

Förebyggande av smittspridning från landbaserade recirkulerande akvakultur system (RAS)

- Ultraviolett strålning och ozonbehandling är de mest utbredda teknikerna för desinficering av vatten till, i och från RAS anläggningar. Flera fungerande tekniker och metoder finns och de har utvecklingspotential var för sig eller i kombination med varandra.
- De allra flesta smittoämnen går att minska med minst 99,9 % ($\geq 3 \log_{10}$) med dessa tekniker. Störst utmaning är sporformande mikroorganismer och vatten med hög partikelhalt.
- I RAS anläggningar finns det mycket goda förutsättningar att upprätthålla ett gott hälsoläge hos fisken genom ett bra hygienprogram och möjligheter att rena ingående vatten.
- Riskerna att sprida smitta från RAS kan elimineras genom en rening av utgående vatten. Däremot är investeringskostnaden hög för ett desinficeringssystem anpassat för stora vattenvolymer och höga flöden, därför måste denna säkerhetslösning kostnads effektiviseras.

Author/Författare
Markus Langeland & Jason Bailey
Vattenbrukscentrum Ost
Klustervägen 11
590 76, Vreta Kluster
Sweden

Förord

Jordbruksverket har sedan 2011 fått i uppdrag av regeringen att främja ett växande hållbart vattenbruk i Sverige. Som ett led i detta arbete togs en nationell strategi och en handlingsplan fram tillsammans med vattenbruksnäringen, myndighetskollegor, akademi och intresseorganisationer. Handlingsplanen innehåller 11 åtgärder som beskriver hur målen i Strategin ska uppnås. Den här rapporten är en del av uppfyllandet av bland annat åtgärder som rör näringslivsutveckling, utveckling av för Sverige nya produktionsformer, utveckla Code of practice för djurskydd och smittskydd samt utbildning och kompetensutveckling.

Detta uppdrag gavs Vattenbrukscentrum Ost, VCO, av Jordbruksverket. Rapporten är ett rådgivningsunderlag om smittspridningsrisker vid RAS odling i Sverige

VCO, är en ideell förening, och har som mål att genom utbildning och information bidra till en ökad sysselsättning inom vattenbruksnäringen på såväl landsbygd som i urbana miljöer i. Inriktningen är både stor- som småskaliga anläggningar på land, sjö och kust.

Veronica Andrén, Jordbruksverket &
Markus Langeland, SLU & VCO

Sammanfattning

Syfte

Denna rapport syftar till att vara en kunskapssammanställning och ett rådgivningsunderlag kring förebyggande och motverkande åtgärder mot smittspridning från recirkulerande akvakultur system (RAS) i Sverige. Förstudien är en litteratursammanställning av nuvarande kunskapsläge och forskning inom området. Den beskriver de vanligaste teknikerna för desinficering av större vattenvolymer och möjligheter till hantering av spillvatten, samt hur de kan tillämpas i ett RAS för att förhindra smittspridning.

Bakgrund

Vid desinficering minskar förekomsten av mikroorganismer som exempelvis bakterier, virus, svampar och parasiter till en önskad koncentration. Detta skiljer sig från sterilisering som innebär en total avdödning av vattnet, vilket är orimligt att göra i utloppsvatten från ett RAS.

Smittspridning kan antingen ske genom direkt eller indirekt kontakt mellan individer (horisontell smittspridning), eller mellan olika generationer (vertikal smittspridning). Det är vanligast att desinficera vatten i ett RAS för att fisken i odlingen ska ha en god hälsostatus och resultera i en livsmedelssäker slutprodukt, vilket genererar en bättre ekonomi för odlaren. Mindre vanligt är att utloppsvattnet från odlingen desinficeras för att skydda den naturliga fiskfaunan i recipienten (mottagande miljö utanför systemet). Sverige har överlag ett väldigt gott hälsoläge bland både odlad och vild fisk. Om infektiösa sjukdomar sprids kan det leda till allvarliga biologiska och ekonomiska konsekvenser.

En av utmaningarna med desinficering av utgående vatten från RAS är det stundtals höga vattenflöde som kan komma att behöva släppas ut. De vanligaste desinficeringsteknikerna är ultraviolett (UV) strålning och ozonbehandling. Andra behandlingsmetoder som beskrivs i rapporten är avancerade oxidation, klor, värme, pH och infiltration i markbädd. Vattnets kvalitet har stor inverkan på effektiviteten av såväl UV som ozonbehandling, bland annat partikeltäthet.

Resultat

I RAS anläggningar har man goda förutsättningar att kontrollera och verka för en god fiskhälsa genom att arbeta med förebyggande åtgärder såsom rening av inkommande vatten och goda hygienrutiner. Vid sjukdomsutbrott finns möjligheter att bekämpa den sjukdomsalstrande organismen i systemet och förhindra spridning till miljön med utgående vatten.

När det gäller rening av utgående vatten så är de flesta smittoämnen som virus, bakterier, parasiter och svampar mottagliga för enskilda eller flera kombinerade desinficeringstekniker och minskar med minst 99,9 % ($\geq 3 \log_{10}$). Effektiviteten påverkas bland annat av vattentemperatur och vattenkvalitet och då i synnerhet partikeltäthet. Det är därför viktigt att vattnet som ska desinficeras är så rent som möjligt.

Investeringskostnaden är hög för ett desinficeringsystem anpassat för stora vattenvolymer och höga flöden, framförallt för ett system som kanske aldrig måste tas i bruk och därför måste denna säkerhetslösning kostnads effektiviseras.

Summary

This report aims to summarise the available knowledge on the reduction of risks associated with the spread of diseases from recirculating aquaculture systems (RAS) via discharge water. Little research has been performed on the disinfection of discharge water from RAS. However, by drawing parallels with what has been done in municipal or ballast water treatment systems, one can delineate how such a system might be designed for the purpose of treating aquaculture discharge. These and other methods of disinfection, as well as their efficacy against various disease-causing organisms are described.

The most common methods of disinfection for incoming and recirculating water in RAS are ozone and UV. Each of these methods is effective in their own right and would, under normal operating conditions, disinfect the discharge water to an acceptable level. However, on occasion, high discharge levels may be required during short periods of time in order to mitigate other problems that might arise within the facility. It is under these periods that the effectiveness of UV and/or ozone might be reduced by the sheer volume of water. High rates of water flow will reduce the contact time with the disease-causing agent. Various designs incorporating holding tanks or long piping systems to extend the contact time between the disinfectant and the disease-causing agent might be utilised under these rare occasions. However, the costs of such systems must be weighed against whether there is a real risk of disease. This cost versus risk analysis is especially important when implementing legislature to demand the utilisation of such systems.

One of the advantages with RAS is the fact that the discharge water is coming through a pipe. This provides the operator with the chance to shut the system off from the outside environment if emergency warrants it. Therefore, good hygienic protocol and practice at the facility, combined with, the possibility to treat incoming water if necessary, might be enough to mitigate the risks of disease-spread *within*, and thereby *from*, the aquaculture facility.

Innehåll

1	INLEDNING	1
2	BAKGRUND	1
2.1	Desinficeringsmetoder och principer	2
2.2	Sjukdomar inom vattenbruk	3
3	TEKNIKER OCH METODER FÖR DESINFICERING	4
3.1	Ultraviolett strålning	4
3.2	Ozon	5
3.3	Andra desinfektionstekniker	8
3.3.1	Avancerad oxidationsteknologi	8
3.3.2	Klor	9
3.3.3	Värme	9
3.3.4	pH	10
3.3.5	Infiltration genom markbädd	10
4	FRAMTIDA KUNSKAPSBEHOV	11
5	REFERENSER	12
6	APPENDIX	16
6.1	Effekt av desinficering med UV	16
6.1.1	Virus	16
6.1.2	Bakterier	20
6.2	Effekt av desinficering med ozon	22
6.2.1	Virus	22
6.2.2	Bakterier	24

1 Inledning

Med recirkulerande akvakultur system (RAS) ges möjligheter att skapa optimala odlingsförhållanden anpassade för såväl svenska oförädlade fiskarter som till exempel tropiska eller förädlade arter samt andra arter, icke hemmahörande i den svenska faunan. Odlingar kan också etableras där det annars inte skulle vara möjligt på grund av obefintligt miljöutrymme, avsaknad av plats eller social acceptans med mera. Detta innebär stora möjligheter, men också en möjlig risk ur smittspridningssynpunkt då nya sjukdomsframkallande organismer potentiellt kan spridas bland inhemska arter med allvarliga konsekvenser. Därför är det viktigt med en säker hantering av utgående vatten, slam och biologiskt material.

Vattenbrukscentrum Ost (VCO) har fått i uppdrag av Jordbruksverket att genomföra en förstudie som ska resultera i ett rådgivningsunderlag om förebyggande och motverkande åtgärder mot smittspridning från RAS anläggningar i Sverige. Förstudien är en litteratursammanställning av nuvarande kunskapsläge och forskning inom området. Den beskriver de vanligaste teknikerna för desinficering av större vattenvolymer och möjligheter till hantering av spillvatten, samt hur de kan tillämpas i ett RAS för att förhindra smittspridning. I uppdraget ingår även att diskutera behovet av smittskydd från RAS samt framtida kunskapsbehov. Rapporten baseras på vetenskaplig litteratur, rapporter samt underlag från teknikleverantörer och fiskodlare.

Mål med rapporten är att:

- Redogöra för vilka tekniska lösningar som finns tillgängliga på marknaden och dess effektivitet.
- Identifiera kunskapsbehov kring smittskyddsprevention från RAS i Sverige.

2 Bakgrund

Vid desinficering minskar förekomsten av mikroorganismer som bakterier, virus, svampar och parasiter till en önskad koncentration, vilket inte ska likställas med sterilisering då en total avdödning sker. I fiskodlingar är vanligtvis målet att minimera risken för överföring av infektiös agens från vattnet till fisken genom desinficering. Det handlar alltså om desinficering av odlingens inkommande vatten samt framförallt recirkulerande vatten, för att reducera risken för att fisk i odlingen ska bli sjuk.

Smitta kan överföras till fisken antingen vertikalt eller horisontellt. Horisontell smittspridning innebär direkt eller indirekt kontakt mellan individer eller populationer, till exempel direkt kontakt mellan individer, via urin eller fekalier eller indirekt kontakt till exempel via vatten, utrustning eller personal. Vertikal smittspridning sker mellan olika generationer, det vill säga via rom eller mjölke.

Desinficering i fiskodlingar sker vid flera situationer och på flera ställen, till exempel vatten, utrustning som tråg, håvar, och rör, byggnader, personer, fiskar och slaktavfall, slam och andra restprodukter. I ett RAS i allmänhet, och i synnerhet med högre fisktäthet och recirkuleringsgrad, är vikten av en god kontroll av mikroorganismer i systemet av

yttersta vikt, för att kunna hålla en hög hälsostatus hos fisken och kunna producera en livsmedelssäker vara (Lekang, 2013).

Det mindre vanliga syftet med desinficering är att motverka spridning av smitta från fiskodlingen till fiskarter i recipienten. Det finns flertalet studier och vetenskapliga publikationer rörande tekniker och metoder för desinficering av recirkulerande vatten, och kunskapsläget är relativt högt. Däremot finns det få vetenskapliga publikationer rörande desinficering, eller sterilisering, av utgående vatten från RAS. Det finns en relevant genomgång av behandling av avloppsvatten från fiskslakterier (Skall och Olesen, 2011) samt en utredning om teknisk utfasning av formalin i fiskodlingar med hjälp av UV och ozon (Janning et al., 2012).

En av utmaningarna med desinficering av utgående vatten från RAS är de stundtals höga vattenflödena som kan behöva släppas ut. Reningssystem för stora vattenvolymer med höga flöden har utvecklats kring sjöfartsindustrin, där internationella sjöfartsregler kräver att ballastvatten ska renas. Därför kommer denna rapport redogöra för en del tillämpade vattenreningstekniker som har utvecklats där och som har potential att användas i RAS anläggningar.

2.1 Desinficeringsmetoder och principer

Det finns flera olika metoder att desinficera vatten som kan delas upp i kemiska och icke-kemiska metoder.

- Kemiska metoder, innefattandes:
 - klor och klorinnehållande (ClO^-) föreningar som hypoklorit
 - bromid
 - jod
 - ozon
 - fenol/karbolsyra samt fenoliska föreningar
 - alkoholer
 - tungmetaller
 - tvål och syntetiska rengöringsmedel
 - ammoniumföreningar
 - väteperoxid
 - baser och syror
- Fysiska metoder, innefattandes:
 - värme
 - ultraviolett (UV) strålning (är även elektromagnetisk strålning)
- Mekaniska metoder, innefattandes:
 - Partikelseparation
- Strålningsmetoder, innefattandes:
 - elektromagnetisk strålning
 - ljudvågor
 - partikelstrålning (joniserad strålning)

Flera av de kemiska metoderna baseras på att mikroorganismerna oxideras, därför indikerar oxidationspotentialen metodens effektivitet. Effektiviteten av desinficering påverkas av partikelkoncentrationen i vattnet vilket i synnerhet gäller för UV och ozon-behandling (Christensen & Linden, 2003; Heldbo et al., 2013), därför är det svårare att desinficera utgående vatten med sämre partikelavskiljning i form av till exempel sedimentation och partikelfiltrering. Kontaminerat vatten med hög partikeltäthet bör därför förbehandlas för att reducera mängden partiklar innan desinficering.

Minskningen eller effektiviteten av desinficeringen mäts ofta som ”*log₁₀ removal value*” (LRV), eller log desinficeringsvärde, och är ett värde på mellan 99-99,999 % (motsvarande $1-5 \log_{10}/LRV_{1-5}$). Detta värde säger inte exakt hur mycket av mikroorganismerna som kvarstår, utan indikerar hur mycket den ursprungliga mängden har minskat med. Exempel på tillämpning av LRV:

Initial bakteriekoncentration (N_1): $10^7/\text{ml}$

Önskad LRV₃, dvs. 99,9 % minskning

$\log(\text{desinficering}) = \log(N_1/N_2) = \log N_1 - \log N_2$ (N_2 = bakteriekoncentration efter desinficering)

$\log N_2 = \log N_1 - \log(\text{desinficering}) = 7 - 3 = 4$

$N_2 = 10^4/\text{ml}$, alternativt $10^7 * (1-0,999) = 10000 = 10^4/\text{ml}$

2.2 Sjukdomar inom vattenbruk

Fiskhälsa är ett mycket viktigt område, inte bara för den odlade fiskens välfärd, odlarnas ekonomi och konsumenternas hälsa, utan också för den naturliga fiskfaunan. Om infektiösa sjukdomar sprids till naturliga fiskbestånd kan det leda till allvarliga biologiska och ekonomiska konsekvenser på såväl regional som nationell nivå.

I Sverige finns det runt 140 vanligt förekommande fiskarter i det vilda där även inplanterade arter som regnbåge ingår (Kullander, 2002). Ett femtontal av dessa arter odlas inom svenskt vattenbruk. Därutöver odlas ett antal arter som inte förekommer i vår naturliga fiskfauna, som olika arter och hybrider av *Tilapia* och *Clarias*. Sverige har överlag ett väldigt gott hälsoläge (Statens veterinärmedicinska anstalt, 2017), vilket innebär att flera av de i Europa vanligt förekommande fisksjukdomarna återfinns i låg utsträckning i Sverige, samt att de sjukdomar som förekommer uppträder i låg frekvens.

Ur smittskyddssynpunkt är odlad fisk en större utmaning än många landlevande djur, bland annat på grund av att smittämnen lätt sprids i vatten och en odlingsmiljö som till exempel gör det svårt att göra, en enkel okulär besiktning. I öppna system har fisken ofta direktkontakt med vildfisk eller med vatten där vildfisk förekommer vilket gör att smittor kan spridas både till och från vildfiskar.

Fördelen med RAS anläggningar är att det finns goda förutsättningar att arbeta förebyggande med smittskydd och smittspridning. Med åtgärder som rening av inkommande vatten och goda hygienrutiner har man goda möjligheter att förhindra att smittor kommer in i systemet och därigenom förhindra sjukdomsutbrott hos den odlade fisken. Vid eventuella sjukdomsutbrott har man dessutom goda möjligheter att förhindra att smittan sprids till recipienten och vildfisken genom effektiv rening av utgående vatten. Fiskar kan dock vara symptomfria bärare av olika smittor vilket kan bli en utmaning när smittspridningsåtgärder behöver sättas in. Vid vissa sjukdomsutbrott finns det även

möjlighet för behandling av fisken i systemet men biofilter gör att vissa typer av behandlingar inte är lämpliga och att det kan uppstå svårigheter med att bli av med en smitta. Därför ställs det höga krav på odlarens kunskaper om fiskhälsa, goda hygienrutiner, bra kontroll- och åtgärdsprogram vid eventuella sjukdomsutbrott följt av saneringsplan, tillförlitliga analysmetoder för att identifiera såväl horisontella som vertikala smittor.

3 Tekniker och metoder för desinficering

3.1 Ultraviolett strålning

UV-strålning skadar det genetiska arvs materialet (DNA och RNA) i mikroorganismer och inaktiverar produktionen av proteiner, vilket är dödligt eller högst skadligt för de flesta organismer.

På RAS-anläggningar är UV-lamporna oftast placerade i ett kvarts rör som skyddar lampan från kylning och nedsmutsning (figur 1). Denna behållare är placerad i en större behållare som innehåller flera lampor och den är också oftast utrustad med speglar som ökar intensiteten och små diskar som minskar turbulensen. Allt för att utnyttja lampornas UV strålning till fullo. Vattnet flödar igenom behållaren och över lamporna så att alla organismer i vattnet blir UV-bestrålade.



Figur 1. Exempel på ett UV-filter i en RAS odling (bild J. Bailey).

UV-strålningens förmåga att effektivt döda mikroorganismer är beroende på våglängden av UV-strålningen och vilka mikroorganismer som ska inaktiveras. Den mest effektiva våglängden för en allmän desinficering av vatten är mellan 250-270 nm (Tchobanoglous et al., 2002). UV-strålning från en kvicksilverlampa är 253,7 nm vilket gör denna våglängd till den vanligaste vid desinficering av vatten.

Den funktionella avdödningen av mikroorganismer i vattnet är kopplad proportionellt till strålningsdosen per area (=intensitet) och behandlingstiden, och kan beskrivas matematiskt som:

$$D = I \times t$$

D indikerar "behandlingsdosen" och mäts i mWs/cm²; I är strålningsstyrkan; och t är behandlingstiden.

Den behandlingsdos som behövs för att oskadliggöra en patogen (sjukdomsalstrande mikroorganism) beror på vilken patogen som får strålningen. Normalt så räcker det med en behandlingsdos mellan 30-35 mWs/cm² för att uppnå en desinfektionsgrad av LMV₃/log 3 på de flesta patogener inom vattenbruk (Wheaton, 1977; Brown & Russo, 1979; Rodrigues & Gregg, 1993; Liltved et al., 1995 in Lekang, 2007). Dock är vissa virus, som till exempel IPN-viruset (Infektiös Pankreas Nekros) svårare och behöver behandlingsdoser uppemot 100-200 mWs/cm². Med vissa undantag, kan man säga att gram-negativa bakterier behöver den lägsta behandlingsdosen, gram-positiva bakterier behöver en något högre dos, och den effektiva behandlingsdosen blir allt högre för virus, spor-producerande bakterier, och protozoer.

Hur effektiv UV-behandlingen är beror på lampans intensitet, lampans ålder (lamporna bör bytas ut minst en gång per år för att behålla strålningens intensitet i UV-filtret), lampans nedsmutsning, distansen mellan lampan och mikroorganismer, typ av organism som ska inaktiveras, behandlingstiden, och vattenkvalitet. Grumligt vatten kommer till exempel att blockera en del av strålningen och därför minska effektiviteten i UV-filtret. Därför är det viktigt att fysiskt placera ett UV-filter efter ett partikelfilter i en RAS anläggning för att behandla mikroorganismerna med en så hög intensitet som möjligt.

Det finns ett system (*PureBallast 3.1*) utvecklat av svenska företag riktat mot rengöring av ballastvatten som är utvecklat för att fungera effektivt i alla typer av salthalter, vid flödeshastigheter upp till 3000 m³/h samt vid vatten med hög partikeltäthet.

Om man jämför med andra desinfektionsmetoder är UV-behandling relativt driftsäker (med regelbundet uppehåll och rening av lamporna) och kostnaden är låg. Vid användning av UV bildas inte restprodukter vilket är en fördel i utsläppsvattnet men strålningen blir mer effektivt ju längre kontakttiden med mikroorganismen är. Därför är dimensionering en viktig komponent om stora mängder vatten ska bli effektivt behandlade av UV-strålning.

3.2 Ozon

Ozon, O₃, är en färglös gas bestående av tre syreatomer per molekyl och med en kokpunkt på -112°C. Ozon är ett väldigt toxiskt ämne för alla livsformer som långsamt oxiderar

organiska molekyler. Ozon initierar också produktion av fria radikaler baserade på en hydroxylgrupp ($\bullet\text{OH}$) som leder till skada och nedbrytning av cellmembraner och nukleinsyror och inaktivering av mikroorganismer. Ozon används i desinfektion av luft och vatten genom att ozonet (radikalerna) dödar mögelsporer och mikroorganismer. På många håll i världen används även ozon istället för klor för att rena kommunalt dricksvatten. Ozon bildar inga organiska klorföreningar och finns inte heller kvar i vattnet efter reningsprocessen.

En positiv bieffekt när det gäller användning i RAS är att ozon kan leda till bättre vattenkvalitet då det kan reducera mängden ammoniak (NH_3), nitrit (NO_2) och den syrekonsumerande BOD^1 -biofilmen på alla ytor (Colt & Cryer, 2000; Tango & Gagnon, 2003). Vattnet blir även klarare. Precis som för UV-behandling ska dock ozonbehandlingen placeras efter filtrering av partiklar i reningskedjan. Detta för att minska mängden organiska partiklar som ozon vill oxidera, och öka ozonets effektivitet på mikroorganismer.

Ozon är instabilt (halveringstid på 8 till 30 min vid 35 respektive 5°C (Janning et al., 2012)) och måste därför tillverkas på plats, oftast via den så kallade corona metoden. Luft eller syre utsätts för hög elektrisk spänning som tillför energi till syremolekyler och producerar ozon (Colt & Cryer, 2000). En ozongenerator förbrukar runt 3-30 kWh/kg (Gebauer et al, 1992; Colt & Cryer, 2000) för att producera ozon och om vanlig luft användas i produktionen måste luften torkas först och då kan det även finnas risk för överskottsjoner av kväve i vattnet. Därför är det ofta fördelaktigt att använda rent syre i produktionen av ozon.

För att få en bra blandning av gas och vatten injiceras ozon i vattnet på ett liknande sätt som med syresättning. Precis som för användning av UV, finns det en relation mellan behandlingstiden och behandlingsdosen för ozon-desinficering. Vanligtvis använder man en separat behandlingstank där gasen injiceras och blandas med vattnet. En förlängd uppehållstid i behandlingstanken är för att ozonet ska få tillräckligt lång kontakttid med mikroorganismer för att inaktivera dem. De flesta patogena mikroorganismer är avdödade med en dos av 0,1 – 1,0 mg/l ozon och en kontakttid av 1-10 minuter (Gebauer et al, 1992; Liltved et al, 1995; Lawsons, 2002). En säkrare övre dos är upp till 2,0 mg/l upplöst ozon i upp till 30 minuter beroende på mikroorganismer (för mer specifika uppgifter se bilagor). Speciellt sporformande mikroorganismer är svårare att inaktivera med ozonbehandling (Summerfelt, 2003). Tiden påverkas också av grumlighet, lösta ämnen i vattnet, oorganiska joner, pH och temperatur (Lawsons, 2002). En ökande temperatur t.ex. minskar behandlingsdosen som krävs. Det finns företag i Sverige som utvecklar och säljer desinfektionssystem med ozon, för vattenflöden upp till 2200 m³/min. Investeringskostnaden för sådana system är dock hög.

Desinfektionsförsök i olika vattenkvaliteter med ozon visar tydligt den ökade dosen som krävs för att uppnå tillfredsställd inaktivering (Janning et al., 2012; tabell 1). Försöket genomfördes i vatten (0 °C), olika odlingar (Nielsby, odling 1; Fole, odling 2; Stensgården, odling 3) och olika vattenkvaliteter. Det krävs väsentligt mer ozon att rena vatten med en lägre renhetsgrad.

¹ biochemical oxygen demand.

Tabell 1. Beräknade doser ozon (mg O₃/l) vid tre olika vattenkvalitéer, i fallande ordning, för att uppnå önskad avdödning av olika mikroorganismer

Mikroorganism	Odling 1, dos av ozon till uppnådd effekt			
	Log1	Log 2	Log 3	Log 4
<i>Escherichia coli</i>	1,41	1,42	1,44	1,45
<i>Vibrio cholera</i>	1,74	2,08	2,40	2,75
<i>Bacillus subtilis</i> , sporer	1,96	2,50	3,10	3,60
Rotavirus	1,42	1,44	1,46	1,49
<i>Giardia lamblia</i> , cystor	1,46	1,51	1,57	1,62
<i>Giardia muris</i> , cystor	1,51	1,51	1,72	1,85
<i>Cryptosporidium parvum</i> , oocystor	3,30	5,30	7,20	9,10
	Odling 2, dos av ozon till uppnådd effekt			
<i>E. coli</i>	3,0	3,0	3,1	3,1
<i>V. cholera</i>	4,4	5,9	7,4	8,9
<i>B. subtilis</i> , sporer	5,4	7,9	10,3	12,8
Rotavirus	3,0	3,1	3,2	3,3
<i>G. lamblia</i> , cystor	3,2	3,4	3,6	3,9
<i>G. muris</i> cystor	3,4	3,8	4,3	4,8
<i>C. parvum</i> , oocystor	11,5	19,9	28,9	36,9
	Odling 3, dos av ozon till uppnådd effekt			
<i>E. coli</i>	3,7	3,7	3,8	3,8
<i>V. cholera</i>	5,2	6,9	8,5	10,1
<i>B. subtilis</i> , sporer	6,3	9,0	11,7	14,6
Rotavirus	3,7	3,8	3,9	4,0
<i>G. lamblia</i> , cystor	3,9	4,1	4,4	4,7
<i>G. muris</i> cystor	4,1	4,6	5,1	5,6
<i>C. parvum</i> , oocystor	12,9	22,6	31,6	40,6

3.3 Andra desinfektionstekniker

3.3.1 Avancerad oxidationsteknologi

En något nyare desinficerings teknik är ”*advanced oxidation technology*” (AOT) eller *advanced oxidation processes*” (AOP), som likt ozonbehandlingen baseras på produktion av reaktiva fria radikaler, till exempel hydroxyradikaler ($\cdot\text{OH}$) eller mer sällan sulfat radikaler ($\text{SO}_4\cdot^-$) (Andreozzi et al., 1999; Mehmet et al., 2014; Deng & Zhao, 2015). Hydroxyradikaler har väldigt stor förmåga, så kallad redoxpotential (mätt i volt), att oxidera² andra ämnen (tabell 2).

Tabell 2. Redoxpotentialer för utvalda oxidationsmedel

Oxidationsmedel	Elektrokemisk oxidationspotential (V)
Fluor (F_2)	3,06
Hydroxyradikal ($\cdot\text{OH}$)	2,80
Syre, atomärt (O)	2,42
Ozon (O_3)	2,08
Väteperoxid (H_2O_2)	1,78
Hypoklorit (ClO^-)	1,49
Klor (Cl)	1,36
Klordioxid (ClO_2)	1,27
Syre, molekylärt (O_2)	1,23

Efter Tchobanoglou et al. (2004).

Slutprodukten efter en fullständig oxidation är CO_2 , vatten och oorganiska salter. I praktiken sker dock vanligtvis en ofullständig oxidation, varvid organiska ämnes delvis bryts ned men vilket räcker för att inaktivera mikroorganismer (Andreozzi et al., 1999; Lekang, 2013). AOP kan även kombineras med UV och/eller ozon, vilket framgångsrikt har gjorts med till exempel väteperoxid som oxidationsmedel (Andreozzi et al., 1999). UV-behandlingen fyller även syftet att som en efterbehandling reducera risken för att fria radikaler når odlingsbassänger eller annan olämplig miljö (Janning et al., 2012).

Titaniumdioxid (TiO_2) kan tillsättas med UV-behandling, för att katalysera oxidationen (Chong et al., 2010). I kombination med UV, kan TiO_2 antingen tillsättas i lösnings form eller vara bundet till ett bärmaterial. Det senare är vanligast eftersom den lösliga formen kräver mer kringutrustning i form av uppsamlingstank och återanvändningssystem för det lösliga TiO_2 . För att ytterligare förhindra att lösta partiklar åker med vattenflödet till oönskade platser, kan ett membranfilter användas (Lekang, 2013). UV – TiO_2 kombination oxiderar även 2-metylisoborneol och geosmin, ämnen som ger upphov till bismaker i fisk odlade i RAS (Lawton et al., 2003). AOP används även för behandling av ballastvatten (Tsoloaki & Diamadopoulos, 2010).

² En reaktion där ett ämne (t.ex. i en organism) avger en eller flera elektroner.

3.3.2 Klor

Klor är en väldigt vanlig och effektiv metod att desinficera vatten med, och har ett stort användningsområde i vattenreningsverk världen över. Tekniken bygger på samma principer som beskrivits under kapitel 3.3.1, avancerad oxidationsteknologi, och bygger på klorets oxidativa egenskaper som bryter ned organiska molekyler. Vanligen tillsätts flytande natriumhypoklorit (NaOCl) till vattnet, men det förekommer också att fast calciumhypoklorit (Ca(OCl)_2) tillsätts eller ren klorgas (Cl_2) (Lekang, 2013). Effekt av desinficeringen påverkas av klorkoncentrationen samt kontakttiden med de organiska partiklarna. Klorkoncentrationer om 0,2-0,5 mg/l i 20-30 minuter, eller 3-5 mg/l i 1-5 minuter har rapporterats som effektiva nivåer (Johnson, 2000). Det finns system ("elektrolysvatten", *elektrolys oxiderande vatten*), med utvecklare och återförsäljare i Sverige, där vatten och en svag saltlösning passerar en elektrolytisk cell, med bildning av natriumhypoklorit som resultat. Maximalt flöde för detta system uppges till 1000 m³/h men i en kombinationslösning upp till 6000 m³/h.

Kloridjoner i vatten är väldigt toxiskt för fiskar, och ska inte överstiga 3-5 µg/l över en längre tid. Under kortare tidsintervaller (upp till 30 minuter) kan många arter klara av 50 µg/l (Wedemeyer, 1996). Därför är det viktigt att alla kvarstående kloridjoner oxideras innan de når vatten innehållandes fiskar, vilket kan göras genom luftning, UV, aktivt kol eller reducerande kemiska föreningar (Wedemeyer, 2000).

3.3.3 Värme

En inaktivering av mikroorganismer kan även ske genom olika temperaturhöjningar under olika tidsperioder. Värmebehandlingen leder till en denaturering av proteiner i mikroorganismerna vilket gör att de inte kan fungera normalt. En generell temperatur och tid för inaktivering är svår att ange då det skiljer mellan olika mikroorganismer (Skall & Olesen, 2011; Lekang, 2013). I Danmark och Norge är nedanstående värmebehandling godkänd för desinficering av processvatten, transportvatten och lagringsbasänger från fiskslakterier (BEK nr 965 af 18/07/2013; FOR-1997-02-20-192) för en minskning med 3 log₁₀ av virus VHSV, INHV och ISAV, samt bakterier *Yersina ruckeri*, *Aeromonas salmonicida*, och *Vibrio anguillarum*:

65°C i 10 minuter,
70°C i 5 minuter,
75°C i 4 minuter,
80°C i 3 minuter,
85°C i 2 minuter,
90°C i 1 minut,
95°C i 45 sekunder,
100°C i 30 sekunder.

För anläggningar i Norge som är godkända för infektionsförsök med högrisk, okända och exotiska patogener gäller:

80°C i 4 minuter,
85°C i 3 minuter,
90°C i 2 minuter,
95°C i 1 minut,
100°C i 30 sekunder.

3.3.4 pH

Förändring i form av ökning eller minskning av pH-värde kan användas för att desinficera vatten. En ökning av pH-värdet kan ske med hjälp av natriumhydroxid, NaOH, och en sänkning kan fås med organiska eller oorganiska syror, till exempel myrsyra (HCOOH) eller saltsyra (HCl). De oorganiska syrorna verkar genom att det låga pH-värdet denaturerar proteiner i mikroorganismerna. Organiska syror sänker också pH-värdet, men utöver det nås även intracellulära virala partiklar i fiskceller genom att enklare tränga in i dessa och påskynda autolysen (Skall & Olesen, 2011). Om ett filter används för att filtrera bort bitar av vävnad, till exempel i slakterier, blir det ingen skillnad i effekt av organiska eller oorganiska syror.

I Danmark är det lagligt att desinficera processvatten, transportvatten och lagringsbasänger från fiskslakterier genom att kombinera mekanisk filtrering ($\leq 300 \mu\text{m}$ filter) följt av antingen syrabehandling till $\text{pH} \leq 3,0$ i minst 8 timmar eller basbehandling till $\text{pH} \geq 12,0$ i minst 12 timmar.

En nackdel med syra/basbehandling är att vattnet måste neutraliseras innan det återgår till fisktankarna eller recipienten. Metoden används framförallt inom fiskslakterier och beredningsindustrin (Lekang, 2013).

3.3.5 Infiltration genom markbädd

Det är möjligt att inaktivera mikroorganismer genom infiltration genom naturlig eller konstgjord markbädd, sandfilter eller våtmark (Stevik et al., 2004, Lekang, 2013). Naturligt förekommande mikroorganismer och materialets fysiska egenskaper inaktiverar patogena mikroorganismer med upp till 3 Log_{10} (Bomo et al., 2003). För att uppnå en tillfredsställande grad av inaktivering av mikroorganismerna är det viktigt att utsläppsvattnet får en tillräckligt lång uppehållstid i systemet. Det har till exempel visats att kolibakterier har flyttat sig mellan 1 och 450 m i olika jordar (Gerba et al., 1975). Markens struktur, partikelstorlek, jonstyrka elektrostatisk laddning, vattenhalt, pH, temperatur, innehåll av organiskt material, biofilm, mikroflora m.m., är parametrar som påverkar infiltrationens effektivitet (Stevik et al., 2004).

4 Framtida kunskapsbehov

En fullständig avdödning av patogena mikroorganismer från utgående vatten från RAS anläggningar är inte ett realistiskt mål, då en sterilisering av vattnet inte är ekonomiskt genomförbar för företagen. En lägre nivå av avdödning, desinficering, måste tolereras för att minska risken för spridning av smittsamma sjukdomar till acceptabel nivå. I Norge är kravet en minskning med 3 log₁₀ för till exempel furunkulos (*Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida*) och infektiös laxanemi i avloppsvatten från fiskslakterier, och samma nivå har förslagits gälla även i Danmark. De möjligheter som en RAS anläggning ger vad gäller förebyggande åtgärder måste tas i beaktande vid tillståndsgivning, för att tillåta näringen att arbeta med ett konkurrenskraftigt biologiskt material.

Mer kunskap behövs kring optimal design av de olika systemen och i kombination med varandra, samt ett underlag för investeringskostnaden och hur denna kan optimeras. I utredningen har det kommit förslag från företag som är villiga att hyra ut utrustning, vilket kan vara en god möjlighet att få till ekonomiskt gångbara lösningar. Det måste tas i beaktande att en RAS anläggning kanske aldrig eller mycket sällan kommer att behöva släppa ut stora vattenvolymer under kort tid. Man bör även utreda användningen av en större uppehållstank/damm som tillfälligt kan användas som lagringsplats för utloppsvatten med potentiell smitta, i vilken en desinfektion kan verka under en längre tid och med mindre flöden.

Ett alternativ till en uppehållstank, och som skulle kunna vara en effektiv anpassning i sammanhanget av desinficering av utsläppsvattnet i RAS, skulle kunna vara en ozon-venturirör i eller längs med på insidan av ”utsläppsröret” för vatten från en RAS-anläggning. Genom att räkna ut längden på röret som behövs för att uppnå en tillräcklig lång kontakttid vid en viss dos ozon, borde man kunna enkelt tillverka ett system som uppnår en 3-4 log₁₀ desinficering i utsläppsvattnet och i princip eliminera smittskyddsrisken. Ett sådant system skulle också ha fördelar för säkerheten av arbetare och för att eliminera risken för att ozon skulle nå fiskarna. Dock är det inte ovanligt med en kontakttid av flera minuter så stora mängder vatten skulle ändå behöva använda en uppehållstank eller liknande om desinficering ska vara tillräcklig.

Vidare behövs det empiriska studier från anläggningar med de olika presenterade teknikerna och metoderna i allmänhet, och i synnerhet med ozonbehandling för att hitta de effektivaste desinficeringsnivåerna. Mer data behövs även från kombinationer av olika tekniker med varandra, för att identifiera de optimala nivåerna av desinfektanten.

För det enskilda vattenbruksföretaget kan det i nuläget, innan denna kunskap är mer utprövad och validerad, vara en övermäktig uppgift att på egen hand designa ett smittsäkert produktionssystem och i detta få godkänt för önskade fiskarter. Därför skulle en arbetsgrupp där alla inblandade myndigheter tillsammans med forskare och näring, arbeta fram accepterade regler och strukturer för att få godkända anläggningar med god smittskyddsprevention.

5 Referenser

- Ahne, W. (1982). Vergleichende Untersuchung über die Stabilität von vier fishpathogenen Viren (VVHSV, PFR, SVCV, IPNV). *Zentralblatt für Veterinarmedizin*, 29:457-476.
- Amend, D.F. & Pietsch, J.P. (1972). Virucidal activity of two iodophors to salmonid viruses. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 29:61-65.
- Bomo, A.M., Husby, A., Stevik, T.K. & Hanssen J.F. (2003). Removal of fish pathogenic bacteria in biological sand filters. *Water Research*, 37:2618-2626.
- Brown, C. & Russo, D.J. (1979). Ultraviolet light disinfection of shellfish hatchery sea water. *Aquaculture*, 17:17-23.
- Bullock, G. & Stuckey, H.M. (1977). Ultraviolet treatment of water for destruction of five gram negative bacteria pathogenic to fishes. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34:1244-1249.
- Chong, M.N., Jin, B., Chow, C. W.K. & Saint, C. (2010). Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review. *Water research*, 44:2997-3027.
- Colberg P.J. & Lingg, A.J. (1978). Effect of ozonation on microbial fish pathogens, ammonia, nitrate, nitrite and BOD in simulated reuse hatchery water. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 35:1290-1296.
- Colt, J., Cryer, E. (2000). Ozone. I: *Encyclopedia of aquaculture* (ed. Stickney, R.R.). New York: John Wiley & Sons Inc.
- Christensen, J. och Linden K. G. (2003). How particles affect UV light. *American Water Works Association*, 95:179-189.
- Fløgstad, H. Torgersen, Y., Shei, P. & Røttereng, P.J. (1991). Desinfeksjon af blodvann fra fiskeslakterier. *STFO A91096*, Ss 101. Trondeheim: SINTEF.
- Gebauer, R., Eggen, G., Hansen, E., och Eikebrokk, B. (1992). Oppdrettsteknologi – vannkvalitet og vannbehandling i lukkede oppdrettsanlegg. Trondheim: Tapir Forlag.
- Gerba, C.P., Wallis, C. & Malnick J.L. (1975). Fate of wastewater bacteria and viruses in soil. Proceeings of the American Society of Civil Engineers. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 101:157-174.
- Huber, P., Petri, B., Allen, S. & Lumsden, J.S. (2010). Viral haemorrhagic septicaemia virus IVb inactivation by ultraviolet light, and storage viability at 4 and -20 °C. *Journal of Fish Diseases*, 33:377-380.

Janning, K., Heldbo, J., Heinicke, G. & Møller Klausen, M., (2012). Teknisk udfasning af formalin. Udredning og muligheder for: Hygienisering af dambrugsvand ved anvendelse af UV- og Ozonteknologier. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

Johnson, S.K. (2000). Disinfection and sterilization. I: *Enyclopedia of Aquaculture* (ed. Stickney, R.R.). New York: John Wiley & Sons Inc.

Kimura, T., Yoshimizu, M., Tajima, K., Ezura, Y. & Sakai, M. (1976). Disinfection of hatchery water supply by Ultraviolet (U.V.) irradiation -I. Susceptibility of some fish pathogenic bacterium and microorganisms inhabiting pond waters. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 42:207-211.

Kimura, T., Yoshimizu, M., Tajima, K. & Ezura, Y. (1980) Disinfection of hatchery water supply by Ultraviolet (U.V.) irradiation -II. U.V. susceptibility of some fish pathogenic fungi. *Fish pathology – Gyobyō Kenkyū*, 14:133-137.

Kullander, S.O. (2002). Förteckning över svenska fiskarter. Elektronisk publikation: *Naturhistoriska riksmuseet*.
<http://www.nrm.se/download/18.4e32c81078a8d9249800010214/1367705199489/svenska+fiskar.pdf>

Lawson, T.B. (2002). *Fundamentals of aquacultural engineering*. Kluwer Academic Publishers.

Lawton, L.A., Robertson, P.K.J., Roberson, R.F. och Bruce, F.G., (2003). The destruction of 2-methylisoborneol and geosmin using titanium dioxide photocatalysis. *Applied Catalysis B: Environmental*, 44:9-13.

Lekang, O.I., (2013). Disinfection. I *Aquaculture engineering*. 2 ed. New York: John Wiley & Sons Inc. Ss. 120-133.

Liltved, H., Hektoen, H., Efransen, H. (1995). Inactivation of bacterial and viral fish pathogens by ozonation or UV radiation in water of different salinity. *Aquacultural Engineering*, 14:107-122.

Liltved, H. & Landfald, B. (1995). Use of alternative disinfectants, individually and in combination, in aquaculture wastewater treatment. *Aquaculture Research*, 26:567-576.

Liltved, H., Vogesang, C., Modahl, I. & Dannevig, B.H. (2006). High resistance of fish pathogenic viruses to UV irradiation and ozonated seawaters. *Aquaculture Engineering*, 34:72-82.

MacKelvie, R.M. & Desautels, D. (1975). Fish viruses – survival and inactivation of infectious pancreatic necrosis virus. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 32:1267-1273.

Maisse, G., Dorson, M. & Torchy, C. (1980). Inactivation de deux pathogènes pour les salmonides (virus de la nécrose Pancréatique infectieuse et de la septicémie hémorragique virale) par les rayons ultraviolets. *Bulletin Français de Pisciculture*, 278: 34-40.

Rodrigues, J., Gregg, T.R. (1993). Consideration for the use of ultraviolet in fish culture. I: *Techniques for modern aquaculture* (ed. Wang, J.K.), Proceedings Aquacultural Engineering Conference, Spokane, Washington. ASAE Publication 02-93, American Society of Agricultural Engineers.

Sako, H. & Sorimachi, M. (1985). Susceptibility of fish pathogenic viruses, bacteria, and fungi to ultraviolet irradiation and the disinfectant effect of UV-ozone water sterilizer on the pathogens in water. *Bulletin of the National Research Institute for Aquaculture*, 8:51-58.

Skall, H.F. & Olesen, N.J. (2011). Treatment of wastewater from fish slaughterhouse, evaluation and recommendations for hygienisation methods. National Veterinary Institute & Technical University of Denmark.

Statens veterinärmedicinska anstalt (2017). Smittskydd och hälsoläge hos fisk. <http://sva.se/djurhalsa/fisk/smittskydd-pa-fisk> (Hämtad 2017-02-23)

Stevik, K.T., Aa, K., Ausland, G. & Hanseen., J.F. (2004). Retention and removal of pathogenic bacteria in wastewater percolating through porous media: a review. *Water research*, 38:1355-1367.

Summerfelt, S.T. (2003). Ozonation and UV irradiation – an introduction and examples of current applications. *Aquaculture engineering*, 28:21-36.

Tango, M.S., Gagnon, G.A. (2003). Impact of ozonation on water quality in marine recirculation systems. *Aquacultural Engineering*, 29:125–137.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, D.H. (2004). *Wastewater engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill, New York.

Torgersen Y., (1998). Physical and chemical inactivation of the infectious salmon anaemia (ISA) virus. I: Proceedings from the 6th annual *New England farmed fish health workshop*, Eastport, Maine, USA, Ss. 44-53.

Wedemeyer, G.A. & Nelson N.C. (1977). Survival of two bacterial fish pathogens (*Aeromonas salmonicida* and the enteric redmouth bacterium) in ozonated, chlorinated, and untreated waters. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34:429-432.

Wedemeyer, G.A., Nelson N.C. & Smith, C.A. (1978). Survival of the salmonid viruses infectious haematopoietic necrosis (IHNV) and infectious pancreatic necrosis (IPNV) in ozonated, chlorinate, and untreated waters. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 35:875-879.

Wedemeyer, G.A., Nelson, N.C., Yasutaka, W.T. (1979). Potentials and limits for the use of ozone as a fish disease control agent. *Science and Engineering*, 1:295-318.

Wedemeyer, G.A. (1996). *Physiology of Fish in Intensive Culture Systems*. Chapman & Hall, London.

Wedemeyer, G.A. (2000). Chlorination/dechlorination. I: *Enyclopedia of Aquaculture* (ed. Stickney, R.R.). New York: John Wiley & Sons Inc.

Wheaton, F.W. (1977). *Aquacultural engineering*. New York: John Wiley & Sons Inc.

Yoshimizu, M., Takizawa, H. & Kimura, T. (1986). UV susceptibility of some fish pathogenic viruses. *Fish Pathology – Gyobyō Kenkyū*, 21:47-52.

Yoshimizu, M., Takizawa, H., Sami, M., Kataoka, H., Kugo, T. & Kimura, T. (1990). Disinfectant effects of ultraviolet irradiation on fish pathogens in hatchery water supply. I: proceedings from *The Second Asian Fisheries Forum*. Tokyo, Japan, Ss. 643-646.

Yoshimizu, M., Yoshinaka, T., Hatori, S. & Kasai, H. (2005). Survivability of fish pathogenic viruses in environmental water, and inactivation of fish diseases. *Bulletin of Fisheries Research Agency Supply*, 2:47-54.

Øye, A.K. & Rimstad, E. (2001). Inactivation of infectious salmon anaemia virus, viral haemorrhagic septicaemia virus and infectious pancreatic necrosis virus in water using UVC irradiation. *Diseases of Aquatic Organisms*, 48:1-5.

6 Appendix

För en än mer fullständig sammanställning av effekten av olika desinficeringsmetoder och doser se Skall & Olesen, 2011.

6.1 Effekt av desinficering med UV

6.1.1 Virus

6.1.1.1 VHS

Koncentration mikroorganism	Kontaktid	Koncentration desinfektant	Resultat (minskning)	Metod	Kommentar	Referens
10^{4-5} TCID ₅₀ ml		0,79 ± 0,15 mWs/cm ²	3 log ₁₀	Virus i sötvatten	UV-C	Øye & Rimstad, 2001
10^{4-5} TCID ₅₀ ml		Ca. 1,5 mWs/cm ²	“Inaktiverat”	Virus i sötvatten	Avläst från graf	Øye & Rimstad, 2001
Ca. 6 log ₁₀ TCID		1,8 mWs/cm ²	3 log ₁₀		UV-C	Huber et al., 2010
$10^{7,2}$ TCID ₅₀ /ml	10 min	254 nm, 5 cm avstånd	“Inaktiverat”			Ahne, 1982
10^{4-5} TCID ₅₀ ml		3,1 ± 0,18 mWs/cm ²	3 log ₁₀	Virus i avloppsvatten från fiskslakteri	UV-C	Øye & Rimstad, 2001
app. 6 log TCID		4,0 mWs/cm ²	“Inaktiverat”		UV-C	Huber et al., 2010
10^{4-5} TCID ₅₀ ml		Ca. 4 mWs/cm ²	“Inaktiverat”	Virus i avloppsvatten från fiskslakteri	Avläst från graf	Øye & Rimstad, 2001

Slutsats: VHS är mottaglig för UV strålning, och minskar med $\geq 3 \log_{10}$ om en behandlingsdos på 4 mWs/cm².

6.1.1.2 IHN

Koncentration mikroorganism	Kontaktid	Koncentration desinfektant	Resultat (minskning)	Metod	Kommentar	Referens
		1,0 mWs/cm ²	2 log ₁₀			Yoshimizu et al., 2005
10 ^{4,8-6,5} TCID ₅₀ /ml		1,0-2,0 mWs/cm ²	2 log ₁₀	UV int.: 100 µW/cm ²	Stam CHAB	Yoshimizu et al., 1986
10 ^{6,8-7,6} TCID ₅₀ /ml		1,5- 3,0 mWs/cm ²	2 log ₁₀	UV int.: 200 µW/cm ²	Stam RTTO	Yoshimizu et al., 1986
		2,0-3,0 mWs/cm ²	2 log ₁₀			Yoshimizu et al., 1990
		2,0 mWs/cm ²	3 log ₁₀			Amend & Pietsch, 1972
10 ^{4,8-6,5} TCID ₅₀ /ml	30 s	3,0 mWs/cm ²	>2-4 log ₁₀	UV int.: 100 µW/cm ²	Stam CHAB	Yoshimizu et al., 1986
10 ^{6,8-7,8} TCID ₅₀ /ml	30 s	4,0 mWs/cm ²	>3 log ₁₀	UV int.: 200 µW/cm ²	Stam RTTO	Yoshimizu et al., 1986

Slutsats: IHN är mottaglig för UV strålning, och minskar med 3 log₁₀ om en behandlingsdos på 4 mWs/cm².

6.1.1.3 ISAV

Koncentration mikroorganism	Koncentration desinfektant	Resultat (minskning)	Metod	Kommentar	Referens
10^{4-5} TCID ₅₀ /ml	$3,3 \pm 0,35$ mWs/cm ²	3 log ₁₀	Virus i sötvatten	UV-C	Øye & Rimstad, 2001
10^{4-5} TCID ₅₀ /ml	$5,5 \pm 1,3$ mWs/cm ²	3 log ₁₀	Virus i havsvatten	UV-C	Øye & Rimstad, 2001
10^{4-5} TCID ₅₀ /ml	Ca. 5,5 mWs/cm ²	“Inaktiverat”	Virus i sötvatten	Avläst från graf	Øye & Rimstad, 2001
10^{4-5} TCID ₅₀ /ml	Ca. 6,5 mWs/cm ²	“Inaktiverat”	Virus i havsvatten	Avläst från graf	Øye & Rimstad, 2001
10^{4-5} TCID ₅₀ /ml	$7,2 \pm 1,6$ mWs/cm ²	3 log ₁₀	Virus i avloppsvatten från fiskslakteri	UV-C	Øye & Rimstad, 2001
	7,5 mWs/cm ²	3 log ₁₀	Virus i havsvatten	UV-C	Liltved et al., 2006
10^{4-5} TCID ₅₀ /ml	Ca. 8 mWs/cm ²	“Inaktiverat”	Virus i avloppsvatten från fiskslakteri	Avläst från graf	Øye & Rimstad, 2001
	20 mWs/cm ²	“Inaktiverat”	Vävnadshomogenat av lever, njure och mjälte från av ISA döende fiskar.	Testat vid behandlingsdoser om 0,5-50 mW/cm ²	Torgersen, 1998

Slutsats: ISAV är mottaglig för UV strålning, och minskar med ≥ 3 log₁₀ om en behandlingsdos på 8 mWs/cm².

6.1.1.4 IPNV

Koncentration mikroorganism	Koncentration desinfektant	Resultat (minskning)	Metod	Kommentar	Referens
$10^{7,3-8,3}$ TCID ₅₀ /ml	100-150 mWs/cm ²	2 log ₁₀	UV int.: 1000 µw/cm ²		Yoshimizu et al., 1986
	100 mWs/cm ²	2 log ₁₀			Yoshimizu et al., 2005
$10^{6,7}$ TCID ₅₀ /ml	118,8 ± 5,7 mWs/cm ²	3 log ₁₀	Virus i sötvatten	UV-C	Øye & Rimstad, 2001
	150 mWs/cm ²	2 log ₁₀			Yoshimizu et al., 1990
$10^{6,7}$ TCID ₅₀ /ml	Ca. 170 mWs/cm ²	“Inaktiverat”	Virus i sötvatten	Avläst från graf.	Øye & Rimstad, 2001
$10^{7,3-8,3}$ TCID ₅₀ /ml	200 mWs/cm ²	3 log ₁₀	UV int.: 1000 µw/cm ²		Yoshimizu et al., 1986
	200 mWs/cm ²	3 log ₁₀			Sako & Sorimachi, 1985
	246 mWs/cm ²	3 log ₁₀	Havsvatten	UV-C	Liltved et al., 2006
$10^{4,5}$ TCID ₅₀ /ml	250 mWs/cm ²	0,5-1 log ₁₀	Virus i avloppsvatten från fiskslakteri, fullskaligt försök.	Salthalt 20 ‰, blodvatten utspädd med sötvatten.	Fløgstad et al., 1991
$10^{8,2}$ TCID ₅₀ /ml	254 mWs/cm ² , 5 cm avstånd	”inactivated”			Ahne, 1982
	330 mWs/cm ²	LD 80			Maise et al., 1980
10^{3-4} TCID ₅₀ /ml	336,7 ± 57,5 mWs/cm ²	3 log ₁₀	Virus i avloppsvatten från fiskslakteri	UV-C	Øye & Rimstad, 2001
$10^{7,0}$ TCID ₅₀ /ml	720-1800 mWs/cm ²	6 log ₁₀	2000 µW/cm ²	Isolat VR-299, avläst från graf.	MacKelvie & Desautels, 1975
$10^{7,0}$ TCID ₅₀ /ml	792 mWs/cm ²	5,8 log ₁₀	440 µW/cm ²	Isolat VR-299, avläst från graf.	MacKelvie & Desautels, 1975
10^{3-4} TCID ₅₀ /ml	Ca. 1500 mWs/cm ²	”inactivated”	Virus i avloppsvatten från fiskslakteri	Avläst från graf.	Øye & Rimstad, 2001

Slutsats: IPNV är mottaglig för UV strålning, och minskar med 3 log₁₀ om en behandlingsdos på 250-350 mWs/cm².

6.1.2 Bakterier

6.1.2.1 *Aeromonas hydrophila*

Koncentration mikroorganism	Kontaktid	Koncentration desinfektant	Temp (°C)	Resultat (minskning)	Metod	Referens
10 ⁴ -10 ⁵ cfu/ml	3,2 s	3,3-5,3 mWs/cm ²	12,5	> 2 log ₁₀	Vatten med löst organiskt innehåll utan filtrering.	Bullock & Stuckey, 1977
10 ⁴ -10 ⁵ cfu/ml	3,2 s	4,0-4,8 mWs/cm ²	12,5	> 2 log ₁₀	Vatten med löst organiskt innehåll med filtrering.	Bullock & Stuckey, 1977
10 ⁴ -10 ⁵ cfu/ml	3,2 s	4,5 mWs/cm ²	12,5	3 log ₁₀	Källvatten, 25 nm filtrering innan UV behandling	Bullock & Stuckey, 1977
10 ³ cfu/ml		5 mWs/cm ²		3 log ₁₀	Spridd på agarplatta innan UV behandling.	Yoshimizu et al., 1990; Kimura et al., 1980
10 ⁴ -10 ⁵ cfu/ml	3,2 s	12 - 30 mWs/cm ²	12,5	3 log ₁₀	Vatten med löst organiskt innehåll utan filtrering.	Bullock & Stuckey, 1977
10 ⁴ -10 ⁵ cfu/ml	3,2 s	13 - 29 mWs/cm ²	12,5	3 log ₁₀	Vatten med löst organiskt innehåll med filtrering.	Bullock & Stuckey, 1977
10 ⁴ -10 ⁵ cfu/ml	3,2 s	21-24 mWs/cm ²	12,5	3 log ₁₀	Källvatten, 25 nm filtrering innan UV behandling.	Bullock & Stuckey, 1977
1,3 × 10 ⁷ TCID ₅₀ /ml		23,1 mWs/cm ²		4 log ₁₀		Kimura et al., 1976

Slutsats: *A. hydrophila* mottaglig för UV strålning, och minskar med 3 log₁₀ om en behandlingsdos på 5-25 mWs/cm².

6.1.2.2 *Aeromonas salmonicida*

Koncentration mikroorganism	Kontaktid	Koncentration desinfektant	pH	Temp (°C)	Resultat (minskning)	Metod	Referens
10 ⁷ cfu/ml		0,05 mWs/cm ²	7,2	7	3 log ₁₀	Fosfatbuffert	Liltved & Handalf, 1995
10 ⁷ cfu/ml		0,05 mWs/cm ²	7,8	7	3 log ₁₀	Avloppsvatten från akvakultur (15,7 ‰ salthalt).	Liltved & Handalf, 1995
10 ⁷ cfu/ml	48 s	2,34 mWs/cm ²	7,8	7	3 log ₁₀	Fosfatbuffert	Liltved & Handalf, 1995
10 ⁷ cfu/ml	50 s	2,38 mWs/cm ²			3 log ₁₀	Avloppsvatten från akvakultur (15,7 ‰ salthalt).	Liltved & Handalf, 1995
10 ⁴ -10 ⁵ cfu/ml	3,2 s	3,3-5,3 mWs/cm ²			> 2 log ₁₀	Vatten med löst organiskt innehåll utan filtrering.	Bullock & Stuckey, 1977
		3,4 mWs/cm ²		12,5	3 log ₁₀		Sako & Sorimachi, 1985
10 ³ cfu/ml	3,2 s	4,0 mWs/cm ²			≥ 3 log ₁₀	Spridd på agarplatta innan UV behandling.	Yoshimizu et al., 1990; Kimura et al., 1980
10 ⁴ -10 ⁵ cfu/ml	3,2 s	4,0-4,75 mWs/cm ²		12,5	> 3 log ₁₀	Vatten med löst organiskt innehåll med filtrering.	Bullock & Stuckey, 1977
10 ⁴ -10 ⁵ cfu/ml	3,2 s	4,5 mWs/cm ²		12,5	> 3 log ₁₀	Källvatten, 25 nm filtrering innan UV behandling.	Bullock & Stuckey, 1977
10 ⁴ -10 ⁵ cfu/ml	3,2 s	12-30 mWs/cm ²		12,5	> 3 log ₁₀	Vatten med löst organiskt innehåll med filtrering	Bullock & Stuckey, 1977
10 ⁴ -10 ⁵ cfu/ml	3,2 s	13-29 mWs/cm ²		12,5	> 3 log ₁₀	Vatten med löst organiskt innehåll utan filtrering	Bullock & Stuckey, 1977

		13 mWs/cm ²		12,5	”inactivated”	25 nm filtrering innan UV behandling.	Bullock & Stuckey, 1977
10⁴-10⁵ cfu/ml	3,2 s	21-24 mWs/cm ²		12,5	> 3 log ₁₀	Källvatten, 25 nm filtrering innan UV behandling.	Bullock & Stuckey, 1977
5,6 × 10⁶ TCID₅₀/ml		23,1 mWs/cm ²		18,3	> 4 log ₁₀		Kimura et al., 1976

Slutsats: *A. salmonicida* är mottaglig för UV strålning, och minskar med $\geq 3 \log_{10}$ om en behandlingsdos på 5-25 mWs/cm².

6.2 Effekt av desinficering med ozon

6.2.1 Virus

6.2.1.1 IHN

Koncentration mikroorganism	Kontaktid	Koncentration desinfektant	pH	Temp (°C)	Resultat (minskning)	Metod/kommentar	Referens
10 ⁴⁻⁵ TCID ₅₀ /ml	30 s	70 mg/h/l	6,9	10	“Inaktiverat”	Total residual, CT värde: 0,3 mg*s/m ³ .	Wedemeyer et al., 1978; Wedemeyer et al., 1979
	15 s	0,5 mg/l			2 log ₁₀	Total residual, CT värde: 7,5 mg*s/m ³ .	Yoshimizu et al., 2005
10 ⁴⁻⁵ TCID ₅₀ /ml	10 min	70 mg/h/l	6,9	10	“Inaktiverat”	Ingen stabil residual uppmätt.	Wedemeyer et al., 1978; Wedemeyer et al., 1979
10 ⁴⁻⁵ TCID ₅₀ /ml	10 min	70 mg/h/l	8,2	10	“Inaktiverat”	Ingen stabil residual uppmätt.	Wedemeyer et al., 1978; Wedemeyer et al., 1979

Slutsats: IHN är mottaglig för ozonbehandling, men utifrån ovanstående resultat är dosen för en minskning med 3 log₁₀ okänd.

6.2.1.2 ISAV

Koncentration mikroorganism	Kontaktid	Koncentration desinfektant	pH	Temp (°C)	Resultat (minskning)	Metod/kommentar	Referens
	15 s	0,33 mg/l	7,9	5	99,0 %	Havsvatten, CT värde: 5,0 mg*s/m ³ .	Liltved et al., 2006
	31 min	2,5 mg/l	7,9	5	98,4 %	Havsvatten, CT värde: 4650 mg*s/m ³ .	Liltved et al., 2006
	14 min	70 mg/h/l	7,9	5	98,0 %	Havsvatten, CT värde: 5628 mg*s/m ³ .	Liltved et al., 2006
	17 min	70 mg/h/l	7,9	5	98,7 %	Havsvatten, CT värde: 8058 mg*s/m ³ .	Liltved et al., 2006

6.2.1.3 IPNV

Koncentration mikroorganism	Kontaktid	Koncentration desinfektant	pH	Temp (°C)	Resultat (minskning)	Metod/kommentar	Referens
10 ⁵ TCID ₅₀ /ml	60 s	70 mg/h/l	6,9	10	“Inaktiverat”	Total residual 0,01 mg/m ³ . Havsvatten, CT värde: 0,6 mg*s/m ³ .	Wedemeyer et al., 1978; Wedemeyer et al., 1979
10 ^{5,5} TCID ₅₀ /ml	60 s	0,20 mg/l		9-12	> 4 log ₁₀	Sjövatten, CT värde: 12 mg*s/m ³ .	Liltved et al., 1995
10 ^{5,5} TCID ₅₀ /ml	120 s	0,20 mg/l		9-12	> 5 log ₁₀	Sjövatten, CT värde: 24 mg*s/m ³ .	Liltved et al., 1995
10 ^{5,5} TCID ₅₀ /ml	60 s	0,20 mg/l		9-12	> 5 log ₁₀	Brackvatten (15 ‰ salthalt), Sjövatten, CT värde: 12 mg*s/m ³ .	Liltved et al., 1995

10 ^{5,5} TCID ₅₀ /ml	60 s	0,20 mg/l		9-12	> 5 log ₁₀	Havsvatten (32 ‰ salthalt) Sjövatten, CT värde: 12 mg*s/m ³ .	Liltved et al., 2006
	1 min				2 log ₁₀	Sjövatten, CT värde: 30 mg*s/m ³ .	Yoshimizu et al., 2005
10 ⁵ TCID ₅₀ /ml	30 s	90 mg/h/l	6,9	10	“Inaktiverat”	Ingen stabil residual uppmätt, mjukt vatten: 30 mg/l CaCO ₃ .	Wedemeyer et al., 1978; Wedemeyer et al., 1979.
10 ⁵ TCID ₅₀ /ml	10 min	90 mg/h/l	8,2	10	“Inaktiverat”	Ingen stabil residual uppmätt, mjukt vatten: 30 mg/l CaCO ₃ .	Wedemeyer et al., 1978; Wedemeyer et al., 1979.

Slutsats: IPNV är mottaglig för ozonbehandling, men utifrån ovanstående resultat är dosen för en minskning med 3 log₁₀ okänd.

6.2.2 Bakterier

6.2.2.1 *Aeromonas salmonicida*

Koncentration mikroorganism	Kontaktid	Koncentration desinfektant	pH	Temp (°C)	Resultat (minskning)	Metod/kommentar	Referens
10 ³ celler/ml	10 min	0,01 mg/m ³ , residual	6,9	20	“Inaktiverat”	Destillerat vatten. CT värde: 6 mg*s/m ³ .	Wedemeyer & Nelson, 1977; Wedemeyer et al., 1979.
10 ³ celler/ml	30 s	0,04 mg/l, residual	6,9	20	“Inaktiverat”	Destillerat vatten. CT värde: 1,2 mg*s/m ³ .	Wedemeyer & Nelson, 1977; Wedemeyer et al., 1979.
10 ⁷ cfu/ml	60 s	0,065 mg/l/s	7,8	7	3,5 log ₁₀	Avloppsvatten från akvakultur (15,7 ‰ salthalt). Avläst från graf.	Liltved & Landfald, 1995
10 ⁷ cfu/ml		0,065 mg/l/s	7,8	7	3 log ₁₀	Avloppsvatten från akvakultur (15,7 ‰ salthalt).	Liltved & Landfald, 1995

10 ⁷ /ml	6 min	0,05 mg/l	7		Ca. 4 log ₁₀	Destillerat vatten, kontinuerlig tillsats av ozon. Avläst från graf. CT värde: 18 mg*s/m ³ .	Colberg & Lingg, 1978
10 ⁷ cfu/ml		0,1 mg/l/s	7,2	7	3 log ₁₀	Fosfatbuffert	Liltved & Landfald, 1995
10 ⁷ /ml	90 s	0,1 mg/l	7		Ca. 4 log ₁₀	Destillerat vatten, kontinuerlig tillsats av ozon. Avläst från graf. CT värde: 9 mg*s/m ³ .	Colberg & Lingg, 1978
10 ⁷ /ml	150 s	0,1 mg/l	7		“Inaktiverat”	Destillerat vatten. Avläst från graf. CT värde: 15 mg*s/m ³ .	Colberg & Lingg, 1978
3 × 10 ⁶ cfu/ml	180 s	0,15 mg/ml			4 log ₁₀	Autoklaverat havsvatten (32 ‰ salthalt). CT värde: 27 mg*s/m ³ .	Liltved et al., 2006
3 × 10 ⁶ cfu/ml	120 s	0,15 mg/ml			4 log ₁₀	Autoklaverat brackvatten (15 ‰ salthalt). CT värde: 18 mg*s/m ³ .	Liltved et al., 2006
3 × 10 ⁶ cfu/ml	60 s	0,20 mg/ml			4 log ₁₀	Autoklaverat sjövattnen. CT värde: 12 mg*s/m ³ .	Liltved et al., 2006
10 ⁸ /ml	60 s	1 mg/ml	7		“Inaktiverat”	Destillerat vatten. Avläst från graf.	Colberg & Lingg, 1978
10 ³ celler/ml	30 min	20 mg/ml	8,2	20	“Inaktiverat”	Hårt sjövattnen (120 mg/l CaCO ₃)	Wedemeyer & Nelson, 1977; Wedemeyer et al., 1979.
10 ³ celler/ml	5 min	90 mg/ml	8,2	20	“Inaktiverat”	Hårt sjövattnen (120 mg/l CaCO ₃)	Wedemeyer & Nelson, 1977; Wedemeyer et al., 1979.
10 ³ celler/ml	15 min	90 mg/ml	6,9	20	“Inaktiverat”	Mjukt sjövattnen (30 mg/l CaCO ₃)	Wedemeyer & Nelson, 1977; Wedemeyer et al., 1979.

Slutsats: *A. salmonicida* är mottagligt för ozonbehandling, och minskar med 4 log₁₀ om en behandlingsdos på 10-30 mg*s/m³.

Rapporten kan beställas från
Jordbruksverket,

551 82 Jönköping

Tfn 036-15 50 00 (vx)

Fax 036 34 04 14

E-post: jordbruksverket@jordbruksverket.se
www.jordbruksverket.se

ISSN 1102-3007

ISRN SJV-R-17/15-SE

SJV offset, Jönköping,

RA: 17:15