

Mendelova
univerzita
v Brně



MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ
ČESKÉ REPUBLIKY

**Možnosti využití odpadních vod z výrobních zařízení pro závlahy
zemědělských plodin a rizika z toho plynoucí
pro otázky bezpečnosti potravin**

Závěrečná zpráva

**Milan Geršl, Eva Krčálová, Barbora Rantová, Jan Mareček,
Tomáš Ondro, Martin Šotnar**

Brno, 11. 11. 2020

Možnosti využití odpadních vod z výrobních zařízení pro závlahy zemědělských plodin a rizika z toho plynoucí pro otázky bezpečnosti potravin

Geršl M., Krčálová E., Rantová B., Mareček J., Ondro T., Šotnar M.

- 2020 -

- 2/48 -

Název	Možnosti využití odpadních vod z výrobních zařízení pro závlahy zemědělských plodin a rizika z toho plynoucí pro otázky bezpečnosti potravin
Objednatel	Ministerstvo zemědělství ČR, Praha 1, Těšnov 17, PSČ 117 05 Odbor bezpečnosti potravin a zemědělsko potravinářského inženýrství IČO: 00020478
Číslo klienta	
Důvěrnost, copyright a kopírování	Tento dokument byl zpracován v rámci Smlouvy o dílo číslo 219-2020-18111 o poskytnutí prostředků z funkčních úkolů MZe ČR z rozpočtu běžných výdajů pro rok 2020. Obsah nesmí být poskytován třetím stranám za jiných podmínek, než jak je uvedeno ve smlouvě.
Jednací číslo	10161/2020-MZE-18111
Zpráva číslo	
Status zprávy	Vydání 1 48 stran
Zhotovitel	Mendelova univerzita v Brně Agronomická fakulta Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky Zemědělská 1, 613 00 Brno

**Možnosti využití odpadních vod z výrobních zařízení pro závlahy zemědělských plodin a rizika
z toho plynoucí pro otázky bezpečnosti potravin**

Geršl M., Krčálová E., Rantová B., Mareček J., Ondro T., Šotnar M.

- 2020 -

- 3/48 -

	Jméno	Podpis	Datum
Vypracoval a kolektiv autorů	doc. Mgr. Milan Geršl, Ph.D. Ing. Eva Krčálová, Ph.D. Ing. Barbora Rantová prof. Ing. Jan Mareček, Dr.Sc. dr.h.c. Ing. Tomáš Ondro, Ph.D. Ing. Martin Šotnar		11. 11. 2020
Schválil	prof. Ing. Jan Mareček, Dr.Sc. dr.h.c. .		11. 11. 2020

Brno, 11. listopad 2020

Možnosti využití odpadních vod z výrobních zařízení pro závlahy zemědělských plodin a rizika z toho plynoucí pro otázky bezpečnosti potravin

Kolektiv autorů

doc. Mgr. Milan Geršl, Ph.D.

Ing. Eva Krčálová, Ph.D.

Ing. Barbora Rantová

prof. Ing. Jan Mareček, Dr.Sc. dr.h.c.

Ing. Tomáš Ondro, Ph.D.

Ing. Martin Šotnar

Mendelova univerzita v Brně

Agronomická fakulta

Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky

Zemědělská 1, 613 00 Brno

Závěrečná zpráva, 48 stran

Brno, 11. listopad 2020

Obsah

1. Úvod	6
2. Právní a normativní úprava řešící nakládání s odpadními vodami a potenciál využívání vyčištěné odpadní vody	7
2.1 Odpadní voda, povolení k vypouštění a požadavky na kvalitu vypouštěné odpadní vody	7
2.2 Evropské požadavky na kvalitu recyklované vody	9
3. Recyklace vody ve vybraných odvětvích zpracovatelského průmyslu	14
3.1 Výroba potravin a nápojů	14
3.2 Chov drůbeže	16
3.3 Zemědělství	16
3.4 Zahradnictví	25
3.5 Průmysl výroby papíru	25
4. Možnosti úpravy odpadních vod	27
4.1 Konvenční metody úpravy odpadních vod	27
4.2 Pokročilé metody úpravy odpadních vod	32
4.3 Přírodní metody úpravy odpadních vod	33
4.4 Kvartérní úprava vody	36
5. Vliv používání odpadních vod na bezpečnost potravin	37
6. Zhodnocení poptávky po recyklovaných vodách	42
7. Literatura	43

Zpráva obsahuje 8 tabulek.

1. Úvod

Novodobé periody sucha a z nich odvozený nedostatek vody v zemědělství, zejména ve střední Evropě a ve středomořských oblastech, vyžaduje hledat alternativní vodní zdroje a možnosti zavlažování k udržení produkce potravin. Tento fakt je uveden v rámcové směrnici o evropských vodách (ES, 2000). Voda je z mnoha úhlů pohledu zásadním a životně důležitým zdrojem. V rámci Evropy, pak především ve většině zemí středomořského regionu, je její množství velmi omezené. Proto v těchto zemích rychle roste zájem o opětovné využití odpadních vod pro zavlažování. Například v Izraeli umožnil vyrovnání deficitu mezi poptávkou spotřebitelů a dostupnými zdroji vody, nový přístup ve využívání komunálních odpadních vod jako nového zdroje, a to především pro zemědělství. Tento trend se pomalu dostává i do zemí střední Evropy, tedy i do České republiky. V současnosti se v ČR recyklovaná voda v zemědělství zatím nepoužívá, s opakujícími se projevy sucha lze však očekávat, že tento způsob bude uvažován např. pro oblast jižní Moravy nebo Polabí. Je tedy potřeba věnovat dostatečné úsilí na přípravu pro případ, že se suché periody budou opakovat a závlaha odpadními vodami v jakékoliv jejich podobě se stane nevyhnutelnou i na území České republiky. Odpadní vody představují konstantní zdroj vody po celý rok, nezávislý na klimatických výkyvech. Postupy při zavlažování vyčištěnými komunálními odpadními vodami jsou považovány za šetrnější k životnímu prostředí než přímé vypouštění těchto vody do povrchových nebo podzemních. Mimo to je odpadní voda cenným zdrojem rostlinných živin a organických látek potřebných k udržení úrodnosti a produktivity půdy. Na druhé straně může odpadní voda obsahovat nežádoucí chemické složky a patogeny, které mají negativní dopad na životní prostředí a zdraví. Problémem určování vhodnosti opětovného využití odpadních vod nejen v zemědělství jsou v zásadě obavy o ohrožení lidského zdraví a životního prostředí. Příčinou je mikrobiální a chemické složení regenerované vody. Prostřednictvím potravinového řetězce mohou patogeny v upravené vodě představovat riziko. Navzdory dezinfekci odpadní vody v čistírnách odpadních vod, vznikají vedlejší produkty, které mohou následně způsobit zdravotní potíže. V důsledku toho by nesprávná závlaha odpadními vodami způsobovala zdravotní problémy lidem a případně problémy v širokém ekosystému. Mnoho vědeckých týmů a pracovišť světa se zabývá problematikou závlah odpadními vodami v různých podmínkách i na různých plodinách a průběžně tak přinášejí nové poznatky.

2. Právní a normativní úprava řešící nakládání s odpadními vodami a potenciál využívání vyčištěné odpadní vody

2.1 Odpadní voda, povolení k vypouštění a požadavky na kvalitu vypouštěné odpadní vody

V České republice je právní úprava nakládání s odpadními vodami řešena zákonem č. 254/2001 Sb. o vodách a nařízením vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod a dále nařízením vlády č. 57/2016 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních.

Vypouštění odpadní vody do vod povrchových nebo podzemních je jeden ze způsobů nakládání s vodou, ke kterému je potřeba povolení vodoprávního orgánu. Povolení k vypouštění odpadních vod nemůže být vydáno na dobu delší než 10 let, v případě vypouštění odpadních vod se zvláště nebezpečnými látkami nebo nebezpečnými látkami podle přílohy č. 1 na dobu delší než 4 roky.

Ochrana jakosti vod je řešena rovněž zákonem č. 254/2001 Sb. kde je v § 38 definováno, co je to odpadní voda. **Za odpadní vodu jsou považovány odpadní vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu) a jejich směsi se srážkovými vodami, jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody vznikající při provozování skládek a odkališť nebo během následné péče o ně z odkališť**, s výjimkou vod, které jsou zpětně využívány pro vlastní potřebu organizace, a vod, které odtékají do vod důlních.

Zneškodňováním odpadních vod se podle tohoto zákona rozumí jejich vypouštění do vod povrchových nebo podzemních nebo akumulace s jejich následným odvozem do čistírny

odpadních vod. Kdo vypouští odpadní vody do vod povrchových nebo podzemních, je povinen zajišťovat jejich zneškodňování v souladu s podmínkami stanovenými v povolení k jejich vypouštění. Při stanovování těchto podmínek je vodoprávní úřad povinen přihlížet k nejlepším dostupným technologiím v oblasti zneškodňování odpadních vod, kterými se rozumí nejúčinnější a nejpokročilejší stupeň vývoje použité technologie zneškodňování nebo čištění odpadních vod, vyvinuté v měřítku umožňujícím její zavedení za ekonomicky a technicky přijatelných podmínek a zároveň nejúčinnější pro ochranu vod.

Kdo vypouští odpadní vody do vod povrchových nebo podzemních, je povinen v souladu s rozhodnutím vodoprávního úřadu měřit objem vypouštěných vod a míru jejich znečištění a výsledky těchto měření předávat vodoprávnímu úřadu, který rozhodnutí vydal, příslušnému správci povodí a pověřenému odbornému subjektu. Vodoprávní úřad tímto rozhodnutím stanoví místo a způsob měření objemu a znečištění vypouštěných odpadních vod a četnost předkládání výsledků těchto měření. Odběry a rozborů ke zjištění míry znečištění vypouštěných odpadních vod mohou provádět jen odborně způsobilé osoby oprávněné k podnikání (dále jen „oprávněná laboratoř“). Odborná způsobilost pro rozborů odpadních vod a provádění odběrů vzorků se prokazuje osvědčením o akreditaci vydaným podle zákona o technických požadavcích na výrobky, osvědčením o správné činnosti laboratoře nebo autorizací k výkonu úředního měření podle zákona o metrologii, vztahující se na analytické stanovení relevantních ukazatelů a na odběr požadovaného typu vzorků odpadních vod.

Při povolování vypouštění odpadních vod do vod povrchových nebo podzemních stanoví vodoprávní úřad nejvýše přípustné hodnoty množství a koncentrace vypouštěného znečištění (emisní limity) a objemu vypouštěných vod. Při povolování vypouštění odpadních vod do vod povrchových je vázán ukazateli vyjadřujícími stav vody ve vodním toku, normami environmentální kvality, ukazateli a hodnotami přípustného znečištění povrchových vod, ukazateli a nejvýše přípustnými hodnotami ukazatelů znečištění odpadních vod (emisní standardy) stanovenými nařízením vlády a náležitostmi a podmínkami povolení k vypouštění odpadních vod, včetně specifikací nejlepších dostupných technologií v oblasti zneškodňování odpadních vod a podmínek jejich použití, které stanoví vláda nařízením a nejlepšími dostupnými technikami v oblasti zneškodňování odpadních vod. Při povolování vypouštění odpadních vod do vod podzemních je vázán ukazateli vyjadřujícími stav

podzemní vody v příslušném útvaru podzemní vody, ukazateli a hodnotami přípustného znečištění podzemních vod, ukazateli a přípustnými hodnotami znečištění odpadních vod a náležitostmi a podmínkami povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních, které stanoví vláda nařízením.

Při povolování vypouštění odpadních vod do vod povrchových nebo podzemních vodoprávní úřad

a) přihlíží k potřebě dosažení nebo zachování dobrého stavu povrchových nebo podzemních vod a na vodu vázaných ekosystémů,

b) posuzuje možnosti omezování znečištění u jeho zdroje i omezování emisí do životního prostředí jako celku a možnosti opětovného využívání odpadních vod.

2.2 Evropské požadavky na kvalitu recyklované vody

Otázce kvalitativních požadavků na recyklované vody se věnuje Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 2020/741 o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody. Toto nařízení ze dne 25. 5. 2020, které se použije od 26. 6. 2024 stanoví minimální požadavky na kvalitu recyklované vody a její monitorování a obsahuje ustanovení týkající se řízení rizik, pokud jde o bezpečné používání recyklované odpadní vody v rámci integrovaného hospodaření s vodou.

Účelem uvedeného nařízení je zaručit, aby byla recyklovaná odpadní voda bezpečná pro účely zavlažování v zemědělství, a zajistit tak vysokou úroveň ochrany životního prostředí a zdraví lidí a zvířat, podporovat oběhové hospodářství a přizpůsobování se změně klimatu a přispívat k cílům směrnice 2000/60/ES tím, že bude koordinovaným způsobem řešit nedostatek vody a z toho plynoucí tlak na vodní zdroje v celé Unii, a přispívat tak rovněž k účinnému fungování vnitřního trhu.

Cílem nařízení je v náležitých a nákladově efektivních případech usnadnit zavádění opětovného využívání vody, a pro ty členské státy, které si přejí nebo potřebují opětovně

využívat vodu, tak vytvořit rámec, který jim to umožní. Opětovné využívání vody představuje pro mnoho členských států slibnou možnost, avšak jen malá část z nich tuto praxi v současnosti provádí a přijala v tomto ohledu vnitrostátní právní předpisy nebo normy. Toto nařízení by mělo být dostatečně flexibilní, aby umožňovalo pokračovat v praxi opětovného využívání vody a zároveň zajistilo, aby tato pravidla mohly uplatňovat další členské státy, pokud se rozhodnou tuto praxi zavést později. Každé rozhodnutí neprovádět opětovné využívání vody by mělo být řádně odůvodněno na základě kritérií stanovených v tomto nařízení a mělo by být pravidelně přezkoumáváno.

Toto nařízení má podpořit opětovné využívání vyčištěné odpadní vody omezením odběru z útvarů povrchových i podzemních vod, snížením dopadu vypouštění vyčištěné odpadní vody do vodních útvarů a podpořit tím úsporu vody díky vícenásobnému používání městských odpadních vod při současném zajištění vysoké úrovně ochrany životního prostředí.

Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 2020/741 o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody se použije, kdykoliv se vyčištěná městská odpadní voda opětovně využívá v souladu s čl. 12 odst. 1 směrnice 91/271/EHS pro účely zavlažování v zemědělství, jak je uvedeno v oddílu 1 přílohy I tohoto nařízení.

Členský stát může rozhodnout, že v jedné nebo více oblastech povodí nebo jejich částech není vhodné opětovně využívat vodu pro účely zavlažování v zemědělství, přičemž zohlední tato kritéria:

- a) zeměpisné a klimatické podmínky oblasti nebo jejích částí,
- b) vlivy na jiné vodní zdroje a jejich stav, včetně kvantitativního stavu podzemních vodních útvarů, jak je uvedeno ve směrnici 2000/60/ES,
- c) vlivy na útvary povrchových vod, do nichž jsou vypouštěny vyčištěné městské odpadní vody, a stav těchto útvarů,
- d) náklady recyklované odpadní vody a dalších vodních zdrojů z hlediska životního prostředí a přírodních zdrojů.

Toto nařízení stanovuje povinnosti provozovatele zařízení pro recyklaci odpadních vod a povinnosti týkající se kvality recyklované odpadní vody. Určuje minimální požadavky na kvalitu vody a monitoring kvality.

Konkrétně nařízení stanoví:

- a) povinnosti provozovatele zařízení pro recyklaci odpadních vod a povinnosti týkající se kvality recyklované odpadní vody,
- b) plán řízení rizik a jeho náležitosti,
- c) povinnosti týkající se povolení pro produkci a dodávku recyklované odpadní vody,
- d) postup ověřování souladu podmínek stanovených v povolení,
- e) stanovuje i podmínky spolupráce mezi členskými zeměmi, pokud je používání recyklované vody přeshraničního významu,
- f) stanoví možnosti propagace výhod bezpečného opětovného využívání vody v informačních a osvětových činnostech,
- g) určuje povinnost informovat veřejnost o opětovném používání recyklované vody a stanoví rozsah povinně poskytovaných informací,
- h) příloha č. 1 nařízení obsahuje pak konkrétní podmínky využití a minimální požadavky na recyklovanou vodu,
- i) příloha č. 2 nařízení určuje hlavní prvky řízení rizik.

Komise do 26. června 2028 provede hodnocení, jak jsou požadavky nařízení aplikovány. Rozsah hodnocení je stanoven nařízením.

Kromě nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 2020/741 o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody v České republice v současné době neexistuje předpis, který by využívání recyklované odpadní vody řešil.

Byla zahájena příprava normy ČSN 75 6780 Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích. Nicméně protože v listopadu 2018 byl vydán konečný návrh

evropské normy EN 16941-2 označený jako FprEN 16941-2 On-site non-potable water systems – Part 2: Systems for the use of treated greywater (Zařízení pro využití nepitné vody na místě – Část 2: Zařízení pro využití upravených šedých vod), byly práce na přípravě normy ČSN 75 6780 Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích, jež se připravovala v technické normalizační komisi TNK 95 Kanalizace, pozastaveny.

V konečném návrhu 2. části normy EN 16941-2 se však vyskytovaly chyby, a proto se stále čeká na vydání konečného znění normy, která by měla být přijata do soustavy ČSN.

Norma bude platit pro projektování, dimenzování, instalaci, označování, uvádění do provozu a údržbu zařízení pro využití šedých vod.

Nová norma předpokládá využívání šedých vod pro:

- splachování WC,
- zalévání zahrad,
- praní,
- úklid.

Kvalitu vod používaných pro závlahy řeší norma ČSN 757143 Jakost vody pro závlahu.

Co se týká norem, tak v Evropě neexistuje zatím mimo vydaného návrhu normy EN 16941-2 jednotný normativní přístup k využívání recyklované odpadní vody.

Vedle jmenovaných norem existují i jiné národní standardy jako je například

Norma BS 8525-1:2010 Greywater systems. Code of practice. Tato norma uvádí, že zachycování a používání šedé vody v místě vzniku je alternativou k zásobování pitnou vodou, a navíc má tato voda různá využití jak v domácnosti, na pracovišti nebo pro údržbu zeleně na zahradě. V normě jsou vedle technických požadavků na opětovné využívání vody uvedeny i požadavky na ukazatele jakosti provozní (bílé) vody týkající se zdravotních rizik.

Norma NSF/ANSI 350-2019 On-site Residential and Commercial Water Reuse Treatment Systems stanovuje pravidla pro systémy úprav k opětovnému použití vody. Norma je prioritně zaměřená na ochranu veřejného zdraví. Stanovuje kritéria kvality vody pro opakované použití.

Australská norma AS 1546:4:2016 On-site domestic wastewater treatment units, Part 4: Domestic greywater treatment systems také specifikuje požadavky na nakládání s šedou vodou z domácností.

Nutno upozornit na skutečnost, že v jednotlivých dokumentech řešící využívání recyklované odpadní vody není sjednocena terminologie týkající se konkrétně pojmů odpadní voda, recyklovaná odpadní voda, městská odpadní voda, šedá voda, bílá voda, splašková voda, srážková voda, užitková voda a další.

3. Recyklace vody ve vybraných odvětvích zpracovatelského průmyslu

Recyklace vody znamená, že veškeré odpadní vody musí být shromažďovány, sekundárně nebo terciárně upravovány, poté musí být upravená voda dopravena do rezervoárů, čerpacích stanic a vodovodních sítí, kterými je rozvedena do míst určení. Nutnou součástí větších systémů je pak velmi sofistikovaná regulační a tarifní soustava.

3.1 Výroba potravin a nápojů

Odpadní voda je v potravinářském průmyslu produkována kontinuálně. Voda se využívá jako ingredience anebo jako čistící, chladící a ohřívací médium. Rovněž může být součástí přepravy a úpravy potravin. Již použitou vodu z technologických procesů obecně charakterizují parametry EC <3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a CHSK <700 mg O_2/l . Je proto třeba ji odsolovat a odstraňovat organické látky tak, aby byly splněny požadavky na opětovné použití takovéto vody. Normy potravinářského průmyslu stanovují v některých zemích požadavky, kdy upravená technologická voda, určená pro opětovné použití musí splňovat požadavky na pitnou vodu.

Z hlediska mikrobiálního zatížení odpadní vody z takového odvětví průmyslu, je možno využívat dezinfekci solární fotolýzou. Dezinfekce slunečním zářením je levná, jednoduchá a přirozená technologie přímého odstranění biomolekul. Záření UV-A (320-400 nm) je absorbováno mikrobiální DNA, a následně vznikají ve vodě reaktivní kyslíkové radikály. V kombinaci s UV-A a UV-B pak dochází k usmrcení nebo inaktivaci více druhů mikroorganismů, jako například rodu *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Salmonella* nebo *Shigella flexneri*. Volné radikály jako n-superoxidového anionu nebo neradikál, peroxid vodíku působí na buněčné struktury. Proteiny DNA, buněčné membrány zejména membránové lipidy jsou rozkládány, čímž dochází k znemožnění buněčné reprodukce patogenu nebo k jeho usmrcení (Afsharina et al. 2018, Gelover et al. 2006, Reed et al. 2004).

Způsoby opětovného využití odpadní vody

Nepřímé využití

Nepřímé využití odpadní vody z potravinářského průmyslu vyžaduje akumulaci odpadní vody do vodních zásobníků nebo zádržných nádrží. Taková voda může být následně upravena pro další použití. Přijímající (receiving water = voda s níž se odpadní ředí) voda může představovat významný kontrolní stupeň:

- V případě ředění za podmínek, kdy je koncentrace znečišťujících látek v přijímající vodě nižší než ve vodě odpadní.
- Následnou přirozenou biologickou úpravou
- Dodatečným časem

Přímé využití

Přímé využití odpadní vody představuje regeneraci odpadní vody v rámci jednoho výrobního procesu. Upravená voda by měla splňovat požadavky na vhodnost použití pro:

- Přímý kontakt s potravinami (např. mytí)
- Nepřímý kontakt s potravinami (např. mytí strojů technologie pro další zpracování)
- Podpůrné technologické procesy (např. chlazení)

V mlékárenském a masném průmyslu byla zpozorována možnost regenerace vody parního kondenzátu a chladicí sprchové vody. Z důvodu nízké úrovně znečištění lze dosáhnout požadavků kvality vody na další využití pomocí úpravy membránovou filtrací a následnou UV dezinfekcí. Pro přímé opětovné použití vody pro doplňování kotlů nebo vodu pro sanitární účely, se využívá dvoustupňová membránová nanofiltrace (Water reuse guideline, Internet 1).

3.2 Chov drůbeže

Odpadní voda z tohoto průmyslu je znečištěna organickými a biologickými nečistotami a organicky zatěžujícími látkami. Odpadní voda z jatek na porážku drůbeže obsahuje krev, peří, hnůj, kosti atd. Odpadní voda z tohoto průmyslu představuje jednu z nejhůře regenerovatelnou, a to z důvodu obsahu vysokého podílu dusíku, bakterií a parazitů. Při úpravě vody dochází k řešení problematiky patogenů a jejich onemocněními šířícími se mezi drůbeží.

Způsoby úpravy odpadní vody:

- Biologické čištění
- Biofiltry, uhlíkové filtry, pračky vzduchu
- Mechanická a fyzikální předúprava vody (síta, flotace)

3.3 Zemědělství

Odpadní voda byla v zemědělství využívána již odedávna. V posledních letech nabyla její recyklace význam zejména v oblastech s nedostatkem vody. Například v Pákistánu pochází 26 % z celkové rostlinné produkce z rostlinné výroby využívající k zavlažování odpadní vodu. Zavlažování odpadní vodou probíhá i v případech, kdy je nedostatečně upravená odpadní voda součástí vodního toku, ze kterého je odebírána voda za účelem zavlažování. Farmáři a jejich rodiny, například v Ghaně a Mexiku, jsou z tohoto důvodu vystaveni zdravotnímu riziku způsobeného mikroorganismy ve vodě.

Problematika toxicity se liší od problematiky salinity prostředí, v případě toxicity se jedná o samotnou rostlinu, což nesouvisí s nedostatkem vody. Toxicita se projevuje ve chvíli, kdy rostliny akumulují určité množství iontů, které se nachází v půdní vodě. Jejich obsah v rostlině se zvyšující se vodní transpirací narůstá. Stupeň poškození závisí od času, koncentrace toxinů, citlivosti plodiny a použití vody. Mezi ionty, na které jsou rostliny

nejcitlivější, patří chloridy, sodík a bór. Většina vod ze zavlažovacích systémů obsahuje jen nízké koncentrace těchto prvků.

Úprava vody je nutná z hlediska následného použití nebo vypuštění do životního prostředí. V současnosti existují výzkumy potvrzující, že i potravinové plodiny konzumované bez tepelné úpravy je možné zavlažovat odpadní vodou bez nepříznivých účinků na lidské zdraví a životní prostředí.

Vodohospodářské agentury se stále častěji zabývají využíváním konkrétní vody, na konkrétní použití. Kritéria se liší v závislosti na potřeby uživatele. Pro zavlažování na místech kde je kontakt vody a lidí méně frekventovaný, není potřeba takových přísných požadavků na kvalitu vody (např. při terénních úpravách komunikací).

Zavlažování zeleninových farem, skleníků a rekreačních zahrad, v nichž se pěstují potravinářské plodiny a kde mohou být děti v kontaktu s vodou, představuje zvláštní situaci, v níž se vyžaduje vysoký stupeň bezpečnosti před mikrobiální expozicí. Dnešní technologie čištění odpadních vod jsou přizpůsobitelné těmto různým úrovním čištění.

Opětovné používání vody za účelem zavlažování zemědělských plodin může prospívat oběhovému hospodářství. V regenerované vodě dochází k zhodnocování živin, které jsou následně aplikovány na plodiny prostřednictvím fertigačních technik. Proto by znovu využití vody mohlo potenciálně snížit doplňkovou aplikaci minerálních hnojiv. Zhodnocení látek jako jsou dusík, fosfor nebo draslík by tak mohlo znamenat obnovu živin v biogeochemických cyklech. Koncoví uživatelé by měli být vždy informováni o obsahu živin v regenerované vodě určené k opětovnému použití (Pederero et al. 2010, Internet 4, Internet 5).

K odhadům mikrobiálních rizik a rizik vyplývajících s používáním odpadní vody byly použity epidemiologické výzkumy a kvantitativní hodnocení mikrobiálního rizika (QMRA). Tyto se zaměřovaly na úrovně rizika při expozic odpadní vody, výkalů a šedých vod. Tabulka č. 1 shrnuje QMRA důkazy přenosu rotavirové infekce z hlediska odlišné míry vystavení.

Expozice	Kvalita vody (<i>E. coli</i> /100 ml OV nebo <i>E. coli</i> /100 g půdy)	Medián infekce (osoba/rok)	Poznámka
Neomezené zavlažování (konzumenti)			
Salát	10^3 - 10^4	10^3	100 g surové potraviny na osobu za 2 dny
			10-15 ml OV vázané na potraviny
Cibule	10^3 - 10^4	5×10^{-2}	100 g surové potraviny na osobu za týden po dobu 5 měsíců
			1-5 ml OV vázané na potraviny
Regulované zavlažování (farmáři neboo intenzívně exponovaná populace)			
Silně mechanizované	10^5	10^3	100 dní denní expozice
			1-10 mg půdy zkonsumované v čase expozice
Intenzivní obhospodařování	10^3 - 10^4	10^3	150-300 dní expozice za rok
			10-100 mg půdy zkonsumované v čase expozice

Tabulka 1: Zdravotní rizika spojená s využíváním OV k zavlažování (www.who.com)

Z hlediska bezpečnosti potravin je třeba sledovat rezidua lidské činnosti v odpadní vodě, kterou jsou plodiny zavlažované. Výzkumem Dodgena et al. byla zjištěna akumulace farmaceutik a prostředků osobní péče (PPCP - pharmaceuticals and personal care products) v hlávkovém a listovém salátu (tab. 2). Došlo k závěru, že při hydroponickém pěstování byla naměřena zvýšená koncentrace těchto látek, což mohlo být způsobeno absencí půdy s organickým podílem a minerály, které by kontaminanty zachycovaly. Rovněž bylo zjištěno, že při běžném zemědělském pěstování a zavlažování listových plodin upravenou

vodou může být absorpce PPCP zanedbatelná. Koncentrace v suché rostlinné hmotě se pohybovaly od $0,22 \pm 0,03$ do $12,12 \pm 1,91$ ng / g v listech a stoncích. Mezi odlišnými druhy salátu nebyly pozorovány významné rozdíly koncentrací akumulovaných léčiv (Dodgen et al. 2013).

Rostlinná část	Bisphenol A	Diclofenac	Naproxen	Nonylphenol
Salát				
Mladé listy	$0,22 \pm 0,03$	$3,71 \pm 1,80$	3,15	$1,18 \pm 0,04$
Listy	$0,36 \pm 0,07$	$9,05 \pm 4,08$	2,81	$2,59 \pm 0,30$
Stonek	$0,30 \pm 0,08$	$5,10 \pm 1,53$	5,02	$4,31 \pm 2,54$
Kořeny	$441,7 \pm 138,9$	$872,9 \pm 98,2$	330,2	$926,9 \pm 212,8$
Kapusta				
Mladé listy	$1,42 \pm 0,37$	$7,48 \pm 0,99$	$4,50 \pm 0,78$	$3,80 \pm 0,99$
Listy	$3,05 \pm 0,51$	$7,75 \pm 0,68$	$8,14 \pm 1,77$	$6,95 \pm 0,97$
Stonek	$2,39 \pm 0,66$	$12,0 \pm 5,2$	$12,1 \pm 1,9$	$3,79 \pm 1,26$
Kořeny	$199,6 \pm 42,6$	$229,6 \pm 35,7$	$71,1 \pm 12,1$	$339,2 \pm 19,2$

Tabulka 2: Koncentrace PPCP v rostlinných pletivech dvou druhů salátu, v poměru k ^{14}C , v sušině rostliny (Dodgen et al. 2013)

Další z výzkumů, zabývající se přenosem farmaceutik v kořenové zelenině, zjistil vyšší míru akumulace v listové části rostliny. Výzkum probíhal na rostlinách mrkve (*Daucus carota*) a sladkého bramboru (*Opomea batatas*). Z výsledků byla zjištěna vyšší koncentrace neiontových léčiv (karbamazepin, lamotrigin a kofein) v listech, kořenech a vzorcích půdy, ve srovnání s iontovými léčivy. Neiontové organické molekuly jsou schopny jednoduše procházet buněčnou stěnou, a proto mají větší potenciál přechodu z kořenů, pomocí vody, až do listů. Výzkum se zabýval i hodnocením bezpečnosti zdraví, při konzumaci těchto potravin. Vycházející z 5% úrovně (tzv. TTC - threshold of toxicological concern), při které nejsou pozorovány nepříznivé účinky na lidské zdraví, došlo k závěrům, kdy nebyla potvrzena toxicita těchto potravin zavlažovaných odpadní vodou. Mnohé z farmaceutik

akumulovaných v kořenové zelenině jsou eliminovány před přímou spotřebou, a to odstraněním slupky, která představuje od 5 do 13 % hmoty podzemní části. Co se týkalo sladkého bramboru, pouze kabamazepin a lamotrigin vykazovaly vyšší koncentrace. Odstranění slupky znamená snížení obsahu těchto léčiv přibližně o 7 %. V případě kořene mrkve došlo jejím oloupaním ke snížení koncentrace léčiv přibližně o 25 až 35 %. Vyšší koncentrace v případě mrkve vykazovaly karbamazepin a kofein. V případě 10,11-epoxykarbamazepinu a lamotriginu ale nebyl zpozorován významný rozdíl jejich obsahu mezi slupkou a zbytkem kořene. V tomto případě odstranění slupky nemá zásadní dopad na snížení rizikového obsahu farmaceutik v kořeni mrkve, která byla zalévána odpadními vodami (Malchi et al. 2014).

Komunální odpadní vody, avšak mohou obsahovat těžké kovy v takových koncentracích, které mohou následně zvýšit jejich obsah v půdě nebo způsobit nadměrnou akumulaci v rostlinných pletivech, čímž může dojít ke snížené produkci.

Těžké, resp. toxické kovy se snadno váží v půdách, čímž je při opakovaném používání odpadní vody mohou postupně znehodnotit, a tím se následně stává pěstovaná plodina nevhodná pro výrobu potravin. Průzkumy zabývající se využíváním OV poukázali, že 85 % aplikovaných těžkých kovů se často hromadí na povrchu půdy. Z tohoto hlediska by měl být vytvářen plán aplikace odpadní vody a zajištěn monitoring vlastností půdy a plodin pro nebezpečné látky (Pescod 1992).

Podle výzkumu CTPZ bylo zpozorováno zvýšení obsahu N, P a K v půdě. K nárůstu došlo v horní vrstvě půdy (0-20 cm) a po delší dobu aplikace OV. Nejvyšší hodnota salinity měřená prostřednictvím parametru elektrické konduktivity byla zjištěna po době 10 let, a to zejména ve spodních vrstvách půdy v důsledku louhování. Organický podíl půdy se aplikací odpadních vod výrazně zvýšil. Zvyšoval se průběžně s dobou aplikace, což bylo přímo prisuzováno obsahu organických sloučenin v použité odpadní vodě. Reakce stopových prvků (Zn, Fe a Mn) nebyla během výzkumu konzistentní. Byla pozorována jejich vazba na půdu, konkrétně na ornici. Obsah Cu a Zn v půdě akumuloval v horních vrstvách (25-35 cm).

Při dlouhodobém zavlažování OV (po dobu 80 let) byl zjištěn zvýšený obsah Cu, Zn, Mn a Fe ve srovnání s půdou zavlažovanou pouze povrchovou vodou. Další výzkum ale zvýšení koncentrace Cd a Pb po zavlažování neprokázal. Výzkum rovněž dospěl k závěru, že pšenice

zavlažovaná OV produkovala vyšší rostliny, těžší semena a měla vyšší výnosy než pšenice zavlažována povrchovou vodou. Tato zjištění se příkládala zvýšení obsahu N a P z OV. Největší množství biomasy bylo vyprodukováno na půdě po 5 letech zavlažování OV. Delší doba aplikace OV (10 let) však vedla ke snížení produkce biomasy. Hromadění solí a některých živin a těžkých kovů, kdy byl jejich obsah po 10 letech značně vyšší, lze vysvětlit sníženou produkcí biomasy.

Akumulace mikronutrientů a toxických kovů zavlažováním odpadními vodami může být způsobena přímo, a to složením OV nebo nepřímo, kdy dochází ke zvýšené rozpustnosti původních nerozpustných těžkých kovů, a to v důsledku chelátotvorného nebo acidifikujících působení použité OV (Internet 10).

Požadavky na kvalitu recyklované vody pro zavlažování v zemědělství dle návrhu **Nařízení Evropského Parlamentu a Rady o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody.**

Třída kvality recyklované odpadní vody	Orientační technologický cíl	Požadavky na kvalitu				
		E. coli (KTJ/100 ml)	BSK ₅ (mg/l)	NL (mg/l)	Zákal (NTU)	Jiné
A	Sekundární čištění, filtrace a dezinfekce	≤10 nebo pod mez detekce	≤10	≤10	≤5	<i>Legionella</i> spp.: <1 000 KTJ/l v případě rizika aerosolizace ve sklenících. Střevní paraziti (vajíčka střevních parazitů): ≤1 vajíčko/l pro zavlažování pastvin nebo pícnin
B	Sekundární čištění a dezinfekce	≤100	Podle směrnice 91/271/E HS (příloha I, tabulka 1)	Podle směrnice 91/271/E HS (příloha I, tabulka 1)		
C	Sekundární čištění a dezinfekce	≤1 000				
D	Sekundární čištění a dezinfekce	≤10 000				

Tabulka 3: Požadavky na kvalitu recyklované odpadní vody pro zavlažování

Recyklovaná odpadní voda bude považována za vyhovující požadavkům stanoveným v tabulce 3, jestliže měření splní:

Uvedené hodnoty pro *E. coli*, *Legionella spp.* a střevní parazity jsou splněny u 90 % nebo více vzorků. Žádná hodnota vzorků nesmí překročit maximální limit odchylky 1 log od uvedené hodnoty pro *E. coli* a *Legionella* a 100 % uvedené hodnoty pro střevní parazity.

Uvedené hodnoty pro BSK₅, NL a zákal v třídě A jsou splněny u 90 % nebo více vzorků. Žádná hodnota vzorků nesmí překročit maximální limit odchylky 100 % uvedené hodnoty.

Dle uvedeného návrhu by byly jednotlivé třídy těchto vod zařazeny dle následující tabulky:

Minimální třída kvality recyklované odpadní vody	Kategorie plodin	Metoda zavlažování
A	Všechny potravinářské plodiny, včetně kořenových plodin konzumovaných za syrova a potravinářských plodin, jejichž jedlá část je v přímém kontaktu s recyklovanou odpadní vodou	Všechny metody zavlažování
B	Potravinářské plodiny konzumované za syrova, jejichž jedlá část roste nad zemí a není v přímém kontaktu s recyklovanou odpadní vodou, zpracované potravinářské plodiny a nepotravinářské plodiny včetně plodin na krmení zvířat na produkci mléka a masa	Všechny metody zavlažování
C		Pouze kapkové zavlažování
D	Technické a energetické plodiny a plodiny z osiva	Všechny metody zavlažování

Tabulka 4: Třídy kvality recyklované odpadní vody a povolené zemědělské použití a metody zavlažování

Třída kvality recyklované odpadní vody	E. coli	BSK ₅	NL	Zákal	<i>Legionella spp.</i> (v příslušných případech)	Střevní paraziti (v příslušných případech)
A	Jednou týdně	Jednou týdně	Jednou týdně	Kontinuálně	Jednou týdně	Dvakrát měsíčně nebo je frekvence určena provozovatelem zařízení pro recyklaci vod podle počtu vajíček v odpadní vodě vstupující do zařízení pro recyklaci vod.
B	Jednou týdně	Podle směrnice 91/271/EHS (příloha I, oddíl D)	Podle směrnice 91/271/EHS (příloha I, oddíl D)			
C	Dvakrát měsíčně					
D	Dvakrát měsíčně					

Tabulka 5: Minimální frekvence pro rutinní monitorování recyklované odpadní vody používané pro zavlažování v zemědělství

Existuje několik studií rizika specifických bakteriálních nebo virových infekcí spojených s konzumací zeleninových plodin zavlažovaných neupravenou odpadní vodou. Studie v Santiagu (Hopkins et al. 1993) ukázala, že spotřeba syrové zeleniny pocházející z oblasti, kde se k zavlažování používá neošetřená odpadní voda, souvisela se zvýšením tzv. séroprevalence (poměr jedinců s protilátkami oproti celku) na *Helicobacter pylori* (relativní riziko 3.3, $P < 0,001$).

Analytické průřezové studie symptomatického průjmového onemocnění v Mexiku (Blumenthal et al. 2000) ukázaly, že existuje dvojnásobné nebo větší riziko průjmového onemocnění spojené se střední nebo vysokou frekvencí konzumace nevařené cibule zavlažované odpadní vodou, která byla skladována v jeden zásobník (kvalita vody = 10^{-4}

termotolerantní koliformních bakterií na 100 ml). U dospělých bylo připisovatelné riziko 4,3 % (týdenní prevalence), což odpovídá roční míře 0,66 na osobu (s ohledem na osmiměsíční období sucha). Prospektivní kohortní studie ve stejné oblasti ukázala, že došlo ke dvojnásobnému zvýšení séroresponzi na norovirus (Mexiko), spojené se spotřebou zelených rajčat zavlažovaných stejnou vodou, poté byly zohledněny rušivé faktory, ale žádné zvýšené riziko séroresponze na enterotoxigenní infekci *E. coli* spojenou se spotřebou zeleniny. V této studii bylo více než 50 % průmových onemocnění u studované populace, kteří jedli cibuli (jednalo se o více než 25 % všech průmů u dospělých a malých dětí ve studované populaci v období sucha), způsobeno zavlažováním zeleniny odpadní vodou.

3.4 Zahradnictví

V Evropě se stává stále obvyklejší technologie pěstování plodin bez půdy, tzv. hydroponie. Systém využívání hydroponie může být otevřený nebo uzavřený. V případě otevřeného systému dochází k prosakování roztoků se zbytkovými, nevstřebanými nutrienty. Z ekonomického a environmentálního je proto přijatelnější uzavřený systém, kdy je používání vody a hnojiv efektivnější. Nevýhodou tohoto systému je rozmnožování patogenů v cirkulujícím živném roztoku. Z tohoto důvodu je pro opětovné použití vody nutná její dezinfekce (Internet 4).

3.5 Průmysl výroby papíru

Pro srovnání uvádíme informace z rozdílného typu průmyslové výroby, jakým je např. papírenská výroba. S narůstajícími legislativními požadavky je potřeba snižovat spotřebu vody i v tomto typu průmyslu. Obvykle je odpadní voda z papírenského průmyslu čištěna biologickou cestou. Její kvalita na další využití je ale po takovém čištění nedostačující.

Jednou z metod čištění vody z papírenského průmyslu je membránová filtrace. Její princip je založen na přítomnosti polopropustné membrány, která propouští vodu a zachycuje v ní rozptýlené částice. V závislosti na velikosti zachycených částic se dá mluvit o mikro, ultra nebo nanofiltraci. V případě potřeby odstranění rozpuštěných solí se využívá nanofiltrace a reverzní osmóza. Tlak potřebný pro tento proces je vyšší než tlak potřebný pro mikro a ultra filtraci, přičemž produktivita je nižší.

Jiným případem membrány je využívání keramické membrány, jejíž výhodou je čištění zpětným proudem ve srovnání s uhlíkovým filtrem. Zpětné vymývání se využívá při čištění nánosů zanášením.

Důležitým faktorem je pH vody. Při nižším pH bylo zpozorováno zpomalení proudění toku a zanášení membrány bylo výraznější, než při pH neutrálním. Tento jev může být způsoben nedostatkem elektrostatického odpuzování mezi membránou a roztokem v kyselém prostředí. Lepší propustnost je dosažena v neutrálním pH, kde jsou elektrostatické odpudivé síly větší.

V případě recyklace odpadní vody pocházející z procesu bělení, se k čištění využívá membránový bioreaktor.

Výhody membránové filtrace:

Proces probíhá i při nižších teplotách čímž umožňuje zpracovávání tepelně citlivých materiálů. Membránová filtrace je také energeticky efektivní. Potřebné množství energie je využíváno na přečerpávání kapaliny přes membránu (Internet 1).

4. Možnosti úpravy odpadních vod

K zajištění mikrobiologické kvality má prvořadý význam dezinfekce, přičemž použitím dezinfekčních prostředků, resp. celých technologických postupů, mohou být patogenní bakterie z vody usmrceny. Obecně můžeme postupy pro úpravu odpadních vod rozdělit na konvenční, pokročilé a přírodní procesy. Mezi klasické technologie patří použití chloru, oxidu chloričitého, kyseliny peroctové, ozonu a UV záření. Mezi pokročilé technologie patří kombinace konvenčních metod, jako kombinace ozonu a peroxidu vodíku, ozonu a UV záření apod. Kromě toho sem řadíme membránové technologie a technologie, jejichž výzkum momentálně teprve probíhá a uvedeme je pouze jako doplněk ve formě tabulky (Collivignarelli et al. 2017). Nakonec zmíníme technologie přírodní dezinfekce založené na pomalé filtraci pomocí písku, případně keramických filtrů.

Oblasti využití regenerované vody lze rozdělit do pěti kategorií:

1. Zavlažování v zemědělství
2. Městské, rekreační a environmentální použití, včetně plnění vodních rezervoárů
3. Průmyslové využití
4. Voda k přímé nebo nepřímé výrobě pitné vody
5. Kombinace výše uvedených

4.1 Konvenční metody úpravy odpadních vod

Chlorování

Je všeobecně známo, že chlor je nejběžnějším dezinfekčním prostředkem používaným při úpravě vody na inaktivaci patogenů, přičemž je nejčastěji aplikován ve formě plynného chloru nebo chlornanu sodného (Li et al. 2017). Je třeba zmínit, že dezinfekční proces je ovlivněn faktory jako teplota, hodnota pH a také množství organického materiálu ve vodě.

V případě oxidu chloričitého je dezinfekční účinek stejný, některé studie ukazují, že dokonce vyšší než v případě použití chloru. Tato chemická sloučenina je rozpustná ve vodě, avšak je velmi nestabilní. V případě eliminace bakterií dokáže inaktivovat enzymatické systémy nebo přerušit syntézu bílkovin (Cho et al. 2010). Klasicky se vyrábí s použitím chlomanu sodného a kyseliny chlorovodíkové podle reakce:



Ozonování

V porovnání s chlorem z hlediska dezinfekčního účinku dosahuje ozon (O₃) vyšší efektivitu dezinfekce vůči bakteriím a virům. Oxidační vlastnosti ozonu mohou rovněž snižovat koncentrace železa, hořčíku, síry ve vodě, a také redukovat nebo zcela eliminovat cizorodé chutě a pachy. Železo a hořčík oxidují na nerozpustné sloučeniny, které jsou následně odstraňovány filtrací. Organické znečištění je odstraňováno chemickou oxidací nebo koagulací. Vzhledem k tomu, že ozon je nestálý, trvá jeho rozpad jen několik sekund. Míra rozkladu závisí na teplotě, pH a detailním látkovém složení iontů obsažených ve vodě. Dostatečná dávka zajištění kvality vody je 10 g / h / m³ (Internet 3). V případě dezinfekce ozonem je jedním z důležitých faktorů účinnosti i čas expozice. Výzkum Ehret et al. (2001) prokázal, že při koncentraci 5 · 10³-5 · 10⁴ životaschopných buněk na ml, je potřebný čas expozice 60-120 minut. I když jiné laboratorní výzkumy ukázaly menší čas expozice v případě výskytu *Fusarium* a *Verticillium*, a to 20 minut, v systémech recirkulace živin jsou pro účinnou dezinfekci třeba delší časy expozice ozonem. Výsledky prokázaly zvýšení účinnosti účinku ozonu při poklesu pH roztoku na 4 (Ehret et al. 2001).

Kyselina peroctová

Kyselina peroctová je možnou alternativou při dezinfekci odpadních vod. Vzniká reakcí mezi peroxidem vodíku a kyselinou octovou a během používání se rozkládá, což vede

k tvorbě kyseliny octové a kyslíku. Její dezinfekční účinek je způsoben uvolňováním "aktivního" kyslíku, případně jiných reaktivních látek, které napadají bakteriální buňku a způsobují destrukci buněčné stěny a membrány (Collivignarelli et al. 2017).

Právě kombinace této technologie spolu s ultrafialovým (UV) zářením se ukazuje jako velmi efektivní (Lubello et al. 2002, Gori et al. 2008). Efektivita UV záření závisí na charakteru odpadní vody, intenzitě UV záření, času expozice a charakteru reaktoru. Úspěšnost dezinfekce je přímo spojena s koncentrací tuhých znečišťujících látek. Podstatou UV záření je jeho germicidní charakter, kdy při přechodu záření do buňky mikroorganismů dochází k narušení DNA popřípadě RNA organismu, a tak dojde k poškození jeho reprodukčního aparátu. Germicidální část UV záření připadá do rozsahu vlnových délek 220-320 nm, přičemž se generuje pomocí výbojek s obsahem rtuti. Účinnost samotné UV dezinfekce může být ovlivněna např. velikostí částic, přítomností zákalu nebo koncentrací rozptýlených mikroorganismů (Internet 6, Internet 7).

Možnosti využití odpadních vod z výrobních zařízení pro závlahy zemědělských plodin a rizika z toho plynoucí pro otázky bezpečnosti potravin

Geršl M., Krčálová E., Rantová B., Mareček J., Ondro T., Šotnar M.

- 2020 -

- 30/48 -

Dezinfekce	Mechanismus	Druh odpadní vody	Podmínky	Úroveň výzkumu	Výsledky
UV+ PAA	UV záření působí homolyticky na vazbu O–O v molekule PAA za vzniku hydroxylového radikálu	Komunální OV	Dávka PAA: 2–8 mg/l–1, t: 10-30 min	Pilotní projekt (pilot plant)	<i>E. coli</i> : úplná inaktivace
Sonodezinfekce	Produkce volných radikálů v daném objemu; síly produkované ultrazvukovou kavitací; rozpad mikrobiálního konsorcia	Komunální OV	Ultrazvuk: 200 W, t: 60 min.	Malý laboratorní projekt (bench scale)	<i>E. coli</i> : 1-log
Elektrodezinfekce	Tvorba chlornanů a chloraminů		Okamžitá hustota el. proudu: 11,46 A.m ⁻²		<i>E. coli</i> : 3-log
Sono-elektrodezinfekce			Ultrazvuk 200 W; okamžitá hustota proudu 8,91 A.m ⁻²		
Solární fotolýza	Denaturace DNA	Pitná voda/ OV	Doba ozáření: 40 min.	Laboratorní úroveň	<i>E. coli</i> : 1-log
Solární fotokatalýza (bez přítomnosti huminových kyselin)			Doba ozáření: 60 min.; podpůrné látky.		<i>E. coli</i> : 6-log
Solární fotokatalýza (za přítomnosti huminových kyselin)			Doba ozáření: 60 min.; podpůrné látky Doba ozáření: 90 min.; Podp. látky		

Možnosti využití odpadních vod z výrobních zařízení pro závlahy zemědělských plodin a rizika z toho plynoucí pro otázky bezpečnosti potravin

Geršl M., Krčálová E., Rantová B., Mareček J., Ondro T., Šotnar M.

- 2020 -

- 31/48 -

Kombinace ultrazvuku a UV záření	Narušení velkých částic ultrazvukem, zvýšení dezinfekčního účinku UV záření	Komunální a průmyslové OV	Ultrazvuk 1400 W; UV: 1656 mJ.cm ⁻² ; t: 15 min	Pilotní projekt (<i>pilot plant</i>)	<i>E. coli</i> 1.6-log, Koliformní bakterie: 1,7-log
			Ultrazvuk: 350 W; UV: 1656 mJ.cm ⁻² ; t: 15 min		<i>E. coli</i> >4-log; Koliformní bakterie 3,9-log
Porovnání kontinuálního a přerušovaného působení UV záření	Poškození DNA	OV	3 mJ.cm ⁻² LP (254nm) x 4 MP (200 nm) PUV > 295 nm PUV > 400 nm	Malý laboratorní projekt (<i>bench scale</i>)	1,75-log 1,80-log 0,25-log 0,08-log

Vysvětlivky k tabulce č. 6

OV	odpadní voda
PAA	kyselina peroctová (paraacetic acid)
LP	nízký tlak (low pressure)
MP	střední tlak (medium pressure)
PUV	pulzní UV záření (pulsed UV)

Tabulka 6: Způsoby dezinfekce odpadní vody (Collivignarelli et al. 2017)

4.2 Pokročilé metody úpravy odpadních vod

Membránová filtrace

Membránová filtrace je fyzikální proces umožňující separaci znečišťujících látek přítomných ve vodě pomocí membrán. Obecně rozlišujeme čtyři procesy v závislosti na velikosti částic, které se musí odstranit: mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmóza. Vzpomeňme, že při přechodu přes membrány jsou téměř zcela odstraněny bakterie, částečně viry, avšak v případě ultrafiltrace je jejich majoritní množství také odstraněné. Avšak mikrofiltrace a ultrafiltrace jsou často používány hlavně z důvodu poměru nákladů k efektivitě (Internet 1).

Technologie	Porozita [μm]	Tlak [bar]	Účinné při odstraňování	Míra redukce mikroorganismů [log]		
				<i>E. coli</i> a fekální koliformní bakterie	<i>Giardia muris</i>	MS2 kolifágy
Mikrofiltrace	0,1-10	1-5	Roztoky, Makromolekuly, Bakterie	5,4-6	> 4-6	0,3-2
Ultrafiltrace	0,01-0.1	1-7	Makromolekuly, Viry, Huminové kys., DBP prekurzory	5,5- >6	> 4-6	0,4-2
Nanofiltrace	0,001-0,1	5-10	Barviva, VOC, pesticidy, MTBE, sulfáty, fosfáty	–	–	2-3
Reverzní osmóza	< 0,001	15-70	lonty kovů, kovy (As, Pb)	–	–	3,5-4,5

Tabulka 7: Technologie membránové filtrace (Collivignarelli et al. 2017)

4.3 Přírodní metody úpravy odpadních vod

Písková filtrace

Písková filtrace se využívá pro odstraňování rozptýlených částic v odpadní vodě a představuje jednu z účinných metod. Písková filtrace dokáže eliminovat patogenní mikroorganismy, bakterie, viry a tak zamezit šíření nemocí. V závislosti na povaze znečištění, filtrační médium sestává z několika vrstev písku s různou zrnitostí a specifickou hmotností. Tloušťka vrstev se pohybuje v rozmezí přibližně 60-120 cm. Kapacita zadržování nečistot se při pískové filtraci pohybuje v rozmezí 3-6 kg / TZL / m². Součástí čistícího procesu je i vymývání zpětným proudem, které je třeba při zanesení filtrační vrstvy (Ehret et al. 2001, Wohanka et al. 1999).

Tento způsob filtrace patří mezi nejstarší metody úpravy vody, přičemž další kvantitativní informace podrobnějších testů této metody lze nalézt v pracích Dullemont et al. 2004; Dullemont et al. 2006; Shijven et al. 2008; Visser et al. 2004.

Porézní keramické materiály

Jedná se o nejpoužívanější skupinu filtrů, především na domácí úrovni, která je vyráběna z pórovitých přírodních materiálů, které jsou snadno dostupné. Výroba keramického filtru je ve své podstatě jednoduchá, a dá se vyrobit jednoduchým smícháním jílových materiálů s organickým materiálem, přičemž přidáním vody vznikne tuhá směs, která se může následně tepelně zpracovat. Tímto způsobem dostaneme pórovitý materiál.

Sekundární úprava vody

Sekundární úprava odpadní vody zahrnuje odstranění živin, což je charakteristické pro oblasti s omezeným zemědělským zavlažováním a pro průmyslové využití (zavlažování obilovin určených ke konzumaci po tepelné úpravě, chlazení).

Sekundární úprava vody může být zajištěna stabilizačními nádržemi, převážně v Jižní Americe, USA a středomořských zemích. Takovéto druhé stupně stabilizačních nádrží jsou schopny zajistit produkci odpadní vody vhodnou i pro omezené zavlažování. Obvykle je k technologii stabilizační nádrže přidána i dezinfekce odpadní vody.

Terciární úprava vody

V menší míře jsou zde využívány mokřadní lokality. Ve větším rozsahu úpravy vody, vyskytující se například v Nizozemí, se při terciární úpravě odpadní vody zařazuje předstupuň čištění vody, a to v podobně oxidačních nádrží (příkopů). V případě takového systému je pro dosažení požadované kvality vody k neomezenému zavlažování potřeba retenčního času více než 4 dny.

Jednou z možností úpravy vody je i úprava zavodnění půdou (Soil aquifer treatment). Proces je vhodný pro neomezené zavlažování zemědělské půdy, protože poskytuje skladování a úpravu vody na úroveň srovnatelnou s kvalitou pitné vody.

Tradičním systémem terciární rekultivace odpadní vody je proces koagulace / flokulace, sedimentace a dezinfekce. Tento systém vychází z regulace "Title 22", jako jedné z prvních regulací týkajících se odpadní vody. Mnohé principy uplatňované v Evropě z této regulace vycházejí. V zemích Středomoří je nejběžnějším procesem koagulace (flokulace) a přímá nebo nepřímá filtrace s následnou dezinfekcí.

Navzdory riziku vzniku vedlejších produktů, nejrozšířenější technologii dezinfekce představuje použití chloru. Další dezinfekční postupy zahrnují dezinfekci UV zářením, ozonem nebo jejich kombinací s chlorací. Pro nepřímé zemědělské využití může být použita dezinfekční technologie, která využívá kyselinu peroctovou PAA. V terciární úpravě vody se využívá i zvýšená oxidace (AOP- advanced oxidation processes), během které jsou

produkovány vysoce reaktivní hydroxidové radikály s elektrochemickým potenciálem a neselektivními atakujícími vlastnostmi.

Za zmínění stojí, že odpadní voda z dobře navrženého a provozovaného zařízení na aktivovaný kal může dosáhnout úrovně zákalu nižší než 3 NTU a proto několik neomezených aplikací na opětovné použití vyžaduje pouze filtraci (bez vločkování) a dezinfekci. Regulace Title 22, popisuje možnost filtrace bez vločkování, pokud je zákal odtoku před filtrací menší než 5 NTU (Afsharnia et al. 2018, Bixio et al. 2006, Internet 9).

4.4 Kvarténní úprava vody

Kvarténní úprava vody může být zajišťována dvoumembránovým procesem mikrofiltrace a reverzní osmózy, a to jako následný stupeň po terciární úpravě vody. Účelem je dosáhnout standardů pitné vody. Všechny tyto aplikace nahrazují vodu ze zdrojů pro pitné použití, i když ve všech nám známých případech se v současné době voda k opětovnému použití používá pro jiné než pitné účely.

Stávající zařízení využívající takový druh technologie se nachází například v Belgii, kde dochází k doplňování vodonosné vrstvy, zabraňuje pronikání solí a slouží jako nepřímý zdroj pitné vody.

Technologie membránových bioreaktorů se stále více uplatňuje v zařízení k opětovnému použití, jako jsou schémata "in building" a na komunální zařízení. Postupně dochází k rozšiřování použití membránových bioreaktorů (MBR) pro projekty většího rozsahu, ze kterých je možné regenerovat odpadní vodu přímo na neomezené zavlažování nebo jako předúpravu reverzní osmózy pro výrobu pitné vody (Bixio et al. 2006, Internet 1).

5. Vliv používání odpadních vod na bezpečnost potravin

Celosvětová urbanizace posledních desetiletí dramaticky zvýšila vypouštění množství chemických látek v odpadních vodách. V případě jejího dalšího využití k zavlažování v zemědělství, taková voda znečištěná léčivými (organickými kontaminanty) nebo těžkými kovy, může znamenat nepříznivý vliv na bezpečnost plodin, které jsou na takto zavlažovaných plochách produkovány. Zemědělství je stále sektor, který spotřebovává největší množství vody na globální úrovni, což představuje přibližně 70 % spotřeby sladké vody. Přesto FAO podporuje zvyšování zavlažování plodin, ale s kvalitnějším vodním hospodařením. Nedostatek vody se stává stále větším problémem, což znamená zvyšování tlaku na využívání vodních zdrojů zejména v suchých a polosuchých oblastech.

Zavlažování plodin určených pro potravinářské účely je jeden ze způsobů opětovného využití OV v oblastech trpících nedostatkem vody. Bez úpravy OV se v takových oblastech konzumace zemědělských plodin stává rizikovou.

Konzumace potravin kontaminovaných těžkými kovy je po inhalaci nebo kontaktu s pokožkou jedním z hlavních zdrojů expozice člověka. Těžké kovy v potravě mohou způsobit různé metabolické poruchy, genomovou nestabilitu, narušení endokrinního systému nebo psycho-sociálního chování. Těžké kovy jako Cd nebo Pb představují hrozbu mutagenese, poruchy prenatálního vývoje jedince nebo karcinogenezi. Jejich vysoké koncentrace se připisovaly prevalencí rakoviny horního gastrointestinálního traktu, zvýšeného krevního tlaku, ledvinových infekcí nebo poruch syntézy hemoglobinu. V důsledku ukládání oxidů železa je mangan připisován výskytu Parkinsonovy choroby.

Při vysoké koncentraci příjmu Ni může docházet k výskytu rakoviny, únavy či závratí, problémům se srdcem nebo k poruchám dýchacích cest. Z výzkumů zabývajících se příjmem potravy se zvýšeným obsahem Ni, koreloval se zvyšující se úmrtností na rakovinu prsu.

Organické kontaminanty představují v OV farmaceutika používané v humánní medicíně, které mohou mít škodlivé účinky na organismy v životním prostředí. Navzdory jejich nízkým koncentracím (ng/l až µg/l) jejich dopady na životní prostředí v krátkodobé a dlouhodobé přítomnosti stále nejsou jasné. Jako rezidua jsou v OV často běžnými postupy technologií čištění neodstranitelné (García et al. 2019, Khan et al. 2013).

Bylo prokázáno, že mnoho z farmaceutických ale i jiných reziduí organických látek je dále metabolizováno v rostlinách a jejich meziprodukty stále obsahují bioaktivní funkční skupiny. Mezi tyto produkty transformace patří například epoxykarbamazepin, jako jeden z metabolitů karbamazepinu v listech sladkých brambor a mrkve. Ten prokázal účinek toxicity vyšší než původní sloučenina CBZ (Malchi et al. 2014). Na druhé straně, transformace zbytkových farmaceutik může znamenat snížení jejich adsorpce a akumulaci.

Výzkum Malchi et al. (2013), zabývající se přenosem farmaceutik v kořenové zelenině, zjistil vyšší míru akumulace v listové části rostliny. Výzkum probíhal na rostlinách mrkve (*Daucus carota*) a sladkého bramboru (*Opomenout batatas*). V případě kořenové zeleniny je tedy riziko kontaminace lidského organismu nižší než při konzumaci listové zeleniny.

Denní příjem kovů (DIM) je možno vypočítat z rovnice:

$$\text{DIM} = \frac{C_{\text{metal}} \times C_{\text{factor}} \times D_{\text{food intake}}}{B_{\text{average weight}}}$$

Výzkum Khal et al. (2013) uvádí ve výsledcích výzkumu např. pro převod čerstvé zeleniny na sušinu, konverzní faktor C_f 0,085. Průměrná hmotnost zkoumané populace byla 55,5 kg a denní průměr příjmu zemědělských plodin činil 0,527 kg / den. Výsledné hodnoty byly použity k výpočtu Indexu zdravotního rizika.

Index zdravotního rizika IZR se týká poměru denního příjmu kovů v potravinářských plodinách a orální referenční dávky. Lze jej určit z rovnice:

$$\text{HRI} = \text{DIM} / \text{AFA}$$

HRI health risk index (index rizika pro zdraví)

DIM daily intake of metals (denní příjem kovů)

AFA reference dose, USEPA - US environmental protection agency (referenční dávka)

V případě že hodnota indexu zdravotního rizika přesahuje hodnotu 1 pro jakýkoli kov v zemědělských plodinách, populace spotřebitelů je vystavena zdravotnímu riziku.

Při měření, kde mělo Pb nejvyšší koncentrace jak v OV, tak ve vodě ze studní, následoval obsah dalších těžkých kovů takto: Cr > Mn > Cd > Ni. Stejný trend obsahu TK byl zaznamenán v půdě zavlažované OV (Tab. 1).

(Koncentrace Cr, Ni, Mn, Pb a Cd v odpadních vodách se pohybovaly mezi 1,80 a 18,20, 0,21 a 1,29, 0,64 a 4,88, 3,08 a 7,32, 0,27 a 0,64 mg / L, zatímco ve vodě odebírané ze studny se pohybovaly v intervalech 0,27-1,67, 0,05- 0,20; 0,12-0,72; 1,32-4,12; 0,14-0,44 mg / L).

Zemědělské plodiny zavlažované OV měly ve srovnání s těmi, které byly zavlažované vodou ze studny, obecně vyšší koncentrace těžkých kovů.

Akumulační faktor (obsah TK v jedlých částech rostliny / obsah TK v půdě) byl podle výzkumu pozorován s nejvyšší hodnotou v rostlinách špenátu (*Spinacia oleracea*) a cibule (*Allium cepa L.*), a to zejména pro Mn a Pb. Hodnoty AF potravinářských plodin zavlažovaných odpadní vodou byly řádově Mn > Pb > Cd > Ni > Cr, zatímco trendy v potravinách zavlažovaných trubkovou studnou byly takové Pb > Mn > Cd > Ni > Cr (Khan et al. 2013).

Table 1
Heavy metal concentrations in waste and tube well water (mg L^{-1}) and soil (mg kg^{-1}) irrigated with wastewater and tube well water.

Heavy metals	Wastewater irrigated soil		Tube well water irrigated soil		P values	Wastewater		Tube well water		P value
	Mean \pm SD	Range	Mean \pm SD	Range		Mean \pm SD	Range	Mean \pm SD	Range	
Cr	43.03 \pm 11.10	31.65–61.65	24.87 \pm 6.009	14.20–37.70	0.0001	4.74 \pm 4.43	1.80–18.20	0.85 \pm 0.55	0.27–1.67	0.0063
Ni	42.09 \pm 11.73	30.05–64.30	30.71 \pm 6.15	22.80–43.60	0.001	0.46 \pm 0.29	0.21–1.29	0.12 \pm 0.04	0.05–0.20	0.0006
Mn	36.47 \pm 15.59	18.33–66.78	19.84 \pm 5.50	12.72–28.03	0.001	1.99 \pm 1.23	0.64–4.88	0.35 \pm 0.16	0.12–0.72	0.0001
Pb	36.91 \pm 29.37	11.50–90	12.75 \pm 9.44	0.00–29.50	0.01	5.03 \pm 1.59	3.08–7.32	2.47 \pm 0.74	1.32–4.12	0.000
Cd	9.15 \pm 1.33	7.13–11.13	2.89 \pm 1.00	1.28–4.28	0.001	0.55 \pm 0.09	0.27–0.64	0.27 \pm 0.08	0.14–0.44	0.000

SD = standard deviation.

Tabulka 8: Příklady koncentrací těžkých kovů ve vodách a půdách

Tato studie zaznamenala zvýšený obsah TK v zemědělských plodinách, s ohledem na plodiny zavlažované OV. Závěrem bylo potvrzeno, že tato OV je zdrojem kontaminace plodin, ale popis úpravy odpadní vody a také zdroje kontaminace těžkými kovy v této vodě nebyly ve studii uvedeny. Za každých okolností je nutné monitorovat zavlažovací systém

a zavádět strategie prevence vnášení kontaminantů do zemědělského prostředí, které by mohly znamenat ohrožení lidského zdraví populace konzumentů.

Podobný výzkum Jan et al. (2010) dospěl ke stejnému závěru, a to k takovému, že obsahy těžkých kovů v půdě zavlažované OV byly vyšší než v té, která byla zavlažována povrchovou vodou. Dále dospěl k tomu, že dlouhodobé využívání OV vedlo ke zvýšení organického uhlíku a k celkovému snížení pH, což by mohlo znamenat remobilizaci kovové zásoby na mobilnější frakci (Jan et al. 2010).

Podobně tato studie souhlasila i v závěrech, v nichž došlo ke shodě o akumulaci těžkých kovů v zelenině pěstované na půdě zavlažované OV. Konkrétně toto měření zjistilo překročení limitních koncentrací Zn stanovených WHO a FAO (Jan et al. 2010).

Výzkum ČTPZ rovněž dospěl k závěru, že pšenice zavlažovaná OV produkovala vyšší rostliny, více hlav na jednotku plochy, těžší semena a měla vyšší výnosy než pšenice zavlažovaná povrchovou vodou. Tato zjištění se přikládala zvýšení obsahu N a P z OV. Největší množství biomasy bylo vyprodukováno na půdě po 5 letech zavlažování OV. Delší doba aplikace OV (10 let) však vedla ke snížení produkce biomasy. Hromadění solí a některých živin a těžkých kovů, kdy byl jejich obsah po 10 letech značně vyšší, lze vysvětlit sníženou produkcí biomasy. Jiné výzkumy naopak nepotvrdily závěry tohoto zkoumání a zjistily, že sklizeň pšenice a ječmene zavlažováním odpadní vodou klesala.

Akumulace mikronutrientů a toxických kovů zavlažováním odpadními vodami může být způsobena přímo, a to složením OV nebo nepřímo, kdy dochází ke zvýšené rozpustnosti původních nerozpustných těžkých kovů, a to v důsledku chelátotvorného nebo acidifikujících působení použité OV (ČTPZ 2019).

Ke splnění požadavků ochrany zdraví je třeba implementovat technologické nebo organizační opatření, která by měla zajišťovat regulační rámec (např. WHO, FAO aj.). Přestože v některých případech může být k dosažení ochrany zdraví dostačující jedno opatření (např. rozsah čištění OV), v jiných je vhodnější použít kombinaci opatření. K adekvátnímu snížení zdravotních rizik může stačit například čištění OV spolu

s nastavením doby zdržení, která zabezpečí odumření patogenů dřívě, než vstoupí do prostředí, a tedy i dřívě, než dojde taková voda do kontaktu s plodinami nebo lidmi. Dalším opatřením je úprava potravin před jejich konzumací, jak bylo již zmíněno odstraněním slupky nebo v případě patogenů tepelnou úpravou. Kombinace těchto opatření snižuje potenciální zdravotní rizika, opatření se mohou lišit v závislosti na sociokulturních, ekonomických nebo environmentálních podmínkách v dané lokalitě (WHO 2000).

V poslední dekádě se velké množství studií zaměřilo na použití odpadních vod pro zavlažování půdy. Výsledky ukazují, že tento postup může vést ke kontaminaci půdy těžkými kovy, případně jinými znečišťujícími látkami, a s jejich následným vstupem do potravinového řetězce (Rajaganapathy et al. 2011). Avšak tento poznatek se týkal především plodin, které byly zavlažované nedostatečně upravenou odpadní vodou, což způsobovalo, že absorbovaly a hromadily těžké kovy nad maximální povolený limit. Na druhé straně zavlažování terciárně upravenou odpadní vodou vede z hlediska těžkých kovů k bezpečnému způsobu zavlažování, a tudíž konzumace plodin je v takovém případě bezpečná (Christou et al. 2016).

Stejně výsledky se také ukázaly i v případě možnosti kontaminace zemědělských produktů mikrobiálními a jinými antropogenními patogeny, jako například *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Listeria spp.*, *Giardia spp.* apod. I v tomto případě se ukázalo, že terciární úprava odpadních vod je možným řešením (Pettersson et al. 2001). Předchozí tvrzení se týkají především bezpečnosti plodin v případě jejich konzumace. Avšak z agronomického hlediska může takové zavlažování ovlivnit výtěžnost a kvalitativní vlastnosti zemědělských produktů. Je to z toho důvodu, že odpadní vody mohou obsahovat značné množství živin v závislosti na původu a použité technologii čištění. Jako příklad můžeme uvést případ zavlažování rostlin rajčete jedlého, kde výsledkem byly plody s vyšší hmotností a velikostí (Al-Lahham et al. 2003). Vzpomeňme, že v případě terciárně upravené vody použité na zavlažování už nedochází k vlivu na velikost, hmotnost a množství sebraných plodů (Christou et al. 2014).

6. Zhodnocení poptávky po recyklovaných vodách

Poměr poptávky vody k množství, které vodní zdroje nabízejí, může být vyjádřen pomocí nepřímého indikátoru, kterým je tzv. index vodního stresu. Podle průzkumu v rámci projektu Aquarec, který porovnával stres z nedostatku vody v jednotlivých zemích Evropy, bylo zjištěno, že více než polovina evropských zemí trpí takovým druhem stresu, což představuje přibližně 70 % populace EU. Česká republika se řadí mezi země pohybující se v rozmezí od 10-20 %. To znamená, že dostupnost vody se stává překážkou rozvoje a na zajištění dostatečných dodávek vody jsou potřeba značné investice. Je třeba dodat, že nedostatek vody se projevuje zejména na regionální úrovni.

Přestože využívání upravené odpadní vody se stává v dnešní době nezbytnou a spolehlivou možností, potenciál pro zvýšení využití regenerované vody se stále zvyšuje.

Sféry využívání regenerované odpadní vody v různých odvětvích je možné posuzovat samostatně. Pro odhad opětovného použití odpadní vody v jednotlivých sektorech může být použita základní modelová rovnice:

$$E \cdot \eta = U \cdot \phi = \sum U_i \cdot \phi_i = Q \Rightarrow Q = \frac{1}{2} \cdot (E \cdot \eta + \sum U_i \cdot \phi_i)$$

E	přítok vody z ČOV
U	celková potřeba (poptávka) [Mm ³ /rok]
U _i	spotřeba vody v daném odvětví [Mm ³ /rok]
Q	objemový tok zregenerované odpadní vody
n	faktor regenerace [-]
ϕ	faktor opětovného použití [-]
ϕ _i	faktor opětovného použití v daném odvětví [-]

Podle takového modelu potenciálu opětovného využití odpadních vod vykazuje Česká republika ročně potenciál využití 7 Mm³ (Wintgens et al. 2002).

7. Literatura

Afsharnia, M., Kianmehr, M., Biglari, H., Dargahi, A., Karimi, A. (2018): Disinfection of dairy wastewater effluent through solar photocatalysis processes. *Water Science and Engineering*, 2018, 11, 3, 214-219. ISSN 16742370. doi:10.1016/j.wse.2018.10.001

Al-Lahham, O., El Assi, N. M., Fayyad, M. (2003): Impact of treated waste water irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit. *Agric. Water Management*, 61, 1, 51–62. doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00173-7

Bixio, D., Thoeye, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., Melin, T. (2006): Wastewater reuse in Europe. *Desalination*, 2006, 187, 89-101

Blumenthal, U. J., Peasey, A., Ruis-Palacios, G. M., Mara, D. (2000): Guidelines for Wastewater Reuse in Agriculture and Aquaculture: Recommended Revisions Based on New Research Evidence. *Well study*, 68, Part 1.

Christou, A., Maratheftis, G., Elia, M., Hapeshi, E., Michael, C., Fatta-Kassinos, D. (2016): Effects of wastewater applied with discrete irrigation techniques on strawberry plants' productivity and the safety, quality characteristics and antioxidant capacity of fruits. *Agricultural Water Management*, 173, 2016, 48-54. doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.027

Christou, A., Maratheftis, G., Eliadou, E., Michael, C., Hapeshi, E., Fatta-Kassinos, D. (2014): Impact assessment of the reuse of two discrete treated waste waters for the irrigation of tomato crop on the soil geochemical properties: fruit safety and crop productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 192, 105–114.

Collivignarelli, M., Abbà, A., Benigna, I., Sorlini, S., Torretta, V. (2017): Overview of the Main Disinfection Processes for Wastewater and Drinking Water Treatment Plants. *Sustainability*, 10, 2, 86. doi:10.3390/su10010086

ČTPZ Možnosti využití odpadních vod pro závlahu. Česká technologická platforma pro zemědělství [online]. 2019 [cit. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://www.ctpz.cz/vyzkum/moznosti-vyuziti-odpadnich-vod-pro-zavlahu-1001>

Dodgen, L. K., Li J., Parker D., Gan, J.J. (2013): Uptake and accumulation of four PPCP/EDCs in two leafy vegetables. *Environmental Pollution*, 2013, 182, 150-156. ISSN 02697491. doi:10.1016/j.envpol.2013.06.038

Dullefont, Y.; Visser, A.; Schijven, J. F.; Hiunen, W. A. M. (2004): Elimination capacity of slow sand filtration for microorganism determined with spiking experiment. *H2O* 2004, 37, 22–25.

Dullemon, Y.F.; Schijven, J.F.; Hijnen, W.A.M.; Colin, M.; Magic, A.; Oorthuizen, W. Removal of MS2 Phage, *Escherichia coli* and *Campylobacter lari* by Slow sand Filtration; Gimbel, R., Graham, N.J.D., Collins, M.R., Eds.; Recent Progress in Slow Sand and Alternative Biofiltration Process; IWA Publishing: London, UK, 2006.

Ehret D., Alsanius, B. W., Wohanka, W., Menzies, J., Utkhede, R. (2001): Disinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture. *Agronomie*, EDP Sciences, 2001, 21, 4, 323-339. doi: 10.1051/agro:2001127

Gelover, S., Gómez, L.A., Reyes, K., Leal, T. M. (2006): A practical demonstration of water disinfection using TiO₂ films and sunlight. *Water Research*. 2006, 40, 17, 3274-3280. ISBN 9780120026562. ISSN 00431354. doi:10.1016/j.watres.2006.07.006

González García, M., Fernández-López, C., Polesel, F., Trapp, S. (2019): Predicting the uptake of emerging organic contaminants in vegetables irrigated with treated wastewater – Implications for food safety assessment. *Environmental Research*, 172, 175-181, doi:10.1016/j.envres.2019.02.011

Gori, R.; Caretti, C. (2008): Experimental study on municipal and industrial reclaimed wastewater refinement for agriculture reuse. *Water Sci. Technol.* 2008, 58, 1, 217–223. doi: 10.2166/wst.2008.651

Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document—Enteric Protozoa: *Giardia* and *Cryptosporidium*. ISBN: 978-1-100-21673-7. Available online: <http://healthycanadians.gc.ca/publications/healthy-living-vie-saine/water-protozoa-eau/alt/water-protozoa-eau-eng.pdf>

Hopkins, J.S., Hamilton, R.D., Sandier, P., Browdy, C.L., Stokes, A.D. (1993): Effect of water exchange rate on production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budgets of intensive shrimp ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 24, 3, 304-320. doi: doi.org/10.1111/j.1749-7345.1993.tb00162.x

Cho, M.; Kim, J.; Kim, J.Y.; Yoon, J.; Kim, J.-H. (2010): Mechanisms of *Escherichia coli* inactivation by several disinfectants. *Water Res.*, 2010, 44, 3410–3418.

Jan, F. A., Ishaq, M., Khan, S., Ihsanullah, I., Ahmad, I., & Shakirullah, M. (2010): A comparative study of human health risks via consumption of food crops grown on wastewater irrigated soil (Peshawar) and relatively clean water irrigated soil (lower Dir). *Journal of Hazardous Materials*, 179(1-3), 612–621. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.03.047

Khan, M. U., Malik, R. N., & Muhammad, S. (2013): Human health risk from Heavy metal via food crops consumption with wastewater irrigation practices in Pakistan. *Chemosphere*, 93(10), 2230–2238. doi:10.1016/j.chemosphere.2013.07.067

Siegrist, L., Mccray, R.J.E. a Lowe, K.S. (2004): Wastewater Infiltration into soil and the effects of infiltrative surface architecture. *Small Flow Quarterly*, 2004, 5, 29-39

Li, H.Y.; Osman, H.; Kang, C.W.; Ba, T. (2017): Numerical and experimental investigation of UV disinfection for water treatment. *Appl. Therm. Eng.*, 2017, 111, 280–291.

Lubello, C.; Caretti, C.; Gori, R. (2002): Comparison between PAA/UV and H₂O₂ /UV disinfection for wastewater reuse. *Water Supply*, 2002, 2, 205–212.

Malchi, T., Maor, Y., Tadmor, G., Shenker, M., Chefetz, B. (2014): Irrigation of Root Vegetables with Treated Wastewater: Evaluating Uptake of Pharmaceuticals and the Associated Human Health Risks, 2014, 48, 16, 9325-9333. ISSN 0013-936X. doi:10.1021/es5017894

NSW Food Authority (2008): Water reuse guideline: For food businesses in NSW considering reusing water. NSW Food Authority, May 2008, NSW/FA/FI023/085.

Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcón J.J., Koukoulakis, P., Asano, T. (2010): Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural waste management*, 2010, 97, 1233-1241. ISSN 0378-3774. doi: doi.org/10.1016/j.agwat.2010.03.003

Pescod, M.B. (1992): Wastewater Treatment and Use in Agriculture – FAO Irrigation and Drainage Paper 47. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Petterson, S.R., Ashbolt, N.J., Sharma, A., (2001): Microbial risks from waste water irrigation of salad crops: a screening-level risk assessment. *Water Environ. Res.*, 73, 667–672.

Rajaganapathy, V., Xavier, F., Sreekumar, D., Mandal, P.K. (2011): Heavy metal contamination in soil, water and fodder and their presence in livestock and products: a review. *J. Environ. Sci. Technol.*, 4, 234–249. doi: 10.3923/jest.2011.234.249

Reed, R.H. (2004): The Inactivation of Microbes by Sunlight: Solar Disinfection as a Water Treatment Process. *Advances in Applied Microbiology*, 2004, 333-365. ISBN 9780120026562. doi:10.1016/S0065-2164(04)54012-1

Shijven, J.F.; Hijnen, W.A.M.; Collin, M.; Magic, A.; Oorthuizen, W. (2008): Removal of Microorganism by Slow Sand Filtration; RIVM Report 330204001; RIVM: Bilthoven, The Netherlands, 2008.

Visser, A., Hijnen, W.A.M., Dullemont, Y., Medema, G.J. (2004): Slow sand filters are effective barriers for microorganism. *H2O* 2004, 37, 26–28.

WHO GUIDELINES FOR THE SAFE USE OF WASTEWATER, EXCRETA AND GREYWATER: Policy and regulatory aspects. WHO [online]. France: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 2010 [cit. 2020-10-30]. Dostupné z:

https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/78265/9241546824_eng.pdf?sequence=1

Wintgens, T., Bixio, D., Thoeye, C., Jeffrey, P., Hochstrat, R., Melin, T. (2002): Reclamation and reuse of municipal wastewater in Europe – current status and future perspectives analysed by the AQUAREC research project: Integrated concepts for reuse of upgraded wastewater [online]. Aquarec, 2002 [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: http://www.iwrm-net.eu/sites/default/files/Aquarec_Policy%20Brief_final_A4.pdf

Wohanka, W. (1995): Disinfection of recirculating nutrient solutions by slow sand filtration. *Acta Horticulturae*, 382, 246–255.doi:10.17660/actahortic.1995.382.28

Literatura k tabulce čís. 6:

Caretti, C.; Lubello, C. Wastewater disinfection with PAA and UV combined treatment: a pilot plant study. *Water Res.* 2003, 37, 2365–2371

Cotillas, S.; Llanos, J.; Castro-Ríos, K.; Taborda-Ocampo, G.; Rodrigo, M.A.; Canizares, P. Synergistic integration of sonochemical and electrochemical disinfection with DSA anodes. *Chemosphere* 2016, 163, 562–568.

Birben, N.C.; Tomruk, A.; Bekbolet, M. The role of visible light active TiO₂ specimens on the solar photocatalytic disinfection of *E. coli*. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2017, 24, 12618–12627.

Naddeo, V.; Landi, M.; Belgiorno, V.; Napoli, R.M.A. Wastewater disinfection by combination of ultrasound and ultraviolet irradiation. *J. Hazard. Mater.* 2009, 168, 925–929.

Bohrerova, Z.; Shemer, H.; Lantis, R.; Impellitteri, C.A.; Linden, K.G. Comparative disinfection efficiency of pulsed and continuous-wave UV irradiation technologies. *Water Res.* 2008, 42, 2975–2982

Literatura k tabulce čís. 7:

Metcalf & Eddy. *Ingegneria Della Acque Reflue, Trattamento e Riuso*; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 2006

Collivignarelli, C.; Sorlini, S. *Potabilizzazione Delle Acque. Processi e Tecnologie*; Dario Flaccovio: Palermo, Italy, 2009; ISBN 978-88-7758-856-2.

Hai, F.I.; Riley, T.; Shawkat, S.; Magram, S.F.; Yamamoto, K. Removal of Pathogens by Membrane Bioreactors: A Review of the Mechanisms, Influencing Factors and Reduction in Chemical Disinfectant Dosing. *Water* 2014, 6, 3603–3630. [CrossRef]

Jacangelo, J.G.; Trussell, R.R.; Watson, M. Role of membrane technology in drinking water treatment in the United States. *Desalination* 1997, 113, 119–127. [CrossRef]

Koivunen, J. *Effects of Conventional Treatment, Tertiary Treatment and Disinfection Processes on Hygienic and Physico-Chemical Quality of Municipal Wastewaters*; Kuopio University Publications, C. Natural and Environmental Sciences 215: Kuopio, Finland, 2007; ISBN 978-951-27-0788-1.

Internet 1

Lenntech [online]. [cit. 2020-10-04]. Dostupné z: <https://www.lenntech.com/membrane-technology.htm>

Internet 2

United States Environmental Protection Agency. Epa.gov.com [online]. [cit. 2020-10-04]. Dostupné z: <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/uv.pdf>

Internet 3

Water research center: Ozonation in water treatment [online]. [cit. 2020-10-04]. Dostupné z: <https://water-research.net/index.php/ozonation>

Internet 4

Lenntech [online]. [cit. 2020-10-04]. Dostupné z: https://www.lenntech.com/water_reuse_agricultural_irrigation.htm

Internet 5

NARIADENIE EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY minimálnych požiadavkách na opätovné využívanie vody. In: . 2020, ročník 2020, 2020/741. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0741&from=CS>

Internet 6

LB Servis [online]. [cit. 2020-10-23]. Dostupné z: <https://www.lbservis.sk/zdravie/germicidna-lampa/>

Internet 7

Wastewater technology fact sheet: Ultraviolet Disinfection [online]. United States Environmental Protection Agency [cit. 2020-10-23]. Dostupné z: <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/uv.pdf>

Internet 8

Food and agriculture organization of the United Nations: FAO [online]. Řím, 1992 [cit. 2020-10-28]. Dostupné z: <http://www.fao.org/3/T0551E/t0551e00.htm#Contents>

Internet 9

State Water Resources Control Board: Regulations Related to Recycled Water. Title 22. California: California Code of Regulations State Board, 2018.

Internet 10

Možnosti využití odpadních vod pro závlahu. Česká technologická platforma pro zemědělství [online]. 2019 [cit. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://www.ctpz.cz/vyzkum/moznosti-vyuziti-odpadnich-vod-pro-zavlahu-1001>