

ZHDNOCENÍ PROVOZU ÚV ŠTÍTARY PŘED A PO REKONSTRUKCI

**doc. Ing. Milan Látal, CSc., Ing. Zdeňka Jedličková,
Ing. Ladislav Tungli, Ing. Josef Filla**

VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s., Soběšická 820/156, PSČ 638 01 Brno,
latal@vasgr.cz, jedlickova@vasgr.cz, tungli@vasgr.cz, filla@vasgr.cz

Abstrakt: V roce 1982 byla uvedena do provozu ÚV ve Štítarech, okr. Znojmo, která upravuje vodu čerpanou z víceúčelové nádrže Vranov. Z důvodu zlepšení účinnosti, zvýšení bezpečnosti a stability procesu úpravy vody byla v roce 2008 provedena celková rekonstrukce ÚV.

Příspěvek porovnává stanovené hodnoty u vybraných ukazatelů před a po rekonstrukci ÚV Štítary a rovněž prezentuje výsledky faktorové analýzy, do níž byl kromě vybraných sledovaných ukazatelů zahrnut faktor rekonstrukce a ročního období.

Původní úpravna vody byla projektována na 240 l/s. V hlavní hale byly zrcadlově osazeny dvě shodné technologické linky s dvoustupňovou separací, pro obě linky byl instalován jeden homogenizátor. Dávkován byl koagulant síran železitý.

První separační stupeň tvořily v jedné lince dvě sedimentační nádrže, které obsahovaly flokulační komory. V nich probíhalo pomalé míchání suspenze pomocí pádlových horizontálních míchadel. Vzniklá suspenze byla odstraňována v usazovacích nádržích. Po alkalizaci vápenným mlékem voda vstupovala do druhého stupně, tj. na 6 otevřených rychlofiltrů s klasickým mezidnem. Voda byla dezinfikována plynným chlorem. V roce 2002 byla na úpravně provedena rekonstrukce flokulačních komor na systém nastavitelných hydraulických přepážek. Po této rekonstrukci začaly flokulační komory vykazovat problémy, 4x ročně bylo provádělo vyčerpání objemu sedimentačních nádrží s následným mechanickým čištěním flokulačních komor, což bylo ekonomicky náročné. Na konci roku 2005 byla změněna dezinfekce plynným chlorem chloraminací. Skutečná výroba se v této době pohybovala v rozmezí 115 -120 l/s.

Hlavní rekonstrukce ÚV byla realizována v roce 2008. ÚV byla projektována na 200 l/s. První změnou provedené rekonstrukce ÚV byla instalace statického rychlomísiče do obou technologických linek. Původní použití pouze jednoho homogenizátoru neumožňovalo přesné řízení flokulačního procesu ve flokulačních nádržích a tím docházelo ke vzniku vodárenských vloček na nevhodném místě ve flokulačních nádržích. Před rychlomísičem je dávkován koagulant síran železitý, voda z rychlomísiče prochází dvěma sedimentačními nádržemi (dále popis jedné technologické linky). Každá sedimentační nádrž je tvořena flokulační nádrží s hydraulickým mícháním suspenze prostřednictvím pevných vestaveb opatřených defektory, čímž došlo k významné optimalizaci tvorby suspenze a usazovací nádrží. Do odtahových žlabů z usazovacích nádrží je zaústěn přívod vápenné vody. Upravovaná voda ze sedimentačních nádrží je gravitačně svedena na 6 kusů zrekonstruovaných otevřených rychlofiltrů s náplní vodárenského písku. Původní mezidno rychlofiltrů bylo nahrazeno drenážním systémem typu Leopold. Přefiltrovaná voda dále gravitačně přitéká na nově vybudovaný třetí stupeň ÚV, který tvoří pro každou větev jeden dvoukomorový rychlofiltr s náplní granulovaného aktivního uhlí s drenážním systémem typu Leopold. Nově byl instalován UV zářič zejména pro případnou likvidaci rezistentních patogenních mikroorganismů (prvků Cryptosporidii, Giardia). Po tomto zdravotním zabezpečení je prováděna dezinfekce vody chloraminací. Upravená voda je akumulovaná v nádržích o celkovém objemu 3 200 m³ (pro obě technologické linky).

Výsledkem rekonstrukce ÚV byla moderní úpravná vody s vysokým stupněm automatizace, kontinuálním měřením kvality a kvalitou upravované vody plně v souladu s požadavky legislativy.

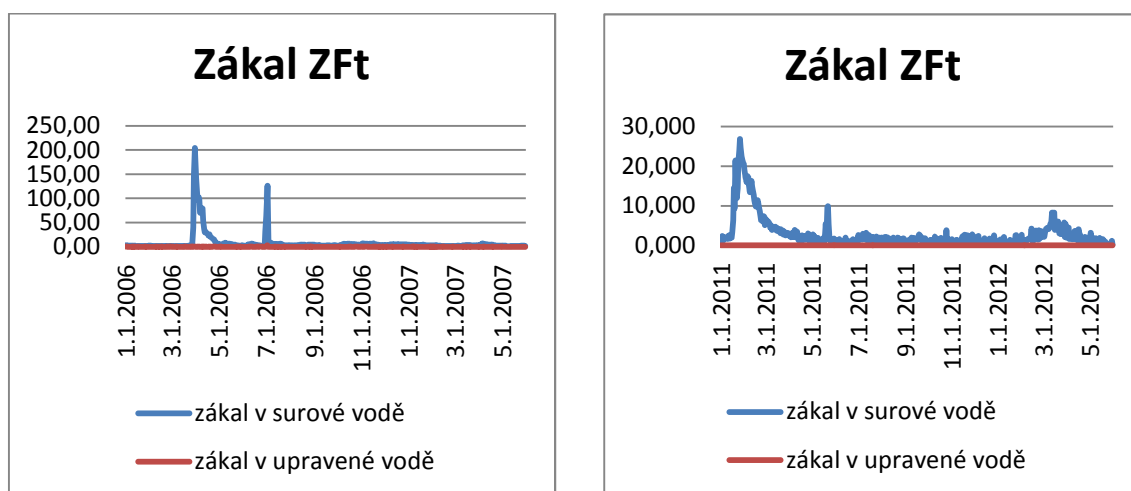
Na ÚV jsme vypracovali faktorovou analýzu. Faktorová analýza by nám v budoucnu mohla pomoci odhalit zákonitosti mezi naměřenými veličinami ve vodárenství, u nichž na první pohled nelze objevit žádné zákonitosti.

Pro vyhodnocení faktorové analýzy jsme použili spektrální rozklad korelační matice, pomocí programu www.R-project.org, která vytváří ortogonální systém vlastních vektorů a ukazuje strukturu vícerozměrného normálního rozložení. Vyjádřením jednotlivých sloupců korelační matice v závislosti na ortonormálních vlastních vektorech vzniká spektrální rozklad korelační matice, což vzhledem k ortonormálnosti báze vlastních vektorů udává zároveň i korelační koeficienty mezi původními veličinami a hlavními komponentami odpovídajícími jednotlivým vlastním vektorům.

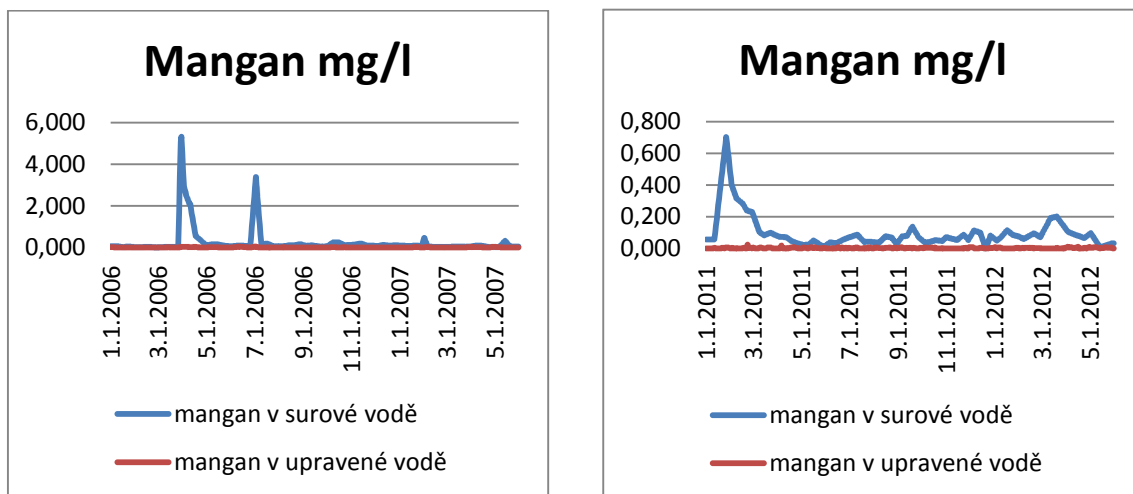
Vlastní vektory korelační matice mají následující vlastnosti:

- Tvoří ortonormální systém vektorů (jsou si navzájem nezávislé, mají nulovou vzájemnou korelaci).
- Lineární kombinace normalizovaných veličin podle odpovídajících prvků vlastního vektoru tvoří hlavní komponentu. Hlavní komponenty tvoří ortonormální systém i po aplikaci varimaxové rotace pro optimalizaci separace.
- Udávají hlavní směry vícerozměrného rozptylu veličin.
- Jsou snadno interpretovatelné, protože vyjadřují vzájemně nezávislé jevy.
- Pro zjednodušení lze uvažovat pouze vlastní vektory s největšími vlastními čísly.

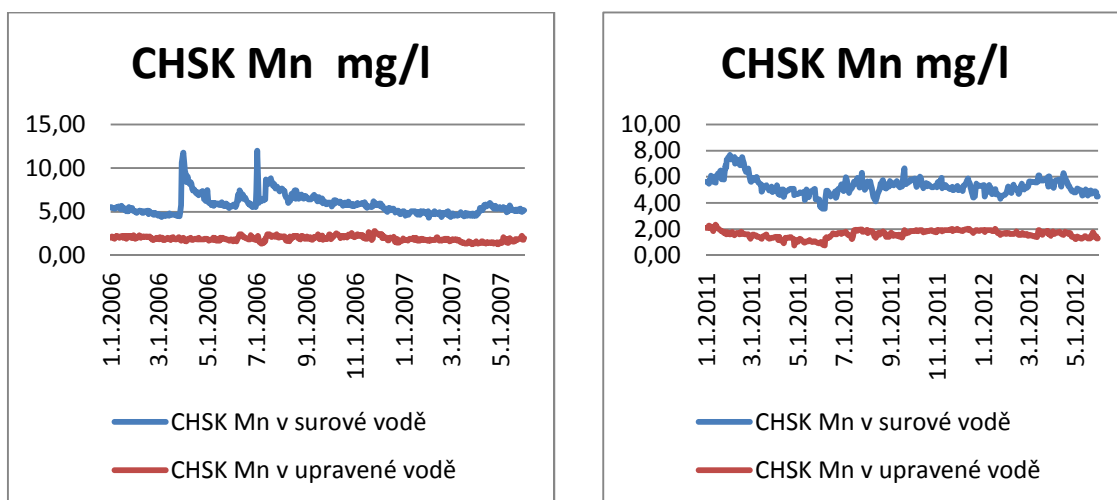
Faktorová analýza byla sestavována z hodnot sledovaných ukazatelů kvality vody surové a upravené (teplota vody, pH, acidita, alkalita, agresivita, $CHSK_{Mn}$, železo, mangan, dusičnany, barva, zákal). Jedná se o denní výsledky provozních rozborů kvality vody za 1,5 roku před a po rekonstrukci ÚV, tj. rozborů provedené od 1.1.2006 do 31.5.2007 a od 1.1.2011 do 31.5.2012. Do analýzy byla zařazena i rekonstrukce ÚV a čtyři roční období (jaro je veličina, která je 1 u všech hodnot veličin, které spadají do období leden až březen, léto – duben až červen, podzim – červenec až září, zima – listopad až prosinec). Hodnoty jednotlivých ukazatelů byly tabulkově zpracovány v programu Microsoft Excel. Z denních naměřených hodnot byly pro názornost sestaveny grafy sledovaných ukazatelů surové a upravené vody za sledované období před a po rekonstrukci ÚV (obr. č. 1, 2, 3), dále byla sestavena tab.č.1 obsahující průměrné hodnoty vybraných ukazatelů v upravené vodě za jednotlivá roční období.



Obr. 1. Zákal v surové a upravené vodě v období před a po rekonstrukci ÚV



Obr.2. Mangan v surové a upravené vodě v období před a po rekonstrukci ÚV



Obr. 3. CHSK_{Mn} v surové a upravené vodě v období před a po rekonstrukci ÚV

Tabulka 1. Průměrné hodnoty sledovaných ukazatelů v upravené vodě

období, rok	teplota	pH	CHSK _{Mn}	Železo	mangan	dusičnany	barva	zákal
	°C		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l Pt	ZFt
jaro 2006	9,30	7,95	1,87	0,047	0,016	31,58	10,60	0,13
jaro 2007	9,00	7,84	1,57	0,023	0,011	26,36	7,53	0,06
jaro 2011	8,7	7,95	1,20	0,003	0,003	28,3	5,1	0,025
jaro 2012	8,4	7,84	1,56	0,002	0,004	25,6	7,1	0,027
léto 2006	19,80	7,91	2,00	0,040	0,008	19,82	10,17	0,14
léto 2011	19,8	7,67	1,68	0,003	0,003	16,2	5,0	0,034
podz.2006	14,69	7,89	2,18	0,036	0,006	15,51	10,11	0,10
podz.2011	14,0	7,79	1,87	0,005	0,003	12,4	6,4	0,026
zima 2006	4,80	7,83	2,00	0,030	0,004	14,07	9,84	0,10
zima 2007	6,27	7,87	1,79	0,021	0,005	15,45	7,97	0,08
zima 2011	4,0	7,89	1,76	0,003	0,002	24,2	6,6	0,020
zima 2012	4,9	7,87	1,70	0,003	0,002	17,1	6,5	0,025

Na řadu přišla vícerozměrná statistická analýza, po několika krocích jsme získali spektrální rozklad korelační matice (tab. 2). Pro lepší názornost jsme pracovali s koeficienty determinace, což jsou kvadráty korelačních koeficientů, které přímo vyjadřují individuální podíly jednotlivých veličin ve faktorech f_i .

Všechna čísla (procenta) v tabulce jsou násobky korelace a absolutních hodnot korelace (koeficienty determinace se znaménkem). V celém modelu je počítáno s kvadráty korelačních koeficientů se znaménkem. Kurzívou jsou zvýrazněny nejvýznamnější hodnoty – koeficienty determinace na každém řádku. Protože na každém řádku může být pouze jedno číslo s kurzívou, další významné hodnoty jsou vyznačeny tučně. Součet absolutních hodnot % na každém řádku je 100.

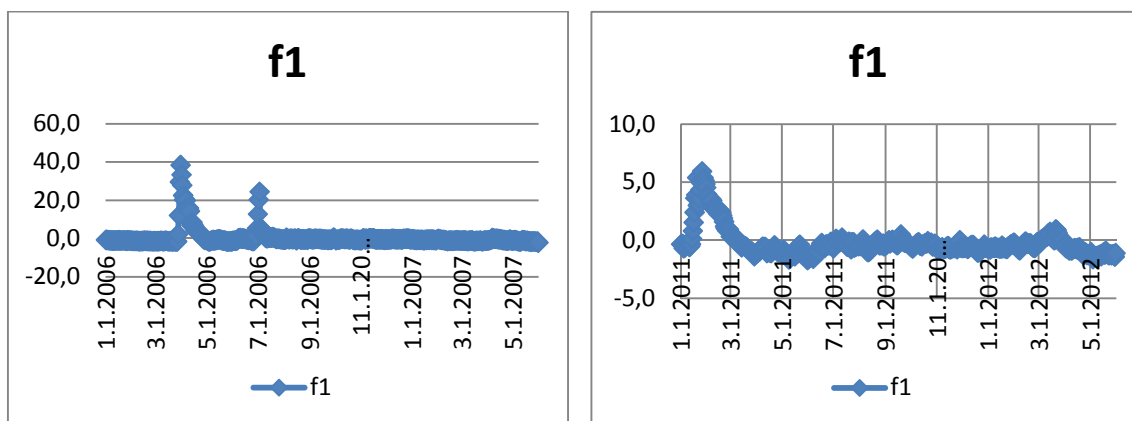
Popis jednotlivých položek v tabulce faktorové analýzy je následující:

- V prvním řádku tabulky jsou analýzou vytvořené faktory. Jejich počet závisí na počtu vstupujících veličin a na síle vzájemného působení mezi nimi. V levém sloupci jsou uvedeny všechny veličiny, které se na výpočtu faktorů podílely. (Z důvodu místa pro článek byly z tabulky vyjmuty rozdíly a podíly veličin a další faktory).
- Cílem analýzy je interpretovat a vysvětlit co dané faktory ve skutečnosti představují. Například f_1 je nějaký děj, při kterém se společně vyskytují vysoké hodnoty zákalu, železa, manganu, barvy, $CHSK_{Mn}$ v surové vodě. V řádku podíl je procentické vyjádření významu jednotlivých faktorů (např. faktor f_1 ovlivňuje kvalitu vody z 20% neboli vyčerpá 20% celkového rozptylu všech veličin).
- Hodnota λ udává počet veličin, které se podílejí na tvorbě příslušného faktoru, je to kritérium významnosti daného faktoru. Součet λ všech faktorů se rovná počtu veličin vstupujících do analýzy.
- Ve sloupci průměr jsou průměrné hodnoty naměřených veličin.
- Ve sloupci směrná odchylka je uváděna odmocnina rozptylu dané veličiny.

Tabulka 2. Část výsledné tabulky faktorové analýzy

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	průměr	Směr. odchylka
Datum sur. v.	-1%	92%	0%	0%	-1%	17.3.2009	925
Rekonstrukce	-1%	92%	0%	0%	0%	0,001	1,000
Jaro	0%	0%	62%	-2%	0%	0,356	0,479
Léto	0%	0%	-2%	65%	0%	0,178	0,383
Podzim	0%	0%	-9%	3%	0%	0,176	0,381
Zima	0%	0%	-19%	-42%	0%	0,289	0,454
Sur. v. teplota	-1%	0%	0%	93%	0%	10,343	5,992
sur.pH	0%	-4%	-1%	3%	-5%	7,524	0,541
sur.acidita	7%	-7%	3%	0%	71%	0,029	0,018
sur.alkalita	-12%	2%	-66%	-1%	-9%	1,480	0,320
sur.agresivita	12%	-2%	17%	1%	60%	0,616	0,805
sur. $CHSK_{Mn}$	47%	-3%	1%	7%	13%	5,541	0,958
sur.železo	94%	0%	2%	-1%	0%	0,213	0,412
sur.mangan	89%	-1%	0%	0%	0%	0,168	0,453
sur.dusičnany	15%	2%	72%	-2%	2%	20,994	7,103
sur.barva	72%	0%	5%	0%	3%	49,418	34,195
sur.zákal	95%	-1%	0%	0%	0%	5,059	14,391
Datum upr. v.	-1%	92%	0%	0%	-1%	17.3.2009	925
Upr. v. teplota	-1%	0%	0%	92%	0%	10,532	5,982
upr.pH	0%	-1%	1%	-1%	1%	7,857	0,204

upr.acidita	0%	0%	1%	0%	-2%	0,014	0,012
upr.alkalita	-8%	6%	-60%	-5%	-7%	1,329	0,305
upr.agresivita	1%	0%	5%	0%	0%	0,266	0,401
upr.CHSK _{Mn}	0%	-23%	-25%	1%	6%	1,771	0,315
upr.železo	8%	-61%	1%	1%	1%	0,018	0,020
upr.mangan	24%	-8%	3%	0%	0%	0,006	0,008
upr.dusičnany	13%	0%	73%	-2%	3%	20,569	7,339
upr.barva	7%	-49%	0%	0%	4%	7,752	2,566
upr.zákal	12%	-9%	-1%	0%	0%	0,066	0,123
Procen. acidita	0%	0%	0%	0%	-6%	-0,352	1,171
proc.alkalita	5%	6%	1%	-8%	0%	-0,099	0,079
proc.agresivita	0%	-1%	0%	0%	-4%	-0,241	1,597
proc.CHSK _{Mn}	-14%	-12%	-38%	-3%	-1%	-0,676	0,063
proc.železo	-2%	-55%	-2%	0%	0%	-0,863	0,158
proc.mangan	-2%	-3%	2%	0%	-1%	-0,919	0,129
proc.dusičnany	0%	-18%	5%	0%	2%	-0,023	0,081
proc.barva	-14%	-29%	-17%	-1%	-1%	-0,819	0,070
proc.zákal	-4%	0%	-2%	0%	-1%	-0,970	0,036
Podíl:	20%	12%	11%	7,3%	7,2%		
λ	9,84	6,06	5,31	3,57	3,51		



Obr. 4. Faktor f1 v období před a po rekonstrukci ÚV

Důslednějším rozbohem lze konstatovat, že **nejvýznamnější faktor f1** vypovídá o vzájemném vztahu zvýšených hodnot u ukazatelů zákal, barva, železo, mangan a chemické spotřebě kyslíku v surové vodě v době zvýšených srážek, a to v kterémkoliv ročním období. Na tento děj se vyčerpá 20% celkového rozptylu všech veličin. Velký nárůst hodnot je z obr. č. 4 patrný na přelomu měsíců březen/dubn 2006, kdy byla Dyje jedním z toků, které byly nejvíce zasaženy povodní způsobenou rychlým táním mocné sněhové pokrývky za příspěvku dešťových srážek. Bylo dosaženo průtoků s dobou opakování více než 100 let. Silně srážkově nadnormální byl rovněž měsíc srpen 2006. V důsledku oteplení, dešťových srážek a následného odtávání sněhové pokrývky, která se počátkem ledna vyskytovala na většině území, byl leden 2011 nejvodnatějším měsícem roku. Další sledovaná období, tj. 1/2 roku 2007 a první polovina roku 2012

nebyly srážkově nadnormální (odtok z povodí odpovídá grafům viz. obr. č. 1,2,3 a shoduje se s údaji ČHMÚ).

Faktor f2 sděluje, že rekonstrukcí ÚV došlo nejvýrazněji ke zlepšení jakosti upravené vody u ukazatelů železo, barva, $CHSK_{Mn}$, mangan. Např. proc. $CHSK_{Mn}$ sděluje, že efektivnost u ukazatele $CHSK_{Mn}$ je o 9% po rekonstrukci vyšší, u železa o 50%, u barvy o 29%.

Faktor f3 potvrzuje, že v jarním období dochází ke zvýšeným hodnotám u ukazatele dusičnany, vzrůstá agresivita a acidita vody, snižuje se alkalita surové vody. Na jaře při tání sněhu a dešťových srážkách dochází k vyplavování dusíkatých látek z půdy, neboť ještě není vytvořen vegetační kryt, který by vyplavování bránil a rovněž spotřebovával potřebné množství dusíku ke svému růstu. Proc. $CHSK_{Mn}$ sděluje, že ÚV na jaře efektivněji upravuje vodu v ukazateli $CHSK_{Mn}$, barvy bez vlivu rekonstrukce ÚV.

Faktor f4 nám vypoví, že v letním období nejvíce roste teplota surové a upravené vody, v surové vodě se rovněž zvyšuje hodnota $CHSK_{Mn}$. Tento stav přechází dále do podzimu. V těchto ročních obdobích zaznamenáváme nižší hodnoty dusitanů (vliv vegetace).

Faktor f5 prezentuje vliv průmyslového (zemědělského znečištění).

Závěr

Faktorová analýza pomáhá odhalovat strukturu složitých vztahů mezi měřenými veličinami, které by se musely odhalovat dlouhodobým pozorováním nebo vědeckým výzkumem. Využili jsme nástroj pro statickou analýzu, který umí pracovat s velkými maticemi, data dále zpracujeme v prostředí Excel. Byla použita i ortogonální varimaxová rotace faktorů pro optimální separaci a pročištění vzájemně nezávislých faktorů.

Literatura

Stránky ČHMÚ <http://voda.chmi.cz/opzv/index.htm>

Sborník *Pitná voda 1999 – Analýza vývoje kvality vody v nádrži pro vodárenskou potřebu* vícerozměrným matematickým modelem.