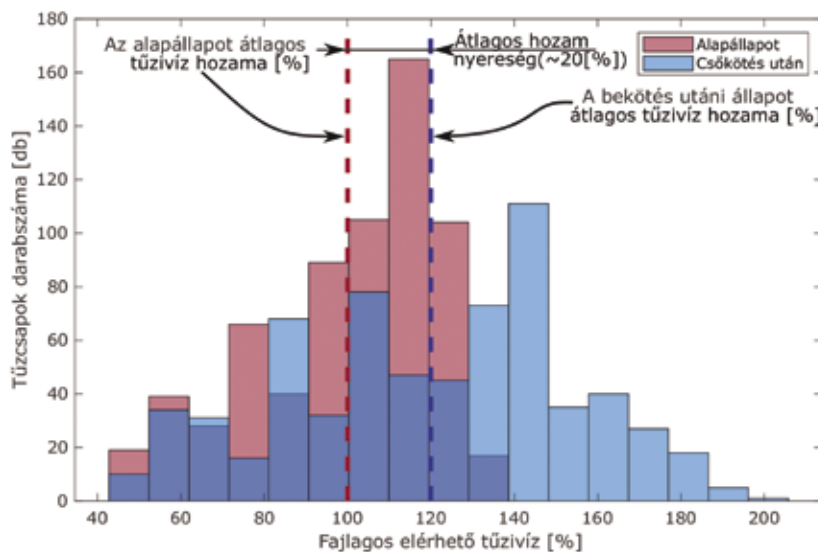


2. ábra: A módszer által javasolt csökötés helye és az érzékenységi térképen történő várható javulás a sánc-hegyi övezetben, Sopron városában



3. ábra: A hálózat tűzvíz-kapacitása az optimális csökötés bekötése előtt és után

Összefoglalás

Projektünk célja egy olyan módszer elkészítése volt, mely segítségével a víziközmű-szolgáltatók számára a lehető legrövidebb idő alatt áll módunkban hálózatfejlesztési javaslatot készíteni egy adott hálózati szakasz tűzvíz-kapacitásának növelésére a lehető legkisebb anyagi ráfordítás szem előtt tartásával. Törekvésünket siker koronázta. Új módszerünkkel egyetlen, érzékenységszámítást magában foglaló hidraulikai szimuláció alapján – melyet a STACI programcsomaggal végeztünk el – konstrukciós javaslatot tudunk tenni arra vonatkozóan, hova érdemes új csőszakaszt beépíteni a hálózatba. Valódi városi hálózaton végzett esettanulmányban megmutattuk, hogy egy ilyen módosítás a hálózat kritikus nyomásérzékeny tartományában akár több mint 20%-kal megnöveli a rendelkezésre álló átlagos tűzvíz-kapacitás értékét, emellett pedig a maximális hozamú tűzcsapok hozamát az átlagos hozam 140%-os értékéről több mint a 200%-ára növeli.

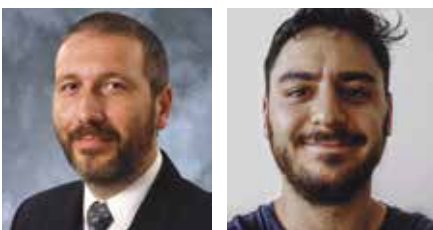
Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnénk mondani Till Sárának az alapos lektori munkájáért, illetve a Soproni Vízmű Zrt.-nek, hogy a rendelkezésünkre bocsátották a hálózatok adatait kutatási célokra.

Hivatkozások

(A hivatkozások elérhetők a szerkesztőség címén.)

EGYEDI, NAGY TELJESÍTMÉNYŰ UV-REAKTOR TERVEZÉSI TANULSÁGAI



KIVONAT A Fővárosi Vízművek számára megtervezett egyedi, nagyteljesítményű UV fertőtlenítő berendezés méretezése során számos olyan műszaki kihívás merült fel, melyeket csak innovatív megközelítéssel lehetett megoldani. Így például a reaktorban kialakuló 3D áramképet a legkorszerűbb numerikus áramlástanai módszerekkel határoztuk meg, a kialakuló dózist pedig egy speciális fényforrásmodellelési módszer és az áramkép ötvözésével számítottuk ki. Jelen tanulmányban ismertetjük az UV intenzitásmérők speciális beépítése miatt szükséges korrekciót is ill. a besugárzás és a fluencia közötti különbséget is. Végezetül, ismertetjük a dózis valós idejű becslésére szolgáló algoritmust.

KULCSSZAVAK UV fertőtlenítés, dózis, UV besugárzás, numerikus áramlástan

DR. HŐS CSABA egyetemi docens, cshos@hds.bme.hu, BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék
CSIPPA BENJAMIN gépészmérnök MSc, PhD-hallgató BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék

Bevezetés

A kiváló minőségű ivóvíz biztosításának érdekében a nyersvízben előforduló patogén organizmusok számát a vonatkozó rendeletben (201/2001. X. 25. Korm. rendelet) meghatározott határérték alá kell csökkenteni. E cél elérésére napjainkban a klóros fertőtlenítés mellett terjedőben van az UV-sugárzás DNS-romboló hatását kihasználó technológia is, melynek előnye

- a vegyszermentesség (nem terheli a fogyasztó szervezetét, nincs járulékos íz- és szaghatás),
- nem keletkeznek fertőtlenítési melléktermékek (THM- és AOX-vegyületek), és
- nem tapasztalható a víz pH-értékétől és NH₄-tartalmától független hatás.

Komoly hátránya azonban, hogy hatását csak lokálisan fejt ki, így a vízi közmű-hálózat „belsejében” elengedhetetlen a kiegészítő vegyszeres kezelés, ld. [1].

A Fővárosi Vízművek Zrt. 2015-ben megbízta a BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszékét a csepeli kezelőműbe telepítendő egyedi, nagy teljesítményű UV-tisztítóberendezés tervezésével. A tervezési követelményeket az 1. táblázat tartalmazza.

Térfogatáram, m ³ /h	150 – 6200
Abszorbancia, 1/m	0,25 – 4,6
Maximális nyomásesés @ 6200 m ³ /h, v.o.cm	75
Zavarosság, NTU	0 – 0,3
Elvárt minimális besugárzási dózis, J/m ²	400
Daruzás súlyhatára, tonna	2,5

1. táblázat: Tervezési követelmények

A tervezés során a fő kihívás természetesen az előírt besugárzási dózis elérése a legnagyobb térfogatáram és a legmagasabb abszorbancia-érték (elnyelési érték) mellett. A dózis nem más, mint az elnyelt energia, így a besugárzási intenzitás és a kitétségi idő szorzata, vagyis ugyanaz a csírátlantási hatás érhető el kis intenzitású besugárzással hosszú időszakon keresztül, vagy nagy intenzitású besugárzással rövid időszakon keresztül.

A tervezési határértékek és a beépítettségi adottságok miatt a reaktortér egy 1,5 m oldalhosszú, négyzet keresztmetszetű, 2 m hosszúságú síkfalú tartály, melyben az UV-fényforrások függőlegesen helyezkednek el. Ez az elrendezés azonban megnehezíti a dózis becslését, mivel a fényforrások közötti áramvonalakon kell követni a besugárzási intenzitást – ezt az áramvonal mentén összegezve kapjuk meg a dózist.

Nyilvánvaló az is, hogy a belépő keresztmetszet egyes részeiről indítva más és más úton „járja be” a folyadék az áramlási teret, ezért meg kell keresnünk azt az áramvonalat, amely a leggyengébben lesz besugározva, és ezen is biztosítanunk kell a minimális előírt dózist. Így a tervezés legfontosabb két lépése (a) az áramvonalak meghatározása numerikus áramlástan (CFD) szimulációval, ill. (b) a reaktorban kialakuló intenzitáseloszlás meghatározása, majd ezen két eloszlás segítségével a minimális dózis ellenőrzése.

Első lépésként gyors (és durva) kézi becslést végezhetünk a szükséges teljesítmény meghatározására. 1,6 x 1,6 m keresztmetszetű áramlási tér esetén 6200 m³/h térfogatáram mellett az átlagsebesség 0,67 m/s. 2 m reaktorhossz esetén a tartózkodási idő 3 másodperc. A szükséges átlagos besugárzási intenzitás 400 J/m² / 3 s = 133 W/m². Ez az átlagos besugárzási intenzitás azonban kevésbé segíti a tervezést, mivel a fényforrásoktól távolodva rohamosan csökken, és nehezen értelmezhető az „átlagos intenzitás”, amint a [2, 3] szakirodalmakban is megtalálható. Így a reaktor alapos megtervezéséhez elengedhetetlen a fényforrás (UV-lámpa) pontos modellezése.

Fényforrás-modellezés

Az UV-lámpa vonalmenti fényforrás, mely egy vonalra felfűzött pontszerű, de koszinuszos irány szerinti megoszlásban sugárzó fényforrások összességéként modellezhető, ld. 1. ábra. (Ennél bonyolultabb modellek is léteznek, ld. [2] irodalom.) A fényforrás pontos modellezésére két szempontból is szükségünk van:

- a dózis meghatározásához elengedhetetlen, és
- az UV-szenzorok által mért intenzitás és a valós, dózis szempontjából releváns megvilágítás (fluencia) közötti kapcsolat meghatározásához.

Mielőtt azonban a fényforrás-modellezést részleteznénk, különbséget kell tennünk intenzitás (besugárzás) és fluencia között.

Besugárzás alatt általában egy sík falú detektor által mért intenzitást értünk, és ez a mennyiség erősen függ a detektor felülete és a beeső sugarak által bezárt szögtől, ld. 1.(b) ábra. Minél kisebb az α szög, annál kisebb a mért intenzitás annak ellenére, hogy természetesen a fényforrás ugyanazt a teljesítményt adja le, ezt a szakterület „koszinuszos irányfüggés”-ként ismeri.

Ezzel szemben a fluencia egy gömb (vagy gömbszerű, szabálytalan test) által „befogott” energiát mér, és nem szembesülünk az irányfüggéssel, amint azt a

[4] szakirodalom részletesen taglalja. Ez utóbbi mennyiség az irányadó UV-fertőtlenítés tervezése esetén annak ellenére, hogy a műszereinkkel jellemzően csak az intenzitást tudjuk mérni.

Tekintsünk egy L hosszúságú vonalmenti fényforrást, melynek egy dx hosszúságú elemének fénykibocsátása a Lambert-féle koszinusztörvény szerint $I(\theta) = I_0 \cos\theta$, ahol I_0 $\left(\frac{W}{m^2}\right)$ a dx a felületelemre merőleges irányban mért kibocsátás, ld. 1. ábra (a) panel. Ekkor a dx lámpa-felületelem által leadott dP = P/L dx teljesítmény egy R sugarú gömbfelületre összegezve $dP = I_0 R^2 \pi$.

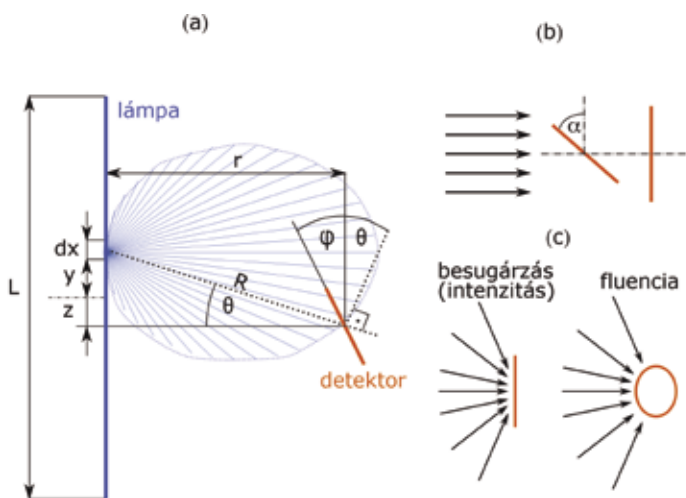
Az összefüggés „ellenkező irányban” is használható: egy dx hosszúságú, dP optikai teljesítményt leadó forráselem intenzitását a dx-hez tartozó normálishoz képest θ szög alatt, R távolságban mérve $I(R, \theta) = \frac{dP \cos\theta}{R^2 \pi}$ intenzitást fogunk tapasztalni. Ahogy az várható volt, a besugárzás a távolság (R) második hatványával fordítottan arányos, ám a megvilágítás θ szöge is fontos szerepet játszik: a lámpára merőleges maximális az intenzitás (θ=0, ezért cosθ=1), míg a lámpa axiális tengelye mentén minimális a megvilágítás (θ=90°, ezért cosθ=0).

Most képzeljük el, hogy egy detektort helyezünk el a lámpától r radiális távolságra, a lámpa axiális tengelyével φ bezárt szögbe a lámpa középvonalától z távolságra és a dx felületelem normálisával θ szögbe, amint azt az 1. ábra (a) panelén láthatjuk. Az UV-fény detektálására

használt szenzorok irányérzékenysége szintén koszinuszos, tehát egy adott beesési szög esetén annak koszinuszát érzékeli, ld. 1. ábra (b) panel. Így a szenzor által érzékelt besugárzás a korábbi $I(R, \theta)$ mennyiség, megszorozva a beesési szög $\alpha = \theta + \varphi$ koszinuszával:

$$dI_{\text{mért}}(R, \theta, \varphi) = \frac{dP \cos \theta}{R^2 \pi} \cos(\varphi + \theta)$$

ahol $R = r / \cos \theta$ és r a szenzor axiális (állandó) távolsága a lámpától. Megjegyezzük, hogy a fluencia esetén nincsen szükség a $\cos(\varphi + \theta)$ korrekciós tagra. Ezenkívül igaz az is, hogy $\tan \theta = \frac{y-z}{r}$ (mind a dx lámpaelem y axiális távolsága, mind a detektor z axiális helyzete előjeles mennyiség, ezért az 1. ábra elrendezésében y pozitív, z pedig negatív mennyiség).



1. ábra (a): Vonalmenti fényforrás és detektor. (b): Detektor-állásszög hatása. (c) besugárzás és fluencia.

A szenzor természetesen a teljes lámpahosszról érkező összes dx lámpaelem besugárzását, ill. fluenciáját érzékeli, azért a mért intenzitás ezek összege:

$$I_{\text{mért}} = \int_{y=-L/2}^{y=L/2} dI_{\text{mért}} dy = \int_{y=-L/2}^{y=L/2} \frac{P \cos \theta}{LR^2 \pi} \cos(\varphi + \theta) dy$$

Abban az egyszerű és gyakori esetben, amennyiben a szenzorunk a lámpa axiális szimmetriatengelyénél van ($z=0$), és merőlegesen „néz” a lámpára ($\varphi=0$), egy meglehetősen egyszerű formulát kapunk:

$$I_{\text{mért}}|_{z=0, \varphi=0} = \frac{P}{L2r\pi} \frac{2\alpha + \sin 2\alpha}{\pi} \text{ ahol } \tan \alpha = \frac{L}{2r}$$

Ez nem más, mint a jól ismert Keitz-formula, és a lámpatestek optikai teljesítményének mérése ezen összefüggés segítségével történik, ld. [5]. Amennyiben azonban a lámpaszensor-elrendezés más, a fenti általános összefüggést kell kiértékelni akár analitikusan (ez lehetséges, de a végeredmény egy igen nagy formula), vagy numerikusan.

A fentiekhez hasonlóan a fluencia:

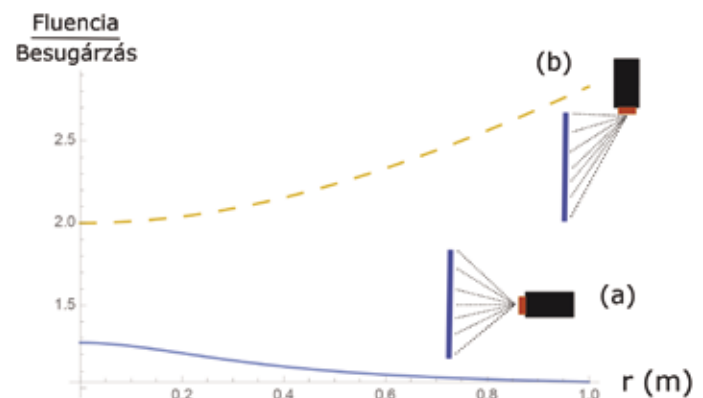
$$F = \int_{y=-L/2}^{y=L/2} dF_{\text{mért}} dy = \int_{y=-L/2}^{y=L/2} \frac{P \cos \theta}{LR^2 \pi} dy \Big|_{z=0} = \frac{P}{L2r\pi} \frac{4}{\pi \sqrt{1 + \left(\frac{2r}{L}\right)^2}}$$

Itt a legutolsó tag megint csak a lámpatest közepénél kiértékelt eredmény. Mivel a fluencia nem érzékeny az irányra, ebben az összefüggésben nem jelenik meg a φ szög. Vegyük észre, hogy mind a szenzor

által mért besugárzás (intenzitás), mind a fluencia eltér attól az intuitív képtől, hogy a lámpa által leadott P (optikai) teljesítmény egy $2r\pi L$ felületű hengerpaláston egyenletesen oszlik meg.

Mindezek alapján tehát annak a lámpától r radiális távolságra és a középvonaltól z axiális távolságra elhelyezett szenzornak a mérési eredményét korrigálni kell, hogy a fertőtlenítés során releváns fluenciaértéket megkapjuk. A szükséges korrekció erősen függ a szenzor orientációjától, erre a 2. ábrán két beépítési elrendezésre látunk példát: az (a) elrendezés a szokásos ($z=0, \varphi=0$), míg a (b) elrendezés esetén ($z=L/2, \varphi=90^\circ$). Jól látható, hogy az (a) beépítés esetén a mért intenzitás a lámpához közel kissé alacsonyabb a fluenciához képest, ám ez a különbség kb. 1 m távolságban már elhanyagolható.

Ezzel szemben a (b) elrendezés esetén az UV-fertőtlenítés szempontjából releváns fluencia többszöröse a szenzor által mért intenzitásértéknek. Ezekre a számításokra azért volt szükség, mert a reaktor monitorozásának egyszerűsége érdekében úgy döntöttünk, hogy a szenzorokat egy-egy UV-lámpa helyére, a kvarccsövekbe építjük be oly



2. ábra: Fluencia és besugárzás aránya két mérési elrendezés esetén. Lámpahossz: $L = 1$ m

módon, hogy tetszőlegesen áthelyezhetőek legyenek, ez pedig a (b) elrendezéssel egyenértékű.

Egy másik fontos hatás, melyet vizes alkalmazások esetén figyelembe kell venni, az abszorbanca. Ezzel a vízben lévő szennyező anyagok fényvisszaverő, ill. -elnyelő hatását vesszük figyelembe. A Lambert-Beer-törvény szerint

$$I(R) = I_0 e^{-\alpha_a R}$$

itt α_a az abszorpciós tényező, és R a fényforrástól mért távolság. Ez az érték tiszta vízre (254 nm hullámhossz esetén) 0,056 1/m, ld. [6], ám nyers ivóvíz esetében ennek sokszorososa is lehet. Példaképpen, ha a fényforrásnál vett intenzitást 100%-nak tekintjük, az a távolság (behatolási mélység), ahol az intenzitás 50%-ra csökken, 12 m; 1,38 m és 15 cm (!) $\alpha_a = 0,056$; 0,5 és 4,6 1/m abszorbancaértékek mellett. Öllős [1] irodalom 7.7.5.1 fejezetében hasonló értékeket ad meg: ivóvízre $\alpha_a = 0,02 \dots 0,01 \text{ cm}^{-1} = 2 \dots 1 \text{ m}^{-1}$, amivel az 50%-hoz tartozó behatolási mélység 6,9 cm, ill 3,5 cm. Fontos észrevennünk, hogy ezen összefüggés önmagában nem írja le teljes egészében a behatolási mélység csökkenését, mert kombinálni kell a korábban megadott formulával. Így pl. a mért intenzitás képlete

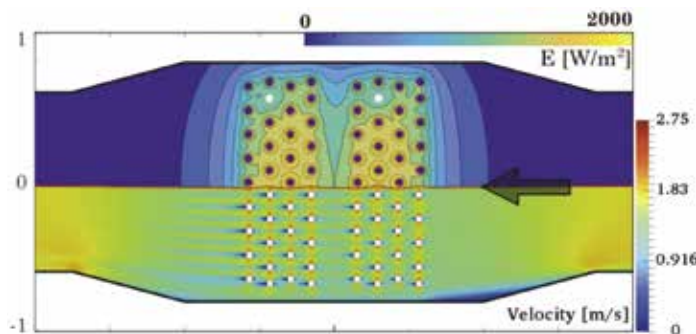
$$I_{\text{mért}} = \int_{y=-L/2}^{y=L/2} dI_{\text{mért}} e^{-\alpha_a R} dy$$

alakra módosul. Ezeket az összefüggéseket már csak numerikusan tudjuk kiértékelni, ugyanakkor ez megfelelően választott programozási nyelven kényelmesen és gyorsan megtehető.

Az áramlási tér számítása

Az előző fejezetben előállítottuk egy közelítő fényforrás modelljét, mely a fénycső optikai teljesítménye alapján képes az áramlási tér egy adott pontján meghatározni a fluenciát. Következő lépésként az áramvonalakat kell előállítanunk, mivel ezek mentén kell majd összegeznünk a fluenciaértékeket a dózis kiszámításához.

Napjainkban a numerikus áramlástan szoftvereit (CFD) rutinszerűen alkalmazzuk ilyen kérdések megválaszolásához. Ezek a szoftverek képesek tetszőlegesen bonyolult geometria esetén meghatározni a nyomás- és sebességeloszlást, és az áramkép megjelenítésével vizuálisan is segítenek a lehetséges hibák feltárásában. A munka során első lépésként 2D modelleket készítettünk, mivel ezeken gyorsan ki tudtuk próbálni az egyes paraméterek (reaktorhossz, lámpateljesítmény, abszorbanca stb.) hatását. A 3. ábrán egy ilyen számítást láthatunk. Az ábra felső részén az intenzitáseloszlást tüntették fel. Jól látszik, hogy a fal mellett kisebb a besugárzás, ill. a fehérrel kihagyott csövekben nem lámpatest található, hanem intenzitásmérő, ezért ezek körül is alacsonyabbak az értékek. Az ábra alsó részén a sebességeloszlásra látható egy példa, vegyük észre a felvirdoldali sarokban a leválást (sötétebb terület az ábra jobb alsó részén).



3. ábra: UV-reaktor felülnézetből, a körök a lámpákat jelképezik. Felül: intenzitáseloszlás, alul: sebességeloszlás. A középső piros vonal egy részecske pályáját (az áramvonalat) jelöli.

A sebesség- és fluenciaeloszlás együttes, automatizált használata lehetővé tette, hogy számos konstrukción elvégezzük a számításokat, és megvizsgáljuk (a) a térfogatáram, (b) az abszorbanca és a (c) lámpadimmelés (kisebb árammal történő gerjesztés esetén alacsonyabb besugárzás) hatását. Egy-egy paramétercsoport esetén jellemzően 50 darab, a belépésnél véletlenszerűen felvett áramvonalon kialakuló dózist vizsgáltunk, és akkor tekintettük a konstrukciót megfelelőnek, ha a legkisebb dózisérték is elérte az előírt 400 J/m²-t. Ezenkívül mivel a lámpákat négy csoportba (szegmensbe) rendeztük, a számítással meg tudtuk határozni azt is, hogy egy adott térfogatáram és abszorbanca mellett hány szegmensnek kell működnie ahhoz, hogy elérjük a szükséges csírátlanítást, így csökkentve a berendezés energiafelhasználását.

A CFD-számítás segítségével a reaktor hidraulikai ellenállása is jól becsülhető, ez kézi módszerekkel nagyon pontatlan lenne. A számítás eredményeképpen 7000 m³/h esetén 3,5 v.o.cm adódott, amelyhez még hozzá kell adni a bypass ág bekötése miatti idomok, ill. a tolózárok ellenállását is, de mindezek együtt sem lépték túl a 15 v.o.cm-t, így a konstrukció ilyen szempontból megfelelt. Hasonló eredményre jutottunk a bypass ág hidraulikai vizsgálatán során is.

Egyéb tervezési érdekességek

Szilárdsági ellenőrzés

Mivel a reaktor egy sík falú tartály meglehetősen nagy befoglalómérettel, már a 7 m vízfedtség (0,7 bar túlnyomás) is jelentős deformációkat okozott, különösen a felső oldalon, melyet a lámpákat a víztől elválasztó kvarccsövek áttörtek. A falvastagság elfogadható értéken való tartásához ezért merevítőpántokat kellett hozzáadnunk, így biztosítva a kellő szilárdságot. Ezeket a számításokat a BME Gép- és Terméktervezés Tanszékének két munkatársa, Kollár György és Varga András végezte el. Az anyagválasztás során ügyelni kellett arra, hogy a savazáshoz használt 1-2%-os oxálsavnak ellenálljon a konstrukció. Az anyagminőség és a lemezvastagság miatt a hegesztéssel szemben is megemelt követelményeket kellett támasztanunk. Ez azért is jelentett kihívást, mivel a szűkös hely- és daruzási lehetőségek miatt a reaktort több darabban kellett a helyszínre szállítani, és ott elvégezni a hegesztést.

Kvarccsövek statikus és dinamikus vizsgálata

A fénycsöveket védő csövek 1,6 m hosszú, 42 mm külső, 38 mm belső átmérőjű kvarccsövek, és felmerült, hogy ezen a karcsú „tartón” milyen terhelés jelentkezik az áramló víz hatására. Mivel maximális térfogatáram esetén 1,7 m/s megfúvási sebességgel számolhatunk, és a hengeres testek ellenállás-tényezője ($Re=4 \times 10^6$) $c_{D} \approx 1,2$, ezért a keletkező erőhatás közelítőleg

$$F \approx \frac{\rho}{2} c_D v^2 L D = 116 \text{ N},$$

ami közelítőleg 12 kg tömegű terhelésnek felel meg. Ezt jelentősnek ítéltük, ezért elvégeztük a végelesemes szilárdsági ellenőrzést, ebből 4,4 MPa maximális feszültség adódott. Mivel ez jóval a kvarcüvegre vonatkozó 48 MPa-os törőszilárdság alatt van, megfelelőnek ítéltük a konstrukciót (ebből a szempontból).

Egy másik kérdést vet fel a hengeres testek mögötti áramlás hatására kialakuló Kármán-féle örvénysor dinamikus hatása. Itt azt a kérdést kell feltennünk, hogy a konstrukció sajátfrekvenciája egybeeshet-e a periodikus örvényleválás sajátfrekvenciájával? A megfelelő számításokat elvégezve azt kaptuk, hogy az első sajátfrekvencia 74 Hz, míg az örvényleválás maximális frekvenciája csupán 3,6 Hz, így az esetleges rezonanciától nem kell tartanunk.

Felmelegedési idő

Elképzelhető olyan üzemzavar, melynek során a reaktoron átáramlás nincs (pl. egy karbantartás miatt kizárjuk a reaktort), ám a lámpák bekapcsolva maradnak. Ez esetben a teljes villamos teljesítmény a reaktorban lévő közeget – víz vagy levegő – melegíti. Ezért szükségesnek láttuk a melegedési idő meghatározását. Az időegységankénti hőmérséklet-emelkedést tehát a villamos teljesítmény okozza:

$$\frac{\Delta T}{1 \text{ s}} = \frac{P_{\text{vill.}}}{c_p m} = \begin{cases} 6^\circ \text{C}/\text{óra} & \text{víz esetén} \\ 7,6^\circ \text{C}/\text{s} & \text{levegő esetén.} \end{cases}$$

Itt c_p a közeg fajhője (4,1 kJ/kg/K vízre és 1 kJ/kg/K levegőre), m pedig a reaktorbeli közeg tömege. Víz esetén – ahogy az várható volt – lassú a melegedés, ám levegő esetén igen gyors, 10°C kiinduló hőmérsékletet feltételezve kb. 12 másodperc alatt eléri a 100°C-ot a levegő hőmérséklete, és mivel ez egy állandó térfogatú (isochor) állapotváltozás, a nyomásváltozásra igaz, hogy $\frac{p}{T} = \text{„konstans”}$, így pl. ha a kiinduló állapot $p_0=1$ bar és $T_0=283$ K (10°C), akkor a 100°C-hoz ($T=373$ K) $p_0=1,32$ bar (abszolút) nyomás tartozik, ami 3,4 v.o.m nyomásnak felel meg. A hőmérséklet további növelésével természetesen tovább növekszik a nyomás, aminek megelőzésére nyomáshatároló szelepet építettünk be a rendszerbe.



Dózis valós idejű becslése

Végezetül megemlítjük, hogy korábban ismertetett módszer alapján az intenzitás- és térfogatáram-mérés segítségével a dózis ugyan közvetett módon, ám üzem közben folyamatosan (real-time) becsülhető. Ez nagy segítség a reaktor energiahatékony üzemeltetéséhez, mivel a változó igényekhez és vízminőséghez folyamatosan „illeszthető” a besugárzott energia. Külön hangsúlyozzuk, hogy az eljárás implicit módon kezeli az abszorbanca változását is, mivel annak változása jelentkezik az intenzitásmérő szenzorok jelén (változatlan lámpateljesítmény mellett növekvő abszorbanca esetén csökken a mért intenzitás). Az eddig leírtak alapján tehát a számítás a következő lépésekből áll.

- Rögzítjük a lámpák geometriai elrendezését, valamint a szenzorok helyét és irányultságát. Beállítjuk az abszorbancaértéket és a térfogatáramot.
- Meghatározzuk az optikai teret (a „Fényforrás-modellzés” részben leírtak szerint), különös tekintettel a szenzorok helyén mért intenzitásra. Így egy abszorbanca-térfogatáram adatpárhoz megkapjuk, milyen értéket kell mérniük a szenzoroknak.
- A CFD-modell segítségével meghatározzuk a minimális dózist (a fluencia segítségével).
- A fenti 4 lépést „kellően sok” térfogatáram- és abszorbancaértékre lefuttatva egy táblázatot kapunk, amely összekapcsolja a térfogatáramot, a szenzorok által mért intenzitást és a dózist.
- Üzem közben „visszafelé” használjuk a táblázatot, azaz (a) adott térfogatáram és mért intenzitás alapján kiolvassuk az aktuális dózist, vagy (b) adott térfogatáram esetén a szükséges dózist előírva addig változtatjuk a lámpák gerjesztését (vagy a működő szegmensek számát), amíg a szükséges intenzitásértéket nem mérjük a szenzorokkal.

Természetesen a fenti módszerhez elengedhetetlen a fényforrásmodell helyszíni kalibrációja, lehetőség szerint vízben és levegőben is (levegőben kizárhatjuk a bizonytalan abszorbancaérték miatti hibát, majd vízben már koncentrálnunk az abszorbanca kalibrálására), továbbá szükséges az UV-szenzorok akkreditált laboratóriumban való kalibrációja is.

Összefoglalás

Az UV-reaktorok tervezése, méretezése és energiahatékony üzemeltetése számos kihívást támaszt a mérnökökkel szemben, ám ezek eredményesen és hatékonyan kezelhetők a numerikus áramlástan (CFD-) szoftverek segítségével. Az itt bemutatott módszer nem problémaszpecifikus, más típusú, elrendezésű vagy kapacitású esetek is pontosan modellezhetőek, pontosságát a megépült berendezés kifogástalan működése bizonyítja. Ugyanakkor hangsúlyoznunk kell, hogy a helyszíni mérések, kalibrációk, ellenőrzések továbbra is elengedhetetlenek, bármennyire is csábító a mérnöki szoftverekre való kényelmes ráhagyatkozás.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők megköszönik a Fővárosi Vízműveknek, különösen Farkas Jánosnak és Debreczeny Lászlónak, hogy lehetőséget biztosított az együttműködésre.

A tervezési munkához elengedhetetlen volt a GKSoft Kft. munkatársainak (különösen Kollár György és Varga András) szilárdságtani és konstrukciós tapasztalata.

A lámpatestek, védőcsövek, ballasztok kiválasztásához, az UV-szenzorok kalibrálásához felbecsülhetetlen segítséget kaptunk a LightTech Kft. munkatársaitól, elsősorban Szöllőssy Györgytől. Tőle kaptuk az első impulzusokat is az optikai modellezéshez.

(Az irodalomjegyzék elérhető a szerkesztőség címén.)



**2019.
NOVEMBER 14.
BUDAPEST**

**LIMITÁLT LÉTSZÁMÚ,
EGÉSZ NAPOS SZAKMAI
KONFERENCIA ELŐADÁSOKKAL,
WORKSHOPOKKAL**

**Esettanulmányok, azonnal
alkalmazható, kézzelfogható
megoldások a nem számlázott
víz csökkentésére**

**Jelentkezési határidő:
2019. október 31.**

Helyszín:
Fővárosi Vízművek Zrt.
1138 Budapest, Váci út 182.

**Jelentkezz mielőbb, hogy részese
lehes a titoknak!**

**Részletek és jelentkezés:
www.vizmuvek.hu/nszvtitok**