

ZDRAVOTNÍ RIZIKA PŘI VYUŽITÍ RECYKLOVANÝCH VOD V BUDOVÁCH. ČÁST 2 – ŠEDÉ VODY

HEALTH RISKS FROM NON-POTABLE USE OF RECYCLED WATER IN BUILDINGS. PART 2 – GREYWATER

FRANTIŠEK KOŽÍŠEK, ŠÁRKA BOBKOVÁ, DANA BAUDIŠOVÁ, HANA JELIGOVÁ

Státní zdravotní ústav, Centrum zdraví a životního prostředí, Praha, Česká republika

SOUHRN

Článek popisuje zdroje šedé vody a její kvalitu po stránce fyzikální, chemické a mikrobiologické. Popisuje způsoby nepitného užití vyčištěné šedé vody v budovách a s nimi spojené expoziční cesty nákazy. Charakterizuje možná zdravotní rizika při ingestci, inhalaci a dermálním kontaktu. Závěrem jsou diskutována potřebná opatření k ochraně veřejného zdraví, která v ČR dosud chybí. Jako nejvhodnější se jeví kombinace požadavků na kvalitu vyčištěné vody pro různé způsoby užití s požadavky na účinnost technologie čištění ve smyslu logaritmicke redukce referenčních patogenů a doporučení uživatelům ohledně bezpečného chování při užití této vody.

Klíčová slova: voda šedá, voda užitková, expozice patogenům, rizika zdravotní

SUMMARY

The paper describes the sources of greywater and its physical, chemical, and microbiological quality. The list of different non-potable uses of treated greywater in buildings and related exposure pathways of infections are provided. Possible health risks stemmed from ingestion, inhalation or dermal contact are characterised. Finally, required measures needed to protect public health, which have been missing in Czechia so far, are discussed. A combination of water quality standards for different ways of use, requirements for log reduction of reference pathogens of treatment technologies, and recommendations for end-users on safety behaviour seems to be the most efficient approach.

Key words: greywater, non-potable water, exposure to pathogens, health risks

<https://doi.org/10.21101/hygiena.a1825>

Úvod

V našem dvojdielném seriálu se snažíme zmapovat zdravotní rizika při využití recyklovaných vod v budovách. V první části jsme se věnovali recyklované vodě, jejímž zdrojem je voda srážková (dešťová) (1). V této části se věnujeme vodě, která je vyráběna čištěním tzv. šedé vody. Naše mapování rizik je základem, ze kterého budeme vycházet při definování hygienických požadavků na kvalitu tzv. užitkových vod vyráběných recyklací vod srážkových, šedých i jiných a používaných k různým nepitným účelům uvnitř obytných budov. Tyto požadavky mají být jedním z výstupů výzkumného projektu TAČR „Stanovení hygienických požadavků na recyklovanou vodu využívanou v budovách a městských vodních prvcích“ řešeného v letech 2020–2023.

Motivům recyklace vody a současnému rozšíření systémů recyklace vody v budovách v České republice (ČR) jsme se věnovali v úvodu k první části. Proto zde jen shrnujeme, že hlavními motivy pro pořízení systémů na re-

cyklaci vody jsou důvody ekologické (snaha šetřit vodou) a ekonomické (úspora za vodné). Z programu Dešťovka bylo k březnu 2021 vyplaceno 67 žádostí na instalace technologií na recyklaci šedé vody nebo kombinovaných systémů na šedou a srážkovou vodu. Ve skutečnosti je ale instalací v ČR již mnohem více, protože většina z nich je financována z jiných zdrojů.

Původ a definice šedé vody

Odpadní vody z obytných objektů se někdy rozlišují podle původu a podle převažující barvy na vodu černou či hnědou (z toalet vyjma pisoárů), žlutou (moč z pisoárů) a šedou (z ostatních zdrojů). Šedá voda se definuje jako splašková (domovní) odpadní voda kromě odpadních vod z WC a pisoárů (2). Může se tedy jednat o odpadní vodu z umyvadel, van, sprch, praček, myček nádobí a kuchyňských dřezů, popř. o vodu z úklidu, pokud se vylévá do speciálních výlevků, nikoliv do WC.

Kvalita či složení šedých vod z jednotlivých zdrojů se může výrazně lišit, takže se někdy používá také pojem „lehká šedá voda“, pod kterým se rozumí šedá voda s výjimkou odpadních vod z kuchyní a praček (2). Tato voda se považuje za vhodnou pro čištění a využití jako užitková voda, protože neobsahuje tolik tuků, organických látek a čisticích (pracích) prostředků jako voda z kuchyní či praček.

Ze své zkušenosti víme, že ke zdrojům šedé vody je třeba přiřadit i vodu z rehabilitačních van a wellness bazénů, s jejímž využitím jako užitkové vody jsme se setkali v hotelu i v nemocnici. Tato voda by také patřila mezi lehké šedé vody. V jednom případě, v objektu centra pro environmentální výchovu, používali jako jeden ze zdrojů šedé vody i vodu z akvárií.

Na rozdíl od vody srážkové, jejíž množství a rovnoměrné rozložení v čase nemůže uživatel objektu ovlivnit, se voda šedá díky svému množství považuje za spolehlivější zdroj, u kterého se dá (v daných klimatických a kulturních podmínkách) jeho vydatnost celkem dobře odhadnout. Uvádí se, že šedá voda může představovat až 75 % objemu odpadních vod z domácnosti, přičemž celkový objem odpadních vod se liší mezi zeměmi, obcemi i domácnostmi podle klimatu, socioekonomických a kulturních podmínek, návyků apod. a pohybuje se v širokém rozmezí od 15 do několika set litrů na osobu a den (3, 4).

Způsoby využití vyčištěné šedé vody

V ČR jsme se zatím setkali se třemi způsoby využití: splachování WC, praní prádla a zalévání zahrad. Norma ČSN EN 16941-2 (2) uvádí ještě úklid. Tato norma zároveň uvádí, k jakým účelům by vyčištěná šedá voda neměla být používána: přímá konzumace, příprava potravin a osobní hygiena.

Funkční prvky systému recyklace šedé vody

Každý systém či zařízení na využití šedé vody sestává ze čtyř hlavních funkčních částí: a) jímání šedé vody, b) čištění šedé vody, c) akumulace vyčištěné (užitkové) vody, d) rozvod vyčištěné vody k místům užití.

Akumulace nečištěné šedé vody se nedoporučuje vůbec nebo jen velmi krátkodobě, protože při delší době zdržení by docházelo k hnilobným procesům a problémům s nimi spojenými (5). Potřebná technologie čištění vyplývá na jednu stranu z kvality čištěné vody, na druhou stranu z požadavků na kvalitu užitkové vody, které souvisí s účelem použití. Technologie čištění šedých vod obvykle kombinuje několik z následujících prvků: sedimentace/flotace, mechanická filtrace velkých částic (síta), jemná mechanická filtrace (filtry nebo membrány), biologické čištění, aerace, chemické čištění (např. srážení), dezinfekce (2, 3).

Výběr technologie by měl zohlednit fakt, že většina procesů čištění odpadních vod funguje spolehlivě a se standardní účinností jen tehdy, je-li provozována kontinuálně, což u malých objektů s nedostatečnou produkcí nebo spotřebou šedé vody nemusí být pravidlem. Nezbytné je také pravidelné čištění, udržování a kontrola celého systému, včetně technologie čištění.

Nebezpečí šedých vod – fyzikální

Teplota šedých vod se pohybuje cca v rozmezí 18 až 35 °C (3), což souvisí s ohřevem vody při praní, použitím teplé vody při osobní hygieně či vyléváním horké vody do dřezu při vaření. Vyšší teplota vody v systému recyklace může vést k vyšší precipitaci uhličitánů (hlavně CaCO_3) čili tvorbě vodního kamene na stěnách systému recyklace a v napojených zařízeních. Především ale podporuje proliferaci některých druhů podmíněně patogenních mikroorganismů (např. legionel), o čemž je blíže pojednáno dále.

Hladiny rozpuštěných látek jsou udávány v rozmezí 190 až 537 mg/l (3). Pokud je využita i jiná provozní voda (setkali jsme se s případem využití koncentráту z reverzní osmózy, tedy vody o vyšší solnosti), pak mohou být hodnoty i vyšší. To se jeví jako problematické, pokud má být taková voda využita na zálivku; právě v našem případě bylo od takové praxe upuštěno poté, co začaly usychat stromy i trávničky. S hodnotami rozpuštěných látek koresponduje úroveň konduktivity, která je udávána v rozmezí 14 až 3 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (3). Celkový obsah nerozpuštěných látek bývá v šedé vodě zvýšen, zejména je-li využita voda z kuchyně (např. z mytí zeleniny) nebo z pračky. Podobně bývá v těchto případech zvýšen zákal, který pak dosahuje horního intervalu udávaného rozmezí (19 až 444 NTU) (3).

Na pomezí mezi znečištěním fyzikálním (částice, resp. vlákna) a chemickým jsou mikroplasty, které se ve vysokých koncentracích nacházejí především ve vodě z praček. Jejich zdravotní riziko pro užitkovou vodu spočívá především v tom, že částice mikroplastů pokryté biofilmem představují nejen vhodnou a relativně velkou plochu pro zachycení a růst různých mikroorganismů, ale také určitou ochranu těchto biologických agens před dezinfekcí (6). Riziko pro životní prostředí budou představovat mikroplasty v případě, že se užitková voda využije pro závlahu, čímž bude docházet ke kontaminaci půdy.

Nebezpečí šedých vod – chemické

Podle zdroje šedé vody se ve vodě nachází různý obsah (převážně organických) chemických látek, které si můžeme podle původu rozdělit do dvou skupin:

- Látky, jejichž původcem je člověk (popř. doma chovaná zvířata) – např. látky obsažené v potu, kožním tuku, moči či různých tělních sekretech – a které se do šedé vody dostávají tím, že se člověk myje nebo pere prádlo. Pokud jsou využívány i odpadní vody z kuchyně, daly by se sem zařadit i látky pocházející ze surových potravin nebo zbytků jídel (tuky), popř. přísady do jídel (např. kuchyňská sůl). Výskyt těchto látek ve vodě sledujeme prostřednictvím sady různých indikátorů, jako je celkový fosfor, celkový dusík, chemická či biologická spotřeba kyslíku, konduktivita apod.
- Látky pocházející z kosmetických, mycích, čisticích, pracích a farmaceutických přípravků používaných v domácnosti především k péči o tělo (mýdla, šampony, zubní pasty, krémy, léčiva atd.), mytí nádobí a praní prádla (tenzidy, fosfáty, bělidla, aromatické a další přídatné látky). Většinou se jedná o tzv. xenobiotické organické látky, ale zastoupeny jsou rovněž

látky s dusíkem, sodíkem či fosforem obsažené v kationových surfaktantech. Za nejvíce zastoupenou složku této skupiny látek lze považovat povrchově aktivní látky (surfaktanty, tenzidy), které bývají hlavní aktivní látkou ve většině čisticích a pracích prostředků – v šedé vodě z praček bylo zjištěno až cca 15 mg/l těchto látek (7).

Hodnoty pH se u šedých vod pohybují v širokém rozmezí 5–9, vyšší hodnoty nacházíme u vod z praček díky alkáliím obsaženým v detergentech (3). Hodnoty CHSK se udávají obvykle v řádu stovek mg/l (rozmezí kolísá od desítek po více než tisíc mg/l u vody z kuchyně), hodnoty BSK-5 v řádu desítek až nižších stovek mg/l (7, 8). Poměr BSK-5/CHSK pak vypovídá o biodegradabilitě složek šedé vody; poměr se obvykle pohybuje mezi 0,31 až 0,71 (i když byly zaznamenány i extrémy okolo 4), což znamená, že téměř polovina organických látek v šedé vodě je biodegradabilní (9).

Při použití užitkové vody v budovách nepředstavují látky z druhé skupiny (mýdla, šampony apod.) samy o sobě významné zdravotní riziko, ale některé mohou sloužit jako živiny pro růst určitých bakterií a dalších mikroorganismů, být zdrojem pachu (obvykle díky hnilobnému rozkladu) a vytvářet pěnu, a tím snižovat/znemožňovat funkčnost technologie čištění. Setkali jsme se i s případem, kdy někdo z uživatelů vylil do umyvadla nebo vany větší množství tenzidu a ve sběrné nádrži, kde probíhá proces čištění, se vytvořilo tolik pěny, že postupně vyplnila až po strop celou místnost, kde byla technologie instalována. I když to není předmětem naší práce, považujeme za užitečné upozornit, že některé z používaných chemických látek mohou ve vyšší koncentraci degradovat půdu, a proto se voda s takovými látkami nehodí na zálivku.

Nebezpečí šedých vod – mikrobiologické

Celkové mikrobiologické oživení šedých vod je řádově vyšší, než jsme zvyklí u pitných nebo koupacích vod. Počty kolonií při 22 a 37 °C se v šedých vodách nalézají v řádech statisíců v 1 ml (10). Celkové počty bakterií v surových šedých vodách (stanovené mikroskopicky) se v námi navštívených objektech pohybovaly okolo 600 000/ml (2 lokality), kultivovatelné bakterie v těchto vzorcích činily 27, resp. 53 %. V dalších stupních čištění byl celkový počet bakterií zhruba o jeden řád nižší.

Podíváme-li se blíže na skupinu patogenních a podmíněně patogenních mikroorganismů, které nás z hlediska zdravotního rizika užitkové vody vyrobené z vody šedé zajímají především, můžeme si tyto organismy rozdělit podle původu do dvou hlavních skupin:

- A) mikroorganismy nacházející se v rizikových počtech již v nečištěné šedé vodě,
- B) mikroorganismy pomnožující se do rizikových počtů až v průběhu akumulace a rozvodu přečištěné šedé vody.

Ad A). I když šedá voda neobsahuje odpadní vody z toalet, je běžně fekálně znečištěna díky osobní hygieně (zejména malých dětí) a praní plen či spodního prádla. Proto bývají v šedé vodě z domácností, kde žijí děti do 4 let, nalézány statisticky vyšší počty fekálních indikátorů než v ostatních domácnostech (7). Z indikátorů fekálního znečištění se *E. coli* nalézá v počtech desítek

až tisíců KTJ (MPN)/100 ml (ze sprch bylo ovšem popsáno až 10⁶ KTJ), podobné množství je též intestinálních enterokoků. Termotolerantní koliformní a koliformní bakterie se mohou vyskytovat v počtech ještě o řád vyšších (3, 4, 8, 11–13). I pouhá voda z umyvadel může obsahovat značné počty fekálních indikátorů: šedá voda v recyklačním systému jedné z největších budov světa (bývalé Millennium Dome, dnes The O2 v Londýně), pocházející výhradně z umyvadel, obsahovala v mediánu *E. coli* okolo 7 tisíc KTJ/100 ml a intestinálních enterokoků více než 200 KTJ/100 ml (10).

Ne každá voda obsahující mikrobiální indikátory fekálního znečištění musí obsahovat též enterické patogeny. Nicméně určitá část těchto vod patogeny obsahuje (záleží na epidemiologické situaci uživatelů). Škála těchto mikroorganismů může být široká a zahrnuje bakterie (enteropatogenní *E. coli*, salmonely, shigely ad.), střevní viry (enteroviry, noroviry, adenoviry, rotaviry, virus hepatitidy A ad.) i prvoky (giardie, kryptosporidie) nebo vajíčka helmintů (3, 4, 12, 14). Zmíněná studie mapující kvalitu šedé vody z umyvadel v Millennium Dome našla giardie i kryptosporidie ve dvou ze tří vzorků (10). Jedna studie z Austrálie zjistila střevní viry v 18 % vzorků, enteroviry v 7 % vzorků a patogenní *E. coli* v 11 % vzorků šedé vody (15). Jiná australská studie našla patogenní *E. coli* ve 3 % vzorků a noroviry v jednom ze 40 vzorků (16). Vedle střevních patogenů se v šedých vodách nalézají také podmíněně patogenní *Staphylococcus aureus* (SA) a *Pseudomonas aeruginosa* (PA), jejichž počty mohou být vyšší než *E. coli* a mohou se pohybovat v řádech desetitisíců až statisíců ve 100 ml (4, 14). Proto byla *P. aeruginosa* již dávno navrhována jako lepší indikátor fekální kontaminace recyklované vody než *E. coli* (14, 17, 18). Mělo by to opodstatnění i proto, že se zdá, že pseudomonády i stafylokoky nejlépe prochází skrze technologii čištění šedé vody. V jedné ze studií byly nalezeny ve vyčištěné vodě v 29 % (SA), resp. 74 % (PA), v průměrném množství tisíců KTJ/100 ml (SA), resp. stovek KTJ/100 ml (PA) (19). Četnost nálezů patogenů reflektuje jejich nosičství v populaci a aktuální epidemiologickou situaci.

Při kuchyňském zpracování masa a vajec se mohou do šedé vody dostat též salmonely a kampylobaktery. Tyto mikroorganismy se však mohou do šedých vod dostat i z vod srážkových v případech, kdy se jedná o kombinované systémy šedé a srážkové vody.

V šedých vodách byl pozorován jev, který u pitných vod nepozorujeme a který některé bakterie skupiny A posouvá na rozhraní skupin A a B: díky vysokému obsahu organických látek se mohou v některých šedých vodách či jejich sedimentech pomnožovat jak indikátory fekálního znečištění (intestinální enterokoky, *E. coli*, koliformní bakterie), tak i některé patogeny (např. salmonely) (11). Pokud jsou tyto mikrobiální indikátory používány k odhadu celkové fekální zátěže, dochází tím k nadhodnocování rizika. Proto bylo navrženo používat k odhadu této zátěže raději chemický indikátor koprostanol, což je produkt bakteriálního rozkladu cholesterolu v zažívacím traktu (11).

Ad B). Některé (mikro)organismy se v nečištěné šedé vodě vyskytují náhodně, ojediněle nebo v málo rizikových počtech. Nicméně pokud projdou procesem čištění, mohou nalézt v systému užitkové vody vhodné životní a růstové podmínky (vyšší obsah živin, teplota

blíží se teplotě lidského těla). V systému pak může dojít nejen k jejich přežívání, ale i pomnožení do vysokých počtů. Týká se to např. bakterií legionel, pseudomonád a atypických mykobakterií nebo améb.

Výsledky stanovení legionel v šedých vodách prezentují mimo jiné autoři (20), kteří testovali šedé vody ze 4 domů v Izraeli. V pitné (studené) a teplé vodě shledali průměrné hodnoty *L. pneumophila* $6,4 \cdot 10^2$, resp. $5,9 \cdot 10^3$ KTJ/l. V šedé vodě byly zjištěny hodnoty v průměrech $1,2 \cdot 10^5$ KTJ/l (surová šedá voda), $2,4 \cdot 10^4$ KTJ/l (vyčištěná šedá voda) a $5,7 \cdot 10^3$ KTJ/l (vyčištěná a chlorovaná šedá voda). Nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi pitnou a vyčištěnou a chlorovanou šedou vodou. V šedých vodách byla nalezena slabá korelace výskytu legionel s teplotou, negativní korelace se zbytkovým chlórem a pozitivní s pH a TOC. Pokud jde o sezónní změny, legionely v šedé vodě vykazovaly opačný trend, než tomu bylo ve vodě pitné, a to nejmenší výskyt v létě s následným vzestupem na podzim.

Specifický druh mikrobiologického nebezpečí představuje možná stopová přítomnost antibiotik v šedé vodě a s ní spojené riziko vzniku antibiotické rezistence (14). Toto riziko se diskutuje především u recyklace komunálních odpadních vod (21), kde jsou jak vyšší koncentrace antibiotik, tak širší spektrum a vyšší počty bakterií, a proto je i pravděpodobnost vytvoření rezistentních kmenů vyšší než u šedé vody. Opomíjet toto nebezpečí úplně nelze, protože díky užití užitkové vody v obytných budovách je expozice člověka ATB-rezistentním kmenům možná pravděpodobnější než u vyčištěné odpadní vody z komunální čistírny odpadních vod. Naše výsledky výzkumu citlivosti koliformních bakterií z čištěných šedých vod na vybraná antibiotika ukázaly podobné výsledky jako ve studiích různých typů vod (22). Největší podíl antibiotické rezistence byl zjištěn u penicilinových derivátů (ampicilin a amoxicilin-kyselelina klavulanová), který u skupiny *E. coli/Shigella* tvořil 32 %. Rezistence na další studovaná antibiotika (ciprofloxacin, gentamicin, cefepim, ceftazidim a cefotaxim) byla prokázána u 7–12 % kmenů ze všech izolovaných druhů koliformních bakterií. Pouze jeden kmen *E. coli* izolovaný z vod ze zdravotnického zařízení byl rezistentní na meropenem.

Jinou specifickou oblastí či otázkou je složení mikrobiálních společenstev (mikrobiomu) v recyklovaných vodách a jejich význam pro nezávadnost těchto vod (23). Nagarkar a kolektiv (24) publikovali přehledovou práci, která se zabývá složením mikrobiomu šedých vod. Shrnují různé přístupy, diskutují využitelnost různých metod a indikátorů a zvláště se zaměřují na metagenomický přístup analýz bakteriálního společenstva. Srovnávají také výsledky studií z různých typů šedých vod, které dokládají, že složení jejich mikrobiálních společenstev se mezi sebou dost liší, stejně jako se liší od obvyklého mikrobiomu pitné vody. Do budoucna bude nutné ověřit, zda mikrobiom recyklované vody nemůže ovlivnit mikrobiom pitné vody ve vnitřním vodovodu stejné budovy, a zjistit, co to znamená pro bezpečnost pitné vody.

Kvalita šedé vody, jak jsme již uvedli výše, je ovlivněna jejím zdrojem (umyvadla, sprchy, pračky) a specifickými aktivitami v té které domácnosti. Posuzujeme-li tedy kvalitu šedé vody v rámci jedné domácnosti, kde se využívají všechny možné zdroje, jsou pro ni typic-

ké velké výkyvy kvality v čase, např. během dne nebo týdne. Naopak je-li sbírána šedá voda v rámci bytového domu, kde jsou desítky domácností, výkyvy v její kvalitě jsou mnohem nižší, protože smícháním mnoha různých zdrojů dochází k průměrování extrémních hodnot. Tato skutečnost pak klade vyšší nároky na technologie čištění šedých vod určené např. pro jeden rodinný dům, protože musí zvládnout větší rozpětí extrémních hodnot.

Vlastní zkušenosti se systémy recyklace šedých vod

V rámci našeho projektu jsme navštívili 11 různých objektů, kde byl instalován a provozován systém recyklace šedých vod (jednalo se o 2 bytové domy, 2 ubytovací zařízení, 3 rodinné domy, školu, školicí centrum, obchodní centrum a nemocnici, tedy objekty soukromé i veřejné).

Ve většině sledovaných objektů se přečištěná šedá voda používala na splachování WC, v některých též na závlahu okolí a jako venkovní voda užitková na mytí náradí, aut apod. V jednom objektu se používala výhradně na zálivku, a to včetně zálivky jedlých plodin. Zdrojem šedé vody byly umyvadla, sprchy, vany (včetně rehabilitačních a vířivek), někdy též pračky a voda z terárií a akvárií. V jednom případě též kuchyňský dřez. Ve čtyřech z jedenácti sledovaných objektů se jednalo o kombinované systémy dešťové a šedé vody. V objektech jsme nejen odebírali vzorky vody ze všech částí systému, ale také se podrobně seznámili s uspořádáním recyklace a technologií čištění.

Technologie čištění šedých vod dodaly do sledovaných objektů tři různé firmy (ne vždy je ale tyto firmy také samy instalovaly) či byly ve dvou případech vybudovány svépomocí. Vyznávaly ohledně designu a reálného provedení různý stupeň kvality a funkčnosti, což se pak odráželo ve spolehlivosti provozu. Pokusili jsme se orientačně posoudit profesionalitu (designu) systému recyklace a jeho provozní spolehlivost, a to pomocí třístupňové stupnice: 1 = profesionální, velmi spolehlivý systém, 2 = poloprofesionální, středně spolehlivý systém, 3 = amatérský, málo spolehlivý systém (poznámka: i specializovaná, profesionální firma může podle této klasifikace odvést amatérskou práci, takže systém není správně navržen a dobře nefunguje) (25).

U objektů využívajících jen srážkovou vodu bychom jen dva objekty z 16 mohli označit za profesionálně navržené a provedené a jen u jednoho objektu bychom spolehlivost provozu označili jedničkou. U objektů využívajících šedou vodu se zdá být situace o trochu lepší: u 5 objektů bychom profesionalitu systému označili jedničkou nebo jedna minus, u 5 objektů dvojkou nebo dva minus a u jednoho trojkou. Spolehlivost provozu u pěti objektů bychom označili jedničkou nebo jedna minus, u šesti objektů dvojkou nebo dva minus. Je to zřejmě tím, že kvalita srážkové vody je ze strany realizátorů recyklace podceňována (považována za dostatečně čistou, takže nevyžaduje skoro žádnou úpravu), zatímco u šedé vody je jí přece jen věnována větší pozornost. Nicméně i tak má většina objektů se šedou vodou, které jsme mohli navštívit, k dokonalosti daleko. Lze to ilustrovat mj. na kontinuální dezinfekci čištěné vody, která byla aplikována jen ve 2/3 objektů

(7 z 11) a v některých dalších objektech byla z finančních důvodů zapínána jen občas.

Vlastní zkušenosti s kvalitou šedých vod

Z uvedeného výčtu zdrojů vody a typů budov je zřejmé, že i kvalita šedé vody byla v různých objektech odlišná. Pro některá vyhodnocení jsme proto objekty (výsledky) rozdělili alespoň do dvou skupin: na vody pocházející ze silně dezinfikovaných zdrojů (wellness, vířivky apod.), které byly ze své podstaty relativně čisté, a na klasické šedé vody, tedy vodu z umyvadel, van, sprch apod.

Základní analýzou pro určení mikrobiologické kvality vody je stanovení přítomnosti tzv. indikátorů fekálního znečištění (především *E. coli* a intestinálních enterokoků), které svou přítomností indikují možnou přítomnost střevních patogenů. V analyzovaných vzorcích surové šedé vody byla zjištěna *E. coli* v 65 % a intestinální enterokoky v 79 %. Pokud budeme brát v úvahu pouze „klasické šedé vody“, tedy bez vířivek a rehabilitačních van, činil počet pozitivních *E. coli* i intestinálních enterokoků 81 %. Číselně se jednalo u *E. coli* o jednotky až tisíce MPN/100 ml s tím, že v 5 případech ze 34 byly hodnoty i po naředění vzorku nad pracovním rozsahem metody, takže nevíme přesný počet, ale ze získaných výsledků je zřejmé, že se jednalo o hodnoty větší než tisíce MPN/100 ml. V literatuře se uvádí, že v surové šedé vodě z koupelen může být *E. coli* až $10^6/100$ ml (3, 8, 12). V přečištěných vodách bylo procento vzorků obsahujících *E. coli* 21 % a intestinálních enterokoků 37 %. U vzorků z místa užití bylo shodou okolností procento pozitivních nálezů 13 % jak u *E. coli* (5 ze 40), tak u intestinálních enterokoků (6 ze 45). Při odběrech v místě užití byla situace trochu komplikovaná tím, že ne ve všech objektech bylo možné odebrat vzorek z hadičky/nádržky mimo WC mísu. Pokud vezmeme v potaz všechny analyzované vzorky v místě užití, bylo procento pozitivních nálezů obou ukazatelů výše uvedených 13 %. Pokud bychom vzali pouze vzorky odebírané mimo WC mísu, je procento zejména u intestinálních enterokoků vyšší (21 %). Zde je ale nutné upozornit, že výsledek je zkreslený menším počtem vzorků ($n = 14$). Množství uvedených mikroorganismů klesá směrem k místu užití, nicméně ne ve všech objektech se podařilo dosáhnout nuly (negativní záchyt ve 100 ml). Nenulové vzorky byly ze dvou objektů. V jednom z objektů není před konečným užitím voda dezinfikována, neboť surová voda je ředěná vodou z bazénu a vířivek, z čehož majitel usoudil, že voda je dostatečně chlorovaná ze svého zdroje. Ve druhém případě se jednalo o ojedinělý vzorek z objektu, kde se ke konečné dezinfekci využívá UV lampa. Vzhledem k malému počtu opakování nelze ale usoudit na příčinu „nenulových“ hodnot.

Jak bylo uvedeno výše, možnými potenciálními patogeny v šedých vodách mohou být pseudomonády (zaměřili jsme se na druh *P. aeruginosa*), legionely a atypická mykobakteria. Pseudomonády jsou bakterie kulturně nenáročné a mohou se pomnožovat i v prostředích s malým obsahem živin a zároveň růst v široké škále podmínek. V šedých vodách se mohou pomnožit i v místech, kde je mikrobiální oživení díky čištění menší, a kde tedy mají prostor pro svůj růst. Tomu nasvěd-

čuje i skutečnost, že v některých objektech byla *P. aeruginosa* nalezena až ve vzorcích přečištěné vody, případně v místě užití, ačkoliv nebyla detekována v původní surové vodě. V jednom bytovém domě byla *P. aeruginosa* detekována opakovaně jak v surové, tak v přečištěné vodě. Z celkového počtu 40 analyzovaných vzorků obsahovalo *P. aeruginosa* 20 %. Vzhledem k tomu, že při použité kultivační metodě bylo kvantitativní stanovení zatíženo velkou chybou díky velkému množství doprovodné mikroflóry, byla přítomnost *P. aeruginosa* hodnocena pouze kvalitativně. V literatuře je *P. aeruginosa* v souvislosti s šedými vodami opakovaně zmiňována, a to v rozptěti jednotek KTJ/100 ml až 10^4 KTJ/100 ml (26, 27).

Legionely, které mají optimum svého růstu od 25 do 45 °C, jsou schopné přežívat v potrubí jako součást biofilmu anebo jako intracelulární parazité měňavek (améb). Vzhledem k tomu, že zdrojem šedé vody jsou ve většině případů sprchy a vany, mají zde legionely teplotně ideální podmínky pro růst. V našich vzorcích, zejména tam, kde byla zdrojem voda z rehabilitačních van a vířivek, se teplota pohybovala mezi 20 a 30 °C, obdobnou teplotu měla i v jednom z bytových domů. V námi analyzovaných vzorcích se legionela vyskytovala pouze sporadicky, a když se našla, jednalo se o nepatogenní sérotypy *L. pneumophila* (sérotyp 6 anebo 10), případně o méně známé fluoreskující druhy.

Přežívání legionel v potrubí může být spojeno s přítomností améb, tedy jednobuněčných eukaryot, ve kterých mohou legionely (intracelulárně) přežívat. Dosavadní studie naznačují, že v některých prostředích legionely pro své rozmnožování dokonce intracelulární prostředí vyžadují (28). Nejvýznamnějším je v tomto smyslu rod *Acanthamoeba*. Na přítomnost améb byly opakovaně analyzovány vzorky jak surových, tak přečištěných šedých vod ze tří objektů (2 bytové domy, obchodní centrum). Ve všech analyzovaných vzorcích byly améby přítomné, většinou se však jednalo o saprofytické druhy. Pouze jeden vzorek z bytového domu obsahoval amfizoický rod *Acanthamoeba*, avšak v tomto vzorku jsme přítomnost legionel ve volné vodě nepotvrdili a biofilm specificky na legionely nevyšetřovali.

Dalším potenciálním patogenem šedých vod mohou být atypická mykobakteria, což je skupina mykobakterií vyskytujících se přirozeně ve vodě a v půdě. Některé z druhů však mohou být podmíněně patogenní. V analyzovaných vzorcích šedých vod byly nalezeny druhy *M. gordonae*, *M. fortuitum*, *M. scrofulaceum* a *M. intracellulare*. Z uvedených druhů stojí za zmínku z hlediska lidského zdraví druhy *M. fortuitum* a *M. intracellulare*. Oba druhy ale způsobují infekce pouze u imunosuprimovaných pacientů, pacientů po operaci nebo u osob s plicním onemocněním.

Kromě bakterií se mohou v šedých vodách vyskytovat též enterické viry. Ze 14 námi analyzovaných vzorků byly v jednom případě nalezeny humánní adenoviry v koncentraci $3,12 \cdot 10^9$ GE (genomových jednotek)/10 l a adenovirus 40/41 v koncentraci $2,89 \cdot 10^9$ GE/10 l. Humánní adenoviry jsou indikátory fekálního znečištění a adenovirus 40/41 je původcem akutních gastroenteritid zejména u malých dětí. Vzorek pocházel z bytového domu, takže přítomnost tohoto viru není překvapivá a dokládá, že do šedé vody se opravdu mohou dostat enterické patogeny ve stanovitelném množství. Je ale třeba také zmínit, že se jednalo o vzorek surové šedé vody

a už ani v přečištěné vodě, a tedy ani v místě užití nebyl ani jeden z těchto druhů virů detekován.

Pro představu o celkovém oživení šedých vod byly některé vzorky surové šedé vody námi též mikroskopovány. Ve srovnání se systémy s dešťovou vodou byly podle očekávání surové vody v systémech s šedou vodou (s výjimkou vod z nemocnice) více oživené, někdy i v řádu set tisíc jedinců/ml mikroskopických eukaryot. Co se přítomných organismů týká, dominují opět bezbarví bičíkovci, je zde však větší zastoupení nálevníků, améb a mikromycet. Vysoké počty mikromycet v šedé vodě a jejich složení popisuje i studie čínských autorů (29). Mnohem častěji lze nalézt také mnohobuněčné živočichy, především vířníky, ale např. také hlístice nebo máloštětinatce. Velmi časté jsou kolonie, shluky či vlákna různých bakterií.

Expoziční cesty při uvažovaných způsobech užití

Užitkovou vodu vyrobenou z vody šedé lze v budovách použít k různým účelům. V tabulce 1 uvádíme nám známé způsoby užití a s nimi spojené možné expoziční cesty přenosu infekčních agens. Tabulka je podobná tabulce v první části (1), ale chybí dva způsoby užití, které se u šedé vody (zatím) neuplatňují. U šedé vody musíme naopak zmínit zvýšené riziko obsluhy technologie čištění, především biologických aeračních nádrží, okolo kterých se tvoří zvýšené množství aerosolu (10), zejména není-li nádrž důkladně zakryta, což bylo v námi navštívených objektech téměř pravidlem.

Zdravotní rizika

Jak jsme již uvedli v první části našeho článku (1), aktuální zdravotní riziko z použití recyklované užit-

kové (zde přečištěné šedé) vody je vždy výsledkem kombinace několika faktorů: počet infekčních agens ve vodě; infekčnost přítomných agens; způsob použití užitkové vody, ze kterého vyplývá cesta a intenzita expozice; a vnímavost (imunita) na straně uživatele vody.

Stejně jako u srážkové vody, i zde je zdaleka nejvyšší riziko alimentární infekce v případě, kdy dojde k neúmyslnému propojení systému užitkové vody s vnitřním vodovodem pitné vody, a užitková voda se tak dostane do vody pitné (tzv. cross-connection). Studie z Nizozemí spočítala, že již jednodenní expozice, kdy by došlo k vniknutí šedé nebo srážkové vody do vody pitné a jejímu použití k pití nebo na sprchování, by znamenala překročení přijatelného rizika nákazy. Dosažení přijatelné míry rizika¹ by si vyžadovalo tak robustní technologii čištění, která by byla schopna snížit obsah *E. coli*, stafylokoků a pseudomonád o 7 logaritmických řádů, což je míra účinnosti pro jednotlivé domácnosti v podstatě nesplnitelná (30, 31). I když by se mohlo zdát, že se jedná pouze o hypotetické riziko, jehož pravděpodobnost je minimální, v literatuře existuje mnoho popsaných případů cross-connection (30, 32, 33) a epidemie tímto způsobem byly hlášeny i z České republiky. Proto je nejdůležitějším technickým opatřením prevence tohoto propojení. Systém užitkové vody bývá z různých důvodů nutné občas dotovat pitnou vodou, a právě zde hrozí největší nebezpečí propojení obou systémů.

Řádově mnohem nižší riziko při vzniku gastrointestinální infekce, které však nelze ignorovat, představuje tvorba aerosolu při spláchnutí WC (34), při obsluze technologie čištění (aerační nádrží) nebo při tlakovém mytí chodníku či auta. Při nádechu ulpí určité množství vody v hltanu a je polknuto do žaludku. Pomocí metody QMRA (Quantitative Microbial Risk Assessment) můžeme pak vypočítat riziko nákazy. Podle toho, jak se namodeluje expoziční scénář (jaký patogen v jakém množství, objem polknuté vody, frekvence expo-

Tab. 1: Potenciální expoziční cesty přenosu infekčních agens při použití recyklovaných šedých vod v budovách

Způsob užití vody	Expoziční cesty přenosu infekčních agens
Splachování WC	<ul style="list-style-type: none"> • tvorba aerosolu (inhalace) • ruční kontakt s vodou při opravě nádržky (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití)
Praní prádla	<ul style="list-style-type: none"> • ruční kontakt s mokrým prádlem (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití) <p>(Poznámka: Praní při teplotě 40 °C nezaručuje usmrcení mnoha termotolerantních patogenů. Použití pracího prášku s detergentem sice možnost přežití mikroorganismů snižuje, ale není spolehlivým dezinfekčním opatřením.)</p>
Úklid	<ul style="list-style-type: none"> • ruční kontakt uklížeče s vodou (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití) • ruční kontakt malých dětí s vytřenou podlahou (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití) <p>(Poznámka: Při běžném úklidu se do vody přidává saponát, ale ne dezinfekce. Saponát spolehlivě usmrtí obalené viry a do určité míry gram negativní bakterie, ale vůči jiným mikroorganismům dostatečně účinný není.)</p>
Kropení a zálivka ve vnitřních prostorech	<ul style="list-style-type: none"> • tvorba aerosolu (inhalace) • kontakt s vodou (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití)
Obsluha technologie čištění	<ul style="list-style-type: none"> • ruční kontakt s vodou při manipulaci s nádrží nebo filtry (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití) • tvorba aerosolu (inhalace)

¹ V Nizozemí mají zákonem definovanou přijatelnou míru rizika nákazy z pitné vody 10^{-4} , kterou používají i pro systémy recyklace vody. Tato hodnota znamená, že ročně je přijatelný jeden případ nákazy na 10 tisíc exponovaných osob. Protože nákaza může probíhat i bez příznaků, nejedná se o přijatelný počet onemocnění, ale jen infekcí (nákaz).

zice atd.), vychází různým autorům různé výsledky. Shi a kolektiv (12) počítali roční riziko nákazy při splachování toalety pro patogenní *E. coli* z nečištěné šedé vody a vyšlo jim riziko velmi nízké ($8,8\text{E}-15$ až $7,3\text{E}-11$ pppy²), mnohem nižší, než je referenční přijatelné riziko definované US EPA jako $\leq 10^{-4}$ ($1\text{E}-04$) pppy. Jiní autoři (4) počítali roční riziko z expozice prvokům rodu *Giardia* (v množství 1,5 cysty na litr) (35) a dospěli k výsledku $3,27\text{E}-04$ pppy, což už referenční riziko převyšovalo. Autoři dále vypočetli, že by bylo potřeba redukovat obsah giardií o 70 %, aby bylo dosaženo přijatelného rizika. V obou případech se jednalo o nečištěnou šedou vodu. Brazílská studie (36) počítala riziko z jedné čistírny šedé vody, pracovala tedy s hodnotami patogenů v přečištěné vodě (bez dezinfekce), a zjistila, že v případě referenčních patogenů *Cryptosporidium* a *Campylobacter* splňovalo roční riziko přijatelnou míru rizika dle US EPA, zatímco pro rotavirus bylo riziko nepřijatelné. K podobným závěrům dospěla již dříve studie Ottosona a Stenströma (11), i když se zabývala aplikací vyčištěné šedé vody mimo budovy. Důvodem tohoto výsledku byla skutečnost, že technologie na čištění šedé vody nejsou obvykle schopné odstranit viry s dostatečnou mírou účinnosti.

Podobné riziko alimentárního onemocnění jako při splachování hrozí také při kontaktu „ruka – ústa“ v případě dotýkání se vypraného prádla, vytřené podlahy (malé děti) nebo obsluhy technologie čištění. Při stejné expoziční cestě hrozí ještě riziko infekce kůže vyvolané podmíněně patogenními bakteriemi *S. aureus* a *P. aeruginosa*.

Vedle průjmových, popřípadě kožních onemocnění či virové hepatitidy A či E, je nutné počítat s rizikem vzniku respiračních onemocnění způsobených především bakterií *L. pneumophila* nebo okrajově též některými jinými druhy legionel, menšinově též atypickými (netuberkulózními) mykobakteriemi, především tzv. MAC (*Mycobacterium avium complex*), nebo *P. aeruginosa*. Ve všech případech se jedná o podmíněné patogeny s inhalační cestou přenosu (inhalace drobného aerosolu). Studie z Izraele se pokusila pomocí QMRA a DALY³ (Disability-Adjusted Life Year) spočítat roční riziko onemocnění legionelou (*L. pneumophila*) při použití vyčištěné a dezinfikované vody na splachování toalet (37). Výsledek vyšel v rozmezí $2,95\text{E}-05$ až $1,87\text{E}-03$, čili v intervalu, ve kterém leží hranice referenčního rizika ($1\text{E}-05$ čili 10-5 ippy). Nicméně se podle autorů nejednalo o statisticky významné překročení. Při využití vyčištěné, ale nedezinfikované vody bylo riziko o jeden až dva řády vyšší, čili již zcela nepřijatelné. K podobným závěrům dospěla i studie z USA (38).

Metodická úskalí kontroly kvality šedé a přečištěné vody

Matrice šedá voda (zejména surová) se nejvíce přibližuje odpadní vodě, s čímž souvisejí i určitá metodická úskalí. O technických složitostech odběru již bylo psá-

no výše. Dále je vždy vhodné odebrat několik vzorků z jedné lokality, pro určení možného kolísání výsledků. S ohledem na velmi silné mikrobiální oživení odebraného vzorku je při transportu třeba používat účinné chlazení. Vzorky je nutné zpracovat co nejdříve po odběru, v ideálním případě ještě též den, neboť i tolerovaných 24 hodin může být v některých případech hodně. Z tohoto hlediska (složitá matrice, možné kolísání mikrobiální kontaminace, nestabilní vzorek) je i relativně obtížné určit správné ředění (resp. koncentraci) vzorku pro vlastní mikrobiologické zpracování – z výše uvedeného vyplývá, že z časových důvodů prakticky není možné analýzu opakovat.

Při mikrobiologických analýzách je potřeba používat vhodné selektivnější metody, které mohou částečně odclonit nadměrné množství doprovodné mikroflóry, někdy bohužel i za cenu nižší citlivosti. Neposledně je třeba každý vzorek důkladně (ale šetrně) homogenizovat, protože šedá voda může obsahovat shluky bakterií, které mohou v konečném důsledku kvantitativní výsledek ovlivnit (relativně snížit).

Hygienické požadavky na zmírnění rizik

Rychlý rozvoj technologií i realizací systémů recyklace vody je následován pomalejším procesem nastavování vhodného regulačního rámce, který by kontroloval zdravotní či environmentální rizika. Jak již bylo uvedeno v první části našeho článku, legislativně závazné hygienické požadavky na užitkovou vodu v budovách v ČR dosud chybí, nepočítáme-li definici užitkové vody, její možné zdroje a způsoby využití v zákoně č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví ve znění pozdějších předpisů, konkrétně v § 3 odst. 7. Vydání těchto požadavků formou metodického doporučení se očekává až v roce 2023, zařazení do prováděcího předpisu ke zmíněnému zákonu nejdříve v roce 2024.

V zahraničí se požadavky na kvalitu ubírají v zásadě dvěma cestami. První, klasická, spočívá v definování vybraných ukazatelů a k nim příslušných limitů přečištěné šedé vody. Přehled zahraničních předpisů takto pojatých je uveden v užitečném přehledu L. Matějí a kol. (39). Nejčastějším zvoleným indikátorem je *E. coli*, dále (termotolerantní) koliformní bakterie, (intestinální) enterokoky, *Legionella* spp. nebo *L. pneumophila*, střevní paraziti ad., a to s různými limity podle účelu využití užitkové vody (přehled zahrnuje i vodu pro závlahu) nebo podle úvahy příslušného regulátora.

Druhá cesta spočívá v definování požadavků na účinnost čištění vody (především dezinfekce) a následné certifikaci decentralizovaných čistíren šedé vody. Požadavky na účinnost čištění se definují prostřednictvím tzv. LRV (log reduction values), které udávají, o kolik řádů musí být technologie schopná odstranit vybrané (referenční) patogeny, obvykle zástupce bakterií, virů a prvoků. K požadovaným hodnotám se dostáváme prostřednictvím výpočtu tzv. LRT (log10 reduction target), což je potřebná redukce počtu patogenů, aby bylo dosaženo sta-

²pppy = per-person-per-year = riziko (nákazy) na osobu a rok

³DALY je ukazatel míry závažné nemoci v lidské populaci a znamená ztracená léta života ve zdraví v důsledku nemoci. Hodnota jednoho DALY znamená podle WHO jeden ztracený rok zdravého života. Jednotkou je ippy (illness_cases/(person.year)).

nového cíle, kterým je v USA či v Nizozemí míra rizika nepřevyšující referenční hodnotu 10–4 pppy (40–42). Touto cestou jde např. řada jednotlivých států USA. Pro ilustraci zde uvádíme požadavky (LRT) na účinnost čištění šedé vody, ze které má být vyrobena užitková voda pro užití v interiérech: kryptosporidia 3,5; giardie 4,3; noroviry 7,1; adenoviry 6,0; enteroviry 5,2 (40). Certifikaci nabízí např. organizace NSF podle normy NSF/ANSI 350-2020 (43). Celkem se při testování, které trvá nejméně 6 měsíců a vzorky se odebírají dvakrát týdně, sleduje asi 10 ukazatelů (např. CHSK, BSK, nerozpuštěné látky, zákal, pH, barva, pach, pěna či film na hladině ad.), ilustrativně si opět uvedme mikrobiologické požadavky: zatímco v testovací musí být *E. coli* v rozmezí 10^2 až 10^6 (max 10^7) MPN/100 ml, ve vyčištěné vodě nesmí být v průměru více než 2,2 MPN/100 ml a nikdy nesmí být překročena hodnota 200 MPN/100 ml (platí pro čistírny určené pro veřejné budovy a bytové domy o více bytových jednotkách, pro čistírny do jedné domácnosti platí trochu mírnější požadavky). Vedle samotných požadavků na účinnost technologie zahrnují certifikační systémy i široké požadavky na informování uživatelů prostřednictvím manuálů na instalaci, obsluhu a průběžnou kontrolu funkce čistírny.

Druhá cesta se považuje za transparentnější, protože u ukazatelů kvality vody s limity není obvykle známo, jak velké riziko nákazy je s daným limitem spojeno.

Závěr

I když šedá voda je mnohem méně znečištěná než veškerá odpadní voda z domácnosti (tedy včetně WC a pisoárů), přesto bývá úroveň jejího znečištění dostatečná na to, aby po vyčištění a použití jako užitkové vody – tedy pro nepitné účely – mohla v některých případech způsobit nákazu a onemocnění. Už také proto, že nejen v ní, ale i ve vyčištěné vodě se mohou pomnožovat některé podmíněně patogenní mikroorganismy. Stanovení určitých požadavků na systémy recyklace šedé vody v budovách je proto z hlediska ochrany veřejného zdraví nezbytné.

Legislativní rámec by se neměl omezit jen na stanovení vybraných ukazatelů a jejich limitů pro různé způsoby užití užitkových vod, už proto, že rutinně používané bakteriální indikátory nemohou pokrýt celou škálu rizikových mikroorganismů. Podobně jako u legislativy vod v bazénech by měly být vedle ukazatelů kvality vody stanoveny i požadavky na technologii čištění šedé vody (44). A aby se nebránilo v technických inovacích, nemělo by jít o výčet závazných technologií, ale spíše o požadavky na funkci (účinnost) čištění v podobě výše zmíněných LRV vycházejících ze stanoveného cíle ohledně nejvyšší přijatelné míry rizika nákazy, včetně požadavků na způsob a metodu ověření účinnosti za účelem certifikace příslušným zkušebním pracovištěm. Vodoprávní úřady nebo hygienické stanice nejsou schopny na základě pouhého předložení popisu technologie posoudit, zda může splňovat požadovanou účinnost.

Systém legislativních opatření se může v některých případech opírat o již existující technické normy (např. k zabránění cross-connection) tím, že je učiní závaznými nebo na ně poukáže jako na žádoucí standard. Vhodný je např. takový design systému recyklace, který za-

brání stagnaci nečištěné šedé vody. Z naší zkušenosti víme, že zejména ve školách, kde během letních prázdnin nedochází k odběru užitkové vody, je vysoké riziko, že se koncem prázdnin ukáže kvalita užitkové vody jako zcela nepřijatelná z hlediska zákalu a zápachu, což si vyžaduje pracnou sanaci systému.

Systém norem pak může být dále doplněn o doporučení uživatelům, jak se oni sami mohou při použití užitkové vody chovat, aby své zdraví maximálně chránili: jednoduchým opatřením ke snížení rizika nákazy při splachování WC je např. sklopení záchodového prkénka při a po splachování, čímž se omezí šíření aerosolu do prostoru toalety/koupelny; také některé moderní šetřící systémy splachování dokáží produkovat výrazně méně aerosolu (30).

Poděkování

Práce byla financována za podpory grantové agentury TAČR v rámci projektu TAČR SS01010179 Stanovení hygienických požadavků na recyklovanou vodu využívanou v budovách a městských vodních prvcích.

LITERATURA

- Kožíšek F, Rödlová S, Šašek J, Bobková Š, Baudišová D, Jeličková H. Zdravotní rizika při využití recyklovaných vod v budovách. Část 1 – srážkové vody. *Hygiena*. 2022;67(3):92–100.
- ČSN EN 16941-2: Zařízení pro využití nepitné vody na místě - Část 2: Zařízení pro využití čištěné šedé vody. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví; 2021.
- Oteng-Peprah M, Acheampong MA, deVries NK. Greywater characteristics, treatment systems, reuse strategies and user perception-a review. *Water Air Soil Pollut*. 2018;229(8):255. doi: 10.1007/s11270-018-3909-8.
- National Academies of Sciences Engineering and Medicine. Using graywater and stormwater to enhance local water supplies: an assessment of risks, costs, and benefits. Washington, DC: The National Academies Press; 2016.
- Brewer D, Brown R, Stanfield G. Rainwater and greywater in buildings. Project report and case studies (Technical note). Bracknell (UK): Building Services Research and Information Association; 2001.
- Esfandiari A, Mowla D. Investigation of microplastic removal from greywater by coagulation and dissolved air flotation. *Process Saf Environ Prot*. 2021;151:341–54.
- Delhiraja K, Philip L. Characterization of segregated greywater from Indian households-part B: emerging contaminants. *Environ Monit Assess*. 2020 Jun 15;192(7):432. doi: 10.1007/s10661-020-08370-7.
- Ghaitidak DM, Yadav KD. Characteristics and treatment of greywater - a review. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2013 May;20(5):2795–809.
- Halalsheh M, Dalahmeh S, Sayed M, Suleiman W, Shareef M, Mansour M, et al. Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. *Bioresour Technol*. 2008 Sep;99(14):6635–41.
- Birks R, Colbourne J, Hills S, Hobson R. Microbiological water quality in a large in-building, water recycling facility. *Water Sci Technol*. 2004;50(2):165–72.
- Ottoson J, Stenström TA. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water Res*. 2003 Feb;37(3):645–55.
- Shi KW, Wang CW, Jiang SC. Quantitative microbial risk assessment of greywater on-site reuse. *Sci Total Environ*. 2018 Sep 1;635:1507–19.

13. Ghunmi LA, Zeeman G, van Lier J, Fayyed M. Quantitative and qualitative characteristics of grey water for reuse requirements and treatment alternatives: the case of Jordan. *Water Sci Technol.* 2008;58(7):1385-96.
14. Al-Gheethi AA, Mohamed RM, Efaq AN, Amir Hashim MK. Reduction of microbial risk associated with greywater by disinfection processes for irrigation. *J Water Health.* 2016 Jun;14(3):379-98.
15. O'Toole J, Sinclair M, Malawaraarachchi M, Hamilton A, Barker SF, Leder K. Microbial quality assessment of household greywater. *Water Res.* 2012 Sep 1;46(13):4301-13.
16. Water Research Australia. Fact Sheet. Health risks of greywater use. Adelaide: Water Research Australia; 2013.
17. Kenner AB, Clark H P. Analytical methods for *Salmonella* sp. bacteria, detection and enumeration of *Salmonella* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Res J Water Pollut Control Fed.* 1974;46:2163-71.
18. Teodoro A, Júnior AM, Boncz MÁ, Paulo PL. Alternative use of *Pseudomonas aeruginosa* as indicator for greywater disinfection. *Water Sci Technol.* 2018 Nov;78(5-6):1361-9.
19. Maimon A, Friedler E, Gross A. Parameters affecting greywater quality and its safety for reuse. *Sci Total Environ.* 2014 Jul 15;487:20-5.
20. Blanky M, Rodríguez-Martínez S, Halpern M, Friedler E. *Legionella pneumophila*: from potable water to treated greywater; quantification and removal during treatment. *Sci Total Environ.* 2015 Nov 15;533:557-65.
21. Le-Minh N, Khan SJ, Drewes JE, Stuetz RM. Fate of antibiotics during municipal water recycling treatment processes. *Water Res.* 2010 Aug;44(15):4295-323.
22. Baudišová D, Bobková Š, Jakubů V, Jeligová H, Kožíšek F. Bakterie z čeledi Enterobacteriaceae v recyklovaných vodách, metody jejich stanovení a citlivost na vybraná antibiotika. *VTEI.* 2022;64(4):4-10.
23. Bobková Š, Baudišová D, Kožíšek F, Jeligová H. Mikrobiom člověka a mikrobiom pitné vody - paralely a souvislosti. *Hygiena.* 2021;66(2):55-9.
24. Nagarkar M, Keely SP, Brinkman NE, Garland JL. Human and infrastructure-associated bacteria in greywater. *J Appl Microbiol.* 2021 Nov;131(5):2178-92.
25. Kožíšek F, Jeligová H, Bobková Š, Myšáková M, Pummann P, Baudišová D. Zkušenosti s recyklací vody v budovách v ČR. In: Kabelková I, Benáková A, Bareš V. editoři. *Sborník příspěvků 14. bienální konference CzWA VODA 2021: 22.-24.9.2021; Litomyšl. Brno: Asociace pro vodu ČR; 2021. s. 347-55.*
26. Benami M, Gillor O, Gross A. The question of pathogen quantification in disinfected graywater. *Sci Total Environ.* 2015 Feb 15;506-7:496-504.
27. Gilboa Y, Friedler E. UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms. *Water Res.* 2008 Feb;42(4-5):1043-50.
28. Ashbolt NJ. Environmental (saprozoic) pathogens of engineered water systems: understanding their ecology for risk assessment and management. *Pathogens.* 2015 Jun 19;4(2):390-405.
29. Li W, Zheng T, Ma Y, Liu J. Fungi characteristics of biofilms from sewage and greywater in small diameter gravity sewers. *Environ Sci Water Res Technol.* 2020;6(3):532-9.
30. Kusumawardhana A, Zlatanovic L, Bosch A, van der Hoek JP. Microbiological health risk assessment of water conservation strategies: a case study in Amsterdam. *Int J Environ Res Public Health.* 2021 Mar 5;18(5):2595. doi: 10.3390/ijerph18052595.
31. Schoen ME, Jahne MA, Garland JL. Human health impact of cross-connections in non-potable reuse systems. *Water (Basel).* 2018 Oct;10(10):10.3390/w10101352.
32. Hruday SE. Ensuring safe drinking water: learning from frontline experience with contamination. Denver: American Water Works Association; 2014.
33. Asay SF. Backflow prevention and cross-connection control: recommended practices. Denver: American Water Works Association; 2015.
34. Johnson DL, Mead KR, Lynch RA, Hirst DV. Lifting the lid on toilet plume aerosol: a literature review with suggestions for future research. *Am J Infect Control.* 2013 Mar;41(3):254-8.
35. Birks R, Hills S. Characterisation of indicator organisms and pathogens in domestic greywater for recycling. *Environ Monit Assess.* 2007 Jun;129(1-3):61-9.
36. Gonçalves RF, de Oliveira Vaz L, Peres M, Merlo SS. Microbiological risk from non-potable reuse of greywater treated by anaerobic filters associated to vertical constructed wetlands. *J Water Process Eng.* 2021;39: 101751. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101751.
37. Blanky M, Sharaby Y, Rodríguez-Martínez S, Halpern M, Friedler E. Greywater reuse - Assessment of the health risk induced by *Legionella pneumophila*. *Water Res.* 2017 Nov 15;125:410-17.
38. Hamilton KA, Hamilton MT, Johnson W, Jjemba P, Bukhari Z, LeChevallier M, et al. Health risks from exposure to *Legionella* in reclaimed water aerosols: toilet flushing, spray irrigation, and cooling towers. *Water Res.* 2018 May 1;134:261-79.
39. Matějů L, Drahošová Z, Matoušková N, Kořínková M, Bartáček J, Šátková B a kol. Potřebujeme právní rámec k opětovnému využití vody? *Slovak.* 2021;30(9):262-70.
40. Pecson B, Kaufmann A, Sharville S, Post B, Leverenz H, Ashbolt N, et al. Risk-based treatment targets for onsite non-potable water systems using new pathogen data. *J Water Health.* 2022 Oct;20(10):1558-75.
41. Sharville S, Ashbolt N, Clerico E, Hultquist R, Leverenz H, Olivieri A. Risk-based framework for the development of public health guidance for decentralized non-potable water systems. Alexandria (VA): Water Environment Federation; 2017.
42. Schoen ME, Jahne MA, Garland J. A risk-based evaluation of onsite, non-potable reuse systems developed in compliance with conventional water quality measures. *J Water Health.* 2020 Jun;18(3):331-44.
43. NSF/ANSI 350 - 2020: Onsite residential and commercial water reuse treatment systems. Ann Arbor (MI): NSF International; 2020.
44. Raček J. Metodika návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech [dizertační práce]. Brno: Vysoké učení technické v Brně; 2016.

Sřet zájmů: žádný.

Došlo do redakce: 30. 11. 2022

Přijato k tisku: 29. 12. 2022

MUDr. František Kožíšek, CSc.

Státní zdravotní ústav

Centrum zdraví a životního prostředí

Oddělení hygieny vody

Šrobárova 49/48

100 00 Praha 10

Česká republika

E-mail: frantisek.kozisek@szu.cz