

KOMBINACE FAKTOROVÉ ANALÝZY A FOURIEROVY TRANSFORMACE PŘI HODNOCENÍ JAKOSTI SUROVÉ VODY

P. Nováková, M. Šťastná

Došlo: 10. ledna 2005

Abstract

NOVÁKOVÁ, P., ŠŤASTNÁ, M.: *Combination of the factor analysis and Fourier transformation during evaluation of the water quality*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2005, LIII, No. 4, pp. 95-102

The applied method – combination of the factor analysis and Fourier transformation is not routinely used in the water management. Due to the fact that the statistic program Prognost is able to do the analysis only from limited number of the quantities, only selected surface water quality indicators were included in the analysis. Therefore it wasn't possible to prove the influence of all eventual natural and anthropogenic impacts in the catchment area that affect the water quality in the reservoir Vranov nad Dyjí. By the selected indicators it was possible to cover especially the effects of the intensive agriculture, the settlement, the recreation (especially from the point of the view of the draining and cleaning of the waste water), climatic influences (precipitation) and partly the nature background. The selected indicators don't evaluate for example the impact of the industry. The water quality in the reservoir is influenced by the water quality from the tributaries and by the biochemical processes in the reservoir itself.

factor analysis, Fourier transformation, water quality

Kombinace Fourierovy transformace a faktorové analýzy nebývá ve vodárenství často využívána. Pomocí této metody byl hodnocen vývoj jakosti surové vody v místě vodárenského odběru z nádrže Vranov nad Dyjí. Tato nádrž nepatří mezi vodárenské nádrže (není vyjmenována ve vyhlášce Ministerstva životního prostředí ČR č. 137/1999 Sb.), avšak je zde zřízen vodárenský odběr a pitnou vodou z nádrže je zásobováno cca 85000 obyvatel. Z vybraných ukazatelů jakosti vody a hydrologických ukazatelů byly zpracovány faktorové analýzy. Významné faktory, charakterizující procesy ovlivňující jakost vody v nádrži, byly interpretovány.

Vodní nádrž Vranov nad Dyjí – číslo hydrologického pořadí 4-14-02-051 – se nachází se na řece Dyji, severozápadně od Znojma a Vranova nad Dyjí. Hydrologické povodí nádrže je velmi rozsáhlé (celkem 2 211,8 km², z toho v ČR 1159,0 km²) a zasahuje do čtyř okresů – Znojmo, Třebíč, Jihlava, Jindřichův a tří krajů – Jihomoravského, Jihočeského a Vysočina. Velká část povodí leží v Rakousku (cca 47 %), toto území však nebylo součástí vyhodnocování analýz jakosti vody v nádrži.

Přehled o využívání území v celém povodí a zastoupení druhů pozemků v jednotlivých lokalitách je uveden v Tabulce I.

I: Využívání území v povodí Vranovské nádrže

	celkem (ha)*	lesy (ha)	vodní plochy (ha)**	zastavěná plocha (ha)	zemědělská p. (ha)	odvodněná plocha (ha)
lok. A	7282,59	3092,88	284,45	70,35	3500,58	428,70
lok. B	6960,54	2149,76	418,48	50,79	3967,80	1185,50
lok. C	39027,79	9915,26	414,52	365,46	26527,35	10048,04
lok. D	38262,18	14274,60	595,96	335,70	20930,22	7472,55
lok. E	24453,30	7365,03	461,26	262,59	14934,12	5112,70
celkem	115986,40	36797,53	2174,67	1084,89	69860,07	24247,49

* součet uvedených druhů pozemků v jednotlivých sloupcích neodpovídá položce „celkem“, neboť v tabulce jsou pouze nejvýznamnější druhy pozemků (není uvedena nezemědělská půda a ostatní pozemky)

** do žádné z lokalit není započítána vlastní plocha nádrže

Základní charakteristika vodní nádrže Vranov:

- plocha povodí na území ČR 1 159,0 km²
- délka přehradní nádrže (vzdutí) 29,8 km
- zatopená plocha při max. hladině 7,625 km²

Vodní dílo bylo vybudováno v letech 1930–1934, ale vodárensky se začala nádrž využívat až od roku 1982, kdy byl zřízen vodárenský odběr a byl vybudován skupinový vodovod Vranov – Moravské Budějovice – Dukovany. Odebíraná povrchová surová voda musí být upravována v úpravě vody ve Štítarech. Kapacita zdroje povrchové vody i úpravní vody je 240 l.s⁻¹, povolený odběr je v současné době pro množství Q = 200 l.s⁻¹ dle rozhodnutí vodoprávního úřadu ve Znojmě. Odběrný objekt je umístěn na 179,4 km toku Dyje při levém břehu v Jelení zátoce, 3,9 km od hráze. Šířka zátopy v místě odběru je přibližně 250 m v závislosti na kolísání hladiny. V místě vodárenského odběru jsou příkré skalnaté břehy a odběrné zařízení je umístěno na plovoucím pontonu.

MATERIÁL A METODY

Cílem práce bylo získat a zpracovat výsledky rozborů jakosti surové vody a pomocí faktorové analýzy vyhodnotit nejvýznamnější činitele působící na jakost vody v místě vodárenského odběru. Výchozími podklady byly údaje o jakosti surové vody z místa vodárenského odběru za období 1985–2002 a některé hydrologické ukazatele. Bylo vybráno sedm nejvýznamnějších ukazatelů jakosti vody a pro tyto ukazatele byly zpracovány měsíční průměry. Jedná se o tyto ukazatele: CHSK – Mn, mangan, amonné ionty, chloridy, dusičnany, dusitany, fosforečnany (vše v mg/l). Z hydrologických ukazatelů byly do faktorové analýzy zahrnuty: průměrná měsíční výška hladiny v m n.m., úhrn měsíčního odtoku v mil. m³ a měsíční srážkový úhrn v mm.

Aby mohla být zpracována faktorová analýza, musela se všechna data (jak údaje o jakosti povrchové vody, tak hydrologické údaje) přepočítat na tzv. normalizovaná čísla N, se kterými používaný model pracuje. Normalizační veličiny se rozumí lineární úprava škály dané veličiny. Tato data byla získána tak, že se od každé hodnoty veličiny x odečetla střední hodnota (průměr) této veličiny \bar{x} a tento rozdíl se dělil směrodatnou odchylkou s_x této veličiny. S touto normalizovanou veličinou se dále pracovalo.

$$N = (x - \bar{x}) : s_x \quad (1)$$

$$\bar{x} = (\sum x_i) : n \quad (2)$$

\bar{x} průměr veličiny

x_i hodnota veličiny

n počet měření.

Směrodatná odchylka s_x je druhou odmocninou rozptylu s_x^2 .

$$s_x = \sqrt{s_x^2} \quad (3)$$

Rozptyl s_x^2 je definován jako průměrná čtvercová odchylka počítaná od aritmetického průměru.

$$s_x^2 = [\sum (x_i - \bar{x})^2] : n \quad (4)$$

Takto připravená data byla analyzována pomocí statistické metody v počítačovém prostředí – programem Prognost zpracovaným a postupně zaváděným do praxe ve VODÁRENSKÉ AKCIOVÉ SPOLEČNOSTI, a.s. (VAS, a.s.).

Podstatou faktorové analýzy je odvodit hypotetické veličiny – faktory z řady pozorovaných proměnných. Faktory by měly být co nejjednodušší a měly by dostatečně přesně popisovat a vysvětlovat daná pozorování. Jedná se o metodu, která v určitém smyslu vy-

tváří hypotézy. Vychází z toho, že opakovaně měřené proměnné spolu velmi úzce souvisejí a jsou mezi sebou v silné korelaci. Potom tyto proměnné vyjadřují ve značné míře to stejné a dá se předpokládat, že se navzájem určují, a nebo se v nich projevuje další veličina, kterou nelze přímo měřit. Analýza tedy zjišťuje, zda se z pozorovaných proměnných dá izolovat veličina – faktor, který by objasnil pozorované souvislosti. Faktor je matematická veličina odvozená z řady pozorování. Faktorová analýza se používá především v takových oblastech, kde není možné manipulovat s pozorovanými proměnnými (Hebák, Hustopecký; 1987). Při faktorové analýze se vychází ze vztahu více současně pozorovaných proměnných. Obvykle se začíná zpracováním matice dat a z ní se získá korelační matice. Všechny korelační koeficienty mezi pozorovanými proměnnými jsou uspořádané do korelační matice. Ta obsahuje rozhodující informace o vztahu jednotlivých proměnných a také započítání rušivých vlivů. Analýzou korelační matice se získají faktory, které vykazují určité vztahy k proměnným. Faktory se otáčejí do takové polohy, ve které představují co možná nejjednodušší a nejjednoznačnější souvislost mezi proměnnými a faktory (Říha et al., 2002).

Do faktorové analýzy byly zahrnuty vedle údajů o jakosti vody a hydrologických ukazatelů také derivace veličin. Derivace vyjadřují změnu veličiny v čase. Byly spočítány sezonnosti a fázové posuny jednotlivých faktorů (5, 6). Červeně jsou zvýrazněny nejvyšší hodnoty na řádku. Při vyhodnocování této analýzy bylo nutné porovnat období působení určitého faktoru s grafy vývoje jakosti vody a úhrny srážek v jednotlivých obdobích a hledat souvislosti mezi jednotlivými veličinami tvořícími daný faktor.

Všechna čísla (procenta) v tabulce faktorové analýzy jsou násobky korelace a absolutních hodnot korelace (koeficienty determinace se znaménkem). V celém modelu je počítáno s kvadráty korelačních koeficientů se znaménkem. Silně jsou zvýrazněny nejvýznamnější (nejvyšší) hodnoty – koeficienty determinace na každém řádku. Cílem analýzy je interpretovat a vysvětlit co dané faktory ve skutečnosti představují.

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 všechny veličiny, které se na výpočtu faktorů podílely.
- V řádku podíl je procentické vyjádření významu jednotlivých faktorů.
- Hodnota λ udává počet veličin, které se podílejí na tvorbě příslušného faktoru. Součet všech λ odpovídá počtu vypočítaných faktorů.

- Vliv sezonnosti vysvětluje, jakou mírou působí na daný faktor sezonní vlivy. Pro výpočet sezonnosti se nejprve musí vypočítat sinus a cosinus data, které jsou následně zahrnuty do samotné faktorové analýzy. Program Prognost počítá tyto veličiny následovně:

$$\sin dat = \frac{\sin(2 \cdot \pi \cdot dat)}{365}, \quad (5)$$

$$\cos dat = \frac{\cos(2 \cdot \pi \cdot dat)}{365} \quad (6)$$

- hodnota 2π představuje jednu periodu, což odpovídá jednomu roku
- z hodnot sinus a cosinus se dále vypočítají arcsin a arccosin, pomocí nichž program Prognost vypočítává sezonnosti a fázové posuny
- čísla v řádku fázový posun objasňují, ve kterém měsíci je působení daného faktoru nejsilnější, přičemž program pracuje tak, že konec měsíce ledna je považován za hodnotu 1. Fázový posun např. 3,1 odpovídá dubnu; fázový posun je v rozmezí od +6 do -6
- naopak fáze opačného posunu je výpočet měsíce, kdy daný faktor působí nejslaběji
- datum představuje celé sledované časové období.

Vzhledem k tomu, že sledované období je dosti dlouhé (1985–2002), bylo velmi složité vysvětlit a interpretovat některé faktory. Při faktorových analýzách bylo zjištěno, že některé veličiny prokazují silný cyklický charakter podle času s roční periodou, což je logické, protože přírodní procesy souvisejí především s ročním cyklem. Problém byl ovšem v tom, jak vyjádřit míru cykličnosti veličin, protože každá veličina vykazuje jinou míru závislosti na ročním cyklování. Do analýzy již byly zařazeny harmonické funkce sinus a cosinus s roční periodou, a to poskytlo informaci o fázovém posunu ročního cyklování a o podílu na celkovém rozptylu. Tato analýza ovšem byla zaměřena pouze na roční cyklování a neposkytla žádnou informaci ohledně cyklických procesů s jinou periodou než roční. Proto byla pro zjednodušení komplexnosti data vyfiltrována použitím Fourierovy transformace (Tungli, Nováková; 2004). Pomocí Fourierovy transformace byla data vyfiltrována na tři složky, ze kterých byly následně zpracovávány tři samostatné faktorové analýzy. Vypočítané faktory v první analýze představují dlouhodobé procesy, druhá analýza popisuje roční a sezonní děje a v poslední jsou vyfiltrovány pouze krátkodobé pulsy a výkyvy. Tím se také velmi zjednodušila interpretace jednotlivých faktorů.

II: Výsledky faktorových analýz

	Vlivy dlouhodobé				Vlivy sezonní a roční				Krátkodobé výkyvy a pulsace				
	f1	f2	f3	f4	f1	f2	f3	f4	f1	f2	f3	f4	f5
d CHSK – Mn / d Datum	2,00%	77,40%	0,00%	-0,30%	51,90%	-6,70%	1,10%	16,40%	1,10%	46,80%	0,30%	7,60%	-0,80%
CHSK – Mn	70,00%	-0,10%	5,10%	0,20%	-5,20%	-49,50%	10,70%	-4,50%	37,80%	-0,90%	7,10%	-2,00%	-6,60%
mangan	68,90%	-5,10%	1,00%	-4,90%	26,40%	16,80%	50,20%	-0,10%	71,30%	0,00%	-3,10%	0,30%	1,60%
d amonné ionty / d Datum	2,40%	88,10%	0,20%	2,10%	-9,10%	20,70%	-0,10%	67,90%	-0,40%	84,00%	0,30%	-2,70%	-0,30%
amonné ionty	86,00%	3,90%	1,50%	-0,40%	36,60%	9,30%	37,80%	1,20%	73,20%	-0,50%	0,30%	-1,50%	1,60%
d chloridy / d Datum	-10,40%	-6,20%	0,60%	74,10%	-67,40%	-2,70%	-3,70%	-3,80%	41,50%	-2,10%	5,40%	1,80%	0,00%
chloridy	-10,00%	0,10%	79,70%	-2,50%	-2,40%	55,50%	-2,10%	1,50%	1,30%	52,80%	0,10%	-0,10%	-0,30%
d dusičnany / d Datum	6,80%	51,60%	0,00%	-8,70%	1,80%	86,80%	-1,10%	-1,70%	3,70%	13,20%	10,70%	0,00%	-1,40%
dusičnany	17,40%	-0,30%	0,00%	0,00%	80,70%	-2,30%	-4,20%	0,80%	5,10%	28,40%	5,70%	-0,30%	-0,20%
d dusitany / d Datum	14,10%	44,90%	0,30%	23,50%	63,20%	5,40%	-9,40%	2,50%	-16,90%	4,50%	-0,30%	1,90%	-1,00%
dusitany	3,40%	-4,20%	62,50%	9,10%	4,80%	-74,30%	1,40%	0,10%	2,90%	3,50%	90,10%	0,00%	0,00%
d fosforečnany / d Datum	40,10%	-3,30%	-4,40%	-7,40%	-80,20%	3,00%	1,40%	11,50%	0,00%	36,10%	0,50%	-0,70%	6,90%
fosforečnany	58,20%	1,00%	3,70%	1,10%	4,80%	81,50%	4,90%	0,00%	39,10%	1,00%	0,00%	2,40%	2,70%
d prům. měsíč. výš. hl. / d	3,00%	21,50%	-0,20%	42,10%	6,30%	63,30%	-1,20%	-3,50%	1,30%	31,20%	12,30%	2,20%	1,70%
prům. měsíč. výška hl.	38,90%	-1,10%	30,60%	1,20%	47,70%	-7,50%	-25,80%	0,80%	14,50%	-4,10%	2,50%	3,50%	-3,50%
měsíční odtok	75,90%	-5,80%	-4,50%	-0,10%	65,80%	1,60%	11,70%	-0,60%	65,00%	0,10%	-0,10%	2,50%	-1,60%
d srážky / d Datum	6,70%	54,20%	-1,30%	0,30%	78,80%	3,00%	-1,20%	-2,40%	-3,00%	-0,50%	-0,80%	-0,20%	93,00%
srážky	64,30%	-1,50%	-2,90%	0,60%	3,30%	-81,10%	-0,20%	0,60%	-0,70%	1,70%	0,00%	95,40%	-0,10%
podíl	32,10%	20,60%	11,00%	9,90%	35,70%	32,00%	9,40%	6,70%	21,00%	17,30%	7,80%	7,00%	6,90%
λ	5,78	3,703	1,986	1,787	6,36227	5,71249	1,68225	1,2022	3,78828	3,11316	1,39589	1,25184	1,23336
datum	-17,20%	6,90%	-26,40%	-1,00%	0,00%	0,00%	-0,30%	0,00%	0,00%	-1,10%	0,10%	0,30%	0,00%
sezonnost	0,10%	0,30%	0,00%	0,00%	13,70%	16,20%	3,70%	1,30%	0,10%	0,40%	0,10%	0,20%	0,10%
fázový posun	4,2	3,2	5,6	4,3	3,7	0,7	-2,1	-5,5	2,2	0,1	-5,5	-5,8	1,1
fáze opačného faktoru	10,2	9,2	11,6	10,3	9,7	6,7	3,9	0,5	8,2	6,1	0,5	0,2	7,1

VÝSLEDKY

Vzhledem k velkému rozsahu výsledných tabulek faktorových analýz jsou zde uvedeny pouze zkrácené tabulky s nejvýznamnějšími faktory vypočítanými v jednotlivých analýzách (tab. II).

Vlivy dlouhodobé

Nejsou brány v úvahu roční změny ani krátkodobé výkyvy – sezonnost se pohybuje kolem 0 %. Je zde velmi silná závislost na veličině datum.

Nejvýznamnější jsou faktory f1 – 32,1 % a f2 – 20,6 %. Analýzou došlo k separaci veličin do faktorů f1 a f3 a jejich derivací do faktorů jiných – f2 a f4. To znamená, že veličiny a jejich derivace se nijak nemíchají, výjimkou jsou pouze fosforečnany, které projevují zpětnou vazbu.

Faktor f1 – jedná se o faktor, kdy s množstvím srážek souvisí výška hladiny i průměrný měsíční odtok. Vzhledem k tomu, že se jedná o dlouhodobý vývojový trend, v závislosti na srážkách dochází k ovlivňování hladiny a následně odtoku. Zároveň je patrný vztah na CHSK – Mn, mangan a amonné ionty – to lze vysvětlit jako jejich dlouhodobý vnos do nádrže. U fosforečnanů je situace odlišná.

Fosforečnany jako veličina i jako derivace zůstaly v tomto faktoru neodděleny. Fosforečnany se během procesů v nádrži žádným způsobem nepřeměňují, mohou se pouze částečně vázat v organických sloučeninách. Projevuje se u nich zpětná vazba, protože nemohou stále jen narůstat v průběhu 20 let, ale dochází k jejich spotřebě živými organismy, navázání na organické sloučeniny nebo vypouštění. Z hlediska dlouhodobého vývoje pak mají srážky přímý vliv na fosforečnany i na jejich změny (derivace), tj. následné snižování koncentrace fosforečnanů.

Chloridy i jejich změna v čase mají negativní vazbu – jsou nepřímo úměrně všem předcházejícím veličinám. To znamená, že z dlouhodobého pohledu srážek, které ovlivňují odtok, průměrné měsíční hladiny, CHSK – Mn a amoniak, mají negativní vztah k chloridům i k jejich případným změnám (ve zvýšených srážkách nemají přímý zdroj původu a důsledkem toho dochází k jejich naředění).

Celkově má faktor f1 klesající časový trend, což je patrné v řádku *datum* zápornou hodnotou 17,2 % a prakticky to souvisí i s nepatrným poklesem hodnot u zmíněných veličin. Nejsilnější působení tohoto faktoru je ve 4,2. měsíci, což představuje začátek května. Nejslabší vliv tohoto faktoru je v 10,2. měsíci, tj. na začátku listopadu.

Tento faktor hodnotí dlouhodobý vliv povodí i nádrže v souvislosti s jarními srážkami.

Faktor f2 – charakterizuje změny vyplývající ze změny srážek. Pokud se zvyšují srážky i výška hladiny, přímo úměrně se mění CHSK – Mn, amoniak, dusičnany i dusitany.

V době, kdy se vyskytují srážky, dochází ke zvyšování dusíkatých (dusičnany, dusitany i amonné ionty) a organických látek (o tom svědčí kladná změna CHSK-Mn) v nádrži. Z toho plyne, že tyto látky se přímo úměrně se změnou srážek dostávají do nádrže – povrchový přítok.

Faktor má velmi silné působení v 3,2. měsíci – tj. na začátku dubna, kdy vlivem srážek dochází k vyplavování dusíkatých a organických látek z půdy, která není dostatečně chráněna vegetačním porostem. Nejslaběji působí na začátku října, což pravděpodobně souvisí s nižším výskytem srážek. V čase má mírně rostoucí charakter a má značně vysoký podíl – 20,6 %.

Tento faktor hodnotí změny, především vliv zvýšených srážek na vnos uvedených látek do nádrže.

Faktor f3 – vypovídá o vztahu chloridů a dusitanů při nízkých stavech hladiny. Nejvíce působí v 5,6. měsíci, tj. v polovině června. Nemá na něho prakticky zásadní vliv žádná jiná veličina. Faktor charakterizuje období, kdy výška hladiny (a současně i hodnota srážek) je nepřímo úměrná koncentracím chloridů a dusitanů.

V důsledku nízkých stavů hladiny jsou naopak vyšší koncentrace chloridů a dusitanů. Chloridy se nepřeměňují a tím, že se z nádrže vypouští jen minimální množství vody potřebné pro biologický průtok v korytě pod nádrží, dochází k jejich koncentraci.

Dusitany jsou přechodnou dusíkatou sloučeninou při oxidačně-redukčních dějích mezi amonnými ionty a dusičnany. Dusitany v tomto faktoru mohou pocházet ještě z jarního období po cirkulaci nádrže. V době bez srážek dochází k poklesu kyslíku v nádrži a zároveň ještě neprobíhá silná eutrofizace vody, tudíž zde není ani silné redukční prostředí a za těchto podmínek jsou dusitany relativně stabilní.

Nejnižší působení faktoru je v 11,6. měsíci, tj. v prosinci. Faktor má velmi klesající tendence. Tento faktor vypovídá o dlouhodobém chování nádrže při nízkých stavech hladiny s dopadem na obsah stabilních aniontů.

Faktor f4 – jedná se opět o faktor změn, kde jsou vyfiltrovány pouze derivace veličin. Se změnou – snížením výšky hladiny dochází ke změně – zvyšování koncentrací chloridů a dusitanů. Tyto změny jsou nejsilnější v 4,3. měsíci – začátkem května, což potvrzuje vysoké hodnoty chloridů a dusitanů v následujícím období po této změně – viz f3. Minimální působení tohoto faktoru je v 10,5. měsíci – to znamená v polovině listopadu.

Tento faktor změny je patrný především u chloridů, jejichž koncentrace jsou vždy v povrchové vodě vyšší než koncentrace dusitanů.

Je to faktor změn chloridů (i dusitanů) v závislosti na snižování hladiny vody v nádrži.

Vlivy sezonní a roční

Na rozdíl od předchozí analýzy se zde projevuje dynamika. Je zde patrný významný vliv sezonnosti. Jednotlivé faktory modelují, jak se kvalita vody vyvíjí v průběhu roku. Projevují se zde roční výkyvy a lidský faktor. Během roku se v nádrži rozlišují čtyři cyklická období – dvě statická a dvě dynamická. Statická období představují léto a zima a dynamická jaro a podzim. V létě dochází ke stratifikaci vody podle hloubky, kdy u hladiny je teplota vyšší než ve větších hloubkách, v zimě je tomu naopak. Na podzim a na jaře se jednotlivé vrstvy vody promíchávají a po určitou dobu je teplota ve všech hloubkách stejná.

Faktor f1 – změna srážek působí pozitivně na výšku hladiny i množství odtoku – působení lidského faktoru, kdy se odpouští velké množství vody – regulace z důvodu protipovodňové ochrany. Nejsilnější působení tohoto faktoru je v 3,7. měsíci – v dubnu, nejslabší v 9,7. měsíci – v říjnu.

Se změnou srážek se mění i zvyšuje CHSK – Mn, narůstají dusitany, v tomto období je vysoká koncentrace dusičnanů a amonných iontů, velmi výrazná je záporná derivace fosforečnanů a chloridů.

Zvyšování CHSK – Mn lze interpretovat tak, že povrchovým přítokem se změnou srážek se do nádrže dostává větší množství organických látek a také v rámci jarního promíchávání vod přímo v nádrži se ze dna uvolňují sedimenty, které také obsahují vysoký podíl organického materiálu.

Povrchový přítok v tomto období obsahuje dusíkaté látky – amonné ionty a především velké množství dusičnanů. V této fázi má vysokou hodnotu změna dusitanů, kdy v rámci oxidačních procesů dochází k oxidaci amonných iontů (záporná derivace). Snižování fosforečnanů v čase souvisí s vyšším obsahem živých organismů, které fosforečnany spotřebovávají. Záporná derivace chloridů – jejich pokles v jarním období souvisí s nárůstem srážek a dochází tak k jejich ředění v nádrži.

Jedná se o faktor charakterizující obsahy látek v závislosti na zvýšených srážkách, především v jarním období.

Faktor f2 – období bez srážek, nízká CHSK – Mn, neprobíhají tolik oxidační procesy. Jedná se o faktor působící nejvíce v zimě – na konci ledna (0,7. měsíc), nejméně v létě (6,7. měsíc). V nádrži je malé množství živých organismů, proto se nespotebovávají fosforečnany a v nádrži jsou ve velkém množství. Je zde také vyšší obsah chloridů, které nepodléhají žádným chemickým procesům, jejich původ v odpadních vodách je poměrně konstantní a zvýšené množství pochází pravděpodobně z chemického posypu vozovek.

V zimním období jsou v nádrži nižší teploty vody, tím dochází k vyššímu % nasycení kyslíkem a probíhá oxidace dusitanů na dusičnany. Nádrž plněná

pouze z přítoků, vypouští se minimálně a stoupá výška hladiny.

Jedná se o faktor popisující zimní období bez srážek.

Faktor f3 – představuje homotermní režim v podzimním období – maximální vliv faktoru v 9,9. měsíci, což je konec října.

Nedochází ke srážkám, klesá výška hladiny vody v nádrži a vypouští se pouze takové množství vody, aby byl zachován asanační průtok v korytě pod nádrží. Jedná se o období po podzimní cirkulaci, vlivem které se objevuje vysoké množství manganu a amonných iontů uvolněných ze dna nádrže (u CHSK – Mn se neprojevuje takovou intenzitou), kde je redukční prostředí.

Jedná se o faktor charakterizující procesy po podzimní cirkulaci nádrže, pokud je období bez srážek.

Faktor f4 – popisuje situaci, která má nízkou závislost na sezonnosti (jen 1,3 %) a jeho podíl nedosahuje ani 7 %. Jednalo by se o letní období bez srážek. V důsledku toho by byl nízký odtok a výška hladiny by klesala. V souvislosti s tím nastává vysoká kladná změna amonných iontů a mírná změna u CHSK – Mn a fosforečnanů.

Popsané podmínky a zejména nízký podíl tohoto faktoru a jeho nízká závislost na sezonnosti se nemohou zásadně projevit na vývoji kvality vody v místě vodárenského odběru. Z tohoto důvodu není tento faktor dále popisován.

Krátkodobé výkyvy a pulsace

Odtok, výška hladiny a srážky se dostávají do různých faktorů, protože jejich vzájemné působení (hydrologické vlivy) se vymyká krátkodobým procesům.

Faktor f1 – jedná se o krátkodobá působení v obdobích maximálních odtoků z nádrže, při běžném průběhu teplot a nízkých srážkách.

Působení toho faktoru je nejčastější v březnu, neopakuje se pravidelně. Popisuje vysoké koncentrace manganu, jedná o jeho skutečná maxima při výskytu tohoto faktoru. V ostatních souvisejících ukazatelích – fosforečnany, amonné ionty, CHSK – Mn, se zpravidla jedná o krátkodobá maxima.

Faktor se projevuje nejčastěji v období jarní cirkulace (březnové termíny, vysoká CHSK – Mn, mangan, amonné ionty a fosforečnany), ne však pravidelně, ale vždy s vysokým, případně maximálním odtokem z nádrže. Pravděpodobně jde o situace, kdy současně s jarní cirkulací vody dochází k ovlivňovanému odtoku z nádrže, což může souviset s jejím retenčním účelem (zachycení zásob vody z tajícího sněhu). Pouze u ukazatele manganu se vyskytovala absolutní maxima, která mohla mít zásadnější vliv na kvalitu vody. Ostatní kvalitativní ukazatele se rozhodujícím způsobem nepodílejí na vývoji jakosti surové vody.

Faktor f2 – jeho podíl je pouze 17,3 %, nesouvisí s datem – dlouhodobými jevy, ani se sezonností – ročními a sezonními jevy. Popisuje extrémní situace v době bez srážek. Po porovnání působení tohoto faktoru s průběhem teplot a současně s hodnotami jednotlivých ukazatelů, které tento faktor vytvářejí (chloridy, změny u CHSK – Mn, amonných iontů a fosforečnanů) je možné vyvodit následující: především se jedná o krátkodobé vlivy, které souvisely s extrémními teplotami. V zimních měsících šlo vždy o minima, v letních měsících naopak o maxima. Ukazatelé jakosti tvořící tento faktor byly rovněž v extrémních hodnotách krátkého časového úseku (nejednalo se o maxima za celé sledované období).

Právě proto, že jde o krátkodobý vliv a ne o absolutní maxima, nemá tento faktor rozhodující dopad na vývoj jakosti surové vody v místě odběru. Jedná se o faktor extrémně časově krátkých úseků.

Faktor f3 – ukazuje na situace bez srážkových úhrnů, při mírném poklesu hladiny, kdy se vyskytují vysoké hodnoty dusitanů a dochází ke změnám – nárůstu dusičnanů. Tento faktor má podíl necelých 8 % a byl vyhodnocen jako krátkodobý výkyv. Nejčastěji se vyskytuje v letním období, při maximálních teplotách vody a tím i vysokém výparu (dle manipulačního řádu výpar v červenci 140 mm), kdy jsou v nádrži maximální koncentrace dusitanů, což ukazuje na extrémní podmínky způsobené eutrofizací nádrže. Několikrát za sledované období se tento faktor objevil i v únoru při nízkých teplotách vody, kdy docházelo k nárůstu dusičnanů (což postihuje také velmi slabá derivace dusitanů, charakterizující právě zimní období). V podstatě se jedná o nepravidelné a krátkodobé okamžiky, kdy výše uvedené okolnosti způsobují vysoké koncentrace dusitanů v létě a přeměnu dusitanů na dusičnany v zimě.

Faktor f4 – charakterizuje krátkodobé a výrazné srážky a jejich okamžitý účinek. Jejich dlouhodobý vliv tento faktor nepostihuje, a proto vedle srážek je výrazněji zaznamenána pozitivní změna CHSK – Mn. Výrazný výskyt tohoto typu srážek podle hlavních komponent byl potvrzen průběhem srážek.

Faktor f5 – popisuje zvýšení obsahu fosforečnanů v souvislosti s extrémním nárůstem srážek. Jedná se o okamžitý výskyt fosforečnanů v závislosti na srážkách, což je nejčastěji spojováno s prvním propláchnutím jednotných kanalizací s příchodem větší srážky.

DISKUSE

Způsob hospodaření v povodí – velkoplošné intenzivní využívání pozemků a kultur na nich, **v kombinaci se srážkami**, jsou jedním z hlavních vnějších činitelů povodí působících na jakost vody. Jedná se o kombinaci antropogenních a přírodních vlivů. Konfigurace terénu, svažitá území, mnohdy

nevhodné kultury na těchto pozemcích jsou příčinou odnosu organických látek. Jejich vyplavování i transport závisí na vodním prostředí, které vytváří atmosférické srážky. Touto cestou se ze sledovaných ukazatelů do povrchových vod dostávají organické látky (CHSK – Mn) a všechny formy dusíkatých látek, případně část manganu z půd. Nejčastěji k tomuto ději dochází v jarním období, kdy území bez trvalých vegetačních porostů je silně ovlivňováno jednak splachy z tajícího sněhu a jednak dešťovými srážkami. Tyto vztahy jsou interpretovány v popisu faktorů f1 dlouhodobých vlivů a ročních a sezonních vlivů. Vyšší srážky, které se s určitou pravidelností objevují v jarním období (nezapojené porosty, plochy ohrožené erozí), jsou vnějším vlivem povodí, který je charakterizován faktorem f1 u sezonních vlivů.

Se srážkami a určitými podmínkami zemědělského hospodaření (intenzivně využívané odvodněné pozemky) souvisí i další vnější vliv povodí, kterým je **působení vod z drenážních systémů** na vývoj jakosti vody v nádrži. Je vyjádřen v dlouhodobém faktoru f2. Plocha zemědělsky využívané části povodí nad vodárenským odběrem je z 36 % odvodněna (tab. I). Tato skutečnost v kombinaci s většími srážkami zejména v období nedostatečného vegetačního krytu zemědělské půdy se projevuje výrazným vyplavováním dusíkatých a organických látek z půd, které se tak dostávají s povrchovou vodou do nádrže. Působení tohoto vnějšího vlivu v průběhu roku popisuje faktor f2 sezonních vlivů.

Významným kvalitativním ukazatelem surové vody je obsah **fosforečnanů**. Vzhledem k tomu, že se nepřeměňují a jsou spotřebovávány živými organismy, mají rozhodující vliv na výskyt i množství těchto organismů v povrchové vodě. Původ a rovnoměrný přísun fosforečnanů je v komunálních odpadních vodách. Tento vnější vliv povodí je popsán v dlouhodobém faktoru f1.

Vedle dlouhodobého pravidelného přísunu fosforečnanů do nádrže je jejich výskyt i působení popsán v krátkodobých faktorech f2 a f5. Faktor f2 s podílem vlivu 17,3 % popisuje extrémní situace v době bez srážek, kdy dochází k poměrně výraznému nárůstu fosforečnanů. Jeho působení v letních obdobích bude v oblasti Vranovské nádrže s největší pravděpodobností spojeno s rozvinutou rekreací. Vyskytuje se zde celá řada rekreačních objektů s nedořešenou likvidací odpadních vod, které se jak během rekreační sezony, tak i na jejím konci, dostávají do povrchových vod nádrže. Způsobují tak pouze krátkodobé výkyvy v koncentraci fosforečnanů.

Faktor f5 popisuje rovněž nepravidelné a krátkodobé extrémy v přísunu fosforečnanů a byl vyhodnocen jako proplachování jednotných kanalizací při extrémních srážkách, které zaplní celý profil stok.

Mezi vnější vlivy povodí patří i **přírodní prostředí**. V zájmovém území Vranovské nádrže se jedná především o výskyt manganu a chloridů, které se nachází v horninovém prostředí a větší nebo menší část zjištěných koncentrací pochází z těchto zdrojů.

V přeměněných horninách (ruly) mají původ především mangan a železo, chloridy souvisejí převážně s nedalekými ložisky solí na území Rakouska. Jejich pravidelný přísun charakterizují dlouhodobé faktory, u manganu faktor f1 a u chloridů faktor f3.

SOUHRN

Použitá metoda kombinace faktorové analýzy a Fourierovy transformace není ve vodárenství zcela běžně využívána. Vzhledem k tomu, že použitý statistický program Prognost je schopen provádět analýzy pouze z omezeného počtu veličin, byl do analýz zahrnut jen okruh vybraných ukazatelů jakosti povrchové vody. Nebylo proto možné prokázat vliv všech případných činitelů v povodí (antropogenních i přírodních) podílejících se na jakosti vody v nádrži Vranov nad Dyjí. Vybranými ukazateli bylo možné postihnout především vliv intenzivní zemědělské činnosti, osídlení a rekreace (zvláště z pohledu vypouštění a čištění odpadních vod), klimatických vlivů (srážky) a částečně i přírodního pozadí. Vybrané ukazatele kvality vody nehodnotí například vliv průmyslu. Kromě kvalitativního složení přítokové vody je jakost vody v nádrži ovlivňována také biologicko-chemickými procesy, které zde probíhají.

faktorová analýza, Fourierova transformace, kvalita vody

Práce je součástí výzkumného záměru MSM 432100001.

LITERATURA

- HEBÁK, P., HUSTOPECKÝ, J.: *Vícerozměrné statistické metody s aplikacemi*. Praha: SNTL, 1987, s. 209 – 231
- HLAVÁČ, J. et al.: Učebnice vodárenství CD Rom, VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a. s., Brno, 2003
- NOVÁK, J.: Hospodaření v PHO Vranov VAS a.s., Brno, 1991
- NOVÁK, J.: OP ve smyslu zákona č. 14/1998 Sb. (novela zákona č. 138/1973 Sb. o vodách) a Vyhlášky č. 137/1999 Sb., VAS a. s., Brno, 2000
- NOVÁKOVÁ, P.: Zhodnocení vlivů vnějších činitelů povodí na jakost vody. Dizertační práce. Brno: MZLU v Brně, 2004. 156 s.
- PITTER, P.: *Hydrochemie*. 2. vyd. Praha: VŠCHT, 1999, 568 s.
- ŘÍHA, J. et al.: *Jakost vody v povrchových tocích a její matematické modelování*. 1. vyd. Brno: NOEL 2000 s.r.o., 2002. 267 s.
- TUNGELI, L., NOVÁKOVÁ, P.: Využití Fourierovy transformace ve vodárenství. In *Konference Pitná voda 2004*, Tábor, 2004, s. 369-375
- Zákon o vodách č. 254/2001 Sb. v platném znění

Adresa

Ing. Petra Nováková, Ph.D., Ing. Milada Šťastná, Ph.D., Ústav aplikované a krajinné ekologie, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: petra.novakova@uake.cz, stastna@mendelu.cz