

UV víztisztító berendezés optimalizációja globális és lokális optimumkereső algoritmusok kombinációjának segítségével

UV reactor optimisation with the fusion of a local and a global optimisation algorithm

HUZSVÁR Tamás¹, Dr. HŐS Csaba²

¹egyetemi hallgató, ²egyetemi docens
BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. www.hds.bme.hu

Abstract

Nowadays, the need for UV reactors is increasing. In my paper I optimise the geometry of a UV reactor with the fusion of a heuristical global optimiser algorithm and a gradient-based local optimiser algorithm. The global algorithm is the differential evolution algorithm; the local algorithm is the conjugate gradient method. The objective function to maximize is the UV dose and the decision variables are the lamp location. Optimizer performance and optimal lamp layouts are reported.

Keywords: UV reactor, differential evolution, conjugate gradient method, optimization, algorithm hybridization

Összefoglaló

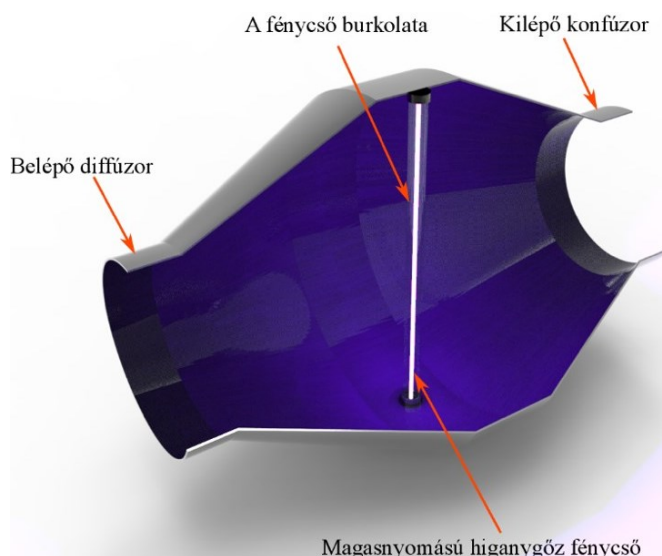
Napjainkban az UV csöves vízfertőtlenítő berendezések iránti kereslet növekszik. A munkámban egy ilyen UV csöves berendezés geometriai optimalizációját végzem egy heurisztikus globális kereső és egy gradiens alapú lokális kereső ötvözésével. Az általam alkalmazott heurisztikus kereső a differenciális evolúciós algoritmus, a gradiens alapú pedig a konjugált gradiens módszer. Törekvéseim célja egy olyan matematikai modell elkészítése, ami a berendezés működését hűen leírja és ezáltal az optimalizáció célfüggvényeként szolgál.

Kulcsszavak: UV csöves vízfertőtlenítő berendezés, differenciális evolúció, konjugált gradiens módszer, optimalizáció, algoritmusok hibridizációja

1. BEVEZETÉS

Az iparban alkalmazott UV csöves vízfertőtlenítő berendezések két főcsoportra oszthatók a szerint, hogy a berendezésben lévő fénycsövek az átáramló közeg áramlási irányával párhuzamosak, vagy arra merőlegesek. Amennyiben a fénycsövek az átáramlás irányával párhuzamosan helyezkednek el, axiális elrendezésű kialakításról, ellenkező esetben pedig radiális fénycsőelhelyezésű kialakításról beszélünk. Az UV csöves vízfertőtlenítő berendezések nagy előnye, hogy nem igényelnek járulékos vegyi anyag hozzáadagolást a nyersvíz ihatóvá tételéhez. Azonban egyik hátrányuk is ebből származik, ugyanis hatásuk lokális, a hálózatban már meglévő szennyeződések ellen nem nyújtanak védelmet[3]. Mivel elektromos eszközökről van szó, jól szabályozhatók és energiafelvételük is alacsony, ha figyelembe vesszük a klór előállítás és szállítási energiaigényét is. Azonban, ami elterjedésüket legnagyobb mértékben visszafogja, az méretezésük nehézsége, ehhez ugyanis mélyreható áramlástani és optikai ismeretekre van szükség. A nagyipari és vízi közmű ágazatban a radiális kialakítású berendezések az elterjedtebbek, így munkánk során egy ilyen berendezés optimalizációját végeztük el.

2. A BERESENDEZÉS

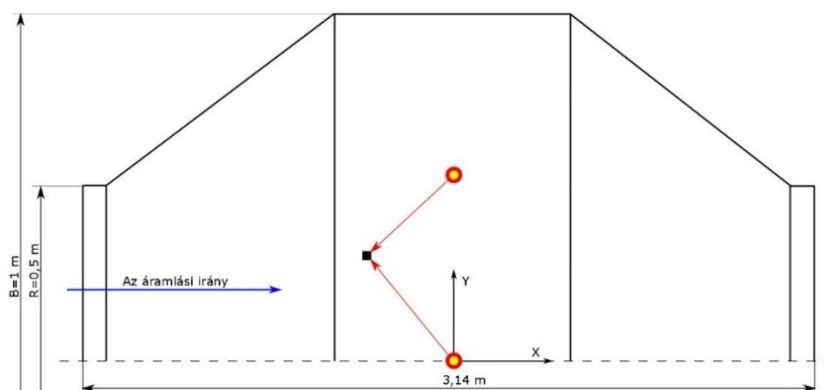


1. ábra

UV csöves vízfertőtlenítő berendezés CAD modellje

Az 1. ábrán a vizsgált UV csöves vízfertőtlenítő berendezés fő részei láthatók: belépő diffúzor, kilépő konfúzor és számos magasnyomású higanygőz fénycső. Jelen esetben az átláthatóság érdekében csak egy fénycső került feltüntetésre az ábrán. A belépő diffúzor az áramlás sebességét csökkenti annak érdekében, hogy a folyadékrészecskék tovább tartózkodjanak a fénycsővek közelében és így magasabb besugárzási dózist kapjanak. A kilépő konfúzor az áramlási sebesség visszaállításáért felel. A magasnyomású higanygőz fénycsővek optimális esetben 254 nm hullámhosszú UV fényt biztosítanak, mely hatékonyan roncsolja a vízben található mikróbákat.

3. AZ OPTIMALIZÁCIÓ CÉLFÜGGVÉNYE



2. ábra

2 UV csöves modell metszeti képe

A következő egyszerűsítéseket vezettük be a futásidő csökkentése érdekében:

- 2D áramlás a berendezés középsíkijában
- Az áramlási tér szimmetrikussága miatt az áramlási tér egyik felét elhanyagoltuk
- Szintetikus áramvonalak

A szintetikus áramvonalak felvétele az 1. egyenlet segítségével történt. A képletben látható változók és paraméterek magyarázata a 2. ábrán látható.

$$F(y_0) = y_0 + \frac{B-R}{B} y_0 (\cos(x))^2 \quad (1)$$

A 2. ábrán fekete négyzettel jelölt folyadékrészre érkező besugárzási intenzitásának meghatározása az

$$E(r) = K_E \cdot E_0(r) \cdot e^{-\alpha r} \quad (2)$$

összefüggéssel történik, melyben K_E kísérleti úton meghatározható kompenzációs tényező, $E_0(r)$ a teljes veszteségmentes besugárzás elméleti értéke[8] és $e^{-\alpha r}$ az áramló közeg abszorbanciájáért felelős tag[2]. A vonatkozó szabvány a besugárzási dózis minimális értékét adja meg, amely a

$$D = \int_{V(t)} E(r(t)) dt \quad (3)$$

összefüggéssel számítható[7], azaz egy-egy áramvonal mentén összegezni kell a helyi intenzitás és idő szorzatát. Annak érdekében, hogy a sugárzás elpusztítsa, vagy elég nagy mértékben roncsolja a mikroorganizmusok sejtsejtszervecskéit, a fenti egyenlet alapján számított besugárzási dózis még a legkisebb besugárzási dózist kapó áramvonal esetén is meg kell, hogy haladja az egészségügyileg előírt 400 J/m^2 -es határértéket. Tehát az optimalizáció célfüggvénye a legkisebb besugárzási dózist kapó áramvonal dózisértéke, célunk ennek maximalizálása.

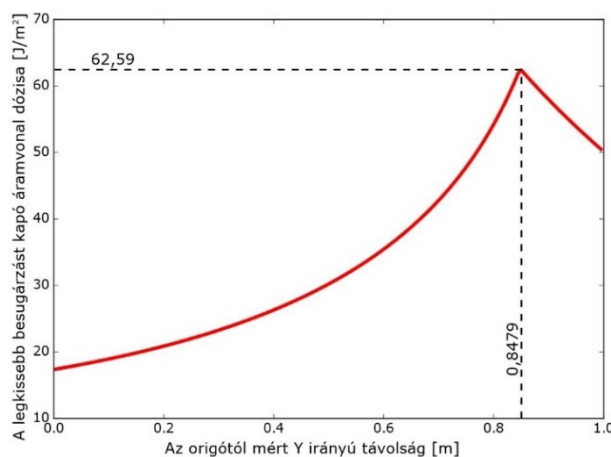
4. AZ OPTIMUMKERESŐ ALGORITMUSOK HIBRIDIZÁCIÓJA

A konjugált gradiens módszert szándékosan az ismertsége és részletes szakirodalma[3][5] miatt választottuk lokális keresőként, így a módszer ismertetésétől eltekintünk. A differenciális evolúciós algoritmus egy populáció környezeti körülményekhez való alkalmazkodását követi nyomon. Esetünkben a populáció egy véletlen számokkal feltöltött vektorokból álló csoport. A környezeti körülményeket a célfüggvény szimbolizálja[1], amelybe a populációs elemek behelyettesítése által a vektorokhoz egy függvényérték rendelhető. A populáció diverzitásának növelése érdekében mutáns egyedeket képzünk. A mutánsképzés metódusában tér el a differenciális evolúció a többi genetikai algoritmustól[6].

A mutáció metódusa a következő: véletlenszerűen választunk 3 vektort a jelenlegi populációból. Ezek közül kettőt kivonunk egymásból, és az eredményt egy falánksági faktorról (F) beszorozva hozzáadjuk a harmadik vektorhoz. Az így kapott új elemet keresztezzük egy másik populációs elemmel és a keresztezett és alap egyed függvényértékét összehasonlítjuk. Két vektor keresztezése alatt elemeik véletlenszerű cseréjét értjük. Ha a keresztezett egyed számunkra kedvezőbb eredményt ad, felvesszük a populációba és elvetjük az alapvektort. A hibrid megoldó kialakítása során a populációban létrehozandó új elemeken bizonyos iterációs lépésenként lefuttattuk a konjugált gradiens módszert, ezzel javítva az egyedek tulajdonságait.

5. EREDMÉNYEK

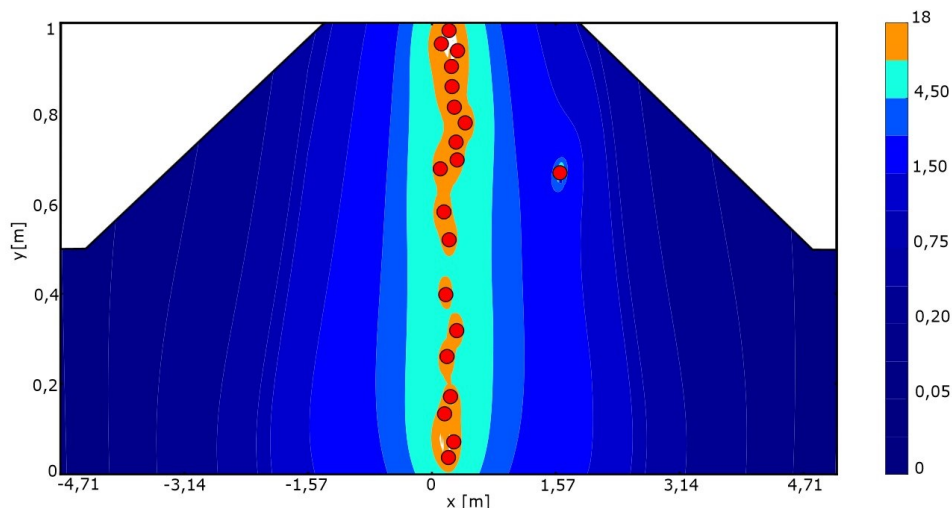
A hibrid algoritmus teszteléséhez egy olyan fénycsőkiosztású kialakításra volt szükség, amely esetében az optimalizáció eredménye direkt módon is ellenőrizhető.



4. ábra

A hibrid algoritmus ellenőrző diagramja

Ez a 2. ábrán látható két darab fénycsővel rendelkező kialakítás volt, ahol a második fénycső y koordinátája az algoritmus számára módosítható szabad paraméter. A 4. ábrán piros telt vonallal a 0,005 m osztásközzel pontonként számolt eredmény, szaggatott vonallal pedig az optimumkeresés végeredménye látható. Kijelenthető tehát, hogy a hibrid algoritmus valóban az optimumot találta meg. Miután a módszer megbízhatóságáról így meggyőződünk, elkészítettük a valósághoz közelebb álló, 21 UV csővel és 42 szabad paraméterrel rendelkező modellt.



1. ábra

A végeredményül kapott kialakítás intenzitástérképe

Az optimumkeresés végeredménye a 6. ábrán látható. Annak ellenére, hogy az optimumkeresés több mint 8 napig futott, maradt egy fénycső, amely a többtől eltérően a középsíktól távolabb, külön helyezkedik el. Valószínűsíthető, hogy a futásidő növelésével ez a fénycső is csatlakozott volna a többihez a középsík mentén. A végeredmény alapján felmerült annak lehetősége, hogy a középsík menti egyenközü osztás esetlegesen kedvezőbb dózisértéket biztosít a jelenleginél. A legkisebb besugárzási dózist kapó áramvonalának dózisértéke 200 W-os fénycsőteljesítménnyel számítva jelen kialakítás esetén $936,6 \text{ J/m}^2$ míg az egyenközü osztás esetén ez az érték mindössze 598 J/m^2 . Kijelenthető tehát, hogy az optimumkeresés végeredménye kedvezőbb megoldást jelent az egyenközü osztásnál.

Irodalomjegyzék

- [1] Borgulya I. Evolúciós algoritmusok, Dialóg Campus kiadó, Budapest, 2004.
- [2] D. Angelo Sozzi and Fariborz Taghipour, UV reactor performance modelling by Eulerian and Lagrangian methods, Environmental Science and Technology, 40(5): 1609-1615, 2006.
- [3] Jonathan Richard Schewchuk, An Introduction to the Conjugate Gradient Method Without the Angonizing Pain, Science, 49(CS-94-125):64, 1994.
- [4] J. R. Bolton and C. A. C. Cotton, The Ultraviolet Disinfection Handbook, American Water Works Association, 2011.
- [5] M.R. Hestenes and Eduard Stiefel, Methods of conjugate gradients for solving linear systems, Journal of Research of the National Bureau of Standards, 49(6):409, 1952.
- [6] Storn R and Price K, Differential Evolution - A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continous spaces, Journal of Global Optmization, 11(4):341-359, 1997.
- [7] Yash Boyjoo, Ming Ang, and Vishnu Pareek. Some aspects of photocatalytic reactor modellin using computational fluid dynamics, 2013.
- [8] Yash Boyjoo, Ming Ang, and Vishnu Pareek. Lamp emission and quartz sleeve modelling in slurry photocatalytic reactors, Chemical Engineering Science, 111:34-40, 2014.