

Desinfectie recirculatiewater met behulp van UV-straling

Ir. Andries Kamstra
RIVO-DLO IJmuiden

Desinfectie van recirculatiewater door middel van ultraviolet licht (UV) of ozon is een nieuw fenomeen dat de laatste tijd in visteland Nederland in de belangstelling is gekomen. Op een studiemiddag op het Rijksinstituut voor Visserijonderzoek (RIVO) in januari is met een tweetal leveranciers van apparatuur en een aantal palingkwekers de toepassing van deze technieken besproken. Deze middag vormde de aanleiding tot verder graafwerk, waarvan hier het resultaat volgt in de vorm van een artikel, waarin wordt ingegaan op de (on)mogelijkheden van UV.

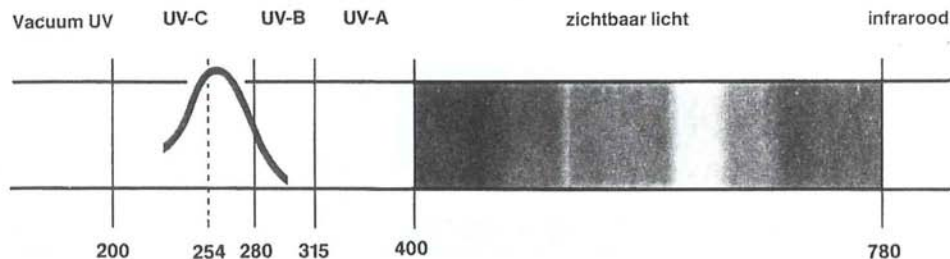
Wat is UV en wat doet het?

UV-licht is de benaming voor straling met een golflengte die kleiner is dan het voor menselijke ogen waarneembare licht. Figuur 1 geeft een overzicht van de golflengte van de diverse soorten UV-licht. Gebleken is dat UV-C in sterke mate door levende cellen wordt opgenomen en dan met name de golflengten rond de 254 nm. Absorptie van UV-licht door cellen heeft tot gevolg dat het erfelijk materiaal van de cel (DNA) wordt beschadigd, waardoor de

cel zich niet meer kan delen. UV doodt dus niets!

Een UV lamp geeft uiteraard niet al z'n vermogen bij 254 nm af. Bij een golflengte van 185 nm, die afhankelijk van de kwaliteit van de lamp in meer of mindere mate wordt afgegeven, kan door reactie met zuurstof ozon ontstaan. Deze (ongewenste) vorming van ozon kan effecten veroorzaken die moeilijk zijn te onderscheiden van effecten van UV.

★ Figuur 1. De plaats van UV in het elektromagnetische spectrum. In het bactericide UV-C gebied (200-280 nm) is de DNA absorptiecurve getekend.



Straling per soort organisme

De reductie van organismen door UV kan in z'n algemeenheid beschreven worden door de formule:

$$N = N_0 e^{-K \cdot I \cdot t} \quad (1)$$

waarin:

- N = het aantal organismen na behandeling (m^{-3})
- N_0 = het aantal organismen voor behandeling (m^{-3})
- K = inactiveringsconstante ($cm^2 \cdot J^{-1}$)
- I = de intensiteit van de straling ($mW \cdot cm^{-2}$)
- t = tijd (s)

Uit (1) blijkt al direct dat men met UV-straling nooit alle organismen kan elimineren. Het produkt $I \cdot t$ noemen we de dosis ($W \cdot s \cdot cm^{-2} = J \cdot cm^{-2}$). De mate van afdoding wordt over het algemeen op een logaritmische schaal uitgedrukt. De decimale reductie DR waarover we dan spreken drukken we uit als:

$$DR = 10 \log (N_0/N) = K \cdot I \cdot t \quad (2)$$

Wanneer we bijvoorbeeld het aantal organismen met 90% reduceren dan is sprake van een decimale reductie van 1. Bovenstaande formule houdt in dat voor een toename van de reductie van bijvoorbeeld 90 naar 99%, een verdubbeling van de dosis noodzakelijk is. Een zeer belangrijk maar ingewikkeld aspect van een UV-apparaat is het stromingsgedrag van het water in de reactor. Men kan zich voorstellen dat door een goede zijdelingse menging van het water de effectiviteit toeneemt doordat meer organismen 'geraakt' wor-

den. In het geval van een laminaire stroming langs de UV-buis ontvangt slechts een klein laagje langs de buis een (te) hoge dosis. Uit onderzoek is gebleken dat afhankelijk van het stromingspatroon in de reactor, de afdoding een factor 10 à 100 kan verschillen. Het kwantificeren van de hydraulische eigenschappen van UV-apparaat is voor een beoordeling van de apparatuur dan ook van groot belang.

De werking van UV-apparatuur blijkt over het algemeen in de praktijk goed beschreven te kunnen worden als die van een serie van (m) mengers. In formule:

$$DR = 0.4343 \cdot m \cdot \ln (1 + D \cdot K/m) \quad (3)$$

Afhankelijk van de hydraulische eigenschappen van de reactor blijkt m te variëren van 1 tot 8. De inactiveringsconstante K is uiteraard sterk afhankelijk van het organisme in kwestie. Voor E. coli bedraagt K 0.055 $cm^2 \cdot mJ^{-1}$. Grotere organismen zoals ectoparasieten hebben over het algemeen een dosis nodig die 10 tot 100 maal hoger ligt bij dezelfde DR.

UV-systemen

Een UV-buis kan op vele manieren ten opzichte van het te behandelen water gepositioneerd

★ Twee UV-buizen, gebruikt voor de proefopstelling.



worden. Hieronder volgen enkele van de meest toegepaste systemen.

- Lamp vlak boven het wateroppervlak met reflector boven de lamp (Kelly-Purdy unit). Dit is een van de oudste en eenvoudigste systemen die in Nederland door het bedrijf GLA in enkele aalmesterijen is geïnstalleerd. Nadeel van dit systeem is dat het oneconomisch met het UV-licht omspringt door verliezen aan wateroppervlak en reflectoren.
- Lampen geplaatst rondom een teflon- of kwartsbuis waardoor het te behandelen water stroomt. Dit systeem wordt onder andere geleverd door Wedeco.
- Lampen geplaatst in het water. Hier kan een groot aantal configuraties onderscheiden worden bijvoorbeeld een plaatsing evenwijdig of loodrecht op de stroomrichting. Dit soort systemen worden o.a. geleverd door Trojan, Berson, Bruner en Hölzli.

Er bestaan vele soorten lampen die UV kunnen afgeven. Voor dit verhaal is met name het verschil tussen hogedruk- en lagedruk lampen van belang. Hogedruk lampen kunnen per lamp grote vermogens afgeven (1 à 2 kW), waarbij echter de nuttige UV-output per lamp slechts 6 à 8% bedraagt. Dit soort lampen wordt momenteel alleen door Berson gebruikt en is uitermate geschikt om compacte units te bouwen.

Lagedruk lampen leveren vermogens in de orde van 30 à 200 W maar gaan aanzienlijk meer efficiënt met dit vermogen om (ca. 28% UV). De meeste apparatuur is met lagedruk lampen uitgerust.

De stralingsintensiteit van een lamp neemt in de loop van de tijd af, met name door afzettingen aan de binnenkant van de lamp en slijtage van de elektroden. Na ongeveer een jaar is de intensiteit van een lagedruk lamp tot ca. 60% gereduceerd en moet deze vervangen worden. Hogedruk lampen verouderen tweemaal sneller dan lagedruk lampen. Het spreekt voor zich dat aangroei en vervuiling op de buiten-

kant van de lamp regelmatig verwijderd moet worden.

Stralingsintensiteit en dosis.

De uiteindelijke intensiteit van de straling op een bepaald punt in de reactor wordt bepaald door een aantal factoren:

- De afstand tot de lamp (Wet van Lambert-Beer).
- De transmissie van het water voor UV-straling. Deze, zeg maar 'lichtdoorlaatbaarheid', blijkt in de praktijk in recirculatiesystemen 10 tot 60% te bedragen.
- Het gehalte aan zwevende stof. De 'schaduwwerking' van zwevende delen kan de efficiëntie van UV-apparatuur sterk verminderen. Gehaltes van 15 tot 20 mg/l worden normaal als bovengrens geaccepteerd. Deze waarden zijn in de aanvoerleiding van een recirculatiesysteem met een goede verwijdering van zwevende delen zeker haalbaar.

Voor de meest eenvoudige configuratie, namelijk een buisreactor met één centrale lamp, zullen we de gemiddelde stralingsdosis in de reactor uitrekenen. We gaan uit van een lamp van 200 W met een UV-rendement van 25% (lagedruk). De lengte van de lamp bedraagt 800 mm en de diameter 30 mm. De totale diameter en de 'nuttige inhoud' van de reactor bedragen respectievelijk 110 mm en 7 l. Allereerst berekenen we de UV-intensiteit aan de buitenkant van de kwartsbuis:

$$I_0 = I_{\text{tot}} / (2 * \pi * R_0 * L) \quad (4)$$

waarin:

I_0 = stralingsintensiteit op de omhullende kwartsbuis, W/m²

I_{tot} = UV-output van de lamp, W

R_0 = de straal van de lamp, cm

L = de lengte van de lamp, cm

In ons voorbeeld komt dit neer op een intensiteit van 663 W/m². Een deeltje dat één seconde aan deze straling blootstaat ontvangt dus een dosis van 663 J/m².

De gemiddelde stralingsintensiteit in de reactor is uiteraard lager. Door integratie over een doorsnede loodrecht op de lamp kan deze gemiddelde intensiteit berekend worden:

$$I_g = f(2 \times I_0 \times R_0 \cdot k(R_0^2 - R_0^2)) \times (1 - e^{-k(R_0 - R_U)}) \quad (5)$$

waarin:

- R₀ = de straal van de reactor, cm
- k = de extinctiecoëfficiënt, 1/m
- k = ln(100/Tr)
- Tr = Transmissie, %

Het berekenen van intensiteiten in units met meerdere lampen is een gecompliceerde klus die we hier graag achterwege laten.

Dimensionering

De eerste vraag die men zich dient te stellen bij het ontwerpen van een installatie is: wat wil ik bereiken? Wil men ecto-parasieten of flagellaten bestrijden, het eetgedrag van de vis verbeteren of een bacterieel kiemgetal reduceren? De laatste parameter is momenteel de enige die in een recirculatiesysteem eenvoudig en met enige nauwkeurigheid meetbaar is. Bij het ontwerpen van een installatie of het evalueren van een proefinstallatie is het daarom verstandig kiemgetallen te hanteren. Hoewel we geen flauw benul hebben, wat een streefwaarde voor een kiemgetal in een recirculatiesysteem zou moeten zijn, zou enig vergelijkend onderzoek op mesterijen hier in de toekomst licht op kunnen werpen. Op het moment dat dat soort informatie beschikbaar is, kan een individuele viskweker bekijken of überhaupt correctie van de waterkwaliteit nodig is. Men zou zich kunnen voorstellen dat het nut van UV-behandeling uiteindelijk sterk afhankelijk is van de efficiëntie van de bestaande waterzuivering en het management.

Met behulp van een aantal aannamen zullen we nu trachten de benodigde hoeveelheid vermogen te berekenen die resulteert in een voorafgestelde reductie van bijvoorbeeld *E. coli*. De belangrijkste aanname is dat de productie van 'organismen' in een recirculatiesysteem is gerelateerd aan de hoeveelheid voer. In een evenwichtstoestand is dan de productie van 'organismen' gelijk aan de hoeveelheid die middels verversing wordt verwijderd. Voor een aantal organismen met een relatief ingewikkelde levenscyclus of voor specifieke visparasieten lijkt dit een boue veronderstelling.

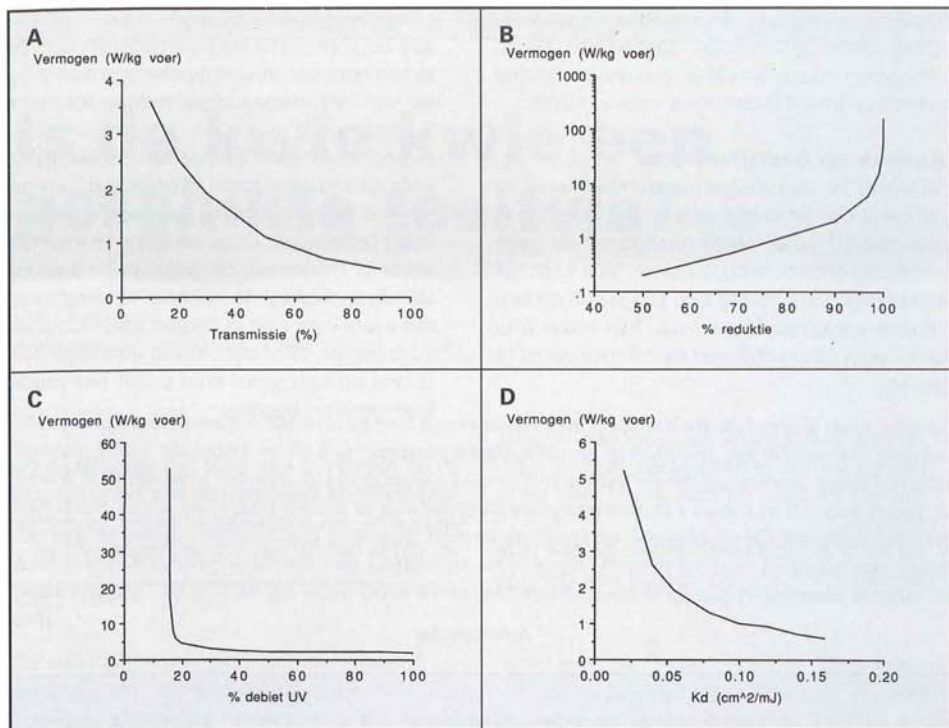
We maken in eerste instantie gebruik van de eerder genoemde reactor bij een transmissie van 30%. (4) en (5) leveren dan de gemiddelde intensiteit in de reactor.

Bij toepassing van UV-apparatuur kunnen we het gehele recirculatie-debiet behandelen of een deelstroom. In het laatste geval is per definitie meer vermogen vereist om toch dezelfde reductie in de complete stroom te bewerkstelligen.

De fractie te behandelen water (hier 100%) en de gewenste totale reductie (DR=1) leveren de benodigde reductie over het UV-systeem. Uit (3) kan dan de benodigde dosis berekend worden (m=3, K= 0.055). Dosis en intensiteit leveren de contacttijd die samen met de dimensies van de reactor het benodigde aantal reactoren en het totale vermogen (W/kg voer) opleveren.

In figuur 2 is de relatie tussen een aantal factoren en het benodigde vermogen weergegeven. Voor deze berekeningen is uiteraard een 'Spreadsheet' vereist.

Het is duidelijk dat de transmissie van grote invloed is op de benodigde hoeveelheid vermogen. De transmissie voor UV varieert voorzover wij dat kunnen overzien van 10 tot 60% in recirculatiewater. Met name de typische gele kleurstoffen in recirculatiewater, die ook in water met een goede zichtdiepte voorkomen, kunnen in sterke mate UV absorberen. Zoals figuur 2b treffend illustreert, is het beno-



★ *Figuur 2. Het verband tussen Transmissie (a), % gewenste reductie (b), fractie van recirculatie-debiet over reactor (c), de inactiveringsconstante K_d (d) en het te installeren vermogen aan UV-apparaat.*

digde vermogen in sterke mate afhankelijk van de gewenste mate van afdoding. Het vermogen is overigens onafhankelijk van de absolute hoeveelheid organismen; m.a.w. een reductie van 10.000 naar 1.000 organismen vergt evenveel vermogen als een reductie van 10 naar 1 organismen. Reducties met een factor 10 à 100 lijken in een recirculatiesysteem onder bepaalde omstandigheden goed haalbaar.

Figuur 2c laat zien dat er een bepaalde minimale fractie van het totale debiet door UV behandeld moet worden wil men een bepaalde reductie realiseren. Bij kleine deelstromen kan de hoeveelheid organismen die een apparaat kan verwijderen te klein zijn om het gewenste

evenwicht te bereiken. Het behandelen van het totale recirculatie-debiet is uiteraard het meest efficiënt, hoewel de verschillen tot 50% klein zijn.

Het verband tussen K_d en het vermogen (2d) laat zien hoe belangrijk de keuze van het 'doelorganisme' is voor de dimensionering van de installatie. De K_d van 0.055 van *E. coli* komt overeen met die van het 'kiemgetal' dat eenvoudig te bepalen is. Naarmate een organisme groter is neemt de K_d af en dus de benodigde dosis toe. Voor protozoën en ciliaten is de K_d een factor 2 à 3 lager dan die van *E. coli*. Een opvallende uitkomst van de simulaties is dat de hydraulica in de reactor maar van zeer

beperkte invloed is op de prestaties. De verschillen in benodigd vermogen tussen een slecht ontworpen reactor ($m=2$) en een goed werkend exemplaar ($m=8$) liggen in de orde van 20%.

Aanpak op bedrijfsniveau

Na lezing van bovenstaande blijft bij menig lezer natuurlijk de vraag: heb ik wat aan UV op mijn bedrijf? Zoals reeds gezegd is hier geen eenduidig antwoord op te geven. Wat voor het ene bedrijf nuttig lijkt te zijn, kan in een andere situatie weggegooid geld zijn. We zullen proberen voor de praktijk een aantal handvaten te geven:

- Probeer een duidelijk doel voor een mogelijk gebruik van UV te formuleren. Wat wil ik bereiken? Probeer dit doel in getallen uit te drukken.
- Ga na of dit doel langs andere wegen is te bereiken. Zo is bijvoorbeeld een geringe

zichtdiepte aan een veelheid van factoren toe te schrijven. Het verbeteren van de zichtdiepte kan in veel systemen misschien op een veel eenvoudiger manier tot stand komen.

- Indien u UV gaat toepassen probeer dan vóór de installatie van UV enige tijd kiemgetallen in uw systeem (bijvoorbeeld in de aanvoer) te bepalen. Dit is de enige manier om achteraf objectieve controle op de werking van de apparatuur te hebben. Verwacht niet dat u iets kunt zien of op een andere manier kunt meten. Met behulp van testkitjes (Milipore) en een stoof kunt u zelf eenvoudig kiemgetallen bepalen.

In de toekomst kan door het vergelijken van verschillende systemen en een systematische evaluatie van mogelijke effecten, een beter inzicht in het nut van UV verkregen worden.
