

# Optimalizace odkalování a vypouštění příváděcích řadů – zamýšlíme se nad hydraulikou potrubí?

*Lubomír Macek*

Aquion s.r.o., Dělnická 38, 170 00 Praha 7, tel. 02-83872265

e-mail: [lubomir.macek@aquion.cz](mailto:lubomir.macek@aquion.cz)

---

## Abstrakt

Provádět optimální odkalení vodovodních řadů je jednou z podmínek zajištění dobré kvality dopravované vody. Zvláště dnes, kdy je spotřeba vody v porovnání s minulostí nízká, musí stát požadavek na dobré odkalování řadů v popředí zájmu provozovatelů vodovodů. V příspěvku se zabýváme nutnými požadavky na vypouštění, odkalování a opravování příváděcích řadů. Při výstavbě nebo rekonstrukci vodovodních řadů musíme dbát na to, aby bylo možné řady optimálně odkalit, vypustit v reálném čase a zároveň tyto manipulace nesmí ohrozit obsluhu. Znamená to, že příváděcí řady musí být rozděleny sekčními uzávěry na snadno vypustitelné sekce, v proplachovaném řadu musí být dosažena rychlost alespoň  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  pro odstranění volných sedimentů a rychlost ve vypouštěcím potrubí by neměla být vyšší než  $2 - 2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Tyto samozřejmé podmínky nejsou často na stávajících řadech dodrženy a tím komplikují provoz vodovodů.

## Úvod

Možnost optimální manipulace při odkalování a vypouštění příváděcích řadů a rozvodných sítí je podmínkou pro efektivní provozování vodovodu, rychlé opravy vzniklých poruch a dostatečné odstraňování volných sedimentů v potrubí, které jinak mohou způsobovat problémy v podobě rezavé vody, bakteriálního oživení v síti apod. Správně navržené zařízení, jako je rozdělení do sekcí a sekční šoupátka a vhodné velikosti výpustného potrubí, umožňuje provozovateli optimálně reagovat jak na výskyt poruch zařízení, tak předcházet problémům s kvalitou vody. Mnoho vodovodů je takto správně vybavených, ale stále existuje mnoho vodovodů, které neodpovídají současným požadavkům na efektivní provoz. Dobré fungování hydraulického systému vyžaduje dobrou znalost jeho hydraulických vlastností.

## 1. Hydraulické podmínky pro vypouštění řadů

Pro rychlé provedení opravy na příváděcím řadu je potřebné vypustit opravované potrubí v reálném čase. V praxi by bylo nejlépe, kdyby bylo možné opravované potrubí vypustit např. během 1-3 hodin. Co brání rychlému vypouštění? Pokud na dlouhém příváděcím řadu neexistují sekční uzávěry, je nutné vypouštět celý řad. To je časově náročné. Pokud se k tomu přidá fakt, že na příváděcím řadu o průměru 600 nebo 800 mm jsou umístěny výpustná potrubí o průměru 200 mm, je zřejmé, že tím bude ovlivněna doba vypouštění vody z potrubí.

Znamená to, že přiváděcí řad musí být vybaven sekčními uzávěry ve vzdálenostech mezi 800 – 2000 m. Vypouštění řadu se díky sekčním uzávěrům omezí na vypuštění jedné sekce. Řad je vypuštěn rychleji, zároveň spoříme vodu, kterou bychom jinak vypouštěli z celého řadu.

Sekční uzávěry mají ještě jinou funkci. Při odkalování řadu umožňují upravit hydraulické podmínky tak, aby bylo dosaženo optimálních podmínek pro odkalení.

Dalším faktorem, který ovlivňuje dobu vypouštění, je průměr vypouštěcího potrubí. Domnívám se, že vypouštěcí potrubí o průměru 200 mm je zcela nedostatečné pro vypouštění potrubí většího průměru. Při velkém tlakovém spádu vznikají v takovém výpustném potrubí vysoké rychlosti a potrubí malého průměru představuje zbytečně velkou tlakovou ztrátu, která snižuje rychlost vypouštění a efekt odkalení. Malý průměr výpustného potrubí je problémem také při malém spádu, kdy zpomaluje výtok vody. Zdá se optimální, aby rozměry výpustného potrubí byly takové, aby rychlost vody dosahovaly 2-2,5 m.s<sup>-1</sup>.

Představte si obsluhu, která v takovém místě otvírá uzávěr na výpustném potrubí. V extrémním případě může dojít, pokud bude uzávěr oslabený korozi, až k ohrožení zdraví obsluhy.

V případech, kdy máme položen přiváděcí řad v území beze spádu, je nutné na místo vypouštěcího potrubí vybudovat vypouštěcí hydranty a umožnit vyprázdnění řadu uměle, čerpáním.

## **2. Požadavky na odkalování řadu**

Cílem odkalování řadu je vypuštění volných sedimentů, které se v potrubí nashromáždí. Jedná se zejména o produkty koroze potrubí a o částice, které vznikají, pokud v potrubí dobíhají procesy úpravy vody. Místa s nahromaděním volných sedimentů způsobují jak problémy s barvou, chutí a pachem vody, tak mohou být živnou půdou pro růst mikroorganismů. Pokud je dobře vybudován celý systém sekčních uzávěrů, vzdušníků, ručního odvzdušnění a výpustného potrubí, můžeme docílit snadnější odstranění těchto sedimentů.

Sekční uzávěry na potrubí slouží k oddělení odkalované části od části, která již byla odkalená. Představme si typický příklad. Máme dva vodojemy s výškovým rozdílem 30 m s přiváděcím řadem, který vede přes hluboké údolí. Odkalení provádíme tak, že postupujeme od horního vodojemu směrem dolů. Uzavřeme první sekční uzávěr směrem od vodojemu. Vodu vypouštíme nad sekčním uzávěrem. Toto uspořádání nám pomůže dosáhnout lepšího odkalení zejména v těch místech, kde by voda tekla k výpusti z obou vodojemů. Odkalení provádíme tak, aby byl k dispozici co největší hydraulický spád.

Volné sedimenty je možné odstranit hydraulicky, odkalováním. Minimální rychlost pro odkalení volných sedimentů v potrubí odhadujeme na 0,5 m.s<sup>-1</sup>. Tento požadavek má vliv na návrh velikosti a uspořádání výpustných objektů.

Odstranění volných sedimentů je možné provést proplachováním. Pokud bychom chtěli odstranit pevně přisedlé inkrusty na potrubí, je nutné použít buď mechanického čištění nebo čištění v kombinaci voda – vzduch. Kombinované čištění vodou a vzduchem se poměrně často používá na území bývalého východního Německa. Je přitom třeba zvláštní opatrnosti a dobře zaškolená obsluha tak, aby rázy, které vznikají při čištění, neroztrhaly potrubí.

### **3. Požadavky na bezpečnost obsluhy při vypouštění řadů**

Další hledisko pro navrhování vypustných zařízení je bezpečnost obsluhy. Představte si že v místě s velkým tlakovým spádem otevíráte uzávěr na vypustném potrubí. V extrémním případě může dojít díky velké rychlosti proudění při otevírání uzávěru a tím velkému dynamickému namáhání k poruše uzávěru, zvlášť pokud je jeho konstrukce oslabená korozí. Tyto uzávěry tedy musí být z velmi kvalitního materiálu, aby nedošlo k oslabení jejich konstrukce a následné poruše materiálu při otevírání uzávěru. Zároveň je nutné předepsat postup otevírání a uzavírání uzávěru na výpusti.

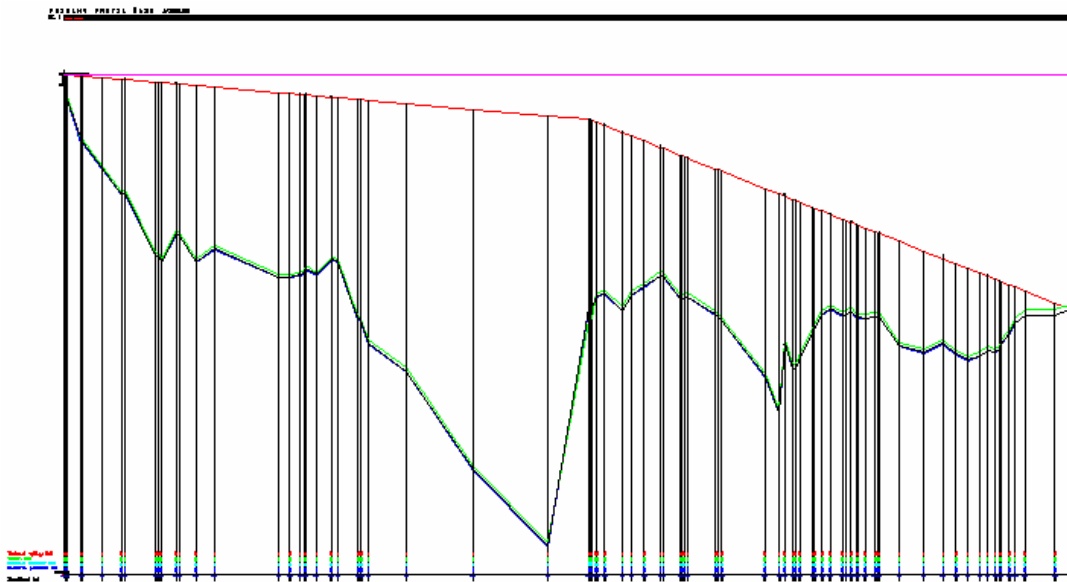
### **4. Stanovení optimálních hydraulických podmínek**

Optimální hydraulické podmínky pro vypouštění a odkalení řadů je možné stanovit empiricky, to znamená řadou pokusů při vypouštění a odkalení. To je ovšem velmi neefektivní. Lépe je použít matematického modelu. Předpokládáme, že matematický model je v rukou zkušeného uživatele, pak se dočkáme stručných a přehledných výstupů. Výsledky modelování umožní předem navrhnout vhodné parametry vypouštěcího potrubí a dalších zařízení na vodovodu a vhodné postupy při odkalování a vypouštění potrubí.

Správný postup zahrnuje vytvoření hydraulického modelu ustáleného stavu a ověření jeho parametrů. Na základě ověřeného modelu se provede stanovení kapacity jednotlivých vypustných potrubí. Poté se navrhnou postupy vypouštění a odkalování potrubí tak, aby bylo dosaženo optimálních výsledků. Po této fázi může následovat vytvoření časově proměnného modelu pro dispečerské řízení vodovodu či vodárenské soustavy. Z něho vychází model kvality vody, který je většinou omezen na modelování obsahu volného chlóru.

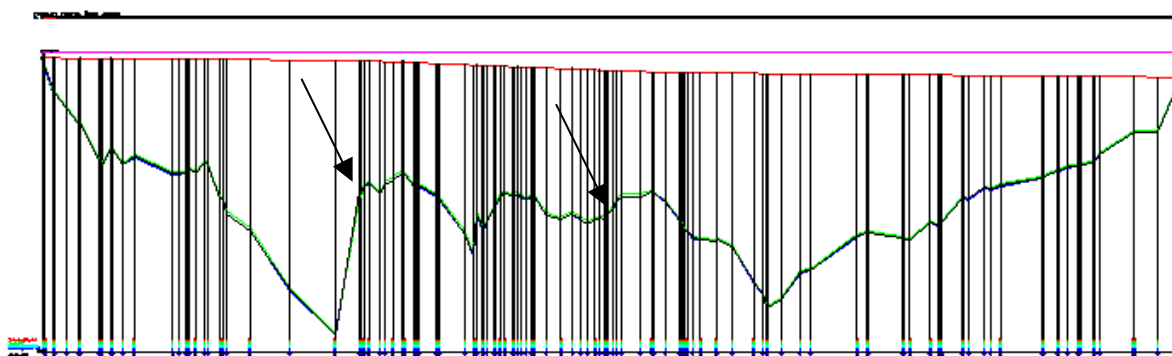
### **5. Příklad hydraulického modelování odkalení přiváděcího řadu**

Příklad ukazuje stanovení hydraulické kapacity mezi čtyřmi vodojemy na přiváděcím řadu. Potrubí mezi vodojemy 1 a 2 má průměr 400 mm, mezi 2 a 3 300 mm a mezi 3 a 4 opět 400 mm. Kapacita gravitačního průtoku mezi vodojemem 1 a 3 je  $83 - 87 \text{ l.s}^{-1}$ . Doba zdržení v této části se pohybuje při kapacitním průtoku okolo 7,4 – 7,7 hodiny. Na obrátku je vidět průběh tlakové čáry při tomto průtoku.



Obr. 1 Přehledný podélný profil mezi vodojemem 1 a 3, v místě lomu tlakové čáry je vodojem č. 2, gravitační průtok

Pokud chceme dopravovat vodu z vodojemu 1 až do vodojemu 4 bez čerpání ve vodojemu 3, dopravíme gravitačně asi  $24 \text{ l.s}^{-1}$ . Tento průtok může poklesnout, pokud se po trase objeví větší místní odběry. Pro dostatečnou dopravu vody v úvahu přichází použít čerpadel pro zvýšení tlaku ve vodojemu 3 namísto využití vodojemu jako přerušovací komory s následným čerpáním. Doba zdržení při gravitačním průtoku z vodojemu 1 do vodojemu 4 je 50,5 hodin. Kapacita současné čerpací stanice ve vodojemu 3 směrem do vodojemu 4 je  $20 - 25 \text{ l.s}^{-1}$ , resp.  $35-45 \text{ l.s}^{-1}$  při souběhu čerpadel. Uspořádání s čerpadly na zvýšení tlaku přispěje k příznivější spotřebě energie. Zpětný průtok z vodojemu 4 do vodojemu 3 je cca  $135 \text{ l.s}^{-1}$ .



Obr. 2 Přehledný podélný profil mezi vodojemy 1, 2, 3 a 4, gravitační průtok z vodojemu 1 do vodojemu 4. V místě šipek jsou vodojemy 2 a 3.

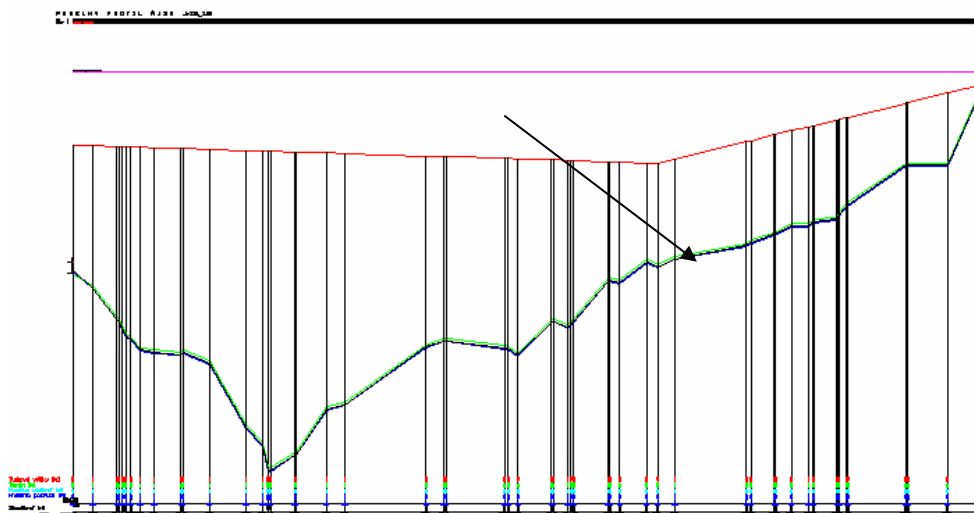
## **Příklad 1 Odkalení v úseku mezi vodojemem 3 a vodojemem 4, uzel 35**

Kalníkem v uzlu 35 by bylo možné odkalit úsek mezi uzly 35 a 37, který má délku 1958 m. Při průměru výpustního potrubí DN 200 byly vypočteny rychlosti:  $5,506 \text{ m.s}^{-1}$  ve výpustném potrubí a  $1,377 \text{ m.s}^{-1}$  v odkalovaném potrubí ze směru od vodojemu 4, respektive při průměru potrubí 300 mm rychlosti  $3,11$  a  $1,75 \text{ m.s}^{-1}$  v odkalovaném potrubí (tlakové poměry jsou na obr. 3). Doba odkalení, pokud předpokládáme, že je potřeba vypustit alespoň jednonásobek objemu potrubí v úseku 37 – 35 je 23,7 minuty resp. 18,66 minuty, odkalený objem by byl  $246 \text{ m}^3$ . V případě, že bychom do tohoto řadu ještě čerpali z vodojemu 3, byl by skutečný odkalený objem vody větší, bez výrazného výsledku na kvalitu odkalení. Ve vodojemu 4 musí být k dispozici dostatečně velká zásoba vody pro odkalení. Uvedený objem vody je nutno považovat za teoretické množství, ve skutečnosti, pokud nejsou po trase přivaděče mezi uzly 37 a 35 žádné kapsy, kde by se usazovaly sedimenty, bude k vypuštění kalu postačovat nižší objem. Odkalení se řídí podmínkami na místě.

Pokud by byly na této části řadu vybudovány sekční uzávěry, pomáhalo by to více při vypouštění potrubí zejména v těch částech, které jsou pod úrovní níže položeného vodojemu 3, než při odkalení, kde postačuje uzavřít řad v dolním vodojemu. Pokud by byly na trase tohoto přivaděče odběry, mohly by být odkalením víc ovlivněny než v případě, kdy je možné odkalovanou část oddělit sekčním uzávěrem.

Zdá se, že vedle vhodného průměru vypouštěcího potrubí, vhodné délky potrubí, které lze uzavřít sekčními uzávěry (cca 1000 m, hlediskem je v tomto příkladě zejména doba vypouštění potrubí a potřebný objem vody ve vodojemu) je také vhodné zvážit hydraulické podmínky při odkalení potrubí. V úseku vodojem 3 – vodojem 4 to znamená, že odkalení sestupného potrubí bude hydraulicky vhodnější při čerpání nebo gravitačním průtoku z vodojemu 3, odkalení vzestupného potrubí do vodojemu 4 gravitačně tak, aby síly způsobené prouděním vody a gravitační síla působily stejným směrem. V tomto případě je k dispozici dostatečný tlakový spád, díky kterému je dosaženo v přilehlém potrubí k uzlu 35 dostatečné rychlosti proudění.

Sekčními uzávěry umožníme pravidelný a pevně definovaný režim odkalení. V případě, že dojde u uvedeného případu k uzavření potrubí sekčním uzávěrem ze strany od Sudoměřic, bude ve výpustném potrubí rychlost  $3,11$  a v potrubí od vodojemu 4 rychlost  $1,75 \text{ m.s}^{-1}$ . Je vidět, že jsou podstatně výhodnější hydraulické podmínky v potrubí včetně menšího potřebného množství vody pro odkalení ( $246 \text{ m}^3$ ) oproti odkalování s čerpáním z vodojemu 3. množství vypuštěné vody stoupne o cca  $35 \text{ m}^3$  v případě, že v uzlu 35 odkalujeme za současného čerpání vody do řadu ve vodojemu 3. Vzhledem k tomu, že potrubí je ve stálém spádu od vodojemu 4 k uzlu 35, můžeme na základě praktických zkušeností s množstvím odkalovaných sedimentů ve vypouštěné vodě odkalování ukončit dříve, než po vyměnění celého objemu potrubí v odkalovaném úseku.



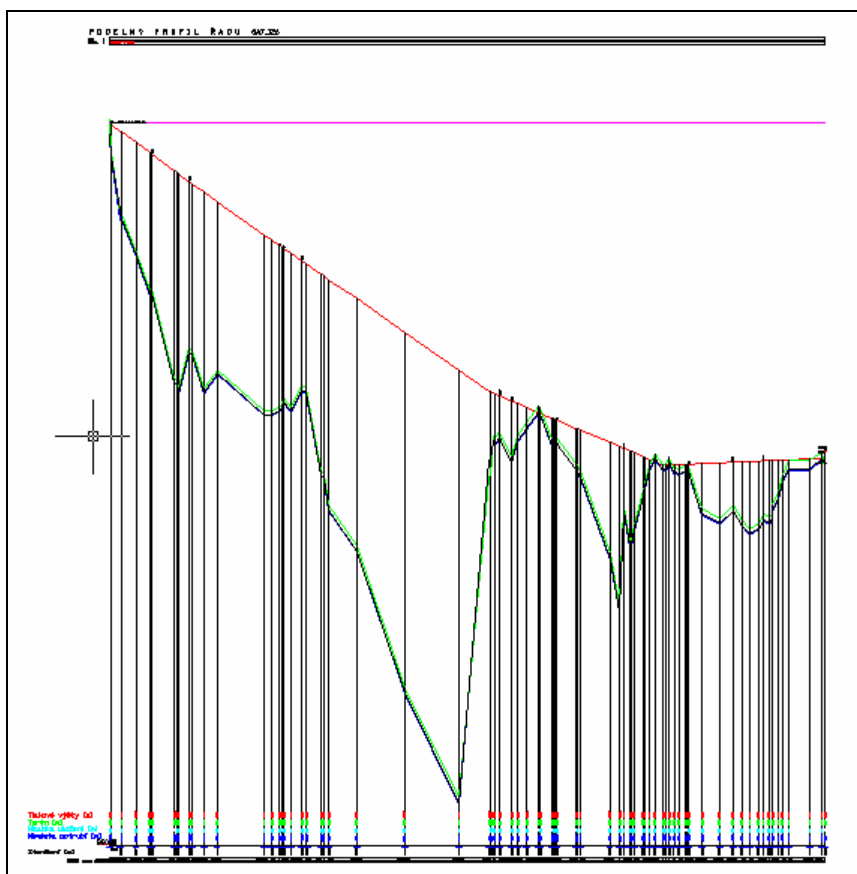
Obr. 3 Přehledný podélný profil mezi vodojem 3 a 4, tlaková čára při odkalení v místě šipky

### **Příklad 2: Odkalení v kalníku č.5 (uzel 2602) za vodojemem 3, otevřena potrubí z vodojemu 2 a 3**

Nadmořská výška kalníku č. 5 je 445,8 m n. m. Při jeho plném otevření přitéká do vodojemu Malá Varta  $107,7 \text{ l.s}^{-1}$  s místní ztrátou 23,12 m v.sl.; z vodojemu Sudoměřice se odebírá  $18,09 \text{ l.s}^{-1}$ , místní ztráta je cca 2 m. Z hydrantu vytéká  $78 \text{ l.s}^{-1}$  s rychlostí  $1,59 \text{ m.s}^{-1}$ , výpustné potrubí má DN 250 mm (viz obr. 4). V potrubí před kalníkem je rychlost  $0,848 \text{ m.s}^{-1}$ , v potrubí za kalníkem proudí voda zpět rychlostí  $0,256 \text{ m.s}^{-1}$ . Při oddělení potrubí mezi výpustí a vodojemem 3 dojde k úsporám vody při odkalování a ke zvětšení rychlosti v potrubí v řadu mezi vodojemem 2 a kalníkem. Přesto je potřeba pečlivě zvážit zda odkalovat současně z obou směrů, protože tento kalník je umístěn v terénní depresi.

### **Závěr**

Správný návrh kapacity vypouštěcího potrubí má velký význam zejména tam, kde je pro vypouštění k dispozici malý tlakový spád. Správný návrh vzdálenosti sekčních uzávěrů pomáhá zkracovat dobu při vypouštění a napouštění potrubí, pomáhá v úsporách vody, protože není nutné vypouštět celý řad a pomáhá také optimalizovat postup odkalování řadu a dosahovat dokonalejších hydraulických podmínek. Pokud se předpokládá rekonstrukce přivaděčů, je třeba všechna tato zařízení, na rozdíl oproti minulosti, na řadu správně navrhnout. Také pokud se na potrubí vyskytují často poruchy, nebo se jedná o řad vysoké důležitosti z hlediska zásobování vodou, každý příspěvek ke zkrácení doby opravy je vítaný.



Obr. 4 Podélný profil vodojem 1 – vodojem 2 – vodojem 3, simulace odkalování z kalníku č. 5.

Kapacita výpustných potrubí a délka sekčních uzávěrů na přiváděcích řadech, ale i v rozvodných sítích, musí být ověřena výpočtem hydraulických podmínek. Správný návrh umožní optimalizovat rychlost vypouštění potrubí, což je podmínkou rychlé opravy. Dostatečná kapacita výpustného zařízení je také nutná pro dosažení optimální rychlosti v potrubí pro odkalení, což je asi  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ . Rozdělení přiváděcího řadu na sekce tyto činnosti usnadní, urychlí a umožní úsporně nakládat s vodou.

Pro provozní personál jsou všechny uvedené informace, domnívám se, samozřejmostí, odpozoranou z praxe. Přesto je velmi důležité hydraulickou kapacitu výpustných potrubí a hydraulické podmínky při odkalování přiváděcích řadů posoudit pomocí výpočetních modelů.

*Za podporu této práce chceme poděkovat Jihočeského vodárenského svazu a Vodovodům a kanalizacím Jižní Čechy, a.s. v Českých Budějovicích.*