



**VEOLIA**

**VODA**

MORAVSKÁ VODÁRENSKÁ, a.s.

**sborník příspěvků**

XVII. mezinárodní vodohospodářská konference

# **VODA ZLÍN**

# **2013**

14. - 15. 3. 2013

**ZLÍN HOTEL MOSKVA**

**voding**  
Hranice spol. s r.o.

# Ztráty vody v přivaděčích Brněnské vodárenské soustavy

Pavel Višcor

Brněnské vodárny a kanalizace, a.s., Hybešova 254/16, 657 33 Brno, [pviscor@bvk.cz](mailto:pviscor@bvk.cz)

---

## Anotace

*V roce 2012 byl proveden výpočet objemu ztrát vody v přivaděčích Brněnské vodárenské soustavy za rok 2011, v následujícím roce i za rok 2012. Byly popsány skutečnosti, které ovlivňují přesnost výpočtu, zejména vliv přesnosti používaných průtokoměrů. Byl proveden odhad chyb výpočtu ztrát vody v přivaděčích. Analyzován byl systém měření průtoků v přivaděčích, systém detekce úniků vody a odlišný provozní režim přivaděčů. Z provedené analýzy vyplynuly návrhy na zlepšení systému měření ztrát v přivaděčích.*

## 1. Úvod

V roce 2011 byly zaznamenány velmi nízké hodnoty ztrát vody Brněnské vodárenské soustavy. Přispělo k tomu i zpřesnění měření průtoků na zdroji vody v Březové nad Svitavou. Kompletní roční časové řady průtoků roku 2011 bez výpadků, uložené v databázi dispečinku, umožnily vyčíslit objemy vody na vstupech a výstupech přivaděčů, porovnat je s objemem výroby vody a vypočítat objem ztrát vody v přivaděčích za rok. Výsledkem výpočtu celkových ztrát vody ve třech hlavních přivaděčích Brněnské vodárenské soustavy za rok 2011 byla malá záporná hodnota. Bylo třeba zodpovědět otázku, jak přesně jsme schopni ze vstupních dat vypočítat výslednou hodnotu ztrát.

## 2. Přivaděče Brněnské vodárenské soustavy

Voda je do hlavní části Brněnské vodárenské soustavy, tj. do Brna a dalších obcí, přiváděna ze zdrojů třemi přivaděči – viz obr. 1. V dalším textu se přivaděči rozumí:

- **přivaděč I. březovského vodovodu (I. BV)**, úsek Březová n. S. - Brno, délka 57 km, DN 650 a DN 600, potrubí z šedé litiny,
- **přivaděč II. březovského vodovodu (II. BV)**, úsek Březová n. S. - ČS Čebín, délka 42 km, DN 1200 a DN 1000, ocelové potrubí,
- **přivaděč Vírského oblastního vodovodu (VOV)**, úsek ÚV Švařec - ČS Čebín, délka 30 km, DN 1400 ze sklolaminátových trub, DN 2100 železobetonové tlakové štoly.

V roce 2011 byly zaznamenány pouze dvě poruchy na přivaděči VOV, na březovských přivaděčích žádné. V roce 2012 se vyskytly pouze 4 poruchy na přivaděči I. březovského vodovodu. Voda je odebírána i po trasách přivaděčů.

## 3. Definice chyb

Výpočet hodnot fyzikálních veličin je téměř vždy zatížen chybami. V případě stanovení objemu ztrát vody v přivaděčích lze vyloučit chyby matematického modelu i chyby numerické metody. Matematické vztahy jsou jasně dané a není potřeba použít zjednodušující numerické metody. Chyby zaokrouhlovací jsou velmi malé ve vztahu k výsledku výpočtu, takže je z dalších úvah lze vyloučit také. Zůstávají tak chyby vstupních dat, které jsou pro výpočet ztrát vody určující.

Je-li  $x_0$  přesná hodnota nějakého čísla a  $x$  její aproximace, jejich rozdíl  $E(x)$  se nazývá **absolutní chyba aproximace**.

$$E(x) = x_0 - x .$$

**Relativní chyba**, která se též často vyjadřuje v procentech, se počítá

$$RE(x) = (x_0 - x)/x .$$



*Obr. 1 Přivaděče Brněnské vodárenské soustavy – schéma včetně označení průtokoměrů*

Každé nezáporné číslo  $ME(x)$ , pro které platí

$$|x_0 - x| \leq ME(x) ,$$

nazýváme **odhad absolutní chyby** aproximace  $x$  nebo **mezní absolutní chyba**. Každé nezáporné číslo  $MR(x)$ , pro které platí

$$|x_0 - x| / |x| \leq MR(x), x \neq 0$$

nazýváme **odhad relativní chyby** nebo **mezní relativní chyba**. Odhad mezní absolutní chyby **součtu** nebo **rozdílu** dvou čísel je **součtem** mezních absolutních chyb obou čísel.

#### 4. Výpočet ztrát vody v přivaděčích

Při výpočtu ztrát vody jsou používány jednoduché vzorce a aritmetické operace sčítání a odčítání.

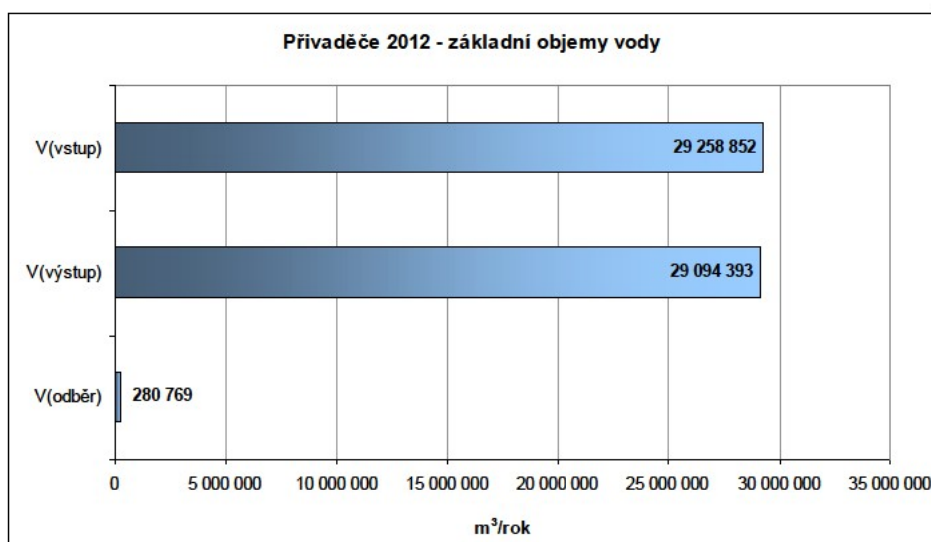
Ztráty vody v přivaděčích  $V_{ztr}$  jsou počítány

$$V_{ztr} = V_{vstup} - V_{výstup} - V_{odběr} \quad [m^3/rok], \text{ kde}$$

$V_{vstup}$  je součet objemů vody na vstupech do přivaděčů,

$V_{výstup}$  součet objemů vody na výstupech z přivaděčů a

$V_{odběr}$  součet objemů vody odebírané po trasách přivaděčů.



**Obr. 2** Základní objemy vody pro výpočet (2012)

Výpočet byl proveden celkově pro oba přivaděče březovských vodovodů, a to kvůli skutečnosti, že průtok na vstupu do přivaděče I. březovského vodovodu není dosud měřen a ve vodojemu Březová nad Svitavou 5000 m<sup>3</sup> dochází k rozdělení množství jímáné vody do obou přivaděčů. Výpočet byl dále proveden pro přivaděč VOV. Pro zjednodušení je v tomto textu uvedena pouze celková tabulka pro všechny přivaděče, a to za roky 2011 a 2012.

**Tab. 1** Výpočet celkových ztrát vody přivaděčů včetně odhadu mezní chyby

	Zdroj dat	Množství 2011 v m <sup>3</sup> /rok	Množství 2012 v m <sup>3</sup> /rok
Zdroj I. BV (BREV.F01)	odečet na místě	7 670 170	7 908 690
Zdroj II. BV (BREV.F04)	odečet na místě	19 901 979	19 778 903
ÚV Švařec (SVA.F02+SVA.F03)	odečet na místě	1 564 276	1 571 259
Odběr Březová n. S. z VDJ 5000 m <sup>3</sup>	odečet na místě	86 786	51 479
Odběr z I. BV po Holé hory II (1)	voda předaná	4 985	7 747
Odběry z II. BV po Čebín (3)	voda předaná	118 846	122 480
Odběry z VOV po Čebín (5+4)	v. předaná + apl. Bilance	97 979	99 063
Přítok I. BV do HH II (HH2.F01)	apl. Bilance	8 198 604	7 976 103
Přítok II. BV do Čebína (CEB.F01)	apl. Bilance	19 405 885	19 636 652
Přítok VOV do Čebína (CEB.F02)	apl. Bilance	159 234	873 369
Přítok VOV do Čebína (CEB.F04)	apl. Bilance	1 228 592	608 269
<b>Ztráty = (BREV.F01+BREV.F04+SVA.F02+SVA.F03)-(odběry BV+odběry VOV)-(HH2.F01+CEB.F01+CEB.F02+CEB.F04)</b>		<b>-164 486</b>	<b>-116 310</b>
Ztráty včetně odhadu chyby měření (při rel. chybě měřidel 0,5%)		-160 000 ± 290 000	-120 000 ± 290 000
Ztráty včetně odhadu chyby měření (při rel. chybě měřidel 1,0%)		-160 000 ± 580 000	-120 000 ± 590 000
Ztráty včetně odhadu chyby měření (při rel. chybě měřidel 2,0%)		-160 000 ± 1 170 000	-120 000 ± 1 170 000
Ztráty včetně odhadu chyby měření (při rel. chybě měřidel 5,0%)		-160 000 ± 2 920 000	-120 000 ± 2 930 000
<b>Odhad ztrát přivaděčů po korekci (viz text)</b>		<b>220 000</b>	<b>280 000</b>
Objem vody nefakturované celk. (pro porovnání)		2 910 684	2 942 765

Tabulka 1 ukazuje, jaké přesnosti je možné dosáhnout pro různé vstupní relativní chyby měřidel. Jak bylo uvedeno výše, odhad mezní chyby výsledku, který je dán součtem nebo rozdílem několika čísel, je součtem odhadu mezních chyb všech vstupních hodnot. Pokud by byla relativní přesnost všech měřidel stejná, největší absolutní chybu by do výsledku vnášela měřidla s největším zaznamenaným průtokem. Zásadní je při výpočtu odčítání dvou blízkých čísel, vstupu a výstupu z přivaděče.

### 5. Používané průtokoměry

Pouze dva ze sedmi „velkých“ průtokoměrů používaných pro výpočet ztrát v přivaděcích jsou stanovená měřidla – viz tabulka (kategorie B2). Jsou to průtokoměry pro odečet odebírané podzemní vody v Březové nad Svitavou BREV.F01 a BREV.F04. Ostatní byla zařazena do kategorie pracovní měřidla (D1 kalibrována při nákupu, D2 nejsou kalibrována). Právními předpisy ČR stanovujícími postupy v oblasti metrologie jsou zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii, v platném znění, a navazující právní předpisy.

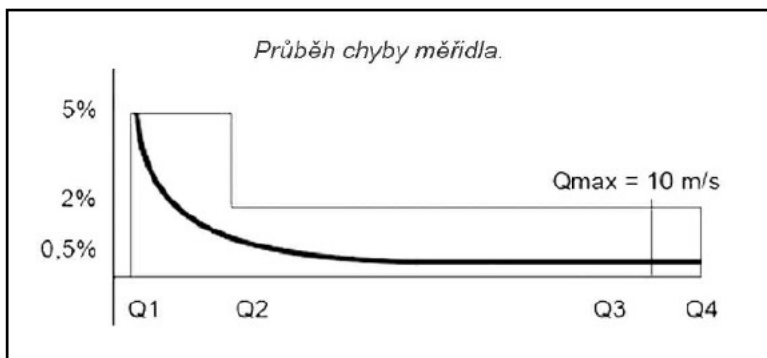
Tab. 2 Průtokoměry

Přivaděč	Průtokoměr	Umístění	Typ	DN	Kateg. měř.
I.BV+II.BV	BREV.F01 (výroba I.BV)	VDJ Březová 5000 m <sup>3</sup>	ultrazvuk, UF321	600	B2
	BREV.F04 (výroba II.BV)	VDJ Březová 5000 m <sup>3</sup>	indukční, ACQUAMAG F31	1000	B2
	HH2.F01 (přítok I.BV na Holé hory II)	VDJ Holé hory II	indukční, SIMA FC I	500	D1
	CEB.F01 (přítok II.BV)	VDJ Čebín (ZČS)	Ultrazvukový, Danfos- Sonoflo3000 F01	800	D2
VOV	SVA.F02 (odtok z ÚV do Čebína)	ÚV Švařec	indukční, Danfoss MAG 3000	1000	D2
	CEB.F02 (přítok VOV)	VDJ Čebín (ZČS)	Ultrazvukový, Danfos- Sonoflo3000 F02	1000	D2
	CEB.F04 (přítok VOV DN 300)	VDJ Čebín (ZČS)	indukční, Acquamag F04	300	D2
II. BV	BREV.F05 (vstup do II. BV)	VDJ Březová 5000 m <sup>3</sup>	Indukční, ACQUAMAG F31	800	D1

Tab. 3 Třídy přesnosti měřidel dle OIML R 49-1

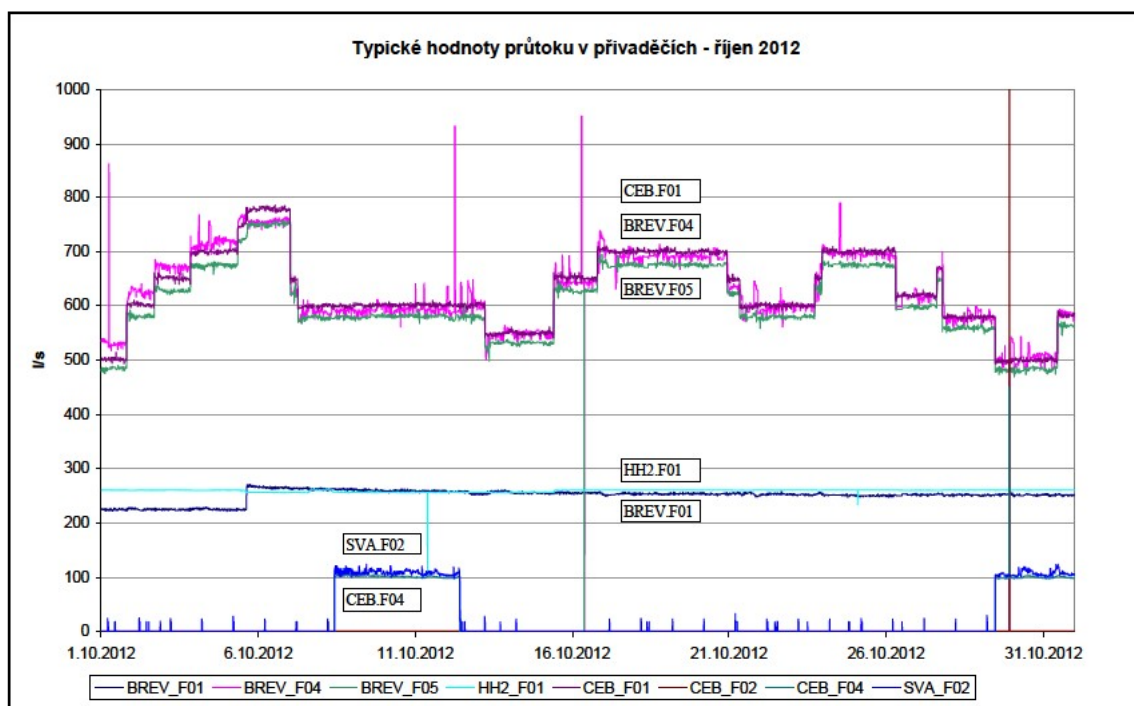
Třída přesnosti dle OIML R 49-1	Maximální přípustná chyba v rozsahu průtoků $Q_1 \leq Q < Q_2$	Maximální přípustná chyba v rozsahu průtoků $Q_2 \leq Q \leq Q_4$
Class 1	3 %	1 %
Class 2	5 %	2 %

Relativní chyba měřidel se obvykle zvětšuje se snižujícím průtokem (rychlostí) – obr. 3. Například indukční průtokoměr DN 1000 SVA.F02 na výstupu z ÚV Švařec měří typicky v rozsahu 100-120 l/s, kdy rychlost nepřesahuje 0,15 m/s. To je dáno nevyužíváním plné kapacity úpravní i přivaděče VOV.



**Obr. 3** Průběh chyby průtokoměru AcquaMAG s vyznačením hranic přípustných chyb dle OIML R 49-1 (pro DN 1000:  $Q_1 = 69$  l/s,  $Q_2 = 111$  l/s,  $Q_3 = 6944$  l/s a  $Q_4 = 8681$  l/s)

V rámci výpočtu ztrát vody v přívaděčích za rok 2011 a 2012 proběhla i kontrola časových řad nejdůležitějších průtokoměrů a byly určeny typické rozsahy průtoků měřidel – graf na obr. 4. Měření jsou v současné době všechny hlavní vstupy a výstupy z přívaděčů s výjimkou vstupu do přívaděče I. BV. Zatímco v přívaděči I. BV za normálních provozních podmínek proudí konstantní množství asi 264 l/s, přívaděčem VOV přitéká do vodojemu Čebín okolo 100 l/s, a to v době provozu ÚV Švařec. Přívaděčem II. BV je dopravována voda o průtoku od 500 do 800 l/s. Každý z přívaděčů tak pracuje v odlišném režimu.



**Obr. 4** Určení typického rozsahu měřených hodnot průtokoměrů (říjen 2012)

V dubnu 2012, kdy probíhala rekonstrukce akumulace vodojemu Březová 5000 m<sup>3</sup> a voda ze zdrojů proudila přímo do březovských přívaděčů, bylo možné provést srovnání hodnot průtoku na třech průtokoměrech II. březovského vodovodu řazených sériově: BREV.F04, BREV.F05 a CEB.F01. Zatímco hodnoty z prvních dvou se téměř kryly, průtokoměr CEB.F01 vykazoval po dobu měření hodnoty vyšší. To korespondovalo se zjištěním, které bylo učiněno při ověřování průtokoměrů v roce 2009. Na základě

výsledků obou akcí byla hodnota objemu zaznamenaná průtokoměrem CEB.F01 snížena o 2 % a vypočten odhad ztrát, který je uveden na předposledním řádku tab. 1. V dubnu 2012 bylo provedeno podobné ověřování průtokoměrů i na přivaděči I. březovského vodovodu s výsledkem, že je potřeba se zaměřit i na průtokoměr na vstupu do vodojemu Březová (BREV.F01).

## 6. Vyhodnocení

Z dostupných údajů můžeme odhadovat, že největší část ztrát vody Brněnské vodárenské soustavy připadá na distribuční vodovodní síť a na přivaděče zbývá jen část menší. Přivaděče i přes svou kratší celkovou délku obsahují velké profily s velkou celkovou plochou povrchu stěny potrubí, ale neobsahují přípojky.

Z tabulky výpočtu ztrát v přivaděčích je zřejmé, že do výpočtu vstupuje poměrně velký počet hodnot při použití mnoha měřidel. Podstatou výpočtu je odčítání dvou blízkých čísel, což klade velké nároky na přesnost vstupních dat. Čím jsou ztráty vyšší, tím je možné je přesněji změřit (relativní chyba výsledku je menší).

Výsledek je možné dále zpřesnit:

- výpočtem ztrát vody pro každý přivaděč zvlášť – nutné osadit průtokoměr na vstupu do přivaděče I. BV v Březové n. S. (připraveno k realizaci r. 2013),
- použitím přesnějších měřidel, např. náhradou starších ultrazvukových průtokoměrů indukčními (průtokoměr v ČS Čebín CEB.F01, BREV.F01 ve vodojemu Březová 5000 m<sup>3</sup>, s menší prioritou CEB.F02),
- měřením hodnot průtoků mimo oblast nízkých rychlostí, kde je relativní chyba největší,
- eliminací výpadků dat při přenosu na dispečink (již by neměly existovat).

Doporučuje se provést kontrolní součty vstupů a výstupů za měsíc nebo za rok pro uzly vodojem Březová, vodojem Čebín, případně i ÚV Švařec a Holé hory II. Potřeba je zkontrolovat osazení měřidel – dodržení ukliďujících délek před a za měřidly. Neméně důležité je pravidelné ověřování měřidel.

## 7. Závěr

System měření průtoků na přivaděčích Brněnské vodárenské soustavy byl navržen pro potřeby řízení provozu dálkových přivaděčů. Výpočet hodnot ztrát vody v přivaděčích však klade na přesnost použitých měřidel vyšší nároky. Některé kroky, které vyplynuly z provedené analýzy, a které vedou ke zpřesnění výpočtu, jsou postupně realizovány.

Menší přesnost provozních průtokoměrů, použitých pro výpočet ztrát vody v přivaděčích, nemá vliv na vykazovaná množství nefakturované vody za celou provozovanou vodovodní síť.

Hodnoty průtoků snímané na začátku a na konci přivaděčů i hodnoty tlaku na konci přivaděčů jsou průběžně sledovány a vyhodnocovány. Slouží k včasnému odhalování viditelných poruch i skrytých úniků. Časové řady průtoků a tlaků jsou průběžně ukládány v databázi dispečinku a umožňují zpětnou analýzu vzniklých provozních stavů i výpočet měsíčních a ročních objemů vody.

## Literatura

- [1] Fajmon, B., Růžičková, I.: Matematika 3, VUT v Brně, 2005,
- [2] zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii, v platném znění a navazující právní předpisy,
- [3] OIML R 49-1 (OIML R 49-1 INTERNATIONAL RECOMMENDATION - Water meters intended for the metering of cold potable water and hot water, Part 1: Metrological and technical requirements),
- [4] Višcor, P.: Ověření přesnosti hlavních vstupních průtokoměrů Brněnské vodárenské soustavy, Brněnské vodárny a kanalizace, a.s., 2009.