Zákal ve vodovodní síti, metody predikce jeho vzniku a šíření

Ing. Jan Ručka, Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc., Ing. Veronika Kadlecová

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí,
Žižkova 17, Brno, tel.: 541 147 734,
e-mail: tuhovcak.l@fce.vutbr.cz, rucka.j@fce.vutbr.cz

Abstrakt: Příspěvek prezentuje možnosti předpovědi vzniku a rozsahu zákalových událostí, které snižují kvalitu dodávky pitné vody a zvyšují provozní náklady vodárenských společností. Příspěvek popisuje jednotlivé faktory, které zákal způsobují a uvádí postup pro odhad pravděpodobnosti jeho vzniku a ohodnocení následků s využitím metodiky analýzy rizik, která je vyvíjena v rámci vědecko-výzkumného projektu 2B06039 - WaterRisk. Příspěvek také uvádí některá doporučení pro provoz a údržbu vodovodních sítí, které z dosažených výsledků vyplývají.

1. Úvod

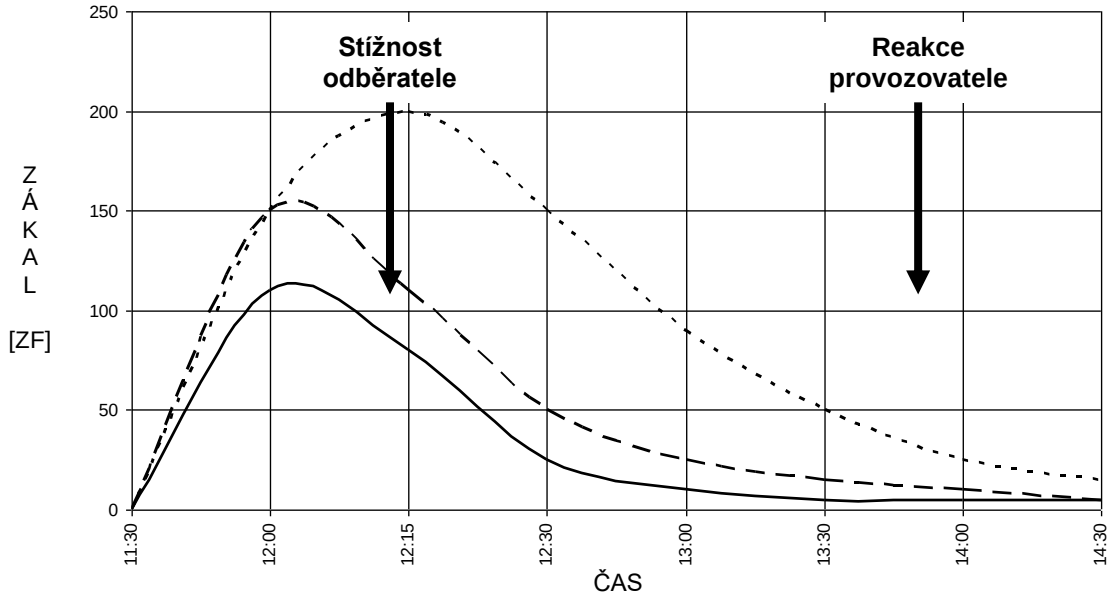
V posledních letech je na kvalitu distribuované vody a celkovou úroveň poskytované služby kladen stále vyšší důraz. Tento posun vyvolávají nejen legislativní změny, ale zejména postoj samotných vodárenských společností, které se stále více orientují na zákazníka.

K přímé konzumaci se spotřebuje jen cca 2% celkového objemu odebrané vody a běžný odběratel si uvědomí její jakost a existenci vodárenského aparátu před svým kohoutkem pouze v okamžiku, kdy nastane nečekaná odstávka zásobování nebo se prudce zhorší kvalita vody, což bývá způsobeno nejčastěji zákalem. Z výsledků pětiletého výzkumu, který se prováděl ve Velké Británii, vyplynulo, že jsou stížnosti zákazníků ze 34% způsobeny zakalením vody. Zbývajících 19% stížností připadá na nedostatečný tlak, 40% na nedostatek vody a 7% na její jiné estetické závady. Není zcela korektní vztahovat výsledky takových výzkumů do podmínek ČR, nicméně stále zůstává pravdou, že zákal dává vodě nežádoucí vzhled a snižuje důvěru odběratelů v její kvalitu i poskytovanou službu, i když je z převážné části způsoben zdravotně nezávadnými látkami. Kalná voda působí dojmem, že není dostatečně kvalitní, zejména pokud jde o vodu pro pitné účely.

Pitná voda musí být dostupná nejen v potřebném množství, ale i v požadované kvalitě, což neznamená jen zdravotní nezávadnost, ale i její vyhovující chuť a další smyslově postižitelné vlastnosti, kam patří také zákal [4,6]. Vyhláška č. 252/2004 Sb. stanovuje mezní hodnotu pro zákal v pitné vodě 5 ZF, resp. 1 ZF při úpravě povrchové vody.

Specifičnost zákalu spočívá v tom, že se ve vodovodním potrubí objevuje většinou pouze nárazově ve formě tzv. zákalových událostí, které jsou iniciovány obvykle vnějším zásahem do systému, který vyvolá náhlou změnu hydraulických podmínek – viz. Obr.1. Trvale však voda většinou ve vodovodních sítích kalná není. Důkazem jsou výsledky rozborů kvality pitné vody v ČR v letech 2005 – 2007, které byly publikovány ve zprávě Ministerstva zdravotnictví ČR [7]. Z nich vyplývá, že pouze cca 0,5% ze všech odebraných vzorků překročilo vyhláškou stanovený limit pro zákal (to platí i pro barvu). Zvýšený zákal vody tedy obvykle není problém trvalého charakteru, ale jev dočasný. Zřejmě také proto ve vodárenských společnostech v ČR

zatím nejsou zaváděny systematické programy pro prevenci vzniku zákalových událostí, pokud nepočítáme standardní odkalování dle provozních řádů.



Obr.1 Typický průběh zákalové události v čase

Zákalová událost vzniká resuspendací jemného materiálu, který je akumulován na stěnách potrubí. K jeho zvíření dochází vlivem náhlé změny hydraulických poměrů v síti. Podmínkami vzniku zákalové události jsou:

1) přítomnost jemného sedimentu v potrubí,
2) vyvolání náhlé hydraulické změny v potrubí.

Speciálním případem, kterým se zde nezabýváme, je bílý zákal způsobený bublinkami vzduchu, který může dočasně vznikat při vypuštění vody z potrubí vlivem snížení tlaku.

2. Akumulace jemných sedimentů v potrubí

Jemný sediment v potrubí vzniká korozí kovových povrchů, rozpadem biofilmů a inkrustů či doběhem chemických procesů z úpravny vody. Případně může docházet k vnosu částic z vnějšího prostředí při opravách, průnikem z okolního horninového prostředí netěsnostmi potrubí (podtlak - přisátí), nebo mohou být tyto částice přítomny v dopravované vodě, která do vodovodní sítě vstupuje. Typicky se jedná o jílovité materiály, které se do potrubí dostávají s vodou z (přetěžovaného) podzemního zdroje bez filtrace. V důsledku nedostatečného proudění vody se tyto částice usazují ve vodojemu, nebo se usazují až v potrubí, na jehož stěnách tvoří vrstvu jemných sedimentů o určité soudržnosti τ_s' [3].

Ve vodovodním potrubí mohou být jemné sedimenty přítomny i při správném způsobu provozování a kvalitní úpravě vody, což může být způsobeno zanesením jemných částic do sítě někdy dříve v minulosti. Velikost částic, které se v distribuční síti vyskytují, závisí na použité technologii úpravy vody. Mikrofiltrací se odstraní částice až velikosti okolo 1.10^{-7} m, reversní osmózou zrna o průměru < 1.10^{-9} m. V ČR nejběžněji používanou otevřenou nebo tlakovou filtrací lze odstranit částice do průměru 1.10^{-4} – 3.10^{-5} m. Převládající velikost částic zákalu v pitné vodě je < 5.10^{-5} m s průměrným zrnem 1.10^{-5} m a také s podstatným množstvím částic pod 5.10^{-6} m [2].

Přítomnost, objem a tloušťku vrstvy jemných sedimentů v potrubí nelze v provozu prakticky nijak kvantitativně měřit. Provozní praxe vychází z počtu stížností odběratelů na kalnou vodu, kterým přizpůsobují periodicitu odkalování.

Navrhovaná metodika proto stanovuje sadu tzv. ***rizikových faktorů*** FS_i, s jejichž pomocí se snaží odhadnout potenciální přítomnost sedimentů v potrubí. Tyto faktory jsou následující:

FS_1 Koroze kovových potrubí – vzhledem k rozsahu článku se zde omezíme pouze na konstatování, že problematické mohou být ty sítě (řady, úseky), které jsou provedeny z kovových materiálů a nebo do nich z kovových potrubí přitéká voda, která by mohla unášet suspendované částice koroze kovů. Zejména se jedná o potrubí z oceli s neupraveným vnitřním povrchem v provozu >20 let bez údržby a oprav, nebo s úpravou povrchu (pozinkování, vystýlka) s dobou provozu více než 60 let. Ke korozi výrazně přispívá dopravovaná voda nevhodných chemických vlastností (Is < -0,05, nebo pH<6,5, nebo Ca+Mg <1,5mmol/l).

FS_2 Nevyhovující hydraulické poměry v síti – rychlosti proudění vody v potrubí ≤ 0,1 m/s způsobují výrazné ulpívání jemných částic z vody na stěnách potrubí po celém jeho obvodě, nejen na dně [2]. Na stěnách potrubí vzniká postupně vrstva nezpevněných sedimentů, jejíž mocnost je limitně dána dosažením rovnováhy mezi tečným napětím proudící kapaliny a kohezními silami přisedlého materiálu. Zjednodušeně lze říct, že čím pomaleji voda v potrubí proudí, tím silnější vrstva sedimentu se na jeho stěně udrží. Dlouhodobě limitující jsou pro mocnost vrstvy rychlosti dosahované při maximálních hodinových průtocích Q_H, které brání jejímu dalšímu růstu a naopak způsobují mírnou resuspendaci materiálu a její ztenčení. Z tohoto pohledu jsou problematické všechny úseky, kde dlouhodobě voda proudí rychlostí ≤ 0,1 m/s nebo zcela stagnuje - konce potrubí, dlouhé přípojky, předimenzované úseky, úseky dočasně uzavřené z důvodů opravy, aj. Tam všude může být na stěnách potrubí akumulováno velké množství sedimentů. Z tohoto pohledu vyhovující jsou rychlosti > 0,25 m/s při průměrných průtocích Q_P. K přesnému vyhodnocení tohoto faktoru je téměř nezbytné použití metod matematického modelování se simulací časového průběhu spotřeby během dne.

FS_3 Nevyhovující kvalita dopravované vody – z hlediska vzniku zákalu je v upravené vodě rozhodující obsah železa a manganu. V ČR je koncentrace Fe v pitné vodě limitována mezní hodnotou (MH) 0,2 mg/l, ale např. v UK jsou předepsány maximální koncentrace železa 0,1 mg/l, navrhována je dokonce hranice 0,05 mg/l. Přísnější limity jsou stanoveny s cílem omezit tvorbu železitých sedimentů v distribučních sítích.

Jílovité koloidně dispergované anorganické látky mohou do vodovodní sítě vstupovat s podzemní vodou, která je čerpána z přetěžovaného podzemního zdroje a dochází u něj k sufozi. Hodnota zákalu u vody, která do sítě vstupuje by proto neměla rozhodně překročit mezní hodnotu zákalu 5 ZF.

V případě poruchy funkce úpravny vody může mít voda nevhodné vlastnosti již na výstupu z úpravny vody, např. z filtrace, buď je nedostatečná nebo se do vody uvolní znečištění při praní, filtrační cyklus je příliš dlouhý nebo jsou užívány železité soli jako koagulanty, a jejich zbytky jsou obsaženy v upravené vodě.

FS_4 Nedostatečná údržba –stěžejní význam má pravidelné a správně prováděné odkalení vodovodních řadů. Tím se rozumí zvolit takový postup, aby byla dodržena následující tři pravidla:

1) Čistá voda před,
2) Správná rychlost proudění, a
3) Správná doba trvání odkalování.

Konkrétní hodnoty a návody lze najít v metodice projektu 2B06039 – WaterRisk, který se jejich zpracováním zabývá podrobněji [např. 5,10,11].

Pozornost je třeba věnovat také čištění akumulačních nádrží vodojemů a čerpacích stanic, kde se může na jejich dně a stěnách tvořit biofilm a nános sedimentů, které se při rozvíření mohou s dopravovanou vodou dostávat do sítě.

FS_5 Vnos znečištění z vnějšího prostředí – při opravě potrubí může dojít k vniknutí znečišťujícího materiálu při manipulaci v jámě, při montáži nebo natéct do potrubí s povrchovou vodou. Během odstávky se v uzavřených úsekcích před a za poruchou mohou akumulovat sedimenty, které se musí před opětovným uvedením potrubí do provozu propláchnout. Více k tomuto viz TNV 75 5922 [8].

Při intruzi dochází k pronikání znečištění z bezprostředního okolí potrubí do vodovodní sítě přes netěsnosti ve spojích a prasklinami. Intruzi napomáhají změny provozního tlaku (nízký tlak, podtlaky, vodní rázy), kdy zemina okolo potrubí, která je vlivem netěsností zvodnělá a pod stejným tlakem jako voda v potrubí, nestíhá vyrovnávat rychlé změny napětí uvnitř potrubí a vlivem vyššího tlaku okolního prostředí proudí zvenku dovnitř potrubí. Samozřejmě sebou unáší jemnou frakci okolní zeminy a vše co obsahuje. Intruzi lze těžko měřit nebo jinak kvantifikovat. K jejímu odhadu lze však využít vyhodnocení jiných zástupných ukazatelů jako např. materiál a stáří potrubí, jeho poruchovost, JUVNF a diference v ukazatelích kvality dopravované vody.

3. Vznik zákalové události

Zákalová událost nastane, když se do vody uvolní materiál přisedlý na stěnách a dně potrubí. K tomu dojde při zvýšení průtoku, což má za následek zvýšení hodnoty smykového napětí u stěn potrubí τ_0, narušení rovnováhy doposud soudržných vrstev sedimentů, jejich rozrušení a uvolnění do proudu vody. Intenzita zákalové události bude záviset na rozdílu smykového napětí τ_0 dlouhodobě před incidentem a během něj. ***Rizikové faktory FU_i***, které mohou zákalovou událost vyvolat jsou:

FU_1 Zvýšení odběrů ve spotřebišti - byla prokázána téměř exponenciální závislost mezi teplotou vzduchu a množstvím stížností na zakalenou vodu [1]. Kritické jsou tropické letní dny s teplotami > 35°C. Fenoménem posledních let je také první teplý letní víkend, kdy lidé napouštějí zahradní bazény. Výrazné výkyvy v hydraulických poměrech vodovodních sítí způsobují také sezónně provozované objekty a chataři. Významní odběratelé mohou výkyvy způsobit např. napouštěním vlastních probozních akumulací nebo opětovným spuštění provozních linek, které vyžaduji nárazově větší potřeby vody (potravinářský, chemický průmysl). Zvýšení průtoků může být způsobeno také odběrem požární vody, nebo poruchou řadu s výrazným únikem vody.

FU_2 Odkalování sítě – v průběhu odkalování je pochopitelně kvalita vody dočasně zhoršená. Dodržením pravidel správného odkalování lze však tento efekt velmi omezit.

FU_3 Změna směru proudění – nastává manipulací s uzávěry na síti, uzavřením či otevřením úseku, při požáru nebo jiném prudkém zvýšení některého z odběrů. Tento jev je nebezpečný v tom, že sedimenty jsou „zvyklé“ na jeden směr proudění vody a při jeho směru se uvolňují snáze.

FU_4 Porucha procesů úpravy vody – při poruše separace teoreticky může nastat situace, že se do sítě dostane voda s vločkami kalu, které se rychlým prouděním v potrubí opět rozbijí a způsobí zákal.

4. Postup analýzy zákalové události

Cílem analýzy je vytipovat místa, kde zákalová událost vzniká a vymezit zasaženou část sítě. To znamená stanovit směry a rychlosti proudění a vzdálenost, jak daleko zkalená voda trubním systémem doputuje, než se zákal v potrubí opět usadí. K tomu lze využít

rámcovou metodiku analýzy rizik systémů zásobování pitnou vodou, která je vyvíjena projektem WaterRisk, a používá k odhadu pravděpodobnosti metodu FMECA. Stručně lze postup analýzy rozdělit do následujících kroků:

1) Odhad pravděpodobnosti akumulace jemných sedimentů v potrubí – s využitím dostupných informací o síti se metodou FMECA podle nastavených hodnotících stupnic vyhodnotí jednotlivé faktory FS_1 až FS_5.. Výsledkem je, že se pro každý úsek (ulici, měřící okrsek či tlakové pásmo) stanoví kategorie K1~K3 pravděpodobnosti akumulace a přítomnosti jemných sedimentů v síti.
2) Pro ty části sítě, kde byla v kroku 1) stanovena kategorie K3 (nejvyšší pravděpodobnost) se provede odhad pravděpodobnosti vzniku zákalové události. Tzn. ohodnotí se jednotlivé faktory FU_1 až FU_4. Výsledkem je, že pro každý úsek (ulici, měřící okrsek či tlakové pásmo) se stanoví kategorie K1 – K3 pravděpodobnosti vzniku zákalové události.
3) Vyberou se ty části sítě, které obdržely dle kroku 1) i 2) hodnocení K3. To jsou místa, kde je přítomen sediment a zároveň vysoká pravděpodobnost hydraulických změn, resp. vzniku zákalové události.
4) Standardními metodami matematického modelování se stanoví směr proudění z místa odkud se sediment uvolňuje (každé zvlášť), rychlost proudění vody a stanoví se zasažená část sítě. V síti se vykreslí 4 izolinie, spojující místa kam zakalená voda dorazí v časovém intervalu za: a) 20% celkového času pro usazení, b) 50% celkového času pro usazení, c) 80% celkového času pro usazení a d) 100% celkového času pro usazení. Celkový čas pro usazení je doba, po kterou se zákal udrží ve vznosu, než opětovně ulpí na stěnách potrubí. Je to hodnota řádově v hodinách, více viz [5]. Výsledkem je přehledná barevná mapa sítě zobrazující názorně šíření zákalu z místa incidentu v čase.
5) Následuje analýza následků – prioritně se řeší pochopitelně části sítě nejblíže k místu vzniku, kde je zákal nejvyšší než se zředí mícháním s čistou vodou a postupně se usadí. Posuzuje se, kolik a jakých odběratelů je v daném místě sítě připojeno, atd. Hodnotí se především následky sociálně-ekonomické a ekonomické. Tím se potenciální seznam úseků k provedení opatření dále zúží a vyberou se ty nejvíce potřebné.
6) Proces se uzavře doporučením nápravných opatření, která mohou být:
    a. Cílená na problematické úseky – rekonstrukce, otevření/uzavření uzávěrů, zvýšené odkalování, stanovení postupů pro správné odkalování – lokality a jejich pořadí, dobu odkalování a požadovaný -průtok (nutno stanovit pro každou síť individuálně nejlépe s využitím matematického modelu sítě).
    b. Plošná – zavedení provozních opatření, optimalizace profilů nových řadů, rekonstrukce technologie úpravy vody, atd.

5. Závěr

Problematice zákalu se v ČR doposud mnoho pozornosti nevěnovalo, ačkoliv se jedná o nejčastější důvod stížností zákazníků na zhoršenou kvalitu vody. Článek prezentuje možný metodický návod pro vytipování problematických míst na síti a zavedení opatření pro prevenci vzniku zákalových událostí. Je zřejmé, že pro získání relevantních výsledků je vhodné nejprve sestavit, verifikovat a zkalibrovat hydraulický model řešené vodovodní sítě. I bez něj lze však některá uvedená doporučení aplikovat do praxe. Uvedené postupy vycházejí z metodiky analýzy rizik SZV, které jsou vyvíjeny projektem 2B06039- WaterRisk.

6. Literatura

[1] Prince R., Goulter I., Ryan G..: Relationship between velocity and turbidity probleme in distribution system, World water congress 2001, ASCE 2004

[2] Vreeburg, J.H.G., Boxall, J.B.: Discolouration in potable water distribution system: A review, Elsevier Ltd. 2006, 0043-1354, DOI: 10.1016/j.watres.2006.09.028

[3] Saul, A.J., Boxall, J.B.: Modeling Discolouration in potable water distribution systems, Journal of environmental engineering 2005, ASCE 2005, ISBN 0733-9372/2005/5-716-725, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:5(716)

[4] Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody v platném znění

[5] WaterRisk.cz – internetová prezentace projektu 2B06039 – WaterRisk

[6] International Water Association: The Bonn Charter for Safe Drinking Water. September 2004. Česky vyšlo: Bonnská charta pro bezpečnou pitnou vodu v časopise SOVAK č. 7-8/2005, str. 20-23.

[7] Zpráva o jakosti pitné vody v České republice za období 2005 – 2007 podle směrnice 98/83/ES, ve formátu rozhodnutí komise 95/337/ES, Ministerstvo zdravotnictví ČR, 12/2008, www.mzdr.cz

[8] TNV 75 5922 Obsluha a údržba potrubí veřejných vodovodů

[9] KADLECOVÁ, V.: Diplomová práce: Vznik a pohyb zákalu ve vodovodních sítích. Vysoké učení technické v Brně, 2008. 124 s. Vedoucí práce Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.

[10] Identifikace a hodnocení rizik při výrobě a distribuci pitné vody - odborný seminář k projektu WaterRisk, 21.10.2008, VUT v Brně, www.waterrisk.cz/seminar2008.htm

[11] Implementace teorie analýzy rizik v systémech veřejného zásobování pitnou vodou - L. Tuhovčák, J. Ručka; sborník konference Pitná voda Tábor 2008, Tábor, 6/2008; ISBN 978-80-254-2034-8