

UV felületfertőtlenítés elmélet és gyakorlat

Dr. Ósz Ágnes¹, Kerekes Ivett Kriszta¹, Encs Balázs¹,
Gnädig András Tamás¹, Sass Péter Zsolt¹, Zalka Péter Tibor¹

¹ B+N Referencia Zrt., K+F csoport

Az ultraviola (UV) sugárzással történő fertőtlenítés egy kifejezetten gyors és hatékony módszer lehet kórházak, tömegközlekedési eszközök, közösségi terek, iskolák és óvodák gyakran érintett felületeinek kiegészítő és/vagy vegyszermentes fertőtlenítésére, azonban a fény fizikai tulajdonságai miatt az eszköz alkalmazását az adott területre szükséges optimalizálni. Az alábbi összefoglaló a megfelelő UV fertőtlenítés folyamatát, előnyeit és korlátait mutatja be.

Bevezető

Az UV sugárzással történő fertőtlenítést több évtizede használják a felületeken, levegőben és vízben lévő kórokozók számának csökkentésére [1,2]. A SARS-CoV-2 által okozott COVID-19 világjárvány rávilágított az UV sugárzással történő fertőtlenítési technológiák széleskörben történő alkalmazásának tudományos és műszaki lehetőségeire a betegség átvitelének fő közegeiben. Napjainkban világszerte a kórházaktól és egészségügyi intézményektől kezdve a bevásárlóközpontokig és repülőterekig számos közhasználatú térben bevezették vagy fontolgatják az UV berendezések alkalmazását a elsősorban a keringő légáramlatok fertőtlenítésére [3,4]. Azonban az előnyök ellenére, az UV fertőtlenítés kritikus szempontjainak korlátozott megértése ennek az ígéretes technológiának a nem megfelelő használatához vezethet [5,6]. Ebben az összefoglalóban az UV sugárzás és fertőtlenítés alapjaival foglalkozunk. Ezen kívül célunk volt bemutatni azokat a paramétereket és az UV rendszerek teljesítményének validálására szolgáló protokollokat, amelyek garantálják az UV fertőtlenítési folyamat hatékonyságát az ember számára biztonságos módon.

Az ultraviola sugárzás inaktíváló hatása és az UV dózis

Az ultraviola tartomány a Naptól érkező 100 nm és 400 nm közötti elektromágneses sugárzási spektrum hullámhosszúsága, amit négy tartományra osztunk: UVA: 315 nm és 400 nm; UVB: 280 nm és 315 nm; UVC: 200 nm és 280 nm és vákuum UV: 100 nm és 200 nm között. A mikroorganizmusok UV érzékenysége 200-300 nm közé esik és a csúcса 260 nm körül van [7,8]. Az elnyelt UVC fotonok kritikus károsodást okoznak a mikroorganizmusok örökítőanyagában, megakadályozva a szaporodásukat és túlélésüket, ezért az UV sugárzás mikroorganizmusokra gyakorolt hatását inaktíválásnak nevezik [8]. A fertőtlenítéshez különböző UV forrásokat használnak, leggyakrabban az alacsony és közepes nyomású higanylámpákat, amelyek sugárzási csúcса egybeesik a mikroorganizmusok UV érzékenységi csúcсával (~260 nm) [9,10], de tesztelnek UV sugárzást kibocsátó diódákat (UV-LED) (11), és távoli UVC-t (200-240 nm) sugárzó excimer- és mikroplazmalámpákat [12].

Az UV fertőtlenítés egy energiaalapú folyamat, ahol az inaktíválási arányt (fertőtlenítési hatékonyságot) az alkalmazott UV dózis határozza meg. Az UV dózist (mJ/cm²) a mikrobiális sejtekre leadott besugárzás vagy intenzitás (mW/cm²) és az expozíciós idő (s) szorzatából számítják ki [1,7]. Így az UV alkalmazása során a fertőtlenítési adatok legpontosabb kifejezése az UV dózis, nem pedig az idő [13]. Ahhoz azonban, hogy egy UV levegő- vagy felületi fertőtlenítővel megfelelő, pl. 99,9%-os inaktíválási értéket érjünk el, számos tényező játszik szerepet, amelyek két kategóriába sorolhatók: a mikroorganizmusok tulajdonságai és a célközeg jellemzői.

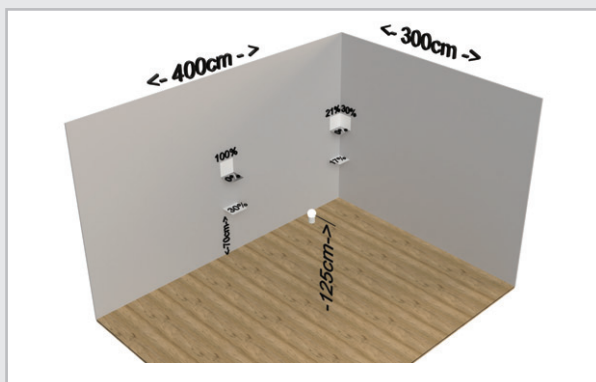
Az inaktíváló hatást befolyásoló paraméterek

Az UV fertőtlenítés során a kívánt fertőtlenítő hatás eléréséhez szükséges tényleges dózis, elsősorban öt tényezőtől függ:

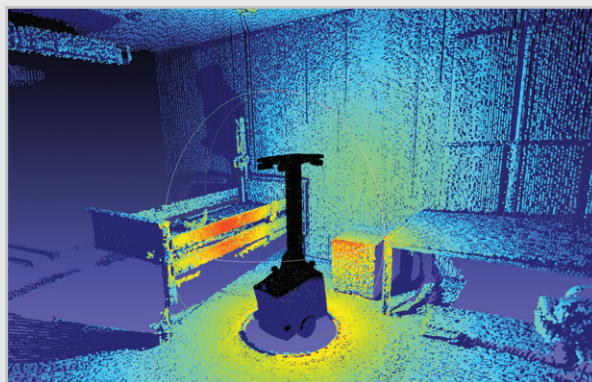
- Cél mikroorganizmus, és a szükséges inaktíválás mértéke.
- Energiaforrás UV sugárzása: vagyis ténylegesen mekkora, inaktíváláshoz szükséges hullámhosszú energiát sugároz az adott UV lámpa. Fontos, hogy ez az érték nem azonos a lámpa elektromos energiafelvételével. Különböző lámpatípusok UV hatékonysága 20-35% között van (UV teljesítmény/elektromos teljesítmény)
- Behatási idő: az inaktíválás, mint fent leírtuk, energia alapú folyamat. A szükséges energia a felületen mérhető UV intenzitás, és a behatási idő szorzatból számítható.
- Energiaforrás és tárgy távolsága: az intenzitás az energiaforrástól mért távolsággal NÉGYZETESEN fordítottan arányos. Tehát egy kétszeres távolságban levő tárgy negyedakkora sugárzásnak van kitéve. Mindennapi alkalmazás szempontjából a távolság az egyik fontos tényező.
- Beesési szög: A felületen mért intenzitás a beesési szögtől is függ. Mindennapi alkalmazásban ez a másik fontos tényező.

A mikroorganizmusok genetikai anyaga különböző összetételű, így UV érzékenységük is nagymértékben változik. A vírusok örökítőanyaga egy- vagy kettős szálú DNS-ből, illetve egy vagy kettős szálú RNS-ből állhatnak. Általánosan elmondható, hogy az egyszálú örökítőanyaggal rendelkező vírusok érzékenyebbek az UV sugárzásra, ezt követi a baktériumok DNS-e, majd a kettős szálú DNS és RNS vírusok következnek. A legkevésbé érzékenyek gombák, illetve a spóra állapotú mikroorganizmusok a kompaktságuk miatt [1]. Számos szakirodalmi adat áll rendelkezésre a mikroorganizmusok megfelelő mértékű inaktiválásához szükséges dózisokról [1, 14]. Például a SARS-CoV-2 99,9%-os inaktiválásához alacsonyabb (<10 mJ/cm²) UV dózis is elegendő [15], ezzel szemben egy spóra állapotú *Clostridium difficile* hasonló mértékű inaktiváláshoz >50 mJ/cm² UV dózis szükséges [16]. Ahogy említettük az örökítő anyagon túl még több egyéb tényező is befolyásolja a különböző mikroorganizmusok UV érzékenységét: például a méretük és a különböző fehérje- és lipidburkok jelenléte [17, 18]. Mindemellett a fény terjedése és a besugárzott közeg jellemzői is nagyban befolyásolják az UV fertőtlenítés hatékonyságát. Az inaktiválás sebessége függ például a felület anyagától és dőlés szögétől, a távolságtól és a relatív páratartalomtól (RH). Szakirodalom alapján magasabb RH alacsonyabb UV érzékenységhez vezet és a páratartalom hatása a baktériumok esetén meghatározóbb, mint a vírusoknál [19, 20].

A beesési szög, távolság és árnyékolás hatását az 1 és 2. ábrán, egy elméleti elrendezésen és egy kórterem 3D modelljén mutatjuk be. Az 1. ábrán egy 3x4 méteres, téglalap alapterületű szoba közepén, 1,2 m magasan egy ideális, pontszerű UV sugárzó van. Amennyiben a közelebbi, szemben levő falon, a sugárzó magasságában a falon 100% a intenzitás, a távolabbi sarokban, azonos magasságban már csak 21-28%. Ebben a magasságban elhelyezkedő vízszintes felületeken az intenzitás 0, mivel azok párhuzamosan vannak a beeső fénnel. 70 cm magas vízszintes felületen (pl. asztal) az adott pont elhelyezkedésétől függően az intenzitás 17-30% között változhat. Ezen felül az UV sugárzás csak felületi hatással bír, nem hatol be az anyagokba, ezért az elért fertőtlenítés csak a felületekre korlátozódhat, illetve az árnyékolat, takarásban lévő felületeken nem, vagy csak kismértékben fejti ki hatását, ezért fontos a felületi szennyeződések eltávolítása [21].



1. ábra
Elméleti elrendezés, a beesési szög és távolság hatása az UV intenzitásra pontszerű besugárzó esetén



2. ábra
Kórterem 3D szkennelt modellje és az egy pontból számított UV dózis értékek

A hatékony UV fertőtlenítés folyamata

Látható, hogy számos tényező befolyásolhatja az UV fertőtlenítés hatékonyságát, azonban a távolság és a takarások csökkentésére megoldást nyújtanak az önjáró UV berendezések. Ideális esetben egy UV fertőtlenítő berendezés alkalmazásához az alábbi lépéseket kell megvalósítani:

- Helyiség felmérése, kívánt dózis és behatási idő meghatározása
- Próbaüzem és dózismérés (radiométer műszerrel és indikátor matricával)
- Üzemeltetési utasítás kialakítása
- Rendszeres monitorozás (üzemeltetési utasítás betartása, dózismérés)
- UV forrás élettartamának monitorozása

A higanylámpák katalógus szerinti élettartama jellemzően azt az üzemórát jelenti, ameddig a vizsgált, folyamatosan üzemelő lámpasokaság legalább fele még működőképes, és a kezdeti UV teljesítmény legalább 80%-át sugározza. A dózis megállapításánál ezt a csökkenést figyelembe kell venni. Az élettartam vizsgálatok azonban jellemzően nem veszik figyelembe a kapcsolások számát. A higanylámpák nagyon érzékenyek a kapcsolások számára, és az üzemi hőmérsékletre. Egy jellemzően 20-30 percig üzemeltetett UV fertőtlenítő berendezés lámpáinak élettartama (különösen a kibocsátott UV energia tekintetében) a töredéke lehet a katalógus értéknek.

Az általunk fejlesztett autonóm UV felületfertőtlenítő eszközünket a Nemzeti Népegészségügyi Központ útmutatóját figyelembe véve [6] és a fenti lépéseket alkalmazva fejlesztjük és vezetjük be új területeken. A fertőtlenítendő területről 3D modellt készítünk, majd az eszközünk sugárzási paramétereit figyelembe véve modellezzük az egyes felületekre jutó UV dózist (2. ábra), ami alapján az eszköz haladási idejét megállapítjuk.

UV biztonság

Az UV sugárzásnak való kitétség hatással lehet az ember egészségre is. A fertőtlenítési potenciálhoz hasonlóan az UV sugárzás potenciális egészségügyi kockázata a hullámhossz és az expozíció függvényében változik. Használat előtt mérlegelni kell az egyes UV forrásokkal kapcsolatos kockázatokat és útmutatást kell adni a biztonságos használatról az esetlegesen sugárzásnak kitett személyek védelme érdekében. Az UV sugárzás veszélyes a bőrre és a szemre, ezért ajánlott a megfelelő egyéni védőfelszerelés (PPE) használata, figyelmeztető táblák elhelyezése, ha lehetséges önjáró, mobil eszközök alkalmazása. Az UV túlterhelés gyakori tünetei a bőrön jelentkező napégéshez hasonló reakciók (erythema) és a szem fájdalmas, viszkető állapota (fotokeratitis). A tünetek csak néhány órával az expozíciót követő 1-12 órában jelentkeznek és általában 24-48 órán belül teljesen megszűnnek és nem hagynak maradandó károsodást. Az UV biztonság és a napi maximális dózis előírásait az MSZ EN ISO 15858:2017 szabvány, illetve a CIE 187:2010 és a 2006/25/EK irányelvek tartalmazzák.

UV fertőtlenítés hatékonysága és előnyei

Számos nemzetközi és hazai szervezet javasolja az UV berendezések alkalmazását különböző közegek (felület, levegő, víz és szennyvíz) fertőtlenítésére, járványok és kórházi fertőzések terjedésének csökkentésére [6,22-27]. Az UV berendezések kiegészítő fertőtlenítésként történő alkalmazásának hatékonyságát több egészségügyi intézményben végzett vizsgálatok is igazolják, a nozokomiális fertőzések száma 25-96%-kal csökkent minimum egy éves periodust vizsgálva [28-30]. Az UV eszköz fertőtlenítő hatását tekintve a vegyszeres, kézi takarítással egyenértékű vagy hatékonyabb eljárásnak bizonyult több egészségügyi intézmény különböző osztályait vizsgálva [31,32]. Összességében elmondható, hogy az UV fertőtlenítő berendezések kiegészítő alkalmazása a kézi és a H₂O₂ vagy O₃ gázzal történő fertőtlenítésnél rövidebb behatási idő alatt alkalmasak ugyanazon eredmény eléréséhez. Szemben a felsorolt eljárásokkal a fertőtlenítés vegyszermentesen történik, a kezelés végén a helyiség azonnal használható, nincs szükség a helyiség külön előkészítésére és alacsony a humán erőforrás igénye, azonban a kezelőszemélyzet védelme ebben az esetben is szükséges.

Összefoglalás

Számos előnye miatt a COVID-19 járvány során a fertőzések terjedésének megakadályozására az UV sugárzás alkalmazása is óriási figyelmet kapott. Az UV készülékek használatának ugrásszerű növekedése azt bizonyítja, hogy a lakosság vágyik a hatékony és kényelmes fertőtlenítési módszerekre, azonban számos piacon lévő eszköz esetén hiányoznak a pontos alkalmazásra vonatkozó szabványok és a harmonizált eljárással történő validáció, így álbiztonságérzetet nyújthatnak. Ennek elkerülésére fontos az UV fertőtlenítés korlátainak ismerete és a megfelelő irányelvek illetve fertőtlenítési protokollok betartása.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Kowalski W. Ultraviolet germicidal irradiation handbook: UVGI for air and surface disinfection. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection. 2009.
- [2] Morris EJ. The practical use of ultraviolet radiation for disinfection purposes. Med Lab Technol. 1972;
- [3] Shining a light on COVID-19. Nature Photonics. 2020.
- [4] Garcíá De Abajo FJ, Hernández RJ, Kaminer I, Meyerhans A, Rosell-Llompert J, Sanchez-Elsner T. Back to Normal: An Old Physics Route to Reduce SARS-CoV-2 Transmission in Indoor Spaces. ACS Nano. 2020.
- [5] Raeiszadeh M, Adeli B. A Critical Review on Ultraviolet Disinfection Systems against COVID-19 Outbreak: Applicability, Validation, and Safety Considerations. ACS Photonics. 2020.
- [6] NNK. Útmutató germicid lámpák használatával kapcsolatban [Internet]. Nemzeti Népegészségügyi Központ. 2020. Available from: https://www.nnk.gov.hu/attachments/article/911/Útmutató_germicid_lámpák_UV-C_fénynyel_működő_légtisztító_berendezések.pdf
- [7] Bolton J R and Cotton CA. The Ultraviolet Disinfection Handbook. Am Water Work Assoc. 2008;
- [8] Besaratinia A, Yoon J, Schroeder C, Bradforth SE,

- Cockburn M, Pfeifer GP. Wavelength dependence of ultraviolet radiation-induced DNA damage as determined by laser irradiation suggests that cyclobutane pyrimidine dimers are the principal DNA lesions produced by terrestrial sunlight. *FASEB J.* 2011;
- [9] Beck SE, Wright HB, Hargy TM, Larason TC, Linden KG. Action spectra for validation of pathogen disinfection in medium-pressure ultraviolet (UV) systems. *Water Res.* 2015;
- [10] Craik SA, Weldon D, Finch GR, Bolton JR, Belosevic M. Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts using medium- and low-pressure ultraviolet radiation. *Water Res.* 2001;
- [11] Song K, Taghipour F, Mohseni M. Microorganisms inactivation by wavelength combinations of ultraviolet light-emitting diodes (UV-LEDs). *Sci Total Environ.* 2019;
- [12] Buonanno M, Ponnaiya B, Welch D, Stanislauskas M, Randers-Pehrson G, Smilenov L, et al. Germicidal efficacy and mammalian skin safety of 222-nm UV light. *Radiat Res.* 2017;
- [13] Bolton JR, Mayor-Smith I, Linden KG. Rethinking the Concepts of Fluence (UV Dose) and Fluence Rate: The Importance of Photon-based Units – A Systemic Review. *Photochemistry and Photobiology.* 2015.
- [14] Haji Malayeri A, Mohseni M, Cairns B, Bolton JR. Fluence (UV Dose) Required to Achieve Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae. *IUVA News.* 2016;
- [15] Biasin M, Bianco A, Pareschi G, Cavalleri A, Cavatorta C, Fenizia C, et al. UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication. *Sci Rep.* 2021;
- [16] Nerandzic MM, Cadnum JL, Eckart KE, Donskey CJ. Evaluation of a hand-held far-ultraviolet radiation device for decontamination of *Clostridium difficile* and other healthcare-associated pathogens. *BMC Infect Dis.* 2012;
- [17] Tseng CC, Li CS. Inactivation of virus-containing aerosols by ultraviolet germicidal irradiation. *Aerosol Sci Technol.* 2005;
- [18] Zhu Z, Lian X, Su X, Wu W, Marraro GA, Zeng Y. From SARS and MERS to COVID-19: A brief summary and comparison of severe acute respiratory infections caused by three highly pathogenic human coronaviruses. *Respiratory Research.* 2020.
- [19] Jordan P, Werth HM, Shelly M, Mark H. Effects of relative humidity on the ultraviolet induced inactivation of airborne bacteria. *Aerosol Sci Technol.* 2001;
- [20] Walker CM, Ko G. Effect of ultraviolet germicidal irradiation on viral aerosols. *Environ Sci Technol.* 2007;
- [21] Katara G, Hemvani N, Chitnis S, Chitnis V, Chitnis D. Surface disinfection by exposure to germicidal UV light. *Indian J Med Microbiol.* 2008;
- [22] CDC. Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities [Internet]. U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention. 2008. Available from: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/pdf/guidelines/disinfection-guidelines-H.pdf>
- [23] CDC. Upper-Room Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) [Internet]. U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention. 2021. Available from: https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/ventilation/uvgi.html#anchor_1617895001042
- [24] FDA. UV Lights and Lamps: Ultraviolet-C Radiation, Disinfection, and Coronavirus [Internet]. U.S. Food and Drug Administration. Available from: <https://www.fda.gov/medical-devices/coronavirus-covid-19-and-medical-devices/uv-lights-and-lamps-ultraviolet-c-radiation-disinfection-and-coronavirus>
- [25] EPA. Wastewater Technology Fact Sheet: Ultraviolet Disinfection [Internet]. United States Environmental Protection Agency. 1999. p. 1EPA 832-F-99-064. Available from: <https://www3.epa.gov/nepdes/pubs/uv.pdf>
- [26] EPA. EPA Regulations About UV Lights that Claim to Kill or Be Effective Against Viruses and Bacteria [Internet]. United States Environmental Protection Agency. 2020. p. EPA Document # 305F20004. Available from: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/uvlight-complianceadvisory.pdf>
- [27] CIE. Position Statement on Ultraviolet (UV) Radiation to Manage the Risk of COVID-19 Transmission. Commission Internationale de L'éclairage. 2020.
- [28] Mauzey S. Coming to the Light: Impact of Ultraviolet Technology on Incidence of *Pseudomonas* in a Neonatal Intensive Care Unit. *Am J Infect Control.* 2015;
- [29] Pavia M, Simpser E, Becker M, Mainquist WK, Velez KA. The effect of ultraviolet-C technology on viral infection incidence in a pediatric long-term care facility. *Am J Infect Control.* 2018;
- [30] Pegues DA, Han J, Gilmar C, McDonnell B, Gaynes S. Impact of Ultraviolet Germicidal Irradiation for No-Touch Terminal Room Disinfection on *Clostridium difficile* Infection Incidence among Hematology-Oncology Patients. *Infection Control and Hospital Epidemiology.* 2017.
- [31] Armellino D, Goldstein K, Thomas L, Walsh TJ, Petraitis V. Comparative evaluation of operating room terminal cleaning by two methods: Focused multivector ultraviolet (FMUV) versus manual-chemical disinfection. *Am J Infect Control.* 2020;
- [32] Anderson DJ, Moehring RW, Weber DJ, Lewis SS, Chen LF, Schwab JC, et al. Effectiveness of targeted enhanced terminal room disinfection on hospital-wide acquisition and infection with multidrug-resistant organisms and *Clostridium difficile*: a secondary analysis of a multicentre cluster randomised controlled trial with crossover design (BETR Disinfection). *Lancet Infect Dis.* 2018;