

TECHNOLOGIE REVERZNÍ OSMÓZY – PROVOZNÍ ZKUŠENOSTI Z ÚV TŘEBOTOV

Ing. Milan Lánský, Ph.D., Mgr. Jiří Paul

Vodovody a kanalizace Beroun, a.s., Mostníkovská 255, Beroun, 266 41,
milan.lansky@vakberoun.cz, jiri.paul@vakberoun.cz

Výchozí stav

V obci Třebotov, která se nachází na jihozápadním okraji Prahy, bylo zásobování obyvatel pitnou vodou problematické kvůli nadlimitním hodnotám dusičnanů ve zdrojích vody. Surová voda byla čerpána z objektu čerpací stanice, v níž probíhalo hygienické zabezpečení chlornanem sodným, přímo do distribuční sítě obce pro cca 800 připojených obyvatel. Hodnoty dusičnanů v dodávané vodě tak byly shodné s hodnotami ve vodě surové a dle provedených rozborů se pohybovaly okolo 100 mg/l. Z tohoto důvodu bylo hledáno řešení, jež by zajistilo plnění požadavků Vyhl. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou vodu a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

Uvažované varianty

Pro řešení situace přicházely v úvahu v zásadě tři možné varianty:

- napojení na skupinový vodovod města Prahy novým přivaděčem v délce cca 5 km
- instalace iontoměničové technologie
- instalace membránové technologie

Jelikož napojení na skupinový vodovod města Prahy bylo zásadním způsobem komplikováno majiteli příslušných pozemků, bylo potřeba se rozhodnout, která z výše uvedených technologií bude pro tento případ vhodnější.

Volba technologie

Technologický návrh porovnávající možnosti iontoměničové a membránové technologie z hlediska odstraňování dusičnanů z pitné vody v lokalitě Třebotov provedl vítěz výběrového řízení - firma MEMSEP, spol. s r.o. Tento návrh byl spolu s detailním rozбором výhod, nevýhod a celkových možností obou technologií prezentován v roce 2004 [1]. Základní technologické parametry návrhu shrnuje tabulka 1.

Tabulka 1. Variantní technologický návrh ÚV Třebotov

(mg/l)	vstup	ionex	membrána
TDS	970	911	290
Ca ²⁺	202	64	61
Mg ²⁺	25	10	7!
Cl ⁻	61	152!	20
NO ₃ ⁻	107	30	30
SO ₄ ²⁻	150	96	44
přidané soli		1118	3

Provedené výpočty ukázaly úskalí obou technologií. V případě použití technologie iontové výměny byl vzhledem ke koncentraci aniontů ve vstupní vodě evidentní problém s nadlimitními koncentracemi chloridů v upravené vodě. U membránové technologie naopak hrozilo nebezpečí s nedodržením minima mezní hodnoty 10 mg/l pro hořčík, jehož dosažení je dle Vyhlášky 252/2004 Sb. u vod s uměle snižovaným obsahem hořčíku vyžadováno [3].

Po diskusi se všemi zúčastněnými subjekty včetně Státního fondu životního prostředí, u něžž bylo žádáno o dotaci na realizaci, byla za nejvhodnější řešení zvolena technologie reverzní osmózy (obrázek 1). U této technologie je pro získání vody s přiměřeným obsahem všech iontů využito zředění složek surové vody o nevhodných koncentracích odsolenou vodou. Odsolená voda je pro tento účel získávána oddělením části proudu surové vody ve vhodném, předem vypočitatelném a následně regulovatelném poměru. Takto oddělená část vody je membránovým postupem odsolena a následně smíchána se surovou vodou, čímž dojde k již zmíněnému zředění. Výstupní upravená voda tak obsahuje ionty prakticky ve shodném poměru jako vstupní voda, pouze v nižších koncentracích. Nastavení poměru mísení je možné modifikovat v návaznosti na změny kvality zdrojové vody, vždy však s ohledem na kvalitu výsledné směsi. Potřebný poměr ovšem není nastavován přímo, ale je určen zadáním požadované hodnoty konduktivity upravené vody.

Zkušební provoz

Počátkem roku 2006 byla zahájena realizace díla, jejíž průběh byl prezentován formou přednášky [2]. Celkové náklady na realizaci akce činily zhruba 6 milionů Kč. Akce byla podpořena dotací ze Státního fondu životního prostředí.

V lednu roku 2007 byla kompletně zrekonstruovaná úpravna uvedena do zkušebního provozu. Výsledky sledování kvality surové a upravené vody za první pololetí roku 2007 jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2. Zkušební provoz - přehled kvality surové a upravené vody

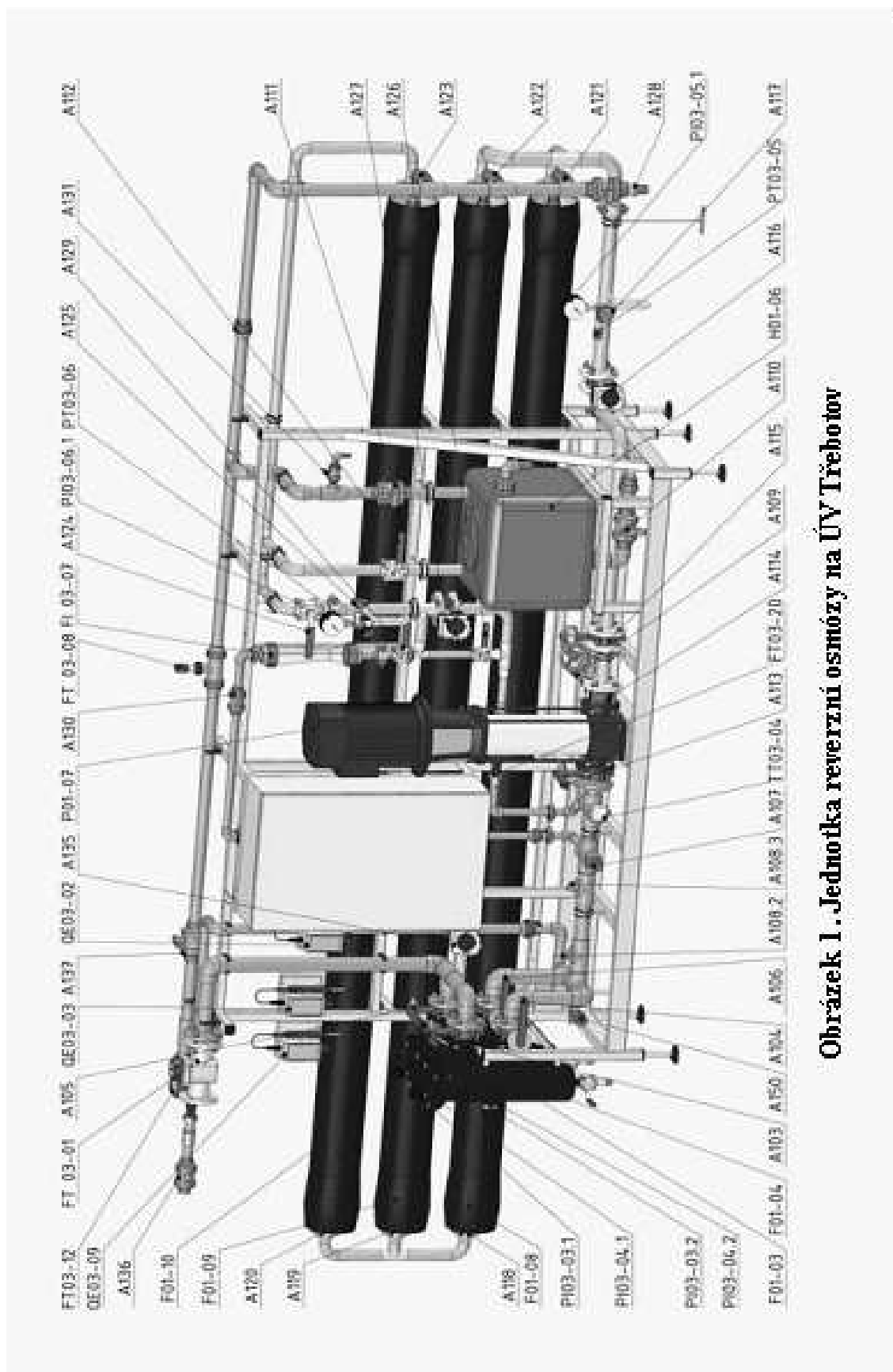
Surová voda								
Datum	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Ca+Mg (mmol/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	vodivost (mS/m)	pH (mg/l)
12.3.2007	71,8	5,6	170,7	32,6	73,7	142,8	125,6	7,3
2.4.2007	77,3	5,8	178,6	32,7	73,4		116,2	7,3
26.6.2007	58,3	5,5	172,0	28,6			113,1	7,1
průměr	69,1	5,6	173,8	31,3	73,6	142,8	118,3	7,2
Upravená voda								
Datum	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Ca+Mg (mmol/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	vodivost (mS/m)	pH (mg/l)
16.1.2007	28,3	2,3	74,4	10,3			42,7	7,0
12.3.2007	28,3	2,2	70,0	10,0	30,5	80,0	46,2	7,1
2.4.2007	29,0	2,1	70,1	8,5			52,4	7,2
26.6.2007	27,5	2,7	87,8	11,4			64,2	7,2
průměr	28,3	2,3	75,6	10,1	30,5	80,0	51,4	7,1

Jak vstupní hodnoty surové vody, tak výstupní hodnoty vody upravené byly po dobu zkušebního provozu stálé, pouze s ojedinělými výkyvy. Návrhová výstupní hodnota dusičnanů 30 mg/l byla bez problémů dosahována a zároveň se dařilo plnit i minimální přípustnou koncentraci Mg²⁺ = 10 mg/l. Tyto výsledky kladně ovlivnil fakt, že se koncentrace NO₃⁻ v surové vodě pohybovaly okolo 70 mg/l, čili byly výrazně nižší než hodnoty uvažované pro projekt a naopak, hodnoty Mg²⁺ v surové vodě byly ve srovnání s projektem poněkud vyšší.

Porovnání složení surové vody, použité pro návrh projektu, se skutečnými koncentracemi jednotlivých ukazatelů v surové vodě uvádí tabulka 3. Pro složení surové vody získané z údajů zkušebního provozu jsou v tabulce 3 rovněž vypočteny teoretické výstupní koncentrace upravené vody při použití ionexové a membránové technologie.

Tabulka 3. Porovnání teoretických a dosahovaných hodnot ve zkušebním provozu

ukazatel (mg/l)	surová voda		teoretický výpočet		Skutečnost
	projekt	zkuš.provoz	ionex	membrána	
NO ₃ ⁻	107	69	30	30	28
Ca+Mg (mmol/l)	6,1	5,6	5,6	2,4	2,3
Ca ²⁺	202	174	174	76	76
Mg ²⁺	25	31	31	13	10,1
Cl ⁻	61	74	111!	32	31
SO ₄ ²⁻	150	143	123	62	80
vodivost (mS/m)		118	118	51	51



Obrázek 1. Jednotka reverzní osmózy na ÚV Třebotov

Srovnání ukazuje, že přestože jsou skutečné koncentrace NO_3^- nižší než byly návrhové hodnoty, nebylo by možné kvůli vysokým koncentracím chloridů v upravené vodě technologii iontové výměny použít. Teoretický výpočet naopak ukazuje, že pro koncentrace iontů naměřené ve zkušebním provozu bude dostatečně vysoká i výstupní koncentrace Mg^{2+} , což reálné hodnoty v upravené vodě potvrdily. Rovněž naměřené hodnoty vodivosti oscilují okolo nastavené výstupní hodnoty 50 mS/m.

Trvalý provoz

Ke konci roku 2007 tj. těsně před uvedením úpravny do trvalého provozu byla zaznamenána změna ve složení surové vody. Vstupní koncentrace aniontů a celková tvrdost zůstaly zachovány, nicméně se změnil poměr iontů Ca^{2+} a Mg^{2+} ve prospěch vápníku na úkor hořčíku. Koncentrace Mg^{2+} poklesly na hodnoty okolo 20 mg/l, a tedy dokonce pod hodnotu projektu, která byla 25 mg/l. Tato změna byla příčinou nižších koncentrací iontů Mg^{2+} v upravené vodě, jejichž hodnoty nedosahovaly požadovaných 10 mg/l. Proto musel být snížen podíl vody odsolované v jednotce reverzní osmózy. Toho bylo dosaženo navýšením hodnoty vodivosti upravené vody dle technologického výpočtu, a to na 56 mS/m (tabulka 5). Tímto opatřením došlo k potřebnému zvýšení koncentrace Mg^{2+} v upravené vodě. Nárůst koncentrací dusičnanů v upravené vodě, který toto opatření doprovázel, nezpůsobil žádné problémy, jelikož se výstupní hodnoty pohybovaly pod 40 mg/l. Složení surové a upravené vody po provedení změny nastavení ukazuje tabulka 4.

Tabulka 4. Trvalý provoz - přehled kvality surové a upravené vody

Surová voda								
Datum	NO_3^- (mg/l)	Ca+Mg (mmol/l)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Cl^- (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	Vodivost (mS/m)	pH (mg/l)
8.1.2008	72,3	5,4	186,8	18,4	89,3	139,6	116,3	7,5
4.2.2008	70,5	5,6	193,4	22,5	70,2	138,7	116,5	7,4
18.2.2008	73,8	5,5	181,9	24,3	66,7		117,4	7,3
18.3.2008	76,3	5,5	189,3	18,4	64,9	145,9	116,0	7,2
průměr	73,2	5,5	187,9	20,9	72,8	141,4	116,6	7,4
Upravená voda								
Datum	NO_3^- (mg/l)	Ca+Mg (mmol/l)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Cl^- (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	Vodivost (mS/m)	pH (mg/l)
8.1.2008	35,3	2,4	80,3	10,4	33,3	74,7	55,7	7,3
4.2.2008	37,0	2,4	77,5	11,8	29,8	53,7	55,6	7,4
18.2.2008	39,3	2,5	83,40	10,2	33,0		56,3	7,3
18.3.2008	36,0	2,5	82,06	10,5	31,9	70,2	55,2	7,2
průměr	36,9	2,5	80,8	10,7	32,0	66,2	55,7	7,3

Tabulka 5 poskytuje srovnání průměrného složení surové vody ve zkušebním a trvalém provozu spolu s teoretickým a skutečným složením upravené vody v provozu trvalém. Uvedené hodnoty dokladují tvrzení, že poměr proudu surové vody oddělovaný

do jednotky reverzní osmózy lze snadno vypočítat a na základě výpočtu i jednoduše regulovat nastavením vodivosti upravené vody.

Tabulka 5. Porovnání hodnot zkušebního a trvalého provozu

ukazatel (mg/l)	surová voda		upravená voda – trvalý provoz	
	zkušební provoz	trvalý provoz	teor. výpočet	skutečnost
NO ₃ ⁻	69	73	35	37
Ca+Mg (mmol/l)	5,6	5,5	2,6	2,5
Ca ²⁺	174	188	90	81
Mg ²⁺	31	20	10,0	10,7
Cl ⁻	74	73	35	32
SO ₄ ²⁻	143	141	68	66
vodivost (mS/m)	118	117	56	56

Závěr

- dosavadní provoz jednotky reverzní osmózy na ÚV Třebotov ukázal, že tato technologie umožňuje v upravené vodě dosáhnout stabilních hodnot koncentrací jednotlivých složek v požadované výši
- dále bylo ověřeno, že poměr proudu surové vody oddělovaný do jednotky reverzní osmózy lze snadno vypočítat a modifikovat v návaznosti na změny kvality zdrojové vody ve vztahu k požadované kvalitě výsledné směsi
- nasazení technologie reverzní osmózy mělo v tomto konkrétním případě opodstatnění, jelikož investičně i provozně levnější technologie iontovýmění by neumožnila dostatečné odstranění dusičnanů bez překročení mezní hodnoty chloridů
- nastavení potřebného poměru oddělované vody prostřednictvím zadání vypočtené hodnoty konduktivity upravené vody umožňuje dostatečně přesnou regulaci celého procesu

Literatura

- [1] Konečný P., Starý P. (2004) Limitující faktory použití metod denitrifikace pitné vody, *Sb. přednášek konference Pitná voda 2004*, 7.6. – 10. 6. 2004, Tábor (ČR).
- [2] Konečný P., Starý P. (2006) Úprava pitné vody obce Třebotov, *Přednáška na konferenci Pitná voda 2006*, 5.6. – 8. 6. 2006, Tábor (ČR).
- [3] *Vyhl. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou vodu a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.*