



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

KONTAMINACE PITNÉ VODY VE VODOVODNÍM SYSTÉMU DRINKING WATER CONTAMINATION IN WATER SUPPLY SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

EVA ČERNÍKOVÁ
Ing. JAN RUČKA, Ph.D.

BRNO 2012

 **VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Eva Černíková

Název Kontaminace pitné vody ve vodovodním systému

Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2011

Datum odevzdání bakalářské práce 25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011


doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu


prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura


- 1) World Health Organization, Safe Piped Water: Managing Microbial Water Quality in Piped Distribution Systems. Edited by Richard Ainsworth. ISBN: 1843390396. Published by IWA Publishing, London, UK
- 2) World Health Organization, WHO Guidelines for drinking-water quality 3rd edition, WHO Geneva, 2004, ISBN 92 4 154638 7
- 3) Koříštek, F. a kol., 2006: Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství, SOVAK, Praha, 2006, www.szu.cz
- 4) National Research Council of the national academies, 2006: Drinking Water Distribution Systems – Assessing and reducing Risks, the National Academic Press, Wasington D.C., ISBN: 0-309-10306-1, 2006

Zásady pro vypracování

Práce je tématicky zaměřena na problematiku kontaminace pitné vody ve vodárenských systémech. Cílem práce je vyhledat dostupné informace o incidentech, které se v minulosti ve světě vyskytly, tyto informace zpracovat a systematicky vyhodnotit příčiny, které kontaminaci způsobily.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací


Ing. Jan Ručka, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Cílem této práce je zhodnotit možné příčiny a důsledky kontaminace pitné vody ve vodovodním systému. V úvodu se obecně seznamujeme s problematikou dodávky vody a novodobým přístupem k distribuci pitné vody. Dále jsou zde popsány jednotlivé části vodovodní sítě, a jak fungují. Také se pozastavíme nad problematikou kontaminace pitné vody. Jaké jsou možné mechanismy kontaminace, co způsobuje zákal a které mikroorganismy jsou nejčastějším zdrojem nákazy. V poslední části je přehled událostí, kdy došlo ke kontaminaci pitné vody a jaké z toho plynuly důsledky. Ke každému případu je na začátku zhotoven krátký formulář, který shrnuje podstatné informace o případu a umožní rychlou orientaci v problému.

Klíčová slova

pitná voda, kontaminace, zákal, mikrobiologické znečištění, vodovod

Abstract

The aim of this thesis is to consider the possible causes and consequences of contamination of drinking water in the water supply system. In the introduction are general information about the problems with water supply and some new approaches to water distribution system. In the next part there are described components of the water supply system and how they work. There are also described problems of drinking water contamination in water supply system. What are the mechanisms, what causes the turbidity and which microorganisms are the most common source of infections. In the final part there are described individual cases of drinking water contamination and what were the consequences. In the beginning there is a short form to every case which provides you a quick orientation in the problem.

Key words

drinking water, contamination, turbidity, microbiological contamination, water supply system

Bibliografická citace

ČERNÍKOVÁ, Eva. *Kontaminace pitné vody ve vodovodním systému*. Brno, 2012. 63 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis autora

Poděkování

Chtěla bych tímto poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Janu Ručkovi, Ph.D., za ochotu, odborné rady a připomínky. Děkuji také všem, kteří mi pomáhali dohledat potřebné informační zdroje. Velký dík patří i mé rodině a přátelům za podporu během celého studia.

Tato práce byla podporována projektem TA02020604 - Nástroje pro prevenci zniku zákalu ve vodovodních sítích.

OBSAH

1	ÚVOD	10
1.1	Stávající stav.....	10
1.2	Projekty	12
1.2.1	Water Safety Plan.....	12
1.2.2	MICRORISK	12
1.2.3	TECHNEAU	12
1.2.4	WaterRisk	13
1.2.5	Projekt TA02020604 – Nástroje pro prevenci vzniku zákalu ve vodovodních sítích.....	13
1.3	Cíl práce	14
2	SYSTÉMY ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU	15
2.1	Popis systému	15
2.1.1	Vodní zdroj	15
2.1.2	Jímání vody.....	16
2.1.3	Úprava vody.....	17
2.1.4	Vodojemy.....	18
2.1.5	Čerpací stanice	18
2.1.6	Distribuční systém.....	19
2.2	Legislativa.....	20
3	KONTAMINACE PITNÉ VODY	21
3.1	Vybrané ukazatele jakosti vody a vybrané mikroorganismy	21
3.1.1	Ukazatel: Clostridium perfringens	22
3.1.2	Giardia intestinalis.....	23
3.1.3	Cryptosporidium parvum.....	24
3.1.4	Ukazatel: Enterokoky	26
3.1.1	Ukazatel: Koliformní bakterie	27
3.1.2	Ukazatel: Escherichia coli	28
3.1.3	Ukazatel: zákal.....	29
3.2	Možné Mechanismy kontaminace	31
3.2.1	Znečištění zdroje	31
3.2.2	Znečištění při úpravě vody	32
3.2.3	Znečištění při distribuci vody	32
3.3	Faktory ovlivňující růst mikroorganismů v distribučním systému.....	33
3.4	Následky kontaminace	34
3.5	Následná opatření.....	35
4	PŘÍPADY KONTAMINACE PITNÉ VODY	36
4.1	Velká Británie – město Camelford (1988)	36
4.2	Wisconsin, USA – město Milwaukee (1993)	37

4.3	Missouri, USA – město Gideon (1993)	39
4.4	Brazílie – město Caruaru (1996)	40
4.5	Kanada – město Walkerton (2000)	42
4.6	Česká republika – středočeský kraj (2000)	44
4.7	Norsko – město Bergen (2004)	45
4.8	Velká Británie – severozápadní Wales (2005)	47
4.9	Dánsko – město Køge (2007)	48
4.10	Irsko – město Galway (2007)	50
4.11	Finsko – město Nokia (2007)	51
4.12	Colorado, USA – město Alamosa (2008)	52
5	ZÁVĚR	54
6	POUŽITÁ LITERATURA	56
	SEZNAM TABULEK	60
	SEZNAM OBRÁZKŮ	61
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	62
	SUMMARY	63

1 ÚVOD

1.1 STÁVAJÍCÍ STAV

S rozvíjejícím se průmyslem, urbanizací, zemědělstvím a se zvyšujícím se znečištěním životního prostředí má lidstvo stále větší problémy nalézt kvalitní zdroje pitné vody. Přestože celkový objem vody v atmosféře, oceánech, mořích, ledovcích, povrchových vodách i vodách podzemních se odhaduje na 1,337 miliardy km³, asi jen 0,01 % z celkového množství připadá na sladkou vodu, která může být využita pro pitné účely. (SOBOTA, 2004) Je tedy nutné chránit životní prostředí a zejména zdroje pitné vody. Voda v přírodě totiž bezprostředně přebírá vlastnosti prostředí, ve kterém se vyskytuje, a tím jsou ovlivněny její fyzikální, chemické či biologické vlastnosti.

Přestože je v mnoha zemích kvalitně propracovaný systém dodávky a úpravy pitné vody, stále je na světě téměř 900 milionů lidí, kteří nemají přístup k čisté pitné vodě. V Evropě je to asi 32 milionů lidí, z toho je asi 80 % lidí z venkovských oblastí. (WHO/Europe, 2010) Nejhuře jsou na tom samozřejmě rozvojové země, kde nejsou vodovodní ani kanalizační systémy a není dostatek kvalitních zdrojů. Zdroje jsou většinou vzdáleny i několik kilometrů od obydlených oblastí a i ty bývají znečištěny. Velkým problémem je i nedostatečné povědomí o hygieně a z toho plynoucí zdravotní rizika. Podle Světového fondu ochrany přírody (WWF) problém s dodávkou kvalitní pitné vody začínají mít i velká a vyspělá města, a tak celá situace dostává i politický rozměr. V Evropě, země, které leží kolem Atlantského oceánu, trpí opakujícími se suchy a v oblasti Středomoří se zdroje vody vyčerpávají turistickým ruchem a zavlažováním. V Japonsku zase přibývá kontaminovaných vod a naproti tomu ve Spojených státech amerických jsou rozlehlé oblasti, kde se spotřebovává více vody, než je schopno se přirozeně obnovit. A podle WWF se bude situace i nadále zhoršovat.

Jak vypadá situace u nás od roku 1996 lze zjistit ze zpráv Státního zdravotního ústavu (SZÚ). Od roku 2003, kdy začala platit změna zákona o ochraně veřejného zdraví, se musí všechny rozbor pitné vody vkládat do centrální databáze, informačního systému PiVo. Díky tomu je možno zpracovat zprávu o jakosti pitné vody v celé ČR. Podle Zprávy o kvalitě pitné vody v ČR za rok 2010, vydané SZÚ, bylo ze sítí veřejných vodovodů zásobováno 92,62 % obyvatel a bylo odebráno 34 469 vzorků na rozbor pitné vody. Limity zdravotně významných ukazatelů, kde se sleduje nejvyšší mezní hodnota (NMH) byly překročeny v 1 822 případech. Mezní hodnoty (MH) ukazatelů, především organoleptických vlastností,

nebyly dodrženy v 11 659 vzorcích. Za rok 2010 byla evidována jedna šetřená epidemie ve Zlínském kraji, kde byla pitná voda prokázaným přenašečem nákazy. Jednalo se o komerční studnu v ubytovacím zařízení.

Už se obecně vžilo do podvědomí lidí, že pitná voda je natolik citlivá a náchylná požívatinou, že je třeba ji užívat s rozvahou a chránit. Již řadu let proto vznikají různá hnutí a projekty, které se snaží chránit životní prostředí, zdraví lidí a v neposlední řadě také kvalitu pitné vody.

Je nutné přehodnotit starý systém a hodnocení kvality vody, který se zabýval až konečným produktem a ex post monitoringem. Naproti tomu, nový systém si dává za úkol hodnotit rizika celého vodovodního systému a preventivní monitoring se systémem včasného varování. Významným podnětem pro vznik a implementaci řízení rizik jsou možné záměrné (válka, terorismus, sabotáž, vandalismus, vloupání, aj.) nebo nahodilé ohrožení, různé zásahy do distribučního systému, poruchy, havárie, selhání lidského faktoru apod. Světová zdravotnická organizace (World Health Organisation - WHO) spolu s mezinárodní organizací IWA (International Water Association) a dalšími projekty jako je TECHNEAU, WaterRisk, Microrisk apod. se snaží vytvářet nové systémy hodnocení rizik, nový systém dodávky pitné vody a kvalitnější monitoring vodovodů. Řeší se všechny možná rizika „from source to tap“, neboli od zdroje až ke kohoutku. Kvalita pitné vody se kontroluje kombinací zabezpečení a ochrany vodních zdrojů, dále se kontroluje úprava vody a řídí se distribuce a nakládání s vodami. Toto se dotýká nejen aspektů ekologických ale i zdravotních, sociálních, ekonomických a kulturních.

Ačkoli by se zdálo, že WSP je již tou pravou metodou, podle které by se měly vodárenské společnosti a provozovatelé vodovodů chovat, připravovaná novela Směrnice Rady 80/778/EHS o jakosti vody určené k lidské spotřebě nebude WSP zahrnovat. V letošním lednovém čísle časopisu SOVAK bylo publikováno sdělení předsedkyně komise EU1 asociace provozovatelů vodovodů a kanalizací EUREAU, P. Castell-Exner: „... z rozhodnutí DG Envi nebudou tzv. *Water safety plans* zahrnuty do Směrnice o pitných vodách, ale naopak DG Envi bude podporovat aplikaci této směrnice i na malé zdroje pitných vod ...“. (SOVAK, 2012) Zatím však nejsou známy žádné informace o novém, jiném, metodickém přístupu k zajištění bezpečného zásobování pitnou vodou. (VYKYDAL, 2012)

1.2 PROJEKTY

1.2.1 Water Safety Plan

WHO uveřejnila plán na záchranu vody (Water Safety Plan – WSP), jehož základní myšlenkou je dodávat vodu v takové kvalitě, která neohrožuje lidské zdraví. WSP sestává ze tří základních částí, a to ze systému hodnocení, kontrolních opatření a řídicích plánů, které popisují jak postupovat při normálních a extrémních podmínkách a incidentech.

Součástí tohoto plánu je také HACCP (Hazard Analysis and Critical Points – analýza rizik a kritické kontrolní body), což je systém, který se používá především v potravinářském průmyslu a v posledních letech je snaha ho začlenit i do oblasti vodárenství.

1.2.2 MICRORISK

zahájení: 1. 11. 2002, ukončení: 31. 1. 2006

MICRORISK byl společný výzkumný projekt podporovaný Evropskou komisí v rámci 5. rámcového programu (kontrakt č. EVK1-CT-2002-00123), jehož cílem byl vývoj objektivního uceleného rámce pro kvantitativní hodnocení bezpečnosti pitné vody z hlediska mikrobiologické hrozby, pro státy, které jsou členy Evropské unie.

Podrobné informace o projektu jsou dostupné z: www.microrisk.com.

1.2.3 TECHNEAU

zahájení: 1. 6. 2006, ukončení: 31. 12. 2010

TECHNEAU (Technology Enabled Universal Access to Safe Water), byl integrovaný výzkumný projekt, který vznikl za finanční podpory Evropské komise v rámci 6. rámcového programu (kontrakt č. 018320 GOCE). Byl to zatím největší evropský projekt zaměřený na oblast vodárenství.

Jeho cílem bylo vytvořit adaptivní systém dodávky pitné vody a nový a vylepšený systém úpravy a monitoringu pitné vody. Předpokládá také využití nekonvenčních vodních zdrojů, jako jsou slané podzemní vody, městské podzemní vody a vyčištěná odpadní voda. Rámec pro posuzování rizik a hodnocení rizik bude pomáhat vodárenským společnostem použít tento nový přístup do praxe.

Podrobné informace o projektu, ale i další zajímavé publikace jsou dostupné z: www.techneau.org.

1.2.4 WaterRisk

zahájení: 1. 7. 2006, ukončení: 30. 6. 2010

WaterRisk - Identifikace, kvantifikace a řízení rizik veřejných systémů zásobování pitnou vodou, byl národní vědecko-výzkumný projekt, jehož účelem bylo vytvoření metodiky pro identifikaci, kvantifikaci a řízení rizik veřejných systémů zásobování pitnou vodou a její následná implementace u provozovatelů vodárenských společností. Především se tento projekt zabývá nebezpečím a nežádoucími stavy, které mohou mít vliv na kvalitu, omezení nebo přerušení dodávek pitné vody.

Cílem bylo implementovat WSP, který zahrnuje též metodu HACCP, do této metodiky tak aby se zajistila zvýšená spolehlivost dodávky pitné vody i její kvalita všem odběratelům a umožnil se kontinuální monitoring a řízení její jakosti během výroby i distribuce.

Výstupem je metodický návod Analýza rizik veřejných vodovodů, který byl vydán knižně roku 2010 a také webové stránky s podrobnostmi o projektu dostupné z: <http://www.waterrisk.cz/>.

1.2.5 Projekt TA02020604 – Nástroje pro prevenci vzniku zákalu ve vodovodních sítích

zahájení: 1. 1. 2012, ukončení: 31. 12. 2014

Jedná se o projekt, který si klade za cíl vyvinout metodiku a sadu nástrojů (odbornou metodiku, speciální měřidlo a softwarovou aplikaci), která se pak bude implementovat do reálného vodárenského provozu a umožní tak předcházet vzniku zákalu ve vodovodních sítích, efektivně je odkalovat a tím řídit jakost vody v síti. V takovémto provozu se pak sníží materiálová a energetická náročnost provozu a v neposlední řadě také jakost dodávané pitné vody. Tento projekt se zaměřuje na vývoj nástrojů pro prevenci vzniku zákalu ve vodovodních sítích.

Tato bakalářská práce byla vypracována v rámci řešení tohoto projektu TA02020604 - Nástroje pro prevenci vzniku zákalu ve vodovodních sítích.

1.3 CÍL PRÁCE

Cílem práce je vyhledat dostupné informace o incidentech, kdy se kontaminovala pitná voda, a to v kterékoliv části vodovodního systému, které se v minulosti ve světě vyskytly a tyto informace zpracovat a vyhodnotit. Podstatné je také hledisko toho, zda byl při kontaminaci pitné vody sledován zákal, který indikuje možnou hrozbu kontaminace.

2 SYSTÉMY ZÁSBOVÁNÍ PITNOU VODOU

2.1 POPIS SYSTÉMU

Vodovod je podle zákona č. 274/2001 Sb. definován takto: „*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.*“

Základem je zdroj surové vody. Odsud je voda jímána a čerpána na úpravnu vody, kde je podle potřeby zabezpečena a upravena na vodu pitnou. Dále se voda přiváděcím řadem dostává do vodojemu, kde se akumuluje. Zásobovacím řadem je poté voda přiváděna do spotřebiště, které je tvořeno vodovodní sítí. Tak je to ve většině případů centrálního zásobování pitnou vodou.

2.1.1 Vodní zdroj

Vodním zdrojem jsou vody povrchové nebo podzemní. Odebíraná voda musí vyhovovat normě ČSN 75 7214 Jakost vod. Surová voda pro úpravu na pitnou vodu. Také musí být zaručeno, že zdroj vody je stálý a dostatečně vydatný.

Podzemní zdroje bývají pro pitné účely často vhodnější, protože obsah organického znečištění bývá minimální nebo žádný. Oproti tomu bývá větší výskyt oxidu uhličitého, hydrogenuhličitanů, síranů, vápníku, hořčíku, sodíku a chloridů. Podzemní vody bývají často anoxické v důsledku nízkého obsahu kyslíku. Může se vyskytnout i zdroj s vyšší koncentrací radonu. Vlastnosti vody závisí na hloubce a místě výskytu. Podzemní zdroje často nevyžadují žádnou zvláštní úpravu.

Povrchové zdroje rozdělujeme na tekoucí (vodní toky) a stojaté (nádrže). Obecně se považují za horší zdroje než zdroje podzemní. Jejich kvalita je kolísavá a požadují vyšší nároky na úpravy vody. Oproti podzemní vodě je voda povrchová obohacena o kyslík. Koncentrace kyslíku závisí na teplotě, fotosyntéze a obsahu biologicky rozložitelných látek, obsahuje velké množství organických látek a malé množství oxidu uhličitého.

V roce 2010 bylo v ČR 41,28 % obyvatel a 3 610 oblastí (89,38 %) zásobováno pitnou vodou vyrobenou z podzemních zdrojů, 30,75 % a 272 oblastí (6,73 %) z povrchových zdrojů a 27,97 % a 156 oblastí (3,86 %) ze smíšených zdrojů. (ZPRÁVA, 2011)

2.1.2 Jímání vody

Jímání vody z podzemních zdrojů je zajištěno buď vertikálními zařízeními – studnami nebo zařízeními horizontálními.

Studny se dělí podle typu hladiny na:

- studny s volnou hladinou
- studny s napjatou hladinou.

Podle vztahu k nepropustnému podloží na:

- studny úplné
- neúplné.

Horizontální zařízení se dělí na:

- jímací zářezy
- galerie
- štoly.

Dalším způsobem jímání je infiltrace a to buď břehová, nebo umělá. A pramenní jímky zachycují přirozeně vytékající podzemní vodu na povrchu. Pokud se voda neodebere, odtéká jako voda povrchová dál do terénu.

Jímání vody z povrchových zdrojů závisí především na její kvalitě. Ta musí být taková, aby se běžnými technologickými postupy dala upravit na vodu pitnou. Musí se vhodně zvolit místo odběru, aby nebyly omezeny nároky ostatních uživatelů, aby byl zabezpečen minimální průtok v řečišti, aby nedošlo k zanášení jímacího zařízení a narušení lodní dopravy.

V tekoucích vodách můžeme použít jímání břehové nebo řečištní a dnové nebo nade dnem. U stojatých vod jsou výhodou stabilnější podmínky. Nevýhodou může být dlouhodobě nepříznivá kvalita. U hlubokých nádrží se projevuje stratifikace, kdy v různých vrstvách je různá kvalita vody odvislá od teploty. Nižší teplota přispívá k lepší kvalitě surové vody.

Jímání provádíme:

- věžovými jímacími objekty,
- odběry nade dnem nádrže,
- plovoucí odběry.

2.1.3 Úprava vody

Podle typu zdroje vody a jeho znečištění se volí odpovídající úprava vody. Základním principem úpravy vody je:

- úprava fyzikální (cezení vody, hrubé a jemné odlučování nečistot, aerace, prostá flotace, prostá sedimentace, prostá filtrace, adsorpce)
- chemická (koagulace po nadávkování chemikálií, flokulace po nadávkování chemikálií, flotace nadávkované vody, čiření nadávkované vody, sedimentace nadávkované vody, koagulační filtrace nadávkované vody, filtrace nadávkované vody, chemické odželezování a odmanganování vody, chemické odkyselení vody, chemické zušlechťování vody, dezinfekce vody,...)
- nebo biologická a mikrobiologická (likvidace organického či anorganického znečištění působením organismů – aerobní nebo anaerobní).

Úpravny vody dělíme podle rozsahu úpravy na:

- jednoduchou úpravu vody bez separačního stupně (voda minimálně znečištěná, převážně podzemní),
- úpravu vody s jednostupňovou separací (jedná se vždy o filtraci – rychlofiltry, mechanická prostá filtrace bez koagulátu, koagulační filtrace),
- úpravu vody s dvoustupňovou separací (v případě vyšších koncentrací suspendovaných, koloidních a rozpuštěných látek; druhým separačním stupněm je vždy filtrace – mikrofilmy, filtry, sedimentační nádrže, čiřiče, flotace vody)
- úpravu vody s vícešupňovou separací (při mimořádném požadavku na kvalitu vody nebo v případě značného znečištění).

Důležitou částí při úpravě vody je i její dezinfekce, kdy se zneškodňují choroboplodné zárodky bakterií, virů a prvoků. K dezinfekci se používají zejména volný chlór, oxid chloričitý, chloramin, ozón, KMnO_4 , H_2O_2 , UV záření, oligodynamické těžké kovy. Po dezinfekci se musí sledovat účinnost zneškodnění nežádoucích látek, hodnoty zbytkového chlóru, ale také zda se netvoří vedlejší produkty dezinfekce.

2.1.4 Vodojemy

Vodojemy slouží k zajištění tlakových poměrů v síti, akumulaci vody a její následné distribuci do spotřebišť.

Podle konstrukčního typu dělíme vodojemy na:

- zemní
- nadzemní.

Zemní vodojem má většinou dvě akumulární komory a armaturní komoru. Podle půdorysného tvaru je dělíme na kruhové a krabicové. Nadzemní vodojemy jsou jednokomorové a použitým materiálem je ocel (kulový tvar – hydroglobus, aquaglobus; čočkovitý tvar) nebo železobeton (válcové nebo obrácený kužel).

Je nutné kvalitní provedení pracovních spár a použití vhodných materiálů a nátěrů, které mají atestaci na styk s pitnou vodou. Není naprosto vhodné, aby do armaturní komory pronikalo sluneční záření, protože dochází k množení plísní a organismů a poté může dojít ke kontaminaci vody. (AMBROŽOVÁ, 2009) Podle normy, ČSN 73 6650 Vodojemy, musí být každá nádrž vodojemu vybavena vlastním samostatným větracím zařízením. Tyto větrací zařízení musí být určitým způsobem zajištěny, aby nedošlo ke vzdušné kontaminaci vody ve vodojemu. Velmi praktické a jednoduché řešení představuje rounová textilie, která zabrání mechanickým nečistotám prostup do prostoru vodojemu. (MERGL, 2009)

2.1.5 Čerpací stanice

Čerpací stanice zabezpečují dopravu vody v případech, kdy není možné dodávat vodu gravitačním způsobem. Surovou vodu čerpají ze zdrojů do úpraven nebo přímo do vodojemů. Na úpravě vody jsou vlastní technologické čerpací stanice a další pro dopravu upravené vody do spotřebišť. Čerpací stanice pro vodárenské účely musí být postaveny tak, aby byly jednoduché, bezpečné a aby měly hospodárny provoz.

2.1.6 Distribuční systém

Mezi hlavní používané materiály patří:

- kovové – ocel, litina (šedá, tvárná),
- nekovové – sklo, laminát, plasty (PVC, PE), beton, azbestocement.

Veškeré použité materiály musí mít doložen atest pro styk s pitnou vodou. Materiál musí být vhodně zvolen tak, aby dokázal odolat vnějšímu i vnitřnímu zatížení. Udržení dobré kvality pitné vody v distribučním systému záleží na návrhu a provozu sítě ale také na údržbě a pravidelných kontrolách potrubí, vodojemů, a všech částí systému.

Účelem vodovodní distribuční sítě je dodávat pitnou vodu za požadovaného tlaku a průtoku. Je důležité vyhnout se nízkým průtokům a tlakům a také minimalizovat dobu průtoku, aby byla udržena kvalita vody. Při stagnaci vody v potrubí totiž mikroorganismy snáze tvoří biofilm na stěnách potrubí.

Při návrhu by se mělo dbát na to, aby byl zvolen vhodný materiál, zabránit propojení potrubí s jiným distribučním systémem, aby nedošlo k nasátí kontaminované vody. V síti by neměl vzniknout podtlak, a mělo by se předcházet vzniku tlakových rázů a zamezit delší stagnaci vody v systému. Také je důležité zvážit, jaký bude mít dopad smíchání vody ze dvou zdrojů na trubní systém. Je nutné kontrolovat zbytkovou dezinfekci, aby byla v povolených hodnotách a nebylo ohroženo zdraví spotřebitele. (SAFE PIPED WATER, 2004)

2.2 LEGISLATIVA

V České republice je oblast výroby a zásobování pitnou vodou rozdělena mezi ministerstvo životního prostředí (MŽP), ministerstvo zemědělství (MZe) a ministerstvo zdravotnictví (MZ). Každé z ministerstev má v kompetenci určitou oblast. MŽP má na starosti ochranu vodních zdrojů, MZe spravuje oblast využití vodních zdrojů, výrobu pitné vody a její dopravu ke spotřebiteli, MZ zajišťuje jakost pitné vody u spotřebitele. Právní úprava je takto komplikovanější, avšak je do důsledku legislativně zajištěno zásobování od zdroje vody až ke spotřebiteli. Vodoprávní úřady potom zajišťují dozor nad dodržováním vodního zákona a zákona o vodovodech.

Zákony, normy a vyhlášky:

Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a změně některých zákonů (vodní zákon)

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

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

Vyhláška č. 252/2004 Sb., o jakosti pitné vody, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

ČSN 75 7214 Jakost vod

ČSN 73 6650 Vodojemy

Požadavky na jakost pitné vody a její kontrolu v zákoně o ochraně veřejného zdraví vycházejí v zásadě z evropské Směrnice Rady 98/83/ES o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu. Česká legislativa obsahuje ale například o patnáct ukazatelů více (beryllium, hořčík a vápník, chloritany, atp.) a má také u některých ukazatelů stanoveny přísnější limity (např. pro měď, TOC, $CHSK_{Mn}$, chlorid, atd.).

3 KONTAMINACE PITNÉ VODY

Pitná voda musí být zdravotně nezávadná. Ve vyhlášce č. 252/2004 §3 stojí: „*Pitná voda nesmí obsahovat mikroorganismy, parazity a látky jakéhokoliv druhu v počtu nebo koncentraci, které by mohly ohrozit veřejné zdraví.*“ Právě výskyt těchto nežádoucích látek a mikroorganismů je většinou příčinou akutní kontaminace pitné vody a vede k řadě zdravotních, technických a ekonomických problémů.

Abychom zjistili, zda můžeme považovat vodu za pitnou, necháme si udělat rozbor vody. Ve vyhlášce č. 252/2004 jsou uvedeny ukazatele pro úplný a krácený rozbor, které je třeba sledovat. Celkově je ukazatelů pro úplný rozbor šedesát dva, a jsou to ukazatele mikrobiologické, biologické, fyzikální, chemické a organoleptické. V následujících řádcích bych se chtěla zaměřit hlavně na patogenní mikroorganismy, jejichž přítomnost se ve vodě neověřuje přímo, ale systémem zástupných ukazatelů. Těm se také říká indikátory fekálního znečištění, protože většina těchto mikroorganismů, které způsobují kontaminaci pitné vody, je fekálního původu. A také zákal, který s kontaminací mikroorganismy úzce souvisí.

3.1 VYBRANÉ UKAZATELE JAKOSTI VODY A VYBRANÉ MIKROORGANISMY

Je potřeba vymezit některé důležité pojmy z vyhlášky 252/2004 Sb, §2.

Mezní hodnotou se rozumí – „*hodnota organoleptického ukazatele jakosti pitné vody, jejích přirozených součástí nebo provozních parametrů, jejíž překročení obvykle nepředstavuje akutní zdravotní riziko.*“

Nejvyšší mezní hodnotou se rozumí – „*hodnota zdravotně závažného ukazatele jakosti pitné vody, v důsledku jejíhož překročení je vyloučeno použití vody jako pitné, ...*“

3.1.1 Ukazatel: *Clostridium perfringens*

Mezní hodnota pro bakterii *Clostridium perfringens* podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. je 0 KTJ/100 ml.

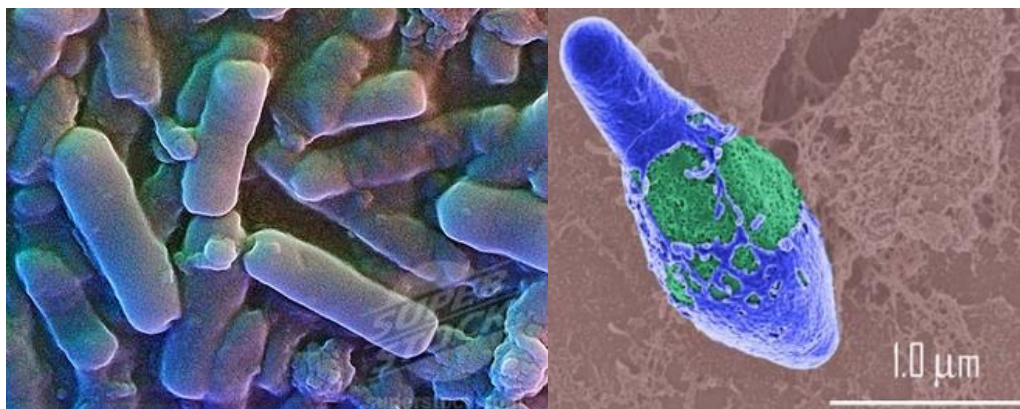
Význam ukazatele:

Slouží jako indikátor přítomnosti virů a prvoků (především *Cryptosporidium parvum* a *Giardia lamblia*) v upravené vodě. Protože spory *C. perfringens* přežívají ve vodním prostředí mnohem déle než patogeny, může též sloužit jako indikátor staršího (přerušovaného) fekálního znečištění. (KOŽÍŠEK, 2006)

Popis a tvar:

Jedná se o grampozitivní sporulující anaerobní tyčinky rodu *Clostridium*.

Ve vegetativním stádiu se jedná o tyčinky, které jsou poměrně silné ($> 1 \mu\text{m}$) a mají různou délku (2-10 μm). Tvorba oválných, tyčinku vydouvajících spor probíhá ve střevě.



Obr. 3.1 *Clostridium perfringens*, spor (vpravo)

Výskyt:

Vyskytuje se jako součást normální střevní mikroflóry u zvířat i člověka, zde obvykle ve množství 10^6 - 10^8 /g. Spory lze snadno nalézt i jinde v prostředí, např. v půdě, a mohou snadno kontaminovat potraviny, zvláště maso.

Toxiny a patogeneze:

Jsou nejčastějším původcem plynaté sněti (infekce měkkých tkání), toxiny této bakterie mohou také vyvolat toxikózy trávicího traktu.

C. perfringens je producentem celé řady toxických enzymů a na základě spektra tvořených toxinů lze jednotlivé kmeny rozdělit do pěti toxických typů, označovaných A – E. Pro člověka je patogenní především typ A.

Hlavním toxinem je toxin alfa, který se svými nekrotizujícími účinky podílí významnou měrou na rozpadu povrchových membrán svalových buněk a leukocytů a na rozvoji infekcí měkkých tkání.

C. perfringens produkuje do potravin termolabilní (lze zničit varem) *enterotoxin* ale jejich termorezistentní spory jsou schopné přežít var. Po požití dochází ve střevě k jejich sporulaci a uvolňování toxinů. Koliky a vodnaté průjmy způsobené uvolněnými toxiny se objeví během 6 - 12 hodin po požití této stravy a odezní do 24 hodin. (VOTAVA, 2003)

3.1.2 Giardia intestinalis

Giardie jsou bičíkatci, kteří jsou původci průjmovitých nálezů.

Popis a tvar:

Pohybliví trofozoiti giardií mají tvar podélně rozkrojené hrušky a měří 10 – 15 x 6 – 10 μm . Typickým znakem je to, že mají většinu organel v buňce zdvojených: dvě stejná jádra, dvakrát čtyři bičíky, proto se zdánlivě jeví jako oboustranně symetrickí. Na břišní straně buňky je přísavka ve tvaru disku, pomocí které se trofozoit dočasně přichycuje k epitelu střeva.

Cysty giardií jsou oválné o velikosti 8 – 12 x 7 – 10 μm , obsahují čtyři jádra a rozložený přísavný disk.



Obr. 3.2 Giardia intestinalis: trofoziti (vlevo) a cysta (vpravo)

Výskyt:

Giardie jsou rozšířeny po celém světě, hojněji v teplém podnebném pásmu, v zemích s nízkým hygienickým standardem a na místech, kde se vyskytuje mnoho osob. Nacházíme je častěji u dětí než u dospělých.

Zdrojem nákazy je infikovaný člověk a některá zvířata (psi, potkani), která vylučují cysty ve stolici. Přenos probíhá fekálně-orální cestou hlavně z člověka na člověka. Cystami se může člověk nakazit z vody nebo potravin.

Symptomatika a patogeneze:

Giardióza je průjmová infekce související s jídlem, člověk se nakazí požitím cyst vodou nebo potravinami. K nákaze stačí méně než deset cyst. Cysty projdou žaludkem a ve dvanáctníku dochází k vybuzení, při kterém se z cysty uvolní po následném rozdělení dva trofoziti. Ti přilnou k povrchu střevních buněk dvanáctníku a množí se binárním dělením. Nejsou invazivní, nepronikají do buněk. Postupně okupují horní partie tenkého střeva. Při některých patologických stavech mohou osídlit epitel žlučových cest. V dolních partiích tenkého střeva giardie vytvářejí cysty a po částech tlustým střevem odcházejí se stolicí do prostředí. Jsou infekční ihned po vyloučení a díky chemickému složení a stavbě stěny jsou cysty velmi odolné k podmínkám vnějšího prostředí.

Nákaza se klinicky projevuje pouze v 10 % případů, většinou tedy probíhá bez symptomů nebo má slabý průběh. Inkubační doba je 5 – 15 dní.

Mezi akutní příznaky giardiosy patří: bolesti nadbříšku, nevolnost, zvýšená plynatost, zvracení, průjmy. Po odeznění akutní fáze, která může být zvláště u dospělých bez příznaků, nastupuje chronická fáze onemocnění, která se klinicky neprojevuje. (VOTAVA, 2003)

Přežití ve vodě:

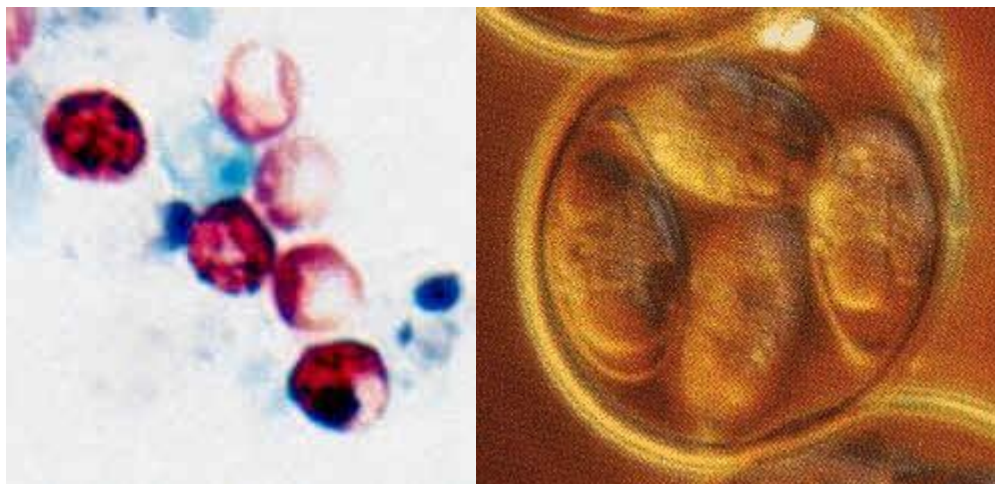
Detekční doba pro infekční stádium ve vodě při 20 °C je střední, což znamená jeden týden až jeden měsíc. Rezistence vůči chlóru je vysoká. (GUIDELINES, 2008)

3.1.3 Cryptosporidium parvum

Jedná se o prvoky, kteří patří mezi střevní kokcidie, a ty jsou rozšířeny po celém světě. *C. parvum* nemá tedy specifického hostitele.

Popis a tvar:

Diagnosticky nejdůležitější vývojové stádium jsou kulovité oocysty, o velikosti 2 – 5 μm , se čtyřmi sporozoity.



Obr. 3.3 Cryptosporidium parvum: oocysty (vlevo), oocysta se čtyřmi sporozoity (vpravo)

Výskyt:

Zdrojem nákazy jsou domácí a volně žijící zvířata (hlodavci, drůbež, skot, opice), ale i člověk (hlavně HIV-pozitivní pacienti). Oocysty jsou dosti odolné vůči vnějším vlivům, vyskytují se ve vodě pitné nebo bazénové. Podobně jako u giardií je zde možný fekálně orální přenos, v souvislosti s tím jsou rizikovou skupinou homosexuálové. Nejlepší prevencí je osobní a potravní hygiena.

Symptomatika a patogeneze:

Člověk se může nakazit kontaminovanou vodou, nebo (méně často) potravou obsahující oocysty. Po spolknutí nebo inhalaci se oocysty dostávají do tenkého střeva, na střevním epitelu se excystují a uvolnění sporozoiti napadají epitel. V epiteliálních buňkách se kokcidie množí nejprve nepohlavně a potom pohlavně – po splynutí samčích a samyčích gamety vznikají dva typy oocyst:

- a) silnostěnné, které opouštějí tělo stávajícího hostitele a mohou nakazit hostitele nového,
- b) tenkostěnné, které se podílejí na autoinfekci. Masové pomnožení parazitů ve střevním epitelu vede k destrukci enterocytů (jednoduchá epitelová buňka v tenkém a tlustém střevu). Inkubační doba je asi 5 dní.

Onemocnění se projevuje jako asi 10 dnů trvající vodnaté nekrvavé průjmy s bolestmi břicha a zvracením, případně teplotou. U jedinců s oslabenou imunitou jde o chronické, úporné, život ohrožující průjmy s horečkou, bolestmi břicha, úbytkem váhy a končící smrtí. (VOTAVA, 2003)

Přežití ve vodě:

Detekční doba pro infekční stádium ve vodě při 20 °C je dlouhá, což znamená více jak měsíc. Rezistence vůči chlóru je vysoká. (GUIDELINES, 2008)

3.1.4 Ukazatel: Enterokoky

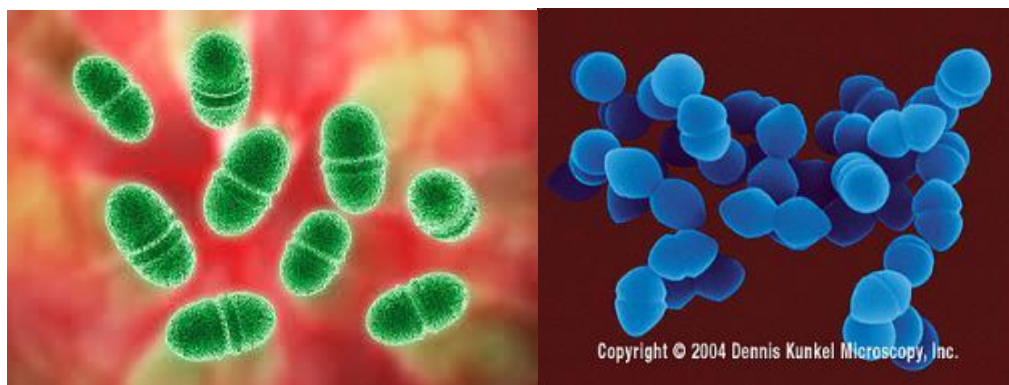
Nejvyšší mezní hodnota podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. je 0 KTJ/100 ml a 0 KTJ/250 ml.

Význam ukazatele:

Enterokokové infekce u člověka jsou přibližně v 90 % vyvolány *Enterococcus faecalis*, v 7 % *Enterococcus faecium*. Další sdruby (*Enterococcus gallinarum*, *Enterococcus durans*, *Enterococcus casseliflavus*, *Enterococcus mundtii*, *Enterococcus flavescens*) se při infekcích uplatňují vzácně. Enterokoky jsou hlavně původci infekcí močových cest, ale jsou spojováni i s infekcemi ran a nitrobršními záněty.

Popis a tvar:

Jedná se o grampozitivní, oválné až lehce protáhlé koky uspořádané ve dvojicích, drobných shlucích nebo krátkých řetězcích.



Obr. 3.4 Enterococcus faecalis (vlevo) Enterococcus faecium (vpravo)

Výskyt:

Enterokoky tvoří součást normální střevní flóry. Patří mezi závažné podmíněné patogeny, infekce jimi způsobené mohou být endogenní i exogenní, často nosokomiální (infekce, jejíž první známky se u pacienta vyskytnou za více než 48 hodin po přijetí do nemocnice). Nosokomiální kmeny jsou často rezistentní na všechna konvenčně používaná antibiotika.

Patogeneze:

Enterokoky sice nemají toxin, ale jako faktory virulence se mohou uplatnit mnohé vylučované produkty jako želatinasa (hydrolyzuje kolagen, želatinu, hemoglobin aj.) a substance typu feromonu (láká bílé krvinky a může regulovat zánětlivou odpověď).

3.1.1 Ukazatel: Koliformní bakterie

Nejvyšší mezní hodnota podle vyhlášky 252/2004 Sb. je 0 KTJ/100 ml.

Význam ukazatele:

Jedná se o gremnegativní fakultativně anaerobní tyčinky. Tyto bakterie jsou z čeledi *Enterobacteriaceae*. Typickými zástupci jsou rody *Escherichia*, *Shigella*, *Hafnia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter* aj.

Koliformní bakterie zahrnují i organismy, které dokážou přežít a množit se ve vodě. Proto nejsou spolehlivým indikátorem fekálního znečištění, ale mohou být považovány za indikátor účinnosti úpravy vody a dezinfekce, vysokého obsahu živin v upravené vodě nebo sekundární kontaminace.

Výskyt:

Vyskytují se v odpadních i přírodních vodách. Některé druhy žijí ve střevním traktu lidí a živočichů, ale většina je heterotrofní a schopna se množit jak ve vodě, tak v půdě. Koliformní bakterie také mohou přežít a růst v distribučním systému, převážně v ulpělém biofilmu.

Přežití ve vodě:

Pokud jsou i po dezinfekci vody koliformní bakterie stále přítomny, indikují tak neadekvátní úpravu vody. Přítomnost v distribučním systému a ve vodojemech může znamenat rozrůstání biofilmu nebo kontaminaci průnikem cizorodé látky (půda, rostlina, aj.).

3.1.2 Ukazatel: *Escherichia coli*

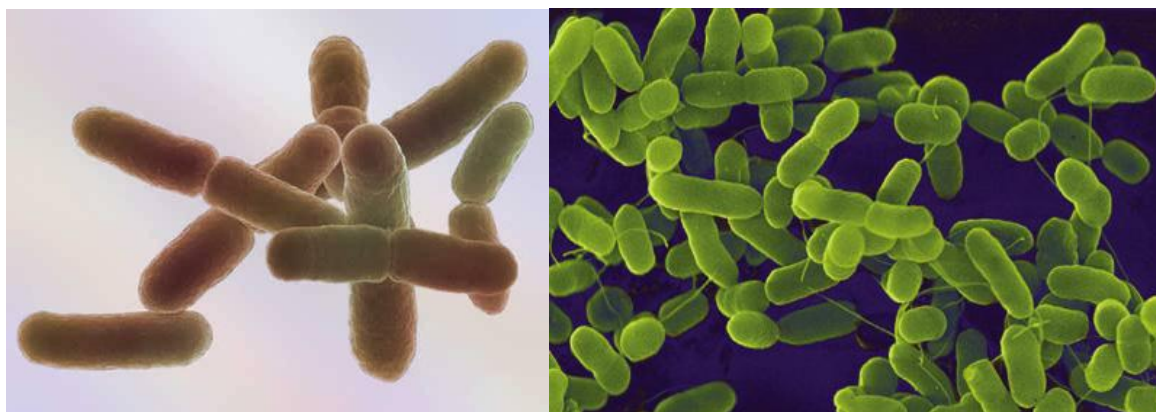
Nejvyšší mezní hodnota podle vyhlášky 252/2004 Sb. je 0 KTJ/100 ml a 0 KTJ/250 ml.

Význam ukazatele:

Vzhledem k extrémní citlivosti na dezinfekci je přítomnost *E. coli* v pitné vodě znakem toho, že úprava vody je nedostačující, či došlo k porušení integrity distribučního systému a indikuje čerstvé fekální znečištění.

Popis a tvar:

Jsou to gramnegativní nesporeující tyčinky, dlouhé kolem 2 až 3 μm , které se málo liší od jiných gramnegativních tyčinek. Jsou pohyblivé.



Obr. 3.5 *Escherichia coli*

Výskyt:

Jedná se o gramnegativní fakultativně anaerobní tyčinky z rodu *Escherichia*. *E. Coli* je běžnou součástí střevní mikroflóry zdravých lidí a teplokrevných zvířat. Je komenzálem (neškodný příživník živící se zbytky potravy hostitele) a také symbiontem, neboť svým působením jednak znemožňuje průnik patogenů, jednak je makroorganismu prospěšná i přímo – podílí se na tvorbě některých vitaminů, především K.

Vyskytuje se tedy i ve výkalech. Pravidelně se vyskytuje v plodinách, které byly v kontaktu s hnojenou půdou.

Patogenita a patogeneze:

Jde o podmíněně patogenního mikroba, který může způsobovat i chorobné stavy. Ve střevě je to možné jen tehdy, když je kmen vybaven specifickými faktory virulence (schopnost mikroorganismů vyvolat infekci); mimo střevo je *E. coli* téměř vždy patogenní.

Patogenní působení ve střevě:

Kmeny EPEC (enteropatogenní, dyspeptická *E. coli*) disponují faktory virulence, které ne zcela jasným způsobem vedou ke vzniku novorozeneckých průjmů. Nejznámější jsou antigenní typy O55, O111, O126, O86 a další.

Kmeny ETEC (enterotoxigenní *E.coli*) nejsou přímo vázány na určité sérotypy. Produkuje dva typy enterotoxinů – ST (tepelně stabilní) a LT (tepelně labilní). ETEC jsou nejčastější bakteriální příčinou průjmů v rozvojových zemích. Projevují se nejvíce u těch, kteří se s nimi ještě nesešli. Jsou příčinou cestovatelských průjmů. Tyto průjmy si prodělává většina cestovatelů z ekonomicky vyspělých zemí, když cestují do zemí rozvojových.

Kmeny EIEC (enteroinvazivní *E.coli*) disponují faktory invazivity, které umožňují invazi do střeva. Infekce těmito kmeny vede ke krvavým průjmům.

Kmeny STEC (VTEC, EHEC) jsou nejzávažnější. Počátkem infekce bývají těžké průjmy. Zpravidla dojde k systematizaci infekce a vzniku hemolyticko-uremického syndromu (HUS). Tím se tato skupina poněkud vymyká definici „střevního působení“. Nejběžnějším sérotypem je O157:H7. Zdrojem infekce je hovězí dobytek, vehikulem většinou maso. Riziko zvyšuje nízká infekční dávka – udává se, že k vyvolání infekce stačí deset bakterií. (VOTAVA, 2003)

Epidemiologie:

Mikrob se přenáší fekálně-orální cestou. Protože je *E. coli* poměrně odolná, je možný přenos i kontaktem, a řada mimo střevních infekcí je pak endogenního původu. (VOTAVA, 2003)

Přežití ve vodě:

Detekční doba pro infekční stádium ve vodě při 20 °C je krátká, což znamená do týdne. Rezistence vůči chlóru je vysoká. (GUIDELINES, 2008)

3.1.3 Ukazatel: zákal

Mezní hodnota podle vyhlášky 252/2004 Sb. je 5 ZF (t, n), kde *t* znamená turbidimetrickou a *n* nefelometrickou metodu.

Význam ukazatele:

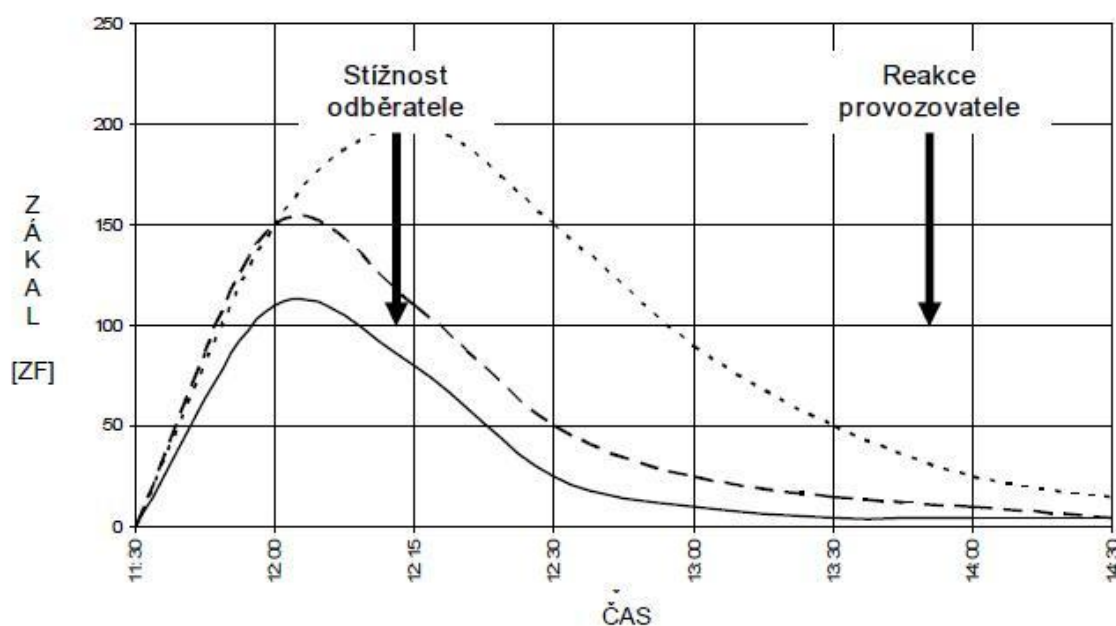
Jednoduše můžeme říci, že zákal je ukázkou relativní čistoty vody. Čistota a průhlednost vody je velmi důležitá pro spotřebitele, protože podle ní hodnotí kvalitu dodávané vody. Viditelný zákal je samozřejmě pro spotřebitele esteticky nepřijatelný, protože takové vodě nevěří.

Zákal v pitné vodě je způsoben částicemi a nečistotami, které jsou přítomny v surové vodě a při neadekvátní filtraci na úpravně vody nemusí být všechny dostatečně odstraněny. Také se zákal tvoří korozi potrubí distribučního systému, odlupováním biofilmu z povrchů distribučního systému apod. Dále může docházet ke vnosu částic z vnějšího prostředí (při opravách, kvůli netěsnostem).

Jemné částice jsou například jílové částice, bahno, prach, anorganická nebo organická hmota, plankton a jiné mikroorganismy. Typickým zdrojem zákalu v pitné vodě je vypouštění odpadní vody, smyv z povodí, řasy ve vodních nádržích, organická hmota z rozkladu rostlin, vysoký podíl železa zabarvující vodu do rezava, částečky z procesu úpravy vody.

Velké množství zákalu může ochránit mikroorganismy před účinky dezinfekce a podporovat růst bakterií. Proto musí být hodnota zákalu nízká, aby byla následná dezinfekce účinná. Zákal je důležitým indikátorem při kontrole kvality vody, protože zvýšený zákal může indikovat problémy při úpravě vody, koagulaci, sedimentaci nebo filtraci. (GUIDELINES, 2008)

Jedná se o snadno měřitelný ukazatel náhlých změn v kvalitě vody, který se dá sledovat on-line. Zákal se ve vodovodním potrubí objeví spíše nárazově ve formě tzv. zákalových událostí, které vznikají zejména náhlými změnami hydraulických podmínek v systému. Jedná se o resuspendaci jemných částic, které se akumulují na stěnách potrubí. (RUČKA, 2009)



Obr. 3.6 Typický průběh zákalové události v čase (RUČKA, 2009)

3.2 MOŽNÉ MECHANISMY KONTAMINACE

Voda může posloužit jako šířitel nákazy, které mohou být zejména způsobeny kontaminací lidskými nebo zvířecími exkrementy (*Escherichia coli O157:H7*, *Cryptosporidium*, aj.), vodní mikroorganismy (nontuberculous mycobacteria, *Legionella*, aj.), znečištěním chemickým (organické látky, anorganické látky, těžké kovy, vedlejší produkty dezinfekce, aj.) nebo radiologickým (přírodní nebo umělé radioizotopy).

Člověk se může nakazit jak přímým požitím vody, tak inhalací či kontaktem přes kůži. Každý jedinec je jinak citlivý na různé hrozby a je možné, že při opakované expozici nízkých počtů některých patogenů si jedinec může vytvořit specifickou imunitu a na závadnou vodu se adaptovat. Nejsme ovšem schopni kvantitativně posoudit skutečnou náchylnost člověka na různé formy znečištění, a proto ochrana citlivých jedinců závisí na bezpečnostních prvcích, které hlídají kvalitu pitné vody. (DRINKING WATER, 2006)

3.2.1 Znečištění zdroje

Jedná se o znečištění látkami nebezpečnými pro zdraví člověka. A to buď v přírodě se vyskytující, které se do vody dostanou z geologického podloží nebo pocházející z antropogenní činnosti. Odlišné znečištění nalezneme ve vodě povrchové a ve vodě podzemní.

U **podzemních vod** je nejčastějším problémem kontaminace vody dusičnany ze zemědělství nebo lokální znečištění z průmyslu. V ČR je časté znečištění v důsledku těžby uhlí, z jednotlivých průmyslových oborů a z rozmachu železniční, silniční a letecké dopravy. Do horninového prostředí v těchto případech pronikaly ropné produkty, chlorované alifatické uhlovodíky, těžké kovy, aj. V souvislosti s úpravou uranové rudy v 80. letech docházelo ke znečištění prostředí radioaktivními látkami. (ECKHARDT, 2009)

Znečištění, do horninového prostředí a následně do podzemní vody, prosakuje v důsledku netěsnícího potrubí, nekvalitně zaizolovaných nádrží, špatně odizolovaných skladovacích prostor. Také však při běžném provozu v průmyslových odvětvích mohou prosakovat nebezpečné látky do podloží. Dále se vyskytují problémy u malých a mělkých zdrojů (studny) v důsledku komunálního znečištění (průsaky z jímek, septiků), nesprávného uložení komunálního odpadu a odpadu z chovu hospodářských zvířat, ale také splachy ze zemědělských ploch a komunikací.

Hlavně se tedy jedná se o bakteriální, organické znečištění a dusičnany. Vzhledem k rozmanitosti geologického podloží se setkáváme s vyšším přírodním obsahem nežádoucích prvků, jako je arsen, beryllium, antimon či fluoridy. (KOŽÍŠEK, 2006)

Povrchové vody mají opět problém s antropogenním znečištěním ze zemědělství a v menší míře též z lesnictví (pesticidy, dusičnany). Největší znečištění v ČR pochází z průmyslové výroby, zejména závody na výrobu celulózy. Také se vyskytuje bodové znečištění z nedostatečně čištěných komunálních odpadních vod. Zde nalézáme fosfor, zbytky léků a různé chemikálie, které se běžně v domácnostech používají. Patogenní bakteriální znečištění zapříčiňují odpadní vody z živočišné výroby, splachy z pastvin, komunální odpadní vody, ale také netěsnící žumpy a septiky. Jednou z příčin zhoršování jakosti povrchových vod je také eutrofizace.

3.2.2 Znečištění při úpravě vody

Mohlo by se zdát, že v místě úpravy vody na pitnou už voda nemůže být ohrožena, ale není tomu tak. Může nastat havárie, kdy selže technika nebo lidský faktor, kteří dávkuje chemikálie do upravené vody. Jinak je běžné, že se do upravené vody dostávají stopové prvky chemikálií, které se k úpravě vody používají, např. hliník z použitého koagulátu, který nebyl dokonale vyvločkován a odfiltrován. Nesmíme ovšem zapomenout na vedlejší produkty dezinfekce, které vznikají reakcí silného oxidačního činidla s anorganickými či organickými látkami v surové vodě nebo rozpadem dezinfekčního činidla (např. trihalogenmethany, chlorfenoly, anorganické chloraminy, atp.). Vedlejších produktů dezinfekce bylo dosud identifikováno několik set. (KOŽÍŠEK, 2006)

3.2.3 Znečištění při distribuci vody

Při distribuci pitné vody je spotřebitel potenciálně ohrožen různými haváriemi nebo nevhodně zvolenými materiály potrubí či jinými komponenty vodovodu. Jedním z problémů je porušení integrity potrubí nebo některé části distribučního systému. Poté dochází k poklesu tlaku a může dojít k nasátí znečištěné podzemní vody nebo odpadní vody do systému a tím dochází ke kontaminaci pitné vody. Často se jedná o mikrobiální kontaminaci, což může mít za následek výskyt průjmových onemocnění.

Žádný nový trubní materiál není sterilní, proto musí být před použitím řádně zkontrolovány a vydezinfikovány než přijdou do kontaktu s pitnou vodou. (DRINKING WATER, 2006)

Podle typu použitého materiálu se do vody z kovových prvků mohou uvolňovat látky jako olovo, hliník, nikl či měď. Nebezpečí představují i PE potrubí, které, pokud jsou umístěné v nevhodné zemině, přes svůj povrch propustí některé organické látky.

Není možné, aby došlo k propojení potrubí pitné a užitkové vody. Velmi jednoduše, změnou tlaku, může dojít k nasátí kontaminované vody do distribuční sítě pitné vody.

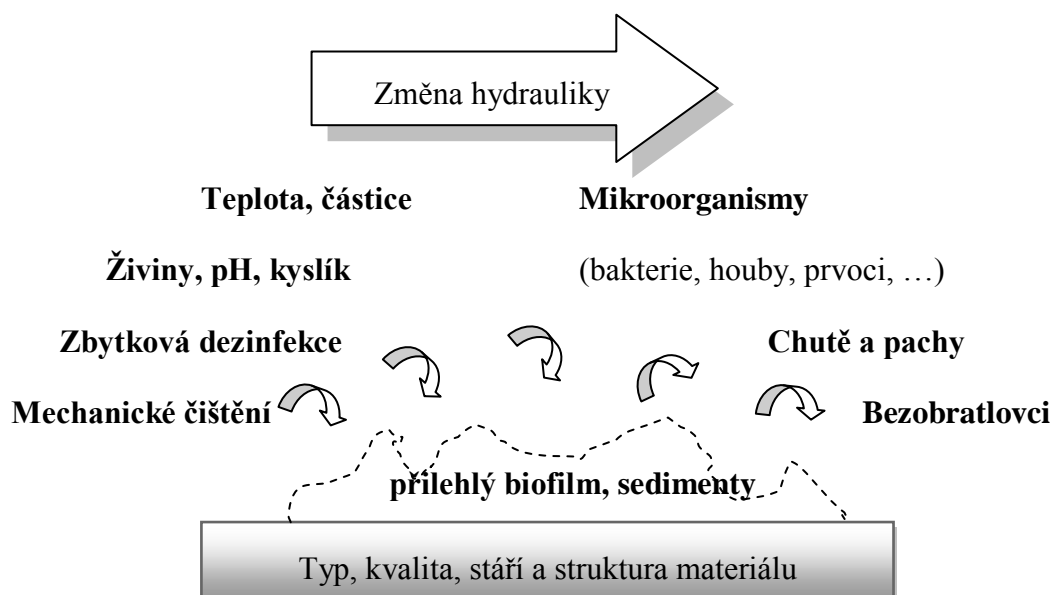
Velmi důležité je řádné zabezpečení vodojemů, před vniknutím nežádoucí kontaminace. Všechny přístupy musí být uzavřeny tak, aby nebyl možný přístup různých malých živočichů nebo ptáků. Vodojemy je nutné konstrukčně uspořádat tak, aby bylo minimalizováno biologické oživení a následná tvorba biofilmu na stěnách vodojemu. (AMBROŽOVÁ, 2009)

3.3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ RŮST MIKROORGANISMŮ V DISTRIBUČNÍM SYSTÉMU

V distribučním systému se biologická aktivita projevuje zejména na rozhraní vody a struktury materiálu, kde se často vytváří biofilm a utváří se sedimenty. Jejich tvorba závisí na druhu materiálu distribuční sítě, na hydraulice, fyzikálních a chemických vlastnostech vody. Jemné částice, které se dostanou přes všechny stupně úpravy vody, mohou adsorbovat na svůj povrch různé mikroorganismy, které poté vytvářejí biofilm nebo sedimenty. Změnou hydrauliky (změna směru, změna rychlosti průtoku) se sedimenty mohou snadno rozvířit, biofilm se může odtrhnout od stěny potrubí a poté dochází ke kontaminaci pitné vody.

Mezi důležité faktory patří:

- **teplota** – pokud jsou ve vodě živiny potřebné pro růst mikroorganismů, tak jejich aktivita roste se zvyšující se teplotou nad 15 °C,
- **pH** – většina mikroorganismů přežívá při pH běžném pro pitnou vodu,
- **kyslík** – většinou se nedostane do spodních vrstev biofilmů a sedimentů, kde se množí anaerobní mikroorganismy,
- **živiny** – některé mikroorganismy se mohou rozmnožovat, pokud je ve vodě přítomna organická hmota obsahující uhlík, dusík a fosfor. (SAFE PIPED WATER, 2004)



Obr. 3.7 Faktory ovlivňující mikrobiální změny v distribučním systému (převzato ze Safe Piped Water)

3.4 NÁSLEDKY KONTAMINACE

Na zdraví člověka se závadnost pitné vody projevuje po různě dlouhé době, co jí byl člověk exponován. Záleží na koncentraci znečištění a o jakou závadnou součást se jedná.

Účinek na člověka se projevuje po požití vody za různě dlouhou dobu. Rozdělujeme tedy účinek dvojího typu, a to:

- akutní a
- chronický.

Pokud se projeví nemoc velmi rychle (řádově hodiny až dny) po požití vody, jedná se o akutní účinek, pokud se nemoc projeví za velmi dlouhou dobu (několik měsíců až let), hovoříme o účinku chronickém. Obecně platí, že chronický účinek je způsoben chemickými látkami a akutní účinek vyvolávají mikroorganismy, samozřejmě ale existují i výjimky.

3.5 NÁSLEDNÁ OPATŘENÍ

Po zjištění, že přenašečem nákazy je pitná voda je zapotřebí ihned upozornit konzumenty a vydat zákaz užívání bez předchozího převaření nebo zákaz úplný, v závislosti na typu kontaminace. Upozornění obyvatel probíhá všemi možnými prostředky a to telefonicky, rozhlasem, rádiem, emailem, poštou. Ze zákona č. 274/2001 je provozovatel vodovodu povinen zajistit náhradní zásobování vodou podle místních podmínek a technických možností a to při haváriích vodovodu i při plánovaných opravách, udržovacích i revizních pracích.

Je nutné co nejdříve zajistit zdroj kontaminace pitné vody a zamezit opětovnému kontaminování. Musí se provést propláchnutí a řádná dezinfekce celého distribučního systému, kde došlo ke kontaktu s kontaminovanou vodou. Pokud byly zjištěny závady na stavebních částech je nutné je opravit. Vodovodní řady se dezinfikují před uvedením do provozu nebo po opravě. Nejprve se vodovodní řad propláchne vodou v množství, které se rovná nejméně objemu vody v řadu. Poté se řad napustí chlorovou vodou (obvykle roztok chlornanu sodného) o doporučeném obsahu volného chloru 2 – 10 g/m³ a chlorová voda se nechá působit optimálně jeden až dva dny. Poté se chlorová voda vypustí a provede se závěrečné propláchnutí pitnou vodou. (KOŽÍŠEK, 2006)

Je důležité, aby se provedlo důkladné šetření a aby se zamezilo opakování situace. Výsledky a poznatky získané z vyšetřování mohou pak sloužit i jako cenný zdroj informací pro jiné vodovody. (GUIDELINES, 2008)

4 PŘÍPADY KONTAMINACE PITNÉ VODY

4.1 VELKÁ BRITÁNIE – MĚSTO CAMELFORD (1988)

Tab. 4.1 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Camelford 1988

FORMULÁŘ HLAVNÍCH UKAZATELŮ NÁKAZY	
Stát, město, rok události	Velká Británie, Camelford, 1988
Druh ohrožení	chemické
Specifikace kontaminace	síran hlinitý
Místo vzniku kontaminace	úpravna vody - havárie
Byl pozorovaný zákal?	ano
Způsob nákazy	požití
Symptomy onemocnění	vyrážka, bolesti kloubů, bolest v krku, ztráta paměti, celková vyčerpanost
Evidováno nemocných lidí (z toho úmrtí)	400 (0)

V Lowermooru je úpravna vody, ze které je zásobováno asi dvacet tisíc obyvatel města Camelford v hrabství Cornwall. Událost se stala 6. června roku 1988. Úpravna byla navržena jako bezobslužná a dodavatel, který zajišťoval dovoz síranu hlinitého, poslal náhradního řidiče, který nebyl s úpravnou řádně seznámen. Řidič měl 20 tun síranu hlinitého vypustit do nádrže k tomu určené, avšak nevěděl, která to je a stalo se to, že všechen síran hlinitý vypustil do nádrže s upravenou vodou, která šla do již přímo do distribuce.

Lidé si okamžitě začali stěžovat na chuť vody, podráždění kůže a korozivní účinek vody na rozvody vody. Přesto za celé dva dny nebyla určena příčina. Odhaduje se, že konzumenti byli přes tři dny vystaveni vodě, která měla pH 3,9 až 5. Nejvyšší množství naměřené koncentrace hliníku obsaženého ve vodě bylo asi 620 mg/l (NMH je 0,2 mg/l) a koncentrace síranu byla asi 4 500 mg/l (MH je 250 mg/l). Jakmile se zjistila příčina, proplachem se rapidně snížila koncentrace zhruba na 1 mg/l.

Během následujících měsíců si více než 400 obyvatel města začalo stěžovat na řadu symptomů, např. vyrážky, bolesti kloubů, bolesti v krku, ztráta paměti a celková vyčerpanost.

Bylo vydáno několik závěrečných zpráv, kde se uvádí, že nejsou přesvědčivé důkazy o tom, že by existovala souvislost mezi obecným rozšířením nemocí během vystavení lidí kontaminované vodě. Jsou však odborné názory, že někteří lidé si nesou trvalé následky. (HEALTH STREAM, 2002)

4.2 WISCONSIN, USA – MĚSTO MILWAUKEE (1993)

Tab. 4.2 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Milwaukee 1993

FORMULÁŘ HLAVNÍCH UKAZATELŮ NÁKAZY	
Stát, město, rok události	Wisconsin, USA, Milwaukee, 1993
Druh ohrožení	mikrobiologické
Specifikace kontaminace	<i>Cryptosporidium</i>
Místo vzniku kontaminace	povrchový zdroj – nedostatečná úprava vody
Byl pozorovaný zákal?	ano
Způsob nákazy	požití
Symptomy onemocnění	průjem, zažívací obtíže
Evidováno nemocných lidí (z toho úmrtí)	400 000 (100)

Pro město Milwaukee a dalších devět okolních obcí, kde žilo v té době asi 1,6 milionů obyvatel, byla dodávána pitná voda z jezera Michigan. Jsou zde dvě úpravní vody, jedna je situována v severní části města a druhá v jižní.

Na přelomu března a dubna se začal pozorovat výrazný nárůst střevních obtíží u obyvatel zásobovaných z jižní úpravní vody. Započalo tedy vyšetřování příčin a zjistilo se, že v období od 21. března do 5. dubna roku 1993 se na jižní úpravně pozoroval vysoký nárůst zakalení upravené vody. Po tomto zjištění se stala voda předpokládaným zdrojem nákazy a večer

7. dubna byli obyvatelé upozorněni, aby vodu nepili nebo před požitím převařili. Jižní úpravna byla uzavřena 9. dubna.

Přesto, že se průjmové onemocnění velmi rychle šířilo, pravá příčina onemocnění prvokem *Cryptosporidium* byla zjištěna až 7. dubna. Lékaři prvně špatně diagnostikovali infekci a mysleli si, že se jedná o virové onemocnění. Testování na infekci způsobenou těmito prvoky totiž není součástí běžného zkoumání, tudíž se v základním vyšetření nepřišlo na pravou příčinu nákazy. (MacKENZIE, 1994)

V době kontaminace pitné vody byl na jižní úpravně používán polyaulminium chlorid jako koagulant a chlór na hygienizaci vody. Po filtraci byla vyčištěná voda přechovávána ve velké čisté studni, než byla distribuována do sítě. Tato technologie byla však zavedena jen několik měsíců před propuknutím epidemie, dříve se používal jako koagulant síran hlinitý. Tento zásah do technologie snížil účinnost úpravy. Když potom na jaře roku 1993 přišly silné deště, v jezeře se zhoršila kvalita vody a úpravna již nebyla schopna vodu dostatečně vyčistit. (KOŽÍŠEK, 2006)

Odhaduje se, že během této kontaminace pitné vody onemocnělo kolem 400 000 obyvatel střevními potížemi, z nichž asi 4 000 bylo hospitalizováno. Zhruba 100 lidí zemřelo v důsledku této epidemie, jednalo se převážně o jedince s oslabenou imunitou a pacienty s AIDS. Některé studie však poukazují, že tyto údaje jsou poněkud přehnané, i kdyby se ale snížily čísla na polovinu, stále by se jednalo o největší epidemii způsobenou kontaminací pitné vody v dějinách USA. Náklady spojené s léčbou a ztráta ze snížené produktivity práce se odhadují na 96 milionů dolarů. (HEALTH STREAM, 2003)

4.3 MISSOURI, USA – MĚSTO GIDEON (1993)

Tab. 4.3 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Gideon 1993

FORMULÁŘ HLAVNÍCH UKAZATELŮ NÁKAZY	
Stát, město, rok události	Missouri, USA, Gideon, 1993
Druh ohrožení	mikrobiologické
Specifikace kontaminace	koliformní bakterie, fekální koliformní bakterie, <i>Salmonella typhimurium</i>
Místo vzniku kontaminace	distribuční síť – holubí trus a peří ve vodojemu
Byl pozorovaný zákal?	není uvedeno
Způsob nákazy	požití
Symptomy onemocnění	střevní chřipka
Evidováno nemocných lidí (z toho úmrtí)	650 (7)

Ve městě Gideon žilo v době kontaminace pitné vody asi 1 100 obyvatel. Voda byla jímána ze dvou hlubokých studní, kde byla velice kvalitní voda, tudíž nebyla nijak upravována ani hygienicky zabezpečena. Voda byla ze studní čerpána do tří rezervoárů. Dva byly ve vlastnictví města (50 000 a 100 000 galónů) a jeden byl v soukromém vlastnictví (100 000 galónů).

V listopadu roku 1993 byl po třech letech užívání proveden výplach distribuční sítě a tím pádem se do oběhu dostala ve značném množství i voda z rezervoárů. Při běžném provozu byla voda v rezervoárech jen zřídka kdy vyměněna.

V prosinci byl ve vzorcích odebraných z distribuční sítě potvrzen pozitivní nález koliformních a fekálních koliformních bakterií, další testování potvrdilo přítomnost bakterie *Salmonella typhimurium*. Kvůli průkazné kontaminaci byli obyvatelé upozorněni, aby si převařili vodu před použitím.

Kontaminace vody zapříčinila 650 případů střevní chřipky, 15 osob muselo být hospitalizováno a 7 lidí zemřelo. Při vyšetřování se přišlo na to, že 100 000 galonový městský

rezervoár má špatně zajištěnou střechu, a tak dovnitř získali přístup holubi. Při inspekci se na to přišlo až 12. ledna roku 1994, kdy zde bylo objeveno množství holubího peří a trusu. (LAMFERS, 2011)

4.4 BRAZÍLIE – MĚSTO CARUARU (1996)

Tab. 4.4 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Caruaru 1966

FORMULÁŘ HLAVNÍCH UKAZATELŮ NÁKAZY	
Stát, město, rok události	Brazílie, Caruaru, 1996
Druh ohrožení	mikrobiologické
Specifikace kontaminace	hepatotoxické sinice - mykrocystiny
Místo vzniku kontaminace	povrchový zdroj – nedostatečná úprava vody
Byl pozorovaný zákal?	ano
Způsob nákazy	nitrožilní
Symptomy onemocnění	poruchy vidění, nevolnost, zvracení, bolesti hlavy, svalová slabost
Evidováno nemocných lidí (z toho úmrtí)	101 (50)

Voda pro město Caruaru byla odebírána z nádrže Tabocas, která je ve vzdálenosti asi 40 km. Přiváděcím řadem se voda dopravila na úpravnu vody, kde byl přidáván hlinitý koagulant. Poté se voda přefiltrovala přes pískový filtr a na výstupu byl přidán chlór. Takto upravená voda byla přiváděna téměř do celého města, včetně hemodialyzačních center A a B. Ovšem v průběhu období letního sucha, od února do března, byla voda do centra A přiváděna dvakrát denně cisternami. Do vody byl přidán koagulát, avšak dále už voda nebyla přefiltrována nebo chlorována. Když vodu přivezli do centra A, byla filtrována přes pískový filtr a protékala nádrží s aktivním uhlím, přes ionizační jednotku a mikrofiltraci. Nebyly už přidávány žádné chemikálie. Podle zaměstnanců zajišťující údržbu těchto zařízení se nádrž s aktivním uhlím měnila zhruba každých šest měsíců, pískový filtr a mikrofilmy se měnily asi každé tři měsíce.

Přesto nebylo žádné z těchto zařízení měněno tři měsíce před propuknutím nákazy, i když voda, která byla přivážena cisternami do centra A, byla viditelně zakalená. Po propuknutí prvních příznaků, 17. února 1996, byly vyměněny pískové filtry a mikrofiltry. Aktivní uhlí se vyměnilo až 25. února 1996.

Během února, roku 1996, se v brazilském hemodialyzačním centru A léčilo 130 pacientů. Pacienti byli léčeni po dobu čtyř hodin, třikrát týdně. Průměrný věk pacientů byl 40 let. Pro 124 pacientů (95 %) bylo provedeno laboratorní vyšetření. Z toho u 101 pacientů byla potvrzena nákaza mykrocystiny, které jsou produkovány hepatoxickými sinicemi, a projevílo se u nich onemocnění. Z těchto 101 pacientů zemřelo na akutní selhání jater 50 lidí do 15. září 1996. Pacienti si stěžovali mezi hlavním na poruchy vidění (např. rozostřené vidění, výpad části zorného pole, šeroslepost, aj.) dále nevolnost a zvracení, bolesti hlavy a svalovou slabost. V centru B se léčilo 47 pacientů a pro 41 bylo provedeno vyšetření. U žádného nebyla potvrzena nákaza mikrocystiny.

Mezi obdobím 17. února až 15. září došlo v obou centrech k úmrtí celkem 9 pacientů, nebyla však prokázána souvislost s nákazou mikrocystiny (nikdo nezemřel na akutní selhání jater).

Byla provedena toxikologie a nebyly nalezeny žádné pesticidy ani organofosfáty ve vzorcích odebraných z nádrže, úpravny vody, distribučního systému pro hemodialyzační centra ani v cisterně dovážející vodu pro centrum A. Voda z městského distribučního systému ani voda z dialyzačního centra B neobsahovala žádné mikrocystiny. Ty však byly nalezeny ve vodě v nádrži, v cisterně přivážející vodu a na úpravně v centru A, dále také ve vzorcích odebraných od pacientů a v jaterních tkáních zemřelých pacientů.

Nedostatečná úprava surové vody v městské úpravně, ale hlavně na úpravně v centru A zapříčinily tuto kontaminaci pitné vody. (JOCHIMSEN, 1998)

4.5 KANADA – MĚSTO WALKERTON (2000)

Tab. 4.5 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Walkerton 2000

FORMULÁŘ HLAVNÍCH UKAZATELŮ NÁKAZY	
Stát, město, rok události	Kanada, Walkerton, 2000
Druh ohrožení	mikrobiologické
Specifikace kontaminace	<i>Escherichia coli O157:H7, Campylobacter jejuni</i>
Místo vzniku kontaminace	podzemní zdroj - nedostatečná úprava vody
Byl pozorovaný zákal?	není uvedeno
Způsob nákazy	požití
Symptomy onemocnění	zažívací potíže, průjem, hemolyticko-uremický syndrom
Evidováno nemocných lidí (z toho úmrtí)	2 300 (7)

Walkerton je kanadské město, které leží zhruba 180 kilometrů severně od Toronta, kde žije asi 4 800 obyvatel. Po mimořádně silných jarních deštích byla jedna z mělkých studní, které zásobují město, studna č. 5 (hloubky 5 – 8 m) kontaminována splachem z nedaleké farmy. Podezření na ohrožení studny už přitom bylo známé z roku 1978, od té doby však nebylo přijato žádné opatření. V okolí studny jsou totiž špatné geologické podmínky. Jsou zde zvětralé horniny s podélnými i horizontálními prasklinami, kterými snadno projde případné znečištění. Studna byla tehdy kontaminována patogenními bakteriemi *Escherichia coli O157:H7* a *Campylobacter jejuni*.

Hlavní vedoucí vodovodní sítě ani jeho bratr, který se o vodovod také staral, neměli žádné kvalifikované vzdělání, ani zkušenosti v oboru, či základní znalosti o dezinfekci pitné vody. Získali však v roce 1988 pozici operátorů, aniž by museli prokazovat nějaké znalosti. V roce 1996 byli dokonce povýšeni ve svých funkcích, opět bez prokazování svých znalostí. Hlavní vedoucí u soudu poté vypověděl, že jedním z důvodů, proč nedávkovali dostatečné množství chlóru, bylo, že si obyvatelé města stěžovali na zápach chlóru z pitné vody.

Jejich povinnost byla denně kontrolovat množství zbytkového chlóru a měsíčně kontrolovat kvalitu surové vody a vody v distribučním systému. Bylo zde běžnou praxí, že vzorky byly odebírány z jiných míst, než měly být a některé vzorky ani neodebírali. Zbytkový chlór nebyl denně měřen a výsledky byly falsifikovány, kdy udávali opakovaně vždy přesné hodnoty, a to 0,5 nebo 0,75 mg/l. Měření, které provádělo Ministerstvo životního prostředí, bylo vždy pod hodnotou 0,5 mg/l, nikdo však na toto nikde neupozornil.

Kontaminace nastala nejpravděpodobněji 12. května 2000 po vydatných deštích. 15. května 2000 byly provedeny testy na přítomnost mikrobiálního znečištění. Vzorky byly odebrány z míst poblíž studny č. 5. Výsledky byly poté oznámeny hlavnímu vedoucímu vodovodního systému 17. května, a ty jednoznačně potvrzovali přítomnost *E. coli* v distribučním systému. U lidí se začaly projevovat zažívací obtíže 18. května a hygienická stanice byla upozorněna 19. května na výskyt *E. coli*. Ti tedy kontaktovali hlavního vedoucího, zda je nějaký problém s dodávkou vody. On odpověděl, že si myslí, že je vše v pořádku. Následně však zvýšil dávku chlóru, a když ho opět hygienická stanice kontaktovala 20. května, pověděl jim, že v distribučním systému byl zbytkový chlór. 21. května se potvrdila přítomnost *E. coli O157:H7* u jednoho pacienta a hygienická stanice, navzdory ujišťování hlavního vedoucího, vyhlásila doporučení převařovat si pitnou vodu.

Bylo nakaženo přes 2300 jedinců, u nichž se vyskytly zažívací potíže, 65 lidí bylo hospitalizováno, u 27 lidí se projevil hemolyticko-uremický syndrom (HUS; dochází k akutnímu selhání ledvin) a 7 jedinců zemřelo. Epidemie skončila 13. června 2000.

Roku 1994 byla v Kanadě zpřísněna kontrola podzemních zdrojů, které mohou být kontaminovány povrchovými vodami, kdy se musí pravidelně sledovat zbytkový chlór a zákal. Tento nový přístup však nebyl řádně charakterizován a implementován na již zaběhlých vodovodech. Tudíž nebylo požadováno, aby se na studnu č. 5 vztahovalo toto nařízení. Pokud by se toto nařízení uplatnilo, mohlo se této epidemii zabránit. (HRUDEY, 2003)

4.6 ČESKÁ REPUBLIKA – STŘEDOČESKÝ KRAJ (2000)

Tab. 4.6 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, středočeský kraj 2000

FORMULÁŘ HLAVNÍCH UKAZATELŮ NÁKAZY	
Stát, město, rok události	Česká republika, středočeský kraj, 2000
Druh ohrožení	chemické
Specifikace kontaminace	Chloramin BM
Místo vzniku kontaminace	podzemní zdroj
Byl pozorovaný zákal?	není uvedeno
Způsob nákazy	požití, kontakt s kůží
Symptomy onemocnění	pálení v ústech a jícnu, lepivý pocit v ústech, svědění pokožky
Evidováno nemocných lidí (z toho úmrtí)	1 (0)

Jeden soukromý majitel získal ve středočeském kraji do vlastnictví menší vodovod, ze kterého je zásobována asi stovka obyvatel. Zdrojem vody je zde podzemní vrt, kde je kvalitní voda, která nevyžaduje žádnou další úpravu ani dezinfekci. Majitel nemá žádné odborné znalosti v oboru vodárenství, ale nechával pravidelně dělat na okresní hygienické stanici (OHS) rozbory vody.

Počátkem prosince 2000 opět odeslal vzorek na rozbor, ale nyní přišly majiteli 27. prosince výsledky poštou zpět s tím, že je překročen výskyt enterokoků. Těch bylo 2 KTJ/ml, ostatní ukazatele byly v pořádku. U rozboru byla přiložena výzva, aby provedl dezinfekci vodovodu přípravkem Chloramin B v dávce 20 g/m³.

Majitel okamžitě začal shánět dezinfekční přípravek. Zavolal do drogerie, kde však měli pouze Chloramin BM nebo BS. U chloraminu BM bylo napsáno, že se používá pro potravinářské účely. Kontaktoval tedy OHS, kde mu bylo sděleno, že to tedy bude on a vysvětlili mu způsob aplikace.

Majitel tedy koupil Chloramin BM, rozmíchal 500 g ve zvláštní nádobě s vodou a poté po poledni aplikoval do akumulární nádrže, kde bylo asi 40 – 45 m³ vody.

Ve večerních hodinách bylo při kontaktu s vodou u některých lidí pozorováno pálení v ústech a jícnu, lepivý pocit v ústech, svědění pokožky. První pomoc vyhledal jediný (nejvíce) postižený, u kterého lékaři konstatovali lehké podráždění.

Druhý den ráno byl vydán zákaz používání vody k jakýmkoli účelům a nádrž a potrubí byly poté vypuštěny a propláchnuty čistou vodou. Večer se již voda používala, nesměla se však konzumovat nepřevařená.

Chloramin BM se používá k mytí a dezinfekci především mastných a biologicky znečištěných povrchů m.j. v potravinářství a zdravotnictví. Předměty, které přicházejí do styku s potravinami, je nutno po dezinfekci opláchnout vodou.

Závažným problémem bylo, že i tak majitele nikdo neupozornil na to, že po aplikaci Chloraminu B (který měl správně použít), by se voda neměla alespoň 24 hodin používat a poté by se měla alespoň z části odčerpat a nepoužívat hned k pití. (KOŽÍŠEK, 2002)

4.7 NORSKO – MĚSTO BERGEN (2004)

Tab. 4.7 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Bergen 2004

FORMULÁŘ HLAVNÍCH UKAZATELŮ NÁKAZY	
Stát, město, rok události	Norsko, Bergen, 2004
Druh ohrožení	mikrobiologické
Specifikace kontaminace	<i>Giardia lamblia</i>
Místo vzniku kontaminace	povrchový zdroj - nedostatečná úprava vody
Byl pozorovaný zákal?	ano
Způsob nákazy	požití
Symptomy onemocnění	průjem
Evidováno nemocných lidí (z toho úmrtí)	1 300 (0)

Bergen je druhé největší město Norska, kde žije asi 240 000 obyvatel. Dne 29. října 2004 bylo upozorněno na zvyšující se počet nemocných, u nichž byla diagnostikována infekce prvokem *Giardia lamblia*. V Norsku je toto onemocnění v 90 % případů přivezeno ze zahraničí, tudíž z počátku nebylo moc velké podezření na možný počátek epidemie. Kontaminace vody totiž nastala již na konci srpna, kdy po silných přivalových deštích došlo k přeplnění jednoho starého odpadního systému a následně poničenými trubkami znečištění prosáklo do jezera, které je zdrojem pitné vody.

Bergen je zásobován šesti vodárnami a všechny odebírají vodu z povrchových zdrojů. Centrální část města je zásobována vodárnou, která odebírá vodu z jezera vzdáleného asi 1 – 2 km od centra města. Voda je zajištěna pouze chlórem.

První případ onemocnění byl zaznamenán na konci srpna. Poté počet nemocných stále narůstal. Až 5. listopadu bylo vydáno doporučení převařit vodu před konzumací u lidí zásobovaných vodárnou v centru města. Zároveň vodárny zajistily přepojení centra města na jiné zdroje vody. Doporučení bylo zrušeno 21. prosince, poté, co byla eliminována kontaminace a v distribuční síti se již nevyskytovaly žádné stopy po kontaminaci.

Jedná se o největší nákazu přenášenou vodou zaznamenanou v Norsku za poslední desetiletí. Odhaduje se, že asi 48 000 lidí bylo vystaveno kontaminované vodě. Z toho bylo 2500 lidí léčeno a u 1 300 pacientů byla potvrzena giardióza (průjmové onemocnění). Nejvíce nakažených bylo infikováno od konce srpna do začátku října.

Detekce kontaminace pitné vody však byla výrazně opožděna, protože mnoho lidí zpočátku nenavštívilo doktora, vzhledem k tomu, že neměli akutní obtíže. Navíc lékaři při odebírání vzorků stolice nepožadovali testování na giardiózu, jelikož pacienti nebyli v poslední době v zahraničí, a laboratoře běžně testy na parazity neprovádějí. Také bylo pozorováno fekální znečištění v distribuční síti během srpna až září, to však bylo v mezích a nikdo nepředpokládal epidemii. Zároveň mohlo být vodítkem i to, že v období září až října byl podán enormní počet žádostí na laboratoře o vyšetření vzorků stolice. (NYGÅRD, 2006)

4.8 VELKÁ BRITÁNIE – SEVEROZÁPADNÍ WALES (2005)

Tab. 4.8 Formulář hlavních ukazatelů, severozápadní Wales 2005

FORMULÁŘ HLAVNÍCH UKAZATELŮ NÁKAZY	
Stát, město, rok události	Velká Británie – severozápadní oblast Walesu, 2005
Druh ohrožení	mikrobiologické
Specifikace kontaminace	<i>Cryptosporidium</i> , <i>C. hominis</i>
Místo vzniku kontaminace	povrchový zdroj
Byl pozorovaný zákal?	není uvedeno
Způsob nákazy	požití
Symptomy onemocnění	průjem
Evidováno nemocných lidí (z toho úmrtí)	231 (0)

Jezero Llyn Cwellyn, které leží v národním parku Snowdonia, je zdrojem vody pro zhruba 70 000 lidí ve 40 městech v severozápadním Walesu. Na pozemcích povodí jezera se vyskytuje mnoho různých využití. Je zde několik domů s domovními septiky, louky, kde se pase dobytek a ovce, je zde rozšířen turismus a také je nedaleko vesnice Rhyd-Ddu, která vypouští upravenou vodu z čistírny odpadních vod (ČOV) do jezera. Splachy ze všech činností se potom objeví v jezeru Lynn Cwellyn.

Oznámení o kontaminaci pitné vody bylo sděleno 23. listopadu místním doktorům, kteří měli upozornit jedince se slabou imunitou, aby si vodu převařovali. Všem lidem bylo oznámení o převaření pitné vody sděleno až 30. listopadu.

Voda z jezera je upravována na úpravně vody přes tlakový pískový filtr a hygienicky zabezpečená chlorem před distribucí. Podle společnosti Dwr Cymru, která zajišťuje dodávku vody, pracovala úpravna bez problémů.

Genotyp prvoka *Cryptosporidium* nalezený u pacientů ukazoval na infekci způsobenou *C. hominis*, druhu, který se usídí jen na člověku. Vyšetřování se tedy zaměřilo na lidské

exkrementy v povodí. V říjnu nastalo období silných dešťů a to vedlo ke spekulacím, že odpadní voda z ČOV se dostala do jezera. Do podezření se dostaly i soukromé septiky.

Dne 9. prosince 2005 bylo zrušeno doporučení pro 9 000 obyvatel, aby vodu převařovali a do některých měst byla zavedena voda z jiných zdrojů. Vzhledem ke geografickým podmínkám, však není možné jezero Llyn Cwellyn úplně odstavit a nahradit ho jiným zdrojem pitné vody. Někteří obyvatelé tedy byli upozorněni, že si musí vodu stále převařovat ještě alespoň do začátku ledna.

Celkem se v období od 1. října 2005 do 31. ledna 2006 evidovalo 231 případů nemoci v souvislosti s kontaminací vody. (HEALTH STREAM, 2005)

4.9 DÁNSKO – MĚSTO KØGE (2007)

Tab. 4.9 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Køge 2007

FORMULÁŘ HLAVNÍCH UKAZATELŮ NÁKAZY	
Stát, město, rok události	Dánsko, Køge, 2007
Druh ohrožení	mikrobiologické
Specifikace kontaminace	fekální znečištění, <i>Norovirus</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Escherichia coli</i> , aj.
Místo vzniku kontaminace	distribuční síť
Byl pozorovaný zákal?	ano
Způsob nákazy	požití
Symptomy onemocnění	průjem, zvracení, bolesti břicha, horečky
Evidováno nemocných lidí (z toho úmrtí)	140 (0)

Město Køge leží asi 40 kilometrů od Kodaně na východě Dánska. Město získává vodu z kvalitního podzemního zdroje, který není nijak ošetřován před distribucí. V pondělí 15. ledna 2007 si obyvatelé začali stěžovat, že přes víkend pitná voda dostala divné zbarvení,

chut' a zápach. Několik lidí také upozorňovalo na průjmy a zvracení. Na základě těchto upozornění město vydalo varování, aby lidé nepoužívali nepřevařenou vodu na běžné činnosti, kromě splachování záchodů. Toto nařízení se vztahovalo asi na 5 800 obyvatel z celkového počtu 40 000 občanů. Ihned začalo vyšetřování příčin.

Zjistilo se, že jedna část distribučního systému je kontaminována fekálním znečištěním. Dne 26. ledna byla oficiálně vyhlášena kontaminace vodovodu, která postihla 177 domácností a několik okolních firem. Pro tuto oblast přetrvávalo upozornění o převaření vody před užitím, pro ostatní nepostižené oblasti bylo zrušeno. Poté se zahájilo čištění postižené distribuční sítě. I po dvou týdnech proplachování bylo stále přítomno fekální znečištění, tak byl vodovod následně dezinfikován chlórem ve dnech 10. a 11. února. Doporučení převařovat pitnou vodu bylo 12. března zrušeno.

Bylo evidováno 140 případů akutních zažívacích potíží způsobených kontaminací pitné vody. Hlavní příznaky pacientů byly průjem a zvracení, bolesti břicha a horečka. Poté, co se provedly testy odebraných vzorků stolice, se zjistilo, že pacienti byli postiženi celou škálou patogenních organismů. Největší podíl byl u 32 případů způsoben virem *Norovirus*, dále u 16 případů byla nemoc způsobena bakterií *Campylobacter jejuni* a 15 případů způsobených bakterií *E. coli*. Čtyři pacienti vyžadovali krátké hospitalizování v nemocnici.

Mezi 12. a 14. lednem došlo, kvůli technickým problémům a chybě lidského faktoru, k průsaku asi 27 m³ odpadní vody do distribučního systému. Vyšetřovatelé však už nezjistili přesné okolnosti, jak se tyto dva systémy odpadní a pitné vody propojily. (VESTERGAARD, 2007), (HEALTH STREAM, 2007)

4.10 IRSKO – MĚSTO GALWAY (2007)

Tab. 4.10 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Galway 2007

FORMULÁŘ HLAVNÍCH UKAZATELŮ NÁKAZY	
Stát, město, rok události	Irsko, Galway, 2007
Druh ohrožení	mikrobiologické
Specifikace kontaminace	<i>Cryptosporidium hominid</i> , <i>Cryptosporidium parvum</i>
Místo vzniku kontaminace	povrchový zdroj - nedostatečná úprava vody
Byl pozorovaný zákal?	není uvedeno
Způsob nákazy	požití
Symptomy onemocnění	průjem
Evidováno nemocných lidí (z toho úmrtí)	236 (0)

V polovině února se v okrese města Galway začal vyskytovat nárůst počtu nemocných kryptosporidiózou. Začala se tedy vyšetřovat příčina možné epidemie. Přišlo se na to, že výskyt nemoci je v oblasti zásobované vodou z jezera Corrib. Dne 14. března proto bylo vyhlášeno doporučení převažovat pitnou vodu. Po následném prozkoumání a provedení testů se našel nález prvoka *Cryptosporidium* v distribuované vodě.

Galway je třetí největší město Irska kde žije asi 72 000 obyvatel. Leží na západním pobřeží a je to jedno z nejrychleji se rozvíjejících měst. Voda pro město je dodávána z jezera Corrib přes dvě úpravny vody. Je zde novější úprava, kde je používána koagulace, filtrace a následná dezinfekce. Starší úprava pokryje asi 30 % potřeby města, nemá ovšem filtrační jednotku, která by účinně odstranila mikrobiologické znečištění. Voda je z obou úpraven následně smíchána a dodávána do distribuční sítě. Dvakrát týdně se potom provádí kontrola na přítomnost *Escherichia coli*, enterokoky a *Clostridium perfringens*. Na začátku března roku 2007 testy ukázaly přítomnost *Clostridium perfringens*.

Ke dni 25. června bylo potvrzeno 236 případů nákazy, z nichž 40 muselo být hospitalizováno. Ve vzorcích stolice nemocných pacientů se našli *Cryptosporidium hominis*

a *Cryptosporidium parvum*. Přítomnost těchto prvoků ovšem ukazuje na znečištění lidskými a zvířecími fekáliemi.

Čistírna odpadních vod pro Galway padla první do podezření jako zdroj znečištění jezera Corrib. Původně byla navržena pro 250 domácností, v té době na ni však bylo napojeno asi 800 domácností. Možný byl také splach z polí, která byla postříkána močůvkou, po vydatných deštích. (HEALTH STREAM, č. 46, 2007), (PELLY, 2007)

4.11 FINSKO – MĚSTO NOKIA (2007)

Tab. 4.11 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Nokia 2007

FORMULÁŘ HLAVNÍCH UKAZATELŮ NÁKAZY	
Stát, město, rok události	Finsko, Nokia, 2007
Druh ohrožení	mikrobiologické
Specifikace kontaminace	<i>Campylobacter, Salmonella</i>
Místo vzniku kontaminace	distribuční síť
Byl pozorovaný zákal?	není uvedeno
Způsob nákazy	požití
Symptomy onemocnění	střevní chřipka
Evidováno nemocných lidí (z toho úmrtí)	5 000 (0)

Město Nokia leží na západě Finska a žije zde asi 30 000 obyvatel. Ke kontaminaci pitné vody zde došlo zřejmě 28. listopadu, kdy pracovník obsluhy čistírny odpadních vody, který prováděl běžnou údržbu, omylem otevřel ventil, který propojoval pitnou a užitkovou vodu. Tato trubka zde byla už asi dvacet let, a přestože to předpisy nedovolují, voda mohla protékat oběma směry. Následná změna tlaku způsobila, že se asi 45 m³ užitkové vody nasálo do distribuční sítě, než se přišlo na to, že byl ventil otevřen.

O dva dny později se mezi obyvateli začaly vyskytovat první případy střevních obtíží. Po zjištění příčiny bylo 2. prosince vyhlášeno doporučení, aby si lidé pitnou vodu před použitím převařili.

Oficiální ukončení doporučení převařovat vodu bylo vydáno 19. února. Odhaduje se, že asi 5 000 lidí bylo nakaženo. Byly diagnostikovány infekce způsobené bakterií *Campylobacter* a *Salmonella*. (HEALTH STREAM, č.48, 2007)

4.12 COLORADO, USA – MĚSTO ALAMOSA (2008)

Tab. 4.12 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Alamosa 2008

FORMULÁŘ HLAVNÍCH UKAZATELŮ NÁKAZY	
Stát, město, rok události	Colorado, USA, Alamosa, 2008
Druh ohrožení	mikrobiologické
Specifikace kontaminace	<i>Salmonella</i>
Místo vzniku kontaminace	vodojem – porušení integrity
Byl pozorovaný zákal?	ano
Způsob nákazy	požití
Symptomy onemocnění	průjem
Evidováno nemocných lidí (z toho úmrtí)	1300 (1)

Ve městě Alamosa v Coloradu žije asi 9 800 obyvatel. Město je zásobováno ze zvodnělé vrstvy, která se nachází několik desítek metrů pod povrchem. Voda je odebírána do sedmi studní, které ale nepracují stále. V době kontaminace byly v provozu tři studny. Ze studní byla voda čerpána do dvou nadzemních vodojemů a jednoho zemního vodojemu. Voda nebyla hygienicky zabezpečována.

První případ salmonely byl ohlášen 12. března a 19. března bylo městem vyhlášeno doporučení používat balenou vodu. Vzhledem k tomu, že se v surové vodě vyskytoval i arsen

a nebyla známa jasná příčina kontaminace, nebylo tedy vyhlášeno, že stačí vodu jen převařit. Výsledky rozboru potvrdily přítomnost koliformních bakterií a zvýšený zákal.

Dne 21. března se začalo s dezinfekcí rezervoárů, proplachem a dezinfekcí distribuční sítě. Při bližším zkoumání bylo objeveno několik děr a prasklin v horním rohu zemního vodojemu, které byly viditelné i zvenčí. Také jeden z nadzemních vodojemů byl poškozen v horní části. To byly nejpravděpodobnější místa, kde došlo ke kontaminaci výkaly malých živočichů a ptáků.

Dezinfekce vodovodu byla dokončena 2. dubna a další den již bylo možné používat převařenou vodu z kohoutku. Dne 11. dubna bylo zrušeno nadřazení převařovat pitnou vodu. Touto kontaminací bylo způsobeno alespoň 1 300 onemocnění a bylo evidováno jedno úmrtí. (HEALTH STREAM, 2009)

5 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zhodnotit možné příčiny a důsledky kontaminace pitné vody ve vodovodním systému. Celá práce je rozdělena na čtyři kapitoly. V úvodní části je obecný pohled na problematiku distribuce pitné vody a jdou zde zmíněny významné projekty, které se snaží modernizovat, zkvalitnit a udělat bezpečnější systém dodávky pitné vody. V druhé části jsou popsány jednotlivé prvky vodovodu. Třetí část je zaměřena na problematiku kontaminace pitné vody. Jaké jsou možné mechanismy, co jsou nejčastější příčiny a jaké jsou nejběžnější zdroje kontaminace. Jsou zde uvedeny některé významné ukazatele kvality vody. Zaměřila jsem se hlavně na mikroorganismy, které představují akutní riziko pro spotřebitele a s tím úzce související zákal. Ten může podporovat růst mikroorganismů nebo je dokáže ochránit před dezinfekcí. V poslední kapitole jsou uvedeny konkrétní případy kontaminace pitné vody, které nastaly v různých částech vodovodu. Ke každému případu byl zhotoven krátký formulář, který čtenáři umožňuje získat základní podstatné informace a usnadňuje orientaci mezi konkrétními případy.

Z vybraných uvedených případů, kdy byla kontaminována pitná voda, vyplývá, že voda se může kontaminovat v kterékoli části distribučního systému. Nejvíce ohrožené jsou však otevřené volné hladiny vody. Časté případy kontaminace nastaly po vydatných deštích, kdy se do vodního zdroje dostaly smyvy z polí, přetížil se kanalizační systém či septik a následně prosákl do vodního zdroje nebo jiné zdroje fekálního znečištění zhoršily kvalitu surové vody. Některé úpravní vody, zejména se zastaralým provozem nebo nevhodně zvoleným typem úpravy, poté nebyly schopné kontaminovanou vodu dostatečně upravit a některé odolné mikroorganismy pronikly do distribučního systému. S tím souvisí i nedostatečná dezinfekce, která, pokud není v potřebném množství, není schopna zbavit vodu mikrobiologického znečištění. V mnoha případech byl první známkou kontaminace zákal, který indikoval znečištění.

Sekundární kontaminace v distribučním systému ovšem taky nebyla ojedinělá. Hlavní příčinou bylo porušení integrity, kdy se prasklinami nebo nedostatečně uzavřeným vodojemem mohli dovnitř dostat malí živočichové a ptáci. Došlo i k porušení integrity potrubí kdy se znečištěná voda dostala do kontaktu s pitnou vodou. V jednom případě bylo dokonce provedeno propojení mezi užitkovou a pitnou vodou, když se potom náhodou při údržbě tato potrubí propojila, změnou tlaku byla kontaminovaná voda nasávána do pitného distribučního systému.

Značně převládá mikrobiologické znečištění, které je většinou fekálního původu. Hlavními původci nálezů a nemocí šířených vodou byli bakterie a prvoci. Tyto způsobují hlavně zažívací obtíže, zvracení, průjemy, bolesti břicha. U kontaminace chemickými látkami byli nejčastějšími příznaky vyrážky, bolesti hlavy, podráždění sliznic, pálení v ústech. V případě chemických kontaminací se jednalo o selhání lidského faktoru.

Z toho vyplývá, že pro zajištění kvalitní a mikrobiologicky nezávadné pitné vody, je nutné uplatňovat tzv. multibariérový přístup. Nedá se pouze spoléhat na průběžnou či dokonce nárazovou dezinfekci vody. Ochrana začíná už u zdroje, kdy je potřeba vymezit ochranné pásmo a důsledně ho hlídat. Dalším krokem je zvolit vhodnou technologii úpravy vody tak, aby dokázala dostatečně upravit surovou vodu. V distribučním systému může dojít k sekundární kontaminaci, je proto nutné zajistit dostatečnou integritu všech prvků systému. Pokud chceme mít kvalitní pitnou vodu, je nutné mít pod dohledem všechny prvky systému a zajistit pravidelný monitoring a údržbu. Nebude možné zamezit všem kontaminacím, protože je mnoho faktorů, které kvalitu vody ovlivňují, ale správným a zodpovědným přístupem se dá mnoha kontaminacím a haváriím zamezit.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- (1) AMBROŽOVÁ, J., HUBÁČKOVÁ, J., ČIHÁKOVÁ, I. Konstrukční uspořádání, provoz a údržba vodojemů. In *Sborník. Vodojemy 2009*. Praha: SOVAK, 2009.
- (2) BENEŠ, O. Jednání představenstva a valné hromady EUREAU 1. - 2. 11. 2011, Palermo, Itálie. *SOVAK. Časopis oboru vodovodů a kanalizací*. 2012, roč. 21, č. 1, s. 28.
- (3) Brazil Dialysis Tragedy. *Health Stream: Information and analysis for water and health Professional* [online]. Sinclair Martha. červen 1998, č. 10, s. 1-3. Dostupné z: <http://www.wqra.com.au/publications/document-search/?q=4N7vtgeaN6wnKDNAf7zs5usQxzvsQJgZ&c=all>
- (4) Camelford Incident Reviewed. *Health Stream: Information and analysis for water and health Professional* [online]. Sinclair Martha. březen 2002, č. 25, s. 5-6. [cit. 2012-04-30] Dostupné z: <http://www.wqra.com.au/publications/document-search/?q=4N7vtgeaN6wnKDNAf7zs5usQxzvsQJgZ>
- (5) Cryptosporidium Outbreak In Wales. *Health Stream: Information and analysis for water and health Professional* [online]. Sinclair Martha. prosinec 2005, č. 40, s. 3-4. [cit. 2012-05-02] Dostupné z: <http://www.wqra.com.au/publications/document-search/?q=4N7vtgeaN6wnKDNAf7zs5usQxzvsQJgZ>
- (6) ECKHARDT, Pavel. *Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka*. Vyhodnocení starých zátěží z hlediska ohrožení hydrosféry nebezpečnými látkami [online]. 2009 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://www.vuv.cz/index.php?id=222>
- (7) E.coli strikes canadian town. *Health Stream: Information and analysis for water and health Professional* [online]. Sinclair Martha. červen 2000, č. 18, s. 2-4. Dostupné z: <http://www.wqra.com.au/publications/document-search/?q=4N7vtgeaN6wnKDNAf7zs5usQxzvsQJgZ>
- (8) *Drinking Water Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks*. Washington, DC: National Academies Press, 2006, 391 s. ISBN 978-0-309-10306-0.
- (9) Galway Cryptosporidium Outbreak. *Health Stream: Information and analysis for water and health Professional* [online]. Sinclair Martha. červen 2007, č. 46, s. 3-4. [cit. 2012-05-02] Dostupné z: <http://www.wqra.com.au/publications/document-search/?q=4N7vtgeaN6wnKDNAf7zs5usQxzvsQJgZ>

- (10) *Guidelines for Drinking-Water Quality. 3rd ed.* Geneva: World Health Organization, 2008, 668 s. ISBN 978 92 4 154761 1.
- (11) HRUDEY S.E. et.al. *A fatal waterborne disease epidemic in Walkerton, Ontario: comparison with other waterborne outbreaks in the developed World* [online]. 2003 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://geography.ssc.uwo.ca/faculty/baxter/readings/Hrudey_Walkerton_WSandT_2003.pdf
- (12) JOCHIMSEN, E.M. et.al. *Liver failure and death after exposure to microcystins at Hemodialysis center in Brazil* [online]. 26.3.1998 [cit. 2012-04-30] Dostupné z: <http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJM199803263381304>
- (13) KOŽÍŠEK, F. et.al. *Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství*. Praha: SOVAK, 2006, 80 s.
- (14) KOŽÍŠEK, F. Silvestrovský příběh majitele veřejného vodovodu. *SOVAK. Časopis oboru vodovodů a kanalizací*. 2002, roč. 11, č. 2, s. 19-20.
- (15) LAMFERS, J. Kansas Water System Contaminated Due to Birds Accessing Storage Tank. *The Kansas Lifeline*, listopad 2011. [cit. 2012-05-02] Dostupné z: <http://www.krwa.net/lifeline/1111/38.pdf>
- (16) MacKENZIE, W.R. et.al. A Massive Outbreak in Milwaukee of Cryptosporidium Infection Transmitted through the Public Water Supply. *The New England Journal of Medicine* [online]. 21.6.1994 [cit. 2012-05-01] Dostupné z: <http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJM199407213310304#t=article>
- (17) MERGL, V., KAUPA, J. Zkušenosti s rekonstrukcí vodojemu. In *Sborník. Vodojemy 2009*. Praha: SOVAK, 2009.
- (18) Milwaukee – 10 years later. *Health Stream: Information and analysis for water and health Professional* [online]. Sinclair Martha. červen 2003, č. 30, s. 2-3. [cit. 2012-05-01] Dostupné z: <http://www.wqra.com.au/publications/document-search/?q=4N7vtgeaN6wnKDNAf7zs5usQxzvsQJgZ>
- (19) NYGÅRD, K. et.al. A large community outbreak of waterborne giardiasis: delayed detection in a non-endemic urban area. *BMC Public Health* [online]. 2006. roč. 6, č. 1. ISSN 14712458. DOI: 10.1186/1471-2458-6-141. Dostupné z: <http://www.biomedcentral.com/1471-2458/6/141>

- (20) PELLY, H. et.al. A large outbreak of cryptosporidiosis in western Ireland linked to public water supply: a preliminary report. *Eurosurveillance* [online]. 3.5.2007. roč. 12, č. 18. Dostupné z: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=3187>
- (21) Report on Colorado Outbreak. *Health Stream: Information and analysis for water and health Professional* [online]. Sinclair Martha. prosinec 2009, č. 56, s. 4-9. [cit. 2012-05-02] Dostupné z: <http://www.wqra.com.au/publications/document-search/?q=4N7vtgeaN6wnKDNAf7zs5usQxzvsQJgZ>
- (22) RUČKA, J., TUHOVČÁK, L., KADLECOVÁ, V. Zákaly ve vodovodní síti, metody predikce jeho vzniku a šíření. In *Voda Zlín 2009*. 1. Zlín: Moravská vodárenská, a.s., 2009. s. 39-44. ISBN: 978-80-254-3935-7
- (23) *Safe Piped Water: Managing Microbial Water Quality in Piped Distribution Systems*. 1st ed. Ainsworth, R. London: IWA Publishing, 2004. ISBN 18-433-9039-6.
- (24) SOBOTA, Josef. *Česká zemědělská univerzita, Univerzita třetího věku. Voda ve světě: Globální problémy hospodaření s vodou* [online]. Praha, 2004 [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: http://etext.czu.cz/php/skripta/skriptum.php?titul_key=64
- (25) STRAŠKRABOVÁ, V. et.al. *Mikrobiální ekologie vody*. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 1996. 119 s. ISBN 80-853-6888-9.
- (26) Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva České republiky ve vztahu k životnímu prostředí. Souhrnná zpráva za rok 2010. SZÚ, Praha 2011. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/monit/voda_10.pdf
- (27) VESTERGAARD, L.S. et.al. Outbreak of severe gastroenteritis with multiple aetiologies caused by contaminated drinking water in Denmark, January 2007. *Eurosurveillance* [online]. 29.3.2007. roč. 12, č. 13. Dostupné z: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=3164>
- (28) VOTAVA, M et.al. *Lékařská mikrobiologie speciální*. Brno: Neptun, 2003, 495 s. ISBN 80-902-8966-5
- (29) VYKYDAL, M. Metodické varianty nebo „jednotný“ postup? In *Sborník odborných prac z konferencie Optimalizácia a modernizácia zásobovania pitnou vodou*. Bratislava: REALEX L-M, 2012. s. 17-20. ISBN 978-80-969974-6-6.

- (30) Waterborne Outbreak In Denmark. *Health Stream: Information and analysis for water and health Professional* [online]. Sinclair Martha. březen 2007, č. 45, s. 7-8.
[cit. 2012-05-02] Dostupné z: <http://www.wqra.com.au/publications/document-search/?q=4N7vtgeaN6wnKDNAf7zs5usQxzvsQJgZ>
- (31) Waterborne Outbreak in Finland. *Health Stream: Information and analysis for water and health Professional* [online]. Sinclair Martha. prosinec 2007, č. 48, s. 6-7.
[cit. 2012-05-02] Dostupné z: <http://www.wqra.com.au/publications/document-search/?q=4N7vtgeaN6wnKDNAf7zs5usQxzvsQJgZ>
- (32) WHO/Europe. United Nations declare access to clean water and sanitation a human right, Water Protocol is a key tool to implement it [online]. 20.9.2010 [cit. 2012-02-16].
Dostupné z: <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/water-and-sanitation/news/news/2010/09/united-nations-declare-access-to-clean-water-and-sanitation-a-human-right,-water-protocol-is-a-key-tool-to-implement-it>
- (33) *Zpráva o kvalitě pitné vody v ČR za rok 2010* [online]. Praha: Státní zdravotní ústav, 2011 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/monitoring-pitne-vody>

SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Camelford 1988	36
Tab. 4.2 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Milwaukee 1993	37
Tab. 4.3 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Gideon 1993.....	39
Tab. 4.4 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Caruaru 1966	40
Tab. 4.5 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Walkerton 2000.....	42
Tab. 4.6 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, středočeský kraj 2000	44
Tab. 4.7 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Bergen 2004.....	45
Tab. 4.8 Formulář hlavních ukazatelů, severozápadní Wales 2005.....	47
Tab. 4.9 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Køge 2007.....	48
Tab. 4.10 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Galway 2007	50
Tab. 4.11 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Nokia 2007.....	51
Tab. 4.12 Formulář hlavních ukazatelů nákazy, Alamosa 2008	52

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Clostridium perfringens, spor (vpravo).....	22
Obr. 3.2 Giardia intestinalis: trofoziti (vlevo) a cysta (vpravo)	23
Obr. 3.3 Cryptosporidium parvum: oocysty (vlevo), oocysta se čtyřmi sporozoity (vpravo) .	25
Obr. 3.4 Enterococcus faecalis (vlevo) Enterococcus faecium (vpravo)	26
Obr. 3.5 Escherichia coli	28
Obr. 3.6 Typický průběh zákalové události v čase (RUČKA, 2009).....	30
Obr. 3.7 Faktory ovlivňující mikrobiální změny v distribučním systému (převzato ze Safe Piped Water).....	34

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČOV ... čistírna odpadních vod

CHSK ... chemická spotřeba kyslíku

IWA ... International Water Association

KTJ ... kolonie tvořící jednotka

MH ... mezní hodnota

NMH ... nejvyšší mezní hodnota

MZ ... Ministerstvo zdravotnictví

MZe ... Ministerstvo zemědělství

MŽP ... Ministerstvo životního prostředí

OHS ... okresní hygienická stanice

PE ... polyetylen

PVC ... polyvinylchlorid

SZÚ ... Státní zdravotní ústav

TOC ... celkový organický uhlík

WHO ... World Health Organization

WSP ... Water Safety Plan

WWF ... World Wildlife Fund

SUMMARY

The aim of this thesis is to consider the possible causes and consequences of contamination of drinking water in the water supply system. In the introduction are general information about the problems with water supply and some new approaches to water distribution system. In the next part there are described components of the water supply system and how they work. The third part described the mechanisms, what causes the turbidity and which microorganisms are the most common source of infections. In the final part there are described individual cases of drinking water contamination and what were the consequences. In the beginning there is a short form to every case which provides you a quick orientation in the problem.

The results from selected cases are following. The most vulnerable are open surfaces of the water sources. Many events occurred after heavy rainfall which caused the wash off from near agriculture lands or the overload of the sewage system. The most of waterborne diseases was caused by faecal contamination. If there was an unsuitable water treatment the pathogens could easily get into the distribution system. In many cases there was also a problem that the drinking water was not disinfected or the water disinfection was insufficient. Turbidity was the first sign that there was a possibility of contamination.

Also the contamination in drinking water distribution system was not unique. The loss of integrity of storage water tanks allowed the access of small animals or birds. When pipe lost its integrity the contaminated water could easily soak up with the negative pressure.

It is important to protect the water supply system with the multi barrier system. There has to be functional hygienic protected zone. The water treatment has to be adequate to the type of source water. And the integrity of all components of the water distribution system should be protected and monitored.