

MÉRŐEGYSÉG FEJLESZTÉSE UVC CSÖVEK ÖREGEDÉSÉNEK VIZSGÁLATÁHOZ

DEVELOPMENT OF A MEASURING UNIT FOR TESTING THE AGEING OF UVC TUBES

Csik Norbert^{0000-0002-9456-3431 1*}, Sári Bence^{0000-0001-6973-246X 1},
Pásztor Attila^{0000-0001-7354-5114 1}, Koszna Ferenc⁰⁰⁰⁰⁻⁰⁰⁰²⁻⁷³⁸⁷⁻³⁵⁵³¹

¹ Informatika Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország
<https://doi.org/10.47833/2022.2.CSC.004>

Kulcsszavak:

UVC
Szenzor
Fénycső
Öregedés

Keywords:

UVC
Sensor
Tubes
Ageing

Cikktörténet:

Beérkezett 2022. október 10.
Átdolgozva 2022. október 31.
Elfogadva 2022. november 5.

Összefoglalás

Az UVC csövek sugárzása a cső anyagára nézve is destruktív, emiatt a cső effektív csírátlanító képessége működési élettartamának első 4000 órája alatt jelentősen csökken. Sok forgalmazó berendezéseiben nem is tekinti tovább a csövet funkcionálisan alkalmasnak. A cső öregedése azonban komplex folyamat, számos egyéb hatás befolyásolja, így felmerült a kérdés, hogy adott környezetben működő cső öregedését lehet-e mérni, illetve, hogy az öregedési folyamat homogén-e a cső teljes felületén.

Abstract

The radiation from UVC tubes is also destructive to the tube material. The effective germicidal power is significantly reduced during the first 4000 hours of its operational life, and many distributors no longer consider the tube to be functionally suitable for their equipment. However, the ageing of the pipe is a complex process, influenced by many other effects, and the question arose whether the ageing of a pipe in a given environment can be measured, and whether the ageing process is homogeneous over the entire surface of the pipe.

1. Bevezetés

A különböző UVC sugárzáson alapuló csírátlanító berendezések alkalmazása jelentős lendületet vett a COVID vírus terjedése alatt [1] hiszen szinte az egyetlen érintésmentes eszköz, amely vegyszermentesen képes a vírust, baktériumokat és gombákat is szinte teljes mértékben elpusztítani. Kiváltképp ajánlott és jelentős előrelépést jelenthet kórházak és egyéb közösségi terek, autóbuszok klímaberendezéseibe integrálni és aktívan alkalmazni, hiszen a légúti megbetegedések nagy részének terjedését képes lassítani, visszaszorítani [2].

Az eszközökben alkalmazott UVC-csővek 260-280 nm-es sávban sugároznak, mely a szerves anyagokba hatolva roncsolja azok szerkezetét, bőrrel érintkezve bőrpírt, esetleg rákot okoz, szembe jutva erősen károsítja a látásfunkciókat. A csövek láthatóságának szempontjából szükséges zárt elrendezés és a felhasználói oldalon megjelenő kis helyigény azonban a csőfal sugárzási fluxusának és hőmérsékletének inhomogén eloszlását, ezáltal annak lokalizált kopási mintáit alakíthatják ki, melyek a cső várható élettartamát csökkentik. Jelen munkában olyan szenzor fejlesztését mutatjuk be, mely alkalmas az UVC-cső felületének homogenitását és áteresztő képességét jellemezni.

* Kapcsolattartó szerző.
E-mail cím: csik.norbert@gamf.uni-neumann.hu

2. Mély UV csövek leggyakoribb meghibásodási, öregedési jelei

Az iparban használt mély UV csövek tipikus meghibásodási jelenségeit és jellemzőit [3] mutatjuk be az 1. ábrán – megjegyezve, hogy képeken bemutatott hibák már a működésképtelenség szintjét képviselik.

Devitrifikáció vagy **ködösödés** akkor következik be, amikor a kvarc kristályos struktúrává alakul vissza, mely gyenge UV áteresztő. A világos foltok megjelenése egyre jelentősebbé válik, az UV-lámpa túlmelegedésével. A folyamat tiszta és pormentes környezetben, megfelelő villamos paraméterek felügyeletével és a cső hűtésével lassítható.

A túlzottan hűtött csövek belső felületén azonban az elektróda párolgó higany- és volfrámtartalma kondenzálódhat, **tükrösödést**, tükröbevonat-szerű hatást eredményezve. Az UV-lámpa végeit a gyártók strukturálisan hővisszaverő anyagokkal vonják be, hogy azt melegen tartsák, de gondot jelenthet még, ha a fénycső körül túl sok hűvös levegő áramlik, amely nem megfelelően és egyenletesen érintkezik a lámpatesttel annak hossza mentén.

Jellemzően a tápegység hibájából előfordulhat, hogy az UV-lámpa túlterheltté válik vagy túl magas hőmérsékletnek lesz kitéve. A csővégeken található csatlakozók legfeljebb 250 °C-os hőmérsékletet bírnak el. A lámpa és a foglalat közötti elektromos ívképződés a kupakon átégetett lyukhoz, **toksapka károsodás**hoz vezethet. A probléma elkerülhető a tok megfelelő hőmérsékleten tartásával és megfelelő tápegység alkalmazásával.

A volfrám magas olvadáspontja ellenére az UV -lámpa élettartama alatt természetes „**feketedés**” következik be, a magas ívhőmérséklet hatására párolgó elektródák kondenzátumaként. Speciális gyártói bevonatok lassíthatják ezt a fajta eróziót. A probléma kifejlődése lassítható, ha nem kapcsoljuk ki- és be a lámpát a közeli üzemi állapotok között, mert az elektróda legnagyobb terhelése gyújtáskor következik be. Az UV-csőves berendezések többnyire készenléti üzemmóddal is rendelkeznek, ami a lámpát 50% -os (és ennél alacsonyabb) üzemi szinten tartja akkor is, amikor ideiglenesen nem használják.

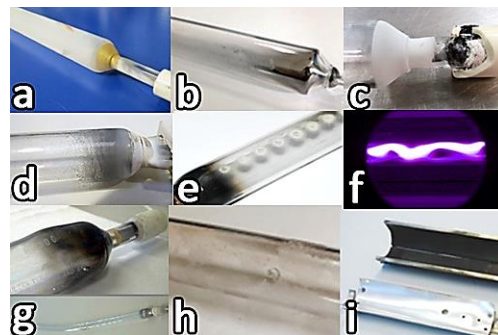
A klímarendszerek nyomásviszonyait kialakító gépek, vagy eleve a külső levegőt tisztító telítődött szűrő miatt a légáramlás szennyezetté válhat, ez **foltosodást** okozhat. Kifejezetten fontos a csövek tisztán tartása, teljesen portalan környezetet biztosítva, emiatt csak megfelelően tisztított levegő juthat a csírátlanító rektorba.

A plazmaív destabilizálódásával **ívgörcbület**, ívspirál jöhet létre az elektródák közötti íven, ami miatt az többször is hozzáérhet a lámpatest belső felületéhez, fellágyítva a kvarcot. A jelenség hamarabb fordul elő állandó teljesítményű transzformátoros táplálásnál. Lehetőség szerint kerülni kell az 1 m-nél hosszabb csöveket, higanyos és nem adalékolt (gallium vagy vasas) lámpát érdemes inkább használni.

Az üveg valójában folyadék, mely az idő előrehaladtával egyre nagyobb **deformitásra** tesz szert. A magasabb hőmérséklet és az lámpatestet érő tartós mechanikai hatások a folyamatot elősegítik, ezért fontos a lámpatestet megfelelő léghűtéssel 850 °C alatt tartani, illetve, ha lehetséges, a tokban rendszeresen 180° -kal elforgatni.

A **külső szennyeződés** ujjlenyomatokból vagy porokból származó szemcsék okozzák a kvarctest külső felületén, melyek mennyiségét rendszeres, kesztyűben végzett izopropanolos tisztítással csökkenteni lehet.

A szubsztrátumot érő UV-sugárzás kb. 60%-át valójában a visszavert UV-sugárzás adja, reflektorok alkalmazása a sugárzásvesztés csökkenését okozza. A rosszul fókuszált/torzult reflektorok (**reflektorhiba**) azonban gyakran az UV-rendszerek idő előtti tönkremenetelét okozzák. A fényvisszaverők rendszeres tisztítása biztosíthatja az egyenletes sugárzási teret. Ha az UV-reflektorok tisztíthatatlanok vagy eldeformálódtak, azonnal ki kell cserélni őket [3].



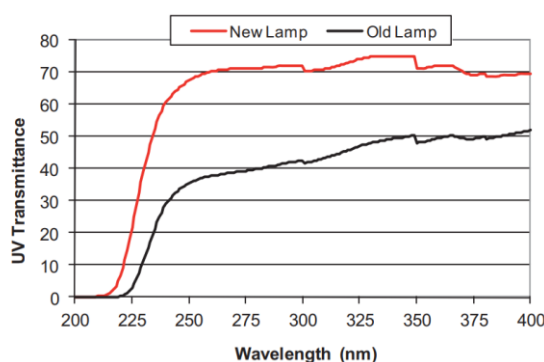
1. ábra. Meghibásodások főbb típusai
(a-ködösödés, b-tükrösödés, c-toksapka károsodás,
d-feketedés, e-foltosodás, f-ívgörcbület,
g-deformitás, h-külső szennyeződés, i-reflektorhiba)
forrás: [3]

3. Az UV -lámpa öregedésének mérése közvetlen fényméréssel

Az UV-lámpa öregedésének számszerűsítése jellemzően hosszúságú kutatásokat és speciális berendezéseket igényel [4,5]. In-situ megközelítésben az UV lámpák teljesítményének meghatározása csíraölő szenzorokkal lehetséges, de ezek nem tudnak különbséget tenni a lámpa öregedése és a kvarc károsodása között. A fertőtlenítő rendszerek többsége nem használ semmilyen UV -érzékelőt, a dózisszabályozási stratégiák a lámpa öregedésének és a hüvely szennyeződésének feltételezésein alapulnak. Ezek a feltételezések viszont nagyon pontatlanok lehetnek, mivel a kvarchüvely -szennyeződések többnyire egyedi, a lámpák öregedési statisztikáit pedig általában az UV cső gyártója szolgáltatja gyakran idealizált laboratóriumi vizsgálatokból merítve. A fellépő pontatlanságok jelentősen elmerített UV -rendszerekhez vezethetnek, melyek nem minden esetben felelnek meg az engedélyezési követelményeknek, vagy épp nem költséghatékony működtetést eredményeznek.

Az öregedés mennyiségi meghatározásához használható egyszerű, roncsolásmentes módszer, az optikai paddal történő közvetlen transzmissziós mérés, a lámpa teljesítménye ugyanis akár 50 százalékkal is eshet a fényáteresztő képesség csökkenése miatt [6].

A méréseket is célszerű a mély UV tartományban (UVC), közel 254 nm -en végezni, melyet a fénycső tokjához közelebbi régióban érdemes elhelyezni (bár várhatóan a sötétülés a lámpa teljes hosszában arányosan nő a cső üzemidejével). A legnagyobb öregedési értékek a csövek 8000 órás üzemideje után tapasztalhatók. Mivel a csíraölő hatás több tanulmány szerint is a 200-300 nm-es sáv integrált tartományában a legnagyobb, a mérések fókuszát is ide érdemes helyezni [7].



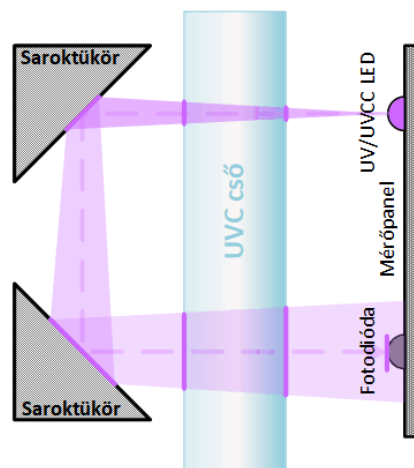
2. ábra. Új (piros) és öregedett (fekete) UVC csőfal áteresztőképessége hullámhossz szerint (forrás:[1])

3.1. Kutatási feladatok megfogalmazása

A várható költségeket minimalizálva spektrofotométer helyett egyszerű LED-fotodiódás mérőáramkört állítunk össze a kérdéses hullámhossz tartományon. Itt azonban az UVC fényforrások, de még inkább a megfelelő fotodiódák ára meredeken szökik felfelé, a tervezett sorozatgyártásban megjelenő ár növekmény pedig többszöröse lehet a partnercég által előirányzott értéknek. Ezek alapján nyilvánvaló, hogy a 250-300 nm-es tartományban épített transzmissziós szenzort nem lehet a célalkalmazásban használni, ám felmerül a kérdés, hogy olcsóbb, az UVA, esetleg UVB sávban aktív eszközökkel mérhető transzmissziós változások milyen mértékben korrelálnak a mély UV tartományban mérhető viselkedéssel.

A UVC csövek hatásfokát csökkentő tényezők a legtöbb esetben a ködösödés, tükrösödés, feketeedés, emellett megjelenhet némi szennyeződés (por) okozta átlátszatlanság is. A felsorolt problémák mindegyike a lámpatest csőfalának UVC (250-300 nm) tartományban történő átlátszatlanságát fokozó faktorok, de ezek bizonyos mértékben más hullámhossz tartományokon is éreztetik hatásukat [7]. A kutatás fő célja volt ezt ellenőrizni, jelen munkában az ehhez készített referencia UVC mérőegység fejlesztését mutatjuk be.

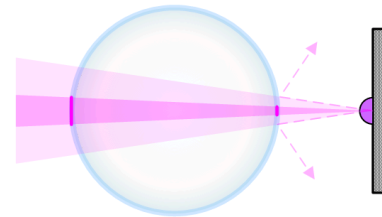
A mérési elrendezés saroktükrök alkalmazásával javítja az áteresztőképesség-csökkenésének megfigyelését a jobbra látható elrendezés (3. ábra) szerint.



3. ábra. Tervezett mérési elrendezés

A tükrök középpontjainak és a LED-fotodióda távolsága 30 mm, így a tükörpár végső felhasználás (azaz az eszközbe történő beépítés) esetén egy kis méretű, olcsó, polírozott, dombornyomott alumíniumlemezzel helyettesíthető. Fontos, hogy sem a LED-et, sem a fotodiódát nem érheti normál üzem alatt az UVC cső közvetlen sugárzása, mert annak anyagában olyan károsodást okozhat, befolyásolja a mérési eredményeket. A két alig 5 mm-es felületet tehát a cső üzeme alatt el kell takarni, az élettartam vizsgálatot a cső kikapcsolt állapotában végezni, amit gyakorlatilag minden 100. üzemóránál elég elvégezni (0-10 000 üzemóra alatt).

A választandó LED sugárzási kúpszöge a lehető legkisebb kell legyen (max. 15°). Ennek oka, hogy a fénycső középvonalának megfelelő geometriai pozícióban besugározva azt, az éppen középén sugárzott nyaláb közel párhuzamosnak tekinthető csőfalakon halad át, míg a nagyobb kúpszögben induló, vagy a nyaláb divergenciája miatt elegendően szélesre nyílt nyalábrészeket a csőfal eltéríti vagy eltükrözi (4. ábra).



4. ábra. Fénynyaláb áthaladása és kiszóródása

A csőfal falvastagságának idővel változó homogenitása szintén befolyásolja a mért eredményeket. A csőfalakkor nem teljesen párhuzamosak, a fény rajtuk, mint keskeny, egymáshoz képest változatos helyzetű keskeny prizmákon halad át, ami a négyszeres áthaladás miatt jelentékeny kiszóródást okoz. A mérési elrendezés tehát nemcsak a cső átteresztőképességének változását, hanem a sugárzási tér inhomogénné válását is jellemzi egyetlen minőségjellemzővel.

3.2. A mérési elrendezés elemzése és várható eredményei

A LED-ből kilépő nyaláb intenzitásából a kúpszög nyílása miatt eltükrözött, eltérített részek, valamint a fotodióda effektív átmérője és a kúpszög végső átmérője közötti különbség miatt a LED-ből a fotodiódába jutó intenzitás egy része természetes módon elveszik. Jelölje α ezt az elsődleges veszteséget, melyet szorzótényezőként azonosítunk (azt fejezi ki, hogy a kezdeti intenzitás mekkora része jut el a fotodiódába érzékelhető mennyiségként). A cső üvegfalainak UVC átteresztőképességét szintén szorzótényezőként (β) vesszük figyelembe, mivel a nyaláb 4-szer halad át a cső falán, ez a tényező negyedik hatvány szerint határozza meg az eredményt. Figyelembe kell még venni a porosodás jelenségét az egyes felületeken, melynek szintén megjelenik a mért átteresztőképességben. A nyaláb 8 potenciálisan porosodó felületen halad át, ezek intenzitáscsökkentő hatását felületenként (γ) -val vesszük figyelembe. A mérhető intenzitás ezek után a fenti egyszerű modell alapján a következő alakba írható:

$$I_m = I_0 \cdot \alpha \cdot \beta^4 \cdot \gamma^8, \text{ ahol } 0 < \alpha, \beta, \gamma < 1 \quad (1)$$

A mérés kezdetén a szakszerű üzembeállítást feltételezve ($\beta = \gamma = 1$):

$$I_{m0} = I_0 \cdot \alpha, \text{ ahol } 0 < \alpha < 1 \quad (2)$$

Normálva a kiindulási mennyiséggel a mérés adatait, negyedik gyököt véve:

$$\theta = \sqrt[4]{\frac{I_m}{I_{m0}}} = \beta \cdot \gamma^2, \text{ ahol } 0 < \alpha, \beta, \gamma < 1 \quad (3)$$

Tekintettel arra, hogy a csírátlánítandó légtömeget jó minőségű szűrőn vezetik át, illetve, mivel a fénycsövek körüli áramlás folyamatos, a gép telepítése után a cső átlátszatlansága a por miatt csak kis mértékben nő, majd a későbbi üzemórák alatt állandósul. A szakirodalomban talált cikkek szerint az UVC tartomány gyengülése 10 ezer üzemóra alatt elérheti a 40-60%-ot is, míg ezzel szemben a szállított mintacsöveket megvizsgálva a porosodás hatása szinte elhanyagolhatóan kicsi (azt feltételezzük, hogy maximálisan néhány százalék alatti lehet a porosodás miatti mérési hiba - ebből kiindulva a cső átlátszósága a mért és normált UVC fényintenzitás arányának negyedik gyökével lesz leginkább arányos).

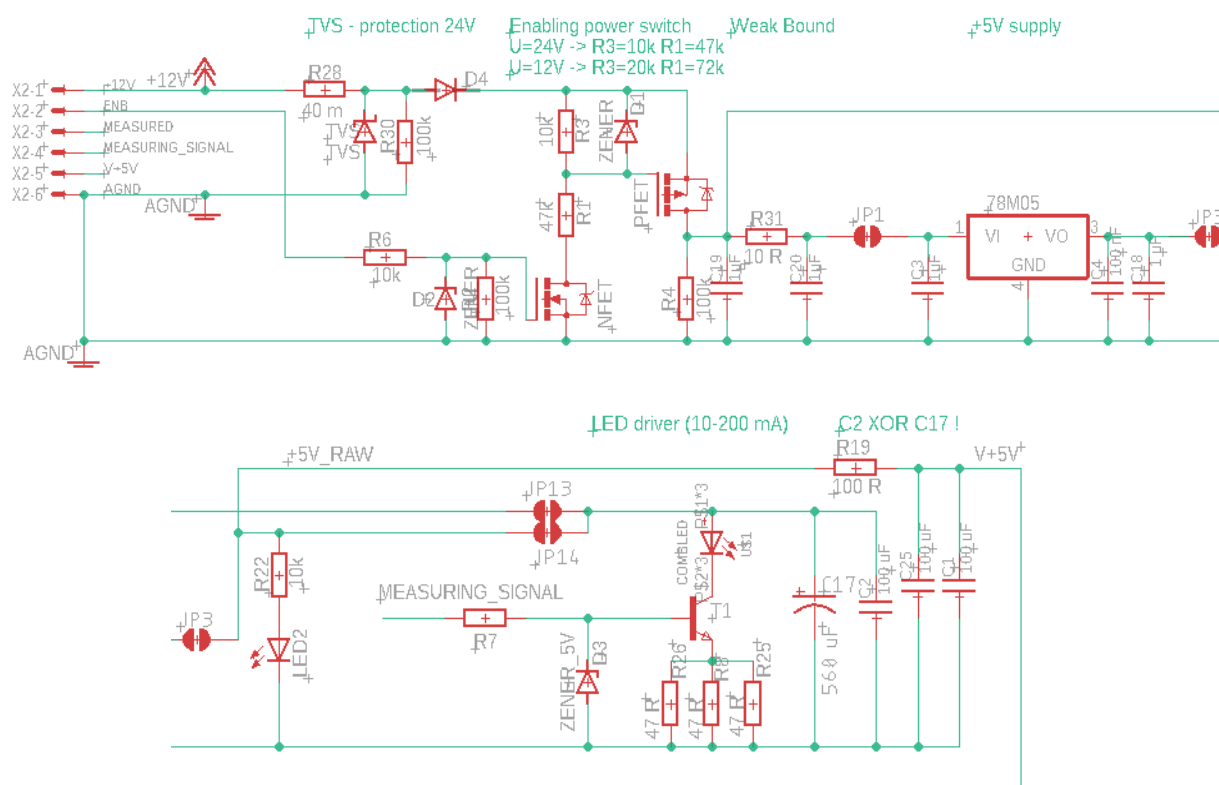
$$\beta \approx \sqrt[4]{\frac{I_m}{I_{m0}}} \quad (4)$$

3.3. A mérőáramkör tervezése

Mivel az igen költséges, dedikált mély UVC tartományon működő fotodiódától kezdve az olcsó, UVA/látható tartományban működőig rendeltünk alkatrészeket (ezek között volt konkrét feszültségkimenettel rendelkező szenzor is) azok befogadására olyan áramkört kellett tervezni, mely lehetővé teszi akár a fény-feszültség átalakítást, illetve kompakt szenzor esetén a feszültségjel kezelését, opcionális erősítését és szűrését is. Mind a rendelkezésre álló LED források, mind a fotodiódák lábnyomatai a nyáklemezen jelentősen eltérnek, olyan panel kifejlesztése volt a cél, mely mindegyik eszköz felszereléséhez egyaránt, univerzálisan használható, erősítő-szűrő blokkjait pedig a beültetés idejében igény szerint lehessen aktívvá vagy inaktívvá tenni.

A panel (5. ábra) egy 6 tűskés csatlakozóval került szerelésre: 1 - 12 V, 2 – Engedélyező vonal, 0-5 V, 3 – mért jel, 4 – a panelen elhelyezett nyomógomb jele 0-5 V, 5 – a panelen előállított, stabilizált +5 V-os referenciavonal, 6 – GND, földelés. A csatlakozót egy N-FET-ből és egy P-FET-ből a panelen kialakított LSS (Low Side Switch) követi, amely +5 V-os engedélyező jelre a panelt tápfeszültség alá helyezi, alapértelmezett 0 V-ra pedig áramtalanítja az egységet. Az engedélyező vonalat egy mikrovezérlő, vagy beágyazott rendszer fogja vezérelni, célja pedig, hogy az egység csak a mérés idejére működjön, a többi időben áramfelvétel nélküli inaktív állapotban legyen. Ha például 100 üzemóránként egyszer kapcsoljuk be az egységet arra az 5 s-ra, amíg mérünk, akkor 10000 üzemórás világítás alatt csak 100-szor lesz aktív, ami nagyjából 0,15 órányi tényleges üzemet jelent. A LED-ek 8000 órás üzemi idejére vetítve ez azt jelenti, hogy a mérőegységek nagyjából 5 évig használhatók maradnak, 1000 óránként mérve – ez is lehet használható stratégia - ez 50 évet jelent. A FET-es leválasztást követő blokk a stabilizált +5 V-os tápfeszültséget állítja elő a panelen.

A „MEASURING SIGNAL” jelet - mely 10 000 Hz körüli, 50%-os kitöltésű négyzetjel – a mikrovezérlő valamelyik digitális kimeneti lába is szolgáltatja.



5. ábra. A LED meghajtó fokozata

Az utolsó blokk a LED-et meghajtó áramkör, itt 20-400 mA üzemi áramú eszközök alkalmazására is fel kellett készülni, változatos SMD és THT lábnyomat mellett. A tranzisztor vagy 100 - 800 mA maximális áramú NPN tranzisztor (BC549, BC337) lehet attól függően mi illeszkedik jobban és sebességgben a rendelkezésre álló LED-ekhez (pl. BC868, 2 A is jó lehet).

Az emitter három ellenállása az esetleges nagy áramok egyenletes terheléssel történő elszállítására szolgál. Az egység méretezésének alapja:

$$I. U_{cc} = U_{Lon} + U_{tr} + U_E \quad (5)$$

$$II. U_{be} = I_B R_B + U_{BE} + U_E \quad (6)$$

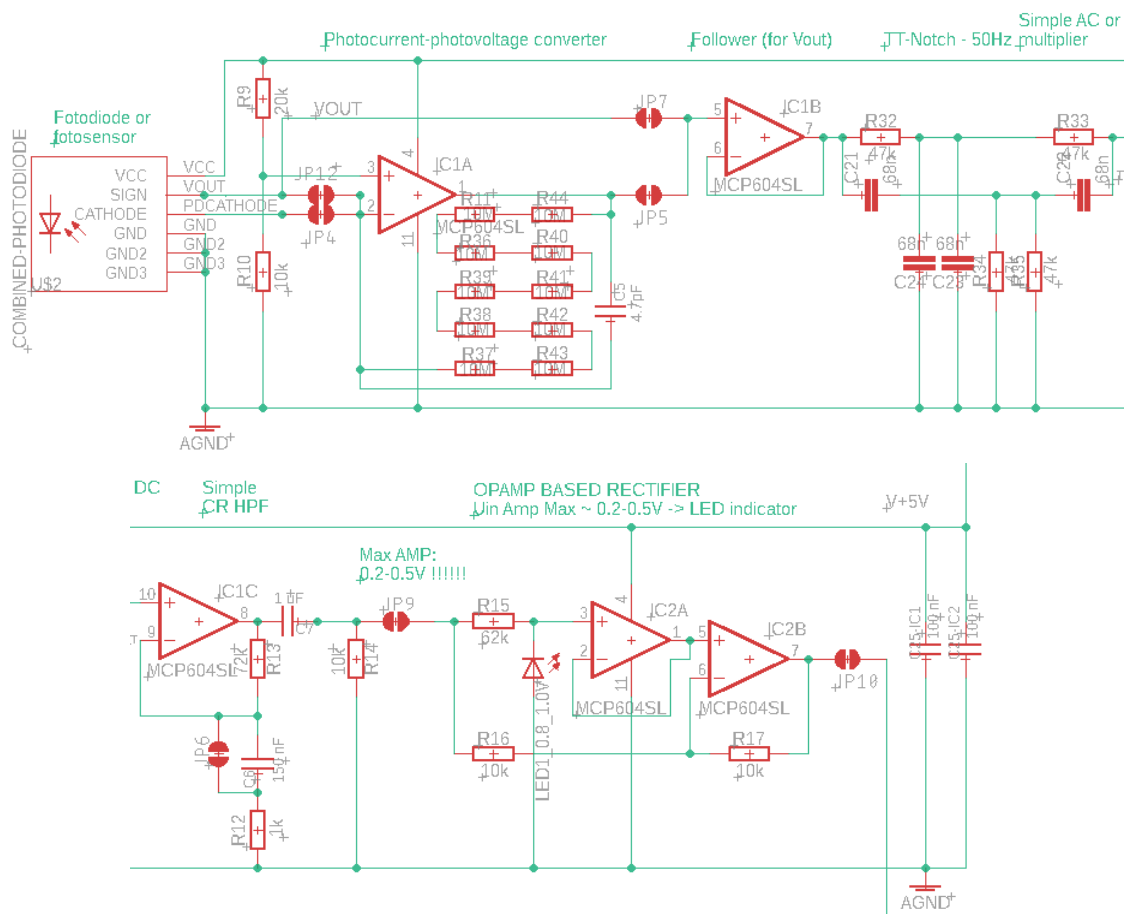
ahol $U_{cc} = 5 V$, $U_{Lon} = 1.2 V$ – az alkalmazott LED nyitófeszültsége, $U_{tr} \approx 0,1 V$ – a tranzisztoron eső kollektor-emitter feszültség teljesen nyitott állapotában, U_E -az emitteren eső feszültség. A tranzisztor bázisára $U_{be} = 5 V$ érkezik, egy $R_B = R_7$ ellenálláson keresztül, a tranzisztor nyitófeszültsége munkaponton kb. $U_{BE} = 0,7 V$. Beírva az ismert mennyiségeket:

$$R_B = \frac{\beta(U_{Lon}-0.6)}{I_D} \quad (7)$$

Ha a LED-ek üzemi feszültsége nagyobb, mint a tranzisztor munkaponti $U_{BE} \approx 0,7 V$ feszültsége, akkor mindig létezik ilyen ellenállás. A rendelkezésre álló UV LED-ek üzemi feszültségei: 3,4 V-17 V közé esnek, emiatt lehetőséget kellett biztosítani a LED +5 V-on felüli tápellátására is.

A fogadó oldal (6. ábra) egy szintén univerzális nyáknymatú eszközként megtervezett alkatrészszel kezdődik, változatos típusú és kivitelű fotodiódával vagy fotoszenzorral. A fotodióda áramából, áram-feszültség konverzióval az őt követő blokk állít elő feszültséget, míg fotoszenzor esetén eleve feszültségkimenet adott, ezért az áramkörön átkötési lehetőséget biztosítottunk a fotodióda katódáramának feszültség-átalakítására, de egy esetlegesen feszültségkimenetű szenzor jelének kezelésére is (JP4, JP12). A következő blokk impedancia-illesztés után egy 50 Hz-es lyukszűrő, mely a fotodióda mellett alkalmazott jelentős ellenállás-sorra rakódó, elektromos hálózathoz származó zavarkomponenst eliminálja.

Ezt egy általánosított erősítőblokk követi, mely mind DC mind AC erősítőként használható a JP6 átkötés alkalmazásával. A kialakítás lehetővé teszi konstans jel erősítését, de DC-szintre rakó-

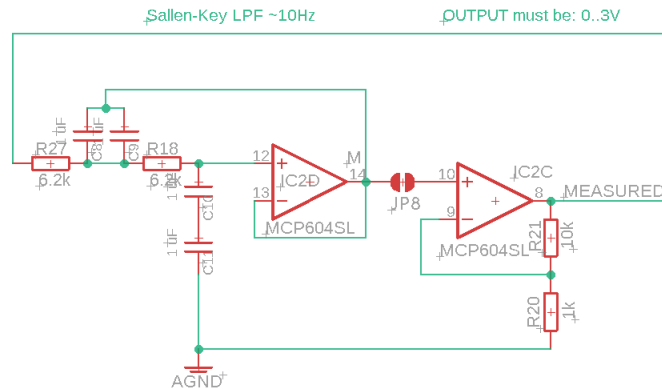


6. ábra. A LED meghajtó fokozata

dott kis AC jel külön erősítését is. A blokk kimenetén található C7 kapacitás felüláteresztő szűrőként működik a mellette található R14-el.

A 6. ábra utolsó szegmense egy ritkán alkalmazott kapcsolás, egy aktív egyenirányító blokk. A JP9-en át olyan torzult, nulla középtértékű jel érkezik, mely teljesítménye arányos a kiindulási négyzöggel által képviselt teljesítménnyel. Az aktív kialakítás kikerüli a diódák nyitófeszültségéből eredő nemlineáris jeltorzítást, de azon az áron, hogy a jel maximális amplitúdója itt semmilyen körülmény között nem haladhatja meg az 1 V-ot. A biztonságos üzemet szem előtt tartva az eszköz megelőző fokozatait úgy méreteztük, hogy a jel amplitúdója extrém esetben is (üresen járattuk a szenzort cső behelyezése nélkül) 0,4 V alatt maradjon.

A mérhető kimeneti DC jelet végül az egyenirányított jelformából egy aluláteresztő Sallen-Key struktúra és egy végerősítő (7. ábra) alakítja megfelelő skálára a minél pontosabb mintavételezéshez.

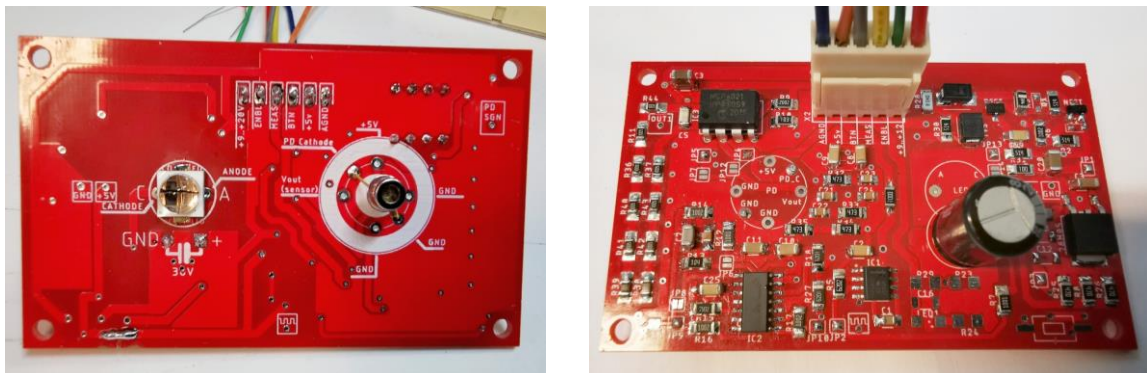


7. ábra. A szenzor mérhető DC jelének kialakítása

3.4. A mérőáramkör beültetése

A tervek szerint áramkört nagyrészt SMD technológiával alakítottuk ki, s csak kisebb mértékben támaszkodtunk a furatszerelt alkatrészekre (8. ábra). Ahol mégis meg kellett tenni, azt az alkatrészgyártók beszűkült világszerkezeti kínálata és a következő évekre vetített várható kínálata indokolta.

A beültetést iteratívan végeztük, minden blokk után ellenőrizve a meglévő szegmensek működőképességét és egymáshoz történő illeszkedését. A fejlesztés során összesen három prototípus-verzió keletkezett majd a legfejlettebb áramkörrel a látható, UVA és UVC sávokban működő egységeket is készítettünk melyek árában akár 100-szoros különbség is adódik.



8. ábra. Beültetett UVC mérőegység

A fotodióda-LED párok kiválasztását nehezítette, hogy azok ára magasak, az eszközök nehezen elérhetők, üzemi paramétereik pedig jelentősen eltérnek egymástól (1. táblázat). A választás alapja egy pontos referenciaáramkör elkészítése és egy sokkal olcsóbb modell kidolgozása volt. A kipróbált párokat színekkel jelöltük a táblázatban.

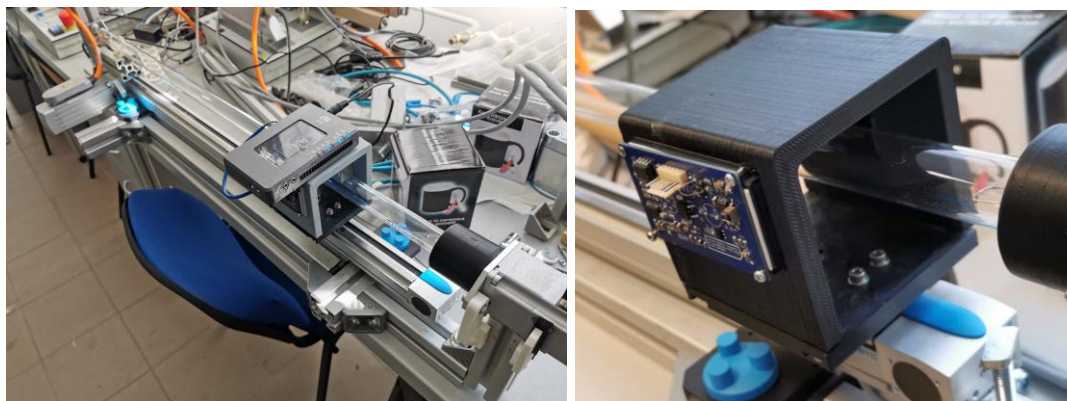
1. Táblázat. UVC LED-ek és fotodiódák jellemzői

LED	λ [nm]	U_f ,m [V]	I_m [mA]	I_{max} [mA]	ÁR (22.05.01) [Ft]
FYL-5014UWC1C-15	450-600	3,1-3,2	15-18	25	50
OSV1YL3131A	360-370	3,4	20	30	120
OSV2YL5111A	370-380	3,4	20	30	120
PBSD-12JLA-KC	265-280	17-19	400	600	7000

FOTODIÓDA	λ	U_r ,max [V]	I_{ph} [nA]	
GUVA-S12GD	240-380	5	140	1500
GUVB-S31GD	240-320	3	120	5000
2096-GUVB-T11GD-ND	240-310	3	76	4000
2096-GUVB-T21GD-ND	240-310	5,5	50	16000
VTP1220FBH	400-700	5-8	?	600
2096-GUVC-T10GD	210-270	3	68	6000
SIC01S-18	220-360	3-5	100-200	10000
BPW21-0	400-700	10	1000	2500
SG01L-C5D	225-287	20	1,6	60000

3.5. Automatizált mérőegység kialakítása

A nagy számú mérés elvégzéséhez saját automatikus mérőpadot (9. ábra) fejlesztettünk. A cső hossza mentén 20 ponton – közelítőleg 4 cm-enként, a hosszanti tengely körül pedig 20 lépésben (18°-onként) forgatva, összesen 400 pontban végeztünk transzmissziós méréseket.



9. ábra. Mérőpad és a szán kialakítása

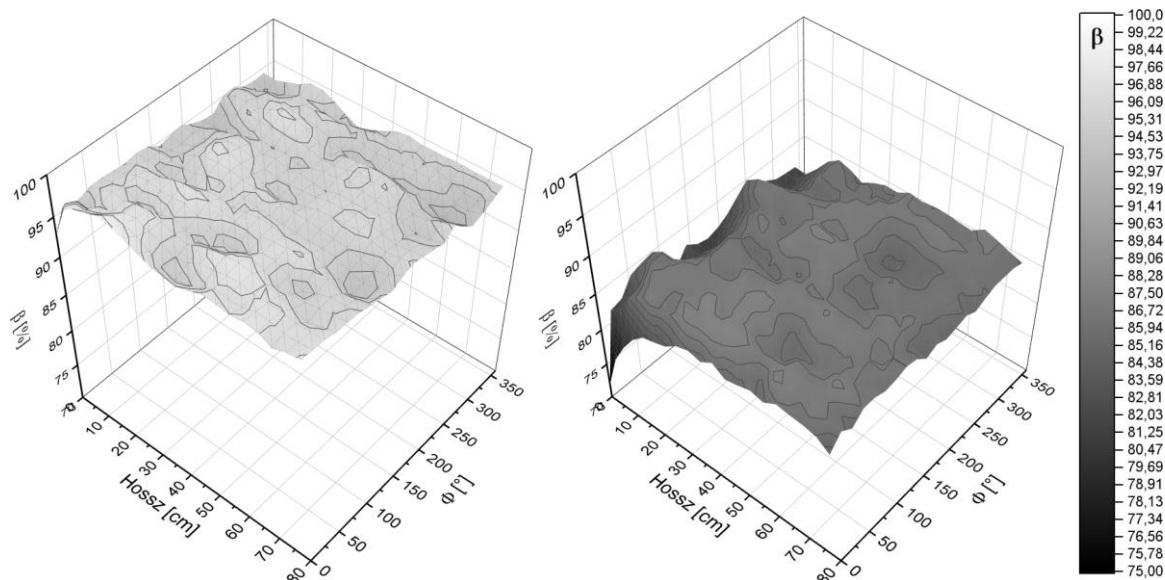
A szerkezetben a mérőegység mozgatásához ipari szervomotorokat, a vezérléséhez FESTO PLC-et használunk LabView-környezetben írt szoftver segítségével, a mérőegységhez pedig 3D-nyomatással készítettünk megfelelő tartót, sínfeltétet.

A megfelelő beállításokkal (1 másodpercet várakozik minden mérési pont előtt, hogy a kártya biztosan üzemi állapotba kerüljön) egy cső teljes feltérképezése közelítőleg 8 percet vett igénybe.

4. Eredmények

Jelen munkában egy UVC tartományban működő, olyan transzmissziós szenzor fejlesztését mutattuk be, mely a cső öregedése kapcsán nemcsak annak optikai transzmissziós képességeit jellemzi, hanem egyben a cső falának inhomogenitását és ezáltal a sugárzási tér minőségét is. A szenzort kiegészítő mérőpaddal az elkészült rendszer alkalmas az UVC csírártlanító csövek öregedésének, minőségromlásának jellemzésére. Az eszköz számos hullámhossztartományban lehetővé teszi a transzmissziós méréseket, esetleg olyan olcsóbb LED-fotodióda párt jelölhet ki, mely viselkedése jól korrelál a jóval drágább, mély UV tartományban megfigyelhető változásokkal.

A 10. ábrán egy 0 órás és egy 8700 órás cső mért degradációs mintázatát hasonlítottuk össze az elkészült szerkezet mérési eredményei alapján. Az öregedés, az UVC átlátszatlanság jól láthatóan megjelenik, kiváltképp az egyik oldalon, hiszen az anódra csapódó töltések az ív forróbb végződését képviselik. Érdekes, hogy a 0 órás cső sem 100%-ban áteresztő és a palást mentén nagyobb eltérések is megfigyelhetők. A 100% áteresztés referenciaértékének a rendelkezésre álló 0 órás csövek összes mért transzmissziós adatának legjobb értékét választottuk.



10. ábra. Egy 0 és egy 8700 órás cső felülete mentén 400 pontban felvett degradációs térképek

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a projektben résztvevő intézmények - AIRVENT ZRT és a Neumann János Egyetem GAMF Műszaki és Informatikai Kar - kollégáinak. Köszönettel tartozunk a kutatás támogatásáért, amely a "**Széles körben használható levegő sterilizáló megoldások kifejlesztése intelligens működés optimalizáló vezérléssel 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2021-00294**" pályázat keretében valósult meg. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, a Széchenyi 2020 program keretében valósul meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Martin Heßling, Katharina Hönes, Petra Vatter, Christian Lingenfelder: Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation – review and analysis of coronavirus photoinactivation studies, *GMS Hyg Infect Control*, 2020; 15: Doc08, DOI: [10.3205/dgkh000343](https://doi.org/10.3205/dgkh000343)
- [2] Milad Raeiszadeh and Babak Adeli: A Critical Review on Ultraviolet Disinfection Systems against COVID-19 Outbreak: Applicability, Validation, and Safety Considerations, *ACS Photonics* 2020, 7, 11, 2941–2951, DOI: [10.1021/0c01245](https://doi.org/10.1021/0c01245)
- [3] Web: Alpha-cure official: <https://www.alpha-cure.com/knowledge-centre/uv-lamp-troubleshooting>
- [4] G.B.King, B.R.Todd, G.Horlick: Qualitative spectral measurement characteristics of an ultraviolet-visible Fourier transform spectrometer, *Spectrochimica Acta*, 1992, Vol 47, Issue 2 pp 333-352 DOI: [10.1016/0584-8547\(92\)80030](https://doi.org/10.1016/0584-8547(92)80030)
- [5] S.I. Avensky, B.S. Volkov, I.V. Drobkov, D. N. Lashkov, O. A. Minaeva, O. A. Minaev : Development and study of a radiance measurement system based on a CCD array in the vacuum and near ultraviolet region, *Measurement techniques*, 2010, Vol. 7. Issue 53. DOI: [10.1007/s11018-010-9574](https://doi.org/10.1007/s11018-010-9574)
- [6] Mark Heath, Harold Wright, Dr. Alois W. Schmalwieser: UV Lamp Aging is Predicted by Direct Measurement of UV Transmittance, International Ozone Association, International Ultraviolet Association Proceedings of the World Congress and Exposition, September 22-26, 2013, Las Vegas, Nevada, 2013
- [7] Traci Brooks, Harold Wright, Andy Salvesson and Mark Heath: Lessons Learned from UV System, *IUWA News*, Vol.19., Issue 1., 2017. Performance Audits for Reuse Applications, Carollo Engineers, Inc., 1218 Third Avenue, Suite 1600, Seattle, WA 98101
- [8] D.Ehrt, P.Ebeling, U.Natura: UV Transmission and radiation-induced defects in phosphate and fluoride-phosphate glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2000, Vol. 263-264. pp.240-250. DOI: [10.1016/S0022-3093\(99\)00681](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(99)00681)