

*Toto je český překlad článku „Smeets, P. W. M. H., Medema, G. J., and van Dijk, J. C.: The Dutch secret: how to provide safe drinking water without chlorine in the Netherlands“ (Drink. Water Eng. Sci., 2(1), 1-14, 2009). Přeloženo a publikováno se souhlasem autorů a podle licence CC BY 3.0. © Přeložili František Kožíšek, Šárka Bobková a Dana Baudišová, Státní zdravotní ústav, Praha 2023.*

*This is the Czech translation of the paper “Smeets, P. W. M. H., Medema, G. J., and van Dijk, J. C.: The Dutch secret: how to provide safe drinking water without chlorine in the Netherlands” (Drink. Water Eng. Sci., 2(1), 1-14, 2009). Translated and published with the permission of the authors and according to the CC BY 3.0 License.*

*© Translated by František Kožíšek, Šárka Bobková and Dana Baudišová, National Institute of Public Health, Prague 2023.*

*Původní text je dostupný z / original paper available at: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A620befdf-83a2-4a00-907a-3af64cd3fe68>*

## Holandské tajemství: jak se v Nizozemí zajišťuje bezpečná pitná voda bez chloru

P. W. M. H. Smeets<sup>1,2</sup>, G. J. Medema<sup>1</sup>, and J. C. van Dijk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kiwa Water Research, Groningenhaven 7, 3433 PE Nieuwegein, The Netherlands

<sup>2</sup>Technical University Delft, P.O. Box 5048, 2600 GA Delft, The Netherlands

**Abstrakt.** Nizozemí je jednou z mála zemí, kde se vůbec nepoužívá chlor, a to ani pro primární dezinfekci, ani pro udržování reziduálního dezinfekčního prostředku v distribuční síti. Holandský přístup umožňující výrobu a distribuci pitné vody bez použití chloru, aniž by při tom byla ohrožena mikrobiální nezávadnost u kohoutku, lze shrnout následovně:

1. Využívá se nejlepší dostupný zdroj, nejlépe v následujícím pořadí:
  - mikrobiologicky bezpečná podzemní voda,
  - povrchová voda, která prošla zemním filtrem, jako je umělá infiltrace nebo břehová infiltrace,
  - přímá úprava povrchové vody za použití více bariér;
2. K úpravě vody se přednostně používají fyzikální procesy jako sedimentace, filtrace a UV dezinfekce. Pokud není vyhnutí, lze využít oxidaci za použití ozonu nebo peroxidu vodíku, ale chlor se nepoužívá;
3. Brání se pronikání kontaminace během distribuce vody;
4. Zabraňuje se mikrobiálnímu růstu v distribuční síti výrobou a distribucí biologicky stabilní vody a použitím biologicky stabilních (inertních) materiálů rozvodné sítě;
5. Monitoruje se systém zásobování, aby se včas detekovala jakákoli závada v systému a zabránilo se tak významným nežádoucím účinkům na lidské zdraví.

Nové trendy v oblasti bezpečné pitné vody v Nizozemí zahrnují úpravu nizozemského nařízení o pitné vodě, zavedení kvantitativního hodnocení mikrobiálního rizika (QMRA) vodohospodářskými společnostmi a výzkum v oblasti kvality zdrojů surové vody, účinnosti úpravy pitné vody, bezpečné distribuce a biostability pitné vody během distribuce a výzkum legionel. Tento článek shrnuje, jak holandské vodohospodářské společnosti zajišťují bezpečnost pitné vody bez použití chloru.

### 1 Úvod

Nizozemí je jednou z mála zemí, kde se vůbec nepoužívá chlor, a to ani pro primární dezinfekci, ani pro udržování reziduálního dezinfekčního prostředku v distribuční síti. Ačkoliv se obecně věří, že chemická dezinfekce zvyšuje bezpečnost pitné vody, Holanďané si myslí, že přináší více problémů než užitku. Z toho důvodu Holanďané postupně přijali

celkový systémový přístup, který umožňuje výrobu a distribuci pitné vody bez použití chloru, aniž by přitom byla ohrožena mikrobiální bezpečnost vody na kohoutku. Holandský přístup k bezpečné pitné vodě byl popsán autorem van der Kooij a kol. (1995, 1999, 2003a). Tento přístup lze shrnout následovně:

1. Využívá se nejlepší dostupný zdroj, nejlépe v následujícím pořadí:
  - mikrobiologicky bezpečná podzemní voda,
  - povrchová voda, která prošla zemním filtrem, jako je umělá infiltrace nebo břehová infiltrace,
  - přímá úprava povrchové vody za použití více bariér;
2. K úpravě vody se přednostně používají fyzikální procesy jako sedimentace, filtrace a UV dezinfekce. Pokud není vyhnutí, lze využít oxidaci za použití ozonu nebo peroxidu vodíku, ale chlor se nepoužívá;
3. Brání se pronikání kontaminace během distribuce vody;
4. Zabraňuje se mikrobiálnímu růstu v distribuční síti výrobou a distribucí biologicky stabilní vody a použitím biologicky stabilních (inertních) materiálů rozvodné sítě;
5. Monitoruje se systém zásobování, aby se včas detekovala jakákoli závada v systému a zabránilo se tak významným nežádoucím účinkům na lidské zdraví.

Nové trendy v oblasti bezpečné pitné vody v Nizozemí zahrnují úpravu nizozemského nařízení o pitné vodě, zavedení kvantitativního hodnocení mikrobiálních rizik (quantitative microbial risk assessment, QMRA) vodohospodářskými společnostmi a výzkum v oblasti kvality surové vody (zdrojů vody), účinnosti čištění pitné vody, bezpečné distribuce a biostability pitné vody během distribuce a výzkum legionel. Tento článek shrnuje dřívější publikaci autorů van der Kooij a kol. (1995, 1999, 2003a) a poskytuje aktualizaci toho, jak nizozemské vodohospodářské společnosti zaručují bezpečnost pitné vody bez použití chloru.

## 2 Právní požadavky

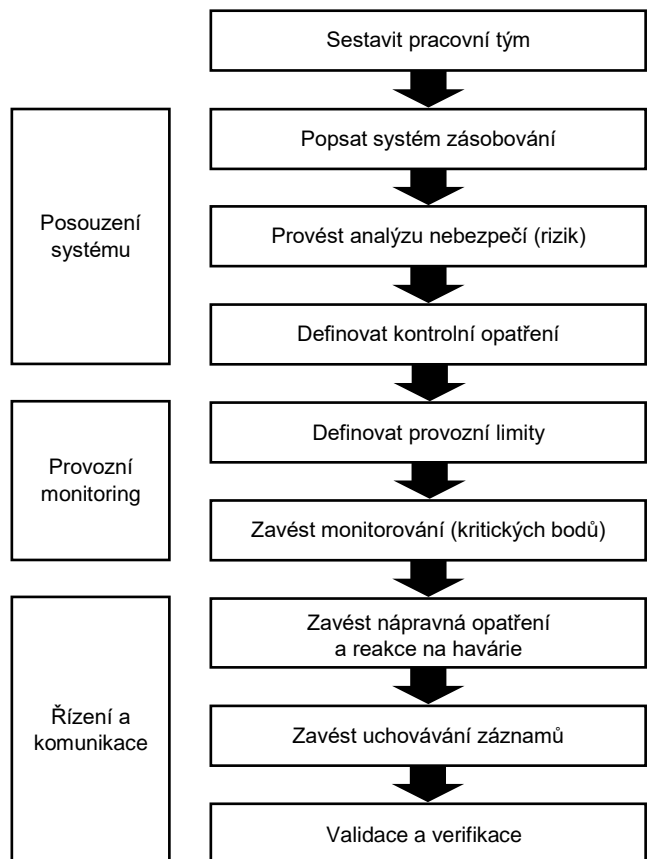
Členské státy Evropské unie musí do své národní legislativy týkající se pitné vody implementovat směrnici Evropské unie o pitné vodě (Evropská komise, 1998). Holandské nařízení o pitné vodě (Staatsblad, 2001) ukládá obvykle přísnější požadavky na kvalitu pitné vody než evropská směrnice. Takže zatímco evropská směrnice umožňuje výjimky pro malé dodavatele (méně než 10 m<sup>3</sup> za den nebo 50 osob), holandská legislativa tuto možnost neuvádí a naopak stanovuje, že pitná voda by měla splňovat stejné požadavky bez ohledu na velikost systému. V Nizozemí by se stejně taková výjimka týkala pouze malého množství systémů. Požadavky na monitorování souvisí s velikostí systému a budou diskutovány níže. Holandská legislativa nezahrnuje žádné požadavky na primární nebo sekundární dezinfekci. Při revizi nařízení v roce 2001 byl do tohoto dokumentu zařazen zdravotní cíl, resp. přijatelné riziko infekce (nákazy) a mikrobiologické požadavky nyní zahrnují:

1. QMRA pro ohrožená místa (povrchová voda) musí prokázat, že odhadované riziko infekce pro enterické

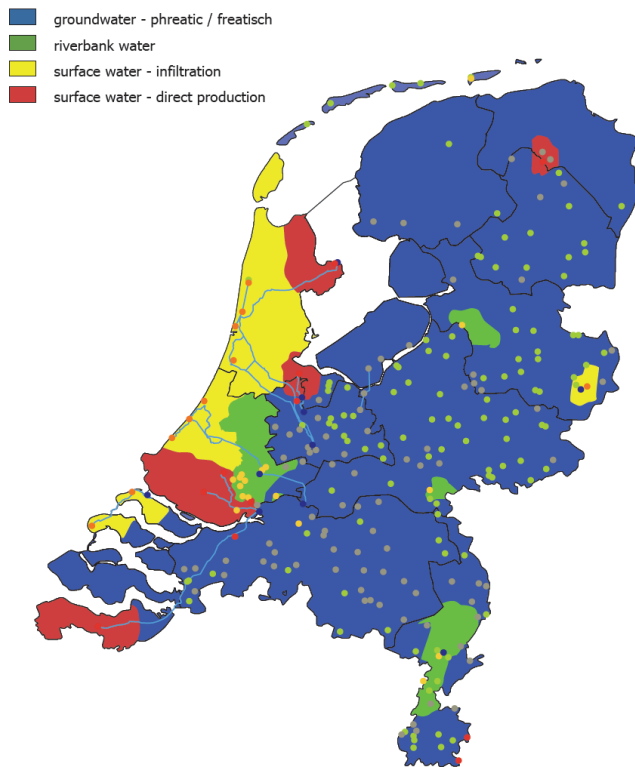
viry, *Cryptosporidium*, *Giardia* a další relevantní patogeny je nižší než 1 případ nákazy na 10 000 osob za rok.

2. *E. coli* a enterokoky 0 KTJ/100 ml
3. *Aeromonas* <1000 KTJ/100 ml (provozní ukazatel)
4. Počty kolonií při 22°C <100 KTJ/ml (provozní ukazatel)
5. Koliformní bakterie a *Clostridium perfringens* 0 KTJ/100 ml (provozní ukazatel)

Zákonem zavedené QMRA opět obrátilo pozornost k mikrobiální bezpečnosti pitné vody. To vedlo k zintenzivnění monitorování celého systému pitné vody a k výzkumu účinnosti čištění a bezpečné distribuce. Světová zdravotnická organizace (WHO) podporuje plány pro zajištění bezpečného zásobování vodou (water safety plan, WSP) jako způsob řízení bezpečnosti pitné vody (WHO, 2004). Mnoho vodohospodářských společností zavedlo nebo zavádí WSP do svých systémů. Rámec WSP, znázorněný na obrázku 1, poskytuje systematický přístup k bezpečné pitné vodě. Tento rámec je zde použit k popisu holandského přístupu k bezpečné pitné vodě na národní úrovni.



**Obrázek 1.** Struktura posouzení a řízení rizik (Water Safety Plan, WHO 2004).



Obrázek 2. Druhy surové vody v Nizozemí.

### 3 Hodnocení systému zásobování

#### 3.1 Popis holandského zásobování vodou

V Nizozemí je pro výrobu pitné vody používán ten nejkvalitnější zdroj. Od dob, kdy se začala v Nizozemí dodávat pitná voda, byla vždy upřednostňovaným zdrojem vody mikrobiologicky bezpečná podzemní voda (v Nizozemí se tento zdroj nachází v omezené pískovcové zvodni na většině území, s výjimkou západních provincií, kde je podzemní voda brakická, obrázek 2). Voda je distribuována v systému pod tlakem, aby se zabránilo průniku vody zvenčí. Navíc, podzemní voda je většinou biologicky stabilní, a proto chlorace zabraňující bakteriálnímu růstu v distribuční síti není potřeba. Výsledkem je, že chlor nebyl nikdy používán v severních, východních ani jižních částech země.

V západní části (město Amsterdam, Haag a okolní městské oblasti) byla pitná voda původně získávána z dun. Po druhé světové válce začalo být v důsledku rozvoje urbanizace a zvýšení spotřeby pitné vody přirozené doplňování nedostatečné. Nyní je povrchová voda z řek Máza a Rýn předčištěná, transportována do dun a infiltrována. Infiltrace předčištěné povrchové vody umožňuje více než 10ti násobné zvýšení kapacity v porovnání s odběrem ze stejné velkého území přírodní podzemní vody. Řeky Rýn a Máza poskytují dostatečné množství vody, ale jejich kvalita je ovlivněna čistěnými i nečistěnými odpadními vodami, průmyslovou činností a zemědělstvím v povodí. Infiltrace poskytuje přirozený filtr pro patogenní parazity, bakterie

a viry, zabezpečuje stálou kvalitu a teplotu a velkou zásobní nádrž pro překonání/vyrovnaní znečišťujících událostí v řece. Infiltrovaná povrchová voda je upravována v multi-bariérovém systému tak, aby poskytovala pitnou vodu vysoké kvality. V menším měřítku je využívána „nepravá“ podzemní voda odebíraná podél břehů (z břehové infiltrace) proto, aby povrchová voda prošla půdním filtrem.

V některých lokalitách včetně oblastí Rotterdamu a Amsterdamu bylo potřeba též přímého čištění povrchové vody, aby byla uspokojena poptávka po vodě. Z důvodu zlepšení kvality vody byly vybudovány rezervoáry vedle vodních toků. Na jednu stranu toto vytvořilo kapacitu pro skladování, která umožnila selektivní odběr vody během období, kdy byla kvalita říční vody špatná. Na druhou stranu se tím také značně zlepšila kvalita vody během skladování díky přirozeným procesům. Až do roku 1973 byla skladovaná povrchová voda čistěna přímo koagulací, sedimentací, filtrací a chlorovou dezinfekcí. Tato voda byla pak distribuována se zbytkovým obsahem chlóru, což někdy vedlo ke stížnostem zákazníků ohledně chuti a pachu. Když chemik z rotterdamské vodohospodářské společnosti, Joop Rook, objevil, že chlor je zodpovědný za produkci vedlejších produktů dezinfekce, jako jsou trihalogenmethany (THM) (Rook, 1976), způsobilo to v Nizozemí revoluci v přístupu k úpravě pitné vody.

Po bouřlivých debatách bylo rozhodnuto opustit od chlorace všude tam, kde je to možné. Zpočátku byl snížen obsah použitého chlóru zlepšením předúpravy půdní infiltrací, optimalizací koagulace-sedimentace a rychlou i pomalou pískovou filtrací a optimalizací procesu chlorování. Další zlepšení zahrnovala oxidaci pomocí ozonizace v kombinaci s filtrací přes granulované aktivní uhlí (GAU). Toto nahradilo chloraci jako hlavní dezinfekční prostředek a také zlepšilo chuť a pach vody. Přesto byla ale někdy používána chlorová dezinfekce jako poslední krok úpravy, aby se snížilo zvýšené množství počtu kolonií po GAU. To vedlo ke snížení zbytků dezinfekce (chlóru nebo oxidu chloričitého) v distribuované vodě v prvních úsecích rozvodného systému, což zřejmě oddálilo opětovný růst mikroorganismů. Na několika lokalitách byla úprava povrchové vody rozšířena o UV. V roce 2005 byla poslední chlorová dezinfekce nahrazena novou generací UV zařízení, která byla ověřena jako účinná k inaktivaci mikroorganismů. To zlepšilo chuť a pach, snížilo množství vedlejších produktů dezinfekce a nevedlo k opětovnému pomnožení organismů. Navíc UV záření inaktivuje větší spektrum patogenů než chemická dezinfekce a mikrobiologickou bezpečnost lze snadno zaručit sledováním a řízením procesu úpravy. Důležitou bariéru proti mikroorganismům tvoří také inovativní procesy úpravy. Membránová filtrace jako ultrafiltrace a reverzní osmóza umožňují odstranit všechny mikroorganismy z vody, pokud je zaručena integrita membrány (a všech spojů) (Kamp a kol., 2000). Nejnověji používaný proces pokročilé oxidace s  $H_2O_2$  a UV zářením je účinný na mikropolutanty stejně jako na mikroorganismy (Kruithof a kol. 2007).

**Tabulka 1.** Typické počty patogenů v říční vodě.

|   | Minimum | Maximum | Zdroj                    |
|---|---------|---------|--------------------------|
| <b>Enterické viry (PFU/l)</b>             | 0,04    | 13      | Theunissen a kol. (1998) |
| <b><i>Campylobacter</i> (MPN/l)</b>       | 10      | 10 000  | Smeets a kol. (2008b)    |
| <b><i>Giardia</i> (cysty/l)</b>           | 0,1     | 10      | Schets a kol. (2008)     |
| <b><i>Cryptosporidium</i> (oocysty/l)</b> | 1,2     | 128     | Medema a kol. (2003)     |

Distribuce surové/zdrojové podzemní vody pokračovala bez chlorace. Pro další zlepšení kvality vody v úpravkách povrchových vod (prevence tvorby vedlejších produktů dezinfekce a zlepšení chuti a pachu) se úprava pitné vody zaměřila na výrobu biostabilní vody. Filozofie byla a stále je zabránit růstu v distribuční síti hladověním (*omezením přísunu živin – pozn. překladatele*) spíše než potlačováním opětovného růstu dezinfekčním reziduem. Proto již nebylo třeba používat reziduální dezinfekce během distribuce k prevenci znovupomnožení organismů. Hladina následné dezinfekce v úpravkách povrchových vod byla snížena na takovou úroveň, že v roce 2008 již vůbec nebyl používán chlor, a na několika málo místech, kde byla chemická dezinfekce použita (oxid chloričitý), nebyl v distribuované vodě měřitelný žádný reziduální dezinfekční prostředek.

### 3.2 Analýza nebezpečí (rizik)

#### 3.2.1 Nebezpečí

Zdroje povrchové vody čelí mnoha nebezpečím, jak mikrobiálním, tak chemickým. Povodí řek Rýn a Máza jsou rozsáhlá, zaujímají několik zemí a procházejí mnoha velkými městy. Proto je voda kontaminována všemi druhy lidských, živočišných i průmyslových odpadů. Dodavatelé vody intenzivně monitorují vodu v řece na několika stanicích a v místech odběru pro pitnou vodu. Pravidelně jsou detekovány nebezpečné mikroorganismy jako jsou patogenní prvoci (*Cryptosporidium* a *Giardia*), bakterie (*Campylobacter* a *E. coli* O157) a viry (enteroviry, *Norovirus*, Rotavirus, virus Hepatitidy A a E, adenoviry). Tabulka 1 poskytuje přehled o množství zjištěných patogenů v nizozemských říčních vodách.

Většina z těchto organismů způsobuje pouze mírné symptomy jako gastroenteritidu, ale některé mohou vést k závažným onemocněním až smrti (detaily lze nalézt v doporučeních WHO, 3. vydání, WHO 2004). Zdravotní následky mohou být též závažnější pro určité skupiny (děti, starší osoby, těhotné ženy, osoby se sníženou imunitou).

Mikroorganismy, které jsou podmíněně patogenní a mohou se množit v distribučních sítích pitné vody, jako je *Legionella*, *Aeromonas*, *Pseudomonas* a mykobakterie, mohou představovat riziko během procesu úpravy a distribuce. Od vypuknutí legionelózy po výstavě květin v roce 2000 (den Boer a kol., 2000) získala prevence růstu bakterií rodu *Legionella* značnou pozornost (van der Kooij a kol., 2005).

Chemická nebezpečí v surové vodě nejsou v tomto článku diskutována. Nicméně vedlejší produkty dezinfekce

diskutovány budou, protože mohou vznikat při výrobě pitné vody a její distribuci. Vedlejší produkty dezinfekce způsobující obavy jsou trihalomethany vznikající během chlorace a bromičnany vznikající při ozonizaci. Tyto látky mají mutagenní a karcinogenní účinky (Rook, 1976, Orlandini a kol., 1997). Za nebezpečí jsou též považována chuť, pach, barva a zákal (tabulka 4). Přestože tyto parametry nepředstavují žádné zdravotní riziko, musí být přijatelné pro spotřebitele. Tato nebezpečí mohou být přítomna v surové vodě, ale mohou také vznikat během úpravy a distribuce, např. dočasná chlorace po údržbě vede k námitkám ze strany spotřebitelů.

#### 3.2.2. Nebezpečné události

Nebezpečnými událostmi v surové vodě jsou úniky znečištění do surové vody, které vedou k přechodně zvýšeným („píkovým“) koncentracím nebezpečných mikrobů nebo chemických látek. Prudký déšť může vést k „únikům“ splachů ze zemědělské půdy, únikům z přepadů jednotné stokové sítě a poruchám či obtokům čistíren odpadních vod. Nebezpečí může představovat také sucho, protože říční voda je koncentrovanější a vyšší procento tvoří odpadní vody. Protože řeky Máza a Rýn jsou trvale znečišťovány odpadními vodami, koncentrace patogenů se neustále mění. Za nebezpečné události by se proto měly považovat jen případy extrémních úrovní znečištění. Nebezpečí, které souvisí se zásobováním podzemní vodou, je kontaminace v ústí vrtu nebo v jeho blízkosti. Ačkoli to vedlo k detekci fekálních indikátorů ve vodě, ke vzniku nákazy nedošlo.

Nebezpečné události během úpravy mohou zahrnovat poruchy vybavení, provozní chyby nebo nedostatečnou ochranu vody, např. vnik dešťové vody do technologické vody. Tyto události nebyly na národní úrovni systematicky analyzovány. Avšak během zpracování plánů pro zajištění bezpečnosti vody bylo identifikováno mnoho potenciálních nebezpečí. Důležitým/závažným potenciálním nebezpečím byly ventilační otvory v různých fázích úpravy vody, dočasná úprava systému během spouštění a údržby, které nebyly odstraněny (např. propojení mezi surovou a upravenou vodou), a nedostatečné hygienické postupy při čištění prostor. Zdá se však, že hlavním nebezpečím je lidská chyba. Nejdůležitějším opatřením pro snížení rizik během úpravy je proto adekvátní školení personálu.

Všechny tři epidemie, které se v Nizozemsku vyskytly od roku 1945, byly způsobeny propojením systému pitné a nepitné vody během distribuce: jednou s kanalizací (Gemeentewaterleidingen Amsterdam, 1962), podruhé s odpadní

vodou z námořního plavidla přes vodovodní přípojku pitné vody (Huisman a Nobel, 1981) a potřeťi s rozvodem nepitné vody v domácnosti v roce 2001 (Raad voorde Transportveiligheid, 2003). Jiné nebezpečné události vedly ke kontaminaci pitné vody *E. coli*, ale nevedly k propuknutí nákazy. Tyto události byly:

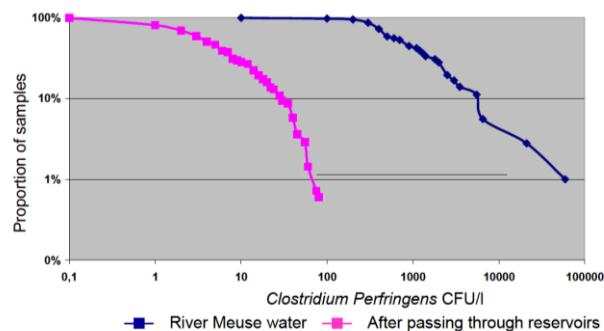
- netěsnost vodojemů (zejména v kombinaci se silnými srážkami);
- prasklé potrubí;
- údržba a oprava;
- ztráta tlaku.

Epidemie a nebezpečné události byly analyzovány v mezinárodních studiích (Hrudey a Hrudey, 2004; Westrell et al., 2003; Risebro a kol., 2007; Nilsson a kol., 2007). Tyto studie ukázaly, že nebezpečí ve zdrojové (surové) vodě, úpravě a distribuci mohou vést k propuknutí epidemií, které jsou často důsledkem souběžných událostí v těchto částech systémů pitné vody. Databáze nebezpečí vytvořená v rámci projektu Techneau (Beuken, 2008) poskytuje přehled nebezpečných událostí, které identifikoval mezinárodní výzkumný tým. Přehled může být použit jako kontrolní seznam pro hodnocení a řízení rizik.

### 3.3. Identifikace kontrolních opatření

#### 3.3.1. Ochrana podzemních vod

V Nizozemí je preferovaným zdrojem pro výrobu pitné vody voda podzemní. Podzemní voda v Nizozemí je čerpána v chráněných oblastech, kde je regulováno využívání půdy. Pozemky v bezprostřední blízkosti odběrných vrtů jsou ve vlastnictví vodárenských společností. Vodě z oblastí mimo tato chráněná území bude trvat nejméně 25–50 let než se dostane k odběrovým vrtům. Tyto velké oblasti (celkem asi 1500 km<sup>2</sup>, 4,4 % rozlohy země v Nizozemí) umožňují přiměřenou ochranu a velmi dlouhou časovou prodlevu v případě, že je podzemní voda kontaminována. V okolí vrtu (studny) zabraňují kontaminaci ochranná pásma podzemní vody. Obecně 60denní pásmo s nejvyšší úrovní ochrany zabraňuje fekální kontaminaci. Před povrchovou kontaminací chrání podzemní vodu uzavřené písčité vodonosné vrstvy pokryté nepropustnými jílovými vrstvami. 60denní pásmo umožňuje dostatečný čas a vzdálenost pro vysoce účinnou filtraci a odumírání mikroorganismů (Schijven a Hassanizadeh, 2002; van der Wielen a kol., 2008). Několik mělkých anoxických zvodní vyžaduje více času než 60 dní. Tato vysoce kvalitní voda nevyžaduje žádnou další dezinfekci a je upravována pouze na fyzikálně-chemické ukazatele jako např. kyslík, železo, amonné ionty a mangan, a to provzdušňováním a filtrací. Riziko rekontaminace v důsledku špatně postavené (vystrojené) studny nebo nedostatečné hygieny při výstavbě a údržbě se zmírňuje zaškolením personálu a používáním přísných hygienických postupů (Leunk a van Lieverloo, 2007).



**Obrázek 3.** *Clostridium perfringens* v řiční vodě (modře) a ve vodě po skladování této vody po dobu 5 měsíců v otevřených nádržích (van der Veer, 2008).

#### 3.3.2. Selektivní odběr a skladování povrchové vody

Systémy povrchové vody mají několik zabudovaných kontrolních opatření. Ve většině případů lze během kontaminace nebo nedostatku vody změnit místo odběru za jiný zdroj. Zásoby akumulované vody umožňují zastavení odběru na několik dní až měsíců. Skladování v nádržích snižuje mikrobiální nebezpečí díky přirozeným procesům, jako je odumírání, sedimentace, inaktivace UV zářením a predace. Obrázek 3 ukazuje redukci *Clostridium perfringens* retencí v otevřených nádržích (van der Veer, 2008). Mikrobiální a chemická rizika snižuje také předúprava před skladováním a infiltrace v dunách.

#### 3.3.3. Úprava pitné vody pro kontrolu mikrobiálního nebezpečí

Od roku 2001 je mikrobiální nezávadnost pitné vody regulovaná v Nizozemsku zdravotním cílem, resp. rizikem infekce ve výši  $10^{-4}$  (jeden případ infekce na 10 tisíc spotřebitelů za rok). K ověření souladu těchto cílů pro úpravny povrchových vod a další rizikové úpravny je vyžadováno ověření pomocí QMRA. Úprava pitné vody musí být přizpůsobena rizikům v surové vodě, aby byla zajištěna nezávadná voda při opuštění úpravy. To vyžaduje posouzení kvality surové vody a účinnosti úpravy. Místo používání log-kreditů (jak je aplikováno v USEPA LT2ESWTR, 2006), potřebují holandské vodárenské společnosti monitorem ověřit (pokud je to možné), že jejich systémy jsou skutečně účinné jak za běžných podmínek, tak i při mimořádných událostech. Do roku 2008 byly studie QMRA provedeny na systémech povrchové vody v Nizozemí, což poskytlo přehled o skutečné komplexní účinnosti úpravy pitné vody. Tabulka 2 poskytuje přehled log redukcí, které je vyžadováno pro splnění zdravotního cíle ve čtyřech holandských úpravných povrchové vody.

Infiltrace v dunách nebo jiné způsoby průchodu půdou jsou hlavní bariérou proti mikrobiálním rizikům, protože přispívají více než 8 logy redukce patogenů (Schijven, 1998, 2003; Medema a Stuyfzand, 2002). Každá z následných bariér jako jsou filtrace, dezinfekce a pomalá písková filtrace poskytuje další určitou redukci patogenů. Přímá úprava povrchové vody závisí na řadě bariér, včetně tradič-

ních procesů, jako jsou filtrace, dezinfekce a pomalá písková filtrace (Hijnen a kol., 2005; Smeets, 2008a). Tyto bariéry byly doplněny o nové technologie, jako jsou UV dezinfekce (Hijnen a kol., 2006), pokročilá oxidace pomocí UV-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Kruithof a kol., 2007) a membránová filtrace včetně ultrafiltrace (UF) a reverzní osmózy (RO) (Kamp a kol., 2000).

**Tabulka 2.** Přehled požadovaných log redukcí během úpravy pitné vody pro dosažení přijatelné míry rizika infekce 10<sup>-4</sup> na 4 úpravách vody v Nizozemí.

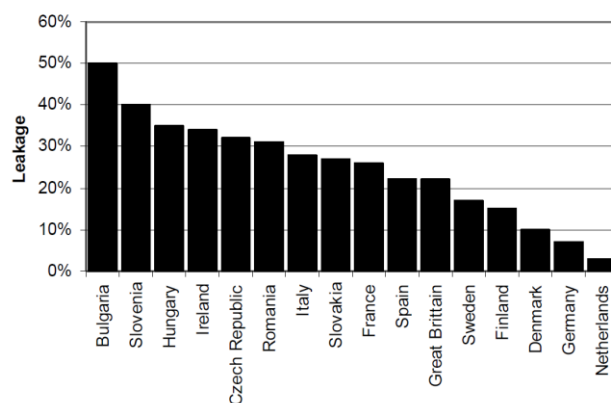
| Organismus             | Lokalita 1 | Lokalita 2 | Lokalita 3 | Lokalita 4 |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|
| <i>Cryptosporidium</i> | 6,4        | 5,6        | 5,1        | 6,5        |
| <i>Giardia</i>         | 6,7        | 5,9        | 5,2        | 6,9        |
| <i>Campylobacter</i>   | 8,4        | 8,5        | 8,6        | 6,9        |
| Enterické viry         | 4,3        | 4,3        | 4,2        | 5,7        |

### 3.3.4. Prevence kontaminace během distribuce

V Nizozemsku je kladen důraz na udržení vysoce kvalitního distribučního systému s dostatečným tlakem na prevenci vnosu znečištění během normálního provozu. Navíc jsou stanoveny přísné hygienické protokoly pro výstavbu, údržbu a opravy vodovodních řadů (van Lieverloo a kol., 2002). Celková délka potrubí 100 000 km (> 50 mm) se skládá z neměkčeného polyvinylchloridu (PVC, 40 %), azbestu (36 %), litiny (14 %), polyethylenu (2,5 %) a dalších materiálů (7,5 %). Míra ztrát vody v síti je nízká, obecně < 3 %. Studie ukázala, že úniky vody ze sítě jsou nižší, když jsou potrubí uložena v písčítých nebo jílovitých půdách, když tlak vody je nízký a podíl PVC potrubí je vysoký (VEWIN, 2005; DVGW, 2008). Obrázek 4 ukazuje míry úniků (ztrát) v několika evropských zemích.

Kolísání tlaku a prudké změny (rázy), které by mohly mít za následek podtlak v distribuční síti, jsou minimalizovány různými čerpadly, zařízeními na tlumení tlaku a automatickým řízením distribuce, aby se zabránilo velkým změnám průtoku (např. při plnění vodojemů). Negativním tlakům (syfonáž) a vysokým tlakům v kopcovitých oblastech se předchází definováním tlakových zón s omezenými tlakovými rozsahy.

Mimořádně důležitá je prevence propojení potrubí pitné a nepitné vody (cross-connection) a zpětného toku. Připojení k instalacím, které by mohly představovat riziko, například skrz připojení čerpadel nebo v místech s vysokým obsahem patogenů, jsou povoleny pouze přes ventil pro zamezení zpětného toku nebo přes přerušovací nádrž. Příkladem toho jsou výškové budovy se systémy s vlastním tlakovým systémem, průmyslové objekty a nemocnice.



**Obrázek 4.** Míry úniků (ztrát) vody v evropských zemích (VEWIN, 2005; DVGW, 2008).

### 3.3.5. Prevence mikrobiálního růstu v distribučním systému

Opatření k prevenci mikrobiálního růstu v distribučním systému popsal van der Kooij (2003b). Následující přístupy se používají ke kontrole nebo omezení mikrobiální aktivity v distribučním systému v nepřítomnosti zbytků dezinfekčního prostředku:

- výroba biologicky stabilní pitné vody;
- distribuční systém z nereaktivních, biologicky stabilních materiálů;
- optimalizovaný distribuční systém zabráňující stagnaci a akumulaci sedimentů.

Aerobní podzemní voda obsahuje málo organických sloučenin a je obecně biostabilní. Anaerobní podzemní voda není obecně biostabilní kvůli přítomnosti organických sloučenin, metanu a čpavku. Ošetření provzdušňováním a pískovou filtrací je obecně dostatečné k dosažení biostabilní pitné vody s hladinami AOC<sup>1</sup> pod 10 µg/l. Povrchová voda vyžaduje k výrobě biostabilní vody rozsáhlou úpravu. Procesy biologického čištění, jako je skladování v otevřených nádržích, průchod půdou, filtrace granulovaným aktivním uhlím a (pomalá) písková filtrace, v kombinaci s fyzikálními a chemickými procesy úpravy, jako je koagulace-sedimentace a oxidace, tvoří bariéru proti biologicky odbouratelným sloučeninám. Při aplikaci ozonizace se AOC tvoří z větších organických sloučenin. K dosažení biostabilní vody je pak potřeba dvoustupňová filtrace.

AOC je degradován v prvním stupni a druhý stupeň odstraňuje biomasu a jemné částice z prvního stupně. Biologické filtrační procesy mohou snížit hladiny AOC a BDOC<sup>2</sup> o 80 %. Na přítoku do biologického filtru je třeba se vyhnout chloru (chlor musí být vyloučen). V Nizozemsku se chlor při úpravě nepoužívá a oxid chloričitý se aplikuje pouze jako post-dezinfekce, a proto neovlivňuje žádné procesy úpravy. Kontaktní časy pro ozonizaci jsou takové, že žádný zbytkový ozon nepřechází do následných filtračních kroků. Vliv membránové filtrace na biologickou stabilitu

<sup>1</sup> Asimilovatelný organický uhlík – pozn. překl.

<sup>2</sup> Biodegradibilní organický uhlík – pozn. překl.

závisí na typu membrány v kombinaci s vlastnostmi vody. Tyto vztahy ještě nejsou jasné.

Biologická stabilita materiálů je testována pomocí testu potenciálu tvorby biofilmu (BFP) (van der Kooij a Veenendaal, 1993). Všechny materiály v Nizozemí musí být testovány v KIWA předtím, než mohou být použity v kontaktu s pitnou vodou. Většinu distribučního systému tvoří biostabilní azbestocementové nebo PVC potrubí, které se také běžně používá při výměně starých rozvodů (van der Kooij a kol., 1999).

Optimalizované distribuční systémy jsou navrženy tak, aby se zabránilo stagnujícím zónám a hromadění sedimentů pomocí pokročilého modelování sítě (Blokker, 2008). Protože distribuční systémy mají dlouhou životnost, jejich změny lze realizovat jen pomalu. Přesto provozní opatření mohou snížit hromadění sedimentu tím, že (Vreeburg, 2007):

- optimalizuje se úprava vody tak, aby se minimalizovalo množství částic v pitné vodě vstupující do sítě;
- aplikují se dostatečně vysoké rychlosti proudění během distribuce, což vede k „samočisticí síti“;
- potrubí se pravidelně proplachuje za stanovených podmínek.

## 4. Provozní monitoring

### 4.1. Monitoring surové vody

Nizozemská vyhláška o pitné vodě vyžaduje měsíční monitoring koliformních bakterií a *E. coli* v odebíraných podzemních vodách a *E. coli*, enterokoků a *Clostridium perfringens* v povrchových vodách. Říční voda je monitorována online a pomocí prostých vzorků na několika stanicích a na odběrných místech surové vody. Údaje jsou zpřístupňovány vodárenským společenstvem prostřednictvím internetu (*monitorování říční vody provádí tamní podniky povodí, výrobce vody si kontinuálně sleduje kvalitu surové vody v odběrovém místě – pozn. překl.*). Na odběrných místech se používá řada biomarkerů k detekci široké škály chemických kontaminantů. Ryby, mušle, dafnie a řasy mají specifickou citlivost na chemické kontaminanty. Když je generován poplach, odběr vody je zastaven. Mikrobiální parametry vyžadují více času pro analýzu, obvykle přes 24 hodin. Existující rychlejší metody se vyvíjejí, ale nejsou (zatím) dostatečně rychlé, aby umožnily aktivní řízení odběru surové vody. Kromě legislativou požadovaných parametrů v monitorovacích programech, jsou též pravidelně prováděny kvantitativní stanovení patogenů v povrchové vodě. Údaje z mikrobiálního monitorování se používají ve statistické analýze pro QMRA, aby se odhadly běžné a maximální koncentrace. Rizika z těchto nebezpečí tedy mohou být adekvátně kvantifikována (Smeets, 2008a).

Pro odběry (čerpání) podzemní vody, které mohou být ohroženy znečištěním z povrchu nebo ovlivněno povrchovou vodou, doporučuje dokument s pokyny inspektorátu monitorování během událostí (de Roda Husman a Medema, 2004). Odebraná voda by měla být testována během událostí, jako jsou silné deště nebo záplavy, na přítomnost

*E. coli* a F-specifických kolifágů v 10litrových vzorcích. Přesný čas odběru vzorků by měl být korigován v závislosti na očekávanou dobu zdržení kontaminace v podloží, aby se maximalizovala pravděpodobnost detekce.

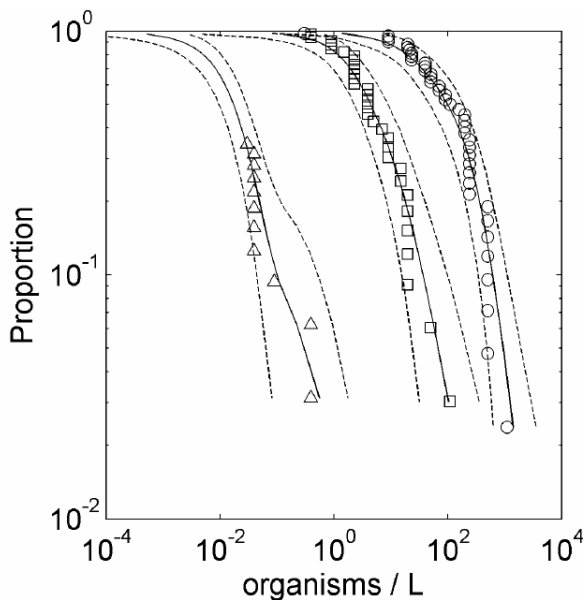
### 4.2. Monitoring provozu

Všechny systémy na úpravu povrchových vod jsou vybaveny automatizovanými řídicími systémy (SCADA). Parametry relevantní pro příslušný proces, např. pH a zákal, se měří online a používají se pro automatizovanou kontrolu. Důležité bariéry proti mikrobům jsou přísně sledovány. Dostatečná UV dezinfekce je zaručena sledováním průtoku, propustnosti vody pro UV záření a intenzity UV záření UV lamp. Ozonizace je řízena pomocí měření průtoku vody, průtoku a koncentrace ozonu v dávkovací ozonového plynu a zbytkového ozonu ve vodě. Dostatečný CxT faktor je tedy řízen a zajištěn za všech podmínek. UF (ultrafiltrace) a RO (reverzní osmóza) jsou monitorovány odstraňováním částic resp. odstraňováním síranů. Kromě toho jsou prováděny pravidelné off-line testy integrity. Intenzita monitorování a kontroly souvisí s požadovanou efektivitou procesu. Například vysoce účinné bariéry, které dosahují snížení o 6 log řádů, vyžadují online monitorování pro ověření účinnosti procesu každých 10 s (Smeets, 2008a). Novinkou je projekt integrovaného řízení procesů pro optimalizaci nejen jednotlivých procesů, ale také pro celkový kombinovaný účinek veškerých procesů úpravy.

V různých fázích úpravy vody se provádí mikrobiální monitorování pomocí prostých vzorků, aby se ověřila účinnost procesu (Hijnen a kol., 2005). Čas potřebný pro mikrobiologickou analýzu neumožňuje přímou kontrolu na základě těchto měření. Statistická analýza těchto dat poskytuje náhled na účinnost a variabilitu procesů úpravy (Smeets, 2008a). Holandské vodárenské společnosti vyvinuly nástroj k automatizaci hodnocení této analýzy rizik (nástroj QMRA). Studie QMRA dosud ukázaly, že úpravárenské procesy v praxi mohou být daleko méně účinné, než by se na základě experimentálních testů očekávalo. Obrázek 5 ukazuje výsledky mikrobiologických rozborů během úpravy na konkrétním místě (Smeets a kol., 2008b). Výsledky monitorování byly vyneseny do komplementárního kumulativního rozdělení frekvencí (CCDF = cumulative frequency distribution) jako podíl vzorků, které přesáhly koncentraci. Například 10 % vzorků surové vody přesáhlo koncentraci 900 MPN/l. I když se koncentrace mění přes dvě logaritmické jednotky v každé fázi, obr. 5 jasně ukazuje, že procesy úpravy koncentrace snižují. Analýza dat umožňuje odhadnout četnost a velikost případů vysokých koncentrací pomocí extrapolací distribucí. Poskytuje také odhad rozložení koncentrací pod mezí detekce po ozonizaci (znázorněno částí ozonizačního grafu bez značek).

### 4.3. Mikrobiologický monitoring pitné vody

Holandská legislativa vyžaduje odběr vzorků vyrobené pitné vody pro stanovení *E. coli*, *Clostridium perfringens*,



**Obrázek 5.** Komplementární kumulativní rozdělení frekvencí (CCDF) monitorovaných MPN koncentrací *Campylobacter* (značky) a mediány (čáry) a 95% CI (prerušované čáry) intervalů spolehlivosti pro surovou vodu (O), filtrovanou vodu (□) a ozonizovanou vodu (Δ) (Smeets a kol., 2008b).

Převzato z časopisu *Journal of Water & Health*, 6(3):301–314, 2008; se svolením držitelů autorských práv, IWA Publishing.

koliformních bakterií a počtu kolonií na týdenní bázi v případě využití podzemní vody a denně v případě využití povrchové vody. V praxi se vyrobená pitná voda testuje na nepřítomnost *E. coli* ve vzorku o objemu 100 až 1000 ml denně a některé vodárenské společnosti odebírají velký objem vzorků do 1000 l měsíčně.

#### 4.4. Mikrobiální monitoring distribuční sítě

Ze zákona povinný monitoring distribučních sítí souvisí s kapacitou systému. Za rok je potřeba 26 vzorků na 2000 m<sup>3</sup>/den. Tedy pro systém s kapacitou 10 000 m<sup>3</sup>/den je vyžadováno 130 vzorků, rozprostřených v celé distribuční síti (z různých míst distribuční sítě). Vzorky jsou odebrány z kohoutků nebo nádrží v domech nebo veřejných budovách.

## 5 Řízení a komunikace

### 5.1 Nápravná opatření a reakce na incidenty (havárie)

Nápravná opatření jsou obvykle velmi specifická pro každý systém zásobování. Vodárenské společnosti mají nachystaná krizová opatření ve zpracovaných krizových plánech. Implementace plánů bezpečného zásobování vodou (WSP, česky též posouzení a řízení rizik) se v Nizozemí rychle rozšiřuje (pozn. překl.: článek pochází z roku 2009, popisuje tedy situaci před cca 15 lety). Některá obecná nápravná

opatření zde zmíníme. Nápravným opatřením pro zdroj surové vody může být např. uzavření nátoky (odběru) ve chvílích, kdy se zhorší kvalita surové vody nebo, v některých případech, vypuštění již akumulované surové vody zpět do řeky. Provozní kontrola během úpravy vody a nápravná opatření jsou specifická k použitým technologickým procesům úpravy. Generická nebezpečí jako např. výpadek elektrické energie nebo záplavy se řeší náhradním zdrojem energie a rozdělením systému do menších úseků, které se dají vzájemně vodotěsně oddělit.

Havarijní události v distribučním systému představují největší nebezpečí pro nezávadnost pitné vody na kohoutku u spotřebitele. V případě kontaminace je postižená oblast oddělena (izolována) tím, že jsou selektivně uzavřeny příslušné armatury, ale v oblasti je udržován tlak v potrubí. Oblast je propláchnuta všude, kde je to možné, a může sem být aplikován chlor, aby byly inaktivovány patogeny, které by mohly ještě zůstat v síti po proplachu. Zároveň jsou informováni spotřebitelé o nutnosti převarovat vodu, např. distribucí letáků do každé domácnosti, internetem nebo rozhlasem. Jestliže je havárie většího rozsahu (tj. zahrnuje více měst nebo více vodáren – pozn. překl.), jsou do koordinace opatření zapojena regionální krizová centra. Když je nezávadnost vody potvrzena mikrobiologickým rozbohem, oznámení o převarování vody je odvoláno (van Lieverloo a kol., 2002). Aby se zabránilo tlakovým ztrátám, byl vypracován bezpečnostní (nouzový) plán zásobování vodou umožňující, aby ostatní systémy zásobování mohly částečně převzít zásobování postižené oblasti (díky propojení sousedních systémů – pozn. překl.).

### 5.2 Záznamy (dokumentace výsledků)

Výsledky monitorování (mikrobiologické) kvality vody jsou vodárenskými společnostmi a laboratořemi uchovávány v laboratorním informačním systému (LIMS). Výsledky jsou předávány Ministerstvu bydlení, územního plánování a životního prostředí (VROM), které připravuje každý rok národní zprávu o kvalitě pitné vody. Havárie jsou rovněž hlášeny VROM. Vodárenské společnosti uchovávají monitoringová data v elektronické podobě, takže mohou být využita pro různé analýzy, např. QMRA. Většina vodárenských společností má automatické systémy, ve kterých zaznamenávají a uchovávají provozní informace (provozní deníky) a informace o poruchách. Tyto údaje jsou pravidelně vyhodnocovány.

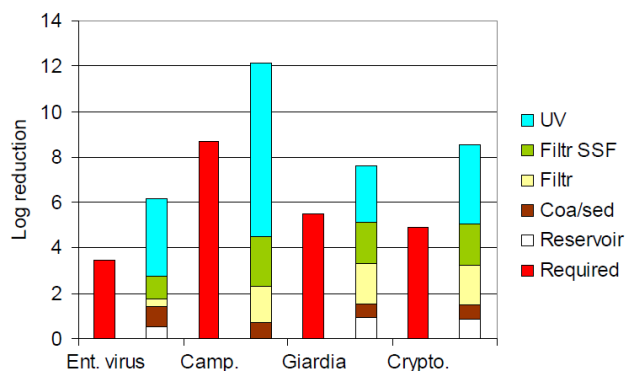
### 5.3 Verifikace (ověření) nezávadnosti pitné vody na kohoutku

#### 5.3.1 Verifikace mikrobiologické nezávadnosti: sledování zdravotních dopadů

Holandské epidemie (z pitné vody) souborně shrnul a publikoval van Lieverloo a kol. (2007): „V Nizozemí byly od konce druhé světové války zaznamenány jen tři epidemie související s veřejným zásobováním pitnou vodou. K první z nich došlo v roce 1962, kdy bylo v Amsterdamu hlášeno



5 případů břišního tyfu, pravděpodobně v důsledku kontaminace pitné vody odpadní vodou (Gemeentewaterleidingen Amsterdam, 1962). Druhá hlášená epidemie se vyskytla v roce 1981 v Rotterdamu, když zahraniční námořní loď omylem napumpovala svou odpadní vodu místo do příslušné kanalizace do vodovodní sítě (skrze přípojku, ze které si loď čerpají pitnou vodu), což vedlo k 609 hlášeným případům onemocnění, především gastroenteritidy. Ve vzorcích stolice nemocných byly izolovány patogeny *Giardia* (8 %), *Campylobacter* (5 %), *Entamoeba histolytica* (2,3 %) a *Salmonella* (1,2 %) (Huisman a Nobel, 1981). V roce 2001 se vyskytla epidemie gastroenteritidy v důsledku náhodného propojení vnitřních vodovodů pitné a užitkové (šedé) vody určené ke splachování toalet, praní prádla a závlivky zahrad v novém rezidenčním komplexu (Raad voor de Transportveiligheid, 2003).“ Tato poslední epidemie vedla k legislativnímu zákazu dvojího rozvodu vody v obytných budovách v Nizozemí.

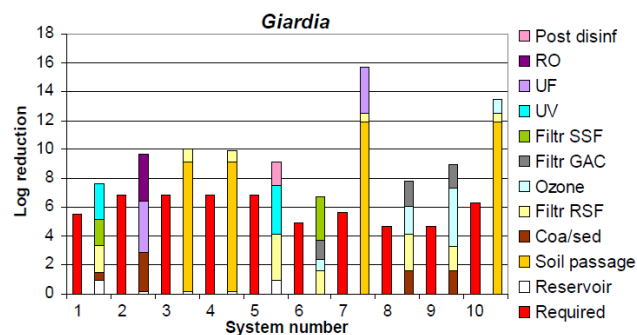


**Obrázek 6.** Požadované a ověřené log redukce mikrobiologických nebezpečí na jedné holandské úpravě vody podle studie QMRA vyžadované legislativou.

### 5.3.2 Verifikace mikrobiologické nezávadnosti: QMRA vodárenských systémů využívajících povrchovou vodu

Od roku 2001 hodnotí holandské vodárenské společnosti své systémy zásobování vodou pomocí metody QMRA. Obr. 6 ukazuje souhrnné výsledky takové studie QMRA jednoho systému zásobování, resp. úpravy vody využívající povrchovou vodu. Riziko bylo hodnoceno pro čtyři indexové (referenční) patogeny. *Cryptosporidium*, *Giardia* a enterické viry jsou explicitně zmíněny ve vyhlášce na pitnou vodu. *Campylobacter* se zde výslovně nezmiňuje, ale je považován za relevantní indexový patogen pro riziko z bakterií. Výsledek QMRA je znázorněn jako dvojice sloupců na obr. 6. První (levý, barevně jednolitý) sloupec ukazuje požadovanou účinnost úpravy vody vyjádřenou jako požadavek log redukce dotyčného patogenu; požadovaná účinnost je vypočtena na základě změřené koncentrace patogenů v surové vodě a zdravotně odvozeného cíle. Druhý, pravý sloupec ukazuje, jak jednotlivé bariéry (technologie úpravy vody) přispívají na dané úpravě k požadované log redukci. Obrázek ukazuje, jak bariéry (jednotlivé technologie

úpravy) mohou mít různou účinnost (význam) pro odstranění indexových patogenů. Zatímco UV zařízení je nezbytné pro redukci bakterie *Campylobacter*, pro redukci prvků *Cryptosporidium* není nezbytné, ale poskytuje v jeho případě dodatečnou míru bezpečnosti.



**Obrázek 7.** Požadované a ověřené log redukce *Giardií* na deseti holandských úpravách vody podle studií QMRA vyžadovaných legislativou.

Účinnosti úprav na obr. 6 a 7 byly vypočteny na základě údajů získaných z reálného monitorování mikrobiologických ukazatelů nebo jejich zástupců (surogátů) na prvním technologickém stupni dané úpravy (Hijnen a kol., 2005). Účinnost zbývajících stupňů úpravy byla odhadnuta na základě pilotních experimentů a výsledků provozního monitorování jednotlivých technologických stupňů. Pro většinu úprav byla shoda s požadavkem na riziko infekce  $10^{-4}$  pppy (na osobu a rok/ per person per year) pro všechny indexové patogeny. V některých případech ale byly dostupné informace nedostačující, aby mohla být shoda potvrzena, a bylo potřeba provést dodatečný výzkum/šetření. Tento kvantitativní přístup otevřel vodárenským společnostem oči v několika směrech:

- Důležitost kontaminace, ke které dochází „nepřímým tokem“ (indirect flows), jako např. průsaky v okolí studní, jímajících vodu z umělé infiltrace;
- Dopad krátkodobých incidentů (havarijních stavů) na průměrné roční riziko, jako např. dočasný výpadek dávkovacího zařízení;
- Suboptimální uspořádání (design) procesu úpravy může mít silný dopad na účinnost úpravy;
- Důležitost striktního dodržování protokolu vzorkování, který zabraňuje kontaminaci nebo záměně vzorků, protože takové chyby mohou mít významný dopad na výsledek hodnocení rizika.

Na základě výsledků QMRA studií lze konstatovat, že upravená pitná voda vstupující do distribuční sítě je skutečně bezpečná a neobsahuje mikrobiální patogeny v koncentracích, které by mohly vzbuzovat nějaké zdravotní obavy.

**Tabulka 3.** Odhadované střední riziko infekce na osobu a den, když je (osoba) exponována střední koncentrací TTC 1 KTJ/100 ml. Pro enterické viry v půdě nebo mělké podzemní vodě byly použity 3 varianty dostupných poměrů. Kultivovatelné = jenom poměry kultivovatelných enterických virů k pozitivním (> 0) termotolerantním koliformům (coli44 = *E. coli* vyrostlá při kultivaci při 44 °C); pozitivní data = poměry pozitivních enterických virů (kultivovatelných a PCR) versus coli44; všechna data = všechny poměry, včetně dat, kde jeden nebo oba výsledky ležely pod mezí stanovení (koncentrace coli44 pod mezí stanovitelnosti byly nahrazeny hodnotou na úrovni 50 % meze stanovitelnosti) (van Lieverloo a kol., 2007a).

|                                 | Za předpokladu poměru P/E <sup>a</sup> z odpadní vody | Za předpokladu poměru P/E <sup>a</sup> z povrchové vody | Za předpokladu poměru P/E <sup>a</sup> z mělké podzemní vody |
|---------------------------------|---|---|--|
| <i>Cryptosporidium</i>          | 5,6 x 10 <sup>-7</sup>                                | 3,2 x 10 <sup>-4</sup>                                  | –  |
| <i>Giardia</i>                  | 2,2 x 10 <sup>-7</sup>                                | 2,7 x 10 <sup>-5</sup>                                  | –  |
| <i>Campylobacter</i>            | 4,0 x 10 <sup>-3</sup>                                | 4,8 x 10 <sup>-2</sup>                                  | –  |
| Enterické viry (kultivovatelné) | 6,3 x 10 <sup>-7</sup>                                | 2,2 x 10 <sup>-5</sup>                                  | 6,8 x 10 <sup>-3</sup>                                       |
| Enterické viry (pozitivní data) | –   | –   | 3,6 x 10 <sup>-2</sup>                                       |
| Enterické viry (všechna data)   | –   | –   | 0,24   |

<sup>a</sup> poměr P/E: poměr počtu patogenu ku počtu *E. coli* nebo TTC (termotolerantních koliformů)

– nejsou k dispozici žádné údaje o poměr počtu patogenu ku počtu *E. coli* nebo TTC

### 5.3.3 Verifikace mikrobiologické nezávadnosti: monitoring *E. coli* v upravené pitné vodě

Van Lieverloo a kol. (2007a) zjistili, že v Nizozemí bylo v letech 2001, 2002 a 2003 ročně pozitivních na *E. coli* nebo termotolerantní koliformy od 0,01 do 0,09 % vzorků pitné vody vyrobené z podzemních a povrchových zdrojů (ročně přes 10 tisíc vzorků). Z podrobnější analýzy těchto dat vyplynulo, že jenom jedna úpravna vody našla *E. coli* v upravené vodě v 0,08 % z celkem 5840 vzorků odebraných v letech 1996 až 2003. Pro všechny holandské úpravní vody využívající povrchovou vodu platilo, že jen 5 vzorků (ze 17 277 vzorků upravené vody) bylo pozitivních na *E. coli* (0,03 %).

### 5.3.4 Verifikace mikrobiologické nezávadnosti: monitoring *E. coli* v distribuční síti

Van Lieverloo a kol. (2007a) zjistili, že v Nizozemí bylo v letech 2001, 2002 a 2003 ročně pozitivních na *E. coli* nebo termotolerantní koliformy (TTC) 0,01 % vzorků pitné vody v distribuční síti. Také zjistili, že statutární (*obvyklý, běžný – pozn. překl.*) monitorovací program není moc citlivý pro detekci vniku odpadních vod (2007b). Analýza velkoobjemových vzorků pitné vody v Nizozemí (44 vzorků o objemu až 200 l a celkovém objemu 7062 l) na přítomnost *E. coli* odhalila, že tento indikátor fekální kontaminace se nenachází v detekovatelných (požadovaných) koncentracích, přestože ve vodě nebylo žádné dezinfekční reziduum (van Lieverloo a kol., 2007a; Hamsch a kol., 2007).

Van Lieverloo a kol. (2006, 2007a) použili metodu QMRA k odhadu zdravotních rizik, jaké mohou představovat

nálezy *E. coli* v distribuční síti. Porovnali tři různé scénáře – předpoklady poměru počtů patogenů a termotolerantních koliformů (TTC) ve vztahu ke druhu znečištění. V odpadní vodě byl poměr *Campylobacter*, *Cryptosporidium*, *Giardia* a enterických virů ku TTC odhadován na 10<sup>-3</sup>, 10<sup>-6</sup>, 10<sup>-5</sup> a 10<sup>-6</sup>. Pro povrchovou vodu byl poměr 10<sup>-1</sup>, 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-3</sup> a 10<sup>-5</sup> a pro půdu a podzemní vodu to bylo 10<sup>-2</sup> až 1 pro viry.

**Tabulka 4.** Obvyklé hodnoty ukazatelů kvality vody v Nizozemí (de Moel, 2006).

|                                  | Jednotka | Povrchová voda | Podzemní voda | Pitná voda |
|----------------------------------|----------|----------------|---------------|------------|
| Teplota                          | °        | 0 – 25         | 10 – 12       | 5 – 25     |
| pH                               | –        | 6 – 8          | 6 – 8,5       | 7 – 8      |
| Zákal                            | NTU      | 0,1 – 100      | –             | < 0,1      |
| Kyslík (O <sub>2</sub> )         | mg/l     | 5 – 10         | 0 – 7         | 6 – 11     |
| Železo (Fe <sup>2+</sup> )       | mg/l     | –              | 0 – 10        | < 0,1      |
| DOC (rozpuštěný organický uhlík) | mg/l     | 1 – 10         | 0 – 10        | 0 – 6      |

Tabulka 3 ukazuje teoretický odhad denního rizika infekce vyplývající z těchto předpokladů. Výsledky naznačují, že pokud jsou TTC ve vodě zjištěny, riziko nákazy z bakteriálních patogenů je vysoké.

### 5.3.5 Verifikace mikrobiologické nezávadnosti: monitoring Legionelly (bakterií rodu *Legionella* anebo legionel)

V současné době je *Legionella* nejvýznamnější známým původcem infekce z pitné vody v Nizozemí (pozn. překl.: v Nizozemí, jako ve většině zemí EU včetně EU legislativy, nerozlišují mezi pitnou a teplou vodou, ale na obě vody se vztahuje stejná legislativa pitné vody). Pro riziková místa (zařízení) jakou jsou plavecké bazény, nemocnice a domovy pro seniory byly zpracovány plány posouzení a řízení rizik (obdobu water safety plans) a podle nich jsou tyto objekty pravidelně monitorovány na přítomnost legionel. PCR metody a nyní také nová kultivační metoda (Veenendaal a van der Kooij, 2007) umožňují rozlišit mezi patogenní *Legionella pneumophilla* a nepatogenními druhy legionel, které představují většinu legionel nalézaných v rozvodech pitné (a teplé) vody (Wullings a van der Kooij, 2006). To umožňuje zvolit pro legionely takový přístup řízení rizika, který je zaměřený spíše na patogenní druhy (typy) než na veškeré legionely.

### 5.3.6 Verifikace spokojenosti a důvěry spotřebitelů

Důvěra spotřebitelů v pitnou vodu v Nizozemí byla zjišťována v šetření v roce 2008 (VEWIN, 2008). Více než 95 % spotřebitelů mělo plnou důvěru v kvalitu a nezávadnost pitné vody. Estetická (organoleptická) kvalita kohoutkové vody byla srovnávána s kvalitou balené (pramenité nebo minerální) vody. Kohoutková voda byla hodnocena mezi nejlepšími co do chuti a pachu, a proto byla mnoha spotřebiteli preferována (Consumentbond, 1997). Avšak nárazové použití chloru pro dezinfekci vody vedlo ke zvýšení počtu stížností ohledně kvality vody.

## 6 Diskuse

Holandský přístup k distribuci pitné vody bez dezinfekčního rezidua byl mnohokrát kriticky diskutován a zpochybňován. Následující argumenty uváděné ve prospěch dezinfekce zde probíráme podrobněji:

- Poskytuje dodatečnou bariéru pro případ, že by úprava vody nebyla (dostatečně) účinná.
- Poskytuje bariéru pro případ, že by do distribuční sítě pronikla (jiná) voda.
- Zabraňuje opětovnému růstu (pomnožování bakterií) v distribuční síti.
- Zabraňuje vzniku epidemii nemocí díky zbytkovému chloru.

### 6.1 Dodatečná bariéra

Dezinfekční reziduum v distribuční síti může zmírnit riziko z nedostatečné úpravy vody. Dlouhá doba zdržení vody v síti vede k významným hodnotám CxT (koncentrace chloru × doba kontaktu) a účinné dezinfekci. Avšak v tom

případě spotřebitelé žijící poblíž úpravní (kde je doba zdržení vody v síti kratší, a proto i hodnota CxT mnohem nižší – pozn. překl.) by byli zásobováni vodou, která je méně bezpečná (oproti spotřebitelům napojeným na konci sítě – pozn. překl.). Navíc, pokud se proces dezinfekce uskutečňuje až během distribuce vody, lze ho jen velmi omezeně monitorovat a mít pod kontrolou. Proto dává mnohem větší smysl vodu řádně upravit již na úpravně vody. Porovnáme-li výsledky monitorování *E. coli* mezi zeměmi, které používají a nepoužívají sekundární dezinfekci (v síti), nenacházíme žádné známky významně nižšího záchytu tam, kde je dezinfekční reziduum v síti používáno. Výsledky z Velké Británie ukazují, že 0,02 % vzorků chlorované vody na výstupu z úpravní bylo pozitivních na *E. coli*, a ve Francii až 1 % těchto vzorků obsahovalo koliformní bakterie (data o *E. coli* a TTC nebyla k dispozici) (van Lieverloo a kol., 2007a). V Nizozemí bylo na *E. coli* pozitivních přibližně 0,01–0,09 % vzorků upravené vody (bez chemické dezinfekce).

### 6.2 Bariéra v případě průniku (cizí) vody

Teoreticky je možné, že zbytkový chlor zmírní následky průniku kontaminované vody do distribuční sítě. Avšak je pravděpodobné, že taková voda bude také obsahovat významné množství organických sloučenin, na kterých se volný chlor rychle spotřebuje. Mikroorganismy v kontaminované vodě mohou být také chráněny před chlorem tím, že jsou přichyceny k částicím. Navíc několik patogenů může přežít i v přítomnosti chloru (*Cryptosporidium*), protože není chlorem vůbec inaktivováno. *E. coli* by byla (v přítomnosti chloru – pozn. překl.) inaktivována dříve než většina patogenů, takže kontaminující událost by mohla trvat delší dobu, než by byla rozpoznána. Takže význam dodatečné bezpečnosti dezinfekčního rezidua je velmi omezen. Výsledky monitoringu *E. coli* v distribuční síti nevykazují významně nižší počty záchytů v chlorované síti. Data z Velké Británie ukazují, že 0,03–0,04 % vzorků vody z chlorovaných sítí bylo pozitivních na *E. coli*, a ve Francii až 0,4–1 % těchto vzorků obsahovalo koliformní bakterie (data o *E. coli* a TTC nebyla k dispozici) (van Lieverloo a kol., 2007a). V Nizozemí bylo na *E. coli* nebo TTC pozitivních 0,1 % vzorků z distribučních sítí bez chemické dezinfekce. Toto základní srovnání ukazuje, že absence chloru nevede přímo k vyšším počtům indikátorových bakterií.

### 6.3 Prevence růstu bakterií (regrowth)

Srovnávací studie distribuce pitné vody ve Velké Británii a Nizozemí ukázala, že zbytkový chlor může být účinný ke kontrole (opětovného) růstu bakterií<sup>3</sup> v distribuční síti. Na druhou stranu zbytkový chlor vede ke vzniku vedlejších produktů dezinfekce a stížnostem na pach a chuť vody. Holandský přístup navíc ukázal, že opětovný růst může být také pod kontrolou i bez dezinfekčního rezidua, jen skrze

<sup>3</sup> Tím se myslí skupina nepatogenních bakterií, jejichž zlomek monitorujeme jako tzv. počty kolonií – pozn. překl.

kontrolu (zachování) biologické stability vody (van der Kooij a kol., 2003b).

#### 6.4 Epidemie navzdory chlorování

Nejpřímější ověření nezávadnosti pitné vody je zdravotní šetření či sledování (health surveillance). Vážná kontaminace pitné vody může způsobit vysoký počet nemocných spotřebitelů. Pokud je počet nemocných dostatečně vysoký na to, aby byl zachycen rutinním zdravotním sledováním, je tato událost zaznamenána jako epidemie. Risebro a kol. (2007) analyzovali 61 epidemií v Evropské unii a určili jejich příčiny. Mnoho epidemií mělo několik příčin a u 27 epidemií přispěla k epidemii nějaká událost v distribuční síti. Hlavními příčinami byly zpětný tok a propojení systému pitné a nepitné vody (cross-connection). Ani zbytkový chlor nebyl dostatečnou ochranou, která by zabránila epidemii nejen v těchto případech, ale i u jiných významných příčin (opravy potrubí, úniky vody a nízký tlak). Dalšími příčinami epidemií byly (havarijní) události při úpravě vody nebo na zdroji surové vody. Také v těchto případech se dezinfekce v distribuční síti ukázala být nedostatečnou bariérou. V několika případech ani výrobce vody, ani dohlížející inspekční orgán nepoznali nutnost adekvátně doplnit technologii úpravy vody, např. o filtraci (23 případů) nebo dezinfekci (12 případů). Posouzení a řízení rizik (WSP) nebo QMRA by pravděpodobně odhalilo tyto nedostatky a potřeby. Podobně také v řadě případů nebyla dostatečně rozpoznána kontaminace surové vody, což vedlo k nedostatečné úpravě vody. Většina epidemií se vyskytla v systémech zásobování, které používaly zbytkový chlor v distribuční síti. Extrémně nízký počet (vodních) epidemií v Nizozemí ukazuje na bezpečnost holandského přístupu.

### 7. Závěry

V Nizozemí je pitná voda distribuována bez dezinfekčního rezidua. Bylo toho dosaženo pomocí následujícího přístupu:

1. Využívat nejlepší dostupný zdroj surové vody, nejlépe v pořadí:
  - mikrobiologicky bezpečná podzemní voda,
  - povrchová voda, která prošla zemním filtrem, např. umělou infiltrací (artificial recharge) nebo břehovou infiltrací,
  - přímá úprava povrchové vody za použití více bariér.
2. K úpravě používat fyzikální procesy jako sedimentace, filtrace a UV dezinfekce. Pokud není vyhnutí, lze využít oxidaci za použití ozonu nebo peroxidu vodíku, ale chlor se nepoužívá.
3. Bránit vzniku kontaminace během distribuce vody.
4. Zabraňovat mikrobiálnímu růstu v distribuční síti výrobou a distribucí biologicky stabilní vody a použitím biologicky stabilních (inertních) materiálů (rozvodné sítě – pozn. překl.).
5. Monitorovat systém zásobování, aby se včas odhalila jakékoli porucha a tím se zabránilo významnému zdravotnímu dopadu.

Úspěchu tohoto přístupu bylo dosaženo společným úsilím vodárenských společností, které neustále vylepšují své systémy zásobování. Jejich společný výzkumný program umožňuje provádět efektivní výzkum, který má blízko vodárenské praxi. V součinnosti s dobře proškoleným a kvalifikovaným personálem mohou být navržená zlepšení rychle zaváděna do praxe. Tomuto vývoji také příznivě napomáhají specifické podmínky v Nizozemí, jako je hustota populace, geografické podmínky a stav ekonomiky. Důsledkem toho je, že výskyt epidemií vodou přenosných onemocnění je zde extrémně vzácný. Výsledky šetření ukazují, že více než 95 % holandských spotřebitelů pije denně vodu z kohoutku a jejich spokojenost s vodou je velmi vysoká. Jiné země si mohou přizpůsobit holandský přístup svým podmínkám. Relativně jednoduché, ale přitom účinné (robustní) technologie jako např. infiltrace mohou být použity ve venkovských oblastech, kde je nízká cena půdy. Nové technologie s nízkou stopou jako např. ultrafiltrace a kombinace peroxidu a UV záření jsou výhodnější v městských oblastech, kde je pozemků nedostatek.

### Literatura

- Beuken, R.: Identification and description of hazards for water supply systems, in: A catalogue of today's hazards and possible future hazards, edited by: Beuken, R., Techneau, 78 pp., 2008.
- Blokker, E. J. M., Vreeburg, J. H. G., Buchberger, S. G., and van Dijk, J. C.: Importance of demand modelling in network water quality models: a review, *Drink.Water Eng. Sci.*, 1, 27-38, 2008, <http://www.drink-water-eng-sci.net/1/27/2008/>.
- Consumentenbond: Drinkwater getest, 18–19, 1997.
- de Moel, P. J., Verberk, J. Q. J. C., van Dijk, J. C.: *Drinking water – principles and practices*, World Scientific Publishing, Singapore, 416 pp., 2006.
- den Boer, J. W., Yzerman, E., Schellekens, J., Bruin, J. P., van Leeuwen, W., Mooijman, K., Veenendaal, H., Bergmans, A. M. C., van der Zee, A. N., van Ketel, R. J., Tijsen, H., and Conynvan Spaendonck, M. A. E.: *Onderzoek naar de bron van een epidemie van legionellose na de Westfriesse Flora in Bovenkarspel (Research into the Legionellosis outbreak at Bovenkarspel)*, 83 pp., [www.RIVM.nl](http://www.RIVM.nl), 2000.
- de Roda Husman, A. M. and Medema, G.: *Inspectierichtlijn, Analyse microbiologische veiligheid drinkwater, VROM-inspectie*, 34 pp., [www.vrom.nl](http://www.vrom.nl), 2004.
- DVGW: *Verbande präsentieren "Branchenbild 2008"*, <http://www.dvgw.de>, last access: 9 March 2008.
- European Commission: *Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption*, European Commission, 1998.

- Gemeentewaterleidingen Amsterdam: Year report 1962 of the City of Amsterdam (in Dutch: Jaarverslag 1962), Gemeentewaterleidingen Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands, 1962.
- Hambusch, B., Bockle, K., and van Lieverloo, J. H. M.: Incidence of faecal contaminations in chlorinated and non-chlorinated distribution systems of neighbouring European countries, *J. Water Health*, 5, 119–130, 2007.
- Hijnen, W. A., Beerendonk, E. F., and Medema, G. J.: Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: a review, *Water Res.*, 40(1), 3–22, 2006.
- Hijnen, W. A. M., Beerendonk, E., and Medema, G. J.: Elimination of microorganisms by drinking water treatment processes, 2nd Ed., Kiwa NV, Nieuwegein, The Netherlands, 101 pp., 2005.
- Grudey, S. E. and Grudey, E. J.: Safe drinking water – Lessons learned from recent outbreaks in affluent nations, IWA Publishing, London, 514 pp., 2004.
- Huisman, J. and Nobel, P. J.: Some epidemiological data on the effects of the faecal contamination of drinking-water in the Scheepvaartkwartier residential area in Rotterdam in March 1981 (in Dutch: Enkele epidemiologische gegevens over de gevolgen van de faecale drinkwaterverontreiniging in het Scheepvaartkwartier te Rotterdam in maart 1981, *H2O* 14(26), 642–646, 1981.
- Kamp, P. C., Kruithof, J. C., and Folmer, H. C.: UF/RO treatment plant Heemskerk: from challenge to full scale application, *Desalination*, 131(1–3), 27–35, 2000.
- Kruithof, J. C., Kamp, P. C., and Martijn, B. J.: UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> treatment: A practical solution for organic contaminant control and primary disinfection, *Ozone-Sci. Eng.*, 29(4), 273–280, 2007.
- Leunk, I. and Lieverloo, J. H. M. v.: Hygiëne bij winmiddelen: hygiëncode drinkwater, KIWA Water Research, Nieuwegein, The Netherlands, 32 pp., 2007.
- Medema, G. J. and Stuyfzand, P.: Removal of microorganisms upon basin recharge, deep well injection and river bank filtration in the Netherlands, in: Management of Aquifer Recharge for Sustainability Proceedings of the Fourth International Symposium on Artificial Recharge, edited by: Dillon, P. J., Balkema Press, Adelaide, Australia, 125–131, 2002.
- Medema, G. J., Hoogenboezem, W., van der Veer, A. J., Ketelaars, H. A., Hijnen, W. A., and Nobel, P. J.: Quantitative risk assessment of *Cryptosporidium* in surface water treatment, *Water Sci. Technol.*, 47(3), 241–247, 2003.
- Nilsson, P., Roser, D., Thorwaldsdotter, R., Petterson, S., Davies, C., Signor, R., Bergstedt, O., and Ashbolt, N.: SCADA data and the quantification of hazardous events for QMRA, *J. Water Health*, 5, 99–105, 2007.
- Orlandini, E., Kruithof, J. C., vanderHoek, J. P., Siebel, M. A., and Schippers, J. C.: Impact of ozonation on disinfection and formation of biodegradable organic matter and bromate, *J. Water Supply Res. T.*, 46(1), 20–30, 1997.
- Raad voor de Transportveiligheid: Contamination of Drinkingwater in Leidsche Rijn (in Dutch: Verontreiniging drinkwater Leidsche Rijn), Raad voor de Transportveiligheid, The Hague, The Netherlands, 2003.
- Risebro, H. L., Doria, M. F., Andersson, Y., Medema, G., Osborn, K., Schlosser, O., and Hunter, P. R.: Fault tree analysis of the causes of waterborne outbreaks, *J. Water Health*, 5, 1–18, 2007.
- Rook, J. J.: Haloforms in drinking-water, *J. Am. Water-Works Ass.*, 68(3), 168–172, 1976.
- Schets, F. A., van Wijnen, J. H., Schijven, J. F., Schoon, A., and Husmant, A.: Monitoring of waterborne pathogens in surface waters in Amsterdam, The Netherlands, and the potential health risk associated with exposure to *Cryptosporidium* and *Giardia* in these waters, *Appl. Environ. Microbiol.*, 74(7), 2069–2078, 2008.
- Schijven, J. F., de Bruin, H. A. M., Hassanizadeh, S. M., and Husman, A. M. D.: Bacteriophages and clostridium spores as indicator organisms for removal of pathogens by passage through saturated dune sand, *Water Res.*, 37(9), 2186–2194, 2003.
- Schijven, J. F. and Hassanizadeh, S. M.: Virus removal by soil passage at field scale and groundwater protection of sandy aquifers, *Water Sci. Technol.*, 46(3), 123–129, 2002.
- Schijven, J. F., Hoogenboezem, W., Nobel, P. J., Medema, G. J., and Stakelbeek, A.: Reduction of FRNA-bacteriophages and faecal indicator bacteria by dune infiltration and estimation of sticking efficiencies, *Water Sci. Technol.*, 38(12), 127–131, 1998.
- Smeets, P. W. M. H.: Stochastic modelling of drinking water treatment in quantitative microbial risk assessment, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2008a.
- Smeets, P. W. M. H., Dullemeent, Y. J., van Gelder, P. H. A. J. M., van Dijk, J. C., and Medema, G.: Improved methods for modelling drinking water treatment in quantitative microbial risk assessment; a case study of *Campylobacter* reduction by filtration and ozonation, *J. Water Health*, 6(3), 301–314, 2008b.
- Staatsblad: Besluit van 9 januari 2001 tot wijziging van het waterleidingbesluit in verband met de richtlijn betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water (Adaptation of Dutch drinking water legislation), Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, 1–53, 2001.
- Theunissen, J. J. H., Nobel, P. J., van de Heide, R., de Bruin, H. A. M., van Veenendaal, D., Lodder, W. J., Schijven, J. F., Medema, G. J., and van der Kooij, D.: Enterovirusconcentraties bij innamepunten van oppervlaktewater voor de bereiding van drinkwater (Enterovirus concentrations at collection sites of surface waters for drinking water production) RIVM, Bilthoven, The Netherlands, Report no: 289202013, 18 pp., www.RIVM.nl, 1998.
- USEPA: LT2ESWTR, Long Term Second Enhanced Surface Water Treatment Rule, United States Environmental Protection Agency, Washington D.C., USA, 2006
- van der Helm, A. W.: Integrated modeling of ozonation for optimization of drinking water treatment, Delft university of Technology, Delft, The Netherlands, 2007.
- van der Kooij, D., Veenendaal, H., and Scheffer, W. J. H.: Biofilm formation and multiplication of *Legionella* in a model warm water system with pipes of copper, stainless steel and cross-linked polyethylene, *Water Res.*, 39(13), 2789–2798, 2005.
- van der Kooij, D., van Lieverloo, J. H. M., Gale, P., and Stanfield, G.: Distributing drinking water with a low or zero disinfectant residual, Operational and biological aspect, UKWIR (Ed.), 2003a.

- van der Kooij, D.: Managing regrowth in drinking water distribution systems, in: *Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety*, edited by: Bartram, J., Cotruvo, J., Exner, M., Fricker, C., and Glasmacher, A., IWA Publishing, London, UK, 199–232, 2003b.
- van der Kooij, D., van Lieverloo, J. H. M., Schellart, J., and Hiemstra, P.: Maintaining quality without a disinfectant residual, *J. Am. Water Works Ass.*, 91(1), 55–64, 1999.
- van der Kooij, D., Hijnen, W. A. M., Drost, Y. C., Willemssen-Zwaagstra, J., Nobel, P. J., and Schellart, J. A.: Multiple barriers against micro-organisms in water treatment and distribution in the Netherlands, *Water Supply*, 13(2), 13–23, 1995.
- van der Kooij, D. and Veenendaal, H.: Assessment of the biofilm formation potential of synthetic materials in contact with drinking water during distribution, Miami, AWWA WQTC, 7–11 November 1993.
- van der Veer, A. J.: Bijdrage aan het inzicht rond de verwijdering van indicatororganismen en pathogenen door het zuiveringsproces (Reduction of indicator organisms by treatment processes), Internal memo., Evides, Rotterdam, The Netherlands, 19 pp., 2008.
- van der Wielen, P., Senden, W., and Medema, G.: Removal of Bacteriophages MS2 and Phi X174 during transport in a sandy anoxic aquifer, *Environ. Sci. Technol.*, 42(12), 4589–4594, 2008.
- van Lieverloo, J. H. M., Mesman, G. A. M., Bakker, G. L., Baggelaar, P. K., Hamed, A., and Medema, G.: Probability of detecting and quantifying faecal contaminations of drinking water by periodically sampling for *E. coli*: A simulation model study, *Water Res.*, 41(19), 4299–4308, 2007b.
- van Lieverloo, J. H. M., Blokker, E. J. M., and Medema, G.: Quantitative microbial risk assessment of distributed drinking water using faecal indicator incidence and concentrations, *J. Water Health*, 5, 131–149, 2007a.
- van Lieverloo, J. H. M., Medema, G., and van der Kooij, D.: Risk assessment and risk management of faecal contamination in drinking water distributed without a disinfectant residual, *J. Water Supply Res. T.*, 55(1), 25–31, 2006.
- van Lieverloo, J. H. M., Mesman, G. A. M., Nobel, P. J., and Kroesbergen, J.: *Hygiëncode drinkwater: Opslag, transport en distributie KIWA* Water Research, Nieuwegein, 161 pp., the Netherlands, 2002.
- Veenendaal, H. and van der Kooij, D.: Een specifieke kweekmethode voor *Legionella pneumophila*, 36–38, 2007.
- VEWIN: Water Supply Statistics 2004, VEWIN, Association of Dutch Water Companies, Rijswijk, The Netherlands, 2005.
- VEWIN: Groot vertrouwen in Nederlands kraanwater, <http://www.kraanwater.nu>, last access: 22 May 2008.
- Vreeburg, J.: Discolouration in drinking water systems: a particular approach, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2007.
- Westrell, T., Bergstedt, O., Stenstrom, T. A., and Ashbolt, N. J.: A theoretical approach to assess microbial risks due to failures in drinking water systems, *Int J. Environ. Health Res.*, 13(2), 181–197, 2003.
- WHO: Guidelines for Drinking Water Quality, third edition World health organization, Geneva, Switzerland, 2004.
- Wullings, B. A. and van der Kooij, D.: Occurrence and genetic diversity of uncultured *Legionella* spp. in drinking water treated at temperatures below 15 degrees C., *Appl. Environ. Microbiol.*, 72(1), 157–166, 2006.