



Återanvändning av avloppsvatten för bevattning inom trädgårdsodling

– ur ett mikrobiologiskt perspektiv

Wastewater reuse for irrigation of agricultural crops – a microbial aspect

Judy Quach

Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för landskapsarkitektur,
trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för biosystem och teknologi
Alnarp 2021



Återanvändning av avloppsvatten för bevattning inom trädgårdsodling – ur ett mikrobiologiskt perspektiv

Wastewater reuse for irrigation of agricultural crops – a microbial aspect

Judy Quach

Handledare: Beatrix Alsanius, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för biosystem och teknologi
Examinator: Lars Mogren, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i Biologi

Kurskod: EX0855

Program/utbildning: Trädgårdsingenjör: odling - kandidatprogram

Kursansvarig inst.: Institutionen för biosystem och teknologi

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2021

Omslagsbild: UN (unwater.org)

Serietitel:

Delnummer i serien:

ISSN:

Nyckelord: bladgrönsaker, folkhälsa, humanpatogener, hållbar vattenförbrukning, kontaminering, livsmedelssäkerhet, mikrobiella faror, rå grönsaker, rå-kost

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur,
trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för biosystem och teknologi

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

<https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Förord

Vatten är en livsviktig resurs som hela världens befolkning delar på – och vi har inte råd att ta den för givet. Detta examensarbete tar upp en viktig framtida strategi för att bidra till en hållbar konsumtion av vatten men också medföljande mikrobiella risker. Med detta examensarbete vill jag belysa betydelsen av säkerhet inom återanvändning av avloppsvatten.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Beatrix Alsanius som inspirerat mig till att skriva om ett så viktigt och tänkvärt ämne. Tack för din värdefulla handledning och stöttning under arbetes gång.

2021-05-20, Judy Quach

Sammanfattning

Jordbrukssektorn kommer fortsatt att vara den största globala vattenförbrukaren under kommande decennier. Oundvikliga klimatförändringar leder samtidigt till begränsad tillgång på sötvatten runt omkring i världen, vilket är en av de största drivkrafterna till jakten på mer okonventionella vattenkällor. Återanvändning av avloppsvatten för bevattningsändamål är mycket omdiskuterat eftersom det kan innehålla humanpatogener som smittar människor via fekal-oral spridning och kan ge upphov till allvarliga mag-tarmsjukdomar. Trenden med hälsosam kost innebär en högre konsumtion av råa grönsaker utan uppvärmning vilket ökar risken för insjuknad. Den nya hälsosamma kosten betonar vikten av användning av rent vatten för bevattning. I detta arbete har majoriteten av analyserade studier misslyckats med att behandla avloppsvatten till den högsta kvaliteten (mindre än 10 CFU *E. coli* per 100 ml vatten). I de flesta studier innehöll det behandlade avloppsvattnet fortfarande 1000 CFU *E. coli* per 100 ml vatten; hundra gånger mer än vad som är tillåtet i den högsta kvaliteten. För att minimera de mikrobiella riskerna för den allmänna folkhälsan måste avloppsvatten behandlas ordentligt och vara av en hög kvalitet för bevattning av kulturer som ofta äts råa utan tillagning, exempelvis bladgrönsaker. Flera studier genomfördes under optimala betingelser som användning av orealistisk matrix och laboratorieodlade mikroorganismer som kan ha påverkat verkningsgraden av reningsbehandlingarna. För att utvärdera effektiviteten av behandlingar i reningsverk måste fler studier göras med användning av autentiskt avloppsvatten och naturligt existerande mikroorganismer.

Nyckelord: bevattning, bladgrönsaker, folkhälsa, humanpatogener, hållbar vattenförbrukning, kontaminering, livsmedelssäkerhet, mikrobiella faror, råa grönsaker, rå-kost

Abstract

The agricultural sector will remain the greatest global water consumer for decades to come. At the same time, inevitable climate change resulting in water scarcity around the world is one of the biggest driving forces in the pursuit of non-conventional water resources. The use of reclaimed water for irrigation purposes is arguable. Wastewater contains numerous human pathogens that infect humans via fecal-oral route and can cause grave gastrointestinal infections. The trend of eating healthy has resulted in a higher consumption of raw vegetables with no heating prior to consumption, thus increasing risk of infection. The new healthy diet emphasizes the importance of using clean water for irrigation. In this report, almost all analyzed studies failed to treat wastewater to the highest quality (less than 10 CFU *E. coli* per 100 ml water). Treated wastewater in most studies still contained more than 1000 CFU *E. coli* per 100 ml water; one hundred times more than what is allowed in the highest quality. To minimize the microbial hazard posed to the public health, wastewater must be treated properly resulting in a high-quality water suited for irrigation of crops that are eaten raw, such as leafy vegetables. Most studies were performed during optimal conditions such as use of unrealistic water matrices and laboratory grown microorganisms, which may have enhanced the treatment effectiveness. More studies using authentic wastewater and natural existing microorganisms are needed to evaluate the effectiveness of treatments in water treatment plants.

Keywords: contamination, food safety, human enteric pathogens, irrigation, leafy vegetables, microbial hazards, public health, raw-eating vegetables, raw food diet, sustainable water management

Innehållsförteckning

Tabellförteckning.....	10
Figurförteckning	12
Ordlista	13
1. Introduktion	14
1.1. Syfte.....	14
1.1.1. Frågeställningar.....	14
1.2. Avgränsningar.....	15
1.2.1. Val av patogena organismer.....	15
1.2.2. Kulturer	15
2. Material och metod	16
3. Resultat	17
3.1. Vattenburna patogena mikroorganismer.....	17
3.2. Bladgrönsaker och bär i fokus.....	18
3.3. EU:s vattenkvalitetskrav	20
3.4. Konventionell avloppsreningsprocess	22
3.4.1. Primärbehandling	22
3.4.2. Sekundärbehandling	22
3.4.3. Filtrering.....	25
3.4.4. Desinfektion.....	27
3.5. Kombinerad desinfektionsbehandling	35
3.6. Gränsvärde för <i>E. coli</i>	37
4. Diskussion	41
4.1. Trenden med hälsosam kost.....	41
4.1.1. Risker med ändrade matvanor i framtiden	41
4.1.2. Faror vid bevattning med upparbetat avloppsvatten	42

4.2.	Effekt av olika reningsbehandlingar	42
4.3.	Effekt av rengöringsprocessen i praktiken	43
5.	Reflektion.....	45
6.	Referenser	47

Tabellförteckning

Tabell 1. Utredda utbrott i Sverige kopplade till färskkonsumerade produkter. Produkterna var kontaminerade med patogena mikroorganismer som <i>Cryptosporidium parvum</i> (<i>C. parvum</i>), <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>), hepatit A, <i>Salmonella Typhimurium</i> samt <i>Yersinia enterocolitica</i> (<i>Y. enterocolitica</i>). Antal HUS-fall (hemolytiskt uremiskt syndrom) står inom parentes under antal insjuknande. (Folkhälsomyndigheten 2021)	19
Tabell 2. Kritiska värden för förekomst av <i>E. coli</i> i återvunnet vatten. (Europaparlamentets och rådets förordning 2020/741)	20
Tabell 3. Prestationsmål vid valideringsövervakning. (Europaparlamentets och rådets förordning 2020/741)	21
Tabell 4. Mängden patogena mikroorganismer som återfanns efter sekundär behandling. Undersökningarna fokuserade på sporer av <i>Clostridium perfringens</i> (<i>Cp</i>), <i>Cryptosporidium parvum</i> (<i>C. parvum</i>), <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>), <i>Giardia</i> sp., kolifager (kolifag MS2) samt sporbildande sulfatreducerande bakterier (SSB). Val av substans för klorering är okänd. Mängden patogena mikroorganismer kvar efter behandling står i antal kolonibildande enheter (CFU slut/100ml).....	24
Tabell 5. Effekt av tertiär behandling med filtrering på valda indikatororganismer i olika matrix. Undersökningarna fokuserade på sporer av <i>Clostridium perfringens</i> (<i>Cp</i>), <i>Cryptosporidium parvum</i> (<i>C. parvum</i>), <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) samt kolifager. Mängden patogena mikroorganismer kvar efter behandling står i antal kolonibildande enheter (CFU/100ml).	26
Tabell 6. Effekt av behandling med klorin och klordioxid på valda indikatororganismer i olika matrix. Undersökningarna fokuserade på <i>Cryptosporidium parvum</i> (<i>C. parvum</i>), <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>), kolifager (kolifag MS2) samt somatiska kolifager. Exponeringstid står i antal minuter. Mängden patogena mikroorganismer kvar efter behandling står i antal kolonibildande enheter (CFU/100ml).....	29
Tabell 7. Effekt av behandling med ozon på valda indikatororganismer i olika matrix. Undersökningarna fokuserade på <i>Cryptosporidium parvum</i> (<i>C. parvum</i>), <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) samt kolifager (kolifag MS2). Mängden patogena mikroorganismer kvar efter behandling står i antal kolonibildande enheter (CFU/100ml).....	32

- Tabell 8.** Effekt av behandling med UV på valda indikatororganismer i olika matrix. Undersökningarna fokuserade på *Cryptosporidium parvum* (*C. parvum*), *Escherichia coli* (*E. coli*) samt kolifager (kolifag MS2 och somatiska kolifager). Exponeringstiden är skriven i antal sekunder. Mängden patogena mikroorganismer kvar efter behandling står i antal kolonibildande enheter (CFU/100ml).....34
- Tabell 9.** Effekt av kombinerade desinfektionsbehandlingar (ozon, klorering, UV) på *E. coli* i olika matrix. Parametrarna ”behandling”, ”dos” och ”exponeringstid” står i den ordning som de tillämpades i studien. Parametrarna på första raden avläses som ”ozon-behandling följt av klorin-behandling; ozon-dos var 5 mg/L och klorin-dos var 4 mg/L; exponeringstid för ozon-behandling var 10 minuter och exponeringstid för klorin-behandling var 30 minuter”. Mängden *E. coli* kvar efter de kombinerade behandlingar står i antal kolonibildande enheter (CFU/100ml).36
- Tabell 10.** Uppnådda vattenklasser (A-D) efter de olika reningsbehandlingar med *E. coli* som indikatororganism, baserat på EU-direktiv 2020/741 (Europaparlamentets och rådets förordning 2020/741). Mängden *E. coli* före (start) och efter (slut) behandling står i antal kolonibildande enheter (CFU). Grön markering innebär att vattenklassen är uppnådd; ingen markering innebär att vattenklassen inte är uppnådd.39

Figurförteckning

Figur 1. Förenklad bild över flödet i reningsprocessen. Fetmarkerade pilar indikerar vattenflödets riktning.	22
--	----

Ordlista

Indikatororganism	En organism som indikerar på fekala föroreningar eller förekomst av andra mikroorganismer i vattnet
Log ₁₀ -reduktion	Ett mått på hur koncentrationen av en viss organism reduceras efter en desinfektionsprocess
Matrix	Mediet som en behandling har utförts i
Primärvatten	Vatten som genomgått primärbehandling i ett reningsverk
Sekundärvatten	Vatten som genomgått sekundärbehandling i ett reningsverk

1. Introduktion

Vattenbrist är listad som en av de största utmaningar som mänskligheten möter (WEF 2016). Klimatförändringar bidrar till att de torra delarna av världen blir allt torrare vilket innebär att alltfler väntas leva med vattenbrist. Den ojämna fördelningen och begränsade tillgången på sötvatten runt omkring i världen är en av de starkaste drivkrafterna bakom idén att använda avloppsvatten som en vattenresurs, främst inom trädgård- och jordbruket (WHO 2006). På en global nivå är jordbrukssektorn just nu den största vattenförbrukaren och använder 70% av allt sötvatten som finns på jorden (FAO 2015). Samtidigt ökar världsbefolkningen vilket ökar efterfrågan på vatten inom jordbruks- och trädgårdsproduktionen. Den areella sektorn kommer därför att fortsätta vara den största vattenförbrukaren de kommande decennierna. I syfte att uppnå en mer hållbar konsumtion av vatten har alltfler länder visat intresse för att använda behandlat avloppsvatten för bevattningsändamål.

Ett flertal utbrott relaterat till färska frukter och grönsaker har skett i Europa under de senaste åren. Patogena mikroorganismer kan orsaka milda mag-tarminfektioner hos människan vilket leder till diarréer och kräkningar som ofta går över utan behandling, men i en del fall kan infektioner vara livshotande. Ett av de mer kända utbrotten i Sverige inträffade år 2005 och orsakades av *Escherichia coli* (EHEC) O157:H7. Totalt insjuknade 135 personer efter att ha konsumerat färsk sallad som hade bevattnats med kontaminerat vatten (Folkhälsomyndigheten 2020). Av dessa drabbades 11 av hemolytiskt uremiskt syndrom (HUS), en form av njursvikt som kräver långvarig högteknologisk sjukvård och kan leda till döden.

1.1. Syfte

Syftet med denna uppsats är att undersöka mikrobiella faror vid återanvändning av avloppsvatten för bevattning inom jordbruk ur ett hälsoperspektiv.

1.1.1. Frågeställningar

Studien kommer att utgå ifrån följande frågeställningar:

- 1) Vilka patogena mikroorganismer förekommer i avloppsvatten?

- 2) Vilka krav finns det på vattenkvalitet för återvunnet vatten avsett för bevattning inom jordbruk enligt EU:s lagstiftning som Sverige följer?
- 3) Vilka behandlingar utförs och hur effektiva är dessa på att eliminera olika typer av patogena mikroorganismer?

1.2. Avgränsningar

I denna del redogörs vilka patogena organismer som valts ut och vilka kulturer som är tänkt ska bevattnas med det renade avloppsvattnet i detta arbete.

1.2.1. Val av patogena organismer

Studien behandlar bakterier, virus och parasitära protozoer som förekommer i avloppsvatten via mänsklig avföring och som ger upphov till mag-tarminfektioner. Mag-tarminfektioner orsakas ofta av patogener som smittar människor via fekal-oral spridning, det vill säga från avföring till mun. Vid defekation (utsöndring av avföring) kan en smittad person tillföra höga mängder av dessa patogener till avloppsvattnet.

Studien har främst fokus på de bakterier, virus och parasitära protozoer som valts ut som indikatororganismer enligt EU:s lagstiftning. Bland dessa används *Escherichia coli* (*E. coli*) som indikatororganism för bakterier, kolifager för virus och *Clostridium perfringens* sporer för protozoer. Alternativa indikatororganismer som *Cryptosporidium* undersöks också då denna organism kan användas som indikatororganism för fekala föroreningar.

1.2.2. Kulturer

Val av kultur har bestämts efter riskbedömning av infektion hos människan. Denna studie kommer att behandla de växtbaserade trädgårdsprodukter som ofta konsumeras råa. Växtbaserade produkter som konsumeras råa, som exempelvis bladgrönsaker, löper större risk att orsaka sjukdom hos människor i och med att de inte värms upp före konsumtion. Andra produkter som är avsedda för någon form av upphettning före konsumtion har en mycket lägre negativ hälsopåverkan. Växtbaserade produkter som inte är avsedda som människoföda, exempelvis djurfoder, har uteslutits i detta arbete.

2. Material och metod

Studien har utförts som en litteraturstudie. Litteratur har hämtats främst från databasen Web of Science och innefattar artiklar från ett flertal olika journaler främst från Elsevier, PubMed och Water Science and Technology. Tidsperioden som tillämpades var mellan 1945–2021 (all years) i databasen, vilket är den automatiskt valda tidsperioden. Sökningen genomfördes under vecka 5 till vecka 13, 2021.

Sökord som användes var: “reclaimed water”, “disinfection efficiency”, “inactivation of microorganisms”, “ozone”, “chlorine”, “UV”, “wastewater treatment”. Studier publicerade i vetenskapliga tidskrifter (peer-review) och rapporter från etablerade nationella och internationella organisationer inkluderades.

Årliga Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF) rapporter har sökts under perioden 2010–2020 och hämtats direkt från European Commissions hemsida.

Lagstiftning kring återanvändning av vatten har hämtats från EUR-Lex, en webbportal till EU-rätten. Webbportalen drivs av Europeiska unionens publikationsbyrå.

Utreda utbrott i Sverige har hämtats från Folkhälsomyndighetens utbrottsarkiv.

Övriga publikationer och rapporter har hämtats från etablerade internationella organisationer som World Health Organization (WHO), United Nations (UN) och Food and Agriculture Organization (FAO).

Sökprocessen gjordes i tre steg; (1) screening av studier utifrån sökord och rubrik, (2) sällning av undersökningar utifrån sammanfattning och (3) djupanalys av resterande publikationer.

3. Resultat

I denna del presenteras och förklaras resultat som hämtats från litteraturen utifrån de ställda frågeställningarna.

3.1. Vattenburna patogena mikroorganismer

Mänsklig avföring kan innehålla höga mängder patogena mikroorganismer som hamnar i avloppsvattnet. Många av dessa patogena mikroorganismer koloniserar mag-tarmkanalen hos människor och kan orsaka både milda och allvarliga infektioner. I en del fall kan de även vara dödliga. Sjukdomar som har kunnat associeras till avloppsvatten eller mänsklig avföring är bland annat tyfoidfieber, Cryptosporidium-infektioner, vinterkräksjuka och hepatit A, vilka orsakas av olika vattenburna patogener (WHO 2006).

Sjukdomsalstrande tarmbakterier som patogena *E. coli*, *Salmonella*, *Shigella* och *Yersinia* förekommer över hela världen. *Shigella* är den vanligaste orsaken till diarré i många låginkomstländer på grund av hygienbrist medan *E.coli* och *Salmonella* är relativt vanligt förekommande även i mellan- och höginkomstländer. En del patogena bakterier är toxinproducerande. Bland *E. coli* är den shigatoxinproducerande stammen (EHEC) av särskilt intresse då de orsakar blödande tarminfektioner. I en del fall kan de också vara livshotande och orsaka hemolytisk uremisk syndrom (HUS), särskilt om det drabbar yngre barn eller äldre personer (Karmali, 1989). Shigatoxiner produceras även av *Shigella*. *Clostridium perfringens* är en annan toxinproducerande bakterie, som även kan bilda sporer vilket gör att den klarar av högre temperaturer än icke-spor bildande bakterier (Lund & Peck 2015).

Patogena virus som norovirus och hepatit A är några av de vanligaste orsakerna till maginfektioner som yttrar sig i form av diarré, kräkningar och buksmärter (Hedberg & Osterholm 1993). Norovirus är den vanligaste orsaken till mag-tarminfektioner både i låg- och höginkomstländer och resulterar ofta i utbrott under vinterhalvåret. Risk för infektion av hepatit A, däremot, är högre i låg- och medelinkomstländer där de hygieniska förhållandena är sämre (WHO 2020). Närmare 90% av alla barn i de mest utsatta länderna har drabbats av infektion före 10 års ålder. I

höginkomstländer där de sanitära förhållandena är goda, löper resande personer större risk att infekteras, men risken för ett större utbrott är relativt liten. Ett stort utbrott av hepatit A skedde i Kina 1988 där närmare 300 000 personer insjuknade efter att ha ätit musslor utan ordentlig upphettning (Halliday et al. 1991).

Parasitära protozoer som *Cryptosporidium* har tidigare påträffats i dricksvatten och orsakat stora utbrott. Det största rapporterade *Cryptosporidium*-utbrottet i Europa skedde i Östersund i Sverige år 2010 vilket resulterade i att 27 000 personer blev sjuka (Widerström et al. 2014). Utbrottet i Östersund är det näst största utbrottet på en global nivå efter utbrottet i Milwaukee år 1993 som drabbade cirka 403 000 personer (Osewe et al. 1996). I båda fall rörde det sig om kontaminerat dricksvatten.

3.2. Bladgrönsaker och bär i fokus

Antalet rapporterade matförgiftningar relaterat till trädgårdsprodukter som äts råa har ökat mycket under de senaste åren (Chatziprodromidou et al. 2018). Samtidigt som antalet magsjukor ökar är det tydligt att konsumtionen av färska råvaror som sallader, spenat och andra grönsaker också har ökat (SCB 2020). Mer än hälften av de rapporterade utbrotten mellan år 1980–2016 har orsakats av kontaminerade bladgrönsaker som sallad och spenat. Patogena mikroorganismer som låg bakom utbrotten har identifierats främst som *E. coli*, *Salmonella*, norovirus och hepatit A (Machado-Moreira et al. 2019). Frysta bär har också varit mycket uppmärksammat, särskilt i Europa då denna grupp av trädgårdsprodukter upprepade gånger har varit kontaminerade med norovirus och hepatit A under de senaste tio åren (European Commission 2013, 2016, 2019). Sverige har haft ett fåtal utredda utbrott kopplade till färska frukter och grönsaker under senaste årtiondet (tabell 1). Flera olika patogener har legat bakom utbrotten, bland annat *E. coli*, *Yersinia enterocolitica* (*Y. enterocolitica*), *Cryptosporidium parvum* (*C. parvum*) och hepatit A (Folkhälsomyndigheten 2021). Ingen har avlidit till följd av utbrotten. Vanliga spridningsvägar för kontaminering i samtliga rapporterade utbrott har varit genom; 1) kontaminerat växtmaterial, 2) kontaminerat vatten eller 3) mänskliga kontakter.

Tabell 1. Utredda utbrott i Sverige kopplade till färskkonsumerade produkter. Produkterna var kontaminerade med patogena mikroorganismer som *Cryptosporidium parvum* (*C. parvum*), *Escherichia coli* (*E. coli*), hepatit A, *Salmonella* Typhimurium samt *Yersinia enterocolitica* (*Y. enterocolitica*). Antal HUS-fall (hemolytiskt uremiskt syndrom) står inom parentes under antal insjuknande. (Folkhälsomyndigheten 2021)

År	Produkt	Organism	Antal insjuknande	Antal avlidna
2021	Isbergssallad	<i>Y. enterocolitica</i>	53	Inga
2019– 2020	Spenat (färskpressad dryck)	<i>C. parvum</i>	122	Inga
2019	Tomat	<i>Salmonella</i> Typhimurium	75	Inga
2019	Spenat	<i>Y. enterocolitica</i>	37	Inga
2018	Sallad	<i>E. coli</i> O157:H7	116 (14)	Inga
2018	Jordgubbar	Hepatit A	20	Inga
2013	Sallad	<i>E. coli</i>	29	Inga
2013	Jordgubbar	Hepatit A	16	Inga
2005	Sallad	<i>E. coli</i> O157:H7	135 (11)	Inga

3.3. EU:s vattenkvalitetskrav

År 2020 vann en ny EU-förordning laga kraft om minimikrav för återvunnet vatten avsett för bevattning inom jordbruket (Europaparlamentets och rådets förordning 2020/741). I denna förordning delas kvalitetskraven in i fyra klasser (A-D) och varje klass har ett gränsvärde för antalet tillåtna *E. coli* per 100 ml vatten, vilket inte får överskridas (tabell 2). *E. coli* i detta sammanhang refererar till generell förekomst av *E. coli* som indikatororganism. Detta omfattar både patogena och icke-patogena *E. coli*. Enligt förordningen är det tillåtet för vatten av kvalitetsklass A (vatten som innehåller ≤ 10 *E. coli* per 100 ml vatten) att komma i kontakt med de ätliga delarna på kulturerna. Vatten som innehåller ≥ 10 *E. coli* per 100 ml vatten (klass B-D) får inte komma i direkt kontakt med de ätliga delarna. Bevattningsmetoder som tillåts användas vid bevattning av kvalitetsklass C-D är droppbevattning eller annan bevattningsmetod som undviker direkt kontakt mellan avloppsvattnet och de ätliga delarna av kulturen. För vatten av kvalitetsklass A finns ingen begränsning på vilka bevattningsmetoder som får användas eftersom det är tillåtet att avloppsvattnet kommer i kontakt med de ätliga delarna av kulturen.

Tabell 2. Kritiska värden för förekomst av *E. coli* i återvunnet vatten. (Europaparlamentets och rådets förordning 2020/741)

Kvalitetsklass	<i>E. coli</i> (antal/100 ml)
A	≤ 10
B	≤ 100
C	$\leq 1\ 000$
D	$\leq 10\ 000$

Valideringsövervakning ska också utföras på nya anläggningar för att säkerställa att de strängaste kraven i förordningen för återvunnet vatten kan uppfyllas. Vid valideringsövervakning övervakas huruvida prestationsmålen (\log_{10} -reduktion) nås för patogena bakterier, virus och parasitära protozoer. Indikatororganismer som övervakas är *E. coli* (för patogena bakterier), F-specifika kolifager, somatiska kolifager eller totala kolifager (för patogena virus) samt *Clostridium perfringens* sporer eller sporbildande sulfatreducerande bakterier (för parasitära protozoer) (tabell 3).

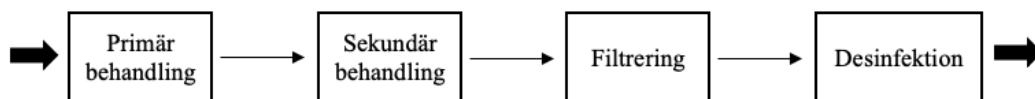
Tabell 3. Prestationsmål vid valideringsövervakning. (Europaparlamentets och rådets förordning 2020/741)

Kvalitetsklass för återvunnet vatten	Indikatormikroorganismer (*)	Prestationsmål (log ₁₀ -reduktion)
A	<i>E. coli</i>	≥ 5,0
	Totalt antal kolifager/F-specifika kolifager/somatiska kolifager/kolifager	≥ 6,0
	<i>Clostridium perfringens</i> -sporer/sporbildande sulfatreducerande bakterier	≥ 4,0 (för <i>Clostridium perfringens</i> -sporer) ≥ 5,0 (för sporbildande sulfatreducerande bakterier)

(*) Referenspatogenen *Cryptosporidium* får också användas för valideringsövervakningen istället för de föreslagna indikatormikroorganismerna. I sådana fall ska följande prestationsmål tillämpas: *Cryptosporidium* (≥ 5,0).

3.4. Konventionell avloppsreningsprocess

Avloppsvatten genomgår en kombination av flera olika fysiska, biologiska och kemiska behandlingar i syfte att rengöras från bland annat kemikalier, organiskt material och mikroorganismer. Behandlingarna kan delas in i tre steg: primär behandling (steg 1), sekundär behandling (steg 2) samt tertiär/avancerad behandling (steg 3). Dessa tre steg kallas också för mekanisk rening, biologisk rening respektive kemisk rening. De olika behandlingarna kan utföras med olika metoder. En förenklad schematisk bild över reningsprocessen syns i figur 1. Det obehandlade avloppsvattnet kommer in i reningsverket och exponeras för en primär behandling (steg 1) och går sedan vidare till sekundär behandling (steg 2). I en del fall sker en filtreringsprocess (steg 3) direkt efter sekundär behandling och avslutas med en desinfektionsbehandling före utsläpp eller användning av vattnet. Om filtrering inte tillämpas på ett reningsverk sker desinfektion direkt efter sekundär behandling. Avancerade behandlingar innebär vanligtvis tillsats av kemikalier för flockning så att föroreningar binds och sedimenterar. På så sätt kan de avlägsnas från vattnet. Avancerade behandlingar tillämpas ofta i samband med primär, sekundär eller tertiär behandling.



Figur 1. Förenklad bild över flödet i reningsprocessen. Fetmarkerade pilar indikerar vattenflödets riktning.

3.4.1. Primärbehandling

Primärbehandling har i syfte att rensa bort större föremål från avloppsvattnet. Vattnet passerar ett galler som fångar upp stora föremål medan mindre föremål som sand och andra tunga partiklar sedimenterar. I slutet av denna process kan det förekomma tillsats av kemikalier för att rena vattnet från fosfor genom flockning och sedimentering. Vatten som genomgått primärbehandling kommer härnäst att benämnas som "primärvatten".

3.4.2. Sekundärbehandling

Den sekundära behandlingen består av en biologisk reningsprocess. Vanliga aeroba metoder som används i sekundär behandling är aktivslamprocess och biofilmprocess. Båda metoder utnyttjar mikroorganismer i vattnet för att bryta ner större föroreningar, vilket kräver en aerob miljö. Metoderna kan utföras enskilt eller i kombination efter varandra (exempelvis aktivslam följt av biofilmprocess).

Under aktivslamprocessen används de naturliga mikroorganismer som finns i avloppsvattnet för att bryta ner organiskt material. Under processens gång klumpar mikroorganismerna ihop sig till större partiklar, eller slam, och blir tillräckligt stora för att kunna separeras från vattnet.

Biofilmprocessen går ut på att avloppsvattnet hålls över biobärare som koloniserar av mikroorganismer. Mikroorganismer bildar en biofilm på biobärarens yta som sedan stödjer nedbrytning av organiskt material i vattnet.

Det behandlade vattnet efter sekundär behandling (kommer härmed att benämnas som "sekundärvatten") behöver inte nödvändigtvis genomgå en tertiär behandling. Sekundärvattnet kan ibland följas av en desinfektionsbehandling för att reducera antalet patogena mikroorganismer före utsläpp.

I tabell 4 har \log_{10} -reduktion av valda indikatororganismer under sekundär behandling sammanställts utifrån litteraturuppgifter. Dekontaminering har undersökts i olika modellstudier. Dessa utgår från olika medier, i vilka indikatororganismerna inokulerats i. Exempel på sådana medier är fosfatbuffert (PBS) (Finch & Li 2010; Rochelle et al. 2005; Meng & Gerba 1996; Calgua et al. 2014), autoklaverat vatten (Shi et al. 2021; Tree et al. 2003; Jamil et al. 2017; Fang et al. 2014) och riktigt avloppsvatten (Wen et al. 2009; Medeiros et al. 2019; Chauret et al. 1999; Kadam et al. 2008; Suwa & Suzuki 2008; Langenbach et al. 2009; Hassahballah et al. 2020). Inom ramen för detta arbete används begreppet "matrix" som ett samlingsbegrepp för dessa olika medier.

Tabell 4. Mängden patogena mikroorganismer som återfanns efter sekundär behandling. Undersökningarna fokuserade på sporer av *Clostridium perfringens* (Cp), *Cryptosporidium parvum* (*C. parvum*), *Escherichia coli* (*E. coli*), *Giardia* sp., kolifager (kolifag MS2) samt sporbildande sulfatreducerande bakterier (SSB). Val av substans för klorering är okänd. Mängden patogena mikroorganismer kvar efter behandling står i antal kolonibildande enheter (CFU slut/100ml).

Reningssteg	Matrix	Organism	CFU start/ml	Log start	Log slut	CFU slut /100ml	Referens
Aktivslam	Primärvatten	Cp sporer	310	2,49	1,22	1 664	Wen et al. 2009
Aktivslam	Obehandlat avloppsvatten	Cp sporer	380	2,58	1,76	5 700	Medeiros et al. 2019
Aktivslam + klorering	Primärvatten	Cp sporer	210	2,32	1,43	2 705	Chauret et al. 1999
Aktivslam	Primärvatten	<i>C. parvum</i>	17,80	1,25	-1,16	6,93	Wen et al. 2009
Aktivslam	Obehandlat avloppsvatten	<i>C. parvum</i>	0,31	-0,51	-1,47	3,40	Medeiros et al. 2019
Aktivslam + klorering	Primärvatten	<i>C. parvum</i>	12,50	1,10	-1,86	1,37	Chauret et al. 1999
Aktivslam	Primärvatten	<i>E. coli</i>	180 000	5,26	3,20	156 773	Wen et al. 2009
Aktivslam	Obehandlat avloppsvatten	<i>E. coli</i>	58 000	4,76	2,11	12 984	Medeiros et al. 2019
Aktivslam	Primärvatten	<i>Giardia</i> sp.	7,42	0,87	-1,62	2,40	Wen et al. 2009
Aktivslam	Primärvatten	Kolifag MS2	290 000 000	8,46	6,61	409 635 887	Wen et al. 2009
Aktivslam	Primärvatten	SSB	440	2,64	1,37	2 362	Wen et al. 2009
Aktivslam + klorering	Primärvatten	Somatiska kolifager	2000	3,30	1,72	5 260	Chauret et al. 1999

3.4.3. Filtrering

Filtrering räknas som den tertiära behandlingen i en reningsprocess men utförs inte på alla reningsverk. I de fall som filtrering tillämpas i processen sker detta efter den sekundära behandlingen och följs sedan upp av desinfektion. Vid filtrering passerar avloppsvattnet ett filter som kan bestå av sand i olika kornstorlekar. På så sätt fastnar mikroorganismerna i filtret och separeras från vattnet. Verkningsgraden av filtrering beror bland annat på kolonnens egenskaper, såsom, packningsmaterial (filtermaterial), partikelstorlek och kolonnens höjd. Utöver detta spelar flödes hastigheten en viktig roll.

Resultaten från filtrering presenteras i tabell 5. Fyra behandlingar utfördes med *E. coli* som indikatormikroorganism och log₁₀-reduktionerna varierade mellan 1,85–2,54 (Kadam et al. 2008; Langenbach et al. 2009). Tre av dessa behandlingar utfördes som en långsam filtrering av sekundärvatten där filtermaterialet bestod av sand i olika kornstorlekar. Den första behandlingen hade sandpartiklar av den minsta kornstorleken medan den sista behandlingen hade sandpartiklar av den största kornstorleken. D₁₀ är ett mått på andelen sandpartiklar som är mindre än en viss storlek. D₁₀ var 0,25; 0,38 respektive 0,82 mm i behandlingarna, ordnat från den första behandlingen till den sista. Detta innebär att 10% av sandpartiklarna i samtliga behandlingar var mindre än 0,25; 0,38 respektive 0,82 mm medan 90% av sandpartiklarna var större. Vid filtrering med mindre sandpartiklar syntes en tydligt högre log₁₀-reduktion jämfört med större partiklar. Med finare (mindre i storlek) sandpartiklar uppnåddes som högst 2,54 log-reduktion (>99%) och en bakteriehalt på 29 kolonibildande enheter (CFU) per 100 ml efter processen. Med större sandpartiklar på 0,82 millimeter uppnåddes endast 1,85 log-reduktion (<99%) och resulterade i 142 CFU/100 ml vatten.

Eliminering av oocystor av *C. parvum* genom långsamfiltrering (sandfilter) studerades med och utan tillsats av polyaluminiumklorid (PAC) som bidrar till flockning (Suwa & Suzuki 2003). Vid tillsats av PAC före filtrering uppnåddes 2,6 log-reduktion (>99%) jämfört med 0,6 log-reduktion (<90%) i filtrering utan tillsats av kemikalier.

Tabell 5. Effekt av tertiär behandling med filtrering på valda indikatororganismer i olika matrix. Undersökningarna fokuserade på sporer av *Clostridium perfringens* (Cp), *Cryptosporidium parvum* (*C. parvum*), *Escherichia coli* (*E. coli*) samt kolifager. Mängden patogena mikroorganismer kvar efter behandling står i antal kolonibildande enheter (CFU/100ml).

Matrix	Organism	D₁₀	Log₁₀- reduktion	CFU/100ml	Referens
Obehandlat avloppsvatten	Cp sporer	N/A	2,1	33 361	Kadam et al. 2008
Sekundärvatten	<i>C. parvum</i>	N/A	0,6	3,40	Suwa & Suzuki 2003
Sekundärvatten ^a	<i>C. parvum</i>	N/A	2,6	0,05	Suwa & Suzuki 2003
Obehandlat avloppsvatten	<i>E. coli</i>	N/A	1,9	13 848	Kadam et al. 2008
Sekundärvatten	<i>E. coli</i>	0,25	2,54	29,08	Langenbach et al. 2009
Sekundärvatten	<i>E. coli</i>	0,38	2,3	50,53	Langenbach et al. 2009
Sekundärvatten	<i>E. coli</i>	0,82	1,85	142,41	Langenbach et al. 2009
Avloppsvatten ^a	Kolifager	N/A	1,6	4 772	Kadam et al. 2008

a= avancerad behandling (tillägg av PAC); N/A= informationen ej tillgänglig

3.4.4. Desinfektion

Desinfektionssteget utförs ofta i slutet av hela reningsprocessen, alltså efter sekundär eller tertiär behandling, givet att tertiär behandling tillämpas på reningsverket. Den vanligaste metoden för desinfektion är tillsättning av klorin, men användning av ozon och UV-strålning är också förekommande.

Natriumhypoklorit (NaClO) och klordioxid (ClO₂)

Desinfektion med hjälp av klorering kan genomföras med olika substanser som natriumhypoklorit (klorin) eller klordioxid. Klorin är starkt oxiderande och effektiviteten är beroende av vattnets pH-värde. Vid tillsättning av klorin kan oönskade biprodukter som olika halogener bildas. Klordioxid är ett annat oxiderande desinfektionsmedel som fått större uppmärksamhet på grund av att det inte bildas oönskade biprodukter i vattnet och effektiviteten inte är pH-beroende. Klordioxid förekommer i gasform och kan inte förvaras utan måste produceras på plats.

Resultatet av behandlingar med klorin eller klordioxid presenteras i tabell 6. Endast en studie har hittats som berör behandling med klordioxid (Finch & Li 2010) medan resterande studier använde klorin (Hassahballah et al. 2020; Shi et al. 2021; Tree et al. 2003).

Behandlingen som utfördes med klordioxid gjordes i två temperaturer med *C. parvum* som indikatororganism (Finch & Li 2010). I en låg temperatur (1°C) uppnåddes endast 0,6 log-reduktion medan i en högre temperatur (22°C) uppnåddes 1,8 log-reduktion.

Resterande behandlingar utfördes med klorin. Två behandlingar utfördes med somatiska kolifager som indikatororganism med olika exponeringstider (Hassahballah et al. 2020). Dos av klorin var 2 mg/L i båda behandlingar men exponeringstiden var 10 minuter respektive 30 minuter. I första behandlingen med kortare kontakttid uppnåddes 0,71 log-reduktion medan den andra behandlingen uppnådde 0,94 log-reduktion. Två andra behandlingar utfördes under samma förhållanden fast med *E. coli* som indikatororganism. Dos av klorin var 2 mg/L i båda behandlingar och exponeringstiden var 10 respektive 30 minuter. I första behandlingen med lägre kontakttid uppnåddes 2,48 log-reduktion medan den andra behandlingen uppnådde 3,17 log-reduktion. Samtliga behandlingar tyder på att desinfektion med klorin var mer effektiv mot bakterier än virus då behandlingarna med somatiska kolifager inte kunde uppnå 1 log-reduktion (<90%) medan behandlingar med *E. coli* som högst kunde uppnå 3,17 log-reduktion (>99,9%). I sterilt sekundärvatten eliminerades *E. coli* upp till 5 log (>99,999%) med en

kontakttid på 30 minuter och en dubbelt så hög dos klorin på 4 mg/L (Shi et al. 2021). Vid en högre dos klorin på 8 mg/L krävdes det endast en exponeringstid på 5 minuter för att uppnå 5 log-reduktion (>99,999%) i sterilt primärvatten (Tree et al. 2003). En enda behandling som utfördes i sterilt primärvatten med kolifag MS2 som indikatororganism använde en mycket högre dos av klorin (30 mg/L) men kunde bara uppnå 1 log-reduktion trots en exponeringstid på 30 minuter.

Resultaten indikerar på att de valda indikatororganismerna har olika hög resistens mot desinfektion med klorin. Bakterier uppvisade en hög känslighet och kunde elimineras upp till 99,999% (5 log-reduktion) vid låga doser som 4 mg/L. Indikatororganismer för virus (kolifag MS2 och somatiska kolifager) kunde endast elimineras upp till 90% (1 log-reduktion) trots en hög dos på 30 mg/L.

Tabell 6. Effekt av behandling med klorin och klordioxid på valda indikatororganismer i olika matrix. Undersökningarna fokuserade på *Cryptosporidium parvum* (*C. parvum*), *Escherichia coli* (*E. coli*), kolifager (kolifag MS2) samt somatiska kolifager. Exponeringstid står i antal minuter. Mängden patogena mikroorganismer kvar efter behandling står i antal kolonibildande enheter (CFU/100ml).

Matrix	Organism	Temperatur (C°)	pH	Dos (mg/L)	Exponeringstid (min)	Log ₁₀ -reduktion	CFU/100ml	Referens
PBS	<i>C. parvum</i>	1	6,1	4,8 ^b	30	0,6	N/A	Finch & Li 2010
PBS	<i>C. parvum</i>	22	6,1	4,8 ^b	30	1,8	N/A	Finch & Li 2010
Sekundärvatten	<i>E. coli</i>	RT	N/A	2 ^a	10	2,48	331,13	Hassahballah et al. 2020
Sekundärvatten	<i>E. coli</i>	RT	N/A	2 ^a	30	3,17	67,61	Hassahballah et al. 2020
Sterilt sekundärvatten	<i>E. coli</i>	RT	N/A	4 ^a	30	5	20 000	Shi et al. 2021
Sterilt primärvatten	<i>E. coli</i>	15	8,1	8 ^a	5	5	1 000	Tree et al. 2003
Sterilt primärvatten	Kolifag MS2	15	8,1	30 ^a	30	1	1 000 000	Tree et al. 2003
Sekundärvatten	Somatiska kolifager	RT	N/A	2 ^a	10	0,71	1 949	Hassahballah et al. 2020
Sekundärvatten	Somatiska kolifager	RT	N/A	2 ^a	30	0,94	1 148	Hassahballah et al. 2020

PBS= fosfatbuffert; RT= rumstemperatur; N/A= informationen ej tillgänglig; ^a= klorin; ^b= klordioxid (ClO₂)

Ozon

Ozon verkar oxiderande och används vanligtvis i reningsverk som desinfektion för att minska det mikrobiologiska innehållet i vattnet. Behandlingsresultat med ozon finns i tabell 7. Behandlingar utförda med *C. parvum* som indikatororganism i fosfatbuffert uppnådde högre log₁₀-reduktion (>99,9%) i högre temperaturer jämfört med lägre (Finch & Li 2010). Exponeringstiden kunde också reduceras i högre temperaturer och fortfarande åstadkomma en högre log₁₀-reduktion än i lägre temperaturer.

Studier som använde *E. coli* som indikatororganism utfördes i en rad olika matrix; sterila och icke sterila vatten (Shi et al. 2021; Tripathi et al. 2011), destillerat vatten (Jamil et al. 2017), kranvatten samt ultrarent vatten (Fang et al. 2014). I dessa undersökningar varierades också andra parametrar såsom temperatur och pH. I sekundärvatten som genomgått en sekundärbehandling kunde *E. coli* elimineras effektivare vid högre ozondoser (Tripathi et al. 2011). Vid en låg ozondos på 5 mg/L krävdes en exponeringstid på 10 minuter för att uppnå 1,34 log-reduktion (>90%). Vid en ökning av ozondos till 15 mg/L kunde exponeringstiden reduceras till 2 minuter och uppnå 3,02 log-reduktion (>99,9%). Behandlingen som gjordes med den låga ozondosen (5 mg/L) kan jämföras med en liknande behandling som utfördes i sterilt sekundärvatten (Shi et al. 2021). Behandlingen som utfördes i sterilt sekundärvatten utsattes för samma ozondos (5 mg/L) och lika lång exponeringstid (10 minuter) men lyckades åstadkomma en log-reduktion på 5,3log (>99,999%). Den enda kända skillnaden mellan behandlingarna var vattenmatrix – den förstnämnda utfördes i ett icke-sterilt vatten medan den sistnämnda utfördes i sterilt vatten.

Behandlingar som genomfördes i destillerat vatten med *E. coli* gjordes i olika temperaturer och pH (Jamil et al. 2017). De två första behandlingar utfördes i samma temperatur, 25°C, men i olika pH. Effektivare eliminering av *E. coli* observerades i behandlingen som utfördes i pH 6 (4,98log) än i pH 8 (2,76log). Detta indikerar att pH-värdet påverkade ozonbehandlingens verkningsgrad. De sista tre behandlingar utfördes i olika temperaturer; 15, 25 och 35°C. För varje 10°C ökning i vattnet följdes en högre log₁₀-reduktion. När behandlingen utfördes med en dos på 1,7 mg/L i 15°C uppnåddes en 3 log-reduktion efter 60 sekunder (1 minut). Med en 10°C ökning, det vill säga när behandlingen utfördes i 25°C, med samma dos, kunde en 3 log-reduktion åstadkommas redan efter 10 sekunder. I 35°C räckte det med en dos på 1,7 mg/L och en kontakttid på 60 sekunder för att uppnå en 5 log-reduktion.

Behandlingar som utfördes i kranvatten och ultrarent vatten uppnådde avsevärt lägre \log_{10} -reduktioner (0,2–1 log). Dessa studier är inte jämförbara med de tidigare nämnda undersökningar då en betydligt lägre ozondos på 0,05–1 mg/L användes. Behandlingarna påvisade, trots låga \log_{10} -reduktioner, att vattenkvalitet har en betydande effekt på verkningsgrad. I en betydligt renare matrix, i detta fall ultrarent vatten, uppnåddes en 1,2 log-reduktion medan i kranvatten som är en mer realistisk matrix kunde endast en 0,2 log-reduktion uppnås.

Tabell 7. Effekt av behandling med ozon på valda indikatororganismer i olika matrix. Undersökningarna fokuserade på *Cryptosporidium parvum* (*C. parvum*), *Escherichia coli* (*E. coli*) samt kolifager (kolifag MS2). Mängden patogena mikroorganismer kvar efter behandling står i antal kolonibildande enheter (CFU/100ml).

Matrix	Organism	Temperatur (C°)	pH	Ozon dos (mg/L)	Exponeringstid (min)	Log ₁₀ -reduktion	CFU/100ml	Referens
PBS	<i>C. parvum</i>	1	6,9	2	4	0,7	N/A	Finch & Li 2010
PBS	<i>C. parvum</i>	22	6,9	2	5	3,4	N/A	Finch & Li 2010
Sterilt sekundärvatten	<i>E. coli</i>	RT	N/A	5	10	5,3	10 023	Shi et al. 2021
Sekundärvatten	<i>E. coli</i>	RT	7,1	5	10	1,34	9 598	Tripathi et al. 2011
Sekundärvatten	<i>E. coli</i>	RT	7,1	10	5	2,54	605,65	Tripathi et al. 2011
Sekundärvatten	<i>E. coli</i>	RT	7,1	15	2	3,02	200,55	Tripathi et al. 2011
Destillerat vatten	<i>E. coli</i>	25	6	1,7	1	4,98	5 759	Jamil et al. 2017
Destillerat vatten	<i>E. coli</i>	25	8	1,7	1	2,76	955 790	Jamil et al. 2017
Destillerat vatten	<i>E. coli</i>	15	7	1,7	1	3	132 000 000	Jamil et al. 2017
Destillerat vatten	<i>E. coli</i>	25	7	1,7	10*	3	132 000 000	Jamil et al. 2017
Destillerat vatten	<i>E. coli</i>	35	7	1,7	1	5	1 320 000	Jamil et al. 2017
Kranvatten	<i>E. coli</i>	22	7	0,05	1	0,2	630 957 344	Fang et al. 2014
Ultrarent vatten	<i>E. coli</i>	22	7	0,05	1	1,2	63 095 734	Fang et al. 2014
Kranvatten	Kolifag MS2	22	7	0,1	1	0,3	501 187 233	Fang et al. 2014
Ultrarent vatten	Kolifag MS2	22	7	0,1	1	1	100 000 000	Fang et al. 2014

PBS= fosfatbuffert; RT= rumstemperatur; N/A= informationen ej tillgänglig; * = tid i sekunder

UV

UV-behandlingar har gett mycket olika resultat på de olika indikatormikroorganismerna och presenteras i tabell 8. Samtliga behandlingar har utförts med en lågintensiv UV lampa (254 nm) för att emittera ett ultraviolet C (UVC) ljus. Behandlingarna utfördes i sterila behållare tillräckligt stora för att hålla mellan 10–250 ml av valt matrix. I alla behandlingar rördes vattnet om i behållaren under hela behandlingen.

Behandlingar med *E. coli* som indikatormikroorganism har utförts i UV-doser mellan 11,4–15 mW s/cm² och resulterat i 1,45–5,1 log-reduktion. I sekundärvatten som genomgått vanlig sekundärbehandling krävdes en UV-dos på 14,7 mW s/cm² för att uppnå 1,45 log-reduktion (Hassahballah et al. 2020) medan i sterilt sekundärvatten var behandlingen mer effektiv och kunde åstadkomma 5,1 log-reduktion med en UV-dos på 15 mW s/cm² (Shi et al. 2021). Något högre verkningsgrad observerades i behandlingar som utförts under samma förhållande i ultrarent vatten jämfört med kranvatten, 3,5 respektive 3 log-reduktion (Fang et al. 2014).

Vid undersökningar med kolifag MS2 (Fang et al. 2014; Calgua et al. 2014; Meng & Gerba 1996) och somatiska kolifager (Hassahballah et al. 2020) där UV-doser mellan 15,7 mW s/cm² och 180 mW s/cm² användes, noterades liknande resultat som för *E. coli*; något högre log₁₀-reduktion i ultrarent vatten jämfört med kranvatten, 3 respektive 2,7 log. Den högsta UV-dosen på 180 mW s/cm² resulterade i 7 log-reduktion (matrix PBS).

För *C. parvum* uppnåddes 3 log-reduktion (99,9%) med en UV-dos på 7,5 mW s/cm² i PBS (Rochelle et al. 2005) medan mindre bakterier som *E. coli* krävde en dos på 11,4 mW s/cm² i kranvatten (Fang et al. 2014). Kolifag MS2, indikatormikroorganism för virus, krävde en högre dos på 25,65 mW s/cm² för att uppnå 2,7 log-reduktion i kranvatten.

Tabell 8. Effekt av behandling med UV på valda indikatororganismer i olika matrix. Undersökningarna fokuserade på *Cryptosporidium parvum* (*C. parvum*), *Escherichia coli* (*E. coli*) samt kolifager (kolifag MS2 och somatiska kolifager). Exponeringstiden är skriven i antal sekunder. Mängden patogena mikroorganismer kvar efter behandling står i antal kolonibildande enheter (CFU/100ml).

Matrix	Organism	Temperatur (C°)	pH	UV-intensitet (mW s/cm ²)	Exponeringstid (s)	Log ₁₀ -reduktion	CFU/100ml	Referens
PBS	<i>C. parvum</i>	N/A	N/A	7,5	N/A	3	500 000	Rochelle et al. 2005
Sekundärvatten	<i>E. coli</i>	RT	N/A	14,7	48	1,45	15 886	Hassahballah et al. 2020
Sterilt sekundärvatten	<i>E. coli</i>	RT	N/A	15	N/A	5,1	1 000 000	Shi et al. 2021
Kranvatten	<i>E. coli</i>	22	7	11,4	60	3	316 227	Fang et al. 2014
Ultrarent vatten	<i>E. coli</i>	22	7	11,4	60	3,5	3 548	Fang et al. 2014
Kranvatten	Kolifag MS2	22	7	25,65	120	2,7	1 995 262	Fang et al. 2014
Ultrarent vatten	Kolifag MS2	22	7	25,65	120	3	1 000 000	Fang et al. 2014
PBS	Kolifag MS2	RT	7	180	N/A	7	100	Calgua et al. 2014
Kranvatten	Kolifag MS2	N/A	7,4	65,2	N/A	4	10 000	Meng & Gerba 1996
Sekundärvatten	Somatiska kolifager	RT	4	14,7	48	1,65	223,87	Hassahballah et al. 2020

PBS= fosfatbuffert; RT= rumstemperatur; N/A= information ej tillgänglig

3.5. Kombinerad desinfektionsbehandling

Användning av fler än en enda desinfektionsbehandling resulterade i högre log₁₀-reduktioner jämfört med enskilda behandlingar med ozon, UV, klorin eller klordioxid. I tabell 9 presenteras resultaten från kombinerade behandlingar, exempelvis ozon följt av klorin eller UV. Log-reduktioner mellan log₄ och log₇ noterades.

I en undersökning följdes tre kombinationer av åtgärder (Shi et al. 2021). Standard för alla tre var ozonbehandling. Alternativ 1 exponerades för ozon följt av klorin (5 mg/L och 4 mg/L) medan alternativ 2 exponerades för ozon följt av UV-C (3 mg/L och 20 mW s/cm²). Alternativ 3 exponerades för ozon, följt av UV-C och slutligen klorin (3 mg/L, 5 mW s/cm² och 2,5 mg/L). Mest effektiv eliminering av *E. coli* observerades i alternativ 1 där inga *E. coli* kunde hittas efter processen. Alternativ 3 uppnådde 7 log-reduktion (>99,99999%) och hade en bakteriehalt på 200 CFU/100 ml efter processen medan alternativ 2 uppnådde 6 log-reduktion (99,9999%) och resulterade i en bakteriehalt på 2 000 CFU/100 ml.

En annan undersökning utfördes med en låg ozondos (0,05 mg/L) följt av UV-strålning (11,4 mW s/cm²) i två olika matrix; kranvatten och ultrarent vatten (Fang et al. 2014). I undersökningarna användes *E. coli* som indikatororganism och eliminerades effektivare i ultrarent vatten då den uppnådde en 5 log-reduktion (>99,999%) jämfört med 4 log-reduktion (99,99%) i kranvatten.

Tabell 9. Effekt av kombinerade desinfektionsbehandlingar (ozon, klorering, UV) på *E. coli* i olika matrix. Parametrarna ”behandling”, ”dos” och ”exponeringstid” står i den ordning som de tillämpades i studien. Parametrarna på första raden avläses som ”ozon-behandling följt av klorin-behandling; ozon-dos var 5 mg/L och klorin-dos var 4 mg/L; exponeringstid för ozon-behandling var 10 minuter och exponeringstid för klorin-behandling var 30 minuter”. Mängden *E. coli* kvar efter de kombinerade behandlingar står i antal kolonibildande enheter (CFU/100ml).

Behandling	Matrix	Organism	Temperatur (C°)	pH	Dos	Exponeringstid (min)	Log ₁₀ -reduktion	CFU/100ml	Referens
Ozon + klorin	Sterilt sekundärvatten	<i>E. coli</i>	RT	N/A	5 mg/L + 4 mg/L	10 + 30	N/A	ND	Shi et al. 2021
Ozon + UV	Sterilt sekundärvatten	<i>E. coli</i>	RT	N/A	3 mg/L + 20 mW s/cm ²	10 + N/A	6	2 000	Shi et al. 2021
Ozon + UV + klorin	Sterilt sekundärvatten	<i>E. coli</i>	RT	N/A	3 mg/L + 5mW s/cm ² + 2,5 mg/L	10 + 30 + N/A	7	200	Shi et al. 2021
Ozon + UV	Kranvatten	<i>E. coli</i>	22	7	0,05 mg/L + 11,4 mW s/cm ²	1 + 1	4	100 000	Fang et al. 2014
Ozon + UV	Ultrarent vatten	<i>E. coli</i>	22	7	0,05 mg/L + 11,4 mW s/cm ²	1 + 1	5	10 000	Fang et al. 2014

RT= rumstemperatur; N/A= informationen ej tillgänglig; ND= ej upptäckt

3.6. Gränsvärde för *E. coli*

I tabell 10 presenteras start- och slutmängden CFU *E. coli* per 100 ml vatten samt fastställande av vattenkvalitet i de olika behandlingar utifrån tabell 2 (Europaparlamentets och rådets förordning 2020/741). Endast behandlingar som utfördes med *E. coli* som indikatororganism har tagits med i tabellen för bestämning av vattenklass.

Enbart sekundär behandling med aktivslamprocess var inte tillräcklig för att uppnå den lägsta vattenklassen D. Det behandlade vattnet från samtliga sekundära behandlingar innehöll >10 000 *E. coli* per 100 ml vatten vilket överskred gränsvärdet för klass D.

Först efter genomförd desinfektionsbehandling var vattenkvaliteten tillräckligt hög för att uppnå klass D och i ett fall även klass B (Hassahballah et al. 2020). De flesta behandlingar med klorin kunde eliminera *E. coli* effektivt och producera vatten av kvalitet C, det vill säga $\leq 1\ 000$ *E. coli* i 100 ml vatten (Tree et al. 2003). Den enda klorin-behandlingen som inte klarade av att uppnå den lägsta vattenklassen hade fortfarande 20 000 *E. coli* kvar i det behandlade vattnet, dubbelt så mycket som är tillåtet i vattenklass D (Shi et al. 2021).

Endast fyra av elva ozon-behandlingar uppnådde klass D, varav två av behandlingarna kunde leverera vatten av kvalitet C (Tripathi et al. 2011; Jamil et al. 2017). Resterande ozon-behandlingar misslyckades med att uppnå den lägsta vattenklassen och hade fortfarande >10 000 CFU *E. coli* per 100 ml vatten efter processen. I några studier observerades extremt höga mängder CFU *E. coli* kvar i det behandlade vattnet, upp till 132 000 000 ($13,2 \times 10^7$) CFU per 100 ml vatten (Jamil et al. 2017; Fang et al. 2014). Mängden *E. coli* som användes i dessa fall (start CFU/100 ml) var också avsevärt högre än i andra studier.

Endast en UV-behandling kunde uppnå vattenklass D och hade 3 548 CFU *E. coli* kvar per 100 ml vatten (Hassahballah et al. 2020).

Tre filtreringsbehandlingar lyckades reducera antalet *E. coli* till ≤ 1000 CFU per 100 ml vatten och uppnåddes således klass C. I två av dessa behandlingar användes en finare sand som filtermaterial och vattenkvaliteten kunde höjas till klass B då det innehöll <100 *E. coli* CFU per 100 ml vatten. Efter avslutad behandling innehöll det behandlade vattnet endast 29,08 och 50,53 *E. coli* per 100 ml vatten. Endast en filtreringbehandling misslyckades med att uppnå klass D (Kadam et al. 2008).

Bland de kombinerade behandlingar uppvisades olika resultat och flera olika vattenklasser uppnåddes. Den högsta vattenkvalitet A uppnåddes i en kombinerad behandling av ozon följt av klorin (Shi et al. 2021). *E. coli* kunde inte upptäckas i det behandlade vattnet. När endast UV-strålning tillämpades efter ozon uppnådde vattnet klass D med 2 000 *E. coli* per 100 ml vatten. Vattenkvaliteten ökade till klass C när klorin-behandling tillämpades efter UV, vilket resulterade i 200 *E. coli* per 100 ml vatten. Den enda kombinerade behandlingen som inte uppnådde klass D gjordes i kranvatten och hade 100 000 *E. coli* per 100 ml vatten (Fang et al. 2014). Samma behandling utfördes i ultrarent vatten och låg precis på gränsen till klass D med 10 000 *E. coli* per 100 ml behandlat vatten.

Tabell 10. Uppnådda vattenklasser (A-D) efter de olika reningsbehandlingar med *E. coli* som indikatororganism, baserat på EU-direktiv 2020/741 (Europaparlamentets och rådets förordning 2020/741). Mängden *E. coli* före (start) och efter (slut) behandling står i antal kolonibildande enheter (CFU). Grön markering innebär att vattenklassen är uppnådd; ingen markering innebär att vattenklassen inte är uppnådd.

Behandling	Matrix	Start CFU/100 ml	Slut CFU/100 ml	Vattenklass				Referens
				A	B	C	D	
Aktivslam	Primärvatten	18 000 000	156 773					Wen et al. 2009
Aktivslam	Obehandlat avloppsvatten	5 800 000	13 000					Medeiros et al. 2019
Klorin	Sekundärvatten	100 000	331					Hassahballah et al. 2020
Klorin	Sterilt sekundärvatten	100 000	67,61					Hassahballah et al. 2020
Klorin	Sterilt sekundärvatten	2 000 000 000	20 000					Shi et al. 2021
Klorin	Sterilt svartvatten	100 000 000	1 000					Tree et al. 2003
Ozon	Sterilt sekundär vatten	2 000 000 000	10 023					Shi et al. 2021
Ozon	Sekundärvatten	210 000	9 598					Tripathi et al. 2011
Ozon	Sekundärvatten	210 000	605					Tripathi et al. 2011
Ozon	Sekundärvatten	210 000	200					Tripathi et al. 2011
Ozon	Destillerat vatten	550 000 000	5 759					Jamil et al. 2017
Ozon	Destillerat vatten	550 000 000	955 790					Jamil et al. 2017
Ozon	Destillerat vatten	132 000 000 000	132 000 000					Jamil et al. 2017

Ozon	Destillerat vatten	132 000 000 000	132 000 000					Jamil et al. 2017
Ozon	Destillerat vatten	132 000 000 000	1 320 000					Jamil et al. 2017
Ozon	Kranvatten	1 000 000 000	630 957 344					Fang et al. 2014
Ozon	Ultrarent vatten	1 000 000 000	63 095 734					Fang et al. 2014
UV	Sterilt sekundär vatten	2 000 000 000	15 886					Shi et al. 2021
UV	Sekundärvatten	100 000	3 548					Hassahballah et al. 2020
Filtrering	Avloppsvatten	1 100 000	13 848					Kadam et al. 2008
Filtrering	Sekundärvatten	1 008 200	29,08					Langenbach et al. 2009
Filtrering	Sekundärvatten	1 008 200	50,53					Langenbach et al. 2009
Filtrering	Sekundärvatten	1 008 200	142,41					Langenbach et al. 2009
Ozon + klorin	Sterilt sekundär vatten	2 000 000 000	ND					Shi et al. 2021
Ozon + UV	Sterilt sekundär vatten	2 000 000 000	2 000					Shi et al. 2021
Ozon + UV + klorin	Sterilt sekundär vatten	2 000 000 000	200					Shi et al. 2021
Ozon + UV	Kranvatten	1 000 000 000	100 000					Fang et al. 2014
Ozon + UV	Ultrarent vatten	1 000 000 000	10 000					Fang et al. 2014

ND= ej upptäckt

4. Diskussion

I denna del diskuteras förändrade matvanor i dagens- och framtida samhälle och eventuella risker med avloppsvatten som vattenkälla för dessa kulturer samt svagheter i kunskapsunderlaget och eventuella kunskapsluckor.

4.1. Trenden med hälsosam kost

Att ha en hälsosam kost är en ny växande livsstil i dagens samhälle. Rekommendationer att äta 500 gram frukt och grönt varje dag samt den svenska tallriksmodellen antyder att frukt och grönsaker är en viktig del av den svenska kosten (Livsmedelsverket 2021). Ofta sker det ingen form av uppvärmning av dessa produkter före konsumtion. En populär trend är färskpressade frukt- och grönsaksdrycker och smoothies. Påsar med färdigsköljd sallad är också en växande trend och syns alltmer i butiker tillsammans med färskpressade frukt- och grönsaksdrycker. Den nya hälsosamma livsstilen pekar starkt mot konsumtion av frukt och grönsaker utan uppvärmning vilket ökar risken för mag-tarmsjukdomar orsakade av humanpatogener. Detta betonar vikten att försöka minska risken för kontaminering av dessa produkter i alla led från jord till bord.

4.1.1. Risker med ändrade matvanor i framtiden

Många konsumenter är inte insatta i produktionen av frukt och grönsaker vilket utgör en kunskapsbrist om eventuella risker med otillräcklig rengöring av dessa produkter. Samtidigt som matvanor ändras är det svårt för producent att veta huruvida produkterna är tänkta att konsumeras (råa eller tillagade). Som konsument är det inte ovanligt att köpa och servera en påse färdigsköljd sallad utan att skölja salladen själv – i god tro att salladen redan är sköljd och ren. Detta utgör två osäkerhetsfaktorer bland producent och konsument vilket ökar risken för mag-tarminfektioner. Som producent är det därför av stor vikt att minska risken för kontaminering under produktionen. Eftersom producenter inte kan vara säkra på hur konsumenter har tänkt hantera produkten så är det särskilt viktigt att vatten inte kommer i kontakt med de ärliga delarna. Vid bevattning med avloppsvatten är det viktigt för producenter att välja en lämplig bevattningsmetod som minskar kontakt mellan vatten och de ätliga delarna – särskilt om konsumenter inte sköljer salladen

före konsumtion. En lämplig bevattningsmetod bör bland annat vara mindre känslig för vindavdrift och inte stänka alltför mycket för att minska risken att vattendroppar stänker och hamnar på de ätliga delarna.

4.1.2. Faror vid bevattning med upparbetat avloppsvatten

Uppgifter från litteraturen indikerade på svårigheter att uppnå vattenklass A (tabell 10). Ytterst få behandlingar lyckades leverera den högsta vattenkvaliteten med den lägsta bakteriehalten. Användning av vatten med högre mikrobiellt innehåll ökar kontamineringsrisken och därmed insjuknad. En del humanpatogener som *E. coli* O157:H7 och *C. parvum* har visat sig ha en relativt låg infektionsdos; 10 organismer respektive 30 oocystor har uppskattats vara tillräcklig för att en frisk vuxen ska insjukna och uppvisa symptom (Willshaw et al. 1994; DuPont et al. 1995). Infektionsdosen kan variera beroende på faktorer som ålder och allmän hälsa; för *Salmonella* sp. räcker det med 81 CFU för att ett barn ska insjukna medan för en vuxen krävs <1560 CFU för att uppvisa symptom (Hara-Kudo & Takatori 2010). Flera studier har bekräftat en låg infektionsdos för norovirus (18–100 viruspartiklar) (Teunis et al. 2008; Patel & Araujo-Castillo 2017; Teunis et al. 2020). Norovirus är väl associerat till kontaminerade mat- och vattenutbrott och är mycket vanligt förekommande globalt, även i höginkomstländer. På grund av den låga infektionsdosen är det av ännu större vikt att minska risken för kontaminering av patogener för att skydda den allmänna folkhälsan; särskilt riskgrupper som löper större risk att avlida. Behandlat avloppsvatten kan fortfarande innehålla höga mängder av *E. coli* som kan hamna på de ätliga delarna av frukter och grönsaker vid bevattning. Eftersom uppvärmning sällan sker vid konsumtion av dessa produkter är det upp till både producent och konsument att minska risken för infektion. Producenter bör välja en bevattningsmetod som minskar kontakt mellan avloppsvattnet och den ätbara delen medan konsument bör skölja produkten ordentligt alternativt tillaga produkten.

4.2. Effekt av olika reningsbehandlingar

Undersökta studier utvärderade flera olika reningsbehandlingar (tabell 5, 6, 7, 8 och 9). I en del studier observerades skillnader i resistens bland de undersökta indikatororganismerna (Hassahballah et al. 2020; Tree et al. 2003; Fang et al. 2014; Meng & Gerba 1996) (se även tabell 6, 7 och 8). Indikatororganismer för patogena virus hade generellt högre överlevnadsförmåga i samtliga reningsbehandlingar jämfört med parasitära protozoer och bakterier. Andra studier har noterat sämre filtrering av somatiska kolifager än parasitära protozoer vilket kan innebära att filtrering är en sämre behandling för eliminering av patogena virus (Fu et al. 2010). *C. parvum* oocystor har tidigare uppvisat högre resistens mot klorin än klordioxid

och ozon, med ozon som den effektivaste behandlingen (Korich et al. 1990). Vid val av behandling bör mikroorganismernas egenskaper tas hänsyn till för att säkerställa effektiv rening. Kombinerade desinfektionsbehandlingar från litteraturen uppvisade generellt effektivare eliminering av *E. coli* jämfört med singel-behandlingar (enbart klorin, klordioxid, ozon eller UV) (tabell 9). Vid användning av avloppsvatten för bevattning bör en kombination av flera behandlingar övervägas över singel-behandling för att säkerställa en effektiv eliminering av olika typer av patogena mikroorganismer.

4.3. Effekt av rengöringsprocessen i praktiken

Bland litteraturen var det få studier som utvärderade riktigt avloppsvatten (avloppsvatten i reningsverk). Många undersökningar genomfördes med överkliga matrix som ultrarent vatten, kranvatten eller sterilt vatten (Shi et al. 2021; Fang et al. 2014; Jamil et al. 2017) (se också tabell 6, 7, 8 och 9). Litteraturuppgifter pekade på att eliminering av patogena mikroorganismer var mer effektiv i nämnda matrix jämfört med riktigt avloppsvatten. Avloppsvatten i reningsverk är av sämre kvalitet än sterila matrix och innehåller exempelvis högre mängder av totalt suspenderat material (TSS). Flera studier har kunnat verifiera TSS skyddande roll i desinfektionsprocessen genom exempelvis blockering av UV-strålar eller mikroorganismers adsorption till större partiklar vilket ökar deras överlevnadsförmåga (Murakami et al. 2006; LeChavallier et al. 1988; Onnis-Hayden et al. 2011).

Samtliga mikroorganismer som användes i studierna var odlade under laborieförhållanden med optimala betingelser. Tidigare studier har visat på skillnader på överlevnad mellan mikroorganismer odlade i laboratorium och naturligt existerande mikroorganismer i naturen. Mikroorganismer som finns i naturen är bättre skyddade mot ogynnsamma förhållanden och kan därför ha en högre förmåga att överleva reningsprocesser än laboriefodlade (Palková 2004; Hirata et al. 1991).

Då studierna utfördes med renare matrix och mikroorganismer odlade i laboratorium kan effekten av reningsprocessen med tillämpade doser vara lägre i reningsverk. För att uppnå lika hög elimineringseffekt i reningsverk kan justeringar behöva göras; högre doser, längre exponeringstid eller lägre flödes hastighet.

På grund av studiernas rambetingelser är det problematiskt att dra slutsatser för verkliga reningsverk. Resultaten som framställs i litteraturen är en överskattning eftersom dessa har utförts under optimala förhållanden. Tilläggsundersökningar

behövs – detta är av essentiell betydelse i synnerhet när processerna i reningsverk ska valideras med hänsyn till den nuvarande EU-förordningen.

5. Reflektion

Detta kapitel ägnas åt reflektion över avloppsvattnets betydelse och roll som vattenresurs inom jordbruket för en hållbar konsumtion av vatten ur ekonomiska, sociala och hälsoaspekter.

Jakten på framtida hållbara vattenkällor är ingen enkel uppgift. Många aspekter måste tas i beaktande; särskilt ekonomiska, sociala och hälsoaspekter. Andra okonventionella vattenkällor som diskuteras är havsvatten. Användning av havsvatten må vara mer socialt accepterad än avloppsvatten men avsaltning är en mycket dyr och energikrävande process och har en större miljöpåverkan. Renat avloppsvatten som vanligtvis spolats ut i sjöar, hav och mark kan ses som en potentiell vattenkälla då det är ett sätt att ta tillvara på det sötvatten som finns – men ofta anses det mycket kontroversiellt bland allmänheten. Förutom sjukdomsalstrande mikroorganismer kan avloppsvatten från hushåll innehålla oönskade kemiska ämnen i form av läkemedelsrester och rester av produkter för personlig hygien. Dessa kan tas upp av växter oberoende av bevattningsmetod vilket utgör en risk för både människan och det naturliga ekosystemet och måste därför utvärderas ytterligare innan avloppsvatten kan anses vara en säker och hållbar vattenkälla (Wu et al. 2015).

Ett fåtal studier framhävde avloppsvattnets potential som en vattenkälla inom trädgårdsodling då de lyckades minska det mikrobiella innehållet till acceptabla nivåer enligt EU förordningen. Dessa studier lyckades eliminera olika typer av patogena mikroorganismer effektivt och påvisade därmed möjligheten att använda avloppsvatten för bevattning i framtiden. Men majoriteten av studierna uppvisade brister vid rengöring av avloppsvatten vilket är oroväckande med tanke på att många frukter och grönsaker konsumeras råa idag och sannolikt även i framtiden. Detta understryker vikten av en välfungerande och effektiv rengöringsprocess på reningsverk samt rutinövervakning och provtagning av vatten för att säkerställa att avloppsvattnet inte överskrider det tillåtna gränsvärdet. I dagsläget är det även brist på information kring hanteringen av avloppsvatten. Producenter som väljer att använda avloppsvatten för bevattning utsätts för risk för infektion vid hantering av vattnet och måste därför få tydliga riktlinjer kring hur hanteringen av avloppsvatten ska gå till. Konsumenter bör också få en inblick över produktionen av frukter och

grönsaker för att undanröja de osäkerhetsfaktorer som finns mellan producenter och konsumenter. Konsumenter bör informeras om användningen av avloppsvatten genom att märka produkter som har bevattnats med avloppsvatten samt uppmanas att skölja produkten noggrant alternativt tillaga produkten före konsumtion.

Med pågående klimatförändringar är det av högsta betydelse att utnyttja mer okonventionella vattenkällor för att kunna hantera den globala vattenbristen som mänskligheten möter. Användningen av avloppsvatten som en vattenkälla är en viktig strategi för att uppnå en hållbar konsumtion av vatten – men det får inte äventyra den allmänna folkhälsan. För att användningen av avloppsvatten ska vara både hållbar och säker så finns det ett behov av tydligt utformade riktlinjer och information kring hantering och användning av avloppsvatten. Informationen måste nå ut till såväl producenter som konsumenter för att minska risken för infektion men också för att öka medvetandet om avloppsvattnets potentiella roll som vattenkälla i framtiden och möjligtvis bidra till en ökad social acceptans i samhället.

6. Referenser

- CALGUA, B., CARRATALÀ, A., GUERRERO-LATORRE, L., DE ABREU CORRÊA, A., KOHN, T., SOMMER, R. & GIRONES, R. 2014. UVC inactivation of dsDNA and ssRNA viruses in water: UV fluences and a qPCR-based approach to evaluate decay on viral infectivity. *Food and Environmental Virology*, 6, 260-268. <https://doi.org/10.1007/s12560-014-9157-1>
- CHATZIPRODROMIDOU, I.P., BELLOU, M., VANTARAKIS, G. & VANTARAKIS, A. 2018. Viral outbreaks linked to fresh produce consumption: a systematic review. *Journal of Applied Microbiology*, 124 (4), 932-942. <https://doi.org/10.1111/jam.13747>
- CHAURET, C., SPRINGTHORPE, S. & SATTAR, S. 1999. Fate of *Cryptosporidium* oocysts, *Giardia* cysts, and microbial indicators during wastewater treatment and anaerobic sludge digestion. *Canadian Journal of Microbiology*, 45 (3), 257-262. <https://doi.org/10.1139/w99-001>
- DUPONT, H.L., CHAPPELL, C.L., STERLING, C.R., OKHUYSEN, P.C., ROSE, J.B. & JAKUBOWSKI, W. 1995. The infectivity of *Cryptosporidium parvum* in healthy volunteers. *The New England Journal of Medicine*, 332 (13), 855-859. doi: 10.1056/NEJM199503303321304
- EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2020/741 av den 25 maj 2020 om minimikrav för återanvändning av vatten. (EUT L 177, 5.6.2020, 32-55). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32020R0741>
- EUROPEAN COMMISSION. 2013. *RASFF, the Rapid Alert System for Food and Feed*. (2012 annual report). Luxemburg: Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/61360886-b553-4ce1-92f6-09326ee504d6>
- EUROPEAN COMMISSION. 2016. *RASFF, the Rapid Alert System for Food and Feed*. (2015 annual report). Luxemburg: Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/98e04cfc-aa54-11e6-aab7-01aa75ed71a1>

- EUROPEAN COMMISSION. 2019. *RASFF, the Rapid Alert System for Food and Feed*. (2018 annual report). Luxemburg: Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c3318331-d9c4-11e9-9c4e-01aa75ed71a1>
- FANG, J., LIU, H., SHANG, C., ZENG, M., NI, M. & LIU, W. 2014. *E. coli* and bacteriophage MS2 disinfection by UV, ozone and the combined UV and ozone processes. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 8, 547-552. <https://doi.org/10.1007/s11783-013-0620-2>
- FAO (2015). *Towards a water and food secure future. Critical perspectives for policy-makers*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/eb978434-dac0-4cd0-bcb3-f1f6f01773f9/>
- FINCH, G.R. & LI, H. (2010). Inactivation of *Cryptosporidium* at 1°C using ozone or chlorine dioxide. *The Journal of the International Ozone Association*, 21 (5), 477-486. <https://doi.org/10.1080/01919512.1999.10382886>
- FOLKHÄLSOMYNDIGHETEN. 2020. *Sjukdomsinformation om enterohemorragisk E. coli-infektion (EHEC)*. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/smittsamma-sjukdomar/enterohemorragisk-e-coli-infektion-ehec/> [2021-05-12]
- FOLKHÄLSOMYNDIGHETEN. 2021. *Utbrottsarkiv*. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/utbrott/utbrottsarkiv/> [2021-05-12]
- FU, C.Y., XIE, X., HUANG, J.J., ZHANG, T., WU, Q.Y., CHEN, J.N. & HU, H.Y. 2010. Monitoring and evaluation of removal of pathogens at municipal wastewater treatment plants. *Water Science & Technology*, 61 (6), 1589-1599. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.757>
- HALLIDAY, M.L., KANG, L.Y., ZHOU, T.K., HU, M.D., PAN, Q.C., FU, T.Y., HUANG, Y.S. & HU, S.L. 1991. An epidemic of hepatitis A attributable to the ingestion of raw clams in Shanghai, China. *The Journal of Infectious Diseases*, 164 (5), 852-859. <https://doi.org/10.1093/infdis/164.5.852>
- HARA-KUDO, Y. & TAKATORI, K. (2010). Contamination level and ingestion dose of foodborne pathogens associated with infections. *Epidemiology & Infection*, 139 (10), 1505-1510. doi: 10.1017/S095026881000292X.

- HASSAHBALLAH, A.H., BHATT, T., NYITRAI, J., DAI, N. & SASSOUBRE, L. 2020. Inactivation of *E. coli*, *Enterococcus* spp., somatic coliphage, and *Cryptosporidium parvum* in wastewater by peracetic acid (PAA), sodium hypochlorite, and combined PAA-ultraviolet disinfection. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 6, 197-209.
<https://doi.org/10.1039/C9EW00837C>
- HEDBERG, C.W. & OSTERHOLM, M.T. 1993. Outbreaks of food-borne and waterborne viral gastroenteritis. *American Society for Microbiology*, 6 (3), 199-210. <https://doi.org/10.1128/CMR.6.3.199>
- HIRATA, T., KAWAMURA, K., SONOKI, S., HIRATA, K., KANEKO, M. & TAGUCHI, K. 1991. *Clostridium perfringens*, as an indicator microorganism for the evaluation of the effect of wastewater and sludge treatment systems. *Water Science & Technology*, 24 (2), 367-372.
<https://doi.org/10.2166/wst.1991.0092>
- JAMIL, A., FAROOQ, S. & HASHMI, I. 2017. Ozone disinfection efficiency for indicator microorganisms at different pH values and temperatures. *The Journal of the International Ozone Association*, 39, 407-416.
<https://doi.org/10.1080/01919512.2017.1322489>
- KADAM, A.M., OZA, G.H., NEMADE, P.D. & SHANKAR, H.S. 2008. Pathogen removal from municipal wastewater in constructed soil filter. *Ecological Engineering*, 33 (1), 37-44.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.12.001>
- KARMALI, M.A. 1989. Infection by Verocytotoxin-Producing *Escherichia coli*. *American Society for Microbiology*, 2 (1), 15-38.
<https://doi.org/10.1128/CMR.2.1.15>
- KORICH, D.G., MEAD, J.R., MADORE, M.S., SINCLAIR, N.A. & STERLING, C.R. 1990. Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine, and monochloramine on *Cryptosporidium parvum* oocysts viability. *American Society for Microbiology*, 56 (5), 1423-1428.
 DOI: 10.1128/AEM.56.5.1423-1428.1990
- LANGENBACH, K., KUSCHK, P., HORN, H. & KÄSTNER, M. 2009. Slow sand filtration of secondary clarifier effluent for wastewater reuse. *Environmental Science & Technology*, 43 (15), 5896-5901.
<https://doi.org/10.1021/es900527j>

- LECHEVALLIER, M.W., CAWTHORN, C.D. & LEE, R.G. 1988. Factors promoting survival of bacteria in chlorinated water supplies. *American Society for Microbiology*, 54 (3), 649-654. doi: 10.1128/AEM.54.3.649-654.1988
- LIVSMEDELSVERKET. 2021. *Grönsaker och frukt – råd*. <https://www.livsmedelsverket.se/matvanor-halsa--miljo/kostrad/rad-om-bra-mat-hitta-ditt-satt/gronsaker-och-frukt---rad> [2021-05-10]
- LUND, B.M. & PECK, M.W. 2015. A possible route for foodborne transmission of *Clostridium difficile*? *Foodborne Pathogens and Disease*, 12 (3), 177-182. <https://doi.org/10.1089/fpd.2014.1842>
- MACHADO-MOREIRA, B., RICHARDS, K., BRENNAN, F., ABRAM, F. & BURGESS, C.M. 2019. Microbial contamination of fresh produce: What, where, and how? *Food Science and Food Safety*, 18 (6), 1727-1750. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12487>
- MEDEIROS, R.C., DANIEL, L.A., LAILA DE OLVERIA, G. & HOFFMANN, M.T. 2019. Performance of a small-scale wastewater treatment plant for removal of pathogenic protozoa (oo)cysts and indicator microorganisms. *Environmental Technology*, 40 (26), 3492-3501. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1480063>
- MENG, Q.S. & GERBA, C.P. (1996). Comparative inactivation of enteric adenoviruses, poliovirus and coliphages by ultraviolet irradiation. *Water Research*, 30 (11), 2665-2668. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00179-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00179-0)
- MURAKAMI, E.G., JACKSON, L., MADSEN, K. & SCHICKEDANZ, B. 2006. Factors affecting the ultraviolet inactivation of *Escherichia coli* K12 in apple juice and a model system. *Journal of Food Process Engineering*, 29 (1), 53-71. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2006.00049.x>
- ONNIS-HAYDEN, A., HSU, B.B., KLIBANOV, A.M. & GU, A.Z. 2011. An antimicrobial polycationic sand filter for water disinfection. *Water Science & Technology*, 63 (9), 1997-2003. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.440>
- OSEWE, P., ADDISS, D.G., BLAIR, K.A., HIGHTOWER, A., LAMB, M.L. & DAVID, J.P. 1996. Cryptosporidiosis in Wisconsin: a case-control study of post-outbreak transmission. *Epidemiology & Infection*, 117 (2), 297-304. doi: 10.1017/s0950268800001473

- PALKOVÁ, Z. 2004. Multicellular microorganisms: laboratory versus nature. *EMBO reports*, 5 (5), 470-476. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400145>
- PARASKEVA, P. & GRAHAM, N.J.D. 2005. Treatment of a secondary municipal effluent by ozone, UV and microfiltration: microbial reduction and effect on effluent quality. *Desalination*, 186 (1-3), 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.057>
- PATEL, P.K. & ARAUJO-CASTILLO, R. 2017. Norovirus and infection control. *Hospital Medicine Clinics*, 6 (1), 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.ehmc.2016.07.003>
- ROCHELLE, P.A., FALLAR, D., MARSHALL, M.M., MONTELONE, B.A., UPTON, S.J. & WOODS, K. 2005. Irreversible UV inactivation of *Cryptosporidium* spp. despite the presence of UV repair genes. *The Journal of Eukaryotic Microbiology*, 51 (5), 553-562. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2004.tb00291.x>
- SCB (2020). *Jordbruksstatistik sammanställning 2020 med data om livsmedel – tabeller*. (JO1901). Örebro: SCB. <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2020-08-14-jordbruksstatistisk-sammanstallning-2020#h-Rapport>
- SHI, Q., CHEN, Z., LIU, H., LU, Y., LI, K., SHI, Y., MAO, Y. & HU, H. 2021. Efficient synergistic disinfection by ozone, ultraviolet irradiation and chlorine in secondary effluents. *Science of The Total Environment*, 758 (1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143641>
- SUWA, M. & SUZUKI, Y. 2003. Control of *Cryptosporidium* with wastewater treatment to prevent its proliferation in the water cycle. *Water Science & Technology*, 47 (9), 45-49. <https://doi.org/10.2166/wst.2003.0488>
- TEUNIS, P.F.M., MOE, C.L., LIU, P., MILLER, S.E., LINDESMITH, L., BARIC, R.S., LE PENDU, J. & CALDERON, R.L. 2008. Norwalk Virus: How infectious is it? *Journal of Medical Virology*, 80 (8), 1468-1476. <https://doi.org/10.1002/jmv.21237>
- TEUNIS, P.F.M., LE GUYADER, F., LIU, P.B., OLLIVIER, J. & MOE, C.L. 2020. Noroviruses are highly infectious but there is strong variation in host susceptibility and virus pathogenicity. *Epidemics*, 32 (100401), 2-21. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2020.100401>

- TREE, J.A., ADAMS, M.R. & LEES, D.N. 2003. Chlorination of indicator bacteria and viruses in primary sewage effluent. *American Society for Microbiology*, 69 (4), 2038-2043. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.4.2038-2043.2003>
- TRIPATHI, S., PATHAK, V., TRIPATHI, D.M. & TRIPATHO, B.D. 2011. Application of ozone based treatments of secondary effluents. *Bioresource Technology*, 102 (3), 2481-2486. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.11.028>
- WEF (2016). *The Global Risks Report*. (WEF report, 2016). Cologny/Geneva: WEF. <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2016>
- WEN, Q., TUTUKA, C., KEEGAN, A. & JIN, B. 2009. Fate of pathogenic microorganisms and indicators in secondary activated sludge wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management*, 90 (3), 1442-1447. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.09.002>
- WHO (2006). *WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*. (Volume IV: Excreta and greywater use in agriculture). Geneva: World Health Organization.
- WHO (2020). *Hepatitis A*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/hepatitis-a> [2021-05-18].
- WIDERSTRÖM, M., SCHÖNNING, C., LILJA, M., LEBBAD, M., LJUNG, T. & ALLESTAM, G. 2014. Large outbreak of *Cryptosporidium hominis* infection transmitted through the public water supply, Sweden. *Emerging Infectious Diseases*, 20 (4), 581-589. <https://doi.org/10.3201/eid2004.121415>.
- WILLSHAW, G.A., THIRLWELL, J., JONES, A.P., PARRY, S., SALMON, R.L. & HICKEY, M. 1994. Vero cytotoxin-producing *Escherichia coli* O157 in beefburgers linked to an outbreak of diarrhoea, haemorrhagic colitis and haemolytic uraemic syndrome in Britain. *Letters in Applied Microbiology*, 19 (5), 304-307. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.1994.tb00461.x>
- WU, X., DODGEN, L.K., CONKLE, J.L. & GAN, J. 2015. Plant uptake of pharmaceutical and personal care products from recycled water and biosolids: a review. *Science of The Total Environment*, 536 (1), 655-666. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.129>