



MUNI
PŘÍRODOVĚDECKÁ
FAKULTA

Biologické čištění odpadních vod

Pitná voda - mikrobiologie

09.04.2022

Tomáš Vítěz

Monika Vítězová

Dezinfekce vody

Historie

1854 - John Snow – popsal přenos patogenů ve vodě

1870 - Paster a Koch – teorie bakteriálních nemocí

1881 - Koch – experiment s chlorem, mortalita bakterií

1893 - poprvé použit ozón pro dezinfekci (Holandsko)

1905 - poprvé použita chlorace vody (reakce na tyfus Londýn)

1908 - Hariette Chick, teorie dezinfekce



Dezinfekce vody

Historie

1910 - poprvé použito UV pro dezinfekci vody (Francie)

1924 - počátky chlorování vody v ČR

1940 - první instalace dezinfekce ozónem v USA

1975 - první zdokumentovaná kontaminace vody *E. coli*

v ČR od 50. let plošná dezinfekce, důvod - více povrchových zdrojů



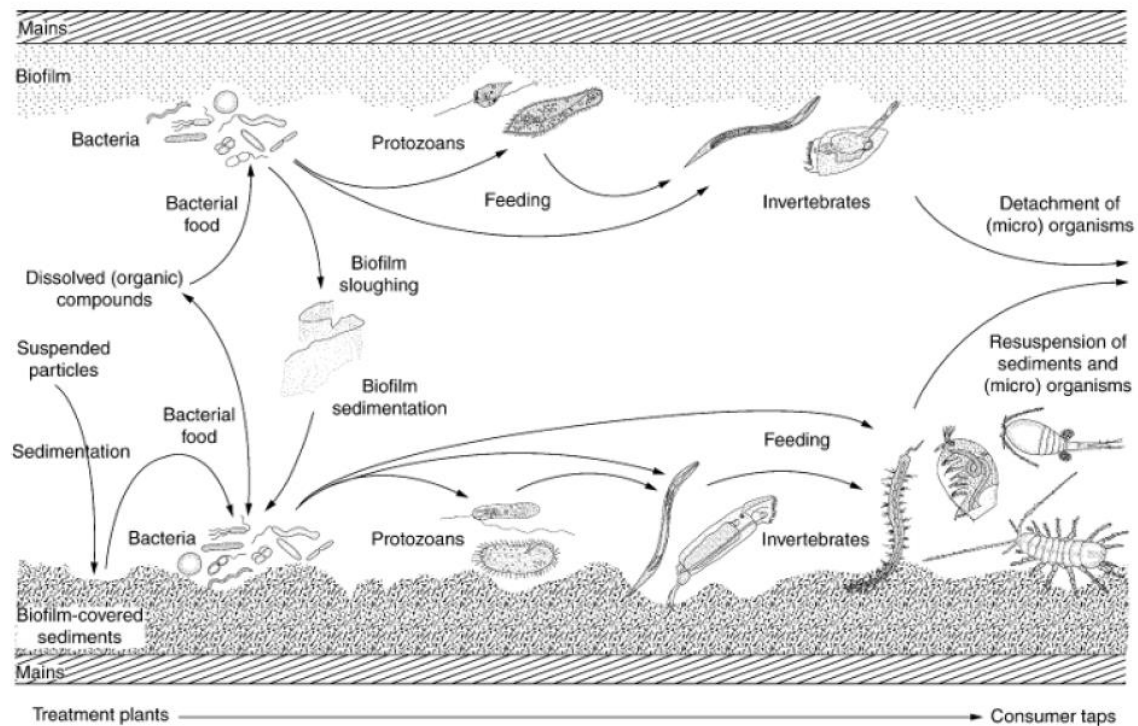
Dezinfekce vody

Zdroj vody

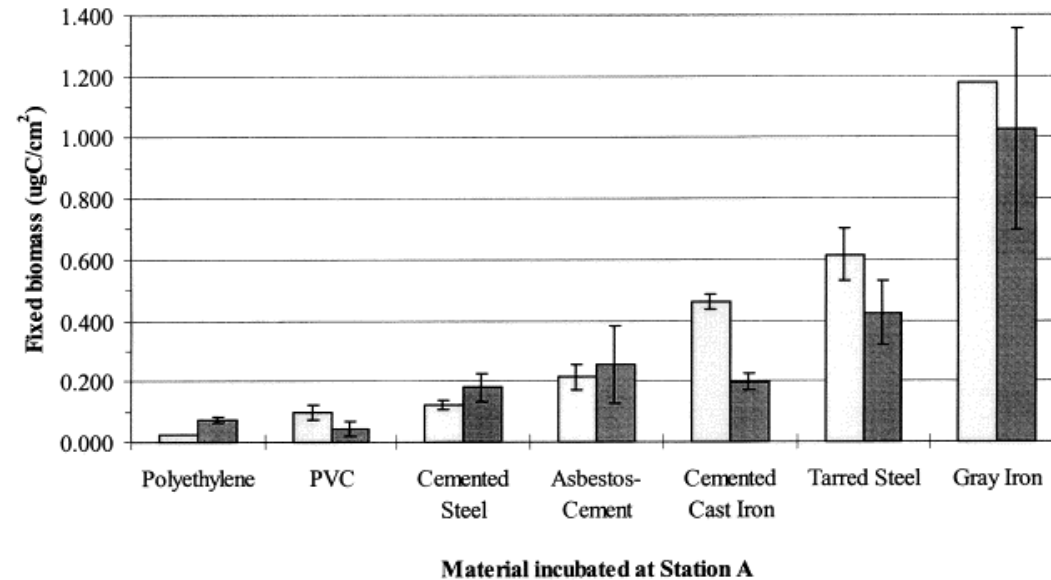
	podzemní	povrchová
pH	5,5 – 7,5	6,8 – 8,5
teplota	+	+++
minerální látky	+++	+
organické látky	+	+++
oxid uhličitý	+++	+
kyslík	+	+++
železo, mangan	+++	+
tvrdost	+++	+

Dezinfekce vody

Doprava vody - organismy ve vodovodech / materiál



zdroj: van Liverloo et al. (2002)



□ Biomass quantification on 06/03/97

■ Biomass quantification on 09/04/97

zdroj: Niquette et al. (2000)

Dezinfekce vody

Cíl

- zneškodnění patogenních mikroorganismů.

Postupy

- chemické a nechemické (fyzikální).

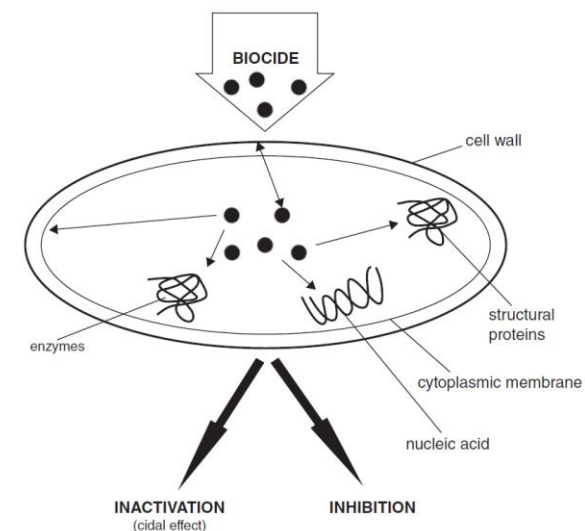
Mechanismy

- destrukce struktury buněk,
- interference s metabolismem tvorby energie,
- interference s biosyntézou a růstem,

Predominantní faktory ovlivňující účinnost dezinfekce

Oxidace nebo ruptura buněčné stěny → dezintegrace buňky

Difuze do buňky a interference s buněčnou aktivitou



zdroj: Russel et al. (1997)

Dezinfekce vody

Patogeny vyskytující se ve vodě

	velikost [μm]	infekčnost*
bakterie	0,1-10	nízká - vysoká
viry	0,05-0,1	vysoká
protozoa	4-15	vysoká
červi	viditelní	vysoká

*** infekčnost (epidemiologická data)**

vysoká = infekční dávka 1 - 100 organismů,

střední = infekční dávka 100 - 10 000

nízká = infekční dávka > 10 000

Při kontaminaci může nastat

1. Průjmy / žloutenka
patogeny přítomné ve vodě

2. Problémy způsobené při nedostatku hygieny / vody

3. Nemoci způsobené parazitickými červy
mezihostitel vodní živočich plž – onemocnění střeva, kůže, mozku

4. Nemoci způsobené hmyzem, žijícím ve vodním prostředí
malárie, horečka Dengue, žlutá zimnice

Dezinfekce vody

Patogeny vyskytující se ve vodě – bakterie

Organism	Major disease	Primary source
Bacteria		
<i>Salmonella typhi</i>	Typhoid fever	Human feces
<i>Salmonella paratyphi</i>	Paratyphoid fever	Human feces
Other <i>Salmonella</i> sp.	Gastroenteritis (salmonellosis)	Human/animal feces
<i>Shigella</i>	Bacillary dysentery	Human feces
<i>Vibrio cholerae</i>	Cholera	Human feces, coastal water
Pathogenic <i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis	Human/animal feces
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastroenteritis	Human/animal feces
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenteritis	Human/animal feces
<i>Legionella pneumophila</i>	Legionnaires' disease, Pontiac fever	Warm water
<i>Mycobacterium avium</i> <i>intracellulare</i>	Pulmonary disease	Human/animal feces, soil, water
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Dermatitis	Natural waters
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Gastroenteritis	Natural waters
<i>Helicobacter pylori</i>	Peptic ulcers	Saliva, human feces?

Dezinfekce vody

Patogeny vyskytující se ve vodě – viry

Organism	Major disease	Primary source
Enteric viruses		
Poliovirus	Poliomyelitis	Human feces
Coxsackievirus	Upper respiratory disease	Human feces
Echovirus	Upper respiratory disease	Human feces
Rotavirus	Gastroenteritis	Human feces
Norwalk virus and other caliciviruses	Gastroenteritis	Human feces
Hepatitis A virus	Infectious hepatitis	Human feces
Hepatitis E virus	Hepatitis	Human feces
Astrovirus	Gastroenteritis	Human feces
Enteric adenoviruses	Gastroenteritis	Human feces

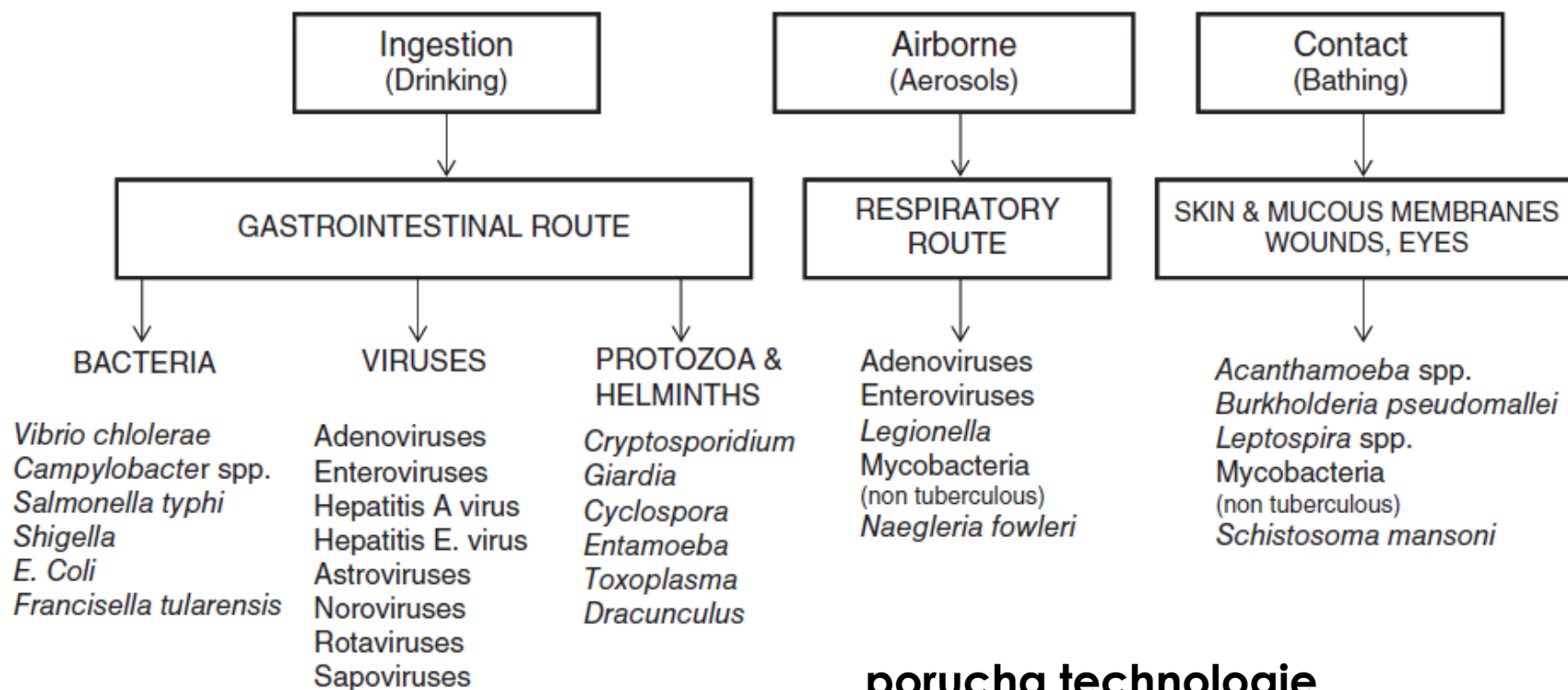
Dezinfekce vody

Patogeny vyskytující se ve vodě – další organismy

Organism	Major disease	Primary source
Protozoa and other organisms		
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis (gastroenteritis)	Human and animal feces
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiosis (gastroenteritis)	Human and animal feces
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amoebic dysentery	Human feces
<i>Cyclospora cayatanensis</i>	Gastroenteritis	Human feces
Microspora	Gastroenteritis	Human feces
<i>Acanthamoeba</i>	Eye infection	Soil and water
<i>Toxoplasma gondii</i>	Flu-like symptoms	Cats
<i>Naegleria fowleri</i>	Primary amoebic meningoencephalitis	Soil and water
Blue-green algae	Gastroenteritis, liver damage, nervous system damage	Natural waters
Fungi	Respiratory allergies	Air, water?

Dezinfekce vody

Možnost přenosu



Zdroj: WHO 2011, *Guidelines for Drinking-Water Quality*

**porucha technologie
chyba provozování úpravny vody
kontaminace surové povrchové vody
kontaminace surové podzemí vody**

Dezinfekce vody

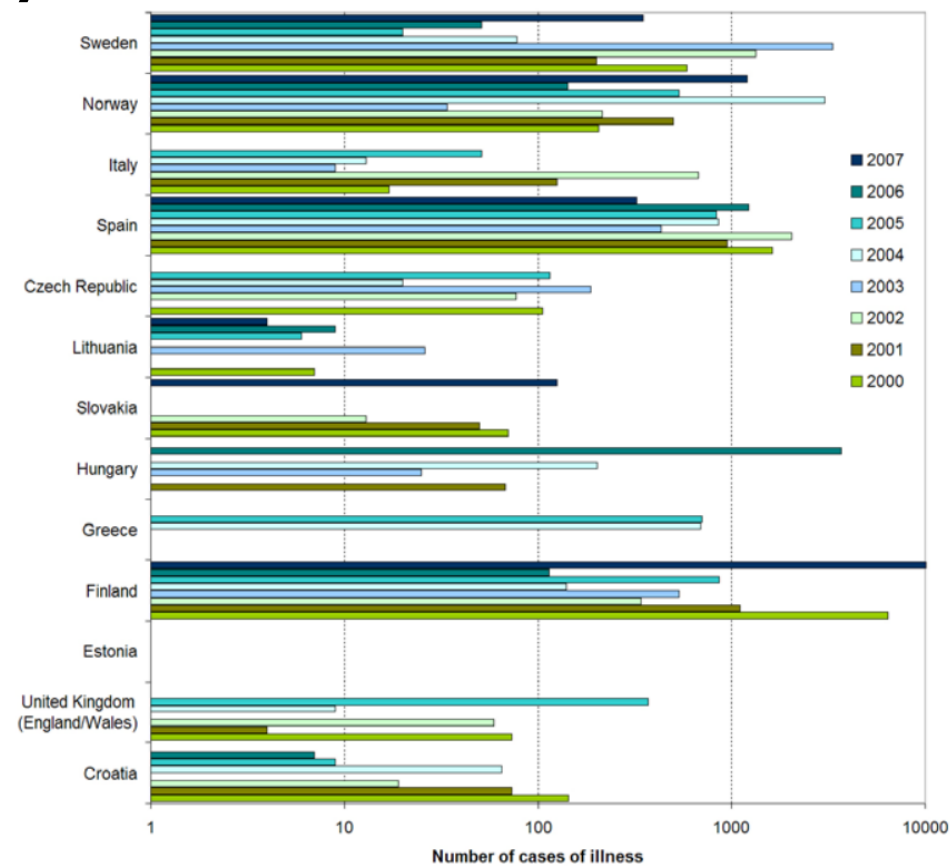
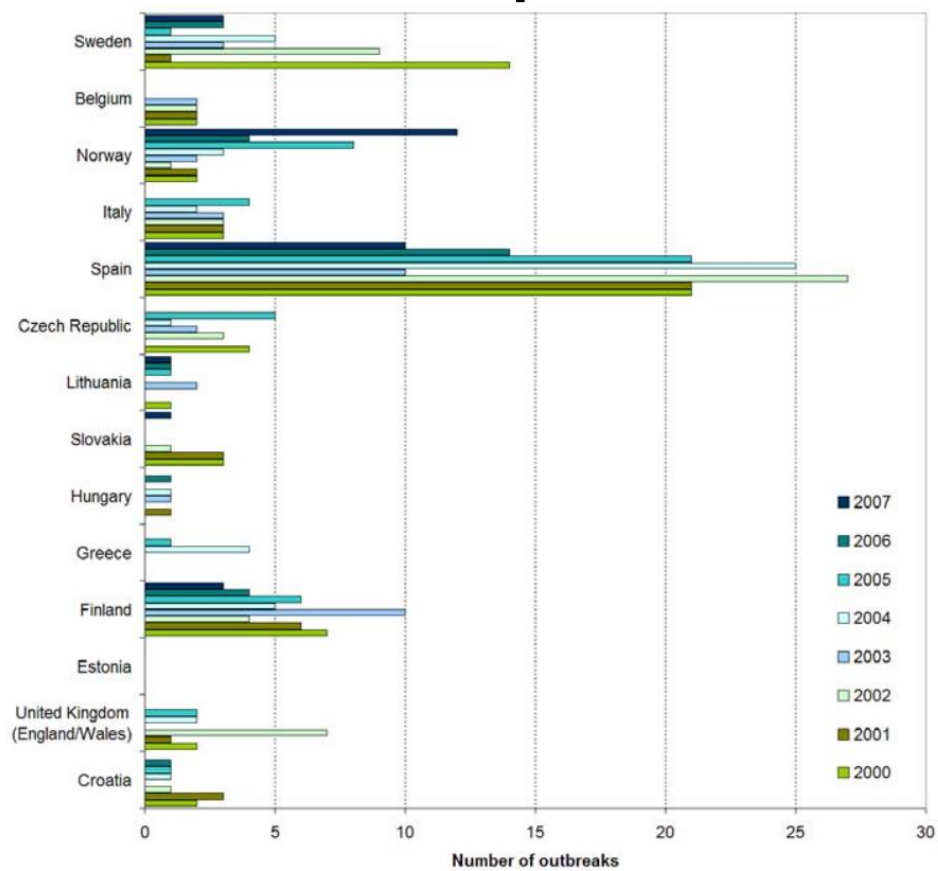
Nejčastější nemoci přenášené pitnou vodou

Disease	Causal bacterial agent
cholera	<i>Vibrio cholerae</i> , serovarieties O1 a O139
gastroenteritida	převážně <i>Vibrio parahaemolyticus</i>
břišní tyfus a salmonelóza	<i>Salmonella enterica</i> subsp. <i>enterica</i> serovar Paratyphi
	<i>Salmonella enterica</i> subsp. <i>enterica</i> serovar Typhi
	<i>Salmonella enterica</i> subsp. <i>enterica</i> serovar Typhimurium
shigelóza - bacilární úplavice	<i>Shigella dysenteriae</i> , <i>Shigella flexneri</i> , <i>Shigella boydii</i> , <i>Shigella sonnei</i>
akutní průjmy a gastroenteritida	<i>Escherichia coli</i> , serotypy O148, O157 a O124

Zdroj: WHO 2011, *Guidelines for Drinking-Water Quality*

Dezinfekce vody

Počet událostí / počet nemocných



Zdroj: WHO 2009, OUTBREAKS OF WATERBORNE DISEASES

Dezinfekce vody

Faktory ovlivňující volbu způsobu dezinfekce

Funkce několika proměnných.

- účinnost zvolené dezinfekce,
- druh a koncentrace mikroorganismů,
- kvalita dezinfikované vody,
- tvorba nechtěných vedlejších produktů po dezinfekci,
- typ a dávka dezinfekčního činidla, doba kontaktu,
- provozní a investiční náklady.



Dezinfekce vody

Typ a dávka dezinfekčního činidla

Kritický krok pro dosažení dezinfekčního účinku
- pro volbu je často zásadní faktor schopnost oxidace

Oxidační činidlo		Oxidační potenciál [V]	Reakce
Chlór	Cl ₂	1,36	Cl ₂ + 2e ⁻ ↔ 2Cl ⁻
Bróm	Br ₂	1,09	Br ₂ + 2e ⁻ ↔ 2Br ⁻
Jód	I ₂	0,54	I ₂ + 2e ⁻ ↔ 2I ⁻
Ozón	O ₃	2,07	O ₃ + 2e ⁻ + 2H ⁺ ↔ O ₂ + H ₂ O
Chlor dioxid	ClO ₂	1,91	ClO ₂ + 5e ⁻ + 2H ₂ O ↔ Cl ⁻ + 4OH ⁻
		0,95	ClO ₂ + e ⁻ ↔ ClO ₂ ⁻

Dezinfekce vody

Účinnost dezinfekčního činidla

Účinnost z hlediska oxidace
ozon > chlor dioxid > chlor > brom > jod

Účinnost z hlediska difuze do buňky
jod > brom > chlor

- dávka činidla je vždy funkcí kvality vody
- stanovována často experimentálně





Dezinfekce vody

Rezistence mikroorganismů

Dělení patogenů sestupně podle rezistence

spóry bakterií > spóry protozoí > viry > bakterie

Dezinfekce vody

Doba kontaktu

Chick-Watson model, používaný dodnes

retrospektiva

Chick zákon (1908)

$$\ln \frac{N}{N_0} = -kt$$



Watson upravil zákon (1908)

$$\ln \left(\frac{N}{N_0} \right) = -\Lambda C^n t$$

N - počet organismů v čase t

N_0 - počet organismů v čase 0

k - konstanta charakterizující typ činidla, mikroorganismu a kvality vody,

Λ - koeficient specifické úmrtnosti,

C - koncentrace dezinfekčního činidla,

n - koeficient ředění, závisí na činidle a pH

t - čas.



Harriette Chick

A vertical strip on the left side of the slide shows a water treatment plant. It features concrete structures, pipes, and aeration tanks with brownish water. In the background, there are green trees and a building with a spire under a clear sky.

Dezinfekce vody

Chlor

1774 poprvé připraven,

1808 uznán jako prvek,

1825 Francie roztok KOCI (Javelle water), odpady,

1831 nasazen v epidemii cholery,

1908 první zmínka o dezinfekci chlorem Bubbly Creek,

1917 chloramin Ottawa a Denver,

1918 více než 1000 měst používalo chlor.

Dezinfekce vody

Chlorace

- dávkování plynného chloru, chlornanu sodného nebo vápenatého do vody, chlordioxid, chloramin,
- dávka závisí na složení vody (spotřebě chloru) a na dezinfekčních limitech,
- pro pitnou vodu je třeba zajistit minimální hodnotu zbytkové koncentrace chloru ve výši 0,1 mg/l,
- k dosažení účinné dezinfekce je navíc potřeba minimální doba působení chloru 20 minut,
- účinnost chlorace je mimořádně závislá na pH hodnotě vody.



Dezinfekce vody

Chlor

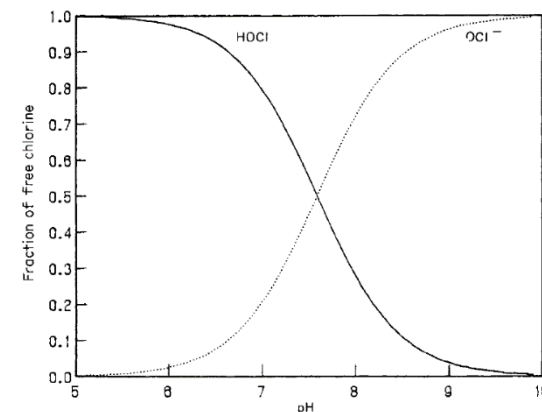
- účinnost dezinfekce závisí na chemické formě ve vodě,
- závislost na teplotě, pH, obsahu organických látek,



Chlornan následně reaguje s organickými a anorganickými látkami ve vodě nebo disociuje



pH vody ovlivňuje obsah HOCl a OCl⁻



Dezinfekce vody

Chloramin

- v případě přítomnosti Cl_2 a NH_3 ve vodě,
- formy:

monochloramin (NH_2Cl),

71g dostupného Cl_2

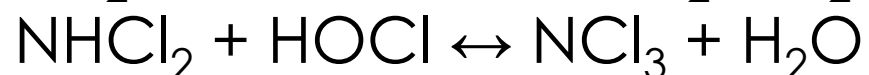
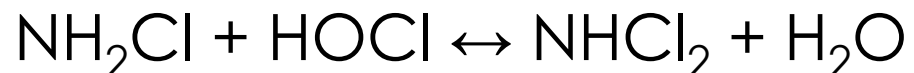
dichloramin (NHCl_2),

141g dostupného Cl_2

trichloramin (NCl_3),

223g dostupného Cl_2

- závislost na obsahu Cl_2 a NH_3 , teplotě, pH,

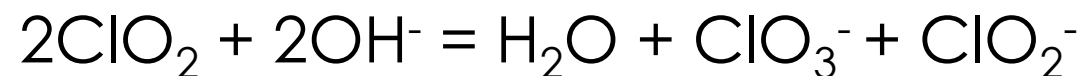


Dezinfekce vody

Chlordioxid

- 1811 vyroben při reakci $\text{KOCl} + \text{HCl}$,
- užíván zejména v papírenském průmyslu,
- pomalé nasazení do úpravy a čištění vod,
- nestabilní plyn, rozpustnost ve vodě 61,6 g/l.

- v případě vysokého pH



typická reakce ve vodě



Dezinfekce vody

Chlor – mechanismus působení

- narušení permeability buněk,
- represe genové transkripce,
- poškození nukleových kyselin a enzymů,
- další efekty
 - transport nutrientů
 - buněčné dýchání
 - produkce ATP



Dezinfekce vody

Chlor – vedlejší produkty

- trihalometany
 - chloroform, bromdichlormetan, dibromchlormetan, bromoform,
- halogenoctové kyseliny
 - chloroctová, dichloroctová, trichloroctová, bromoctová,
- halogenované acetonitrily
 - dichloracetonitril, bromchloracetonitril,



A vertical strip on the left side of the slide shows a water treatment plant. It features concrete structures, pipes, and aeration tanks with visible water and bubbles. In the background, there are green trees and a building with a spire under a clear sky.

Dezinfekce vody

Ozon

1783 objeven (Van Marum),

1840 pojmenován (Schonbein),

1857 vyroben první generátor ozónu Siemens,

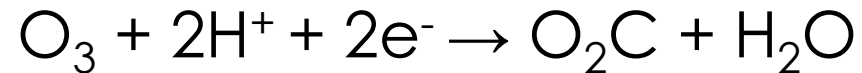
1893 použití ozónu pro dezinfekci vody Holandsko,

1906 instalace Nice, nejdéle v provozu,

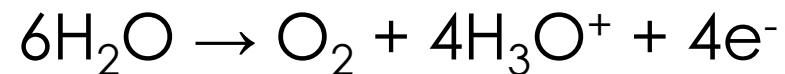
Dezinfekce vody

Ozon

- účinnost dezinfekce závisí na chemické formě ve vodě,
- závislost na teplotě, pH, obsahu organických látek,



současně probíhá reakce ozonu s vodou



Dezinfekce vody

Ozon – mechanismus působení

- produkce volných radikálů, hydroxylové radikály,
- narušení permeability,
- produkce enzymů,
- DNA
 - cílí na guanin nebo thymin,



A vertical strip on the left side of the slide shows a water treatment plant. It features concrete structures, pipes, and aeration tanks with brownish water. In the background, there are green trees and a building with a spire under a clear sky.

Dezinfekce vody

Ozon – vedlejší produkty

- peroxidy,
- organické epoxidy
- formaldehyd,
- bromidy, bromičnany,

Dezinfekce vody

UV

1877 Downes a Blunt, objev germicidních vlastností slunečního záření.

1903 Niels Finsen, Nobelova cena, UV proti TB

1908 UV dezinfekce pitné vody, Marseille, France

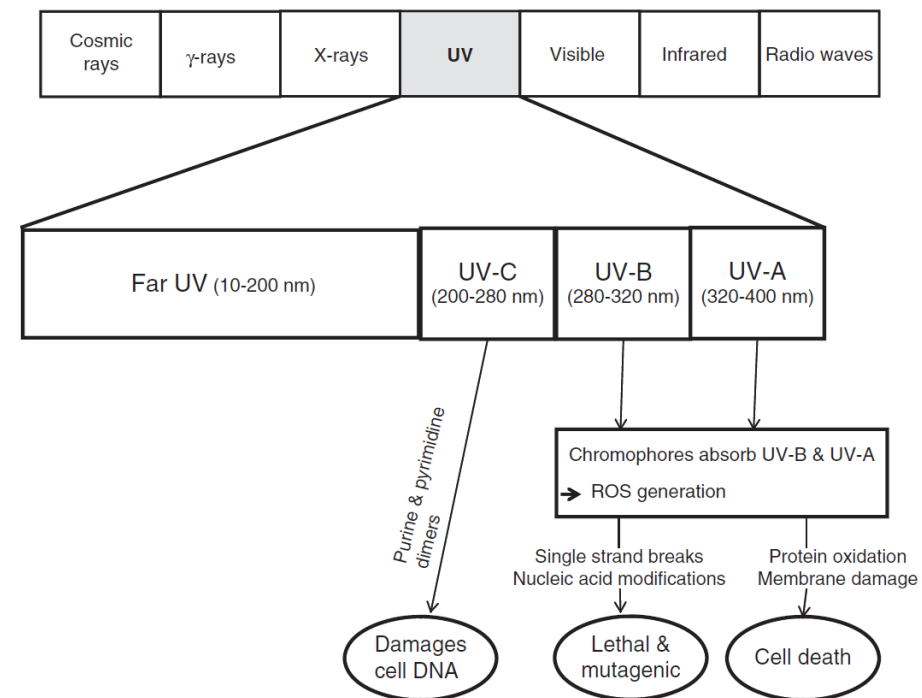
1960 UV dezinfekce pitné vody se stává běžnou,



Dezinfekce vody

UV – mechanismus působení

- thymine a cytosin dimerace = blokování replikace DNA,
- 260 nm – nejvyšší účinek,
- UV oprava
 - oprava exprese nukleotidů,
 - fotoreaktivace.



Dezinfekce vody

UV – vedlejší produkty

- přeměna dusičnanů na dusitany

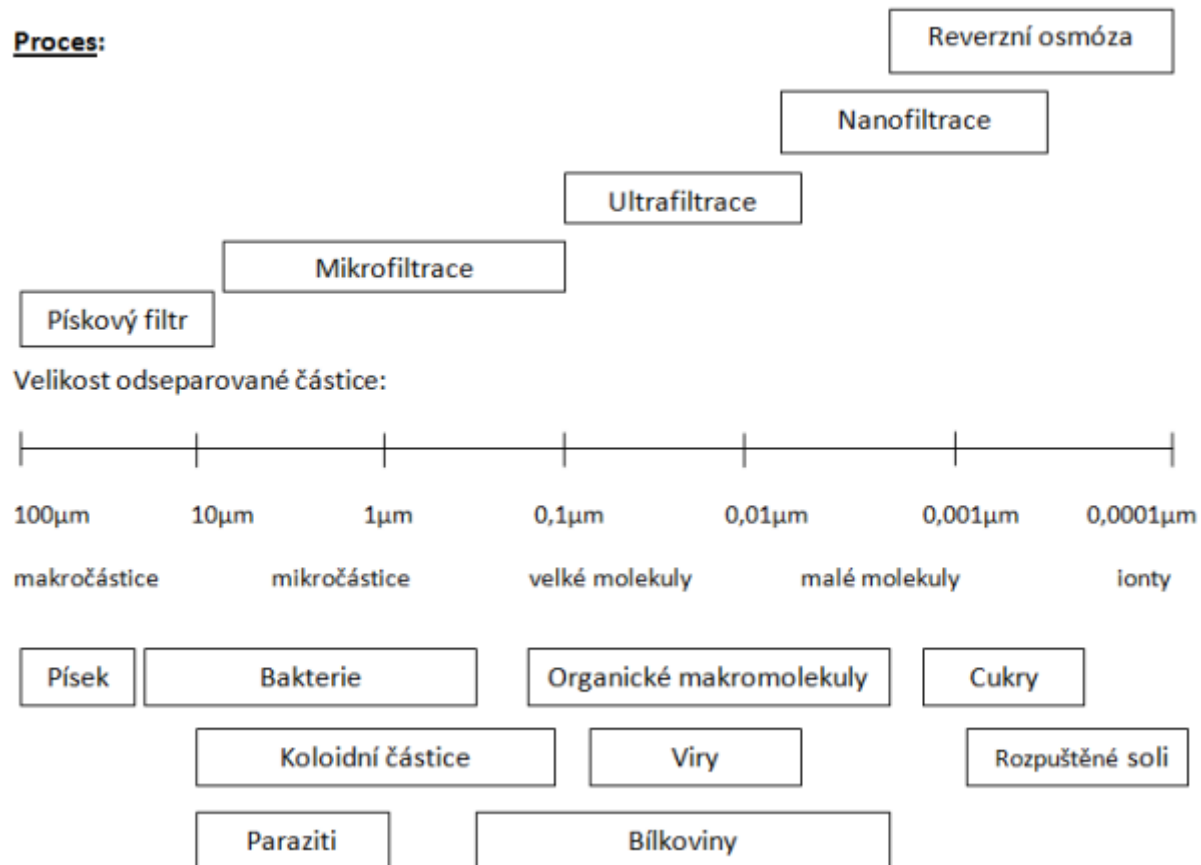
- formaldehyd, souvisí s obsahem huminových látek



Dezinfekce vody

Membránová filtrace

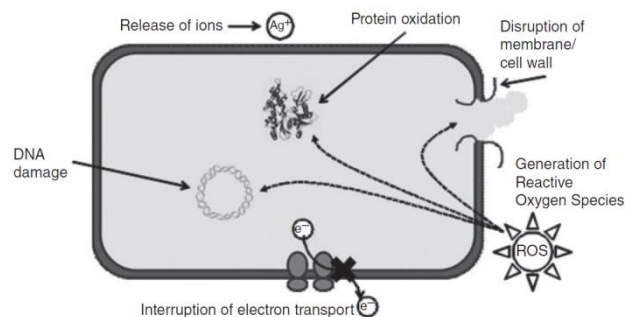
Proces:



Dezinfekce vody

Další metody

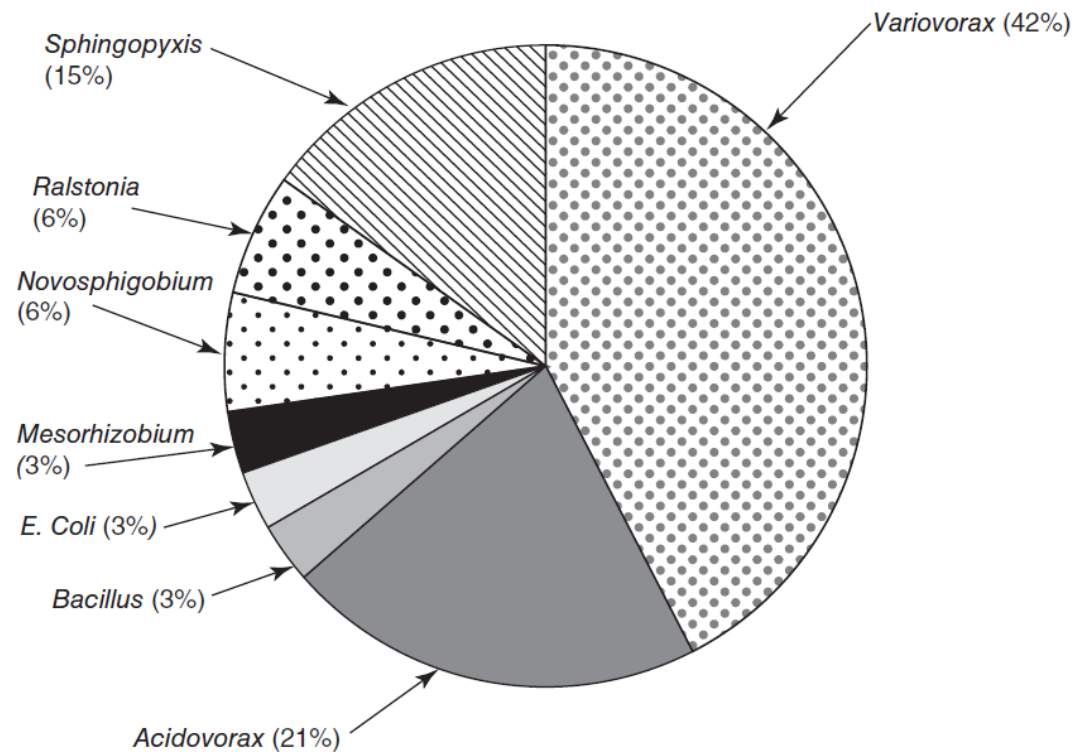
- ultrazvuk,
- vysoký tlak,
- nanomateriály (ZnO, TiO₂, Ce₂O₄, fullereny, stříbro),



zdroj: Li, et al. (2008)

Dezinfekce vody

Bakteriální diverzita v pitné vodě (16S rRNA)



zdroj: Lee et al. (2010)

Pseudomonas, Acinetobacter, Flavobacterium, Alcaligenes, Aeromonas, Moraxella, Enterobacter, Citrobacter, Sphingomonas, Klebsiella, Burkholderia, Xanthomonas, Methylobacterium, Bacillus

zdroj: Berry et al., 2006

Dezinfekce vody

voda z kohoutku

- dlouhá doba zdržení (dovolená),
- vzdálenost od úpravny,
- nízké (zbytkové) koncentrace dezinfekčních činidel,
- vyšší teplota
- poměr povrchu potrubí/objem vody,
- při odběru vody na počátku detekovány vyšší koncentrace mikroorganismů, kovů (Cu, Pb),



Dezinfekce vody

voda balená - zdroj

- minerální voda, (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , HCO_3^-),
- perlivá voda, obohacená CO_2 ,
- neperlivá, minerální nebo z vodovodu bez plynu,
- voda z pramenů,
- destilovaná nebo čištěná (reverzní osmóza, membrány),
- voda z vodovodů,



Dezinfekce vody

voda balená

- teplota, světlo,
- materiál,
 - plast = vykazuje vyšší rychlosti růstu,
 - sklo = vykazuje nižší rychlosti růstu.
- obsah uhličitánů,
 - vyšší koncentrace = méně mikroorganismů,





Bioterorismus

patogenní mikroorganismy nebo produkty mikroorganismů

poškození lidí, zvířat, plodin

Srovnání s konvenčními zbraněmi

produkce biologických zbraní je mnohem levnější

poškodit civilní obyvatelstvo mnohem jednodušší

Bioterorismus - historie

čtrnácté století – Turci infikovali pozice nepřátel mrtvými těly vojáků

1754-1767 deky s neštovicemi posílány indiánům (Amerika)

1914-1918 1. světová válka, Němci použili *Bacillus anthracis* a *Burkholderia mallei* k infikování koní a zvířat nepřátel

1930-1945 Japonci a Němci použili *B. anthracis*, *Shigella*, *Salmonella*, *Yersinia pestis* na vězně

1962-1968 Viet Kong používal lidské a zvířecí exkrementy

1991 Irák, válka v Perském zálivu použití biologických zbraní

2013 Sýrie, možné použití biologických zbraní

Bioterorismus – zajímavá fakta

- snadný přenos vzduchem, vodou, potravou, kontaminovanými předměty, přenos mezi lidmi,
- dávka nutná k infekci je různá
- levná výroba ve srovnání s chemickými zbraněmi
- agens jsou stabilní v životním prostředí
- agens jsou bez barvy, zápachu, symptomy se mohou projevit se zpožděním
- vliv na úpravu a čištění vody, pokud by byly použity



Bioterrorismus – vybrané agens

Disease Agent	Potential for Weaponization	Estimated Infectious Dose	Equivalent Drinking Water Concentration (number/L)		Water Threat	Biological Agent	Disease
			5 L/day ^a	15 L/day ^a			
Anthrax (<i>Bacillus anthracis</i>)	Yes	6000 spores (inh)	171	57	Yes	CATEGORY A^a Variola major <i>Bacillus anthracis</i> <i>Yersinia pestis</i> <i>Clostridium botulinum</i>	Smallpox Anthrax Plague Botulism
Brucellosis (<i>Brucella</i>)	Yes	10–100 cells	300	100	Probable	<i>Francisella tularensis</i>	Tularemia
Cholera (<i>Vibrio cholerae</i>)	Unknown	10 ³ (ing)	30	10	Yes	Filoviruses and Arenaviruses (e.g., ebola virus, Lassa virus)	Viral hemorrhagic fevers
Plague (<i>Yersinia pestis</i>)	Probable	10 ² –10 ³ (inh) 70 (ing)	2	<1	Yes	CATEGORY B <i>Coxiella burnetii</i> <i>Brucella</i> spp. <i>Burkholderia mallei</i>	Q fever Brucellosis Glanders
Glanders (<i>Burkholderia mallei</i>)	Probable	3.2 × 10 ⁶	9 × 10 ⁴	3 × 10 ⁴	Unlikely	Alphaviruses <i>Rickettsia prowazekii</i>	Encephalitis Typhus fever
Tularemia (<i>Francisella tularensis</i>)	Yes	10 ⁸ cells (ing) 10–50 cells (inh)	3 × 10 ⁶	10 ⁶	Yes	Biotoxins (e.g., ricin, Staphylococcal enterotoxin B) <i>Chlamydia psittaci</i>	Toxic syndromes
Q fever (<i>Coxiella burnetii</i>)	Yes	25 (unsp)	<1	<1	Possible	Foodborne agents (e.g., <i>Salmonella</i>)	Psittacosis
Smallpox virus	Possible	10–100 particles (inh)			?		Typhoid and paratyphoid fevers, gastroenteritis
Cryptosporidiosis (<i>Cryptosporidium</i>)	Unknown	132 oocysts (ing)	3	1	Yes	Waterborne agents (e.g., <i>vibrio cholerae</i> , caliciviruses, <i>Cryptosporidium</i>)	Wide range of illnesses (see Chapter 1 of this book)

Source: Adapted from Burrows and Renner (1999). Env. Hlth. Persp. 107: 975–984; Bitton (1999). Wastewater Microbiology, 2nd. Ed., Wiley

inh, inhalation route; ing, ingestion route; unsp, unspecified route.

^aThe equivalent drinking water concentration is obtained by dividing by 7 (the maximum number of days for accumulation of the infectious organism without any clearance) and by 5 or 15 to account for water consumption of 5 L/day and 15 L/day, respectively.

CATEGORY C

Emerging agents (e.g., Nipah virus, hantavirus)

Source: Adapted from Rotz et al. (2002). Emerg. Infect. Dis. 8: 225–229.

^aFrom a public health threat viewpoint: A > B > C.

Bioterrorismus – toxy

Biotoxin	Amenability to Weaponization	NOAEL or LD ₅₀	Water Threat
Aflatoxins	Yes	LD ₅₀ = 10–100 mg/person	Yes
Anatoxin A	Unknown	LD ₅₀ = 200 µg/kg (mice)	Probable
Botulinum toxins	Yes	0.003 µg/kg (mice) 0.006 µg/kg (humans)	Yes
Microcystins	Possible	ID ₅₀ = 1–10 mg/person NOAEL = 10 µg/L WHO standard = 1 µg/L (lifetime exposure)	Yes
Ricin	Yes	LD ₅₀ = 20 mg/kg (mice) NOAEL = 2 µg/L	Yes
Saxitoxin	Possible	ID ₅₀ = 0.3–1 mg/person NOAEL = 0.1 µg/L	Yes
T-2 mycotoxin	Probable		Yes
Tetrodotoxin	Possible	LD ₅₀ = 30 µg/kg NOAEL = 0.1–30 µg/L	Yes

Source: Adapted from Burrows and Renner (1999). *Env. Hlth. Persp.* 107: 975

LD₅₀, lethal dose affecting 50% of the population; NOAEL, no observed adverse effect level.

A vertical strip on the left side of the slide shows a water treatment plant. It features a large circular aeration tank with brown foam on the water surface, surrounded by concrete structures and metal railings. In the background, there are green trees and a building with a spire under a clear sky.

Bioterorismus – kontaminace vodovodů

- 2. světová válka Japonci kontaminovali vodu Číňanům,
 - *B. anthracis*, *Shigella* spp., *Salmonella* spp., *Vibrio cholera*, *Yersinia pestis*.

Možné způsoby

- destrukce technologie, uvolnění chlóru do potrubí,
- chemická kontaminace,
- kybernetický útok,
- **bioterorismus.**

Bioterorismus – kontaminace vodovodů

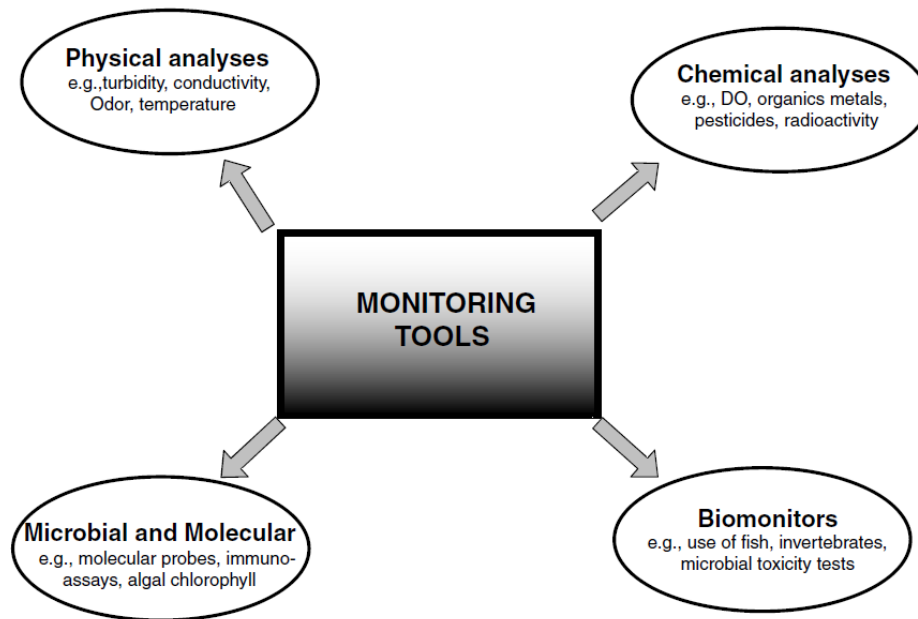
Procesy snižující riziko

- efekt naředění,
- fyzikální, chemické, biologické faktory snižující riziko,
- úpravný vody disponují řadou bariér k odstranění kontaminace,
 - (koagulace, flokulace, filtrace)
- riziko nelze vyloučit, mechanismy nejsou prostudovány,



Bioterorismus – zajímavá fakta

Kontaminace vodovodů – systémy včasného varování

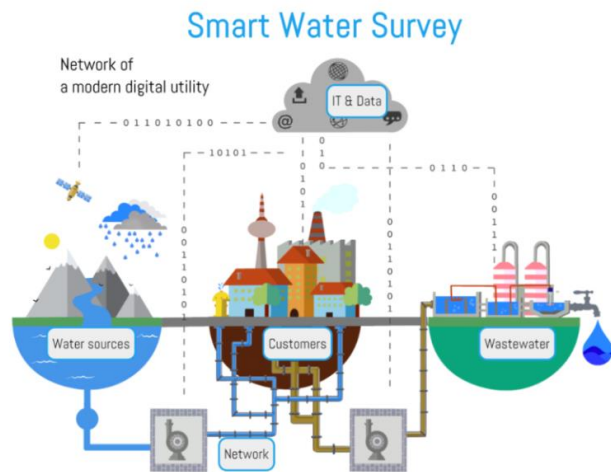


zdroj: Biton et al. (2008)

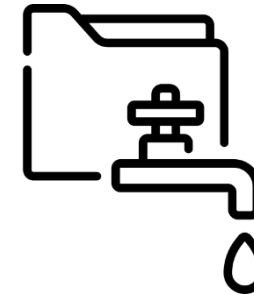


foto: Vítěz, úpravna vody Švařec

Bezpečnosť ??



Data leak



Burglars



ANDY GREENBERG SECURITY 02.08.2021 06:54 PM

A Hacker Tried to Poison a Florida City's Water Supply, Officials Say

The attacker upped sodium hydroxide levels in the Oldsmar, Florida, water supply to extremely dangerous levels.