12	1,40	20 443	276	131	2,6	340,7	336,1	4,6
srpen - září plánovaná odstávka úpravny									
říjen	F1-6	0,79	42 028	326	239	3,3	783,1	783,1	6,1
	F7-12	1,53	18 930	289	102	3,1	315,5	315,5	4,8
listopad	F1-6	1,03	34 609	345	232	2,8	644,8	638,4	6,4
	F7-12	0,75	36 799	269	249	2,5	613,3	608,8	4,5
prosinec	F1-6	0,58	48 691	252	368	2,5	907,2	902,5	4,7
	F7-12	0,88	29 208	256	212	2,3	486,8	482,5	4,3

Pozn: PV-prací voda, SV/FC-objem filtrátu za filtrační cyklus, PV/FC-prací voda na jedno praní, DFC-délka filtračního cyklu, Lf-filtrační délka (jednotková výroba filtru), L-čistá filtrační délka, Lp-objem spotřebované prací vody na jedno praní dělený plochou filtru.

Kvalitativní hodnocení účinnosti separace filtrace (FV- filtrovaná voda) dle poměru rozdělení nátoky SV na jednotlivé sekce F1-6 a F7-12

Kvalitativní rozdíly mezi sekcemi filtrů byly velmi malé do 8 % (viz. tabulky č.4 - 5).

- Dle poměru nátoků F1-6 : F7-12 = $\frac{2}{3}:\frac{1}{3}$ v období 6.12.12-17.7.13.

Tabulka 4. Prům. účinnost separace dle poměru nátoků (F16/F7-12 = $\frac{2}{3} : \frac{1}{3}$)

Průměrná účinnost odstranění (%)	barva	zákal	CHSK _{Mn}	A254	NL	MO-CPO
FV - směs F1-6	7,4	69,1	16,0	4,6	77,4	46,6
FV - směs F7-12	7,0	68,5	15,9	4,0	80,2	39,5

- Dle poměru nátoků F1-6 : F7-12 = 1:1 v období 18.7.-27.12.13.

Tabulka 5. Průměrná účinnost separace dle poměru nátoků (F16/F7-12=1:1)

Průměrná účinnost odstranění (%)	barva	zákal	CHSK _{Mn}	A254	NL	MO-CPO
FV - směs F1-6	13,6	80,1	19,1	6,6	66,1	59,5
FV - směs F7-12	12,0	73,2	14,5	5,0	73,4	59,9

Kvalitativní hodnocení účinnosti separace filtrace z pohledu MO-CPO

Kvalitativní rozdíly mezi sekcemi filtrů byly velmi malé do cca 9 % (viz. tab.č. 6 - 7).

- Mimo vegetační období: prosinec 2012 - duben 2013 (poměr nátoků F1-6:F7-12 = $\frac{2}{3}:\frac{1}{3}$), XI.-XII.2013 (poměr nátoků F1-6 : F7-12 = 1:1) - viz. tabulka č.6.

Tabulka 6. Průměrná účinnost separace z pohledu CPO mimo veg. sezónu

Průměrná účinnost odstranění (%)	barva	zákal	CHSK _{Mn}	A254	NL	MO-CPO
FV - směs F1-6	11,0	70,7	16,5	4,7	67,3	58,1
FV - směs F7-12	8,9	66,6	15,0	3,4	76,9	56,2

- Vegetační období (zvýšený fytoplankton v SV) V.-X.2013: poměr nátoků F1-6:F7-12 = $\frac{2}{3} : \frac{1}{3}$, od 18.7.2013 poměr 1:1 – viz. tabulka č.7.

Tabulka 7. Průměrná účinnost separace z pohledu CPO ve veg. sezóně

Průměrná účinnost odstranění (%)	barva	zákal	CHSK _{Mn}	A254	NL	MO-CPO
FV - směs F1-6	11,8	82,9	19,8	7,2	76,6	44,9
FV - směs F7-12	12,6	81,1	19,7	6,9	78,8	41,2

Souhrn

ÚV Sojovice je prvním technologickým stupněm úpravy a produkuje vodu určenou ke vsakování do podzemí, nikoliv vodu pitnou! Při kvalitativním porovnání filtrátů je třeba zohlednit filtrační rychlost, množství proteklého filtrátu/FC a dosahovanou L(m).

- v období 2.1.-17.7.2013, kdy bylo rozdělení nátoků SV F1-6:F7-12= $\frac{2}{3} : \frac{1}{3}$, dosahoval u filtrů F1-6 objem proteklého filtrátu/FC v průměru 17 503 m³ (filtry F7-12 dosáhly 12 336 m³), spotřeba pracích vod (PV/SV) byla cca 1,8 % (filtry F7-12 dosáhly 2,4 %). Čistá jednotková výroba filtru (L) u filtrů F1-6 dosahovala v průměru hodnoty 320 m (filtry F7-12 jen 206 m). Maximální hodnoty L bylo u nových filtrů dosaženo v dubnu 2013 - 1174 m (DFC byla cca 11 dní, objem proteklého filtrátu/FC dosahoval v průměru 63 342 m³). S nárůstem teploty SV a CPO v surové vodě ve vegetačním období došlo k výraznému poklesu hodnoty L u nových filtrů (v období 3.5.-17.7.13 dosáhla L=217 m, objem filtrátu/FC dosahoval hodnoty 11 950 m³, což je téměř ½ hodnot dosahovaných za leden až březen 2013) - viz. tab. č.1,3.

- po seškrvení nátoku SV na F1-6 (tj. F1-6:F7-12=1:1) v období (18.7.-27.12.13) u nových filtrů vzrostl průměrný objem proteklého filtrátu/FC na cca 1,7x násobek - 29 850 m³, klesla i spotřeba pracích vod na cca 1,12 % (F7-12 dosáhly objemu filtrátu/FC cca 24 858 m³, spotřeba pracích vod činila cca 1,18 %). Hodnota L u nových filtrů F1-6 dosahovala v průměru 550 m (průměrná DFC byla 187 hodin, tj. cca 7,8 dne), u filtrů F7-12 dosáhla hodnota L v průměru jen 409,5 m (průměrná DFC byla 151 hodin, tj. cca 6,3 dne). Max. hodnot bylo dosaženo v průběhu prosince 2013, kdy bylo dosaženo významně vyššího objemu proteklého filtrátu/FC (48 691 m³) i L (903 m). Průměrné hodnoty dosažené v období 18.7.-27.12.13 byly ovlivněny listopadovými daty (negativně ovlivněny chybou v řídicím systému), došlo k nežádoucímu prodloužení délky 3. fáze praní u nových filtrů F1-6.
- před rekonstrukcí filtrace byly pískové filtry obvykle provozovány max. s cca 72 hodinovým FC, v průběhu vegetačního období došlo ke zkrácení FC na cca 24-48 hodin. Dvouvrstvé filtry F1-6 umožnily délku FC prodloužit až na cca 10-14 dní mimo vegetační období, v průběhu vegetační sezóny 2013 docházelo k jeho zkrácení až na cca 25-72 hodin (viz.tab.č.3). Je potřeba zdůraznit, že v tomto období nové filtry pracovaly s cca dvojnásobným hydraulickým zatížením, nátok SV na nové filtry představoval cca 2/3 z celk. objemu SV. Při nižším zatížení by filtry pravděpodobně dosahovaly delších filtračních cyklů. K úpravám nátoků SV na jednotlivé sekce (1:1) došlo v polovině července 2013, prakticky před dvouměsíční plánovanou odstávkou.
- za hodnocené období 2013 dosahoval u filtrů F1-6 prům. efekt filtrace v odstranění zákalu 72,5 %, efekt v odstranění org. látek - vztaženo na CHSK_{Mn} 17,0 %, v případě A₂₅₄ to bylo pouze 5,2 %. Průměrný efekt filtrace v odstranění CPO za celý rok 2013 dosáhl u filtrů F1-6 cca 51 % (ve vegetačním období to bylo cca 45 %).

Pro provoz filtrace je nezbytné důsledné sledování filtrační rychlosti, aby nedocházelo k hydraulickému přetěžování filtrů.

- původní filtrační rychlost byla navržena na 5,7 m/hod (95 l/s na 1 filtr o ploše 60 m²). Zmenšením plochy filtrů vzrostla max. filtrační rychlost na 6,4 m/hod. Tyto hodnoty nejsou pro běžný provoz filtrace provozně únosné, a to i z pohledu výstupní kvality filtrátu. Po úpravách nátoků SV na jednotlivé sekce (1:1) se provozovaná filtrační rychlost pohybovala v rozmezí 2,5-3,3 m/hod.
- při vysoké filtrační rychlosti nebude filtrace vykazovat optimální efekt na odstranění suspendovaných látek (zavzdušňování filtrů F1-6, časté praní), naopak při nízkých hodnotách může ve zvýšené míře docházet k rozvoji řas ve filtračním loži a tím i k jeho zarůstání. U původních filtrů může docházet k zarůstání filtračních hlavíc.
- pro optimální provoz filtrace doporučujeme u nových filtrů udržovat filtrační rychlost v intervalu 2-4,5 m/hod. Max. filtrační rychlost 6,4 m/hod (95 l/s na 1 filtr) uváděná v dokumentaci skutečného provedení není reálná a nelze s touto hodnotou dále uvažovat. **Jako provozní maximum doporučujeme průtok cca 75 l/s na filtr, tj. filtrační rychlost cca 5,1 m/hod.**

Závěry - hlavním cílem rekonstrukce bylo:

- zvýšení separační účinnosti i bez dávkování koagulantů při zhoršené kvalitě SV, zkrácení doby odstávek provozu z důvodu nevyhovující kvality SV.
- složení filtračního lože bylo vybráno na základě výsledků poloprovozních modelových zkoušek (měření Doc. Ing. Petra Dolejše, CSc. [1]). Nebylo sice dosaženo očekávaných kvalitativních výsledků, kvalita filtrátů jednotlivých sekcí filtrů F1-6 a F7-12 byla relativně srovnatelná nebo v případě F1-6 mírně lepší (rozdíl jen 5-9 %), a to i v období zvýšeného hydraulického zatížení. U filtrů F1-6 došlo k nárůstu objemu proteklého filtrátu/FC, k prodloužení DFC. Průměrná hodnota L dosáhla u nových dvouvrstvých filtrů 550 m (po úpravě nátoků SV na jednotlivé sekce 1:1, průměr za

18.7.-27.12.2013), což je cca 1,3 násobek hodnot dosažených u původních filtrů s pískovou náplní (410 m).

- ověření max. možné hodnoty zákalu SV na nátoku na sekci F1-6, ověření shody laboratorních výsledků analýz s daty z kontinuálních analyzátorů.
- na základě dosahovaných výsledků analýz byly pro zákal a A_{254} definovány tzv. varovné a limitní hodnoty pro odstavení. V prvním kroku je vždy odstavena sekce původních filtrů a v provozu jsou dále jen filtry nové. Sleduje se kvalita SV a FV, pokud tyto profily dosáhnou u F1-6 limitní hodnoty pro odstavení, pak je odstavena celá ÚV - viz tab. 8. Dalším rozhodujícím parametrem je barva vody. Opakovaným srovnáváním laboratorních výsledků analýz zákalu a A_{254} (v SV, FV za sekcemi) s daty změřenými kontinuálními analyzátory byla vyhodnocena výborná shoda a byla tak ověřena spolehlivost provozních měřidel.

Tabulka 8. Přehled varovných a limitních hodnot pro odstavení ÚV Sojovice

Přehled limitních a varovných hodnot	Zákal (ZFn, NTU)		A254		Barva (mgPt/l)	
	varovná	odstavení	varovná	odstavení	Varovná	odstavení
SV - Jizera ř.	20	50	0,250	0,300	40	50
Filtrovaná voda	3	5	0,180	0,200	X	x

- optimalizovat DFC, provozní filtrační rychlosti a další provozní parametry filtrace s cílem odvodit nákladovost provozu nové sekce filtrace.
- z pohledu max. možné DFC byla pro období mimo vegetační sezónu ověřena limitní hodnota cca 14-16 dní u filtrů F1-6, u původních filtrů F7-12 cca 8-10 dní. Ve vegetačním období dochází k výraznému zkrácení DFC na cca 1/2 hodnot, kterých je dosahováno mimo vegetační období.
- ekonomika provozu - významné úspory přinesl hlavně nový algoritmus praní navržený projektantem a umožněný modernějším řídicím systémem. Úspora spočívá ve zkrácení 2. fáze praní jen na dobu naplnění filtrační vany. Vlastní spotřeba pracích vod na jedno praní je celkem srovnatelná u starých i nových filtrů. Dále je možno předpokládat, že úsporu přináší i prodloužení DFC u nových filtrů (cca 60%). Úspora by mohla být oproti starým filtrům v řádu desítek procent (20-30%). Úspory na el. energii (nový filtr versus původní) jsou naprosto zanedbatelné. Větší úspory el. energie jsou dosaženy v posouzení proti původní dmychací a ČS (nebyla vybavena frekvenčními měniči) a snížení průtoku bylo dosahováno škrcením. Měření z původní stanice není k dispozici, nelze provést srovnání.
- výsledky bilance Lf, objemu proteklého filtrátu/FC i konc. zachycených NL v pracích vodách ukazují, že rozdíl mezi oběma typy filtrů je významný a dvouvrstvý filtr (s obecně jemnější náplní) má vyšší separační účinnost (vyšší kalovou kapacitu), která se uplatňuje zejména při separaci nejmenší kategorie měřených částic včetně mikroorganismů.
- V současné době, kdy jsou k dispozici i další zrnité materiály, se nabízí pro další etapu rekonstrukce filtrů provést srovnání parametrů stávajícího dvouvrstvého filtračního lože F1-6 (antracit/písek) s jinými filtračními materiály (Filtralite, pemza, samotný antracit, ...) a to včetně ekonomického posouzení.

Literatura

1. Dolejš P., Dobiáš P. - ÚV Sojovice - Studie pro získání návrhových parametrů pro případnou rekonstrukci filtrace, W&ET Team, květen 2007.
2. Tláškalová B, Verfel M., Herčík L.: Zpráva - Vyhodnocení zkušebního provozu rekonstruované části filtrace F1-6 na ÚV Sojovice 2012-2013, PVK, a.s., Praha únor 2014.