



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov

Grega Bizjak



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Zakaj?

- UV svetloba se že dolgo uporablja za dezinfekcijo vode pa tudi zraka.
- Uporabna je tudi za dezinfekcijo površin, predvsem v povezavi z drugimi načini dezinfekcije (uporaba kemičnih sredstev).
- Ob pojavu koronavirusa SARS-CoV-2 se je zanimanje za dezinfekcijo prostorov in površin z UV svetlobo povečalo in odmevalo tudi v medijih (predsednik Trump, USA).



UV svetloba?

Področje UV svetlobe obsega valovne dolžine od 100 nm do 400 nm in jo običajno razdelimo v tri podpodročja:

- UV-A: od 315 nm do 400 nm
- UV-B: od 280 nm do 315 nm
- UV-C: od 100 nm do 280 nm

Za dezinfekcijo je primerna UV-C svetloba, ki jo zato včasih imenujemo tudi protibakterijska UV svetloba. V naravi ni prisotna saj jo ozonska plast in atmosfera v celoti absorbirata.

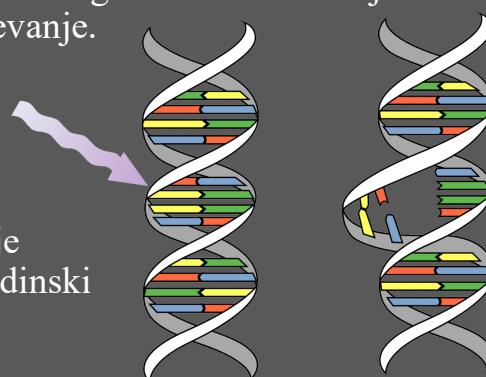
3 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov



Kako?

UV-C svetloba poškoduje nukleinsko kislino (DNK ali RNK) in tako onemogoči vitalne funkcije oziroma razmnoževanje.

Posledica okvare je timinski ali pirimidinski dimer.



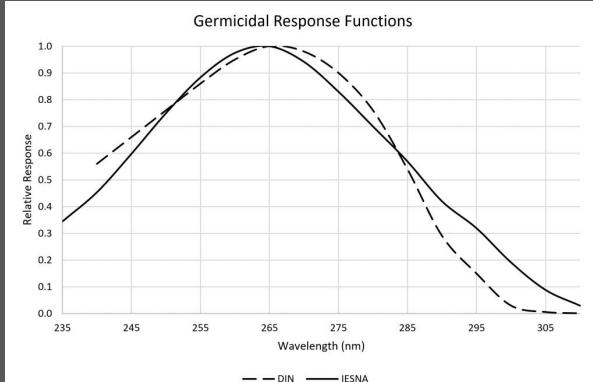
Vir: wikipedia.org

4 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov

 Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Zakaj UV-C?

Absorbcijski spekter nukleinske kisline



The graph plots 'Relative Response' (y-axis, 0.0 to 1.0) against 'Wavelength (nm)' (x-axis, 235 to 305). Two curves are shown: a solid line for IESNA and a dashed line for DIN. Both curves peak at approximately 260 nm. The IESNA curve starts higher than the DIN curve at 235 nm and remains higher until about 285 nm, after which it drops more sharply. The DIN curve follows a similar path but stays slightly below the IESNA curve.

Vir: <https://www.allthingslighting.org/index.php/author/ianashdown/>

5 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov

 Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Zgodovina uporabe UV-C za dezinfekcijo?

- 1878 Arthur Downes in Thomas P. Blunt objavita članek „On the Influence of Light upon Protoplasm“
- 1903 Niels Finsen dobi Nobelovo nagrado za medicino za uporabo UV svetlobe pri zdravljenju lupus vulgaris
- 1920 prva dezinfekcija pitne vode v Marseille, Francija
- 1955 uvedba sistemov za dezinfekcijo vode v Avstriji in Svici
- 1985 v Evropi deluje okoli 1500 sistemov za dezinfekcijo vode s pomočjo UV-C svetlobe
- 1998 odkrijejo, da so praživali bolj občutljive na UV-C kot so mislili prej, kar odpre pot dezinfekciji vode z UV-C v ZDA
- 2001 deluje v Evropi že preko 6000 sistemov za dezinfekcijo vode s pomočjo UV-C

6 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Doza!

- Za poškodovanje nukleinske kisline je potrebna določena energija – doza.
- **dóza²-e ž (q)** določena, natančno odmerjena količina česa, navadno zdravila, odmerek: povečati, predpisati dozo; to zdravilo učinkuje že pri razmeroma nizki dozi; dnevna doza; doza mortfija / maksimalna, smrtna doza; pren. nauke mu servira po dozah // količina sploh: vzela je preveliko dozo uspavalnih praškov; kisla vina žveplajo navadno z manjšo dozo / dopustne doze radioaktivnega sevanja; tolerančne doze rentgenskih žarkov; pren. patos je podan v premočni dozi; precejšnja doza humorja

7 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Doza!

- Energija je produkt moči in časa (J, Ws),
- podobno tudi doza, le da jo običajno podajamo na enoto površine (J/m^2 , Ws/m^2).
- v radiometriji jo imenujemo **izpostavljenost (energijskemu) obsevanju** in jo izračunamo kot časovni integral (energijske) obsevanosti

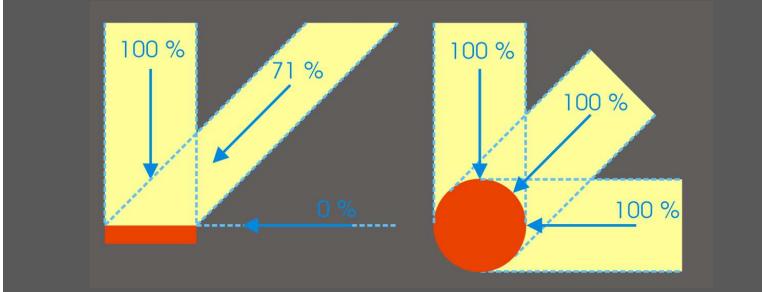
$$H_e = \int_0^t E_e(t) dt$$

8 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov

 Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Doza!

- Ker pa v primeru dezinfekcije obsevamo tridimenzionalne „predmete“ in ne površino, je v določenih primerih boljši izraz **prostorsko (energijsko) obsevanje**.

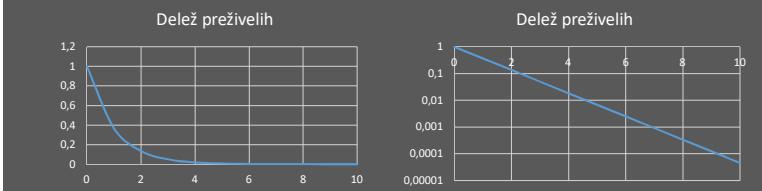


9 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov

 Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Doza!

- Z UV-C svetlobo je možna dezinfekcija ne pa sterilizacija. Uničimo lahko določen del mikroorganizmov ne pa vse.
- Z večjo dozo uničimo več mikroorganizmov, vendar povezava ni linearна ampak logaritempska.

$$\% \text{ preživelih} = e^{-kt}$$


10 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov

 Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Doza!

Če z eno „dozo“ uničimo 90 % mikroorganizmov, potrebujemo za:

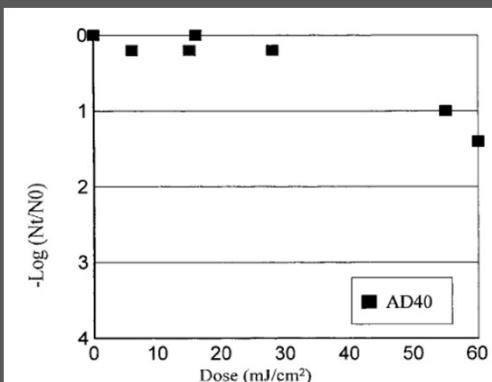
- uničenje 99 % dve dozi
- uničenje 99,9 % tri doze
- uničenje 99,99 % štiri doze
- ...
- uničenje vseh organizmov **neskončno veliko doz**

II Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov

 Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Doza!

Če je doza premajhna, ni nujno, da takoj „prime“



Dose (mJ/cm^2)	$\text{-Log}(N/N_0)$
5	-0.5
15	-0.5
35	-0.5
55	1.0
58	2.5

Vir: DOI: 10.1128/AEM.69.1.577-582.2003

I2 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Doza!

Pri večini mikroorganizmov za uničenje 90 % populacije zadošča:

2.000 do 8.000 µWs/cm²

Načeloma velja tudi: večji kot so mikroorganizmi, manjša doza je potrebna za njihovo uničenje

I3 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Virusi!

Virus je zelo majhen patogen, ki za razmnoževanje potrebuje drugo živo celico. Sestavljen je samo iz nukleinske kisline in zaščitnega ovoja iz beljakovin ali beljakovin in lipidov. Glede na njihovo nukleinsko kislino ločimo 4 vrste virusov:

- virusi z enoverižno RNK (ssRNA)
- virusi z dvoverižno RNK (dsRNA)
- virusi z enoverižno DNK (ssDNA)
- virusi z dvoverižno DNK (dsDNA)

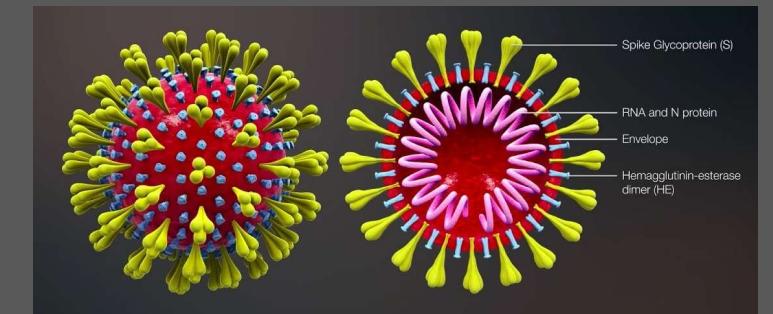
I4 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov



 Univerza v Ljubljani
 Fakulteta za elektrotehniko
 Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Korona virus!

Korona virus je virus z enoverižno RNK (ssRNA)



Vir: <https://www.youtube.com/watch?v=TeCEnOY3jGs>

15 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov



 Univerza v Ljubljani
 Fakulteta za elektrotehniko
 Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Številke, virusi!

Dezinfekcija zraka z 90 % učinkovitostjo:

- ssRNA: (339 – 423) $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
- dsRNA: (444 – 494) $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
- ssDNA: (662 – 863) $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
- dsDNA: (910 – 1.196) $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$

vir: Chun-Chieh Tseng & Chih-Shan Li (2005) Inactivation of Virus-Containing Aerosols by Ultraviolet Germicidal Irradiation, *Aerosol Science and Technology*, 39:12, 1136-1142, DOI: 10.1080/02786820500428575

16 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Številke, virusi!

Dezinfekcija površine z 90 % učinkovitostjo:

- ssRNA: (1.320 – 3.200) $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
- dsRNA: (2.500 – 4.470) $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
- ssDNA: (3.800 – 5.360) $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
- dsDNA: (7.700 – 8.130) $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$

vir: Chun-Chieh Tseng & Chih-Shan Li (2007) Inactivation of Viruses on Surfaces by Ultraviolet Germicidal Irradiation, Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 4:6, 400-405, DOI: 10.1080/15459620701329012

I 7 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Številke, virusi!

Dezinfekcija vode z 90 % učinkovitostjo:

- FCV: (5.000 – 6.000) $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
- MS-2: (23.000) $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
- AD40: (50.000 – 53.000) $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$

vir: J. A. Thurston-Enriquez, C. N. Haas, J. Jacangelo, K. Riley, C. P. Gerba, Inactivation of Feline Calicivirus and Adenovirus Type 40 by UV Radiation, App. and Env. Microbiology, Jan. 2003, p. 577-582

I 8 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Številke, drugi mikroorganizmi!

Dezinfekcija zraka z 90 % učinkovitostjo:

- E. coli: $(509 - 1.178) \mu\text{Ws/cm}^2$
- Bacillus subtilis: $(7.975 - 9.673) \mu\text{Ws/cm}^2$
- kvasovke: $(6.459 - 8.749) \mu\text{Ws/cm}^2$
- P. Citrinum: $(12.992 - 44.710) \mu\text{Ws/cm}^2$

vir: Chia-Yu Lin & Chih-Shan Li (2002) Control Effectiveness of Ultraviolet Germicidal Irradiation on Bioaerosols, *Aerosol Science and Technology*, 36:4, 474-478, DOI: 10.1080/027868202753571296

19 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Še nekateri podatki!

- UV, še posebej pa UV-C zelo slabo prodira skozi materiale. Zato je za dezinfekcijo vode potrebna večja doza kot za dezinfekcijo zraka.
- Podoben učinek ima zračna vлага. Pri višji zračni vlagi je potrebna večja doza. Izrazita meja je nekje med 65 % in 75 %.

20 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Še nekateri podatki!

- Pri razkuževanju površin je največji problem zadostna obsevanost, saj se virusi lahko nahajajo v senci (razpoke, raze, neravne površine)
- Circulacija zraka (zračenje) med obsevanjem bistveno zmanjša učinkovitost, ker mikroorganizmi niso dovolj dolgo izpostavljeni UV svetlobi.

21 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Še nekateri podatki!

- Večina organizmov (razen sesalcev) zna „popraviti“ poškodbe DNK ali RNK zaradi obsevanosti z UV svetlogo in sicer s pomočjo svetlobe, včasih pa tudi v temi. Proses se imenuje „fotoreaktivacija“

22 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

Konec!

Hvala lepa za
pozornost

23 Bizjak: Potrebna doza UV svetlobe (254 nm) za dezinfekcijo prostorov