



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

Hodnocení technického stavu úpraven vody

Technical Assessment of Water Treatment Plants

Habilitační práce

Habilitation Thesis

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

BRNO 2019

Abstrakt

Předložená práce se zabývá technickým stavem úpraven vody jakožto objektů, které jsou součástí veřejných vodovodů. Hlavní částí práce je navržená metodika hodnocení technického stavu úpraven vody, jejíž součástí je sada ukazatelů typu stavebně-technického a provozně-technologického. Navržená metodika hodnocení technického stavu úpraven vody, především tedy skladba ukazatelů, vychází z požadovaných klíčových vlastností úpraven vody, jako jsou životnost, spolehlivost, odolnost a zranitelnost. Návrh metodiky hodnocení je motivován zákonnými požadavky na provádění technického auditu vodárenských objektů. Navržená metodika byla nasazena na hodnocení reálných objektů úpraven vody, přičemž součástí práce je i jedna z těchto případových studií.

Klíčová slova

hodnocení, technický stav, technický ukazatel, úpravna vody, zásobování vodou

Abstract

The habilitation thesis deals with the technical condition of water treatment plants as objects that are part of public water supply systems. The main part of the thesis is a proposed methodology for evaluating the technical condition of water treatment plants, which includes a set of different types of indicators: construction-technical and operational-technological. The proposed methodology for evaluating the technical condition of water treatment plants, especially the composition of indicators, is based on the required key characteristics of water treatment plants, such as durability, reliability, resistance and vulnerability. The proposal of the evaluation methodology is motivated by requirements of law for technical audit of water supply systems. The proposed methodology was applied to the evaluation of real objects of water treatment plants, one of these case studies is part of the thesis.

Key words

technical assessment, technical condition, technical indicator, water supply, water treatment plant

Bibliografická citace

KUČERA, Tomáš. *Hodnocení technického stavu úpraven vody*. Brno, 2019. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. 140 s.

© **Tomáš Kučera, 2019**

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta stavební

Veveří 331/95, 602 00, Brno

Na tomto místě bych rád poděkoval kolegům z Ústavu vodního hospodářství obcí a spoluautorům za spolupráci a jejich nápady a podnětné připomínky k řešené problematice. Rovněž děkuji pracovníkům vodárenských společností za umožnění četných prohlídek vodárenských objektů a jejich cenné komentáře.

Velký dík patří mé manželce a dětem za neustálou dávku malých i velkých radostí, které mně dodávají energii k práci.

*The goal is „Good safe drinking water that has the
trust of consumers”*

*Cílem je „dobrá nezávadná pitná voda, která se těší
důvěře spotřebitelů“.*

The Bonn Charter for Safe Drinking Water, IWA, 2004

Obsah

Seznam obrázků.....	10
Seznam tabulek.....	12
1 Úvod.....	13
1.1 Cíle práce	15
2 Úpravny vody.....	17
2.1 Základní charakteristika.....	17
2.2 Klíčové vlastnosti	18
2.2.1 Životnost	19
2.2.2 Spolehlivost.....	20
2.2.3 Odolnost	22
2.2.4 Zranitelnost	24
2.3 Skladba a součásti	24
2.3.1 Účinnost technologických procesů	28
2.4 Výkonnostní ukazatele.....	31
2.5 Vady a poruchy	34
2.6 Rizika	37
2.6.1 Metody odhadování rizika	39
2.6.2 Nebezpečí a nežádoucí stavy	40
3 Technický audit	43
3.1 Účel technického auditu.....	44
3.2 Přístup k hodnocení úpraven vody.....	45
3.3 Technický audit podle zákona	49
3.4 Četnost provádění technického auditu.....	52
4 Metodika hodnocení technického stavu úpraven vody.....	53
4.1 Východiska hodnocení.....	54
4.2 Princip hodnocení	57
4.3 Význam prvků.....	59
4.4 Systém navržených ukazatelů pro úpravny vody.....	60
4.4.1 Stavebně-technické ukazatele	63
4.4.2 Technologicko-provozní ukazatele	75
4.5 Přehled ukazatelů a faktorů.....	98
4.6 Význam ukazatelů a faktorů	100
4.7 Agregace hodnocení	105

5	Případová studie.....	107
5.1	Popis posuzované úpraveny vody.....	107
5.1.1	Technologická linka.....	108
5.1.2	Provozní budova	109
5.1.3	Trubní vstrojení, čerpací a měřicí technika.....	111
5.1.4	Poruchovost.....	113
5.2	Vyhodnocení	114
5.2.1	Faktory	114
5.2.2	Ukazatele.....	120
5.2.3	Přehled a závěry	124
5.2.4	Doporučená opatření	125
6	Závěr a diskuze.....	127
	Seznam použitých zdrojů	129
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	139

Seznam obrázků

Obr. 1 Blokové technologické schéma úpraveny vody bez separačního stupně.....	26
Obr. 2 Blokové technologické schéma dvoustupňové úpraveny vody.....	26
Obr. 3 Rozhodovací schéma – dezinfekce (upraveno podle [117]).....	28
Obr. 4 Redukce zákalu v závislosti na dávce síranu hlinitého [64].....	29
Obr. 5 Koncentrace manganu v surové vodě na nátok do úpraveny vody [67]	30
Obr. 6 Specifická spotřeba elektrické energie na úpravách vody s vlivem rozsahu čerpání [97].....	34
Obr. 7 Vztah mezi stavem systému, stářím a pravděpodobností vzniku poruchy [80]	35
Obr. 8 Skladba technického auditu.....	43
Obr. 9 Vztah mezi analyticky plánovacími činnostmi.....	44
Obr. 10 Postup provádění technického auditu	48
Obr. 11 Pokles koncentrace železa podél technologické linky.....	49
Obr. 12 Pokles koncentrace manganu podél technologické linky.....	49
Obr. 13 Uživatelské rozhraní aplikace TEA Water [119]	53
Obr. 14 Pilíře hodnocení technického stavu	54
Obr. 15 Koagulační sklenicová zkouška	55
Obr. 16 Schéma filtračního experimentu [118]	56
Obr. 17 Struktura hodnocení technického stavu [101]	58
Obr. 18 Armaturní chodba – významný výskyt plísní a nárostů	65
Obr. 19 Detail funkčního prostupu trubního vedení konstrukcí – článkové těsnění	67
Obr. 20 Čištění filtrační nádrže.....	68
Obr. 21 Vločkovací nádrž – plošně oprýskaný vnitřní povrch nádrže	69
Obr. 22 Rozdělovací objekt	69
Obr. 23 Stav provzdušňovacího zařízení	70
Obr. 24 Stav potrubních rozvodů.....	71
Obr. 25 Vločkovací nádrže – pohon míchadel	72
Obr. 26 Čerpadla prací vody – zdrojem prací vody je surová voda	82
Obr. 27 Nevhodné provedení procesu rychlého míchání	83
Obr. 28 Měření průtoku rotametry.....	88
Obr. 29 Ochrana čerpadel před spadem částic práškového aktivního uhlí.....	96
Obr. 33 Narušená konstrukce venkovní rampy – k faktoru ST1.5	109
Obr. 30 Stav stropních konstrukcí – k faktoru ST1.1	110

Obr. 31 Stav stěn – k faktoru ST1.2	110
Obr. 32 Chybějící dveře do akumulární nádrže – k faktoru ST1.4	111
Obr. 34 Prostupy – k faktoru ST1.7.....	111
Obr. 35 Prostupy – k faktoru ST1.7.....	112
Obr. 36 Potrubní rozvody – k faktoru ST2.3	112
Obr. 37 Netěsnosti spojů na trubním vedení – k faktoru ST2.3	112
Obr. 38 Armatury – k faktoru ST2.4	113
Obr. 39 Čerpadla – k faktoru ST2.6	113

Seznam tabulek

Tab. 1 Výklad bodového skóre faktorů	58
Tab. 2 Přehled navržených stavebně-technických ukazatelů a faktorů	98
Tab. 3 Přehled navržených provozně-technických ukazatelů a faktorů	98
Tab. 4 Váhy stavebně-technických ukazatelů	101
Tab. 5 Váhy technologicko-provozních ukazatelů	101
Tab. 6 Váhy faktorů ukazatele ST1 – Stavební konstrukce.....	102
Tab. 7 Váhy faktorů ukazatele ST2 – Technologické prvky	102
Tab. 8 Váhy faktorů ukazatele ST3 – Ochrana proti vnějším vlivům.....	103
Tab. 9 Váhy faktorů ukazatele TP1 – Rozsah technologie úpravy vody.....	103
Tab. 10 Váhy faktorů ukazatele TP2 – Separční procesy	103
Tab. 11 Váhy faktorů ukazatele TP3 – Další technologické procesy	103
Tab. 12 Váhy faktorů ukazatele TP4 – Dávkování chemikálií.....	104
Tab. 13 Váhy faktorů ukazatele TP5 – Čerpací technika	104
Tab. 14 Váhy faktorů ukazatele TP6 – Měření, monitoring a manipulace.....	104
Tab. 15 Váhy faktorů ukazatele TP7 – Spolehlivost dodávky vody	104
Tab. 16 Váhy faktorů ukazatele TP8 – Efektivita provozu	105
Tab. 17 Váhy faktorů ukazatele TP9 – Bezpečnost.....	105
Tab. 18 Kategorie hodnocení [101]	106
Tab. 19 Schéma transformace.....	106
Tab. 20 Hodnocení faktorů	114
Tab. 21 Hodnocení ukazatelů	121
Tab. 22 Hodnocení stavebně-technické části úpravny vody – přehled	124
Tab. 23 Hodnocení technologicko-provozní části úpravny vody – přehled.....	125

1 Úvod

Základním posláním vodárenských společností je dodávka zdravotně nezávadné pitné vody, která vyhovuje legislativně daným kvalitativním požadavkům¹. Nejdůležitějším cílem při provozování, řízení a plánování rozvoje systémů rozvodu pitné vody je uspokojování požadavků spotřebitelů. Pro spolehlivost vodovodu je nezbytné zajistit všem spotřebitelům vodu v požadovaném množství a předepsané kvalitě v jakýkoliv čas. Za jakýsi bonus pak lze považovat dodávku vody, která se těší důvěře spotřebitelů [1]. Cílem má být dodávka vody, kterou lze nejen „*bez obav pít, ale u níž spotřebitel zároveň oceňuje její estetickou kvalitu*“.

Kromě těchto primárních cílů se však vodárenské společnosti zaměřují na to, jak celý systém dodávky vody provozovat nákladově efektivně a udržitelným způsobem [2, 3]. Snaží se zaměřit na návrh a konstrukci nových prvků zásobování vodou [4], aby docílily lepší účinnosti a efektivního fungování stávajících systémů. Rovněž je potřeba neustále posuzovat aktuální stav jednotlivých součástí systému i jeho chování. Pouze podrobná znalost o současném stavu systému totiž umožňuje smysluplné plánování investic nebo dílčích oprav.

Základním předpokladem udržitelného stavu vodárenské infrastruktury je plánovaná kontinuální obnova², která může být prováděna smysluplně pouze za současné a komplexní znalosti o technickém stavu systému. Tyto informace lze pak využít při plánování obnovy vodovodů³ a při rozhodování o investičních akcích. Poznání o úrovni technického stavu vodovodů je klíčové pro případnou predikci výkonnosti vodovodů a optimalizaci údržby a

¹ 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.

² Obnovou je výměna části vodovodu, úpravy vody, kanalizace nebo čistírny odpadních vod, která je inventárně sledovanou částí majetku vlastníka nebo samostatnou položkou uvedenou ve vybraných údajích majetkové evidence, za účelem prodloužení životnosti stavby a s ní související technologie. [5]

³ Vodovod je provozně samostatný soubor staveb a zařízení zahrnující vodovodní řady a vodárenské objekty, jimiž jsou zejména stavby pro jímání a odběr povrchové nebo podzemní vody, její úpravu a shromažďování. [5]

obnovy.

V České republice existuje více než 6600 vlastníků a více než 2200 provozovatelů vodárenské infrastruktury [6]. Z uvedeného počtu vlastníků pouhých 26 z nich vlastní 61 % hodnoty vodárenského majetku (vyjádřeno skrz pořizovací cenu). V případě provozovatelů pak 50 z nich dodává spotřebitelům 90 % objemu vody fakturované (uvedené počty a podíly jsou orientační). Z těchto údajů je zřejmé, že existuje vysoký počet vlastníků a provozovatelů mající ve správě i jen velmi malé systémy. Je známo, že zejména mnoho malých vlastníků a provozovatelů, může čelit omezeným možnostem v otázce obnovy infrastrukturního majetku – zejména, co se týče plánování a dostupnosti finančních prostředků. Jak ukázal dotazníkový průzkum [7], i mezi většími společnostmi nebývá znalost technického stavu infrastruktury samozřejmostí.

Právní předpisy⁴ České republiky sice ukládají vlastníkům povinnost zpracovat a realizovat plán financování obnovy vodovodů a kanalizací, jedná se však pouze o plán finančních prostředků určených na obnovu stanovený na základě procenta opotřebení majetku. Legislativa už dále neuvádí postup pro stanovení procenta opotřebení a ponechává na vlastníkově vodovodu, jakým způsobem jej stanoví⁵. Vedle toho je například dostupný Metodický pokyn pro orientační ukazatele výpočtu pořizovací ceny objektů vydaný Ministerstvem zemědělství.

V běžné praxi se používá pouze praktických zkušeností k posouzení stavu vodovodů, protože neexistuje žádná standardizovaná hodnotící stupnice, kterou lze použít k vyjádření technického stavu vodovodů. Efektivní vyhodnocení technického stavu vyžaduje nasazení množství specializovaných pracovníků, spolehlivé vstupní údaje, podstatné množství času a

⁴ Zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích) v platném znění.

⁵ Citace z vyhlášky č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích): „*Vlastník si podle vlastního uvážení (metodiky) stanoví hodnotu procenta opotřebení pro jednotlivé skupiny vybraných údajů majetkové evidence, popřípadě položky.*“

vybavení. Proto je výhodné provést efektivní hodnocení technického stavu za pomoci standardizované metodiky.

Znalost a povědomí o technickém stavu spravovaného infrastrukturního majetku, a to nejen v případě vodovodů a kanalizací, ale například i plynovodů [8, 9], je jedním ze základních podkladů pro další navazující úlohy, jako je již zmíněné plánování obnovy majetku, vyhodnocení výkonnosti a riziková analýza, která je relativně nově zavedená zákonná povinnost⁶ provozovatelů vodovodů. Hodnocení technického stavu a výkonnosti, plánování obnovy a riziková analýza jsou úlohy, které na sebe navazují a vzájemně se doplňují.

Poznatky a závěry učiněné při řešení těchto úloh mají usnadnit každodenní operační rozhodování provozovatele, ale i rozhodování vlastníka ohledně správy, rozvoje a celkové koncepce zásobování vodou. Souhrnně jsou tyto úlohy zahrnovány pod tzv. *asset management* (český ekvivalent *správa aktiv*), který je definován v literatuře [3, 10, 11, 111] poněkud nejednotně, např. jako kontinuální proces rozhodování při získávání, provozování a likvidaci majetku infrastruktury za účelem optimalizace poskytování služeb a minimalizace nákladů během životnosti majetku.

1.1 Cíle práce

Cíle, které jsou představeny v této habilitační práci, navazují na potřeby objektivního hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury. Autor práce je klíčovým členem odborné skupiny působící na Ústavu vodního hospodářství obcí Fakulty stavební VUT v Brně zabývající tématy vodárenství s důrazem na plánování obnovy, rizikovou analýzu a technický stav objektů vodárenské infrastruktury, přičemž sám je profesně orientován především na objekty úpraven vody. Poznatky a závěry, které jsou součástí práce, byly shromážděny a učiněny na základě dlouholetého úsilí autora v oblasti hodnocení technického stavu úpraven vody ve vazbě na plánování obnovy a analýzu rizik těchto

⁶ Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů v platném znění.

objektů.

Jedním z výstupů vytvořeným v rámci činnosti zmíněné odborné skupiny je metodika hodnocení technického stavu vodárenských objektů, přičemž na metodice se podílelo více autorů. Jedna ze sedmi částí byla vytvořena pro hodnocení technického stavu úpraven vody, a právě tuto část metodiky odborně garantoval a osobně vytvářel autor habilitační práce. Metodika hodnocení technického stavu úpraven vody byla publikována po částech na několika konferencích a v odborných časopisech, jak je odkazováno přímo v textu, kompletně je pak popsána v kapitole 4 této habilitační práce. V kapitole 3 je autorem vyjasněno, co se myslí pod pojmem technický audit, jak hodnocení technického stavu zapadá do legislativního rámce a jak tedy souvisí s technickým auditem, který je legislativou definován. Autor v této části práce také diskutuje nad vhodnými přístupy a celkovým pojetím technického auditu a hodnocení technického stavu objektů úpraven vody. Vytvořená metodika byla následně uvedena a zpřístupněna pro použití v praxi, jedním z příkladů použití je případová studie uvedená v kapitole 5.

2 Úpravny vody

2.1 Základní charakteristika

Úpravny vody hrají v systémech zásobování pitnou vodou, jakožto jejich významné součásti, klíčovou úlohu ohledně dodávky vody v požadovaném množství a zejména požadované kvalitě. Není žádný jiný prvek tohoto systému, který takto významně ovlivňuje kvalitu vody v průběhu procesu zásobování.

Úpravny vody jsou definovány legislativou⁷ spíše z pohledu výkaznictví než z pohledu jejich funkce v systému distribuce vody. Podle znění zákona jde o vodárenské objekty, které jsou součástí vodovodů. Z technicko-technologického hlediska lze úpravny vody definovat jako soubor zařízení či stavbu, umožňující provést technologický proces úpravy vody, jakožto proces odstraňování nežádoucích látek či úpravu nevyhovujících vlastností vody fyzikálními, chemickými nebo biologickými metodami a dávkování látek potřebných z hlediska zdravotního, technického nebo technologického. Úprava vody je také chápána jako výrobní proces, kdy vyráběným produktem je pitná voda⁸.

Úpravny vody jsou složeny z objektů, jednotek či souborů (obecně prvků) majících různou funkci a význam v procesu výroby pitné vody. Zde je třeba zdůraznit, že není možné směřovat pozornost pouze na prvky mající roli ve vlastním technologickém procesu, avšak i na další součásti. Každou úpravnu vody lze primárně rozčlenit na část stavební a technologickou, přičemž obě tyto části jsou složeny z prvků různého charakteru, které

⁷ Stavbou pro úpravu vody se rozumí soubor objektů a zařízení s technologií pro úpravu vody (úpravna vody). Za stavbu pro úpravu vody se pro účely vybraných údajů majetkové nebo provozní evidence považuje i stavba k jímání vody, s případným zařízením na zdravotní zabezpečení vody bez technologie úpravy vody,

⁸ Pitná voda je veškerá voda v původním stavu nebo po úpravě, která je určena k pití, vaření, přípravě jídel a nápojů, voda používaná v potravinářství, voda, která je určena k péči o tělo, k čištění předmětů, které svým určením přicházejí do styku s potravinami nebo lidským tělem, a k dalším účelům lidské spotřeby, a to bez ohledu na její původ, skupenství a způsob jejího dodávání. Takto je pitná voda definována v zákoně č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a také Směrnicí Rady 98/83/ES o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu.

mohou různou měrou ovlivňovat proces úpravy vody a potažmo i kvalitu vyrobené pitné vody. Na jednotlivé části i prvky jsou kladeny nejrůznější nároky [12, 13, 14], co se týče jejich technického provedení, i způsobu provozování a údržby, provádění oprav a obnovy.

Jak bylo řečeno výše, úpravní vody jsou klíčové objekty vodovodů, zejména co se týče zajištění požadované kvality pitné vody. V žádném případě nelze přistoupit na myšlenku, že taková stavba bude od svého zprovoznění podávat konstantní výkon⁹ po stránce množství, stejně tak i kvality. Podmínky procesu úpravy vody jsou totiž proměnlivé v čase, ať už se jedná o kvalitu surové vody (vstupní suroviny) či její množství nebo stav objektu a každé jeho součásti. V průběhu životnosti objektu úpravní vody mohou nastat i krizové podmínky, které mohou do výkonu úpravní vody zasáhnout zcela zásadním způsobem. Připravenost na odchylky od návrhového stavu může snížit nežádoucí následky.

Kvalitu vyrobené pitné vody ovlivňuje kromě zmíněné kvality surové vody především stavební i technické provedení úpravní vody, skladba technologického procesu i způsob provozování úpravní. Mezi zásadní vlivy s projekcí do technického stavu úpravní lze zařadit:

- zastaralost technologických zařízení;
- nedostatečnou obnovu technologického zařízení;
- způsob a intenzitu údržby, revize a oprav technologických zařízení;
- nevhodnou provozní praxi;
- nedostatečnou kvalifikaci obsluhy;
- připravenost na krizové stavy.

2.2 Klíčové vlastnosti

Jak již bylo řečeno, nejdůležitějším úkolem vodárenských společností je uspokojení požadavků spotřebitele. Tyto požadavky nejsou pouhým subjektivním dojmem v rovině pojmů „voda teče“ či „voda neteče“, avšak jsou pevně definovány legislativními požadavky. Spolehlivý systém distribuce vody dodává vodu o předepsané kvalitě a za

⁹ Pojem *výkon* je použit v práci ještě několikrát, avšak nikoliv ve významu fyzikální veličiny.

předepsaného přetlaku za všech okolností a nepřetržitě.

Každý jednotlivý prvek úpravny vody má své vlastnosti, charakteristiky či technické parametry, mezi nimi i **životnost**. Udržitelný výkon úpraven vody po stránce kvantitativní i kvalitativní je velmi důležitý s ohledem na spolehlivost dodávky vody jak za standardních, tak i krizových situací po celou dobu životnosti. Úpravna vody musí být schopna dodávat pitnou vodu v různých situacích a etapách provozu zařízení, přičemž je zcela na místě sledovat tyto tři klíčové vlastnosti: **spolehlivost, odolnost a zranitelnost**. V literatuře je sledována výkonnost vodárenských systémů právě z těchto aspektů, avšak obvykle zvlášť a ponejvíce pak spolehlivost. Byly také publikovány některé práce definující hybridní index, resp. výkonnosti funkce kombinující všechny tři uvedené aspekty [15, 16]. Kromě toho byly publikovány práce vztahující se k hodnocení konkrétních úpraven vody [17, 18, 19, 20, 21], přičemž prezentovaný postup není komplexní, co se týče hodnocení technického stavu [22, 23, 24, 116] a univerzálně použitelný i na jiných objektech. V posledně citovaných pracích je pozornost během hodnocení zaměřena zejména na kvalitu surové a upravené vody.

2.2.1 Životnost

Vyjádřit se k otázce životnosti úpraven vody jako celku není jednoduché. Úpravny vody zahrnují prvky různého charakteru od stavebního přes technologické až po strojní součásti, přičemž každý jednotlivý prvek má svoji životnost. Každý prvek úpravny vody se podílí na její funkci určitou předpokládanou dobu, jejíž délka je odvislá od faktorů, jako je kvalita návrhu (projektu), způsob a intenzita využití nebo kvalita údržby. Rozhodující vliv na určení životnosti úpravny vody jako celku má návrhová životnost nosné konstrukce – tedy stavební části, bez které nemají ostatní prvky opodstatnění [25].

Návrhová životnost je definována jako předpokládaná doba, po kterou má být nosná konstrukce užívána pro zamýšlený účel při běžné údržbě bez podstatné stavební úpravy. Pro inženýrské stavby obecně je doporučena [26] hodnota návrhové životnosti 100 let. Pro stavby úpraven vody tento požadavek není dále určen normativně, ale například u vodojemů je tato uvedená hodnota životnosti požadována v související normě [27].

Určitá informace k životnosti úpraven vody se objevuje v prováděcí vyhlášce¹⁰ k zákonu o vodovodech a kanalizacích v souvislosti se požadavkem na sestavování plánu obnovy, kde se uvádí teoretická doba akumulace prostředků na obnovu v délce 45 let. Tato doba může být vykládána jako průměrná životnost úpravny vody jako celku, vztahující se na všechny prvky. U technologických i strojních součástí je životnost výrazně kratší než u stavebních částí. Například u dávkovacích čerpadel je pozorována v provozu a také v návrzích uvažována životnost v intervalu 8-15 let.

Mezi aspekty ovlivňující životnost úpravny vody lze zařadit kvalitu návrhu, kvalitu stavebních a montážních prací, stejně tak i kvalitu jednotlivých dílů, dále také způsob a intenzitu údržby.

V publikacích US EPA¹¹ [10, 11] byly publikovány teze, že nejlepší způsob jak určit zbývající životnost systému, je provádět pravidelná hodnocení stavu a že je nezbytné, aby provozovaná zařízení byla podrobována pravidelnému vyhodnocování stavu, pokud má být přijato co nejlepší rozhodnutí týkající se údržby a výměny daného prvku.

2.2.2 Spolehlivost

Spolehlivost je obecnou vlastností všech technických produktů či systémů, a je definována v literatuře různě. Podle jednoho z výkladů je spolehlivost „souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a faktorů, které ji ovlivňují: bezporuchovost, udržitelnost provozu a zajištěnost údržby“ [28] nebo také jako „schopnost fungovat tak, jak je požadováno, a tehdy, když je to požadováno“ [29]. V širších souvislostech je možné spolehlivost definovat jako stálost užitných vlastností objektu po stanovenou dobu a za stanovených podmínek užívání [30]. Jednodušší definice vykládá spolehlivost jako schopnost výrobku zůstat funkční po určitý čas a za daných provozních podmínek [31]. Spolehlivost je vyjadřována jako pravděpodobnost, s jakou je systém schopen plnit

¹⁰ Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)

¹¹ United States Environmental Protection Agency, též US EPA

požadované funkce při zachování hodnot stanovených ukazatelů v daných mezích a čase podle stanovených technických podmínek [32].

Systemy zásobování vodou plní svoji funkci, jestliže pokrývají požadavky odběratelů, tj. obyvatelstva, průmyslu, zemědělství, požární služby a jiných, v požadovaném množství a požadované kvalitě vody [33, 34]. Spolehlivost vodovodní systémů je již dlouho diskutovaným tématem v mnoha výzkumných pracích [35, 36] také jako jedno z kritérií pro plánování obnovy [37, 38, 39].

Stanovení spolehlivosti vodovodní sítě lze pojmut dvěma základními přístupy: *kvalitativním*, což vyjadřuje zabezpečení dodávky vody v požadované kvalitě, a *kvantitativním*, kde jde o zabezpečení dodávky požadovaného množství vody.

Spolehlivost bývá mnohdy chápána jako úroveň služby pro spotřebitele, přičemž převažuje kvantitativní aspekt. Kvalitativní aspekty jsou při vyšetřování spolehlivosti systému distribuce vody méně často uvažovány [40]. Otázka dodání či nedodání požadovaného množství vychází z požadavku určité úrovně přetlaku a dostupného průtoku ve spotřebitelských uzlech a průtočné rychlosti [34, 41]. Celkovou spolehlivost vodovodní sítě je možné definovat na základě dodaného množství vody do sítě či počtu uzlů [36], ve kterých bylo dosaženo předepsané hodnoty přetlaku.

V případě úpraven vody je možné přistoupit k vyjádření celkové spolehlivosti například podle počtu překročení limitních hodnot ukazatelů jakosti pitné vody. Je žádoucí zabývat se nejen kvantitativní stránkou dodávky vody, ale i kvalitativní. Spolehlivost úpravny vody lze hodnotit na základě uspokojení dodávky požadovaného množství vody splňující kvalitativní kritéria, tedy splňující legislativou dané limity.

Pokud tedy pracujeme s definicemi, že spolehlivost systému je definována jako schopnost systému (resp. součásti) plnit požadované funkce za stanovených podmínek po určitou dobu [42] nebo, že spolehlivost je popisována jako pravděpodobnost, že během stanoveného časového období nedojde k selhání [43], pak platí, že čím delší je doba, po kterou systém (resp. prvek) plní zamýšlenou funkci, tím je systém spolehlivější. V kontextu úpraven vody je pravděpodobnost vztažena na fakt, že zařízení v daném období dodává vodu v potřebném množství, která navíc splňuje legislativně dané požadavky na kvalitu pitné vody, přičemž limity mohou být stanoveny i jinak než legislativně (např. u průmyslových

zařízení) [44]. Matematicky lze spolehlivost úpravny vody vyjádřit následovně [45]:

$$R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{T} \quad [-], \quad (1)$$

kde d_i ... trvání i -té události selhání [d],

n ... počet událostí selhání [-],

T ... celková doba včetně běžné doby provozu a doby selhání [d].

2.2.3 Odolnost

Odolnost je obecně chápána jako způsobilost systému pracovat bez ohledu na to, jaké okolní vlivy na něj působí. Odolný systém je schopen efektivně pracovat i v případě, že některé z těchto vlivů jsou odlišných hodnot, než se předpokládalo. Vlivy mohou přicházet jak z prostředí vnějšího, tak i z vnitřního. Odolnosti proti chybám může být dosaženo předvídáním mimořádných podmínek a navrhováním systémů schopných vypořádat se s nimi.

Definice odolnosti však nemá v současné praxi jednoznačnou podobu. Odolnost je popisována jako výkonnostní kritérium chování systému [2], jiní autoři ji udávají jako průměrnou dobu fungování systému s dočasným omezením [46]. V literatuře je například kvantifikována odolnost vodních nádrží vůči změnám charakteristik vodních zdrojů jako doba trvání (maximální nebo průměrná) dočasného omezení dodávek vody z pohledu dostupnosti vodních zdrojů [45]. Odolnost vodovodního systému byla definována [47] jako schopnost systému uspokojit poptávku po vodě v situacích selhání. Odolnost systému byla popsána a kvantifikována v různých zdrojích různě, nejčastěji jako míra trvání nevyhovujícího stavu [48], doba trvání obnovení systému po selhání [45] nebo také na základě maximální doby trvání události selhání [49] následovně:

$$Res = [\max(d_i)]^{-1} \quad (2)$$

kde Res ... odolnost systému [d^{-1}],

d_i ... doba trvání i -té události selhání [d].

Odolnost systému se obecně zvýší, pokud je zajištěno, že porouchaná část nezpůsobí výpadek systému. Pokud má systém poruchu, musí pokračovat bez přestání během opravného procesu. Toto lze na úpravách vody ošetřit zdvojením klíčových součástí. Mezi zásadní vlivy působící na úpravny vody z vnějšku lze zařadit charakteristiky vodního zdroje,

ze kterého je odebírána, resp. dodávána surová voda. Při návrhu úpraven vody se vždy předpokládá určitá vydatnost vodního zdroje a stejně tak i kvalita surové vody přicházející ze zdroje, a to ve stávajícím a výhledovém stavu. Kvantitativní a kvalitativní charakteristiky vodního zdroje zásadně ovlivňují návrh úpravny vody. Je známo, že tyto charakteristiky jsou v čase proměnlivé, proto se již při návrhu počítá s určitými výkyvy, které například postihují rozdíly v kvalitě surové vody v různých ročních obdobích. Také je nutno při návrhu zvážit kvalitu vody za mimořádných stavů (povodně či havárie). Úpravna vody musí těmto výkyvům odolávat a být schopna dodávat vyráběný produkt, tj. pitnou vodu, i za těchto mimořádných situací.

Výkyvům kvality surové vody negativním směrem může úpravna odolávat dostatečně robustní technologií, případně záložními technologickými prvky. Pokud ale úpravna vody není schopna dodat vodu požadované kvality (nejčastěji právě pitnou vodu), jedná se o kvalitativní poruchu, která se může rozvinout ve dva scénáře. Zaprvé tento stav je zaznamenán a nevyhovující voda není dodávána do rozvodné sítě, pak dojde k převodu na kvantitativní poruchu, která se projeví podobně, jako za situace nezajištění nátoků dostatečného množství vody ze zdroje do úpravny. Druhý scénář nastane, pokud dojde k nátokům vody nevyhovující jakosti do rozvodné sítě, pak porucha zůstává svým charakterem kvalitativní.

Jistý výpadek ve výrobě pitné vody v podobě nepokrytí potřeby vody, tedy kvantitativního charakteru, lze akceptovat za předpokladu, že jsou k dispozici záložní zdroje nebo akumulovaný objem pitné vody, který pokryje potřebu vody po dobu trvání výpadku úpravny. Úplné selhání úpraven vody, spojené s dlouhou dobou odstávky, mohou způsobit vážné škody na zařízeních závislých na zásobování vodou (průmyslová výroba), stejně tak se mohou projevit i závažné následky i směrem k zásobovanému obyvatelstvu. Výpadek kvantitativního charakteru bude mít zejména socioekonomické následky. Na druhé straně porucha kvalitativního charakteru může mít následky [33] jak socioekonomické, tak především i zdravotní, a to s velmi vážnými projevy v závislosti na kvalitativních parametrech, jejichž limitní hodnoty jsou v dané situaci překročeny.

Zvýšení odolnosti úpraven vody spočívá především ve správném návrhu skladby a jednotlivých prvků technologické linky, instalaci záložních technologií a zdrojů energie, zdvojení klíčových částí technologické linky. V této souvislosti je také velmi vhodné zajistit

dostatečnou kontrolu kvality vody na výstupu z úpraveny vody pro případné zmírnění následků poruch, především kvalitativního charakteru.

Úpravna vody bude považována za odolnou, pokud je její výkon necitlivý na změny kvality zdrojové vody a měnící se provozní podmínky, a trvale dosahuje požadované kvality vody [50].

2.2.4 Zranitelnost

Zranitelnost je pojem používaný v řízení rizik [33] pro označení slabiny či nedostatku, který umožňuje uplatnění hrozby. Zranitelnost vyjadřuje náchylnost systému být zraněn, míru, do jaké může být systém pravděpodobně poškozen v důsledku vystavení nebezpečí. Jde o vyjádření náchylnosti nebo predispozice k poškození nepříznivými vlivy. Zranitelnost vodovodního systému byla vyjádřena v literatuře [47] jako maximální nedostatek vody v případě selhání. Zranitelnost je chápána jako kombinace dopadů, které může hrozba způsobit, a schopnost systému vypořádat se s hrozbou. Za zranitelné jsou označovány systémy s nedostatečnou schopností zvládnout působení nebezpečí a přizpůsobit se. Při vyjádření zranitelnosti se pracuje se třemi složkami: expozice, citlivost, adaptivní kapacita. Analýzou zranitelnosti jsou hledána slabá místa, která mohou být zneužita hrozbou tak, že zapříčiní negativní dopad (ohrožení bezpečnosti).

V souvislosti s úpravami vody je vhodné zabývat se zranitelností přicházející od společenských či přírodních nebezpečí. Byly publikovány mnohé práce zabývající se zranitelností úpraven vody například od zemětřesení [51]. V podmínkách ČR je relevantní zabývat se přírodními nebezpečími zejména v podobě povodní, u společenských nebezpečí jde zejména o vniknutí nepovolaných osob či o úmyslnou kontaminaci. V praxi je znám případ (Hulín, 2018), kdy do objektu vodního zdroje byla vlita tekutina neznámého původu.

Snížení zranitelnosti úpraven vody spočívá zejména v zabezpečení nejen vlastních objektů úpraven, ale i objektů souvisejících proti vniknutí nepovolaných osob, možnostem úmyslné kontaminace a také proti účinkům povodní.

2.3 Skladba a součásti

Úpravny vody jsou složeny ze součástí různého charakteru. Za hlavní součásti jsou bezesporu považovány část stavební a část technologická (technologická linka).

Technologická linka je ta část úpravny, která se přímo podílí na procesu úpravy vody. Obvykle je dělena [12] na část předúpravy, separační stupně a ostatní části, někdy nazývané souhrnně jako doúprava. Vedle technologické linky je součástí úpraven chemické a kalové hospodářství. Mezi dílčí součásti pak patří strojní prvky, elektroinstalace a elektrická zařízení, řídicí systémy, měřicí zařízení, vzduchotechnika aj.

Stavební část lze pak dále členit na klasické stavební součásti, jako jsou nosná konstrukce, střecha, podlaha apod. Dále lze prostory úpraven dělit podle využití na prostory pro umístění technologických zařízení (technologická hala), provozní či kancelářské prostory, sociální zařízení, laboratoře a sklady. Úpravna vody nemusí být vždy dispozičně umístěna do jediného stavebního objektu, ale může být rozmístěna ve více budovách. Příkladem takové úpravny je úpravna vody v Plzni, která je dispozičně roztržena v rozsáhlém komplexu budov.

Technologická linka zahrnuje zařízení umožňující realizaci technologických procesů úpravy vody založené na mechanických, chemických či biologických procesech [39], přičemž chemické mají výraznou převahu. Při úpravě vody dochází často ke kombinaci jednotlivých způsobů úpravy v souladu se skladbou látek (přírodního původu i polutantů¹²) v surové vodě. Kvalita surové vody a účel, pro který je voda upravována, přímo ovlivňují složitost úpravy vody a volbu metod či způsobů úpravy. V zásadě existují čtyři typy úpraven vody dle rozsahu úpravy [12]:

- jednoduchá úprava vody bez separačního stupně;
- úprava vody s jednostupňovou separací;
- úprava vody s dvoustupňovou separací;
- úprava vody s vícestupňovou separací (případně s doúpravou vody bez použití třetího stupně separace).

Příklad té nejjednodušší úpravny vody bez separačního stupně, kde navíc může být provedena dezinfekce na fyzikálním principu, a to UV zářením, a tudíž nebude požadavek

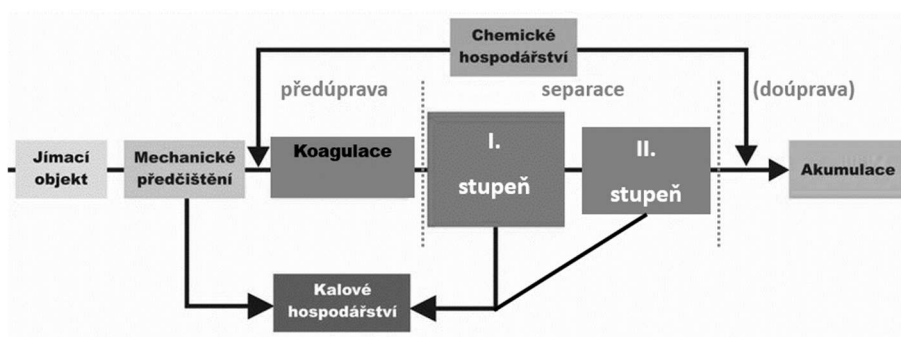
¹² Chemikálie přítomná v prostředí v nepřírodně vysoké koncentraci jako důsledek lidské činnosti. Látka znečišťující životní prostředí.

na dávkování žádného činidla, je znázorněn formou blokového technologického schématu na obr. 1



Obr. 1 Blokové technologické schéma úpravy vody bez separačního stupně

V případě požadavku na složitější proces úpravy vody, v závislosti na kvalitě vody surové, může pak být skladba úpravy vody podle následujícího blokového schématu (obr. 2).



Obr. 2 Blokové technologické schéma dvoustupňové úpravy vody

Skladba jednotlivých bloků může v závislosti na složení surové vody vypadat různě a za různého požadavku na dávkování chemických činidel.

Jednotlivé prvky technologické linky mají podobu nádrží, ať už otevřených či tlakových, žlabů a trubních vedení (v různých počtech a rozměrech), které jsou doplněny o další vybavení, jako jsou armatury, míchací či měřicí zařízení aj. Dekompozice úpravy vody na jednotlivé součásti z různých pohledů je klíčová při následném hodnocení technického stavu.

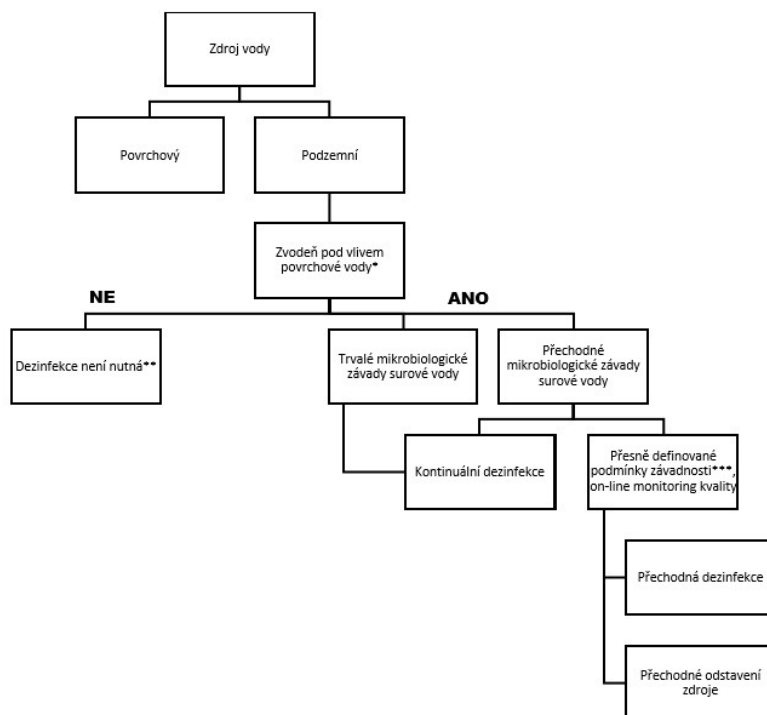
Při úpravě vody pro lidskou potřebu, zejména pro pitné účely, je velmi důležité nasadit procesy vedoucí k eliminaci patogenních organismů a odstranění dalších nežádoucích chemických látek, také chuti a zápachu. Pro odstranění těchto nežádoucích složek ze surové vody, ať se jedná o látky přírodního původu, polutanty či produkty chemických reakcí, se používají různé procesy úpravy, které mohou být uspořádány v technologické lince v různém pořadí a kombinacích. Při potřebě odstraňovat z vody různé látky jsou za hlavní část technologické linky považovány separační stupně. Separace je

definována jako výsledné odstranění nežádoucích látek z upravované vody [38]. Jedná se o přírodní látky, které surová voda v přírodním stavu obsahuje, látky vniklé do surové vody vlivem lidské činnosti a také látky, které byly do vody nadávkovány jako prostředky úpravy (koagulanty, flokulanty, pomocné koagulanty, látky pro úpravu pH aj.). Tyto látky je třeba v rámci úpravy z vody odstranit, separovat. V drtivé většině případů jsou samotné separační procesy neúčinné, proto je nutné nasadit některý z procesů předúpravy [14, 52].

Klíčovým procesem konvenčních úpraven vody zůstává chemické čiření, kdy součástí technologické linky jsou koagulačně-flokulační prvky, sedimentační nádrže, filtry a dezinfekce vody. Při konvenčním způsobu úpravy vody se uplatňují koagulanty na bázi solí hliníku či železa, které se již dlouhodobě používají při úpravě vody vedoucí k odstraňování zejména jemně suspendovaných a koloidních částic společně s organickou hmotou během procesu čiření. Tyto postupy jsou již dostatečně známé a hluboce probádané [13, 53, 54]. V posledních letech se do popředí zájmu dostaly technologie flotace rozpuštěných vzduchem [55] a také membránové technologie [56]. Také je stále více nasazován proces filtrace vody přes granulované aktivní uhlí v souvislosti s výskytem mikropolutantů ve vodách, zejména pesticidních látek.

V případě zařazení separačních procesů je vždy jedním ze stupňů filtrace, což je základní způsob separace suspendovaných látek z vody za využití fyzikálních principů, kdy voda prochází skrz filtrační médium, na němž ulpívají suspendované částice. Charakter a původ suspenze může být různý – ať už se jedná o látky vyskytující se v surové vodě či vzniklé v rámci procesu předúpravy.

Během úpravy vody jsou řazeny i prvky hygienického zabezpečení, z nichž významnou úlohu hraje proces dezinfekce, kde se stále uplatňují sloučeniny chlóru [57] za účelem inaktivace patogenních organismů formou působení volného chlóru. Mezi uváděné výhody tohoto způsobu patří nízká cena, a především reziduální koncentrace volného chlóru detekovatelná v rozvodné síti. V poslední době však lze pozorovat ústup od způsobu dezinfekce za použití plynného chlóru, s odklonem buď k jiným sloučeninám na bázi chlóru, zejména oxidu chloričitému [58], přičemž je snaha minimalizovat použití chemických činidel pro účely dezinfekce vody vůbec a již jsou v ČR provozovány některé vodovody bez chemické dezinfekce [59].



*) nutno prokázat nebo vyloučit; **) ve vazbě na technický stav vodovodu; ***) obvykle sledování zákálu

Obr. 3 Rozhodovací schéma – dezinfekce (upraveno podle [117])

Největším vodovodem provozovaným v ČR bez chemické dezinfekce je skupinový vodovod Mladá Boleslav, zásobující cca 60 tis. obyvatel, dále lze jmenovat skupinový vodovod Přelouč (19 tis. zásobovaných obyvatel) nebo vodovod Dolní Bečva (1 700 zásobovaných obyvatel). Při rozhodování o nutnosti zařadit dezinfekci jako součást technologické linky úpravy vody lze použít rozhodovací schéma – viz obr. 3. Pochybnosti, které vzbuzuje použití chlóru, souvisejí s jeho schopností reagovat s přírodními organickými látkami přítomnými ve vodě, čímž vzniká řada vedlejších produktů [60, 61, 115] se škodlivými účinky na zdraví spotřebitelů.

2.3.1 Účinnost technologických procesů

Účinnost každého jednotlivého procesu úpravy vody, ale i úpravy vody jako celku je odvislá od mnoha procesních parametrů [13, 53] zvažovaných jak při návrhu, tak dosahovaných při provozu. Mnohé parametry jsou specifické a vztahují se jen k jedinému procesu, jsou to například rychlostní gradienty při koagulaci a flokulaci, povrchové zatížení usazovacích nádrží, filtrační rychlost či doba kontaktu dezinfekčního činidla [61]. Obecně lze účinnost úpravárenského procesu v jednotlivých ukazatelích vyjadřovat vztahem:

$$e = \frac{c_r - c_t}{c_r} [\%], \quad (3)$$

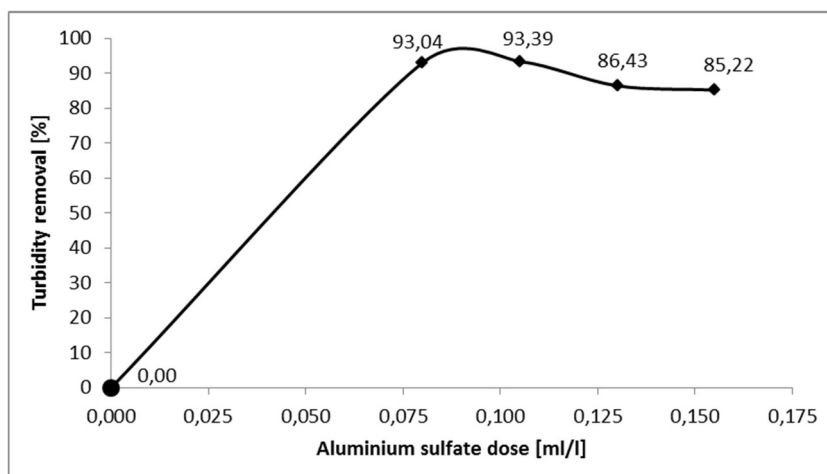
kde e ... účinnost pro daný ukazatel [%],

c_r ... hodnota kvalitativního ukazatele v surové vodě [-; mg/l; aj.],

c_t ... hodnota kvalitativního ukazatele v upravené vodě [-; mg/l; aj.].

Účinnost může být a obvykle je vyjádřena pro každý jednotlivý kvalitativní parametr zvlášť. Jedním z nejdůležitějších kvalitativních parametrů používaných ve vodárenství je zákal, který sám o sobě nemusí dostatečně vypovídat o kvalitě vyrobené pitné vody, nicméně je používán jako obecný ukazatel účinnosti zejména u separačních procesů. US EPA [62, 63] publikovala pravidla pro úpravu povrchových vod, založená jednak na limitních hodnotách zákalu po filtraci vody a jednak na hodnocení účinnosti odstranění specifikovaných druhů bakterií.

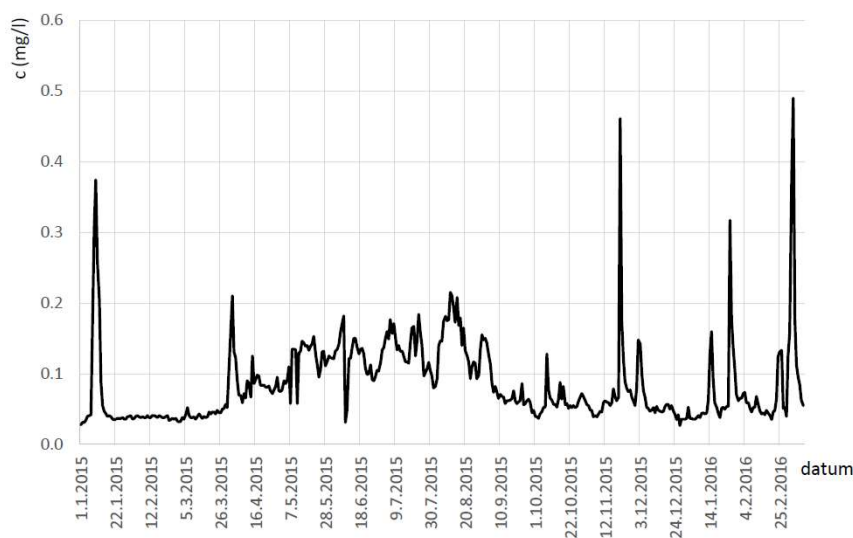
Hodnocení účinnosti úpravy vody jako celku je v podstatě založeno na porovnání kvalitativních parametrů vyrobené pitné vody na výstupu z úpraveny s legislativními požadavky. Nicméně je žádoucí sledovat výkon každého technologického stupně a neustále vyhodnocovat, zda nemůže být dosaženo lepšího výsledku na každém ze stupňů. Jako příklad procesu, který vyžaduje kontinuální vyhodnocování, lze uvést koagulačně separační proces, kdy změnou dávky koagulantu lze dosáhnout různých výsledků, co se týče účinnosti odstranění zákalu (obr. 4).



Obr. 4 Redukce zákalu v závislosti na dávce síranu hlinitého [64]

Za běžných provozních situací zřejmě postačuje hodnocení ve smyslu vyhovění či

nevyhovění limitním hodnotám kvalitativních ukazatelů. Avšak za situace nenadálých provozních stavů, např. provázených zhoršením kvality surové vody, nebude hodnocení v tomto smyslu postačující a bude nutné hledat rezervy v účinnosti každé samostatné jednotky. Je zcela žádoucí, aby každý technologický stupeň pracoval s co nejvyšší účinností právě pro případy neočekávaných výkyvů v kvalitě surové vody. Lze dokonce přijmout tezi, že není postačující vyrábět pitnou vodu pouze tak, aby prostě splnila požadavky na kvalitu pouhým podkročením hodnot sledovaných ukazatelů pod limitní hodnoty. Naopak je nezbytné dosahovat hodnot co nejnižších, zejména u zdravotně významných ukazatelů¹³. Zde je třeba poznamenat, že výkon úpraveny vody může být vždy vylepšen, avšak každé vylepšení může přinášet zvýšené požadavky na finanční zdroje. Jakousi nadstavbu nad legislativně definované kvalitativní požadavky na pitnou vodu lze spatřovat v hodnocení dalších vlastností vyrobené vody, jako je její agresivita a biologická stabilita¹⁴.



Obr. 5 Koncentrace manganu v surové vodě na nátok do úpraveny vody [67]

¹³ Zdravotně významné ukazatele jsou ty ukazatele kvality pitné vody, pro které je vyhláškou č. 252/2004 Sb. předepsána nejvyšší mezní hodnota (ozn. NMH).

¹⁴ Biologická stabilita vody znamená její odolnost proti rozvoji mikroorganismů a tvorbě biofilmů při její vodárenské úpravě, akumulaci a distribuci [65, 66].

Vzhledem k tomu, že celý proces úpravy vody není statický, dochází ke změnám kvality surové vody v čase (obr. 5) a taktéž nelze ani počítat s konstantním průběhem hydraulických jevů a chemických reakcí, hodnocení účinnosti úpravy vody je složitý problém. Je tedy žádoucí kontinuální měření výstupních ukazatelů kvality vyrobené vody a neustálé vyhodnocování průběhu procesu a jeho parametrů.

Každá jednotka vřazená do technologické linky úpravy vody má své nezastupitelné místo, a pokud přijmeme fakt, že zařazení a návrh té které jednotky byl opodstatněný a navržený k úpravě konkrétního kvalitativního parametru, pak i výkon této jednotky má vliv na celkovou účinnost úpravy vody. Může se jednat například o jednotku provádějící úpravu pH určené k dosažení odpovídající hodnoty nezbytné k průběhu navazující procesů. Je tedy žádoucí udržovat všechny jednotky v dobré kondici a se stabilním, udržitelným výkonem.

2.4 Výkonnostní ukazatele

Zásadní úloha spočívající v dodávce nezávadné pitné vody prostřednictvím veřejných vodovodů je jejich provozovateli, vodárenskými společnostmi, zcela přirozeně doplněna úsilím provádět tyto procesy nákladově efektivním a udržitelným způsobem. Pokud je cílem dosáhnout vyšší účinnosti a efektivního fungování stávajících systémů, pak je na místě posuzovat průběžně jejich aktuální stav a chování, rovněž je vhodné srovnávat provozované systémy navzájem mezi sebou, což může přinést odhalení nedostatků stejně tak i odhalení snížené výkonnosti jak celých systémů, tak i jejich dílčích částí.

V důsledku snahy o hodnocení vodárenských provozů byly vyvinuty některé systémy hodnocení, které jsou založeny na systému výkonnostních ukazatelů (angl. *performance indicators*, též PI) [102]. Z nejvýznamnějších PI systémů lze jmenovat systémy vyvinuté pod hlavičkou International Water Association [82, 83] a Světovou bankou [84], ale i řada jiných jako jsou například "*Scandinavian Six Cities Group*" [85], program QualServe z AWWA [86] nebo schéma UK Ofwat [87]. Nicméně žádný z těchto systémů PI se nezaměřuje na úpravny vody komplexním způsobem.

Výkonnostní ukazatele mohou být různého charakteru. Některé skutečně souvisejí

s výkonem úpraveny a vyjadřují využití úpraveny vody jako podíl průměrného výkonu¹⁵ úpraveny k výkonu maximálnímu. Jiné ukazatele souvisejí se způsobem provozování a vyjadřují intenzitu péče provozovatele o daný provoz, například jako vyjádření počtu provedených kontrol technologického zařízení ročně. Mezi výkonnostními ukazateli se vyskytují i takové, které mohou do jisté míry vyjadřovat spolehlivost či odolnost, nebo přímo technický stav úpraveny vody jako celku či jejich dílčích částí. Lze sledovat a vyhodnocovat počet selhání dávkovacích čerpadel za rok, počet odstávek úpraveny z důvodu technické poruchy a podobně.

Jeden ze systémů výkonnostních ukazatelů vyvinutý pro úpraveny vody [88, 89] zahrnuje celkem 77 výkonnostních ukazatelů v 7 následujících oblastech:

- kvalita upravené vody – vyhodnocení dodržování limitů ukazatelů kvality pitné vody na výstupu úpraveny vody i v odběrných místech;
- spolehlivost úpraveny vody – ukazatele vztahující se k výkonu technologické linky, její robustnosti a odolnosti oproti změnám surové vody;
- využívání zdrojů a surovin – efektivita využívání prostředků vstupujících do procesu úpravy vody (voda, energie, chemická činidla, filtrační média, aj.);
- vznik vedlejších produktů – sledování množství vedlejších produktů (kalů) a nakládání s nimi;
- bezpečnost – sledování bezpečnosti úpraveny (ve smyslu zranitelnosti) a bezpečnosti životního prostředí v objektu;
- lidské zdroje – využití zaměstnanců, jejich kvalifikace, školení, přesčasové hodiny;
- ekonomické údaje a finanční zdroje – vyhodnocení výše vynakládaných nákladů na provoz a obnovu.

Ve zmiňovaném systému se vyskytují například ukazatele postihující podíl vyhovujících výsledků rozborů upravené vody, podíl vyčištěných akumulacích nádrží ročně, využití vodních zdrojů, využití samotné úpraveny vody či objem akumulace upravené

¹⁵ Výkon je pojem zažitý v oboru vodárenství a používaný ve spojitosti s úpravami vody obvykle ve smyslu průtoku jako fyzikální veličiny.

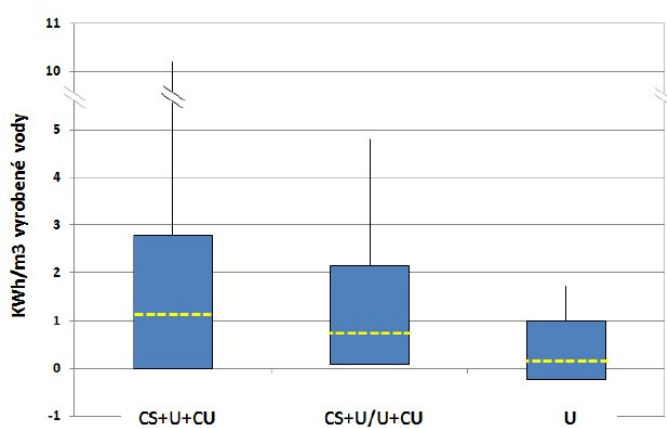
vody, počet zaměstnanců na objem vyrobené vody, přerušení provozu úpravní vody v důsledku výpadku energie.

Autoři uvedeného systému výkonnostních ukazatelů podrobili hodnocení tímto systémem úpravní vody Alcantarilha v Portugalsku. Provedené vyhodnocení prokázalo, že úpravná dodává vodu vysoce ve shodě s legislativou, přičemž až 99,9 % výsledků rozborů vyhovělo legislativním požadavkům na kvalitu pitné vody. Z personálních ukazatelů vyplývá, že celkově na dané úpravně vody pracuje 2,08 zaměstnanců na plný úvazek na každý 1 mil. m³ upravené vody. V rámci provedené studie bylo zjištěno, že z dostupných 77 ukazatelů je možné provést vyhodnocení pouze pro 47 z nich. Situaci, kdy není možné z nedostatku vstupních dat provést hodnocení pro všechny definované ukazatele, je možné u podobných systémů hodnocení sledovat často. Takové zkušenosti byly učiněny například i při používání systému plánování rekonstrukcí vodovodních sítí CARE-W [90, 91, 112, 113].

Jiný systém hodnocení [92] využívá pro vyhodnocování výkonnosti úpraven vody šestnáct ukazatelů výkonnosti včetně zákalu jako dominantního faktoru. Tyto indikátory výkonu stanovují kritéria úspěšnosti nebo selhání. Některé studie a systémy hodnocení výkonu jsou vytvořeny přímo pro konkrétní úpravní vody. Mezi sledovanými ukazateli se vyskytuje často zákal upravené vody jako kritérium účinnosti a výkonnosti [93], přičemž je sledováno dosažení cílových hodnot definovaných US EPA [62]. Mimo zákal je například sledováno procento odstranění biologického znečištění prostřednictvím konkrétních ukazatelů. Mnohé ze studií se zabývají hodnocením výkonu úpravní na základě vyhovění či nevyhovění kvalitativním ukazatelům, přičemž je sledován počet překročení či trendy hodnot [94]. Také byly představeny některé kvalitativní indexy [95] jako ukazatele selhání provozu. Výkonnostní ukazatele jsou také agregovány metodou váženého průměru pro získání celkového indexu výkonnosti [96].

Studie hodnocení výkonnosti se nezaměřují pouze na sledování a průběh kvalitativních ukazatelů vody. V rámci publikovaných studií bylo provedeno vyhodnocení vlastní spotřeby vody nebo specifické spotřeby energie na vybraných úpravkách vody [97], přičemž byl také pozorován vliv velikosti úpravní (podle množství vyrobené vody) na specifickou spotřebu energie. Z uvedené studie byl učiněn závěr, že s rostoucím výkonem úpraven vody, klesají jednotkové energetické nároky. Není však možné stanovit přímo

korelaci mezi výkonem a specifickou spotřebou energie, jelikož energetické nároky jsou ovlivněny i dalšími skutečnostmi, jako je potřeba čerpání surové vody, výškové řešení úpravní a také způsob vytápění. Podle výsledků šetření vyplývá, že čerpání surové nebo upravené vody odpovídá navýšení specifické spotřeby energie o zhruba $0,5 \text{ kWh/m}^3$. Není bez zajímavosti, že v některých případech spotřeba energie na vytápění převyšuje spotřebu energie na procesy úpravy vody. Střední hodnota specifické spotřeby energie u sledovaných úpraven vody činí $0,25 \text{ kWh/m}^3$, u větších úpraven vody pak byla uvedena hodnota $0,51 \text{ kWh/m}^3$.



CS – čerpání surové vody, CU – čerpání upravené vody, U – jen úprava, čárkovaná čára označuje medián kategorie

Obr. 6 Specifická spotřeba elektrické energie na úpravnách vody s vlivem rozsahu čerpání [97]

2.5 Vady a poruchy

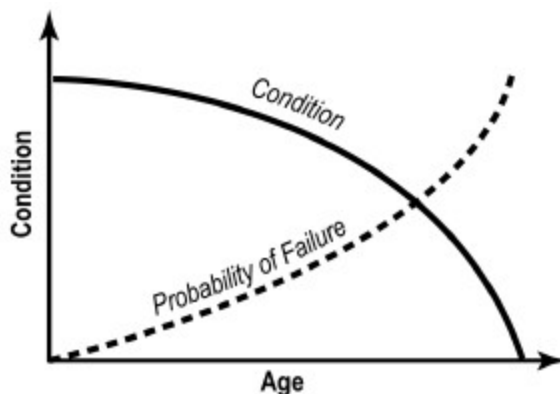
Vada¹⁶ konstrukce je obecně definována [79] jako nedostatek konstrukce, který může ovlivnit funkční způsobilost konstrukce. Vada není změnou oproti původnímu stavu. Volně vztaženo na úpravní vody – vada omezuje funkci, tedy výrobu pitné vody. Pro posouzení, zda je omezena funkční způsobilost úpravní vody, je rozhodující shoda s ustanovením legislativních požadavků, technických norem a současným stavem poznání. Vada úpravní vody jako celku nebo každého jednotlivého prvku může být způsobena zhotovitelem při provádění stavby či montáži, příčinou může být chyba v projektové

¹⁶ Pojem vada je definován jak technicky, tak i právně. Právně má dílo vadu, pokud neodpovídá smlouvě.

dokumentaci nebo může být způsobena jiným účastníkem výstavby či jinou osobou, zcela beze vztahu k danému objektu.

Porucha je nepříznivý stav konstrukce [79], který nespĺňuje požadavky na funkční způsobilost. Porucha znamená úplnou nebo částečnou ztrátu schopnosti provozu prvku nebo zařízení. Podle časového průběhu lze poruchy rozlišovat na náhlé, postupné a občasně, podle stupně pak na úplné nebo částečné. Postupná a částečná porucha je označována za degrační, náhlá a úplná porucha je pak označována za katastrofální, ve vodárenské terminologii se setkáváme s označením „*havárie*“.

Byl popsán obecný vztah [80] mezi stářím prvku (systému), jeho stavem a sklonem k selhání (poruše). Tímto vztahem je vyjádřeno, že výkonnost prvků se zhoršuje v časovém horizontu až do dosažení stavu, kdy je třeba přistoupit k výměně nebo opravě různého rozsahu, jelikož prvek neposkytuje přijatelný výkon či jeho provoz je neekonomický a přináší pro systém příliš vysoké riziko.



Obr. 7 Vztah mezi stavem systému, stářím a pravděpodobností vzniku poruchy [80]

Za provozu úpravny vody se pak vyskytují poruchy mnoha typů a příčin. Základní příčiny poruch lze rozlišit na statické, dynamické a provozní [80]. Mezi statické patří například: použitý materiál potrubí či nádrží (druh a kvalita), typy a kvalita spojů a prostupů, kvalita stavebních prací (montáž); mezi dynamické pak zatížení, vliv mrazu, vliv stavební činnosti. Pod provozní příčiny jsou zahrnovány např. hodnoty kvalitativních parametrů, účinek protikoroziční ochrany, předchozí poruchy.

Podle závažnosti poruchy se jedná buď o běžnou poruchu nebo o havárii, kdy dojde k náhlému poškození nebo výpadku některého prvku, což je doprovázeno významným

výpadkem ve výrobě vody, ať už kvalitativního nebo kvantitativního charakteru. Havárie vyžaduje okamžitý zásah provozovatele úpraveny spojený s odstavením dotčené části z provozu, omezením zásobování spotřebiště vodou a případným náhradním zásobováním.

Na základě osobních poznatků i jiných publikovaných prací [např. 81] z reálných provozovaných úpraven v ČR i na Slovensku lze vyjmenovat časté vady úpraven vody:

- neodpovídající nebo nedostatečná technologie;
- nedostatečná funkce míchacích reaktorů;
- nerovnoměrný nátok;
- průchod znečištění filtrem;
- úniky filtrační náplně při praní;
- nerovnoměrné praní a nedostatečná intenzita praní filtrační náplně;
- nedostatečné krytí výztuže betonových konstrukcí;
- nekvalitní provedení ploch ve styku s vodou;
- velké tepelné ztráty;

a taktéž často pozorované poruchy:

- výpadek dávkovacích čerpadel;
- mechanické závady na míchacích zařízeních;
- protržení filtrační náplně;
- zborcení drenážního systému;
- kolmatace filtrační náplně;
- kolaps trubních spojů;
- zatékání do objektů;
- nežádoucí průsaky;
- úniky chemikálií a rozptyl sypkých hmot.

Z praktických zkušeností lze konstatovat, že v reálném provozu není analýze poruchovosti úpraven vody věnována náležitá pozornost, zcela chybí data ohledně celkové poruchovosti úpraven i jednotlivých prvků či četnosti výskytu poruch a havárií.

2.6 Rizika

Riziko se vyjadřuje v souladu s normou [68] jako kombinace četnosti či pravděpodobnosti vzniku specifikovaného nežádoucího stavu a jeho následků. Riziko má vždy dvě složky, tj. četnost (nebo pravděpodobnost), se kterou se nežádoucí stav vyskytuje, a následky nežádoucího stavu. Pokud jedna z obou složek neexistuje, neexistuje ani riziko. Pro potřebu kvantifikace je riziko vyjadřováno symbolickým vztahem:

$$R = P \cdot C \quad (4)$$

kde R ... míra rizika [-],

P ... pravděpodobnost výskytu nežádoucího stavu [-],

C ... jsou následky tohoto nežádoucího stavu [-].

Jednotlivé složky rizika, i riziko samotné lze vyjadřovat různými veličinami. Aby bylo možné kvantifikovat riziko, je nezbytné vyhodnotit oba jeho činitele.

Od roku 2004 je Světovou zdravotnickou organizací (WHO) prosazována koncepce s názvem „*Water Safety Plans*“ neboli „*Plán pro zajištění bezpečného zásobování pitnou vodou*“, která byla zveřejněna ve třetím vydání příručky „*Guidelines for Drinking-water Quality*“ [69, 70]. Koncepce je založena na myšlence, že nejúčinnější způsob jak konzistentně zabezpečit dodávku nezávadné vody, je přístup založený na komplexním hodnocení a řízení rizik podél celého vodárenského systému od zdroje surové vody až po spotřebitele.

Ve Směrnici Rady 98/83/ES ze dne 3. listopadu 1998 o jakosti vody určené k lidské spotřebě (ve znění směrnice Komise EU 2015/1787) se tento přístup nazývá „*risk assessment*“. Z této směrnice vychází i aktuální česká legislativa¹⁷, v níž se od roku 2017 objevuje pojem „*posouzení rizik*“.

Ve vodárenství je posouzení rizik vodovodních systémů prováděno ve více než desíti evropských a řadě mimoevropských zemí. Dobrovolně však tento systém praktikují další

¹⁷ Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů v platném znění.

stovky až tisíce výrobců pitné vody po celém světě [71]. Hlavními očekávanými výhodami posouzení rizik je zlepšení kvality pitné vody, snížení počtu a následků havárií, zlepšení ochrany vodních zdrojů, snížení akutních onemocnění v populaci odběratelů, zlepšení provozního monitorování, lepší poznání celého systému zásobování, snížení nákladů na nápravná opatření, lepší pozice dozorových orgánů při kontrole provozovatele a další. Nevýhodou vypracování rizikové analýzy pro provozovatele je především vyšší administrativní zátěž a náklady spojené se zavedením posouzení rizik. Ve všech zemích i jednotlivých vodárenských společnostech, kde k zavedení posouzení rizik došlo, se shodují, že přínosy jasně převažují nad nevýhodami [70].

Posouzení rizik je nutné zpracovat pro celý systém zásobování vodou, tj. od zdroje surové vody včetně povodí, přes úpravu vody, vodovodní síť, na níž se nacházejí další vodárenské objekty, především vodojemy či čerpací stanice, až po „kohoutek“ u spotřebitele. V každém místě systému zásobování spotřebitelů pitnou vodou se může vyskytovat potenciální nebezpečí pro kvalitu a množství vody. Pro ověření aktuálního stavu systému zásobování vodou je nezbytná fyzická prohlídka všech přístupných částí systému.

Proces vyhodnocení rizika se nazývá riziková analýza. Obecně představuje riziková analýza systematické využívání dostupných informací k identifikaci možných nebezpečí a ke kvantifikaci rizik, které z těchto nebezpečí plynou [33]. Jedná se tedy o preventivní přístup, kdy jsou jednotlivé nebezpečné stavy aktivně vyhledávány, analyzovány a posuzovány s ohledem na škody způsobené jednotlivci, populaci, systému a životnímu prostředí. Analýza rizik tvoří jednu ze součástí systému řízení rizik.

Analýza rizik je strukturovaný proces, který identifikuje jak pravděpodobnost, tak rozsah nepříznivých následků pocházejících z dané činnosti, zařízení nebo systému. Analýza rizik se pokouší odpovědět na tři základní otázky:

- *Co se může pokazit?* ... pomocí identifikace nebezpečí;
- *S jakou pravděpodobností se to stane?* ... pomocí analýzy četností;
- *Jaké budou následky?* ... pomocí analýzy následků.

Proces managementu rizika obsahuje mnoho různých prvků od počáteční identifikace a analýzy rizika po vyhodnocení jeho přijatelnosti a identifikaci variant snížení potenciálního rizika pomocí volby, realizace a monitorování vhodných řídicích opatření

a opatření na snížení rizika.

Technický stav úpraven vody bezpochyby ovlivňuje jejich spolehlivost, výkonnost, rovněž je odrazem rizik, která jsou generována souvisejícími nebezpečími [72]. Pokud je technický stav nevyhovující, pak úpravna vody s vysokou mírou pravděpodobnosti nebude schopna odolávat rizikům. Rizika je možné eliminovat nasazením odpovídajících opatření, a pokud tato nejsou funkční, např. v podobě dobrého technického stavu objektu úpravny vody, odpovídající technologie úpravy vody, kvalitního zabezpečení objektu, pak je negativně ovlivněna spolehlivost objektu.

2.6.1 Metody odhadování rizika

K identifikaci nebezpečí a následnému odhadování rizika je k dispozici celá škála metod. Lze využít srovnávací metody (např. kontrolní seznamy, ukazatele nebezpečí, zkušenosti z minulosti apod.), základní metody založené na řadě otázek typu: „*Co se stane, když...?*“, které podněcují skupinu expertů používat k řešení úkolů identifikování nebezpečí představitost společně se svými znalostmi (např. metody HAZOP, FMEA [76] aj.) nebo pak pokročilé metody využívající induktivního myšlení, jako jsou logické diagramy stromu událostí. Odhadování rizika sestává z analýzy četností, analýzy následků a následného sloučení těchto analýz. Zde je možné rovněž nasazení celé řady metod. Pro vodovodní systémy a také konkrétně pro úpravny vody byly vtipovány a otestovány zejména metody FMECA a FTA [72, 73, 74, 75].

Metoda FTA byla původně vyvinuta pro analýzu poruch na jaderných elektrárnách, z toho vyplývá, že je vhodná především pro analýzu chování složitých systémů, jakým úpravny vody jsou bezesporu také. Tato metoda však pro stanovení míry pravděpodobnosti vzniku nežádoucího stavu sama o sobě nestačí, slouží především pro znázornění logických vazeb na úpravně vody ke vzniku vrcholové události. Metoda FTA byla použita při konstrukci nežádoucích stavů v rámci metodiky WaterRisk¹⁸ [74].

¹⁸ Metodika WaterRisk byla vytvořena v rámci výzkumného projektu Identifikace, kvantifikace a řízení rizik veřejných systémů zásobování pitnou vodou [33]

2.6.2 Nebezpečí a nežádoucí stavy

Pro případ úpraven vody byly v rámci návrhu komplexní metodiky rizikové analýzy definovány nežádoucí stavy [33, 72]. Nežádoucí stavy jsou konstruovány na základě nebezpečí a se zřetelem na funkci úpravny vody, tedy výrobu pitné vody v odpovídající kvalitě a množství.

Zdrojem nežádoucích stavů jsou v rámci každého posuzovaného systému potenciální nebezpečí, která je nutno specifikovat, definovat a analyzovat před vlastní analýzou nežádoucích stavů. Pro každý nežádoucí stav byla vytipována nebezpečí, která ho mohou způsobit, a je zde přijat následující přístup: pokud existuje nebezpečí, pak může nastat příslušný nežádoucí stav. Obecně jsou **nebezpečí** dělena do tří základních skupin podle zdroje, který má vliv na jeho vyvolání:

- **přírodní** – jako zdroj jsou zde detekovány přírodní vlivy (sluneční světlo, vysoká teplota vzduchu, požár, sucho);
- **sociální** – tato nebezpečí jsou vyústěním činností člověka (lidský faktor), které mají nežádoucí vliv na systémy zásobování vodou (způsob provozování, změna legislativy, neplnění závazků ze strany dodavatele materiálu a služeb, chování obsluhy);
- **technická a technologická** – tato nebezpečí jsou způsobena technickými vlivy, které jsou v mnoha případech velmi obtížně předvídatelné (porucha dodávky elektrické energie, porucha měřidel, nevhodné vlastnosti stavebních materiálů, nevhodné technické parametry zařízení).

Na úpravkách vody, jakožto technicky a technologicky složitých systémech, může nastat celá řada nežádoucích stavů v závislosti na místních podmínkách. Může se jednat např. o tyto nežádoucí stavy: porucha míchání, porucha odkalování usazovacích nádrží, porucha regenerace filtrů, vznik vedlejších produktů dezinfekce, nežádoucí únik chemikálií dále do systému nebo do vnějšího prostředí, sekundární kontaminace nedodržením hygienických zásad, aj. Dále jsou uvedeny vybrané nežádoucí stavy, které jsou součástí metodiky WaterRisk [33, 72, 78]:

- **Nedostatečný výkon** – nežádoucí snížení výkonu úpravny vody způsobí okamžitý nedostatek vyrobené vody. Vzniklá situace vyžaduje neodkladné řešení. Následný nedostatek vody ve spotřebišti a jeho eventuelní doba trvání

bude záviset na důvodu a procentuálním snížení výkonu úpravní vody, na zásobě akumulované vody a na možnostech a rychlosti přechodu na náhradní zdroj;

- **Porucha dávkování chemikálií** – náhlá porucha dávkování chemikálií na úpravně vody, která může mít za následek vážné ohrožení schopnosti úpravní vody upravovat a/nebo hygienicky zabezpečit vodu. Porucha dávkování chemikálií (nedostatek či nadbytek) vyžaduje okamžitý zásah provozovatele, v krajním případě při poruše dávkování agresivních sloučenin ohrožujících zdraví a život osob, i hasičských či chemických jednotek;
- **Nedostatečná účinnost úpravy v mikrobiologických a biologických ukazatelích** – dojde k přerušení procesů koagulace, filtrace, předchlorace, event. předozonizace zajišťujících schopnost upravit vodu v mikrobiologických a biologických ukazatelích na požadovaný stupeň redukce způsobem nezávislým na obsluze úpravní vody. K zajištění dostatečného hygienického zabezpečení vody (účinnosti úpravy v mikrobiologických ukazatelích) je potřeba zajistit adekvátní technologii ve vztahu ke kvalitě surové vody a rovněž vzájemnou interakci jednotlivých technologií. Snížení účinnosti v těchto ukazatelích vyžaduje okamžitý zásah s cílem zachytit pronikající mikrobiologické znečištění v co nejbližším možném místě systému;
- **Nedostatečná účinnost úpravy ve fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelích** – úpravní vody není schopna zajistit dostatečnou účinnost úpravy vody ve fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelích, pro které vyhláška č. 252/2004 Sb. stanovuje limity MH nebo NMH¹⁹, a které mohou negativně ovlivnit kvalitu pitné vody. Překročení ukazatelů stanovených limitem NMH vyžaduje okamžité řešení situace a další posouzení, zda je nutné odstavení úpravní vody. Je potřeba posoudit, zda překročení konkrétního ukazatele NMH může způsobit zdravotní problémy. Taková nevyhovující voda by se neměla dále dostávat

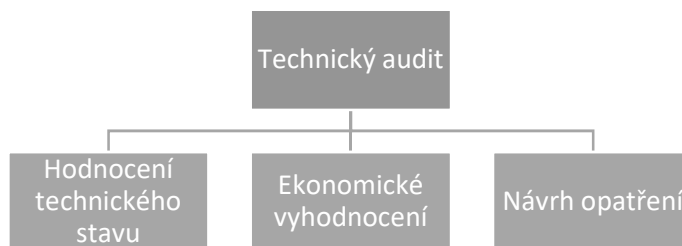
¹⁹ Mezní hodnota (MH) a nejvyšší mezní hodnota (NMH), definováno vyhláškou č. 252/2004 Sb.

do rozvodného systému. Při hodnocení tohoto nežádoucího stavu je potřeba mít vždy na paměti, že pokud v surové vodě nejsou nějaké konkrétní nežádoucí látky obsaženy, nemohou se ve většině případů (s výjimkou zbytků chemických látek a přípravků užívaných k úpravě vody, např. akrylamid nebo hliník, a vedlejších produktů dezinfekce) dostat ani do upravené vody, a to ani, když selže úprava vody;

- **Porucha dávkování dezinfekce** – náhlá porucha dávkování dezinfekce na odtoku z úpravny vody, která může mít za následek nežádoucí pokles nebo naopak enormní zvýšení koncentrace dezinfekčního prostředku v dopravované vodě. Porucha dávkování (nedostatek i nadbytek) vyžaduje okamžitý zásah provozovatele. Dlouhodobě nedostatečné množství zbytkového dezinfekčního prostředku může mít za následek zvýšený růst mikroorganismů, nárůst biofilmů, zhoršení organoleptických vlastností vody a celkové ohrožení jakosti vody. V případě předávkování dezinfekčního prostředku dochází k překročení MH chemických ukazatelů v pitné vodě. Následná opatření mohou vyžadovat přerušování či omezení provozu vodojemu a zasažené oblasti pod ním. Limitní stavy tohoto nežádoucího stavu, které mohou mít relevantní následky, jsou buď dlouhodobé snížení dávkování dezinfekčního prostředku pod 50 % požadované dávky na dobu delší než 1 týden, nebo naopak jeho předávkování na odtoku z úpravny (nebo na jiném místě, kde nedochází k ředění velkým objemem vody) nad mezní hodnotu stanovenou vyhláškou č. 252/2004 Sb. Vážné následky může mít předávkování vysoko nad 1-2 mg/l; 5 mg/l volného chloru je maximální směrná hodnota WHO, nad níž již dochází k ohrožení zdraví. Rozsah následků takové poruchy je předmětem analýzy následků.

3 Technický audit

Technický audit úpravny vody (dále i jen audit) je činnost vedoucí ke kontrole a zhodnocení technického stavu, za účelem posouzení schopnosti plnit funkci a stupně zajištění bezpečnosti celého procesu výroby pitné vody rovněž i hodnocení nákladovosti procesu po stránce výše vynakládaných provozních a investičních výdajů s následným návrhem opatření vedoucích k nápravě nevyhovujícího stavu. Technický audit má mít tedy tři části: hodnocení technického stavu, ekonomické vyhodnocení a návrh opatření.



Obr. 8 Skladba technického auditu

Technický audit má být chápán jako kontinuální kontrolní a hodnotící proces, prováděný cyklicky v určitých intervalech. Hodnocení technického stavu i ekonomické vyhodnocení musí reflektovat aktuální stav, jen tak bude možné plnohodnotně a smysluplně využít výstupy z technického auditu.

Nezbytným předpokladem pro dostatečně komplexní hodnocení a dosažení odpovídajících výsledků auditu je znalost o rozsahu provozovaného majetku, aby nemohlo dojít k opomenutí některého z prvků systému. Pokud není k dispozici odpovídající soupis majetku zahrnující všechny součásti a prvky úpraveny vody, musí předcházet provedení pasportu²⁰.

Výstupy získané z provedení technického auditu, resp. jeho dílčí části – hodnocení technického stavu, jsou jedním z podkladů pro následnou analýzu rizik, stejně tak

²⁰ Pasport znamená obnovení, aktualizaci nebo zřízení dokumentace popisující daný majetek. Pasport zahrnuje evidenci jednotlivých prvků dotčeného systému i jejich podrobný popis včetně lokalizace. Zdroj: *Vodovod.info*

pro potřeby plánování obnovy, které je nutně spojeno s rozhodováním o realizaci oprav či investičních akcí. Technický audit může také poskytovat komplexní informaci jako podklad pro rozhodování během provozních činností. Výstupy z technického auditu poskytují objektivní zdůvodnění oprav, dílčích či celkových rekonstrukcí, rovněž je možné sledovat změny systému během provozu či zpětně ověřit přínos provedených oprav nebo rekonstrukcí. Znalosti poskytnuté technickým auditem jsou předpokladem pro správnou provozní praxi a možný další rozvoj úpravny vody.



Obr. 9 Vztah mezi analyticky plánovacími činnostmi

3.1 Účel technického auditu

Účelem technického auditu je umožnit dosáhnout jednak správných rozhodnutí při plánování rekonstrukcí a oprav, také eliminovat relevantní rizika spojená s procesem úpravy vody. Kromě toho, že výsledek technického auditu poskytne ucelenou informaci o technickém stavu úpravny, mohou být sledovány další cíle:

- nalézt kritická místa v technologickém procesu nebo kritické části stavební konstrukce;
- zvýšit účinnost úpravy vody a dosáhnout splnění limitních hodnot kvalitativních požadavků na pitnou vodu nebo přísnějších;
- zvýšit spolehlivost a efektivitu procesu výroby vody;
- snížit provozní náklady;
- zvýšit připravenost na krizové situace;
- vyhledávat účinnější technologické postupy.

Cílem je kromě identifikace kritických prvků také identifikace potřeb a postupů údržby, odhad časového rámce pro významné investiční akce a další posouzení.

3.2 Přístup k hodnocení úpraven vody

Úpravny vody hrají ve vodárenských systémech důležitou roli pro zásobování vodou, a to jak v aspektu kvantity dodávané vody, tak i její kvality. Zatímco u distribučních sítí spíše převažuje význam kvantitativní složky, v případě úpraven vody nabývá na významu spíše kvalitativní stránka procesu zásobování vodou.

Hodnocení technického stavu je nutno pojmut komplexně [98], a to jak z pohledu stavebně-technického, tak i z pohledu provozně-technologického, přičemž je nutné zohledňovat jak kvantitu, tak i kvalitu vyráběné vody. Je velmi vhodné do hodnocení zahrnout i ostatní složky tak, aby hodnocení do určité míry vyjádřilo i spolehlivost, odolnost a zranitelnost úpraveny vody. Samotná skutečnost, že úpravna vody je v bezvadném stavu po technicko-technologické stránce totiž nemusí znamenat, že bude za každých okolností dodávat nezávadnou pitnou vodu odpovídající předepsaným kvalitativním požadavkům.

Ve snaze provést hodnocení technického stavu úpraven vody je třeba si uvědomit, že existuje celá řada typů úpraven a potažmo i technologických prvků používaných v různých kombinacích. Je tedy poměrně náročné generalizovat systém hodnocení tak, aby byl aplikovatelný na co nejširší škálu úpraven vody.

Systém hodnocení musí vycházet z funkce úpraven vody, a tou je výroba pitné vody v požadovaném množství a kvalitě. Při hodnocení technického stavu úpraveny vody nelze na tento objekt pohlížet pouze ze stavebně-technického hlediska, nýbrž je zcela nezbytné a daleko významnější hodnotit jej i z pohledu provozně-technologického. Je zřejmé, že výsledný produkt – pitná voda, musí splňovat předepsané hodnoty kvalitativních ukazatelů, avšak efektivita výrobního procesu může být různá. Zde vyvstává otázka, zda se má efektivita výroby pitné vody podílet na hodnocení technického stavu úpraveny. Můžeme totiž proti sobě postavit dvě úpravny vody, obě vyrábějící vysoce kvalitní pitnou vodu, obě v bezvadném technickém stavu s robustní technologií, avšak v případě rozdílné kvality surové vody může být technologický proces naprosto odlišný a tím také jinak finančně náročný. Na druhou stranu jeden z ukazatelů efektivity provozu úpraveny vody může být

objem vlastní spotřeby vody, jejichž příznivých hodnot lze dosáhnout vhodnými provozními postupy.

Při hodnocení technického stavu je nutné zvážit každý jednotlivý prvek, který je buď součástí stavební konstrukce a spolupodílí se na vytvoření vhodného prostředí pro technologické vybavení, je součástí technologické linky nebo je rovněž technologického charakteru, avšak jako součást příslušenství úpravny. S ohledem na poměrně značný počet součástí či prvků úpraven vody, jejich rozdílných charakter a vlastnosti a také jejich vliv na výslednou kvalitu pitné vody se jeví jako vhodné použít při hodnocení úpravny multikriteriální metody hodnocení [99], přičemž pro každý typ prvku je vhodné použít zvláštní sadu hodnotících kritérií.

Z technického hlediska je vhodné sledovat jednotlivá trubní vedení (např. pokročilost koroze), funkčnost uzavíracích a regulačních prvků, ale i stáří čerpadel a jiného strojního vybavení. Problematickým místem je určení životnosti těchto prvků. Obecně se pracuje u strojně technologického zařízení s životností 8-15 let. Do hodnocení je nezbytné také zahrnout stav klíčových součástí stavební konstrukce, zejména z toho pohledu, zda je vytvořeno vhodné a bezpečné prostředí pro nerušený průběh technologických procesů.

V technologické části hodnocení je vhodné pozornost zaměřit především na spolehlivost výroby a následné dodávky vody, efektivitu výroby pitné vody a také odolnost a zranitelnost celého systému. Technický stav musí být hodnocen jednak na úrovni úpravny vody jako celku a dále zvlášť pro klíčové technologické jednotky. Je vhodné sledovat např. využitelnost výkonu úpravny, přičemž je zkoumán poměr mezi skutečným průměrným výkonem úpravny a projektovaným výkonem. Za příznivé se považuje, pokud tento poměr činí 90-100 %. V případě nevyužití kapacity či naopak přetěžování úpravny z pohledu hydraulického, dochází k negativnímu ovlivnění účinnosti technologických procesů (nejsou dodrženy návrhové hodnoty průtočných rychlostí, povrchového zatížení či dob zdržení) [13, 53]. Údaje o vlastní spotřebě vody sledující objem vody využívaný k provozu vlastních technologických jednotek (prací vody, odkalení, oplach atd.) mohou také mít vypovídající hodnotu ohledně technického stavu úpravny, zejména ohledně efektivity provozu. Za dobrý stav se považuje podíl vlastní spotřeby v rozmezí 3-5 %, nad 10 % je pak považováno za stav nevyhovující, ve smyslu nevhodný.

Kromě ukazatelů kvantitativních je žádoucí vyhodnocovat i ukazatele kvalitativní sledující vyhovění legislativním požadavkům na kvalitu pitné vody či počet překročení limitních hodnot, rovněž lze sledovat úroveň měřicího a monitorovacího vybavení úpravní a stupně automatizace.

Co se týče ukazatelů přiřazených jednotlivým technologickým stupňům, je účelné hodnotit především účinnost odstranění látek, ale i další technologické parametry jako například dobu zdržení v usazovacích nádržích, filtrační rychlost nebo čistou jednotkovou výrobu. Ohledně účinnosti je značně problematické stanovit hodnotící verdikt a je nutné nechat určitou část rozhodnutí individuálně na každém jednotlivém hodnotiteli. Přirozeně platí, že čím větší podíl znečištění je odstraněn, tím lépe, avšak samotný pokles koncentrace pod limitní hodnotu je také považován za dostačující za normálních provozních stavů. Za velmi dobrý stav lze považovat, pokud účinnost odstranění suspendovaných látek při sedimentaci činí více jak 80 %. Podobně je doporučeno v případě filtrace hodnotit účinnost jako velmi dobrou při dosažení hodnot zákalu na odtoku 1 NTU²¹.

Vyhodnocení procesů úpravy vody po technologické stránce má být založeno na sledování či měření a následném vyhodnocení:

- kvality surové vody a jejich změn v čase;
- průtoku vody;
- dávky koagulantu a změn v průběhu provozu;
- hydraulickém zatížení jednotlivých stupňů;

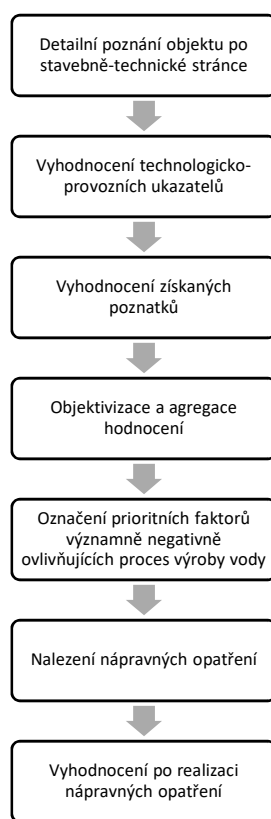
dále také na:

- vyhodnocení laboratorních experimentů a zkoušek;
- identifikaci procesů limitujících účinnost úpravy vody;
- vyhodnocení stability dávkování chemikálií;
- posouzení vhodnosti používání konkrétního koagulantu;
- posouzení dávkování dalších chemikálií;

²¹ Nephelometric Turbidity Units (NTU), jednotka zákalu.

- vyhodnocení průběhu a účinnosti jednotlivých technologických procesů zejména:
 - homogenizace koagulantu s vodou;
 - flokulace;
 - separace suspenze;
 - dezinfekce vody.

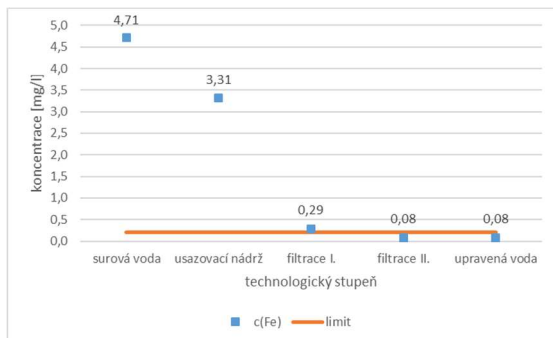
Metodicky lze postupovat při provádění technického auditu různě. Vhodný postup je znázorněn v následujícím diagramu.



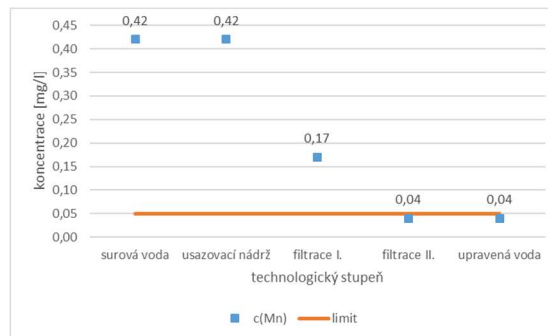
Obr. 10 Postup provádění technického auditu

Příklad vyhodnocení poklesu koncentrace vybraného znečištění je prezentován na následujících grafech (viz obr. 11 a 12). Ačkoliv měření koncentrací železa a manganu probíhalo na jedné úpravě vody v časovém souběhu, je možné pozorovat, že průběh odstranění obou polutantů je rozdílný podél technologické linky. Účinnost technologického stupně jako takového je vždy nutné vztahovat k jeho možnostem. Z grafu na obr. 12 je patrná nulová účinnost v odstranění manganu na usazovací nádrži. Tento fakt nelze vyhodnotit jako nevyhovující stav, jelikož na usazovací nádrži není očekáváno snížení koncentrace

manganu.



Obr. 11 Pokles koncentrace železa podél technologické linky



Obr. 12 Pokles koncentrace manganu podél technologické linky

Hodnocení technického stavu poskytuje jako výstupní informaci stanovení současného stavu provozovaného majetku, tj. úpraveny vody, jako prostředek k prioritizaci a prognózování úsilí při údržbě a obnově. Některé části úpraven vody jsou důležitější s ohledem na proces výroby pitné vody než jiné a měly by mít poměrně větší pozornost při provádění údržby a obnovy. Standardním způsobem, jak charakterizovat význam jednotlivých prvků systému, je vyhodnotit riziko selhání systému při výpadku. Během hodnocení technického stavu jsou zjišťovány informace o přítomnosti závad a poruch a jejich závažnosti. Údaje shromážděné při kontrole v souvislosti s hodnocením technického stavu musejí být interpretovány vhodným způsobem, aby bylo možné na zjištěné skutečnosti reagovat a rozhodovat smysluplně o následných opravách či obnově.

3.3 Technický audit podle zákona

Pojem technický audit je definován v zákoně o vodovodech a kanalizacích²² následovně:

„Technický audit vodovodů a kanalizací (dále jen "technický

²² Zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích) v platném znění.

audit") je specializovaná odborná činnost sloužící ke kontrole technického stavu vodovodů a kanalizací, oprávněnosti vynaložených provozních nákladů, jakož i pořizovacích nákladů a nákladů navrhovaného rozvoje vodovodů a kanalizací. Výsledkem technického auditu je zpráva se zjištěními a doporučeními ke zlepšení hospodárnosti provozu nebo rozvoje vodovodů a kanalizací.“

Z dikce zákona je patrné, že technický audit v legislativním pojetí je pojat poněkud širěji. Kromě části technické a provozní, týkající se kontroly technického stavu a provozuschopnosti, navíc počítá i s částí ekonomickou, jejímž obsahem má být posouzení provozních i pořizovacích nákladů. Nicméně definice technického auditu koresponduje s výše uvedenou definicí technického auditu a zahrnuje všechny tři uvedené součásti v obr. 8.

Technický audit ve smyslu zákona, jakožto nástroj státní kontroly, je oprávněn zpracovat pouze Ministerstvem zemědělství uznaný a zapsaný auditor²³. Provedení auditu vyhláší vždy Ministerstvo zemědělství, a to buď z vlastního podnětu nebo z podnětu obce, vlastníka nebo provozovatele vodovodu nebo kanalizace či jiných zákonem vyjmenovaných osob.

Obsah technického auditu je předepsán prováděcím právním předpisem, jak ukládá zákon. Dotčeným právním předpisem, předepisujícím obsahovou náplň technických auditů je prováděcí vyhláška k zákonu o vodovodech a kanalizacích²⁴. Obsah technického auditu je touto vyhláškou definován následovně:

- a) *úvod (zadání auditu);*
- b) *výchozí podklady (např. údaje provozní evidence, cenové kalkulace, smlouvy týkající se provozu);*
- c) *specifikace majetku podle majetkové evidence;*

²³ Autor habilitační práce je zapsán jako technický auditor.

²⁴ Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích).

d) provozní údaje:

- 1. popis výroby a její vyhodnocení,*
- 2. zhodnocení zajištění jakosti vyráběné pitné vody a vypouštěné odpadní vody,*
- 3. rozbor nákladů a cenových kalkulací,*
- 4. personální vyhodnocení (počet a zařazení zaměstnanců),*
- 5. popis a vyhodnocení smluvních vztahů;*

e) analýzu současného stavu

- 1. srovnávací,*
- 2. úvahovou;*

f) závěry v oblastech

- 1. péče o infrastrukturní majetek a jeho provozuschopnost,*
- 2. provozování (výroba a vztah k odběratelům),*
- 3. ekonomie a ceny,*
- 4. smluvní vztahy;*

g) návrh opatření pro

- 1. vlastníka vodovodu nebo kanalizace,*
- 2. obce,*
- 3. provozovatele,*
- 4. vodoprávní úřad,*
- 5. ministerstvo.“*

Legislativní úprava počítá s tím, že technický audit může obsahovat pouze ty části z výše uvedeného výčtu, které jsou vyžadovány v zadání. Osnova technického auditu je legislativou dostatečně jasně předepsána podle výše uvedeného seznamu, avšak za současného připuštění, že ne všechny položky musejí být zpracovány. Další požadavky ohledně zpracování jednotlivých položek auditu a jejich obsahu legislativa auditorovi nepředepisuje.

Ačkoliv závažné nedostatky zjištěné během technického auditu jsou zákonným důvodem pro zrušení povolení k provozování vodovodu a kanalizace, není tento nástroj dosud v praxi hojně využíván. Ročně jsou zpracovány pouhé jednotky technických auditů, a to za situace, kdy vodárenskou infrastrukturu v ČR vlastní více než 6 600 vlastníků, přičemž tuto provozuje přibližně 2 200 provozovatelů [6]. Odborné veřejnosti je nejvíce znám případ vodovodu v obci Trnové z roku 2015, kdy docházelo k naprosto flagrantnímu

porušování všech technických i ekonomických zásad při provozování tamního vodovodu a naprostému selhání vlastnického i provozovatelského subjektu. Až na základě provedeného technického auditu [100] došlo ke změně provozovatele a potažmo i způsobu provozování vodovodu.

3.4 Četnost provádění technického auditu

V souvislosti s technickým auditem vyvstává otázka, jak často audit provádět. Pokud se jedná o kontinuální hodnocení, pak s ohledem na náročnost celého procesu si nelze představit provádění auditu v celém rozsahu v ročních a kratších intervalech. Realizaci technického auditu v plném rozsahu se jeví jako vhodné provádět v intervalu 5 let, a to současně s posouzením rizik, což je aktuálně nově zavedená povinnost provozovatelů, resp. vlastníků vodovodů. Posouzení rizik je od roku 2018 legislativně²⁵ danou povinností, přičemž toto posouzení musí být součástí provozních řádů, u nichž je požadavek na aktualizaci vždy po 5 letech. Jelikož technický audit a posouzení rizik jsou dvě činnosti, které na sebe vzájemně navazují, pak se 5letý interval zdá být vhodný i pro periodické hodnocení technického stavu. Nicméně dílčí hodnocení je možné provádět i ročně v souladu s požadavkem na provádění kontrol objektů vynucovaných v souladu s provozním řádem.

²⁵ Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů

4 Metodika hodnocení technického stavu úpraven vody

Dále popsaná metodika hodnocení technického stavu úpraven vody je součástí komplexní metodiky hodnocení [101] systémů zásobování vodou, ve které jsou uvažovány všechny části systému počínaje jímacími objekty, přes úpravny vody, vodojemy a čerpací stanice až po vodovodní řady. Komplexní metodika byla vyvinuta jako výsledek mnohaleté soustavné činnosti, přičemž tato metodika byla přetvořena do softwarové aplikace s názvem TEA Water [119], která je k dispozici vlastníkům a provozovatelům vodárenské infrastruktury k provádění hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury. Části metodiky vztahující se k úpravám vody byly publikovány v několika odborných pracích zejména v [102].

The screenshot displays the TEA Water application interface. At the top, it reads "TEA Water Technický audit vodovodů". The active project is "Babicko [138]" and the user is "kucera.t - Auditor".

The interface is divided into several sections:

- Projekty:** Includes "Seznam projektů", "Nový projekt", and "Souhrnné výsledky".
- Aktivní Projekt:** Includes "Detail projektu", "Objekty", "Uživatelé projektu", and "Ukazatele a faktory".
- Uživatel:** Includes "Změna údajů" and "Odhlásit se".
- Správa aplikace:** Includes "Správa rolí", "Správa uživatelů", "Správa ukazatelů", and "Katalog společností".
- Moduly aplikace TeaWater:** A grid of modules with counts and actions:

R Jímací objekty 2 Hodnocení Nový objekt	T Úpravny vody 0 Hodnocení Nový objekt
M Přiváděcí řady 0 Hodnocení Nový objekt	A Vodojemy 0 Hodnocení Nový objekt
P Čerpací stanice 0 Hodnocení Nový objekt	N Rozvodná síť 0 Hodnocení Nový objekt
S Vodovodní řady 0 Hodnocení Nový objekt	Objektů celkem 2
- Nápověda:** "Vyberte téma nápovědy:" with a dropdown menu containing "Vytvoření projektu DB", "Oprava projektu", "Nastavení práv k projektu", and "Objekty projektu".
- Přehled:** A bar chart showing the count of objects for each module: A=1, B=0, C=0, D=0, F=0, N=1.

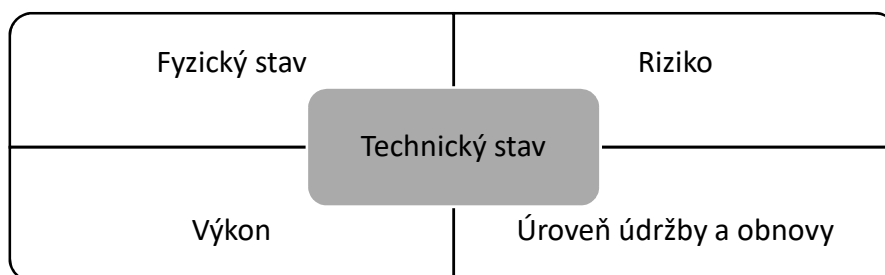
At the bottom left, there is a logo for "FAKULTA ústav STAVEBNÍ vodního hospodářství obcí".

Obr. 13 Uživatelské rozhraní aplikace TEA Water [119]

Klíčovým cílem předložené metodiky hodnocení bylo poskytnout rámec a podporu rozhodování, která bude nápomocná vlastníkům a provozovatelům úpraven vody při hodnocení technického stavu. Metodika hodnocení má sloužit jako návodná pomůcka k provádění inspekčních kontrol a hodnocení provozních záznamů. Má také pomoci mimo jiné stanovit procento opotřebení, jako jeden ze vstupních údajů při sestavování plánů financování obnovy.

4.1 Východiska hodnocení

Hodnocení technického stavu může být prováděno z různých pohledů, přičemž je třeba volit vhodné kombinace hodnotících aspektů, aby byly při hodnocení zahrnuty klíčové vlastnosti úpraven vody, jakožto objektů, u nichž je jasně definovaná funkce. Hodnocení technického stavu bude dostatečně komplexní, pokud bude založeno rovnoměrně na zkoumání fyzického stavu, relevantních rizik, výkonu a úrovně údržby a obnovy.



Obr. 14 Pilíře hodnocení technického stavu

Hodnocení technického stavu úpraven vody podle navržené metodiky je pojato právě jako proces vyjádření fyzického stavu jednotlivých prvků (opotřebení, intenzita koroze materiálu aj.), výkonu (pokrytí potřeby vody, vyhovění kvalitativním požadavkům), úrovně údržby a obnovy systému pomocí objektivních kritérií, přičemž při hodnocení jsou zvažována také rizika (od relevantních nebezpečí).

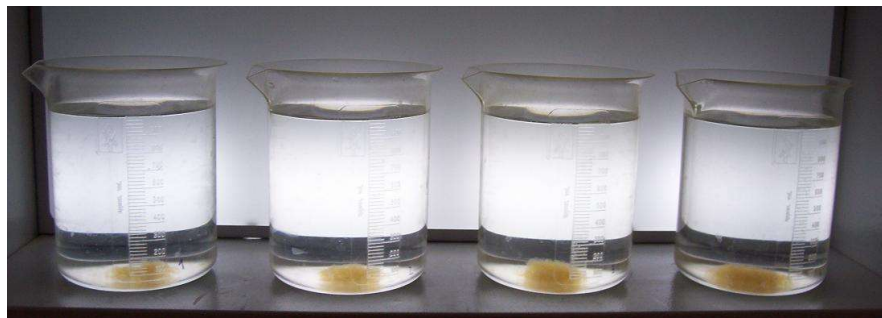
Při konstrukci sady hodnotících kritérií byly maximálně zohledňovány vlivy stavebního, technického a technologického provedení, způsobu provozování a stupně zabezpečení na proces výroby pitné vody ve smyslu ovlivnění spolehlivosti, odolnosti a zranitelnosti úpraven vody.

Při provádění technického hodnocení je nutné, aby hodnotitel vycházel z provozních záznamů a dalších dokumentů, stejně tak i z inspekční prohlídky objektů. Je vyžadována komplexní analýza technologických i provozních údajů sledovaných při provozování úpravny vody. Komplexní analýza dokumentace a provozních záznamů poskytne základní data pro hodnocení technického stavu. Neméně významná pro objektivní hodnocení je podrobná inspekční prohlídka všech částí objektu, tj. jak stavebních konstrukcí a prvků, tak i prvků technologického charakteru, zahrnující kontrolu jejich fyzického opotřebení a technického provedení. Během inspekční prohlídky jsou shromažďovány údaje provedené

vizuálním posouzením, doplňkovým měřením či jinými cestami, čímž se zjišťuje přítomnost vad a poruch a jejich závažnost. V případě, že je zjištěna závada, jako je například trhлина nebo koroze [114], vyvstává přirozeně otázka významu tohoto zjištění. Zde se střetávají dva faktory významnosti, jednak každého jednotlivého prvku a jednak zjištěné závady. Významnost závady musí být posouzena s ohledem na funkci úpravny vody, a to ve všech případech individuálně.

V rámci inspekční prohlídky je třeba také sledovat kvalitu vnějších i vnitřních prostor. Vizuální kontrola během inspekční prohlídky poskytne dodatečné údaje o stavu stavebních konstrukcí a prvků, jejich provedení, kvalitě vnějších i vnitřních prostor (manipulační komory, šachty, technologické haly), vstupy, otvory, prostupy a vlastní nádrže (tlakové i gravitační).

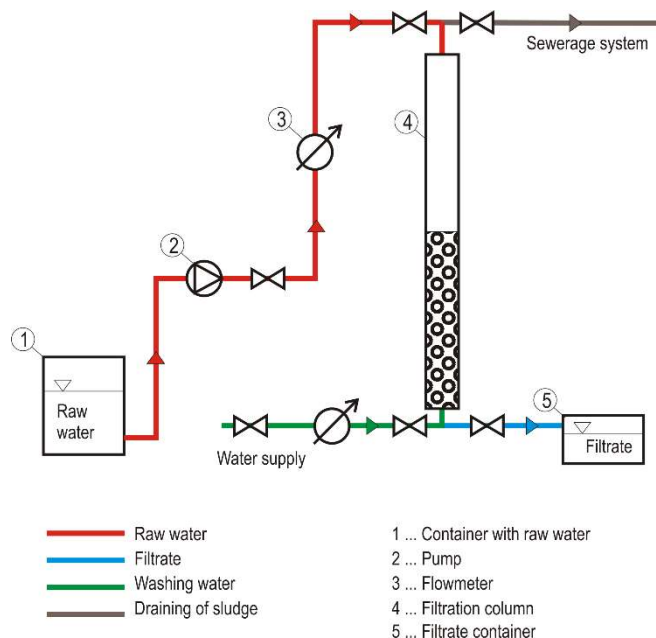
Je nutné vzít v úvahu, že na úpravnách vody probíhají fyzikální, chemické a biologické procesy současně s hydraulickými jevy, které jsou ve vzájemné interakci, to vše za provozu strojních a jiných součástí. Proto se vyhodnocovací činnosti spojené technickým auditem neobejdou bez dodatečných měření a provedení nejrůznějších technologických zkoušek. Typicky je prováděna koagulační sklenicová zkouška (obr. 15), nebo zkoušky účinnosti filtračních materiálů (obr. 16).



Obr. 15 Koagulační sklenicová zkouška

Právě takovéto typy zkoušek mohou napovědět, zda současná provozní praxe, v tomto případě způsob dávkování a míra dávky koagulantu či použití konkrétního filtračního materiálu, je správná. Může být například učiněn závěr, že úpravna vody není schopna za současného stavu dosáhnout optimálních podmínek procesu koagulace, které byly definovány koagulační zkouškou. Není možné například dosáhnout optimálních dávek koagulantu, dodržet předepsané doby zdržení a podobně. Na druhou stranu je možné

prokázat filtračními experimenty, že lze dosáhnout vyšší účinnosti separace daného polutantu změnou filtračního materiálu či změnou provozních podmínek filtrace. Získané poznatky je třeba vyhodnotit každý zvlášť se vztahem k příslušným jednotkám či procesům, ale také komplexně za účelem podchycení vlivu na celý proces výroby vody.



Obr. 16 Schéma filtračního experimentu [118]

Značná část hodnocení je postavena na základě zhodnocení rizik, přičemž se zjišťuje stupeň znehodnocení prvků a jeho dopad na pravděpodobnost selhání, což je jedna z částí rizika. V případě výroby pitné vody není dostačující pouhý fakt, že nenastala porucha a z toho usuzovat na dobrý stav věci. Zde je nutné pracovat s riziky, která mají být eliminována v co největším rozsahu. Druhá složka rizika jsou následky, jak bylo popsáno výše, což ale není součástí hodnocení technického stavu. V rámci navazujících kroků technického auditu pak může být přistoupeno k realizaci opatření zlepšující technický stav, resp. snižující pravděpodobnost vzniku nežádoucího stavu a tím eliminaci rizika.

Provozování úpraven vody, celý technologický proces, a nakonec i kvalitu vyráběného produktu – pitné vody, ovlivňuje celá řada faktorů, mezi nimi například:

- úroveň údržby technologických zařízení;
- nevhodná nebo nedostatečná provozní praxe;
- nedostatečná kvalifikace obsluhy;
- hospodárnost provozování;

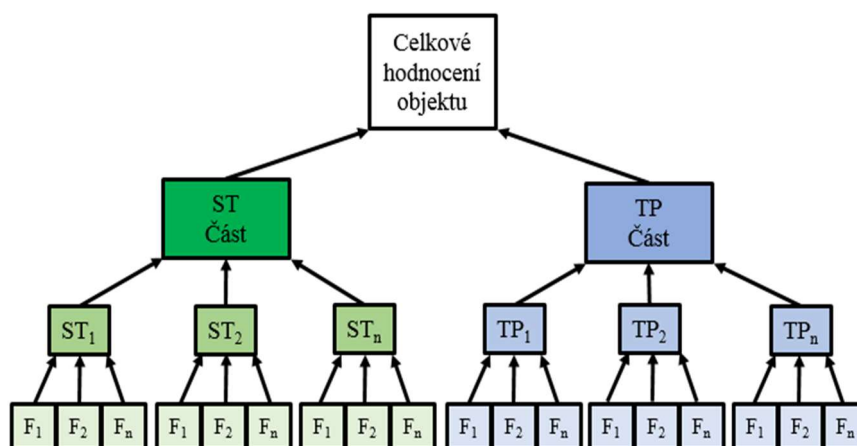
- připravenost na krizové stavy;
- zastaralost a zanedbání obnovy technologických zařízení.

4.2 Princip hodnocení

Návrh jednotného konceptu metodiky hodnocení technického stavu prvků vodovodů je motivován metodou FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) [76]. Metoda FMEA je metodou analýzy spolehlivosti, která umožňuje určení poruch s významnými důsledky ovlivňujícími funkci systému a jeho prvků. Oproti standardní metodě FMEA je navrhovaná metodika rozšířena o další úroveň – faktory. Technické ukazatele se zde nehodnotí přímo, ale pro jejich ohodnocení se využívá sada navržených faktorů pro každý jednotlivý technický ukazatel. Pro každý jednotlivý faktor je navržen jednotný čtyřúrovňový systém hodnocení se specifikací a konkrétním bodovým hodnocením každého faktoru. Každému bodovému hodnocení odpovídá jistý výrok, který je platný pro hodnocený prvek. Každému faktoru je navíc stanovena jeho váha v rámci hodnocení příslušného ukazatele. Faktory jsou jediná úroveň, ve které se do hodnocení zadávají data, hodnocení na vyšších úrovních jsou vypočtena (agregována) z dat zadaných na úrovni faktorů.

Jedná se o tedy o multikriteriální hodnocení, kdy celkové hodnocení objektu, zde úpravny vody, je agregováno z jednotlivých dílčích ukazatelů, resp. faktorů. Agregace (obr. 17) dílčích hodnocení, nejprve na úrovni faktorů, následně na úrovni ukazatelů je založena na metodě váženého součtu [99], přičemž je zvlášť důležité nastavení vah u jednotlivých faktorů a ukazatelů. V navržené metodice byly stanoveny váhy faktorů a ukazatelů na základě teoretických a provozních zkušeností získaných i z konzultací s pracovníky vodárenských společností.

Jak bylo popsáno výše, hodnocení technického stavu úpraven vody prostřednictvím popsané metodiky probíhá výběrem odpovídajícího výroku u jednotlivých faktorů, přičemž každý výrok disponuje určitým bodovým skóre v rozsahu diskrétního intervalu $\langle 0; 3 \rangle$. Platí, že u nehodnocených faktorů je uděleno nulové skóre. Bodová stupnice na úrovni faktorů byla zvolena z důvodu co nejjednoduššího hodnocení prováděného v terénu technickými pracovníky vodárenských společností.



Obr. 17 Struktura hodnocení technického stavu [101]

Faktory tedy nabývají bezrozměrného bodového skóre, jehož hodnota je přiřazena na základě výroku, který nejlépe vystihuje stav hodnoceného prvku. Bodové hodnocení faktorů bylo zavedeno následovně:

- 0 ... faktor není hodnocen, není dostatek informací pro hodnocení tohoto faktoru;
- 1, 2 nebo 3 ... přičemž hodnota 1 znamená nejpříznivější stav, naopak hodnota 3 stav nejméně příznivý v hodnocení faktoru.

Bodové skóre lze vykládat podle následující tabulky.

Tab. 1 Výklad bodového skóre faktorů

Bodové skóre	Fyzický stav	Pravděpodobnost vzniku nežádoucího stavu (část rizika)	Výkon	Úroveň údržby a servisu
0	nehodnoceno			
1	bezvadný, nejví známky opotřebení	nulová až nízká	odpovídající potřebám, legislativě a návrhovému stavu	pravidelná ve vyhovujících intervalech
2	projevy opotřebení středního charakteru	mírně zvýšená až střední	částečně nevyhovující potřebám a návrhovému stavu	občasná, v prodloužených intervalech
3	výrazné projevy stárnutí, značné projevy opotřebení	vysoká až jistá	nevyhovující legislativě, zcela odchýlen od potřeby a návrhového stavu	absentující nebo nedostatečná či nahodilá

Celkové hodnocení posuzovaného objektu, resp. části posuzovaného vodárenského systému je založeno na hodnocení dvou základních částí:

- stavebně-technické (ozn. „ST“) – souhrn stavebních a technických ukazatelů;
- technologicko-provozní (ozn. „TP“) – souhrn technologických a provozních ukazatelů,

přičemž pro každou část jsou definovány technické ukazatele.

4.3 Význam prvků

Primárním účelem posouzení technického stavu, jakožto součástí technického auditu, je vyjádření současného stavu úpraveny vody jako vstupní informace pro další navazující rozhodování o prioritách v rámci plánování údržby a obnovy. Některé součásti posuzovaných úpraven jsou však v rámci daného systému významnější, a proto by jim měla být věnována větší pozornost. V případě úpraven vody lze říct, že jsou složeny z prvků zcela rozdílného charakteru (viz výše), které mají přirozeně rozdílný vliv na procesy výroby vody. Zcela jiný význam lze očekávat například u dávkovacího čerpadla pro dávkování koagulantu a naproti tomu u čerpadla provozní vody (pro obsluhu objektu). Rovněž lze rozlišovat z hlediska významu i různé prostory, zde lze proti sobě stavět technologickou halu, kde jsou umístěny a provozovány nádrže s otevřenou hladinou a například skladovací či sociální prostory.

Stanovení významu prvku bylo vyšetřováno [103, 104, 105] v případě vodovodních sítí. Pro jednotlivé entity²⁶, jakožto prvky vodovodní sítě, byla stanovována tzv. prioritizační kritéria různého obsahového významu. Byl uvažován například profil řady nebo skutečnost, zda je na entitu napojen citlivý velkoodběratel. Kromě toho byl pro entity stanoven index HCI – vliv na hydraulickou spolehlivost (z angl. *Hydraulic Criticality Index*), kdy s využitím simulačních modelů byl simulován výpadek entity (odstavení z provozu) a hledán poměr mezi počtem uzlů sítě, ve kterých nebylo dosaženo požadované hodnoty přetlaku ku všem

²⁶ Entitou myšlena spojitá část vodovodní sítě – několik úseků, mající shodné dané úsekové parametry. Při vytváření entit jsou rozhodujícími parametry: profil, materiál a stáří (rok položení) potrubí [103].

uzlům sítě. Kritérium HCI i-té entity je pak vyjádřeno jako:

$$HCI_i = 1 - \frac{n_N}{N} \quad [-], \quad (5)$$

kde n_N ... počet uzlů s nevyhovujícím tlakem v případě vyřazení i-té entity,

N ... celkový počet uzlů sítě.

V případě vyjádření významu prvků úpraveny vody se jeví vhodnější použít spíše kvalitativní přístup. Kritérium je možné konstruovat na základě překročení nebo podkročení limitních hodnot ukazatelů jakosti pitné vody v podobě indexu kvality ozn. QCI – vliv na kvalitativní spolehlivost (angl. *Qualitative Criticality Index*) pro i-tý prvek následovně:

$$QCI_i = \begin{cases} 0 & \dots u_f = u_n \\ \frac{u_f - u_n}{u_{lim} - u_n} & \dots u_f > u_n \text{ a } u_f < u_{lim} \\ 1 & \dots u_f \geq u_{lim} \end{cases} \quad [-], \quad (6)$$

kde u_f ... hodnota kvalitativního ukazatele pitné vody na výstupu z úpraveny za stavu výpadku daného prvku,

u_n ... hodnota kvalitativního ukazatele pitné vody na výstupu z úpraveny vody za běžného provozního stavu (bez poruchy),

u_{lim} ... limitní hodnota kvalitativního ukazatele pitné vody.

Ukazatel QCI je takto vyjádřen pro jeden sledovaný ukazatel kvality pitné vody na výstupu z úpraveny. Vhodným ukazatelem zde může být zákal, $CHSK_{Mn}$ či koncentrace polutantu, jež je v surové vodě považován za dominantní, např. železo či mangan. Zde vyvstává otázka agregace přes vícero ukazatelů i se zohledněním jejich různého významu za situace, kdy kvalitativní ukazatele mají definovány limitní hodnoty různého charakteru (mezní nebo nejvyšší mezní hodnota).

4.4 Systém navržených ukazatelů pro úpraveny vody

Navržený systém hodnocení technického stavu je založen na **ukazatelích**, které se dále člení na **faktory**. Jak bylo řečeno výše, ukazatele jsou dány pro dvě části:

- **stavebně-technickou**

- a **provozně-technologickou.**

Obě tyto části je nutné hodnotit se stejnou mírou úsilí, avšak v případě úpraven vody nabývá většího významu část provozně-technologická. Je sice zřejmé, že stavební část těchto staveb je jejich nezbytnou součástí, avšak vliv na výrobu vody mají spíše součásti technologické. Z tohoto důvodu je doporučeno přiřadit části provozně-technologické při hodnocení vyšší váhu, a to až 70 % oproti 30 % pro část stavebně-technickou. Úpravny vody jako stavby jsou zpravidla členěny na stavební objekty a provozní soubory, ať už v rámci jediné budovy či souboru budov. Ukazatele jsou koncipovány tak, aby byly použitelné na úpravnu vody jako celek, v případě rozsáhlých staveb umístěných do několika, více či méně odlehlých budov je vhodné provádět hodnocení zvlášť.

V **části stavebně-technické** jsou hodnoceny jednotlivé části stavebních konstrukcí budov, ale i některé jejich vybrané prvky samostatně, např. stavební výplně (okna, dveře, poklopy) či prostupy trubních vedení stěnami, a také technologické jednotky rovněž v různých entitách. Hodnocení se týká nádrží, ať už betonových či ocelových, a jiných prvků.

Z pohledu stavebně-technického je také navrženo sledování stupně ochrany objektu proti vnějším vlivům. Do tohoto ukazatele bylo prostřednictvím faktorů zapracováno, jak je objekt zabezpečen proti vniku nepovolaných osob či jakým způsobem je objekt, potažmo voda v objektu, chráněna proti vzdušné kontaminaci či osvětlu slunečním zářením. V podmínkách ČR jsou značné historické zkušenosti s povodněmi, takže jeden z faktorů se týká právě zabezpečení objektu úpravny před povodní – uvažována je hladina při Q_{100}^{27} .

Hodnocení stavebně-technické části je koncipováno tak, že jsou hledány nepříznivé projevy, které by mohly negativně ovlivnit, případně až zcela omezit proces výroby pitné vody. Nejsou hledány příčiny, proč k nějakému negativnímu jevu či stavu dochází, ale cílem je pojmenovat a nalézt právě samotné negativní projevy. Cílem hodnocení není například odhalit, proč dochází k nárůstu mikroorganismů na stěnách technologické haly, ale vyzdvihnout, že k tomuto jevu dochází a tuto skutečnost označit za nevyhovující s ohledem na možné negativní ovlivnění procesu úpravy vody.

²⁷ Průtok, který dosažen nebo překročen za dlouhodobé období v průměru 1krát za 100 let.

Hodnocení stavebně-technické části je navrženo provádět prostřednictvím následujících ukazatelů:

- ST1 – Stavební konstrukce;
- ST2 – Technologické prvky;
- ST3 – Ochrana proti vnějším vlivům.

Hodnocení z pohledu stavebně-technického je nezbytnou součástí metodiky, avšak vyšší význam je kladen na hodnocení z pohledu **provozně-technologického**, čímž je vyzdvížen cíl úpravy vody, zejména kvalitativní aspekt dodávky vody. Do této skupiny ukazatelů byly zařazeny následující položky:

- TP1 – Rozsah technologie úpravy vody;
- TP2 – Separční procesy;
- TP3 – Další technologické procesy;
- TP4 – Dávkování chemikálií;
- TP5 – Čerpací technika;
- TP6 – Měření, monitoring a manipulace;
- TP7 – Spolehlivost dodávky vody;
- TP8 – Efektivita provozu;
- TP9 – Bezpečnost.

Ukazatele tohoto typu jsou opět koncipovány tak, aby byly odhaleny nežádoucí stavy v celém provozu výroby pitné vody. Ukazatele a faktory byly koncipovány tak, aby odrážely spolehlivost, odolnost i zranitelnost úpraven vody, přičemž při hodnocení se pracuje zejména s následujícími výchozími informacemi technologického charakteru:

- sledování kvality surové vody a jejich změn v čase;
- vyhodnocení kvality upravené vody, počet překročení limitních hodnot;
- měření průtoku vody v různých místech a fázích procesu úpravy;
- stanovení optimální dávky koagulantu a její ověřování za provozu;
- posouzení vhodnosti používaného koagulantu;
- způsob dávkování koagulantu a dalších chemikálií;
- průběh jednotlivých procesů, zejména rychlé a pomalé míchání, separace a dezinfekce

- a jiné.

Metodika hodnocení úpraven vody byla pojata jako komplexní ve smyslu kvantitativním i kvalitativním, proto lze na seznamu hodnotících ukazatelů, resp. faktorů nalézt i takové položky jako využitelnost výkonu úpravny vzhledem k jejím návrhovým hodnotám, plynulost provozu úpravny či úniky chemikálií. Tyto položky se rozhodně také podílejí na celkovém hodnocení úpravny vody, avšak mají menší vliv na výsledné hodnocení.

Následuje výčet ukazatelů zahrnujících skladbu a detailní popis faktorů. Jak bylo popsáno výše u principu metodiky, hodnocení probíhá výběrem platného (nejvíce odpovídajícího skutečnosti) výroku na úrovni jednotlivých faktorů. Faktor pak nabude bodovou hodnotu (skóre) uvedenou u zvoleného výroku. V níže uvedeném výčtu jsou zahrnuty právě i tyto hodnotící výroky a jejich bodové skóre. V úvahu připadá i skóre rovno 0, a to v případě nehodnocení faktoru, tato položka v následujícím výčtu není uváděna.

4.4.1 Stavebně-technické ukazatele

4.4.1.1 ST1 – Stavební konstrukce

Popis ukazatele

Ukazatel se zaměřuje především na fyzický stav stavební konstrukce, jakožto i na prostředí, které je zřízeno za účelem umístění a následného provozování technologického zařízení pro úpravu vody nebo doprovodné procesy, např. zpracování kalů. Jedná se o celé budovy, technologické haly či komory, dále velíny, skladovací a manipulační prostory, ale i sociální zařízení. Důraz při hodnocení má být kladen zejména na prostory, kde dochází k nakládání s vodou v otevřených nádržích (např. hala filtrů, otevřené reakční nádrže), dále také na ostatní výrobní prostory (např. hala s tlakovými filtry) a související prostory (přípravny chemikálií, manipulační komory). Menší význam v hodnocení získávají prostory přímo nesouvisející s výrobou vody (sociální zařízení, sklady, aj.).

Ukazatel je založen na kontrole fyzického stavu a je rizikově orientovaný, to znamená, že jsou hledány nežádoucí stavy a projevy (i jen potenciálně) ohrožující proces výroby pitné vody.

Účel ukazatele

Cílem je zjistit, zda stavební konstrukce poskytuje vhodné, stabilní a bezpečné prostředí pro umístění a provozování technologického zařízení a nakládání s vodou, rovněž také pro bezpečný pohyb provozního personálu.

Vstupní data

Zásadním podkladem jsou poznatky získané z vizuální kontroly provedené v rámci prohlídky objektu hodnotitelem. Pro hodnocení je žádoucí použít dostupnou projektovou a provozní dokumentaci, pasport nebo jiné dokumenty. Kromě jiného je posuzována shoda fyzického provedení s normovými požadavky a současným stavem poznání.

Faktory

Ukazatel „Stavební konstrukce“ je složen z následujících faktorů:

- ST1.1 – Stropní konstrukce
 - 1 ... bezprašné provedení, bez viditelných závad (praskliny, oprýskaná omítka, plíseň, vlhkost, aj.);
 - 2 ... prašné provedení, viditelné nevýrazné praskliny, oprýskaná omítka v menší míře a mimo půdorysnou plochu otevřených nádrží, místní výskyt plísní a nárostů, ojedinělá vlhkost konstrukce (nikoliv průsak);
 - 3 ... narušena nosná konstrukce, výrazné praskliny, viditelná výztuž, oprýskaná omítka nad otevřenými nádržemi nebo ve větší míře i mimo půdorys otevřených nádrží, větší plochy plísní a nárostů, znatelná vlhkost, průsaky vody z vnějšího prostředí;
- ST1.2 – Stěny
 - 1 ... bezprašné provedení, bez viditelných závad (oprýskaná omítka, praskliny, plíseň, vlhkost);
 - 2 ... prašné provedení, viditelné tenké praskliny, oprýskaná omítka v menší míře a mimo dosah otevřených nádrží, místní výskyt plísní a nárostů, ojedinělá vlhkost konstrukce (časově i místně,

nikoliv průsak);

- 3 ... výrazné praskliny, drolicí se povrch, oprýskaná omítka v dosahu nádrží nebo ve významné míře, porušené zdivo, významné plochy plísní a nárostů, významné projevy vlhkosti (trvale či rozsáhle);



Obr. 18 Armaturní chodba – významný výskyt plísní a nárostů

- ST1.3 – Podlahy (včetně podlahové krytiny)
 - 1 ... bezprašné provedení, kompaktní, nepropustná, spádovaná rovnoměrně do sběrné jímky s funkčním odvodněním (čerpádem/odtokem);
 - 2 ... prašný, nekompaktní, hůře čistitelný povrch, nedokonale odvodněná, místně nerovnoměrný spád; nefunkční odvádění vody ze sběrné jímky;
 - 3 ... popraskaná, propustná, špatně spádovaná, bez odvodnění, znatelné konstrukční závady;
- ST1.4 – Stavební výplně (dveře, poklopy, montážních otvory a okna bez vazby na vnější okolí)
 - 1 ... plně funkční, uzavíratelné, celistvé výplně (sklo i mříže), pokud jsou zámky, pak zamykatelné;
 - 2 ... uspokojivě funkční, oprýskané nátěry, nevýznamné netěsnosti, srážení vlhkosti na dveřních výplních, nedostatečná tepelná

- izolace, nevhodný materiál, ojedinele popraskaná skleněná výplň;
- 3 ... havarijní, nelze dovřít, popř. uzamknout, rozbité výplně, dostatečná únosnost poklopů;
- ST1.5 – Schodiště, zábradlí, žebříky, madla, stupačky, ochozy (předpoklad souladu s požadavky na bezpečnost práce)
 - 1 ... provedeno z korozivzdorného materiálu, pevně osazeno, nechybí žádné díly;
 - 2 ... částečná koroze, některé chybějící prvky, nedostatečné uchycení;
 - 3 ... výrazná koroze, absence celých dílců, nefunkční, nedostatečná únosnost;
 - ST1.6 – Elektroinstalace a elektrozařízení (předpokládá se soulad s příslušnou legislativou)
 - 1 ... pravidelně revidováno a plně funkční, bez zjištěných závad, záložní zdroj a přepět'ová ochrana jsou plně funkční;
 - 2 ... dílčí závady elektroinstalaci a zařízení bez vlivu na proces úpravy vody (některé prvky osvětlení, přepět'ová ochrana), není prováděna pravidelná kontrola, údržba, revize;
 - 3 ... nefunkční jako celek či určité součásti s vlivem na proces úpravy vody (pohony a ovládání technologie, záložní zdroj);
 - ST1.7 – Prostupy vedení konstrukcemi (rozlišují se prostupy požadavkem na odolnost proti vlhkosti a vodotěsné, mimoto jsou chráničky bez požadavku na vodotěsnost/vlhkotěsnost)
 - 1 ... vodotěsné/vlhkotěsné, s kvalitním napojením na povrchové úpravy; opatření proti účinkům sedání konstrukce; prostupující vedení podepřeno;
 - 2 ... projevy prostupu vlhkosti z vnějšího prostředí (nikoliv trvalého rázu); bez projevů prostupu vody či vlhka, ale porušený těsnicí prvek; hmotnost prostupujícího vedení přenášena na těsnicí prvek;

3 ... narušená vodotěsnost (objevují se kapky vody nebo je konstrukce v místě prostupu trvale vlhká);



Obr. 19 Detail funkčního prostupu trubního vedení konstrukcí – článkové těsnění

4.4.1.2 ST2 – Technologické prvky

Popis ukazatele

Ukazatel se zaměřuje na fyzický stav technologických prvků a na jejich technické provedení, jakožto zařízení, které přímo nebo nepřímo umožňují správný průběh technologických procesů a různou měrou jej ovlivňují. Jedná se o prvky, které přicházejí do styku s upravovanou vodou, ať už to jsou nádrže různého charakteru či potrubí, žlaby, čerpadla, armatury, aj.

Rovněž tento ukazatel je založen na kontrole fyzického stavu a technického provedení, svým charakterem je orientován na rizika ohrožující proces výroby vody.

Účel ukazatele

Cílem je zjistit, zda technologické prvky jsou způsobilé k realizaci technologických procesů, jsou schopny plnit svoji funkci po technické stránce (stav koroze, vodotěsnost, mechanické vlastnosti, manipulovatelnost aj.) a zda jejich fyzický stav také odpovídá vlastnostem médií, se kterými docházejí prvky do styku (odolnost proti agresivitě).

V rámci této části není relevantní hodnotit vlastnosti technologické, jako je např. hydraulická kapacita, doba zdržení aj. Povlak vytvořený v souvislosti s probíhajícími technologickými procesy (obr. 20) nelze považovat za nevyhovující technický stav.



Obr. 20 Čištění filtrační nádrže

Vstupní data

Pro hodnocení je nezbytné provést obhlídku objektů a hodnocených prvků. Významným podkladem jsou právě poznatky učiněné vizuálním posouzením v rámci prohlídky objektů a prvků. Částečně jsou vstupní data získávána z provozních záznamů (poruchovost) a projektové dokumentace. Hodnoceny jsou přirozeně pouze faktory v návaznosti na skladbu prvků, např. při absenci betonových nádrží není tento faktor hodnocen.

Faktory

- ST2.1 – Betonové nádrže
 - 1 ... bez viditelných závad, kompaktní vnitřní povrch, bez prasklin, žádné projevy netěsnosti;
 - 2 ... nevýznamné povrchové praskliny, lokálně narušený vnitřní povrch, narušený vnější povrch (bez viditelné výztuže), místní výskyt plísní a nárostů, nevýznamná netěsnost (zavlhlý vnější povrch);
 - 3 ... narušený vnitřní povrch, výrazné praskliny, viditelná výztuž,

plošný výskyt plísní a nárostů, plošně oprýskaný vnitřní povrch nádrží, netěsnosti se projevují průsakem vody;



Obr. 21 Vločkovací nádrž – plošně oprýskaný vnitřní povrch nádrže



Obr. 22 Rozdělovací objekt

(výrazné projevy koroze na kovových částech vestrojení, výskyt plísní ve spárách keramického obkladu)

- ST2.2 – Kovové a jiné nádrže

- 1 ... bez viditelných závad, povrch chráněn účinnou povrchovou úpravou, minimální projevy koroze, žádné úniky vody, bez tvarové deformace;
- 2 ... lokální projevy koroze, povrchová úprava narušena z vnější strany, znatelná tvarová deformace, žádné úniky vody;
- 3 ... výrazné projevy koroze, narušení konstrukce či významná

deformace tělesa nádrže, projevy netěsnosti, negativní ovlivnění kvality vody v nádrži od stavu konstrukce;



Obr. 23 Stav provzdušňovacího zařízení

(výrazné projevy koroze na kovových částech vstrojení)

- ST2.3 – Potrubní rozvody (včetně spojů a armatur)
 - 1 ... chráněny odpovídající povrchovou úpravou, bez známek koroze a jiných poruch či poškození, spoje těsní, funkční podepření;
 - 2 ... funkčně bez problémů, závady důsledkem stáří materiálu, lokální projevy koroze, mírná inkrustace (povlak), nevýznamná netěsnost spojů, lze demontovat a opětovně provést spoje;
 - 3 ... funkční problémy, celkové projevy koroze na vnějším povrchu, významná koroze na vnitřním povrchu, silné inkrusty, tvarová deformace profilu potrubí, úniky vody ve spojích, není možná demontáž a opětovná montáž spojů (výměna dílců či armatur), nefunkční podepření;



Obr. 24 Stav potrubních rozvodů

- ST2.4 – Armatury
 - 1 ... chráněny odpovídající povrchovou úpravou, bez známek koroze a jiných poruch a poškození, plně funkční a ovladatelné;
 - 2 ... závady důsledkem stáří materiálu (např. podcházení uzávěrů), nevýznamné netěsnosti, lokální projevy koroze, ovládání ve smyslu manipulace s vodou s obtížemi;
 - 3 ... funkční problémy, únik vody, výrazná koroze a inkrusty, značně či úplně omezená ovladatelnost;

- ST2.5 – Strojní součásti (pohony, míchadla apod., kromě čerpadel)
 - 1 ... plně funkční bez omezení provozu;
 - 2 ... zvýšená poruchovost, částečné odstávky nebo částečné omezení funkčnosti bez významného vlivu na výrobu vody, únik provozních kapalin bez možnosti přímé kontaminace vody (např. mazací hmoty);
 - 3 ... časté poruchy, odstávky nebo omezená funkčnost ve smyslu negativního ovlivnění procesu výroby vody (kvantitativně i kvalitativně), únik provozních kapalin s možností přímé kontaminace vody;



Obr. 25 Vločkovací nádrže – pohon míchadel
(únik provozních kapalin s možností přímé kontaminace vody)

- ST2.6 – Čerpadla (včetně dávkovacích)
 - 1 ... plně funkční bez omezení provozu, typ čerpadla odpovídá čerpanému médiu, žádné úniky čerpaného média (chemikálií), nevýznamné úniky čerpané vody;
 - 2 ... zvýšená poruchovost, krátkodobé odstávky bez negativního vlivu na výrobu vody (kvalitativně), obtíže s ovladatelností; typ čerpadla neodpovídá čerpanému médiu; méně významný únik čerpaného média nebezpečného charakteru; nadměrná hlučnost;
 - 3 ... zvýšená poruchovost s významným vlivem na kvalitu vyrobené vody, časté poruchy s odstávkou mající vliv na výkon úpravní vody; únik čerpaného média nebezpečného charakteru; zvýšený únik čerpané vody; nadměrné vibrace;

4.4.1.3 ST3 – Ochrana proti vnějším vlivům

Popis ukazatele

Ukazatel hodnotí schopnost konstrukce ochránit na jedné straně veškeré vnitřní vybavení, nejen technologické, a na druhé straně probíhající technologické procesy před nebezpečím přicházejícím zvenčí úpravní vody zejména charakteru společenského a přírodního. Nebezpečím jsou zde myšleny projevy vandalismu, úmyslné poškození, sabotáž i terorismus ze složky společenské, dále vzduch, sluneční svit a vnější teplota ze složky

přírodní. Jedná se o rizikově orientovaný ukazatel.

Účel ukazatele

Cílem je vystihnout, zda úpravna vody je schopna odolávat vyjmenovaným nebezpečím. Ukazatel do jisté míry vyjadřuje odolnost úpravny vody.

Vstupní data

Hodnocení ukazatele vychází z provedené vizuální prohlídky dotčených prvků podílejících se na zabezpečení objektu proti nebezpečím přicházejícím z vnějšku.

Faktory

- ST3.1 – Vstup do objektu a okna (s vazbou na vnější prostředí)
 - 1 ... dveře/poklopy/okna chráněny proti vniku dešťové/povrchové vody, vstup uzamykatelný, okna s mříží, dveře a poklopy dostatečně robustní; elektronicky zabezpečeno;
 - 2 ... dveře/poklopy/okna nejsou dostatečně chráněny proti vniku dešťové/povrchové vody, uzamykatelný vstup, okna plně uzavíratelná a bez mříže, porušená skleněná výplň;
 - 3 ... dveře/poklopy nezabraňují vniku dešťové/povrchové vody, vstupy nelze uzamknout, okna s poruchou uzavírání a bez mříží; dveře a poklopy chatrnější konstrukce, dveře/poklopy z vnějšího prostředí umístěny na dosahu volné hladiny vody uvnitř;

- ST3.2 – Teplota
 - 1 ... v zimním období je možné ve všech prostorách zajistit minimální požadovanou teplotu; v letním období nedochází k nárůstu teploty v prostorách s manipulací s vodou nad 30 °C;
 - 2 ... v zimním období v prostorách, kde nedochází k manipulaci s vodou lze zajistit minimální požadovanou teplotu pouze s obtížemi a v prostorách manipulace s vodou dochází k mírnému podkročení minimálních teplot (o 1 °C); v letním období dochází v prostorách s manipulací s vodou k nárůstu teploty nad 30 °C;

- 3 ... v zimním období nelze dodržet minimální požadovanou teplotu mimo prostory s manipulace s vodou (pokles o 5 a více °C) a v prostorách s manipulací s vodou dochází k přiblížení se nebo podkročení bodu mrazu;
- ST3.3 – Sluneční osvit
 - 1 ... otevřená vodní hladina je chráněna proti přímému slunečnímu světlu (nedochází k osvitu);
 - 2 ... sluneční záření dopadá část dne skrz skleněné výplně na menší část otevřené hladiny nebo na potrubí či uzavřenou nádrž;
 - 3 ... sluneční záření dopadá skrz skleněné výplně na významnou část hladiny otevřených nádrží;
 - ST3.4 – Větrání
 - 1 ... objekt je odvětrán funkčními průduchy s dostatečnou kapacitou, větrání je osazeno vzduchovým filtrem, zabezpečeno proti vniku osob, živočichů a dešti; odvětrání akumulčních nádrží je vyspádováno směrem ven a vybaveno bezpečnostní shybkou;
 - 2 ... některý z průduchů není funkční, průduchy nejsou zabezpečeny proti dešti, chybí vzduchový filtr, ale zabezpečeno proti vniku živočichů;
 - 3 ... odvětrání objektu jako celek má omezenou funkci, není zajištěna dostatečná ochrana proti vniku osob nebo živočichů; u odvětrání akumulace není zajištěna ochrana proti zpětnému toku kapalin (spád a bezpečnostní shybka); nedostatečná kapacita větracích otvorů;
 - ST3.5 – Ochrana před povodněmi
 - 1 ... objekt mimo dosah Q_{100} nebo objekt v dosahu Q_{100} , ale je zajištěna plná ochrana;
 - 2 ... objekt v dosahu Q_{100} , je zajištěna částečná ochrana, bez ohrožení procesu výroby vody za povodně (možné zatopení

nevýrobních objektů);

3 ... objekt v dosahu Q_{100} , ochrana není zajištěna, možné zatopení výrobních částí objektu;

- ST3.6 – Průsak vody (směrem dovnitř)

1 ... nedochází k průsaku vody z vnějšího prostředí;

2 ... do objektu prosakuje nebo jinak natéká podzemní, drenážní nebo dešťová voda, avšak nedochází (ani potenciálně) ke kontaktu s upravovanou vodou;

3 ... dochází k průsaku nebo nátoku podzemní, drenážní nebo dešťové vody až s nátokem do upravované vody;

4.4.2 Technologicko-provozní ukazatele

4.4.2.1 TP1 – Rozsah technologie úpravy vody

Popis ukazatele

Úpravna vody má být vždy navržena a po celou dobu provozována s ohledem na kvalitu surové vody. Technologie úpravy vody musí být vždy svou skladbou a rozsahem odpovídající složení surové vody a intenzitě znečištění, resp. hodnotám ukazatelů kvality surové vody. Technologická linka musí být vybavena patřičným počtem separačních stupňů v souladu s intenzitou znečištění, musí být zařazeny technologie, o nichž je známo, že jsou schopny eliminovat přítomné polutanty. V rámci hodnocení ukazatele se hodnotí, zda kvalita surové vody je odpovídající skladbě technologické linky, resp. obráceně, také zda není překročena nebo zda se neočekává v blízké budoucnosti překročení některé z legislativně daných limitních hodnot pro kvalitu pitné vody. Ukazatel je orientován na rizika generovaná zejména nebezpečími technicko-technologického charakteru.

Účel ukazatele

Cílem je postihnout vztah mezi kvalitou surové vody a skladbou technologické linky ohledně její schopnosti eliminovat znečištění přicházející v surové vodě v aktuálním i výhledovém stavu.

Vstupní data

K vyhodnocení následujících faktorů v rámci ukazatele rozsah technologie úpravy vody je nezbytné analyzovat výsledky rozborů surové vody v rozsahu odpovídajícím požadavkům pro vyhodnocení indexu upravitelnosti v souladu s legislativou. Je vhodné mezi ukazateli kvality surové vody identifikovat hlavní polutanty. Nutností je rovněž rozšířená znalost o kvalitě vyrobené vody na výstupu z úpravny, je vhodné vyhodnotit klíčové ukazatele kvality vody.

Za klíčové ukazatele jsou považovány zejména pH, koncentrace zbytkového koagulantu, CHSK_{Mn} , zákal, barva, $\text{KNK}_{4,5}$, suspendované látky, absorbance, mikrobiologické a biologické ukazatele (zejména ve vegetačním období) a především koncentrace hlavních polutantů (např. železo a mangan v případě podzemní vody). Za uspokojivý interval měření je považována interval 6hodinový, přičemž pro vyhodnocení s patřičnou vypovídací hodnotou má být k dispozici časová řada v délce alespoň 3 let.

Faktory

- TP1.1 – Index upravitelnosti
 - 1 ... technologie úpravy je dostatečná vzhledem k indexu upravitelnosti a s rezervou (např. pokrývá výhledově očekávané zhoršení jakosti surové vody, sezónní výkyvy);
 - 2 ... technologie úpravy má dílčí nedostatky (obtížná upravitelnost v některých ukazatelích);
 - 3 ... technologie úpravy je nedostatečná vzhledem k indexu upravitelnosti, úpravna vody má potíže dosáhnout požadované jakosti vody;
- TP1.2 – Počet separačních stupňů
 - 1 ... počet separačních stupňů odpovídá intenzitě a charakteru znečištění surové vody (podle koncentrace znečištění či dávky koagulantu);
 - 2 ... počet separačních stupňů je nevyhovující pouze v ojedinělých obdobích (nedostatek se projevuje například zkrácením délky filtračního cyklu v daném období oproti normálu);

- 3 ... počet separačních stupňů neodpovídá intenzitě znečištění surové vody (nedostatek se projevuje např. krátkým filtračním cyklem);
- TP1.3 – Surová voda
 - 1 ... kvalita surové vody je odpovídají návrhovým parametrům úpravny vody;
 - 2 ... kvalita surové vody je horší, než bylo uvažováno v návrhu úpravny vody, tato je však stále schopna dosáhnout vyhovující kvality upravené vody;
 - 3 ... kvalita surové vody je významně horší, než bylo uvažováno v návrhu úpravny vody, kvalita pitné vody je díky tomu zhoršena, hodnoty kvalitativních ukazatelů jsou blízko limitním hodnotám, nebo jsou z tohoto důvodu překračovány;
 - TP1.4 – Legislativa
 - 1 ... všechny ukazatele jakosti pitné vody jsou standardně pod stanoveným limitem; není udělena žádná výjimka ohledně jakosti pitné vody;
 - 2 ... očekává se, že po novelizaci požadavků na kvalitu pitné vody nebude vyráběná voda vyhovující v ukazateli s MH; je udělena výjimka v ukazateli s MH (prvotně); některý z ukazatelů s limitem MH dosahuje hodnot takových, že po očekávané změně legislativy nebudou tyto hodnoty vyhovující;
 - 3 ... je udělena výjimka ohledně jakosti pitné vody v ukazateli s NMH nebo opakovaně v ukazateli s MH; některý z ukazatelů s limitem NMH dosahuje hodnot takových, že po očekávané změně legislativy nebudou tyto hodnoty vyhovující;
 - TP1.5 – Celková účinnost (posouzení dosažitelnosti požadované účinnosti úpravy vody)
 - 1 ... hlavní technologické stupně jsou schopné beze změn dosahovat požadovaných hodnot ukazatelů kvality vody na

výstupu;

- 2 ... hlavní technologické stupně jsou schopné dosahovat požadovaných hodnot ukazatelů kvality vody na výstupu po provedení méně náročných opatření neinvestičního charakteru;
- 3 ... hlavní technologické stupně nejsou schopny dosahovat požadovaných cílových hodnot ukazatelů kvality vody na výstupu, pro dosažení je nutná realizace opatření investičního charakteru.

4.4.2.2 TP2 – Separální procesy

Popis ukazatele

Ukazatel se zaměřuje na vyhodnocení klíčových procesů úpravy vody – tj. separálních procesů, kam se řadí zejména sedimentace, filtrace, flotace a jiné. Separální procesy jsou považovány za hlavní část technologické linky úpraven vody, avšak není podmínkou, že součástí technologické linky musí být některý ze separálních procesů, pokud to kvalita surové vody dovoluje. Ukazatel zahrnuje vyhodnocení technologických parametrů, stejně tak i kvalitu vody na výstupu z těchto procesů, tedy nikoliv ještě kvalitu finální. Zde je při hodnocení nutné zajít do hloubky, co se týče znalosti o průběhu separálních procesů. Ukazatel je orientován na výkon a na rizika generovaná zejména nebezpečími technicko-technologického charakteru.

Účel ukazatele

Ukazatel má vystihnout schopnost separálních procesů eliminovat suspenzi v upravované vodě, která je připravena v rámci předcházejících procesů předúpravy vody. Dále použité hodnocení separální účinnosti je vhodné vztáhnout k odstraňovanému znečištění, např. formou ukazatele zákal. Ukazatel nehodnotí, zda je počet separálních stupňů dostatečný, či zda absence separálního stupně je závadou.

Vstupní data

Hodnocení se neobejde bez detailního zkoumání dokumentace a podpůrných výpočtů a analýzy kvalitativních parametrů. Je zcela nezbytné disponovat řadou naměřených hodnot klíčových (viz výše) ukazatelů kvality vody a dále hodnotami technologických ukazatelů

[12, 13, 53] ve stavu návrhu a za současného stavu s ohledem na výkon úpravny vody jako je doba zdržení, filtrační rychlost, délka filtračního cyklu, povrchové zatížení, Reynoldsovo číslo, a další.

Faktory

- TP2.1 – Separační účinnost

- 1 ... na separačních stupních dochází k účinnému a bezpečnému odstranění suspenze, tj. zákal po sedimentaci $ZF^{28} \leq 3$, po filtraci pak $ZF \leq 1$, zbytková koncentrace koagulantu po posledním separačním stupni nezvyšuje koncentraci souvisejících ukazatelů kvality vody; není indikován únik suspenze, oxidačních produktů ani zbytkový koagulant dále v distribuční části (např. ve vodojemu);
- 2 ... separace je méně účinná, tj. zákal ZF po sedimentaci je v intervalu (3-5> a po filtraci v intervalu (1-3>, avšak hodnoty na odtoku z úpravny vody jsou vždy vyhovující; únik suspenze, oxidačních produktů či zbytkový koagulant je ojediněle indikován dále v distribuční části;
- 3 ... účinnost separace je nižší, tj. zákal ZF po průtoku finálním separačním stupněm je v intervalu (3-5>; dochází úniku suspenze (pravidelně) či mikroorganismů (i ojediněle); suspenze po oxidačních procesech vzniká až za separačními stupni; indikována zvýšená koncentrace zbytkového koagulantu dále v distribučním systému;

- TP2.2 – Parametry procesů

- 1 ... klíčové parametry separačních procesů jsou vyhovující s ohledem na současný výkon úpravny vody (nutno ověřit hodnoty technologických parametrů např. povrchové zatížení,

²⁸ Zákal bez rozlišení metody stanovení.

- Reynoldsovo číslo, filtrační rychlost, doba zdržení, také provozní teplota u pomalých filtrů, ...);
- 2 ... klíčové parametry separačních procesů jsou v nepříznivých hodnotách pouze za mimořádných stavů (např. při krátkodobě zvýšeném výkonu úpravny);
 - 3 ... klíčové parametry separačních procesů jsou trvale nevyhovující (např. hydraulické přetěžování filtrů);
- TP2.3 – Konstrukce separačních jednotek (z technologického pohledu)
 - 1 ... technické zařízení, v němž probíhají separační procesy je zcela vyhovující z technologického hlediska (např. vhodně provedený nátok a odtok, vhodné shrabovací zařízení, prací čerpadla o odpovídajícím výkonu, zcezovací systém, ...);
 - 2 ... technické zařízení, v němž probíhají separační procesy, má určité konstrukční vady (nerovnoměrný nátok vody do nádrží, nerovnoměrný nátok pracích médií na filtry, nevhodný odtah kalové vody, nedokonalé stírání kalu); na každém ze zařízení je identifikována pouze jediná z těchto závad a současně není pozorován zásadní vliv na kvalitu vody na odtoku ze zařízení;
 - 3 ... technické zařízení, v němž probíhají separační procesy, má zásadní konstrukční nebo jiné vady (nátok vody na filtry bodově provedený, rozplavování filtrační náplně nátokem vody, zcela narušený nebo zborcený drenážní systém filtrů), které mají znatelný vliv na kvalitu vody na odtoku ze zařízení; je identifikováno více závad méně závažného charakteru na jednotlivých zařízeních;
 - TP2.4 – Filtrační cyklus
 - 1 ... délka filtračního cyklu je v normálních mezích, tj. v intervalu <48; 96) hod; mezních hodnot pro ukončení filtračního cyklu (zákal, tlaková ztráta) je dosahováno současně s koncem filtračního cyklu;
 - 2 ... délka filtračního cyklu je v intervalu <24; 48) nebo <96; 120)

hod; některá z mezních hodnot pro ukončení filtračního cyklu (zákal, tlaková ztráta) není dosahována současně s koncem filtračního cyklu;

3 ... délka filtračního cyklu je kratší než 24 nebo delší než 120 hod; žádná z mezních hodnot pro ukončení filtračního cyklu (zákal, tlaková ztráta) není dosahována současně s koncem filtračního cyklu;

- TP2.5 – Odkalování a regenerace

1 ... odkalování nádrží je prováděno kontinuálně nebo v pravidelných intervalech s četností max. 1x za směnu bez negativního ovlivnění technologických procesů v nádržích (např. nadměrné víření sedimentů, únik suspenze odtokovým žlabem); intenzita a doba praní jsou dosahovány v souladu s provozním řádem (nebo prováděcí dokumentací); praní filtrační náplně je rovnoměrné; praní je prováděno prací vodou po úpravě (nikoliv surovou vodou); zákal prací vody na odtoku při konci praní je nižší než 3; prací vzduch je veden přes vzduchový filtr;

2 ... odkalování nádrží je prováděno kontinuálně nebo v pravidelných intervalech s četností max. 2x za směnu, dochází k nevýznamnému ovlivnění procesů v nádržích (víření sedimentů bez pozorovatelného úniku suspenze vlivem odkalování); intenzita nebo doba praní jedním z médií není odpovídající údajům v provozním řádu (nebo prováděcí dokumentaci); zákal prací vody na odtoku při konci praní je i intervalu (3; 5>; prací vzduch není veden přes vzduchový filtr; dochází k občasnému a nevýznamnému vynášení filtrační náplně prací vodou;

3 ... odkalování nádrží je prováděno nepravidelně a s četností častěji než 2x za směnu, dochází k významnému ovlivnění procesů v nádržích (víření sedimentů a pozorovatelnému úniku suspenze vlivem odkalování); intenzita i doba praní jedním z médií není odpovídající údajům v provozním řádu (nebo prováděcí dokumentaci) nebo není k dispozici odpovídající

množství prací vody; praní filtračních náplní není rovnoměrné (pozorovatelné při konci regenerace); zákal prací vody na odtoku při konci praní je vyšší než 5; praní je prováděno surovou vodou; dochází k pravidelnému a významnému vynášení filtrační náplně prací vodou.



Obr. 26 Čerpadla prací vody – zdrojem prací vody je surová voda

4.4.2.3 TP3 – Další technologické procesy

Popis ukazatele

Ukazatel je zaměřen na další technologické procesy v přímé spojitosti s výrobou vody. Důraz má být kladen zejména na procesy oxidace a koagulace, jakožto procesy, které svou funkcí a průběhem významně ovlivňují účinnost následné separace. Ukazatel zahrnuje vyhodnocení technologických parametrů, zejména doby zdržení a dávky chemikálií [12-14, 52, 53]. Zde je při hodnocení nutné zajít do hloubky, co se týče znalostí o průběhu procesů. Ukazatel je orientován zejména na rizika generovaná zejména nebezpečími technicko-technologického charakteru.

Účel ukazatele

Ukazatel má za cíl postihnout správnou funkci procesů ovlivňujících jednak účinnost separace, tzn. prověřit, zda dochází k tvorbě suspenze odpovídajícím způsobem, dále také účinnost hygienického zabezpečení prostřednictvím dezinfekce.

Vstupní data

Hodnocení se neobejde bez detailního zkoumání dokumentace a podpůrných výpočtů. Je zcela nezbytné disponovat řadou naměřených hodnot klíčových ukazatelů kvality vody a dále hodnotami technologických ukazatelů ve stavu návrhu a v současnosti s ohledem na výkon úpraveny vody jako je doba zdržení, dávka chemikálií, rychlostní gradient apod.



Obr. 27 Nevhodné provedení procesu rychlého míchání

(dlouhá doba zdržení, nízký gradient rychlosti)

Faktory

- TP3.1 – Předúprava (oxidace a koagulace)
 - 1 ... procesy předúpravy zajišťují efektivní zlepšení upravitelnosti vody, jejich parametry lze měnit v čase (intenzita míchání, úprava pH); dávka chemikálií je odpovídající znečištění surové vody (prověřováno např. sklenicovou zkouškou) a výkonu úpraveny; doba zdržení a rychlostní gradienty jsou odpovídající probíhajícím procesům;
 - 2 ... procesy předúpravy nejsou plně efektivní, změnu parametrů předúpravy je možné činit pouze omezeně; jeden z ukazatelů (dávka chemikálií, doby zdržení nebo rychlostní gradienty)

neodpovídá znečištění surové vody, výkonu úpravny nebo probíhajícím procesům;

3 ... procesy předúpravy nejsou efektivní (např. nedostatečná tvorba vloček, nedostatečná reakční doba), podmínky procesů jsou pevně nastaveny bez možnosti přizpůsobení aktuálním podmínkám;

- TP3.2 – Účinnost dezinfekce

1 ... způsob hygienického zabezpečení je odpovídající místním podmínkám (CT faktor je odpovídající znečištění surové vody), je dosahováno patřičného odstranění mikroorganismů přítomných ve vodě (s cílem podkročení limitních hodnot); dávka činidla je pravidelně ověřována, je odpovídající výkonu úpravny vody a je možné ji regulovat;

2 ... nejsou zajištěny všechny podmínky používané dezinfekční metody, nelze dosáhnout odpovídající hodnoty CT faktoru (nelze dosáhnout odpovídající dávky nebo doby zdržení), regulace dávky dezinfekčního činidla není možná; dochází pouze k výjimečnému překračování MH u mikrobiologických ukazatelů;

3 ... způsob hygienického zabezpečení není dostačující, není možné dosáhnout odpovídající hodnoty CT faktoru (jak po stránce dávky, tak i doby zdržení); dochází k pravidelnému překračování limitních hodnot u mikrobiologických ukazatelů (MH i NMH);

- TP3.3 – Nežádoucí produkty dezinfekce

1 ... nejsou emitovány žádné nežádoucí produkty dezinfekce;

2 ... používání dezinfekčního činidla má negativní vliv na organoleptické ukazatele vody; pouze při mimořádných stavech (např. zvýšených dávkách dezinfekčního činidla) dochází k tvorbě nežádoucích produktů dezinfekce, avšak bez překročení příslušné limitní hodnoty kvality pitné vody;

3 ... používání dezinfekčního činidla emituje nežádoucí produkty

dezinfekce;

4.4.2.4 TP4 – Dávkování chemikálií

Popis ukazatele

Úpravna vody je ve své podstatě chemickým reaktorem, který se neobejde bez dávkování chemikálií, jež nastartují odpovídající chemické reakce. Je nezbytné zajistit spolehlivou dodávku chemických činidel, zejména pro klíčové procesy úpravy vody. Pozornost je zaměřena na stav dávkovacích čerpadel, ale i velikost skladových kapacit. Ukazatel je orientovaný zejména rizikově a částečně výkonově s cílem postihnout spolehlivost dávkování činidel.

Účel ukazatele

Ukazatel má postihnout schopnost chemického hospodářství dodávat do procesu odpovídajícím způsobem předepsaná chemická činidla.

Vstupní data

Pro hodnocení je nezbytné vyhodnocení provozních záznamů, evidenci poruchovosti a stáří zařízení.

Faktory

- TP4.1 – Stáří dávkovacích čerpadel
 - 1 ... do 5 let;
 - 2 ... nad 5 a do 10 let;
 - 3 ... nad 10 let;
- TP4.2 – Poruchovost systému dávkování (dávkovací čerpadla, rozvody chemikálií, homogenizace aj.)
 - 1 ... průměrný počet poruch za rok ≤ 2 ;
 - 2 ... průměrný počet poruch za rok (2-5>);
 - 3 ... průměrný počet poruch za rok > 5 ;
- TP4.3 – Výkon a regulace

- 1 ... výkon odpovídá předepsaným dávkám chemikálií s rezervou, regulace možná oběma směry, dávkování lze přizpůsobit aktuální potřebě;
 - 2 ... výkon je výrazně nadbytečný, regulace je obtížná, popř. možná jen jedním směrem;
 - 3 ... výkon dávkovacích čerpadel je nedostatečný, regulace obtížná až nemožná;
- TP4.4 Dávka chemikálií (zohledněno rozpouštění místo dosažení požadované dávky)
 - 1 ... dávky chemikálií jsou zabezpečeny v požadovaném místě pravidelně a v odpovídajícím množství, dávku lze přizpůsobit aktuálnímu výkonu a kvalitě surové vody;
 - 2 ... dávky chemikálií nelze zabezpečit přesně v požadovaném místě a v odpovídajícím množství, avšak bez významného negativního vlivu na výslednou kvalitu pitné vody; dávky chemikálií jsou diskontinuální (výpadek v řádu hodin); dávku lze přizpůsobit pouze podle aktuálního výkonu nebo kvality surové vody;
 - 3 ... dávky chemikálií jsou významně odchýleny od požadovaného množství, nelze zabezpečit dávku v požadovaném místě a kontinuálně; odlišná dávka má významný negativní vliv na výslednou kvalitu pitné vody; dávku nelze přizpůsobit podle aktuálního výkonu ani kvality surové vody;

4.4.2.5 TP5 – Čerpací technika (čerpání vody ve výrobě včetně prací vody)

Popis ukazatele

Ukazatel se zaměřuje na čerpací techniku, jako nezbytnou součást vybavení, zajišťující dopravu vody skrz technologickou linku, při praní a včetně případného čerpání upravené vody v rámci akumulací. Pro hodnocení není rozhodující majetkové členění podle majetkové evidence. Hodnocení podle tohoto ukazatele zohledňuje vliv čerpací techniky na úpravárenský proces. Podrobnější hodnocení čerpacích stanic vzhledem k jejich vlastnímu

technickému stavu a funkci v celém procesu zásobování vodou může být dále provedeno podle jiné části metodiky komplexního hodnocení týkající se právě čerpací techniky [101]. Ukazatel je orientován jak rizikově, tak výkonnostně.

Účel ukazatele

Ukazatel má postihnout schopnost čerpací techniky dosáhnout požadovaného výkonu co se týče dopravní výšky a čerpaného množství v rámci procesu úpravy vody. Tedy zda je čerpací technika schopna přepravovat vodu skrz technologickou linku, dodávat potřebné množství prací vody a zajistit přepravu vody mezi akumulacími nádržemi. Zohledněna je i účinnost čerpání.

Vstupní data

Pro hodnocení je nezbytné vyhodnocení provozních záznamů, evidence poruchovosti a stáří zařízení. Je nutné znát charakteristiky čerpacích jednotek, disponovat záznamy z měření čerpaného množství a přetlaku v čerpacím systému.

Faktory

- TP5.1 – Stáří čerpacích jednotek
 - 1 ... do 7 let;
 - 2 ... nad 7 a do 15 let;
 - 3 ... nad 15 let;
- TP5.2 – Poruchovost čerpacích jednotek
 - 1 ... průměrný počet poruch za rok ≤ 2 ;
 - 2 ... průměrný počet poruch za rok v intervalu (2-5>);
 - 3 ... průměrný počet poruch za rok > 5 ;
- TP5.3 – Poloha pracovního bodu (s ohledem na požadované kapacity)
 - 1 ... odpovídá potřebám čerpacího místa (čerpaný průtok i dopravní výška jsou vyhovující);
 - 2 ... poloha pracovního bodu je odchýlena od potřeby čerpacího místa (Q nebo H do 20 %);
 - 3 ... poloha pracovního bodu je vzdálena od potřeby čerpacího

místa (Q nebo H o více než 20 %);

- TP5.4 – Účinnost čerpadel

- 1 ... poloha pracovního bodu odpovídá intervalu $<0,7 Q_{opt}; 1,2 Q_{opt}>$;
- 2 ... poloha pracovního bodu odpovídá intervalu $<0,5 Q_{opt}; 0,7 Q_{opt}>$;
- 3 ... poloha pracovního bodu odpovídá intervalu $<0; 0,5 Q_{opt}>$ nebo $> 1,2 Q_{opt}$;

4.4.2.6 TP6 Měření, monitoring a manipulace

Popis ukazatele

K zajištění správné funkce úpraveny vody během provozu je nezbytné mít k dispozici odpovídající měřicí techniku, mít možnost měřit klíčové veličiny jak kvantitativního, tak i kvalitativního charakteru. Mezi tyto veličiny patří zejména průtok, tlak, úroveň hladiny, dále stavové veličiny (např. otevřeno/zavřeno v případě uzávěrů). Z kvalitativních ukazatelů jsou za klíčové považovány pH, zákal, oxidačně-redukční potenciál, absorbance a např. koncentrace chlóru. Ukazatel je orientován na rizika způsobená technickými nebezpečími.



Obr. 28 Měření průtoku rotametry

Účel ukazatele

Ukazatel postihuje možnosti provozovatele úpraveny vody ohledně dostupnosti a rozsahu měření uvedených veličin, možnosti jejich ukládání a provádění jejich vyhodnocení.

Vstupní data

Pro hodnocení je třeba mít k dispozici soupis měřicích zařízení, znát jejich umístění, rozsah měření a schopnost ukládat a zpřístupňovat naměřená data.

Faktory

- TP6.1 – Měření kvantitativních veličin
 - 1 ... okamžitý výkon úpraveny vody je měřen kontinuálně (i pulzně) s přenosem na dispečink a se záznamem; dále je zavedeno měření hladiny a přetlaku v nádržích s kontrolou dosažení mezních hodnot (hlášení a záznam);
 - 2 ... okamžitý výkon úpraveny je odečítán ručně na zařízení bez možnosti přenosu a záznamu dat (např. rotametr); měření hladin a přetlaků není zavedeno;
 - 3 ... obsluha úpravy nezná okamžitý výkon úpraveny vody, výkon je stanovován na základě průtoku vodoměrem za určité období;
- TP6.2 – Měření kvalitativních parametrů
 - 1 ... klíčové kvalitativní ukazatele lze měřit jak na přítoku, tak i odtoku z úpraveny vody, rovněž za jednotlivými technologickými stupni, údaje jsou přenášeny na dispečink a ukládány;
 - 2 ... klíčové kvalitativní ukazatele jsou měřeny alespoň na odtoku z úpraveny; hodnoty nejsou ukládány (nelze učinit vyhodnocení), není zavedeno upozornění na odchylky (alarmové hlášení);
 - 3 ... nejsou měřeny žádné kvalitativní ukazatele, popř. je měření prováděno pouze na nátoku do úpraveny vody;
- TP6.3 – Provozní manipulace
 - 1 ... obsluha úpraveny vody je schopna manipulovat s průtokem

- úpravnu vody v rozsahu 30-100% kapacity (funkční uzávěry, odpovídající počet jednotek);
- 2 ... obsluha úpravy vody může s průtokem úpravnu vody manipulovat pouze skokově (změnou počtu jednotek v provozu) a v rozsahu 60-100% kapacity;
- 3 ... obsluha úpravy vody nemůže manipulovat s průtokem nebo velmi omezeně.

4.4.2.7 TP7 – Spolehlivost dodávky vody

Popis ukazatele

Ukazatel hodnotí spolehlivost dodávky vody jak po stránce kvantity, tak kvality, a to vyhodnocením četnosti překročení limitních hodnot kvalitativních ukazatelů pitné vody, četnosti výpadků v dodávce a také vztahem mezi výkonem úpravy a potřebou vody pro zásobovanou lokalitu. Jedním z důležitých sledovaných faktorů je četnost nevyhovujících výsledků rozborů; kromě toho jsou sledovány další vlastnosti úpraven vody, jako je agresivita a biologická stabilita. Ukazatel je orientován zejména na výkon.

Účel ukazatele

Účelem je postihnout veškeré výpadky a excesy ohledně dodávky vody. Cílem úpravy vody je poskytovat spotřebitelům dostatečné množství vody odpovídající a stabilní kvality. Odchytky od tohoto požadavku jsou předmětem hodnocení ukazatele.

Vstupní data

Ukazatel vyžaduje vyhodnocení rozborů surové a pitné vody, vyhodnocení výkonu, potřeby a spotřeby vody, dále počtu úpravárenských jednotek a také četnosti přerušení provozu úpravy. Nezbytné je vyhodnocení agresivity podle [106] a biologické stability [66, 107, 108] s vyhodnocením BDOC²⁹.

²⁹ Biodegradable dissolved organic carbon (BDOC), biologicky rozložitelný organický uhlík.

Faktory

- TP7.1 – Četnost nevyhovujících rozborů vyrobené pitné vody
 - 1 ... nedochází k překročení limitních hodnot u ukazatelů s NMH, u ukazatelů s MH dochází k překročení do 1 % analyzovaných vzorků;
 - 2 ... procento překročení limitních hodnot u ukazatelů s MH činí 1-2 %, u ukazatelů s NMH pak do 1 %;
 - 3 ... procento překročení limitních hodnot u ukazatelů s MH je vyšší než 2 %, u ukazatelů s NMH nad 1 %;
- TP7.2 – Sezónní výkyvy
 - 1 ... kvalita upravené vody je stálá v průběhu roku, neprojevují se sezónní výkyvy kvality surové vody;
 - 2 ... sezónní výkyvy kvality surové vody ovlivňují negativně kvalitu upravené vody, avšak nedochází k překročení limitních hodnot ukazatelů;
 - 3 ... sezónní výkyvy kvality surové vody ovlivňují negativně kvalitu upravené vody, a to tak, že dochází k překročení limitních hodnot ukazatelů;
- TP7.3 – Stabilita výroby (s ohledem na kvalitu surové vody)
 - 1 ... nedochází k přerušení dodávky vody z důvodu zhoršené kvality surové vody či vyrobené vody; k přerušení dodávky vody z jiných důvodů dochází nejvýše 4x ročně nejvýše na dobu 2 hodin;
 - 2 ... k odstávce úpravny vody dochází maximálně 4x ročně nejvýše na dobu 12 hodin z jakýchkoliv důvodů;
 - 3 ... každoročně dochází k odstávce úpravny vody v četnosti vyšší než 4x ročně nebo na dobu delší než 12 hodin;
- TP7.4 – Přerušení provozu (z důvodu poruchy zařízení)
 - 1 ... v posledních třech letech nedošlo k neočekávanému přerušení provozu úpravny;

- 2 ... v posledních třech letech došlo nejvýše 1x k neočekávanému přerušení provozu úpravný v rozsahu, který významným způsobem negativně neovlivnil dodávku vody v délce trvání do 12 hodin;
 - 3 ... v posledních třech letech došlo k opakovanému neočekávanému přerušení provozu úpravný nebo k přerušení provozu, který významně ovlivnil dodávku vody v délce trvání větší než 12 hodin;
- TP7.5 – Výkon úpravný vody
 - 1 ... výkon je zcela postačující potřebě vody zásobovaného spotřebiště, tj. pokrývá maximální denní potřebu;
 - 2 ... výkon není dostačující nejvýše 5 dní v roce (maximální denní potřeba je vyšší), z toho pouze jedno období je vícedenní;
 - 3 ... výkon je nedostačující častěji než pět dní v roce nebo v průběhu vícedenních období častěji než dvakrát v roce;
 - TP7.6 – Počty jednotek
 - 1 ... klíčové technologické jednotky jsou dostupné v počtu tři a více, při výpadku jedné z jednotek je možné nahrazení ostatními za současného zachování kvality vody bez výrazných negativních změn;
 - 2 ... klíčové technologické jednotky jsou dostupné alespoň v počtu dvou a více, při výpadku jedné z jednotek je možné nahrazení ostatními za současného zachování vyhovující kvality vody (splnění limitů);
 - 3 ... klíčové technologické jednotky jsou dostupné pouze v jednom kuse, při výpadku jedné z jednotek dochází výraznému negativnímu vychýlení kvality vyrobené vody až k překročení limitních hodnot;
 - TP7.7 – Agresivita a biologická stabilita vody

- 1 ... vyrobená voda je hodnocena³⁰ nejvýše jako mírně agresivní a biologicky stabilní ($BDOC \leq 0,15$ mg/l);
- 2 ... vyrobená vody je hodnocena jako středně agresivní až agresivní, avšak vodovodní síť a další prvky v kontaktu s vodou odolávají účinkům agresivity, voda vykazuje sníženou biologickou stabilitu ($BDOC \leq 0,60$ mg/l);
- 3 ... vyrobená vody je hodnocena jako středně agresivní až agresivní a jsou pozorovány nežádoucí projevy koroze související s agresivitou vody, voda je považována za biologicky nestabilní ($BDOC > 0,60$ mg/l);

4.4.2.8 TP8 – Efektivita provozu

Popis ukazatele

Z pohledu provozovatele úpravny vody je zcela žádoucí tento objekt provozovat nákladově efektivním způsobem, přičemž způsob provozování může značně ovlivnit vynakládané provozní náklady. Ukazatel je konstruován právě tak, aby vystihl nákladovost procesu nikoliv v absolutní peněžní hodnotě, ale formou faktorů orientovaných na výkon a způsob provozování úpravny vody.

Účel ukazatele

Ukazatel má vystihnout efektivitu provozu úpravny vody z hlediska vlastní spotřeby vody (odkalování, praní aj.), využití výkonu, stupně plynulosti a automatizace a také způsobu nakládání s kaly.

Vstupní data

Faktory

- TP8.1 – Vlastní spotřeba vody (vyhodnoceno objemově, průměrná spotřeba

³⁰ TNV 757121 - Jakost vod. Požadavky na jakost vody dopravované potrubím.

za období delší než 3 roky)

- 1 ... vlastní spotřeba je do 5 % z vody vyrobené;
 - 2 ... vlastní spotřeba je v rozsahu 5-8 % z vody vyrobené;
 - 3 ... vlastní spotřeba je nad 8 % z vody vyrobené;
- TP8.2 – Plynulost provozu úpravní (běžný provoz, nezohledňuje odstávky)
 - 1 ... nepřetržitý provoz;
 - 2 ... přerušovaný provoz pravidelný (např. 8 hod denně);
 - 3 ... přerušovaný provoz nepravidelný;
 - TP8.3 – Využitelnost výkonu úpravní vody (vzhledem k návrhovým hodnotám, vyhodnocení za období v délce nejméně tří let)
 - 1 ... poměr průměrného výkonu úpravní a návrhového výkonu úpravní je v rozmezí 90-100 %;
 - 2 ... poměr průměrného výkonu úpravní (dlouhodobý) a návrhového výkonu úpravní je v rozmezí 50-90 %;
 - 3 ... poměr průměrného výkonu úpravní (dlouhodobý) a návrhového výkonu úpravní nižší než 50 % nebo vyšší než 100 %;
 - TP8.4 – Automatizace provozu
 - 1 ... provoz úpravní vody je plně automatický;
 - 2 ... provoz úpravní je poloautomatický, část procesů je nutné ovládat ručně;
 - 3 ... provoz úpravní vody je zajišťován převážně manuálně;
 - TP8.5 – Kalové hospodářství
 - 1 ... kaly jsou bezpečně a efektivně zahušťovány, odvodňovány a likvidovány;
 - 2 ... kaly jsou likvidovány, avšak za cenu zvýšených nákladů;
 - 3 ... kaly není možné za daných podmínek efektivně likvidovat (nelze zajistit, náklady jsou příliš vysoké, dochází k hromadění kalů na úpravně vody);

4.4.2.9 TP9 – Bezpečnost

Popis ukazatele

Prostředí úpraveny vody je vodohospodářským provozem, kde dochází jednak k nakládání s vodou v různých fázích úpravárenského procesu, ale také je zde nakládáno s chemikáliemi, které se nezdá vyznačujícími nebezpečnými vlastnostmi, jako je toxicita, žíravost, výbušnost atd. Kromě toho je vyžadována od provozních pracovníků manipulace s prvky vyšší hmotnosti. Prostředí úpraveny má poskytnout nejen vhodné podmínky pro umístění technologického zařízení, ale i bezpečné podmínky pro pohyb provozních pracovníků. Ukazatel je výhradně rizikově orientovaný, přičemž jsou podchycena zejména rizika vycházející z nebezpečných vlastností chemických látek.

Účel ukazatele

Ukazatel má vystihnout úroveň bezpečnosti pracovního prostředí s ohledem na prováděné provozní činnosti.

Vstupní data

Je nezbytné znát všechny chemikálie, se kterými je v rámci objektu nakládáno, včetně jejich vlastností, dále provést kontrolu způsobu nakládání s chemikáliemi a odpadními plyny a analyzovat četnost úniku chemikálií během provozu úpraveny vody. Součástí je hodnocení pracovního prostoru ohledně dodržení zásad bezpečnosti práce.

Faktory

- TP9.1 – Nakládání s chemikáliemi

1 ... s chemickými látkami je nakládáno v souladu s bezpečnostními listy a způsobem odpovídajícím jejich vlastnostem (agresivita, žíravost, toxicita apod.); je zajištěna bezpečnost provozních pracovníků (odvětrání, signalizace úniku apod.); veškeré zásobní nádrže a rozvody chemikálií jsou označeny názvem chemikálie (nehrozí záměna); je vyloučena vzájemná nežádoucí reakce chemikálií (oddělení skladovacích prostor); nakládání s chemikáliemi je prováděno

bezproblémovým způsobem;

2 ... ve způsobu nakládání s chemikáliemi jsou identifikovány odchylky oproti předchozímu bodu, avšak není žádným způsobem ohrožena bezpečnost provozních pracovníků;

3 ... ve způsobu nakládání s chemikáliemi jsou identifikovány odchylky oproti bodu 1, přičemž je ohrožena bezpečnost provozních pracovníků;

- TP9.2 – Úniky chemikálií

1 ... nedochází k únikům nebezpečných chemikálií; nevýznamné úniky chemikálií bez nebezpečných vlastností;

2 ... úniky chemikálií bez nebezpečných vlastností většího významu avšak bez negativního ovlivnění procesu úpravy vody; nakládání se sypkými hmotami způsobuje zvýšenou prašnost prostředí;

3 ... dochází k úniku chemikálií nebezpečných vlastností nebo k úniku chemikálií bez nebezpečných vlastností a za současného ohrožení procesu úpravy vody;



Obr. 29 Ochrana čerpadel před spadem částic práškového aktivního uhlí
(nakládání se sypkými hmotami způsobuje zvýšenou prašnost prostředí)

- TP9.3 – Pracovní prostředí

- 1 ... pracovní prostředí poskytuje dostatečný prostor pro práci provozních pracovníků (podchozí výška, montážní prostor); pracovní pozice ve výškách jsou zabezpečeny proti pádu pracovníků a předmětů; nádrže jsou chráněny zábradlím;
- 2 ... jsou identifikovány odchylky oproti předchozímu bodu, avšak není žádným způsobem ohrožena bezpečnost provozních pracovníků;
- 3 ... jsou identifikovány odchylky oproti bodu 1, přičemž je ohrožena bezpečnost provozních pracovníků;

- TP9.4 – Ochrana proti přetečení (funkce bezpečnostních přelivů)

- 1 ... všechny nádrže s otevřenou hladinou jsou chráněny funkčním bezpečnostním přelivem, jehož provozuschopnost je pravidelně ověřována;
- 2 ... provozuschopnost bezpečnostních přelivů není známa; dochází ke zpětnému proudění vzduchu potrubím přelivu z vnějšího prostředí;
- 3 ... nádrže s otevřenou hladinou nejsou buď vybaveny bezpečnostním přelivem vůbec, nebo nejsou z nějakého důvodu funkční;

- TP9.5 – Agresivní plyny

- 1 ... agresivní plyny (radon, oxid uhličitý aj.) jsou bezpečně odvedeny mimo prostor úpravny vody a je funkční detekce úniku;
- 2 ... agresivní plyny jsou odvedeny mimo prostor úpravny vody; zařízení není plně funkční nebo nemá dostatečnou kapacitu či chybí detekce úniku;
- 3 ... agresivní plyny nejsou bezpečně odvedeny mimo prostor úpravny vody.

4.5 Přehled ukazatelů a faktorů

Navržené ukazatele technického stavu úpraven vody byly rozvrženy do dvou částí, přičemž v části stavebně-technické jsou zařazeny tři, do části provozně-technologické pak devět ukazatelů. Každý z ukazatelů je hodnocen prostřednictvím různého počtu faktorů. Přehled je uveden v následujících tabulkách.

Tab. 2 Přehled navržených stavebně-technických ukazatelů a faktorů

Stavebně-technické ukazatele	
ST1	Stavební konstrukce
ST1.1	Stropní konstrukce
ST1.2	Stěny
ST1.3	Podlahy
ST1.4	Stavební výplně
ST1.5	Schodiště, zábradlí, žebříky, madla, stupačky, ochozy
ST1.6	Elektroinstalace a elektrozařízení
ST1.7	Prostupy vedení konstrukcemi
ST2	Technologické prvky
ST2.1	Betonové nádrže
ST2.2	Kovové nádrže a jiné nádrže
ST2.3	Potrubní rozvody
ST2.4	Armatury
ST2.5	Strojní součásti
ST2.6	Čerpadla
ST3	Ochrana proti vnějším vlivům
ST3.1	Vstup do objektu a okna
ST3.2	Teplota
ST3.3	Sluneční osvit
ST3.4	Větrání
ST3.5	Ochrana před povodněmi
ST3.6	Průsak vody

Tab. 3 Přehled navržených provozně-technických ukazatelů a faktorů

Provozně-technologické ukazatele	
TP1	Rozsah technologie úpravy vody
TP1.1	Index upravitelnosti
TP1.2	Počet separačních stupňů
TP1.3	Surová voda
TP1.4	Legislativa
TP1.5	Celková účinnost
TP2	Separací procesy
TP2.1	Separací účinnost
TP2.2	Parametry procesů

TP2.3	Konstrukce separačních jednotek
TP2.4	Filtrační cyklus
TP2.5	Odkalování a regenerace
TP3	Další technologické procesy
TP3.1	Předúprava
TP3.2	Účinnost dezinfekce
TP3.3	Nežádoucí produkty dezinfekce
TP4	Dávkování chemikálií
TP4.1	Stáří dávkovacích čerpadel
TP4.2	Poruchovost systému dávkování
TP4.3	Výkon a regulace
TP4.4	Dávka chemikálií
TP5	Čerpací technika
TP5.1	Stáří čerpacích jednotek
TP5.2	Poruchovost čerpacích jednotek
TP5.3	Poloha pracovního bodu
TP5.4	Účinnost čerpadel
TP6	Měření, monitoring a manipulace
TP6.1	Měření kvantitativních veličin
TP6.2	Měření kvalitativních parametrů
TP6.3	Provozní manipulace
TP7	Spolehlivost dodávky vody
TP7.1	Četnost nevyhovujících rozborů vyrobené pitné vody
TP7.2	Sezónní výkyvy
TP7.3	Stabilita výroby
TP7.4	Přerušení provozu
TP7.5	Výkon úpravní vody
TP7.6	Počty jednotek
TP7.7	Nedostatečný výkon
TP7.8	Agresivita a biologická stabilita vody
TP8	Efektivita provozu
TP8.1	Vlastní spotřeba vody
TP8.2	Plynulost provozu úpravní
TP8.3	Využitelnost výkonu úpravní vody
TP8.4	Automatizace provozu
TP8.5	Kalové hospodářství
TP9	Bezpečnost
TP9.1	Nakládání s chemikáliemi
TP9.2	Úniky chemikálií
TP9.3	Pracovní prostředí
TP9.4	Ochrana proti přetečení
TP9.5	Agresivní plyny

4.6 Význam ukazatelů a faktorů

Do procesu hodnocení technického stavu úpraven vody založeném na ukazatelích a faktorech byl zaveden jejich význam, za účelem vystihnoutí jejich vlivu na proces výroby pitné vody. Principiálně je hodnocení technického stavu postaveno jako komplexní, avšak každý z ukazatelů, potažmo faktorů, má jinou vypovídací schopnost, co se týče technického stavu, způsobu provozování úpravní vody, účinnosti technologických procesů, ale i úrovně zabezpečení. Význam ukazatelů a faktorů je do hodnocení vnášen na několika úrovních:

- vahami faktorů na úrovni ukazatelů;
- vahami ukazatelů na úrovni částí;
- a vahami částí na úrovni celé úpravní vody.

V průběhu tvorby metodiky hodnocení byly nejprve stanoveny výchozí váhy, a to na základě dosavadních poznatků ohledně provozování úpraven vody získaných při prohlídkách těchto objektů. V oboru multikriteriálního hodnocení variant [99, 109, 110] je k dispozici celá řada matematických metod pro stanovení vah kritérií, jako např. Saatyho metoda, metoda pořadí, bodovací metoda aj., které umožňují vnos preferencí hodnotitele do procesu výběru či hodnocení.

V další fázi tvorby metodiky byly vyšetřovány preference pracovníků vodárenských společností provozujících úpravní vody s cílem stanovit váhy faktorů a ukazatelů právě na základě provozních zkušeností těchto pracovníků. Pro snadnou uchopitelnost procesu stanovení vah provozními pracovníky byla zvolena bodovací metoda, a to zejména pro svou triviálnost. Během čtených prohlídek objektů úpraven vody byli vytipováni provozní pracovníci požádáni o anonymní vyjádření preferencí prostřednictvím bodování ukazatelů a faktorů ve výše popsanych úrovních a následně na základě udělených bodů byly stanoveny váhy. Skupina respondentů zahrnovala 12 pracovníků různých pracovních pozic (se středoškolským až vysokoškolským vzděláním), avšak vždy se vztahem k provozu úpravní vody. V provedeném bodování lze spatřovat určitou shodu respondentů bez významných odchylek. Z porovnání prvotních vah a vah stanovených bodovací metodou lze spatřovat určité odchylky. Je zcela zřejmé, že statistická významnost provedeného šetření není vypovídající, nicméně tímto způsobem získané váhy je možné považovat za určité doporučující hodnoty odrážející priority a strategii provozovatele úpravní vody.

Následující tabulky poskytují přehled o stanovených vahách popsáním způsobem za současného srovnání s prvotními hodnotami, a to nejprve na úrovni ukazatelů, následně pro faktory v rámci ukazatelů. Současně jsou proloženy komentáře vztahující se k daným ukazatelům.

Tab. 4 Váhy stavebně-technických ukazatelů

ST	Stavebně-technické ukazatele	respondent												bodový součet	váha	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		prvotní [%]	bodováním [%]
ST1	Stavební konstrukce	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	5	5	54,0	30	34
ST2	Technologické prvky	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	60,0	40	38
ST3	Ochrana proti vnějším vlivům	3	4	4	4	5	3	4	3	4	4	4	3	45,0	30	28
														Σ	159,0	100

Tab. 5 Váhy technologicko-provozních ukazatelů

TP	Technologicko-provozní ukazatele	respondent												bodový součet	váha	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		prvotní [%]	bodováním [%]
TP1	Rozsah technologie úpravy vody	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5	53,0	20	14
TP2	Separční procesy	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	58,0	20	15
TP3	Další technologické procesy	4	4	3	4	5	4	4	5	4	4	5	4	50,0	10	13
TP4	Dávkování chemikálií	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	38,0	10	10
TP5	Čerpací technika	2	3	3	2	2	2	2	3	2	3	3	2	29,0	10	8
TP6	Měření, monitoring a manipulace	1	2	2	2	3	1	1	2	2	2	3	2	23,0	5	6
TP7	Spolehlivost dodávky vody	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	5	4	56,0	15	15
TP8	Efektivita provozu	3	3	3	2	1	2	3	4	4	3	3	3	34,0	5	9
TP9	Bezpečnost	4	5	5	4	3	4	3	3	4	3	2	3	43,0	5	11
														Σ	384,0	100

Je zřejmé, že samotná technologická linka nemůže plnit dostatečně svou funkci bez vhodné stavební konstrukce. Bez vhodného prostředí by samotná technologie pracovala s obtížemi. Stavební konstrukce je velmi podstatnou a důležitou součástí objektu úpravy vody, plnící zejména funkci ochrannou, podílí se na vytvoření vhodného prostředí pro nakládání s vodou v různých podobách a s chemikáliemi dávkovanými v technologických procesech. Stavební konstrukce plní klíčovou funkci při snižování zranitelnosti celého procesu výroby pitné vody. Do jisté míry také ovlivňuje tento proces, nicméně tento vliv je minoritní v porovnání s technologickými částmi úpraven.

Tab. 6 Váhy faktorů ukazatele ST1 – Stavební konstrukce

ST1	Stavební konstrukce	respondent												bodový součet	váha	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		prvotní	bodováním
																[%]
ST1.1	Stropní konstrukce	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	60,0	20	20
ST1.2	Stěny	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	59,0	20	20
ST1.3	Podlahy	4	5	4	4	4	5	5	5	3	4	5	5	53,0	20	18
ST1.4	Stavební výplně	3	2	1	2	3	3	3	3	2	3	3	3	31,0	10	11
ST1.5	Schodiště, zábradlí, žebříky, madla, stupačky, ochozy	3	2	1	1	1	2	2	3	3	2	2	2	24,0	10	8
ST1.6	Elektroinstalace a elektrozařízení	4	3	5	4	3	5	5	3	3	2	3	3	43,0	10	15
ST1.7	Prostupy vedení konstrukcemi	3	3	1	3	2	2	1	1	1	2	2	2	23,0	10	8
														Σ	293,0	100

Oproti stavební konstrukci mají technologické prvky jednoznačný vliv na proces úpravy vody, avšak každý prvek jinou měrou. Při absenci, vadě či poruše některého z technologických prvků může dojít k závažnému ohrožení procesu výroby vody, v případě některých prvků takřka neprodleně, přičemž dojde k významné změně ukazatelů kvality vody. Váha ukazatele (a potažmo jednotlivých faktorů) musí korespondovat s významem hodnocených prvků v procesu úpravy vody. Pokud se jedná o prvek, při jehož výpadku hrozí překročení limitních ukazatelů kvality vody typu NMH³¹, pak váha musí nabýt odpovídajícího významu.

Tab. 7 Váhy faktorů ukazatele ST2 – Technologické prvky

ST2	Technologické prvky	respondent												bodový součet	váha	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		prvotní	bodováním
																[%]
ST2.1	Betonové nádrže	4	5	4	4	5	4	4	4	4	4	4	3	49,0	20	17
ST2.2	Kovové nádrže a jiné nádrže	4	5	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	47,0	20	17
ST2.3	Potrubní rozvody	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	3	2	33,0	15	12
ST2.4	Armatury	4	4	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3	41,0	15	14
ST2.5	Strojní součásti	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	58,0	15	20
ST2.6	Čerpadla	5	4	5	5	5	5	5	4	4	5	5	4	56,0	15	20
														Σ	284,0	100

Úroveň ochrany objektu proti vnějším vlivům nemá přímou vazbu na proces úpravy vody a samotný fakt, že objekt není dostatečně zabezpečen proti vnějšmu nebezpečí, neznamená, že musí nezbytně docházet k negativnímu ovlivnění procesu úpravy vody. Avšak nedostatečné zabezpečení znamená určité riziko, které nesmí být podceňováno.

³¹ Nejvyšší mezní hodnota. Typ limitní hodnoty uplatňovaný u ukazatelů kvality pitné vody. Zpravidla je stanoven u tzv. zdravotně významných ukazatelů.

Nezabezpečená úpravna vody může po dlouhé období pracovat bez negativního ovlivnění, jediná událost však může mít fatální následky. Váha ukazatele má být nejvýše rovna váze některého z předchozích ukazatelů.

Tab. 8 Váhy faktorů ukazatele ST3 – Ochrana proti vnějším vlivům

ST3	Ochrana proti vnějším vlivům	respondent												bodový součet	váha	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		prvotní [%]	bodováním [%]
ST3.1	Vstup do objektu a okna	5	5	5	4	4	3	4	5	5	5	4	4	53,0	20	25
ST3.2	Teplota	1	3	3	4	2	1	3	2	2	3	1	2	27,0	10	13
ST3.3	Sluneční osvit	2	2	1	1	1	3	4	3	3	3	3	2	28,0	20	13
ST3.4	Větrání	3	1	2	1	1	2	4	2	3	3	2	4	28,0	20	13
ST3.5	Ochrana před povodněmi	4	5	5	4	4	5	4	4	4	4	4	4	51,0	20	24
ST3.6	Průsak vody	3	2	2	2	3	3	2	3	2	2	2	2	28,0	10	13
														Σ	215,0	100

Tab. 9 Váhy faktorů ukazatele TP1 – Rozsah technologie úpravy vody

TP1	Rozsah technologie úpravy vody	respondent												bodový součet	váha	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		prvotní [%]	bodováním [%]
TP1.1	Index upravitelnosti	5	4	4	5	5	5	4	4	4	5	5	5	55,0	25	22
TP1.2	Počet separačních stupňů	4	5	5	4	4	5	5	5	4	4	4	5	54,0	20	22
TP1.3	Surová voda	4	5	5	4	4	5	5	4	4	4	5	4	53,0	20	21
TP1.4	Legislativa	3	2	4	2	3	3	3	4	3	3	4	3	37,0	15	15
TP1.5	Celková účinnost	4	5	4	4	4	5	4	3	3	4	4	5	49,0	20	20
														Σ	248,0	100

Tab. 10 Váhy faktorů ukazatele TP2 – Separační procesy

TP2	Separační procesy	respondent												bodový součet	váha	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		prvotní [%]	bodováním [%]
TP2.1	Separační účinnost	5	4	4	4	5	5	4	5	4	5	5	5	55,0	30	24
TP2.2	Parametry procesů	4	4	5	4	4	4	3	4	4	5	5	4	50,0	20	22
TP2.3	Konstrukce separačních jednotek	4	3	3	4	3	4	2	4	4	3	4	4	42,0	20	19
TP2.4	Filtrační cyklus	4	4	4	3	3	4	5	4	4	4	5	4	48,0	20	21
TP2.5	Odkalování a regenerace	3	2	2	2	2	3	1	5	3	3	2	3	31,0	10	14
														Σ	226,0	100

Tab. 11 Váhy faktorů ukazatele TP3 – Další technologické procesy

TP3	Další technologické procesy	respondent												bodový součet	váha	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		prvotní [%]	bodováním [%]
TP3.1	Předúprava	5	4	5	5	4	4	3	4	4	5	3	4	50,0	40	31
TP3.2	Účinnost dezinfekce	5	4	4	5	4	5	5	5	4	4	4	5	54,0	30	34
TP3.3	Nežádoucí produkty dezinfekce	5	5	5	5	5	4	5	4	4	4	5	5	56,0	30	35
														Σ	160,0	100

Tab. 12 Váhy faktorů ukazatele TP4 – Dávkování chemikálií

TP4	Dávkování chemikálií	respondent												bodový součet	váha	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		prvotní [%]	bodováním [%]
TP4.1	Stáří dávkovacích čerpadel	5	3	4	3	2	1	3	4	3	3	3	4	38,0	30	20
TP4.2	Poruchovost systému dávkování	5	5	5	4	4	5	5	5	4	4	4	5	55,0	30	29
TP4.3	Výkon a regulace	3	3	3	5	5	4	5	5	5	5	4	4	51,0	20	27
TP4.4	Dávka chemikálií	2	3	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	47,0	20	25
														Σ 191,0	100	100

Tab. 13 Váhy faktorů ukazatele TP5 – Čerpací technika

TP5	Čerpací technika	respondent												bodový součet	váha	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		prvotní [%]	bodováním [%]
TP5.1	Stáří čerpacích jednotek	4	3	4	3	2	3	3	4	3	4	4	4	41,0	30	23
TP5.2	Poruchovost čerpacích jednotek	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5	5	57,0	30	33
TP5.3	Poloha pracovního bodu	2	2	3	4	5	4	5	5	4	3	4	3	44,0	20	25
TP5.4	Účinnost čerpadel	2	1	2	2	3	4	3	3	2	3	4	4	33,0	20	19
														Σ 175,0	100	100

Tab. 14 Váhy faktorů ukazatele TP6 – Měření, monitoring a manipulace

TP6	Měření, monitoring a manipulace	respondent												bodový součet	váha	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		prvotní [%]	bodováním [%]
TP6.1	Měření kvantitativních veličin	3	5	4	4	4	4	5	4	3	3	4	3	46,0	30	33
TP6.2	Měření kvalitativních parametrů	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	58,0	35	41
TP6.3	Provozní manipulace	2	4	3	2	2	3	4	3	2	4	5	3	37,0	35	26
														Σ 141,0	100	100

Tab. 15 Váhy faktorů ukazatele TP7 – Spolehlivost dodávky vody

TP7	Spolehlivost dodávky vody	respondent												bodový součet	váha	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		prvotní [%]	bodováním [%]
TP7.1	Četnost nevyhovujících rozborů vyrobené pitné vody	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	60,0	20	18
TP7.2	Sezónní výkyvy	4	5	4	5	4	4	5	4	4	4	4	4	51,0	15	15
TP7.3	Stabilita výroby	4	4	4	5	4	4	5	5	5	4	5	4	53,0	10	16
TP7.4	Přerušování provozu	4	4	4	4	4	5	4	5	5	4	5	4	52,0	15	16
TP7.5	Výkon úpravní vody	4	5	5	4	5	5	4	5	4	3	4	5	53,0	10	16
TP7.6	Počty jednotek	3	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	27,0	10	8
TP7.7	Agresivita a biologická stabilita vody	2	3	3	4	3	3	3	3	2	2	3	3	34,0	10	10
														Σ 330,0	90	100

Tab. 16 Váhy faktorů ukazatele TP8 – Efektivita provozu

TP8	Efektivita provozu	respondent												bodový součet	váha	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		prvotní [%]	bodováním [%]
TP8.1	Vlastní spotřeba vody	5	5	5	4	5	4	5	4	4	4	4	5	54,0	30	25
TP8.2	Plynulost provozu úpravní	3	4	4	3	3	3	2	2	2	2	3	2	33,0	10	15
TP8.3	Využitelnost výkonu úpravní vody	4	2	3	4	4	3	3	3	3	4	4	2	39,0	25	18
TP8.4	Automatizace provozu	2	2	2	2	3	2	2	3	3	2	3	3	29,0	15	14
TP8.5	Kalové hospodářství	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	59,0	20	28
														Σ	214,0	100

Tab. 17 Váhy faktorů ukazatele TP9 – Bezpečnost

TP9	Bezpečnost	respondent												bodový součet	váha	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		prvotní [%]	bodováním [%]
TP9.1	Nakládání s chemikáliemi	4	4	5	4	5	4	5	4	4	4	5	5	53,0	25	25
TP9.2	Úniky chemikálií	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	59,0	30	28
TP9.3	Pracovní prostředí	4	3	5	4	4	5	3	3	3	3	3	3	43,0	15	20
TP9.4	Ochrana proti přetečení	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	20,0	10	9
TP9.5	Agresivní plyny	3	3	3	4	3	3	3	2	4	4	4	2	38,0	20	18
														Σ	213,0	100

4.7 Agregace hodnocení

Udělené skóre na úrovni faktorů³² je primárně agregováno za použití metody váženého součtu, čímž jsou do hodnotícího procesu zavedeny priority hodnotitele formou vah faktorů, které je doporučeno používat v rozsahu dle provedeného šetření popsaného v předchozí kapitole. Takto je získáno agregované hodnocení jednotlivých ukazatelů v rozsahu spojitého intervalu <1; 3>. Agregace je dále provedena na úrovni ukazatelů, částí a objektu úpravní jako celku.

Jelikož z diskuzí s provozními a řídicími pracovníky vodárenských společností vyplynulo jako nejvhodnější interpretovat hodnocení technického stavu obdobně, jako je zavedeno u elektrických spotřebičů nebo budov, co se týče jejich energetické náročnosti (úspornosti), byla zavedena transformace agregovaného hodnocení tak, aby bylo možné celkové hodnocení objektu (zde úpravní vody), hodnocení částí (stavebně-technické nebo technologicko-provozní) a jednotlivých technických ukazatelů zařadit do jedné

³² Nehodnocené faktory, tedy ty s hodnotou rovnou 0, jsou z hodnocení a další agregace vyloučeny.

z hodnotících kategorií podle následující tabulky [101].

Tab. 18 Kategorie hodnocení [101]

Objekt	Část	Ukazatel	Popis stavu
A+, A, A-	A	1	optimální stav, nevyžaduje žádná opatření vedoucí ke změnám hodnot tohoto ukazatele
B+, B, B-	B	2	nízká míra rizika příslušného ukazatele a rovněž nevyžaduje žádná zásadní opatření
C+, C, C-	C	3	jedná se o průměrné hodnoty příslušného ukazatele, které nevyžadují okamžitá řešení
D+, D, D-	D	4	kritické hodnoty příslušného ukazatele; měla by být realizována případně plánována opatření na řešení tohoto stavu
E+, E, E-	E	5	nežádoucí stav, který vyžaduje dle možnosti provozovatele okamžitá řešení, které povede k dosažení lepších hodnot příslušného ukazatele
N	N	N	nehodnoceno (nerelevantní, není dostatek informací)

Na úrovni technických ukazatelů je agregované skóre vycházející z váženého skóre faktorů transformováno do kategorií s označením 1 až 5, následně pak na úrovni částí do kategorií A až E. Celkové hodnocení technického stavu pak navíc v rámci kategorií spadá do podkategorie (např. A+ nebo E-) pro lepší uchopitelnost hodnocení ze strany managementu či vlastníků infrastruktury.

Tab. 19 Schéma transformace

Technický ukazatel	Agregované skóre	Kategorie hodnocení	Část	Agregované skóre	Kategorie hodnocení	Objekt	Agregované skóre	Kategorie hodnocení
		<1,00; 1,25>		1			<1,00; 1,25>	A
	(1,0625; 1,1875>						(1,0625; 1,1875>	A
	(1,1875; 1,2500>						(1,1875; 1,2500>	A-
	(1,25; 1,75>	2		(1,25; 1,75>	B		(1,2500; 1,3750>	B+
							(1,3750; 1,6250>	B
							(1,6250; 1,7500>	B-
	(1,75; 2,25>	3		(1,75; 2,25>	C		(1,7500; 1,8750>	C+
							(1,8750; 2,1250>	C
							(2,1250; 2,2500>	C-
	(2,25; 2,75>	4		(2,25; 2,75>	D		(2,2500; 2,3750>	D+
							(2,3750; 2,6250>	D
							(2,6250; 2,7500>	D-
	(2,75; 3,00>	5		(2,75; 3,00>	E		(2,7500; 2,7565>	E+
							(2,7565; 2,9375>	E
							(2,9375; 3,0000>	E-

5 Případová studie

Navržená metodika hodnocení technického stavu úpraven vody byla podrobena testování na několika objektech úpraven vody a postupně je nasazována pro hodnocení dalších. Cíl hodnocení je různý, od prokázání potřeby rekonstrukce, vyčíslení procenta opotřebení pro potřeby sestavení plánu financování obnovy nebo pro ověření efektu provedené rekonstrukce. V následujícím textu je uveden příklad hodnocení na konkrétní úpravně vody. Název úpravní vody je na přání zadavatele (vlastníka úpravní vody) z pochopitelných důvodů nezveřejněn.

5.1 Popis posuzované úpravní vody

Posuzovaná úpravna vody se nachází v severní části České republiky v podhorské zalesněné oblasti. Úpravna vody (ÚV) je součástí skupinového vodovodu, který zásobuje jedno město okresního významu a několik dalších menších měst a obcí. Objekt úpravní byl postaven v letech 1962-1967. V roce 1996 byla provedena částečná oprava dílčích součástí úpravní, dále v roce 2014 došlo k úpravě filtrů.

Jako zdroje surové vody jsou využívány dva povrchové zdroje vody – v obou případech horské potoky. Projektovaný výkon úpravní je $55 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Úpravna vody zásobuje přibližně 14 000 obyvatel. Oba povrchové vodní zdroje (vodní toky) sloužící jako zdroj vody pro ÚV jsou bystrinného charakteru přitékající z oblasti smíšených lesů. Voda je povětšinou roku čirá s nízkými hodnotami zákalu a barvy. Surová voda z povrchových vodních zdrojů napájejících ÚV je zařazena v kategorii A2 podle příslušné vyhlášky³³. Kvalita surové vody je pravidelně kontrolována v rámci monitorovacích a provozních rozborů. Nutno podotknout, že monitorovací a provozní rozborů nemohou postihnout všechny kvalitativní stavy surové vody z důvodu omezené četnosti a rozsahu. ÚV nedisponuje měřicí technikou pro měření kvalitativních parametrů surové vody, a to ani základních. Kvalita surové vody je kontrolována denně pouze pohledem obsluhy úpravní na hladinu v jímacím objektu.

³³ Vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)

Fyzikální parametry kvality surové vody (zákal, barva, chemická spotřeba kyslíku) se podle výsledků monitorovacích a provozních rozborů za běžných průtokových podmínek pohybují pod limitními hodnotami pro kategorii surové vody A1 a rovněž pod limitem platným pro pitnou vodu. Hodnoty pH surové vody jsou neutrální či mírně alkalické. Podle posouzení agresivity vody je vysoce pravděpodobné, že voda je agresivní k betonu i železným materiálům, což bylo prokázáno výpočtem a laboratorní zkouškou. Chemické ukazatele kvality surové vody se vyznačují vyhovujícími, velmi nízkými hodnotami, včetně železa, manganu, dusičnanů, těžkých kovů a jiných polutantů.

Surová voda vykazuje značně proměnlivou mikrobiologickou a biologickou skladbu v závislosti na ročním období, teplotě a průtočných poměrech. Po stránce mikrobiologické se v surové vodě vyskytují koliformní bakterie, ojediněle intestinální enterokoky, *Escherichia coli*, ojediněle *Clostridium perfringens*. Surová voda je s vysokou pravděpodobností pod fekální expozicí, v závislosti na průtokových poměrech dochází ke kolísání mikrobiologické kontaminace.

Z provozních záznamů vyplývá, že stavy hladiny a průtoky ve zdrojových vodních tocích v průběhu roku často kolísají v závislosti na aktuálních klimatických podmínkách. Průměrně 4x ročně dochází k okalovým stavům, přičemž jsou významně překračovány limitní hodnoty ukazatelů kvality vody, a to jak fyzikální, tak i mikrobiologické. Výsledky rozborů vody prokazují, že dochází pravidelně k výraznému nárůstu počtu koliformních bakterií až do nepočitatelných hodnot. V souvislosti se zhoršenou kvalitou surové vody během okalových stavů dochází k opakovaným haváriím na objektu separace s nutností odstavení provozu.

5.1.1 Technologická linka

Technologická linka pocházející z 60. let minulého století je založena na jednoduché fyzikální úpravě. Projektovaný výkon úpravny vody činí $55 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, v současné době je průměrný výkon úpravny kolem $28 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

Surová voda z povrchového zdroje natéká do jediné usazovací nádrže (bez shrabovacího systému), následně protéká skrz tři otevřené rychlofiltry s pískovou náplní vystrojené drenážním potrubím. Konečně je voda dezinfikována plynným chlórem a akumulována ve dvou akumulacích nádržích řazených za sebou. Průtok úpravnou je

gravitační. Kromě plynného chlóru není dávkována žádná chemikálie (není k dispozici ani možnost). Úpravna je vybavena měřením hladiny na filtraci, měřením průtoku úpravnou a měřením koncentrace volného chlóru. Kalová voda je odváděna na kalová pole v blízkosti úpravny. Před obnovením kalových polí byla kalová voda vypouštěna volně do recipientu, což je nepřípustné.

5.1.2 Provozní budova

Objekt úpravny vody tvoří dvoupodlažní provozní budova se sedlovou střechou, se třemi podzemními nádržemi (sedimentační nádrž a 2x akumulace – stará a nová). Provozní budova úpravny vody pochází rovněž z roku 1965, přičemž je provozována bez větších zásahů do dnešní doby. Při částečné rekonstrukci v roce 1995 byly provedeny drobné změny v účelech místností a s nimi související stavební úpravy, rekonstrukce filtrů, rekonstrukce chlorovny s výstavbou nového větracího komínu nad střechu, rekonstrukce vytápění. Součástí poslední rekonstrukce byla také výstavba nové akumulace, technologicky propojené s původní (kruhovou). Jedná se o samostatně stojící objekt s podzemní akumulací (180 m³) a s nadzemním vstupním objektem.



Obr. 30 Narušená konstrukce venkovní rampy – k faktorů ST1.5

Konstrukčně je budova víceméně v dobrém stavu. Ojediněle se vyskytují trhliny či drolicí se beton. Závady vykazuje střešní krytina z azbestocementových šablon prorostlá mechem.



Obr. 31 Stav stropních konstrukcí – k faktoru ST1.1

Poměrně četné závady vykazují vnitřní povrchy stěn, jsou viditelné barevné mapy způsobené zvýšenou vlhkostí v objektu a také průsaky. Vyskytují se nárosty řas, je pravděpodobné, že budou přítomny i nežádoucí mikroorganismy. Vnitřní povrchy nádrží nejsou provedeny příliš vhodně – např. obklad ve filtračních nádržích. Podlahy jsou v objektu víceméně ve vhodném provedení.



Obr. 32 Stav stěn – k faktoru ST1.2

Nevyhovujícím způsobem jsou řešeny vstupy do akumulčních nádrží, rovněž odvětrání objektu je nevyhovující a nezabezpečeno. Okenní výplně umožňují osvit hladiny slunečním světlem ve filtrech.



Obr. 33 Chybějící dveře do akumulční nádrže – k faktoru ST1.4

5.1.3 Trubní vstrojení, čerpací a měřicí technika

Trubní vstrojení úpraveny je zřejmě původní litinové, opatřené ochranným nátěrem. Vnější povrch trubních prvků vykazuje známky intenzivní koroze. Jsou patrné i netěsnosti ve spojích. Trubní vedení je osazeno armaturami s možností ovládní servopohonem.

Vybavení úpraveny poskytuje pouze omezené možnosti ovlivnit výslednou kvalitu pitné vody, není možné kontinuální sledování kvalitativních parametrů, kromě volného chlóru.



Obr. 34 Prostupy – k faktoru ST1.7



Obr. 35 Prostupy – k faktoru ST1.7



Obr. 36 Potrubní rozvody – k faktoru ST2.3



Obr. 37 Netěsnosti spojů na trubním vedení – k faktoru ST2.3



Obr. 38 Armatury – k faktoru ST2.4

5.1.4 Poruchovost

Na základě evidence poruch vedených provozovatelem úpraveny byla analyzována poruchovost úpraveny. K dispozici byla evidence za období 10/2014–03/2016, tedy za 18 měsíců. Ve sledovaném období bylo zaznamenáno 22 poruch různého charakteru, a to např.: 3x porucha na zařízení dávkování chlóru, z toho 1x s únikem chlóru, porucha na uzavírací klapce, nefunkční čerpadlo, závada na konstrukci nádrže, porucha na filtru a jiné. Na základě dostupné evidence poruch lze konstatovat, že poruchovost je v běžných mezích vzhledem ke stáří objektu.



Obr. 39 Čerpadla – k faktoru ST2.6

5.2 Vyhodnocení

Technický stav objektu předmětné úpraveny vody byl hodnocen z hlediska stavebně-technického i technologicko-provozního, přičemž byly zohledněny všechny ukazatele technického stavu uvedené v tabulkách 2 a 3.

Za vysoce rizikovou lze považovat především kolísající kvalitu surové vody, která není nijak monitorována, než pouhým zhlédnutím obsluhy (byť denním). Problematický je zde především fakt, že se jedná o indikátory fekálního znečištění, za méně problematické je považována agresivita vody. Hodnocení technického stavu negativně ovlivňuje především neodpovídající rozsah technologie vzhledem ke kvalitě surové vody, stav separačních objektů a jejich nízká účinnost při okalových stavech, stejně tak i nevhodné zapojení akumulčních nádrží, dále absence techniky pro kontinuální monitoring alespoň základních kvalitativních ukazatelů surové i pitné vody. Stavební stav objektu je i přes stáří objektu spíše dobrý.

5.2.1 Faktory

Na základě zjištěných skutečností a podrobného prozkoumání objektu bylo provedeno hodnocení podle metodiky popsané výše v kapitole 4. Na úrovni jednotlivých faktorů byly voleny odpovídající výroky týkající se technického stavu. V následujících tabulkách jsou uvedeny platné výroky pro hodnocený objekt pro všechny faktory zařazené do metodiky.

Tab. 20 Hodnocení faktorů

ID	Ukazatel/faktor	Bodové skóre faktoru
	Platný výrok	
Stavebně-technické ukazatele		
ST1	Stavební konstrukce	
ST1.1	Stropní konstrukce	3
	narušena nosná konstrukce, výrazné praskliny, viditelná výztuž, oprýskaná omítka nad otevřenými nádržemi nebo ve větší míře i mimo půdorys otevřených nádrží, větší plochy plísní a nárostů, zratelná vlhkost, průsaky vody z vnějšího prostředí;	
ST1.2	Stěny	

	výrazné praskliny, drolící se povrch, oprýskaná omítka v dosahu nádrží nebo ve významné míře, porušené zdivo, větší plochy plísní a nárostů, významné projevy vlhkosti (trvale či rozsáhle);	3
ST1.3	Podlahy	
	bezprašné provedení, kompaktní, nepropustná, spádovaná rovnoměrně do sběrné jímky s funkčním odvodněním (čerpadem/odtokem);	1
ST1.4	Stavební výplně	
	havarijní, nelze dověřit, popř. uzamknout, rozbité výplně, dostatečná únosnost poklopů;	3
ST1.5	Schodiště, zábradlí, žebříky, madla, stupačky, ochozy	
	výrazná koroze, absence celých dílců, nefunkční, nedostatečná únosnost;	3
ST1.6	Elektroinstalace a elektrozařízení	
	dílčí závady elektroinstalaci a zařízení bez vlivu na proces úpravy vody (některé prvky osvětlení, přepětová ochrana), není prováděna pravidelná kontrola, údržba, revize;	2
ST1.7	Prostupy vedení konstrukcemi	
	narušená vodotěsnost (objevují se kapky vody nebo je konstrukce v místě prostupu trvale vlhká);	3
ST2	Technologické prvky	
ST2.1	Betonové nádrže	
	bez viditelných závad, kompaktní vnitřní povrch, bez prasklin, žádné projevy netěsnosti;	1
ST2.2	Kovové nádrže a jiné nádrže	
	nehodnoceno	N
ST2.3	Potrubní rozvody	
	funkčně bez problémů, závady důsledkem stáří materiálu, lokální projevy koroze, mírná inkrustace (povlak), nevýznamná netěsnost spojů, lze demontovat a opětovně provést spoje;	2
ST2.4	Armatury	
	závady důsledkem stáří materiálu (např. podcházení uzávěrů), nevýznamné netěsnosti, lokální projevy koroze, ovládání ve smyslu manipulace s vodou s obtížemi;	2
ST2.5	Strojní součásti	
	plně funkční bez omezení provozu;	1
ST2.6	Čerpadla	
	plně funkční bez omezení provozu, typ čerpadla odpovídá čerpanému médiu, žádné úniky čerpaného média (chemikálií), nevýznamné úniky čerpané vody;	1
ST3	Ochrana proti vnějším vlivům	

ST3.1	Vstup do objektu a okna	
	dveře/poklapy/okna nejsou dostatečně chráněny proti vniku dešťové/povrchové vody, uzamykatelný vstup, okna plně uzavíratelná a bez mříže, porušená skleněná výplň;	2
ST3.2	Teplota	
	v zimním období je možné ve všech prostorách zajistit minimální požadovanou teplotu; v letním období nedochází k nárůstu teploty v prostorách s manipulací s vodou nad 30 °C;	1
ST3.3	Sluneční osvit	
	sluneční záření dopadá část dne skrz skleněné výplně na menší část otevřené hladiny nebo na potrubí či uzavřenou nádrž;	2
ST3.4	Větrání	
	některý z průduchů není funkční, průduchy nejsou zabezpečeny proti dešti, chybí vzduchový filtr, ale zabezpečeno proti vniku živočichů;	2
ST3.5	Ochrana před povodněmi	
	objekt mimo dosah Q_{100} nebo objekt v dosahu Q_{100} , ale je zajištěna plná ochrana;	1
ST3.6	Průsak vody	
	do objektu prosakuje nebo jinak natéká podzemní, drenážní nebo dešťová voda, avšak nedochází (ani potenciálně) ke kontaktu s upravovanou vodou;	2
Provozně-technologické ukazatele		
TP1	Rozsah technologie úpravy vody	
TP1.1	Index upravitelnosti	
	technologie úpravy má dílčí nedostatky (obtížná upravitelnost v některých ukazatelích);	2
TP1.2	Počet separačních stupňů	
	počet separačních stupňů je nevyhovující pouze v ojedinělých obdobích (nedostatek se projevuje například zkrácením délky filtračního cyklu v daném období oproti normálu);	2
TP1.3	Surová voda	
	kvalita surové vody je významně horší, než bylo uvažováno v návrhu úpravní vody, kvalita pitné vody je díky tomu zhoršena, hodnoty kvalitativních ukazatelů jsou blízko limitním hodnotám, nebo jsou z tohoto důvodu překračovány;	3
TP1.4	Legislativa	

	všechny ukazatele kvality pitné vody jsou standardně pod stanoveným limitem; není udělena žádná výjimka ohledně kvality pitné vody;	1
TP1.5	Celková účinnost	
	hlavní technologické stupně nejsou schopny dosahovat požadovaných cílových hodnot ukazatelů kvality vody na výstupu, pro dosažení je nutná realizace opatření investičního charakteru;	3
TP2	Separační procesy	
TP2.1	Separační účinnost	
	účinnost separace je nižší, tj. zákal ZF po průtoku finálním separačním stupněm je v intervalu (3-5>; dochází úniku suspenze (pravidelně) či mikroorganismů (i ojediněle); suspenze po oxidačních procesech vzniká až za separačními stupni; indikována zvýšená koncentrace zbytkového koagulantu dále v distribučním systému;	3
TP2.2	Parametry procesů	
	klíčové parametry separačních procesů jsou v nepříznivých hodnotách pouze za mimořádných stavů (např. při krátkodobě zvýšeném výkonu úpravy);	2
TP2.3	Konstrukce separačních jednotek	
	technické zařízení, v němž probíhají separační procesy, má zásadní konstrukční nebo jiné vady (nátok vody na filtry bodově provedený, rozplavování filtrační náplně nátokem vody, zcela narušený nebo zborcený drenážní systém filtrů), které mají znatelný vliv na kvality vody na odtoku ze zařízení; je identifikováno více závad méně závažného charakteru na jednotlivých zařízeních;	3
TP2.4	Filtrační cyklus	
	délka filtračního cyklu je kratší než 24 nebo delší než 120 hod; žádná z mezních hodnot pro ukončení filtračního cyklu (zákal, tlaková ztráta) není dosahována současně s koncem filtračního cyklu;	3
TP2.5	Odkalování a regenerace	
	odkalování nádrží je prováděno nepravidelně a s četností častěji než 2x za směnu, dochází k významnému ovlivnění procesů v nádržích (víření sedimentů a pozorovatelný úniku suspenze vlivem odkalování); intenzita i doba praní jedním z médií není odpovídající údajům v provozní řádu (nebo prováděcí dokumentaci) nebo není k dispozici odpovídající množství prací vody; praní filtračních náplní není rovnoměrné (pozorovatelné při konci regenerace); zákal ZF prací vody na odtoku při konci praní je vyšší než 5; praní je prováděno surovou vodou; dochází k pravidelnému a významnému vynášení filtrační náplně prací vodou;	3
TP3	Další technologické procesy	
TP3.1	Předúprava	

	procesy předúpravy nejsou efektivní (např. nedostatečná tvorba vloček, nedostatečná reakční doba), podmínky procesů jsou pevně nastaveny bez možnosti přizpůsobení aktuálním podmínkám;	3
TP3.2	Účinnost dezinfekce	
	způsob hygienického zabezpečení je odpovídající místním podmínkám (CT faktor je odpovídající znečištění surové vody), je dosahováno patřičného odstranění mikroorganismů přítomných ve vodě (s cílem podkročení limitních hodnot); dávka činidla je pravidelně ověřována je odpovídající výkonu úpravny vody a je možné ji regulovat;	1
TP3.3	Nežádoucí produkty dezinfekce	
	nejsou emitovány žádné nežádoucí produkty dezinfekce;	1
TP4	Dávkování chemikálií	
TP4.1	Stáří dávkovacích čerpadel	
	nad 10 let;	3
TP4.2	Poruchovost systému dávkování	
	průměrný počet poruch za rok ≤ 2 ;	1
TP4.3	Výkon a regulace	
	výkon odpovídá předepsaným dávkám chemikálií s rezervou, regulace možná oběma směry, dávkování lze přizpůsobit aktuální potřebě;	1
TP4.4	Dávka chemikálií	
	dávky chemikálií jsou významně odchýleny od požadovaného množství, nelze zabezpečit dávku v požadovaném místě a kontinuálně; odlišná dávka má významný negativní vliv na výslednou kvalitu pitné vody; dávku nelze přizpůsobit podle aktuálního výkonu ani kvality surové vody;	3
TP5	Čerpací technika	
TP5.1	Stáří čerpacích jednotek	
	nad 7 a do 15 let;	2
TP5.2	Poruchovost čerpacích jednotek	
	průměrný počet poruch za rok ≤ 2 ;	1
TP5.3	Poloha pracovního bodu	
	odpovídá potřebám čerpacího místa (čerpaný průtok i dopravní výška jsou vyhovující);	1
TP5.4	Účinnost čerpadel	
	poloha pracovního bodu odpovídá intervalu $<0,7 Q_{opt}; 1,2 Q_{opt}>$;	1
TP6	Měření, monitoring a manipulace	
TP6.1	Měření kvantitativních veličin	

	okamžitý výkon úpravný je odečítán ručně na zařízení bez možnosti přenosu a záznamu dat (např. rotametr); měření hladin a přetlaků není zavedeno;	2
TP6.2	Měření kvalitativních parametrů	
	nejsou měřeny žádné kvalitativní ukazatele, popř. je měření prováděno pouze na nátoku do úpravný vody;	3
TP6.3	Provozní manipulace	
	obsluha úpravný vody může s výkonem úpravný vody manipulovat pouze skokově (změnou počtu jednotek v provozu) a v rozsahu 60-100 % maximálního výkonu;	2
TP7	Spolehlivost dodávky vody	
TP7.1	Četnost nevyhovujících rozborů vyrobené pitné vody	
	nedochází k překročení limitních hodnot u ukazatelů s NMH, u ukazatelů s MH dochází k překročení do 1 % analyzovaných vzorků;	1
TP7.2	Sezónní výkyvy	
	sezónní výkyvy kvality surové vody ovlivňují negativně kvalitu upravené vody, avšak nedochází k překročení limitních hodnot ukazatelů;	2
TP7.3	Stabilita výroby	
	k odstávce úpravný vody dochází maximálně 4 ročně nejvýše na dobu 12 hodin z jakýchkoliv důvodů;	2
TP7.4	Přerušování provozu	
	v posledních třech letech nedošlo k neočekávanému přerušování provozu úpravný;	1
TP7.5	Výkon úpravný vody	
	výkon je zcela postačující potřebě vody zásobovaného spotřebiště, tj. pokrývá maximální denní potřebu;	1
TP7.6	Počty jednotek	
	klíčové technologické jednotky jsou dostupné alespoň v počtu dvou a více, při výpadku jedné z jednotek je možné nahrazení ostatními za současného zachování vyhovující kvality vody (splnění limitů);	2
TP7.7	Agresivita a biologická stabilita vody	
	nehodnoceno	N
TP8	Efektivita provozu	
TP8.1	Vlastní spotřeba vody	
	vlastní spotřeba je v rozsahu 5-8 % z vody vyrobené;	2
TP8.2	Plynulost provozu úpravný	
	nepřetržitý provoz;	1
TP8.3	Využitelnost výkonu úpravný vody	
	poměr průměrného výkonu úpravný (dlouhodobý) a návrhového výkonu úpravný je v rozmezí 50-90 %;	2

TP8.4	Automatizace provozu	3
	provoz úpravný vody je zajišťován převážně manuálně;	
TP8.5	Kalové hospodářství	3
	kaly není možné za daných podmínek efektivně likvidovat (nelze zajistit, náklady jsou příliš vysoké, dochází k hromadění kalů na úpravně vody);	
TP9	Bezpečnost	
TP9.1	Nakládání s chemikáliemi	1
	s chemickými látkami je nakládáno v souladu s bezpečnostními listy a způsobem odpovídajícím jejich vlastnostem (agresivita, žíravost, toxicita apod.); je zajištěna bezpečnost provozních pracovníků (odvětrání, signalizace úniku apod.); veškeré zásobní nádrže a rozvody chemikálií jsou označeny názvem chemikálie (nehrozí záměna); je vyloučena vzájemná nežádoucí reakce chemikálií (oddělení skladovacích prostor); nakládání s chemikáliemi je prováděno bezproblémovým způsobem;	
TP9.2	Úniky chemikálií	1
	nedochází k únikům nebezpečných chemikálií; nevýznamné úniky chemikálií bez nebezpečných vlastností;	
TP9.3	Pracovní prostředí	2
	jsou identifikovány odchylky oproti předchozímu bodu, avšak není žádným způsobem ohrožena bezpečnost provozních pracovníků;	
TP9.4	Ochrana proti přetečení	1
	všechny nádrže s otevřenou hladinou jsou chráněny funkčním bezpečnostním přelivem, jehož provozuschopnost je pravidelně ověřována;	
TP9.5	Agresivní plyny	N
	nehodnoceno	

5.2.2 Ukazatele

Na základě platných výroků pro jednotlivé faktory, a tomu odpovídajícímu bodovému hodnocení, byla dále provedena agregace směrem k vyšším úrovním hodnocení. Tedy bylo spočítáno skóre pro jednotlivé ukazatele a následně pro klíčové části a objekt jako celek. Přehled hodnocení jak na úrovni částí objektu, tak i objektu úpravný poskytují následující tabulky.

Tab. 21 Hodnocení ukazatelů

ST1	Stavební konstrukce	kategorie hodnocení: 4		
ID	faktor	skóre	váha	vážené skóre
		[-]	[%]	[-]
ST1.1	Stropní konstrukce	3	20	0,60
ST1.2	Stěny	3	20	0,60
ST1.3	Podlahy	1	20	0,20
ST1.4	Stavební výplně	3	10	0,30
ST1.5	Schodiště, zábradlí, žebříky, madla, stupačky, ochozy	3	10	0,30
ST1.6	Elektroinstalace a elektrozařízení	2	10	0,20
ST1.7	Prostupy vedení konstrukcemi	3	10	0,30
		Σ	100	2,50
ST2	Technologické prvky	kategorie hodnocení: 2		
ID	faktor	skóre	váha	vážené skóre
		[-]	[%]	[-]
ST2.1	Betonové nádrže	1	20	0,25
ST2.2	Kovové nádrže a jiné nádrže	N		
ST2.3	Potrubní rozvody	2	15	0,38
ST2.4	Armatury	2	15	0,38
ST2.5	Strojní součásti	1	15	0,19
ST2.6	Čerpadla	1	15	0,19
		Σ	80	1,38
ST3	Ochrana proti vnějším vlivům	kategorie hodnocení: 2		
ID	faktor	skóre	váha	vážené skóre
		[-]	[%]	[-]
ST3.1	Vstup do objektu a okna	2	20	0,40
ST3.2	Teplota	1	10	0,10
ST3.3	Sluneční osvit	2	20	0,40
ST3.4	Větrání	2	20	0,40
ST3.5	Ochrana před povodněmi	1	20	0,20
ST3.6	Průsak vody	2	10	0,20
		Σ	100	1,70
TP1	Rozsah technologie úpravy vody	kategorie hodnocení: 3		
ID	faktor	skóre	váha	vážené skóre
		[-]	[%]	[-]
TP1.1	Index upravitelnosti	2	25	0,50

TP1.2	Počet separačních stupňů	2	20	0,40
TP1.3	Surová voda	3	20	0,60
TP1.4	Legislativa	1	15	0,15
TP1.5	Celková účinnost	3	20	0,60
		Σ	100	2,25
TP2	Separací procesy	kategorie hodnocení:		5
ID	faktor	skóre	váha	vážené skóre
		[-]	[%]	[-]
TP2.1	Separací účinnost	3	30	0,90
TP2.2	Parametry procesů	2	20	0,40
TP2.3	Konstrukce separačních jednotek	3	20	0,60
TP2.4	Filtrační cyklus	3	20	0,60
TP2.5	Odkalování a regenerace	3	10	0,30
		Σ	100	2,80
TP3	Další technologické procesy	kategorie hodnocení:		3
ID	faktor	skóre	váha	vážené skóre
		[-]	[%]	[-]
TP3.1	Předúprava	3	40	1,20
TP3.2	Účinnost dezinfekce	1	30	0,30
TP3.3	Nežádoucí produkty dezinfekce	1	30	0,30
		Σ	100	1,80
TP4	Dávkování chemikálií	kategorie hodnocení:		3
ID	faktor	skóre	váha	vážené skóre
		[-]	[%]	[-]
TP4.1	Stáří dávkovacích čerpadel	3	30	0,90
TP4.2	Poruchovost systému dávkování	1	30	0,30
TP4.3	Výkon a regulace	1	20	0,20
TP4.4	Dávka chemikálií	3	20	0,60
		Σ	100	2,00
TP5	Čerpací technika	kategorie hodnocení:		2
ID	faktor	skóre	váha	vážené skóre
		[-]	[%]	[-]
TP5.1	Stáří čerpacích jednotek	2	30	0,60

TP5.2	Poruchovost čerpacích jednotek	1	30	0,30
TP5.3	Poloha pracovního bodu	1	20	0,20
TP5.4	Účinnost čerpadel	1	20	0,20
		Σ	100	1,30
TP6	Měření, monitoring a manipulace	kategorie hodnocení:		4
ID	faktor	skóre	váha	vážené skóre
		[-]	[%]	[-]
TP6.1	Měření kvantitativních veličin	2	30	0,60
TP6.2	Měření kvalitativních parametrů	3	35	1,05
TP6.3	Provozní manipulace	2	35	0,70
		Σ	100	2,35
TP7	Spolehlivost dodávky vody	kategorie hodnocení:		2
ID	faktor	skóre	váha	vážené skóre
		[-]	[%]	[-]
TP7.1	Četnost nevyhovujících rozborů vyrobené pitné vody	1	20	0,25
TP7.2	Sezónní výkyvy	2	15	0,38
TP7.3	Stabilita výroby	2	10	0,25
TP7.4	Přerušení provozu	1	15	0,19
TP7.5	Výkon úpravny vody	1	10	0,13
TP7.6	Počty jednotek	2	10	0,25
TP7.7	Agresivita a biologická stabilita vody	N		
		Σ	80	1,44
TP8	Efektivita provozu	kategorie hodnocení:		3
ID	faktor	skóre	váha	vážené skóre
		[-]	[%]	[-]
TP8.1	Vlastní spotřeba vody	2	30	0,60
TP8.2	Plynulost provozu úpravny	1	10	0,10
TP8.3	Využitelnost výkonu úpravny vody	2	25	0,50
TP8.4	Automatizace provozu	3	15	0,45
TP8.5	Kalové hospodářství	3	20	0,60
		Σ	100	2,25
TP9	Bezpečnost	kategorie hodnocení:		1

ID	faktor	skóre	váha	vážené skóre
		[-]	[%]	[-]
TP9.1	Nakládání s chemikáliemi	1	25	0,31
TP9.2	Úniky chemikálií	1	30	0,38
TP9.3	Pracovní prostředí	2	15	0,38
TP9.4	Ochrana proti přetečení	1	10	0,13
TP9.5	Agresivní plyny	N		
		Σ	80	1,19

5.2.3 Přehled a závěry

Celkový technický stav úpravní vody je podle popsané metodiky hodnocen stupněm C. Nutno podotknout, že uvedené hodnocení technického stavu se vztahuje k objektu jako celku, který je daným způsobem provozován. Na základě provedeného vyhodnocení bylo doporučeno zabývat se návrhem rekonstrukce dané úpravní vody, zejména v části technologické. Hodnocení částí a ukazatelů je patrné z tabulek 22 a 23.

Z vodárenského hlediska je naprosto neakceptovatelné, že dochází ke značným výkyvům v kvalitě surové vody, a to především v indikátorech fekálního znečištění, přičemž provozovatel nemá tento jev pod kontrolou, jelikož chybí aktuální objektivní informace o základních ukazatelích kvality surové vody, a současně dostupná technologie na úpravě není odpovídající nárazovému znečištění. Spoléhat pouze na dezinfekci není zodpovědné. Nelze též akceptovat fakt, že následkem dešťů, a s tím spojeným zhoršením kvality surové vody, došlo k vyřazení provozu filtrace, byť jde o jediný zápis v provozním deníku.

Tab. 22 Hodnocení stavebně-technické části úpravní vody – přehled

ST	Stavebně-technické ukazatele – hodnocení části	C		
ID	ukazatel	skóre	váha	vážené skóre
		[-]	[%]	[-]
ST1	Stavební konstrukce	2,50	30	0,75
ST2	Technologické prvky	1,38	40	0,55
ST3	Ochrana proti vnějším vlivům	1,70	30	0,51
		Σ	100	1,81

Tab. 23 Hodnocení technologicko-provozní části úpravy vody – přehled

TP	Technologicko-provozní ukazatele – hodnocení části	C		
ID	ukazatel	skóre	váha	vážené skóre
		[-]	[%]	[-]
TP1	Rozsah technologie úpravy vody	2,25	20	0,45
TP2	Separční procesy	2,80	20	0,56
TP3	Další technologické procesy	1,80	10	0,18
TP4	Dávkování chemikálií	2,00	10	0,20
TP5	Čerpací technika	1,30	10	0,13
TP6	Měření, monitoring a manipulace	2,35	5	0,12
TP7	Spolehlivost dodávky vody	1,44	15	0,22
TP8	Efektivita provozu	2,25	5	0,11
TP9	Bezpečnost	1,19	5	0,06
		Σ	100	2,03

5.2.4 Doporučená opatření

V souladu se zjištěnými skutečnostmi v rámci provedeného technického hodnocení bylo doporučeno provést minimálně následující nápravná opatření v těchto časových horizontech:

neprodleně

- 1) vybavit úpravnu vody základní měřicí technikou. Doporučuje se pořízení alespoň přenosného zákaloměru pro účely objektivního provozního sledování kvality vody (surové i pitné);
- 2) zvážit zřízení biomonitoringu kvality upravené vody na odtoku z úpravy (průtočné akvárium s citlivou rybí osádkou);

střednědobý horizont

- 3) **zvýšit spolehlivost dodávky vody** do skupinového vodovodu intenzifikací technologické linky na ÚV tak, aby odpovídala legislativním a normovým požadavkům, tj.: zařazením koagulace, posílením separčního procesu, eliminací agresivity vody, dále zajištěním vhodnějšího propojení dvou akumuláčnických nádrží pitné vody na úpravě;
- 4) **zajistit hygienu prostředí** na ÚV, zejména zajištěním odpovídajícího odvětrání objektu, eliminací osvětlení volné hladiny slunečním zářením, eliminací výkvětů různého původu na stěnách vnitřních prostor (zejména v podzemním podlaží), zajištěním ochrany upravené vody před vzdušnou kontaminací osazením odpovídajících dveří na revizní vstup do akumuláčnické nádrže;

dlouhodobý horizont

- 5) pokusit se identifikovat a eliminovat zdroje fekální kontaminace v povodí zdrojů surové vody.

6 Závěr a diskuze

Úpravny vody jsou součástí systémů zásobování vodou a hrají nezastupitelnou roli při výrobě pitné vody, zejména co se týče zajištění její kvality. Jsou to objekty, kde probíhá celá řada chemických a biologických procesů v interakci s hydraulickými jevy. Právě kvalita vyráběné pitné vody je ovlivněna množstvím faktorů, počínaje návrhem úpraveny vody, skladbou technologické linky, způsobem provozování, úrovní údržby, existencí vad a výskytem poruch. Všechny tyto a další faktory lze zahrnout pod pojem technický stav.

V habilitační práci popsaná metodika hodnocení technického stavu úpraven vody je odpovědí na legislativní požadavky, týkající se jednak plánu financování obnovy vodovodů a také provádění technického auditu, přičemž jeho součástí má být vyhodnocení technického stavu vodárenských objektů, tedy i úpraven vody, avšak legislativa nepředepisuje postup vyhodnocení.

Předložená metodika je nástroj umožňující vyjádření technického stavu úpraven vody pomocí sady ukazatelů a faktorů, vycházejících z funkce úpraven a zohledňujících spolehlivost, odolnost i jejich zranitelnost. Zařazeny byly jak ukazatele stavebně-technického, tak i provozně-technologického charakteru, aby prováděné hodnocení mohlo být dostatečně komplexní. Jedná se o metodiku používající semikvantitativní hodnocení s cílem vystihnout objektivně technický stav a poskytnout tuto informaci jako rámec a podporu rozhodování vlastníkům a provozovatelům úpraven vody při plánování oprav, údržby a obnovy. Jednotlivé hodnotící výroky u faktorů byly sestaveny a formulovány na základě četných prohlídek vodárenských objektů, konzultací s provozními pracovníky a se zohledněním současného stavu poznání v oboru vodárenství.

Pomocí výsledků hodnocení popsanou metodikou je možné odhalit slabá místa v procesu výroby pitné vody a následně nasadit odpovídající opatření vedoucí ke zvýšení spolehlivosti a odolnosti či snížení zranitelnosti procesu. Metodika byla uvedena do praxe a je k dispozici pro účely samostatného hodnocení technického stavu nebo jako součást technického auditu, a to i v podobě softwarové aplikace. Jeden z příkladů použití je prezentován v habilitační práci, kdy výsledky hodnocení byly předloženy provozovateli a vlastníkovi předmětné úpraveny vody jako základní podklad k plánování oprav a rekonstrukce. V tomto případě byl výstup z hodnocení použit především jako argumentační

nástroj pro obhájení navrhované rekonstrukce před zástupci obcí, jakožto vlastníky daného objektu. Metodika byla mj. také nasazena na úpravně vody, které nebyla schopna výroby pitné vody ve smyslu nevyhovění požadavkům příslušné vyhlášky, a to ani částečně. Ačkoliv celkové agregované hodnocení ukazovalo na velmi dobrý stav, úpravna nebyla schopna dodávat pitnou vodu, tedy neplnila vůbec svoji funkci. Nutno zmínit, že navržená metodika je koncipována pro úpravny vody plnící svoji funkci v drtivé většině provozní doby. Samotná skutečnost, že úpravna vody není schopna výroby pitné vody za žádných okolností, vede k hodnocení označovanému jako *nežádoucí stav*.

Je zřejmé, že obor vodárenství je dynamický a prochází i v současné době vývojem. S postupujícím stavem poznání a postupným nasazováním nových technologií úpravy vody bude nutné metodiku hodnocení odpovídajícím způsobem aktualizovat a upravovat. Lze očekávat, že v blízké budoucnosti bude nutné rozšířit technologie úpravy vody o některé nové prvky s ohledem na změnu skladby znečištění surových vod, aktuálně jsou diskutovány pesticidní látky, a také nově mikroplasty, léčiva či produkty osobní péče. Právě s nasazováním nových technologických prvků lze očekávat i požadavek na změnu či rozšíření metodiky hodnocení technického stavu.

Seznam použitých zdrojů

- [1] International Water Association: *The Bonn Charter for Safe Drinking Water*. September 2004.
- [2] MATROSOV, Evgenii S., Silvia PADULA a Julien J. HAROU. Selecting Portfolios of Water Supply and Demand Management Strategies Under Uncertainty—Contrasting Economic Optimisation and ‘Robust Decision Making’ Approaches. *Water Resources Management* [online]. 2013, 27(4), 1123-1148. DOI: 10.1007/s11269-012-0118-x. ISSN 0920-4741.
- [3] ALEGRE, Helena. a Maria do Céu. ALMEIDA. Strategic asset management of water supply and wastewater infrastructure: invited papers from the IWA Leading Edge Conference on Strategic Asset Management (LESAM), Lisbon, October 2007. New York: IWA Pub., 2009. ISBN 9781843391869.
- [4] KRÍŠ, Jozef, Oskár ČERMÁK a Ivona ŠKULTÉTYOVÁ. *Vodárenstvo 1: Zásobovanie vodou*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2006. ISBN 80-227-2426-2.
- [5] Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích) v platném znění.
- [6] *Vodovody a kanalizace ČR*. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 1992. ISBN isbn978-80-7434-464-0.
- [7] TAUŠ, Miloslav. *Multikriteriální hodnocení technického stavu vybraných částí vodovodů*. Brno, 2016. 152 s. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
- [8] BODE, Ilmārs, Ināra LAUBE a Ivars PLATAIS. Technical Condition Assessment of the System of Gas Distribution Pipelines. *Construction Science* [online]. 2013, 14 [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.2478/cons-2013-0003. ISSN 2255-8551.
- [9] MARLOW, David et al. Condition Assessment Strategies and Protocols for Water and Wastewater Utility Asstes. Report 03-CTS-20CO. AWWA 2007.
- [10] Planning for Sustainability: Handbook on Planning for Sustainability for Water and Wastewater Utilities. US EPA, 2012.
- [11] Asset Management: A Best Practices Guide. US EPA, 2008.
- [12] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Vodárenství: Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia* [online]. Brno: VUT v Brně, 2006 [cit. 2012-03-26].
- [13] Water treatment handbook. 7th [English] ed. Rueil-Malmaison, France: Degremont, 2007. ISBN 978-2-7430-0970-0.
- [14] SOMMERFELD, Elmer O. *Iron and manganese removal handbook*. 1. Denver, Colo.: American Water Works, c1999. ISBN 1-58321-012-1.

- [15] KARAMOUZ, Mohammad, Hamed TAVAKOLI FAR, Sara NAZIF a Kabir RASOULI. Development of an Algorithm for Evaluation of a Water Treatment Plant Performance. In: *World Environmental and Water Resources Congress 2008* [online]. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2008, 2008-05-26, s. 1-10 [cit. 2018-01-08]. DOI: 10.1061/40976(316)195. ISBN 9780784409763.
- [16] ZHANG, Kejiang, Gopal ACHARI, Rehan SADIQ, Cooper H. LANGFORD a Mohammed H.I. DORE. An integrated performance assessment framework for water treatment plants. *Water Research* [online]. 2012, **46**(6), 1673-1683 [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.1016/j.watres.2011.12.006. ISSN 00431354.
- [17] JANNA, Hussein a Adnan A. AL-SAMAWI. Performance Evaluation of Al- Karkh Water Treatment Plant in the City of Baghdad. *International Journal of Advanced Research*. 2014, **2**(10), 823-829. ISSN 2320-5407.
- [18] MOHAMMED, Ali Ahmed a Alaa A. SHAKIR. Evaluation the Performance of Al-wahdaa Project Drinking Water Treatment Plant: A Case Study in Iraq. *International Journal of Advances in Applied Sciences*. 2012, **1**(3), 130-138. ISSN 2252-8814.
- [19] MISHRA, Asnish R. a Prashant A. KADU. Performance Evaluation of Water Treatment Plant at Yavatmal (M.S.): Case Study. *International Journal of Research in Advent Technology*. 2014, **2**(5). ISSN 2321-9637.
- [20] ALI, Arshad, Hashim Nisar HASHMI, Naseem BAIG, Shahid IQBAL a Khurram MUMTAZ. Performance evaluation of the water treatment plants of Islamabad - Pakistan. *Archives of Environmental Science*. 2012, **2**(6), 111-117. ISSN 2167-1664.
- [21] AHMADLI, Zahra, Mohammad FAHIMINIA, Reza ANSARI, Maryam SAVADKOUHI, Azita ANBAZ, Akbar ESCANDARI a Shahram ARANG JANG. Performance Evaluation of Qom Water Treatment Plant during 2005 to 2014. *Archives of Hygiene Sciences* [online]. 2017, **6**(1), 58-65 [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.29252/ArchHygSci.6.1.58. ISSN 2251-9203.
- [22] AL-SULAIMEN, A. M. Evaluation of Potable Water Quality of AL-Diwaniyah Water Treatment Plants. *Kufa journal of Engineering*. 2009, **1**(1), 40-58. ISSN 2523-0018.
- [23] ALOBAIDY, Abdul Hameed M. Jawad, Bahram K. MAULOOD a Abass J. KADHEM. Evaluating Raw and Treated Water Quality of Tigris River within Baghdad by Index Analysis. *Journal of Water Resource and Protection* [online]. 2010, **02**(07), 629-635 [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.4236/jwarp.2010.27072. ISSN 1945-3094.
- [24] EASSA, A. M. and MAHMOOD, A.A. An Assessment of the treated water quality for some drinking water supplies at Basrah. *Journal of Basrah Researches ((Sciences))*. 2012, **38**(3). ISSN 1817-2695.
- [25] MENCL, V. Životnost funkčních dílů staveb v doporučeních EU. Přednáška na

- konferenci znalců ÚSI VUT v Brně, dne 23. 1. 2004.
- [26] ČSN EN 1990 (730002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.
- [27] ČSN 75 5355 (755355) Vodojemy.
- [28] ČSN EN 60300-1 (010690) Management spolehlivosti - Část 1: Systémy managementu spolehlivosti.
- [29] ČSN EN 60300-1 ED.2 (010690) Management spolehlivosti - Část 1: Směrnice pro management a použití.
- [30] MYKISKA, Antonín. *Bezpečnost a spolehlivost technických systémů*. Vyd. 2. přeprac. V Praze: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02868-2.
- [31] LEGÁT, Václav. *Management a inženýrství údržby*. Praha: Professional Publishing, 2013. ISBN 978-80-7431-119-2.
- [32] HEŘMAN, Jiří a Ladislav VOTRUBA. *Spolehlivost vodohospodářských děl*. Praha: Brázda, 1993. Česká matice technická (Brázda). ISBN 80-209-0251-1.
- [33] TUHOVČÁK, Ladislav et al. *WaterRisk: analýza rizik veřejných vodovodů*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-676-8.
- [34] AL-ZAHRANI, M., SYED, J. L. Hydraulic Reliability Analysis of Water Distribution System. *Journal of The Institution of Engineers*. 2014 1(1) Singapore, Vol. 1 Issue 1 2004.
- [35] GUPTA, Rajesh a Pramod R. BHAVE. Reliability Analysis of Water-Distribution Systems. *Journal of Environmental Engineering* [online]. 1994, 120(2), 447-461 [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(1994)120:2(447). ISSN 0733-9372.
- [36] VIŠČOR, P.: *Spolehlivost vodo vodních sítí*. Doktorská disertační práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2005. Školitel Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
- [37] EISENBAIS, P., ROSTUM, J., TUHOVČÁK, L., VALKOVIČ, P. VISČOR, P.: *Reliability as one of the criteria for water mains rehabilitation planning*. Proceedings of IWA specialised conference Management of Productivity of Water Utilities. Praha, 2002.
- [38] TUHOVČÁK, L.; VALKOVIČ, P.; KUČERA, T.; RUČKA, J. *Spolehlivost vodovodních sítí jako kritérium pro plánování rekonstrukcí*. In Voda Zlín 2004, sborník VIII. Mezinárodní vodohospodářské konference. Zlín: VaK Zlín, 2004. s. 137-142.
- [39] KUČERA, T.: *Multikriteriální optimalizace sestavování ročních plánů obnovy vodovodních sítí: doktorská disertační práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí, 2008. 116 s., 17 příloh. Školitel Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.

- [40] COELHO, S.T. Performance Assessment in Water Supply and Distribution. Ph.D. Thesis, Civil & Offshore Engineering Department, Heriot-Watt University, Edinburgh. 1996.
- [41] GERMANOPOULOS, G, PW JOWITT a JP LUMBERS. ASSESSING THE RELIABILITY OF SUPPLY AND LEVEL OF SERVICE FOR WATER DISTRIBUTION SYSTEMS. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers* [online]. 1986, **80**(2), 413-428 [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.1680/iicep.1986.741. ISSN 1753-7789.
- [42] BLANCHARD, Benjamin S. *Logistics engineering and management*. 6th ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall, c2004. ISBN 978-0131429154.
- [43] KARAMOUZ, Mohammad, Ferenc SZIDAROVSKY a Banafsheh ZAHRAIE. *Water resources systems analysis*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, c2003. ISBN 9781566706421.
- [44] KUMAR GUPTA, Ajay a R. K. SHRIVASTAVA. Uncertainty Analysis of Conventional Water Treatment Plant Design for Suspended Solids Removal. *Journal of Environmental Engineering* [online]. 2006, **132**(11), 1413-1421 [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2006)132:11(1413). ISSN 0733-9372.
- [45] HASHIMOTO, Tsuyoshi, Jerry R. STEDINGER a Daniel P. LOUCKS. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research* [online]. 1982, **18**(1), 14-20 [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.1029/WR018i001p00014. ISSN 00431397.
- [46] PATON, F.L., G.C. DANDY a H.R. MAIER. Integrated framework for assessing urban water supply security of systems with non-traditional sources under climate change. *Environmental Modelling & Software* [online]. 2014, **60**, 302-319 [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.1016/j.envsoft.2014.06.018. ISSN 13648152.
- [47] GOULTER, I. C. Current and future use of systems analysis in water distribution network design. *Civil Engineering Systems* [online]. 2007, **4**(4), 175-184 [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.1080/02630258708970484. ISSN 0263-0257.
- [48] NAZIF, Sara a Mohammad KARAMOUZ. Algorithm for Assessment of Water Distribution System's Readiness: Planning for Disasters. *Journal of Water Resources Planning and Management* [online]. 2009, **135**(4), 244-252 [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2009)135:4(244). ISSN 0733-9496.
- [49] MOY, Wai-See, Jared L. COHON a Charles S. REVELLE. A Programming Model for Analysis of the Reliability, Resilience, and Vulnerability of a Water Supply Reservoir. *Water Resources Research* [online]. 1986, **22**(4), 489-498 [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.1029/WR022i004p00489. ISSN 00431397.
- [50] ZAKARIAN, Armen, James W. KNIGHT a Lusine BAGHDASARYAN. Modelling

- and analysis of system robustness. *Journal of Engineering Design* [online]. 2007, **18**(3), 243-263 [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.1080/09544820600804939. ISSN 0954-4828.
- [51] PANICO, A., IASIMONE, F., FABBROCINO, G., PIROZZI, F. Vulnerability assessment of drinking water treatment plants. *Chemical Engineering Transactions*. 2015, 43, 2317-2322. DOI: 10.3303/CET1543387. ISSN: 2283-9216.
- [52] PIVOKONSKÝ, Martin. *Tvorba suspenze při úpravě vody: teorie a praxe*. Líbeznice: Medim, 2011, 218 s. ISBN 9788087140185.
- [53] *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c1990. ISBN 00-700-1540-6.
- [54] EDZWALD, James K. Coagulation in drinking Water Treatment: Particles, Organics and Coagulants. *Water Science & Technology*. 1993, **27**(11). 21-35. ISSN 0273-1223.
- [55] EDZWALD, James K. Principles and applications of dissolved air flotation. *Water science and technology: Water supply*. New York: IWA Publishing, 2001-, **31**(3-4), 1-23. ISSN 0735-1917.
- [56] *Microfiltration and ultrafiltration membranes for drinking water*. Denver, CO: American Water Works Association, c2005, xxii, 257 s. ISBN 15-832-1360-0.
- [57] *Water chlorination/chloramination practices and principles*. 2nd ed. Denver, CO: American Water Works Association, c2006, 173 s. ISBN 15-832-1408-9.
- [58] GATES, Donald J. *The chlorine dioxide handbook*. Denver, CO: American Water Works Association, c1998. ISBN 0898679427.
- [59] KORTH, A., NITSCHKE, R. Provozování vodovodní sítě města Mladá Boleslav bez chemické dezinfekce. *Vodovod.info - vodárenský informační portál* [online]. 29.9.2014, 09/2014, [cit. 2014-09-29]. ISSN 1804-7157.
- [60] MINEAR, Roger A. a Gary L. AMY. Disinfection by-products in water treatment: the chemistry of their formation and control. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. ISBN 1566701368.
- [61] BARUTH, Edward E. *Water treatment plant design*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c2005. ISBN 0-07-141872-5.
- [62] US EPA. Surface Water Treatment Rule (SWTR). June 1989.
- [63] US EPA (United States Environmental Protection Agency) Handbook: Optimizing Water Treatment Plant Performance Using the Composite Correction Program EPA/625/6-91/027, Cincinnati 1998.
- [64] KUČERA, Tomáš, Renata BIELA a Zdeněk ZELENÝ. Lab-scale research of water treatment with use of water glass and nanoiron. *DESALINATION AND WATER TREATMENT* [online]. 2017, **99**, 34-41 [cit. 2019-11-20]. DOI:

- 10.5004/dwt.2017.21544.
- [65] RITTMANN, Bruce E. a Vernon L. SNOEYINK. Achieving Biologically Stable Drinking Water. *Journal - American Water Works Association* [online]. 1984, **76**(10), 106-114 [cit. 2019-11-20]. DOI: 10.1002/j.1551-8833.1984.tb05427.x. ISSN 0003150X.
- [66] SLÁDEČKOVÁ, Alena. Biologická stabilita pitné vody. In: *Aktuální otázky vodárenské biologie*. 1991, s. 83-86.
- [67] KOLOVRAT, Jiří, Jan KRETEK a Karel KUČERA. Rekonstrukce a modernizace úpravny vody Plzeň - realizace stavby a její výsledky. In: *Pitná voda*. 2016, s. 205-210.
- [68] ČSN IEC 300-3-1 (010690) Řízení spolehlivosti. Část 3: Návod k použití. Oddíl 1: Metody analýzy spolehlivosti: Metodický návod.
- [69] World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: incorporating 1st and 2nd addenda, Vol. 1, recommendations, 3rd ed. ISBN 9789241547611.
- [70] Centers for Disease Control and Prevention: A Conceptual Framework to Evaluate the Impacts of Water Safety Plans. U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta 2011.
- [71] JELIGOVÁ, Hana, František KOŽÍŠEK, Petr PUMANN a Dana BAUDIŠOVÁ. Odborná podpora provozovatelů vodovodů při zpracování rizikové analýzy. In: *Vodárenská biologie*. 2017. ISBN 978-80-86832-98-2.
- [72] KUČERA, T., TUHOVČÁK, L., ANDERLE, L., ZLESÁK, R. Kvantifikace rizik vybraných nežádoucích stavů na zdrojích a úpravkách vod, příspěvek na konferenci *Pitná voda 2008*, W&TEAM, České Budějovice, 2008. ISBN 978-80-254-2034-8.
- [73] TUHOVČÁK, L.; RUČKA, J.; KUČERA, T., Analýza rizik vodárenských systémů. In *Provoz vodovodních a kanalizačních sítí*. SOVAK ČR, Líbeznice, 2009. ISBN 978-80-87140-15-4.
- [74] REK, Václav. *Analýza rizik technologických procesů úpravy vody*. Brno, 2007. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Kučera.
- [75] ANDERLE, Lukáš. *Riziková analýza vybraných nežádoucích stavů na úpravkách vody*. Brno, 2007. 140 s. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Kučera.
- [76] ČSN IEC 812 (010675) Metody analýzy spolehlivosti systému. Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA).
- [77] ČSN IEC 1025 (010676) Analýza stromu poruchových stavů.

- [78] TUHOVČÁK, L.; RUČKA, J.; KUČERA, T.; TRÁSONOVÁ, P., Hodnocení rizik veřejných vodovodů pomocí softwarové aplikace WaterRisk. In *Rizika ve vodním hospodářství*, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2010. ISBN 978-80-7204-703-1.
- [79] ČSN ISO 13822 (730038) Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí.
- [80] MARLOW, David et al. Condition Assessment Strategies and Protocols for Water and Wastewater Utility Asstes. Report 03-CTS-20CO. AWWA 2007.
- [81] DRBOHLAV, Josef, Petr DOLEJŠ a Milan KUCHAR. Rekonstrukce úpravny vody Hradiště. In: Sborník příspěvků *Voda Zlín 2001. V. mezinárodní konference*. Zlín, 2001. ISBN 8023867261.
- [82] ALEGRE, Helena, J. M. BAPTISTA, Enricue CABRERA, JR., F CUBILLO, P DUARTE, W HIRNER, W MERKEL a R PARENA. *Performance indicators for water supply services*. 2nd ed. London: IWA Publ., 2005, 192 s. ISBN 18-433-9051-5.
- [83] ALEGRE, H., J. M. BAPTISTA, E. CABRERA, F. CUBILLO, P. DUARTE, W. HIRNER, W. MERKEL a R. PARENA. Performance Indicators for Water Supply Services: Third Edition. *Water Intelligence Online* [online]. 2016, **15**, 9781780406336-9781780406336 [cit. 2019-11-20]. DOI: 10.2166/9781780406336. ISSN 1476-1777.
- [84] VAN DEN BERG, Caroline, Alexander DANILENKO, Berta MACHEVE a L. Joe MOFFITT. The IBNET Water Supply and Sanitation Blue Book 2014: The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities Databook [online]. Washington, D.C: The World Bank, 2014 [cit. 2019-11-20]. DOI: 10.1596/978-1-4648-0276-8. ISBN 978-1-4648-0276-8.
- [85] STAHERE, P., ADAMSON, J. Performance Benchmarking: A Powerful Management Tool for Water and Wastewater Utilities. AFNOR Atelier Assurer, Paris, France. 2002.
- [86] CROTTY, Patricia A. *Selection and definition of performance indicators for water and wastewater utilities*. Denver Colo.: AWWA Research Foundation and American Water Works Association, c2004. ISBN 1-58321-304-x.
- [87] Ofwat (Office of Water Services). Updating the overall performance assessment (OPA) – conclusions and methodology for 2004-05 onwards. Ofwat, Birmingham, UK, 2004.
- [88] VIEIRA, P., SILVA, C., ROSA, M. J., ALEGRE, H., LUCAS, H., SANCHO, R., RAMALHO, P. A PI system for drinking water treatment plants – framework and case study application. In: *Performance Assessment of Urban Infrastructure Services. Drinking Water, Wastewater and Solid Waste* (E. Cabrera & M. A. Pardo Jr, eds). IWA

- Publishing, London, pp. 389–402. 2008. ISBN 9781843391913.
- [89] VIEIRA, P., H. ALEGRE, M. J. ROSA a H. LUCAS. Drinking water treatment plant assessment through performance indicators. *Water Science and Technology: Water Supply* [online]. 2008, **8**(3), 245-253 [cit. 2019-11-20]. DOI: 10.2166/ws.2008.068. ISSN 1606-9749.
- [90] TUHOVČÁK, L., RACLAVSKÝ, J., RUČKA, J., KUČERA, T., Projekt CARE-W - expertní systém pro plánování rekonstrukcí vodovodních sítí. In *8. konference o bezvýkopových technologiích*, CzSTT, Praha, Česká republika, 2003.
- [91] VALKOVIČ, P.: *Expertní systémy jako podpora při rekonstrukcích vodovodních sítí*. Doktorská disertační práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2003. Školitel Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
- [92] CHANG, E.-E., Peng-Chi CHIANG, Shu-Mei HUANG a Yi-Li LIN. Development and Implementation of Performance Evaluation System for a Water Treatment Plant: Case Study of Taipei Water Treatment Plant. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management* [online]. 2007, **11**(1), 36-47 [cit. 2019-11-20]. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-025X(2007)11:1(36). ISSN 1090-025X.
- [93] S. Choi, Z. Yun, J. Yoon, J. Hong, Y. Lee Performance evaluation program of water treatment plant in Korea *Water Science & Technology: Water Supply*. 2002, **2**(5–6), 143-148.
- [94] HASSAN, F., ANSAM, R. M. Evaluate the Efficiency of Drinking Water Treatment Plants in Baghdad City – Iraq. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*. 2018, **6**(1), 1-9. DOI 10.12691/jaem-6-1-1.
- [95] LIBÂNIO, Marcelo a Vanessa Cristina LOPES. Assessing the feasibility of a water treatment plant quality index. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA* [online]. 2009, **58**(5) [cit. 2019-11-20]. DOI: 10.2166/aqua.2009.002. ISSN 0003-7214.
- [96] SADIQ, Rehan, Manuel J. RODRÍGUEZ a Solomon TESHAMARIAM. Integrating indicators for performance assessment of small water utilities using ordered weighted averaging (OWA) operators. *Expert Systems with Applications* [online]. 2010, **37**(7), 4881-4891 [cit. 2019-11-20]. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.12.027. ISSN 09574174.
- [97] PAUL J., KAVALÍR P., SOUKUP J. Benchmarking na úpravách vody. In *Pitná voda 2014*, 27-32. W&ET Team, Č. Budějovice 2014. ISBN 978-80-905238-1-4.
- [98] TUHOVČÁK, L., M. TAUŠ a T. KUČERA. The Assessment of the Technical Condition of the Water Distribution Systems. *Procedia Engineering* [online]. 2014, **89**, 1420-1427 [cit. 2019-11-20]. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.11.468. ISSN 18777058.
- [99] FIALA, Petr. *Modely a metody rozhodování*. V Praze: Oeconomica, 2003. ISBN 80-

245-0622-x.

- [100] PEROUTKA, Pavel. Technický audit vodovodu a kanalizace v obci Trnová. Velešín, 2015.
- [101] TUHOVČÁK, Ladislav, Tomáš KUČERA a Tomáš SUCHÁČEK. Technical auditing of water supply systems – part 1: the complex methodology. *Water Science and Technology: Water Supply* [online]. 2018, **18**(4), 1133-1140 [cit. 2019-11-20]. DOI: 10.2166/ws.2018.061. ISSN 1606-9749.
- [102] KUČERA, Tomáš, Ladislav TUHOVČÁK a Renata BIELA. Technical auditing of water supply systems – part 2: water treatment plant. *Water Science and Technology: Water Supply* [online]. 2018, **18**(4), 1141-1150 [cit. 2019-11-20]. DOI: 10.2166/ws.2017.119. ISSN 1606-9749.
- [103] KUČERA, T. *Spolehlivost vodovodních sítí*. Brno, 2002. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
- [104] VRBKOVÁ, P., KUČERA, T., BERÁNEK, J., Moduly CARE-W pro dlouhodobé a roční plány rekonstrukcí. In *Ztráty vody ve vodárenských distribučních systémech*, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2003 ISBN 80-7204-301-3.
- [105] KUČERA, T., Multikriteriální optimalizace při ročním plánování rekonstrukcí vodovodních sítí. In *Problematika vodního hospodářství 2003*, ČVUT v Praze, Praha, 2003. ISBN 80-01-02844-5.
- [106] TNV 757121 - Jakost vod. Požadavky na jakost vody dopravované potrubím.
- [107] SERVAIS, P., BILLEN, G., LAURENT, P., LEVI, Y., RANDON G. Bacterial regrowth in distribution systems, In *Proceedings Water Quality Technology Conference*, AWWA, 1993, Miami.
- [108] STRNADOVÁ N., ČERNÁ L., HLADÍKOVÁ Z. Změna biologické stability pitné vody. In *Pitná voda 2014*, s. 205-210. W&ET Team, Č. Budějovice 2014. ISBN 978-80-905238-1-4.
- [109] JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 2. vyd. Praha: Professional Publishing, 2002, 323 s. ISBN 80-864-1942-8.
- [110] BELTON, V., STEWART, T. J.: *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. ISBN 0-7923-7505-X.
- [111] AMADI-ECHENDU, Joe E., Roger WILLETT, Kerry BROWN, Tony HOPE, Jay LEE, Joseph MATHEW, Nalinaksh VYAS a Bo-Suk YANG. What Is Engineering Asset Management? AMADI-ECHENDU, Joe E., Kerry BROWN, Roger WILLETT a Joseph MATHEW, ed. *Definitions, Concepts and Scope of Engineering Asset Management* [online]. London: Springer London, 2010, 2010, s. 3-16 [cit. 2019-11-

- 20]. Engineering Asset Management Review. DOI: 10.1007/978-1-84996-178-3_1. ISBN 978-1-84996-177-6.
- [112] VIŠČOR, P., RUČKA, J.: Testování prototypu CARE-W na brněnské vodovodní síti. In *Zráty vody ve vodárenských distribučních systémech*. Sborník odborného semináře. Brno: Akademické nakladatelství Cerm, 2003. ISBN 80-7204-301-3.
- [113] SAEGROV, S. et al. CARE-W Computer Aided REhabilitation of Water Networks. In *19th NODIG conference*, CD. Praha 2001.
- [114] *Příčiny koroze a protikorozi ochrana vodovodního potrubí a armatur*. Sborník přednášek mezinárodního odborného semináře. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-7204-227-0.
- [115] WEI, Jianrong, Bixiong YE, Wuyi WANG, Linsheng YANG, Jing TAO a Zhiyu HANG. Spatial and temporal evaluations of disinfection by-products in drinking water distribution systems in Beijing, China. *Science of The Total Environment* [online]. 2010, **408**(20), 4600-4606 [cit. 2019-11-20]. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.06.053. ISSN 00489697.
- [116] AL-JEEBORY, A. A., GHAWI, A. H.: Performance Evaluation of AL-Dewanyia Water Treatment Plant in IRAQ. *Al-Qadisiya Journal For Engineering Sciences*, 2009, **2**(4), 1-18. ISBN 19984456.
- [117] KOŽÍŠEK, F., JELIGOVÁ, H., BUDIŠOVÁ, D., PAUL, J., PAŠKOVÁ, P., STARA, J., HUŠKOVÁ, R., KUČERA, T., HLOUŠEK, T. *Zjednodušená metodika na zpracování posouzení rizik malých systémů zásobování pitnou vodou podle zákona o ochraně veřejného zdraví*. Státní zdravotní ústav, Národní referenční centrum pro pitnou vodu, 2018. s. 1-39.
- [118] BIELA, R.; KUČERA, T. Efficacy of sorption materials for nickel, iron and manganese removal from water. In *2nd EWaS International Conference. Procedia Engineering*. 1. Philadelphia, USA: Elsevier Ltd., 2016. p. 56-63. ISSN: 1877-7058.
- [119] KUČERA, T.; TUHOVČÁK, L.; TAUŠ, M.: TEA W; TEA Water - technický audit vodovodních sítí (řídící modul). Internet. URL: <http://www.teawater.cz>. (software)

Seznam použitých zkratek a symbolů

BDOC	biodegradable dissolved organic carbon, biologicky rozložitelný organický uhlík,
C	následky,
c	koncentrace,
c_r	hodnota kvalitativního ukazatele v surové vodě,
c_t	hodnota kvalitativního ukazatele v upravené vodě,
CARE-W	Computer Aided REhabilitation of Water Networks,
CT	CT faktor jako součin zbytkové koncentrace čínidla a průměrné doby působení,
d_i	trvání i-té události selhání,
e	účinnost pro daný ukazatel,
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis, analýza možného výskytu a vlivu vad,
FTA	Fault tree analysis, analýza stromu poruchových stavů,
H	dopravní výška,
HAZOP	Hazard and Operability Study, analýza ohrožení a provozuschopnosti,
HCI	Hydraulic Criticality Index, vliv na hydraulickou spolehlivost,
$CHSK_{MN}$	chemická spotřeba kyslíku,
ID	identifikátor,
KNK	kyselinová neutralizační kapacita,
MH	mezní hodnota,
n	počet událostí selhání,
N	celkový počet uzlů sítě,
NMH	nejvyšší mezní hodnota,
n_N	počet uzlů s nevyhovujícím tlakem v případě vyřazení i-té entity,
NTU	Nephelometric Turbidity Units, nefelometrická jednotka zákalu,
°C	stupeň Celsia,
P	pravděpodobnost výskytu nežádoucího stavu,
PI	Performance Indicator, výkonnostní ukazatel,
Q	průtok,
Q_{100}	kulminační průtok při povodni, který je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen 1krát za 100 let,
Q_{opt}	optimální průtok,
R	spolehlivost,
R	míra rizika,

Res	odolnost systému,
ST	stavebně-technický,
T	celková doba včetně běžné doby provozu a doby selhání,
TP	technologicko-provozní,
u_f	hodnota kvalitativního ukazatele pitné vody na výstupu z úpraveny za stavu výpadku daného prvku,
u_{lim}	limitní hodnota kvalitativního ukazatele pitné vody,
u_n	hodnota kvalitativního ukazatele pitné vody na výstupu z úpraveny vody za běžného provozního stavu (bez poruchy),
US EPA	United States Environmental Protection Agency,
UV	ultrafialové záření,
ÚV	úpravna vody,
VaK	vodovody a kanalizace,
ZF	jednotka zákalu, zákal formazinem (bez určení metody stanovení).